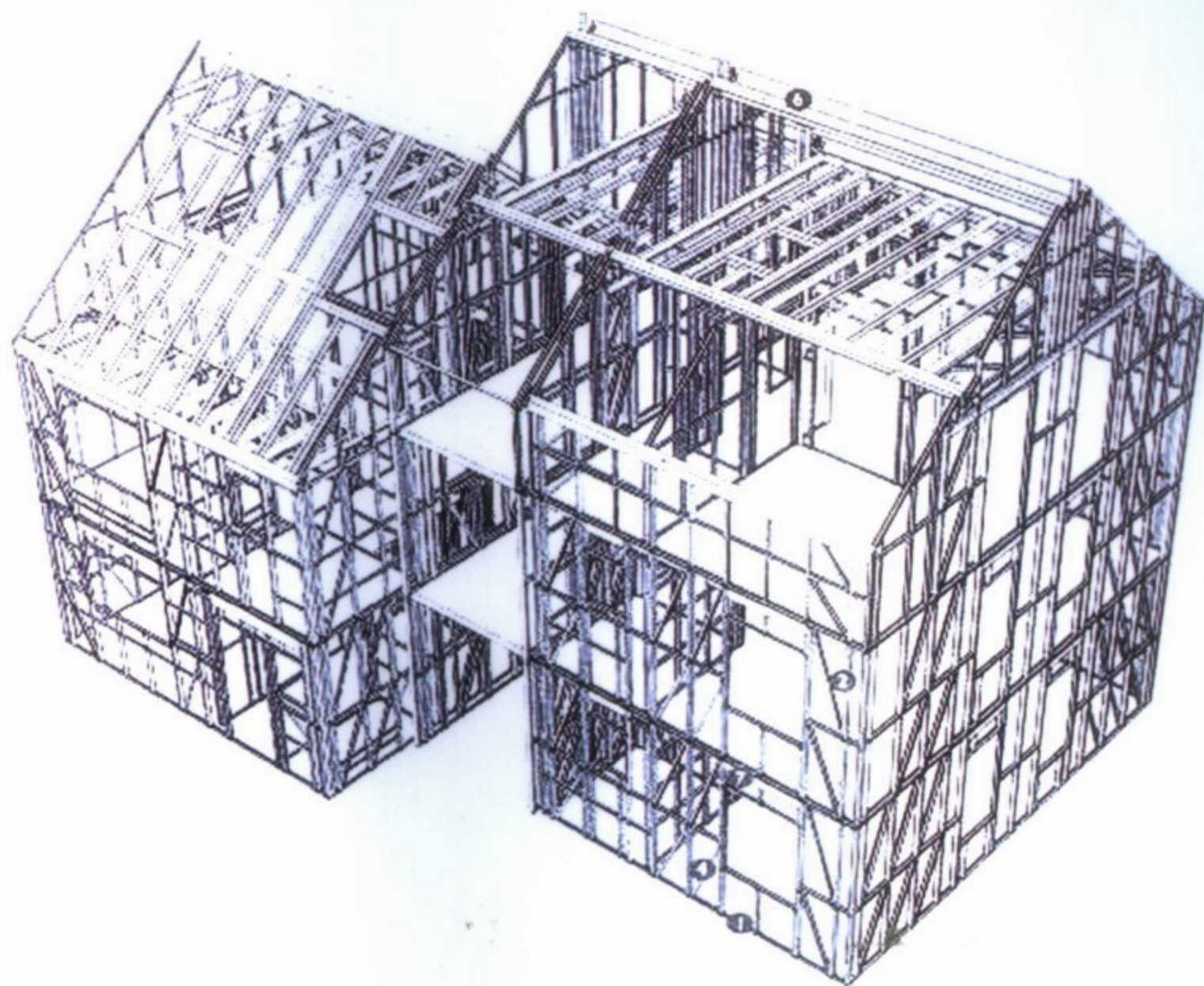


**LOWER LIGHT GAUGE STEEL FRAMING HOUSE  
DESIGN, ENGINEERING CALCULATE BOOK**




**低层**

# **轻钢骨架住宅设计**

**—— 工程计算**

丁成章 编著

 **机械工业出版社**  
CHINA MACHINE PRESS



# 低层轻钢骨架住宅设计 ——工程计算

丁成章 编著



机械工业出版社

新学网  
PDG

本书是《低层轻钢骨架住宅设计、制造与装配》一书的姊妹篇，但侧重于基础理论和实例计算。本书通过对国外冷轧薄壁轻钢构件设计规范的介绍和对低层轻钢骨架住宅设计方法和实例计算的介绍，能加深读者对受压薄板屈曲后强度、总截面、净截面和有效截面（或有效长度）的理解，也使得读者对扭转截面特性的主要参数，如 St. Venant 扭转常数  $J$ 、扭曲扭转或翘曲（GBJ18—1987 称之为扇性抵抗矩）常数  $C_w$ 、剪力中心位置  $(X_0, Y_0)$  和单对称常数  $\beta_x$ 、以及空腔结构截面（HSS）的扭转常数  $C$  和剪力常数  $C_{RT}$  有一个全面的了解，并懂得如何在设计工作中去应用这些参数。

本书可作为高等工科院校结构类专业的参考教材，更适用于钢结构建筑行业的职业技术教育培训，也可作为钢结构建筑设计、研究和施工企业人员的设计参考书。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

低层轻钢骨架住宅设计——工程计算/丁成章编著. —北京：机械工业出版社，2003.4

ISBN 7-111-11742-5

I. 低… II. 丁… III. 低层建筑：住宅—轻型钢结构—结构设计—工程计算 IV. TU241

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 012526 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：杨少彤

责任编辑：杨少彤 版式设计：张世琴 责任校对：罗莉华

封面设计：张 静 责任印制：路 琳

北京蓝海印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2003 年 4 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm $\frac{1}{16}$ ·12 印张·290 千字

0 001—4 000 册

定价：5 0.00 元



# 前 言

冷轧薄壁轻钢构件设计规范是属于钢结构建筑设计中的基础性规范,是低层(6层以下)轻钢骨架住宅骨架设计和高层建筑的维护和楼层骨架设计的指导性规范。近20年来,尤其是近10年来,发达国家在这一技术和产业领域发展步伐很快,已经形成了一个新的经济增长点。

当前中国的钢结构住宅市场也正蓄势待发,而我国目前尚没有制定出自己的冷轧薄壁轻钢构件设计规范,因而严重制约了我国钢结构产业的发展,难以形成新的产业和经济增长点。而本书依据当前国外已经成熟的技术标准,加以整理、归纳,期望能起到抛砖引玉的作用,促进中国钢结构住宅产业快速跟进国际先进技术和产业潮流。

本书第一章介绍了冷轧薄壁轻钢构件在国内外的发展历史及应用现状。

本书第二章介绍了欧洲冷轧薄壁轻钢构件设计规范 EuroCode3,对一些基础性概念进行了很清晰的解释,使读者容易理解,比如,第二弯矩或附加弯矩(GBJ18—1987称之为双弯矩),局部失稳和整体失稳的现象和定义解释等。

本书第三章提供的一些公式是近年来国际钢结构材料行业的最新研究成果,用来计算结构型钢的扭转截面特性。国内目前出版的钢结构手册和教科书中基本都没有这些结构工程师经常需要的型钢的扭转截面特性参数。

本书第四章介绍了用查表法设计冷轧轻钢骨架住宅的方法。

本书第五章是按美国钢铁协会(AISI)设计规范要求,利用当代材料力学的最新研究成果,用工程计算的方法对低层轻钢骨架住宅的各个部件进行设计计算。

本书第六章是冷轧轻钢骨架构件截面特性表,也是国内目前出版的钢结构手册和教科书中所没有的内容。

本书第七章简介了轻钢骨架住宅的历史沿革及其所表现出来的美国建筑文化特征。

本书把当代材料力学的最新研究成果与钢结构建筑的应用实践结合起来而写,可作为高等院校结构专业的参考教材,还可作为有关行业设计和施工技术人员的技术参考书。其内容不但可用于低层(6层以下)轻钢骨架住宅和楼宇的设计验算和校核,也可供多层或高层建筑的轻钢骨架外围护墙和内隔墙设计参考。

丁成章

2003年1月于深圳



## 主要符号表

$a_0$	腹板直线宽度	$I_y$	对垂直重心轴的转动惯量
$a_e$	腹板有效宽度	$J$	St. Venant 扭转常数
$a'$	腹板孔位处测量的腹板剩余直线宽度	$k_v$	剪翘系数
$A$	面积	$L$	活荷载, 腹板孔长度, 单跨跨度
$b$	边缘尺寸	$L_A$	阁楼活荷载
$b_{eff}, b_e$	边缘有效宽度	$L_l$	楼层活荷载
$b_0$	边缘直线宽度	$L_r$	屋顶活荷载
$b'$	轴线交点之间的板长	$m$	剪力中心与腹板中心线之间的距离
$B$	建筑物宽度	$M$	施加的弯矩
$B'$	屋顶悬挑	$M_a$	允许弯矩
$c$	唇缘尺寸	$M_s$	屈服弯矩
$c_0$	唇缘直线宽度	$M_u$	极限弯矩
$c_e$	唇缘有效宽度	$M_y$	对 $y$ 轴的允许弯矩
$C_w$	扭曲扭转 (或翘曲) 常数 GBJ18—1987 称 其为扇性抵抗矩	$N$	孔宽, 支撑长度
$C_{RT}$	剪力常数	$N_{eff}$	有效托梁的数量
$d$	腹板尺寸	$P$	集中荷载或反作用力
$d_s$	沿着周边的长度单元	$P_a$	单个腹板允许临界集中荷载或反作用力
$dA$	面积单元	$q_s$	腹板孔缩减系数
$D$	静荷载, 腹板孔深度	$Q$	相对中性轴而言, 靠近外侧中性轴部分的 静弯矩
$D_c$	天花静荷载	$r$	中性轴半径
$D_l$	楼层静荷载	$R$	内侧圆角半径
$D_r$	屋顶静荷载	$R_c$	腹板断裂缩减系数
$D_w$	墙静荷载	$R_x$	对水平重心轴的回转半径
$D_x$	垂直于托梁的弯曲刚度	$R_y$	对垂直重心轴的回转半径
$D_y$	平行于托梁的弯曲刚度	$R_o$	回转极半径
$E$	弹性模量	$S$	间距, 雪荷载
$E_c$	楼层粗地板的弹性模量	$S_e$	有效截面模数
$F_q$	无孔截面抗剪承载能力	$S_x$	对水平重心轴的截面模数
$F_{qk}$	有孔截面抗剪承载能力	$S_y$	对垂直重心轴的截面模数
$F_{cr}$	腹板临界强度	$t$	厚度
$G$	剪切模量	$t_0$	基本材料厚度, 或最小未镀层交付厚度
$H$	高度	$T$	扭矩
$I$	惯性矩	$V$	风速, 剪力
$I_x$	对水平重心轴的转动惯量	$V_1$	孔边缘的最大施加剪力

$V_2$	孔边缘的最小施加剪力	$\sigma_u$	极限正应力 (等于抗拉强度)
$V_a$	允许剪切强度	$\sigma_y$ 或 $\sigma_s$	屈服应力
$V_{al}$	带孔腹板允许剪切强度	$\sigma_{ys}$	冷轧加工后的屈服强度
$w$	每米荷载, 线荷载	$\sigma_{yf}$	原始屈服点
$w_t$	全荷载	$\rho$	钢材密度, 宽度缩减系数
$w_l$	活荷载	$\rho_l$	每米总重量
$W$	风荷载, 每平方米荷载	$\rho_{l0}$	每米净重量
$x$	孔边缘到支撑边缘最近的距离	$\delta_{max}$	允许挠度极限
$x'$	质心与腹板中心之间的距离	$\delta_{ot}$	单跨预测挠度
$x_{cg}$	中性轴距顶部的距离	$\delta_0$	楼层中部的挠度
$x_0$	剪力中心到质心的水平距离	$\lambda$	苗条系数或薄板系数
$y_0$	剪力中心到质心的垂直位置	$\Omega$	安全系数
$y_{cg}$	中性轴距顶部的距离	$\beta$	单对称常数
$\sigma_b$	抗拉强度 (等于极限正应力)	$\tau$	横截面上的剪应力



# 目 录

## 前言

## 主要符号表

第一章 绪论	1
一、冷轧薄壁轻钢构件简介	1
二、冷轧薄壁轻钢构件的结构特性	1
三、冷轧薄壁轻钢构件在中国的发展	
现状	2
四、冷轧薄壁轻钢构件在世界上的发展	
现状	3
五、现阶段发展我国冷轧薄壁轻钢构件	
及住宅产业的对策与思考	5
第二章 欧洲冷轧薄壁轻钢构件设计	
规范简介	7
第一节 设计基础	7
第二节 局部失稳	10
第三节 横截面的局部承载力	14
一、轴向拉伸	14
二、轴向受压	14
三、弯矩	15
四、受拉、受压和弯曲组合	15
五、扭转	16
六、剪力	16
七、局部横向力	16
八、组合力	17
第四节 构件整体失稳承载能力	17
一、轴向受压	17
二、构件弯曲时的侧向扭转失稳	18
三、弯曲与轴向受压	19
第五节 适用性限制规定	19
第三章 当代材料力学研究成果简介	20
第一节 绪言	20
第二节 型钢的扭转截面特性	20
一、St. Venant 扭转常数	20
二、扭曲扭转常数	21

三、剪力中心	21
四、单对称常数	21
五、空腔结构截面 (HSS) 扭矩常数	21
六、空腔结构截面 (HSS) 剪力常数	21
第三节 扭转截面特性参数实例计算	22
一、开口横截面	22
二、封闭横截面	29

## 第四章 用查表法设计冷轧轻钢骨架

住宅	32
第一节 绪言	32
第二节 骨架构件	33
第三节 楼层骨架选型	34
第四节 墙骨架选型	35
第五节 屋顶骨架选型	38

## 第五章 用工程计算法设计冷轧轻钢骨

架住宅	41
第一节 绪言	41
第二节 截面特性计算方法和实例计算	41
一、S 截面 C 型钢柱 (或梁) 的截面特性	
计算方法简介	42
二、89S41—1.09 型钢的截面特性实例	
计算	49
三、203S41—1.37 型钢的总截面特性实	
例计算	58
第三节 螺钉能力计算方法和实例计算	67
一、螺钉能力计算方法简介	67
二、螺钉能力实例计算	68
第四节 楼层托梁设计方法和实例计算	70
一、楼层托梁设计方法简介	70
二、楼层托梁设计实例计算	72
第五节 开孔腹板楼层托梁设计方法和实例	
计算	76
一、符号定义	76
二、开孔腹板楼层托梁设计方法简介	76
三、开孔腹板楼层托梁设计实例计算	80

第六节 墙柱设计方法和实例计算 .....	91	第三节 截面特性 .....	152
一、墙柱设计荷载计算简介 .....	91	一、截面特性表注 .....	152
二、墙柱设计荷载实例计算 .....	94	二、非承重柱(S)截面特性 .....	152
三、墙柱设计方法简介 .....	98	三、承重柱(S)截面特性 .....	152
四、墙柱设计实例计算 .....	106	四、承重(T)导轨截面特性 .....	152
第七节 过梁设计方法和实例计算 .....	121	五、U型槽钢截面特性 .....	152
一、过梁设计方法简介 .....	121	六、翻边U型槽钢截面特性 .....	152
二、过梁设计实例计算 .....	122		
第八节 剪力墙拉牢要求计算 .....	124	第七章 冷轧轻钢骨架住宅技术的历史	
一、墙覆盖材料的能力 .....	124	沿革与哲学思考 .....	162
二、剪力墙地脚锚固连接能力 .....	124	一、轻木骨架的历史背景 .....	162
三、剪力荷载 .....	124	二、美国建筑文化三要素 .....	162
四、全高覆盖要求 .....	125	三、君(梁柱)臣(墙)不分的地域建筑文化特征 .....	164
第九节 天花托梁设计方法和实例计算 .....	125	四、绝不允许“独木”立千斤的险象出现 .....	165
一、天花托梁设计方法简介 .....	125	五、以柔克刚的节点设计 .....	167
二、天花托梁设计实例计算 .....	131	六、两种文化引出的两种不同的产品开发模式 .....	167
第十节 椽设计方法和实例计算 .....	140	七、地域文化对建筑材料和生产方式的影响 .....	169
一、椽设计方法简介 .....	140	八、建筑材料对建筑力学及其设计思想的影响 .....	169
二、椽设计实例计算 .....	142	九、产业、产品、产量 .....	170
		十、轻钢骨架与轻木骨架的关系 .....	171
第六章 冷轧轻钢骨架构件产品技术资料 .....	149	附录1 国际单位制英制转换 .....	175
第一节 产品标识 .....	149	附录2 中英文材料力学及冷轧轻钢骨架住宅用词汇对照 .....	177
第二节 一般产品资料 .....	150	参考文献 .....	180
一、规范要求 .....	150		
二、材料规格 .....	150		
三、钢构件厚度 .....	151		
四、设计加强肋唇缘长度 .....	151		
五、所有表的一般注释 .....	151		
六、结构特性符号的定义 .....	151		



# 第一章 绪 论

## 一、冷轧薄壁轻钢构件简介

大多数常用冷轧薄壁轻钢构件横截面都表明在图 1-1 中。这些剖面通常是冷滚轧成型，也可由热或冷滚轧钢带折弯压成。受制造方法的影响，冷轧结构的截面形状通常是开口、平直、尖锐和非对称结构。

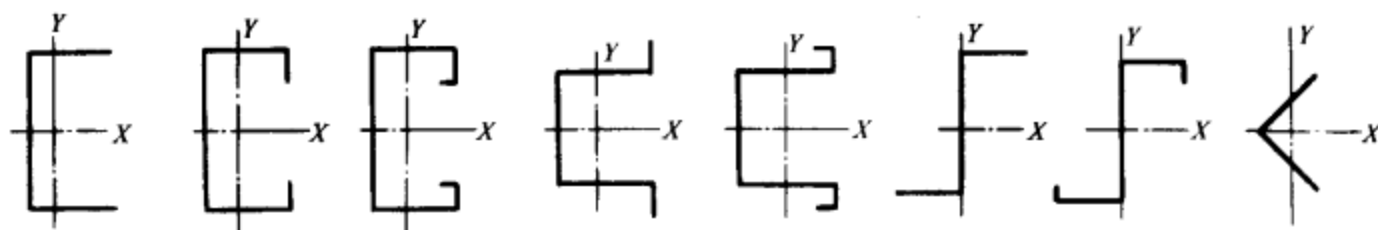


图 1-1

过去 100 年来，薄壁结构构件在建筑业的应用日益增加。因为它们有利于减轻建筑物的重量，能承受拉力、压力和弯曲力。薄壁构件的结构特性和荷载形式促成了这些结构典型的静力学特征：局部或整体失去稳定，形成不同的失稳现象。分析和设计时，可以选用有限元法（FEA）工具和设计规范。

由于冶金行业的产品技术和材料力学的基础理论都得到了快速发展，发达国家在钢结构设计规范中都普遍采用了屈曲强度理论。近 20 年来，几乎每个发达国家都有了相关的冷轧薄壁轻钢构件国家设计规范，比较有代表性的是美国钢铁协会规范 AISI。首次在冷轧薄壁轻钢构件设计规范中应用屈曲强度理论的 AISI 标准版本应当是在 1986 年，欧洲在 1993 年发布了冷轧薄壁轻钢构件设计规范 EuroCode3 (ENV1993-1-3)。尽管很多欧洲国家都有自己的冷轧薄壁轻钢构件设计规范，但他们主要还是执行欧洲规范 EC3。芬兰更是将欧洲规范 EC3 (ENV1993-1-3)，翻译成 (SFS-ENV1993-1-3)，成为其国家应用文本 (NAD)。另外，还有德国工业标准 DIN，加拿大标准协会的冷轧钢结构构件标准 CSA-S136，以及澳大利亚和新西兰这两个国家于 1996 年也联合发布实施了冷轧薄壁型结构钢规范 AS/NZS4600。

## 二、冷轧薄壁轻钢构件的结构特性

薄壁构件的横截面积通常由几个相当薄的要素部分（即平板部分和加强肋）组成。通过材料屈服，而不是破坏，使受压部分趋于失去稳定。在局部失稳模式，平板部分失稳，只会引起板要素的垂直位移和重新分配应力。在这种模式下，截面形状仅仅有轻微扭曲，因为只是在板要素的结合点上才会发生旋转现象。对于真实的扭曲失稳模式，由于边缘加强肋的失稳，会引起横截面部分产生较大的位移。在双失稳模式，横截面加强特性可能会变化，但由于不会出现整个横截面的平移或旋转，构件仍然有一些失稳（屈曲）后强度可以利用。在全部失稳模式，整个横截面产生很大的位移，导致整个构件完全失去了稳定。全部失稳模式首先取决于横截面的形状。对冷轧钢构件来说，弯曲失稳通常是发生在最小弯曲刚度方向。开口薄壁构件是典型的低抗扭刚度构件，所以和扭转同时发生的失稳模式可能是危险的。对于

点对称横截面（即 Z 型截面）情况，因为截面中心和剪力中心重合，可能会发生纯扭转失稳。在扭转失稳模式，横截面是围绕着剪力中心旋转。在弯扭共同失稳模式，单对称横截面（即 U、C 型截面）的横截面可能会产生平面移动。由于开口薄壁构件横截面的抗扭刚度低，侧向失稳是梁很可能发生的失效模式。依此类推，在许多情况下也可能引起受压边缘弯曲失稳，但是当折边被压平（即宽帽沿形状），它就不会像轴对称低横断面柱或平面对称的开口横断面柱那样失去承载能力。当然，如荷载有问题，受压或受弯构件可能出现塑性或弹塑性静力特性，但对于正常的建筑结构和荷载条件，稳定性才是设计薄壁构件的关键。

### 三、冷轧薄壁轻钢构件在中国的发展现状

中国到现在尚没有一个真正意义上的可用的冷轧薄壁轻钢骨架构件设计规范，而且我们的近邻，亚洲经济发展的领头羊，世界第二大经济体——日本的 JIS 标准也只是在 2002 年首次出版的《冷轧轻钢骨架住宅设计规范》中比较简单地提及了冷轧薄壁轻钢骨架构件设计方法，欧洲也是自 20 世纪 90 年代初（1987 年后）才开始奋起直追。像我们“从娃娃开始抓电脑普及教育”一样，欧洲国家为了迎接新一轮钢结构产业的发展高潮，启动的钢结构教育计划是从高等教育和职业技术教育抓起，组织了 20 多个国家的 400 多位钢结构专家，费时六年，编撰了一套教学资料。目前已经有 40 多个国家选用了这套教学资料，用以培养新一代的钢结构基础理论研究开发人员和包括技术工人在内的应用型人才。

传统的（铸铁或铸钢，热轧型钢）钢结构设计规范是要保证工程中所用的构件有足够的强度、刚度和稳定性，即所谓保证构件安全工作的三个基本要求（一般材料力学教材都将其称为材料力学的三大任务）。特别是按等稳定性准则制定的规范，它要求构件在产生总体失稳之前，构件的任何板件要素都不得产生局部失稳。

而冷轧薄壁轻钢骨架构件设计规范除了有这三个基本要求外，还要求在设计中能有效利用构件的局部失稳现象，可用三个主要技术特征来描述，即：

- 1) 壁厚；
- 2) 宽厚比；

3) 有效利用局部失稳现象（图 1-2 是利用有限元法计算并绘出的 C 型构件发生局部失稳的波状的局部屈曲图）。

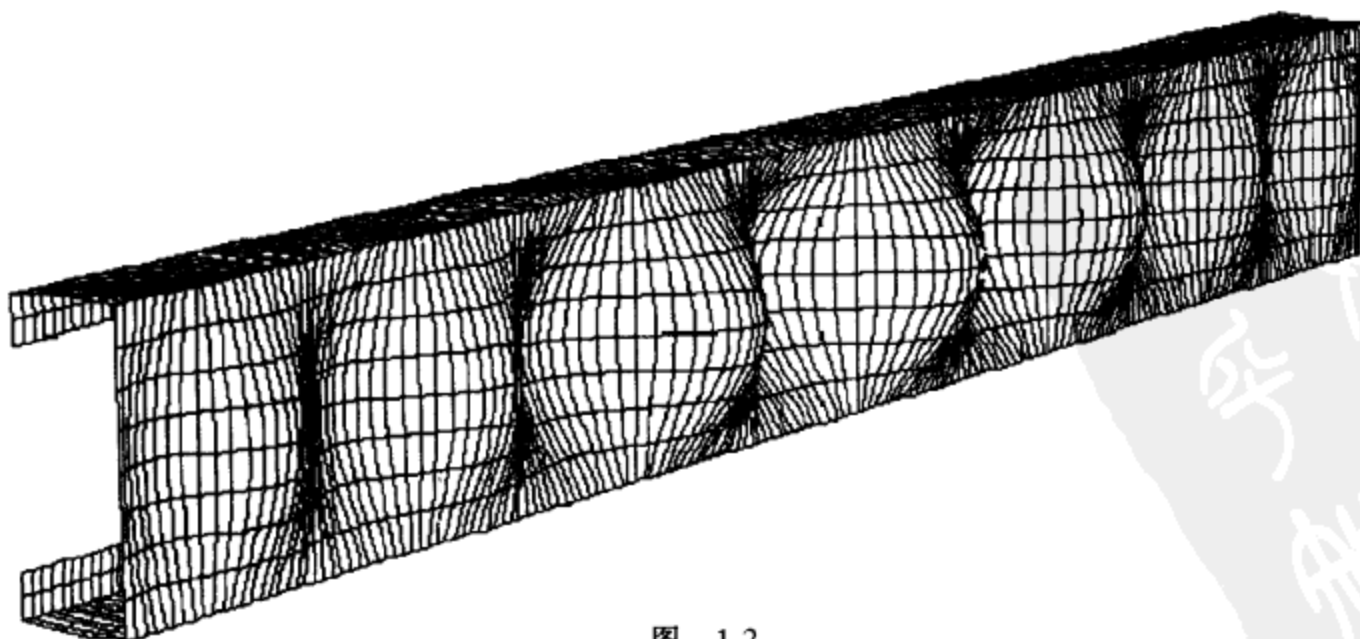


图 1-2

前两个特征仅仅是个技术指标问题，在技术规范中很容易做到，而第三个问题是属于设计理论基础问题，不是仅能通过调整几个设计参数就能实现的问题。

《冷弯薄壁型钢结构技术规范》（GBJ18—1987）对构件的厚度有要求（ $2\text{mm} \leq t \leq 6\text{mm}$ ），也突破了《钢结构设计规范》（GBJ17—1988）中对板件宽厚比限值的规定，允许板件产生局部失稳，并利用板件失稳之后的强度提高，从而引出了有效截面概念。但是在构件的截面特性表中缺少屈曲理论应用所需要的扭转截面特性参数，如 St. Venant 扭转常数  $J$ ，扭曲扭转（或翘曲）常数  $C_w$ （GBJ18—1987 称其为扇性抵抗矩），剪力中心位置（ $X_0, Y_0$ ），单对称常数  $\beta_x$ ，有效截面模数  $S_e$ ，以及空腔结构截面（HSS）的扭转常数  $C$  和剪力常数  $C_{RT}$  等等，也没有提出具体的计算方法。仅仅以“请参阅开口薄壁杆件的有关论著”一笔带过。另外，二次弯矩（GBJ18—1987 称其为双弯矩）和有效截面的计算方法介绍更是简单模糊。

#### 四、冷轧薄壁轻钢构件在世界上的发展现状

重量极轻是冷轧薄壁轻钢结构最重要的特征，因此它们在生产领域里最重要的价值主要是用来减轻重量。早期是在运输工业，像飞行器和汽车制造业就很自然的需要这种产品。

在过去的几十年里，在全世界范围内，大量的研究工作已经改善了冷轧薄壁轻钢结构的制造、防腐保护、材料和制作规范，使得冷轧薄壁轻钢结构应用得以长期增长。冷轧薄壁轻钢结构现在已经在各种不同的建筑技术领域变得日益流行。低层住宅系统已经可以完全采用冷轧薄壁轻钢骨架构件作墙的骨架，以及包括桁架和围护材料在内的骨架系统和屋顶结构。因为冷轧薄壁轻钢构件的表现很灵活，设计中可以采用不同横截面形状，可以按设计者要求任意摆放，所以多层，高层乃至超高层建筑，以及大型场馆的建设也越来越离不开冷轧薄壁轻钢构件。

冷轧薄壁轻钢构件的结构特性和荷载形式导致了结构的一种典型的静力学特性：局部和整体失去稳定，形成不同的失稳现象。板件局部失稳，不等于构件丧失承载能力，可能还有相当可观的屈曲后强度可以利用，而且构件最终承载能力还可能高于发生局部失稳前的承载能力（详见第五章设计计算部分）。允许板件产生局部失稳，利用板失稳（屈曲）后的强度进行结构设计，是结构工程师多年来努力的目标。

近 20 年来，由于电子计算机运算速度和计算软件的快速发展，发达国家的研究人员不但用有限元法对冷轧轻钢骨架构件进行了系统深入的分析研究，分析了构件的弹性局部和整体（弯曲和扭转）失稳模型，而且为了了解构件的防火特性，他们还通过先进的非线性有限元模型实现了对高温环境下的冷轧薄壁开口横截面构件的特性研究。广泛的基础研究与实验工作促成了冷轧薄壁轻钢构件快速进入工程应用领域。

其实，英国的 Careman 早在 1932 年就提出了板件屈曲理论及屈曲强度、总截面、净截面和有效截面（或有效宽度）等概念，但将其写到技术标准中，并应用到工程实践中，是近几十年的事情。

尽管这样，发达国家的研究人员仍然觉得这些方法的复杂性限制了冷轧薄壁轻钢结构构件的应用，导致设计的过度保守，所以还在不断地进行深入细致的基础研究，技术标准不到两年就修改一次，以求更进一步减轻用钢量。

由于冷轧轻钢骨架构件大量应用在现代建筑和土木工程上，使当代土木工程发生了质的

变化（由土木变钢铁）。

俗话说，红花还需绿叶扶持，红花就是传统钢结构或钢混结构的承重梁柱，而绿叶当然是冷轧钢骨架构件。可以这么说：没有冷轧轻钢骨架构件，就建不成现代建筑；没有冷轧轻钢骨架构件，传统钢结构或钢混结构的承重梁柱就只能沉沦到与红砖或各种砌块为伍；没有冷轧轻钢骨架构件（如目前的中国建筑市场），各种需要采用冷轧轻钢骨架构件的新型现代建筑，只能用木材、铝型材、薄壁卷边檩条（GBJ18—1987）以及各种传统热轧钢型材替代，不但其效果不如冷轧轻钢骨架构件理想，施工作业不方便，成本价格也是非常之巨。

冷轧轻钢骨架构件作为现代（低层、多层和高层）建筑和大型场馆的维护和楼层骨架体系，伴随着钢结构行业的快速发展，已经成为一个独立的新兴产业。钢柱制造商联盟（SSMA）成员在美国就有上百家，加拿大、澳大利亚、新西兰都有其成员。

冷轧轻钢骨架构件用到低层住宅上，是一个典型的产品开发过程中的种瓜得豆现象。几个世纪以来，北美住宅一直是采用轻木骨架，这是因为北美有着丰富的木材货源，成本也相对其他建筑材料要低，性能也不错，然而，近年来随着建筑木材价格的增加和不可预知的市场波动，同时也涉及到质量问题、环保问题、资源的合理利用问题等，所以建造商和其他住宅供应商正寻找可供替代的建筑产品。

过去几十年来，使用冷轧轻钢骨架建造住宅的呼声很大，市场份额剧增。这主要是因为使用冷轧轻钢骨架建造住宅价格相对稳定，质量可靠，最重要的是可以按常规的结构进行设计，所以在商业市场取得了很大的成功，而且它的防火、防腐、防蚁特性，也吸引了许多建造商和设计人员的注意。

需要注明的是，这里所说的可以按常规的结构进行设计是针对轻木骨架住宅而言，而非砖混结构类住宅。在北美只需要用冷轧轻钢骨架构件直接替代轻木骨架构件，维护体系和其他建筑构件基本不需要作大的变动，因此技术跨度不大，这也是它受到住宅建造商和设计人员青睐的原因之一。

对于长期习惯于采用砖混结构的广大中国结构工程师来说，从砖混结构到轻钢骨架结构的转变，其技术跨度就略显大一点了。而且因为从围护体系到大部分的建筑材料供应都与传统砖混结构建筑不一样，几乎没有什么可借鉴的地方，这也是轻钢骨架住宅推广过程中的一个大难题。因为不论是政府官员、企业领导、建筑师、消费者对它都需要有一个了解、熟悉的过程，而且即使消费市场能够接受这种住宅，还要有一个技术标准体系，原材料配套体系，技术服务体系来支撑它。

如果一定要在钢结构建筑上继续采用砖混类（如红砖、水泥砌块和水泥板块等）围护建筑材料，虽然其技术跨度不大，可能短期内也很容易被消费者和投资商接受，但钢结构的所有优势基本都没有发挥出来，缺点却会暴露无疑，非常不利于这个行业的长期稳定发展。

为将冷轧轻钢骨架构件更好地应用于住宅类产品，由美国住房和城市发展部（HUD）牵头，美国钢铁协会（AISI）和国家住宅建造商协会（NAHB）组织发起，联合了众多地方和国家行业协会、数百家企业和几十所大学，对冷轧轻钢骨架的应用和发展进行了广泛深入的基础和应用研究，取得了丰硕的成果。

目前应用冷轧轻钢骨架构件建造低层（6层以下）住宅的国家和地区主要是北美的美国和加拿大，亚太地区的澳大利亚和新西兰。因为澳大利亚矿产资源丰富，冶金业发达，其建筑用钢技术享誉世界。新西兰的冷轧轻钢骨架设备制造技术也是世界一流，所以早期很多美

国厂商都从新西兰购置加工设备。东南亚也有一些国家少量应用。日本是在阪神大地震后才开始接触到这种（由美国援助的）住宅，并发现比他们几十年来自己独立开发的一些钢结构住宅体系要好，因而有心想改弦易辙，但谈何容易。因为近 50 年来日本已经投入巨资，产生了像积水、三泽、大和这样的一些巨大的集成住宅产业株式会社。它们已经建立了一套包括技术体系、原材料配套体系、生产制造体系乃至运输体系在内的完整的、有日本特色的钢结构住宅体系。现在要想重新更换一个产业的技术发展方向并非易事。尽管日本没有成熟的冷轧轻钢骨架住宅建造技术，但一些日本的钢铁企业正在积极引进和开创冷轧轻钢骨架住宅技术体系，更有一些日本高手还想到了利用中国的资金、人才和市场，在中国进行冷轧轻钢骨架住宅的基础性研究。当然，在当前的市场经济条件下，我们不能评述一个企业投资的行为的对与错，但这一现象却应该引起国内的众多钢铁企业和相关的政府部门注意。

中国的钢结构住宅基本是从零开始，好写最新最美的图画。同时我们也应该知道，冷轧轻钢骨架住宅是现代科学技术的产物，是一个非常成熟的住宅建造技术，我们只需吸收消化，不能闭门造车。一旦（WTO）大门打开，消费者就会用人民币投票来表达他们对现代科技产品的向往。闭门造车，从零开始的企业或死抱住（秦）砖（汉）瓦“砌”房技术不放的企业会死路一条。

### 五、现阶段发展我国冷轧薄壁轻钢构件及住宅产业的对策与思考

近 100 年来，不断有新的产业在世上出现，如：交通运输业、通信业、传媒业、空调业、电脑及互联网产业等等。新的产业改变了人类的生活方式，如在交通行业：汽车、火车、轮船、飞机的出现使地球显得越来越小。在通信行业：从有线电报到无线电报，从有线电话到无线电话，从声音传输到图像传输，使人们之间的距离拉得越来越近。传媒行业的发展也是惊人的，从有线广播到无线电收音机，从黑白电视到彩色电视，使人们不出家门而闻知天下事。空调产业的出现，不仅大大改善了人类的居住和工作环境，而且大大提高了人类的劳动生产率，并促进带动了各行各业的技术发展。电脑及互联网产业使得地球村的每一个人都自觉或不自觉地加入其中，对世界政治、经济、文化产生了目前还难以估量的影响。

随着产业的不断进步发展，各自产业内部的产品（实物消费与服务消费）也在不断升级、换代。层出不穷的新产品一个又一个推向市场。随着新产品的问世及被消费者的接受，随之而来的就是不断扩大产品产量，以满足消费者不断增长的需求。而任何产品只要它上了现代化的工业生产线，就会化腐朽为神奇，产量就会急剧上升，价格就会急剧下降，市场也会越做越大。而钢结构住宅就是一种可以在现代化生产线上批量生产的现代化工业产品，它必将进一步改善人类的居住和工作环境，并形成一个新的产业龙头，促进和带动各行各业的技术发展。

但是，现阶段如何在中国发展冷轧薄壁轻钢构件及钢结构住宅产业仍然是值得注意和思考的问题。

首先是切入点的问题，即采用何种技术模式发展集成（工业化，批量化）住宅产业。一位美国的经济学家曾就日、美两国集成住宅产业的发展模式作过研究和经济测算，仅就运输一项就发现日本模式的致命之处——运输成本巨大。因为日本的高速公路设计与运输车辆的规格不能像在美国那样可以运输整套住宅。所以日本的集成住宅大部分是模块化设计，而这种模块并非像其他工业产品那样是实体的，住宅的每一个模块就相当于一个集装箱空箱，一

套住宅几十个这样的“集装箱”空箱在高速公路上来回放空运输是多么的浪费。

第二个问题当然是选择技术标准问题了，我们国内市场经济发育得比较好的行业，尤其是一些有能力参与国际市场竞争的行业和企业都已经习惯于采用或等效采用国际标准，并以能采用国际标准，能参与国际标准的制定为荣。历史和经验都已经充分证明，落后的标准是无法保护落后的行业的。

现代工业产品的开发都是在一定的基础上开始，一步一个脚印地向前推进。国际跨国集团的产品开发程序中都有一个重要步骤，就是 Marketing Research。所谓 Marketing Research 就是通过非常严谨的程序和多种技术手段对产品研发需要的资料进行收集和研究，而不是拍脑袋就能得出结论。它的主要目的是研究所在市场的现状和预测将来的市场走向。然后是 Banchmarking，所谓 Banchmarking 就是对所收集到的竞争对手的现有产品从技术、性能、价格、原材料采购、生产制造技术、品质管理多方面进行对比分析，从中得出正确的信息结论。从零开始进行研发，是一种典型的现代闭关自守思想，是技术出身的干部和官员最容易犯的错误。站得高，才能看得远，只盯着自己已经掌握的那点技术做文章，就很难放开眼量去走向世界。正所谓“河上有桥，为何还要去摸着石头过河”。在相当长的时间内，技术领域的前进还必须要以引进、吸收、消化为主，走捷径并不影响把中国的技术水平发展到国际领先地位。我们需要有宽阔的胸怀，开放的心态去迎接挑战。我们要充分利用目前所拥有的优势：廉价的劳动力和不可估量的市场容量来发展冷轧轻钢骨架住宅产业。



## 第二章 欧洲冷轧薄壁轻钢构件设计规范简介

所有发达国家的冷轧薄壁轻钢构件设计规范几乎都是同一个范本，区别不大。本章仅以欧洲规范 EuroCode3 (ENV1993-1-3) 为例作一简单介绍，本章中公式编号均为此欧洲规范编号，以方便读者对照查找。

### 第一节 设计基础

依据呈现的结构强度和稳定性形式的不同，薄壁构件分属于三种建筑类型。在类型 I，构件是结构整个刚性系统组成部分之一。在类型 II，构件仅是以要素的独立结构强度呈现出来。在类型 III，则仅仅是充当次要的护墙板结构。然而，这些不同的可靠性分类等级对设计似乎没有任何影响，构件设计时需要的最根本的限制规定 (ENV1993-1-1 中有定义)，局部安全系数 ( $\gamma_{m0}$  和  $\gamma_{m1}$ ) 总是等于 1.1。系数  $\gamma_{m0}$  是用于计算横截面屈服强度， $\gamma_{m1}$  是用于计算构件失稳强度。适用性限制是以法则和应用规则的形式定义在 ENV1993-1-1 里，并在 ENV1993-1-3 里得到进一步完善。二个等级的局部系数  $\gamma_{Mser}$  值等于 1.0。

可以根据基本规范 EN1993-1-3，准确定性指出冷轧部件设计的耐久性。

制作薄壁构件的结构钢既可以冷轧，也可以焊接和电镀。表 2.1-1 列出了欧洲规范 ENV1993-1-3 中规定的钢材形式，根据规范，都可以用来设计冷轧钢，也能使用其他能满足条件的结构钢。在 ENV1993-1-3 的 3.1.2 章中明确指出，由于冷轧产生的增强屈服强度

表 2.1-1 典型的冷轧轴钢结构用结构钢

钢材类型	标准	等级	屈服强度 $\sigma_s$ / (N/mm <sup>2</sup> )	抗拉强度 (或极限正应力) $\sigma_u$ / (N/mm <sup>2</sup> )
建筑用热轧钢板	EN10025	S235	235	360
		S275	275	430
		S355	355	510
高屈服强度建筑用热轧钢板	EN10113: 部分 2	S275N	275	370
		S355N	355	470
		S420N	420	520
		S460N	460	550
	EN10113: 部分 3	S275M	275	360
		S355M	355	450
		S420M	420	500
		S460M	460	530
建筑用冷轧钢板	ISO4997	CR220	220	300
		CR250	250	330
		CR320	320	400

(续)

钢材类型	标准	等级	屈服强度 $\sigma_s$ / (N/mm <sup>2</sup> )	抗拉强度 (或极限正应力) $\sigma_u$ / (N/mm <sup>2</sup> )
建筑用连续热浸镀锌 碳钢板	EN10147	FeE220G	220	300
		FeE250G	250	330
		FeE280G	280	360
		FeE320G	320	390
		FeE350G	350	420
高屈服强度建筑用冷 轧钢板	预备稿 EN10149: 部 分 2	S315MC	315	390
		S355MC	355	430
		S420MC	420	480
		S460MC	460	520
		S500MC	500	550
		S550MC	550	600
	预备稿 EN10149: 部 分 3	S260NC	260	370
		S315NC	315	430
		S355NC	355	470
		S420NC	420	530

$\sigma_{sa}$ 可作为荷载支撑能力。幸运的是,对设计者来说,3.1.2章可以简化为:基本屈服强度名义值  $\sigma_{sb}$  可以作为屈服强度应用在任何地方 (因此公式中的  $\sigma_{sb}$  均写可作  $\sigma_s$ )。这是可以证明的,因为平均比值  $\sigma_{sa}/\sigma_{sb} \approx 1.05$ 。薄壁构件的名义屈服强度  $\sigma_{sb}$  范围在  $200 \sim 400 \text{ N/mm}^2$ ,而且国际上正趋向于使用更强的钢材,如澳大利亚已经在使用屈服强度为  $550 \text{ N/mm}^2$  的建筑用钢,使单位建筑面积的用钢量降低了一半还多。

当前国际上常用的低层轻钢骨架住宅建筑用钢与国产钢材规格等级对照详见表 2.1-2。

表 2.1-2 低层轻钢骨架住宅建筑用钢

等级	屈服强度 $\sigma_s$	
	$k_{si}$	N/mm <sup>2</sup>
Q235	33	228
	34	235
Q345	50	345

其他有关冷轧薄壁轻钢构件设计的材料特性对设计者来说很熟悉,详见表 2.1-3。

表 2.1-3 钢材的材料特性特性指标

弹性模数	剪切模数	线胀系数	密度	泊松比
E	G	$\alpha$	$\rho$	$\nu$
N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	(以每℃计)	kg/cm <sup>3</sup>	
203000	77900	$12 \times 10^{-6}$	7850	0.3

ENV1993-1-3 规范草案仅适用于名义中心厚度为  $1.0\text{mm} < t_{\text{cor}} < 8.0\text{mm}$  的构件。材料厚度条件变化为  $0.9\text{mm} < t_{\text{cor}} < 12.0\text{mm}$ 。名义中心厚度通常取  $t_{\text{cor}} = t_{\text{nom}} - t_{\text{zin}}$ ,  $t_{\text{nom}}$  是名义薄板厚度,  $t_{\text{zin}}$  镀锌层厚度 (普通镀层 Z275  $t_{\text{zin}} = 0.04\text{mm}$ )。

应该根据正规的良好习惯去计算截面特性, 但由于横截面形状复杂, 大多数情况下需要近似求解, 按指定的形状和大开口名义尺寸来确定总截面特性。根据欧洲规范 3.3.3 章特别条款, 净面积等于总面积减去其他开口和所有扣件孔面积。由于冷轧, 薄壁构件的拐角是圆形。根据设计规范, 内圆半径为  $r \leq 5t$  和  $r \leq 0.15b_p$  时都忽略圆角对截面特性的影响, 也就是用尖角替换圆角进行计算。根据设计规范, 拐角处的纯平宽度  $b_p$  的定义详见图 2.2-1。如果超出了上面的限制, 需要考虑圆角对截面特性的影响。要想足够准确, 则需根据以下公式, 减去与尖角 (下角 “sh”) 相等的横截面的截面特性:

$$A_g \approx A_{g,\text{sh}}(1 - \delta) \quad (3.1a)$$

$$I_g \approx I_{g,\text{sh}}(1 - 2\delta) \quad (3.1b)$$

$$I_w \approx I_{w,\text{sh}}(1 - 4\delta) \quad (3.1c)$$

式中  $A_g$ ——总截面积;

$I_g$ ——总截面积的第二弯矩面积;

$I_w$ ——总截面积的翘曲常数;

$\delta$ ——取决于板要素数量  $m$  的系数, 每个弯曲要素的数量  $n$ , 弯曲要素的内圆  $r_i$  和实际平直宽度  $b_{pi}$ , 计算公式如下:

$$\delta = 0.43 \sum r_i / \sum b_{pi} \quad (3.1)$$

计算有效截面特性时可以用该近似公式。由于选择受限, 一般圆角通常都按尖角处理。

为了在设计计算中应用设计规范 ENV1991-1-3, 不同部分横截面的宽厚比不能超出表 2.1-4 规定的范围。总之, 他们呈现的这些极薄平板范围, 可以使设计者自由处理横截面的形状构造。然而, 需提供足够的加强肋, 避免加强肋自己首先失稳的条件是:

$$0.2 \leq c/b \leq 0.6$$

对于边缘加强肋, 避免加强肋自己首先失稳的条件是:

$$0.1 \leq d/b \leq 0.3$$

图 2.1-1 为纯理论宽度定义简图, 其中:

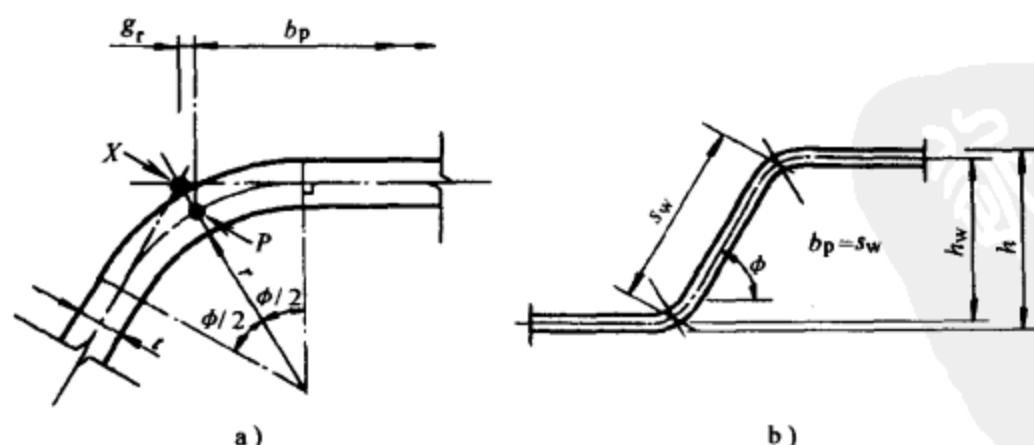


图 2.1-1 纯理论宽度定义

a) 拐角或弯曲中点 b) 腹板纯平宽度  $b_p$  ( $b_p = \text{斜高 } s_w$ )

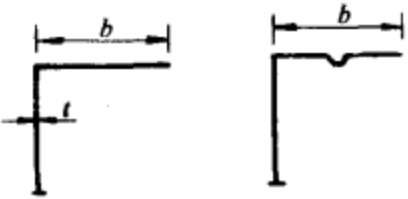
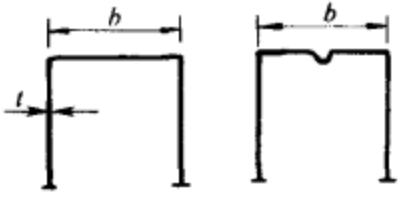
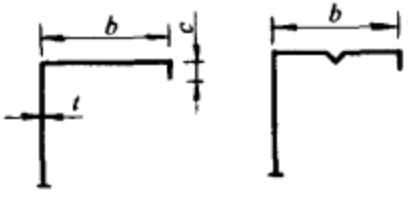
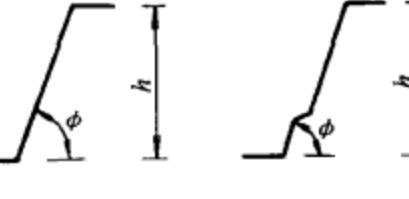
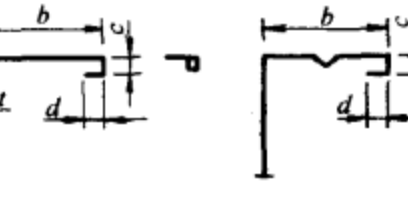
X 是中心线交叉点；

P 是拐角中点；

$$r_m = r + t/2$$

$$g_r = r_m [\tan(\phi/2) - \sin(\phi/2)]。$$

表 2.1-4 平板的最大宽厚比

横截面要素	最大值	横截面要素	最大值
	$b/t \leq 50$		$b/t \leq 500$
	$b/t \leq 60$		$45^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$ $h/t \leq 500 \sin \phi$
	$b/t \leq 90$		

## 第二节 局部失稳

薄壁构件设计最本质的特征之一就是横截面的局部失稳。发生局部失稳会影响到构件的设计强度和硬度。可以用趋于局部失稳的独立要素的有效宽度和有效厚度概念来计算有效横截面特性。计算方法取决于不同要素的应力水平和分配情况。规范 ENV1993-1-C1.4.1 (4-6) 规定，只有验证时才用屈服应力  $\sigma_s$  (比较安全的) 来计算极限抵抗，实际应力大小是用适用性限制规定的荷载来计算。这样，受压边没有加强肋的平板要素有效宽度计算的基本公式就可以用通式给出。根据 ENV 规范综合要求

$$\text{当 } \lambda_p \leq 0.673 \quad \rho = 1 \quad (4.1a)$$

$$\text{当 } \lambda_p > 0.673 \quad \rho = (\lambda_p - 0.22) / \lambda_p^2 \quad (4.1b)$$

$$\lambda_p = (\sigma_c / \sigma_{el})^{1/2} = 1.052 (b_p / t) (\sigma_c / E / k_\sigma)^{1/2} \quad (4.1c)$$

$$\sigma_{el} = k_\sigma \pi^2 E / 12 (1 - \nu^2) / (b_p / t)^2 \quad (4.1d)$$

式中  $\rho$ ——宽度缩减系数；

$\lambda_p$ ——苗条系数；

$b_p$ ——宽度；

$\sigma_c$ ——要素最大受压应力；

$\nu$ ——泊松比；

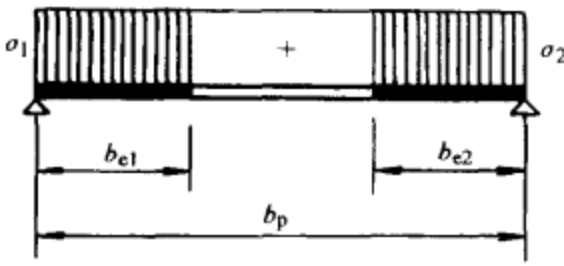
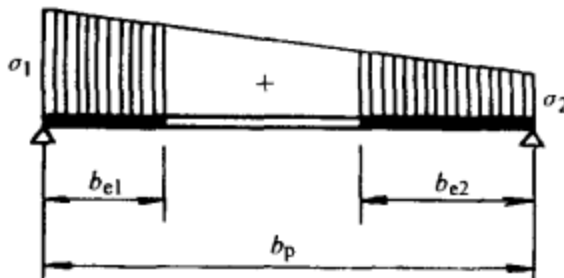
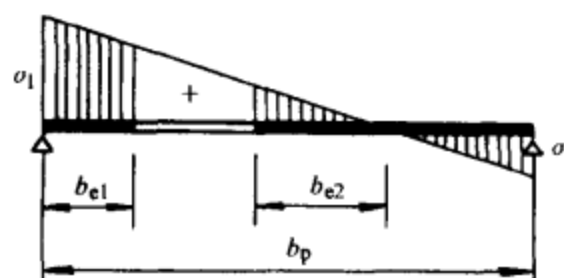
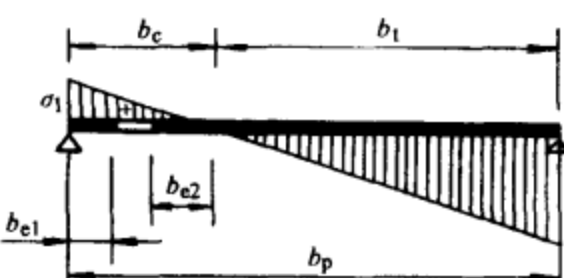
$k_o$ ——失稳系数。

对受压构件， $\sigma_c$  通常是基于全部（弯曲或弯扭）失稳的设计应力（ $\sigma_s$ ）。

对受弯构件， $\sigma_c$  通常是侧向失稳的设计应力（ $\sigma_s$ ）。

在特殊情况下，在受压或受弯时， $\sigma_c$  其实就是  $\sigma_s$  值。明显可见，安全简化后，总是建议用  $\sigma_c = \sigma_s$ ，以避免反复。内侧受压要素是根据表 2.2-1 确定缩减系数  $\rho$ ，外侧（悬臂）受压要素是根据表 2.2-2 确定缩减系数  $\rho$ 。

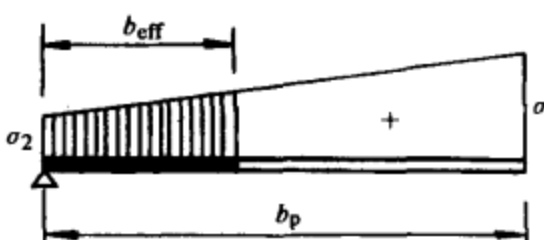
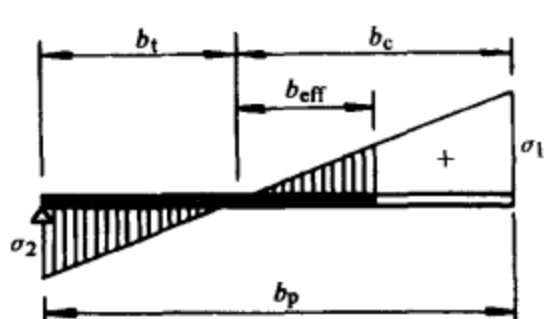
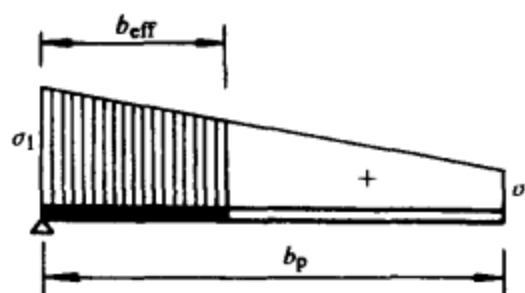
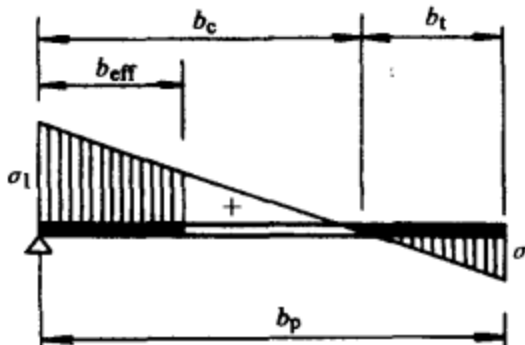
表 2.2-1 确定内侧板范围的有效宽度

应力分布（正压力）		有效宽度 $b_{\text{eff}}$				
	$\psi = 1$ $b_{\text{eff}} = \rho b_p$ $b_{e1} = 0.5 b_{\text{eff}}$ $b_{e2} = 0.5 b_{\text{eff}}$					
	$1 > \psi \geq 0$ $b_{\text{eff}} = \rho b_p$ $b_{e1} = 2 b_{\text{eff}} / (5 - \psi)$ $b_{e2} = b_{\text{eff}} - b_{e1}$					
	$0 > \psi \geq -1$ $b_{\text{eff}} = b_c$ $b_{e1} = 0.4 b_{\text{eff}}$ $b_{e2} = 0.6 b_{\text{eff}}$					
	$\psi < -1$ $b_{\text{eff}} = \rho b_c$ $b_{e1} = 0.4 b_{\text{eff}}$ $b_{e2} = 0.6 b_{\text{eff}}$					
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1	$-1 > \psi > -3$
失稳系数 $k_o$	4.0	$8.2 / (1.05 + \psi)$	7.81	$7.81 - 6.29\psi + 9.78\psi^2$	23.9	$5.98 (1 - \psi)^2$

当  $1 \geq \psi \geq -1$ ，可以取：

$$k_o = 16 / \{ [ (1 + \psi)^2 + 0.112 (1 - \psi)^2 ]^{0.5} + (1 + \psi) \}$$

表 2.2-2 确定外侧（悬臂）板范围的有效宽度

压力分布（正压力）		有效宽度 $b_{eff}$			
		$+1 > \psi \geq 0$ $b_{eff} = \rho b_p$			
		$\psi < 0$ $b_{eff} = \rho b_c$			
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	0	-1	$+1 \geq \psi \geq -1$	
失稳系数 $k_o$	0.43	0.57	0.85	$0.57 - 0.21\psi + 0.07\psi^2$	
		$+1 > \psi \geq 0$ : $b_{eff} = \rho b_b$			
		$\psi < 0$ : $b_{eff} = \rho b_c$			
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	+1	$+1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1
失稳系数 $k_o$	0.43	$0.578 / (\psi + 0.34)$	1.70	$1.70 - 5\psi + 17.1\psi^2$	23.8

设计加强肋要素是基于假定加强肋自己作为一个梁在弹性基础上工作。基础的弹性类似于弹簧，硬度取决于板要素临近部分的弯曲硬度和要素的边界条件。一个板范围需要的基本形式的弹性系统分析表明在表 2.2-3 中。两个简单的确定弹性刚度的情况表明在图 2.2-1

中。例如，一个加强肋情况，单位长度基础的弹性刚度  $k$  可以按下式确定：

$$k = u/\delta \quad (4.2)$$

式中  $\delta$ ——由于单位荷载  $u$  产生加强肋挠度；

表 2.2-3 横截面要素的模型

要素形式	模型	要素形式	模型

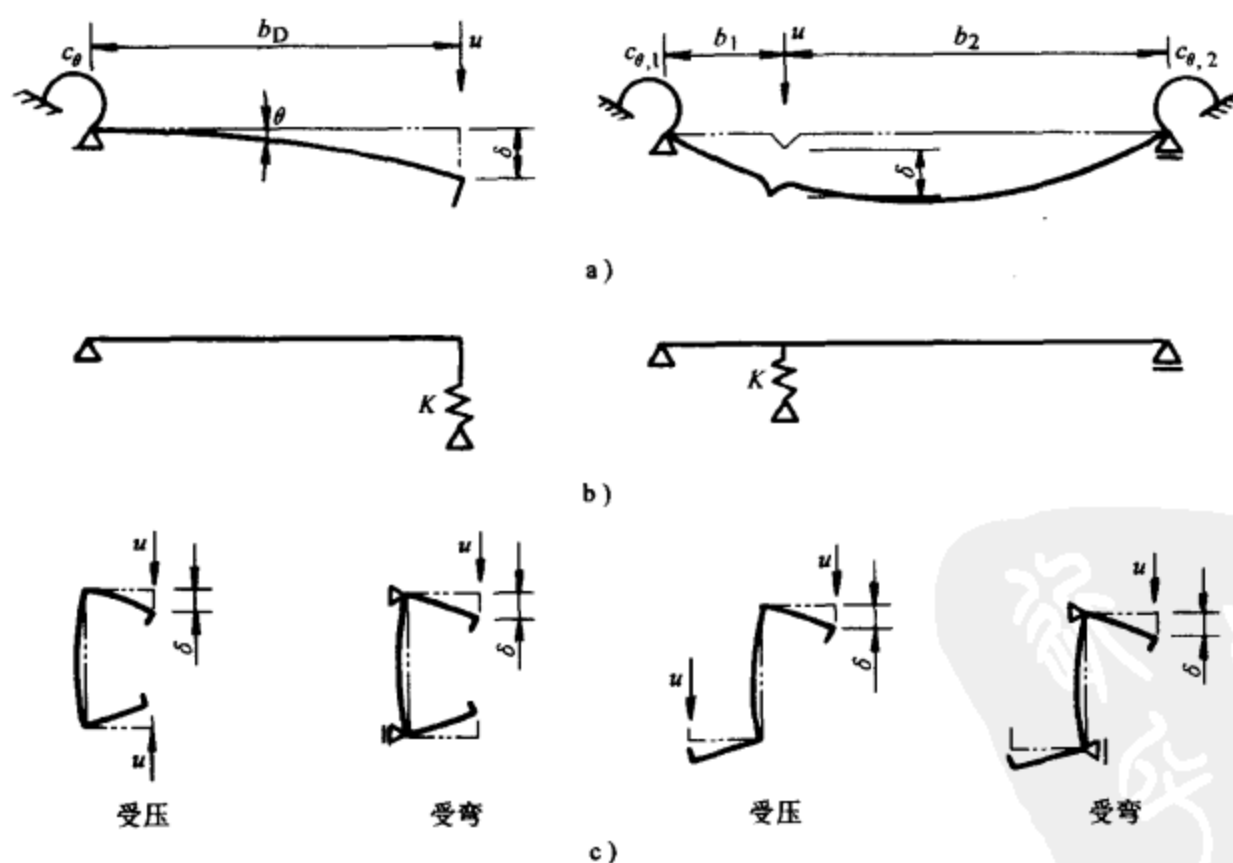


图 2.2-1 两个简单的弹性刚度确定情况

a) 实际系统 b) 等效系统 c) C型和Z型截面的  $\delta$  值计算

$$\delta = Qb_p + ub_p^3/[3.12(1 - \nu^2)/(Et^3)] \quad (4.3)$$

对于典型的复杂任务, 没有在规范中表明如何严密计算转动弹性常数  $C_Q$ ,  $Q$  的计算公式如下:

$$Q = ub_p^3/C_Q$$

弹性刚度  $k$  可以用来计算临界弹性失稳应力  $\sigma_{crs}$ :

$$\sigma_{crs} = 2[(kEI_s)/A_s]^{1/2} \quad (4.4)$$

式中  $I_s$ ——发生在刚性加强后的有效面积  $A_s$  上的有效第二弯矩。

在这一简单方法里,  $I_s$  和  $A_s$  被全部横截面尺寸取代, 简化为一般法则来计算弹性屈服力。根据规范, 在实际设计中将他们简化后来确定加强肋的有效厚度  $t_{eff}$ 。因此, 简单、保守的方法就出来了:

$$t_{eff} = \chi_s t \quad (4.5)$$

式中  $\chi_s$ ——梁在弹性基础上的失稳衰减系数, 根据失稳曲线确定的系数  $a_0$  ( $\alpha = 0.13$ , 见图 2.3-1)。

计算公式如下:

$$\begin{aligned} \text{当} \quad & \lambda_s \leq 0.2 \\ \text{则} \quad & \chi_s = 1 \end{aligned} \quad (4.6a)$$

$$\begin{aligned} \text{当} \quad & \lambda_s \geq 0.2 \\ \text{则} \quad & \chi_s = 1/[\phi + (\phi^2 - \lambda_s^2)^{1/2}] \end{aligned} \quad (4.6b)$$

$$\lambda_s = (\sigma_c/\sigma_{crs})^{1/2} \quad (4.6c)$$

$$\phi = 0.5[1 + \alpha(\lambda - 0.2) + \lambda_s^2] \quad (4.6d)$$

可以将扭曲失稳考虑为局部失稳。这种失稳模式包含在 ENV1993-1-3 第 6 款中, 该条款也介绍了全部失稳设计规定。在设计规范中, 只能定性处理扭曲失稳, 并没有任何公式可用。但暗含了某种意思, 就是设计需要这种失稳模式时, 可用有限元法 (FEA) 来分析。然而, 对于一个有刃口或有内部加强肋的截面, 根据规范, 可以简化加强肋, 对于扭曲失稳, 没有进一步的允许则是不能简化的。幸运的是, 扭曲失稳模式不太可能发生在具有正常尺寸的薄壁构件上。

### 第三节 横截面的局部承载力

#### 一、轴向拉伸

拉力  $N_{sd}$  不能超出相应的横截面承载力  $N_{tRd}$ :

$$N_{sd} \leq N_{tRd} = \sigma_s A_g / \gamma_{M0} \leq F_{nRd} \quad (5.1)$$

式中  $F_{nRd}$ ——取机械紧固件处的净截面承载力。

#### 二、轴向受压

压力  $N_{sd}$  不能超出相应的横截面承载力  $N_{cRd}$ :

$$\text{当} \quad A_{eff} = A_g$$

$$\text{则} \quad N_{sd} \leq N_{cRd} = \sigma_s A_g / \gamma_{M0} \quad (5.2a)$$

$$\text{当} \quad A_{eff} < A_g$$

$$N_{sd} \leq N_{cRd} = \sigma_s A_{eff} / \gamma_{M1} \quad (5.2b)$$

根据第4部分假定, 均匀压应力等于  $\sigma_s / \gamma_{M1}$ ,  $A_{eff}$  等于横截面积的有效面积。如果有效横截面的质心不与横截面质心重合, 由于计入了在压弯共同作用下的重心轴发生的位移  $e_N$ , 会有附加弯矩 ( $N_{sd} \cdot e_N$ ), 然而许多参考资料通常都将这些影响忽略掉了。

### 三、弯矩

设计弯矩值  $M_{sd}$  不能超出相应的横截面承载弯矩  $M_{cRd}$ :

$$\text{当} \quad W_{eff} = W_{el}$$

$$M_{sd} \leq M_{cRd} = \sigma_s W_{el} / \gamma_{M0} \quad (5.3a)$$

$$\text{当} \quad W_{eff} < W_{el}$$

$$M_{sd} \leq M_{cRd} = \sigma_s W_{eff} / \gamma_{M1} \quad (5.3b)$$

在纯弯矩作用下, 公式中  $W_{eff}$  为横截面的有效截面模数, 其相应的主轴最大屈服应力等于  $\sigma_s / \gamma_{M1}$ 。如果允许相应的 (实际不会) 剪力滞后作用, 就产生有效宽度。如果不允许横截面部分屈服, 弯曲应力分布将是线性的。在单一轴向弯曲, 通常可以利用受拉区域的塑性回弹, 而没有过多的限制。通常很难利用受压区域的塑性回弹, 因为几个条件都会遇到。在规范 ENV19913-1-3 中已经解释过处理弯曲横截面的程序。对于双轴弯曲, 可以使用下面的规定:

$$M_{ySd} / M_{cyRd} + M_{zSd} / M_{czRd} \leq 1 \quad (5.4)$$

式中  $M_{ySd}$ ,  $M_{zSd}$ ——施加在主轴 Y 和主轴 Z 上的弯矩;

$M_{cyRd}$ ,  $M_{czRd}$ ——只受主轴或次轴弯矩影响的横截面的承载弯矩。

### 四、受拉、受压和弯曲组合

横截面受组合的轴向拉力  $N_{sd}$ 、弯矩  $M_{ySd}$  和  $M_{zSd}$  需满足条件如下:

$$N_{sd} / (\sigma_s A_g / \gamma_M) + M_{ySd} / (\sigma_s W_{effyten} / \gamma_M) + M_{zSd} / (\sigma_s W_{effzten} / \gamma_M) \leq 1 \quad (5.5)$$

式中  $\gamma_M$ —— $\gamma_M = \gamma_{M0}$  或  $\gamma_M = \gamma_{M1}$ , 它取决于  $W_{eff}$  是否等于或不等于每个弯矩作用轴的  $W_{el}$ ;

$W_{effyten}$  和  $W_{effzten}$ ——有效截面模数, 只适合于 Y 轴和 X 轴上的弯矩产生的最大拉应力。

可以采用欧洲规范 ENV 中另一个附加评判标准, 即相对最大压应力的截面模数需满足:

$$W_{effycom} \geq W_{effyten}$$

或

$$W_{effzcom} \geq W_{effzten}$$

基于欧洲规范 ENV1993-1-1, 该评判标准与矢量影响有关。

压力  $N_{sd}$  和弯矩  $M_{ySd}$  和  $M_{zSd}$  组合轴横截面需满足以下条件:

$$N_{sd} / (\sigma_s A_{eff} / \gamma_M) + M_{ySd} / (\sigma_s W_{effycom} / \gamma_M) + M_{zSd} / (\sigma_s W_{effzcom} / \gamma_M) \leq 1 \quad (5.6)$$

式中  $\gamma_M$ —— $\gamma_M = \gamma_{M0}$  (当  $A_{eff} = A_g$ ), 否则  $\gamma_M = \gamma_{M1}$ 。

当

$$W_{effycom} \geq W_{effyten}$$

或

$$W_{\text{effzcom}} \geq W_{\text{effzten}}$$

需再次应用附加评判标准。在这种场合,需参考基本钢铁规范 ENV1993-1-1 中的矢量影响概念。简单扼要地说,就是上面关于弯矩的表达式中包含了重心轴潜在位移的附加弯矩。

## 五、扭转

好的薄壁开口构件设计习惯,是需要避免扭转影响,尽量采取遏制扭转的手段或选用理想的横截面形状。如果施加的荷载偏离横截面的剪力中心,扭转影响将肯定发生。如同横截面的剪力中心一样,是根据弯矩而产生的有效横截面来定义质心。如果设计问题不会如此复杂,则可以采用下面的评判标准:

$$\sigma_{\text{tot}} = \sigma_N + \sigma_{My} + \sigma_{Mz} + \sigma_w \leq \sigma_s / \gamma_M \quad (5.7a)$$

$$\tau_{\text{tot}} = \tau_{Vy} + \tau_{Vz} + \tau_t + \tau_w \leq (\sigma_s / 3^{1/2}) / \gamma_{M0} \quad (5.7b)$$

$$(\sigma_{\text{tot}2} + 3\tau_{\text{tot}2})^{1/2} \leq 1.1\sigma_s / \gamma_M \quad (5.7c)$$

式中  $\sigma_{\text{tot}}$ ——直接应力总和,设计应力是由轴向力产生的  $\sigma_N$ , Y 轴和 Z 轴弯矩产生的  $\sigma_{My}$ 、 $\sigma_{Mz}$  和翘曲产生的  $\sigma_w$  组成;

$\tau_{\text{tot}}$ ——全部剪应力,设计应力是由沿着 Y 轴和 Z 轴的剪力产生的  $\tau_{Vy}$  和  $\tau_{Vz}$ 、均匀扭转 (St. Venant) 产生的  $\tau_t$  和由翘曲产生的  $\tau_w$  组成;

$\gamma_M$ —— $\gamma_M = \gamma_{M0}$  (当  $W_{\text{eff}} = W_{\text{el}}$ ), 否则,  $\gamma_M = \gamma_{M1}$ 。

请注意,直接应力组成是合成了基于各自有效横截面的  $N_{\text{Sd}}$ 、 $M_{y\text{Sd}}$ 、 $M_{z\text{Sd}}$  和所有其他应力成分,即由于横向剪力、均匀扭转 (St. Venant) 和翘曲产生的剪应力组成。如同翘曲一样,直接应力是基于总的横截面特性。

## 六、剪力

设计剪力值  $V_{\text{sd}}$  不得超出相应的横截面的抗剪承载力,该值取最小的剪力失稳承载力  $V_{\text{bRd}}$  或塑性抗剪承载力  $V_{\text{plRd}}$ 。稍后将校核以下情况:

$$\text{当} \quad \lambda_w \leq 0.83 (f_{\text{vb}}/f_v) (\gamma_{M0}/\gamma_{M1}) = 0.83$$

$$\text{则} \quad V_{\text{plRd}} = (h_w / \sin \phi) t (\sigma_s / 3^{1/2}) / \gamma_{M0} \quad (5.8)$$

式中  $h_w$ ——边缘中心线之间的腹板高度;

$\phi$ ——腹板相对于边缘的斜度,见图 2-2.1。

抗剪失稳承载力  $V_{\text{bRd}}$  按下式计算:

$$V_{\text{bRd}} = (h_w / \sin \phi) t f_{\text{bv}} / \gamma_{M1} \quad (5.9)$$

式中  $f_{\text{bv}}$ ——抗剪失稳强度,取决于腹板的相对苗条系数  $\lambda_w$  和根据 ENV1993-1-3 表 5.2 确定的支撑处硬度值大小。

没有纵向加强肋的腹板相对苗条系数  $\lambda_w$  按下式计算:

$$\lambda_w = 0.346 (h_w / \sin \phi) / t (\sigma_s / E)^{1/2}$$

## 七、局部横向力

为避免腹板在边缘传递过来的支撑反力或其他局部横向力 (简单的说,就是集中荷载)

的作用下而变形、断裂或失稳，集中荷载  $F_{sd}$  需满足下式：

$$F_{sd} \leq R_{wRd} \quad (5.10)$$

式中  $R_{wRd}$ ——腹板的局部横向承载强度。

如果穿过一个夹板施加集中荷载，该设计就能经受住荷载并能防止腹板扭曲，就不需要校核集中荷载的承载能力。薄壁构件通常都是根据 ENV1993-1-3 第 5.9.2 章设计集中荷载。用于单个无加强肋腹板情况下的承载公式，需根据集中荷载的数量（一个或两个）、位置和支撑长度来定。另外，承载能力也取决于几何尺寸（ $h_w$ ,  $t$ ,  $r$  和  $\phi$ ）和腹板材料（ $\sigma_s/\gamma_{M1}$ ）。在两个无加强肋腹板条件下，虽然有些参数会影响集中荷载承载，但方法却完全不同。由于这样，最好用一个带辅助参数的公式。对于加强腹板，这个公式应用起来较为模糊，以至集中荷载承载能力的评估背景完全经验化了。

## 八、组合力

受弯矩  $M_{sd}$  和剪力  $V_{sd}$  共同作用的横截面校核条件如下：

$$(M_{sd}/M_{cRd})^2 + (V_{sd}/V_{wRd})^2 \leq 1 \quad (5.11)$$

式中  $M_{cRd}$ ——横截面的承载弯矩；

$V_{wRd}$ ——腹板的抗剪能力；

受弯矩  $M_{sd}$  和集中荷载  $F_{sd}$  共同作用的横截面校核条件如下：

$$M_{sd}/M_{cRd} \leq 1 \quad (5.12a)$$

$$F_{sd}/R_{wRd} \leq 1 \quad (5.12b)$$

$$M_{sd}/M_{cRd} + F_{sd}/R_{wRd} \leq 1.25 \quad (5.12c)$$

式中  $R_{wRd}$ ——腹板的局部横向承载强度，是腹板抵抗集中荷载的能力。

## 第四节 构件整体失稳承载能力

### 一、轴向受压

如果荷载点与均匀受压的有效截面的质心重合，构件则为同心受压。当轴向压力为  $N_{bRd}$ ，压力设计值  $N_{sd}$  不得超出设计失稳承载值：

$$N_{sd} \leq N_{bRd} = \chi A_{eff} \sigma_s / \gamma_{M1} \quad (6.1)$$

式中  $A_{eff}$ ——横截面的有效面积，是根据 ENV1993-1-3，基于均匀压应力为  $\sigma_s/\gamma_{M1}$  计算出的；

$\chi$ ——失稳承载能力缩减系数。

$$\chi = \min(\chi_y, \chi_z, \chi_T, \chi_{TF}) \quad (6.2)$$

式中，下标  $y$ ,  $z$ ,  $T$  和  $TF$  表示不同的失稳形式，即构件对  $y$  轴和  $z$  轴的弯曲失稳、扭转和扭弯失稳。系数  $\chi$  是根据 ENV1993-1-3 第 6.2.1 章的公式计算：

$$\begin{aligned} \text{当} & \lambda \leq 0.2 \\ \text{则} & \chi = 1 \\ \text{当} & \lambda > 0.2 \end{aligned} \quad (6.3a)$$

$$\chi = 1 / [\phi + (\phi^2 - \lambda^2)^{1/2}] \quad (6.3b)$$

$$\lambda = (f_y / \sigma_{cr})^{1/2} \quad (6.3c)$$

$$\phi = 0.5[1 + \alpha(\lambda - 0.2) + \lambda^2] \quad (6.3d)$$

式中  $\alpha$ ——不完整系数，从失稳曲线查得；

$\lambda$ ——相对苗条系数，与失稳模式有关。

不完整系数  $\alpha$

失稳曲线	$\alpha_0$	a	b	c
$\alpha$	0.13	0.21	0.34	0.49

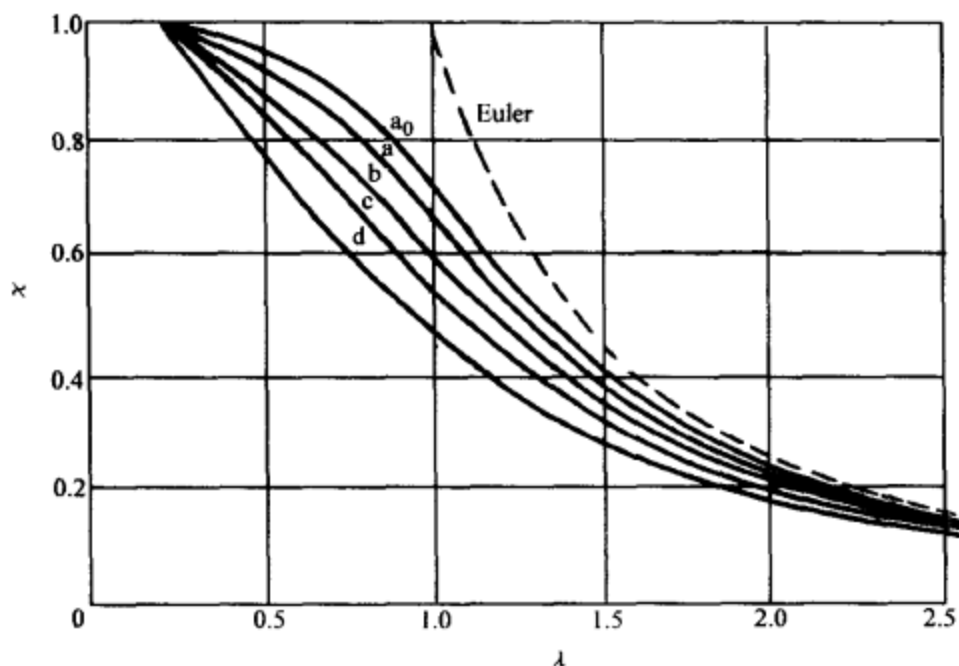


图 2.4-1 不同的失稳曲线和相应不完整系数

在图 2.4-1 中表明了不同失稳曲线的  $\chi$  与  $\lambda$  的相互关系，以及相应的  $\alpha$  值。可以从 ENV1993-1-3 表 6.2 获得失稳曲线。在表 6.2 中选择横截面类型是很有限的。然而，对任何横截面来说，都可以用类推法从表中获得正确的失稳曲线。由表中得出结论，对典型的 C 型钢和帽沿型截面情况，两个主轴弯曲失稳的欧洲失稳曲线将选择 b ( $\alpha = 0.34$ )。其他截面需选择失稳曲线 c ( $\alpha = 0.49$ )。在扭转和弯扭失稳模式，不管开口横截面的类型，都选择失稳曲线 b。任何模式的临界失稳应力都是按惯例，用规范 ENV1993-1-3 的公式确定。这些临界失稳应力的公式更适合日常工作，特别是可以用来计算总的横截面特性 ( $I_y$ ,  $I_z$ ,  $I_t$ ,  $I_w$  等)。自然，对于复杂的横截面或支撑条件情况，就需要用手册或较先进的方法了。设计中的一个可能问题是在扭转发生时确定失稳长度，在构件的每一端遏制扭转和翘曲程度。

## 二、构件弯曲时的侧向扭转失稳

弯矩设计值  $M_{sd}$  不得超出构件的设计侧向扭转失稳承载弯矩  $M_{bRd}$ ：

$$M_{sd} \leq M_{bRd} = \chi_{LT} W_{eff} \sigma_s / \gamma_{M1} \quad (6.4)$$

式中  $W_{eff}$ ——有效截面模数，根据规范 ENV1993-1-3，由应力  $\sigma_s / \gamma_{M1}$  或  $\chi_{LT} \sigma_s$  计算出的相应轴的弯曲有效截面模数。

$\chi_{LT}$ ——侧向失稳缩减系数，类似于压力荷载，是依靠失稳曲线 a ( $\alpha_{LT} = 0.21$ ) 计算的侧向失稳缩减系数。

$$\begin{aligned} \text{当} \quad & \lambda_{LT} \leq 0.4 \\ \text{则} \quad & \chi_{LT} = 1 \end{aligned} \quad (6.5a)$$

$$\begin{aligned} \text{当} \quad & \lambda_{LT} > 0.4 \\ \text{则} \quad & \chi_{LT} = 1 / [\phi_{LT} + (\phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2)^{1/2}] \end{aligned} \quad (6.6b)$$

$$\lambda_{LT} = (f_y / \sigma_{cr})^{1/2} \quad (6.6c)$$

$$\phi_{LT} = 0.5 [1 + \alpha_{LT}(\lambda_{LT} - 0.2) + \lambda_{LT}^2] \quad (6.6d)$$

式中  $\lambda_{LT}$ ——相对苗条系数，用弹性屈服应力  $\sigma_{cr}$  计算，该应力是理想侧向失稳弯矩  $M_{cr}$  和总横截面的截面模数的比值。

$M_{cr}$ ——弹性临界弯矩，也由未减少的横截面来确定。

单对称截面的临界弯矩  $M_{cry}$  公式是按正常失稳描述的，但是为了稳妥，临界弯矩  $M_{crz}$  的确定是按复合截面屈服问题处理的。

### 三、弯曲与轴向受压

除每个设计分力不能超出相应的设计承载能力之外，也需满足组合力条件。在整体失稳情况下，欧洲规范 ENV1993-1-3 额外又引入了相互作用的综合评判标准。对于实际的设计目的，一个较为熟悉的方法就是由 Salmi, P. 和 Talja, A 所描述的更为实用的组合弯曲和轴向受压条件：

$$N_{sd}/N_{bRd} + M_{ysd}/M_{yRd}/(1 - N_{sd}/N_{Ey}) + M_{zsd}/M_{zRd}/(1 - N_{sd}/N_{Ez}) \leq 1.0 \quad (6.7)$$

式中除了与标准欧拉弯曲失稳公式对应的弹性弯曲失稳力  $N_{Ey}$  和  $N_{Ez}$  外，其他代号前面已经描述过。另外，也可以通过计算分别得出和规范一致的有效横截面特性。自然，如果几个失效模式同时发生，承载能力要取最小值。再次重申，由于中性轴位移产生的附加弯矩需要加到弯矩中去。为了简单实用，通常可以忽略不计，在公式里不加附加弯矩。规范第 6.5 章周到地考虑了弯矩与轴向受压的相互作用，但是没有任何背景解释。

## 第五节 适用性限制规定

在欧洲设计规范 ENV1993-1-3 中，考虑到了适用性限制规定。给出了既有弹性变形又有塑性变形的特殊荷载组合法。在有效横截面特性的公式里要计入发生局部失稳的影响。然而，沿着由适当荷载对应的最大跨弯矩的跨长方向可能产生有效第二弯矩  $I_{eff}$ 。芬兰国家应用文本 NDA 有一个较为准确的描述，区域有效第二弯矩可按下式确定：

$$I_e = (2I_{ek} + I_{et})/3 \quad (7.1)$$

式中  $I_{ek}$  和  $I_{et}$ ——有效第二弯矩，根据最大跨弯矩和最大支撑弯矩的位置分别计算。

考虑到安全，可能选用最终限制规定弯矩。在结构的整体分析中对于最终限制规定，考虑塑性变形，要用到塑性理论。挠度计算是假定为线性弹性特性。在 ENV 规范草案中的挠度值被替代为不常用的限制值 ( $L/180$ )，芬兰国家应用文本 NDA 对不同厚度规格结构形式定义了合理限制。例如，适用性限制规范规定屋顶檩条的最大挠度为  $L/200$ ，墙檩条为  $L/150$ 。

## 第三章 当代材料力学研究成果简介

### 第一节 绪 言

国内目前出版的钢结构手册和教科书中并没有结构工程师有时需要的型钢的扭转截面特性。本章提供的一些公式是近年来国际钢结构材料行业的最新科学研究成果，用来计算结构型钢的扭转截面特性。

扭转截面特性包括 St. Venant 扭转常数  $J$ ，扭曲扭转常数  $C_w$ ，剪力中心位置  $y_0$  和单对称常数  $\beta_x$ 。对于空腔结构截面 (HSS)，还包括扭转常数  $C$  和剪力常数  $C_{RT}$ 。尽管剪力常数不属于扭转截面特性，但由于在一般文献中不宜找到，所以在此也作了介绍。

在此给出的一些公式并不复杂。像边缘到腹板的过渡圆角，圆角焊缝和斜坡（锥形）边缘在计算中都没有作考虑。同样，单对称形状的一些公式也是仅仅在一定范围内近似有效。如果需要，准确的计算可以在参考文献中找到。

每种截面形式都提供了简单的实例计算和图解。扭转理论的完整描述或扭转截面特性公式的详细来历超出了本书讨论的范围，所以只给出最终表达公式。更详细的资料可以在参考资料中找到。

### 第二节 型钢的扭转截面特性

#### 一、St. Venant 扭转常数

St. Venant 扭转常数  $J$  是用来衡量结构件抵抗恒定扭矩的能力。它是用来计算侧向无支撑梁的失稳弯矩和压杆构件扭转变曲失稳弯矩。

对于开口截面，1968 年 Galambos 给出了计算公式：

$$J = \sum (b't^3/3) \quad (3.2-1)$$

式中  $b'$ ——轴线交点之间的板长，单位为 mm；

$t$ ——板厚，单位 mm。

总和包括所有部分的板。从保守角度考虑，一般钢结构手册中的表格数据是用净板长替代交点长度。

这里给出的  $J$  表达式中没有考虑边缘到腹板的过渡，它对计算公式的影响分别由 El Darwish 和 Johnston 在 1965 年给出。

对于薄壁封闭截面，Salmon 和 Johnson 在 1980 年给出了计算公式：

$$J = (4A_0^2) / \left( \int_s d_s/t \right) \quad (3.2-2)$$

式中  $A_0$ ——壁围起来的面积，单位为  $\text{mm}^2$ ；

$t$ ——壁的厚度，单位为 mm；

$d_s$ ——沿着周边的长度单元，单位为 mm，综合起来超过全部周长  $S$ 。

## 二、扭曲扭转常数

扭曲扭转常数  $C_w$  是用来衡量结构件抵抗非恒定扭矩或扭曲扭矩的能力。它是用来计算侧向无支撑梁的抗弯弯矩和压杆构件扭转弯曲弯矩。

对于开口截面，普通的计算方法由 Galambos 已于 1968 年给出。对于所有构件板汇集在一个单一点上的截面，如单板或 T 型截面，计算方法由 Bleich 于 1952 年给出。对于空腔结构 (HSS)，扭曲变形很小，扭曲扭转常数一般取为 0。

## 三、剪力中心

剪力中心或扭曲中心是发生扭曲的横截面上的点。为了计算扭曲扭转常数和单对称常数，需要定位剪力中心。在剪力中心上下分别施加重力载荷时，也需要用它来确定其稳定或失稳效果 (SSRC 1998)。与剪力中心位置  $(x_0, y_0)$  相对应的是计算质心位置，计算方法由 Galambos 于 1968 年给出。

## 四、单对称常数

单对称常数  $\beta_x$  是用来计算在对称平面上施加载荷的侧向无支撑单对称梁的失稳弯矩。单对称截面就是相对垂直轴对称的截面，通式由加拿大结构稳定性研究委员会 (SSRC) 1998 年给出：

$$\beta_x = (1/I_x) \int_A y(x^2 + y^2) dA - 2y_0 \quad (3.2-3)$$

式中  $I_x$ ——对水平重心轴的转动惯量，单位为  $\text{mm}^4$ ；

$dA$ ——面积单元，单位为  $\text{mm}^2$ ；

$y_0$ ——质心到剪力中心的垂直位置，单位为 mm。

上述参数为全部横截面的综合性能。双对称截面的  $\beta_x$  值是 0。

## 五、空腔结构截面 (HSS) 扭矩常数

空腔结构截面 (HSS) 扭矩常数  $C$  是用来计算因扭矩产生的剪切应力，是用施加的扭矩  $T$  比上横截面上的剪应力  $\tau$  来表达：

$$C = T/\tau \quad (3.2-4)$$

式中  $T$ ——施加的扭矩，单位为  $\text{N}\cdot\text{m}$ ；

$\tau$ ——横截面上的剪应力，单位为 Pa。

## 六、空腔结构截面 (HSS) 剪力常数

空腔结构截面 (HSS) 剪力常数  $C_{RT}$  是用来计算因剪力产生的最大剪应力。

空腔截面横截面上的最大剪应力由下式给出：

$$\tau_{\max} = VQ/2tI \quad (3.2-5a)$$

式中  $V$ ——施加的剪力，单位为 kN；

$Q$ ——相对中性轴而言，靠近外侧中性轴部分的静弯矩，单位为  $N \cdot m$ ；

$I$ ——惯性矩，单位为  $m^4$ ；

$t$ ——壁厚度，单位为  $m$ 。

剪力常数是用施加的剪力比最大剪应力来表达 (Stelco 1981 年给出)：

$$C_{RT} = V / \tau_{\max} = 2tI / Q \quad (3.2-5b)$$

### 第三节 扭转截面特性参数实例计算

#### 一、开口横截面

##### 1. 工字钢

扭曲截面特性 (忽略边缘到腹板过渡部分)：

Galambos 于 1968 年给出了工字钢的 St. Venant 扭转常数  $J$  的计算公式。

$$J = (2bt^3 + d'w^3) / 3 \quad (3.3-1)$$

Galambos 于 1968 年，Picard 和 Beaulieu 于 1991 年分别给出了工字钢的扭曲扭转常数  $C_w$  的计算公式。

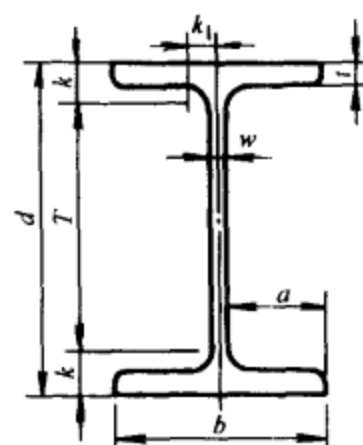
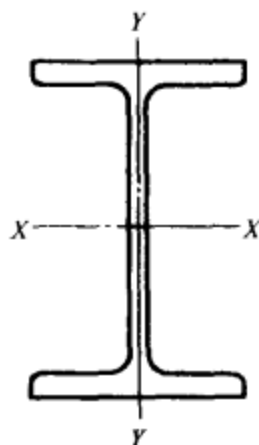


图 3.3-1

$$C_w = (d')^2 b^3 t / 24 \quad (3.3-2)$$

$$d' = d - t \quad (3.3-3)$$

举例计算：HN612×229

$d = 612\text{mm}$ ,  $b = 229\text{mm}$ ,  $t = 9.6\text{mm}$ ,  $w = 11.9\text{mm}$

$d' = d - t$

$= 612 - 9.6$

$= 592\text{mm}$

$J = (2bt^3 + d'w^3) / 3$

$= (2 \times 229 \times 9.6^3 + 592 \times 11.9^3) / 3$

$= 1480 \times 10^3 \text{mm}^4$

$C_w = [(d - t)^2 b^3 t] / 24$

$= [(612 - 9.6)^2 \times 229^3 \times 9.6] / 24$

$= 3440 \times 10^9 \text{mm}^6$

##### 2. 槽钢

扭曲截面特性 (忽略边缘斜度和边缘到腹板的过渡)：

加拿大结构稳定性研究委员会 (SSRC) 于 1998 年给出了槽钢的 St. Venant 扭转常数  $J$  的计算公式。

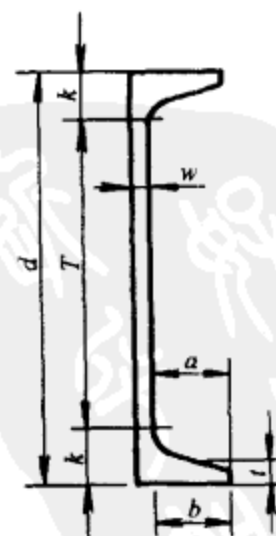
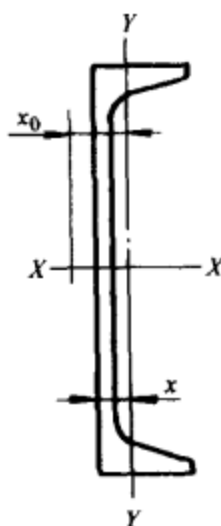


图 3.3-2

$$J = (2b't^3 + d'w^3) / 3 \quad (3.3-4)$$

Galambos 于 1968 年, 加拿大结构稳定性研究委员会 (SSRC) 于 1998 年分别给出了槽钢的扭曲扭转常数  $C_w$  的计算公式。

$$C_w = (d')^2 (b')^3 t \{ [(1-3\alpha)/6] + (\alpha^2/2) [1 + d'w/(6b't)] \} \quad (3.3-5)$$

$$\alpha = 1 / (2 + d'w/3b't) \quad (3.3-6)$$

$$d' = d - t, \quad b' = b - w/2 \quad (3.3-7)$$

剪力中心位置:

Galambos 于 1968 年, Seaburg 和 Carter 于 1997 年分别给出了槽钢的的剪力中心  $x_0$  的计算公式。

$$x_0 = x + b'\alpha - w/2 \quad (3.3-8)$$

举例计算: C305×74

$$d = 305\text{mm}, \quad b = 74\text{mm}, \quad t = 12.7\text{mm}, \quad w = 7.2\text{mm}$$

(实际边缘斜度 = 1/6, 为了简单, 假定斜度为 0)

$$d' = d - t$$

$$= (305 - 12.7)$$

$$= 292\text{mm}$$

$$b' = b - w/2$$

$$= 74 - 7.2/2$$

$$= 70.4\text{mm}$$

$$J = (2b't^3 + d'w^3) / 3$$

$$= (2 \times 70.4 \times 12.7^3 + 292 \times 7.2^3) / 3$$

$$= 132 \times 10^3 \text{mm}^4$$

$$\alpha = 1 / [2 + (d'w) / (3b't)]$$

$$= 1 / [2 + (292 \times 7.2) / (3 \times 70.4 \times 12.7)]$$

$$= 0.359$$

$$C_w = d'^2 b'^3 t \{ [(1-3\alpha)/6] + (\alpha^2/2) [1 + d'w/(6b't)] \}$$

$$= 292^2 \times 70.4^3 \times 12.7 \times \{ [(1-3 \times 0.359)/6]$$

$$+ (0.359^2/2) \times [1 + (292 \times 7.2) / (6 \times 70.4 \times 12.7)] \}$$

$$= 29.0 \times 10^9 \text{mm}^6$$

$$x = 17.5\text{mm} \text{ (公式未注明)}$$

$$x_0 = x + b'\alpha - w/2$$

$$= 17.5 + 70.4 \times 0.359 -$$

$$7.2/2$$

$$= 39.2\text{mm}$$

### 3. 角钢

扭曲截面特性 (忽略过渡):

$$J = (d' + b') t^3 / 3$$

(3.3-9)

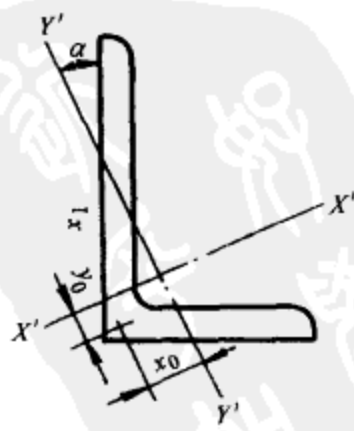
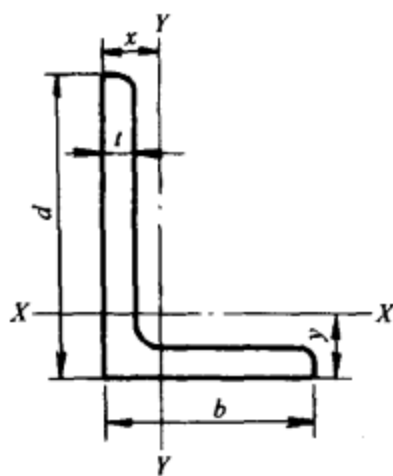


图 3.3-3

Bleich 于 1952 年, Picard 和 Beaulieu 于 1991 年分别给出了角钢的扭曲扭转常数  $C_w$  的计算公式。

$$C_w = (t^3/36) [(d')^3 + (b')^3] \quad (3.3-10)$$

$$d' = d - t/2, \quad b' = b - t/2 \quad (3.3-11)$$

角钢的扭曲扭转常数很小, 常常忽略。对于双角钢,  $J$  和  $C_w$  值取为单角钢的两倍。

剪力中心  $(x_0, y_0)$  位于角钢腿轴的交叉点。

举例计算: L203×102×13

$$d = 203\text{mm}, \quad b = 102\text{mm}, \quad t = 12.7\text{mm}$$

$$d' = d - t/2$$

$$= 203 - 12.7/2$$

$$= 197\text{mm}$$

$$b' = b - t/2$$

$$= 102 - 12.7/2$$

$$= 95.7\text{mm}$$

$$J = [(d' + b') t^3] / 3$$

$$= [(197 + 95.7) \times 12.7^3] / 3$$

$$= 200 \times 10^3 \text{mm}^4$$

$$C_w = (t^3/36) (d'^3 + b'^3)$$

$$= (12.7^3/36) \times (197^3 + 95.7^3)$$

$$= 0.485 \times 10^9 \text{mm}^6$$

#### 4. T 型截面

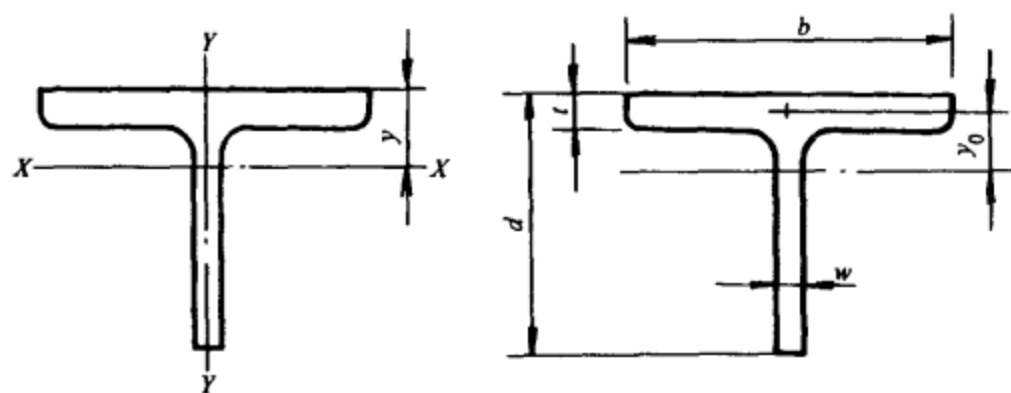


图 3.3-4

扭曲截面特性 (忽略边缘到腹板的过渡):

$$J = (bt^3 + d'w^3) / 3 \quad (3.3-12)$$

Bleich 于 1952 年, Picard 和 Beaulieu 于 1991 年分别给出了 T 型截面的扭曲扭转常数  $C_w$  的计算公式。

$$C_w = (b^3 t^3 / 144) + (d')^3 w^3 / 36 \quad (3.3-13)$$

$$d' = d - t/2 \quad (3.3-14)$$

T 型截面的扭转常数很小, 常常忽略。

剪力中心位于边缘和筋板轴的交叉点。

举例计算: TM200×300

$$d = 200\text{mm}, b = 300\text{mm}, t = 16\text{mm}, w = 10\text{mm}$$

$$d' = d - t/2$$

$$= 200 - 16/2$$

$$= 192\text{mm}$$

$$J = (bt^3 + d'w^3) / 3$$

$$= (300 \times 16^3 + 192 \times 10^3) / 3$$

$$= 474 \times 10^3 \text{mm}^4$$

$$C_w = [(b^3t^3) / 144] + (d'^3w^3) / 36]$$

$$= [(300^3 \times 16^3) / 144] + (192^3 \times 10^3) / 36]$$

$$= 965 \times 10^6 \text{mm}^6$$

### 5. 单对称不等边 H 型钢截面

扭曲截面特性 (忽略过渡焊缝):

加拿大结构稳定性研究委员会 (SSRC) 于 1998 年给出了单对称不等边 H 型钢的 St. Venant 扭转常数  $J$  的计算公式。

$$J = (b_1t_1^3 + b_2t_2^3 + d'w^3) / 3 \quad (3.3-15)$$

加拿大结构稳定性研究委员会 (SSRC) 于 1998 年, Picard 和 Beaulieu 于 1991 年分别给出了单对称不等边 H 型钢的扭曲扭转常数  $C_w$  的计算公式。

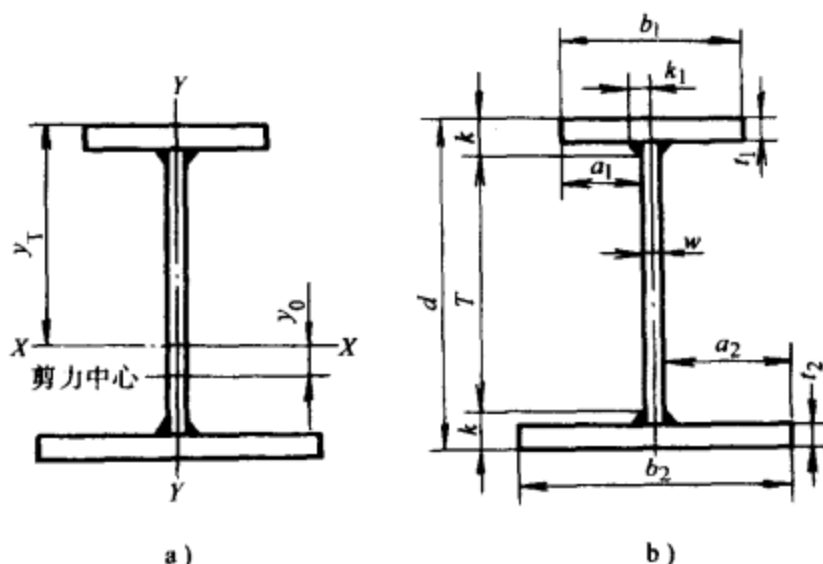


图 3.3-5

$$C_w = (d')^2 b_1^3 t_1 \alpha / 12 \quad (3.3-16)$$

$$\alpha = 1 / [1 + (b_1/b_2)^3 (t_1/t_2)] \quad (3.3-17)$$

$$d' = d - (t_1 + t_2) / 2 \quad (3.3-18)$$

下标“1”和“2”参考顶或底边, 分别标明在图 3.3-5b。

剪力中心位置:

Galambos 于 1968 年给出了单对称不等边 H 型钢的剪力中心  $y_0$  的计算公式。

$$y_0 = y_T - (t_1/2) - \alpha d' \quad (3.3-19)$$

根据式 (3.3-19) 计算符号  $y_0$ , 可以显示剪力中心高于 ( $y_0 > 0$ ) 或低于 ( $y_0 < 0$ ) 质心的位置。剪力中心一般位于质心和两个宽边之间。对于双对称截面, 由于质心和剪力中心重合, 所以  $y_0$  等于 0。

单对称常数:

Kitipornchai 和 Trahair 于 1980 年给出了单对称不等边 H 型钢的单对称常数  $\beta_x$  的计算公式。

$$\beta_x \approx 80.9 (2\rho - 1) d' [1 - (I_x/I_y)^2], I_x/I_y \leq 0.5 \quad (3.3-20)$$

$$\rho = (I_{yTOP}/I_y) = 1 - \alpha \quad (3.3-21)$$

式 (3.3-20) 是一个近似公式, 并且仅仅在  $I_y \leq 0.5I_x$  时有效, 这儿  $I_y$  和  $I_x$  分别为截面对垂直和水平重心轴的惯性矩。较准确的表达由加拿大结构稳定性研究委员会 (SSRC) 于 1998 年给出。

$\delta$  值取决于受压边缘:

$$\delta = \begin{cases} 1 & \text{如果顶缘受压} \\ -1 & \text{如果底缘受压} \end{cases} \quad (3.3-22)$$

通常, 当宽边受压, 从式 (3.3-20) 获得的  $\beta_x$  值是正值, 反之, 受拉时为负值时。

举例计算: WRF1200×244 顶缘受压

$$d = 1200\text{mm}, b_1 = 300\text{mm}, b_2 = 550\text{mm}, t_1 = t_2 = 20.0\text{mm}, w = 12.0\text{mm}$$

$$\begin{aligned} d' &= d - (t_1 + t_2) / 2 \\ &= 1200 - (20 + 20) / 2 \\ &= 1180\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha &= 1 / [1 + (b_1/b_2)^3 (t_1/t_2)] \\ &= 1 / [1 + (300/550)^3 \times (20/20)] \\ &= 0.860 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho &= 1 - \alpha \\ &= 1 - 0.860 \\ &= 0.140 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} J &= (b_1 t_1^3 + b_2 t_2^3 + d' w^3) / 3 \\ &= (300 \times 20^3 + 550 \times 20^3 + 1180 \times 12^3) / 3 \\ &= 2950 \times 10^3 \text{mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_w &= (d'^2 b_1^3 t_1 \alpha) / 12 \\ &= (1180^2 \times 300^3 \times 20 \times 0.860) / 12 \\ &= 53900 \times 10^9 \text{mm}^6 \end{aligned}$$

$$y_T = 695\text{mm} \text{ (没有标出计算公式}^\ominus\text{)}$$

$$\begin{aligned} y_0 &= y_T - (t_1/2) - \alpha d' \\ &= 695 - (20/2) - 0.860 \times 1180 \\ &= -330\text{mm} \end{aligned}$$

由于  $y_0$  为负值, 剪力中心位于质心和底缘之间。

$$I_x = 7240 \times 10^6 \text{mm}^4, I_y = 322 \times 10^6 \text{mm}^4 \text{ (没有标出计算公式}^\ominus\text{)}$$

$$\begin{aligned} I_y/I_x &= 322 \times 10^6 / 7240 \times 10^6 \\ &= 0.0445 < 0.5 \end{aligned}$$

⊖  $y_T$  要用类似第五章的表格法计算, 即  $y_T = y_{\text{eq}} = \sum (Ly) / \sum L$ 。

⊖  $I_y$  和  $I_x$  是按常规材料力学方法计算出来的, 即:

$$I_x = \sum I_{ix}, \text{其中 } I_{ix} = \int y^2 dA = I_{xc} + a^2 A$$

$$I_y = \sum I_{iy}, \text{其中 } I_{iy} = \int x^2 dA = I_{yc} + b^2 A$$

虽然其计算方法简单, 但推导出来的公式十分繁琐, 所以没有标出。

$$\delta = 1$$

$$\begin{aligned}\beta_x &\approx \delta 0.9 (2\rho - 1) d' [1 - (I_x/I_y)^2] \\ &= 1 \times 0.9 \times (2 \times 0.140 - 1) \times 1180 \times [1 - (0.0445)^2] \\ &= -763 \text{mm (顶缘是窄边并受压。)}\end{aligned}$$

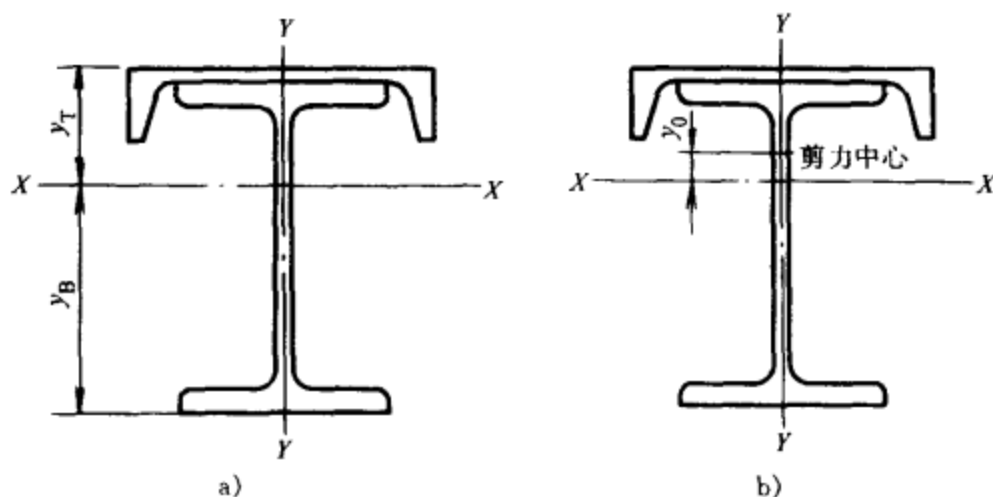


图 3.3-6

## 6. 工字钢与槽钢组合截面

扭矩截面特性 (忽略边缘到腹板的过渡):

保守计算的 St. Venant 扭转常数由下式给出:

$$J \approx J_w + J_c \quad (3.3-23)$$

下标 “w” 和 “c” 分别参见工字型钢和槽钢。J 值的精确表达式由 Ellifritt 和 Lue 在 1998 年给出。

剪力中心位置由 Kitipornchai 和 Trahair 于 1980 年给出:

$$y_0 = y_T - [(t_w + w_c)/2] - a + e \quad (3.3-24)$$

$$a = (1 - \rho) h \quad b = \rho h \quad (3.3-25)$$

$$\rho = [I_{y\text{TOP}} / (I_{y\text{TOP}} + I_{y\text{BOT}})] = I_{y\text{TOP}} / I_y \quad (3.3-26)$$

这儿  $I_{y\text{TOP}}$ ,  $I_{y\text{BOT}}$  和  $I_y$  分别对应为组合截面顶缘底缘 (槽钢加 H 型钢截面) 和全部组合截面对垂直轴的转动惯量。在顶缘的槽钢如图 3.3-6 所示, 从式 (3.3-24) 得到的  $y_0$  值是正值, 显示剪力中心位于质心上方。

顶缘和底缘剪力中心之间的距离由下式给出:

$$h = d_w - t_w + (w_c/2) + e \quad (3.3-27)$$

组合的顶缘剪力中心和槽钢腹板或 H 型钢顶缘中心线之间的距离, 是取作一个单板, 并由下式给出:

$$e = b_c^2 d_c^2 t_c / (4\rho I_y) \quad (3.3-28)$$

组合截面的扭曲扭转常数由 Kitipornchai 和 Trahair 于 1980 年给出:

$$C_w = a^2 I_{y\text{TOP}} + b^2 I_{y\text{BOT}} \quad (3.3-29)$$

一个简单的  $C_w$  计算公式是由 Ellifritt 和 Lue 在 1998 年给出。

单对称常数由 Kitipornchai 和 Trahair 于 1980 年给出:

$$\beta_x \approx \delta 0.9 (2\rho - 1) h [1 - (I_y/I_x)^2] [1 + b_c / (2d)], (I_y/I_x) \leq 0.5 \quad (3.3-30)$$

这儿  $d$  是组合截面深度:

$$d = d_w + w_c \quad (3.3-31)$$

式 (3.3-30) 是一个近似值, 仅仅在  $I_y \leq 0.5 I_x$  时有效, 这里  $I_x$  是组合截面对水平重心轴的转动惯量。更进一步简化的表达由 Ellifritt 和 Lue 在 1998 年给出。

举例计算: W610×125 和 C310×31

H 型钢: HN612×229

$$d_w = 612\text{mm}, b_w = 229\text{mm}, t_w = 19.6\text{mm}, w_w = 11.9\text{mm}$$

$$J_w = 1480 \times 10^3 \text{mm}^4 \quad (\text{见前面工字钢截面特性计算})$$

槽钢: C305×74

$$d_c = 305\text{mm}, b_c = 74\text{mm}, t_c = 12.7\text{mm}, w_c = 7.2\text{mm}$$

$$J_c = 132 \times 10^3 \text{mm}^4 \quad (\text{见前面槽钢截面特性计算})$$

组合截面, 顶缘受压:

$$\begin{aligned} J &\approx J_w + J_c \\ &= 1480 \times 10^3 + 132 \times 10^3 \\ &= 1610 \times 10^3 \text{mm}^4 \end{aligned}$$

$$y_T = 255\text{mm} \quad (\text{没有标出计算公式, 原因同前})$$

$$I_{y\text{TOP}} = 73.1 \times 10^6 \text{mm}^4 \quad (\text{没有标出计算公式, 原因同前})$$

$$I_{y\text{BOT}} = 19.6 \times 10^6 \text{mm}^4 \quad (\text{没有标出计算公式, 原因同前})$$

$$I_y = 92.7 \times 10^6 \text{mm}^4$$

$$\begin{aligned} \rho &= I_{y\text{TOP}} / I_y \\ &= 73.1 \times 10^6 / 92.7 \times 10^6 \\ &= 0.789 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e &= b_c^2 d_c^2 t_c / 4 \rho I_y \\ &= 74^2 \times 305^2 \times 12.7 / 4 \times 0.789 \times 92.7 \times 10^6 \\ &= 22.1\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h &= d_w - t_w + (w_c / 2) + e \\ &= 612 - 19.6 + (7.2 / 2) + 22.1 \\ &= 618\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= (1 - \rho) h \\ &= (1 - 0.789) \times 618 \\ &= 130\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b &= \rho h \\ &= 0.789 \times 618 \\ &= 488\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_0 &= y_T - [(t_w + w_c) / 2] - a + e \\ &= 255 - [(19.6 + 7.2) / 2] - 130 + 22.1 \\ &= 134\text{mm} \end{aligned}$$

由于  $y_0$  计算值为正, 剪力中心位于质心上方 (见图 3.3-6b)。

$$C_w = a^2 I_{y\text{TOP}} + b^2 I_{y\text{BOT}}$$

$$= 130^2 \times 73.1 \times 10^6 + 488^2 \times 19.6 \times 10^6$$

$$= 5900 \times 10^9 \text{ mm}^6$$

$$I_x = 1260 \times 10^6 \text{ mm}^4 \quad (\text{没有标出计算公式, 原因同前})$$

$$d = d_w + w_c$$

$$= 612 + 7.2$$

$$= 619 \text{ mm}$$

$$I_y/I_x = 92.7 \times 10^6 / 1260 \times 10^6$$

$$= 0.0736 < 0.5$$

$$\delta = 1 \quad (\text{顶缘受压})$$

$$\beta_x \approx \delta 0.9 (2\rho - 1) h [1 - (I_y/I_x)^2] (1 + b_c/2d)$$

$$= 1 \times 0.9 \times (2 \times 0.789 - 1) \times 618 \times [1 - 0.0736^2] \times (1 + 74/2 \times 619)$$

$$= 339 \text{ mm} \quad (\text{宽顶缘受压})$$

## 二、封闭横截面

### 1. 空腔结构截面 (HSS), 圆型

St. Venant 扭转常数  $J$  (任何壁厚均有效) 由 Stelco 于 1981 年, Seaburg 和 Carter 于 1997 年分别给出:

$$J = 2I = (\pi/32) [d^4 - (d - 2t)^4] \quad (3.3-32)$$

式中  $d$ ——外径, 单位为 mm;

$I$ ——转动惯量, 单位为  $\text{mm}^4$ ;

$t$ ——壁厚, 单位为 mm;

扭曲扭转常数  $C_w$  取为 0。

空腔结构截面 (HSS) 扭转常数  $C$  由 Stelco 于 1981 年, Seaburg 和 Carter 于 1997 年分别给出 (任何壁厚均有效):

$$C = 2J/d \quad (3.3-33a)$$

空腔结构截面 (HSS) 剪力常数  $C_{RT}$  由 Stelco 于 1981 年给出:

$$C_{RT} = 2tI/Q \quad (3.3-33b)$$

$$I = (\pi/64) [d^4 - (d - 2t)^4] \quad (3.3-34)$$

$$Q = (t/6) (3d^2 - 6dt + 4t^2) \quad (\text{Stelco 于 1981 年给出}) \quad (3.3-35)$$

举例计算: 空腔结构截面 (HSS)  $324 \times 9.5$

$$d = 324 \text{ mm}, \quad t = 9.53 \text{ mm}$$

$$J = 2I = (\pi/32) [d^4 - (d - 2t)^4]$$

$$= (\pi/32) [324^4 - (324 - 2 \times 9.53)^4]$$

$$= 233000 \times 10^3 \text{ mm}^4$$

$$I = (\pi/64) [d^4 - (d - 2t)^4]$$

$$= (\pi/64) [324^4 - (324 - 2 \times 9.53)^4]$$

$$= 116 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$Q = (t/6) (3d^2 - 6dt + 4t^2)$$

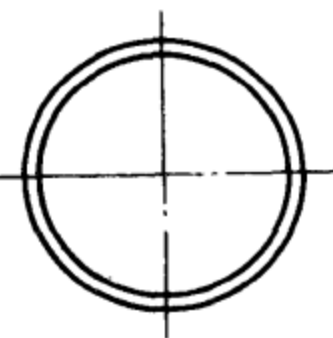


图 3.3-7

$$= (9.53/6) (3 \times 324^2 - 6 \times 324 \times 9.53 + 4 \times 9.53^2)$$

$$= 471 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$C = 2J/d$$

$$= 2 \times 233000 \times 10^3 / 324$$

$$= 1440 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$C_{RT} = 2tI/Q$$

$$= 2 \times 9.53 \times 116 \times 10^6 / 471 \times 10^3$$

$$= 4710 \text{ mm}^2$$

## 2. 空腔结构截面 (HSS), 矩型或长方形

St. Venant 扭转常数  $J$  由 Salmon 和 Johnson 于 1980 年给出 ( $b/t \geq 10$  的薄壁有效):

$$J \approx 4A_p^2 t / P \quad (3.3-36)$$

中心线展开长度:

$$P = 2 [(d-t) + (b-t)] - 2R_c (4-\pi) \quad (3.3-37)$$

有效面积:

$$A_p = (d-t)(b-t) - R_c^2 (4-\pi) \quad (3.3-38)$$

平均圆角半径:

$$R_c = (R_0 + R_i) / 2 \approx 1.5t \quad (3.3-39)$$

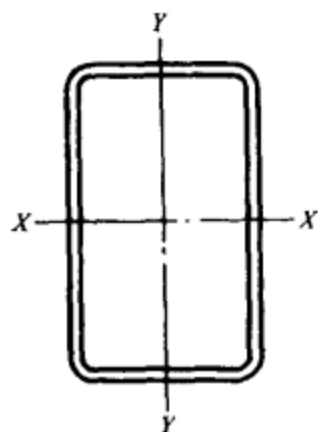


图 3.3-8

式中  $d$ ——长外径, 单位 mm;

$b$ ——短外径, 单位 mm;

$t$ ——壁厚, 单位 mm;

$R_0$ ——外侧圆角半径, 取值为  $2t$ , 单位 mm;

$R_i$ ——内侧圆角半径, 取值为  $t$ , 单位 mm;

扭曲扭转常数  $C_w$  通常取值为 0。

空腔结构截面 (HSS) 扭转常数  $C$  由 Salmon 和 Johnson 于 1980 年, Seaburg 和 Carter 于 1997 年分别给出 ( $b/t \geq 10$  的薄壁有效):

$$C \approx 2tA_p \quad (3.3-40a)$$

空腔结构截面 (HSS) 剪力常数  $C_{RT}$  由 Stelco 于 1981 年给出 (近似):

$$C_{RT} \approx 2t(h-4t) \quad (3.3-40b)$$

这里  $h$  是沿着剪力方向的外部尺寸。一个较准确的表达式由 Stelco 在 1981 年给出:

举例计算: 空腔结构截面 (HSS)  $203 \times 102 \times 6.4$

$d = 203 \text{ mm}$ ,  $b = 102 \text{ mm}$ ,  $t = 6.35 \text{ mm}$

$$R_0 = 2t$$

$$= 2 \times 6.35$$

$$= 12.7 \text{ mm}$$

$$R_i = t$$

$$= 6.35 \text{ mm}$$

$$R_c = (R_0 + R_i) / 2$$

$$= (12.7 + 6.35) / 2$$

$$= 9.53 \text{ mm}$$

$$P = 2 [(d - t) + (b - t)] - 2R_c (4 - \pi)$$

$$= 2 [(203 - 6.35) + (102 - 6.35)] - 2 \times 9.53 \times (4 - \pi)$$

$$= 568 \text{ mm}$$

$$A_p = (d - t)(b - t) - R_c^2 (4 - \pi)$$

$$= (203 - 6.35) \times (102 - 6.35) - 9.53^2 \times (4 - \pi)$$

$$= 18700 \text{ mm}^2$$

$$J \approx 4A_p^2 t / P$$

$$= 4 \times 18700^2 \times 6.35 / 568$$

$$= 15600 \times 10^3 \text{ mm}^4$$

假定剪力作用是平行于长尺寸方向  $d$ 。

$$h = d = 203 \text{ mm}$$

$$C \approx 2tA_p$$

$$= 2 \times 6.35 \times 18700$$

$$= 238 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$C_{RT} \approx 2t(h - 4t)$$

$$= 2 \times 6.35 \times (203 - 4 \times 6.35)$$

$$= 2260 \text{ mm}^2$$



# 第四章 用查表法设计冷轧轻钢骨架住宅

## 第一节 绪 言

本章按一步一步的程序来介绍如何应用《低层轻钢骨架住宅的设计、制造与装配》一书中的表格来设计一套住宅，用一个典型住宅建筑实例来示范应用钢骨架条件。范例建筑物具有下列物理特征：

建筑物形式：	用集中载荷支撑梁支撑第一层，集中载荷支撑墙支撑第二层的一个二层住宅（在一个没有完工的地下室上）。
建筑物宽度：	8.5m
建筑物长度：	12.2m
第一层墙高：	2.4m
第一层墙高：	2.4m
墙柱间距：	中心距 610mm
楼层托梁间距：	中心距 610mm
屋顶骨架：	用橡子作天花托梁
屋顶斜度：	8:12
屋檐伸出长度：	305mm
范例住宅应用下列设计标准：	

地面雪负荷 / (kN/m <sup>2</sup> )	风速 / (km/hr) 和位向	地震烈度	底层动负荷 / (kN/m <sup>2</sup> )	顶层动负荷 / (kN/m <sup>2</sup> )	楼层静负荷 / (kN/m <sup>2</sup> )
2.40	113 C	≤Ⅵ级	1.92	1.44	0.48

建筑物的立面图表明如图 4.1-1。

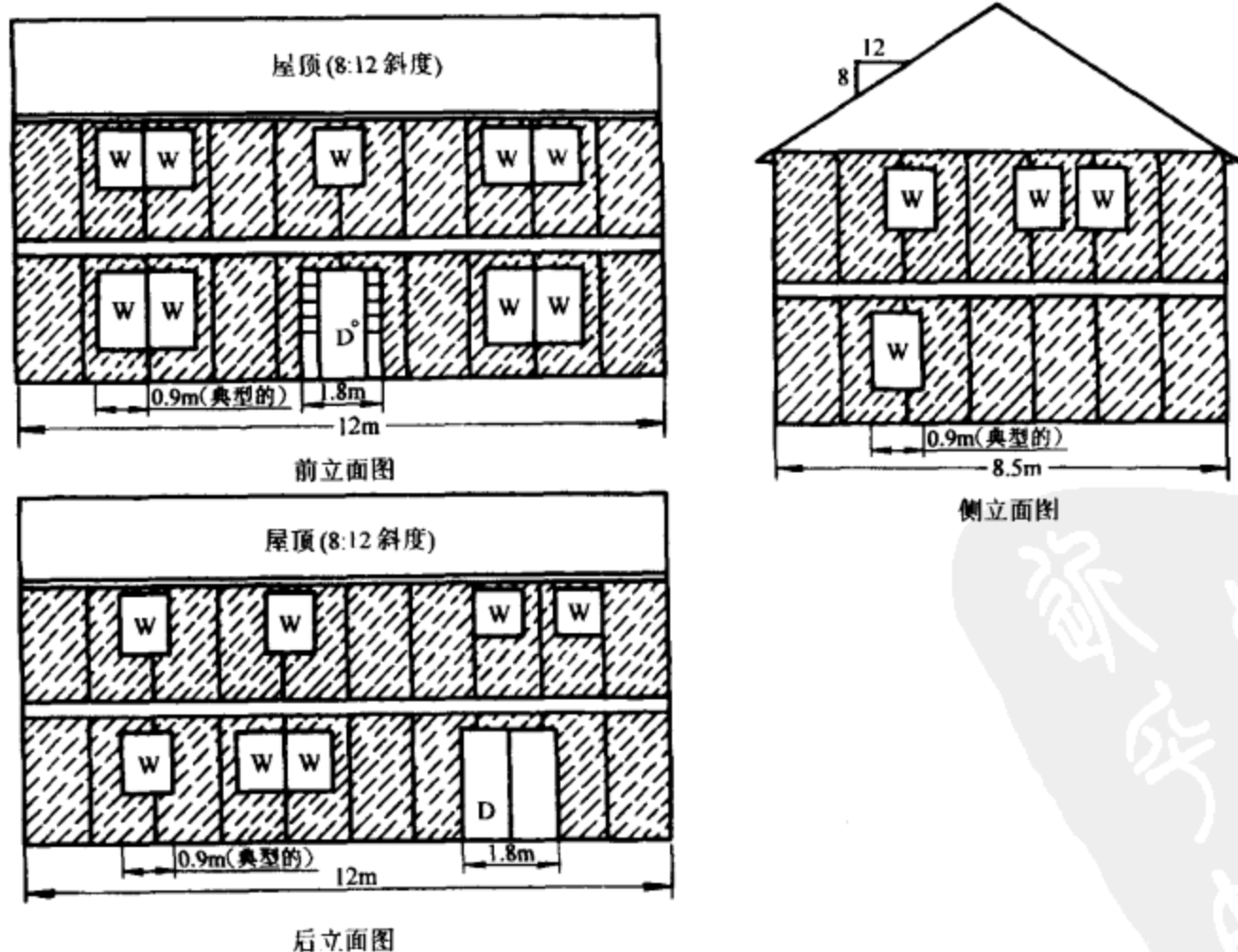


图 4.1-1

## 第二节 骨架构件

在范例建筑中应用了《低层轻钢骨架住宅设计、制造与装配》一书中的表格, 获得了列在下面的骨架构件选型清单。详细的选型过程将在以下部分阐述。由于《低层轻钢骨架住宅设计、制造与装配》一书提供了非常详细的资料和表格, 所以该例没有特别强调前后联系。从该例沉长的详细的前后联系要求来看, 并非要有意忽略前后联系的重要性。初学者要认真投入地去学, 靠一个简单的例子是很难充分表达清楚的。同样重要的是, 应用者一定要认同成直线串接骨架是必要条件 (也就是, 楼层托梁、柱和天花托梁要一个接一个排成一行)。

**注意:** 所涉及的图、表格与《低层轻钢骨架住宅设计、制造与装配》一书中的图、表格是一致的

构件位置	构件类型		参考
第一层			
楼层托梁	203S41-1.37	(中心距间隔为 610mm)	(表 2.5-3)
墙柱	89S41-1.37	(中心距间隔为 610mm)	(表 2.6-3)
过梁	2-89S41-1.37	(开口大小 0.9m)	(表 2.6-15b)
	2-203S41-1.73 (开口大小 1.8m)		(表 2.6-17b)
或	2-152S38-1.37	(开口大小 0.9m)	(表 2.6-27)
立柱	89S41-1.37	(1 个大小为 0.9m 和 1.8m 的开口)	
主柱	89S41-1.37	(1 个大小为 0.9m 的开口)	(表 2.6-18)
		(2 个大小为 1.8m 的开口)	
地板下的粗地板	18mm OSB 板		
墙覆盖材料	11mm OSB 板或 12mm 夹板		(表 2.6-36)
第二层			
楼层托梁	203S41-1.09	(中心距间隔为 610mm)	(表 2.5-3)
墙柱	89S41-0.84	(中心距间隔为 610mm)	(表 2.6-2)
过梁	2-89S41-1.09	(开口大小 1.1m)	(表 2.6-15b)
	2-152S38-1.37	(开口大小 1.1m)	(表 2.6-21)
或			
立柱	2-89S41-33	(1 个大小为 0.9m 和 1.8m 的开口)	(表 2.6-18)
主柱	2-89S41-33	(1 个大小为 0.9m 的开口)	(表 2.6-18)
地板下的粗地板	18mm OSB 板		
墙覆盖材料	11mm OSB 板或 12mm 夹板		(表 2.6-36)
屋顶骨架			
天花托梁	2-203S41-1.09	(中心距间隔为 610mm)	(表 2.8-9)
椽	2-89S41-0.84	(中心距间隔为 610mm)	(表 2.8-12)
屋顶覆盖材料	12mm 夹板		

### 第三节 楼层骨架选型

#### 楼层托梁选型：

设计住宅宽度为 8.5m，以端墙支撑的深度和中跨上的横梁或支撑墙来计算，第一层净跨度为 4.0m，第二层跨度为 4.1m。如下所示，因为第一层骨架构件净跨为 4.0m，结合考虑中心间距为 610mm 的托梁，活荷载为  $1.92\text{kN/m}^2$ ，从表 2.5-3 中选择 203S41-1.37 构件（如果为连续托梁，也可在表 2.5-4 中选择）。构件 203S41-1.37 有一个允许跨度正好是 4.0m。

第二层骨架采用同样的顺序，这种情况下 4.1m 的净跨度，再结合 610mm 的中心间距和  $1.44\text{kN/m}^2$  的活荷载，允许采用表 2.5-3 中的 203S41-1.09 托梁构件。构件 203S41-1.09 有一个允许跨度是 4.1m。

除选择托梁构件外，为了连接托梁导轨，表 2.5-2 还要求在托梁构件的每一边缘用 1 个 ST4.2 螺钉，在每个支撑加强肋上要用 2 个 ST4.2 螺钉。作为练习的目的，要像图 2.2-9 和 2.5-7 的插图那样固定支撑加强肋。

以底层地板覆盖板、扁钢拉条、石膏板等形式为范例建筑提供一种横向拉牢支撑。至于采用夹板覆盖到托梁的顶缘，《低层轻钢骨架住宅设计、制造与装配》一书第二章第五节“托梁支撑”部分有规定，采用 ST4.2 螺钉来固定底层地板，边上的螺钉中心距为 152mm，中间的螺钉中心距为 254mm。

表 2.5-3 带腹板加强肋的单跨冷轧钢楼层托梁允许跨度

托梁设计 代号	1.44kN/m <sup>2</sup> 动荷载间距/mm				1.92kN/m <sup>2</sup> 动荷载间距/mm			
	305	406	488	610	305	406	488	610
140S41-0.84	3531	3226	3023	2769	3226	2921	2743	2464
140S41-1.09	3861	3505	3302	3048	3505	3175	2997	2769
140S41-1.37	4140	3759	3531	3277	3759	3404	3200	2972
140S41-1.73	4445	4039	3785	3505	4039	3658	3454	3200
140S41-2.46	4928	4496	4216	3912	4496	4064	3835	3556
203S41-0.84	4775	4089	3734	3353	4267	3658	3353	2794
203S41-1.09	5207	4724	4445	4140	4724	4293	4039	3734
203S41-1.37	5588	5080	4801	4445	5080	4623	4343	4039
203S41-1.73	5994	5461	5131	4750	5461	4953	4674	4318
203S41-2.46	6706	6096	5740	5309	6096	5537	5207	4826

在未完工的地下室上建造第一层骨架，可以用扁钢带代替石膏天花板作底缘的横向支撑。用 ST4.2 螺钉将扁钢带固定到托梁构件的每个边缘的底部。另外，依据第五节“托梁支撑”部分和图 2.5-1 和 2.5-11，垂直于骨架方向放置间隔块或剪力撑，间距为 3.7m。由于第二层托梁是架在以建成空间，可依据《低层轻钢骨架住宅设计、制造与装配》一书第二章第五节“托梁支撑”部分，采用石膏板覆盖。

#### 第四节 墙骨架选型

墙柱选型:

作为墙柱选型程序的一部分,首先假定建筑物的宽度为 8.5m,风速条件为 110km/h,位向为 C,地面雪负荷为  $2.4\text{kN/m}^2$ ,每层墙高 2.4m,柱中心距间隔为 610mm。标明在下面表 2.6-2 中的 89S41-0.84 柱可用作第二层墙骨架,我们发现标明在下面表 2.6-3 中的 89S41-1.37 柱构件可用作第一层柱墙骨架(也就是二层建筑的第一层)。由于外侧为结构覆盖材料,内侧为 12.7mm 厚的石膏墙板,依据表 2.6-3 注释④,钢的厚度可以减薄为 1.09mm。

表 2.6-2 只支撑屋顶和天花的 2.4m 墙钢柱厚度 (一层或二层建筑的第二层)

钢材牌号 Q235 (屈服强度 235MPa)

(mm)

[illegible]

表 2.6-3 支撑一层, 屋顶和天花的 2.4m 墙钢柱厚度 (二层建筑的第一层)

钢材牌号 Q235 (屈服强度 235MPa)

(mm)

[illegible]

依据表 2.6-14, 用 ST4.2 螺钉将顶轨和底轨分别紧固到柱子的每个边缘上。

《低层轻钢骨架住宅设计、制造与装配》一书一般要求所有墙的外露部分需要全部覆盖住。假定墙的内面为石膏板。按《低层轻钢骨架住宅设计、制造与装配》一书第二章第六节“柱支撑”部分对石膏板作了适当的紧固要求。依据按《低层轻钢骨架住宅设计、制造与装配》一书第二章第六节“柱支撑”部分, 内承重墙的每一侧都覆盖石膏板。

#### 过梁选型:

在该例子中, 有两个过梁尺寸, 第一层的入口门、推拉门和大窗户开口上的 1.8m 宽度的过梁, 其他所有建筑物的宽度为 0.9m 的窗户开口部分。在三个表中选择该例子中过梁的形式和用来支撑过梁的立柱和承重柱构件的数量, 分别是表 2.6-15b、表 2.6-17b 和表 2.6-18。

位于建筑物第一层的两个 1.83m 开口, 在表 2.6-17b 中选择过梁尺寸。重申一次, 建筑物宽度为 8.5m, 地面雪负荷为  $2.4\text{kN/m}^2$ , 并且是由集中载荷支撑墙支撑着一层、屋顶和天花的过梁。表 3.6-17b 说明 2-203S41-1.73 过梁足以支撑 2.1m 长的跨度。依据表 3.6-18 用 1 个立柱和 2 个主柱支撑该过梁 (开口范围 1.7m~2.4m)。依据《低层轻钢骨架住宅设计、制造与装配》一书中表 2.6-19 中立柱和主柱构件的紧固要求规定, 1.2m~2.4m 长的跨上要用 4 个 ST4.2 螺钉。

对于 0.9m 宽的窗户开口应用同样的程序, 必须使用表 2.6—15 (只支撑屋顶和天花的过梁) 和表 2.6-17b (支撑一层、屋顶和天花的过梁) 选择过梁。第一层需要采用 2-89S41-0.84 型过梁, 过梁的每端设一个立柱, 一个主柱作支撑。第二层窗户最小需要 2-89S41-1.09 型过梁, 依据《低层轻钢骨架住宅设计、制造与装配》一书中表 2.6-18 要求, 过梁的每端要设一个立柱, 一个主柱作支撑。

表 2.6-17b 支撑一层, 屋顶和天花的过梁允许过梁跨度  
(集中载荷支撑梁的二层建筑的第一层) 钢材牌号 Q235 (屈服强度 235MPa) (mm)

构件设计 代号	地面雪负荷: $2440\text{N/m}^2$				地面雪负荷: $3420\text{N/m}^2$			
	建筑物宽度/mm				建筑物宽度/mm			
	7315	8534	9754	10973	7315	8534	9754	10973
2-89S41-0.84	660	—	—	—	—	—	—	—
<b>2-89S41-1.09</b>	<b>991</b>	<b>940</b>	889	813	914	838	762	686
2-89S41-1.37	1118	<b>1041</b>	991	940	1041	965	914	864
2-89S41-1.73	1245	<b>1168</b>	1118	1067	1143	1092	1016	965
2-89S41-2.46	1473	<b>1397</b>	1321	1245	1372	1295	1219	1168
2-140S41-0.84	—	—	—	—	—	—	—	—
2-140S41-1.09	1219	<b>1092</b>	965	889	1041	940	838	762
2-140S41-1.37	1499	<b>1422</b>	1346	1270	1397	1321	1245	1194
2-140S41-1.73	1702	<b>1600</b>	1499	1448	1575	1473	1397	1321
2-140S41-2.46	2032	<b>1905</b>	1803	1702	1880	1753	1676	1575
2-203S41-0.84	—	—	—	—	—	—	—	—
2-203S41-1.09	940	<b>838</b>	737	686	813	711	—	—
2-203S41-1.37	1880	<b>1651</b>	1499	1346	1600	1422	1270	1143
<b>2-203S41-1.73</b>	<b>2210</b>	<b>2083</b>	1981	1880	2057	1930	1829	1727

表 2.6-15b 只支撑屋顶和天花的过梁允许过梁跨度钢材牌号 Q235

(屈服强度 235MPa)

(mm)

构件设计 代号	地面雪负荷: 2440N/m <sup>2</sup>				地面雪负荷: 3420N/m <sup>2</sup>			
	建筑物宽度/mm				建筑物宽度/mm			
	7315	8534	9754	10973	7315	8534	9754	10973
2-89S41-0.84	914	787	711	635	711	635	—	—
2-89S41-1.09	1168	1092	1016	965	1041	965	914	838

表 2.6-18 开口处每端需要的立柱和主柱总数量

开口尺寸 /mm	柱中心间距 610mm		柱中心间距 406mm	
	立柱数量	主柱数量	立柱数量	主柱数量
~1067	1	1	1	1
>1067~1524	1	2	1	2
>1524~1676	1	2	2	2
>1676~2438	1	2	2	2

表 2.6-21 在 8.5m 宽的建筑物上只支撑屋顶和天花的双 L 型过梁

(mm)

双 L 型过梁 设计代号	地面雪负荷/(kN/m <sup>2</sup> )						
	0.7664	0.958	1.437	1.916	2.395	2.874	3.353
2-152L38-1.09	1372	1321	1219	1143	1041	965	914
2-152L38-1.37	1575	1499	1372	1270	1168	1092	1041

表 2.6-27 在 8.5m 宽的建筑物上支撑一层, 屋顶和天花的双 L 型过梁

双 L 型过梁 设计代号	地面雪负荷/(kN/m <sup>2</sup> )						
	0.7664	0.958	1.437	1.916	2.395	2.874	3.353
2-152L38-1.09	914	914	864	838	813	787	762
2-152L38-1.37	1041	1016	991	940	914	889	864

**剪力墙/结构覆盖材料:**

必须根据设计范例资料, 按《低层轻钢骨架住宅设计、制造与装配》第二章第六节“墙支撑(剪力支撑)”部分和表 2.6-36 来为该范例建筑确定结构覆盖物的最小要求量。设计住宅为二层住宅, (端墙) 宽度为 8.5m, (侧墙) 长度为 12.2m, 屋顶斜度为 8:12, 当地风速为 110km/h, 位向为 C。开始这个例子时, 就假定全部住宅都用覆盖材料覆盖。

仅仅选择这个二层住宅的第一层, 我们可见到最接近的屋顶斜度是 9:12。适当风速和位向类别墙的全高覆盖物最小百分比是 55%。设计屋顶斜度是 8:12, 因此:

**第一层端墙:**

- 9:12 (55%) 减去 6:12 (40%) 除以 3 等于增量 5%, 即  $(55\% - 40\%) / 3 = 5\%$ , 9:12 减去 8:12 (设计住宅斜度) 等于 5% 增量。
- 9:12 (55%) 减去 1:12 (5%) 表示端墙需要覆盖 50%。

- 宽度为 8.5m 的住宅需要覆盖 50%，相当于 4.3m。取整后的长度值要与夹板尺寸吻合，即 4.8m 长度，相当于 4 个 1.2m 长度的板。
- 要按第六节“结构覆盖”部分要求，每个角落最小要用一个 1.2m 宽度的板。

#### 第一层装饰外墙：

- 9:12 (55%) 减去 6:12 (40%) 除以 3 等于增量 5%；即  $(55\% - 40\%) / 3 = 5\%$ ，9:12 减去 8:12 (设计住宅斜度) 等于 5% 增量。
- 9:12 (55%) 减去 1:12 (5%) 表示端墙需要覆盖 50%。
- 长度为 12.2m 的住宅需要覆盖 50%，相当于 6m，这相当于五个 1.2m 宽度的板长。
- 记得在第六节“结构覆盖”部分要求，每个角落最小要用一个 1.2m 宽度的板。

#### 第二层端墙：

应用上述方法到该例建筑的第二层，可获得以下结果：

- 8.5m 乘以 26.67%，得出 2.3m 的长度需要全高覆盖（类似第一层计算，26.67% 是在 30% 到 20% 之间用插入法得出。）

#### 第二层装饰外墙：

- 12.2m 乘以 26.67%，得出 3.3m 的长度需要高覆盖。
- 在任何情况下都不能调整全高覆盖的长度。

表 2.6-36 外墙上全高结构覆盖物的最小百分比

墙支撑	屋顶斜度	基本风速 / (km/h)，位向				
		113A/B	129A/B	<145A/B		
				113C	129C	<145C
只有屋顶和天花 (一层或二层的第二层)	3:12	8	9	12	16	20
	6:12	12	15	20	26	35
	9:12	21	25	30	50	58
	12:12	30	35	40	66	75
一层，屋顶和天花 (二层的第二层)	3:12	24	30	35	50	66
	6:12	25	30	40	58	74
	9:12	35	40	55	74	91
	12:12	40	50	65	100	115
墙支撑	地震烈度 I - VI		地震烈度 VII		地震烈度 VIII	
只有屋顶和天花	6		6		19	
一层，屋顶和天花	13		13		40	

## 第五节 屋顶骨架选型

### 天花托梁选型

设计住宅的宽度为 8.5m，根据端墙支撑的深度和中跨支撑的梁或墙的要求，取天花托梁净跨度为 4.2m。要求天花托梁跨度为 4.2m，结合考虑构件中心距间隔为 610mm 和阁楼动负荷为  $0.96\text{kN/m}^2$ ，可从《低层轻钢骨架住宅设计、制造与装配》一书表 2.8-11 中选取

203S41-1.37 托梁构件, 而且天花托梁上没有加强肋。

表 2.8-11 不带支撑加强肋的两等跨冷轧钢天花托梁允许跨度  
动负荷 (不带阁楼储藏室) 为  $0.958\text{kN/m}^2$  钢材牌号 Q235 (屈服强度 235MPa) (m)

构件设计 代号	顶 (压缩) 缘侧向支撑					
	无支撑		双跨支撑		三跨支撑	
	间距/mm		间距/mm		间距/mm	
	406	610	406	610	406	610
89S41-0.84	2.5	1.8	2.5	1.8	2.5	1.8
89S41-1.09	3.3	2.5	3.3	2.5	3.3	2.5
89S41-1.37	3.9	3.1	4.0	3.1	4.0	3.1
89S41-1.73	4.3	3.8	4.8	3.8	4.8	3.8
89S41-2.46	5.1	4.4	5.6	4.6	5.6	4.6
140S41-0.84	2.8	2.1	2.8	2.1	2.8	2.1
140S41-1.09	4.0	2.9	4.0	2.9	4.0	2.9
140S41-1.37	4.3	3.8	5.0	3.8	5.0	3.8

除了托梁构件选择之外, 表 2.8-1 还要求用两个 ST4.8 螺钉将每个托梁连接到承重墙的顶轨上。所选的天花托梁不需要支撑加强肋。

所选天花托梁的横向支撑是假定为覆盖材料、扁钢带或石膏板。可以用一个 89S41-0.84C 型或 U 型构件或钢带绑到顶缘上。至少要用 1 个 ST4.2 螺钉将绑扎带紧固到每个天花托梁的顶缘上。支撑块或剪力撑也要和最大间距为 3.7m 的绑扎带从头到尾安装在一条线上。支撑块和剪力撑的安装类似于钢楼层组装。依据《低层轻钢骨架住宅设计、制造与装配》第二章第八节“天花托梁支撑”部分, 用 ST3.5 螺钉将石膏板安装在天花托梁底缘 (张紧边)。

### 橡的选型

设计住宅宽度为 8.5m, 因此水平橡跨度就是 4.3m。地面雪负荷为  $2.4\text{kN/m}^2$ , 设计风速为 110km/h, 位向是 C。

第一步是用《低层轻钢骨架住宅设计、制造与装配》的表 2.8-13 将设计风速转换为等效雪负荷。表中风速为 110km/h, 位向是 C, 屋顶斜度为 8:12, 其等效地面雪负荷等于  $1.44\text{kN/m}^2$ 。

表 2.8-13 风速与雪负荷的等效转换

基本风速位向 /(km/h)		等效地面雪负荷/( $\text{kN/m}^2$ )									
		屋 顶 斜 度									
位向 B	位向 C	3:12	4:12	5:12	6:12	7:12	8:12	9:12	10:12	11:12	12:12
113		0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	1.44	1.44	1.44	1.44
129	113	0.96	0.96	0.96	0.96	1.44	1.44	1.44	1.44	2.40	2.40

第二步是用最大地面雪负荷  $2.4\text{kN/m}^2$  或由  $1.44\text{kN/m}^2$  的风速等效转换而来的等效地面雪负荷选择橡的尺寸。这种情况下, 地面雪负荷为  $2.4\text{kN/m}^2$ 。用表 2.8-12, 选择 203S41-1.37 橡, 其最大允许跨度为 4.4m, 中心距间隔 610mm。

如《低层轻钢骨架住宅设计、制造与装配》一书表 2.8-2 所示, 用 5 个均匀分布的 ST4.8 螺钉将天花托梁连接到橡 (根部节点) 上。

表 2.8-12 允许的水平椽跨度钢材牌号 Q235 (屈服强度 235MPa)

(m)

构件设计 代号	地面雪负荷							
	0.96kN/m <sup>2</sup>		1.44kN/m <sup>2</sup>		2.40kN/m <sup>2</sup>		3.35kN/m <sup>2</sup>	
	间距/mm		间距/mm		间距/mm		间距/mm	
	406	610	406	610	406	610	406	610
140S41-0.84	3.9	3.1	3.6	2.9	3.0	2.5	2.7	2.2
140S41-1.09	4.7	3.8	4.3	3.6	3.7	3.0	3.3	2.7
140S41-1.37	4.0	4.3	4.9	4.0	4.2	3.4	3.7	3.0
140S41-1.73	5.5	4.8	5.3	4.5	4.7	3.8	4.1	3.4
140S41-2.46	6.1	5.3	5.8	5.1	5.2	4.3	4.7	4.0
203S41-0.84	4.7	3.5	4.4	3.0	3.2	2.2	2.5	1.7
203S41-1.09	5.8	4.7	5.4	4.4	4.6	3.7	4.0	3.3
203S41-1.37	6.9	5.6	6.4	5.2	5.4	4.4	4.8	3.9

表 2.8-2 天花托梁到椽的连接要求的螺钉数量

屋顶 斜度	建筑物宽度/m															
	7.3				8.5				9.8				11			
	地面雪负荷/(kN/m <sup>2</sup> )				地面雪负荷/(kN/m <sup>2</sup> )				地面雪负荷/(kN/m <sup>2</sup> )				地面雪负荷/(kN/m <sup>2</sup> )			
	0.96	1.44	2.40	3.35	0.96	1.44	2.40	3.35	0.96	1.44	2.40	3.35	0.96	1.44	2.40	3.35
3/12	5	6	9	12	6	7	10	13	7	8	12	15	8	9	13	17
4/12	4	5	7	9	5	6	8	10	6	6	9	12	6	7	10	13
5/12	4	4	6	7	4	5	7	9	5	5	8	10	5	6	9	11
6/12	3	4	5	7	4	4	6	8	4	5	7	9	4	5	7	10
7/12	3	3	5	6	3	4	5	7	4	4	6	8	4	5	7	9
8/12	3	3	4	5	3	3	5	6	3	4	5	7	4	4	6	8

按下面表 2.8-3 所示, 在角铁的每条腿上用 4 个 ST4.8 螺钉将椽连接到屋脊构件。

表 2.8-3 椽与屋脊构件连接的扣角钢的每一个腿要求的螺钉数量

建筑物 宽度/m	地面雪负荷/(kN/m <sup>2</sup> )			
	0~0.96	0.97~1.44	1.45~2.40	2.41~3.35
7.3	2	3	4	4
8.5	2	3	4	5

用 38×0.84mm 钢带、0.84mmC 型钢、或 0.84mmU 型钢, 沿着椽的跨度方向的最大间隔为 2.4m 的底缘椽支撑是成熟技术。这里中跨选择 89S41-0.84C 型钢构件, 至少要用一个 ST4.2 螺钉将 C 型钢构件紧固到每个椽上。依据《低层轻钢骨架住宅设计、制造与装配》一书表 2.8-1, 该例子建筑的永久屋顶支撑为结构(屋顶)覆盖物, 至少要用 ST4.2 螺钉将覆盖物固定到椽上, 边缘处螺钉中心距为 152mm, 内部的螺钉中心距为 305mm。在屋顶覆盖材料装上之前的建造过程中, 为了稳定需要, 应有适当的屋顶骨架临时支撑。

## 第五章 用工程计算法设计冷轧轻钢骨架住宅

### 第一节 绪 言

本章所包含的实例计算和《低层轻钢骨架住宅的设计、制造与装配》一书中的实例并不完全相同。前一部分是针对不同截面特性的典型的 C 型钢构件进行基本计算, 所计算型钢构件的能力基于美国钢铁协会的设计规范要求。后一部分工程计算是对应《低层轻钢骨架住宅设计, 制造与装配》一书中的楼层托梁、墙柱、过梁、剪力墙、和最终的屋顶骨架设计。

设计实例所涉及的所有信息都在《低层钢结构住宅的设计、制造与装配》一书中列出。本书计算数据与《低层轻钢骨架住宅设计、制造与装配》一书截面特性表中列出的数据稍微有点不同, 因为截面特性表中数据是由计算机程序算出的值, 所有数据都只在最终才会采取四舍五入的取整方法, 而本书几乎是步步需要采取四舍五入的取整方法来取值。另外, 公英制转换过程也有一点数据偏差, 但所有偏差都在工程设计精度能接受的范围内。

本章是站在一个工程师的角度, 为工程师而编写的一个实用性技术参考资料。尽管低层轻钢骨架住宅的骨架构件都具备一个共性——是由冷轧薄壁轻钢构件组成, 但由于每种构件所承受的荷载以及其截面形状都是不尽相同的, 所以它们还有着各自的个性。因此在编写本章各节时, 针对不同用途的构件, 既保留了共性, 又突出了个性, 很多的描述内容看起来似乎有重复现象, 如在校核截面特性时, 按 C3.1.1 要求, 最小名义弯矩  $M_n = S_e \sigma_y$ , 而按 C3.1.2 要求, 最小名义弯矩  $M_n = S_e (M_e / S_f)$ , 截面模数 and 设计应力的取值方式都不同, 但其计算过程和内容基本都是重复的。如按 C3.1.3 要求, 则按实际施加的弯矩进行校核。这么做的目的有两个, 一是美国钢铁协会 AISI 设计规范要求要采用不同的弯矩进行校核, 二是为了进行比较, 同时也是为了保证一节甚至一段内容的连贯性和实用性, 让每一节都自成体系, 而没有刻意去注重上下文的逻辑性。但它却保证了工程师在应用该书时, 不会有前后查翻、到处去寻找公式和数据的出处和来源之苦。

通过本章的设计计算, 读者可能对于有效截面和有效截面长度的概念有所了解。同时会发现, 按有效截面设计出来的冷轧轻钢骨架构件截面没有材料的浪费, 是有理的。但在工程设计上有理有时并非有利, 因为我们在设计冷轧轻钢骨架构件时要考虑构件 (主要是指加工模具规格) 的系列化、通用化、标准化要求 (如统一规定唇缘长度为 12.7mm), 不能只考虑某个构件的最优化, 而要保证整个系列产品的最优化, 要使得整个系列产品从物流、生产管理乃至仓储的综合成本为最低。因此我们在计算和实际应用 (见第六章表 6-3 到表 6-7 所列出的截面特性表) 中所遇到的冷轧轻钢骨架构件的截面要素并非都是百分之百有效的。

### 第二节 截面特性计算方法和实例计算

下面举例计算 203S41-1.37 和 89S41-1.09C 型钢的各种截面特性。这些例子的目的

是表明如何计算出薄壁轻钢构件的截面特性。

所有例子计算的依据都是美国钢铁协会 AISI1986 年 8 月 19 日出版的《冷轧钢骨架构件设计规范》和 1989 年 12 月 11 日的《附录》。截面特性可以满足《低层轻钢骨架住宅设计、制造与装配》一书的要求。

本章公式编号说明：带括号阿拉伯数字编号为本书编号，如 (5.2-1)；

英文字母加阿拉伯数字编号为美国钢铁协会设计规范编号，如 C3.4-1；

## 一、S 截面 C 型钢柱（或梁）的截面特性计算方法简介

### 1. 截面图

图 5.2-1 为 S 截面 C 型钢柱（或梁）的截面图。

### 2. 截面特性参数

- $d$ ——腹板尺寸，单位为 mm；
- $b$ ——边缘尺寸，单位为 mm；
- $c$ ——唇缘尺寸，单位为 mm；
- $t_0$ ——基本材料厚度，单位为 mm；
- $R$ ——内侧圆角半径，单位为 mm；
- $D$ ——孔宽，单位为 mm；
- $L$ ——孔长，单位为 mm；
- $\sigma_y$ ——屈服应力，单位为 MPa；
- $\sigma_b$ ——抗拉强度，单位为 MPa；
- $E$ ——弹性模量，单位为 MPa；
- $G$ ——剪切模量，单位为 MPa。

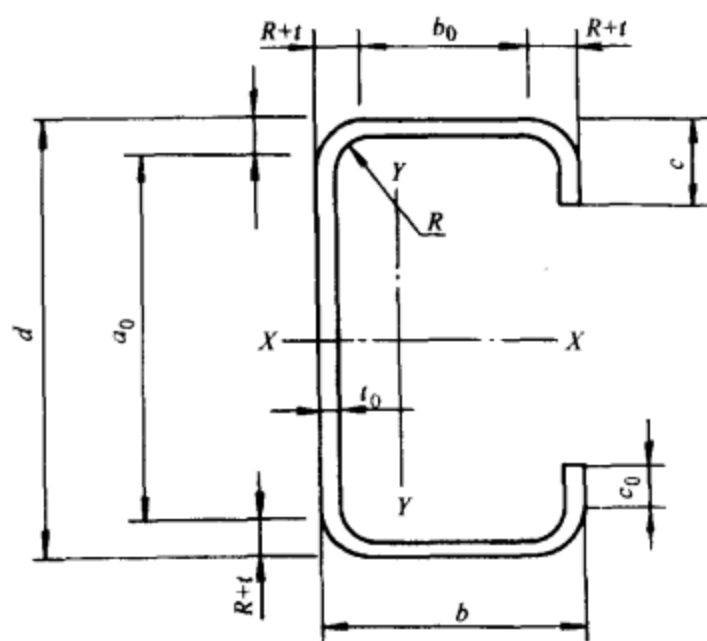


图 5.2-1

### 3. 面积

#### (1) 总面积

美国钢铁协会 AISI 设计规范附录资料第 1.2 部分给出总面积的计算公式如下：

$$A = t (a_0 + 2b_0 + 2c_0 + 2\pi r) \quad (5.2-1)$$

式中  $A$ ——总截面积，单位为  $\text{mm}^2$ ；

$t$ ——设计厚度，单位为 mm；

$a_0$ —— $a_0 = d - 2(R + t)$ ，腹板直线宽度，单位为 mm；

$b_0$ —— $b_0 = b - 2(R + t)$ ，边缘直线宽度，单位为 mm；

$c_0$ —— $c_0 = c - (R + t)$ ，唇缘直线宽度，单位为 mm；

$r$ —— $r = (R + t/2)$ ，中性轴半径，单位为 mm。

#### (2) 净面积

$$A_0 = A - A_1 = A - Dt \quad (5.2-2)$$

式中  $A_0$ ——净面积，单位  $\text{mm}^2$ ；

$A_1$ —— $A_1 = Dt$ ，孔面积，单位为  $\text{mm}^2$ 。

#### 4. 每米重量

##### (1) 每米总重量

$$\rho_1 = A\rho \quad (5.2-3)$$

式中  $\rho_1$ ——每米总重量, 单位 kg/m;

$\rho$ —— $\rho = 7.85 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ , 钢材密度。

##### (2) 每米净重量

$$\rho_{10} = A_0\rho \quad (5.2-4)$$

式中  $\rho_{10}$ ——每米净重量, 单位 kg/m。

#### 5. 对 X 轴的总特性: (依据是美国钢铁协会 AISI 规范中的附录资料第 1.2 部分)

##### (1) 总转动惯量

$$I_x = 2t \{ 0.417a_0^3 + b_0(a_0/2 + r)^2 + u(a_0/2 + 0.637r)^2 + 0.0149r^3 \\ + \alpha [0.0833c_0^3 + (c_0/4)(a_0 - c_0)^2 + u(a_0/2 + 0.637r)^2 + 0.149r^3] \} \quad (5.2-5)$$

式中  $I_x$ ——转动惯量, 单位为  $\text{cm}^4$ ;

$\alpha$ ——系数;

$u$ ——弧长, 单位为 mm。

##### (2) 总截面模数

$$S_x = I_x / y_{cg} \quad (5.2-6)$$

式中  $S_x$ ——截面模数, 单位为  $\text{cm}^3$ ;

$y_{cg}$ —— $y_{cg} = d/2$ , 中性轴距顶部的距离, 单位为 cm。

##### (3) 回转半径

$$R_x = [I_x / A]^{1/2} \quad (5.2-7)$$

式中  $R_x$ ——回转半径, 单位为 cm。

#### 6. 对 Y 轴的总特性 (依据是美国钢铁协会 AISI 规范中的附录资料第 1.2 部分)

##### (1) 总转动惯量

$$I_y = 2t \{ b_0(b_0/2 + r)^2 + 0.0833b_0^3 + 0.356r^3 + \alpha [c_0(b_0 + 2r)^2 \\ + u(b_0 + 1.637r)^2 + 0.149r^3] \} - A(x')^2 \quad (5.2-8)$$

式中  $I_y$ ——转动惯量, 单位为  $\text{cm}^4$ ;

$x'$ —— $x' = (2t/A) \{ b_0(b_0/2 + r) + u(0.363r) + \alpha [u(b_0 + 1.637r) + c_0(b_0 + 2r)] \}$ ,  
质心与腹板中心之间的距离, 单位为 cm。

##### (2) 总截面模数

$$S_y = I_y / x_{cg} \quad (5.2-9)$$

式中  $S_y$ ——截面模数, 单位为  $\text{cm}^3$ ;

$x_{cg}$ —— $x_{cg} = x' + t/2$ , 中性轴距顶部的距离, 单位为 cm。

##### (3) 回转半径

$$R_y = [I_y / A]^{1/2} \quad (5.2-10)$$

式中  $R_y$ ——回转半径, 单位为 cm。

#### 7. 扭转特性

根据美国钢铁协会 AISI 附录资料 1.2 部分来计算质心和剪力中心之间的距离:

$$x_0 = - (x' - m)$$

式中  $m$ ——剪力中心与腹板中心线之间的距离, 单位为 cm, 可根据美国钢铁协会设计规范 AISI 附录 1.2.2 部分公式 6 计算。

#### (1) St. Venant 扭转常数

依据是美国钢铁协会 AISI 规范中的附录资料第 1.2.2 部分

$$J = (t^3/3) [a_0 + 2b_0 + 2u + \alpha (2c_0 + 2u)] \quad (5.2-11)$$

#### (2) 扭曲扭转常数

扭曲扭转常数是依据美国钢铁协会设计规范 AISI 附录 1.2.2 部分公式 9 计算, 也可从《低层轻钢骨架住宅设计、制造与装配》一书的截面特性表 3.2-4 中查出  $C_w$ 。

#### (3) 回转极半径

针对质心主轴计算截面的回转极半径。

$$R_o = [R_x^2 + R_y^2 + X_o^2]^{1/2} \quad (5.2-12)$$

式中  $R_o$ ——回转极半径, 单位为 cm;

#### (4) 扭转弯曲常数 (根据美国钢铁协会设计规范 AISI 附录 1.2 部分)

$$\beta = 1 - (x_o/R_o)^2 \quad (5.2-13)$$

### 8. 计算由于冷轧加工产生的屈服强度 $\sigma_{ya}$ :

导轨截面必须有一个受压边缘, 也就是  $\rho = 1$ , 才能应用美国钢铁协会设计规范中的公式 A5.2.2-1。

$$\sigma_{ya} = C\sigma_{yc} + (1 - C)\sigma_{yf} \quad A5.2.2-1$$

该公式的限制规定:

$$\sigma_u/\sigma_y \geq 1.2$$

$$R/t \leq 7$$

$$\theta \leq 120^\circ$$

式中  $\sigma_{ya}$ ——冷轧加工后的屈服强度, 单位为 MPa;

$C$ —— $C = 2u / (2u + b_0)$ , (两个角全部总截面面积) / (边缘全部总截面面积);

$\sigma_{yc}$ —— $\sigma_{yc} = B_c \sigma_y / (R/t)^m$ , 单位为 MPa; A5.2.2-2

$\sigma_{yf}$ ——原始屈服点, 单位为 MPa;

$\sigma_y$ ——设计屈服应力, 单位为 MPa;

$\sigma_u$ ——极限正应力, 单位为 MPa;

$m$ —— $m = 0.192 (\sigma_u/\sigma_y) - 0.068$ ,

剪力中心与腹板中心线之间的距离, 单位为 cm;

$B_c$ —— $B_c = 3.69 (\sigma_u/\sigma_y) - 0.819 (\sigma_u/\sigma_y)^2 - 1.79$

A5.2.2-4

A5.2.2-3

### 9. 计算有效截面特性

首先根据初始屈服来计算转动惯量  $I_x$  和最小名义弯矩  $M_n$ , 然后再在允许弯矩范围内根据挠度确定程序 I 计算有效弯矩  $M_a$  和  $I_x$ 。

#### (1) 计算转动惯量 $I_x$

1) 参考美国钢铁协会设计规范中的 B4.2 部分, 计算边缘转动惯量  $I_a$ :

当  $b_0/t < 60$

$c_0/t < 60$

则  $S = 1.28 [(E/f)]^{1/2}$

B4-1

式中  $E$ ——弹性模量, 单位为 MPa;

$f$ ——此处为冷轧后的屈服强度, 单位为 MPa。

当  $S > b_0/t > S/3$

B4.2 (a)

则适用于情况 II  $I_a/t^4 = 399 [(b_0/t)/S - 0.330]^3$

B4.2-6

则  $I_a = 399t^4 [(b_0/t)/S - 0.330]^3$

2) 计算全部边缘 (唇缘) 加强肋的转动惯量  $I_s$ :

当  $c_0/t < 14$  ( $c_0/t$  的最大允许值)

则  $I_s = tc_0^3/12$

当  $0.8 > c/b_0 > 0.25$

则取  $n = 0.5$

$k = [4.82 - 5c/b_0] (I_s/I_a)^n + 0.43$

B4.2-9a

或  $k = 5.25 - 5c/b_0$

B4.2-9b

3) 根据美国钢铁协会设计规范中的 B2.1 部分, 计算受压边缘有效宽度。

取  $k$  为 B4.2-9a 和 B4.2-9b 两式计算出的最小值, 计算受压边缘的苗条 (板薄) 系数。

当  $b_0/t < 90$

B1.1- (a) - (3)

则  $\lambda = (1.052/k^{1/2}) (b_0/t) (f/E)^{1/2}$

B2.1-4

当  $\lambda \leq 0.673$ ,

则  $\rho = 1$

$b_e = b_0$

B2.1-1

受压边缘全部有效

当  $\lambda > 0.673$ ,

则  $\rho = (\lambda - 0.22) / \lambda^2 = (1 - 0.22/\lambda) / \lambda$

$b_e = \rho b_0$

受压边缘不是全部有效

4) 根据美国钢铁协会 AISI 设计规范中的 B3.2 部分, 计算边缘加强肋有效宽度。

用  $k = 0.43$ , 保守的取  $f = \sigma_y$ , 则苗条系数为:

$\lambda = (1.052/k^{1/2}) (c_0/t) (f/E)^{1/2}$

B2.1-4

当  $\lambda \leq 0.673$ ,

且  $I_s/I_a \geq 1$

则取  $I_s/I_a = 1$

加强肋有效宽度  $c_e = c_0$

压缩加强肋全部有效

当  $I_s/I_a < 1$

则加强肋有效宽度  $c_e = c_0 (I_s/I_a)$

压缩加强肋不是全部有效

式中  $c_e$ ——受压（唇缘）加强肋有效宽度，单位为 mm；

$c_0$ ——受压（唇缘）加强肋实际宽度，单位为 mm。

当

$$\lambda > 0.673$$

则

$$\rho = (\lambda - 0.22) / \lambda^2 = (1 - 0.22/\lambda) / \lambda$$

$$c_e = \rho c_0 = c_0 (I_s / I_a) \leq c_0$$

压缩加强肋不是全部有效

式中  $\rho$ ——宽度缩减系数。

5) 检查腹板是否全部有效。

当  $D/a_0 \geq 0.4$ ，取  $M_n = S_e \sigma_y$ ，但计算  $S_e$  时必须要考虑腹板孔的影响。特别是要用带孔腹板（腹板带孔部分施加有荷载）受压部分的有效宽度来确定  $S_e$ ，作为未加固受压要素处理，取  $K = 0.43$ （见美国钢铁协会设计规范 B3.2 部分）。也就是说，边缘和唇缘加强肋有效宽度必须按规范 B 部分来确定。当  $D/a_0 \geq 0.4$ ，计算  $S_e$  时，必须从腹板截面中扣除孔的截面积。详见本章第五节“开孔腹板楼层托梁设计方法和实例计算”部分。当  $D/a_0 < 0.4$ ，按美国钢铁协会设计规范 C3.1.1 (a) 部分规定计算  $M_n$  和  $S_e$ 。有效截面是用最大受压或受拉面屈服应力计算截面模数。这样，必须按美国钢铁协会设计规范 B 部分确定边缘和边缘加强肋有效宽度。当  $D/a_0 < 0.4$ ，就可以用总腹板截面积计算带孔腹板的  $S_e$ 。

结合全部要素来定位中性轴位置。假定腹板全部有效，顶部纤维屈服强度为冷轧加工后的屈服强度  $\sigma_{ya}$ ，按要求将计算值填入表 5.2-1。表 5.2-1 中的参数是基于有效截面长度计算出来的，如果要素实际长度全部有效，则可以按表中公式计算，如果要素实际长度不是全部有效，则必须按要素有效长度来计算。

表 5.2-1

要素	有效长度 $L/\text{cm}$	离顶缘的距离 $y/\text{cm}$	$L_y/\text{cm}^2$	$L_y^2/\text{cm}^3$	$I'_1 = L_y^3/12$ ① 相对自轴 $\text{cm}^3$
腹板	$a_0$	$d/2$	$a_0 d/2$	$a_0 d^2/4$	$(L_y = a_0) a_0^3/12$
受拉边缘	$b_0$	$d - t/2$	$b_0 (d - t/2)$	$b_0 (d - t/2)^2$	$L_y = t, I'_1 \approx 0$
受压边缘	$b_0$	$t/2$	$b_0 t/2$	$b_0 t^2/4$	$L_y = t, I'_1 \approx 0$
上拐角	$(R + t/2)\pi$	$(R + t/2)(1 - \cos 45^\circ) + t/2$	$(R + t/2)\pi[(R + t/2)(1 - \cos 45^\circ) + t/2]$	$(R + t/2)\pi[(R + t/2)(1 - \cos 45^\circ) + t/2]^2$	$L_y = (R + t), I'_1 \approx 0$
下拐角	$(R + t/2)\pi$	$a_0 + (R + t) + (R + t/2)\cos 45^\circ$	$(R + t/2)\pi[a_0 + (R + t) + (R + t/2)\cos 45^\circ]$	$(R + t/2)\pi[a_0 + (R + t) + (R + t/2)\cos 45^\circ]^2$	$L_y = (R + t), I'_1 \approx 0$
上加强肋	$c_0$	$c - c_0/2$	$c_0 (c - c_0/2)$	$c_0 (c - c_0/2)^2$	$(L_y = c_0) c_0^3/12$
下加强肋	$c_0$	$d - c + c_0/2$	$c_0 [d - c + c_0/2]$	$c_0 [d - c + c_0/2]^2$	$(L_y = c_0) c_0^3/12$
总和					

①  $L_y$  是指沿着  $y$  轴方向的构件要素的高度值，当  $L_y$  很小时， $I'_1 \approx 0$ 。表中只计算了  $L_y = L$  时的  $I'_1$  值。

距顶部纤维的距离：

$$y_{cg} = \sum (L_y) / \sum L$$

由于从受压边缘纤维到中性轴的距离等于梁深度的一半，所以假定受压应力为冷轧加工

后的屈服强度  $\sigma_{ya}$  (即初始屈服是受压)。

采用美国钢铁协会设计规范中的 B2.3 部分检查腹板要素的有效性。

$$f_1 = \sigma_{ya} (y_{cg} - t - R) / y_{cg} \text{ (受压部分)}$$

$$f_2 = -\sigma_{ya} (d - y_{cg} - t - R) / y_{cg} \text{ (受拉部分)}$$

$$\psi = f_2 / f_1 \quad \text{B2.3-1}$$

$$k = 4 + 2(1 - \psi)^3 + 2(1 - \psi) \quad \text{B2.3-4}$$

$$a_1 = a_e / (3 - \psi) \text{ (受压部分)} \quad \text{B2.3-1}$$

$$a_2 = a_e / 2 \text{ (受拉部分)} \quad \text{B2.3-2}$$

这里是根据美国钢铁协会设计规范中的 B2.1 部分, 用  $f_1$  取代  $f$ , 并用上面所计算出的  $k$  值来计算  $a_e$ :

$$\lambda = (1.052 / k^{1/2}) (a_0 / t) (f_1 / E)^{1/2} \quad \text{B2.1-4}$$

当  $\lambda \leq 0.673$

则  $\rho = 1$

即  $a_e = a_0$  B2.1-1

腹板要素全部有效。

当  $\lambda > 0.673$ ,

则  $\rho = (\lambda - 0.22) / \lambda^2 = (1 - 0.22 / \lambda) / \lambda$

$$a_e = \rho a_0 \quad \text{B2.1-2}$$

腹板要素不是全部有效 (详细计算见第五节)。

式中  $a_e$ ——腹板有效宽度, 单位 mm;

$a_0$ ——腹板平直部分宽度, 单位 mm;

$\rho$ ——宽度缩减系数。

根据有效截面计算出来的腹板受压部分长度

$$a_{ce} = y_{cg} - (R + t)$$

如果腹板实际受压部分长度

$$a_1 + a_2 \geq a_{ce} = y_{cg} - (R + t)$$

腹板要素全部有效, 设计时也只能保守地取

$$a_1 + a_2 = y_{cg} - (R + t)$$

则中性轴距顶部的距离

$$y_{cg} = \sum (Ly) / \sum L \quad (4.2-14)$$

$$I'_x = Ly^2 + I'_1 - Ly_{cg}^2$$

转动惯量

$$I_x = I'_x t \quad (4.2-15)$$

(2) 计算有效截面模数

$$S_x = I_x / y_{cg} \quad (4.2-16)$$

(3) 计算最小名义弯矩

$$M_n = S_x \sigma_y \quad (4.2-17)$$

(4) 计算允许弯矩  $M_a$

$$M_a = M_u / \Omega \quad (4.2-18)$$

式中  $M_a$ ——允许弯矩，单位为  $N \cdot m$ ；

$S_x$ ——根据最大受压或受拉边缘的设计屈服强度  $\sigma_y$  计算出来的有效截面的弹性截面模数，单位为  $cm^3$ ；

$\sigma_y$ ——设计屈服强度，单位为  $MPa$ ；

$\Omega$ ——安全系数，取 1.67；

$M_n$ ——最小名义弯矩，单位为  $N \cdot m$ 。

#### 10. 计算对 $y$ 轴的允许弯矩 $M_y$

$$M_y = \sigma_y S_y / \Omega$$

式中  $S_y$ ——有效截面模数，单位为  $cm^3$ 。

#### 11. 计算无孔截面抗剪能力：

无冲孔腹板（腹板没有孔）参考美国钢铁协会设计规范中的 C3.2 部分。

当  $a_0/t < 200$

计算  $1.38 (EK_v/\sigma_y)^{1/2}$

式中  $K_v$ —— $K_v = 5.34$ ，剪弯系数；

$\sigma_y$ ——这里只能用屈服强度，不能用冷轧加工后的屈服强度  $\sigma_{ya}$ 。

当  $a_0/t > 1.38 (EK_v/\sigma_y)^{1/2}$ ，

则无孔截面抗剪能力  $F_q = 0.53EK_v t^3/a_0$  C3.2-2

计算换算系数  $q_s = 1 - 1.1 (D/d)$

式中  $d$ ——腹板尺寸，单位为  $mm$ ；

$D$ ——孔宽，单位为  $mm$ 。

带标准孔腹板截面抗剪能力

$$F_{qk} = q_s F_q$$

#### 12. 腹板临界强度

根据美国钢铁协会 AISI 设计规范手册 C3.4 部分来计算 S 截面 C 型钢柱（或梁）的腹板临界强度，当：

$$d/t < 200$$

$$R/t < 6$$

$$D/t < 210$$

$$D/d < 3.5$$

就可以应用美国钢铁协会设计规范表 C3.4-1 公式。

(1) 对于加强边缘，端部作用的 S 截面 C 型钢柱（或梁），应用下面公式：

$$F_{cr} = t^2 k_1 k C_3 C_4 C_\theta [179 - 0.33 (d/t)] [1 + 0.01 (N/t)] \quad C3.4-1$$

式中  $F_{cr}$ ——允许腹板临界承载力，单位为  $N$ ；

$t$ ——腹板厚度，单位  $mm$ ；

$k_1$ —— $k_1 = (1/25.4)^2 \times 4448.222 = 6.895$ ，单位转换系数，单位为  $N$ ；

$k$ —— $k = \sigma_y/228$ ，单位为  $MPa$ ；

$$C_3 = 1.33 - 0.33k$$

C3.4-21

C3.4-12

$$C_4 = 1.15 - 0.15R/t, \text{ 要求 } 0.5 \leq C_4 \leq 1.0 \quad \text{C3.4-13}$$

$$C_\theta = 0.7 + 0.3 (\theta/90)^2 \quad \text{C3.4-20}$$

$d$ ——腹板长度, 单位为 mm;

$N$ ——支撑长度, 单位为 mm。

(2) 对于背靠背 S 截面 C 型钢柱 (或梁) 腹板临界力, 由美国钢铁协会设计规范手册 C3.4 部分的公式来计算, 形状为叠加腹板使用下面的公式:

$$F_{cr} = t^2 \sigma_y C_6 [5.0 + 0.63 (N/t)^{1/2}] \quad \text{C3.4-3}$$

式中  $F_{cr}$ ——允许腹板临界力, 单位为 kN;

$t$ ——腹板厚度, 单位 mm;

$\sigma_y$ ——屈服应力, 单位为 MPa;

$C_6$ —— $C_6 = 1 + (d/t)/750$ , 要求  $d/t \leq 150$ 。 C3.4-15

## 二、89S41-1.09 型钢的截面特性实例计算

### 1. 截面图

图 5.2-2 为 89S41-1.09 型钢的截面图。

### 2. 截面特性参数

腹板尺寸	$d = 89\text{mm}$
边缘尺寸	$b = 41\text{mm}$
唇缘尺寸	$c = 12.7\text{mm}$
基本材料厚度	$t_0 = 1.09\text{mm}$
内侧圆角半径	$R = 2.4\text{mm}$
孔宽	$D = 38\text{mm}$
孔长	$L = 100\text{mm}$
屈服应力	$\sigma_y = 228\text{MPa}$
抗拉强度	$\sigma_b = 310\text{MPa}$
弹性模量	$E = 203 \times 10^3\text{MPa}$
剪切模量	$G = 77.9 \times 10^3\text{MPa}$
	$\alpha = 1$

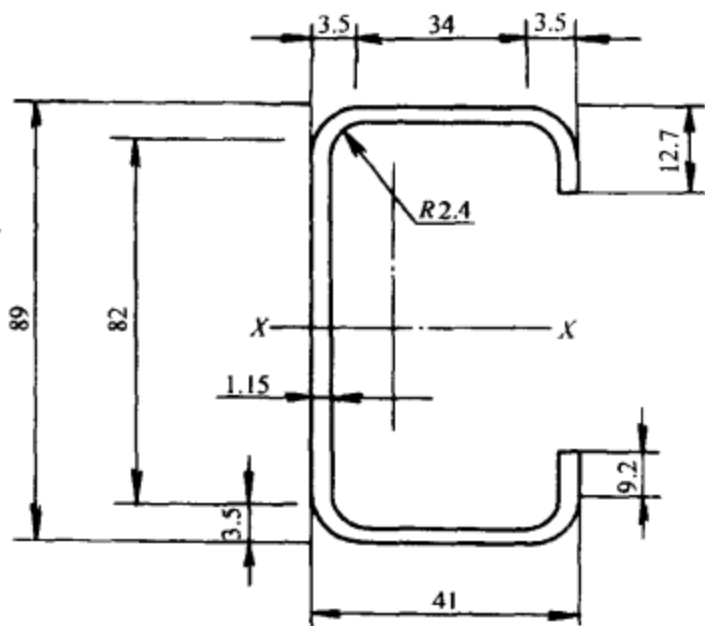


图 5.2-2

### 3. 计算参数

$$\begin{aligned} \text{设计厚度 } t &= t_0 / 0.95 \\ &= 1.09 / 0.95 \\ &= 1.15\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{腹板直线宽度 } a_0 &= d - 2(R + t) \\ &= 89 - 2 \times (2.4 + 1.15) \\ &= 82\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{边缘直线宽度 } b_0 &= b - 2(R + t) \\ &= 41 - 2 \times (2.4 + 1.15) \\ &= 34\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{唇缘直线宽度 } c_0 &= c - (R + t) \\
 &= 12.7 - (2.4 + 1.15) \\
 &= 9.2\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{弧长范围 } u &= 1.57 (R + t/2) \\
 &= 1.57 \times (2.4 + 1.15/2) \\
 &= 4.7\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{中性轴半径 } r &= (R + t/2) \\
 &= (2.4 + 1.15/2) \\
 &= 3\text{mm}
 \end{aligned}$$

#### 4. 面积

##### (1) 总面积

$$\begin{aligned}
 A &= t [a_0 + 2b_0 + 2c_0 + 2\pi (R + t/2)] \\
 &= 1.15 [82 + 2 \times 34 + 2 \times 9.2 + 2 \times 3.14 \times (2.4 + 1.15/2)] \\
 &= 215\text{mm}^2
 \end{aligned}$$

##### (2) 净面积

$$\begin{aligned}
 A_0 &= A - A_1 = A - Dt \\
 &= 215 - 38 \times 1.15 \\
 &= 171\text{mm}^2
 \end{aligned}$$

#### 5. 每米重量

##### (1) 每米总重量

$$\begin{aligned}
 \rho_1 &= A\rho \\
 &= (215 \times 10^{-6}) \times (7.85 \times 10^3) \\
 &= 1.7\text{kg/m}
 \end{aligned}$$

##### (2) 每米净重量

$$\begin{aligned}
 \rho_{10} &= A_0\rho \\
 &= (171 \times 10^{-6}) \times (7.85 \times 10^3) \\
 &= 1.4\text{kg/m}
 \end{aligned}$$

#### 6. 对 X 轴的总特性: (美国钢铁协会规范中的附录资料第 1.2 部分)

##### (1) 总转动惯量

$$\begin{aligned}
 I_x &= 2t \{ 0.417a_0^3 + b_0(a_0/2 + r)^2 + u(a_0/2 + 0.637r)^2 + 0.0149r^3 + \alpha[0.0833c_0^3 \\
 &\quad + (c_0/4)(a_0 - c_0)^2 + u(a_0/2 + 0.637r)^2 + 0.149r^3] \} \\
 &= 2 \times 1.15 \times \{ 0.417 \times 82^3 + 34 \times [(82/2) + 3]^2 + 4.7 \times [(82/2) + 0.637 \times 3]^2 + 0.0149 \times 3^3 \\
 &\quad + 0.0833 \times 9.2^3 + (9.2/4) \times (82 - 9.2)^2 + 4.7 \times [(82/2) + 0.637 \times 3]^2 + 0.149 \times 3^3 \} \\
 &= 272283\text{mm}^4 \\
 &= 27.23\text{cm}^4
 \end{aligned}$$

##### (2) 总截面模数

$$\begin{aligned}
 Y_{cg} &= d/2 \\
 &= 89/2
 \end{aligned}$$

$$= 44.5 \text{ mm}$$

$$= 4.45 \text{ cm}$$

$$S_x = I_x / Y_{cg}$$

$$= 27.23 / 4.5$$

$$= 6.1 \text{ cm}^3$$

(3) 回转半径

$$R_x = (I_x / A)^{1/2}$$

$$= [27.23 / (215 \times 10^{-2})]^{1/2}$$

$$= 3.56 \text{ cm}$$

## 7. 对 Y 轴的总特性

(1) 总转动惯量

$$x' = (2t/A) \{ b_0(b_0/2 + r) + u(0.363r) + \alpha [u(b_0 + 1.637r) + c_0(b_0 + 2r)] \}$$

$$= (2 \times 1.15 / 215) \times \{ 34 \times [(34/2) + 3] + 4.7 \times (0.363 \times 3) + 4.7 \times (34 + 1.637 \times 3) + 9.2 \times (34 + 2 \times 3) \}$$

$$= 13.2 \text{ mm}$$

$$= 1.32 \text{ cm}$$

$$I_y = 2t \{ b_0 (b_0/2 + r)^2 + 0.0833 b_0^3 + 0.356 r^3 + \alpha [c_0 (b_0 + 2r)^2 + u (b_0 + 1.637r)^2 + 0.149 r^3] \} - A (x')^2$$

$$= 2 \times 1.15 \times \{ 34 [(34/2) + 3]^2 + 0.0833 \times 34^3 + 0.356 \times 3^3 + 9.2 \times (34 + 2 \times 3)^2 + 4.7 \times (34 + 1.637 \times 3)^2 + 0.149 \times 3^3 \} - 215 \times 13.2^2$$

$$= 51490 \text{ mm}^4$$

$$= 5.15 \text{ cm}^4$$

(2) 总截面模数

$$x_{cg} = x' + t/2$$

$$= 1.32 + 0.115/2$$

$$= 1.38 \text{ cm}$$

$$S_y = I_y / x_{cg}$$

$$= 5.15 / 1.38$$

$$= 3.75 \text{ cm}^3$$

(3) 回转半径

$$R_y = [I_y / A]^{1/2}$$

$$= [5.15 / (215 \times 10^{-2})]^{1/2}$$

$$= 1.55 \text{ cm}$$

## 8. 扭转特性

(1) St. Venant 扭转常数

$$J = (t^3/3) [a_0 + 2b_0 + 2u + \alpha (2c_0 + 2u)]$$

$$= (1.15^3/3) \times (82 + 2 \times 34 + 2 \times 4.7 + 2 \times 9.2 + 2 \times 4.7)$$

$$= 94.4 \text{ mm}^4$$

$$= 9.44 \times 10^{-3} \text{cm}^4$$

## (2) 扭曲扭转常数

扭曲扭转常数是根据美国钢铁协会设计规范计算，也可从《低层钢结构住宅的设计、制造与装配》一书的特性表 3.2-4 中查出：

$$C_w = 93 \text{cm}^6$$

## (3) 回转极半径

针对质心主轴计算截面的回转极半径。

根据美国钢铁协会规范中的附录资料第 1.2.2 部分的公式计算得  $m = 2.1 \text{cm}$

$$\begin{aligned} x_0 &= - (x' - m) \\ &= - (1.32 + 2.1) \\ &= - 3.4 \text{cm} \\ R_o &= [R_x^2 + R_y^2 + x_o^2]^{1/2} \\ &= (3.56^2 + 1.55^2 + 3.4^2)^{1/2} \\ &= 5.16 \text{cm} \end{aligned}$$

## (4) 扭转变曲常数

$$\begin{aligned} \beta &= 1 - (x_o/R_o)^2 \\ &= 1 - (3.4/5.16)^2 \\ &= 0.564 \end{aligned}$$

## 9. 计算冷轧加工的屈服强度 $\sigma_{ya}$ ：

当  $\sigma_y = 228 \text{MPa}$ ；

$\sigma_u = 310 \text{MPa}$ ；

$\theta = 90^\circ$ ；

$\sigma_{yf} = 228 \text{MPa}$  (原始屈服点)

因为  $\sigma_u/\sigma_y = 310/228 = 1.364 \geq 1.2$

$R/t = 2.4/1.15 = 2.09 \leq 7$

$\theta = 90^\circ \leq 120^\circ$

为了应用美国钢铁协会设计规范中的公式 A5.2.2-1，S 型钢必须有一个压紧边缘，即  $\rho = 1$ 。对该部分，假定换算系数  $\rho$  是 1。

则  $m = 0.192 (\sigma_u/\sigma_y) - 0.068$

$$= 0.192 (0.310/0.228) - 0.068$$

$$= 0.193$$

$$B_c = 3.69 (\sigma_u/\sigma_y) - 0.819 (\sigma_u/\sigma_y)^2 - 1.79$$

$$= 3.69 (310/228) - 0.819 (310/228)^2 - 1.79$$

$$= 1.713$$

$$C = (2u) / (2u + b_0)$$

$$= (2 \times 4.7) / (2 \times 4.7 + 34)$$

$$= 0.22$$

$$\sigma_{yc} = (B_c) (\sigma_y) / (R/t)^m$$



$$= (1.719) \times (0.228) / (2.09)^{0.193}$$

$$= 340 \text{MPa}$$

所以  $\sigma_{ys} = C\sigma_{yc} + (1 - C)\sigma_{yf}$

$$= 0.22(340) + (1 - 0.22)(228)$$

$$= 253 \text{MPa}$$

### 10. 有效截面特性

#### (1) 计算转动惯量 $I_x$

1) 参考美国钢铁协会设计规范中的 B4.2 部分, 计算边缘转动惯量  $I_a$ :

取  $E = 203 \times 10^3 \text{MPa}$ ,

$f = 253 \text{MPa}$  (由于冷轧)

$$b_0/t = 34/1.15 = 29.6 < 60$$

$$c_0/t = 9.2/1.15 = 8 < 60$$

计算  $S = 1.28 [(E/f)]^{1/2}$

$$= 1.28 [(203 \times 10^3 / 253)]^{1/2}$$

$$= 36$$

$$S/3 = 36/3$$

$$= 12$$

因为  $36 > b_0/t > 12$

则适用于情况 II

$$I_a/t^4 = 399 [(b_0/t)/S - 0.330]^3$$

则  $I_a = 399t^4 [(b_0/t)/S - 0.330]^3$

$$= 399 \times 1.15^4 \times \{ [(34/1.15)/36] - 0.33 \}^3$$

$$= 82.73 \text{mm}^4$$

$$= 82.73 \times 10^{-4} \text{cm}^4$$

2) 计算全部边缘 (唇缘) 加强肋的转动惯量  $I_s$ :

因为  $c_0/t = 9.2/1.15 = 8 < 14$  ( $c_0/t$  的最大允许值)

$$I_s = tc_0^3/12$$

$$= (9.2)^3 (1.15) / 12$$

$$= 74.6 \times 10^{-4} \text{cm}^4$$

$$I_s/I_a = 74.6 \times 10^{-4} / 82.73 \times 10^{-4} = 0.9 < 1$$

因为  $c/b_0 = 12.7/34$

$$= 0.374$$

$$0.8 > c/b_0 > 0.25$$

则取  $n = 0.5$

所以  $k = [4.82 - 5c/b_0] (I_s/I_a)^n + 0.43$

$$= [4.82 - 5 \times 0.374] \times 0.9^{0.5} + 0.43$$

$$= 3.23$$

或  $k = 5.25 - 5c/b_0$



$$= 5.25 - 5 \times 0.374$$

$$= 3.4$$

3) 根据美国钢铁协会设计规范中的 B2.1 部分, 取最小值  $k = 3.23$  计算受压边缘的板薄系数

$$\begin{aligned}\lambda &= [1.052 / (k)^{1/2}] (b_0/t) (f/E)^{1/2} \\ &= (1.052 / 3.23^{1/2}) \times (34/1.15) \times (253/203 \times 10^3)^{1/2} \\ &= 0.616\end{aligned}$$

因为  $\lambda < 0.673$ ,

则  $\rho = 1$

$$b_e = b_0 = 34\text{mm}$$

受压边缘全部有效

4) 根据美国钢铁协会设计规范中的 B3.2 部分计算边缘加强肋有效宽度取

$$k = 0.43$$

$$c_0/t = 8$$

保守取

$$f = \sigma_y$$

薄板系数为

$$\begin{aligned}\lambda &= [1.052 / (k)^{1/2}] (c_0/t) (f/E)^{1/2} \\ &= [1.052 / (0.43)^{1/2}] (8) (228/203 \times 10^3)^{1/2} \\ &= 0.43\end{aligned}$$

因为  $\lambda < 0.673$ ,

且  $I_s/I_a = 0.9 < 1$

$$C_e = c_0 (I_s/I_a)$$

$$= 9.2 \times 0.9$$

$$= 8.3$$

受压加强肋 (唇缘) 不是全部有效。

5) 检查腹板是否全部有效

结合全部要素来定位中性轴位置。假定腹板全部有效, 顶部屈服强度为  $\sigma_{ya}$ :

要素	有效长度 $L/\text{cm}$	离顶缘的距离 $y/\text{cm}$	$Ly/\text{cm}^2$	$Ly^2/\text{cm}^3$	$I'_1 = L_y^3/12$ 相对自轴 $\text{cm}^3$
腹板	8.2	4.45	36.49	162.38	45.95
受拉边缘	3.4	8.84	30.06	265.85	
受压边缘	3.4	0.06	0.2	0.01	
上拐角	0.93	0.14	0.14	0.02	
下拐角	0.93	8.77	8.19	71.77	
上加强肋	0.83 <sup>①</sup>	0.77 <sup>②</sup>	0.64	0.49	0.048
下加强肋	0.92	8.09	7.44	60.21	0.064
总和	18.61		83.16	560.73	46.06

① 表中数据为计算出来的上加强肋有效长度。

② 表中数据是按上加强肋的有效长度计算出来的, 即  $y = c - c_0 + c_e/2$ 。

$$y_{cg} = \sum (L_y) / \sum L = 83.16 / 18.61 = 4.47 \text{ cm}$$

由于从受压边缘到中性轴的距离等于梁深度的一半，所以假定受压应力为  $\sigma_{ya}$ （也就是说，初始屈服是受压）

■ 采用美国钢铁协会设计规范中的 B2.3 部分检查腹板要素的有效性。

$$\begin{aligned} \text{因为 } f_1 &= \sigma_{ya} (y_{cg} - t - R) / y_{cg} \\ &= 253 (44.7 - 1.15 - 2.4) / 44.7 \\ &= 233 \text{ MPa (受压)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_2 &= -\sigma_{ya} (d - y_{cg} - t - R) / y_{cg} \\ &= -253 (89 - 44.7 - 1.15 - 2.4) / 44.7 \\ &= -233 \text{ MPa (受拉)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \psi &= f_2 / f_1 \\ &= -233 / 233 \\ &= -1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k &= 4 + 2 (1 - \psi)^3 + 2 (1 - \psi) \\ &= 4 + 2 \times (1 + 1)^3 + 2 \times (1 + 1) \\ &= 24 \end{aligned}$$

用  $f_1$  取代  $f$

$$\begin{aligned} \text{则 } \lambda &= [1.052 / (k)^{1/2}] (a_0 / t) (f_1 / E)^{1/2} \\ &= [1.052 / (24)^{1/2}] (89 / 1.15) (233 / 203 \times 10^3)^{1/2} \\ &= 0.57 \end{aligned}$$

因为  $\lambda < 0.673$

因此  $\rho = 1$

$$a_e = a_0 = 82 \text{ mm}$$

$$a_2 = a_e / 2$$

$$= 82 / 2$$

$$= 41 \text{ mm}$$

$$a_1 = a_e / (3 - \psi)$$

$$= 82 / (3 + 1)$$

$$= 20.5 \text{ mm}$$

$$a_1 + a_2 = 20.5 + 41$$

$$= 61.5 \text{ mm}$$

计算腹板受压部分的有效截面长度

$$\begin{aligned} a_{ce} &= y_{cg} - (R + t) \\ &= 44.7 - (2.4 + 1.15) \\ &= 41 \text{ mm} \end{aligned}$$

因为  $a_1 + a_2 > y_{cg} - (R + t)$ ,

因此取  $a_1 + a_2 = y_{cg} - (R + t) = 41 \text{ mm}$

中性轴距顶部的距离

$$y_{cg} = \sum (Ly) / \sum L$$

$$= 83.16 / 18.61$$

$$= 4.47 \text{ cm}$$

$$I'_x = Ly^2 + I'_1 - Ly_{cg}^2$$

$$= 560.73 + 46.06 - 18.61 (4.47)^2$$

$$= 235 \text{ cm}^3$$

转动惯量

$$I_x = I'_x t$$

$$= 235 \times 0.115$$

$$= 27.03 \text{ cm}^4$$

有效截面模数

$$S_x = I_x / y_{cg}$$

$$= 27.03 / 4.47$$

$$= 6.05 \text{ cm}^3$$

$$M_u = S_x \sigma_y$$

$$= 6.05 \times 253$$

$$= 1.55 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$= 1550 \text{ N} \cdot \text{m}$$

取  $\Omega = 1.67$

则  $M_s = M_u / \Omega$

$$= 1550 / 1.67$$

$$= 928 \text{ N} \cdot \text{m}$$

(2) 计算侧向允许弯矩

$$M_y = (\sigma_y) (S_y) / \Omega$$

$$= 228 \times 3.73 / 1.67$$

$$= 0.509 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$= 509 \text{ N} \cdot \text{m}$$

(3) 计算允许剪力

无冲孔腹板 (腹板没有孔) 参考美国钢铁协会设计规范中的 C3.2 部分。

因为  $a_0/t = 82/1.15 = 71.3 < 200$

计算  $1.38 [EK_v/\sigma_y]^{1/2} = 1.38 \times (203 \times 10^3 \times 5.34/228)^{1/2} = 95.2$

因为  $130 = a_0/t > 1.38 [EK_v/\sigma_y]^{1/2} = 95.2$

则未冲孔腹板允许剪力

$$F_q = 0.53 EK_v (t)^3 / a_0$$

$$= 0.53 \times 203 \times 10^3 \times 5.34 \times 1.15^3 / 82$$

$$= 10.656 \text{ kN}$$

$$= 10656 \text{ N}$$

由 ICBO AC46 方法计算 203S41-1.37 型钢构件冲孔腹板的允许剪力值。孔宽 38mm,

长 102mm, 位于腹板中心线上。

对无孔截面的 89S41-1.09 型钢的允许剪力上面计算出为 10656N。

计算换算系数

$$\begin{aligned} q_s &= 1 - 1.1 (N/d) \\ &= 1 - 1.1 (38/89) \\ &= 0.53 \end{aligned}$$

带标准孔腹板允许剪力

$$\begin{aligned} F_{qk} &= q_s F_q \\ &= 0.53 \times 10656 \\ &= 5648\text{N} \end{aligned}$$

### 11. 计算腹板允许临界强度

无冲孔腹板参考美国钢铁协会设计规范中的 C3.4 部分

假定支撑长度  $D$  最小为 38mm。

因为

$$d/t = 89/1.15 = 77.4 < 200$$

$$R/t = 2.4/1.15 = 2.1 < 6$$

$$D/t = 38/1.15 = 33 < 210$$

$$D/d = 38/89 = 0.43 < 3.5$$

因而可以应用美国钢铁协会设计规范中的表 C3.4-1 给出的公式

$$\begin{aligned} K_1 &= 4448.222/25.4^2 \\ &= 6.895 \text{ (N)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K &= \sigma_y/228\text{MPa} \\ &= 228/228 \\ &= 1 \text{ (注意, } \sigma_{ys} \text{ 不能用于该截面)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_3 &= 1.33 - 0.33k \\ &= 1.33 - 0.33 \times 1 \\ &= 1.00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_4 &= 1.15 - 0.15R/t \\ &= 1.15 - 0.15 \times 2.4/1.15 \\ &= 0.837 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_6 &= 1 + (d/t)/750 \\ &= 1 + 77.4/750 \\ &= 1.103 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_\theta &= 0.7 + 0.3 (\theta/90)^2 \\ &= 0.7 + 0.3 \times (90/90)^2 \\ &= 1.0 \end{aligned}$$

计算单个腹板临界强度

$$F_{cr} = k_1 t^2 k C_3 C_4 C_\theta [179 - 0.33 (d/t)] [1 + 0.01 (N/t)]$$



$$= 6.895 \times 1.15^2 \times 1 \times 1 \times 0.837 \times 1 \times (179 - 0.33 \times 77.4) \times (1 + 0.01 \times 38/1.15)$$

$$= 1558\text{N}$$

计算背靠背重叠腹板临界强度

$$F_{cr} = t^2 \sigma_y C_6 [5.0 + 0.63 (N/t)^{0.5}]$$

$$= (1.15)^2 (228) (1.103) [5.0 + 0.63 (38/1.15)^{0.5}]$$

$$= 2.867\text{kN}$$

$$= 2867\text{N}$$

### 三、203S41-1.37 型钢的总截面特性实例计算

#### 1. 截面图 (见图 5.2-3)

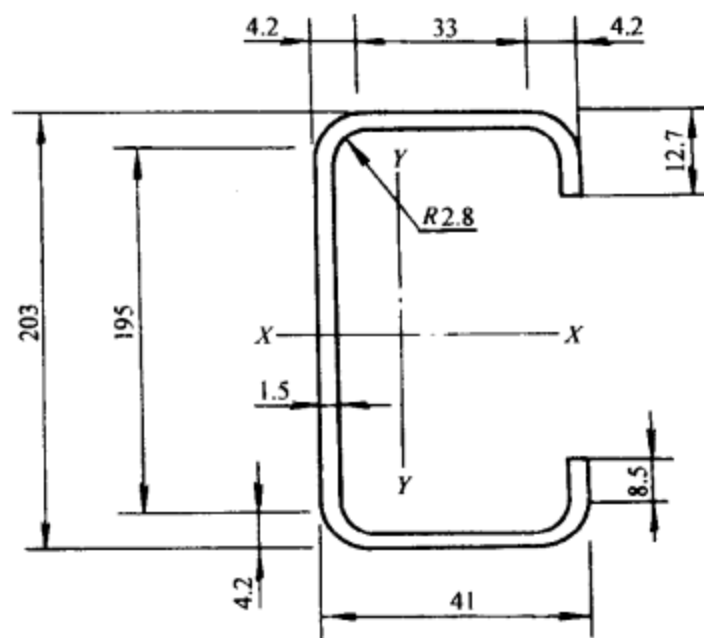


图 5.2-3

#### 2. 截面特性参数

下面为 203S41-1.37 型钢的截面特性 (来自《低层钢结构住宅的设计、制造与装配》一书的截面特性表)

总面积	$A = 4.32\text{cm}^2$
净面积	$A_0 = A - Dt = 4.32 - 3.8 \times 0.15 = 3.75\text{cm}^2$
剪力中心到质心的距离	$X_0 = -2.37\text{cm}$
转动惯量	$I_x = 239\text{cm}^4$
截面模数	$S_x = 23.5\text{cm}^3$
St. Venant 扭转常数	$J = 29.77 \times 10^{-3}\text{cm}^4$
转动惯量	$I_y = 8.08\text{cm}^4$
截面模数	$S_y = 2.5\text{cm}^3$ (总截面模数)
扭曲扭转常数	$C_w = 674\text{cm}^6$
回转半径	$R_x = 7.43\text{cm}$
	$R_y = 1.37\text{cm}$
回转极半径	$R_o = 7.92\text{cm}$

截面模数	$S_y = 2.23\text{cm}^3$ (有效截面模数)
扭转弯曲常数	$\beta = 0.911$
转动惯量	$I_x = 239\text{cm}^4$ (有效转动惯量)
截面模数	$S_x = 23.5\text{cm}^3$ (有效截面模数)
腹板临界应力	$\sigma_{ya} = 257\text{MPa}$
屈服弯矩	$M_s = 3590\text{N}\cdot\text{m}$
截面抗剪能力	$F_q = 8776\text{N}$ (无孔截面抗剪能力)
	$F_{qk} = 6966\text{N}$ (有孔截面抗剪能力)
允许腹板临界力	$F_{cr} = 4577\text{N}$ (叠加腹板)
	$F_{cr} = 2095\text{N}$ (单个腹板)

### 3. 计算参数

设计厚度	$t = 1.5\text{mm}$
最小未镀层交付厚度	$t_0 = t \times 0.95 = 1.5 \times 0.95 = 1.37\text{mm}$
内侧弯曲半径	$R = 2t_0 = 2 \times 1.37 = 2.8\text{mm}$
腹板直线宽度	$a_0 = d - 2(R + t) = 203 - 2 \times (2.8 + 1.5) = 195\text{mm};$
边缘直线宽度	$b_0 = b - 2(R + t) = 41 - 2 \times (2.8 + 1.5) = 33\text{mm};$
唇缘直线宽度	$c_0 = c - (R + t) = 12.7 - (2.8 + 1.5) = 8.5\text{mm};$
弧长范围	$u = 1.57(R + t/2) = 1.57 \times (2.8 + 1.5/2) = 5.5\text{mm}$
中性轴半径	$r = (R + t/2) = 2.8 + 1.5/2 = 3.5\text{mm};$
中性轴距顶部的距离	$Y_{cg} = d/2 = 203/2 = 101.6\text{mm}$
	$\alpha = 1$

### 4. 面积

#### (1) 总面积

$$\begin{aligned}
 A &= t [a_0 + 2b_0 + 2c_0 + 2\pi(R + t/2)] \\
 &= 1.5 [195 + 2 \times 33 + 2 \times 8.5 + 2 \times 3.14 \times (2.8 + 1.5/2)] \\
 &= 434\text{mm}^2
 \end{aligned}$$

#### (2) 净面积

$$\begin{aligned}
 A_0 &= A - A_1 \\
 &= A - Dt \\
 &= 434 - 38 \times 1.5 \\
 &= 378\text{mm}^2
 \end{aligned}$$

### 5. 每米重量

#### (1) 每米总重量

$$\begin{aligned}
 \rho_1 &= A\rho \\
 &= (434 \times 10^{-6}) \times (7.8 \times 10^3) \\
 &= 3.39\text{kg/m}
 \end{aligned}$$

#### (2) 每米净重量

$$\rho_{10} = A_0\rho$$



$$= (378 \times 10^{-6}) \times (7.8 \times 10^3)$$

$$= 2.95 \text{ kg/m}$$

## 6. 对 X 轴的总特性: (美国钢铁协会规范中的附录资料第 1.2 部分)

### (1) 总转动惯量 (美国钢铁协会规范中的附录资料第 1.2 部分)

$$\begin{aligned} I_x &= 2t \{ 0.417a_0^3 + b_0(a_0/2 + r)^2 + u(a_0/2 + 0.637r)^2 + 0.0149r^3 \} \\ &\quad + \alpha [0.0833c_0^3 + (c_0/4)(a_0 - c_0)^2 + u(a_0/2 + 0.637r)^2 + 0.149r^3] \} \\ &= 2 \times 1.5 \times \{ 0.417 \times 195^3 + 33 \times [(195/2) + 3.5]^2 + 5.5 \times [(195/2) + 0.637 \times 3.5]^2 \\ &\quad + 0.0149 \times 3.5^3 + 0.0833 \times 8.5^3 + (8.5/4) \times (195 - 8.5)^2 + 5.5 \times [(195/2) \\ &\quad + 0.637 \times 3.5]^2 + 0.149 \times 3.5^3 \} \\ &= 2388940 \text{ mm}^4 \\ &= 238.9 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

### (2) 总截面模数

$$\begin{aligned} S_x &= I_x / Y_{cg} \\ &= 238.9 / 10.16 \\ &= 23.5 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

### (3) 回转半径

$$\begin{aligned} R_x &= (I_x / A)^{1/2} \\ &= (238.9 / 434 \times 10^{-2})^{1/2} \\ &= 7.42 \text{ cm} \end{aligned}$$

## 7. 对 Y 轴的总特性

### (1) 总转动惯量 (美国钢铁协会规范中的附录资料第 1.2 部分)

$$\begin{aligned} x' &= (2t/A) \{ b_0(b_0/2 + r) + u(0.363r) + \alpha [u(b_0 + 1.637r) + c_0(b_0 + 2r)] \} \\ &= (2 \times 1.5 / 434) \times \{ 33 \times [(33/2) + 3.5] + 5.5 \times (0.363 \times 3.5) + 4.7 \times (33 \\ &\quad + 1.637 \times 3.5) + 8.5 \times (33 + 2 \times 3.5) \} \\ &= 8.09 \text{ mm} \\ &= 0.809 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_y &= 2t \{ b_0(b_0/2 + r)^2 + 0.0833b_0^3 + 0.356r^3 + \alpha [c_0(b_0 + 2r)^2 + u(b_0 \\ &\quad + 1.637r)^2 + 0.149r^3] \} - A(x')^2 \\ &= 2 \times 1.5 \times \{ 33[(33/2) + 3.5]^2 + 0.0833 \times 35^3 + 0.356 \times 3.5^3 + 8.5 \times (35 + 2 \times 3.5)^2 \\ &\quad + 5.5 \times (34 + 1.637 \times 3.5)^2 + 0.149 \times 3.5^3 \} - 434 \times 8.09^2 \\ &= 80588 \text{ mm}^4 \\ &= 8.06 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

### (2) 总截面模数

$$\begin{aligned} x_{cg} &= x' + t/2 \\ &= 0.809 + 0.15/2 \\ &= 0.88 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_y &= I_y / x_{cg} \\ &= 8.06 / 0.88 \end{aligned}$$

$$= 9.15 \text{cm}^3$$

(3) 回转半径

$$\begin{aligned} R_y &= [I_y/A]^{1/2} \\ &= [8.06 / (434 \times 10^{-2})]^{1/2} \\ &= 1.36 \text{cm} \end{aligned}$$

## 8. 扭转特性

(1) St. Venant 扭转常数

$$\begin{aligned} J &= (t^3/3) [a_0 + 2b_0 + 2u + \alpha (2c_0 + 2u)] \\ &= (1.5^3/3) \times (195 + 2 \times 33 + 2 \times 5.5 + 2 \times 8.5 + 2 \times 5.5) \\ &= 303 \text{mm}^4 \\ &= 30.3 \times 10^{-3} \text{cm}^4 \end{aligned}$$

(2) 扭曲扭转常数

扭曲扭转常数是根据美国钢铁协会设计规范计算，也可从《低层钢结构住宅的设计、制造与装配》一书的特性表 3.2-4 中查出：

$$C_w = 674 \text{cm}^6$$

(3) 回转极半径

针对质心主轴计算截面的回转极半径。根据美国钢铁协会规范中的附录资料第 1.2.2 部分的公式，计算出剪力中心与腹板中心线之间的距离  $m = 1.57 \text{cm}$

$$\begin{aligned} x_0 &= - (x' - m) \\ &= - (0.809 + 1.57) \\ &= - 2.37 \text{cm} \\ R_o &= [R_x^2 + R_y^2 + x_o^2]^{1/2} \\ &= (7.42^2 + 1.36^2 + 2.37^2)^{1/2} \\ &= 7.92 \text{cm} \end{aligned}$$

(4) 扭转弯曲常数

$$\begin{aligned} \beta &= 1 - (X_o/R_o)^2 \\ &= 1 - (2.37/7.93)^2 \\ &= 0.911 \end{aligned}$$

## 9. 计算冷轧加工的屈服强度 $\sigma_{ya}$ ：

$$\begin{aligned} \text{当 } \sigma_y &= 228 \text{MPa;} \\ \sigma_u &= 310 \text{MPa;} \\ \theta &= 90^\circ; \\ \sigma_{yf} &= 228 \text{MPa (原始屈服点)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{因为 } \sigma_u/\sigma_y &= 310/228 = 1.36 \geq 1.2 \\ R/t &= 2.8/1.5 = 1.9 \leq 7 \\ \theta &= 90^\circ \leq 120^\circ \end{aligned}$$

为了应用美国钢铁协会设计规范中的公式 A5.2.2-1，S 型钢必须有一个压紧边缘，即  $\rho = 1$ 。对该部分，假定换算系数  $\rho$  是 1。

$$\begin{aligned}\text{则 } m &= 0.192 (\sigma_u / \sigma_y) - 0.068 \\ &= 0.192 (310/228) - 0.068 \\ &= 0.193\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}B_c &= 3.69 (\sigma_u / \sigma_y) - 0.819 (\sigma_u / \sigma_y)^2 - 1.79 \\ &= 3.69 (310/228) - 0.819 (310/228)^2 - 1.79 \\ &= 1.713\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C &= (2u) / (2u + b_0) \\ &= (2 \times 5.5) / (2 \times 5.5 + 33) \\ &= 0.25\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{yc} &= B_c \sigma_y / (R/t)^m \\ &= 1.719 \times 228 / 1.9^{0.193} \\ &= 0.346 \text{MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{所以 } \sigma_{ya} &= C \sigma_{yc} + (1 - C) \sigma_{yf} \\ &= 0.25 (346) + (1 - 0.25) (228) \\ &= 0.257 \text{MPa}\end{aligned}$$

## 10. 计算有效截面特性

### (1) 计算转动惯量 $I_x$

1) 参考美国钢铁协会设计规范中的 B4.2 部分, 计算边缘转动惯量  $I_a$ :

取  $E = 203 \times 10^3 \text{MPa}$ ,

$f = 257 \text{MPa}$  (由于冷轧)

$$b_0/t = 33/1.5 = 22.7 < 60$$

$$c_0/t = 8.5/1.5 = 5.87 < 60$$

$$\begin{aligned}\text{计算 } S &= 1.28 (E/f)^{1/2} \\ &= 1.28 (203 \times 10^3 / 257)^{1/2} \\ &= 36 \\ S/3 &= 36/3 \\ &= 12\end{aligned}$$

因为  $S > b_0/t > S/3$

则适用于情况 II

$$I_a/t^4 = 399 [(b_0/t) / S - 0.330]^3$$

$$\begin{aligned}\text{则 } I_a &= 399 t^4 [(b_0/t) / S - 0.330]^3 \\ &= 399 \times 1.5^4 \times \{ [(33/1.5) / 36] - 0.33 \}^3 \\ &= 44.87 \text{mm}^4 \\ &= 44.87 \times 10^{-4} \text{cm}^4\end{aligned}$$

2) 计算全部边缘 (唇缘) 加强肋的转动惯量  $I_s$ :

因为  $c_0/t = 8.5/1.5 = 5.87 < 14 (\max. c_0/t)$

$$\begin{aligned}\text{则 } I_s &= t c_0^3 / 12 \\ &= (8.5)^3 (1.5) / 12\end{aligned}$$



$$= 74 \times 10^{-4} \text{cm}^4$$

$$I_s/I_a = 74 \times 10^{-4} / 43.7 \times 10^{-4}$$

$$= 1.57$$

因为  $c/b_0 = 12.7/33$

$$= 0.385$$

$$0.8 > c/b_0 > 0.25$$

则取  $n = 0.5$

$$k = [4.82 - 5c/b_0] (I_s/I_a)^n + 0.43$$

$$= [4.82 - 5 \times 0.385] \times 1^{0.5} + 0.43$$

$$= 3.3$$

或  $k = 5.25 - 5c/b_0$

$$= 5.25 - 5 \times 0.385$$

$$= 3.3$$

3) 根据美国钢铁协会设计规范中的 B2.1 部分, 取最小值  $k = 3.3$  计算受压边缘的苗条 (板薄) 系数

$$\lambda = (1.052/k^{1/2}) (b_0/t) (f/E)^{1/2}$$

$$= (1.052/3.3^{1/2}) \times (33/1.5) \times (257/203 \times 10^3)^{1/2}$$

$$= 0.453$$

因为  $\lambda < 0.673$ ,

则  $\rho = 1$

$$b_e = b_0 = 33$$

受压边缘全部有效。

4) 根据美国钢铁协会设计规范中的 B3.2 部分计算边缘加强肋有效宽度

取  $k = 0.43$ ,

$$c_0/t = 8.5/1.5$$

$$= 5.7$$

保守取  $f = \sigma_y = 257 \text{MPa}$

苗条 (薄板) 系数为

$$\lambda = (1.052/k^{1/2}) (c_0/t) (f/E)^{1/2}$$

$$= (1.052/0.43^{1/2}) (5.7) (257/203 \times 10^3)^{1/2}$$

$$= 0.325$$

因为  $\lambda < 0.673$ ,

且  $I_s/I_a > 1$

则取  $I_s/I_a = 1$

$$c_e = c_0 (I_s/I_a)$$

$$= 8.5 \times 1$$

$$= 8.5$$

受压加强肋 (唇缘) 全部有效。

## 5) 检查腹板是否全部有效

因为  $D/a_0 = 38/195 = 0.195 < 0.4$

所以

可以用总腹板截面积计算带孔腹板的  $S_e$ 。

结合全部要素来定位中性轴位置。假定腹板全部有效, 顶部屈服强度为  $\sigma_{ya}$ :

要素	有效长度 $L/\text{cm}$	离顶缘的距离 $y/\text{cm}$	$L_y/\text{cm}^2$	$L_y^2/\text{cm}^3$	$I_1' = L_y^3/12$ 相对自轴 $\text{cm}^3$
腹板	19.50	10.15	197.93	2008.94	617.91
受拉边缘	3.30	20.23	66.74	1349.87	
受压边缘	3.30	0.08	0.25	0.02	
上拐角	1.10	0.18	0.20	0.04	
下拐角	1.10	20.18	22.20	448.01	
上加强肋	0.85	0.85	0.72	0.61	0.05
下加强肋	0.85	19.46	16.54	321.72	0.05
总和	30		304.57	4129.19	618.01

$$y_{cg} = \sum (L_y) / \sum L = 304.57/30 = 10.2\text{cm} \text{ (离顶缘的距离)}$$

由于从受压边缘到中性轴的距离等于梁深度的一半, 假定受压应力为  $\sigma_{ya}$  (也就是说, 初始屈服是受压)

■ 采用美国钢铁协会设计规范中的 B2.3 部分检查腹板要素的有效性。

$$\begin{aligned} \text{因为 } f_1 &= \sigma_{ya} (y_{cg} - t - R) / y_{cg} \\ &= 257 (102 - 1.5 - 2.8) / 102 \\ &= 246\text{MPa (受压)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_2 &= -\sigma_{ya} (d - y_{cg} - t - R) / y_{cg} \\ &= -257 (203 - 102 - 1.5 - 2.8) / 102 \\ &= -246\text{MPa (受拉)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \psi &= f_2 / f_1 \\ &= -246/246 \\ &= -1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k &= 4 + 2 (1 - \psi)^3 + 2 (1 - \psi) \\ &= 4 + 2 \times (1 + 1)^3 + 2 \times (1 + 1) \\ &= 24 \end{aligned}$$

用  $f_1$  取代  $f$ , 并按上面所述确定的  $k=24$  计算:

$$\begin{aligned} \text{则 } \lambda &= (1.052/k^{1/2}) (a_0/t) (f_1/E)^{1/2} \\ &= (1.052/24^{1/2}) \times (195/1.5) \times (246/203 \times 10^3)^{1/2} \\ &= 0.97 \end{aligned}$$

因为  $\lambda > 0.673$ ,

因此  $a_e = \rho a_0$

$$\begin{aligned} \rho &= (1 - 0.22/\lambda) / \lambda \\ &= (1 - 0.22/0.97) / 0.97 \end{aligned}$$

$$= 0.797$$

$$a_e = \rho a_0$$

$$= 0.797 \times 195$$

$$= 155 \text{ mm}$$

$$a_2 = a_e / 2$$

$$= 155 / 2$$

$$= 77.5 \text{ mm}$$

$$a_1 = a_e / (3 - \psi)$$

$$= 155 / (3 + 1)$$

$$= 38.8 \text{ mm}$$

$$a_1 + a_2 = 38.8 + 77.5 = 116.3 \text{ mm}$$

计算腹板受压部分的有效截面长度

$$a_{ce} = y_{cg} - (R + t)$$

$$= 102 - (2.8 + 1.5)$$

$$= 97.4 \text{ mm}$$

因为  $a_1 + a_2 > y_{cg} - (R + t)$

因此取  $a_1 + a_2 = y_{cg} - (R + t) = 97.4 \text{ mm}$

中性轴距顶部的距离

$$y_{cg} = \sum (Ly) / \sum L$$

$$= 304.57 / 30$$

$$= 10.2 \text{ cm}$$

$$I'_x = Ly^2 + I'_1 - Ly_{cg}^2$$

$$= 4125 + 617 - 29.9 (10.2)^2$$

$$= 1650 \text{ cm}^3$$

转动惯量

$$I_x = I'_x t$$

$$= 1650 \times 1.5$$

$$= 239 \text{ cm}^4$$

(2) 计算有效截面模数

$$S_x = I_x / y_{cg}$$

$$= 239 / 10.2$$

$$= 23.5 \text{ cm}^3$$

(3) 计算最小名义弯矩

$$M_n = S_x \sigma_y$$

$$= 23.5 \times 257$$

$$= 6.04 \text{ kN}$$

$$= 6040 \text{ N} \cdot \text{m}$$

(4) 计算允许弯矩  $M_s$



$$\begin{aligned}
 M_a &= M_n / \Omega \\
 &= 6040 / 1.67 \\
 &= 3617 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (\text{本章第五节开孔尺寸为 } 101.5 \text{ mm 的计算值为 } 3036 \text{ N} \cdot \text{m})
 \end{aligned}$$

### 11. 计算对 y 轴的允许弯矩 $M_y$

$$\begin{aligned}
 M_y &= \sigma_y S_y / \Omega \\
 &= 228 \times 2.23 / 1.67 \\
 &= 0.305 \text{ kN} \cdot \text{m} \\
 &= 305 \text{ N} \cdot \text{m}
 \end{aligned}$$

### 12. 计算允许剪力

无冲孔腹板（腹板没有孔）参考美国钢铁协会设计规范中的 C3.2 部分。

因为  $a_0/t = 195/1.5 = 130 < 200$

$$\begin{aligned}
 \text{计算 } 1.38 (EK_v/\sigma_y)^{1/2} &= 1.38 \times (203 \times 10^3 \times 5.34/257)^{1/2} \\
 &= 89.6
 \end{aligned}$$

因为  $a_0/t > 1.38 (EK_v/\sigma_y)^{1/2}$

无孔截面抗剪承载能力

$$\begin{aligned}
 F_q &= 0.53 EK_v t^3 / a_0 \\
 &= 0.53 \times 203 \times 10^3 \times 5.34 \times 1.5^3 / 195 \\
 &= 9.944 \text{ kN} \\
 &= 9944 \text{ N}。
 \end{aligned}$$

由 ICBO AC46 方法计算 203S41-1.37 型钢构件冲孔腹板的允许剪力值。孔宽 38mm，长 102mm，位于腹板中心线上。

对无孔截面的 203S41-1.37C 型钢的允许剪力上面计算出为 9944N。

计算换算系数

$$\begin{aligned}
 q_s &= 1 - 1.1 (D/d) \\
 &= 1 - 1.1 (38/203) \\
 &= 0.794
 \end{aligned}$$

带标准孔截面抗剪承载能力

$$\begin{aligned}
 F_{qk} &= q_s F_q \\
 &= 0.794 \times 9944 \\
 &= 7895 \text{ N}。
 \end{aligned}$$

### 13. 计算允许腹板临界力

无冲孔腹板参考美国钢铁协会设计规范中的 C3.4 部分。

美国钢铁协会设计规范中的表 C3.4-1 给出的公式适用于  $d/t < 200$  和  $R/t \leq 6$ 。对于 203S41-1.37C 型钢，条款均满足。

假定支撑长度最小为 38mm。

$$K_1 = 4448.222/25.4^2 = 6.895 \text{ N}$$

$$K = \sigma_y/228 = 228/228 = 1 \quad (\text{注意该截面不能用冷轧加工后的屈服强度 } F_{ya})$$

$$C_3 = 1.33 - 0.33k = 1.33 - 0.33 \times 1 = 1.00$$

$$C_4 = 1.15 - 0.15R/t = 1.15 - 0.15 \times 2.8/1.5 = 0.865$$

$$C_6 = 1 + (d/t) / 750 = 1 + 135/750 = 1.179$$

$$C_\theta = 0.7 + 0.3 (\theta/90)^2 = 1.0$$

计算单个腹板临界力

$$\begin{aligned} F_{cr} &= k_1 t^2 k C_3 C_4 C_\theta [179 - 0.33 (a_0/t)] [1 + 0.01 (N/t)] \\ &= 6.895 \times 1.5^2 \times 1 \times 1 \times 0.865 \times 1 \times (179 - 0.33 \times 130) \times (1 + 0.01 \times 38/1.5) \\ &= 2289 \text{ N} \end{aligned}$$

计算背靠背重叠腹板临界力

$$\begin{aligned} F_{cr} &= t^2 \sigma_y C_6 [5.0 + 0.63 (N/t)^{0.5}] \\ &= (1.5)^2 (228) (1.179) [5.0 + 0.63 (38/1.5)^{0.5}] \\ &= 4.94 \text{ kN} \\ &= 4940 \text{ N} \end{aligned}$$

### 第三节 螺钉能力计算方法和实例计算

下面的例子是计算 ST4.8 螺钉连接 2 个 1.09mm 厚的 S 型钢构件的能力。所有参考公式和章节是取之 1993 年 2 月密苏里州大学冷轧钢结构中心 (CCFSS) 技术公报 Vol.2, No.1 文件《美国钢铁学会螺纹连接规范规定》。

#### 一、螺钉能力计算方法简介

##### 1. 计算螺钉承载剪力：(见 E4.3.1 部分)

每个螺钉承载剪力不得超过  $F_{as}$

$$F_{as} = F_{ns} / \Omega$$

式中  $F_{as}$ ——允许螺钉承载剪应力，单位为 N；

$F_{ns}$ ——最大螺钉承载剪力，单位为 N；

$\Omega$ ——安全系数。

(1) 以螺钉不被破坏为条件计算：

$$F_{ns1} = 4.2 (t^3 d)^{1/2} \sigma_{u2} \quad [E4.3.1]$$

要求

$$t_2/t_1 < 1.0$$

式中  $F_{ns1}$ ——螺钉极限承载剪力，单位为 N；

$d$ ——螺钉直径，单位为 mm；

$t$ ——构件厚度，单位为 mm；

$t_1$ ——构件 1 (外侧) 厚度，单位为 mm；

$t_2$ ——构件 2 (内侧) 厚度，单位为 mm；

$\sigma_{u2}$ ——构件 2 (内侧) 极限应力，单位为 MPa。

(2) 以构件 1 (外侧) 不被破坏为条件计算：

$$F_{ns2} = 2.7 t_1 d \sigma_{u1} \quad [E4.3.2]$$

式中  $F_{ns2}$ ——构件 1 (外侧) 极限剪力，单位为 N；

$d$ ——螺钉直径, 单位为 mm;

$t_1$ ——构件 1 (外侧) 厚度, 单位为 mm;

$\sigma_{u1}$ ——构件 1 (外侧) 极限承载应力, 单位为 MPa。

(3) 以构件 2 (内侧) 不被破坏为条件计算:

$$F_{ns3} = 2.7 t_2 d \sigma_{u2} \quad [E4.3.3]$$

式中  $F_{ns3}$ ——构件 2 (内侧) 极限承载剪力, 单位为 N;

$d$ ——螺钉直径, 单位为 mm;

$t_2$ ——构件 2 (内侧) 厚度, 单位为 mm;

$\sigma_{u2}$ ——构件 2 (内侧) 极限承载应力, 单位为 MPa。

取  $F_{ns1}$ ,  $F_{ns2}$ ,  $F_{ns3}$  中最小值为  $F_{ns}$

则  $F_{as} = F_{ns} / \Omega$

## 2. 计算螺钉拔出力

(1) 按构件 2 (内侧) 不被破坏为条件计算螺钉拔出力: (E4.4.1 部分)

$$F_{not} = 0.85 t_c d \sigma_{u2} \quad [E4.4.1.1]$$

$$F_{aot} = F_{not} / \Omega$$

式中  $F_{not}$ ——最大拔出力, 单位为 N;

$t_c$ ——构件厚度, 单位为 mm;

$d$ ——螺钉直径, 单位为 mm;

$\sigma_{u2}$ ——构件 2 (内侧) 极限承载应力, 单位为 MPa;

$F_{aot}$ ——允许拔出力, 单位为 N。

(2) 按构件 1 (外侧) 不被破坏为条件计算螺钉拔出力: (E4.4.2 部分)

$$F_{nov} = 1.5 t_1 d_w \sigma_{u1} \quad [E4.4.2.1]$$

$$F_{aov} = F_{nov} / \Omega$$

式中  $F_{nov}$ ——最大拔出力, 单位为 N;

$t_1$ ——构件 1 (外侧) 厚度, 单位为 mm;

$d_w$ ——垫圈直径, 单位为 mm;

$\sigma_{u1}$ ——构件 1 (外侧) 极限承载应力, 单位为 MPa;

$F_{aov}$ ——允许拔出力, 单位为 N。

拔出力不得超过  $F_{aot}$  和  $F_{aov}$  中最小值。

## 二、螺钉能力实例计算

螺钉直径

$$d = 4.8 \text{ mm};$$

钢材极限应力

$$\sigma_{u1} = \sigma_{u2} = 310 \text{ MPa (受拉)}$$

钢材最小未镀层厚度

$$t_c = t_1 = t_2 = 1.15 \text{ mm (设计厚度为 1.09 mm)}$$

安全系数

$$\Omega = 3.0$$

### 1. 计算螺钉承载剪力:

因为  $t_2/t_1 = 1.0 < 1.0$

$$\begin{aligned}
 F_{\text{ns1}} &= 4.2 (t^3 d)^{1/2} \sigma_{u2} \\
 &= 4.2 \times (1.15^3 \times 4.8)^{1/2} \times 310 \\
 &= 3.518 \text{ kN} \\
 &= 3518 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{\text{ns2}} &= 2.7 t_1 d \sigma_{u1} \\
 &= 2.7 \times 1.15 \times 4.8 \times 310 \\
 &= 4.62 \text{ kN} \\
 &= 4620 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{\text{ns3}} &= 2.7 t_2 d F_{u2} \\
 &= 2.7 \times 1.15 \times 4.8 \times 310 \\
 &= 4.62 \text{ kN} \\
 &= 4620 \text{ N}
 \end{aligned}$$

因此取  $F_{\text{ns}} = F_{\text{ns1}} = 3518 \text{ N}$

$$\begin{aligned}
 \text{所以 } F_{\text{as}} &= F_{\text{ns}} / \Omega \\
 &= 3518 / 3 \\
 &= 1173 \text{ N}
 \end{aligned}$$

## 2. 计算螺钉拔出力

(1) 螺钉拔出力:

$$\begin{aligned}
 t_c &= t_0 \\
 F_{\text{not}} &= 0.85 t_c d \sigma_{u2} \\
 &= 0.85 \times 1.15 \times 4.8 \times 310 \\
 &= 1.455 \text{ kN} \\
 &= 1455 \text{ N} \\
 F_{\text{aot}} &= F_{\text{not}} / \Omega \\
 &= 1455 / 3 \\
 &= 485 \text{ N}
 \end{aligned}$$

(2) 螺钉拔出力:

假定垫圈直径为

$$d_w = 2 \times d$$

$$\begin{aligned}
 \text{则 } F_{\text{nov}} &= 1.5 t_1 d_w \sigma_{u1} \\
 &= 1.5 \times 2 \times 1.15 \times 4.8 \times 310 \\
 &= 5.134 \text{ kN} \\
 &= 5134 \text{ N} \\
 F_{\text{aov}} &= F_{\text{nov}} / \Omega \\
 &= 5134 / 3 \\
 &= 1711 \text{ N}
 \end{aligned}$$

因此, 连接控制能力是:

剪力 = 1173 N



拔出力 = 485N

## 第四节 楼层托梁设计方法和实例计算

可以应用《低层轻钢骨架住宅设计、制造与装配》一书的工程方法来设计楼层托梁，但要将托梁的静荷载和活荷载合在一起考虑。该书提供了一个简单、没有风险，而又经济可行的表格形式进行标准化设计。

其设计方法忽略了楼层组件的（双面蒙皮效应）复合作用，采用保守的工程假定来设计楼层托梁。典型的住宅楼层组件复合强度抵抗弯曲和挠曲的能力很大。因为在支撑点还特别放置了腹板加强肋，所以不需要校核腹板断裂和组合挠度。

下面是编制托梁表中所选用的荷载：

净荷载：楼层净荷载 = 0.48kPa

活荷载：卧室 = 1.44kPa

其他房间 = 1.92kPa

这些是被工程团体广泛接受的荷载（也就是 ASCE7-93），并被列入主要的建筑法规中，如：CABO、SBCCI、UBC 和 BOCA（UBC 不允许 1.44kPa 的活荷载）。截面特性，抗弯，抗剪能力是根据美国钢铁协会设计规范要求来确定的。

### 一、楼层托梁设计方法简介

#### 1. 允许的托梁跨度

允许的托梁跨度是由下面的单支撑跨公式算出最小跨度得出：

弯曲

$$L_b = [(\sigma_b S_x 800) / (WS)]^{1/2} \quad (5.4-1)$$

挠度

$$L_d = [(384EI\delta_{\max}) / (5W)]^{1/3} \quad (5.4-2)$$

腹板极限应力

$$L_w = 2V_{\text{允许}} / (WS) \quad (5.4-3)$$

剪力

$$L_s = 2V_{\text{允许}} / (WS) \quad (5.4-4)$$

式中  $L$ ——单跨跨度，单位为 m；

$\sigma_b$ —— $\sigma_b = \sigma_y / \Omega$ ，许用弯曲（受压）应力，单位为 MPa；

$\sigma_y$ ——屈服应力，单位为 MPa；

$\Omega$ ——安全系数；

$I_x$ ——转动惯量，单位为  $\text{cm}^4$ ；

$W$ ——每平方米荷载，单位为 Pa；

$S_x$ ——截面模数，单位为  $\text{cm}^3$ ；

$S$ ——托梁间距，单位为 cm；

$\delta_{\max}$ ——允许挠度极限（活荷载为  $L/480$ ，全荷载为  $L/240$ ）；

$V_{\text{允许}}$ ——38mm 支撑长度的允许极限作用力，单位为 N。

考虑全部荷载是沿着简支托梁跨度方向均匀分布。上面的公式是由下面的公式导出：  
弯矩

$$M = wL^2/8 \quad (5.4-5)$$

剪力

$$V = wL/2 \quad (5.4-6)$$

活荷载挠度

$$\delta = (5w_l L^4) / (384EI) \quad (5.4-7)$$

全荷载挠度

$$\delta = (5w_t L^4) / (384EI) \quad (5.4-8)$$

## 2. 建议的楼层振动程序

为了确定冷轧轻钢托梁支撑的住宅楼层系统所能接受的由于人的活动而产生的振动，维吉尼亚（Virginia）技术标准描述如下：

1) 以 Onysko 的标准作为修整，来描述预计的现场性能，计算楼层中央的临界挠度：

对

$$L < 3.7\text{m}$$

$$\delta_{\text{临界}} = (142/L^{1.3}) \quad (5.4-9)$$

对

$$3.7\text{m} \leq L \leq 7.3\text{m}$$

$$\delta_{\text{临界}} = (350/L^{1.3}) (0.0018L + 0.338) \quad (5.4-10)$$

式中  $L$ ——楼层托梁跨度，单位为 cm。

2) 计算中跨上集中荷载为 1.0kN 的单跨预测挠度， $\delta_{\text{ot}}$ ：

$$\delta_{\text{ot}} = 2.085L^3 / (EI) \quad (5.4-11)$$

式中  $\delta_{\text{ot}}$ ——单跨预测挠度，单位 mm；

$L$ ——楼层托梁跨距，单位为 cm；

$E$ ——托梁的弹性模量，MPa；

$I$ ——单个托梁的转动惯量，单位  $\text{cm}^4$ 。

3) 用 SJI 公式计算有效托梁的数量：

$$N_{\text{eff}} = 1 + 2\sum \cos[(x\pi)/(2x_0)] \quad (5.4-12)$$

式中  $N_{\text{eff}}$ ——有效托梁的数量；

$x$ ——中心托梁到所研究托梁的距离，单位为 cm；

$x_0$ —— $x_0 = 1.06\epsilon L$ ，中心托梁到有效楼层边缘的距离，单位为 cm；

$L$ ——楼层托梁跨度，单位为 cm；

$\epsilon$ —— $\epsilon = (D_x/D_y)^{0.25}$ ；

$D_x$ —— $D_x = E_c t^3/12$ ，垂直于托梁的弯曲刚度，单位为  $\text{N}\cdot\text{m}$ ；

$D_y$ —— $D_y = EI_t/S$ ，平行于托梁的弯曲刚度，单位为  $\text{N}\cdot\text{m}$ ；

$E_c$ ——楼层粗地板的弹性模量，单位为 MPa；

$E$ ——托梁的弹性模量，单位为 MPa；

$t$ ——楼层粗地板的厚度，单位为 cm；

$I_t$ ——单个托梁的转动惯量，单位为  $\text{cm}^4$ ；

$S$ ——托梁跨度，单位为  $\text{cm}$ 。

4) 计算预测楼层中间挠度：

$$\delta_0 = \delta_{ot} / N_{eff} \quad (5.4-13)$$

式中  $\delta_0$ ——楼层中部的挠度，单位为  $\text{mm}$ ；

$\delta_{ot}$ ——计算中跨上集中荷载为  $1.0\text{kN}$  的单个托梁挠度，单位为  $\text{mm}$ ；

$N_{eff}$ ——楼层系统的有效托梁数量。

5) 比较  $\delta_0$  与临界挠度值  $\delta_{\text{临界}}$

如果 $\delta_0 < \delta_{\text{临界}}$	接受
如果 $\delta_0 > \delta_{\text{临界}}$	不接受
如果 $\delta_{\text{临界}} < \delta_0 \leq 1.1 (\delta_{\text{临界}})$	有限制的接受

## 二、楼层托梁设计实例计算

下面的例子是计算 203S41-1.37C 型钢构件和 203S41-1.09C 型钢构件楼层托梁的最大允许单跨：

其静荷载加活荷载分别为

$$0.48 + 1.44 = 1.92\text{kPa} \quad (\text{对 } 203\text{S41}-1.37\text{C 型托梁})$$

$$0.48 + 1.92 = 2.4\text{kPa} \quad (\text{对 } 203\text{S41}-1.09\text{C 型托梁})$$

托梁中心线间距均为

$$S = 610\text{mm}。$$

托梁允许跨度受弯曲、腹板极限应力、剪应力与挠度控制。托梁在所有支撑处都参照《低层轻钢骨架住宅设计、制造与装配》一书第 5.3 部分，装有腹板加强肋。因此，设计时不需要考虑腹板极限应力（在性能计算部分有一个计算腹板临界强度的例子）。

### 1. 最大允许跨度

#### 1) 受弯曲限制的最大跨度：

弯曲应力

$$\sigma_b = M / S_x \quad (5.4-14)$$

式中  $M$ —— $M = wL^2/8$ ，（间支梁）弯矩，单位为  $\text{N}\cdot\text{m}$ ；

$w$ —— $w = \text{荷载} \times \text{托梁间距}$ ，线密度，单位为  $\text{Pa}\cdot\text{m}$ （或  $\text{KN/m}$ ）；

$S_x$ ——截面模数，单位为  $\text{cm}^3$ ；

$\sigma_b$ —— $\sigma_y/\Omega$ ，许用弯曲（受压）应力，单位为  $\text{MPa}$ 。

注意：由于冷轧产生了屈服应力增加，但是由于弯曲不影响设计，所以忽略不计。

$$S_x = 23.35\text{cm}^3 \quad (\text{对 } 203\text{S41}-1.37\text{C 型托梁，见特性表部分})$$

$$S_x = 18.86\text{cm}^3 \quad (\text{对 } 203\text{S41}-1.09\text{C 型托梁，见特性表部分})$$

$$I_x = 237.25\text{cm}^4 \quad (\text{对 } 203\text{S41}-1.37\text{C 型托梁，见特性表部分})$$

$$I_x = 191.67\text{cm}^4 \quad (\text{对 } 203\text{S41}-1.09\text{C 型托梁，见特性表部分})$$

因此，对 203S41-1.09C 型托梁：

$$\begin{aligned} L_{\max} &= [(\sigma_b \times S_x \times 8W) / (W \times S)]^{1/2} \\ &= [(0.137 \times 18.86 \times 8W) / (1920 \times 0.61)]^{1/2} \end{aligned}$$

$$= 4.2\text{m}$$

对 203S41-1.37C 型托梁:

$$\begin{aligned} L_{\max} &= [(\sigma_b \times S_x \times 800) / (W \times S)]^{1/2} \\ &= [(0.137 \times 23.35 \times 800) / (2400 \times 0.61)]^{1/2} \\ &= 4.19\text{m} \end{aligned}$$

2) 受挠度限制的最大跨距:

对于均匀分布荷载的间支梁, 最大挠度是:

$$\delta_{\max} = 5wL^4 / 384EI \quad (5.4-15)$$

式中  $\delta_{\max}$ ——对  $w_t$  为  $L/360$ , 对  $w_l$  为  $L/480$ ;

$w_t$ ——全荷载, 单位为 Pa;

$w_l$ ——活荷载, 单位为 Pa;

$E$ —— $E = 203 \times 10^3 \text{MPa}$ , 弹性模量, 单位为 MPa。

对 203S41-1.09C 型托梁:

全荷载:

$$\begin{aligned} L_{\max} &= [(384EI\delta_{\max}) / (5WS)]^{1/3} \\ &= [(384 \times 203 \times 10^3 \times 191.67/100) / (5 \times 1920 \times 0.61 \times 360)]^{1/3} \\ &= 4.14\text{m} \end{aligned}$$

活荷载:

$$\begin{aligned} L_{\max} &= [(384EI\delta_{\max}) / (5WS)]^{1/3} \\ &= [(384 \times 203 \times 10^3 \times 191.67/100) / (5 \times 1440 \times 610 \times 480)]^{1/3} \\ &= 4.14\text{m} \end{aligned}$$

因此, 最大允许跨度是 4.14m。

对 203S41-1.37C 型托梁:

全荷载:

$$\begin{aligned} L_{\max} &= [(384EI\delta_{\max}) / (5WS)]^{1/3} \\ &= [(384 \times 203 \times 10^3 \times 237.25/100) / (5 \times 2400 \times 0.61 \times 360)]^{1/3} \\ &= 4.13\text{m} \end{aligned}$$

活荷载:

$$\begin{aligned} L_{\max} &= [(384EI\delta_{\max}) / (5WS)]^{1/3} \\ &= [(384 \times 203 \times 10^3 \times 237.25/100) / (5 \times 1920 \times 0.61 \times 480)]^{1/3} \\ &= 4.04\text{m} \end{aligned}$$

因此, 最大允许跨度是 4.04m。

3) 剪力限制的最大跨度:

剪力

$$V = wL/2 \quad (5.4-16)$$

式中  $w$ —— $w = W \times S$ , 线密度, 单位为 Pa·m (或 kN/m)。

$V_{\text{允许}} = 6968\text{N}$  (对 203S41-1.37C 型托梁冲孔托梁, 见特性表部分)

$V_{\text{允许}} = 3502\text{N}$  (对 203S41-1.09C 型托梁冲孔托梁, 见特性表部分)

对 203S41-1.09C 型托梁:

$$\begin{aligned} L_{\max} &= 2V / (10 \times W \times S) \\ &= 2 \times 3502 / (10 \times 1920 \times 0.610) \\ &= 6\text{m} \end{aligned}$$

对 203S41-1.37C 型托梁:

$$\begin{aligned} L_{\max} &= 2V / (10 \times W \times \text{间距}) \\ &= 2 \times 6968 / (10 \times 2400 \times 0.61) \\ &= 9.5\text{m} \end{aligned}$$

允许跨度是受弯曲、剪力和挠度限制的最大跨距最小值。

1.44Pa 活荷载 + 0.48Pa 静荷载的 203S41-1.09C 型托梁的最大允许跨度是 4.14m。

1.92Pa 活荷载 + 0.48Pa 静荷载的 203S41-1.37C 型托梁的最大允许跨度是 4.04m。

## 2. 楼层振动校核

例 1: 用 305S41-1.37C 型钢 ( $I = 651.4\text{cm}^4$ ) 托梁建造一个楼层, 中心间距为 61cm。单跨跨距为 579.12cm。楼层粗地板为 1.83cm 厚 ( $E_c = 4 \times 10^3\text{MPa}$ )。楼层支撑在混凝土基础 (CMU) 上。

因为  $L = 5.79\text{m} > 3.7\text{m}$

$$\begin{aligned} \text{所以 } \delta_{\text{临界}} &= (350/L^{1.3}) (0.0018L + 0.338) \\ &= (350/579.12^{1.3}) \times (0.0018 \times 579.12 + 0.338) \\ &= 0.124\text{cm} \\ &= 1.24\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta_{\text{ot}} &= 2.085L^3/EI \\ &= 2.085 \times 579.12^3 / (203 \times 10^3 \times 651.4) \\ &= 3.06\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_x &= E_c t^3 / 12 \\ &= 4 \times 10^3 \times 1.83^3 / 12 \\ &= 2.04\text{kN} \cdot \text{m} \\ &= 2040\text{N} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_y &= EI_t / S \\ &= 203 \times 10^3 \times (651.4/100) / 0.61 \\ &= 2167\text{kN} \cdot \text{m} = 2167000\text{N} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon &= (D_x/D_y)^{0.25} \\ &= (2040/2167000)^{0.25} \\ &= 0.175 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_0 &= 1.06\epsilon L \\ &= 1.06 \times 0.175 \times 579.12 \\ &= 107.3\text{cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_0/S &= 107.3/61 \\ &= 1.76 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
N_{\text{eff}} &= 1 + 2 \sum \cos [x\pi / (2x_0)] \\
&= 1 + 2 \times \cos [61\pi / (2 \times 107.3)] \\
&= 2.256 \\
\delta_0 &= \delta_{\text{ot}} / N_{\text{eff}} \\
&= 3.06 / 2.256 \\
&= 1.36\text{mm} > 1.24\text{mm}
\end{aligned}$$

不能接受该楼层设计。

**例 2:** 用 254S41-1.09C 型钢托梁 ( $I = 332\text{cm}^4$ ) 建造一个楼层, 中心间距为 61cm。单跨跨距  $L = 361\text{cm}$ 。楼层粗地板为 1.83cm 厚 ( $E_c = 4 \times 10^3\text{MPa}$ )。楼层支撑在混凝土基础 (CMU) 上。

因为  $L = 3.61\text{m} < 3.7\text{m}$

$$\begin{aligned}
\text{所以 } \delta_{\text{临界}} &= 350 / L^{1.3} \\
&= 350 / 361^{1.3} \\
&= 0.166\text{cm} \\
&= 1.66\text{mm} \\
\delta_{\text{ot}} &= 2.085 L^3 / EI \\
&= 2.085 \times 361^3 / (203 \times 10^3 \times 332) \\
&= 1.45\text{mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
D_x &= E_c t^3 / 12 \\
&= 4 \times 10^3 \times 1.83^3 / 12 \\
&= 2.04\text{kN} \cdot \text{m} \\
&= 2040\text{N} \cdot \text{m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
D_y &= EI_t / S \\
&= 203 \times 10^3 \times (332 / 100) / 0.61 \\
&= 1105\text{kN} \cdot \text{m} \\
&= 1105000\text{N} \cdot \text{m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\epsilon &= (D_x / D_y)^{0.25} \\
&= (2040 / 1105000)^{0.25} \\
&= 0.207
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
x_0 &= 1.06 \epsilon L \\
&= 1.06 \times 0.207 \times 361 \\
&= 79.2\text{cm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
x_0 / S &= 79.2 / 61 \\
&= 1.3
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
N_{\text{eff}} &= 1 + 2 \sum \cos [x\pi / (2x_0)] \\
&= 1 + 2 \times \cos [61\pi / (2 \times 79.2)] \\
&= 1.71
\end{aligned}$$

$$\delta_0 = \delta_{\text{ot}} / N_{\text{eff}}$$



$$= 1.45/1.71$$

$$= 0.85\text{mm} > 1.24\text{mm}$$

可以接受该楼层设计。

## 第五节 开孔腹板楼层托梁设计方法和实例计算

### 一、符号定义

为了统一符号，图 5.5-1 给出支撑条件的一些设计符号。

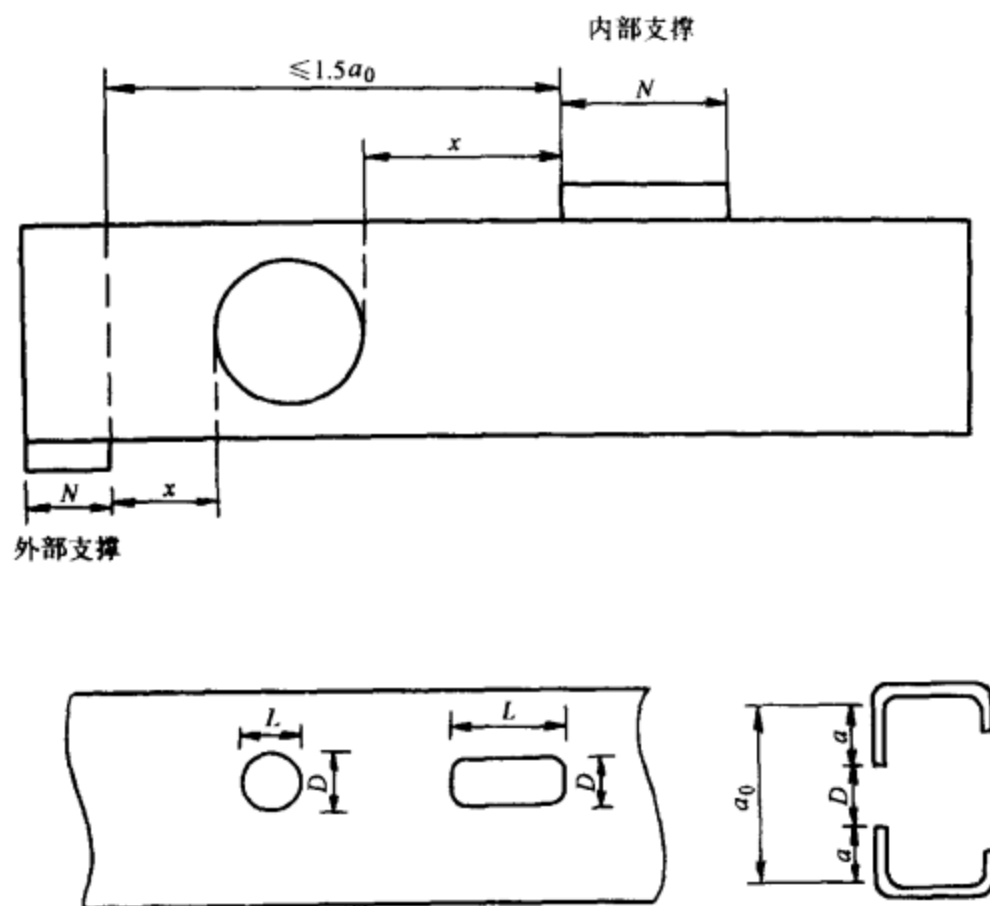


图 5.5-1

图 5.5-2 对腹板断裂荷载条件的一些设计符号作了定义，其中：

- ①——代表荷载条件 1：端部反作用力，仅在一侧边缘为  $P_t L_d < 1.5h$ ；
- ②——代表荷载条件 2：内部反作用力，仅在一侧边缘为  $P_t L_d \geq 1.5h$ ；
- ③——代表荷载条件 3：端部反作用力，在两侧边缘均为  $P_t L_d \leq 1.5h$ ；
- ④——代表荷载条件 4：内部反作用力，在两侧边缘均为  $P_t L_d \geq 1.5h$ 。

注： $P_t L_d$ ——是指支撑边缘与托梁端部（或集中荷载）之间的距离。

### 二、开孔腹板楼层托梁设计方法简介

冷轧轻钢构件在北美已经广泛地应用到商业和民用设施上。在使用和制造冷轧轻钢墙柱和托梁时经常需要在腹板横截面上冲孔。它包括工艺孔、水、电、气、汽管道孔和空调管道孔等。因为在制造过程中要冲这些孔，所以需要定义它们的尺寸和位置。在安装和建筑过程中也经常需要调整这些孔的尺寸和位置。

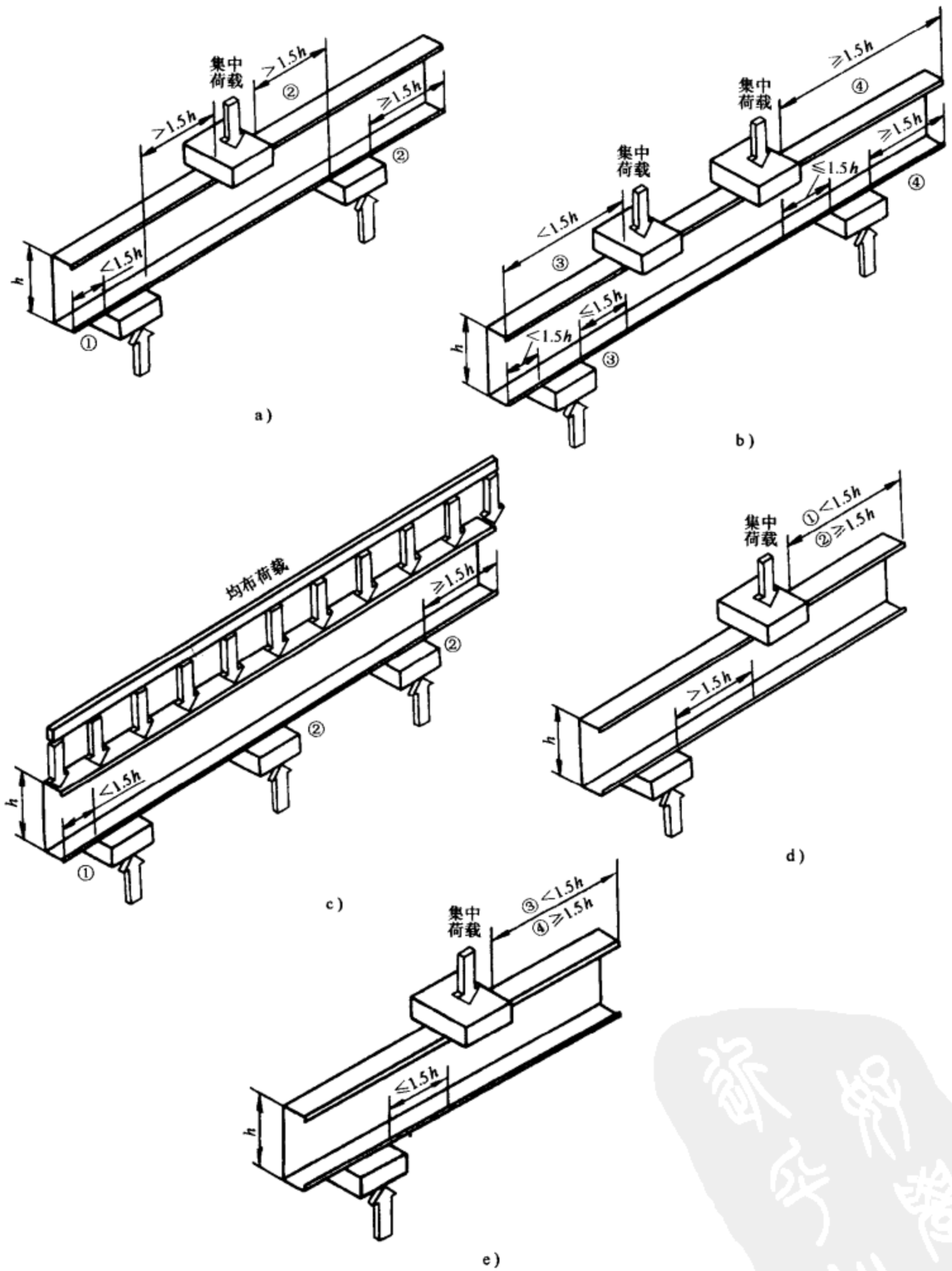


图 5.5-2

因为腹板开口存在着衰减影响。美国密苏里州 Rolla 大学 (UMR) 对开孔腹板进行了研究, 并对纯弯曲、剪切、腹板断裂、弯曲和剪切组合、弯曲和断裂组合提出了基本的设计建议。本节就是根据这个建议, 对开孔腹板冷轧轻钢弯曲构件的强度设计提供了一个可行方案。确认了腹板弯曲、受剪、腹板断裂以及弯曲和剪力组合、弯曲和腹板断裂组合等强度条件。

UMR 的设计建议是基于对包括  $a_0/t > 200$  和  $D/a_0 > 0.8$  在内的全部的 C 型钢梁进行了试验。试验程序考虑了两种开口孔形状, 即圆形开口和内圆角矩形孔开口腹板。圆孔是用孔锯切割的, 类似于在现场切割的孔。而工业标准孔是在滚轧过程中冲出的。

本节仅仅是根据美国钢铁协会《冷轧钢结构构件规范》1986 版和 1989 年增加版来对构件进行设计。是按允许应力设计格式 (ASD) 荷载。这样就必须采用规范指定的名义 (非要素) 荷载。同时本节也要求必须适合阻力因素格式 (LRFD) 荷载。这样, 本节就要求用强度计算来确定开孔腹板是否全部有效, 这里的孔是在制造过程或施工现场加工的。

本节内容是用于楼层托梁这样的弯曲和受剪构件。对于向墙柱这样的轴向荷载构件可参见美国钢铁协会设计规范。本节是针对腹板深厚比 ( $a_0/t$ ) 小于 200 或腹板孔深高比 ( $D/a_0$ ) 小于 0.75 的 C 型构件。孔是假定位于腹板中部中心上。如果孔位偏移, 就需要假定孔的尺寸为实际孔位为对中心对称的最大位置。

腹板孔中心到中心的间距至少要保持保持在构件深度的 3 倍以上, 但也不能超出 610mm。非圆孔长度不能超出 2.67 倍的孔深度。圆孔直径不能大于 152mm。

如果有特别分析或实验要求指定限制除外。

### 1. 纯弯曲

允许弯矩  $M_a$  按下式计算:

$$M_a = M_n / 1.67 \quad (5.5-1)$$

式中  $M_n$ ——名义横截面弯矩, 计算公式如下:

$$M_n = S_e \sigma_y \quad (5.5-2)$$

式中  $\sigma_y$ ——指定最小屈服应力, 单位为 MPa;

$S_e$ ——有效截面模数, 单位为  $\text{cm}^3$ ;

$D$ ——腹板孔尺寸 (矩形孔是宽度, 圆孔是直径), 单位为 mm;

$a_0$ ——腹板平直部分深度。

当  $D/a_0 < 0.4$ , 按规范 C3.1.1 (a) 部分规定计算  $M_n$  和  $S_e$ 。有效截面是用最大受压或受拉面屈服应力计算截面模数。这样, 必须按规范 B 部分确定边缘和边缘加强肋有效宽度。当  $D/a_0 < 0.4$ , 就可以用总腹板截面积计算带孔腹板的  $S_e$ 。

当  $D/a_0 \geq 0.4$ , 由式 (5.5-2) 计算  $M_n$ , 但计算  $S_e$  时必须要考虑腹板孔的影响。特别是用腹板孔上 (腹板孔下施加荷载) 的腹板受压部分的有效宽度确定  $S_e$ , 作为无加强肋受压部分处理, 取  $K = 0.43$  (见规范 B3.2 部分)。也就是说, 边缘和唇缘加强肋有效宽度必须按规范 B 部分来确定。当  $D/a_0 \geq 0.4$ , 计算  $S_e$  时, 必须从腹板截面中扣除孔的截面积。

### 2. 纯剪切

施加的剪力不允许超出允许剪力  $V_{al}$ , 计算如下:

$$V_{al} = q_{s1} q_{s2} V_a \quad (5.5-3)$$

$$\begin{aligned}
 &\text{当} & a'/t \geq 54 \\
 &\text{则} & q_{s1} = 1 \\
 & & q_{s2} = 1 \\
 &\text{当} & 5 \leq a'/t < 54 \\
 &\text{则} & q_{s1} = (a'/t) / 54 \\
 & & q_{s2} = 1.5 (V_1/V_2) - 0.5 \leq 1.3 \\
 & & q_{s1} \times q_{s2} \leq 1
 \end{aligned} \tag{5.5-4}$$

式中  $a'$ —— $a' = (a_0/2) - D/2.83$ , 用于圆腹板孔, 单位为 mm,

$a' = (a_0/2) - D/2$ , 用于所有其他腹板孔, 单位为 mm;

$t$ ——钢基本材料厚度 (未镀层前), 单位为 mm;

$V_1/V_2$ ——沿着腹板孔纵轴方向的剪力变化。 $V_1$  是较大的剪力,  $V_2$  是位于孔边缘的较小的剪力;

$V_a$ ——按规范 C3.2 部分计算出的允许剪切强度。

### 3. 弯矩和剪力组合

未加固腹板弯矩和剪力组合满足下面的公式:

$$(M/M_a)^2 + (V/V_{al})^2 \leq 1 \tag{5.5-5}$$

式中  $M$ ——施加的弯矩, 单位为 N·m;

$M_a$ ——计算纯弯曲的允许弯矩, 单位为 N·m;

$V$ ——施加的剪力, 单位为 N;

$V_{al}$ ——急速纯剪切的允许剪力, 单位为 N。

### 4. 腹板断裂

受到集中荷载或反作用力作用的弯曲构件的腹板是根据美国钢铁协会设计规范 C3.4 部分, 按断裂条件设计的, 除了允许腹板断裂荷载  $P_a$ , 还要乘以衰减系数  $R_c$ , 应用的公式如下。

(1) 没有加强肋的腹板, 一边荷载 (荷载条件 1 和 2)

对孔不在支撑长度范围内的端部一边荷载条件 (荷载条件 1):

$$R_c = 1.01 - 0.325 (D/a_0) + 0.083 (x/a_0) \leq 1 \tag{5.5-6}$$

式中  $D$ ——腹板孔的深度, 单位为 mm;

$a_0$ ——腹板平直部分深度, 单位为 mm;

$x$ ——孔边缘到支撑边缘最近的距离。

对孔不在支撑长度范围内的内部一边荷载条件 (荷载条件 2):

$$R_c = 0.9 - 0.047 (D/a_0) + 0.053 (x/a_0) \leq 1 \tag{5.5-7}$$

内部一边荷载与孔中心线对称重合的内部一边荷载条件 (荷载条件 2):

$$R_c = [1 - 0.197 (D/a_0)^2] [1 - 0.127 (L/n_1)^2] \leq 1 \tag{5.5-8}$$

式中  $n_1$ —— $n_1 = N + a_0 - D$ , 单位为 mm;

$L$ ——腹板孔长度, 单位为 mm。

当孔在支撑长度之内并不与荷载对称的内部一边荷载条件 (荷载条件 2) 采用下面较小的公式:

$$R_c = 0.9 - 0.047 (D/a_0) \leq 1 \quad (5.5-9)$$

$$R_c = [1 - 0.197 (D/a_0)^2] [1 - 0.127 (L/n_1)^2] \leq 1 \quad (5.5-10)$$

## (2) 带加强肋腹板，一边荷载（荷载条件 1 和 2）

这里加强肋是传递集中荷载或反作用力，不需要计算  $P_a$  和  $R_c$ 。加强肋的横截面等于构件横截面。对端部一边荷载和内部一边荷载条件，全深加强肋必须伸展到支撑 N 长度上。需尽可能的靠近构件的顶部和下部附加加强肋。

## (3) 双边荷载（荷载条件 3 和 4）

对于双边荷载条件（荷载条件 3 和 4），必须根据规范 F1 部分进行试验。

## 5. 弯曲和腹板断裂组合

属于弯曲组合和集中荷载或反作用力的没有腹板加强肋的 C 型截面需按下面的公式设计：

$$1.2 (P/R_c P_a) + (M/M_a) \leq 1.5 \quad (5.5-11)$$

式中  $P$ ——施加的集中荷载或反作用力；

$P_a$ ——只针对腹板断裂允许的集中荷载或反作用力；

$M$ ——施加的弯矩；

$M_a$ ——只针对弯曲的允许弯矩；

$R_c$ ——腹板断裂缩减系数。

## 三、开孔腹板楼层托梁设计实例

### 计算

#### 1. 范例 1

按美国钢铁协会 AISI 设计规范要求校核 203mm 高的 C 型钢。荷载、相应的剪力图和弯矩图见图 5.5-3。

C 型钢横截面及支撑条件见图 5.5-4：

假定：部件设计代号 203S41-1.73

钢材牌号 Q235

施加荷载 0.729kN/m（静+活）

托梁上带有中心间距为 305mm 的夹板。

#### (1) 校核弯曲

■ 在正弯矩范围内，弯曲强度受横截面的初始屈服控制。

$$D = 76\text{mm}$$

$$a_0 = 2 \times 101.5 - 2 (2 \times 1.73 + 1.73)$$

$$= 193\text{mm}$$

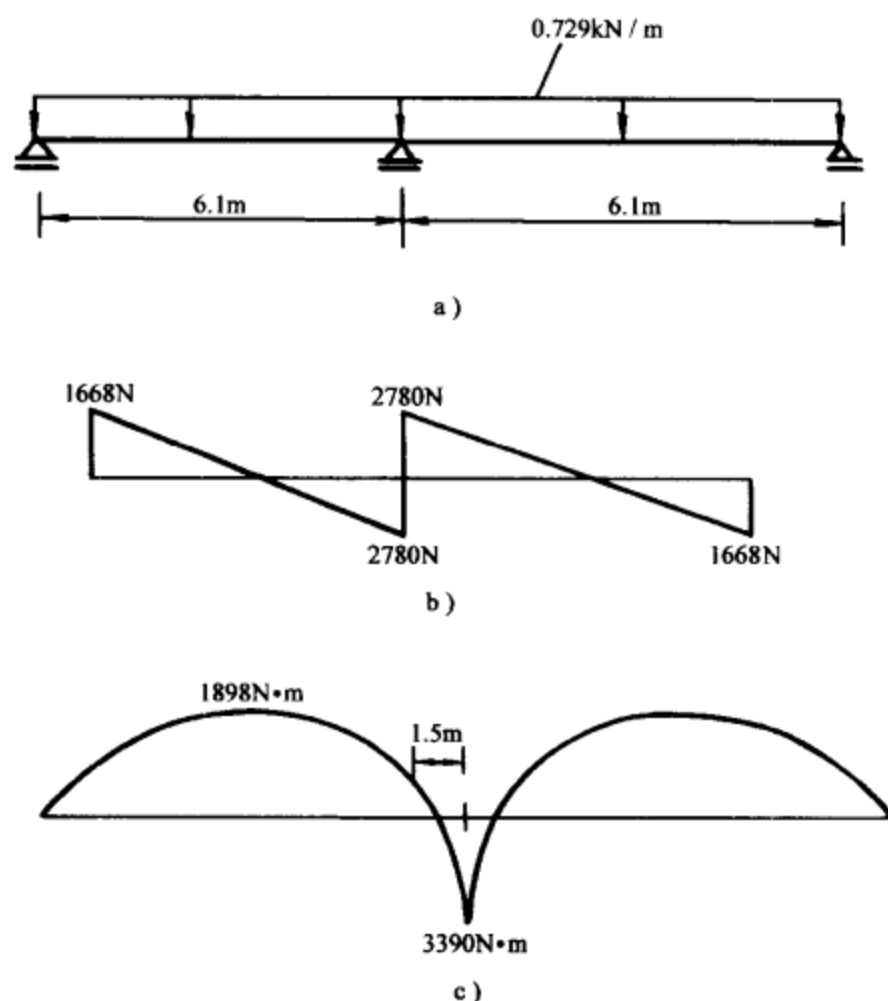


图 5.5-3

a) 静荷载加活荷载 b) 相应的剪力图 c) 弯矩图

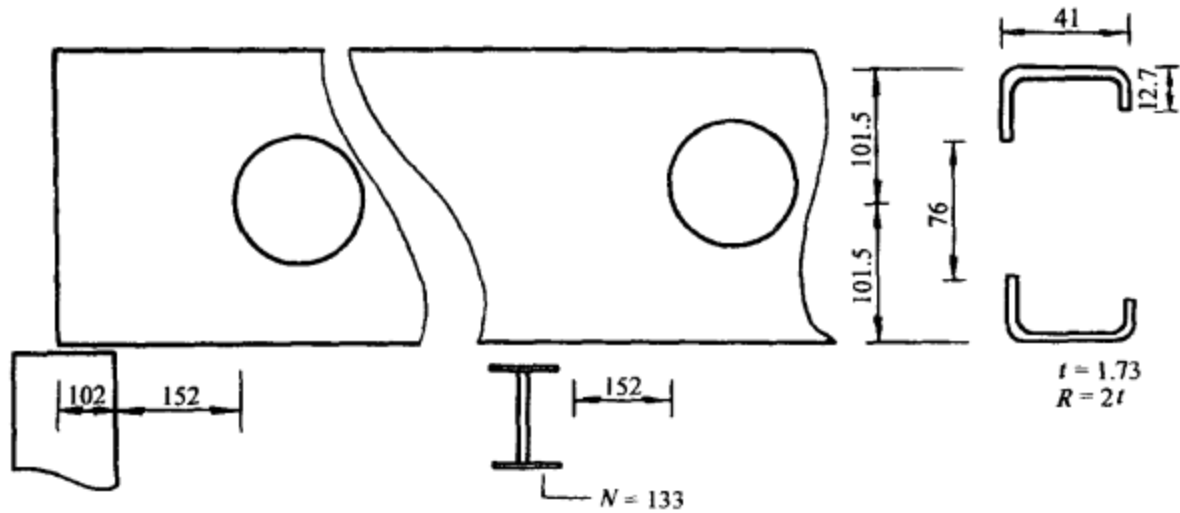


图 5.5-4

$$D/a_0 = 76/193 \\ = 0.393 < 0.4$$

用规范 C3.1.1 (a) 部分规定评估名义弯矩能力  $M_n$ 。因为  $D/a_0 < 0.4$ ，所以可以忽略孔的影响，采用总腹板截面积计算。

$$S_x = 29.04 \text{ cm}^3$$

$$M_n = S_x \sigma_y \\ = 29.04 \times 235 \\ = 6.824 \text{ kN} \cdot \text{m} \\ = 6824 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_a = M_n / \Omega \\ = 6824 / 1.67 \\ = 4086 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_{\max} = 1898 \text{ N} \cdot \text{m} < M_a$$

在正弯矩范围内托梁能足以满足纯弯曲。

■ 在支撑中心与变形点之间的负弯矩范围内，可以适当地视截面为放松悬臂。

按规范 C3.1.1 (a) 部分，取  $C_b = 1$ ，用支撑中心到视为放松悬臂长度的变形点之间的距离确定允许弯矩。从《底层轻钢骨架住宅设计、制造与装配》一书查的截面特性参数如下：

$$J = 58.95 \times 10^{-3} \text{ cm}^4$$

$$C_w = 818 \text{ cm}^6$$

$$A = 5.39 \text{ cm}^2$$

$$R_0 = 7.88 \text{ cm}$$

$$R_y = 1.35 \text{ cm}$$

$$t = 1.81 \text{ mm}$$

$$S_x = 29.04 \text{ cm}^3$$

$$G = 77900 \text{ MPa}$$

$$E = 203000 \text{ MPa}$$

$$\sigma_y = 235 \text{MPa}$$

$$L = L_t = L_y = 1.5 \text{m} = 150 \text{cm}$$

$$\begin{aligned} \text{则 } \sigma_t &= [GJ + \pi^2 EC_w / (K_t L_t)^2] / A r_0^2 \\ &= [77900 \times 58.95 \times 10^{-3} + \pi^2 \times 203000 \times 818 / (1 \times 150)^2] / (5.39 \times 7.88^2) \\ &= 231 \text{MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{ey} &= \pi^2 E / (K_y L_y / R_y)^2 \\ &= \pi^2 \times 203 \times 10^3 / (1 \times 150 / 1.35)^2 \\ &= 162 \text{MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_e &= C_b R_0 A (\sigma_{ey} \sigma_t)^{1/2} \\ &= 1 \times 7.88 \times 5.39 \times (231 \times 162)^{1/2} \\ &= 8.22 \text{kN} \cdot \text{m} \\ &= 8220 \text{N} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_y &= S_x \sigma_y \\ &= 29.04 \times 235 \\ &= 6.824 \text{kN} \cdot \text{m} \\ &= 6824 \text{N} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_c &= M_y [1 - M_y / 4 M_e] \\ &= 6824 \times [1 - 6824 / (4 \times 8220)] \\ &= 5408 \text{N} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f &= M_c / S_f \\ &= 5408 / 29.04 \\ &= 186 \text{MPa} \end{aligned}$$

因为  $D/a_0 < 0.4$ , 可以忽略孔, 用总腹板截面积  $S_f$  计算。

$$S_c = 29.04 \text{cm}^2$$

$$\begin{aligned} M_n &= S_x M_c / S_f \\ &= 29.04 \times 186 \\ &= 5.4 \text{kN} \cdot \text{m} \\ &= 5400 \text{N} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_a &= M_n / \Omega \\ &= 5400 / 1.67 \\ &= 3234 \text{N} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

$$M_{\max} = 3390 \text{N} \cdot \text{m}$$

忽略孔的影响, 用总截面积计算  $S_f$ , 则  $M_a$  和  $M_{\max}$  就基本相等了。

(2) 校核纯剪切

$$\begin{aligned} a_0/t &= 193/1.81 \\ &= 107 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1.38 (EK_v/\sigma_y)^{1/2} &= 1.38 \times (203000 \times 5.34/235)^{1/2} \\ &= 93.7 \end{aligned}$$

因为  $a_0/t > 95$ ,

所以, 用公式 C3.2-2

$$\begin{aligned} V_a &= 53EK_v t^3 / a_0 \\ &= 53 \times 203000 \times 10^5 \times 5.34 \times 181^3 / 193 \\ &= 17700\text{N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a' &= (a_0/2) - N/2.83 \\ &= 193/2 - 76/2.83 \\ &= 69.6\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_{s1} &= a' / (54t) \\ &= 69.9 / (54 \times 1.81) \\ &= 0.72 \end{aligned}$$

$V_1 = 2620\text{N}$ , 离内支撑边 152mm。

$V_2 = 2567\text{N}$ , 在离内支撑边 229mm。

$$\begin{aligned} q_{s2} &= 1.5 (V_1/V_2) - 0.5 \\ &= 1.5 \times (2620/2567) - 0.5 \\ &= 1.03 < 1.3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{a1} &= V_a q_{s1} q_{s2} \\ &= 17700 \times 0.72 \times 1.03 \\ &= 13126\text{N} \end{aligned}$$

$$V_{\max} = 2780\text{N} < V_{a1}$$

所以托梁抗纯剪强度足够。

(3) 校核弯曲和剪切组合

$$\begin{aligned} (M/M_a)^2 + (V/V_{a1})^2 &\leq 1 \\ (3390/4086)^2 + (2780/13126)^2 &= 0.73 < 1 \end{aligned}$$

所以托梁抗弯抗剪强度足够。

(4) 校核腹板纯断裂

端部一边荷载条件: 用规范公式 C3.4-1

$$k = \sigma_y / 228 = 235 / 228 \approx 1$$

$$\begin{aligned} C_3 &= 1.33 - 0.33k \\ &= 1.33 - 0.33 \times 1 \\ &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_4 &= 1.15 - 0.15R/t \\ &= 1.15 - 0.15 \times 2 \\ &= 0.85 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_\theta &= 0.7 + 0.3 (\theta/90)^2 \\ &= 0.7 + 0.3 \times (90/90)^2 \\ &= 1 \end{aligned}$$

$$P_a = t^2 k_1 K C_3 C_4 C_\theta [179 - 0.33 (a_0/t)] [1 + 0.01 (N/t)]$$

$$\begin{aligned}
 &= 6.895 \times 1.81^2 \times 1 \times 1 \times 0.85 \times 1 \times [179 - 0.33 \times (193/1.81)] \times [1 \\
 &\quad + 0.01 \times (102/1.81)] \\
 &= 4317\text{N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_c &= 1.01 - 0.325 (D/a_0) + 0.083 (x/a_0) \\
 &= 1.01 - 0.325 \times (76/193) + 0.083 \times (102/193) \\
 &= 0.926
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_a R_c &= 4317 \times 0.926 \\
 &= 3998\text{N}
 \end{aligned}$$

$$R_{\max} = 1668\text{N} < P_a R_c$$

所以托梁在墙支撑处抗腹板断裂强度足够。

内部一边荷载条件：用规范公式 C3.4-4

$$\begin{aligned}
 N/t &= 133/1.81 \\
 &= 74 > 60
 \end{aligned}$$

所以使用  $[0.75 + 0.011 N/t]$

$$\begin{aligned}
 C_1 &= 1.22 - 0.22k \\
 &= 1.22 - 0.22 \times 1 \\
 &= 1
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_2 &= 1.06 - 0.06R/t \\
 &= 1.06 - 0.06 \times 2 \\
 &= 0.94
 \end{aligned}$$

$$C_\theta = 1$$

$$\begin{aligned}
 P_a &= 6.895 t^2 K C_1 C_2 C_\theta [291 - 0.04 (a_0/t)] [0.75 + 0.011 (N/t)] \\
 &= 6.895 \times 1.81^2 \times 1 \times 1 \times 0.94 \times 1 \times [291 - 0.04 \times (193/1.81)] \times [0.75 \\
 &\quad + 0.011 \times (133/1.81)] \\
 &= 9487\text{N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_c &= 0.90 - 0.047 (D/a_0) + 0.053 (x/a_0) \\
 &= 0.90 - 0.047 \times (76/193) + 0.053 \times (152/193) \\
 &= 0.923
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_a R_c &= 9487 \times 0.923 \\
 &= 8757\text{N}
 \end{aligned}$$

$$R_{\max} = 2 \times 2780 = 5560\text{N} < P_a R_c$$

所以托梁在内部支撑处抗腹板断裂强度足够。

(5) 校核弯曲和腹板断裂组合

$$1.2 (P/R_c P_a) + (M/M_a) \leq 1.5$$

$$1.2 \times (5560/8757) + (3390/4086) = 1.59 > 1.5$$

所以托梁在内部支撑处抗弯曲和腹板断裂组合强度足够。

最经济的解是在 C 型钢内支撑处加一个支撑加强肋。



## 2. 范例 2

89S41-1.09 型钢的截面特性计算

### (1) 截面图

图 5.5-5 为 89S41-1.09 型钢的截面图。

### (2) 截面特性参数

腹板尺寸	$d = 89\text{mm}$
边缘尺寸	$b = 41\text{mm}$
唇缘尺寸	$c = 12.7\text{mm}$
基本材料厚度	$t_0 = 1.09\text{mm}$
内侧圆角半径	$R = 2.4\text{mm}$
孔宽	$D = 38\text{mm}$
屈服应力	$\sigma_y = 228\text{MPa}$
弹性模量	$E = 203000\text{MPa}$

### (3) 计算参数

$$\begin{aligned}\text{设计厚度 } t &= t_0 / 0.95 \\ &= 1.09 / 0.95 \\ &= 1.15\text{mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{腹板直线宽度 } a_0 &= d - 2(R + t) \\ &= 89 - 2 \times (2.4 + 1.15) \\ &= 82\text{mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{边缘直线宽度 } b_0 &= b - 2(R + t) \\ &= 41 - 2 \times (2.4 + 1.15) \\ &= 34\text{mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{唇缘直线宽度 } c_0 &= c - (R + t) \\ &= 12.7 - (2.4 + 1.15) \\ &= 9.2\text{mm}\end{aligned}$$

### (4) 校核弯曲

在正弯矩范围内，弯曲强度受横截面的初始屈服控制。

$$D = 38\text{mm}$$

$$a_0 = 82\text{mm}$$

$$\begin{aligned}D/a_0 &= 38/82 \\ &= 0.463 > 0.4\end{aligned}$$

因此，必须根据净截面积确定截面模数，按非加强要素处理孔的面积。

#### 1) 受压边缘：

应用规范 B4.2 部分。

$$b_0 = 34\text{mm}$$

$$\begin{aligned}b_0/t &= 34/1.15 \\ &= 29.57\end{aligned}$$

$$S = 1.28 (E/f)^{1/2}$$

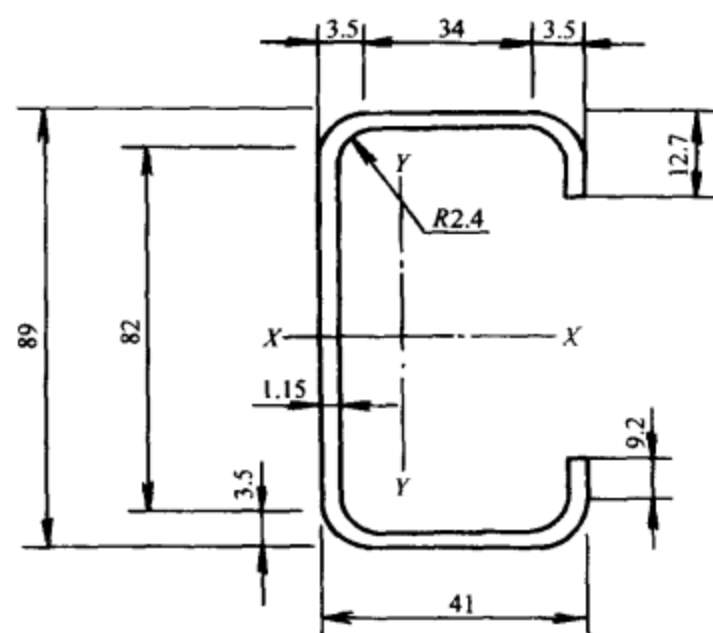


图 5.5-5

$$= 1.28 \times (203000/228)^{1/2}$$

$$= 38.2$$

$$S/3 = 38.2/3$$

$$= 12.7 < b_0/t = 29.57 < S = 38.2$$

应用规范 B4.2 部分条件 II

$$I_a = 399 \{ [(b_0/t)/S] - 0.33 \}^3 t^4$$

$$= 399 \times [(29.57/38.2) - 0.33]^3 \times 0.115^4$$

$$= 0.006112 \text{ cm}^4$$

$$c = 12.7$$

$$c_0 = c - (R + t)$$

$$= 12.7 - (2.4 + 1.15)$$

$$= 9.2 \text{ mm}$$

$$I_s = c_0^3 t / 12$$

$$= 9.2^3 \times 1.15 / 12$$

$$= 74.6 \text{ mm}^4$$

$$= 0.00746 \text{ cm}^4$$

$$I_s/I_a = 0.00746/0.006112$$

$$= 1.22$$

$$c/b_0 = 12.7/34$$

$$= 0.374$$

取  $n = 1/2$

$$k = [4.82 - 5(c/b_0)] (I_s/I_a)^{1/2} + 0.43 \leq 5.25 - 5(c/b_0)$$

$$= (4.82 - 5 \times 0.374) \times 1.22^{1/2} + 0.43 \leq 5.25 - 5 \times 0.374$$

$$k = 3.69 < 3.38$$

取  $k = 3.38$

$$\lambda = (1.052/k^{1/2}) (b_0/t) (f/E)^{1/2}$$

$$= (1.052/3.38^{1/2}) \times 29.57 \times (228/203000)^{1/2}$$

$$= 0.567 < 0.673$$

所以  $\rho = 1$

$$b_e = b_0 = 34 \text{ cm}$$

2) 受压边加强肋:

应用规范 B4.2 条件 II。

$$k = 0.43$$

$$c_0/t = 9.2/1.15$$

$$= 8$$

$$\lambda = (1.052/k^{1/2}) (c_0/t) (f/E)^{1/2}$$

$$= (1.052/0.43^{1/2}) \times 8 \times (228/203000)^{1/2}$$

$$= 0.43 < 0.673$$



且  $I_s/I_a = 1.22 > 1$

所以取  $I_s/I_a = 1$

$c_e = c_0 (I_s/I_a) = 9.2\text{mm}$

3) 腹板受压部分:

因为

$D/d = 38/89 = 0.427 > 0.4$

确定截面模数时, 必须假定带孔腹板面积是易弯受压要素。

取  $k = 0.43$

■ 受拉腹板长度:

$w_t = (a_0 - D) / 2$

$= (82 - 38) / 2$

$= 22\text{mm}$

$= 2.2\text{cm}$

$w_t/t = 22/1.15$

$= 19.13$

$\lambda = (1.052/k^{1/2}) (w/t) (f/E)^{1/2}$

$= (1.052/0.43^{1/2}) \times 19.13 \times (228/203000)^{1/2}$

$= 1.03 > 0.673$

$\rho = (1 - 0.22/\lambda) / \lambda$

$= (1 - 0.22/1.03) / 1.03$

$= 0.764$

■ 受压腹板长度:

$w_s = \rho w_t$

$= 0.764 \times 22$

$= 16.8\text{mm}$

$= 1.68\text{cm}$

用前面计算的受压要素有效宽度 (边缘, 边缘加强肋和腹板) 计算有效截面模数  $S_e$ 。

要素	有效长度 $L/\text{cm}$	离顶缘的距离 $y/\text{cm}$	$Ly/\text{cm}^2$	$Ly^2/\text{cm}^3$	$I_1' = L_y^3/12$ 相对自轴 $\text{cm}^3$
腹板受压部分	1.68	$(R+t) + w_s/2$	1.195	2.008	$w_s^3/12$ 0.395
腹板受拉部分	2.2	$(d+D+w_t)/2$	7.450	16.390	$w_t^3/12$ 0.887
上拐角	0.93	$(R+t/2)(1-\cos 45^\circ) + t/2$	0.145	0.134	0.019
下拐角	0.93	$a_0 + (R+t) + (R+t/2)\cos 45^\circ$	8.765	8.152	71
受拉边缘	3.4	$t/2$	0.058	0.196	0.011
受压边缘	3.4	$d - t/2$	8.843	30.065	266
受压加强肋	0.92	$c - c_0/2$	0.810	0.745	$c_0^3/12$ 0.065
受拉加强肋	0.92	$d - c + c_0/2$	8.090	7.443	$c_0^3/12$ 0.065
总和	14.38			65.132	522.651 1.412

$$Y_{cg} = L_y / L$$

$$= 65.132 / 14.38$$

$$= 4.53 \text{ cm}$$

$$I'_x = Ly^2 + I'_1 - Ly_{cg}^2$$

$$= 522.651 + 1.412 - 14.38 \times 4.53^2$$

$$= 229 \text{ cm}^3$$

$$I_x = I'_x t$$

$$= 229 \times 0.115$$

$$= 26.335 \text{ cm}^4$$

$$S_e = I_x / y_{cg}$$

$$= 26.335 / 4.53$$

$$= 5.81 \text{ cm}^3$$

$$M_n = S_e \sigma_y$$

$$= 5.81 \times 228$$

$$= 1.32 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$= 1320 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_a = M_n / \Omega$$

$$= 1320 / 1.67$$

$$= 790 \text{ N} \cdot \text{m}$$

### 3. 范例 3

计算图 5.5-6 的 C 型钢截面的允许弯曲能力  $M_a$ 。

$$t = 1.5 \text{ mm}$$

$$R = 2.8 \text{ mm}$$

$$a_0 = d - 2(R + t)$$

$$= 203 - 2 \times (2.8 + 1.5)$$

$$= 194.4 \text{ mm}$$

$$D/a_0 = 101.5 / 194.4$$

$$= 0.522 > 0.4$$

因此，必须根据净截面积确定截面模数，按非加强肋要素处理孔的面积。

$$f = 257 \text{ MPa}$$

(1) 受压边缘：

应用规范 B4.2 部分。

$$b_0 = b - 2(R + t)$$

$$= 41 - 2 \times (2.8 + 1.5)$$

$$= 32.4$$

$$b_0/t = 32.4 / 1.5$$

$$= 21.6$$

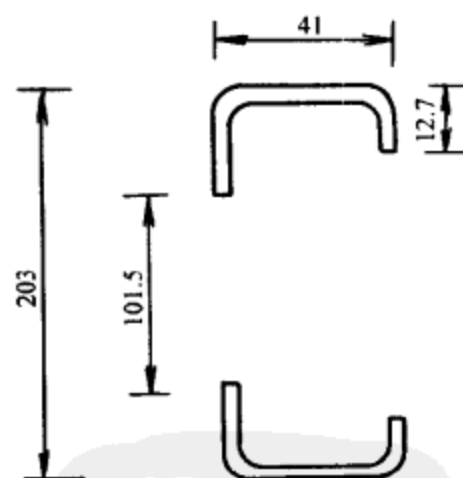


图 5.5-6

$$\begin{aligned}
 S &= 1.28 (E/f)^{1/2} \\
 &= 1.28 \times (203000/257)^{1/2} \\
 &= 35.97
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S/3 &= 35.97/3 \\
 &= 11.99 < b_0/t = 21.6 < S = 35.97
 \end{aligned}$$

应用规范 B4.2 部分条件 II

$$\begin{aligned}
 I_a &= 399 \{ [(b_0/t)/S] - 0.33 \}^3 t^4 \\
 &= 399 \times [(21.6/35.97) - 0.33]^3 \times 0.15^4 \\
 &= 0.004 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

$$c = 12.7$$

$$\begin{aligned}
 c_0 &= c - (R + t) \\
 &= 12.7 - (2.8 + 1.5) \\
 &= 8.4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_s &= c_0^3 t / 12 \\
 &= 8.4^3 \times 1.5 / 12 \\
 &= 74.1 \text{ mm}^4 \\
 &= 0.00741 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_s / I_a &= 0.00741 / 0.004 \\
 &= 1.85
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c / b_0 &= 12.7 / 32.4 \\
 &= 0.39
 \end{aligned}$$

取  $n = 1/2$

$$\begin{aligned}
 k &= [4.82 - 5 (c/b_0)] (I_s/I_a)^{1/2} + 0.43 \leq 5.25 - 5 (c/b_0) \\
 &= (4.82 - 5 \times 0.39) \times 1.85^{1/2} + 0.43 \leq 5.25 - 5 \times 0.39 \\
 k &= 4.33 < 3.3
 \end{aligned}$$

取  $k = 3.3$

$$\begin{aligned}
 \lambda &= (1.052/k^{1/2}) (b_0/t) (f/E)^{1/2} \\
 &= (1.052/3.3^{1/2}) \times 21.6 \times (257/203000)^{1/2} \\
 &= 0.445 < 0.673
 \end{aligned}$$

所以

$$\rho = 1$$

$$b_0 = 32.4 \text{ cm}$$

(2) 受压边加强肋:

应用规范 B4.2 条件 II。

$$k = 0.43$$

$$\begin{aligned}
 c_0/t &= 8.4/1.5 \\
 &= 5.6
 \end{aligned}$$

$$\lambda = (1.052/k^{1/2}) (c_0/t) (f/E)^{1/2}$$



$$= (1.052/0.43^{1/2}) \times 5.6 \times (257/203000)^{1/2}$$

$$= 0.320 < 0.673$$

且  $I_s/I_a = 1.85 > 1$

所以取  $I_s/I_a = 1$

$$c_e = c_0 (I_s/I_a) = 8.4\text{mm}$$

(3) 腹板受压部分:

因为  $D/d = 101.5/203 = 0.5 > 0.4$

确定截面模数时, 必须假定带孔腹板面积是易弯受压要素。

取  $k = 0.43$

■ 受拉腹板长度

$$w_t = (a_0 - D) / 2$$

$$= (195 - 101.5) / 2$$

$$= 46.75\text{mm}$$

$$= 4.675\text{cm}$$

$$w_t/t = 46.75/1.5$$

$$= 31.2$$

$$\lambda = (1.052/k^{1/2}) (w/t) (f/E)^{1/2}$$

$$= (1.052/0.43^{1/2}) \times 31.2 \times (257/203000)^{1/2}$$

$$= 1.78 > 0.673$$

$$\rho = (1 - 0.22/\lambda) / \lambda$$

$$= (1 - 0.22/1.78) / 1.78$$

$$= 0.49$$

受压腹板长度

$$w_s = \rho w_t$$

$$= 0.49 \times 46.75$$

$$= 22.9\text{mm}$$

$$= 2.29\text{cm}$$

用前面计算的受压要素有效宽度 (边缘, 边缘加强肋和腹板) 计算有效截面模数  $S_e$ 。

要素	有效长度 $L/\text{cm}$	离顶缘的距离 $y/\text{cm}$	$L_y/\text{cm}^2$	$L_y^2/\text{cm}^3$	$I_1' = L_y^3/12$ 相对自轴 $\text{cm}^3$
腹板受压部分	2.29	$(R+t) + w_s/2$	1.575	3.607	$w_s^3/12$ 1.001
腹板受拉部分	4.675	$(d+D+w_t)/2$	17.563	82.105	$w_t^3/12$ 8.515
上拐角	1.12	$(R+t/2)(1-\cos 45^\circ) + t/2$	0.179	0.200	0.036
下拐角	1.12	$a_0 + (R+t) + (R+t/2)\cos 45^\circ$	20.181	22.603	456
受拉边缘	3.24	$t/2$	0.075	0.243	0.018
受压边缘	3.24	$d - t/2$	20.225	65.529	1325
受压加强肋	0.84	$c - c_0/2$	0.850	0.714	$c_0^3/12$ 0.049
受拉加强肋	0.84	$d - c + c_0/2$	19.450	16.338	$c_0^3/12$ 0.049
总和	17.365			191.339	3548 9.614

$$\begin{aligned}
Y_{cg} &= Ly/L \\
&= 191.339/17.365 \\
&= 11.02\text{cm} \\
I_x' &= Ly^2 + I_1' - Ly_{cg}^2 \\
&= 3548 + 9.614 - 17.365 \times 11.02^2 \\
&= 1449 \\
I_x &= I_x' t \\
&= 1449 \times 0.15 \\
&= 217.4\text{cm}^4 \\
S_e &= I_x / y_{cg} \\
&= 217.4 / 11.02 \\
&= 19.73\text{cm}^3 \\
M_n &= S_e \sigma_y \\
&= 19.73 \times 257 \\
&= 5070\text{N}\cdot\text{m} \\
M_a &= M_n / \Omega \\
&= 5070 / 1.67 \\
&= 3036\text{N}\cdot\text{m} \quad (\text{第二节开孔尺寸为 } 38\text{mm} \text{ 的计算值为 } 3617\text{N}\cdot\text{m})
\end{aligned}$$

## 第六节 墙柱设计方法和实例计算

在类似墙柱的压杆构件设计中，几个工程标准中的任何一个都是根据柱的厚度和长度来校核其是否符合规定的要求。这些工程分析包括的检查范围如下：

- 屈服；
- 总的柱失稳；
- 弯曲失稳；
- 扭转失稳；
- 扭转—弯曲失稳；
- 独立构件局部失稳。

应用《低层轻钢骨架住宅设计、制造与装配》一书的工程方法来设计柱，要将风、雪和活荷载对柱的作用合在一起考虑。该书提供了一个简单、没有风险、而又经济可行的表格形式进行标准化设计。

采用保守的工程假定进行墙柱设计，忽略了墙组件（双面蒙皮效应）对系统的影响作用。典型的住宅墙组件复合强度有较高的抵抗非平面弯曲和轴向荷载的能力。

### 一、墙柱设计荷载计算简介

1. 下面是编制墙柱表中所选用的荷载：

(1) 静荷载：楼层静荷载 = 0.48kPa

墙静荷载 = 0.48kPa

天花静荷载 = 0.24kPa

屋顶静荷载 = 0.34kPa

(2) 活荷载: 二楼活荷载 = 1.44kPa

第一层活荷载 = 1.92kPa

屋顶活荷载 = (市区及郊区均一致为) 0.77kPa (或等于雪荷载)。

(3) 雪荷载

ASCE7-93 的地面雪荷载分布图分的 4 个区域如下:

区域	地面雪荷载
1	0~0.96kPa
2	1.01~1.44kPa
3	1.48~2.40kPa
4	2.44~3.35kPa

应用的屋顶雪荷载是用在 ASCE7 和其他雪荷载规定中得到验证的换算系数 0.7 简单地乘以地面雪荷载得到 (再特殊的情况也不需要进一步减少)。屋顶斜度范围假定为从 3:12 到 12:12。

屋顶斜度范围	3:12	6:12	9:12	12:12
地面雪荷载 (kPa)	0.96;	1.44;	2.40;	3.35
应用的屋顶雪荷载 (kPa)	0.77;	1.01;	1.68;	2.35
斜屋顶雪荷载				

$$P_s = C_s \times P_f \quad (5.6-1)$$

式中  $P_f$ —— $P_f = 0.7C_e C_t I P_g$ , 平屋顶雪荷载, 单位为 kPa;

$I$ ——是由建筑等级决定的重要系数, 住宅是典型的 I 级结构, 重要系数为 1.0。

$P_g$ —— $P_g$  取之 ASCE7-93 绘制的地面雪荷载图, 单位为 kPa。这张图也包含在所有主要的建筑法规里。

$C_e$ —— $C_e$  是由住宅位置确定的位向系数, 对于多风无遮挡地区,  $C_e$  为 0.8, 受到很好遮挡的地区,  $C_e$  为 1.2, 系数 1.0 是平均值。

$C_t$ —— $C_t$  是热力系数, 从加热建筑物的 1.0 变化到不加热建筑物的 1.2。根据建筑物内生命需要的热力条件, 选取热力系数。住宅是典型的加热建筑物,  $C_t = 1.0$ 。尽管可能有暂短的动力中断, 会引起热的住宅的温度冷下来, 这种情况下是不太会出现具有高的雪荷载概率的。在寒冷季节, 无人居住的住宅, 可能经历较高的热力系数, 然而, 无人的建筑物的重要系数降到了 0.8, 因而设计荷载减少了 20%, 抵消了热力系数增加的 20%。

$C_s$ —— $C_s$  是屋顶斜度修正系数, 大约从 0.1 到 1.0。对暖和的屋顶 (也就是住宅屋顶),  $C_s$  曲线比冷屋顶稍平。斜度达到 6:12 的屋顶斜度系数为 1.0, 屋顶斜度大于 7:12, 斜度系数在 0.4 到 1.0 之间。对住宅来说, 屋顶斜度是从 3:12 到 12:12, 斜度系数为 1.0 被认为是保守的。对于住宅而言, 由于缺少明显的不稳定雪荷载损害, 以及住宅建筑的这些荷载形式缺少有代表性的统计数据, 所

以不稳定的雪荷载、变化的雪荷载、以及低屋顶上的（为风所吹集的）雪堆都不作考虑。在计算时也不考虑雨加雪的超荷载作用。《低层钢结构住宅的设计、制造与装配》一书中的屋顶斜度一旦每米超出 0.042 米，就需要依据 ASCE7-93 考虑增加荷载。

因此，雪荷载可以计算为

$$\begin{aligned} P_s &= C_s \times P_f \\ &= C_s \times (0.7 C_e C_t I P_g) \\ &= 1.0 \times 0.7 \times 1.0 \times 1.0 \times P_g \\ &= 0.7 P_g \end{aligned}$$

#### (4) 风荷载

风荷载是基于风速范围为 113~177km/h，位向类别为 ASCE7 规定的 A、B、C 地区。用部件和覆盖层风压系数和组合荷载设计柱，即：

$$D + W$$

风、雪和活荷载（多重荷载）同时发生时设计柱采用主风力抵抗系统（MWFRS）风压系数和下面的荷载组合，即统一建筑法规（UBC）的：

$$D + L + 1/2 S + W$$

$$\text{或 } D + L + S + 1/2 W$$

在《低层轻钢骨架住宅设计、制造与装配》一书中遇到的条件范围，可以采用多重荷载组合进行设计。主风力抵抗系统（MWFRS）的风荷载表明在表 C6.3 中。

#### ■ 对主风力抵抗系统（MWFRS）：

风荷载

$$W = 47.3 \times 10^{-6} k_z G_h C_p (VI)^2 \quad (5.6-2)$$

式中  $k_z$ —— $k_z = 0.87$ ，针对 6.1m 高度处，位向为 C 的建筑物；

$G_h$ —— $G_h = 1.29$ ，针对 6.1m 高度处，位向为 C 的建筑物主风力抵抗系统压力系数；

$C_p$ —— $C_p = 0.8$ ，针对迎风墙主风力抵抗系统压力系数；

$V$ ——6.1m 高度处风速，单位为 km/h；

$I$ —— $I = 1$ ，对于风速范围 < 177km/h 的住宅建筑。

#### ■ 对部件和覆盖物：

风荷载

$$W = 47.3 \times 10^{-6} k_z (GC_p + GC_{pi}) (VI)^2 \quad (5.6-3)$$

式中  $k_z$ —— $k_z = 0.87$ ，针对 6.1m 高度处，位向为 C 的建筑物；

$GC_p$ —— $GC_p = -1.5$ ，针对内隔墙，地震区域 4 的部件和覆盖物压力系数；

$GC_{pi}$ —— $GC_{pi} = \pm 0.25$ ，针对内部为正压，密闭建筑物的部件和覆盖物压力系数；

$I$ —— $I = 1$ ，针对风速 < 145km/h 的住宅建筑；

$I = 1.05$ ，针对风速 ≥ 161km/h 的住宅建筑；

$V$ ——6.1m 高度处风速，单位为 km/h；

对于位向 B 的构件和覆盖物压力系数  $GC_p$  和  $GC_{pi}$ ，是依据 ASCE7-95 取位向系数 C 的 85%。

应用上述公式，用于柱表（表 C6.3）的设计风速如下：

表 C6.3

风位向	主风力抵抗系统 (MWFRS) 风荷载/kPa				
	113km/h	129km/h	145km/h	161km/h	177km/h
B	0.718	0.958	1.197	1.532	2.059
C	0.958	1.197	1.532	2.059	2.490

## 2. 荷载组合：

下面的荷载组合是用于研究并确定校核柱的设计荷载：

■ 主风力抵抗系统 (MWFRS) 系数乘以  $1/3$  作为风荷载允许的压力，它包括风荷载在内的荷载组合（根据美国钢铁协会冷轧钢设计规范 AISI）：

1)  $0.75 (D + L + 1/2 S + W)$

2)  $0.75 (D + L + S + 1/2 W)$

■ 部件和覆盖物系数乘以  $1/3$  作为风荷载允许的压力。

$$D + W$$

式中  $D$ ——静荷载，单位为 kPa；

$S$ ——雪荷载，单位为 kPa；

$L$ ——活荷载，单位为 kPa；

$W$ ——风荷载，单位为 kPa。

## 二、墙柱设计荷载实例计算

下面的例子是计算墙柱的应用荷载和设计墙柱抵抗这些荷载。用一个假定的二层轻骨架建筑来示范如何作工程计算。

### 1. 建筑物物理尺寸

建筑物形式：带地下室的二层住宅。

建筑物宽度： $B = 8.5\text{m}$

屋顶悬挑： $B' = 0.61\text{m}$

建筑物长度： $L = 12.2\text{m}$

第一层墙高： $H_1 = 2.44\text{m}$

第二层墙高： $H_2 = 2.44\text{m}$

墙柱间距： $S = 0.61\text{m}$

风速和位向： $V = 113\text{km/h}$ ，位向 C（或  $129\text{km/h}$ ，位向 B）

地面雪荷载： $S = 1.44\text{kPa}$

开口尺寸： $W = 2.44\text{m}$

### 2. 建筑物承受荷载

墙柱受组合的轴向和侧向荷载影响。轴向荷载由屋顶活荷载和静荷载，加顶楼活荷载和静荷载组成。侧向荷载由风压组成。

地面雪荷载  $S = 2.4\text{kPa}$

屋顶静荷载  $D_r = 0.34\text{kPa}$

墙静荷载	$D_w = 0.48\text{kPa}$
天花静荷载	$D_c = 0.24\text{kPa}$
楼层静荷载	$D_f = 0.48\text{kPa}$
楼层活荷载	$L_f = 1.44\text{kPa}$
阁楼活荷载	$L_A = 0.48\text{kPa}$
风速和位向	$V = 113\text{km/h}$ , 位向 C

### (1) 屋顶荷载

对墙柱而言, 屋顶荷载是基于  $2.4\text{kPa}$  的地面雪荷载来计算。

适当取换算系数为  $0.8$ , 则

$$S = 0.8 \times 2.4 = 1.92\text{kPa}$$

### (2) 风荷载

风荷载是用下面的主风力抵抗系统 (MWFRS) 和部件和覆盖物 (C&C) 系数来计算:

#### ■ MWFRS:

取  $K_z = 0.87$ , 针对  $6.1\text{m}$  高度处, 位向为 C 的建筑物;

$G_h = 1.29$ , 针对  $6.1\text{m}$  高度处, 位向为 C 的建筑物;

$C_p = 0.8$ , 针对迎风墙主风力抵抗系统压力系数;

$V = 113\text{km/h}$ ,  $6.1\text{m}$  高度处风速。

则风荷载

$$\begin{aligned} W &= 47.3 \times 10^{-6} k_z G_h C_p V^2 \\ &= 47.3 \times 10^{-6} \times 0.87 \times 1.29 \times 0.8 \times 113^2 \\ &= 0.54\text{kPa} \end{aligned}$$

#### ■ 部件和覆盖物 (C&C) 系数:

取  $k_z = 0.87$ , 针对  $6.1\text{m}$  高度处, 位向为 C 的建筑物;

$GC_p = \pm 1.5$ , 针对内隔墙, 地震区域 4 的部件和覆盖物压力系数;

$GC_{pi} = \pm 0.25$ , 针对内部为正压, 密闭建筑物的部件和覆盖物压力系数;

$V = 113\text{km/h}$ ,  $6.1\text{m}$  高度处风速。

则风荷载

$$\begin{aligned} W &= 47.3 \times 10^{-6} k_z (GC_p + GC_{pi}) (V)^2 \\ &= 47.3 \times 10^{-6} \times 0.87 \times (1.5 + 0.25) \times (113)^2 \\ &= 0.92\text{kPa} \end{aligned}$$

### (3) 二层建筑物的应用荷载计算

屋顶活荷载

$L_r = \text{最大雪荷载或屋顶活荷载 (最小为 } 0.77\text{kPa)}。$

雪荷载

$$\begin{aligned} S &= 0.7 P_g \\ &= 0.7 \times 1.44 \\ &= 1.008\text{kPa (计算见 ASCE7-93 标准, 再无其他减少)} \end{aligned}$$

根据 ASCE7-93 计算风荷载

风荷载

$$\begin{aligned} W_L &= 47.3 \times 10^{-6} k_z (GC_p + GC_{pi}) (VI)^2 \\ &= 47.3 \times 10^{-6} (0.87) (1.5 + 0.25) (113 \times 1)^2 \\ &= 0.92 \text{ kPa} \end{aligned}$$

当风速为 129km/h, 位向 B 时:

风荷载

$$\begin{aligned} W_L &= 47.3 \times 10^{-6} k_z (GC_p + GC_{pi}) (VI)^2 \times 0.85 \\ &= 47.3 \times 10^{-6} (0.87) (1.5 + 0.25) (129 \times 1)^2 \times 0.85 \\ &= 1.02 \text{ kPa} \end{aligned}$$

例 1: 静荷载 + 活荷载 + 一半的雪荷载 + 全部风荷载 ( $D + L + 1/2S + W$ )

1) 一层建筑或二层建筑的顶层:

$$\begin{aligned} \text{应用的轴向荷载} &= \{ [D_r \times (B + B') / 2] + [(1/2) \times S \times (B + B') / 2] \\ &\quad + [(D_f + D_c) \times B / 2] \} \\ &= \{ [0.34 \times (8.5 + 0.61) / 2] + [(1/2) \times 1.92 \times (8.5 + 0.61) / 2] \\ &\quad + [(0.48 + 0.24) \times 8.5 / 2] \} \\ &= 8.892 \text{ kN/m} \\ &= 8982 \text{ N/m} \end{aligned}$$

每根柱承受的轴向荷载 =  $8982 \times 0.61$

$$= 5471 \text{ N (每根柱中心间距为 0.61m)}$$

应用的侧向荷载 = 0.54kPa (MWFRS)

2) 二层建筑的底层:

$$\begin{aligned} \text{应用的轴向荷载} &= \{ [D_r \times (B + B') / 2] + (D_w + D_c) \times (B / 2) + D_w \times H_2 \\ &\quad + [(L_A + L_f) \times B / 2] + (1/2) \times S_x (B + B') / 2 \} \\ &= \{ [(0.34)(8.5 + 0.61) / 2] + (0.48 + 0.24) \times (8.5 / 2) + (0.48 \times 2.44) \\ &\quad + (0.48 + 1.44) \times 8.5 / 2 + (1/2) \times 1.92 \times (8.5 + 0.61) / 2 \} \\ &= 18.313 \text{ kN/m} \\ &= 18313 \text{ N/m} \end{aligned}$$

每根柱承受的轴向荷载 =  $18313 \times 0.61$

$$= 11170 \text{ N (每根柱中心间距为 0.61m)}$$

应用的侧向荷载 = 0.54kPa (MWFRS)

例 2: 静荷载 + 活荷载 + 一半风荷载 + 全部雪荷载 ( $D + L + S + 1/2W$ )

1) 一层建筑或二层建筑的顶层:

$$\begin{aligned} \text{应用的轴向荷载} &= \{ [D_r \times (B + B') / 2] + [S \times (B + B') / 2] + (L_A + D_c) \times (B) / 2 \} \\ &= \{ [0.34 \times (8.5 + 0.61) / 2] + [1.92 \times (8.5 + 0.61) / 2] + (0.48 \\ &\quad + 0.24)(8.5 / 2) \} \\ &= 13.354 \text{ kN/m} \\ &= 13354 \text{ N/m} \end{aligned}$$

每根柱承受的轴向荷载 =  $13354 \times 0.61$

$$= 8146 \text{ N (每根柱中心间距为 0.61m)}$$

应用的侧向荷载 = 一半的 MWFRS 荷载

$$= 0.54/2$$

$$= 0.27\text{kPa (MWFRS)}$$

2) 二层建筑的底层:

$$\begin{aligned}\text{应用的轴向荷载} &= \{ [D_r \times (B + B')/2] + (D_f + D_c) \times (B/2) + D_w \times H_2 + [(L_A \\ &\quad + L_f) \times B/2] + S \times (B + B'/2) \} \\ &= \{ [0.34 \times (8.5 + 0.61)/2] + (0.48 + 0.24) \times (8.5/2) + (0.48 \times 2.44) \\ &\quad + [(0.48 + 1.44) \times 8.5/2] + 1.92 \times (8.5 + 0.61)/2 \} \\ &= 22.686\text{kN/m} \\ &= 22686\text{N/m}\end{aligned}$$

每根柱承受的轴向荷载 =  $22686 \times 0.61$

$$= 13839\text{N (每根柱中心间距为 } 0.61\text{m)}$$

应用的侧向荷载 = 一半的 MWFRS 荷载

$$= 0.54/2$$

$$= 0.27\text{kPa (MWFRS)}$$

**例 3: 静荷载 + 风荷载 ( $D + W$ )**

1) 一层建筑或二层建筑的顶层:

$$\begin{aligned}\text{应用的轴向荷载} &= \{ [D_r \times (B + B')/2] + D_c \times B/2 \} \\ &= \{ [0.34 \times (8.5 + 0.61)/2] + 0.24 \times 8.5/2 \} \\ &= 2.569\text{kN/m} \\ &= 2569\text{N/m}\end{aligned}$$

每根柱承受的轴向荷载 =  $2569 \times 0.61$

$$= 1567\text{N (每根柱中心间距为 } 0.61\text{m)}$$

应用的侧向荷载 =  $0.92\text{kPa}$  (部件和覆盖物)

2) 二层建筑的底层:

$$\begin{aligned}\text{应用的轴向荷载} &= \{ [D_r \times (B + B')/2] + (D_f + D_c) \times (B/2) + D_w \times H_2 \} \\ &= \{ [0.34 \times (8.5 + 0.61)/2] + (0.48 + 0.24) \times (8.5/2) \\ &\quad + (0.48 \times 2.44) \} \\ &= 5.78\text{kN/m} \\ &= 5780\text{N/m}\end{aligned}$$

每根柱承受的轴向荷载 =  $5780 \times 0.61$

$$= 3526\text{N (每根柱中心间距为 } 0.61\text{m)}$$

应用的侧向荷载 =  $0.92\text{kPa}$  (部件和覆盖物)

因此, 校核的荷载组合如下:

① 一层建筑:

轴向为  $8146\text{N}$ , 侧向为  $0.27\text{kPa} = 270\text{N/m}^2$

轴向为  $5471\text{N}$ , 侧向为  $0.54\text{kPa} = 540\text{N/m}^2$

轴向为  $1567\text{N}$ , 侧向为  $0.92\text{kPa} = 920\text{N/m}^2$

② 底层:

轴向为 13839N, 侧向为  $0.27\text{kPa} = 270\text{N/m}^2$

轴向为 11170N, 侧向为  $0.54\text{kPa} = 540\text{N/m}^2$

轴向为 3526N, 侧向为  $0.92\text{kPa} = 920\text{N/m}^2$

### 三、墙柱设计方法简介

图 5.6-1 为典型 C 型钢柱的截面和受力示意图, 目的是选择 C 型钢柱尺寸并校核它是否能抵抗应用荷载的能力。

#### 1. 设计输入参数

$d$ ——腹板尺寸, 单位为 mm;

$b$ ——边缘尺寸, 单位为 mm;

$c$ ——唇缘尺寸, 单位为 mm;

$t$ ——设计厚度, 单位为 mm;

$R$ ——内侧圆角半径, 单位为 mm;

$L$ ——C 型钢柱支撑高度, 单位为 m。

#### 2. 计算导出参数

$a_0$ —— $a_0 = d - 2(R + t)$ , 腹板直线宽度, 单位为 mm;

$b_0$ —— $b_0 = b - 2(R + t)$ , 边缘直线宽度, 单位为 mm;

$c_0$ —— $c_0 = c - (R + t)$ , 唇缘直线宽度, 单位为 mm;

$u$ —— $u = 1.57 \times (R + t/2)$ , 弧长范围, 单位为 mm;

$2tu$ ——拐角面积, 单位为  $\text{mm}^2$ ;

$2tu + b_0t$ ——边缘面积, 单位为  $\text{mm}^2$ 。

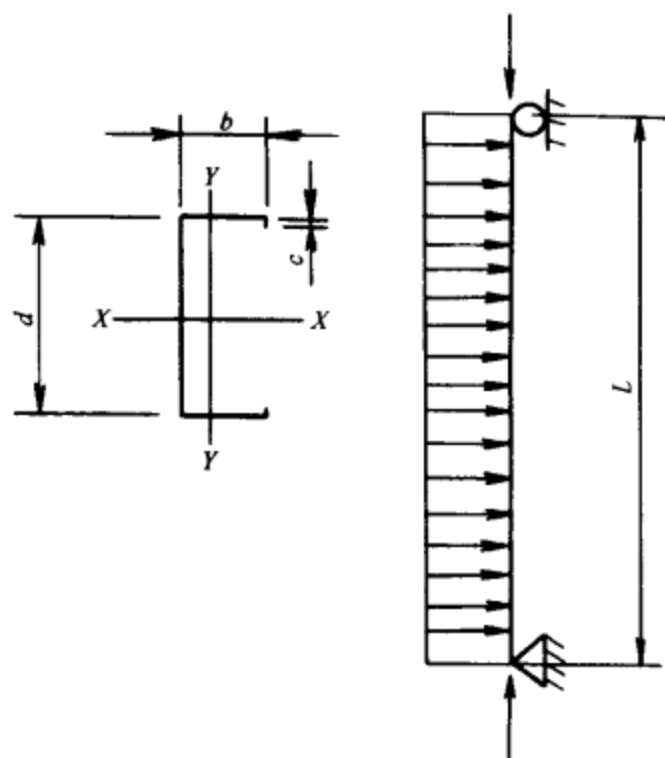


图 5.6-1

根据 C3.1.1、C3.1.2 和 C3.1.3 部分, 以最小名义弯矩除以安全系数  $\Omega = 1.67$  作为计算允许弯矩。

$$M_a = M_n / \Omega \quad \text{C3.1-1}$$

C3.1.1 部分最小名义弯矩

$$M_n = S_e \sigma_y \quad \text{C3.1.1-1}$$

式中  $\sigma_y$ ——为设计屈服强度。

$S_e$ ——是用最大受压或受拉纤维层应力 (设计屈服强度)  $\sigma_y$  计算出来的有效截面的弹性截面模数。

C3.1.2 部分最小名义弯矩

$$M_n = S_c (M_c / S_f) \quad \text{C3.1.2-1}$$

C3.1.3 部分是用应用的弯矩 ( $M_x = wL^2/8$ ) 和荷载来校核确认最小名义弯矩

$$P/P_a + (C_{mx}M_x) / (M_{ax}\alpha_x) + (C_{my}M_y) / (M_{ay}\alpha_y) \leq 1.33 \quad \text{C5-1}$$

$$P/P_{a0} + M_x/M_{ax} + M_y/M_{ay} \leq 1.33 \quad \text{C5-2}$$

下面将分别介绍这三种校核方式。

### 3. 按美国钢铁协会 AISI C3.1.1 部分计算名义截面强度

按美国钢铁协会 AISI 规范 A5.2.2 部分计算由于冷轧带来的强度增加：

(根据 AISI 规范 B2 部分，截面的每个要素部分假定  $r$  值是一致的。)

$$\sigma_{ya} = C\sigma_{yc} + (1 - C)\sigma_{yf} \quad \text{A5.2.2-1}$$

式中  $\sigma_{ya}$ ——腹板临界强度，单位为 MPa；

$\sigma_{yf}$ ——初始屈服强度，单位为 MPa；

$C$ —— $2tu / (2tu + b_0t)$ 。

$$\sigma_{yc} = B_c\sigma_{yv} / (R/t)^m \quad \text{A5.2.2-2}$$

公式应用条件：

$$\sigma_{uv} / \sigma_{yv} > 1.2$$

$$R/t < 7$$

$$\phi < 120^\circ$$

$$\text{式中 } B_c \text{——} B_c = 3.69 (\sigma_{uv} / \sigma_{yv}) - 0.819 (\sigma_{uv} / \sigma_{yv})^2 - 1.79; \quad \text{A5.2.2-3}$$

$$m \text{——} m = 0.192 (\sigma_{uv} / \sigma_{yv}) - 0.068, \quad \text{A5.2.2-4}$$

剪力中心与腹板中心线之间的距离，单位为 cm；

$\sigma_{uv}$ ——极限正应力，单位为 MPa；

$\sigma_{yv}$ —— $\sigma_{yv} = \sigma_{yf}$ ，初始屈服点，单位为 MPa。

$$S = 1.28 (E/f)^{1/2} \quad \text{B4-1}$$

当

$$S/3 < b_0/t < S$$

则

$$I_a = 399t^4 \{ [(b_0/t)/S] - 0.33 \}^3 \quad \text{B4.2-6}$$

$$I_s = c^3 t / 12$$

当

$$0.25 < c/b_0 < 0.8$$

则

$$k = [4.82 - 5(c/b_0)] (I_s/I_a)^n + 0.43 \quad \text{B4.2-9 (a)}$$

或

$$k = 5.25 - 5(c/b_0) \quad \text{B4.2-9 (b)}$$

#### (1) 计算边缘有效宽度

根据 B2.1 部分，用 B4.2-9 (a) 和 B4.2-9 (b) 计算出的最小  $k$  值和  $f = M_c/S_f$  计算边缘有效宽度。

当

$$b_0/t < 90 \quad \text{B1.1- (a) - (3)}$$

则

$$\lambda = (1.052/k^{1/2}) (b_0/t) (f/E)^{1/2} \quad \text{B2.1-4}$$

式中  $f$ —— $f = M_c/S_f$ ，冷轧后的增强应力，单位为 MPa；

$E$ ——弹性模数，单位为 MPa。

当

$$\lambda \leq 0.673 \quad \text{B2.1-1}$$

则

$$\rho = 1$$

$$b_e = b_0$$

受压边缘全部有效

当

$$\lambda > 0.673$$

则

$$\rho = (\lambda - 0.22) / \lambda^2$$

$$= (1 - 0.22/\lambda) / \lambda$$

$$b_e = \rho b_0$$

B2.1-2

受压边缘不是全部有效

(2) 计算受压 (唇缘) 加强肋有效宽度

当

$$c_0/t < 60$$

B1.1- (a) - (3)

$$0.25 < c/b_0 < 0.8$$

按美国钢铁协会 AISI B2.1 部分计算唇缘有效宽度:

$$\lambda = (1.052/k^{1/2}) (c_0/t) (f/E)^{1/2}$$

B2.1-4

式中  $f$ —— $f = M_c/S_f$ , 冷轧后的增强应力, 单位为 MPa; $E$ ——弹性模数, 单位为 MPa。 $k = 0.43$ , (见美国钢铁协会设计规范 AISI B3.1 部分)。

如果

$$\lambda \leq 0.673$$

且

$$I_s/I_a > 1$$

则取

$$I_s/I_a = 1$$

加强肋有效宽度

$$c_e = c_0$$

压缩加强肋全部有效

当

$$I_s/I_a \leq 1$$

则加强肋有效宽度

$$c_e = c_0 (I_s/I_a)$$

压缩加强肋不是全部有效

式中  $c_e$ ——受压 (唇缘) 加强肋有效宽度, 单位为 mm; $c_0$ ——受压 (唇缘) 加强肋实际宽度, 单位为 mm。

当

$$\lambda > 0.673$$

则

$$\rho = (\lambda - 0.22) / \lambda^2$$

$$= (1 - 0.22/\lambda) / \lambda$$

$$c_e = \rho c_0 = c_0 (I_s/I_a) \leq c_0$$

压缩加强肋不是全部有效

式中  $\rho$ ——宽度缩减系数。

(3) 计算腹板有效宽度:

结合全部要素来定位中性轴位置。假定腹板全部有效, 顶部屈服强度为  $\sigma_{ya}$ , 按要求将计算值填入表 3.2-1。

如果从受压边缘到中性轴的距离等于梁深度的一半, 则假定受压应力为  $\sigma_{ya}$  (也就是说, 初始屈服是受压)

$$f_1 = +f (Y_{cg} - t - R) / Y_{cg}$$

$$f_2 = -f (d - Y_{cg} - t - R) / Y_{cg} \text{ (受拉力)}$$

按美国钢铁协会 AISI B2.3 (a) 部分计算有效宽度。

如果

$$\psi = f_2/f_1 \leq -0.236$$

B2.3

则

$$a_1 = a_e / (3 - \psi)$$

B2.3-1

$$a_2 = a_e / 2$$

B2.3-2

式中  $a_e$ ——有效宽度，单位为 mm。

根据 B2.1 部分，用  $f_1$  取代  $f$ ，计算  $k$  值如下：

$$k = 4 + 2(1 - \phi)^3 + 2(1 - \phi) \quad \text{B2.3-4}$$

如果  $a_0/t < 200$  B1.2- (a)

则  $\lambda_w = (1.052/k^{1/2})(a_0/t)(f_1/E)^{1/2}$  B2.1-4

如果  $\lambda_w < 0.673$

则  $\rho = 1$

$$a_e = a_0 \quad \text{B2.1-1}$$

腹板要素全部有效。

当  $\lambda > 0.673$ ,

$$\begin{aligned} \rho &= (\lambda - 0.22) / \lambda^2 \\ &= (1 - 0.22/\lambda) / \lambda \end{aligned}$$

$$a_e = \rho a_0 \quad \text{B2.1-2}$$

腹板要素不是全部有效（详细计算见第五节）。

式中  $a_e$ ——腹板有效宽度，单位 mm；

$a_0$ ——腹板平直部分宽度，单位 mm；

$\rho$ ——宽度缩减系数。

根据有效截面计算出来的腹板受压部分长度

$$a_{ce} = y_{cg} - (R + t)$$

如果腹板实际受压部分长度

$$a_1 + a_2 \geq a_{ce} = y_{cg} - (R + t)$$

腹板要素全部有效，设计时也只能保守地取

$$a_1 + a_2 = y_{cg} - (R + t)$$

则中性轴距顶部的距离

$$y_{cg} = \sum (Ly) / \sum L \quad (4.2-14)$$

根据表 3.2-1 计算出

$$I'_x = Ly^2 + I'_1 - L(y_{cg})^2$$

则转动惯量

$$I_x = I'_x t$$

截面模数

$$S_e = I_x / y_{cg}$$

最小名义弯矩

$$M_n = S_e \sigma_y \quad \text{C3.1.1-1}$$

式中  $\sigma_y$ ——设计屈服强度，单位为 MPa；

$S_e$ ——用最大受压或受拉面的屈服强度  $\sigma_y$  计算出的有效截面弹性截面模数，单位为  $\text{cm}^3$ 。

#### 4. 按美国钢铁协会 AISI C3.1.2 部分计算名义截面强度

正常截面强度见美国钢铁协会标准 AISI C3.1.2 部分：

$$M_n = S_c (M_c / S_f) \quad \text{C3.1.2-1}$$

式中  $S_c$ ——有效截面的弹性截面模数, 单位为  $\text{cm}^4$ ;

$S_f$ —— $S_f = I_x / Y_{cg}$ , 单位为  $\text{cm}^4$ ;

$I_x$ ——转动惯量, 单位为  $\text{cm}^4$ ,  $I_x$ 是从《低层轻钢骨架住宅设计、制造与装配》一书的截面特性表中获得。

$y_{cg}$ —— $y_{cg} = \sum (Ly) / \sum L$ , 中性轴距顶部的距离, 单位为  $\text{cm}$ ;

$$M_c = M_y (1 - M_y / 4M_e), \text{单位为 } \text{N} \cdot \text{m}; \quad \text{C3.1.2-2}$$

$$M_y = S_f \sigma_y, \text{单位为 } \text{N} \cdot \text{m}; \quad \text{C3.1.2-4}$$

$$C_b = 1 \quad \text{C3.1.2}$$

$$M_e = C_b R_o A [\sigma_{ey} \sigma_t]^{1/2}, \text{单位为 } \text{N} \cdot \text{m}; \quad \text{C3.1.2-5}$$

$$\sigma_{ey} = (\pi^2 E) / (k_y L_y / R_y)^2, \text{单位为 } \text{MPa}; \quad \text{C3.1.2-8}$$

$$\sigma_t = (1 / AR_o^2) [GJ + \pi^2 EC_w / (K_t L_t)^2], \text{单位为 } \text{MPa}; \quad \text{C3.1.2-9}$$

从《低层轻钢骨架住宅设计、制造与装配》一书的截面特性表中获得如下截面特性参数:

$R_y$ ——截面惯性半径,  $\text{cm}$ ;

$A$ ——截面总面积, 单位为  $\text{cm}^2$ ;

$R_o$ ——截面极惯性半径, 单位为  $\text{cm}$ ;

$J$ ——St. Venant 扭矩常数, 单位为  $10^3 \text{cm}^4$ ;

$C_w$ ——扭曲扭转常数, 单位为  $\text{cm}^6$ 。

(1) 计算受压边缘的有效宽度:

以最大受压边缘的应力  $f = M_c / S_f$  来计算确定有效截面的弹性截面模数  $S_c$ 。

$$S = 1.28 (E / f)^{1/2} \quad \text{B4-1}$$

当  $S/3 < b_0/t < S$

$$\text{则 } I_s = 399t^4 \{ [(b_0/t) / S] - 0.33 \}^3 \quad \text{B4.2-6}$$

$$I_s = c_0^3 t / 12$$

当  $0.25 < c/b_0 < 0.8$

$$\text{则 } k = [4.82 - 5(c/b_0)] (I_s / I_a)^n + 0.43 \quad \text{B4.2-9 (a)}$$

$$\text{或 } k = 5.25 - 5(c/b_0) \quad \text{B4.2-9 (b)}$$

根据 B2.1 部分, 用 B4.2-9 (a) 和 B4.2-9 (b) 计算出的最小  $k$  值和  $f = M_c / S_f$  计算边缘有效宽度。

当  $b_0/t < 90$

$$\text{B1.1- (a) - (3)}$$

则  $\lambda = (1.052/k^{1/2}) (b_0/t) (f/E)^{1/2}$

$$\text{B2.1-4}$$

式中  $f$ —— $f = M_c / S_f$ , 冷轧后的增强应力, 单位为  $\text{MPa}$ ;

$E$ ——弹性模数, 单位为  $\text{MPa}$ 。

当  $\lambda \leq 0.673$

$$\text{B2.1-1}$$

则  $\rho = 1$

$$b_e = b_0$$

受压边缘全部有效

当  
则

$$\begin{aligned}\lambda &> 0.673, \\ \rho &= (\lambda - 0.22) / \lambda^2 \\ &= (1 - 0.22/\lambda) / \lambda \\ b_e &= \rho b_0\end{aligned}$$

受压边缘不是全部有效

(2) 计算受压(唇缘)加强肋有效宽度

当

$$c_0/t < 60$$

B1.1- (a) - (3)

$$0.25 < c/b_0 < 0.8$$

按美国钢铁协会 AISI B2.1 部分计算唇缘有效宽度:

$$\lambda = (1.052/k^{1/2}) (c_0/t) [f/E]^{1/2}$$

B2.1-4

式中  $f$ —— $f = M_e/S_f$ , 冷轧后的增强应力, 单位为 MPa;

$E$ ——弹性模数, 单位为 MPa;

$k$ —— $k = 0.43$ , 见美国钢铁协会设计规范 AISI B3.1 部分。

如果

$$\lambda \leq 0.673$$

且

$$I_s/I_a > 1$$

则取

$$I_s/I_a = 1$$

加强肋有效宽度

$$c_e = c_0$$

压缩加强肋全部有效

当

$$I_s/I_a \leq 1$$

则加强肋有效宽度

$$c_e = c_0 (I_s/I_a)$$

压缩加强肋不是全部有效

式中  $c_e$ ——受压(唇缘)加强肋有效宽度, 单位为 mm;

$c_0$ ——受压(唇缘)加强肋实际宽度, 单位为 mm。

当

$$\lambda > 0.673$$

则

$$\begin{aligned}\rho &= (\lambda - 0.22) / \lambda^2 \\ &= (1 - 0.22/\lambda) / \lambda\end{aligned}$$

$$c_e = \rho c_0 = c_0 (I_s/I_a) \leq c_0$$

压缩加强肋不是全部有效

式中  $\rho$ ——宽度缩减系数。

(3) 计算腹板有效宽度

结合全部要素来定位中性轴位置。假定腹板全部有效, 按要求将计算值填入表 5.2-1。

检查是否腹板全部有效 (B2.3 部分):

$$y_{cg} = \sum (Ly) / \sum L$$

$$f_1 = +f (Y_{cg} - t - R) / Y_{cg}$$

$$f_2 = -f (d - Y_{cg} - t - R) / Y_{cg} \text{ (受拉力)}$$

如果

$$\psi = f_2/f_1 \leq -0.236$$

B2.3

则

$$a_1 = a_e / (3 - \psi)$$

B2.3-1

$$a_2 = a_e/2 \quad \text{B2.3-2}$$

式中  $a_e$ ——有效宽度，单位为 mm；

根据 B2.1 部分，用  $f_1$  取代  $f$ ，计算  $k$  值如下：

$$k = 4 + 2(1 - \psi)^3 + 2(1 - \psi) \quad \text{B2.3-4}$$

如果  $a_0/t < 200$  B1.2- (a)

则  $\lambda_w = (1.052/k^{1/2})(a_0/t)(f_1/E)^{1/2}$  B2.1-4

如果  $\lambda_w \leq 0.673$

则  $\rho = 1$

$$a_e = a_0 \quad \text{B2.1-1}$$

腹板要素全部有效

当  $\lambda > 0.673$ ,

则  $\rho = (\lambda - 0.22)/\lambda^2$   
 $= (1 - 0.22/\lambda)/\lambda$

$$a_e = \rho a_0 \quad \text{B2.1-2}$$

腹板要素不是全部有效（详细计算见第五节）。

式中  $a_e$ ——腹板有效宽度，单位 mm；

$a_0$ ——腹板平直部分宽度，单位 mm；

$\rho$ ——宽度缩减系数。

根据有效截面计算出来的腹板受压部分长度

$$a_{ce} = y_{cg} - (R + t)$$

如果腹板实际受压部分长度

$$a_1 + a_2 \geq a_{ce} = y_{cg} - (R + t)$$

腹板要素全部有效，设计时也只能保守的取：

$$a_1 + a_2 = y_{cg} - (R + t)$$

则中性轴距顶部的距离

$$y_{cg} = \sum (Ly) / \sum L \quad (4.2-14)$$

根据表 3.2-1 计算出

$$I'_x = Ly^2 + I'_1 - L(y_{cg})^2$$

则转动惯量

$$I_x = I'_x t$$

截面模数

$$S_e = I_x / y_{cg}$$

最小名义弯矩

$$M_n = S_e \sigma_y \quad \text{C3.1.1-1}$$

### 5. 按美国钢铁协会 AISI C3.1.3 部分计算名义截面强度

(1) 允许弯矩等于按 C3.1.1, C3.1.2 和 C3.1.3 计算出的最小名义弯矩除以安全系数  $\Omega = 1.67$ 。

$$M_a = M_n / \Omega \quad \text{C3.1-1}$$

## (2) 允许剪力计算

## ■ 未冲孔腹板剪力:

根据美国钢铁协会规范 C3.2 部分计算允许剪力  $V_a$ 。

计算腹板沿着腹板平直部分测量的平坦部分的深度  $a_0$ 。

如果  $a_0/t < 200$

计算  $1.38 (Ek_v/\sigma_y)^{1/2}$

式中  $k_v$ —— $k_v = 5.34$ , 剪翘系数;

$\sigma_y$ —— $\sigma_y = 228\text{MPa}$  (由于冷轧产生的应力不能用于这里)

如果  $a_0/t < 1.38 (Ek_v/\sigma_y)^{1/2}$

如果  $V_a = 0.38t^2 (Ek_v\sigma_y)^{1/2} \leq 0.4ht\sigma_y$  C3.2-1

则允许剪力  $V_{a0} = 0.38t^2 (Ek_v\sigma_y)^{1/2}$

## ■ 冲孔腹板剪力:

根据 ICBO AC46 标准计算带孔腹板的允许剪力。

计算换算系数  $q$ :

$$q_s = 1 - 1.1 (N/d)$$

式中  $d$ ——腹板宽度, 单位为 mm;

$N$ ——孔的宽度, 单位为 mm。

允许剪力  $V_a = q_s V_{a0}$

## (3) 计算轴向能力

根据美国钢铁协会 AISI C4 部分计算构件的轴向能力。

$$P_a = P_n / \Omega \quad \text{C4-1}$$

式中  $P_n$ —— $P_n = A_e \sigma_n$ ,  $A_e$  是应力为  $\sigma_n$  的有效面积,  $\sigma_n$  是  $\sigma_e$  的函数,  $\sigma_e$  是用于计算最小弹性弯曲失稳、扭转或扭曲失稳屈服应力。

$\Omega$ —— $\Omega = 1.92$  (安全系数)。

■ 按美国钢铁协会规范 AISI C4.1 部分计算扭转或扭曲失稳的屈服应力  $\sigma_e$ 。

$$\sigma_e = \pi^2 E / (kL/R)^2 \quad \text{C4.1-1}$$

检查  $k_x L_x / R_x < 200$

式中  $k_x$ —— $k_x = 1$ , 系数;

$L_x$ —— $L_x = L$ , 柱高度, 单位为 cm;

$R_x$ ——回转半径, 单位为 cm。

则  $\sigma_{ex} = \pi^2 E / (k_x L_x / R_x)^2$

检查  $K_y L_y / R_y < 200$

式中  $k_y$ —— $k_y = 1$ , 系数;

$L_y$ —— $L_y = L/2$ , 柱的一半高度, 单位为 cm;

$R_y$ ——回转半径, 单位为 cm。

则  $\sigma_{ey} = \pi^2 E / (k_y L_y / R_y)^2$

取  $\sigma_e$  为  $\sigma_{ex}$  和  $\sigma_{ey}$  较小值。

■ 按美国钢铁协会规范 AISI C4.2 部分计算截面屈服于扭转或扭曲失稳的屈服应力  $\sigma_e$ 。

$$\sigma_e = 1/2\beta \{ (\sigma_{ex} + \sigma_t) - [(\sigma_{ex} + \sigma_t)^2 - 4\beta\sigma_{ex}\sigma_t]^{1/2} \} \quad C4.2-1$$

式中  $\sigma_{ex}$ —— $\sigma_{ex} = (\pi^2 E) / (k_x L_x / R_x)^2$ , 单位为 MPa;

$\sigma_t$ —— $\sigma_t = (1/AR_o^2) [GJ + \pi^2 EC_w / (k_t L_t)^2]$ , 单位为 MPa;

$$\beta——\beta = 1 - (x_o/r_o)^2 \quad C4.2-3$$

$\sigma_e$ —— $\sigma_e = 1/2\beta \{ (\sigma_{ex} + \sigma_t) - [(\sigma_{ex} + \sigma_t)^2 - 4\beta\sigma_{ex}\sigma_t]^{1/2} \}$ , 单位为 MPa;

如果  $\sigma_e < \sigma_{ey}$  和  $\sigma_{ex}$  中较小值

并且应用时考虑了冷轧产生的强度增加

$$\sigma_e > \sigma_y/2$$

则

$$\sigma_n = \sigma_y (1 - \sigma_y/4\sigma_e) \quad C4-3$$

计算得

$$P_n = A_e \sigma_n$$

式中  $A_e$ ——用应力  $\sigma_n$  计算出的有效截面,  $\sigma_n$  是  $\sigma_e$  的函数,  $\sigma_e$  是用最小弹性弯矩、扭转或扭转弯曲应力计算出来的。

$$P_a = P_n / \Omega$$

#### (4) 组合的轴向力和弯矩计算

根据美国钢铁协会 AISI C5 部分, 用组合的轴向力和弯矩校核荷载。

轴向力和弯矩须分别满足下面美国钢铁协会 AISI 的等式:

$$P/P_a + (C_{mx}M_x) / (M_{ax}\alpha_x) + (C_{my}M_y) / (M_{ay}\alpha_y) \leq 1.33 \quad C5-1$$

$$P/P_{ao} + M_x/M_{ax} + M_y/M_{ay} < 1.33 \quad C5-2$$

式中  $C_{mx}$ —— $C_{mx} = 1$ , (根据美国钢铁协会 AISI C5 部分, 取  $C_{mx} = 1$ );

$\alpha_y$  (或  $\alpha_x$ )—— $\alpha_y$  (或  $\alpha_x$ ) =  $1 - (\Omega_c P / P_{cr})$ , 放大系数; C5-4

$P$ ——应用的轴向荷载, 单位为 N;

$M_x$ —— $M = wL^2/8$ , 应用的弯矩, 单位为 N·m;

$P_a$ ——根据 C4 部分确定允许的轴向荷载, 单位为 N;

$P_{ao}$ —— $P_{ao} = \sigma_y A_e / \Omega$ , 根据 C4 部分, 以  $\sigma_n = \sigma_y$  确定允许的轴向荷载, 单位为 N;

$\Omega_c$ —— $\Omega_c = 1.92$ , 安全系数;

$P_{cr}$ —— $P_{cr} = \pi^2 EI_b / (k_b L_b)^2$ ;

C5-5

$I_b$ ——总转动惯量, 单位为  $\text{cm}^4$ 。

#### (5) 挠度校核

用最大侧向压力校核柱的挠度:

$$\delta = (5wL^4) / (384EI)$$

如果

$$\delta < \delta_{\text{允许}}$$

则

OK

### 四、墙柱设计实例计算

选择柱尺寸并校核它是否有抵抗应用荷载的能力。初选 89S41-1.09C 型钢柱, 其受力简图见图 5.6-2, 计算 89S41-1.09 的能力:

#### 1. 设计参数

腹板尺寸  $d = 88.9\text{mm}$

边缘尺寸  $b = 41\text{mm}$   
 唇缘尺寸  $c = 12.7\text{mm}$   
 设计厚度  $t = 1.15\text{mm}$   
 内侧圆角半径  $R = 2.4\text{mm}$

## 2. 计算参数

腹板直线宽度  $a_0 = d - 2(R + t)$   
 $= 88.9 - 2 \times (2.4 + 1.15)$   
 $= 82\text{mm}$

边缘直线宽度  $b_0 = b - 2(R + t)$   
 $= 41 - 2 \times (2.4 + 1.15)$   
 $= 34\text{mm}$

唇缘直线宽度  $c_0 = c - (R + t)$   
 $= 12.7 - (2.4 + 1.15)$   
 $= 9.2\text{mm}$

弧长范围  $u = 1.57 \times (R + t/2)$   
 $= 1.57 \times (2.4 + 1.15/2)$   
 $= 4.64\text{mm}$

拐角面积  $2tu = 2 \times 1.15 \times 4.64 = 10.6\text{mm}^2$

边缘面积  $2tu + b_0t = 2 \times 1.15 \times 4.64 + 34 \times 1.15 = 49.7\text{mm}^2$

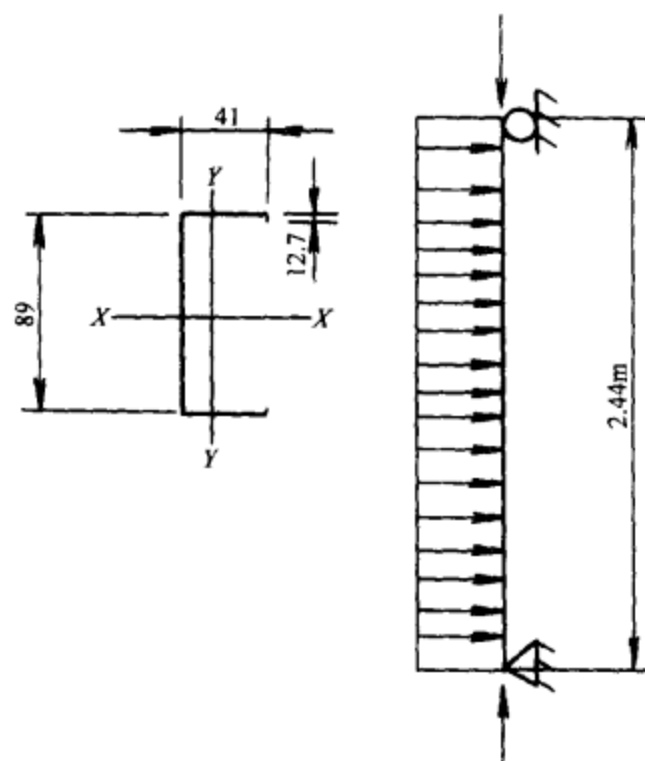


图 5.6-2

3. 按美国钢铁协会 AISI C3.1.1 部分计算名义截面强度 (按计算得出的冷轧加工后的屈服强度  $\sigma_{ya} = 252\text{MPa}$  进行校核)

(1) 计算边缘有效宽度

用最大受压或受拉边缘的设计屈服强度  $\sigma_{yf} = 228\text{MPa}$  计算有效截面弹性截面模数  $S_e$ 。

$\sigma_{yf} = \sigma_{yv} = 228\text{MPa}$

$\sigma_{uv} = 310\text{MPa}$

计算出

$C = \text{拐角面积} / \text{边缘面积}$   
 $= 2tu / (2tu + b_0t)$   
 $= 10.6 / 49.7$   
 $= 0.213$

因为

$\sigma_{uv} / \sigma_{yv} = 310 / 228$   
 $= 1.36 > 1.2$

$R/t = 2.4 / 1.15 = 2.08 < 7$

$\phi < 120^\circ$

所以

$B_c = 3.69 (\sigma_{uv} / \sigma_{yv}) - 0.819 (\sigma_{uv} / \sigma_{yv})^2 - 1.79$   
 $= 3.69 \times 1.36 - 0.819 \times 1.36^2 - 1.79$



$$= 1.713$$

$$m = 0.192 (\sigma_{uv}/\sigma_{yv}) - 0.068$$

$$= 0.192 \times 1.36 - 0.068$$

$$= 0.193$$

$$\sigma_{yc} = B_c \sigma_{yv} / (R/t)^m$$

$$= 1.713 \times 228 / (2.4/1.15)^{0.193}$$

$$= 340 \text{ MPa}$$

计算由于冷轧后增强的强度，参见美国钢铁工业协会 AISI 设计规范：

$$\sigma_{ya} = C\sigma_{yc} + (1 - C) \sigma_{yf}$$

$$= 0.213 \times 340 + (1 - 0.213) \times 228$$

$$= 252 \text{ MPa}$$

取设计屈服强度

$$f = \sigma_y = \sigma_{ya} = 252 \text{ MPa}$$

$$\text{则 } S = 1.28 (E/f)^{1/2}$$

$$= 1.28 (203000/252)^{1/2}$$

$$= 36.34$$

$$S/3 = 36.34/3$$

$$= 12.11$$

$$\text{因为 } b_0/t = 34/1.15$$

$$= 29.57$$

$$S/3 < b_0/t < S$$

$$\text{所以 } I_a = 399t^4 \{ [(b_0/t)/S] - 0.33 \}^3$$

$$= 399 (1.15)^4 \{ (29.57/36.45) - 0.33 \}^3$$

$$= 77.78 \text{ mm}^4$$

$$= 77.78 \times 10^{-4} \text{ cm}^4$$

$$I_s = c_0^3 t / 12$$

$$= 9.2^3 \times 1.15 / 12$$

$$= 74.6 \text{ mm}^4$$

$$= 74.6 \times 10^{-4} \text{ cm}^4$$

$$I_s/I_a = 74.6 \times 10^{-4} / 77.78 \times 10^{-4}$$

$$= 0.96$$

$$\text{因为 } c/b_0 = 12.7/34$$

$$= 0.374$$

$$0.25 < c/b_0 < 0.8$$

$$\text{取 } n = 1/2$$

$$\text{则 } k = [4.82 - 5 (c/b_0)] (I_s/I_a)^n + 0.43$$

$$= (4.82 - 5 \times 0.374) [(74.6 \times 10^{-4}) / (77.78 \times 10^{-4})]^{1/2} + 0.43$$

$$= 3.32$$

$$\begin{aligned}\text{或 } k &= 5.25 - 5(c/b_0) \\ &= 5.25 - 5 \times 0.374 \\ &= 3.38\end{aligned}$$

根据 B2.1 部分, 用最小  $k$  值 ( $k = 3.32$ ) 计算边缘有效宽度。

$$\text{取 } f = M_c/S_f = 0.252 \text{ MPa}$$

$$E = 203 \times 10^3 \text{ MPa}$$

$$\text{因为 } b_0/t = 34/1.15 = 29.57 < 90$$

$$\begin{aligned}\text{所以 } \lambda &= (1.052/k^{1/2})(b_0/t)(f/E)^{1/2} \\ &= [1.052/(3.32)^{1/2}](29.57)(252/203000)^{1/2} \\ &= 0.602\end{aligned}$$

$$\text{因为 } \lambda \leq 0.673$$

$$\text{则 } \rho = 1$$

$$b_e = b_0 = 34$$

受压边缘全部有效

(2) 计算压缩 (唇缘) 加强肋有效宽度

$$\text{因为 } c_0/t = 9.2/1.15 = 8 < 60$$

$$c/b_0 = 12.7/3 = 0.374$$

$$0.25 < c/b_0 < 0.8$$

按美国钢铁协会 AISI B2.1 部分计算唇缘有效宽度:

$$\text{取 } f = M_c/S_f = 252 \text{ MPa}$$

$$k = 0.43, \text{ (见美国钢铁协会设计规范 AISI B3.1 部分)}$$

$$E = 203000 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}\text{则 } \lambda &= (1.052/k^{1/2})(c_0/t)(f/E)^{1/2} \\ &= (1.052/0.43^{1/2}) \times 8 \times (252/203000)^{1/2} \\ &= 0.452\end{aligned}$$

$$\text{因为 } \lambda \leq 0.673$$

$$\text{且 } I_s/I_a = 0.96$$

$$\begin{aligned}\text{所以 } c_e &= c_0(I_s/I_a) \\ &= 9.2 \times 0.96 \\ &= 8.8 \text{ mm}\end{aligned}$$

压缩加强肋不是全部有效

(3) 计算腹板有效宽度:

假定腹板全部有效。

要素	有效长度 $L/\text{cm}$	离顶缘的距离 $y/\text{cm}$	$Ly/\text{cm}^2$	$Ly^2/\text{cm}^3$	$I_1' = L_y^3/12$ 相对自轴 $\text{cm}^3$
腹板	8.2	4.45	36.49	162.38	45.95
受拉边缘	3.4	8.84	30.06	265.85	
受压边缘	3.4	0.06	0.2	0.01	
上拐角	0.93	0.14	0.14	0.02	

(续)

要素	有效长度 $L/\text{cm}$	离顶缘的距离 $y/\text{cm}$	$Ly/\text{cm}^2$	$Ly^2/\text{cm}^3$	$I_1' = L_y^3/12$ 相对自轴 $\text{cm}^3$
下拐角	0.93	8.77	8.19	71.77	
上加强肋	0.88 <sup>①</sup>	0.79 <sup>②</sup>	0.70	0.55	0.057
下加强肋	0.92	8.09	7.44	60.21	0.064
总和	18.66		83.22	560.79	46.07

① 表中数据为计算出来的上加强肋有效长度；

② 表中数据是按上加强肋的有效长度计算出来的，即  $y = c - c_0 + c_c/2$ 。

从顶缘到  $X$  轴的距离为  $y_{cg} = 83.22/18.66 = 4.46\text{cm}$

由于受压边缘到中性轴的距离是大于梁深度的一半，假定为  $0.252\text{MPa}$  的压缩应力（也就是说，初始屈服是受压）。

$$\begin{aligned} \text{因为 } f_1 &= +f(y_{cg} - t - R)/y_{cg} \\ &= 252(44.6 - 1.15 - 2.4)/44.6 \\ &= 232\text{MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_2 &= -f(d - y_{cg} - t - R)/y_{cg} \\ &= -252(88.9 - 44.6 - 1.15 - 2.4)/44.6 \\ &= -232\text{MPa} \text{ (受张力)} \end{aligned}$$

按美国钢铁协会 AISI B2.3 (a) 部分计算有效宽度。

$$\begin{aligned} \text{因为 } \psi &= f_2/f_1 \\ &= -232/232 = -1 \leq -0.236 \\ k &= 4 + 2(1 - \psi)^3 + 2(1 - \psi) \\ &= 4 + 2(1 + 1)^3 + 2(1 + 1) \\ &= 24 \end{aligned}$$

$$\text{因为 } a_0/t = 82/1.15 = 71.3 < 200$$

$$\begin{aligned} \text{所以 } \lambda_w &= (1.052/k^{1/2})(a_0/t)(f_1/E)^{1/2} \\ &= (1.052/24^{1/2}) \times 71.3 \times (232/203000)^{1/2} \\ &= 0.52 \end{aligned}$$

$$\text{因为 } \lambda_w < 0.673$$

$$\text{所以 } \rho = 1$$

$$a_e = a_0 = 82\text{mm}$$

$$\begin{aligned} a_1 &= a_e/(3 - \psi) \\ &= 82/(3 + 1) \\ &= 20.5\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_2 &= a_e/2 \\ &= 82/2 \\ &= 41\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_1 + a_2 &= 20.5 + 41 \\ &= 61.5\text{mm} \end{aligned}$$



根据有效截面计算出来的腹板受压部分长度

$$\begin{aligned} a_{ce} &= y_{cg} - (R + t) \\ &= 44.5 - (2.4 + 1.15) \\ &= 41\text{mm} \end{aligned}$$

因为  $a_1 + a_2 > y_{cg} - (R + t)$

$$\begin{aligned} \text{则取 } a_1 + a_2 &= y_{cg} - (R + t) \\ &= 41\text{mm} \end{aligned}$$

假定腹板全部有效成立。

根据表 5.2-1 计算出

$$\begin{aligned} I'_x &= Ly^2 + I'_1 - L(y_{cg})^2 \\ &= 560.79 + 46.07 - 18.66 \times 4.46^2 \\ &= 236\text{cm}^3 \end{aligned}$$

则转动惯量

$$\begin{aligned} I_x &= I'_x t \\ &= 236 \times 0.115 \\ &= 27.14\text{cm}^4 \end{aligned}$$

截面模数

$$\begin{aligned} S_e &= I_x / y_{cg} \\ &= 27.14 / 4.45 \\ &= 6.09\text{cm}^3 \end{aligned}$$

最小名义弯矩

$$\begin{aligned} M_n &= S_e \sigma_y \\ &= 6.09 \times 252 \\ &= 1.535\text{kN}\cdot\text{m} \\ &= 1535\text{N}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

4. 按 C3.1.2 部分计算名义截面强度 (按  $f = M_c / S_f = 220\text{MPa}$  进行校核)

(1) 截面强度计算

正常截面强度见美国钢铁协会 AISI C3.1.2 部分:

$$\begin{aligned} S_f &= I_x / Y_{cg} \\ &= 27.14 / 4.45 \\ &= 6.09\text{cm}^3 \end{aligned}$$

取  $\sigma_y = \sigma_{ya} = 252\text{MPa}$

$$\begin{aligned} \text{则 } M_y &= S_f \sigma_y \\ &= 6.09 \times 252 \\ &= 1535\text{N}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

因为  $L_y = L_t = 122\text{cm}$  (一半的柱高)

从《低层轻钢骨架住宅设计、制造与装配》一书的截面特性表中获得 89S41-1.09C 型钢柱以下截面特性参数:

$$R_y = 1.55 \text{ cm}$$

$$A = 2.15 \text{ cm}^2$$

$$R_0 = 5.16 \text{ cm}$$

$$J = 9.45 \times 10^{-3} \text{ cm}^4$$

$$C_w = 93 \text{ cm}^6$$

$$\text{取 } C_b = 1$$

$$k_t = 1$$

$$k_y = 1$$

$$G = 77900 \text{ MPa}$$

$$E = 203000 \text{ MPa}$$

计算得

$$\begin{aligned} \sigma_{ey} &= (\pi^2 E) / (k_y L_y / R_y)^2 \\ &= (\pi^2 \times 203000) / (1 \times 122 / 1.55)^2 \\ &= 323 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_t &= (1/AR_0^2) [GJ + \pi^2 EC_w / (k_t L_t)^2] \\ &= \{1/[2.15 \times (5.16)^2]\} \times [77900 \times 9.45 \times 10^{-3} + (\pi^2 \times 203000 \times 93) / (1 \times 122)^2] \\ &= 231 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_e &= C_b R_0 A [\sigma_{ey} \sigma_t]^{1/2} \\ &= 1 \times 5.16 \times 2.15 [(323)(231)]^{1/2} \\ &= 3.03 \text{ kN} \cdot \text{m} \\ &= 3030 \text{ N} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

$$\text{因为 } M_e > 0.5 M_y = 0.5 \times 1535 = 767.5 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\begin{aligned} \text{所以 } M_c &= M_y (1 - M_y / 4 M_e) \\ &= 1535 \times [1 - 1535 / (4 \times 3030)] \\ &= 1341 \text{ N} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

以最大受压边缘的应力  $M_c / S_f$  来计算确定有效截面的弹性截面模数  $S_c$ 。

$$\begin{aligned} \text{则 } f &= M_c / S_f \\ &= 1341 / 6.09 \\ &= 220 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(2) 计算受压边缘的有效宽度:

$$\begin{aligned} \text{因为 } b_0 / t &= 34 / 1.15 \\ &= 29.57 \\ S &= 1.28 (E / f)^{1/2} \\ &= 1.28 \times (203000 / 220)^{1/2} \\ &= 38.88 \\ S / 3 &= 38.88 / 3 \\ &= 12.96 \end{aligned}$$

$$\text{因为 } S / 3 < b_0 / t < S$$



$$\begin{aligned}
 \text{所以 } I_a &= 399t^4 \{ [(b_0/t)/S] - 0.33 \}^3 \\
 &= 399 \times 1.15^4 [(29.57/38.88) - 0.33]^3 \\
 &= 55.7 \text{ mm}^4 \\
 &= 55.7 \times 10^{-4} \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_s &= c_0^3 t / 12 \\
 &= 9.2^3 \times 1.15 / 12 \\
 &= 74.6 \text{ mm}^4 \\
 &= 74.6 \times 10^{-4} \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{因为 } c/b_0 &= 12.7/34 \\
 &= 0.374
 \end{aligned}$$

$$0.25 < c/b_0 < 0.8$$

$$\begin{aligned}
 \text{因为 } I_s/I_a &= 74.6 \times 10^{-4} / 55.7 \times 10^{-4} \\
 &= 1.34 > 1
 \end{aligned}$$

$$\text{取 } I_s/I_a = 1$$

$$n = 1/2$$

$$\begin{aligned}
 \text{所以 } k &= [4.82 - 5(c/b_0)] (I_s/I_a)^n + 0.43 \\
 &= (4.82 - 5 \times 0.374) \times (1)^{1/2} + 0.43 \\
 &= 3.38
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{或 } k &= 5.25 - 5(c/b_0) \\
 &= 5.25 - 5 \times 0.374 \\
 &= 3.38
 \end{aligned}$$

$$\text{取 } k = 3.38$$

根据 B2.1 部分, 用最小  $k$  值 ( $k = 3.38$ ) 和  $f = M_c/S_f$  计算边缘有效宽度。

$$\text{因为 } b_0/t = 29.57 < 90$$

$$\begin{aligned}
 \text{所以 } \lambda &= (1.052/k^{1/2}) (b_0/t) (f/E)^{1/2} \\
 &= (1.052/3.38^{1/2}) \times 29.57 \times (220/203000)^{1/2} \\
 &= 0.557
 \end{aligned}$$

$$\text{因为 } \lambda < 0.673$$

$$\text{所以 } \rho = 1$$

$$b_e = b_0 = 34$$

受压边缘全部有效

(3) 计算压缩(唇缘)加强肋有效宽度

$$\text{因为 } c_0/t = 9.2/1.15 = 8 < 60$$

$$c/b_0 = 12.7/34 = 0.374$$

$$0.25 < c/b_0 < 0.8$$

取  $k = 0.43$  (见美国钢铁协会设计规范 AISI B3.1 部分)。

$$\begin{aligned}
 f &= M_c/S_f \\
 &= 1341/6.09
 \end{aligned}$$

$$= 220 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \text{所以 } \lambda &= (1.052/k^{1/2}) (c_0/t) (f/E)^{1/2} \\ &= (1.052/0.43^{1/2}) \times 8 \times (220/203000)^{1/2} \\ &= 0.423 \end{aligned}$$

$$\text{因为 } \lambda \leq 0.673$$

$$\begin{aligned} I_s/I_a &= 74.6 \times 10^{-4} / 55.7 \times 10^{-4} \\ &= 1.34 > 1 \end{aligned}$$

$$\text{所以取 } I_s/I_a = 1$$

$$\text{则 } c_e = c_0 (I_s/I_a) = 9.2$$

压缩加强肋全部有效

这样一来可以推断截面全部有效。

$$y_{cg} = d/2$$

$$= 88.9/2$$

$$= 44.5 \text{ mm (考虑为对称)}$$

#### (4) 计算腹板有效宽度

检查腹板是否全部有效：假定腹板全部有效，按要求将计算值填入表 5.2-1。

要素	有效长度 $L/\text{cm}$	离顶缘的距离 $y/\text{cm}$	$Ly/\text{cm}^2$	$Ly^2/\text{cm}^3$	$I_1' = Ly^3/12$ 相对自轴 $\text{cm}^3$
腹板	8.20	4.45	36.49	162.38	45.95
受拉边缘	3.40	8.84	30.06	265.85	
受压边缘	3.40	0.06	0.20	0.01	
上拐角	0.93	0.14	0.14	0.02	
下拐角	0.93	8.77	8.19	71.77	
上加强肋	0.92	0.81	0.75	0.60	0.06
下加强肋	0.92	8.09	7.44	60.21	0.06
总和	18.71		83.26	560.85	46.08

从顶缘到  $X$  轴的距离为  $y_{cg} = 83.26/18.71 = 4.45 \text{ cm}$

$$\begin{aligned} \text{因为 } f_1 &= +f (y_{cg} - t - R) / Y_{cg} \\ &= 220 (44.5 - 1.15 - 2.4) / 44.5 \\ &= 202 \text{ MPa} \\ f_2 &= -f (d - y_{cg} - t - R) / y_{cg} \\ &= -220 (88.9 - 44.5 - 1.15 - 2.4) / 44.5 \\ &= -202 \text{ MPa} \end{aligned}$$

根据美国钢铁协会 AISI B2.3 (a) 部分计算有效宽度。

$$\begin{aligned} \text{因为 } \psi &= f_2/f_1 \\ &= -202/202 \\ &= -1 \leq -0.236 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{所以 } k &= 4 + 2 (1 - \psi)^3 + 2 (1 - \psi) \\ &= 4 + 2 \times (1 + 1)^3 + 2 \times (1 + 1) \end{aligned}$$



$$= 24$$

因为  $a_0/t = 82/1.15 = 71.3 < 200$

$$\begin{aligned}\text{所以 } \lambda_w &= (1.052/k^{1/2}) (a_0/t) (f_1/E)^{1/2} \\ &= (1.052/24^{1/2}) (71.3) (202/203000)^{1/2} \\ &= 0.483\end{aligned}$$

因为  $\lambda_w < 0.673$

所以  $\rho = 1$

$$a_e = a_0 = 82\text{mm}$$

$$a_2 = a_e/2$$

$$= 82/2$$

$$= 41\text{mm}$$

$$a_1 = a_e / (3 - \psi)$$

$$= 82 / (3 + 1)$$

$$= 20.5\text{mm}$$

$$a_1 + a_2 = 20.5 + 41$$

$$= 61.5\text{mm}$$

腹板受压部分  $= y_{cg} - (R + t)$

$$= 44.5 - 2.4 - 1.15$$

$$= 41\text{mm}$$

由于  $a_1 + a_2 > y_{cg} - (R + t)$

所以取  $a_1 + a_2 = y_{cg} - (R + t) = 41\text{mm}$

假定腹板全部有效成立。

根据表 5.2-1 计算出

$$\begin{aligned}I'_x &= Ly^2 + I'_1 - L (y_{cg})^2 = 560.85 + 46.08 - 18.71 \times 4.45^2 \\ &= 236.4\text{cm}^3\end{aligned}$$

则转动惯量

$$I_x = I'_x t$$

$$= 236.4 \times 0.115$$

$$= 27.19\text{cm}^4$$

截面模数

$$S_e = I_x / y_{cg}$$

$$= 27.19 / 4.45$$

$$= 6.11\text{cm}^3$$

最小名义弯矩

$$M_n = S_e \sigma_y$$

$$= 6.11 \times 220$$

$$= 1344\text{N}\cdot\text{m}$$



### 5. 按 C3.1.3 部分计算名义截面强度

该例中的这一部分是不能用到墙柱上。

#### (1) 允许弯矩

$$\begin{aligned} M_a &= M_n / \Omega \\ &= 1344 / 1.67 \\ &= 805 \text{ N} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

#### (2) 允许剪力

##### ■ 未冲孔腹板剪力:

$$\begin{aligned} \text{因为 } a_0/t &= 82/1.15 \\ &= 71.3 < 200 \end{aligned}$$

取

$$\text{剪翘系数 } k_v = 5.34$$

$\sigma_y = 228 \text{ MPa}$ , (由于冷轧产生的应力不能用于这里)

计算出

$$\begin{aligned} 1.38 (Ek_v/\sigma_y)^{1/2} &= 1.38 (203000 \times 5.34/228)^{1/2} \\ &= 95.2 \end{aligned}$$

$$\text{因为 } a_0/t < 1.38 (Ek_v/\sigma_y)^{1/2}$$

$$\begin{aligned} \text{所以 } V_a &= 0.38 t^2 (Ek_v \sigma_y)^{1/2} \\ &= 0.38 (1.15)^2 (203000 \times 5.34 \times 228)^{1/2} \\ &= 7900 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{或 } V_a &= 0.4 h t \sigma_y \\ &= (0.4 \times 82 \times 1.15 \times 228) \\ &= 8600 \text{ N} \end{aligned}$$

取  $V_a$  为最小值, 所以允许剪力

$$V_{a0} = 7900 \text{ N}$$

##### ■ 冲孔腹板剪力:

计算换算系数

$$\begin{aligned} q_s &= 1 - 1.1 (N/d) \\ &= 1 - 1.1 (38/88.9) \\ &= 0.529 \end{aligned}$$

所以允许剪力

$$\begin{aligned} V_a &= q_s V_{a0} \\ &= 0.529 \times 7900 \\ &= 4180 \text{ N} \end{aligned}$$

#### (3) 计算轴向能力

##### ■ 按美国钢铁协会规范 AISI C4.1 部分计算扭转或扭曲失稳的屈服应力 $\sigma_e$ 。

因为  $L_x = L = 244 \text{ cm}$ , (见图 5.6-2);

$R_x = 3.56 \text{ cm}$ , (从截面特性表查得)。

取  $k_x = 1$

计算得  $k_x L_x / R_x = 1 \times 244 / 3.56 = 69$

因为  $k_x L_x / R_x < 200$

$$\begin{aligned}\text{所以 } \sigma_{ex} &= \pi^2 E / (k_x L_x / R_x)^2 \\ &= (\pi^2) (203000) / (1 \times 244 / 3.56)^2 \\ &= 426 \text{MPa}\end{aligned}$$

因为  $L_y = L / 2 = 122 \text{cm}$  (见图 5.6-2);  
 $R_y = 1.55 \text{cm}$ , (从截面特性表查得)。

取  $k_y = 1$

计算得  $k_y L_y / R_y = 1 \times 122 / 1.55 = 79$

因为  $k_y L_y / R_y < 200$

$$\begin{aligned}\text{所以 } \sigma_{ey} &= \pi^2 E / (k_y L_y / R_y)^2 \\ &= (\pi^2) (203000) / (1 \times 122 / 1.55)^2 \\ &= 323 \text{MPa}\end{aligned}$$

■ 按美国钢铁协会规范 AISI C4.2 部分计算截面屈服于扭转或扭曲失稳的屈服应力  $\sigma_e$ 。

$$\begin{aligned}\sigma_{ex} &= (\pi^2 \times E) / (k_x L_x / R_x)^2 \\ &= (\pi^2 \times 203000) / (1 \times 244 / 3.56)^2 \\ &= 426 \text{MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_t &= (1 / A R_o^2) [GJ + \pi^2 E C_w / (k_t L_t)^2] \\ &= [1 / 2.15 \times (5.16)^2] [77.9 \times 9.45 \times 10^{-3} + \pi^2 \times 203 \times 93 / (1 \times 122)^2] \\ &= 231 \text{MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\beta &= 1 - (x_o / r_o)^2 \\ &= 1 - (-3.4 / 5.16)^2 \\ &= 0.566\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_e &= 1/2 \beta \{ (\sigma_{ex} + \sigma_t) - [(\sigma_{ex} + \sigma_t)^2 - 4 \beta \sigma_{ex} \sigma_t]^{1/2} \} \\ &= [1 / (2 \times 0.566)] \{ [426 + 231] - [(426 + 231)^2 - 4 (0.566) (426) (231)]^{1/2} \} \\ &= 177 \text{MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{因为 } \sigma_e &< \sigma_{ey} \\ \sigma_e &> f / 2 = 251 / 2 = 125 \text{MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{所以 } \sigma_n &= \sigma_y (1 - \sigma_y / 4 \sigma_e) \\ &= 251 [1 - 251 / (4 \times 177)] \\ &= 162 \text{MPa}\end{aligned}$$

能容易计算出

$$A_e = 1.57 \text{cm}^2 = 1.57 \times 10^{-4} \text{m}^2$$

$$\begin{aligned}\text{所以 } P_n &= A_e \times \sigma_n \\ &= (1.57 \times 10^{-4}) (162 \times 10^6) \\ &= 25434 \text{N}\end{aligned}$$

取  $\Omega = 1.92$



$$\begin{aligned}\text{则 } P_a &= 25434/1.92 \\ &= 13247\text{N}\end{aligned}$$

(4) 组合的轴向力和弯矩计算

根据美国钢铁协会 AISI A4.4 部分, 该例子中  $M_y = 0$ , 并且应力增加 33%。

根据美国钢铁协会 AISI C5 部分, 取

$$C_{m,x} = 1$$

根据 4.5.3 部分的计算, 确定允许的轴向荷载

$$P_a = 13247\text{N}$$

$$\text{取 } \Omega = 1.92$$

$$\begin{aligned}\text{则 } P_{a0} &= \sigma_y A_e \Omega \\ &= (251 \times 10^6) (1.57 \times 10^{-4}) / 1.92 \\ &= 20525\text{N}\end{aligned}$$

计算或从截面特性表查得

$$I_b = 27.14\text{cm}^4$$

$$\begin{aligned}\text{则 } P_{cr} &= \pi^2 EI_b / (K_b L_b)^2 \\ &= \pi^2 (203000) (27.14) / (244)^2 \\ &= 91240\text{N} \\ M_{ax} &= 805\text{N}\cdot\text{m} \quad (4.4.3 \text{ 计算出的允许弯矩}) \\ \alpha_x &= 1 - \Omega_c P / P_{cr} \\ &= 1 - 1.92 (P / 91240)\end{aligned}$$

按前面计算出的墙柱设计荷载计算如下:

例 1:  $D + L + (L_r \text{ 或 } S) + 1/2 W$

1) 一层建筑承受的:

轴向荷载  $P = 5471\text{N}$

侧向荷载  $540\text{N/m}^2$

(每根柱承受的) 侧向荷载  $w = 540 \times 0.61 = 329.4\text{N/m}$

$$\begin{aligned}\text{则 } M_x &= wL^2/8 \\ &= 329.4 \times 2.44^2/8 \\ &= 245\text{N}\cdot\text{m}\end{aligned}$$

计算得

$$\begin{aligned}P/P_a + (C_{m,x} M_x) / (M_{ax} \alpha_x) &= (5471/13247) + (1 \times 245) / \{(805)[1 - 1.92(5471/91240)]\} \\ &= 0.76 < 1.33\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P/P_{a0} + M_x/M_{ax} + M_y/M_{ay} &= (5471/20525) + (245/805) \\ &= 0.57 < 1.33\end{aligned}$$

所以

轴向力和弯矩均分别满足美国钢铁协会 AISI 设计规范要求

2) 底层建筑承受的:

轴向荷载  $P = 11170\text{N}$

侧向荷载  $540\text{N/m}^2$

(每根柱承受的) 侧向荷载  $w = 540 \times 0.61 = 329\text{N/m}$

$$\begin{aligned}\text{则 } M_x &= wL^2/8 \\ &= 329 \times 2.44^2/8 \\ &= 245\text{N}\cdot\text{m}\end{aligned}$$

计算得

$$\begin{aligned}P/P_a + (C_{mx}M_x)/(M_{ax}\alpha_x) &= (11170/13247) + (1 \times 245)/\{(805)[1 - 1.92(11170/91240)]\} \\ &= 1.24 < 1.33\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P/P_{a0} + M_x/M_{ax} &= (11170/20525) + (245/805) \\ &= 0.85 < 1.33\end{aligned}$$

所以

轴向力和弯矩均分别满足美国钢铁协会 AISI 设计规范要求

例 2:  $D + L (L_r \text{ 或 } S) + 1/2 W$

1) 一层建筑承受的:

轴向荷载  $P = 8146\text{N}$ ,

侧向荷载  $270\text{N/m}^2$

(每根柱承受的) 侧向荷载  $w = 270 \times 0.61 = 165\text{N/m}$

$$\begin{aligned}\text{则 } M_x &= wL^2/8 \\ &= 165 \times 2.44^2/8 \\ &= 123\text{N}\cdot\text{m}\end{aligned}$$

计算得

$$\begin{aligned}P/P_a + (C_{mx}M_x)/(M_{ax}\alpha_x) &= (8146/13247) + (1 \times 123)/\{(805)[1 - 1.92(8146/91240)]\} \\ &= 0.80 < 1.33\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P/P_{a0} + M_x/M_{ax} + M_y/M_{ay} &= (8146/20525) + (123/805) \\ &= 0.55 < 1.33\end{aligned}$$

所以

轴向力和弯矩均分别满足美国钢铁协会 AISI 设计规范要求

2) 底层建筑承受的:

轴向荷载  $P = 13839\text{N}$ ,

侧向荷载  $270\text{N/m}^2$

(每根柱承受的) 侧向荷载  $w = 270 \times 0.61 = 165\text{N/m}$

$$\begin{aligned}\text{则 } M_x &= wL^2/8 \\ &= 165 \times 2.44^2/8 \\ &= 123\text{N}\cdot\text{m}\end{aligned}$$

计算得

$$\begin{aligned}P/P_a + (C_{mx}M_x)/(M_{ax}\alpha_x) &= (13839/13247) + (1 \times 123)/\{(805)[1 - 1.92(13839/91240)]\} \\ &= 1.26 < 1.33\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P/P_{a0} + M_x/M_{ax} &= (13839/20525) + (123/805) \\ &= 0.83 < 1.33\end{aligned}$$

所以

轴向力和弯矩均分别满足美国钢铁协会 AISI 设计规范要求

例 3:  $D + W$

1) 一层建筑承受的:

轴向荷载 1567N

侧向荷载  $920\text{N/m}^2$

(每根柱承受的) 侧向荷载  $w = 920 \times 0.61 = 561\text{N/m}$

$$\begin{aligned}\text{则 } M_x &= wL^2/8 \\ &= 561 \times 2.44^2/8 \\ &= 418\text{N}\cdot\text{m}\end{aligned}$$

计算得

$$\begin{aligned}P/P_a + (C_{mx}M_x)/(M_{ax}\alpha_x) &= (1567/13247) + (1 \times 418)/\{(805)[1 - 1.92(1567/91240)]\} \\ &= 0.65 < 1.33\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P/P_{a0} + M_x/M_{ax} &= (1567/20525) + (418/805) \\ &= 0.60 < 1.33\end{aligned}$$

所以

轴向力和弯矩均分别满足美国钢铁协会 AISI 设计规范要求

2) 底层建筑承受的:

轴向荷载  $P = 3526\text{N}$

侧向荷载  $920\text{N/m}^2$

(每根柱承受的) 侧向荷载  $w = 920 \times 0.61 = 561\text{N/m}$

$$\begin{aligned}\text{则 } M_x &= wL^2/8 \\ &= 561 \times 2.44^2/8 \\ &= 418\text{N}\cdot\text{m}\end{aligned}$$

计算得

$$\begin{aligned}P/P_a + (C_{mx}M_x)/(M_{ax}\alpha_x) &= (3526/13247) + (1 \times 418)/\{(805)[1 - 1.92(3526/91240)]\} \\ &= 0.83 < 1.33\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P/P_{a0} + M_x/M_{ax} &= (3526/20525) + (418/805) \\ &= 0.69 < 1.33\end{aligned}$$

所以

轴向力和弯矩均分别满足美国钢铁协会 AISI 设计规范要求

因此 89S41-1.09C 型钢柱强度足够的。

(5) 挠度校核:

$$\begin{aligned}\delta_{\text{允许}} &= L/240 \\ &= 1440/240 \\ &= 10.17\text{mm}\end{aligned}$$

用最大侧向压力  $915\text{N/m}^2$  ( $w = 915 \times 0.61 = 558\text{N/m}$ ) 校核柱的挠度:

$$\begin{aligned}\delta &= (5wL^4)/(384EI) \\ &= (5 \times 558 \times 2.44^4)/(384 \times 203000 \times 27.01 \times 10^{-2})\end{aligned}$$

$$= 0.0047\text{m}$$

$$= 4.7\text{mm}$$

因为  $\delta < \delta_{\text{允许}}$

因此

89S41-1.09C 型钢柱挠度校核通过。

## 第七节 过梁设计方法和实例计算

### 一、过梁设计方法简介

1. 下面是编制过梁表中所选用的荷载：

(1) 静荷载：

天花静荷载  $D_c = 0.24\text{kPa}$

屋顶静荷载  $D_r = 0.34\text{kPa}$

第二层静荷载  $D_f = 0.48\text{kPa}$

墙静荷载  $D_w = 0.48\text{kPa}$

(2) 活荷载：

屋顶活荷载  $L_r = \text{最大雪荷载或 } 0.77\text{kPa}$

阁楼活荷载  $L_A = 0.48\text{kPa}$

雪荷载  $S = \text{地表雪荷载变化从 } 0 \sim 3.35\text{kPa}$

第二层活荷载  $L_f = 1.44\text{kPa}$

### 2. 过梁荷载

(1) 仅支撑屋顶和天花的过梁：

$$W = D_r + L_r + D_c + L_A$$

(2) 支撑一层、屋顶和天花的过梁：

$$W = D_r + L_r + D_c + L_A + (L_f + D_f) + D_w$$

(3) 用集中荷载支撑梁支撑一层、屋顶和天花的过梁：

$$W = D_r + L_r + D_c + L_A + (1/2)(L_f + D_f) + (1/2)D_w$$

(4) 雪荷载

分别取  $0.96\text{kPa}$ ,  $1.44\text{kPa}$  和  $2.40\text{kPa}$  地表雪荷载为计算雪荷载

设计雪荷载  $= 0.7S$  (除特殊情况外, 无其他调整)

### 3. 过梁荷载组合：

下面的荷载组合就是用于过梁设计的荷载：

$$D + 0.75(L + S)$$

式中  $D$ ——静荷载, 单位为  $\text{kPa}$ ;

$L$ ——活荷载, 单位为  $\text{kPa}$ ;

$S$ ——雪荷载, 单位为  $\text{kPa}$ 。

### 4. 允许跨度计算

(1) 方法弯矩作用下的过梁最大允许跨度

因为过梁上作用弯矩为

$$M_a = \omega L^2 / 8$$

所以

$$L = (8M_a / \omega)^{1/2}$$

式中  $L$ ——跨度, 单位为 m;

$M_a$ ——弯矩, 单位为  $N \cdot m$ ;

$\omega$ ——作用在过梁上的垂直设计荷载, 单位为  $N/m$ 。

(2) 剪力作用下的过梁最大允许跨度

因为过梁上作用的剪力为

$$V = \omega L / 2$$

所以  $L = 2V / \omega$

式中  $L$ ——跨度, 单位为 m;

$V$ ——允许剪力, 单位为 N;

$\omega$ ——作用在过梁上的垂直设计荷载, 单位为  $N/m$ 。

(3) 立柱和主柱数量计算

如果没有开口, 主柱数量计算是基于准确的全高柱需求数量。即:

$$\text{柱的需求数量} = \text{开口尺寸} / \text{中心间距}$$

至于侧向荷载, 主要是考虑用主柱来抵抗风荷载。立柱、支柱、楣梁和窗户骨架是作为一个系统来抵抗和转移侧向荷载到临近的主柱上去。这个骨架系统将抵抗一部分侧向荷载, 减少了全部侧向荷载对主柱的作用。

## 二、过梁设计实例计算

### 1. 荷载及荷载组合

#### ■ 荷载

设计 1.8m 开口的过梁, 计算需要的主柱和立柱数量。1.8m 开口位于二层建筑的第一层, 柱子安装中心距为 610mm。建筑物宽度为 7.3m。地表雪荷载为 1.92kPa, 阁楼活荷载为 0.48kPa。

底层过梁设计荷载如下:

雪荷载	$S = 1.92\text{kPa}$
屋顶静荷载	$D_r = 0.34\text{kPa}$
墙静荷载	$D_w = 0.48\text{kPa}$
天花静荷载	$D_c = 0.24\text{kPa}$
第二层静荷载	$D_f = 0.48\text{kPa}$
楼层活荷载	$L_f = 1.44\text{kPa}$
阁楼活荷载	$L_A = 0.48\text{kPa}$

#### ■ 荷载组合

过梁设计成只有垂直荷载。用来设计过梁的荷载组合是:  $D + 0.75 [L (L_r \text{ 或 } S)]$

$$\begin{aligned} \omega &= [D_r + D_c + D_f + D_w + 0.75 (S + L_A + L_f)] \\ &= [(0.34) (8.5 + 0.61) / 2 + (0.24) (8.5/2) + (0.48) (8.5/2) + 0.48 \times 3.05] \\ &\quad + 0.75 \{ [(1.92) (8.5 + 0.61) / 2] + (0.48) (8.5/2) + 1.44 (8.5/2) \} \end{aligned}$$

$$= 18752 \text{ N/m}$$

(式中适当取 3.05m 墙高来计算第二层墙静荷载)

## 2. 允许强度计算

### ■ 允许弯矩计算

选取 203S41-1.73C 型钢背靠背过梁, 校核它能否适当抵抗应用的荷载。

从《低层轻钢骨架住宅设计、制造与装配》一书截面特性表中查得, 203S41-1.73C 型钢截面的允许弯矩:

$$M_a = 4570 \text{ N} \cdot \text{m}$$

2 个 203S41-1.73C 型钢构件组成的背靠背过梁弯矩能力等于弯矩能力乘以 2, 即

$$M_a = 4570 \times 2$$

$$= 9140 \text{ N} \cdot \text{m}$$

### ■ 允许剪力计算

从《低层轻钢骨架住宅设计、制造与装配》一书截面特性表中查得的单个未冲孔腹板的允许剪力:

$$V_a = 1837.79 \text{ kg}$$

$$= 1837.79 \times 9.8$$

$$= 18010 \text{ N}$$

2 个 203S41-1.73C 型钢构件组成的背靠背过梁抗剪能力等于抗剪能力乘以 2, 即

$$V_a = 18010 \times 2$$

$$= 36020 \text{ N}$$

假定腹板冲孔宽度为  $N = 40 \text{ mm}$ , 则冲孔背靠背过梁剪力换算系数

$$q_s = 1 - 1.1 (N/d)$$

$$= 1 - 1.1 (4/203)$$

$$= 0.783$$

冲孔背靠背过梁允许剪力:

$$V_a = 36020 \times 0.783$$

$$= 28203 \text{ N}$$

## 3. 允许跨度计算

(1) 弯矩作用下的最大允许跨度

$$L = (8M_a/\omega)^{1/2}$$

$$= (8 \times 9140/18752)^{1/2}$$

$$= 1.98 \text{ m}$$

(2) 剪力作用下的最大允许跨度

$$L = 2V_a/\omega$$

$$= 2 \times 28203/18752$$

$$= 3 \text{ m}$$

因为用一个角钢将过梁连接到主柱上去, 所以这里不涉及腹板断裂。角钢有类似腹板加强肋的腹板加强作用。

因此最大过梁允许跨度为 1.98m, 大于开口尺寸。

### (3) 立柱和主柱数量计算

柱的需求数量 = 开口尺寸/中心间距

$$= 1.8/0.61 = 2.95$$

取整为 3, 因此需要 3 个柱。

## 第八节 剪力墙拉牢要求计算

### 一、墙覆盖材料的能力

基于剪力墙试验数据和合理的工程分析, 允许使用两种建筑覆盖材料。这些材料是 11mmOSB 板和 12mm 夹板。在这些试验中, 证实 12.7mm 石膏墙板能增加 1794N/m 允许剪力能力, 但这种额外增加的强度在编制剪力墙支撑表时并未作考虑。

夹板覆盖和定向纤维板覆盖的允许剪力能力是基于最近在 Santa Clara 大学所做的框架试验 (美国钢铁协会 AISI1996 年 5 月出版的 RG-9604)。这些试验符合 ASTM E564 标准。这个文本的有关结果概括如下:

墙的描述	平均最终能力/(N/m)	12.7mm 挠度的平均荷载/(N/m)	允许荷载能力/(N/m)
一侧墙板为 12mmAPA 级夹板	15530	7408	6212
一侧墙板为 11mmAPA 级 OSB 板	13270	8647	5308

注: 1. 骨架中心距 610mm。

2. 柱和导轨是 88.9mm 高, 0.84mm 厚, (228MPa) 钢。

3. 柱边缘尺寸为: 41mm; 柱唇缘尺寸为: 9.53mm, 导轨边缘尺寸为: 32mm。

4. 骨架螺钉: No.8, 长 16mm 圆头自钻螺钉。

5. 覆盖螺钉: No.8, 长 25.4mm 自钻平头, 粗牙螺纹, 边缘螺钉中心间距 152mm/中间螺钉中心间距 305mm。

6. 取安全系数为 2.5 来确定允许能力。

采用 5398N/m 的允许荷载能力来确定剪力墙 (全高剪力墙的长度百分比) 要求。允许荷载能力小于 12.7mm 挠度墙的平均荷载。

### 二、剪力墙地脚锚固连接能力

墙到基础和楼层, 各种静荷载抑制力和轻骨架建筑拐角处的系统作用等剪力墙 (克制转动) 地脚锚固能力, 其抵抗风和地震荷载的允许值范围在 (螺钉和锚栓) 标准连接详细资料中都有提供。

### 三、剪力荷载

一层或二层住宅建筑墙的剪力荷载是采用 ASCE 7-93 《建筑物和其他建筑的最小设计荷载》来修正。剪力荷载是由风或地震地面加速度的惯性反应的侧向力的作用产生。设计时对任何其他 (如平常住宅的内隔墙) 剪力转换路径都不作考虑。为了确定全高覆盖物的要求长度, 是用荷载除以覆盖能力 (5308N/m)。这些长度转化成《低层轻钢骨架住宅设计、制造与装配》一书中表 2.6-36 的墙长百分比。剪力荷载值与地震荷载相比, 是同样建筑几何

条件的地震荷载的几倍。可以想象,地震区域 2、1 或 0 的轻骨架钢建筑物,侧向的风荷载会超过地震荷载。

#### 四、全高覆盖要求

对于  $8.5\text{m} \times 12\text{m}$  的二层住宅(屋顶斜度 8:12)来说,通过对《低层轻钢骨架住宅设计、制造与装配》一书中的表 2.6-36 中数据进行插入计算,分别获得下面的设计:

表 3.7-1

		表 2.6-36 的 百分比%	墙长 $L$ / (m)	全高覆盖物要求的 长度 (%) $\times L$ /m	实际能力 $L \times (\%) \times 5308$ /N	要求能力(按建筑荷 载的特殊分析) /N
上层	端墙	50%	8.5	4.25 (取整为 4.8)	22559 (25478)	12526
	侧墙	50%	12	6 (取为 5.8)	31848 (30786)	7900
下层	端墙	26.67%	8.5	2.3 (取整为 2.4)	12208 (12739)	24247
	侧墙	26.67%	12	3.2 (取整为 3.6)	16986 (19109)	12460

表 3.7-1 是按《低层轻钢骨架住宅设计、制造与装配》一书(或美国钢铁协会)2000 年设计规范要求计算得出的数据,实际能力仍然大于按建筑荷载作特殊分析得到的数据,因此数据是较为保守的。

## 第九节 天花托梁设计方法和实例计算

### 一、天花托梁设计方法简介

#### 1. 编制天花托梁表中所选用的荷载

- (1) 静荷载: 天花静荷载  $D_c = 0.24\text{kPa}$   
 (2) 活荷载: 带阁楼储藏室  $L_A = 0.96\text{kPa}$   
                   不带阁楼储藏室  $L_{A0} = 0.48\text{kPa}$

由美国钢铁协会 AISI 规范确定的截面特性、抗弯和抗剪能力。所有托梁都假定冲有 38mm 宽、102mm 长的孔,中心距间隔 610mm。天花托梁的受压边缘被假定在中部和三分之一处从侧向拉牢,其他地方没有拉牢。组合弯曲、腹板极限和抗剪能力直接从美国钢铁协会 AISI 设计规范中取得。

首先依据使用性能确定挠度限制。目的是预防可能导致最终断裂的额外的挠度。对于天花托梁,大多数规范通常赞成用  $L/240$  作为一个可接受的挠度使用限制。因此,在《低层轻钢骨架住宅设计、制造与装配》一书里的天花挠度限制在  $L/240$ 。

#### 2. 设计输入参数

##### (1) 建筑构造和荷载条件

$B$ ——建筑物宽度,单位为 m;

$S_c$ ——天花托梁中心间距,单位为 m;

$V$ ——风速,单位为  $129\text{km/h}$ ,位向;

屋顶斜度;

$L$ ——跨距, 单位为  $m$ ;

$L_y$ —— $L_y = L/2$ , 跨距的一半, 单位为  $m$ 。

## (2) 荷载及荷载组合

$D_A$ ——阁楼静荷载, 单位为  $kPa$ ;

$S$ ——地面雪荷载, 单位为  $kPa$ ;

$D_r$ ——屋顶静荷载, 单位为  $kPa$ 。

## (3) 截面特性参数

首先, 根据要求的天花托梁荷载条件、跨距、中心间距等, 从《低层轻钢骨架住宅设计、制造与装配》一书里的天花托梁表中选择适当的天花托梁, 选定外墙和内墙厚度。

构件的截面特性可以用美国钢铁协会设计规范 AISI 计算, 也可以从《底层轻钢骨架住宅设计、制造与装配》一书的截面特性表中查得。

$A_{\text{总}}$ ——总截面积, 单位为  $cm^2$ ;

$I_{x\text{总}}$ ——总截面惯性矩, 单位为  $cm^4$ ;

$I_x$ ——截面惯性矩, 单位为  $cm^4$ ;

$S_e$ ——有效截面模数, 单位为  $cm^3$ ;

$R_x$ ——截面惯性半径, 单位为  $cm$ ;

$I_{y\text{总}}$ ——总截面惯性矩, 单位为  $cm^4$ ;

$R_y$ ——截面惯性半径, 单位为  $cm$ ;

$y_{cg}$ ——中性轴距顶部的距离, 单位为  $cm$ ;

$J$ ——St. Venant 扭矩常数, 单位为  $cm^4$ ;

$C_w$ ——扭转扭曲常数, 单位为  $cm^6$ ;

$x_o$ ——剪力中心到质心的距离, 单位为  $cm$ ;

$R_o$ ——截面极惯性半径, 单位为  $cm$ 。

## (4) 材料特性参数和要求

$E$ —— $E = 203000MPa$ , 弹性模数;

$G$ —— $G = 77900MPa$ , 剪切模量;

$\sigma_y$ ——屈服强度, 单位为  $MPa$ ;

$\sigma_{ya}$ ——临界强度, 单位为  $MPa$ ;

$\delta_{LL}$ ——活荷载挠度限制;

$\delta_{TL}$ ——全荷载挠度限制;

$L_A$ ——阁楼活荷载, 单位为  $kPa$ ;

$D_c$ ——天花静荷载, 单位为  $kPa$ ;

$k$ —— $k = k_y = 1.0$ , 系数。

## 3. 强度校核

允许的跨度取以下最小跨度:

- 受弯曲限制的最大跨度
- 受剪力限制的最大跨度



■ 受挠度限制的最大跨度

■ 受弯曲和剪力组合限制的最大跨度

(1) 按美国钢铁协会设计规范 C3 “弯曲构件” 部分计算弯矩

(所有参考公式和章节都是来自美国钢铁协会设计规范 AISI)

$$M_a = M_n / \Omega_f$$

式中  $M_n$ ——最小名义弯矩, 按 AISI C3.1.1, C3.1.2 和 C3.1.3 部分计算出的最小名义弯矩, 单位为  $N \cdot m$ ;

$\Omega_f$ —— $\Omega_f = 1.67$  (安全系数)。

■ C3.1.1 名义截面强度

$$M_n = S_e \sigma_y$$

式中  $S_e$ —— $S_e = S_x$ , 用最大受压或受拉面的屈服强度  $\sigma_y$  计算出的有效截面弹性截面模数, 单位为  $cm^3$ ;

$\sigma_y$ ——最大受压或受拉面的屈服强度, 单位为  $MPa$ 。

■ C3.1.2 侧向拉牢后的强度

$$M_n = S_c (M_c / S_f) \quad C3.1.2-1$$

式中  $S_f$ —— $S_f = I_x / y_{cg}$

$$M_c = M_y (1 - M_y / 4 M_e) \quad C3.1.2-2$$

$$M_y = S_f \sigma_y \quad C3.1.2-4$$

$$M_e = C_b R_o A [\sigma_{ey} \sigma_t]^{1/2} \quad C3.1.2-5$$

式中  $C_b = 1.75$  (根据 C3.1.2 部分,  $M_1 = 0$ )

$$\sigma_{ey} = (\pi^2 E) / (k_y L_y / R_y)^2 \quad C3.1.2-8$$

$$\sigma_t = (1 / A R_o^2) [GJ + \pi^2 E C_w / (k_t L_t)^2] \quad C3.1.2-9$$

用最大受压边缘应力  $f$  来计算确定有效截面的弹性模数  $S_c$ 。

$$f = M_c / S_f$$

1) 计算受压边缘的有效宽度:

$$b_0 = b - 2(R + t)$$

当  $b_0 / t < 60$

$$S = 1.28 [(E / f)]^{1/2} \quad B4-1$$

当  $S / 3 < b_0 / t < S$

$$I_s = 399 t^4 \{ [(b_0 / t) / S] - 0.33 \}^3 \quad B4.2-6$$

取  $n = 1/2$

当  $0.25 < c / b_0 < 0.8$

$$k = [4.82 - 5(c / b_0)] (I_s / I_a)^n + 0.43 \quad B4.2-9a$$

$$k = 5.25 - 5(c / b_0) \quad B4.2-9b$$

式中  $c_0 = c - R - t$

$$I_s = c_0^3 t / 12$$

根据美国钢铁协会 AISI 设计规范 B2.1 部分, 取  $k$  为式 B4.2-9a 和式 B4.2-9b 的最小

值, 用  $f = M_c/S_f$  来计算边缘有效宽度。

当

$$I_s > I_a$$

并且

$$c/b_0 < 0.8,$$

则

加强肋不能简单的作为一个的唇缘来考虑。

当

$$b_0/t < 90$$

B1.1- (a) - (3)

则

$$\lambda = [1.052 / (k)^{1/2}] (b_0/t) (f/E)^{1/2}$$

B2.1-4

当

$$\lambda \leq 0.673$$

B2.1-1

则

$$\rho = 1$$

$$b_e = b_0$$

受压边缘全部有效

当

$$\lambda > 0.673$$

则

$$\begin{aligned} \rho &= (\lambda - 0.22) / \lambda^2 \\ &= (1 - 0.22/\lambda) / \lambda \end{aligned}$$

$$b_e = \rho b_0$$

B2.1-2

受压边缘不是全部有效

2) 计算受压 (唇缘) 加强肋有效宽度

当

$$c_0/t < 60$$

B1.1- (a) - (3)

$$0.25 < c/b_0 < 0.8$$

则按美国钢铁协会 AISI 设计规范 B2.1 部分计算唇缘有效宽度:

$$\lambda = [1.052 / (k)^{1/2}] (c_0/t) (f/E)^{1/2}$$

B2.1-4

式中  $f$ —— $f = M_c/S_f$ , 冷轧后的增强应力, 单位为 MPa;

$E$ ——弹性模量, 单位为 MPa。

$k$ —— $k = 0.43$ , 按美国钢铁协会 AISI 设计规范 B3.1 部分。

如果

$$\lambda \leq 0.673$$

且

$$I_s/I_a > 1$$

则取

$$I_s/I_a = 1$$

加强肋有效宽度

$$c_e = c_0$$

压缩加强肋全部有效

当

$$I_s/I_a \leq 1$$

则加强肋有效宽度

$$c_e = c_0 (I_s/I_a)$$

压缩加强肋不是全部有效

式中  $c_e$ ——受压 (唇缘) 加强肋有效宽度, 单位为 mm;

$c_0$ ——受压 (唇缘) 加强肋实际宽度, 单位为 mm。

当

$$\lambda > 0.673$$

则

$$\begin{aligned} \rho &= (\lambda - 0.22) / \lambda^2 \\ &= (1 - 0.22/\lambda) / \lambda \end{aligned}$$

$$c_e = \rho c_0 = c_0 (I_s/I_a) \leq c_0$$

压缩加强肋不是全部有效



式中  $\rho$ ——宽度缩减系数。

### 3) 计算腹板有效宽度

结合全部要素来定位中性轴位置。假定腹板全部有效, 按要求将计算值填入表 5.2-1。

要素	有效长度 $L/\text{cm}$	离顶缘的距离 $y/\text{cm}$	$Ly/\text{cm}^2$	$Ly^2/\text{cm}^3$	$I_1' = Ly^3/12$ 相对自轴 $\text{cm}^3$
腹板					
受拉边缘					
受压边缘					
上拐角					
下拐角					
上加强肋					
下加强肋					
总和					

$$y_{cg} = d/2 \quad (\text{因为对称})$$

按美国钢铁协会 AISI 设计规范 B2.3 部分, 校核腹板是否全部有效:

假定腹板全部有效, 顶层应力为  $f$ :

$$f_1 = +f (y_{cg} - t - R) / y_{cg}$$

$$f_2 = -f (d - y_{cg} - t - R) / y_{cg} \quad (\text{受拉力})$$

按美国钢铁协会 AISI 设计规范 B2.3 (a) 部分确定荷载能力, 计算有效宽度。

如果

$$\psi = f_2/f_1 \leq -0.236 \quad \text{B2.3}$$

则

$$a_1 = a_e / (3 - \psi) \quad \text{B2.3-1}$$

$$a_2 = a_e / 2 \quad \text{B2.3-2}$$

式中  $a_1 + a_2$  不得超出基于有效截面计算出的腹板受压部分;

$a_e$ ——据 B2.1 部分, 有效宽度  $a_0$  是用  $f_1$  替代  $f$ , 和下面计算出的  $k$  值确定。

$$k = 4 + 2 (1 - \psi)^3 + 2 (1 - \psi) \quad \text{B2.3-4}$$

$$a_0 = d - 2 (R + t)$$

当

$$a_0/t < 200 \quad \text{B1.2- (a)}$$

则

$$\lambda_w = (1.052/k^{1/2}) (a_0/t) (f_1/E)^{1/2} \quad \text{B2.1-4}$$

如果

$$\lambda_w < 0.673$$

则

$$\rho = 1$$

$$a_e = a_0$$

B2.1-1

腹板要素全部有效。

当

$$\lambda > 0.673,$$

则

$$\rho = (\lambda - 0.22) / \lambda^2$$

$$= (1 - 0.22/\lambda) / \lambda$$

$$a_e = \rho a_0$$

B2.1-2

腹板要素不是全部有效 (详细计算见第五节)

式中  $a_e$ ——腹板有效宽度, 单位 mm;

$a_0$ ——腹板平直部分宽度，单位 mm；

$\rho$ ——宽度缩减系数。

根据有效截面计算出来的腹板受压部分长度

$$a_{ce} = y_{cg} - (R + t)$$

如果腹板实际受压部分长度

$$a_1 + a_2 \geq a_{ce} = y_{cg} - (R + t)$$

腹板要素全部有效，设计时也只能保守的取

$$a_1 + a_2 = y_{cg} - (R + t)$$

则中性轴距顶部的距离

$$y_{cg} = \sum (Ly) / \sum L \quad (4.2-14)$$

该校核是假定腹板全部有效。

$$I'_x = Ly^2 + I'_1 - Ly_{cg}^2$$

$$I_x = I'_x t$$

$$S_e = I_x / y_{cg}$$

$$M_n = S_e \sigma_y \quad C.1.1-1$$

■ C3.1.3 不适用于“有一个边缘紧固到盖板或覆盖物上的梁”。

4) 计算天花托梁允许弯矩：

按美国钢铁协会 AISI 设计规范 C3.1.1、C3.1.2 和 C3.1.3 部分，允许弯矩是用最小名义弯矩除以安全系数  $\Omega$ 。

$$M_a = M_n / \Omega \quad C3.1-1$$

对中跨底边未拉牢的带腹板加强肋的双跨梁：

$$M_{\max} = (9/128) wL^2$$

$$\text{则} \quad L = [(128 M_{\max}) / (9w)]^{1/2}$$

(2) 用 ICBO AC46 部分计算带孔剪应力方法计算天花托梁抗剪强度 (C3.2 部分)

计算腹板平坦部分的长度  $a_0$

$$a_0 = d - 2(R + t)$$

计算

$$a_0/t$$

和

$$1.38 (Ek_v/\sigma_y)^{1/2}$$

当

$$a_0/t > 1.38 (Ek_v/\sigma_y)^{1/2}$$

则

$$F_{qa} = 0.53 (Ek_v t^3 / a_0) \text{ (没有孔)}$$

按 ICBO 方法计算带孔构件抗剪能力。

$$q_s = 1 - 1.1 (N/d)$$

式中  $q_s$ ——剪力换算系数；

$N$ ——腹板开孔宽度，单位为 mm；

$d$ ——腹板宽度，单位为 mm。

$$F_{qak} = F_{qa} q_s \text{ (有孔)}$$

没有腹板加强肋的间支双跨梁：

$$F_q = (5/8) wL$$

$$L = (8/5) F_q / w$$

(3) 计算受挠度限制的天花托梁允许跨度

对间支双跨天花托梁:

$$\delta = (wL^4) / (185EI)$$

取  $\delta_{\max} = L/240$

则  $L = [(185EI) / (240w)]^{1/3}$

(4) 计算弯曲和剪切组合作用下的中跨支撑天花托梁允许跨度

(美国钢铁协会设计规范 AISI C3.3 部分, 弯矩和剪切组合)

当  $M/M_{\text{axo}} \leq 1$

并且  $F_q/F_{qa} \leq 1$

式中  $M$ —— $M = wL^2/8$ , 考虑构件两侧全部拉牢的中间支撑的最大弯矩, 单位为  $\text{N}\cdot\text{m}$ ;

$M_{\text{axo}}$ —— $M_{\text{axo}} = M_n/\Omega = S_e\sigma_y/\Omega$ , 按美国钢铁协会设计规范 AISI C3.1.1 部分计算出来的对重心轴的允许弯矩, 单位为  $\text{N}\cdot\text{m}$ ;

$F_q$ —— $F_q = (5/8) wL$ , 中间支撑的最大剪力, 单位为  $\text{N}$ ;

$F_{qa}$ —— $F_{qa} = 0.53 (Ek_v t^3/a_0)$ , 没开孔天花托梁抗剪强度, 单位为  $\text{N}$ ;

当  $M = M_{\text{axo}}$

用最坏情况下的剪力和弯矩计算  $L$  值

$$L = (8M/w)^{1/2}$$

因此  $F_q = (5/8) wL$

当  $F_q/F_{qa} < 0.7$

则

$$\text{不需要校核另一平衡式: } M/M_{\text{axo}} \leq 1$$

因此, 按美国钢铁协会设计规范 AISI C3.3 部分要求计算的允许托梁跨度为:

$$L = (8M/w)^{1/2}$$

## 二、天花托梁设计实例计算

### 1. 设计输入参数

#### (1) 建筑构造和荷载条件

下面将针对下述建筑构造和荷载条件进行天花托梁构件的选型设计:

建筑物宽度	$B = 9.14\text{m}$
天花托梁中心间距	$S_c = 0.61\text{m}$
风速	$V = 129\text{km/h}$ , 位向 C;
屋顶斜度	6:12
	中跨承重墙

#### (2) 荷载及荷载组合

阁楼静荷载	$D_A = 0.24\text{kPa}$
天花静荷载	$D_c = 0.24\text{kPa}$

楼层活荷载	$L_f = 0.48 \text{ kPa}$
阁楼活荷载	$L_A = 0.48 \text{ kPa}$
地面雪荷载	$S = 1.44 \text{ kPa}$
活荷载挠度限制	$\delta_{LL} = L/240$
全荷载挠度限制	$\delta_{TL} = L/180$

### (3) 截面特性参数

首先, 从《低层轻钢骨架住宅设计、制造与装配》一书里的天花托梁表中选择适当的天花托梁:

选内承重墙净跨距为:

$$L = 4.42 \text{ m}$$

跨距的一半

$$L_y = L/2 = 4.57/2 = 2.29 \text{ m}$$

因为

$$B/2 = 9.14/2$$

$$= 4.57 \text{ m}$$

则墙厚度为

$$B/2 - 4.42 = 0.15 \text{ m} = 150 \text{ mm}$$

取外墙厚度为:

$$100 \text{ mm}$$

取外墙厚度为:

$$50 \text{ mm}$$

因为

$$S_c = 0.61 \text{ m}$$

$$D_A = 0.24 \text{ kPa}$$

$$L_f = 0.48 \text{ kPa}$$

一个可行的解是双跨 140S41-0.84C 型钢托梁, 最大允许跨度为 4.5m。

该构件的截面特性可以用美国钢铁协会设计规范 AISI 计算。该例是从《低层轻钢骨架住宅设计、制造与装配》一书的截面特性表中查得。

总截面积	$A_{\text{总}} = 2.11 \text{ cm}^2$
截面惯性矩	$I_{x\text{总}} = 60.69 \text{ cm}^4$
截面惯性矩	$I_x = 60.69 \text{ cm}^4$
有效截面模数	$S_e = 8.69 \text{ cm}^3$
截面惯性半径	$R_x = 5.36 \text{ cm}$
截面惯性矩	$I_{y\text{总}} = 4.7 \text{ cm}^4$
截面惯性半径	$R_y = 1.5 \text{ cm}$
中性轴距顶部的距离	$y_{\text{cg}} = 7.08 \text{ cm}$
St. Venant 扭矩常数	$J = 5.41 \times 10^{-3} \text{ cm}^4$
扭转扭曲常数	$C_w = 189 \text{ cm}^6$



剪力中心到质心的距离	$x_o = -2.88\text{cm}$
截面极惯性半径	$R_o = 6.27\text{cm}$
(4) 材料特性参数和要求	
弹性模数	$E = 203000\text{MPa}$
剪切模量	$G = 77900\text{MPa}$
屈服强度	$\sigma_y = 228\text{MPa}$
临界强度	$\sigma_{ya} = 228\text{MPa}$
	$k = k_y = 1.0$

## 2. 强度校核

(1) 按美国钢铁协会设计规范 C3 “弯曲构件” 部分计算弯矩

### ■ C3.1.1 正常截面强度

$$\begin{aligned} M_n &= S_e \sigma_y \\ &= 8.69 \times 228 \\ &= 1981\text{N}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

### ■ C3.1.2 侧向弯曲强度

$$\begin{aligned} S_f &= I_x / Y_{cg} \\ &= 60.69 / 7.08 \\ &= 8.57\text{cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_y &= S_f \sigma_y \\ &= 8.57 \times 228 \\ &= 1954\text{N}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

$C_b = 1.75$  (根据 C3.1.2 部分,  $M_1 = 0$ )

$$\begin{aligned} \sigma_{ey} &= (\pi^2 E) / (k_y L_y / R_y)^2 \\ &= (\pi^2 \times 203 \times 10^3) / (1 \times 2.29 / 0.015)^2 \\ &= 86\text{MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_t &= (1/AR_o^2) [GJ + \pi^2 EC_w / (k_t L_t)^2] \\ &= [1/(2.11 \times 6.27)^2] \times [77.9 \times 10^3 \times 5.41 \times 10^{-3} + \pi^2 \times 203 \times 10^3 \times 189 / (1 \times 2.29)^2] \\ &= 92\text{MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_e &= C_b R_o A [\sigma_{ey} \sigma_t]^{1/2} \\ &= 1.75 \times 6.27 \times 2.11 [(86)(92)]^{1/2} \\ &= 2059\text{N}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_c &= M_y (1 - M_y / 4M_e) \\ &= 1954 [1 - 1954 / (4 \times 2059)] \\ &= 1490\text{N}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

用最大受压边缘应力  $f$  来计算确定有效截面的弹性模数  $S_e$ 。

$$\begin{aligned} f &= M_c / S_f \\ &= 1490 / (8.57) \\ &= 174\text{MPa} \end{aligned}$$

1) 计算受压边缘的有效宽度:

$$b_0 = b - 2(R + t)$$

$$= 41 - 2(2.4 + 0.89)$$

$$= 34.4 \text{ mm}$$

$$b_0/t = 34.4/0.89$$

$$= 39$$

因为  $b_0/t < 60$

所以  $S = 1.28 [(E/f)]^{1/2}$

$$= 1.28 [(203 \times 10^3 / 174)]^{1/2}$$

$$= 43.6$$

$$S/3 = 43.6/3$$

$$= 14.5$$

因为  $S/3 < b_0/t < S$

所以  $I_a = 399t^4 \{ [(b_0/t)/S] - 0.33 \}^3$

$$= 399 (0.089)^4 [(39/43.6) - 0.33]^3$$

$$= 4.5 \times 10^{-3} \text{ cm}^4$$

$$c_0 = c - R - t$$

$$= 12.7 - 2.4 - 0.89$$

$$= 9.41 \text{ mm}$$

$$I_s = c_0^3 t / 12$$

$$= (0.941)^3 (0.089) / 12$$

$$= 6.18 \times 10^{-3} \text{ cm}^4$$

$$I_s/I_a = 6.18 \times 10^{-3} / 4.5 \times 10^{-3}$$

$$= 1.37$$

取  $n = 1/2$

因为  $c/b_0 = 12.7/34.4$

$$= 0.369$$

$$0.25 < c/b_0 < 0.8$$

所以  $k = [4.82 - 5(c/b_0)] (I_s/I_a)^n + 0.43$

$$= [4.82 - 5(0.369)] \times [6.18 \times 10^{-3} / 4.5 \times 10^{-3}]^{1/2} + 0.43$$

$$= 3.92$$

或  $k = 5.25 - 5(c/b_0)$

$$= 5.25 - 5 \times 0.369$$

$$= 3.41$$

根据美国钢铁协会 AISI 设计规范 B2.1 部分, 计算边缘有效宽度:

因为  $I_s > I_a$

并且  $c/b_0 < 0.8$

加强肋不能简单的作为一个的唇缘来考虑。

又因为  $b_0/t < 90$

取最小  $k$  值, 即

$$k = 3.41$$

和  $f = M_c/S_f$

$$= 1490 / (8.57)$$

$$= 174 \text{ MPa}$$

所以  $\lambda = (1.052/k^{1/2}) (b_0/t) (f/E)^{1/2}$

$$= (1.052/3.41^{1/2}) \times 39 \times (174/203000)^{1/2}$$

$$= 0.65$$

因为  $\lambda \leq 0.673$

所以  $\rho = 1$

$$b_e = b_0 = 34.4$$

受压边缘全部有效

2) 计算受压 (唇缘) 加强肋有效宽度

因为  $c_0/t = 9.41/0.89$

$$= 10.6$$

$$c_0/t < 60$$

$$c/b_0 = 12.7/34.4$$

$$= 0.369$$

$$0.25 < c/b_0 < 0.8$$

所以按美国钢铁协会 AISI 设计规范 B2.1 部分, 计算唇缘有效宽度:

取  $k = 0.43$

$$f = M_c/S_f$$

$$= 1490 / (8.57)$$

$$= 174 \text{ MPa}$$

则  $\lambda = (1.052/k^{1/2}) (c_0/t) (f/E)^{1/2}$

$$= (1.052/0.43^{1/2}) \times 10.6 \times (174/203000)^{1/2}$$

$$= 0.50$$

因为  $\lambda \leq 0.673$

且  $I_s/I_a = 1.37$

则取  $I_s/I_a = 1$

$$c_e = c_0 (I_s/I_a)$$

$$= 9.41 \times 1$$

$$= 9.41 \text{ mm}$$

也就是受压加强肋全部有效

3) 计算腹板有效宽度

结合全部要素来定位中性轴位置。假定腹板全部有效, 按要求将计算值填入表 5.2-1。

因为对称于 X 轴, 所以这里假定截面全部有效。

$$\begin{aligned}
 y_{cg} &= d/2 \\
 &= 140/2 \\
 &= 70\text{mm}
 \end{aligned}$$

按美国钢铁协会设计规范 AISI B2.3 部分，校核腹板是否全部有效：

假定腹板全部有效，顶层应力为

$$\begin{aligned}
 f &= M_c/S_f \\
 &= 1490/(8.57) \\
 &= 174\text{MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_1 &= +f(y_{cg} - t - R)/y_{cg} \\
 &= 174(70 - 0.89 - 2.4)/70 \\
 &= 166\text{MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_2 &= -f(d - y_{cg} - t - R)/y_{cg} \\
 &= 174(140 - 70 - 0.89 - 2.4)/70 \\
 &= -166\text{MPa (受拉力)}
 \end{aligned}$$

按美国钢铁协会设计规范 AISI B2.3 (a) 部分确定荷载能力，计算有效宽度。

$$\begin{aligned}
 \text{因为 } \psi &= f_2/f_1 \\
 &= -166/166 \\
 &= -1
 \end{aligned}$$

$$\psi \leq -0.236$$

$$\begin{aligned}
 \text{所以 } k &= 4 + 2(1 - \psi)^3 + 2(1 - \psi) \\
 &= 4 + 2(1 + 1)^3 + 2(1 + 1) \\
 &= 24
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a_0 &= d - 2(R + t) \\
 &= 140 - 2(2.4 + 0.89) \\
 &= 133\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a_0/t &= 133/0.89 \\
 &= 149
 \end{aligned}$$

$$\text{因为 } a_0/t < 200$$

所以，用  $f_1$  替代  $f$ ，用上面计算出的  $k$  值确定有效宽度  $a_0$  如下：

$$\begin{aligned}
 \lambda_w &= (1.052/k^{1/2})(a_0/t)(f/E)^{1/2} \\
 &= (1.052/24^{1/2}) \times 149 \times (166/203000)^{1/2} \\
 &= 0.92 > 0.673
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_w &= (1 - 0.22/\lambda)/\lambda \\
 &= (1 - 0.22/0.92)/0.92 \\
 &= 0.827
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a_e &= \rho_w a_0 \\
 &= 0.827 \times 133 \\
 &= 110\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a_1 &= a_e / (3 - \phi) \\
 &= 110 \times (3 + 1) \\
 &= 27.5 \text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a_2 &= a_e / 2 \\
 &= 110 / 2 \\
 &= 55 \text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a_1 + a_2 &= 27.5 + 55 \\
 &= 82.5 \text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{腹板受压部分} &= y_{cg} - (R + t) \\
 &= 70 - (2.4 + 0.89) \\
 &= 66.7 \text{mm}
 \end{aligned}$$

由于  $a_1 + a_2 > y_{cg} - (R + t)$

$$\begin{aligned}
 \text{所以取 } a_1 + a_2 &= y_{cg} - (R + t) \\
 &= 66.7 \text{mm}
 \end{aligned}$$

假定腹板全部有效成立。

要素	有效长度 $L/\text{cm}$	离顶缘的距离 $y/\text{cm}$	$Ly/\text{cm}^2$	$Ly^2/\text{cm}^3$	$I_1' = L_y^3/12$ 相对自轴 $/\text{cm}^3$
腹板	13.34	7	93.38	653.66	197.83
受拉边缘	3.475	13.96	48.50	676.78	
受压边缘	3.475	0.04	0.15	0.01	
上拐角	0.89	0.13	0.11	0.01	
下拐角	0.89	13.87	12.39	171.86	
上加强肋	0.95	0.80	0.75	0.60	0.07
下加强肋	0.95	13.21	12.48	164.78	0.07
总和	23.97		167.76	1667.70	197.97

计算出

$$\begin{aligned}
 I'_x &= Ly^2 + I'_1 - Ly_{cg}^2 \\
 &= 1667.70 + 197.97 - 23.97 (7)^2 \\
 &= 691 \text{cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_x &= I'_x t \\
 &= 691 \times 0.089 \\
 &= 62 \text{cm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_e &= I_x / y_{cg} \\
 &= 62 / 7 \\
 &= 8.86 \text{cm}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= S_e \sigma_y \\
 &= 8.86 \times 176 \\
 &= 1559 \text{N} \cdot \text{m}
 \end{aligned}$$



■ C3.1.3 不适用“有一个边缘紧固到盖板或覆盖物上的梁”，所以不作校核。

4) 计算天花托梁允许弯矩：

按美国钢铁协会 AISI 设计规范 C3.1.1、C3.1.2 和 C3.1.3 部分，允许弯矩是用最小名义弯矩除以安全系数  $\Omega$ 。

取  $\Omega = 1.67$

$$\begin{aligned}\text{则 } M_a &= M_n / \Omega \\ &= 1559 / 1.67 \\ &= 934 \text{ N} \cdot \text{m}\end{aligned}$$

对中跨底边未拉牢的带腹板加强肋的双跨梁：

天花承受的荷载为

$$\begin{aligned}L_A + D_C &= (0.48 + 0.24) \\ &= 0.72 \text{ kPa}\end{aligned}$$

每个天花托梁承受的荷载为

$$\begin{aligned}w &= (L_A + D_C) S_c \\ &= 0.72 \times 0.61 \\ &= 0.439 \text{ kN/m} \\ &= 439 \text{ N/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}L &= [(128 M_{\max}) / (9w)]^{1/2} \\ &= [(128 \times 934) / (9 \times 439)]^{1/2} \\ &= 5.5 \text{ m}\end{aligned}$$

(2) 用 ICBO AC46 部分计算带孔剪应力方法计算天花托梁抗剪强度 (C3.2 部分)

计算腹板平坦部分的深度  $a_0$

$$\begin{aligned}a_0 &= d - 2(R + t) \\ &= 140 - 2(2.4 - 0.89) \\ &= 137 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{计算出 } a_0/t &= 137/0.89 \\ &= 154\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}1.38 (Ek_v/\sigma_y)^{1/2} &= 1.38 (203000 \times 5.34/228)^{1/2} \\ &= 95.2\end{aligned}$$

因为  $a_0/t > 1.38 (Ek_v/\sigma_y)^{1/2}$

$$\begin{aligned}\text{所以 } F_{qa} &= 0.53 (Ek_v t^3 / a_0) \\ &= 0.53 (203000 \times 10^9 \times 5.34 \times 0.00089^3 / 0.137) \\ &= 2956 \text{ N (没有孔)}\end{aligned}$$

按 ICBO 方法计算带孔构件抗剪能力。

$$\begin{aligned}q_s &= 1 - 1.1 (N/d) \\ &= 1 - 1.1 (38/140) \\ &= 0.7\end{aligned}$$

$$F_{qa} = F_q q_s$$

$$= 2956 \times 0.7$$

$$= 2069\text{N (有孔)}$$

对于没有腹板加强肋的间支双跨梁:

$$L = (5/8) F_{qk}/w$$

$$= (8/5) \times 2069/439$$

$$= 7.5\text{m}$$

(3) 计算受挠度限制的天花托梁允许跨度

对间支双跨天花托梁:

$$\text{取 } \delta_{\max} = L/240$$

$$w = (L_A + D_c) S_c$$

$$= 0.72 \times 0.61$$

$$= 0.439\text{kN/m}$$

$$= 439\text{N/m}$$

$$\text{则 } L = (185EI\delta_{\max}/w)^{1/3}$$

$$= [(185 \times 203 \times 10^3 \times 62/100) / (439 \times 240)]^{1/3}$$

$$= 6.05\text{m}$$

(4) 计算弯曲和剪切组合作用下的中跨支撑天花托梁允许跨度。

(按美国钢铁协会设计规范 AISIC3.3 部分, 弯矩和剪切组合部分强度进行校核)

$$\text{因为 } M_{axo} = M_n/\Omega = S_e \sigma_y/\Omega$$

$$= 8.69 \times 228/1.67$$

$$= 1186\text{N}\cdot\text{m}$$

因为支撑点 305mm 距离内不允许有的孔, 所以取

$$F_{qa} = 2962\text{N (没有孔)}$$

$$\text{当 } M = M_{axo}$$

用最坏情况下的剪力和弯矩计算  $L$  值

$$L = (8M/w)^{1/2}$$

$$= (8 \times 1186/439)^{1/2}$$

$$= 4.7\text{m}$$

因此

$$F_q = (5/8) wL$$

$$= (5/8) \times 439 \times 4.7$$

$$= 1290\text{N}$$

因为

$$F_q/F_{qa} = 1290/2962$$

$$= 0.44 < 0.7$$

所以

不需要校核相互平衡式:  $M/M_{axo} \leq 1$

因此

按美国钢铁协会设计规范 AISIC3.3 部分要求计算的允许托梁跨度为 4.7m

## 第十节 橡设计方法和实例计算

### 一、橡设计方法简介

橡的设计输入参数与天花托梁基本一致。

与天花托梁设计选型一样，首先，根据橡的荷载条件、跨距、中心间距等，从《低层轻钢骨架住宅设计、制造与装配》一书里的橡表中选择适当的橡。

计算所选构件的能力，证明它们可以使用。

#### 1. 设计输入参数

##### (1) 截面特性参数

构件的截面特性可以用美国钢铁协会 AISI 设计规范计算。也可以从《底层轻钢骨架住宅设计、制造与装配》一书的截面特性表中查得。

$I_x$ ——截面惯性矩，单位为  $\text{cm}^4$ ；

$S_e$ ——有效截面模数，单位为  $\text{cm}^3$ ；

##### (2) 材料特性参数和要求

$\sigma_y$ ——屈服强度，单位为 MPa；

$\delta_{LL}$ ——活荷载挠度限制；

$\delta_{TL}$ ——全荷载挠度限制；

$D_r$ ——屋顶静荷载，单位为 kPa；

$S$ ——地面雪荷载，单位为 kPa；

$S_R$ ——橡中心间距，单位为 m。

#### 2. 计算风荷载：

必须校核从两端抬起、向内作用的风荷载，并且按最坏情况转换到等效雪荷载。用 ASCE7-93 部件和覆盖系数计算风压。

向下的荷载：

$$q = 0.00256 \times k_z \times (GC_p + GC_{pi}) \times (V \times I)^2$$

式中  $k_z$ —— $k_z = 0.87$ ，位向 C；

$GC_p$ —— $GC_p = 0$ ，是按 ASCE7-93 规定，考虑为地震区域 1，占地面积为  $7\text{m}^2$ ；

$GC_{pi}$ —— $GC_{pi} = 0.25$ ，考虑为最坏的情况时取值为  $\pm 0.25$ ；

$I$ —— $I = 1.0$ ，考虑为内陆条件时；

$V$ ——风速，单位为  $\text{km/h}$ 。

向上的荷载：

$$q = 0.00256 \times k_z \times (GC_p + GC_{pi}) \times (V \times I)^2$$

式中  $k_z$ —— $k_z = 0.87$ ，位向为 C

$GC_p$ —— $GC_p = -1.2$ ，是按 ASCE7-93 规定，考虑为地震区域 1，占地面积  $7\text{m}^2$ ；

$GC_{pi}$ —— $GC_{pi} = -0.25$ ，考虑为最坏的情况时取值为  $\pm 0.25$ ；

$I$ —— $I = 1.0$ ，考虑为内陆条件时；

$V$ ——风速，单位为  $\text{km/h}$ 。

### 3. 强度校核

允许的跨度取以下最短跨度：

- 受弯曲限制的最大跨度
- 受剪力限制的最大跨度
- 受挠度限制的最大跨度

(1) 按美国钢铁协会设计规范 AISI C 部分“弯曲构件”计算允许的最大跨度  
(所有参考公式和章节都是来自美国钢铁协会设计规范)

$$M_a = M_n / \Omega_f$$

式中  $M_n$ ——最小名义弯矩，按 C3.1.1, C3.1.2 和 C3.1.3 部分计算出的最小名义弯矩，单位为  $\text{N}\cdot\text{m}$ ；

$\Omega_f$ —— $\Omega_f = 1.67$  (安全系数)。

#### ■ C3.1.1 名义截面强度

$$M_n = S_e \sigma_y$$

式中  $S_e$ —— $S_e = S_x$ ，用最大受压或受拉面的屈服强度  $\sigma_y$  计算出的有效截面弹性截面模数，单位为  $\text{cm}^3$ ；

$\sigma_y$ ——最大受压或受拉面的屈服强度，单位为  $\text{MPa}$ 。

#### ■ C3.1.2 侧向抗弯强度

因为屋顶覆盖提供了侧向支撑，所以这一部分不用校核。

#### ■ C3.1.3 有一边紧固了盖板或覆盖物的梁椽

不用校核。

因为

$$M_a = M_n / \Omega_f$$

对单跨间支梁 (椽)

$$M_{\max} = wL^2/8$$

屋顶承受的荷载为

$$w = (D_r + 0.8S)$$

每个天花托梁承受的荷载为  $w = (D_r + 0.8S) S_R$

则

$$L = (8M_{\max}/w)^{1/2}$$

(2) 用 ICBO AC46 部分计算无孔剪应力方法计算椽的抗剪强度 (C3.2 部分)  
计算腹板平坦部分的深度  $a_0$ 。

$$a_0 = d - 2(R + t)$$

计算

$$a_0/t$$

和

$$1.38 (Ek_v/\sigma_y)^{0.5}$$

当

$$a_0/t > 1.38 (Ek_v/\sigma_y)^{0.5}$$

则

$$F_{qa} = 0.53 (Ek_v t^3/a_0) \text{ (没有孔)}$$

按 ICBO 方法计算带孔构件抗剪能力。

$$q_s = 1 - 1.1 (N/d)$$

式中  $q_s$ ——剪力换算系数；

$N$ ——腹板开孔宽度，单位为  $\text{mm}$ ；

$d$ ——腹板宽度，单位为  $\text{mm}$ 。

$$F_{qak} = F_{qa} q_s \text{ (有孔)}$$

间支单跨梁 (橡):

$$F_q = wL/2$$

$$L = 2F_q/w$$

(3) 计算受挠度限制的橡允许跨度

对间支单跨梁 (橡):

$$\delta_{\max} = 5wL^4/(384EI)$$

对全荷载, 取

$$\delta_{\max} = \delta_{TL} = L/180$$

则

$$L = [(384EI_x)/(180 \times 5w)]^{1/3}$$

对活荷载, 取

$$\delta_{\max} = \delta_{LL} = L/240,$$

则

$$L = [(384EI_x)/(240 \times 5w)]^{1/3}$$

#### 4. 校核屋脊构件抗剪连接能力

考虑间支橡的水平投影。

$$F_{\max} = wL/2$$

$$S_{\text{允许}} = F/\Omega$$

式中  $F_{\max}$ ——最大剪应力, 单位为 N;

$S_{\text{允许}}$ ——许用螺钉能力, 单位为 N;

$F$ ——螺钉的名义抗剪能力, 单位为 N;

$\Omega$ ——安全系数。

需要的螺钉数量为

$$F_{\max}/S_{\text{允许}}$$

该数量圆整为整数

#### 5. 校核跟部托梁连接能力

雪荷载取

$$S_L = 0.8S$$

计算反作用力。

$$R = wL/2$$

## 二、橡设计实例计算

### 1. 设计输入参数

下面的例子是针对上一节天花托梁范例中的建筑构造和荷载条件, 来选择和计算橡的需求能力。

橡的选型:

橡水平投影跨度正好在 4.57m 内。从《低层轻钢骨架住宅设计、制造与装配》一书里的“允许橡跨度”表中选择橡中心距间隔为 0.61m, 地面雪荷载为最坏情况下的 1.44kPa 或相等的荷载, 风速为 129km/h, 位向为 C。首先, 将 129km/h, 位向 C 风速转换为等效雪荷载。将 6:12 斜度、129km/h 位向 C 转换成 0.96kPa 地面雪荷载。因此, 取地面雪荷载为 1.44kPa, 因为它最大。两个可行的解是 203S41-1.37C 型钢构件、跨度为 5.2m, 或 254S41-1.09C 型钢构件, 跨度为 4.88m。

### 2. 计算风速为 129km/h, 位向 C 的风荷载:

■ 向下的荷载:

垂直作用于椽的平面上

$$\begin{aligned} q &= 4.73 \times 10^{-5} \times k_z \times (GC_p + GC_{pi}) \times (V \times I)^2 \\ &= 4.73 \times 10^{-5} \times 0.87 \times (0 + 0.25) (129 \times 1)^2 \\ &= 0.171 \text{kPa} \end{aligned}$$

转换荷载到沿着椽平面，作用在  $y$  方向的等效荷载

$$\begin{aligned} q_y &= q / \cos \theta \\ &= 0.171 / \cos (26.56) \\ &= 0.191 \text{kPa} \end{aligned}$$

转换荷载到垂直于水平方向的等效荷载

$$\begin{aligned} q_{\text{水平}} &= q_{y-\text{斜}} / \cos \theta \\ &= 0.191 / \cos (26.56) \\ &= 0.214 \text{kPa} \end{aligned}$$

■ 向上的荷载：

垂直作用于椽的平面上

$$\begin{aligned} q &= 4.73 \times 10^{-5} \times k_z \times (GC_p + GC_{pi}) \times (V \times I)^2 \\ &= 4.73 \times 10^{-5} \times 0.87 \times (-1.2 - 0.25) \times (129 \times 1)^2 \\ &= -0.99 \text{kPa} \end{aligned}$$

转换荷载为作用于沿着椽平面， $y$  方向的等效荷载

$$\begin{aligned} q_{y-\text{斜}} &= q / \cos \theta \\ &= -0.99 / \cos (26.56) \\ &= -1.107 \text{kPa} \end{aligned}$$

当荷载在同一方向和平面时用以补偿静荷载

$$\begin{aligned} q_{y-\text{斜}} + D_r &= -1.107 + 0.48 \\ &= -0.627 \text{kPa} \end{aligned}$$

转换荷载到垂直于水平方向的等效荷载

$$\begin{aligned} q_{\text{水平}} &= (q_{y-\text{斜}} + D_r) / \cos \theta \\ &= -0.627 / \cos (26.56) \\ &= -0.701 \text{kPa} \end{aligned}$$

### 3. 跨度校核

查根据截面特性表得以下参数：

屈服强度	$\sigma_y = 0.228 \text{MPa}$
有效截面模数	$S_e = 23.1 \text{cm}^3$
截面惯性矩	$I_x = 332 \text{cm}^4$
屋顶静荷载	$D_r = 0.72 \text{kPa}$
地面雪荷载	$S = 1.44 \text{kPa}$
活荷载挠度限制	$\delta_{LL} = L / 240$
全荷载挠度限制	$\delta_{TL} = L / 180$
椽中心间距	$S_R = 0.61 \text{m}$



(1) 按美国钢铁协会设计规范 C3 “弯曲构件” 部分计算弯矩  
(所有引用公式和截面来之美国钢铁协会 AISI 设计规范)

■ C3.1.1 名义截面强度

取  $S_e = S_x$

$$\begin{aligned} M_n &= S_e \sigma_y \\ &= 23.1 \times 228 \\ &= 5268 \text{ N} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

■ C3.1.2 侧向抗弯强度

因为屋顶覆盖提供了侧向支撑, 所以这一部分不用校核。

■ C3.1.3 有一边紧固了盖板或覆盖物的梁

不用校核。

所以

$$\begin{aligned} M_a &= M_n / \Omega_f \\ &= 5268 / 1.67 \\ &= 3155 \text{ N} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

屋顶承受的荷载为

$$\begin{aligned} W &= (D_r + 0.8S) \\ &= (0.72 + 1.44 \times 0.8) \\ &= 1.87 \text{ kPa} \end{aligned}$$

每个椽承受的荷载为

$$\begin{aligned} w &= (D_r + 0.8S) S_R \\ &= 1.87 \times 0.61 \\ &= 1.141 \text{ kN/m} \\ &= 1141 \text{ N/m} \end{aligned}$$

对单跨间支梁 (椽)

$$\begin{aligned} L &= (8M_{\max} / w)^{1/2} \\ &= [(8 \times 3154) / 1141]^{1/2} \\ &= 4.7 \text{ m} \end{aligned}$$

(2) 用 ICBO AC46 部分计算无孔剪应力方法计算椽的抗剪强度 (C3.2 部分)

计算腹板平坦部分的深度  $a_0$ 。

$$\begin{aligned} a_0 &= d - 2(R + t) \\ &= 254 - 2(2.4 + 1.14) \\ &= 247 \text{ mm} \end{aligned}$$

计算出

$$\begin{aligned} a_0 / t &= 247 / 1.14 \\ &= 217 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1.38 (Ek_v / F_y)^{0.5} &= 1.38 (203000 \times 5.34 / 228)^{1/2} \\ &= 95.2 \end{aligned}$$

因为

$$a_0/t > 1.38 (Ek_v/\sigma_y)^{0.5}$$

所以

$$\begin{aligned} F_{qa} &= 0.53 (Ek_v t^3/a_0) \\ &= 0.53 (203000 \times 10^9 \times 5.34 \times 0.00114^3/0.247) \\ &= 3446\text{N (没有孔)} \end{aligned}$$

按 ICBO 方法计算带孔构件抗剪能力。

$$\begin{aligned} q_s &= 1 - 1.1 (N/d) \\ &= 1 - 1.1 (38/254) \\ &= 0.835 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{qak} &= F_q q_s \\ &= 3446 \times 0.835 \\ &= 2877\text{N (有孔)} \end{aligned}$$

对于单跨间支梁：

$$\begin{aligned} L &= 2F_{qk}/w \\ &= 2 \times 2877/1141 \\ &= 5.04\text{m} \end{aligned}$$

(3) 计算受挠度限制的橡允许跨度

对单跨间支梁：

全荷载取

$$\delta_{\max} = \delta_{TL} = L/180$$

屋顶承受的全荷载为

$$\begin{aligned} w &= (D_r + 0.8S) \\ &= (0.72 + 1.44 \times 0.8) \\ &= 1.87\text{kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{则 } L &= [(384EI_x) / (180 \times 5w)]^{1/3} \\ &= [(384 \times 203000 \times 10^6 \times 332) / (180 \times 61 \times 5 \times 1.87 \times 10^3)]^{1/3} \\ &= 6.32\text{m} \end{aligned}$$

活荷载取

$$\delta_{\max} = \delta_{LL} = L/240$$

屋顶承受的活荷载为

$$\begin{aligned} w &= 0.8S \\ &= 1.44 \times 0.8 \\ &= 1.15\text{kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{则 } L &= [(384EI_x) / (240 \times 61w)]^{1/3} \\ &= [384 \times 203000 \times 10^6 \times 332 / (240 \times 61 \times 5 \times 1.15 \times 10^3)]^{1/3} \\ &= 6.75\text{m} \end{aligned}$$

因此

单跨间支梁（椽）的允许椽跨度是受弯曲控制的，即  $L = 4.7\text{m}$

#### 4. 校核屋脊构件抗剪连接能力

图 5.10-1 为荷载分布图，考虑简支椽的水平投影。

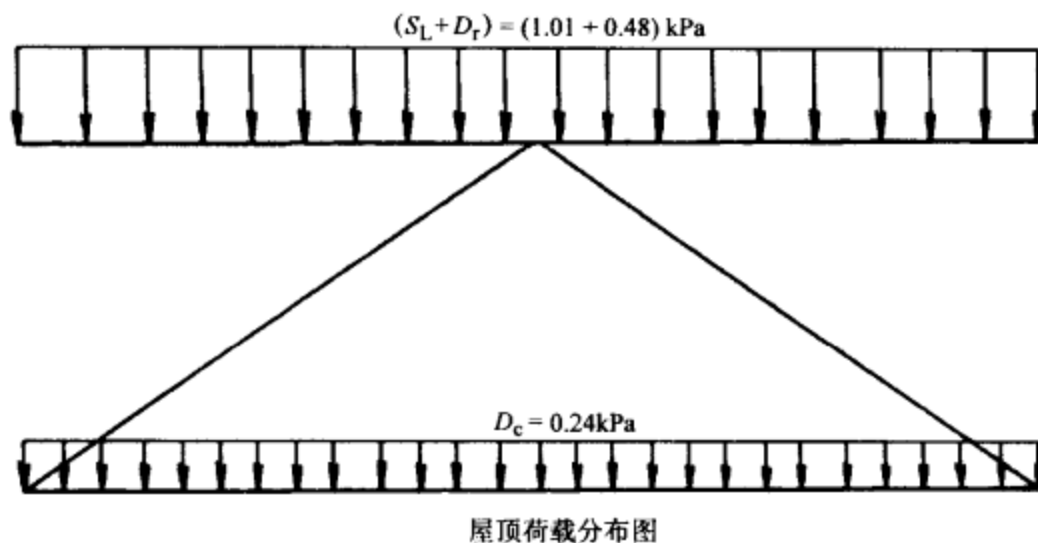


图 5.10-1

当  $L = 4.57\text{m}$ ,

$$w = 1141\text{N/m}$$

$$F_{\max} = wL/2$$

$$= 1141 \times 4.57 / 2$$

$$= 2607\text{N}$$

#10 螺钉的名义抗剪能力

$$F_{\text{ns}} = 3510\text{N}$$

取安全系数

$$\Omega = 3$$

因此

$$F_{\text{as}} = F_{\text{ns}} / \Omega$$

$$= 3510 / 3$$

$$= 1170\text{N}$$

需要的螺钉数量

$$F_{\max} / F_{\text{as}} = 2600 / 1170$$

$$= 2.22$$

整取为 3。

#### 5. 校核跟部托梁连接能力

雪荷载

$$S_L = 0.8S$$

$$= 0.8 \times 1.44$$

$$= 1.15\text{kPa}$$

住宅宽度

$$B = 9.8\text{m} \text{ (用 } 9.8\text{m 匹配表中间距)}$$

屋顶活荷载

$$D_r = 0.34\text{kPa}$$

天花静荷载

$$D_e = 0.24\text{kPa}$$

间距

$$S = 0.61\text{m}$$

螺钉能力

$$1081\text{N (安全系数取 3)}$$

图 5.10-2 为节点受力图

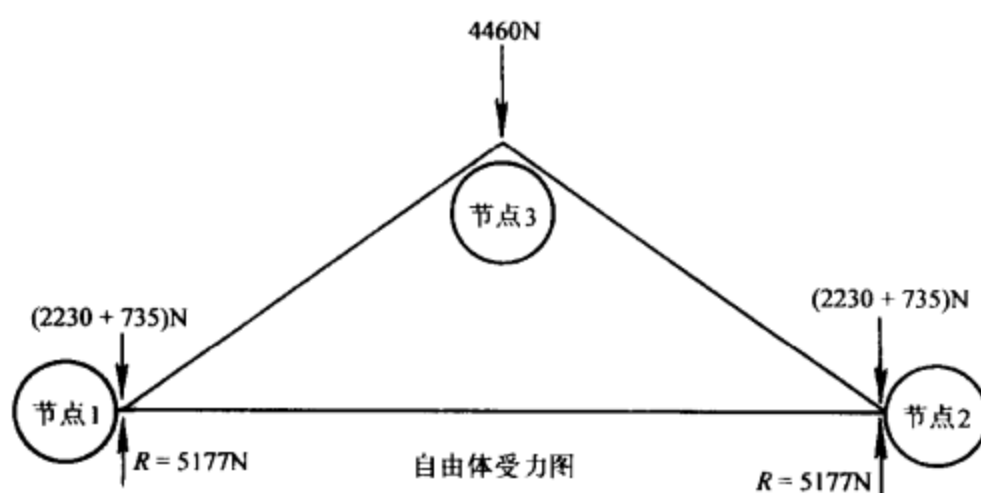


图 5.10-2

计算反作用力:

$$R = wL/2$$

$$R = wL/2$$

$$= (1.15 + 0.34 + 0.24) \times 0.61 \times 9.8/2$$

$$= 5.177\text{kN}$$

$$= 5177\text{N}$$

沿着建筑物的长度方向分布的屋顶分布荷载:

$$(S_L + D_r) \times S = (1.15 + 0.34) \times 0.61$$

$$= 0.91\text{kN/m}$$

$$= 910\text{N/m}$$

屋顶分布荷载的四分之一将集中在端墙, 节点 1 和 2 上, 即:

$$[(S_L + D_r) \times S] \times B/4 = 910 \times 9.8/4$$

$$= 2230\text{N}$$

屋顶分布荷载的一半将集中在屋脊梁节点 3 上, 即:

$$[(S_L + D_r) \times S] \times B/2 = 910 \times 9.8/2$$

$$= 4460\text{N}$$

同样, 沿着天花托梁的长度方向分布的天花分布荷载为:

$$D_c \times S = 0.24 \times 0.61$$

$$= 0.15\text{kN/m}$$

$$= 150\text{N/m}$$

天花托梁的分布荷载将均等分布在每个端墙上 (也就是节点 1 和 2)。

$$(D_c \times S) \times B/2 = 150 \times 9.8/2$$

$$= 735\text{N}$$

图 5.10-3 为节点 1 受力图 (压力为  $F_{13}$ , 拉力为  $F_{12}$ )。

$$q = \tan^{-1} (6/12) = 26.56^\circ$$

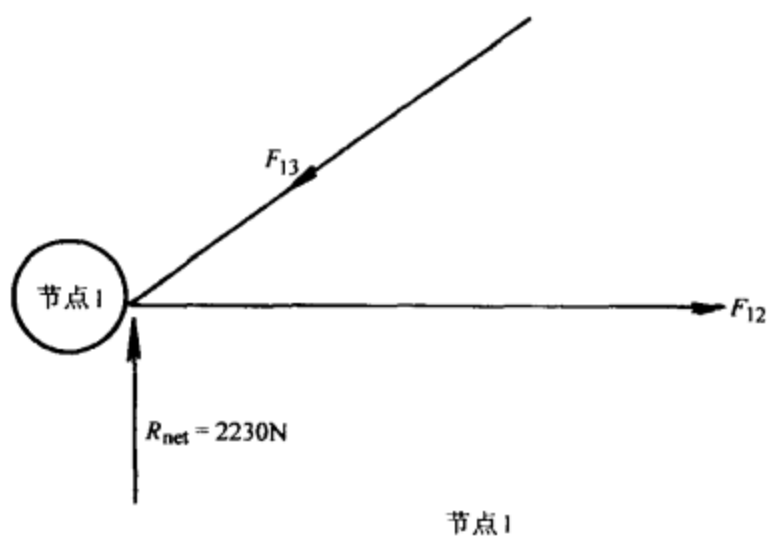


图 5.10-3

$$F_{13} = 2230 / \sin(26.565) = 4990\text{N}$$

$$F_{12} = 2230 \times \cot(26.565) = 4460\text{N}$$

跟部节点连接设计条件取代表最坏情况下的压力  $F_{13}$ 。

$$\text{螺钉数量} = 4990 / 1081 = 4.56$$

取整螺钉数量到 5

对跟部节点和屋脊构件二者连接分析而言，安全系数取 3。



## 第六章 冷轧轻钢骨架构件产品技术资料

冷轧轻钢骨架构件是针对整个钢结构行业（包括钢结构建筑，当然更包括低层轻钢骨架住宅）而开发的产品。因而它的产品规格和数量非常之多。为了便于钢结构设计人员能简便地应用冷轧轻钢骨架构件设计各类钢结构设施和建筑，美国钢柱制造商联盟为目前常用的冷轧轻钢骨架构件编制了各种应用表格，如截面特性表、墙高表、轴向和横向载荷复合表、楼层托梁跨度表、过梁载荷表、腹板临界失稳载荷表、天花跨度表等。由于它涉及整个钢结构技术领域，内容包括了多层、高层、超高层建筑和各类大型场馆建设方面的应用，超出了本书所要介绍的范围，就不一一介绍了。

《低层轻钢骨架住宅设计、制造与装配》一书只介绍了边缘宽度为 41mm 的梁、柱。为了使国内同行对冷轧轻钢骨架构件有一个更全面的了解，本书将北美钢结构市场上的大部分冷轧轻钢骨架构件的截面特性作了介绍，以备钢结构设计人员参考所用。

### 第一节 产品标识

见图 6.1-1，所有冷轧轻钢骨架构件产品有四部分标识码，即定义尺寸（两边深度和边缘宽度），类型和每个构件的材料厚度。

例如：

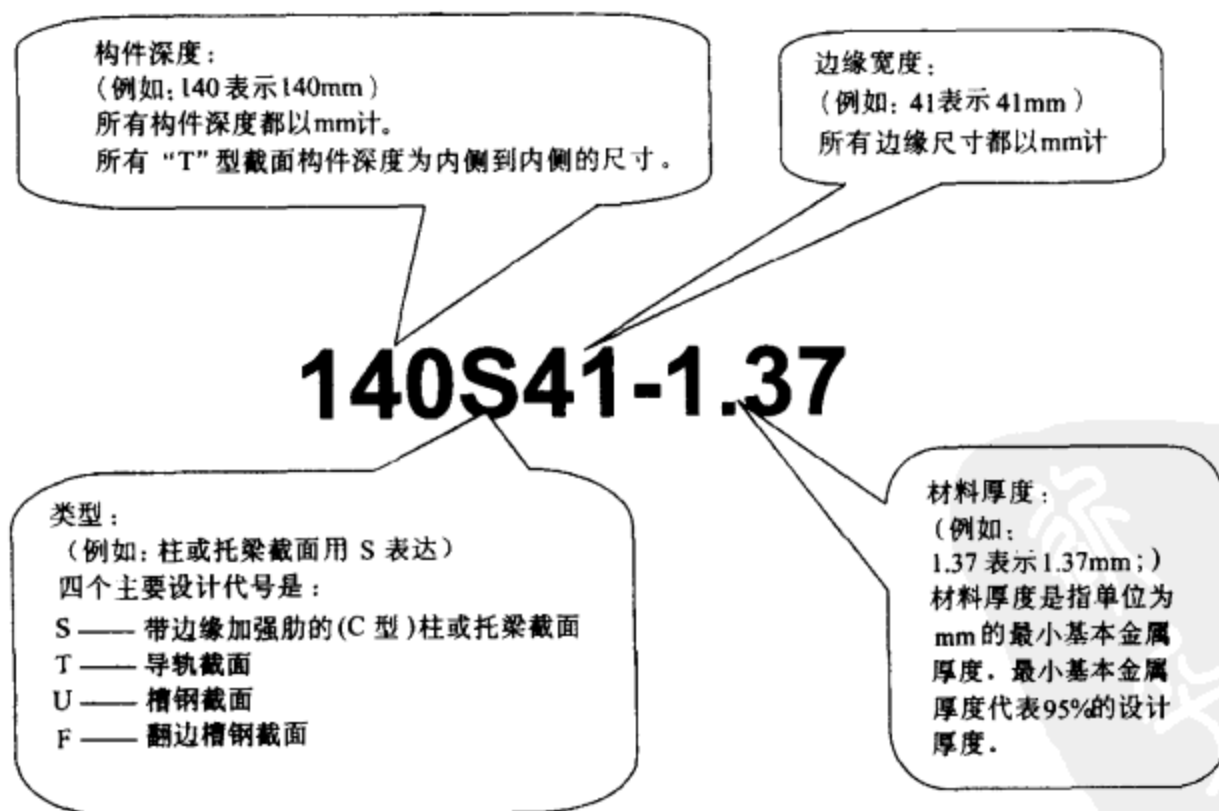


图 6.1-1

注意：这些截面有两种不同的屈服强度（235MPa 和 345MPa），对应的钢材牌号分别是

Q235 和 Q345, 设计的屈服强度如果大于 235MPa, 则设计和采购都需要选用屈服强度为 345MPa 的钢。

[即 92S35-1.37 (Q345)]

图 6.1-2 为典型的 STUF 截面冷轧轻钢骨架构件外形图。

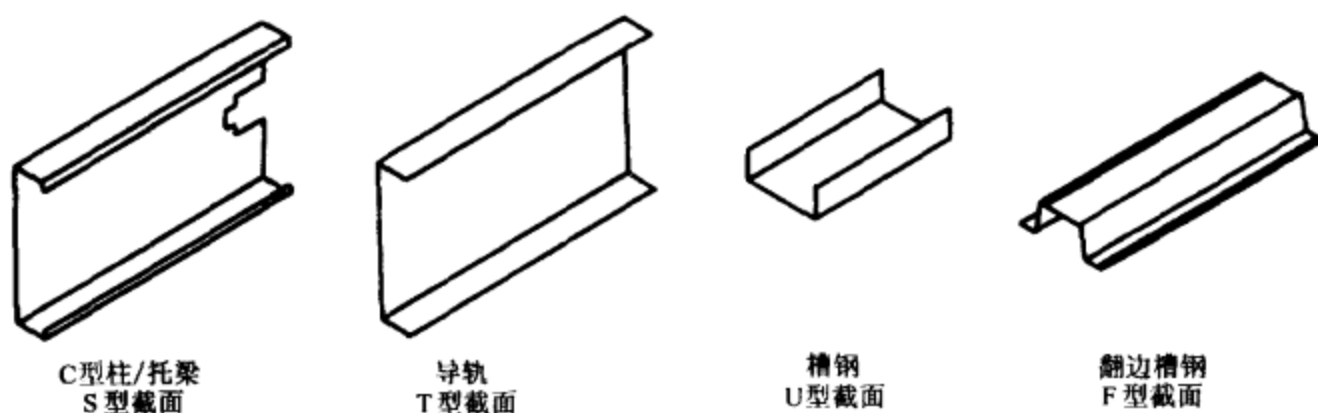


图 6.1-2

图 6.1-3 为冷轧轻钢骨架构件出厂时应该标识的主要规格尺寸代号。

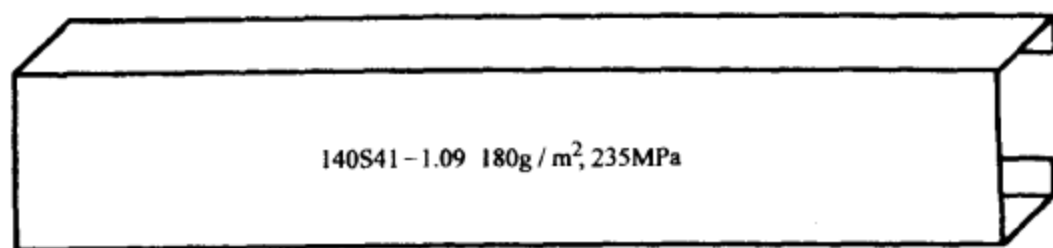


图 6.1-3

## 第二节 一般产品资料

冷轧轻钢构件能容易的组成非承重和承重组件,如楼层和天花托梁组件、板墙系统等,实现各种建筑外形。它们既可用作主结构支撑系统,也可作为重钢结构或混凝土结构的补充。

如果每个制造商都有自己的冷轧轻钢构件命名方法和设计参数。同样特性的冷轧轻钢构件每个制造商的命名都不同,这就在建筑过程的所有标准上产生一些混乱。所以统一冷轧轻钢构件标准对承包商、分销商、设计人员、行业执法人员和标准化组织成员来说都是十分迫切的任务。

### 一、规范要求

目前还没有制定出冷轧轻钢构件的国家标准。产品制造商也还在探索阶段。

### 二、材料规格

冷轧轻钢构件采用最小屈服强度为 235MPa 或 345MPa 的钢成型。包含在这本书中的所有产品都满足 1996 年美国钢铁协会 (AISI) 出版的《冷轧钢结构构件设计说明》。包含在这本书中的结构特性计算都基于允许应力设计,与美国钢铁协会 (AISI) 文本一致。

### 三、钢构件厚度 (表 6.2-1)

### 四、设计加强肋唇缘长度 (表 6.2-2)

表 6.2-1 钢部件厚度

最小厚度 <sup>①</sup> /mm	设计厚度 /mm	内侧折弯 半径/mm	应用参考
0.46	0.478	2.141	干墙用
0.69	0.719	2.022	
0.76	0.792	1.984	
0.84	0.879	1.941	结构用
1.09	1.146	1.808	
1.37	1.438	2.156	
1.73	1.811	2.715	
2.46	2.583	3.874	

表 6.2-2 设计加强肋唇缘长度

截面代号	边缘宽度 /mm	设计加强肋唇缘 长度/mm
S32	32	4.78
S35	35	9.53
S41	41	12.70
S51	51	15.88
S64	64	15.88

① 根据 1996AISI (美国钢铁协会) 规范 A3.4, 最小厚度代表 95% 的设计厚度和交付施工现场的最小可接受厚度。

### 五、所有表的一般注释

1. 由于冷轧成型引起强度增加, 其挠曲强度参见美国钢铁协会 (AISI) 规范 A7.2。
2. 受压引起有效截面模数偏差的转动惯量计算, 如受压时截面模数等于允许惯量, 遵循 AISI (美国钢铁协会) 规范程序 1。
3. 常用的屈服应力 (235MPa 或 345MPa) 值列在计算表格中。
4. 如果假定工厂在构件腹板中心线上冲出中心距间隔为 610mm 的孔。冲孔最大宽度 = 构件深度的一半 ( $d/2$ ) 或 64mm, 取二者中的较小值, 最大长度 = 114mm。腹板冲孔离构件两端和相邻切口的最小距离 = 254mm。
5. 列出的这些屈服强度为 235MPa 或 345MPa 的钢, 如果设计要求高于 345MPa, 则需要由承包人或购买方来指定用 345MPa。[即 362S137-54 (345MPa)]

### 六、结构特性符号的定义

#### 1. 总特性

$I_x$ : 全部截面对 X-X 轴 (强轴) 的截面惯性矩。

$R_x$ : 全部截面对 X-X 轴的截面惯性半径。

$I_y$ : 全部截面对 Y-Y 轴 (弱轴) 的截面惯性矩。

$R_y$ : 全部截面对 Y-Y 轴的截面惯性半径。

#### 2. 有效特性

$I_x$ : 以美国钢铁协会 (AISI) 1996 规范中“挠度确定程序 1”为基础计算转动惯量偏差。

$S_x$ : 当应力为  $\sigma_y$ , X-X 轴 (强轴) 的有效截面模数。

$M_a$ : 允许弯矩——基于有效截面模数和包括冷轧带来的强度增加的允许应力在这里都适用 (AISI 7.2)。

$y_{cg}$ : 受压边缘的外侧到有效截面的重心的最大距离。

#### 3. 扭矩特性

$J$ : St. Venant 扭转常数, 是用来衡量结构件抵抗恒定扭矩的能力。它是用来计算侧向无支撑梁的抗弯弯矩和压杆构件扭转弯曲弯矩。

$C_w$ : 扭曲扭转常数, 是用来衡量结构件抵抗非恒定扭矩或扭曲扭矩的能力。它是用来计算侧向无支撑梁的抗弯弯矩和压杆构件扭转弯曲弯矩。

$x_0$ : 剪力中心或扭曲中心, 是发生扭曲的横截面上的点。从剪力中心到沿着主  $X-X$  轴的质心的距离 (见图 6.2-1)。

$R_0$ : 质量重心主轴回转极半径。

$\beta$ :  $1 - (x_0/R_0)^2$ , 单对称常数, 是用来计算在对称平面上施加载荷的侧向无支撑单对称梁的抗弯矩能力。

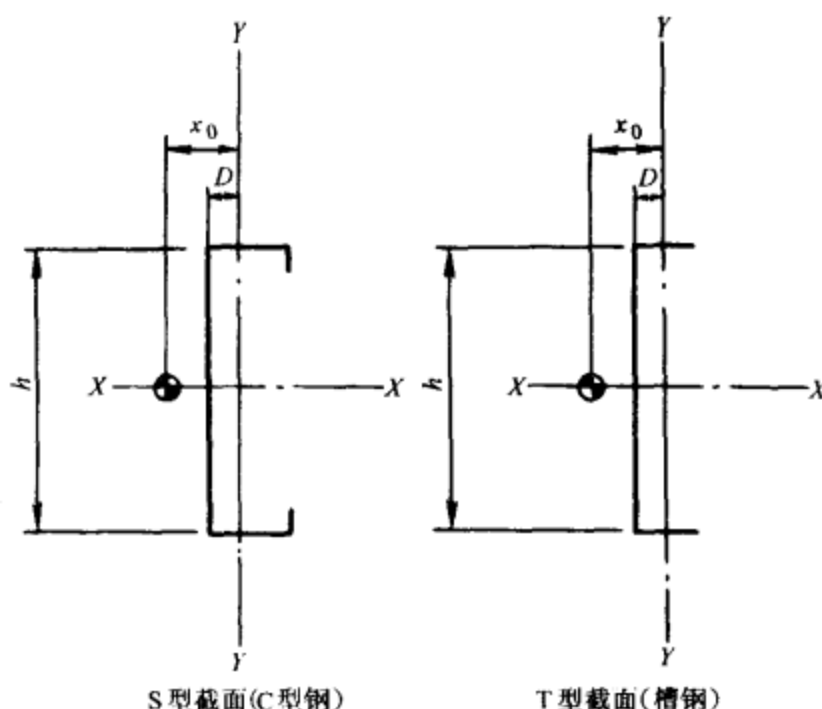


图 6.2-1

### 第三节 截面特性

#### 一、截面特性表注

1. 弯曲半径大于设计厚度的 2 倍或为 2.4mm。
2. 导轨截面腹板深度等于名义高度加 2 倍设计厚度加弯曲半径。
3. 非承重导轨截面可以忽略翻边。
4. 有效特性包括了冷轧带来的强度增加, 见 AISI A7.2。
5. 总特性表是基于远离冲孔处的全部未减弱柱横截面。
6. 对于挠度计算, 使用有效截面惯性矩。

7. 对于所列 Q235 和 Q345 钢, 如果设计要求高于 Q235, 则需要指定用 Q345 钢。[即 92S35-1.37 (Q345)] 这里这些截面有两种不同的屈服强度 (235MPa 或 345MPa), 对应的钢材牌号分别是 Q235 和 Q345, 设计的屈服强度如果大于 235MPa, 则设计和采购都需要选用屈服强度为 345MPa 的钢。

#### 二、非承重柱 (S) 截面特性 (见表 6.3-1)

#### 三、承重柱 (S) 截面特性 (见表 6.3-2)

#### 四、承重 (T) 导轨截面特性 (见表 6.3-3)

#### 五、U 型槽钢截面特性 (见表 6.3-4)

#### 六、翻边 U 型槽钢截面特性 (见表 6.3-5)

表 6.3.1 S 截面非承重柱截面特性

部件	设计厚度 /mm	总特性							Q235 钢有效特性							Q345 钢有效特性							扭曲特性				
		面积 cm <sup>2</sup>	重量/m kg/m	$I_x$ cm <sup>4</sup>	$S_x$ cm <sup>3</sup>	$R_x$ cm	$I_y$ cm <sup>4</sup>	$R_y$ cm	$I_x$ cm <sup>4</sup>	$S_x$ cm <sup>3</sup>	$M_s$ N·m	$V_s$ N	$y_{cg}$ cm	$I_x$ cm <sup>4</sup>	$S_x$ cm <sup>3</sup>	$M_s$ N·m	$V_s$ N	$y_{cg}$ cm	$J$ ×1000cm <sup>4</sup>	$C_w$ cm <sup>6</sup>	$x_o$ cm	$R_o$ cm	$\beta$				
41S32-0.46	0.48	0.52	0.4	1.58	0.75	1.74	0.67	1.14	1.42	0.54	74.48	1374.84	2.35						0.37	2.42	-2.69	3.4	0.373				
41S32-0.69	0.72	0.77	0.61	2.33	1.11	1.73	0.96	1.13	2.29	0.84	114.072	2340.24	2.31						1.33	3.49	-2.66	3.37	0.375				
41S32-0.76	0.79	0.85	0.67	2.54	1.23	1.73	1.08	1.12	2.5	0.97	130.928	2576.13	2.27						1.79	3.76	-2.66	3.36	0.375				
41S32-0.84	0.88	0.94	0.73	2.79	1.36	1.72	1.17	1.12	2.75	1.11	152.39	2851.90	2.23						2.41	4.03	-2.65	3.35	0.376				
64S32-0.46	0.48	0.63	0.49	4.12	1.29	2.58	0.79	1.12	3.71	0.97	132.104	1098.97	3.53						0.46	6.18	-2.36	3.67	0.585				
64S32-0.69	0.72	0.93	0.73	6.12	1.93	2.56	1.12	1.1	5.99	1.51	204.33	3114.44	3.48						1.62	8.86	-2.33	3.64	0.588				
64S32-0.76	0.79	1.03	0.8	6.7	2.11	2.56	1.25	1.1	6.62	1.7	232.554	3786.23	3.44						2.16	9.67	-2.32	3.63	0.59				
64S32-0.84	0.88	1.14	0.89	7.41	2.33	2.56	1.37	1.09	7.29	1.97	268.716	4627.17	3.39						2.91	10.47	-2.31	3.62	0.591				
64S32-1.09	1.15	1.46	1.15	9.49	2.98	2.54	1.71	1.08	9.41	2.84	387.296	6006.42	3.24						6.41	13.16	-2.28	3.59	0.595				
64S32-1.37	1.44	1.81	1.41	11.53	3.64	2.52	2.04	1.06	11.53	3.57	562.324	7367.84	3.2	11.45	3.36	695.8	11172.00	3.27	12.45	15.84	-2.26	3.55	0.595				
64S32-1.73	1.81	2.23	1.76	13.9	4.38	2.5	2.37	1.04	13.9	4.36	711.382	8974.06	3.18	13.9	4.28	882	13602.40	3.21	24.35	18.53	-2.24	3.51	0.594				
89S32-0.46	0.48	0.74	0.58	8.95	2.02	3.47	0.87	1.07	8.2	1.43	194.236	765.28	5.06						0.58	13.16	-2.08	4.19	0.753				
89S32-0.69	0.72	1.12	0.88	13.32	3	3.46	1.25	1.06	12.99	2.41	327.418	2620.62	4.81						1.91	19.07	-2.05	4.16	0.756				
89S32-0.76	0.79	1.23	0.97	14.61	3.29	3.45	1.37	1.06	14.4	2.74	371.518	3514.87	4.75						2.58	20.68	-2.04	4.15	0.757				
89S32-0.84	0.88	1.35	1.07	16.11	3.62	3.45	1.50	1.05	15.9	3.13	425.712	4653.82	4.69						3.5	22.83	-2.04	4.14	0.758				
89S32-1.09	1.15	1.75	1.38	20.73	4.65	3.43	1.91	1.04	20.52	4.46	606.326	7906.25	4.52						7.66	28.46	-2.01	4.11	0.762				
89S32-1.37	1.44	2.17	1.71	25.31	5.7	3.41	2.29	1.02	25.31	5.61	882.98	10691.41	4.48	25.1	5.31	1097.61	15327.20	4.56	14.99	34.1	-1.98	4.08	0.763				
89S32-1.73	1.81	2.69	2.11	30.76	6.92	3.38	2.66	0.99	30.68	6.9	1123.472	13165.22	4.45	30.68	6.77	1391.6	19943.00	4.48	29.39	40.55	-1.96	4.03	0.765				
92S32-0.46	0.48	0.76	0.6	9.74	2.11	3.58	0.87	1.07	8.95	1.48	200.998	738.53	5.27						0.58	14.23	-2.05	4.26	0.768				
92S32-0.69	0.72	1.14	0.89	14.44	3.15	3.57	1.29	1.06	14.07	2.52	344.372	2527.13	4.97						1.96	20.68	-2.02	4.23	0.771				
92S32-0.76	0.79	1.25	0.98	15.86	3.44	3.56	1.37	1.05	15.61	2.87	390.628	3385.80	4.91						2.62	22.56	-2.02	4.23	0.772				
92S32-0.84	0.88	1.39	1.09	17.53	3.8	3.56	1.54	1.05	17.28	3.29	447.076	4622.76	4.85						3.58	24.71	-2.01	4.22	0.774				

(续)

部件	设计 厚度 /mm	总特性						Q235 钢有效特性						Q345 钢有效特性						扭弯特性			
		面积 cm <sup>2</sup>	重量/m kg/m	I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	S <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	R <sub>x</sub> cm	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	R <sub>y</sub> cm	I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	S <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	M <sub>x</sub> N·m	V <sub>x</sub> N	y <sub>cg</sub> cm	I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	S <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	M <sub>x</sub> N·m	V <sub>x</sub> N	y <sub>cg</sub> cm	J ×1000cm <sup>4</sup>	C <sub>w</sub> cm <sup>6</sup>	x <sub>0</sub> cm	R <sub>0</sub> cm	β
92S32-1.09	1.15	1.79	1.41	22.48	4.88	3.54	1.91	1.04	22.31	4.67	636.80	47906.25	4.68	27.27	5.59	1156.41	5327.20	4.72	7.83	30.88	-1.98	4.19	0.777
92S32-1.37	1.44	2.22	1.74	27.52	5.98	3.52	2.29	1.02	27.52	5.87	926.98	1109.67	4.64	33.39	7.11	1470	20736.80	4.64	15.28	37.06	-1.95	4.15	0.779
92S32-1.73	1.81	2.75	2.16	33.43	7.26	3.49	2.71	0.99	33.39	7.24	1178.74	13685.70	4.61	42.25	8.16	1685.62	3118.20	5.12	30.02	44.04	-1.93	4.11	0.78
102S32-0.46 <sup>①</sup>	0.48	0.81	0.62	12.24	2.41	3.9	0.87	1.05	11.03	1.62	221.28	667.38	5.91						0.62	17.72	-1.97	4.49	0.809
102S32-0.69	0.72	1.21	0.95	18.23	3.59	3.89	1.29	1.04	17.73	2.92	397.48	2273.50	5.46						2.08	25.78	-1.94	4.47	0.811
102S32-0.76	0.79	1.33	1.04	20.02	3.93	3.88	1.42	1.04	19.69	3.31	450.50	3052.11	5.4						2.79	28.2	-1.93	4.46	0.812
102S32-0.84	0.88	1.47	1.15	22.1	4.34	3.88	1.58	1.03	21.77	3.79	514.89	24164.41	5.34						3.79	30.88	-1.92	4.45	0.813
102S32-1.09	1.15	1.9	1.49	28.39	5.59	3.86	2.00	1.02	28.14	5.36	729.41	7906.25	5.16						8.33	38.94	-1.89	4.42	0.817
102S32-1.37	1.44	2.35	1.85	34.76	6.85	3.84	2.37	1	34.76	6.74	1061.34	12355.45	5.11	34.47	6.41	1323	15327.20	5.2	16.24	46.73	-1.87	4.39	0.818
102S32-1.73	1.81	2.92	2.29	42.34	8.34	3.81	2.75	0.97	42.25	8.31	1352.69	15256.35	5.09	42.25	8.16	1685.62	3118.20	5.12	31.93	55.32	-1.84	4.34	0.82
140S32-0.46 <sup>①</sup>	0.48	0.99	0.77	26.23	3.75	5.15	0.96	0.99											0.75	37.06	-1.69	5.51	0.906
140S32-0.69	0.72	1.48	1.16	39.05	5.59	5.14	1.42	0.98	38.51	4.15	564.57	1628.37	7.8						2.54	54.24	-1.67	5.49	0.908
140S32-0.76	0.79	1.63	1.28	42.92	6.15	5.13	1.54	0.98	42.34	5.03	684.23	184.52	7.51						3.41	59.08	-1.66	5.48	0.908
140S32-0.84	0.88	1.8	1.41	47.41	6.79	5.13	1.71	0.97	46.79	6.03	819.77	2980.96	7.27						4.66	64.99	-1.65	5.48	0.909
140S32-1.09	1.15	2.34	1.83	61.11	8.75	5.11	2.16	0.96	60.61	8.42	1147.18	6615.98	7.08						10.24	81.63	-1.63	5.45	0.911
140S32-1.37	1.44	2.9	2.28	75.14	10.75	5.09	2.54	0.94	75.14	10.6	1671.09	2453.35	7.02	74.52	10.16	2097.2	13200.60	7.12	20.02	98.28	-1.6	5.42	0.912
140S32-1.73	1.81	3.61	2.83	91.96	13.16	5.05	3.00	0.91	91.79	13.13	2138.55	19763.37	6.99	91.79	12.93	2665.6	24323.60	7.03	39.47	117.35	-1.57	5.36	0.914
152S32-0.46 <sup>①</sup>	0.48	1.05	0.82	32.39	4.25	5.56	1.00	0.97				0	0.00						0.79	45.38	-1.62	5.87	0.924
152S32-0.69	0.72	1.57	1.24	48.29	6.34	5.54	1.46	0.96	47.67	4.49	612.01	1490.48	8.67						2.71	66.33	-1.6	5.85	0.926
152S32-0.76	0.79	1.73	1.35	53.08	6.97	5.54	1.58	0.96	52.41	5.43	738.43	1993.22	8.36						3.62	72.5	-1.59	5.84	0.926
152S32-0.84	0.88	1.92	1.5	58.65	7.7	5.53	1.75	0.95	57.91	6.69	910.02	2722.93	8.01						4.91	79.49	-1.58	5.83	0.927
152S32-1.09	1.15	2.48	1.95	75.64	9.93	5.52	2.21	0.94	75.02	9.57	1304.08	6041.99	7.71						10.87	100.16	-1.55	5.81	0.928
152S32-1.37	1.44	3.09	2.43	93.08	12.21	5.49	2.62	0.92	93.08	12.05	1899.14	2048.41	7.66	92.34	11.57	2391.2	12044.20	7.76	21.27	120.57	-1.53	5.77	0.93
152S32-1.73	1.81	3.84	3.01	114.06	14.96	5.45	3.04	0.89	113.86	14.93	2430.98	19763.37	7.63	113.86	14.72	3038	24323.60	7.67	41.96	143.94	-1.5	5.72	0.931
203S32-0.84 <sup>①</sup>	0.88	2.36	1.86	119.93	11.8	7.13	1.83	0.88	118.85	8.6	1170.90	2024.39	11.48						6.08	154.68	-1.35	7.31	0.966
203S32-1.09	1.15	3.06	2.41	154.9	15.24	7.11	2.33	0.87	153.86	14.65	1995.08	4484.77	10.3						13.4	195.23	-1.32	7.28	0.967
203S32-1.37	1.44	3.82	2.99	191.2	18.82	7.08	2.75	0.85	191.21	18.59	2931.18	8925.06	10.2	189.83	17.98	3704.48	927.80	10.31	26.31	235.51	-1.3	7.24	0.968
203S32-1.73	1.81	4.76	3.73	235.32	23.16	7.03	3.25	0.82	234.96	23.11	3763.29	18010.34	10.17	234.96	22.83	4704	18012.40	10.21	52.04	281.96	-1.27	7.19	0.969

① 腹板高厚比大于200。在所有支撑点和集中荷载处都需要腹板加强肋。

表 6.3-2 S 截面承重柱截面特性

部件	设计 厚度	总特性										Q235 钢有效特性						Q345 钢有效特性						扭曲特性			
		面积	重量/m	$I_x$	$S_x$	$R_x$	$I_y$	$R_y$	$I_z$	$S_z$	$M_e$	$V_n$	$y_{cg}$	$I_x$	$S_x$	$M_n$	$V_n$	$y_{cg}$	$J$	$C_w$	$x_o$	$R_o$	$\beta$				
		cm <sup>2</sup>	kg/m	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	N·m	N	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	N·m	N	cm	×1000cm <sup>4</sup>	cm <sup>6</sup>	cm	cm					
64S35-0.84 64S35-1.09 64S35-1.37 64S35-1.73 64S41-0.84 64S41-1.09 64S41-1.37 64S41-1.73 89S41-0.84 89S41-1.09 89S41-1.37 89S41-1.73 92S35-0.84 92S35-1.09 92S35-1.37 92S35-1.73 92S41-0.84 92S41-1.09 92S41-1.37 92S41-1.73 92S51-0.84 92S51-1.09 92S51-1.37 92S51-1.73 102S35-0.84 102S35-1.09 102S35-1.37 102S35-1.73 102S41-0.84 102S41-1.09 102S41-1.37 102S41-1.73 102S51-0.84 102S51-1.09 102S51-1.37 102S51-1.73 140S41-0.84 140S41-1.09	0.88 1.15 1.44 1.81 0.88 1.																										

(续)

部件	设计 厚度	总特性										Q235 钢有效特性						Q345 钢有效特性						扭曲特性				
		面积	重量/m	$I_x$	$S_x$	$R_x$	$I_y$	$R_y$	$I_z$	$S_z$	$M_s$	$V_s$	$y_{cg}$	$I_x$	$S_x$	$M_s$	$V_s$	$y_{cg}$	$J$	$C_w$	$x_0$	$R_0$	$\beta$					
		cm <sup>2</sup>	kg/m	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	N·m	N	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	N·m	N	cm	×1000cm <sup>4</sup>	cm <sup>6</sup>	cm	cm						
140S41-1.37	1.44	3.41	2.68	96.74	13.85	5.33	7.33	1.47	96.75	13.85	2118	12453	6.99	96.75	13.46	2773	13200	7.07	23.48	292	-2.83	6.21	0.792					
140S41-1.73	1.81	4.24	3.33	119.1	17.05	5.3	8.83	1.44	119.1	17.05	2678	19763	6.99	119.1	16.9	3949	24324	7.01	46.38	353	-2.8	6.16	0.793					
152S35-0.84	0.88	2.05	1.61	65.86	8.64	5.66	2.87	1.18	65.86	8.36	1137	2723	7.72						5.29	132	-2.09	6.15	0.884					
152S35-1.09	1.15	2.66	2.1	85	11.16	5.65	3.62	1.17	85.01	10.98	1671	6042	7.67						11.66	168	-2.07	6.12	0.886					
152S35-1.37	1.44	3.32	2.6	104.82	13.75	5.62	4.37	1.15	104.82	13.75	2143	12048	7.62	104.82	13.26	3077	12044	7.73	22.85	203	-2.04	6.09	0.888					
152S35-1.73	1.81	4.13	3.24	128.8	16.9	5.59	5.2	1.13	128.8	16.9	2716	19763	7.62	128.8	16.87	4018	24324	7.63	45.13	245	-2.01	6.05	0.889					
152S35-2.46	2.58	5.74	4.51	174.34	22.88	5.51	6.62	1.07	174.35	22.88	3893	32800	7.62	174.35	22.88	5733	49490	7.62	127.64	317	-1.96	5.95	0.892					
152S41-0.84	0.88	2.22	1.74	74.64	9.8	5.8	4.83	1.48	74.64	9.46	1288	2723	7.72						5.7	229	-2.77	6.59	0.823					
152S41-1.09	1.15	2.88	2.26	96.41	12.65	5.78	6.16	1.46	96.42	12.57	1883.36	6042	7.64						12.61	291	-2.75	6.57	0.825					
152S41-1.37	1.44	3.59	2.81	119.06	15.62	5.76	7.49	1.45	119.06	15.62	2390.32	12048	7.62	119.06	15.19	3136	12044	7.71	24.73	354	-2.72	6.53	0.826					
152S41-1.73	1.81	4.47	3.51	146.74	19.26	5.73	9.08	1.42	146.75	19.26	3024.87	19763	7.62	146.75	19.08	4459	24324	7.65	48.87	429	-2.69	6.49	0.827					
152S41-2.46	2.58	6.23	4.9	199.69	26.21	5.66	11.78	1.37	199.7	26.21	4332.38	32800	7.62	199.7	26.21	6409	49490	7.62	138.59	562	-2.64	6.4	0.83					
152S51-0.84	0.88	2.45	1.92	86.38	11.34	5.94	8.7	1.89	85.72	10.11	1377	2723	7.96						6.29	423	-3.76	7.28	0.734					
152S51-1.09	1.15	3.17	2.48	111.69	14.65	5.93	11.16	1.88	111.69	14.31	1947	6042	7.69						13.9	540	-3.73	7.25	0.736					
152S51-1.37	1.44	3.96	3.11	138.16	18.13	5.91	13.65	1.86	138.17	18.13	2718	12048	7.62	138.17	16.42	3391	12044	7.92	27.27	661	-3.71	7.22	0.736					
152S51-1.73	1.81	4.93	3.87	170.72	22.41	5.88	16.65	1.84	170.72	22.41	3435	19763	7.62	170.72	21.59	4939	24324	7.74	53.91	805	-3.68	7.18	0.737					
152S51-2.46	2.58	6.88	5.4	233.62	30.67	5.82	22.06	1.79	233.63	30.67	4910	32800	7.62	233.63	30.67	7281	49490	7.62	153.16	1069	-3.62	7.09	0.739					
152S64-1.09	1.15	3.46	2.72	128.3	16.83	6.09	19.07	2.34	128.3	15.05	2048	6042	7.96						15.15	907	-4.82	8.11	0.647					
152S64-1.37	1.44	4.32	3.39	158.98	20.86	6.07	23.4	2.33	158.98	19	2586	12048	7.91	156.53	17.52	3616	12044	8.15	29.77	1113	-4.8	8.08	0.647					
152S64-1.73	1.81	5.39	4.23	196.78	25.83	6.04	28.64	2.31	196.79	24.95	3396	19763	7.73	196.79	22	4537	24324	8.11	58.95	1362	-4.77	8.04	0.648					
152S64-2.46	2.58	7.54	5.92	270.42	35.48	5.99	38.42	2.26	270.43	35.4	5510	32800	7.63	270.43	33.81	7830	49490	7.78	167.77	1826	-4.72	7.95	0.648					
152S76-1.37	1.44	4.68	3.68	179.79	23.6	6.2	36.43	2.79	177.72	19.85	2702	12048	8.15	167.1	18.13	3744	12044	8.42	32.26	1715	-5.92	9.01	0.568					
152S76-1.73	1.81	5.85	4.6	222.88	29.26	6.17	44.75	2.77	222.89	24.99	3403	19763	8.11	214.02	23.7	4890	24324	8.26	63.99	2104	-5.89	8.97	0.568					
152S76-2.46	2.58	8.2	6.43	307.26	40.32	6.12	60.53	2.72	307.27	38.55	5879	32800	7.77	303.77	35.73	7370	49490	8	182.38	2839	-5.84	8.88	0.568					
203S35-0.84 <sup>0</sup>	0.88	2.5	1.96	133.13	13.1	7.3	3.04	1.10	133.13	10.87	1479	2024	11.01					0	6.45	255	-1.8	7.6	0.944					
203S35-1.09	1.15	3.25	2.54	172.09	16.93	7.28	3.87	1.09	172.1	16.93	2306	4485	10.16					0	14.2	323	-2.39	7.96	0.91					
203S35-1.37	1.44	4.05	3.17	212.72	20.93	7.25	4.66	1.07	212.73	20.93	3262	8925	10.16	212.73	20.47	4223.80	8928	10.24	27.89	392	-1.76	7.54	0.946					
203S35-1.73	1.81	5.05	3.96	262.38	25.83	7.21	5.58	1.05	262.39	25.83	4148	18010	10.16	262.39	25.78	6144.60	18012	10.17	55.16	473	-1.73	7.49	0.947					
203S35-2.46	2.58	7.05	5.54	357.88	35.22	7.12	7.04	1.00	357.89	35.22	5994	40207	10.16	357.89	35.22	8829.80	49490	10.16	156.82	616	-1.67	7.39	0.949					
203S41-0.84 <sup>0</sup>	0.88	2.66	2.1	149.11	14.69	7.48	5.2	1.4	149.12	12.41	1689	2024	10.94						6.87	434	-2.42	7.98	0.908					
203S41-1.09	1.15	3.46	2.72	192.86	18.98	7.46	6.66	1.39	192.87	18.98	2585	4485	10.16						15.15	552	-2.39	7.96	0.91					
203S41-1.37	1.44	4.32	3.39	238.78	23.5	7.43	8.08	1.37	238.79	23.5	3594	8925	10.16	238.79	22.9	4723.60	8928	10.26	29.77	674	-2.37	7.92	0.911					
203S41-1.73	1.81	5.39	4.23	295.1	29.04	7.4	9.78	1.35	295.12	29.04	4563	18010	10.16	295.12	28.8	6722.80	18012	10.19	58.95	818	-2.34	7.88	0.912					
203S41-2.46	2.58	7.54	5.92	404.33	39.79	7.32	12.7	1.3	404.35	39.79	6580	40207	10.16	404.35	39.79	9721.60	49490	10.16	167.77	1080	-2.28	7.78	0.914					
203S51-0.84 <sup>0</sup>	0.88	2.89	2.26	170.51	16.78	7.68	9.45	1.81	170.52	13.31	1811	2024	11.2						7.45	791	-3.32	8.56	0.85					
203S51-1.09	1.15	3.76	2.95	220.71	21.72	7.67	12.16	1.8	220.72	21.19	2884	4485	10.26						16.44	1011	-3.29	8.53	0.851					
203S51-1.37	1.44	4.68	3.68	273.62	26.93	7.64	14.86	1.78	273.63	26.93	4037	8925	10.16	273.63	24.18	4988	8928	10.59	32.26	1238	-3.27	8.5	0.852					
203S51-1.73	1.81	5.85	4.6	338.85	33.35	7.61	18.11	1.76	338.87	33.35	5114	18010	10.16	338.87	32.19	7360	18012	10.3	63.99	1512	-3.24	8.46	0.853					
203S51-2.46	2.58	8.2	6.43	466.36	45.91	7.54	23.98	1.71	466.38	45.91	7353	40207	10.16	466.38	45.91	10907	49490	10.16	182.38	2020	-3.18	8.36	0.855					

(续)

部件	设计 厚度 /mm	总特性										Q235 钢有效特性						Q345 钢有效特性						扭弯特性					
		面积	重量/m	$I_x$	$S_x$	$R_x$	$I_y$	$R_y$	$I_z$	$S_z$	$M_x$	$V_x$	$y_{cx}$	$I_x$	$S_x$	$M_x$	$V_x$	$y_{cx}$	$J$	$C_w$	$x_0$	$R_0$	$\beta$						
		cm <sup>2</sup>	kg/m	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	N·m	N	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	N·m	N	cm	×1000cm <sup>4</sup>	cm <sup>6</sup>	cm	cm							
203S64-1.09	1.15	4.05	3.17	250.39	24.65	7.87	20.82	2.27	250.4	21.52	2930	4485	10.72						17.69	1697	-4.31	9.25	0.783						
203S64-1.37	1.44	5.05	3.96	310.75	30.58	7.84	25.56	2.25	310.77	28.06	3819	8925	10.5	307.15	24.99	5155	8928	10.98	34.8	2086	-4.28	9.22	0.784						
203S64-1.73	1.81	6.31	4.96	385.52	37.94	7.82	31.31	2.23	385.54	36.71	4997	18010	10.29	385.54	32.83	6772	18012	10.72	69.02	2558	-4.25	9.17	0.785						
203S64-2.46	2.58	8.85	6.95	532.38	52.4	7.75	42	2.18	532.41	52.28	8136	40207	10.17	532.41	50.04	11593	49490	10.35	196.95	3447	-4.2	9.08	0.786						
203S76-1.37	1.44	5.41	4.26	347.93	34.26	8.02	39.96	2.72	343.41	29.26	3984	8925	10.78	327.3	25.16	5194	8928	11.43	37.3	3212	-5.33	10	0.716						
203S76-1.73	1.81	6.77	5.31	432.18	42.53	7.99	49.08	2.69	432.2	36.84	5017	18010	10.73	413.47	35.16	7252	18012	10.9	74.06	3949	-5.31	9.96	0.716						
203S76-2.46	2.58	9.51	7.47	598.4	58.91	7.93	66.4	2.64	598.43	56.43	8605	40207	10.34	591.06	52.69	10868	49490	10.6	211.56	5355	-5.25	9.87	0.717						
254S41-1.09 <sup>①</sup>	1.15	4.05	3.17	334.06	26.31	9.09	6.99	1.32	334.08	23.18	3154	3568	13.44						17.69	914	-2.12	9.42	0.949						
254S41-1.37	1.44	5.05	3.96	414.2	32.62	9.06	8.49	1.3	414.22	32.62	4440	7088	12.7	414.22	32.62	5791	7085	13.54	34.8	1117	-2.1	9.39	0.95						
254S41-1.73	1.81	6.31	4.96	513.07	40.4	9.02	10.24	1.28	513.09	40.4	6346	14278	12.7	513.09	40.4	8330	14279	12.7	69.02	1359	-2.08	9.34	0.951						
254S41-2.46	2.58	8.85	6.95	706.3	55.61	8.93	13.32	1.23	706.34	55.61	9194	40207	12.7	706.34	55.61	13593	42091	12.7	196.95	1801	-2.02	9.24	0.952						
254S51-1.09 <sup>①</sup>	1.15	4.34	3.41	378.19	29.78	9.34	12.86	1.72	378.21	25.9	3526	3568	13.51						18.98	1662	-2.95	9.94	0.912						
254S51-1.37	1.44	5.41	4.26	469.48	36.98	9.31	15.74	1.7	469.5	36.98	5032	7088	12.7	469.5	36.98	6105	7085	13.91	37.3	2040	-2.93	9.91	0.913						
254S51-1.73	1.81	6.77	5.31	582.54	45.88	9.28	19.15	1.68	582.57	45.88	7032	14278	12.7	582.57	44.97	9271	14279	12.79	74.06	2495	-2.9	9.86	0.914						
254S51-2.46	2.58	9.51	7.47	804.92	63.38	9.2	25.35	1.63	804.96	63.38	10153	40207	12.7	804.96	63.38	15063	42091	12.70	211.56	3346	-2.84	9.77	0.915						
254S64-1.09 <sup>①</sup>	1.15	4.63	3.63	424.73	33.45	9.58	22.11	2.18	424.75	26.5	3607	3568	13.99						20.23	2794	-3.9	10.57	0.864						
254S64-1.37	1.44	5.78	4.54	527.72	41.55	9.56	27.18	2.17	527.74	37.32	5080	7088	13.24	527.04	30.8	6350	7085	14.31	39.84	3439	-3.87	10.54	0.865						
254S64-1.73	1.81	7.23	5.67	655.68	51.63	9.52	33.26	2.14	655.71	50.06	6813	14278	12.85	655.71	43.76	9026	14279	13.51	79.06	4223	-3.85	10.49	0.866						
254S64-2.46	2.58	10.17	7.98	908.61	71.54	9.45	44.63	2.1	908.66	71.39	11110	40207	12.71	908.66	68.53	15876	42091	12.91	226.18	5711	-3.79	10.4	0.867						
254S76-1.37	1.44	6.15	4.82	585.96	46.14	9.76	42.63	2.63	580.2	37.89	5159	7088	13.7	559.51	31.17	6429	7085	14.8	42.34	5294	-4.86	11.22	0.812						
254S76-1.73	1.81	7.69	6.04	728.86	57.4	9.73	52.37	2.61	728.32	50.3	6848	14278	13.32	705.96	45.92	9477	14279	13.81	84.09	6520	-4.84	11.18	0.813						
254S76-2.46	2.58	10.82	8.5	1012.31	79.72	9.67	70.85	2.56	1012.36	76.54	11674	40207	12.9	999.54	71.95	14837	42091	13.19	240.75	8870	-4.78	11.08	0.814						
305S41-1.37 <sup>①</sup>	1.44	5.78	4.54	654.81	42.97	10.64	8.83	1.23	654.84	38.25	5206	5877	16.03	654.84	33.17	6840	5880	17.01	39.84	1690	-1.89	10.88	0.97						
305S41-1.73	1.81	7.23	5.67	812.5	53.32	10.6	10.62	1.21	812.53	53.32	7258	11826	15.24	812.53	48.4	9986	11829	15.89	79.06	2059	-1.86	10.83	0.97						
305S41-2.46	2.58	10.17	7.98	1122.54	73.66	10.51	13.78	1.17	1122.59	73.66	12177	34766	15.24	1122.59	73.66	18003	34770	15.24	226.18	2736	-1.81	10.73	0.971						
305S51-1.37 <sup>①</sup>	1.44	6.15	4.82	735.23	48.25	10.94	16.36	1.63	735.27	43.56	5930	5877	15.95	735.27	35.12	7242	5880	17.36	42.34	3078	-2.66	11.37	0.945						
305S51-1.73	1.81	7.69	6.04	913.61	59.95	10.9	19.94	1.61	913.65	59.95	9191	11826	15.24	913.65	53.51	11035	11829	16.00	84.09	3770	-2.63	11.33	0.946						
305S51-2.46	2.58	10.82	8.5	1266.2	83.08	10.82	26.44	1.56	1266.26	83.08	13309	34766	15.24	1266.26	83.08	19747	34770	15.24	240.75	5069	-2.58	11.23	0.947						
305S64-1.37	1.44	6.51	5.10	819.19	53.75	11.22	28.43	2.09	819.19	43.90	5981	5876	16.56	819.19	36.67	7571	5876	17.77	44.87	5197	-3.54	11.95	0.912						
305S64-1.73	1.81	8.15	6.40	1019.10	66.88	11.18	34.80	2.07	1019.10	64.94	8848	11823	15.41	1019.10	51.57	10645	11823	16.87	89.12	6390	-3.52	11.90	0.913						
305S64-2.46	2.58	11.48	9.02	1415.85	92.90	11.11	46.66	2.02	1415.85	92.72	14552	34758	15.25	1415.85	89.24	20693	34758	15.46	255.32	8663	-3.46	11.81	0.914						
305S76-1.37	1.44	6.88	5.4	903.29	59.28	11.46	44.71	2.55	901.16	44.84	6104	5877	17.04	866.74	37.24	7683	5880	18.28	47.37	8008	-4.48	12.57	0.873						
305S76-1.73	1.81	8.61	6.76	1124.79	73.8	11.43	54.95	2.52	1124.84	64.13	8730	11826	16.04	1103.57	54.37	11211	11829	17.17	94.17	9872	-4.45	12.52	0.874						
305S76-2.46	2.58	12.14	9.52	1565.88	102.75	11.36	74.35	2.47	1565.95	98.91	15084	34766	15.46	1546.01	93.46	19277	34770	15.76	269.93	13461	-4.39	12.43	0.875						

① 腹板高厚比大于200。在所有支撑点和集中荷载处都需要腹板加强肋。

表 6.3-3 T 型导轨截面特性

部件	设计 厚度 /mm	总特性										Q235 钢有效特性						Q345 钢有效特性						扭 曲 特 性				
		面积	重量/m	$I_x$	$S_x$	$R_x$	$I_y$	$R_y$	$I_z$	$S_z$	$M_x$	$V_x$	$y_{cg}$	$I_x$	$S_x$	$M_x$	$V_x$	$y_{cg}$	$J$	$C_w$	$x_o$	$R_o$	$\beta$					
		cm <sup>2</sup>	kg/m	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	N·m	N	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	N·m	N	cm	×1000cm <sup>4</sup>	cm <sup>6</sup>	cm	cm						
64T32-0.84	0.88	1.12	0.88	7.99	2.38	2.68	1.12	1.01	6.91	1.69	229	4654	3.79						2.87	8.86	-1.96	3.47	0.681					
64T32-1.09	1.15	1.45	1.15	10.41	3.08	2.68	1.46	1.00	9.62	2.41	329	6434	3.69						6.37	11.28	-1.95	3.46	0.684					
64T32-1.37	1.44	1.82	1.43	13.24	3.87	2.70	1.79	1.00	12.91	3.33	453	8026	3.62	12.36	3.08	637	12162	3.72	12.53	14.50	-1.94	3.47	0.688					
64T32-1.73	1.81	2.29	1.80	16.98	4.87	2.72	2.25	0.99	16.99	4.61	628	10020	3.57	16.74	4.29	882	15180	3.66	25.06	18.26	-1.93	3.48	0.693					
64T38-1.09	1.146	1.60	1.25	12.03	3.56	2.74	2.41	1.23	10.49	2.52	342	6434	3.83						6.99	18.80	-2.49	3.90	0.593					
64T38-1.37	1.438	2.01	1.58	15.32	4.47	2.76	3.00	1.22	14.24	3.49	476	8026	3.75	13.53	3.23	665	12162	3.85	13.82	23.63	-2.48	3.91	0.597					
64T38-1.73	1.811	2.52	1.98	19.65	5.64	2.79	3.71	1.21	19.36	4.90	668	10020	3.68	18.53	4.52	934	15180	3.78	27.60	30.34	-2.47	3.92	0.603					
64T51-0.84	0.879	1.45	1.13	11.66	3.47	2.84	4.04	1.67	8.45	1.84	251	4654	4.18						3.75	31.69	-3.64	4.91	0.451					
64T51-1.09	1.146	1.89	1.49	15.24	4.51	2.84	5.25	1.67	11.99	2.67	362	6434	4.08						8.24	41.09	-3.62	4.9	0.452					
64T51-1.37	1.438	2.37	1.86	19.40	5.67	2.86	6.54	1.66	16.49	3.74	509	8026	3.99	15.44	3.43	706	12164	4.10	16.32	52.36	-3.61	4.9	0.457					
64T51-1.73	1.811	2.98	2.34	24.98	7.16	2.89	8.16	1.66	22.81	5.31	724	10020	3.91	21.52	4.85	1000	15181	4.03	32.6	67.4	-3.6	4.91	0.462					
89T32-0.84	0.88	1.34	1.06	16.86	3.64	3.55	1.25	0.96	14.74	2.70	369	4596	5.12						3.46	18.80	-1.72	4.06	0.821					
89T32-1.09	1.15	1.74	1.37	21.98	4.72	3.55	1.58	0.96	20.40	3.82	520	7906	5.01						7.62	24.17	-1.71	4.05	0.822					
89T32-1.37	1.44	2.19	1.71	27.81	5.92	3.57	2.00	0.95	27.10	5.20	707	11350	4.92	26.06	4.87	1000	15327	5.02	15.07	30.34	-1.70	4.06	0.825					
89T32-1.73	1.81	2.76	2.16	35.43	7.44	3.59	2.46	0.94	35.43	7.10	965	14206	4.85	34.93	6.67	1372	21521	4.95	30.10	38.40	-1.69	4.08	0.828					
89T38-0.84	0.879	1.45	1.13	19.19	4.15	3.64	2.04	1.19	15.90	2.80	383	4596	5.28			0	0		3.75	30.61	-2.23	4.43	0.747					
89T38-1.09	1.146	1.89	1.49	25.02	5.38	3.64	2.66	1.19	22.11	3.98	542	7906	5.17			0	0		8.24	39.74	-2.21	4.42	0.749					
89T38-1.37	1.438	2.37	1.86	31.68	6.75	3.66	3.29	1.18	29.64	5.44	742	11350	5.07	28.27	5.08	1048	15332	5.19	16.32	49.95	-2.2	4.43	0.752					
89T38-1.73	1.811	2.98	2.34	40.46	8.49	3.68	4.12	1.17	39.84	7.52	1024	14206	4.98	38.26	7.01	1446	21525	5.10	32.6	63.37	-2.19	4.44	0.757					
89T51-0.84	0.879	1.67	1.31	23.89	5.16	3.78	4.5	1.64	17.82	2.97	403	4596	5.59			0	0		4.29	66.6	-3.29	5.28	0.61					
89T51-1.09	1.146	2.18	1.71	31.18	6.70	3.78	5.83	1.64	24.98	4.21	575	7906	5.46			0	0		9.53	86.47	-3.28	5.27	0.612					
89T51-1.37	1.438	2.74	2.14	39.50	8.41	3.80	7.29	1.63	33.89	5.82	792	11350	5.36	32.06	5.39	1112	15332	5.48	18.86	109.56	-3.27	5.27	0.615					
89T51-1.73	1.811	3.45	2.71	50.49	10.60	3.83	9.08	1.62	46.29	8.13	1107	14206	5.25	43.88	7.51	1548	21525	5.39	37.63	139.64	-3.26	5.28	0.62					
92T732-0.84	0.88	1.37	1.07	18.23	3.80	3.65	1.25	0.96	15.99	2.85	388	4431	5.28						3.54	20.14	-1.69	4.14	0.833					
92T732-1.09	1.15	1.78	1.40	23.77	4.95	3.66	1.62	0.95	22.11	4.02	546	7906	5.17						7.78	26.05	-1.68	4.14	0.834					
92T732-1.37	1.44	2.23	1.76	30.10	6.20	3.67	2.00	0.95	29.35	5.44	742	11768	5.08	28.23	5.11	1058	15327	5.19	15.36	32.76	-1.67	4.15	0.837					
92T732-1.73	1.81	2.81	2.20	38.34	7.79	3.69	2.50	0.94	38.34	7.42	1011	14731	5.01	37.76	7.00	1441	22324	5.11	30.72	41.62	-1.66	4.16	0.84					
92T38-0.84	0.879	1.48	1.16	20.77	4.33	3.75	2.08	1.19	17.23	2.95	402	4431	5.45			0	0		3.79	33.03	-2.2	4.5	0.762					
92T38-1.09	1.146	1.92	1.52	27.06	5.62	3.75	2.66	1.18	23.90	4.18	569	7906	5.33			0	0		8.41	42.97	-2.18	4.5	0.764					
92T38-1.37	1.438	2.41	1.89	34.26	7.06	3.77	3.33	1.17	32.01	5.72	778	11768	5.23	30.60	5.33	1100	15332	5.35	16.65	53.98	-2.17	4.51	0.767					
92T38-1.73	1.811	3.04	2.38	43.71	8.88	3.79	4.12	1.17	43.05	7.87	1072	14731	5.14	41.34	7.36	1516	22322	5.26	33.26	68.75	-2.16	4.52	0.771					
92T51-0.84	0.879	1.7	1.34	25.77	5.38	3.89	4.58	1.64	19.32	3.11	425	4431	5.76			0	0		4.37	72.24	-3.26	5.33	0.627					
92T51-1.09	1.146	2.21	1.74	33.64	7.00	3.9	5.91	1.63	27.02	4.43	603	7906	5.63			0	0		9.7	93.72	-3.24	5.33	0.629					
92T51-1.37	1.438	2.78	2.19	42.63	8.79	3.91	7.37	1.63	36.59	6.1	830	11768	5.52	34.64	5.65	1167	15332	5.65	19.15	118.42	-3.23	5.33	0.632					
92T51-1.73	1.811	3.5	2.75	54.41	11.06	3.94	9.2	1.62	49.91	8.51	1158	14731	5.42	47.37	7.87	1622	22322	5.55	38.26	150.92	-3.22	5.34	0.637					
102T32-0.84	0.88	1.45	1.13	22.85	4.34	3.97	1.29	0.94	20.15	3.29	448	4009	5.77						3.75	25.24	-1.62	4.39	0.863					
102T32-1.09	1.15	1.89	1.49	29.81	5.64	3.97	1.67	0.94	27.73	4.62	629	7906	5.66						8.24	32.76	-1.61	4.39	0.865					
102T32-1.37	1.44	2.37	1.86	37.63	7.06	3.99	2.04	0.93	36.72	6.24	850	12453	5.57	35.34	5.88	1215	15327	5.67	16.32	41.09	-1.60	4.39	0.867					
102T32-1.73	1.81	2.98	2.34	47.87	8.87	4.01	2.54	0.92	47.87	8.47	1154	16302	5.48	47.21	8.00	1646	24324	5.59	32.60	51.83	-1.59	4.41	0.87					

(续)

部件		设计		总特性										Q235 钢有效特性						Q345 钢有效特性						扭曲特性			
				面积	重量/m	$I_x$	$S_x$	$R_x$	$I_y$	$R_y$	$I_x$	$S_x$	$M_x$	$V_x$	$y_{cg}$	$I_x$	$S_x$	$M_x$	$V_x$	$y_{cg}$	$J$	$C_w$	$x_o$	$R_o$	$\beta$				
厚度	/mm	cm <sup>2</sup>	kg/m	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm	N·m	N	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	N·m	N	cm	×1000cm <sup>4</sup>	cm <sup>6</sup>	cm	cm							
102T38-0.84	0.879	1.56	1.22	25.89	4.92	4.07	2.12	1.17	21.61	3.41	465	4009	5.95			0	0		4.04	41.35	-2.11	4.73	0.801						
102T38-1.09	1.146	2.03	1.59	33.76	6.39	4.07	2.75	1.16	29.93	4.80	655	7906	5.83			0	0		8.91	53.71	-2.1	4.73	0.803						
102T38-1.37	1.438	2.55	2.01	42.67	8.01	4.09	3.41	1.16	39.96	6.54	891	12453	5.72	38.22	6.13	1263	15332	5.84	17.57	67.4	-2.09	4.74	0.805						
102T38-1.73	1.811	3.21	2.51	54.37	10.08	4.11	4.25	1.15	53.54	8.98	1222	16302	5.62	51.50	8.41	1733	24328	5.75	35.14	85.39	-2.08	4.75	0.809						
102T51-0.84	0.879	1.79	1.4	31.97	6.08	4.23	4.7	1.62	24.19	3.61	490	4009	6.27			0			4.58	89.96	-3.15	5.52	0.674						
102T51-1.09	1.146	2.32	1.83	41.71	7.90	4.24	6.08	1.62	33.76	5.1	693	7906	6.14			0			10.16	116.81	-3.14	5.51	0.676						
102T51-1.37	1.438	2.92	2.29	52.78	9.90	4.25	7.58	1.61	45.5	6.98	951	12453	6.03	43.17	6.51	1341	15332	6.16	20.11	147.43	-3.13	5.52	0.679						
102T51-1.73	1.811	3.67	2.89	67.31	12.47	4.28	9.45	1.61	61.82	9.69	1319	16302	5.91	58.78	9.00	1854	24328	6.06	40.17	187.71	-3.11	5.53	0.683						
140T32-0.84	0.89	1.79	1.40	48.25	6.72	5.20	1.37	0.88	43.38	5.11	696	2901	7.86						4.58	52.10	-1.39	5.45	0.935						
140T32-1.09	1.14	2.32	1.83	62.86	8.74	5.20	1.79	0.87	58.99	7.39	1006	6420	7.60						10.16	67.40	-1.38	5.45	0.936						
140T32-1.37	1.45	2.92	2.29	79.22	10.95	5.21	2.21	0.87	77.47	9.87	1343	12453	7.49	74.93	9.38	1931	12720	7.61	20.11	84.32	-1.37	5.46	0.937						
140T32-1.73	1.80	3.67	2.89	100.41	13.75	5.23	2.75	0.86	100.41	13.23	1801	19763	7.40	99.04	12.60	2597	24324	7.52	40.17	106.07	-1.36	5.47	0.938						
140T38-0.84	0.889	1.90	1.49	53.91	7.52	5.33	2.29	1.10	46.42	5.08	691	2901	8.19			0	0		4.87	85.66	-1.83	5.74	0.898						
140T38-1.09	1.143	2.47	1.93	70.27	9.77	5.33	3.00	1.10	63.11	7.67	1044	6420	7.79			0	0		10.82	110.64	-1.82	5.74	0.899						
140T38-1.37	1.448	3.10	2.43	88.58	12.24	5.35	3.71	1.09	83.47	10.29	1401	12453	7.67	80.26	9.75	2011	12720	7.80	21.36	138.83	-1.81	5.75	0.901						
140T38-1.73	1.803	3.90	3.07	112.35	15.39	5.36	4.58	1.08	110.74	13.93	1897	19763	7.55	106.95	13.18	2718	24328	7.69	42.67	175.09	-1.8	5.76	0.902						
140T51-0.84	0.879	2.12	1.67	65.23	9.10	5.55	5.12	1.56	51.87	5.03	684	2901	8.77			0	0		5.45	185.83	-2.79	6.4	0.81						
140T51-1.09	1.146	2.76	2.17	85.05	11.83	5.55	6.66	1.55	70.35	8.11	1105	6420	8.15			0	0		12.07	241.15	-2.78	6.4	0.812						
140T51-1.37	1.438	3.46	2.72	107.32	14.83	5.57	8.28	1.55	93.79	10.96	1492	12453	8.02	89.63	10.33	2129	12720	8.17	23.85	303.18	-2.77	6.4	0.813						
140T51-1.73	1.811	4.36	3.42	136.29	18.67	5.59	10.32	1.54	126.01	14.98	2039	19763	7.88	120.48	14.1	2898	24328	8.04	47.71	383.47	-2.75	6.43	0.816						
152T32-0.84	0.89	1.90	1.49	59.44	7.62	5.60	1.42	0.86	53.99	5.49	747	2656	8.73						4.87	63.64	-1.33	5.82	0.948						
152T32-1.09	1.14	2.47	1.93	77.47	9.90	5.60	1.83	0.86	72.85	8.44	1148	5877	8.24						10.82	82.17	-1.32	5.82	0.949						
152T32-1.37	1.45	3.10	2.43	97.58	12.39	5.61	2.25	0.85	95.50	11.23	1528	11644	8.13	92.46	10.70	2207	11642	8.26	21.36	102.85	-1.31	5.82	0.949						
152T32-1.73	1.80	3.90	3.07	123.59	15.57	5.63	2.79	0.84	123.60	15.01	2043	19763	8.04	121.98	14.32	2955	23363	8.16	42.67	129.17	-1.30	5.84	0.95						
152T32-2.54	2.59	5.56	4.36	178.21	22.08	5.66	3.83	0.83	178.22	22.08	3436	34926	8.07	178.22	22.08	4554	49490	8.07	123.77	182.87	-1.28	5.86	0.952						
152T38-0.84	0.889	2.01	1.58	66.19	8.47	5.74	2.37	1.08	57.66	5.49	746	2656	9.07			0	0		5.16	104.46	-1.76	6.1	0.917						
152T38-1.09	1.143	2.61	2.05	86.25	11.03	5.74	3.04	1.08	77.76	8.75	1191	5877	8.44			0	0		11.45	135.07	-1.74	6.1	0.918						
152T38-1.37	1.448	3.28	2.57	108.69	13.82	5.76	3.79	1.07	102.58	11.70	1593	11644	8.32	98.83	11.11	2292	11644	8.45	22.61	169.18	-1.74	6.11	0.919						
152T38-1.73	1.803	4.14	3.24	137.75	17.36	5.77	4.70	1.06	135.80	15.78	2149	19763	8.20	131.30	14.96	3087	23363	8.34	45.21	213.22	-1.73	6.12	0.92						
152T38-2.46	2.591	5.89	4.63	198.90	24.65	5.81	6.49	1.05	198.91	24.65	3355	34926	8.07	198.91	23.67	4881	49493	8.18	131.05	303.71	-1.71	6.15	0.923						
152T51-0.84	0.889	2.23	1.76	79.63	10.19	5.97	5.25	1.53	64.19	5.46	744	2656	9.66			0			5.74	226.91	-2.68	6.73	0.841						
152T51-1.09	1.143	2.91	2.28	103.82	13.26	5.98	6.79	1.53	86.42	9.26	1260	5877	8.81			0			12.7	294.05	-2.67	6.72	0.842						
152T51-1.37	1.448	3.65	2.86	130.92	16.64	5.99	8.45	1.52	114.86	12.44	1694	11644	8.68	109.94	11.75	2425	11644	8.83	25.14	369.51	-2.66	6.73	0.843						
152T51-1.73	1.803	4.59	3.6	166.1	20.93	6.01	10.57	1.52	153.86	16.95	2306	19763	8.53	147.37	15.95	3288	23363	8.70	50.21	466.98	-2.65	6.75	0.845						
152T51-2.46	2.591	6.55	5.13	240.32	29.76	6.06	14.74	1.5	240.33	27.32	3720	34926	8.32	231.38	25.7	5300	49493	8.50	145.66	670.27	-2.63	6.77	0.849						
203T32-0.84 <sup>0</sup>	0.89	2.34	1.85	120.51	11.65	7.17	1.50	0.80	112.65	7.10	966	1984	12.34						6.04	122.45	-1.13	7.30	0.976						
203T32-1.09	1.14	3.05	2.40	157.06	15.14	7.17	1.91	0.79	149.87	12.11	1650	4396	11.20						13.36	157.90	-1.12	7.30	0.977						
203T32-1.37	1.45	3.83	3.01	197.52	18.98	7.18	2.37	0.78	193.70	17.46	2376	8703	10.69	189.33	15.75	3250	8702	11.09	26.39	197.11	-1.11	7.31	0.977						
203T32-1.73	1.80	4.83	3.78	249.68	23.83	7.20	2.91	0.78	249.70	23.09	3145	17441	10.58	246.66	22.21	4582	17444	10.71	52.75	246.78	-1.10	7.32	0.977						

(续)

部件	设计 厚度 /mm	总特性										Q235 钢有效特性						Q345 钢有效特性						扭曲特性				
		面积	重量/m	$I_x$	$S_x$	$R_x$	$I_y$	$R_y$	$I_x$	$S_x$	$M_s$	$V_s$	$y_{eq}$	$I_x$	$S_x$	$M_s$	$V_s$	$y_{eq}$	$J$	$C_w$	$x_0$	$R_0$	$\beta$					
		cm <sup>2</sup>	kg/m	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	N·m	N	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	N·m	N	cm	×1000cm <sup>4</sup>	cm <sup>6</sup>	cm	cm						
203T32-2.46	2.59	6.88	5.40	358.54	33.80	7.22	4.00	0.76	358.56	33.80	5258	40207	10.61	358.56	33.80	6969	49490	10.61	152.95	347.22	-1.08	7.34	0.978					
203T38-0.84 <sup>①</sup>	0.889	2.45	1.92	132.38	12.80	7.34	2.5	1.01	119.31	7.16	974	1984	12.69			0	0		6.33	201.4	-1.51	7.56	0.96					
203T38-1.09	1.143	3.2	2.51	172.51	16.64	7.34	3.21	1.00	159.23	12.14	1653	4396	11.56			0	0		13.99	260.48	-1.5	7.56	0.961					
203T38-1.37	1.448	4.01	3.15	217.05	20.85	7.36	4	1.00	206.15	18.13	2467	8703	10.89	201.28	15.78	3255	8703	11.45	27.64	325.73	-1.49	7.57	0.961					
203T38-1.73	1.803	5.05	3.97	274.50	26.21	7.37	4.95	0.99	270.84	24.16	3289	17441	10.75	262.98	23.11	4765	17441	10.91	55.24	408.71	-1.48	7.58	0.962					
203T38-2.46	2.591	7.2	5.65	394.59	37.19	7.40	6.87	0.98	394.61	37.19	5062	40207	10.61	394.61	35.93	7409	49493	10.73	160.23	578.7	-1.46	7.61	0.963					
203T51-0.84 <sup>①</sup>	0.889	2.68	2.1	156.06	15.10	7.63	5.62	1.45	131.34	7.21	982	1984	13.32			0			6.91	439.06	-2.35	8.12	0.916					
203T51-1.09	1.143	3.49	2.74	203.44	19.62	7.64	7.29	1.45	176.09	12.14	1652	4396	12.23			0			15.28	569.03	-2.34	8.12	0.917					
203T51-1.37	1.448	4.38	3.44	256.1	24.6	7.65	9.08	1.44	227.92	19.18	2612	8703	11.29	222.85	15.77	3251	8703	12.13	30.18	713.5	-2.33	8.12	0.918					
203T51-1.73	1.803	5.51	4.33	324.12	30.94	7.67	11.32	1.43	302.44	25.78	3510	17441	11.13	291.29	24.49	5052	17441	11.3	60.28	898.52	-2.32	8.14	0.919					
203T51-2.46	2.591	7.86	6.18	466.73	43.97	7.71	15.78	1.42	465.26	40.83	5557	40207	10.88	450.73	38.71	7986	49493	11.07	174.85	1280.92	-2.3	8.17	0.921					
254T32-1.09 <sup>①</sup>	1.14	3.63	2.86	275.99	21.39	8.71	1.96	0.74	267.81	14.60	1989	3510	14.82						15.90	261.29	-0.97	8.80	0.988					
254T32-1.37	1.45	4.56	3.59	346.89	26.78	8.72	2.46	0.73	341.91	23.65	3219	6945	13.52	337.87	18.93	3904	6945	14.69	31.43	325.47	-0.97	8.81	0.988					
254T32-1.73	1.80	5.74	4.51	438.01	33.65	8.73	3.04	0.73	438.03	32.75	4458	13917	13.13	433.62	31.09	6413	13916	13.36	62.78	406.56	-0.96	8.81	0.988					
254T32-2.46	2.59	8.19	6.43	627.63	47.73	8.76	4.16	0.71	627.66	47.73	7426	40207	13.15	627.66	47.73	9844	40572	13.15	182.13	569.56	-0.94	8.83	0.989					
254T38-1.09 <sup>①</sup>	1.143	3.78	2.96	300.01	23.26	8.91	3.33	0.94	282.79	14.77	2010	3510	15.17			0	0		16.53	432.34	-1.32	9.06	0.979					
254T38-1.37	1.448	4.74	3.72	377.19	29.13	8.92	4.16	0.93	362.31	23.78	3238	6945	13.89	356.98	19.14	3947	6945	15.05	32.68	540.03	-1.31	9.06	0.979					
254T38-1.73	1.803	5.97	4.69	476.43	36.60	8.93	5.16	0.93	470.54	34.11	4643	13917	13.31	459.93	31.27	6451	13917	13.73	65.32	676.44	-1.3	9.07	0.98					
254T38-2.46	2.591	8.52	6.68	683.24	51.96	8.96	7.12	0.91	683.27	51.96	7073	40207	13.15	683.27	50.4	10397	40572	13.28	189.42	953.57	-1.28	9.09	0.98					
254T51-1.09 <sup>①</sup>	1.143	4.07	3.2	348.05	26.98	9.25	7.62	1.37	309.81	14.93	2034	3510	15.86			0			17.82	949.27	-2.08	9.58	0.953					
254T51-1.37	1.448	5.11	4.00	437.76	33.8	9.26	9.49	1.36	398.77	23.86	3248	6945	14.6	391.41	19.36	3993	6945	15.74	35.18	1188.54	-2.07	9.58	0.953					
254T51-1.73	1.803	6.43	5.04	553.32	42.52	9.27	11.82	1.36	519.42	36.21	4929	13917	13.7	506.89	31.34	6465	13917	14.45	70.35	1494.13	-2.06	9.6	0.954					
254T51-2.46	2.591	9.17	7.2	794.55	60.41	9.31	16.53	1.34	791.84	56.55	7698	40207	13.44	769.32	53.99	11134	40572	13.64	204.03	2121.17	-2.04	9.62	0.955					
305T32-1.37 <sup>①</sup>	1.45	5.29	4.15	555.11	35.83	10.24	2.50	0.69	552.31	27.24	3709	5780	17.14	546.06	22.32	4606	5782	18.40	36.47	488.74	-0.86	10.30	0.993					
305T32-1.73	1.80	6.66	5.22	700.43	45.02	10.25	3.08	0.68	700.47	43.96	5983	11577	15.67	699.43	35.66	7356	11574	16.96	72.85	609.85	-0.85	10.31	0.993					
305T32-2.46	2.59	9.50	7.45	1002.32	63.87	10.27	4.25	0.67	1002.37	63.87	9939	33721	15.69	1002.37	63.87	13175	33722	15.69	211.31	852.06	-0.83	10.33	0.993					
305T38-1.37 <sup>①</sup>	1.448	5.47	4.3	598.53	38.63	10.46	4.29	0.88	582.53	27.62	3760	5780	17.5	574.33	22.65	4671	5780	18.76	37.72	814.2	-1.17	10.56	0.988					
305T38-1.73	1.803	6.89	5.42	755.46	48.56	10.47	5.29	0.88	746.8	45.61	6209	11577	15.86	738.52	36.17	7462	11577	17.31	75.35	1018.56	-1.16	10.57	0.988					
305T38-2.46	2.591	9.83	7.71	1081.79	68.94	10.49	7.33	0.86	1081.84	68.94	9385	33721	15.69	1081.84	67.12	13842	33721	15.82	218.64	1431.83	-1.14	10.59	0.988					
305T51-1.37 <sup>①</sup>	1.448	5.84	4.58	685.36	44.24	10.83	9.82	1.3	636.06	28.03	3815	5780	18.21	624.91	23.04	4751	5780	19.46	40.21	1800.8	-1.87	11.07	0.971					
305T51-1.73	1.803	7.36	5.77	865.49	55.64	10.85	12.24	1.29	820.07	45.84	6241	11577	16.6	807.41	36.71	7572	11577	18.03	80.39	2260.8	-1.86	11.08	0.972					
305T51-2.46	2.591	10.48	8.23	1240.72	79.07	10.88	17.07	1.28	1236.41	74.51	10144	33721	15.99	1204.19	71.48	14744	33721	16.2	233.21	3201.22	-1.84	11.11	0.973					

① 腹板高厚比大于200。在所有支撑点和集中荷载处都需要腹板加强肋。

表 6.3-4 U 型槽钢截面特性

部件	最小金属 厚度 <sup>①</sup> /mm	设计 厚度 /mm	总特性					有效特性 <sup>③</sup>		
			面积 /cm <sup>2</sup>	$I_x$ /cm <sup>4</sup>	$R_x$ /cm	$I_y$ /cm <sup>4</sup>	$R_y$ /cm	$I_x^{\text{②}}$ /cm <sup>4</sup>	$S_x$ /cm <sup>3</sup>	$M_s$ /N·m
19U12.7-1.37	1.37	1.44	0.56	0.29	0.73	0.08	0.39	0.29	0.31	51.52
38U12.7-1.37	1.37	1.44	0.83	1.62	1.39	0.08	0.37	1.62	0.85	138.70
51U12.7-1.37	1.37	1.44	1.01	3.29	1.8	0.08	0.35	3.29	1.29	212.46
64U12.7-1.37	1.37	1.44	1.20	5.83	2.2	0.12	0.33	5.83	1.84	298.96

① 最小金属厚度为设计厚度的 95 %

② 给定的截面惯性矩是用作挠度计算。

③ 有效特性基于  $\sigma_y = 235\text{MPa}$ 

表 6.3-5 翻边 U 型槽钢截面特性

部件	最小金属 厚度 <sup>①</sup> /mm	设计 厚度 /mm	总面积 /cm <sup>2</sup>	有效特性 <sup>③④</sup>	
				$I_x^{\text{②}}$ /cm <sup>4</sup>	$M_s$ / (N·m)
22F32-0.46	0.45	0.48	0.45	0.33	35.79
22F32-0.69	0.68	0.72	0.67	0.54	60.74
22F32-0.76	0.75	0.79	0.76	0.58	68.20
22F32-0.84	0.84	0.88	0.82	0.62	75.11
22F32-1.09	1.09	1.15	1.05	0.79	95.04
38F32-0.46	0.45	0.48	0.6	1.21	76.47
38F32-0.69	0.68	0.72	0.9	1.87	126.63
38F32-0.76	0.75	0.79	0.99	2.08	142.23
38F32-0.84	0.84	0.88	1.1	2.29	156.73
38F32-1.09	1.09	1.15	1.42	2.91	199.98

① 最小金属厚度为设计厚度的 95 %。

② 给定的截面惯性矩是用作挠度计算。

③ 有效特性是由正或负弯矩的最小值确定的。

④ 有效特性基于  $\sigma_y = 235\text{MPa}$ 

## 第七章 冷轧轻钢骨架住宅技术的历史沿革与哲学思考

冷轧轻钢骨架住宅是在轻木骨架住宅体系的基础上发展起来的，要想很清晰地了解轻钢骨架住宅体系，并在中国应用和发展这一建筑体系，就必须要了解轻木骨架住宅体系的历史沿革以及它所体现出来的美国建筑文化和地域文化特征。

### 一、轻木骨架的历史背景

轻木骨架是美国经验主义建筑的一个完美例证。建筑师、承包商和发展商都在加以运用。很简单，但同时又是一个非常精美的标准系统，用钉子将非常薄的柱子、平板和托梁连成一体，再覆盖上硬夹板或薄的硬纸板。大约 80% 的美国建筑都是轻木骨架建筑（轻钢骨架建筑现在正在美国兴起，目前的市场占有率已达 25%）。由于美国建筑业占美国国内生产总值（GDP）的 6%~8%，“住房指数”是预测美国经济运行发展状况的重要技术指标，可见这是一个多么重要的系统。

现代轻木骨架系统的原型是在 19 世纪逐渐形成的。尽管 Sigfried Giedion 和 Carl Condit 两人声称早在 1833 年就在芝加哥发明了该体系。但事实上轻木骨架的雏形——球形骨架是经过多次改进，直到 1850 年左右才最终定型。历史学家不断地在重复叙述一个虚构的自然产生的发明故事，然而不能将球形骨架理解为一个简单的发明，实际上它既简单，但也相当复杂。

### 二、美国建筑文化三要素

曾任香港中文大学建筑系主任，现任美国 Lehigh 大学建筑与建造技术学院院长的 Tom F. Peters 在《建筑文化与技术思维》一文中归纳了美国建筑文化，尤其是轻木骨架建筑体系的三要素，即：

#### 1. 歪打正着

条条大路通罗马，何必一条道走到黑，不撞南墙不回头。回避矛盾，换一个视角，这种解决问题的手法，常常会出现意向不到的柳暗花明。让学科交叉产生灵感，利用边缘学科的知识进行创新，是当代科技创新的一条成功之路。

经验主义思维平稳过渡为“学科交叉技术”。学科交叉技术达到极致就是“创造性错误”。创造性错误使得英国工业家 William Fairbairn 成功地将铆接技术从锅炉制造业和造船业引入到了桥梁工程建造技术上。

由于国人对“错误”一词的理解太狭义，如果将 Misunderstanding 理解为非正常或非正常理现象，那么 Creative Misunderstanding 就是一种创造性的非正常或非正常理现象。由于我们太害怕犯“错误”，所以就将 Creative Misunderstanding 译成创造性思维，虽然容易为国人所接受，但与他原来所想表达的意思已经有很大不同。

美国人不太愿意接受拘谨的条条框框的约束，比较容易接受一个原则性不太强的观念：

即系统和概念应该是帮助而不是限制。他们坚信一个无可辩驳的逻辑，技艺娴熟就是他回避问题的能力远胜过他主动解决问题的能力。美国人称这种行为为鲁伯·高德伯格方法（即歪打正着）。认为“创造性错误”能发明出惊人的技术。在美国确实也存在着许许多多产品开发过程中的种瓜得豆和无心插柳柳成荫的现象。最著名的当然是可口可乐发明了，由于一次伟大的“错误”，使得治疗牙痛的药水变成了享誉全球的饮料。

儒家文化要求举子们要朝着既定的目标，走正途，取功名，即便是歪打正着也要编纂一个神话或政治故事来加以美化和掩饰。造成我们所培养的学子搞产品设计（Product Design）的能力很强，都是很优秀的产品设计工程师，但搞产品开发（Product Develop）的能力却很低，思路狭窄，难以成为企业家或管理人员。

奔既定目标是拷贝，歪打正着才是创新。所以美国人才不管什么正途和歪道，成功才是最重要的。IBM 创始人华特生就说过：“成功的法则就是把犯错误的速度提高一倍”。

## 2. 化整为零

轻木（或钢）骨架第二个特别的特性是化整为零的风险分散承载特性。传统的重的（钢或钢筋混凝土）或半木材结构建筑是依赖刚性连接。如果一个节点失效，整个结构就削弱了。但对轻木（或钢）骨架来说，尽管在个别地方出现削弱现象，但整个系统还可以通过分散的结构来化解风险，并能保证整个系统继续共同工作。如果一个钉子（或自攻螺钉，见图 7-1）坏了，它周围的钉子（或自攻螺钉）就会承担起它的承载功能，这就称为化整为零的风险分散特性，每一个连接点都与其他连接点有联系，而每个连接点却只需要承担一个很微小部分的荷载，这正反映了美国文化的思维方式，如他们广泛运用的民意测验和个人电脑的研发思路等等，都集中反映了这种思维模式。

个人电脑、民意测验以及轻木（或钢）骨架建筑中钉子（或自攻螺钉）的应用都是基于一种信仰——数量可以化解为质量，量变可以引起质变的哲学思想在这里得到很好的体现。在民意测验时，为了能得到准确的数据，可以尽量扩大采样数量。为了化解一台大型计算机出故障的巨大风险，他们采用微机的办法，让每个人一台计算机，再通过网络联系起来，形成一个巨大的系统。其中任何一台计算机出了问题都不可怕，系统照常运行无误。

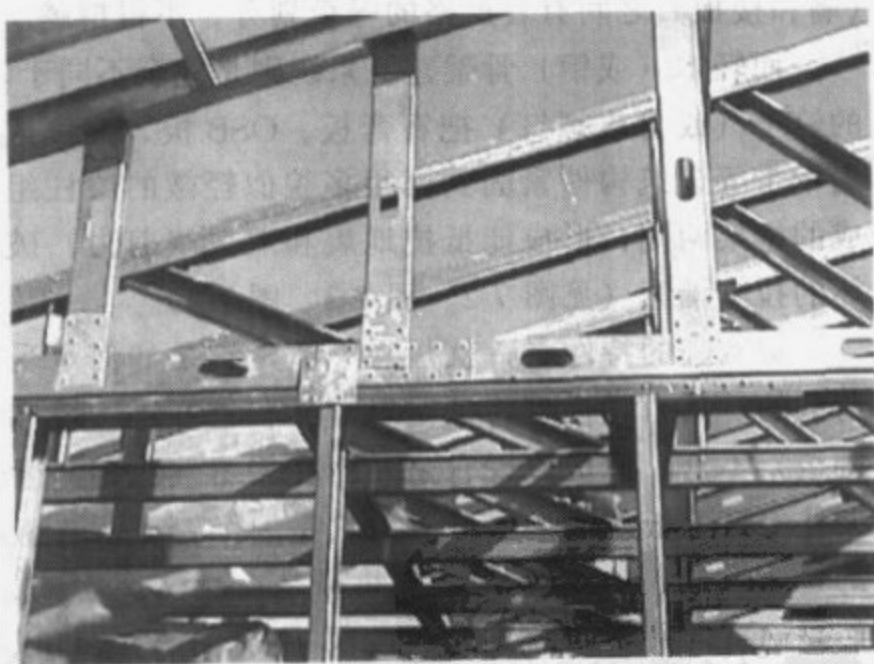


图 7-1

美国纽约世界贸易中心的双塔也

采用了这种化整为零的承载方式。双塔均为方型筒中筒双对称结构，外筒尺寸为  $63.5\text{m} \times 63.5\text{m}$ ，内筒尺寸为  $24\text{m} \times 24\text{m}$ 。外筒由 240 根间距仅为  $1.02\text{m}$  的  $450\text{mm} \times 450\text{mm}$  的方型钢管柱组成。内筒由 44 根  $450\text{mm} \times 450\text{mm}$  的方型钢管柱组成。楼层托梁间距也仅为  $2.04\text{m}$ 。正是这种由成千上万根钢梁、柱密集排列，构成一个象鸟笼一样的密栅型建筑承载体系，才能化解因飞机撞击而产生的巨大意外荷载，没有立即倒塌，给数以万计的生命得到

逃生的机会。

风险分散原则在企业管理中的成功例证比比皆是，如股权的分散和经营权的分开，管理链采用交互式（cross function）而非垂直管理模式。一句话，不能让一个人说了算，为所欲为。

### 3. 团队精神

我们可以常常听到美国人的一句口头禅——团队精神（Team Work）。这与我们民间家喻户晓的一个古老故事很相似——一根筷子一折就断，10根筷子绑在一起就很难折断。实际上在他们的日常的经济和政治活动里无不处处体现出这种精神。这种现象反映到他们的建筑文化中去就表现为数量可以代替质量。

单从美国文化上考虑，用钉子连接的历史是久远的。通过散布在木（或钢）结构上的众多的弱小钉子（或自攻螺钉）的连接作用，从而构成一个强大的整体建筑。它们在意外事故中能承受说不清楚的荷载，也不会失去效用，并且力还会象汽车一样，在城市道路网中相互交叉的街区间绕道而行，用以避免交通堵塞，它是通过整个系统来化解荷载风险，而不是仅仅依靠一二根梁或柱来独立承担荷载风险。

轻木骨架建筑中让力绕过麻烦，是一种回避矛盾的方法。它与用民意测验来影响政治形态的手法很相似，对所有深藏严肃政治观点的其它国家和地区来说，这些手法带有典型的美国地理特征。

### 三、君（梁柱）臣（墙）不分的地域建筑文化特征

起源于农耕文明的土木建筑文化中往往深藏着一些浓厚的皇权思想。如君（梁和柱）臣（墙和楼板）之间有着严格的等级划分，不得擅越。

而轻木（或钢）骨架建筑系统则是完全不同于以往已有过的任何建筑体系，它是用无数的钉子（或自攻螺钉）把石膏板、OSB板、夹板或扁钢带等建筑构件紧固到由很多貌似轻微的梁柱组成的框架两侧，形成能抵抗地震和飓风（剪力）破坏的拉牢墙索（见图7-2、图7-3、图7-4）。

最有趣的特性之一就是弄不清楚它是如何承受荷载的。其力学模型特征是君（梁和柱）臣（墙和楼板）不分。你可以说它是一面在轻木（或钢）骨架柱上钉上板的墙，也可以说它是一个钉上了夹板的轻木（或钢）骨架柱。这并非是在玩文字游戏，而是确有两种不同的概念。轻木（或钢）骨架可以用两种方法解释，而这两种方法看起来在结构上还是都是正确的。由于轻木（或钢）骨架在分析静力学普及之前就已经开发出来，迄今为止也没有任何一个力学模型能用来描述它，因而它也不能象梁、拱、悬挂系统、悬臂以及骨架等那样，可以用简化的工程计算公式进行计算。近年来，随着轻钢骨架体系的兴起，有人将这种现象定义为蒙皮效应，人们仍然继续在探索着用数学方法来求解蒙皮效应，但目前还没有可靠的计算方法。

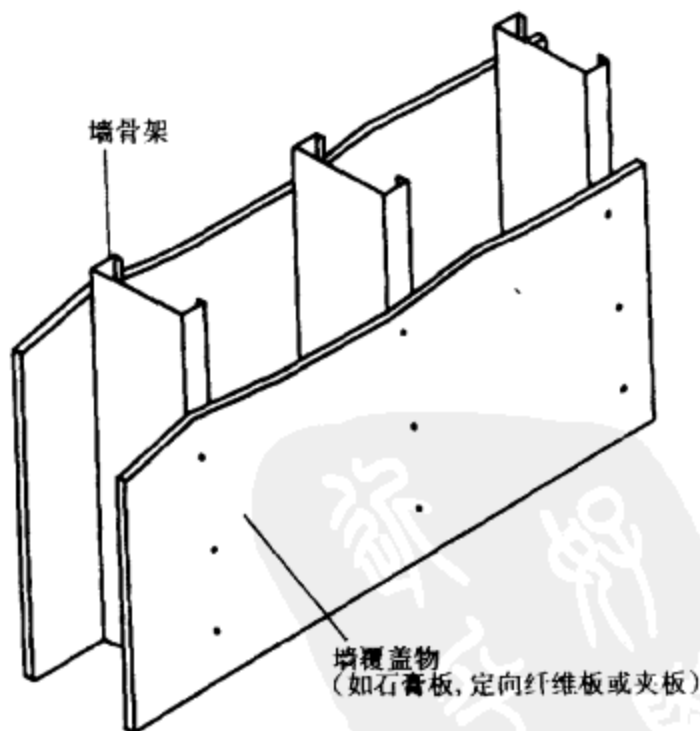


图7-2 拉牢墙索——双面墙板

但可以肯定地说，蒙皮之后的结构强度一定大于没蒙皮之前的结构强度。所以按没蒙皮状况进行设计计算是保守和可靠的。正因为这样，本书的计算方法就忽略了这种蒙皮效应，由此也可以看出美国人是在采用实用主义哲学，不为条条框框所束缚。

#### 四、绝不允许“独木”立千斤的险象出现

“独木”立千斤这一古老的土木建筑力学思想在这里同样不敢苟同。不能把安全寄托在几根“独木”梁柱上，轻木（或钢）骨架建筑是由一系列看似弱小的密集梁柱（见图 7-5 和图 7-6）组成一个整体框架，内外再钉上夹板和石膏板，形成稳固的拉牢墙索。

轻木骨架建筑把风险分散的承载特性完全反映出美国文化中深藏的那种机会均等原则，并非精英原则，是王侯将相宁有种乎的美国版。风险应该由组织（社会，企业，家庭）成员共同承担，宝不能押在某个个人身上。

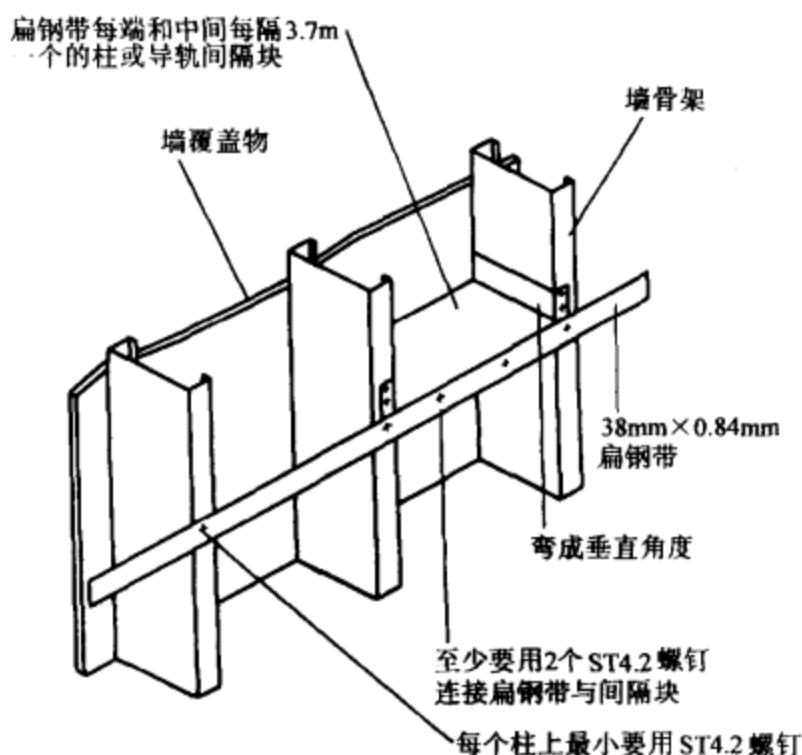


图 7-3 拉牢墙索——一面墙板，一面扁钢带

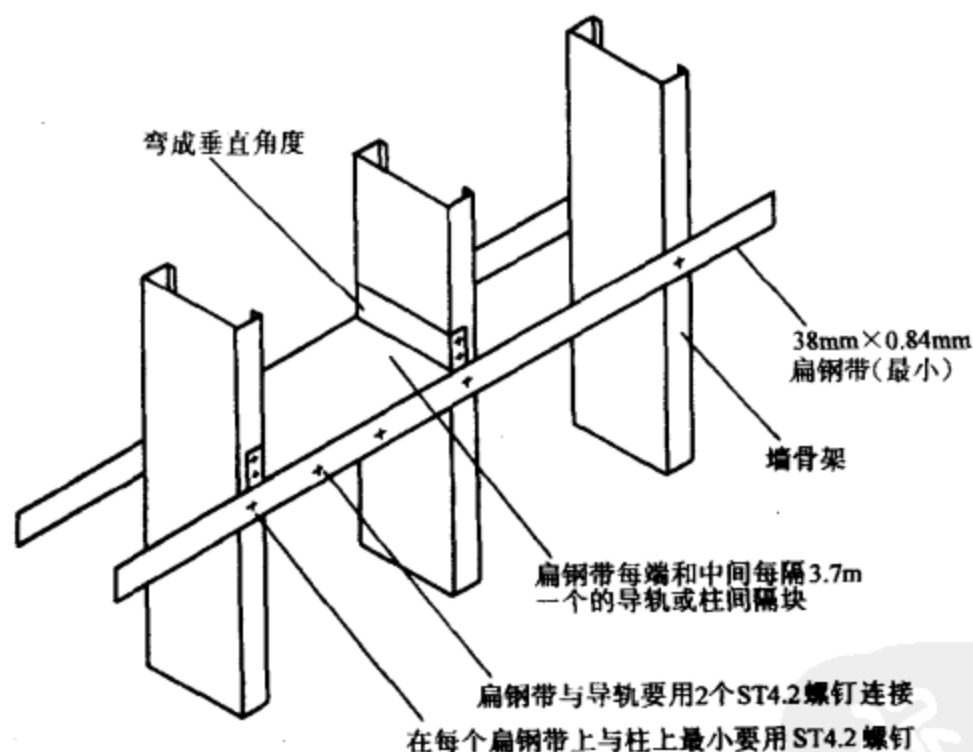


图 7-4 拉牢墙索——双面扁钢带

当有迹象显示杰克·韦尔其可能（或有可能）成为支撑 GE 这栋大厦的独木时，GE 的股东们不是想办法如何保住这根独木，让他多撑几年，为自己带来滚滚财源——尽管从体力和精力上来看，杰克完全还可以在 GE 继续干下去——但 GE 的股东们还是毅然决然地砍掉这根独木，以化解可能出现的经营风险。

2003 年初，某欧洲著名家电品牌断然砍掉了其支撑中国市场的“独木”——中国区的总裁。该品牌在中国的营销队伍和模式完全是在该“独木”的操控下，经销商亦是他一步一

步培养起来的，而且业绩不俗，经该“独木”一路操控，该品牌在中国市场渐渐知名，并扭亏增盈，尤其在冰箱领域，一度坐上了中国市场国际品牌销量第一的宝座。但一旦出现国际跨国公司最忌讳的——“独木”立千斤险象，则是完全没有商量的余地，必须立即砍掉，决不手软，完全不理睬可能出现的短期经营业绩下滑现象。



图 7-5

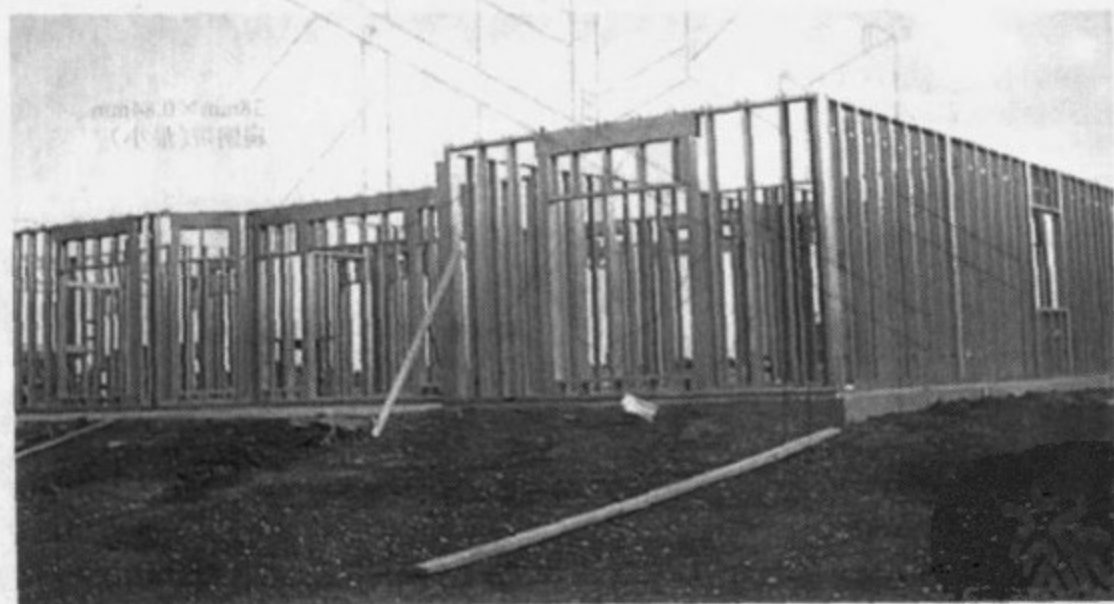


图 7-6

成鲜明对比的是国内一些依靠“独木”（或者说是强人）来支撑的企业，这些“独木”是摸不得，碰不得，也拿不下。一些企业就是因为某种原因拿去了一根“独木”，大厦顷刻就倒下。一些企业也曾试探着拿去一根“独木”，但其他支撑企业的梁柱由于没有预应力准备，一下子还不能均匀承受如此大的突然性荷载，眼见着大厦就要倒塌，“独木”也只好拼

2  
着老命再撑上去。股民们就是把发财的希望寄托在这些“独木”身上，其投资风险当然就显而易见了。

美国人具有反精英（专家与权贵）意识，风险分散的意识，企业里的 CEO，乃至政治家均可被替换掉，少它一二个并不可怕，离了谁地球都照常转，天也塌不下来，关键是整个团队要强大。这种不依靠个人，只依赖团体来抵抗风险的意识，确实体现着某种可以信赖的稳固性，并且美国人认为这是一种优点。

本人在实际的企业运作中也遇到过类似的现象，曾经有幸参加过一个长达二年，费用高达 200 万美金的新产品开发项目，居然可以长达 6 个月之久没有项目领导（Project Leader）。但项目成员却在已有产品开发程序的引导下有条不紊地工作，直至找到好的项目领导，真正是宁缺勿滥。

很多美国人倔强的认为程序和过程比结果重要，甚至比执行程序的人还要重要。因为结果可能是偶然产生，而任何人只要能按正确的程序去操作，必然会做出正确的结果。所以百年老店才信奉“铁打的牌子，流水的兵”。

### 五、以柔克刚的节点设计

以中庸之道的方式，用貌似简单的结构去取代高质量的框架式连接结构，使得美国建造商获益匪浅。直到现在，美国总是有多余的原材料，但某些地区仍然缺乏合格的劳动力。所以美国的承包商总是有足够的理由怀疑自己在工作中培训劳动力的能力。不显眼又不严谨但却能实现高度工业化生产的轻木（或钢）骨架却很好地解决了高素质劳动力缺乏的问题，对劳动力的素质要求极低。当建筑商采用许多工人，以及非常之多的弱小的连接节点去替换质量要求很高的单个骨架节点连接，既分散了连接节点失效风险，同时又由于减少了节点类型数量，使工程设计和施工更为简单，也减少了出错的可能。这种处理手法使得美国的建筑物更加丰富多彩，也比自称具有较高研发水平的一些建筑体系的结构限制更为严谨。用众多弱小的连接节点构成更安全的结构体系，是以柔克刚的典型例证。

### 六、两种文化引出的两种不同的产品开发模式

C2C（从消费者到消费者或从群众中来到群众中去的）产品开发程序就是一个典型的带有美国文化特征的产品开发程序，产品开发的目的是为了满足不同消费者、股东和企业员工的利益，所有设计输入均来之消费者的需求。

Walkman（随身听）的开发成功就带有典型的东方文化特征，即引导消费，用优秀的产品“迫使”消费者去消费，产品的创意来自领袖人物（企业领导）的灵感。

在这里我很难说出哪种开发程序好，哪种开发程序不好。因为它们之所以能在不同的地区或企业内生存下来，并发扬光大，一定是有其深层次的文化底蕴支撑着。例如深受罗马共和制政治影响的民主政治制度不但对西方政治产生影响，也潜移默化到产品开发过程中。在 C2C 产品开发过程中，如果有几个不同的想法或创意难以取舍，并非像一些带有东方文化背景的企业那样，由领导或老板拍板决定取舍，而是让双方充分表述意见后，用类似民意测验的方法，由与会者举手表决通过。

而在一些有东方文化背景的企业一旦没了领导或老板指示，工作就没了方向，员工会群龙无首，皇权思想已深入到企业运作甚至产品开发过程中。在企业领导人精力充沛期，企业

可能兴旺发达，一旦企业领导人的精力和体力发生了问题，或者是由于工作出色而提拔为政府官员，这个企业一般都要走过一段艰难的调整期。对私营企业还有个立“太子”问题。这种企业的职能部门一般只有纵向的管理链，层层向上直到总经理，优点是决策快，最大的弊病就是企业领导人个人权利过大，缺少监控，容易滋生腐败现象。稍为大一点的外资企业的职能部门管理链都是交互式（cross function）的，一些重要职员既有行政领导（仅仅是“地主”而不同于一般意义上的“老板”），也有业务领导，甚至还有项目领导（项目成员是由来自不同职能部门的人员组成）。权利十分分散，缺点可能是决策过程缓慢，但对股东来说却相当安全。几亿甚至几十个亿的资产放到海外投资几年都不来看一次，仅仅就看看报表就能作出决策。

按照美国人的想法，专家不是消费者，芸芸众生，普罗大众的想法和需要往往和专家意见是相左的。因为专家看问题的立足点和视角带有很厚重的专业色彩，所以往往看得不透彻。就像在商场里的空调工程师买空调，电视工程师买电视一样，挑来挑去，处处是毛病，不敢买。但如果反过来，让角色错位，情况就大不一样了，比如让空调工程师去买电视，让电视工程师去买空调，则基本都能满意。因为他们日常的专业训练已经使他形成了职业习惯，很会在自己熟悉的产品上找到毛病。

由于专家难以摆脱思维定式的束缚，所以国际跨国企业做市场调研时很少找专家，而是在已有消费者群体或潜在消费者群体中取一个合理的人群数量来咨询。某国际著名汽车品牌公司为中国市场开发家庭轿车的事例就很有趣，因为他们是在中国的汽车专家不知情的情况下，按国际（新产品开发程序）惯例在中国进行调查并聘请中国的工业设计师进行产品开发。最后才请中国的一些汽车专家们对设计结果作评价，这些汽车专家们根本就不看设计成果到底如何，而是一致认为这些搞工业设计的人根本就不懂汽车，如何能设计汽车。而“鬼佬”回答得更干脆，你们不是设计了几十年的汽车吗，结果如何？其实中国人早就知道“汝欲学为诗，功夫在诗外”，学书法要看“公孙大娘舞剑”的道理，只是到了真正要用的时候，往往就不记得了。

这并非是“鬼佬”看不起中国的汽车专家，实际上他们在世界各地，当然也包括在他们本国，也是这么做的。关键是我们的技术专家长期在计划经济体制下工作，不了解产品开发（Product Develop）与产品设计（Product Design）之间的关系。在市场经济条件下产品设计只是整个产品开发过程中的一个子项任务，只有在完成了市场评估和商业环境评估之后，了解了所在市场消费者的真实需求，并确认没有太大的投资风险，产品开发才敢于真正进入技术开发阶段，技术部门只是新产品开发队伍众多的职能部门之一，而且大多数情况下并不是由技术部门牵头来搞新产品开发。

在计划经济体制下，产品开发确实等同于产品设计，区别不大。因此在一些企业中，研究所、设计处（科）、总工办等部门成了产品开发的牵头和职能部门。造成这种现象的原因有两个，一个是前苏联的企业管理模式在国营企业留下的痕迹——三总师（总工程师，总工艺师，总经济师）负责制——至今还存在于一些企业中；另一个就是一些企业的产品开发还不能称其为产品开发，还处于仿制（Copy）和引进阶段，认为别人好卖的产品我也必然好卖，只要能从银行贷到款，能从股市套得资金，就期望拼命扩大生产量来取得胜利，不是真正意义上的产品开发。

另外，技术专家总是希望自己开发的产品天衣无缝，尽善尽美，对成本控制与开发进度

控制不力。但我们现在生活的时空是日新月异的，今天的尽善尽美并非明天的尽善尽美，新产品有一定的时效期，赶不上市场需求，再完美的产品也是无价值的。因此在一些跨国公司中产品开发的项目领导（Project leader）并非技术干部，而是由受过 MBA 教育的财务或市场营销人员担任。

当某个产品或技术已经先入为主的固化在脑海中，比如汽车“应该”是个什么模样已经成竹在胸，自然就没有创新的激情。

在建筑业，我们也常常听到结构工程师的抱怨，批评建筑师不懂结构，设计出来的建筑让结构工程师感到很为难。这就对了，如果建筑师深懂结构，设计时总是在想着如何利用现有的结构技术来实现自己的建筑设计，那他就永远设计不出传世之作，同时也造成结构专业裹足不前。美国白宫尖屋顶的建筑设计就是一个很好的例证。如果华盛顿深懂土木建筑，就不会把白宫设计成现在这个样子，就是因为他不知道土木建筑技术无法实现这种建筑造型，所以才敢如此大胆地进行设计。当然，第一次按土木建筑技术施工建造的白宫没有达到华盛顿的设计要求，但第二次采用了当时非常先进的铸钢（当时还没有热轧钢材，更没有冷轧钢材）建筑技术，则建成了我们现在所见的白宫尖屋顶。

“不识庐山真面目，只缘身在此山中”，如果不能摆脱思维定式的束缚，仍然按熟悉的传统的土木建筑和钢结构建筑的力学方法去理解和处理轻钢骨架建筑，轻钢骨架建筑在中国可能也要遇到类似汽车开发同样的尴尬现象，甚至会严重影响和制约轻钢骨架建筑在中国的发展。

#### 七、地域文化对建筑材料和生产方式的影响

农耕文明土壤里产生的土木建筑所用的建筑材料大多与土地有关，毁田取土烧砖当然是不用说了。至今有很多中国农民仍然保留着在房前屋后种树的习惯，孩子们长大了，树也长大了。砍几棵树就可以给孩子盖房娶媳妇。据说建造秦长城与明南京城墙所用的粘合剂也是用土地里生长出来的糯米熬制而成。

当代工业文明土壤中产生的轻木（或钢）骨架建筑所用建筑材料和生产方式则处处体现出现代工业文明的特征，即

- 1) 建筑材料系列化，标准化，通用化；
- 2) 可以在现代化工业生产线上批量生产；
- 3) 对操作技能要求极低，不需要三年才能出徒的手艺（匠）人，仅需要放下锄头把，经过简单培训，就可以拿起旋具操作的熟练工人；
- 4) 随着市场销量和生产量的提高，生产率也会急剧提高，成本就会急剧下降，而不是靠薄利多销来降价。

#### 八、建筑材料对建筑力学及其设计思想的影响

随着建筑材料的演化，建筑材料之间的连接方式也发生了一些变化。土木建筑是采用榫连接，钢筋混凝土建筑是采取连续浇注来获得整体的梁柱框架，重钢结构建筑是采用焊接和高强度螺栓连接，轻木（或钢）结构则是采用钉子（或自攻螺钉）进行连接，他们之间的关系并非只是简单的材料替换，所谓钢结构建筑并不是简单的用钢材去替换掉钢筋混凝土梁柱框架或木梁柱框架，实际上它们所表现出的建筑力学方法也相应有一些细微变化，最重要

的还是其设计思想也要跟着产生重大的变化，并应当能表现出传统建筑材料所不能表现的建筑艺术效果。

绝不能穿新鞋，走老路，表现出以下两种不可取的设计思路：

一是中学为体，西学为用。即设计思想仍然是传统的土木建筑思想。但是却利用了钢材的强度和可加工优势，焊接成几根巨大的顶天立柱，内部再灌上钢筋水泥。所有荷载都是集中通过这有限的几根柱子传递到基础上。这实际上只是一种用钢材建成的“土木”结构建筑。

二是假洋鬼子，尽管钢结构建筑的优点正逐渐被国人所接受，但目前由于量少，所以价格还无法和毁田烧制的红砖相比，所以就出现了一些用红砖、水泥、砂石和瓷砖这四大主要建筑材料仿冒的钢结构建筑。其建筑造型，设计构思是照抄国外的钢结构建筑设计，甚至就是请国外建筑师按钢结构概念进行的设计，回来后再进行国产化。外观用氟碳漆一涂，屋顶放上几根钢架表现一下，显得很飘逸，似乎就可以以假乱真了。

### 九、产业、产品、产量

任何简单产品都能实现产业化，如餐饮、零售、旅游、体育、甚至会议都能形成产业。产品经营一旦上升到产业经营后，就像点石成金，均能获得巨额利润。

近 100 年来，美国人不断地歪打正着，无中生有地“创新”，开创了一个又一个新的产业。

随着新兴产业的不断进步发展，产业内部的产品（实物消费与服务消费）也在不断“翻新”（即升级，换代）。层出不穷的新产品会一个又一个的推向市场。

近 50 年来，日本人虽然没有开创什么新兴产业，但他们却在现有产业里不断对产品进行推陈出新，开发了一代又一代新产品，因而使其成为世界第二大经济强国。这一现象在 20 世纪 80 年代达到了顶峰，其家用电器产品横扫全球市场。正当世人为美国人捏把汗时，美国人经过多年的努力，歪打正着，在 20 世纪 80 年代末“无中生有”地推出了 IT 产业，把日本人远远地抛在其后以至于有日本人哀叹：“一集装箱的美国软件产品就可以换取一远洋货船的日本汽车和家用电器产品”。

随着新产品的问世及被消费者的接受，随之而来的就是不断的产品产量“翻番”，以满足消费者不断增长的需求。

近 20 年来，改革开放过程中的中国经济增长，主要还是表现在产品产量的一再“翻番”上，基本满足了人们物质生活的需求。

产业利润高于产品利润，产品利润高于产量（加工）利润是不容置疑的，最典型的例子就是信息产业，一些著名品牌都是从产业的高度去经营运作，将产品生产甚至是产品开发的工作都交由台湾厂商去做，采用 OEM 甚至是 ODM 的方式不断地生产和开发新产品，获得高额的产业利润。这些台湾厂商大都在珠江三角和长江三角地区建有工厂，利用这一地区廉价的劳动力去进行高科技产品的简单再生产，以获取高额的产品利润。同时也带活了该地区的经济发展，增加了就业机会和当地税收，实现了产业挣大头、产品挣中头、产量挣小头。更重要的还是让这些地区的人们看到了外面的世界，接触到了新思想、新事物，学到了先进的技术与管理，所以这些地区近年来才会不断地改善投资环境，以吸引外资进入。

中国的住宅产业基本也是依照着这一规律在发展，现阶段的住宅“产量”已经不是很可观，

而是很可怕了。住宅产品需要尽快从产量“翻番”转变为产品“翻新”，才能消除泡沫，平稳发展。如果能利用钢结构住宅的技术优势，对住宅产业进行产业“创新”则是最高境界了。

## 十、轻钢骨架与轻木骨架的关系

轻钢骨架是在轻木骨架技术的基础上发展起来的。轻木骨架的主要特征基本都能在冷轧轻钢骨架体系中得到体现，所不同的是冷轧轻钢骨架还具备了轻木骨架所没有的很多优点，如环保，防火，防虫，不会劈裂等。当然也有缺点，就是冷桥作用较轻木骨架严重，因此在严寒地区设计轻钢骨架住宅时要在外墙适当增加隔热层或采取断绝热桥的技术措施来解决。

冷轧轻钢骨架住宅与任何其他技术和产品一样，也在不断地发展与变化，以趋更加完善。经历了长达 30 多年的市场开拓和技术进步，其产品技术标准和设计方法都发生重大变化。美国的标准法与中国的标准法都规定，技术标准每四年必须修正一次，实际上美国冷轧轻钢骨架住宅技术标准基本是每两年就重新修订一次，速度之快，是外人无法想象得到的，其最新版本已经是 2002 版了。下面仅举几例，以助读者了解和看国外冷轧轻钢骨架住宅设计资料时参考。

### 1. 细致的产品设计标准化工作

本书第五章是采用工程计算法设计冷轧轻钢骨架住宅，虽然是力求用简单、系统的（也是目前国内结构行业正在使用的）方法来介绍如何用材料力学基础理论来进行轻钢骨架住宅的设计，但看过本书的人就会知晓这是多么的繁难，不要说自己亲自去计算，就是从头到尾地看一遍，也需要有一定的耐心，而国内众多钢结构设计工程技术人员每天正在进行类似的艰苦工作。

而第四章是采用查表法设计冷轧轻钢骨架住宅，就显得简单实用得多。由此我们可以清晰地看到西方发达国家对一个产业的基础研究与应用研究乃至应用方面的分工是很细的，组织的技术专门力量来编制各种应用表格和计算机设计程序，就不需要每个工程技术人员在设计过程中再应用材料力学知识进行繁杂的工程计算了。既加快了工程设计速度，又减少了工程设计失误，省力又省钱。

### 2. 设计代号的演变

冷轧轻钢骨架构件的设计代号最近几年有几次重大改进，2000 年之前的轻钢骨架设计代号是沿用轻木骨架的设计代号前两位，后面增加了材料厚度和形状特征代号，2000 年后重新按轻钢骨架构件特征编号，更趋科学和实用。详见表 7-1。

### 3. 全高覆盖要求的演变

美国钢铁协会 1997 年版设计规范的全高覆盖要求与 2000 年版有较大变化。具体如下：

1997 年前全高覆盖设计要求为表 7-2（原表为 6.20），端墙与侧墙的数据要求是不一样的。下面将根据表 7-2 来为该范例建筑确定结构覆盖物的最小要求量。因为设计住宅为二层住宅，（端墙）宽度为 8.5m，（侧墙）长度为 12m，屋顶斜度为 8:12，当地风速为 113km/h，位向为 C。开始这个例子时，就假定全部住宅都用覆盖材料覆盖。

仅仅选择这个二层住宅的第一层，我们可见到最接近的屋顶斜度是 9:12。最接近的风速和位向类别墙的全高覆盖物最小百分数是 75%。设计屋顶斜度是 8:12，因此

#### 第一层端墙：

- 9:12 (75%) 减去 6:12 (55%) 除以 3 等于增量 6.66%；即  $(75\% - 55\%) / 3 = 6.66\%$
- 9:12 减去 8:12（设计住宅斜度）等于 6.66% 增量。

表 7-1 部分轻木骨架与 S 型轻钢骨架的设计代号及对应尺寸对照表

构件种类	轻木骨架		轻钢骨架			
年 代	至 今		2000 年前	2000 年后		
单位制	英制	米制尺寸/mm	英制尺寸/in	英制代号	米制代号	(宽度×高度×设计厚度)/mm
设计代号及尺寸对照	2×4	51×102	2×4×33	350S162-33	89S41-0.84	41×89×0.88
			2×4×43	350S162-43	89S41-1.09	41×89×1.15
			2×4×54	350S162-54	89S41-1.37	41×89×1.41
			2×4×68	350S162-68	89S41-1.73	41×89×1.81
			2×4×97	350S162-97	89S41-2.46	41×89×2.58
	2×6	51×152	2×6×33	550S162-33	140S41-0.84	41×140×0.88
			2×6×43	550S162-43	140S41-1.09	41×140×1.15
			2×6×54	550S162-54	140S41-1.37	41×140×1.41
			2×6×68	550S162-68	140S41-1.73	41×140×1.81
			2×6×97	550S162-97	140S41-2.46	41×140×2.58
	2×8	51×203	2×8×33 (2)	800S162-33 (2)	203S41-0.84 (2)	41×203×0.88 (2)
			2×8×43	800S162-43	203S41-1.09	41×203×1.15
			2×8×54	800S162-54	203S41-1.37	41×203×1.41
			2×8×68	800S162-68	203S41-1.73	41×203×1.81
			2×8×97	800S162-97	203S41-2.46	41×203×2.58
	2×10	51×254	2×10×43 (2)	1000S162-43 (2)	254S41-1.09 (2)	41×254×1.15 (2)
			2×10×54	1000S162-54	254S41-1.37	41×254×1.41
			2×10×68	1000S162-68	254S41-1.73	41×254×1.81
			2×10×97	1000S162-97	254S41-2.46	41×254×2.58
	2×12	51×305	2×12×43 (2)	1200S162-43 (2)	305S41-1.09 (2)	41×305×1.15 (2)
			2×12×54 (2)	1200S162-54 (2)	305S41-1.37 (2)	41×305×1.41 (2)
			2×12×68	1200S162-68	305S41-1.73	41×305×1.81
			2×12×97	1200S162-97	305S41-2.46	41×305×2.58

表 7-2 外墙上全高结构覆盖物的最小百分数 (1997 年)

墙条件	屋顶斜度	风速/(km/h), 位向			
		113 C 或 145 A/B 或地震区域 I~VIII		直至 145 C 或 161 A/B	
		端墙	侧墙	端墙	侧墙
一层或二层的第二层	3:12	30%	30%	30%	30%
	6:12	30%	30%	40%	30%
	9:12	45%	30%	75%	50%
	12:12	60%	40%	100%	70%
二层的第二层	3:12	50%	35%	80%	55%
	6:12	55%	40%	90%	60%
	9:12	75%	50%	按设计要求	
	12:12	95%	65%		

- 9:12 (75%) 减去 1:12 (6.66%) 表示端墙需要覆盖 68.3%。
- 因而, 宽度为 8.5m 的住宅需要覆盖 68.3%, 相当于 5.8m。圆整后的长度值要与夹板尺寸吻合, 即 6m 长度, 相当于 5 个 1.2m 长度的板。
- 在“结构覆盖”部分要求, 每个角落最小要用一个 1.2m 宽度的板。

#### 第一层装饰外墙:

- 9:12 (50%) 减去 6:12 (40%) 除以 3 等于增量 3.33%; 即  $(50\% - 40\%) / 3 = 3.33\%$

9:12 减去 8:12 (设计住宅斜度) 等于 3.33% 增量。

- 9:12 (50%) 减去 1:12 (3.33%) 表示端墙需要覆盖 46.6%。
- 因而, 长度为 12m 的住宅需要覆盖 46.6%, 相当于 5.59m, 圆整后的长度值要与夹板尺寸吻合, 即 6m 长度。这相当于 5 个 1.2m 宽度的板长。
- 在“结构覆盖”部分要求, 每个角落最小要用一个 1.2m 宽度的板。

#### 第二层端墙:

应用上述方法到该例建筑的第二层, 可获得以下结果:

- 8.5m 乘以 40%, 得出 3.4m 的长度需要全高覆盖。圆整后的长度值要与夹板尺寸吻合, 即 3.6m 长度。这相当于 3 个 1.2m 宽度的板长。
- (类似第一层计算, 40% 是在 45% 到 30% 之间用插入法得出。)

#### 第二层装饰外墙:

- 12m 乘以 30%, 得出 3.6m 的长度需要高覆盖, 不需要圆整, 相当于 3 个 1.2m 宽度的板长。
- 在任何情况下都不能调整全高覆盖的长度。

获得设计结果如表 7-3 所示, 实际能力大大大于按建筑荷载作特殊分析得到的数据, 因此数据是非常保守的。

2000 年后全高覆盖设计要求为表 7-4。已经不分端墙与侧墙了, 数据也降低了很多。按表 7-4 计算得出的数据如表 7-5 所示 (计算过程详见第四章), 实际能力仍然大于按建筑荷载作特殊分析得到的数据, 因此数据仍是较为保守的。但是, 与 1997 年设计规范要求相比, 建筑材料却大大节省了。

表 7-3 按 1997 年设计规范要求计算得出的数据

		表 7-2 的百分数 (%)	墙长 $L/m$	全高覆盖物要求的长度 (%) $\times L$ /m	实际能力 $L \times (\%) \times 5308$ /N	要求能力 (根据建筑荷载的特殊分析) /N
上层	端墙	40 %	8.5	3.4 (取整为 3.6)	18047 (19109)	12526
	侧墙	30 %	12	3.6	19109	7900
下层	端墙	68.3%	8.5	5.8 (取整为 6)	30786 (31848)	24247
	侧墙	46.6%	12	5.59 (取整为 6)	29673 (31848)	12460

表 7-4 外墙上全高结构覆盖物的最小百分数 (2000 年)

墙支撑	屋顶斜度	基本风速 (km/h), 位向				
		113 A/B	129 A/B	<145 A/B		
				113C	129C	<145C
只有屋顶和天花 (一层或二层的第二层)	3:12	8	9	12	16	20
	6:12	12	15	20	26	35
	9:12	21	25	30	50	58
	12:12	30	35	40	66	75
一层, 屋顶和天花 (二层的第二层)	3:12	24	30	35	50	66
	6:12	25	30	40	58	74
	9:12	35	40	55	74	91
	12:12	40	50	65	100	115
墙支撑	地震裂度 I~VI		地震裂度 VII		地震裂度 VIII	
只有屋顶和天花, 一层, 屋顶和天花	6		6		19	
	13		13		40	

表 7-5 按 2000 年设计规范要求计算得出的数据

		表 7-4 的百分 数 (%)	墙长 L /m	全高覆盖物 要求的长度 (%) × L /m	实际能力 $L \times (\%) \times 5308$ /N	要求能力 (按建筑荷载的 特殊分析) /N
上层	端墙	50	8.5	4.25 (取整为 4.8)	22559 (25478)	12526
	侧墙	50	12	6 (取为 5.8)	31848 (30786)	7900
下层	端墙	26.67	8.5	2.3 (取整为 2.4)	12208 (12739)	24247
	侧墙	26.67	12	3.2 (取整为 3.6)	16986 (19109)	12460



## 附录 1 国际单位制英制转换

下面提供了从美国 (U.S.) 习惯单位转换到国际单位系统 (SI) 的转换关系。

英制转换.....到国际单位制.....需乘以

### 长度

英寸 (in) .....	微米 ( $\mu\text{m}$ ) .....	25, 400
英寸 (in) .....	毫米 (mm) .....	25.4
英寸 (in) .....	厘米 (cm) .....	2.54
英寸 (in) .....	米 (m) .....	0.0254
英尺 (ft) .....	米 (m) .....	0.3048
码 (yd) .....	米 (m) .....	0.9144
英里 (mi) .....	千米 (km) .....	1.6

### 面积

平方英尺 (sq ft) .....	平方米 ( $\text{m}^2$ ) .....	0.0929
平方英寸 (sq in) .....	平方厘米 ( $\text{cm}^2$ ) .....	6.452
平方英寸 (sq in) .....	平方米 ( $\text{m}^2$ ) .....	0.00064516
平方码 (sq yd) .....	平方米 ( $\text{m}^2$ ) .....	0.8391
平方英里 (sq mi) .....	平方千米 ( $\text{km}^2$ ) .....	2.6

### 体积

立方英寸 (cu in) .....	立方厘米 ( $\text{cm}^3$ ) .....	16.387064
立方英寸 (cu in) .....	立方米 ( $\text{m}^3$ ) .....	0.00001639
立方英尺 (cu ft) .....	立方米 ( $\text{m}^3$ ) .....	0.02831685
立方码 (cu yd) .....	立方米 ( $\text{m}^3$ ) .....	0.7645549

### 力

千磅 (1000 lb) .....	牛顿 (N) .....	4, 448.222
磅 (lb) .....	牛顿 (N) .....	4.448222

### 压强或压力

千磅/平方英寸 (ksi) .....	兆帕 (MPa) .....	6.894757
磅/平方英寸 (psi) .....	帕 (Pa) *	6894.757
磅/平方英寸 (psi) .....	兆帕 (MPa) .....	0.00689476

英制转换.....到国际单位制 ..... 需乘以

磅/平方英尺 (psf) .....帕 (Pa) ..... 47.88  
\* 1 帕等于每平方米牛顿。

### 质量

磅 (lb) .....千克 (kg) ..... 0.4535924  
短吨 (= 2000 lb) .....千克 (kg) ..... 907.1848  
格令.....千克 (kg) ..... 0.0000648

### 单位长度质量

每英尺千磅 (klf) .....每米千克 (kg/m) ..... 0.001488  
每英尺磅 (plf) .....每米千克 (kg/m) ..... 1.488

### 力矩

1 英尺·磅 (ft·lb) .....牛顿·米 (N·m) ..... 1.356

### 单位体积质量 (密度)

每立方英尺磅 (pcf) .....每立方米千克 (kg/m<sup>3</sup>) ..... 16.01846  
每立方码磅 (lb/cu yd) .....每立方米千克 (kg/m<sup>3</sup>) ..... 0.5933

### 速度

每小时英里 (mph) .....每小时千米 (km/h) ..... 1.60934  
每小时英里 (mph) .....每秒千米 (km/s) ..... 0.44704

### 温度

华氏温度 (°F) ..... 摄氏温度 (°C)       $^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) / 1.8$   
华氏温度 (°F) ..... 热力学温度 (K)       $\text{K} = (^{\circ}\text{F} + 459.7) / 1.8$

下面的前缀和符号通常是用来命名十进制倍增符号和国际单位约数。

倍增因数.....	前缀 .....	符号 .....
1,000, 000, 000 = 10 <sup>9</sup> .....	giga .....	G .....
1, 000, 000 = 10 <sup>6</sup> .....	mega .....	M .....
1, 000 = 10 <sup>3</sup> .....	kilo .....	k .....
0.01 = 10 <sup>-2</sup> .....	centi .....	c .....
0.001 = 10 <sup>-3</sup> .....	milli .....	m .....
0.000001 = 10 <sup>-6</sup> .....	micro .....	$\mu$ .....
0.000000001 = 10 <sup>-9</sup> .....	nano .....	n .....

## 附录 2 中英文材料力学及冷轧轻钢 骨架住宅用词汇对照

(按英文字母顺序排列)

A	
Angles	角钢
Axial load	轴向荷载
Allowable Shear	允许剪力
Allowable Moment	允许弯矩
Additional moments	附加弯矩, 即第二弯矩 (国内又称双弯矩)
Allowable deflection limit	允许挠度限制
Allowable bending stress	允许弯曲应力

B	
Buckling	失稳
Bending	弯曲
Baseboard	踢脚板
Bend radius	弯曲半径
Bending stress	弯曲应力

C	
Ceiling	天花
C-shape	C-型钢
Centroid	质心
Cross section	横截面
Cold working	冷轧
Cold rolled	冷滚轧
Cold-formed thin-walled structures	冷轧薄壁结构
Compression Flange	受压边缘
Compression members	压杆构件
Closed Cross Sections	封闭横截面
Crippling Strength	临界强度

D	
Dead Load	静荷载
Deflection	挠度, 偏差

Density of steel	钢材密度
Distributed load	均布荷载
Design Thickness	设计厚度
Distortional buckling	扭曲失稳
Doubly - Symmetric Shapes	双对称形状

E	
Euler Curve	欧拉曲线
Element	单元
Endwall	端墙
Elasticity	弹性
Edge stiffener	边缘加强肋
Exposure factor	位向系数
Effective section	有效截面
Elastic section modulus	弹性截面模数
Enclosed area by the walls	壁包围的区域

F	
Floor Trusses	楼层桁架
Factor of safety	安全系数
Flexural buckling	弯曲失稳
Floor Cantilevers	楼层悬臂
Framing of Openings	开口骨架
Finite element analysis (FEA)	有限元分析

G	
Ground snow load	地表雪荷载

H	
Headers	过梁
Hold - down Requirements	锚固要求
Non - Structural Members	非承重构件
Hollow structural sections	空腔结构截面

I	
Interior Trim	内装修

Intersection points 交点

**J**

Joist 托梁  
Joist Bracing 托梁支撑 (拉牢)

**L**

Live load 活荷载  
Lateral load 侧向荷载  
Lateral Buckling Strength 侧向抗弯强度  
Local buckling 局部失稳

**M**

Member 构件  
Multiple Spans 多跨  
Moment of inertia 转动惯量  
Monosymmetry Constant 单对称常数  
Modulus of elasticity 弹性模量  
Minimum uncoated delivered thickness 最小未镀层交货厚度

**N**

Neutral axis 中性轴  
Nominal Section Strength 名义截面强度  
Nonuniform or warping torsion 不均匀 (翘曲) 扭转

**O**

Open Cross Sections 开口横截面  
Overall column buckling 整个柱失稳

**P**

Perimeter 周长  
Plumbing Pipes 上下水管  
Poisson's ratio 泊松比  
Post Buckling Strength 杆件抗弯强度  
Polar radii of gyration 极回转半径

**R**

Relatively slender 相对苗条

**S**

Spacing 间距

Sheet steel 薄钢板

Stiffener 加强肋

Splicing 拼接

Sidewall 侧墙

Shearwall 剪力墙

Single span 单跨

Shear force 剪力

Shear stress 剪应力

Shear center 剪力中心 (等同扭曲中心)

Shear capacity 抗剪能力

Shear constant 剪力常数

Shear modulus 剪切模量

Section modulus 截面模数

Second moment 第二弯矩, 即附加弯矩 (国内  
又称双弯矩)

Stud Bracing 柱支撑

Structural Members 承重构件

Stabilizing or destabilizing 稳定或失稳

Section propertie 截面特性

Simply supported beam 简支梁

St. Venant torsion constant

St. Venant 扭转常数

Stress increase due to cold-forming

冷轧引起的应力增大

**T**

T-sections T 型钢

Total load 全荷载

Torsion center 扭曲中心 (等同剪力中心)

Thermal factor 热力系数

Tension Flange 受拉边缘

Tensile strength 抗拉强度

Torsional Rigidity 扭转刚度

Top fiber stress 最外侧应力

Torsional buckling 扭曲失稳

Torsional flexural constant 扭转弯曲常数

Torsional - flexural buckling 扭曲-弯曲失稳

Thin - walled closed sections 薄壁封闭截面

Torsional stiffness 抗扭刚度

**U**

Ultimate capacity of steel 钢的破坏应力

Uncoated Material Thickness 未镀层材料厚度

**V**

Vertical load

垂直荷载

Virgin yield point

初始屈服点

**W**

Web

腹板

Wall Stud

墙柱

Wind Uplift

风抬起力

Wind Loads

风荷载

Wall Bracing

墙支撑 (拉牢)

Wall thickness

壁厚

Width - thickness ratios

宽厚比

Warping constant 翘曲 (扭曲扭转) 常数, (国内又称扇性抵抗矩)

**Y**

Yielding

屈服

Yield stress

屈服应力



## 参考文献

- 1 Bleich, F. Buckling Strength of Metal Structures, McGraw-Hill Inc., New York, N. Y. 1952
- 2 CISC. Structural Section Tables (SST Electronic Database), Canadian Institute of Steel Construction, Willowdale, Ont. 1997.
- 3 CISC. Handbook of Steel Construction, 7th Edition, 2nd Revised Printing. Canadian Institute of Steel Construction, Willowdale, Ont. 2000.
- 4 CSA. Limit States Design of Steel Structures. CSA Standard S16. 1-94. Canadian Standards Association, Rexdale, Ont. 1994.
- 5 CSA. 2000. Canadian Highway Bridge Design Code. CSA Standard S6-00. Canadian Standards Association, Rexdale, Ont.
- 6 El Darwish, I. A. and Johnston, B. G. Torsion of Structural Shapes. ASCE Journal of the Structural Division, Vol. 91, ST1. 1965.  
*Errata*: ASCE Journal of the Structural Division, Vol. 92, ST1, p. 471. Feb. 1966,
- 7 Ellifritt, D. S. and Lue, D. -M. Design of Crane Runway Beam with Channel Cap. Engineering Journal, AISC, 2nd Quarter. 1998.
- 8 Galambos, T. V. Structural Members and Frames. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, N. J. 1968.
- 9 Kitipornchai, S. and Trahair, N. S. Buckling Properties of Monosymmetric I-Beams. ASCE Journal of the Structural Division, Vol. 106, ST5. 1980.
- 10 Picard, A. and Beaulieu, D. Calcul des charpentes d'acier. Canadian Institute of Steel Construction, Willowdale, Ont. 1991.
- 11 Salmon, C. G. and Johnson, J. E. Steel Structures, Design and Behavior, 2nd Edition. Harper & Row, Publishers. New York, N. Y. 1980.
- 12 Seaburg, P. A. and Carter, C. J. Torsional Analysis of Structural Steel Members. American Institute of Steel Construction, Chicago, Ill. 1997.
- 13 SSRC. Guide to Stability Design Criteria for Metal Structures, 5th Edition. Edited by T. V. Galambos, Structural Stability Research Council, John Wiley & Sons, New York, N. Y. 1998.
- 14 Stelco. Hollow Structural Sections-Sizes and Section Properties, 6th Edition. Stelco Inc., Hamilton, Ont. 1981.
- 15 Specification For The Design Of Cold Formed Steel Structural Members (August 19, 1986 Edition with December 11, 1989 Addendum). American Iron and Steel Institute (AISI), Washington, DC. 1989
- 16 Minimum Design Load for Buildings and Other Structures (ASCE 7-93). American Society of Civil Engineers, New York, NY. 1993
- 17 ASTM C 645-96a Standard Specification for Nonstructural Steel Framing Members, American Society for Testing and Materials (ASTM), West Conshohocken, PA. 1996
- 18 LaBoube, R. (1996), Design Guide For Cold-Formed Steel Beams With Web Perforations. University of Missouri-Rolla, Rolla, MO. November 1996
- 19 Structural Performance Requirements For Domestic Steel Framing, Australian Institute of Steel Construction (AISC). Milsons Point, Australia. 1991
- 20 WJE Report Number 73345, Report of Laboratory Tests and Analytical Studies of Structural Characteristics of Cold-Formed Steel-Joists Floor Systems, Wiss, Janney, Elstner Associates, Inc. San Francisco, California.

December 1977

- 21 Kraus, C. and Murray, T. (1997), Floor Vibration Criterion For Cold-Formed C-Shaped Supported Residential Floor Systems; Report No. CE/VPI-ST 97/04, Virginia Tech, Blacksburg, VA, February 1997
- 22 AISI Publication RG-9518, Design Guide For Cold-Formed Steel Trusses, American Iron and Steel Institute (AISI), Washington, DC. December 1995
- 23 NAHB Research Center Combined Axial and Bending Load Tests of Fully-Sheathed Cold-Formed Steel Wall Assemblies, Prepared for the US Department of Housing and Urban Development, The American Iron and Steel Institute, and the National Association of Home Builders, by the NAHB Research Center, Inc., Upper Marlboro, MD. July 1997
- 24 Serrette, Reynaud, et al., "Shear Wall Values for Light Weight Steel framing," Prepared for the American Iron and Steel Institute, Washington, DC. January 1996
- 25 ASTM E 564 Standard Method of Static Load Test for Shear Resistance of Framed Walls for Buildings. American Society for Testing and Materials (ASTM), West Conshohocken, PA. 1995
- 26 NAHB Research Center Monotonic Tests of Cold-Formed Steel Shear Walls with Openings. Prepared for the US Department of Housing and Urban Development, the American Iron and Steel Institute, and the National Association of Home Builders, by the NAHB Research Center, Inc., Upper Marlboro, MD. July 1997
- 27 ASTM C 955-96a Standard Specification for Load-Bearing (Transverse and Axial) Steel Studs, Runners (Tracks), and Bracing or Bridging for Screw Application of Gypsum Board and Metal Plaster Bases, American Society for Testing and Materials (ASTM), West Conshohocken, PA. 1996
- 28 ENV 1993-1-3. 1996. Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1. 3: General rules. Supplementary rules for cold formed thin gauge members and sheeting. European Committee for Standardisation CEN. Brussels.
- 29 ENV 1993-1-1. 1992. Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1. 1: General rules and rules for buildings. European Committee for Standardisation CEN. Brussels.
- 30 Helsinki University of Technology Laboratory of Steel Structures Publications 15, Seminar on Steel Structures: DESIGN OF COLD-FORMED STEEL STRUCTURES
- 31 丁成章编著. 低层轻钢骨架住宅设计、制造与装配. 北京: 机械工业出版社, 2002
- 32 Tom F. PETERS. 营造文化与技术思维. 陈枢译. 建筑与设计, 2001 (3): 65~79

