

■普通高等教育“九五”部级重点教材

■获教育部全国普通高等学校优秀教材二等奖

丁玉兰 编著



本书配有光盘

人机工程学 (第4版)

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

面向 21 世纪高等院校规划教材

人机工程学

(第 4 版)

丁玉兰 编著

普通高等教育“九五”部级重点教材
获教育部全国普通高等学校优秀教材二等奖

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



内 容 简 介

本书为全国高等工业院校工业设计专业统编教材，是一部全面介绍人机工程学基本原理、设计理念及应用方法的教科书。主要包括：人机工程学概论、人体测量与数据应用、人体感知与信息处理、人的心理与行为特征、人体生物力学与施力特征、人机的信息界面设计、作业台椅与工具设计、作业岗位与空间设计、人与环境的界面设计、人的可靠性与安全设计、人机系统总体设计、人机工程发展新趋势。

本书以 1991 年出版的《人机工程学》为基础，经过 3 次修订，更新和充实了许多本学科的最新成果和发展动向。本书除作为工业设计和工业工程专业必修课教材外，也可作为其他相关专业的教材或教学参考书，还可作为相关专业研究生、人机工程学方面的研究人员和工程技术人员的参考书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

人机工程学 / 丁玉兰编著. — 4 版. — 北京: 北京理工大学出版社, 2011. 4

ISBN 978 - 7 - 5640 - 4341 - 4

I. ①人… II. ①丁… III. ①人-机系统 IV. ①TB18

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 036255 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 保定市中画美凯印刷有限公司

开 本 / 889 毫米 × 1194 毫米 1/16

印 张 / 15

字 数 / 340 千字

版 次 / 2011 年 4 月第 4 版 2011 年 4 月第 23 次印刷

印 数 / 143501 ~ 151500 册

定 价 / 36.00 元

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题，本社负责调换

序

人机工程学在国内是一门尚处于发展中的新兴学科，该学科的显著特点是，在认真研究人、机、环境三要素自身特性的基础上，不单纯着眼于单一要素的优化与否，而是将使用“机”的人、人所设计的“机”以及人与机所共处的“环境”作为一个“人-机-环境”系统来研究，其目标就是科学地利用三要素之间的相互作用、相互依存的有机联系来寻求系统的优化。

基于该学科的特点，其理论和方法可为设计中考考虑“人的因素”提供人体尺度数据；可为设计中“机的功能”合理性提供科学依据；可为设计中考考虑“环境因素”提供设计准则；可为“人-机-环境”系统设计提供整体思路；可为贯彻“以人为核心”的设计思想提供可行方法。因而工业与工程设计便成为该学科应用的重要领域之一。目前，以人为核心的设计思想已为工业与工程设计领域重视，并要求将该学科理论与方法贯穿于设计的全过程，以逐步将工业和工程设计水平提升到人们所追求的高度。

为适应设计类专业课程设置的需要，1991年本书作者主编了国内该学科第一本统编教材——《人机工程学》，其出版填补了国内该学科教材的空白；2000年本书作者主编的《人机工程学》（修订版）是普通高等教育“九五”部级重点教材，并获2002年教育部“普通高等学校优秀教材二等奖”、上海市汽车工业教育基金会“十年重大成果奖”等奖项；2005年再次修订的《人机工程学》（第3版）增加了多媒体教学课件，大大增强了教材的实用性，出版后累计印数已近9万册。在此基础上，再次修订的《人机工程学》（第4版）对其内容做了较多的充实与更新，特别是增加了该学科发展新趋势等学科前沿方面的内容，充分体现了教材的先进性和前瞻性。无疑，《人机工程学》（第4版）的出版，为高等院校相关的设计类专业提供了一本优秀的教材和有益的参考书。

中国工程院院士

钟秉书

新平船

PDG

第4版前言

本书系1991年出版的普通高等工科教育机电类规划教材《人机工程学》的第4版。1991年出版的《人机工程学》是工业设计专业“七五”规划的统编教材，也是人机工程学学科的第一本全国统编教材；2000年出版的《人机工程学》（修订版）被列为普通高等教育“九五”部级重点教材，并于2002年获教育部“普通高等学校优秀教材二等奖”；2005年出版的《人机工程学》（第3版）为了适应教学和市场需求，除充实了新的内容之外，还增配了完整的多媒体课件。截至2010年9月，本教材的前3版共印刷了22次，累计印数达143 500册。从本教材的销售数量和出版社获得的用户反馈信息表明，本教材市场需求较大。为此，笔者与出版社共商决定，编写并出版《人机工程学》（第4版）。

人机工程学作为20世纪80年代左右开始在国内发展的一门新兴的交叉学科，随着现代社会经济和科学技术的快速发展，其发展更是超出人们的预期。科学发展观要求建立和谐社会，这必然要涉及人与人、人与物以及人与自然的和谐。显然，将人机工程学的研究领域拓宽了，将研究人员的视野扩大了，将本学科交叉的范围延伸了，时代对教材的要求也更高了，这是编写并出版《人机工程学》（第4版）的必要性。

从人机工程学在国内逐步兴起时，笔者便致力于本学科的教学和科研工作，至今从未间断过，30余年的实践，不断积累教学经验、科研成果以及参考资料，这是编写《人机工程学》（第4版）具备的可能性。

编写《人机工程学》（第4版）的基本思路是：首先，从授课教师的角度出发，充分考虑使用教材的延续性；其次，从广大读者的角度出发，尽力考虑本书内容的先进性；最后，从编者对本书要求的角度出发，始终保持教材特有的风格。由此形成的《人机工程学》（第4版）的特点是：保持了前3版教材的结构体系；反映了本学科的新成果和新动向；力求叙述简练、插图美观以及课件的实用性。

全书由同济大学人机与环境工程研究所丁玉兰编著；宓为建、白胜勇、刘岩、张成宝、叶武平、邵灵敏、谢佳音、石磊、王向军、谢硕、赵朝义、刘园参与了相关资料的收集和整理工作。

本教材的第1版、修订版、第3版以及第4版均由北京理工大学出版社出版，在多次的出版和修订过程中，得到出版社有关领导和责任编辑的大力支持和帮助；另外，在编写过程中，参阅了大量的文献资料，在主要参考文献中无法一一列出，在此一并表示谢意。

限于编者水平有限，书中不妥和错误之处在所难免，诚请广大读者批评指教。

丁玉兰

2010年10月于同济园

第3版前言

本书系普通高等工科教育机电类规划教材《人机工程学》的第三版。其第一版是机械工程类工业设计教学指导委员会组织的“七五”规划统编教材，于1991年8月出版；其修订版经工业设计教学指导委员会推荐，又经机械工程一级学科教学指导委员会专家认定，列为普通高等教育“九五”部级重点教材，于2000年2月出版。该修订版于2002年10月获教育部“普通高等学校优秀教材二等奖”；于2003年12月获上海汽车工业教育基金会“十年重大成果奖”等奖项。

人机工程学在国内是一门尚处于发展中的新兴学科，特别是在本书修订版出版后的五年中，由于当代科学技术的突飞猛进，国内经济、教育的快速发展，推动了人机工程学的不断发展，使人们在实践中，逐渐深化了对本学科的认识，致使本学科“以人为本”的核心思想正在向更广泛的领域渗透。为此，在教育方面，设置人机工程学课程的院校和专业快速增加，相应对该课程教材的要求也日益提高。基于学科发展的这一特点，既有必要，也有可能对本书的修订版内容进行充实和更新，由此促成了第三版的出版。

人机工程学教材第三版的编写，仍保持了修订版的结构体系和编写特色，但在具体内容上做了较多的充实和更新，特别是对人机工程学学科的新技术和发展新趋势做了介绍，充分反映教材的前瞻性。

本书内容仍为12章，第1章至第4章为学科基础理论；第5章至第10章为学科设计原理与方法；第11章、第12章为学科综合应用与发展动态。显然，全书的内容和编排充分体现了教材的系统性、实用性和先进性。

通过编著者多年对本课程教学反馈信息的收集和分析，为适应现代多媒体教学的需要，既为方便教师授课，也为方便学生查阅有关资料，在人机工程学教材第三版中，提供了相应配套的光盘。

全书由同济大学人机与环境工程研究所丁玉兰编著；在编写中，宓为建、白胜喜、邵英俊、石磊、邵灵敏、谢佳音、白佳璧、张娣、刘园参与了相关资料的收集和整理工作。

本书的第一版、修订版以及第三版均由北京理工大学出版社出版，在几次出版和修订过程中，得到出版社的大力支持和帮助；另外，在编写过程中，作者参阅了大量的文献资料，在参考文献中无法一一列出，在此一并表示谢意。

限于编著者水平有限，书中不妥和错误之处在所难免，诚请广大读者批评指正。

丁玉兰

2004年7月于同济园

再版前言

本书是 1991 年 8 月出版的高等学校教材《人机工程学》的修订版。其第一版是工业设计专业“七五”规划的统编教材，从第一版的编写到修订版的出版，前后历经近十年，其间已进行过五次印刷，经过 9 年的反复使用。仅从时间上来看，第一版教材的修订已稍滞后于教学要求。

20 世纪 80 年代末，人机工程学在国内尚属起步不久的新兴交叉学科。第一版《人机工程学》作为该学科的第一本全国统编教材，尽管在编写时力求反映该学科的研究成果，但因当时国内有关数据、标准尚少，加之缺少长时间教学实践，故在内容上有所欠缺。重新审视第一版教材内容，已不能反映该学科日益发展的水平，更不能满足日渐提高的教学要求。为此，有必要对第一版教材内容进行更新和充实。

在第一版教材出版后的九年中，国内人机工程学学科发展迅速，在理论、应用、规范、标准等方面成果丰硕。特别是在标准方面，已从当年的 10 余项增加到 40 余项；同时在教学方面，开设此课程的院校和专业迅速增加，使用该教材的反馈信息不断增多，累积了许多教学经验和资料。因而有可能对第一版教材内容进行修订与充实。

经工业设计教学指导委员会专家推荐，机械工程学科教学指导委员会专家认定，将修订版《人机工程学》列为普通高等教育“九五”部级重点教材，这为第一版《人机工程学》的修订提供了极好的机会，促成了修订版《人机工程学》教材的早日出版。

本书的编写基本上保持了第一版的体系和特色，但在具体内容上作了较大的更新和充实，主要是对国内的人机工程学新标准作了较多的介绍，将许多引自国外的数据更新成国内数据；其次是对人机工程学在现代设计中的应用作了补充；最后还增加了应用范例分析，以帮助读者应用人机工程学理论和方法，去解决工业设计中的具体问题。此外，为便于不同层次和不同专业教学需要，方便教师选教和学生选学，在全书分量上略有增加。

本书内容共分十二章，第一至三章为基础理论；第四至十一章为设计原理与方法；第十二章为应用范例分析。全书内容和编排充分体现了先进性、系统性和实用性。

本书由同济大学丁玉兰主编；书稿的第一、二、三、六、七、八、九、十二章由丁玉兰撰写；第四、五章由重庆大学郭钢撰写；第十、十一章由湖南大学赵江洪撰写。因本书第一版编者沈文琪一直在国外工作，无条件参加修订，由工业设计教学指导委员会决定，沈文琪原撰写的部分由丁玉兰负责修订，望沈文琪同志谅解。

本书的第一版和修订版均由北京理工大学出版社出版，在两次出版过程中，得到出版社的大力支持和帮助，在此表示感谢。

限于编者水平，书中不妥和错误之处仍在所难免，诚请广大读者批评指教。

编 者

1999 年 8 月

出版说明

工业设计是在人类社会文明高度发展过程中，伴随着大工业生产的技术、艺术和经济相结合的产物。

工业设计从威廉·莫里斯发起的“工艺美术运动”起，经过包豪斯的设计革命到现在，已有百余年的历史。世界各先进工业国家，由于普遍重视工业设计，因此极大地推动了工业和经济的发展与社会生活水平的提高。尤其是近几十年来，工业设计已远远超过工业生产活动的范围，成为一种文化形式。它不仅在市场竞争中起决定性作用，而且对人类社会生活的各方面产生了巨大的影响。工业设计正在解决人类社会现实的与未来的问题，正在创造、引导人类健康的工作与生活，并直接参与重大社会决策与变革。

工业设计的方法论，包括有三个基本问题：技术与艺术的统一；功能与形式的统一；微观与宏观的统一。在设计观念上，传统的“形式追随功能”已由于人的需求日益受到重视，并且由于在设计中能够运用多学科的知识，功能的内涵已经大为扩展，设计更具生命力，更加多样化，日益体现了“形式追随需求”的直接反映生活意义的倾向。人性是人的社会性和自然性的统一，人类在创造“人—社会—自然”的和谐发展，创造了崭新的生活方式和生存空间。所有这些，都体现了以“人为核心”的设计价值观。

人才是国力，设计人才创造了设计世界；飞速发展的经济，必然伴有工业设计教育的长足进步。

《工业造型设计》专业教学指导小组成立于1987年10月。专业教学指导小组的任务之一是：研究专业课教材建设中的方针政策问题，协助主管部门进行教材评优和教材使用评介工作；制订教材建设规划，组织编写、评选教材。根据这一任务，教学指导小组制定了“七五”教材出版规划。在各院校共同努力下，编写了以下教材：“产品造型材料与工艺”（主编程能林）；“人机工程学”（主编丁玉兰）；“视觉传达设计”（主编曾宪楷）；“工业设计史”（何人可编）；“造型基础”（主编张福昌）；“产品造型设计”（主编高敏）；“工业设计方法学”（主编简召全）。

这套教材是以工科院校的工业设计专业为主要对象编写的，也考虑了艺术类招生学校的教学要求，并由有这方面教学经验的教师担任主编，因此基本上能满足我国现今工业设计教育的要求。本书也可供企业中从事设计工作的人员学习参考。

在本书的编写过程中，我们取长补短、互相交流、团结合作，每位编者都付出了极大的艰辛，按照推荐教材的要求努力在辩证唯物主义和

历史唯物主义思想的指导下，认真贯彻理论与实践相结合的方针，努力提高教材的思想性、科学性、启发性、先进性和适用性，力求反映工业设计的先进水平，提高教材的质量。

本教材的出版，解决了工业设计教育中急需教材的有无问题。在“八五”教材规划中，我们还要继续努力，以求进一步扩大教材的品种和提高教材的质量。

最后，应当感谢机电部教材编辑室和北京理工大学出版社，是在他们的帮助和支持下，这套教材才得以和广大读者见面。

高等工业学校《工业造型设计》
专业教学指导小组组长 简召全
1991年4月



前 言

《人机工程学》一书系全国高等工业院校工业造型设计专业教学指导组组织编写的统编教材之一。本书是根据 1987 年 10 月全国高等工业院校工业造型设计专业教学指导组制订的教学计划和教学大纲,以及 1988 年 6 月该专业教学指导组审定的“人机工程学编写大纲”编写的。初稿完成后,于 1989 年 11 月在该专业的教材审稿会上通过审稿。

本书按高等工业院校工业造型设计专业本科生对人机工程学课程的要求,以 54~72 学时专业必修课的内容,来控制全书内容的深度、广度和字数。编者力求在本教材中提供必要的人机工程学方面的设计资料和数据,又本着少而精的原则来处理全书的内容。编写过程中,在汇集各有关院校的本课程教学资料和研究成果的基础上,又广泛收集和分析了国内外较新的文献资料,特别是对我国近年来在人机工程学方面的研究成果作了充分的反映。例如,我国 1989 年 7 月开始实施的 GB 10000—1988《中国成年人人体尺寸》标准中有关人体测量数据,已选入本书。此外,本书还反映了作者自己的研究成果。

本书作为教学用书,不可能阐述人机工程学的全部内容。但作为人机工程学学科的第一本全国统编教材,仍具有一定的编写特色,本书是以人机工程学所涉及的人、机、环境三要素的核心问题为主,又考虑到工业造型设计专业本科生应掌握的该学科基础知识的特殊需要,来选择、安排全书的内容和章节。全书共十章,包括两部分内容,前三章为人机工程学理论基础,后七章为工业造型设计中的有关人机工程学设计原理和设计方法。其主要内容为:人机工程学概论,人体测量与人体模型,人的感知与反应特征,显示装置设计,操纵装置设计,作业空间与用具设计,作业环境的分析与评价,作业疲劳与安全设计,人机系统设计以及典型的人机系统设计。因此,本书既可作为高等工业院校工业设计专业的必修课教材,也可作为其他产品设计类专业必修课或选修课的教学参考书,还可供人机工程学方面的研究人员和有关的工程技术人员参考。

本书由同济大学丁玉兰主编,由上海交通大学朱崇贤主审。参加审稿的还有北京理工大学简召全、鄢必让,湖南大学程能林,重庆大学高敏,湖北工学院曾宪楷,无锡轻工业学院张福昌,哈尔滨科技大学刘长英、任家富,云南工学院胡志勇,武汉工业大学陈汗青,机械工业出版社王世刚,北京理工大学出版社吴家楠。专家们对书稿提出许多宝贵的意见和建议;特别是主审人对书稿全部内容进行了逐字逐句、认真细致的审阅,并提出许多具体的修改意见。编者在此向他们表示真诚的感谢。此外,哈尔滨科技大学金洪彬参加了本书大纲的拟订工作,也在此向他表示谢意。

书稿的第一、二、三、七章由同济大学丁玉兰编写;第四、五章由重庆大学郭钢编写;第六、八章由北京理工大学沈文琪编写;第九、十章由湖南大学赵江洪编写。由于编者水平有限,书中难免有错误和欠妥之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

1989 年 11 月

目 录

第 1 章	人机工程学概论	1
1.1	人机工程学的命名及定义	1
1.2	人机工程学的起源与发展	2
1.3	人机工程学的研究内容与方法	5
1.4	人机工程学的体系及应用	8
1.5	人机工程学与工业设计	11
第 2 章	人体测量与数据应用	14
2.1	人体测量的基本知识	14
2.2	人体测量中的主要统计函数	19
2.3	常用的人体测量数据	21
2.4	人体测量数据的应用	28
第 3 章	人体感知与信息处理	36
3.1	人在系统中的功能	36
3.2	视觉机能及其特征	38
3.3	听觉机能及其特征	43
3.4	其他感觉机能及其特征	45
3.5	神经系统机能及其特征	47
3.6	人的信息处理系统	49
第 4 章	人的心理与行为特征	55
4.1	心理现象与行为构成	55
4.2	感觉与知觉特征	58
4.3	注意与记忆特征	63
4.4	想象与思维特征	66
4.5	创造性心理特征	69
第 5 章	人体生物力学与施力特征	73
5.1	人体运动与骨杠杆	73
5.2	人体生物力学模型	74
5.3	人体的施力特征	77
5.4	合理施力的设计思路	82
第 6 章	人机的信息界面设计	85
6.1	人机信息界面的形成	85
6.2	视觉信息显示设计	86

6.3	听觉信息传示设计	96
6.4	操纵装置设计	100
6.5	操纵与显示相合性	107
第7章	工作台椅与工具设计	110
7.1	控制台设计	110
7.2	办公台设计	114
7.3	工作座椅设计主要依据	116
7.4	工作座椅设计	119
7.5	手握式工具设计	124
第8章	作业岗位与空间设计	128
8.1	作业岗位的选择	128
8.2	手工作业岗位设计	129
8.3	视觉信息作业岗位设计	132
8.4	作业空间的人体尺度	135
8.5	作业空间的布置	140
第9章	人与环境的界面设计	142
9.1	人体对环境的适应程度	142
9.2	人与热环境	143
9.3	人与光环境	149
9.4	人与声环境	159
9.5	人与振动环境	163
9.6	人与毒物环境	167
第10章	人的可靠性与安全设计	170
10.1	人的可靠性	170
10.2	人的失误	172
10.3	人的失误事故模型	174
10.4	安全装置设计	176
10.5	防护装置设计	177
10.6	安全信息设计	181
第11章	人机系统总体设计	186
11.1	总体设计的目标	186
11.2	总体设计的原则	188
11.3	总体设计的程序	191
11.4	总体设计的要点	193
11.5	总体设计的评价	196
11.6	无障碍化人机系统设计示例	199

第 12 章	人机工程发展新趋势	205
12.1	非物质化人机工程	205
12.2	网络化人机工程	208
12.3	虚拟化人机工程	211
12.4	数字化人机工程	215
12.5	智能化人机系统	218
主要参考文献		223



第1章 人机工程学概论

1.1 人机工程学的命名及定义

人机工程学 (Man-Machine Engineering) 是研究人、机械及其工作环境之间相互作用的学科。该学科在其自身的发展过程中, 逐步打破了各学科之间的界限, 并有机地融合了各相关学科的理论, 不断地完善自身的基本概念、理论体系、研究方法以及技术标准和规范, 从而形成了一门研究和应用范围都极为广泛的综合性边缘学科。因此, 它具有现代各门新兴边缘学科共有的特点, 如学科命名多样化、学科定义不统一、学科边界模糊、学科内容综合性强、学科应用范围广泛等。

1.1.1 学科的命名

由于该学科研究和应用的范围极其广泛, 它所涉及的各学科、各领域的专家、学者都试图从自身的角度来给本学科命名和下定义, 因而世界各国对本学科的命名不尽相同, 即使同一个国家对本学科名称的提法也很不统一, 甚至有很大差别。

例如, 该学科在美国称为 “Human Engineering” (人类工程学) 或 “Human Factors Engineering” (人的因素工程学); 西欧国家多称为 “Ergonomics” (人类工效学); 而其他国家大多引用西欧的名称。

“Ergonomics” 一词是由希腊词根 “ergon” (即工作、劳动) 和 “nomos” (即规律、规则) 复合而成, 其本义为人的劳动规律。由于该词能够较全面地反映本学科的本质, 又源自希腊文, 便于各国语言翻译上的统一, 而且词义保持中立性, 不显露它对各组成学科的亲密和间疏, 因此目前较多的国家采用 “Ergonomics” 一词作为该学科命名。例如, 原苏联和日本都引用该词的音译, 原苏联译为 “Эргономика”, 日本译为 “マーコノミツケス”, 称为人间工学。

人机工程学在我国起步较晚, 目前该学科在国内的名称尚未统一, 除普遍采用人机工程学外, 常见的名称还有: 人-机-环境系统工程、人体工程学、人类工效学、人类工程学、工程学心理学、宜人学、人的因素等。不同的名称, 其研究重点略有差别。

由于本书力图从研究人-机关系的角度为工业设计者提供有关这一边缘学科的基础知识, 因而本书便采用人机工程学这一学科名称。但是, 任何一个学科的名称和定义都不是一成不变的, 特别是新兴边缘学科, 随着学科不断发展, 研究内容的不断扩大, 其名称和定义还将发生变化。

1.1.2 学科的定义

与该学科的命名一样, 对本学科所下的定义也不统一, 而且随着学科的发展, 其定义也在不断发生变化。

美国人机工程学专家 C·C·伍德 (Charles C. Wood) 对人机工程学所下的定义为: 设备设计必须适合人的各方面因素, 以便在操作上付出最小的代价而求得最高效率。W·B·伍德森 (W. B. Woodson) 则认为: 人机工程学研究

的是人与机器相互关系的合理方案，亦即对人的知觉显示、操作控制、人机系统的设计及其布置和作业系统的组合等进行有效的研究，其目的在于获得最高的效率及作业时感到安全和舒适。著名的美国人机工程学及应用心理学家 A·查帕尼斯（A. Chapanis）说：“人机工程学是在机械设计中，考虑如何使人获得操作简便而又准确的一门学科。”

另外，在不同的研究和应用领域中，带有侧重点和倾向性的定义很多，不一一介绍。

国际人类工效学学会（International Ergonomics Association，简称 IEA）为本学科所下的定义是最有权威、最全面的定义，即人机工程学是研究人在某种工作环境中的解剖学、生理学和心理学等方面的各种因素；研究人和机器及环境的相互作用；研究在工作中、家庭生活中和休假时怎样统一考虑工作效率、人的健康、安全和舒适等问题的学科。

结合国内本学科发展的具体情况，我国 1979 年出版的《辞海》中对人机工程学给出了如下的定义，即人机工程学是一门新兴的边缘学科。它是运用人体测量学、生理学、心理学和生物力学以及工程学等学科的研究方法和手段，综合地进行人体结构、功能、心理以及力学等问题研究的学科。用以设计使操作者能发挥最大效能的机械、仪器和控制装置，并研究控制台上各个仪表的最适位置。

从上述本学科的命名和定义来看，尽管学科名称多样、定义歧异，但是本学科在研究对象、研究方法、理论体系等方面并不存在根本上的区别。这正是人机工程学作为一门独立的学科存在的理由；同时也充分体现了学科边界模糊、学科内容综合性强、涉及面广等特点。

1.2 人机工程学的起源与发展

英国是世界上开展人机工程学研究最早的国家，但本学科的奠基性工作实际上是在美国完成的。所以，人机工程学有“起源于欧洲，形成于美国”之说。本学科的起源可以追溯到 20 世纪初期，作为一门独立的学科，在其形成与发展史中，大致经历了以下三个阶段。

1.2.1 经验人机工程学

20 世纪初，美国学者 F·W·泰罗（Frederick. W. Taylor）在传统管理方法的基础上，首创了新的管理方法和理论，并据此制订了一整套以提高工作效率为目的的操作方法，考虑了人使用的机器、工具、材料及作业环境的标准化问题。例如他曾经研究过铲子的最佳形状、重量，研究过如何减少由于动作不合理而引起的疲劳等。其后，随着生产规模的扩大和科学技术的进步，科学管理的内容不断充实丰富，其中动作时间研究、工作流程与工作方法分析、工具设计、装备布置等，都涉及人和机器、人和环境的关系问题，而且都与如何提高人的工作效率有关，其中有些原则至今对人机工程学研究仍有一定意义。因此，人们认为他的科学管理方法和理论是后来人机工程学发展的奠基石。

从泰罗的科学管理方法和理论的形成到第二次世界大战之前，称为经验人机工程学的发展阶段。这一阶段主要研究内容是：研究每一职业的要求；利用测试来选择工人和安排工作；规划利用人力的最好方法；制订培训方案，使人

力得到最有效的发挥；研究最优良的工作条件；研究最好的管理组织形式；研究工作动机，促进工人和管理者之间的通力合作。

在经验人机工程学发展阶段，研究者大都是心理学家，其中突出的代表是美国哈佛大学心理学教授 H·闵斯特伯格（H. Munsterberg），其代表作是《心理学与工业效率》。他提出了心理学对人在工作中的适应与提高效率的重要性。闵氏把心理学研究工作与泰罗的科学管理方法联系起来，对选择、培训人员与改善工作条件、减轻疲劳等问题曾做过大量的实际工作。由于当时该学科的研究偏重于心理学方面，因而在这一阶段大多称本学科为“应用实验心理学”。学科发展的主要特点是：机械设计的主要着眼点在于力学、电学、热力学等工程技术方面的原理设计上，在人机关系上是以选择和培训操作者为主，使人适应于机器。

经验人机工程学一直延续到第二次世界大战之前，当时，人们所从事的劳动在复杂程度和负荷量上都有了很大变化。因而改革工具、改善劳动条件和提高劳动效率成为最迫切的问题，从而使研究者对经验人机工程学所面临的问题进行科学的研究，并促使经验人机工程学进入科学人机工程学阶段。

1.2.2 科学人机工程学

本学科发展的第二阶段是第二次世界大战期间。在这个阶段中，由于战争的需要，许多国家大力发展效能高、威力大的新式武器和装备。但由于片面注重新式武器和装备的功能研究，而忽视了其中“人的因素”，因而由于操作失误而导致失败的教训屡见不鲜。例如，由于战斗机中座舱及仪表位置设计不当，造成飞行员误读仪表和误用操纵器而导致意外事故；或由于操作复杂、不灵活和不符合人的生理尺寸而造成战斗命中率低等现象经常发生。失败的教训引起决策者和设计者的高度重视。通过分析研究，逐步认识到，在人和武器的关系中，主要的限制因素不是武器而是人，并深深感到“人的因素”在设计中是不能忽视的一个重要条件；同时还认识到，要设计好一个高效能的装备，只有工程技术知识是不够的，还必须有生理学、心理学、人体测量学、生物力学等学科方面的知识。因此，在第二次世界大战期间，首先在军事领域中开展了与设计相关学科的综合研究与应用。例如，为了使所设计的武器能够符合战士的生理特点，武器设计工程师不得不请解剖学家、生理学家和心理学家为设计操纵合理的武器出谋献策，结果收到了良好的效果。军事领域中对“人的因素”的研究和应用，使科学人机工程学应运而生。

科学人机工程学一直延续到 20 世纪 50 年代末。在其发展的后一阶段，由于战争的结束，本学科的综合研究与应用逐渐从军事领域向非军事领域发展，并逐步应用军事领域中的研究成果来解决工业与工程设计中的问题，如飞机、汽车、机械设备、建筑设施以及生活用品等。人们还提出在设计工业机械设备时也应集中运用工程技术人员、医学家、心理学家等相关学科专家的共同智慧。因此，在这一发展阶段中，本学科的研究课题已超出了心理学的研究范畴，使许多生理学家、工程技术专家涉身到该学科中来共同研究，从而使本学科的名称也有所变化，大多称为“工程心理学”。本学科在这一阶段的发展特点是：重视工业与工程设计中“人的因素”，力求使机器适应于人。

1.2.3 现代人机工程学

到了 20 世纪 60 年代，欧美各国进入了大规模的经济发



期,由于科学技术的进步,使人机工程学获得了更多的发展机会。例如,在宇航技术的研究中,提出了人在失重情况下如何操作,在超重情况下人的感觉如何等新问题。又如原子能的利用、电子计算机的应用以及各种自动装置的广泛使用,使人-机关系更趋复杂。同时,在科学领域中,由于控制论、信息论、系统论和人体科学等学科中新理论的建立,在本学科中应用“新三论”来进行人机系统的研究便应运而生。所有这一切,不仅给人机工程学提供了新的理论和新的实验场所,同时也给该学科的研究提出了新的要求和新的课题,从而促使人机工程学进入了系统的研究阶段。从60年代至今,可以称其为现代人机工程学发展阶段。

随着人机工程学所涉及的研究和应用领域的不断扩大,从事本学科研究的专家所涉及的专业和学科也就愈来愈多,主要有解剖学、生理学、心理学、工业卫生学、工业与工程设计、工作研究、建筑与照明工程、管理工程等专业领域。IEA在其会刊中指出,现代人机工程学发展有三个特点:

① 不同于传统人机工程学研究着眼于选择和训练特定的人,使之适应工作要求;现代人机工程学着眼于机械装备的设计,使机器的操作不超出人类能力界限之外。

② 密切与实际应用相结合,通过严密计划设定的广泛实验性研究,尽可能利用所掌握的基本原理,进行具体的机械装备设计。

③ 力求使实验心理学、生理学、功能解剖学等学科的专家与物理学、数学、工程学方面的研究人员共同努力、密切合作。

现代人机工程学的研究方向是:把人-机-环境系统作为一个统一的整体来研究,以创造最适合于人操作的机械设备和作业环境,使人-机-环境系统相协调,从而获得系统的最高综合效能。

由于人机工程学的迅速发展及其在各个领域中的作用愈来愈显著,从而引起各学科专家、学者的关注。1961年正式成立了国际人类工效学学会(IEA),该学术组织为推动各国人机工程学的发展起了重大的作用。IEA自成立至今,已分别在瑞典、德国、英国、法国、荷兰、美国、波兰、日本、中国等国家召开了17次国际性学术会议,交流和探讨不同时期本学科的研究动向和发展趋势,从而有力地推动着本学科不断向纵深发展。

本学科在国内起步虽晚,但发展迅速。新中国成立前仅有少数人从事工程心理学的研究,到20世纪60年代初,也只有在中科院、中国军事科学院等少数单位从事本学科中个别问题的研究,而且其研究范围仅局限于国防和军事领域。但是,这些研究却为我国人机工程学的发展奠定了基础。十年动乱期间,本学科的研究曾一度停滞,直至70年代末才进入较快的发展时期。

随着我国科学技术的发展和对外开放,人们逐渐认识到人机工程学研究对国民经济发展的重要性。目前,该学科的研究和应用已扩展到工农业、交通运输、医疗卫生以及教育系统等国民经济的各个部门,由此也促进了本学科与工程技术和相关学科的交叉渗透,使人机工程学成为国内科坛上一门引人注目的边缘学科。在此情况下,我国已于1989年正式成立了本学科与IEA相应的国家一级学术组织——中国人类工效学学会(Chinese Ergonomics Society,简称CES),其后,CES成为IEA成员,并于2009年8月在北京召开了第17届国际人类工效学学术会议,显然,这是我国人机工程学发展中又一个新的里程碑。

1.3 人机工程学的研究内容与方法

1.3.1 学科的研究内容

人机工程学研究应包括理论和应用两个方面，但当今本学科研究的总趋势还是重于应用。而对于学科研究的主体方向，则由于各国科学和工业基础的不同，侧重点也不相同。例如，美国侧重工程和人际关系；法国侧重劳动生理学；前苏联注重工程心理学；保加利亚偏重人体测量；捷克、印度等则注重劳动卫生学。

虽然各国对本学科研究的侧重点不同，但纵观本学科在各国的发展过程，可以看出确定本学科研究内容有如下的一般规律。总的来说，工业化程度不高的国家往往是由人体测量、环境因素、作业强度和疲劳等方面着手研究，随着这些问题的解决，才转到感官知觉、运动特点、作业姿势等方面的研究，然后，再进一步转到操纵、显示设计、人机系统控制以及人机工程学原理在各种工业与工程设计中应用等方面的研究；最后则进入人机工程学的前沿领域，如人机关系、人与环境关系、人与生态、人的特性模型、人机系统的定量描述、人际关系、直至团体行为、组织行为等方面的研究。

虽然人机工程学的研究内容和应用范围极其广泛，但本学科的根本研究方向却是通过揭示人、机、环境之间相互关系的规律，以达到确保人-机-环境系统总体性能的最优化。因此，从人-机-环境系统角度出发，人机工程学的研究内容可用图1-1加以说明。图中曲线交叉形成七个分支，各分支的研究内容主要是：

- ① 人的特性的研究；
- ② 机器特性的研究；
- ③ 环境特性的研究；
- ④ 人-机关系的研究；
- ⑤ 人-环境关系的研究；
- ⑥ 机-环境关系的研究；
- ⑦ 人-机-环境系统性能的研究。

图1-1所示的研究内容充分表明本学科交叉的特点，涉及内容十分复杂。对工业设计学科而言，也是围绕着人机工程的基本研究方向来确定相关的研究内容。对工业设计师来说，从事本学科研究的主要内容可概括为以下几个方面：

1. 人体特性的研究

主要研究对象是：在工业设计中与人体有关的问题。例如，人体形态特征参数、人的感知特性、人的反应特性以及人在劳动中的心理特征等。研究的目的是解决机械设备、工具、作业场所以及各种用具和用品的设计如何与人的生理、心理特点相适应，从而才有可能为使用者创造安全、舒适、健康、高效的工作条件。

2. 工作场所和信息传递装置的设计

工作场所设计的合理与否，将对人的工作效率产生直接的影响。工作场所设计一般包括：工作空间设计、座位设计、工作台或操纵台设计以及作业场所的总体布置等。这些设计都需要应用人体测量学和生物力学等知识和数据。研

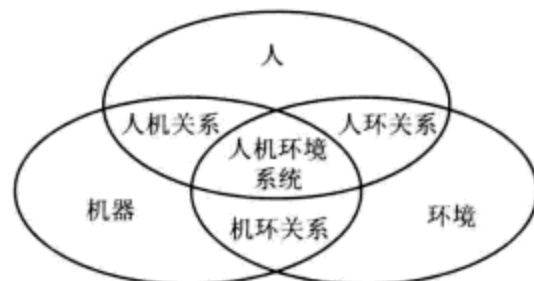


图1-1 人机工程学的研究内容示意图

究作业场所设计的目的是保证物质环境适合于人体的特点，使人以无害于健康的姿势从事劳动，既能高效地完成工作，又感到舒适和不致过早产生疲劳。

人与机器以及环境之间的信息交流分为两个方面：显示器向人传递信息，控制器则接受人发出的信息。显示器研究包括视觉显示器、听觉显示器以及触觉显示器等各种类型显示器的设计，同时还要研究显示器的布置和组合等问题。控制器设计则要研究各种操纵装置的形状、大小、位置以及作用力等在人体解剖学、生物力学和心理学方面的问题，在设计时，还需考虑人的定向动作和习惯动作等。

3. 环境控制与安全保护设计

从广义上说，人机工程学所研究的效率，不仅是指所从事的工作在短期内有效地完成，而且是指在长期内不存在对健康有害的影响，并使事故危险性缩小到最低限度。从环境控制方面应保证照明、微小气候、噪声和振动等常见作业环境条件适合操作人员的要求。

保护操作者免遭“因作业而引起的病痛、疾患、伤害或伤亡”也是设计者的基本任务。因而在设计阶段，安全防护装置就视为机械的一部分，应将防护装置直接接入机器内。此外，还应考虑在使用前操作者的安全培训，研究在使用中操作者的个体防护等。

4. 人机系统的总体设计

人机系统工作效能的高低首先取决于它的总体设计。也就是要在整体上使“机”与人体相适应。人机配合成功的基本原因是两者都有自己的特点，在系统中可以互补彼此的不足，如机器功率大、速度快、不会疲劳等，而人具有智慧、多方面的才能和很强的适应能力。如果注意在分工中取长补短，则两者的结合就会卓有成效。显然，系统基本设计问题是人与机器之间的分工以及人与机器之间如何有效地交流信息等问题。

1.3.2 学科的研究方法

人机工程学的研究广泛采用了人体科学和生物科学等相关学科的研究方法及手段，也采取了系统工程、控制理论、统计学等其他学科的一些研究方法，而且本学科的研究也建立了一些独特的新方法，以探讨人、机、环境要素间复杂的关系问题。这些方法中包括：

1. 观察分析法

为了研究系统中人和机的工作状态，常采用各种各样的观察方法，如工人操作动作的分析、功能分析和工艺流程分析等大都采用观察法。

分析法是在调研、观察等方法获得了一定的资料和数据后采用的一种研究方法。目前，人机工程学研究常采用如下几种分析法：

(1) 瞬间操作分析法 生产过程一般是连续的，人和机械之间的信息传递也是连续的。但要分析这种连续传递的信息很困难，因而只能用间歇性的分析测定法，即采用统计学中的随机取样法，对操作者和机械之间在每一间隔时刻的信息进行测定后，再用统计推理的方法加以整理，从而获得研究人-机-环境系统的有益资料。

(2) 知觉与运动信息分析法 由于外界给人的信息，首先由感知器官传到神经中枢，经大脑处理后，产生反应信号再传递给肢体以对机械进行操作，被操作的机械状态又将信息反馈给操作者，从而形成一种反馈系统。知觉与运

动信息分析法，就是对此反馈系统进行测定分析，然后用信息传递理论来阐明人-机间信息传递的数量关系。

(3) 动作负荷分析法 在规定操作所必需的最小间隔时间的条件下，采用电子计算机技术来分析操作者连续操作的情况，从而可推算操作者工作的负荷程度。另外，对操作者在单位时间内工作负荷进行分析，也可以获得用单位时间的作业负荷率来表示操作者的全工作负荷。

(4) 频率分析法 对人机系统中的机械系统使用频率和操作者的操作动作频率进行测定分析，其结果可以获得作为调整操作人员负荷参数的依据。

(5) 危象分析法 对事故或近似事故的危象进行分析，特别有助于识别容易诱发错误的情况，同时，也能方便地查找出系统中存在的而又需用较复杂的研究方法才能发现的问题。

(6) 相关分析法 在分析方法中，常常要研究两种变量，即自变量和因变量。用相关分析法能够确定两个以上的变量之间是否存在统计关系。利用变量之间的统计关系可以对变量进行描述和预测，或者从中找出合乎规律的东西。例如，对人的身高和体重进行相关分析，便可以用身高参数来描述人的体重。由于统计学的发展和计算机的应用，使相关分析法成为人机工程学研究的一种常用的方法。

荷兰 NOLDUS 公司 Observer 行为观察分析系统是研究人类行为的标准工具，可用来记录分析被研究对象的动作、姿势、运动、位置、表情、情绪、社会交往、人机交互等各种活动；记录被研究对象各种行为发生的时刻、发生的次数和持续的时间，然后进行统计处理，得到分析报告，可以应用于心理学、人因工程、产品可用性测试、人机交互等领域的实验研究。

2. 实测法
是一种借助于仪器设备进行实际测量的方法。例如，对人体静态与动态参数的测量，对人体生理参数的测量或者是对系统参数、作业环境参数的测量等。图 1-2 是用实测法研究座椅体压分布的测量装置。

3. 实验法
它是当实测法受到限制时采用的一种研究方法，一般是在实验室进行，但也可以在作业现场进行。例如，为了获得人对各种不同显示仪表的认读速度和差错率的数据时，一般在实验室进行。如需了解色彩环境对人的心理、生理和工作效率的影响时，由于需要进行长时间和多人次的观测，才能获得比较真实的数据，通常是在作业现场进行实验。图 1-3 是研究驾驶员眼动规律的实验装置。



图 1-2 研究座椅体压分布的测量装置

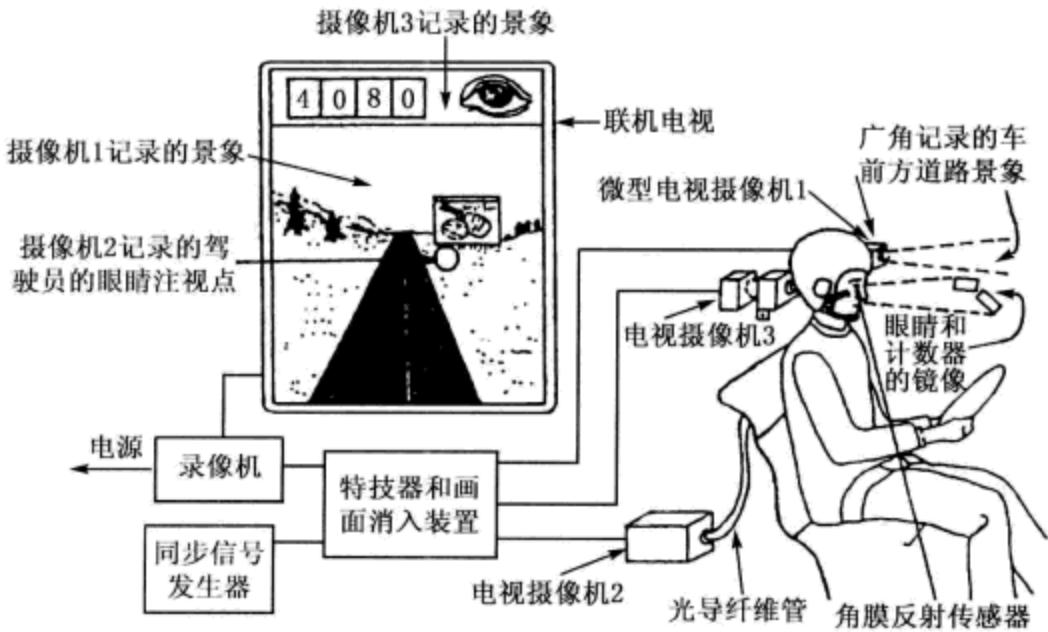


图 1-3 驾驶员眼动规律实验装置

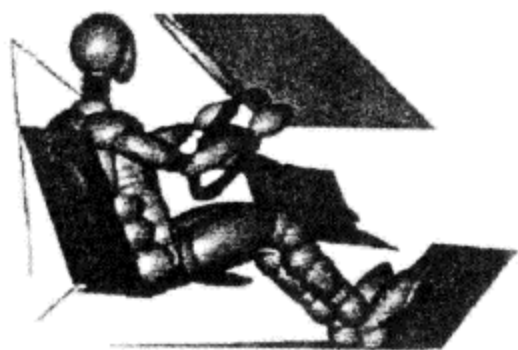


图 1-4 研究车辆碰撞的人机系统的模拟与模型

4. 模拟和模型试验法

由于机器系统一般比较复杂，因而在进行人机系统研究时常采用模拟的方法。模拟方法包括各种技术和装置的模拟，如操作训练模拟器、机械的模型以及各种人体模型等。通过这类模拟方法可以对某些操作系统进行逼真的试验，可以得到从实验室研究外推所需的更符合实际的数据。图 1-4 为应用模拟和模型试验法研究人机系统特性的典型实例。因为模拟器或模型通常比它所模拟的真实系统价格便宜得多，但又可以进行符合实际的研究，所以得到较多的应用。

5. 计算机数值仿真法

由于人机系统中的操作者是具有主观意志的生命体，用传统的物理模拟和模型方法研究人机系统，往往不能完全反映系统中生命体的特征，其结果与实际相比必有一定误差。另外，随着现代人机系统越来越复杂，采用物理模拟和模型方法研究复杂人机系统，不仅成本高、周期长，而且模拟和模型装置一经定型，就很难作修改变动。为此，一些更为理想而有效的方法逐渐被研究创建并得以推广，其中的计算机数值仿真法已成为人机工程学研究的一种现代方法。

数值仿真是在计算机上利用系统的数学模型进行仿真性实验研究。研究者可对尚处于设计阶段的未来系统进行仿真，并就系统中的人、机、环境三要素的功能特点及其相互间的协调性进行分析，从而预知所设计产品的性能，并进行改进设计。应用数值仿真研究，能大大缩短设计周期，并降低成本。图 1-5 是人体动作分析仿真图形输出。

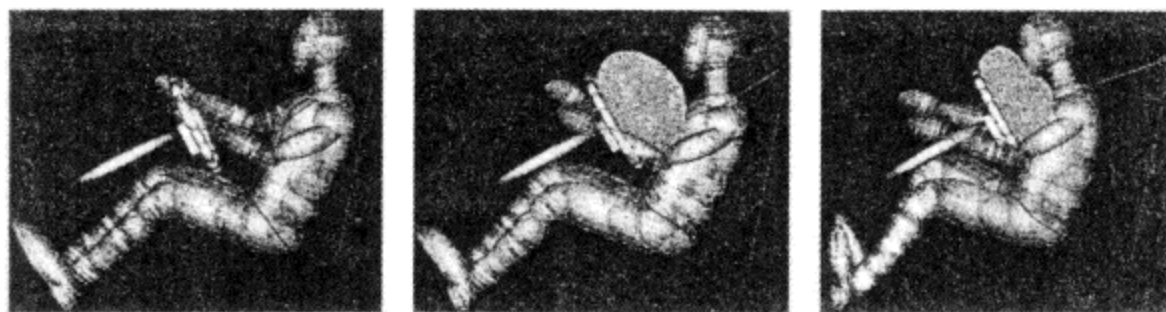


图 1-5 人体动作分析仿真图形输出

1.4 人机工程学的体系及应用

人机工程学虽然是一门综合性的边缘学科，但它有着自身的理论体系，同时又从许多基础学科中吸取了丰富的理论知识和研究手段，使它具有现代交叉学科的特点。

1.4.1 学科的体系

该学科的根本目的是通过揭示人、机、环境三要素之间相互关系的规律，从而确保人-机-环境系统总体性能的最优化。从其研究目的来看，就充分体现了本学科主要是“人体科学”、“技术科学”和“环境科学”之间的有机融合。更确切地说，本学科实际上是人体科学、环境科学不断向工程科学渗透和交叉的产物。它是以人体科学中的人体解剖学、劳动生理学、人体测量学、人体力学和劳动心理学等学科为“一上肢”；以环境科学中的环境保护学、环境医学、环境卫生学、环境心理学和环境监测学等学科为“另一上肢”；而以管

理科学为“一下肢”；以人文科学为“另一下肢”；而以工程科学中的工业设计、工业工程、工程设计、安全工程、系统工程以及管理工程等学科为“躯干”，形象地构成了本学科体系。本学科理论的构成是基于系统论、模型论和优化论，由此建立了本学科的两个重要的核心思想，其一是以人为中心的设计理念；其二是以人为本的管理思想。完整的学科体系用图 1-6 加以描述。

1.4.2 学科的应用

1. 人机工程学在产业部门的应用

人机工程学在不同的产业部门，其应用课题如表 1-1 所示。无论什么产业部门，作为生产手段的工具、机械及设备的设计和运用以及生产场所的环境改善；为减轻作业负担而对作业方式的改善和研究开发；为防止单调劳动而对作业进行合理的安排；为防止人的差错而设计的安全保障系统；为提高产品的操作性能、舒适性及安全性，对整个系统的设计和改善等都是应该开展研究的课题。



图 1-6 人机工程学体系构成

表 1-1 各产业部门人机工程学的应用课题

产业部门 \ 人机工程学的领域	作业空间、姿势、座椅、脚踏作业面	信息显示与操作器	作业方法与作业负担、身心负担、安全	作业环境	作业安排及组织、劳动时间、休息、交接班制
农业	各种作业姿势，农机设计的人体测量，倾斜，地面栽培的作业姿势	农机的驾驶员视界	各种作业的 RMR，农业作业灾害与安全，农业作业程序开发，选果场的最舒适作业方法	农机的噪声、振动、塑料薄膜温室，作业的环境负担，农业作业换气帽的开发研究	农业机械化与生 活时间
林业	斜面伐木作业姿势		各种林业劳动的 RMR	链锯的振动危害	
制造业	铸造作业姿势与腰痛病的分析，办公桌高度与疲劳，传送带作业的作业面高度，工厂内道路宽度情况及改善对策，造型用换位器研究与根据肌电图对姿势的评价	生产机械的操作器配置，仪表的认读性能，室外天车行走的视界，中央控制室的仪表盘的设计	自动化系统的作业负担，单调劳动与附属动作，检索速度与作业负担，作业方式与产业疲劳，作业中人的差错与系统的安全，压力机械的安全设计，各种作业的 RMR，各种劳动负担的评定	纺织厂的噪声，铸造工厂的恶劣环境及其改善，按 SD 方法对环境评价地下作业环境，使用方便的防护器具的研究，铸造工具的振动与噪声，铸造车间的粉尘浓度，工厂照明与作业程序	交接班制与疲劳及健康危害，连续作业的评定，残疾人残存机能与适当的工作，制鞋工的训练效果，对单调的劳动应采取的休息方法
建筑业	斜面劳动（堆石坝）的作业姿势与负担，脚手架与安全	建筑机械的视界	建筑机械的安全设计，高空作业与负担	建筑机械的噪声，打夯机的振动危害	
交通、服务等	车辆的驾驶姿势与空间设计，司机座椅的设计与疲劳	车辆的视界，如大型拖拉机的司机视界与视线分析，船用模拟器的开发	夜间高速公路拖拉机的劳动负担，银行业务机械化与劳动负担	高速公路收费闸门作业员的环境负担	拖拉机连续的操作时间，2 人和 1 人驾驶交接班制的比较

2. 人机工程学在管理工程中的应用

在工业生产中，人机工程首先应用于产品设计，如汽车的视界设计、仪器的表盘设计以及对操作性能、座椅舒适性、各种家用电器的使用性能等的分析研究。此外，以人为本的管理理念已逐步渗透到管理学科，所涉及的主要内容见表1-2。近十几年来，世界各国应用人机工程的领域更广，取得的成绩更显著。

表1-2 人机工程学在管理学科的应用

学科领域	对 象	内 容
管 理	人与组织 设 备 信 息 技 术 职 能 模 式等	经营流程再造、生产与服务过程优化、组织结构与部门界面管理、管理运作模式、决策行为模式、参与管理制度、企业文化建设、管理信息系统、计算机集成制造系统（CIMS）、企业网络、模拟企业、程序与标准、沟通方式、人事制度、激励机制、人员选拔与培训、安全管理、技术创新、CI策划等

3. 人机工程学在设计领域中的应用

由表1-1可知，人机工程学与国民经济的各部门都有密切关系。仅从工业设计这一范畴来看，大至宇航系统、城市规划、建筑设施、自动化工厂、机械设备、交通工具……，小至家具、服装、文具以及盆、杯、碗、筷之类的生活用品，总之为人类各种生产与生活所创造的一切“物”，在设计和制造时，都必须把“人的因素”作为一个重要条件来考虑。显然，研究和应用人机工程学原理和方法就成为工业设计者所面临的新课题之一。人机工程学与工业设计相关的领域可用表1-3加以说明。

表1-3 人机工程学与工业设计相关的研究领域

领域	对 象	实 例
设施或产品的设计	航天系统	火箭、人造卫星、宇宙飞船等
	建筑设施	城市规划、工业设施、工业与民用建筑等
	机械设备	机床、建筑机械、矿山机械、农业机械、渔业机械、林业机械、轻工机械、动力设备以及电子计算机等
	交通工具	飞机、火车、汽车、电车、船舶、摩托车、自行车等
	仪器设备	计量仪表、显示仪表、检测仪表、医疗器械、照明器具、办公事务器械以及家用电器等
	器 具	家具、工具、文具、玩具、体育用具以及生活日用品等
	服 装	劳保服、生活用服、安全帽、劳保鞋等
作业的设计	作业姿势、作业方法、作业量以及工具的选用和配置等	工厂生产作业、监视作业、车辆驾驶作业、物品搬运作业、办公室作业以及非职业活动作业等
环境的设计	声环境、光环境、热环境、色彩环境、振动、尘埃以及有毒气体环境等	工厂、车间、控制中心、计算机房、办公室、车辆驾驶室、交通工具的乘坐空间以及生活用房等

1.5 人机工程学与工业设计

1.5.1 人机工程学的发展与设计思想的演变

人机工程学的发展历史表明,在其不同的发展阶段,设计的指导思想也有很大的差异。随着人机工程学的进一步发展,以人为中心的设计思想将会提升到一个更高的水平。据有关专家指出,未来人机工程学的发展,将倡导人、机、环境系统一体化的设计理念,由此,市场的满意度也相应提高。人机工程学的发展与设计思想的演变过程可用图1-7表示。

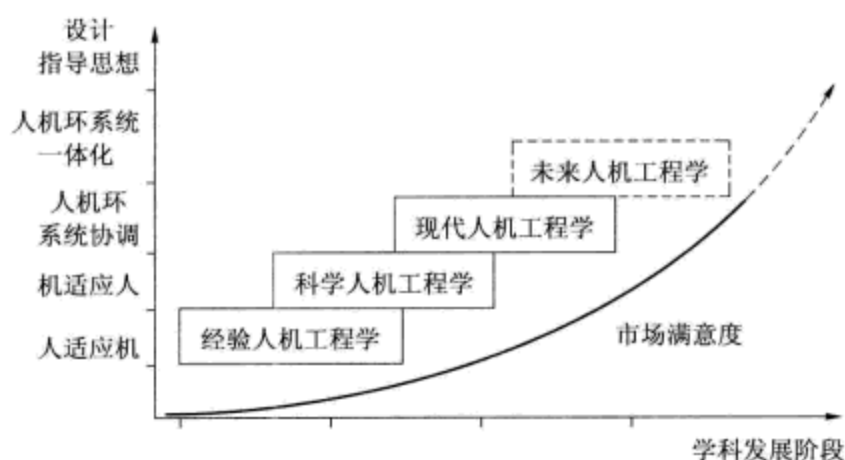


图 1-7 人机工程学发展与设计思想演变

1.5.2 人机工程学对工业设计的作用

人机工程学研究的内容及对工业设计的作用可以概括为以下几个方面:

1. 为工业设计中考虑“人的因素”提供人体尺度参数

应用人体测量学、人体力学、劳动生理学、劳动心理学等学科的研究方法,对人体结构特征和机能特征进行研究,提供人体各部分的尺寸、体重、体表面积、比重、重心以及人体各部分在活动时的相互关系和可及范围等人体结构特征参数;还提供人体各部分的出力范围、活动范围、动作速度、动作频率、重心变化以及动作时的习惯等人体机能特征参数;分析人的视觉、听觉、触觉以及肤觉等感受器官的机能特性;分析人在各种劳动时的生理变化、能量消耗、疲劳机理以及人对各种劳动负荷的适应能力;探讨人在工作中影响心理状态的因素以及心理因素对工作效率的影响等。

2. 为工业设计中“物”的功能合理性提供科学依据

如搞纯物质功能的创作活动,不考虑人机工程学的原理与方法,那将是创作活动的失败。因此,如何解决“物”与人相关的各种功能的最优化,创造出与人的生理、心理机能相协调的“物”,这将是当今工业设计中在功能问题上的新课题。通常,在考虑“物”中直接由人使用或操作部件的功能问题时,如信息显示装置、操纵控制装置、工作台和控制室等部件的形状、大小、色彩及其布置方面的设计基准,都是以人体工程学提供的参数和要求为设计依据。

3. 为工业设计中考虑“环境因素”提供设计准则

通过研究人体对环境中各种物理、化学因素的反应和适应能力,分析声、

光、热、振动、粉尘和有毒气体等环境因素对人体的生理、心理以及工作效率的影响程度，确定了人在生产和生活活动中所处的各种环境的舒适范围和安全限度，从保证人体的健康、安全、舒适和高效出发，为工业设计中考虑“环境因素”提供了分析评价方法和设计准则。

4. 为进行人－机－环境系统设计提供理论依据

人机工程学的显著特点是，在认真研究人、机、环境三个要素本身特性的基础上，不单纯着眼于个别要素的优良与否，而是将使用“物”的人和所设计的“物”以及人与“物”所共处的环境作为一个系统来研究，在人机工程学中将这个系统称为“人－机－环境”系统。在这个系统中人、机、环境三个要素之间相互作用、相互依存的关系决定着系统总体的性能。本学科的人机系统设计理论，就是科学地利用三个要素之间的有机联系来寻求系统的最佳参数。

系统设计的一般方法，通常是在明确系统总体要求的前提下，着重分析和研究人、机、环境三个要素对系统总体性能的影响，应具备的各自功能及其相互关系，如系统中机和人的职能如何分工、如何配合；环境如何适应人；机对环境又有何影响等问题，经过不断修正和完善三要素的结构方式，最终确保系统最优组合方案的实现。这是人机工程学为工业设计开拓了新的设计思路，并提供了独特的设计方法和有关理论依据。

5. 为坚持以“人”为核心的设计思想提供工作程序

一项优良设计必然是人、环境、技术、经济、文化等因素巧妙平衡的产物。为此，要求设计师有能力在各种制约因素中，找到一个最佳平衡点。从人机工程学和工业设计两学科的共同目标来评价，判断最佳平衡点的标准，就是在设计中坚持以“人”为核心的主导思想。

以“人”为核心的主导思想具体表现在各项设计均应以人为主线，将人机工程学理论贯穿于设计的全过程。人机工程学研究指出，在产品设计全过程的各个阶段，都必须进行人机工程学设计，以保证产品使用功能得以充分发挥。表1-4是工业设计各阶段中人机工程学设计工作程序。

表1-4 工业设计各阶段中人机工程设计工作程序

设计阶段	人 机 工 程 设 计 工 作 程 序
规划阶段 (准备阶段)	1. 考虑产品与人及环境的全部联系，全面分析人在系统中的具体作用； 2. 明确人与产品的关系，确定人与产品关系中各部分的特性及人机工程要求的设计内容； 3. 根据人与产品的功能特性，确定人与产品功能的分配
方案设计	1. 从人与产品、人与环境方面进行分析，在提出的众多方案中按人机工程学原理进行分析比较； 2. 比较人与产品的功能特性、设计限度、人的能力限度、操作条件的可靠性以及效率预测，选出最佳方案； 3. 按最佳方案制作简易模型，进行模拟试验，将试验结果与人机工程学要求进行比较，并提出改进意见； 4. 对最佳方案写出详细说明：方案获得的结果、操作条件、操作内容、效率、维修的难易程度、经济效益、提出的改进意见

续表

设计阶段	人 机 工 程 设 计 工 作 程 序
技术设计	1. 从人的生理、心理特性考虑产品的构形； 2. 从人体尺寸、人的能力限度考虑确定产品的零部件尺寸； 3. 从人的信息传递能力考虑信息显示与信息处理； 4. 根据技术设计确定的构形和零部件尺寸选定最佳方案，再次制作模型，进行试验； 5. 从操作者的身高、人体活动范围、操作方便程度等方面进行评价，并预测还可能出现的问题，进一步确定人机关系可行程度，提出改进意见
总体设计	对总体设计用人机工程学原理进行全面分析，反复论证，确保产品操作使用与维修方便、安全与舒适，有利于创造良好的环境条件，满足人的心理需要，并使经济效益、工作效率均佳
加工设计	检查加工图是否满足人机工程学要求，尤其是与人有关的零部件尺寸、显示与控制装置。对试制的样机全面进行人机工程学总评价，提出需要改进的意见，最后正式投产

社会发展、技术进步、产品更新、生活节奏紧张……，这一切必然导致“物”的质量观的变化，人们将会更加注重“方便”、“舒适”、“可靠”、“价值”、“安全”和“效率”等指标方面的评价。人机工程学等新兴边缘学科的迅速发展和广泛应用，也必然会将工业设计的水准推到人们所追求的崭新的高度。



第2章 人体测量与数据应用

2.1 人体测量的基本知识

2.1.1 产品设计与人体尺度

为了使各种与人体尺度有关的设计对象能符合人的生理特点，让人在使用时处于舒适的状态和适宜的环境之中，就必须在设计中充分考虑人体的各种尺度，因而也就要求设计者能了解一些人体测量学方面的基本知识，并能熟悉有关设计所必需的人体测量基本数据的性质和使用条件。

人体测量学也是一门新兴的分支学科，它是通过测量人体各部位尺寸来确定个体之间和群体之间在人体尺寸上的差别，用以研究人的形态特征，从而为各种工业设计和工程设计提供人体测量数据。

人机工程学范围内的人体形态测量数据主要有两类，即人体构造尺寸和功能尺寸的测量数据。人体构造上的尺寸是指静态尺寸；人体功能上的尺寸是指动态尺寸，包括人在工作姿势下或在某种操作活动状态下测量的尺寸。此外，有些著作中，也将人体生理参数的测量包括在人体测量学内容中，但为了系统叙述的方便，本章仅介绍人体形态测量的有关内容。

各种机械、设备、设施和工具等设计对象在适合于人的使用方面，首先涉及的问题是如何适合于人的形态和功能范围的限度。例如，一切操作装置都应设在人的肢体活动所能及的范围之内，其高低位置必须与人体相应部位的高低位置相适应；而且其布置应尽可能设在人操作方便、反应最灵活的范围之内，如图2-1(a)所示。其目的就是提高设计对象的宜人性，让使用者能够安全、健康、舒适地工作，从而有利于减少人体疲劳和提高人机系统的效率。在设计中所有涉及人体尺度参数的确定都需要应用大量人体构造和功能尺寸的测量数据。在设计时若不很好考虑这些人体参数，就很可能造成操作上的困难和不能充分发挥人机系统效率。图2-1(b)所示的车床是一个突出的例子，其操作部位的高度与人的上肢舒适操作的高度相比过低或过高，人在操作时需要

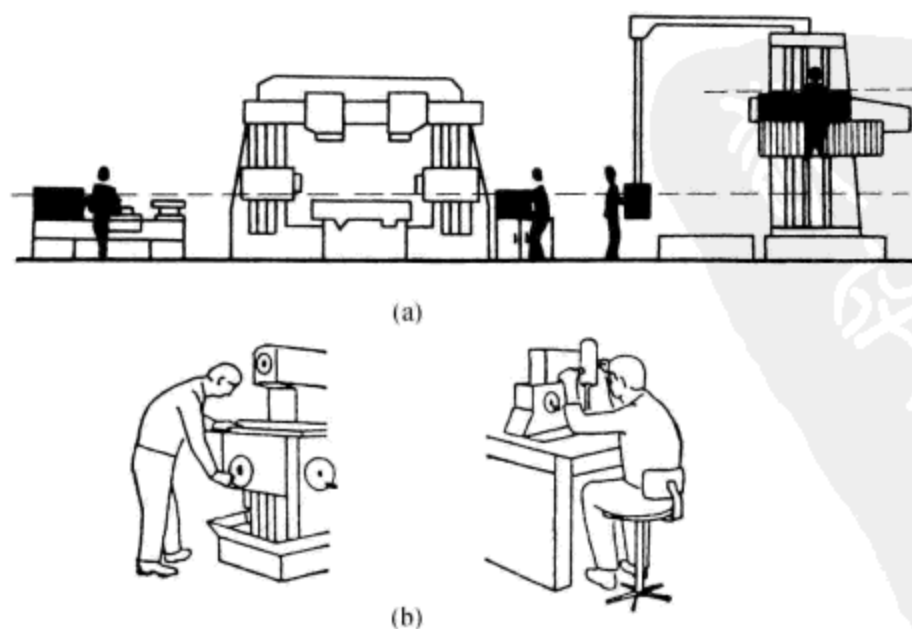


图2-1 机床与人体尺度的关系

弯腰或抬臂，这样不仅影响工作效率，人体将过早地产生疲劳，而且长期操作还会对操作者的身体健康带来不利影响。总之，这一明显的例子足以说明人体测量参数对各种与人体尺度有关的设计对象具有重要意义。

2.1.2 人体测量主要方法

人体测量方法主要有以下 3 种：普通测量法、摄像法、三维数字化人体测量法。

1. 普通测量法

普通人体测量仪器可以采用一般的人体生理测量的有关仪器，包括人体测高仪、直角规、弯角规、三脚平行规、软尺、测齿规、立方定颅器、平行定点仪等，其数据处理采用人工处理或者人工输入与计算机处理相结合的方式。它主要用来测量人体构造尺寸。

此种测量方式耗时耗力，数据处理容易出错，数据应用不灵活，但成本低廉，具有一定的适用性。

2. 摄像法

由于人体功能尺寸随着姿势而变化，故一般测量法难以测得较准确结果，常用的方法是用照相机或摄像机等作投影测量。图 2-2 表示了摄像测量人体功能尺寸的方法。图中 1 是带有光源的投影板，板上刻有 $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ 的方格，每一方格又分成 $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ 的小方格。图中 2 是照相机或摄像机，当照相机或摄像机与投影板间的距离 d 大小为被测试者高度 10 倍以上时，投射光线可粗略视为平行线，即可拍摄被试者在投影板上的各种姿态，从投影板的方格数上得知其功能尺寸。如要求其尺度的精确性，可根据被试者与投影板之间的间距，计算修正系数（数值小于 1），然后将投影的尺寸乘以修正系数，即可得到更为准确的人体功能尺寸。

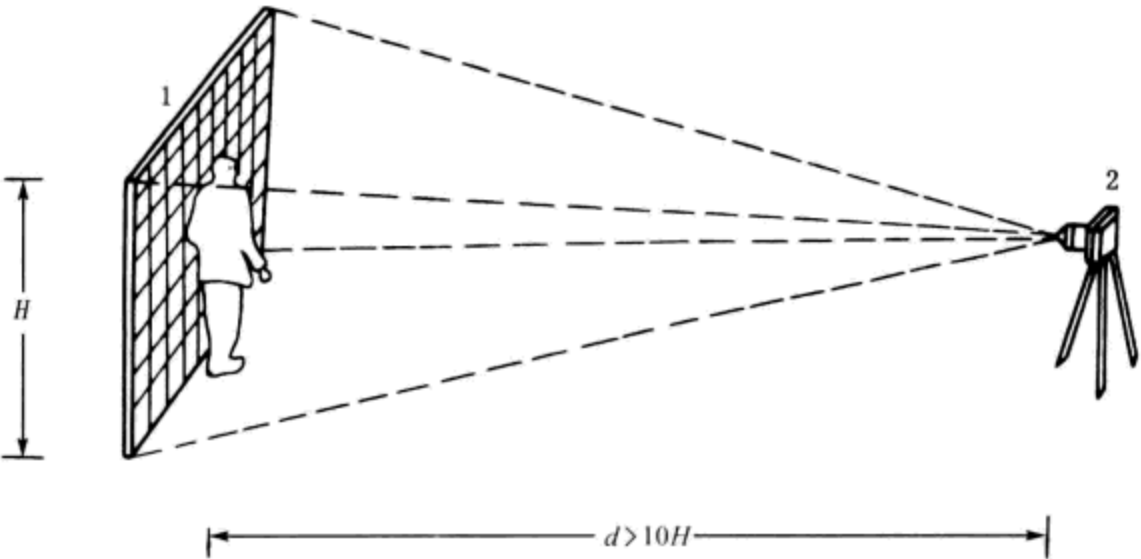


图 2-2 摄像法测量

3. 三维数字化人体测量法

三维数字化人体测量分为手动接触式、手动非接触式、自动接触式、自动非接触式等，最终可以根据所需速度、精度和价格确定合适的方式。

(1) 手动接触式三维数字化测量仪 美国佛罗里达 Faro 技术公司的 FaroArm 是典型的手动接触式数字化测量仪。测量时，操作者手持 Faro 手臂，其末端的探针接触被测人体的表面时按下按钮，测量人体表面点的空间位置。三维数据信息记录下探针所测点的 X、Y、Z 坐标和探针手柄方向，并采用

DSP 技术通过 RS232 串口线连接到各种应用软件包上。

(2) 非接触式三维数字化测量仪 非接触式测量是获得真实人体数据的技术,随着计算机技术和三维空间扫描仪技术的发展,高解析度的 3D 资料足以描述准确的人体模型,见图 2-3。

VITUS 全身 3D 人体扫描仪是德国 Vitronic 公司的最新一代产品,由于体积小,可以将它放在更衣室中。它能够提供足够的人体尺寸,以便进行量身定做和大规模定制,实现电子商务。

除了全身 3D 人体扫描仪之外,还有 3D 脚部扫描仪、3D 头部扫描仪,目前这些仪器已经在大规模人体测量、汽车驾驶研究等方面得到了应用。

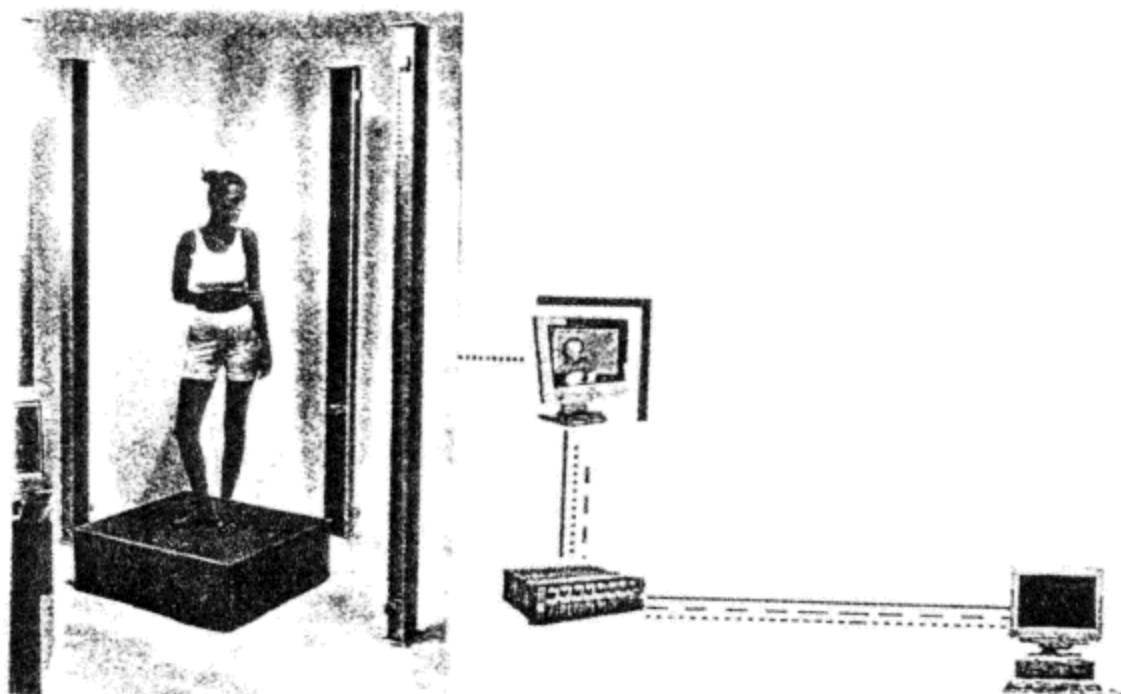


图 2-3 3D 全身人体扫描系统

2.1.3 人体测量的基本术语

国标 GB 3975—1983 规定了人机工程学使用的成年人和青少年的人体测量术语。该标准规定,只有在被测者姿势、测量基准面、测量方向、测点等符合下列要求的前提下,测量数据才是有效的。

1. 被测者姿势

(1) 立姿 指被测者挺胸直立,头部以眼耳平面定位,眼睛平视前方,肩部放松,上肢自然下垂,手伸直,手掌朝向体侧,手指轻贴大腿侧面,自然伸直膝部,左、右足后跟并拢,前端分开,使两足大致呈 45° 夹角,体重均匀分布于两足。

(2) 坐姿 指被测者挺胸坐在被调节到腓骨头高度的平面上,头部以眼耳平面定位,眼睛平视前方,左、右大腿大致平行,膝弯屈大致成直角,足平放在地面上,手轻放在大腿上。

2. 测量基准面

人体测量基准面的定位是由三个互为垂直的轴(铅垂轴、纵轴和横轴)来决定的。人体测量中设定的轴线和基准面如图 2-4 所示。

(1) 矢状面 通过铅垂轴和纵轴的平面及与其平行的所有平面都称为矢状面。

(2) 正中矢状面 在矢状面中,把通过人体正中线的矢状面称为正中矢

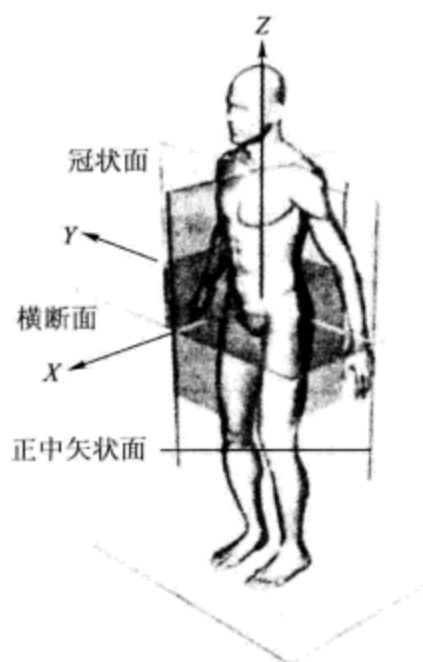


图 2-4 人体测量基准面和基准轴

状面。正中矢状面将人体分成左、右对称的两部分。

(3) 冠状面 通过铅垂轴和横轴的平面及与其平行的所有平面都称为冠状面。冠状面将人体分成前、后两部分。

(4) 横断面 与矢状面及冠状面同时垂直的所有平面都称为横断面。横断面将人体分成上、下两部分。

(5) 眼耳平面 通过左、右耳屏点及右眼眶下点的横断面称为眼耳平面或法兰克福平面。

3. 测量方向

① 在人体上、下方向上，将上方称为头侧端，将下方称为足侧端。

② 在人体左、右方向上，将靠近正中矢状面的方向称为内侧，将远离正中矢状面的方向称为外侧。

③ 在四肢上，将靠近四肢附着部位的称为近位，将远离四肢附着部位的称为远位。

④ 对于上肢，将桡骨侧称为桡侧，将尺骨侧称为尺侧。

⑤ 对于下肢，将胫骨侧称为胫侧，将腓骨侧称为腓侧。

4. 支承面和衣着

立姿时站立的地面或平台以及坐姿时的椅平面应是水平的、稳固的、不可压缩的。

要求被测量者裸体或穿着尽量少的内衣（例如只穿内裤和背心）测量，在后者情况下，在测量胸围时，男性应撩起背心，女性应松开胸罩后进行测量。

5. 基本测点及测量项目

在国标 GB 3975—1983 中规定了人机工程学使用的有关人体测量参数的测点及测量项目，其中包括：头部测点 16 个和测量项目 12 项；躯干和四肢部位的测点共 22 个，测量项目共 69 项，其中分为：立姿 40 项，坐姿 22 项，手和足部 6 项以及体重 1 项。至于测点和测量项目的定义说明在此不作介绍，需要进行测量时，可参阅该标准的有关内容。

此外，国标 GB 5703—1985 又规定了人机工程学使用的人体参数的测量方法，这些方法适用于成年人和青少年的人体参数测量，该标准对上述 81 个测量项目的具体测量方法和各个测量项目所使用的测量仪器作了详细的说明。凡需要进行测量时，必须按照该标准规定的测量方法进行测量，其测量结果方为有效。

2.1.4 人体测量的常用仪器

在人体尺寸参数的测量中，所采用的人体测量仪器有：人体测高仪、人体测量用直脚规、人体测量用弯脚规、人体测量用三脚平行规、坐高椅、量足仪、角度计、软卷尺以及医用磅秤等。我国对人体尺寸测量专用仪器已制订了标准，而通用的人体测量仪器可采用一般的人体测量的有关仪器。

1. 人体测高仪

它主要是用来测量身高、坐高、立姿和坐姿的眼高以及伸手向上所及的高度等立姿和坐姿的人体各部位高度尺寸。

如图 2-5 (a) 所示，该测高仪适用于读数值为 1 mm、测量范围为 0 ~ 1 996 mm 人体高度尺寸的测量。国标 GB 5704.1—1985 是人体测高仪的技术标准。

若将两支弯尺分别插入固定尺座和活动尺座，与构成主尺杆的第一、二节金属管配合使用时，即构成圆杆弯脚规，可测量人体各种宽度和厚度。

2. 人体测量用直脚规

它是用来测量两点间的直线距离，特别适宜测量距离较短的不规则部位的宽度或直径，如测量耳、脸、手、足等部位的尺寸。

国标 GB 5704. 2—1985 是人体测量用直脚规的技术标准，此种直脚规适用于读数值为1 mm 和 0.1 mm，测量范围为 0 ~ 200 mm 和 0 ~ 250 mm 人体尺寸的测量。直脚规根据有无游标读数分 I 型和 II 型两种类型，而无游标读数的 I 型直脚规又根据测量范围的不同，又分为 IA 和 IB 两种形式。其结构如图 2 - 5 (b) 所示。

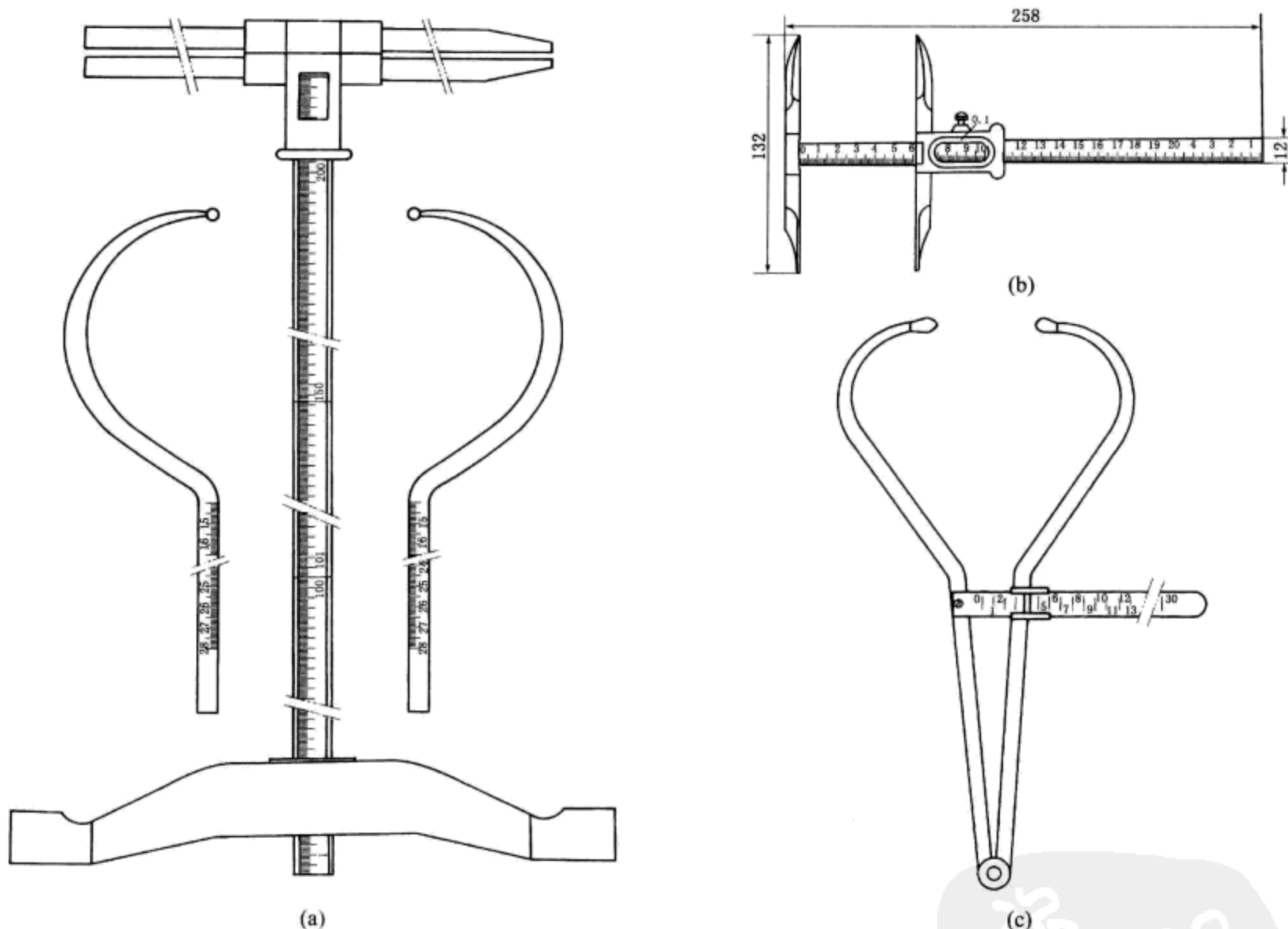


图 2 - 5 人体测量的常用仪器

(a) 人体测高仪；(b) 人体测量用直脚规；(c) 人体测量用弯脚规

3. 人体测量用弯脚规

它是用于不能直接以直尺测量的两点间距离的测量，如测量肩宽、胸厚等部位的尺寸。

国标 GB 5704. 3—1985 是人体测量用弯脚规的技术标准，此种弯脚规适用于读数值为 1 mm，测量范围为 0 ~ 300 mm 的人体尺寸的测量。按其脚部形状的不同分为椭圆体形（I 型）和尖端型（II 型），图 2 - 5 (c) 为 II 型弯脚规。

2.2 人体测量中的主要统计函数

由于群体中个体与个体之间存在着差异,一般来说,某一个体的测量尺寸不能作为设计的依据。为使产品适合于一个群体的使用,设计中需要的是一个群体的测量尺寸。然而,全面测量群体中每个个体的尺寸又是不现实的。通常是通过测量群体中较少量个体的尺寸,经数据处理后而获得较为精确的所需群体尺寸。

在人体测量中所得到的测量值都是离散的随机变量,因而可根据概率论与数理统计理论对测量数据进行统计分析,从而获得所需群体尺寸的统计规律和特征参数。

2.2.1 均值

表示样本的测量数据集中地趋向某一个值,该值称为平均值,简称均值。均值描述测量数据位置特征的值,可用来衡量一定条件下的测量水平和概括地表现测量数据的集中情况。对于有 n 个样本的测量值: x_1, x_2, \dots, x_n , 其均值为:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2-1)$$

2.2.2 方差

描述测量数据在中心位置(均值)上下波动程度差异的值叫均方差,通常称为方差。方差表明样本的测量值是变量,既趋向均值而又在一定范围内波动。对于均值为 \bar{x} 的 n 个样本测量值: x_1, x_2, \dots, x_n , 其方差 S^2 的定义为:

$$\begin{aligned} S^2 &= \frac{1}{n-1} [(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2] \\ &= \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \end{aligned} \quad (2-2)$$

用上式计算方差,其效率不高,因为它要用数据作两次计算,即首先用数据算出 \bar{x} , 再用数据去算出 S^2 。推荐一个在数学上与上式等价,计算起来又比较有效的公式,即:

$$\begin{aligned} S^2 &= \frac{1}{n-1} (x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2 - n\bar{x}^2) \\ &= \frac{1}{n-1} \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2 \right) \end{aligned} \quad (2-3)$$

如果测量值 x_i 全部靠近均值 \bar{x} , 则优先选用这个等价的计算式来计算方差。

2.2.3 标准差

由方差的计算公式可知,方差的量纲是测量值量纲的平方,为使其量纲和均值相一致,则取其均方根差值,即标准差来说明测量值对均值的波动情况。所以,方差的平方根 S_0 称为标准差。对于均值为 \bar{x} 的 n 个样本测量值: x_1, x_2, \dots, x_n , 其标准差 S_0 的一般计算式为:

$$S_0 = \left[\frac{1}{n-1} \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2 \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2-4)$$

2.2.4 抽样误差

抽样误差又称标准误差，即全部样本均值的标准差。在实际测量和统计分析中，总是以样本推测总体，而在一般情况下，样本与总体不可能完全相同，其差别就是由抽样引起的。抽样误差数值大，表明样本均值与总体均值的差别大；反之，说明其差别小，即均值的可靠性高。

概率论证明，当样本数据列的标准差为 S_D ，样本容量为 n 时，则抽样误差 $S_{\bar{x}}$ 的计算式为：

$$S_{\bar{x}} = \frac{S_D}{\sqrt{n}} \quad (2-5)$$

由上式可知，均值的标准差 $S_{\bar{x}}$ 要比测量数据列的标准差 S_D 小 \sqrt{n} 倍。当测量方法一定，样本容量愈多，则测量结果精度愈高。因此，在可能范围内增加样本容量，可以提高测量结果的精度。

2.2.5 百分位数

人体测量的数据常以百分位数 P_K 作为一种位置指标、一个界值。一个百分位数将群体或样本的全部测量值分为两部分，有 $K\%$ 的测量值等于和小于它，有 $(100-K)\%$ 的测量值大于它。例如在设计中最常用的是 P_5 、 P_{50} 、 P_{95} 三种百分位数。其中第 5 百分位数代表“小”身材，是指有 5% 的人群身材尺寸小于此值，而有 95% 的人群身材尺寸均大于此值；第 50 百分位数表示“中”身材，是指大于和小于此人群身材尺寸的各为 50%；第 95 百分位数代表“大”身体，是指有 95% 的人群身材尺寸均小于此值，而有 5% 的人群身材尺寸大于此值。

在一般的统计方法中，并不一一罗列出所有百分位数的数据，而往往以均值 \bar{x} 和标准差 S_D 来表示。虽然人体尺寸并不完全是正态分布，但通常仍可使用正态分布曲线来计算。因此，在人机工程学中可以根据均值 \bar{x} 和标准差 S_D 来计算某百分位数人体尺寸，或计算某一人体尺寸所属的百分位数。

(1) 求某百分位数人体尺寸 当已知某项人体测量尺寸的均值为 \bar{x} ，标准差为 S_D ，需要求任一百分位的人体测量尺寸 x 时，可用下式计算：

$$x = \bar{x} \pm (S_D \times K) \quad (2-6)$$

式中 K 为变换系数，设计中常用的百分比值与变换系数 K 的关系见表 2-1。

表 2-1 百分比与变换系数

百分比/%	K	百分比/%	K
0.5	2.576	70	0.524
1.0	2.326	75	0.674
2.5	1.960	80	0.842
5	1.645	85	1.036
10	1.282	90	1.282
15	1.036	95	1.645
20	0.842	97.5	1.960
25	0.674	99.0	2.326
30	0.524	99.5	2.576
50	0.000	—	—

当求 1% ~ 50% 之间的数据时，式中取“-”号；当求 50% ~ 99% 之间的数据时，式中取“+”号。

(2) 求数据所属百分率 当已知某项人体测量尺寸为 x_i ，其均值为 \bar{x} ，标准差为 S_0 时，需要求该尺寸 x_i 所处的百分率 P 时，可按下列方法求得，即按 $z = (x_i - \bar{x}) / S_0$ 计算出 z 值，根据 z 值在有关手册中的正态分布概率数值表上查得对应的概率数值 p ，则百分率 P 按下式计算：

$$P = 0.5 + p \tag{2-7}$$

2.3 常用的人体测量数据

2.3.1 我国成年人人体结构尺寸

GB 10000—1988 是 1989 年 7 月开始实施的我国成年人人体尺寸国家标准。该标准根据人机工程学要求提供了我国成年人人体尺寸的基础数据，它适用于工业产品设计、建筑设计、军事工业以及工业的技术改造、设备更新及劳动安全保护等。

该标准共提供了七类共 47 项人体尺寸基础数据，标准中所列出的数据是代表从事工业生产的法定中国成年人（男 18 ~ 60 岁，女 18 ~ 55 岁）人体尺寸，并按男、女性别分开列表。在各类人体尺寸数据表中，除了给出工业生产中法定成年人年龄范围内的人体尺寸，同时还将该年龄范围分为三个年龄段：18 ~ 25 岁（男、女）；26 ~ 35 岁（男、女）；36 ~ 60 岁（男）和 36 ~ 55 岁（女），且分别给出这些年龄段的各项人体尺寸数值。为了应用方便，各类数据表中的各项人体尺寸数值均列出其相应的百分位数。但限于篇幅，本章中仅引用了工业生产中法定成年人年龄范围内的人体尺寸，其他三个年龄段的人体尺寸从略。

1. 人体主要尺寸

国际 GB 10000—1988 给出身高、体重、上臂长、前臂长、大腿长、小腿长共六项人体主要尺寸数据，除体重外，其余五项主要尺寸的部位见图 2-6 (a)，表 2-2 为我国成年人人体主要尺寸。

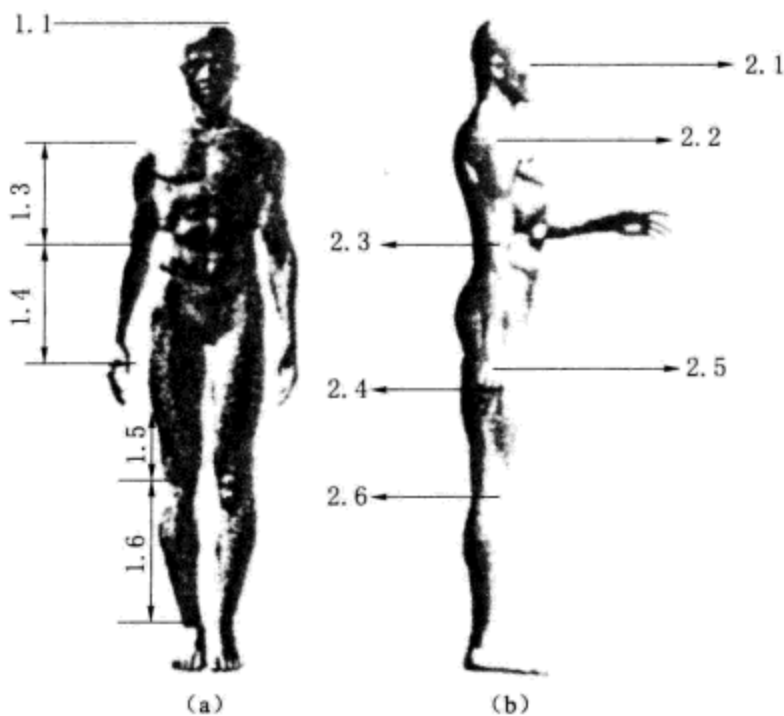


图 2-6 立姿人体尺寸

表 2-2 人体主要尺寸

项 目	数 据	年龄分组		男 (18~60 岁)							女 (18~55 岁)						
		百分位数/%		1	5	10	50	90	95	99	1	5	10	50	90	95	99
1.1	身高/mm			1543	1583	1604	1678	1754	1775	1814	1449	1484	1503	1570	1640	1659	1697
1.2	体重/kg			44	48	50	59	70	75	83	39	42	44	52	63	66	71
1.3	上臂长/mm			279	289	294	313	333	338	349	252	262	267	284	303	302	319
1.4	前臂长/mm			206	216	220	237	253	258	268	185	193	198	213	229	234	242
1.5	大腿长/mm			413	428	436	465	496	505	523	387	402	410	438	467	476	494
1.6	小腿长/mm			324	338	344	369	396	403	419	300	313	319	344	370	375	390

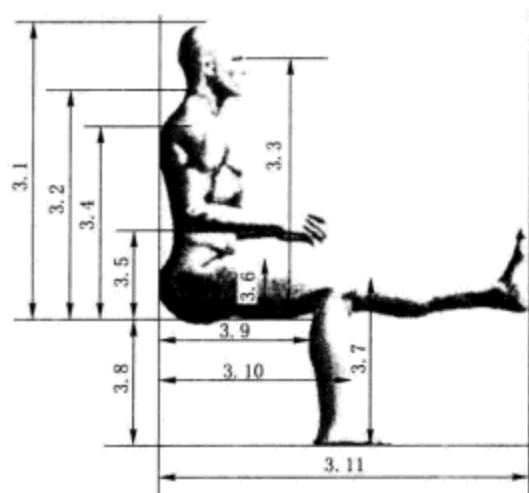


图 2-7 坐姿人体尺寸

2. 立姿人体尺寸

该标准中提供的成年人立姿人体尺寸有：眼高、肩高、肘高、手功能高、会阴高、胫骨点高，这六项立姿人体尺寸的部位见图 2-6 (b)，我国成年人立姿人体尺寸见表 2-3。

3. 坐姿人体尺寸

标准中的成年人坐姿人体尺寸包括坐高、坐姿颈椎点高、坐姿眼高、坐姿肩高、坐姿肘高、坐姿大腿厚、坐姿膝高、小腿加足高、坐深、臀膝距、坐姿下肢长共 11 项，坐姿尺寸部位见图 2-7，表 2-4 为我国成年人坐姿人体尺寸。

4. 人体水平尺寸

标准中提供的人体水平尺寸是指：胸宽、胸厚、肩宽、最大肩宽、臀宽、坐姿臀宽、坐姿两肘间宽、胸围、腰围、臀围共十项，其部位如图 2-8 所示，我国成年人人体水平尺寸见表 2-5。

表 2-3 立姿人体尺寸

项 目	数 据	年龄分组		男 (18~60 岁)							女 (18~55 岁)						
		百分位数/%		1	5	10	50	90	95	99	1	5	10	50	90	95	99
2.1	眼高/mm			1436	1474	1495	1568	1643	1664	1705	1337	1371	1388	1454	1522	1541	1579
2.2	肩高/mm			1244	1281	1299	1367	1435	1455	1494	1166	1195	1211	1271	1333	1350	1385
2.3	肘高/mm			925	954	968	1024	1079	1096	1128	873	899	913	960	1009	1023	1050
2.4	手功能高/mm			656	680	693	741	787	801	828	630	650	662	704	746	757	778
2.5	会阴高/mm			701	728	741	790	840	856	887	648	673	686	732	779	792	819
2.6	胫骨点高/mm			394	409	417	444	472	481	498	363	377	384	410	437	444	459

表 2-4 坐姿人体尺寸

项 目	数 据	年龄分组		男 (18~60 岁)							女 (18~55 岁)						
		百分位数/%		1	5	10	50	90	95	99	1	5	10	50	90	95	99
3.1	坐高/mm			836	858	870	908	947	958	979	789	809	819	855	891	901	920
3.2	坐姿颈椎点高/mm			599	615	624	657	691	701	719	563	579	587	617	648	657	675

续表

项 目	数 据 百分位数/%		男 (18 ~ 60 岁)							女 (18 ~ 55 岁)						
			1	5	10	50	90	95	99	1	5	10	50	90	95	99
	年 龄 分 组															
3.3	坐姿眼高/mm		729	749	761	798	836	847	868	678	695	704	739	773	783	803
3.4	坐姿肩高/mm		539	557	566	598	631	641	659	504	518	526	556	585	594	609
3.5	坐姿肘高/mm		214	228	235	263	291	298	312	201	215	223	251	277	284	299
3.6	坐姿大腿厚/mm		103	112	116	130	146	151	160	107	113	117	130	146	151	160
3.7	坐姿膝高/mm		441	456	461	493	523	532	549	410	424	431	458	485	493	507
3.8	小腿加足高/mm		372	383	389	413	439	448	463	331	342	350	382	399	405	417
3.9	坐深/mm		407	421	429	457	486	494	510	388	401	408	433	461	469	485
3.10	臀膝距/mm		499	515	524	554	585	595	613	481	495	502	529	561	570	587
3.11	坐姿下肢长/mm		892	921	937	992	1046	1063	1096	826	851	865	912	960	975	1005

表 2-5 人体水平尺寸

项 目	数 据 百分位数/%		男 (18 ~ 60 岁)							女 (18 ~ 55 岁)						
			1	5	10	50	90	95	99	1	5	10	50	90	95	99
	年 龄 分 组															
4.1	胸宽/mm		242	253	259	280	307	315	331	219	233	239	260	289	299	319
4.2	胸厚/mm		176	186	191	212	237	245	261	159	170	176	199	230	239	260
4.3	肩宽/mm		330	344	351	375	397	403	415	304	320	328	351	371	377	387
4.4	最大肩宽/mm		383	398	405	431	460	469	486	347	363	371	397	428	438	458
4.5	臀宽/mm		273	282	288	306	327	334	346	275	290	296	317	340	346	360
4.6	坐姿臀宽/mm		284	295	300	321	347	355	369	295	310	318	344	374	382	400
4.7	坐姿两肘间宽/mm		353	371	381	422	473	489	518	326	348	360	404	460	378	509
4.8	胸围/mm		762	791	806	867	944	970	1018	717	745	760	825	919	949	1005
4.9	腰围/mm		620	650	665	735	859	895	960	622	659	680	772	904	950	1025
4.10	臀围/mm		780	805	820	875	948	970	1009	795	824	840	900	975	1000	1044

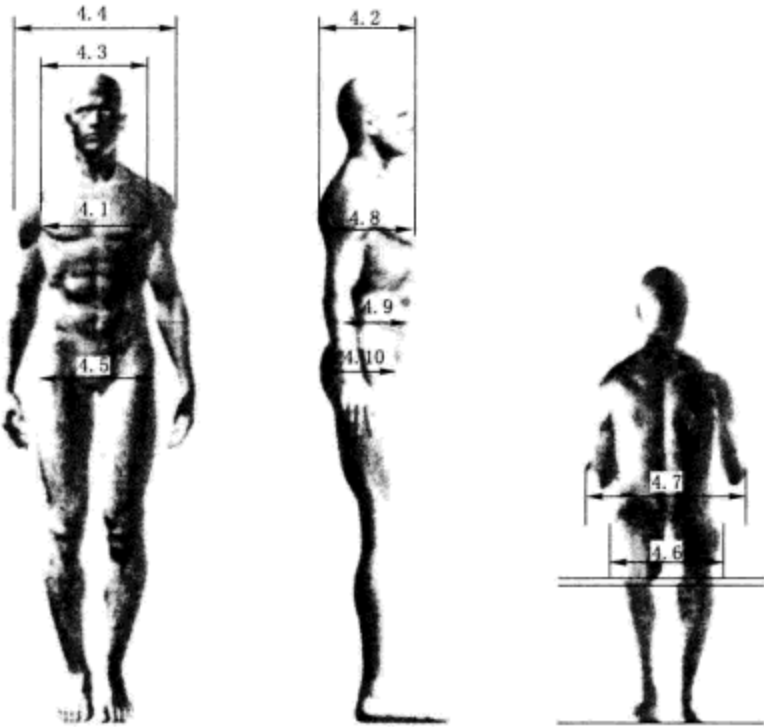


图 2-8 人体水平尺寸

5. 各大区域人体尺寸的均值和标准差

一个国家的人体尺寸由于区域、民族、性别、年龄和生活状况等因素的不同而有所差异，而我国是一个地域辽阔的多民族国家，不同地区间人体尺寸差异较大。因此，在我国成年人体测量工作中，从人类学的角度，并根据我国征兵体检等局部人体测量资料划分的区域，将全国成年人人体尺寸分布划分为以下六个区域，即：

① 东北、华北区——包括的省（自治区、直辖市）有：黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古、山东、河北、北京、天津；

② 西北区——包括的省（自治区）有：新疆、甘肃、青海、陕西、山西、西藏、宁夏、河南；

③ 东南区——包括的省（自治区、直辖市）有：安徽、江苏、浙江、上海；

④ 华中区——包括湖南、湖北、江西三个省；

⑤ 华南区——包括广东、广西、福建三个省；

⑥ 西南区——包括贵州、四川、云南三个省。

为了能选用合乎各地区的人体尺寸，GB 10000—1988 标准中还提供了上述六个区域成年人体重、身高、胸围三项主要人体尺寸的均值和标准差值。六个区域成年人的体重、身高、胸围的均值 \bar{x} 和标准差 S_D 见表 2-6。

在使用国标 GB 10000—1988 中成年人的体重、身高、胸围三项人体尺寸时，如需选用合乎某地区的人体尺寸，根据表 2-6 中相应的均值和标准差，并按照 2.2 节中百分位数值计算方法，可求得所需的相应人体尺寸。

表 2-6 六个区域的身高、胸围、体重的均值 \bar{x} 及标准差 S_D

项 目		东北、华北区		西北区		东南区		华中区		华南区		西南区	
		均值 \bar{x}	标准差 S_D	均值 \bar{x}	标准差 S_D	均值 \bar{x}	标准差 S_D	均值 \bar{x}	标准差 S_D	均值 \bar{x}	标准差 S_D	均值 \bar{x}	标准差 S_D
男 (18~60 岁)	体重/kg	64	8.2	60	7.6	59	7.7	57	6.9	56	6.9	55	6.8
	身高/mm	1693	56.6	1684	53.7	1686	55.2	1669	56.3	1650	57.1	1647	56.7
	胸围/mm	888	55.5	880	51.5	865	52.0	853	49.2	851	48.9	855	48.3
女 (18~55 岁)	体重/kg	55	7.7	52	7.1	51	7.2	50	6.8	49	6.5	50	6.9
	身高/mm	1586	51.8	1575	51.9	1575	50.8	1560	50.7	1549	49.7	1546	53.9
	胸围/mm	848	66.4	837	55.9	831	59.8	820	55.8	819	57.6	809	58.8

6. 中国香港地区成年人人体尺寸

由于在进行全国成年人人体尺寸抽样测量工作时，香港地区尚未回归祖国，因而在我国 GB 10000—1988 标准中，所划分的全国成年人人体尺寸分布的六个区域内，不包括香港地区。而在此之前，香港地区已为各种设计提供了较完整的成年人人体尺寸。表 2-7 给出其中常用的 P_5 、 P_{50} 、 P_{95} 三种百分位数的成年人人体尺寸。

表 2-7 香港地区成人人体尺寸

尺 寸	男			女			尺 寸	男			女		
	P_5	P_{50}	P_{95}	P_5	P_{50}	P_{95}		P_5	P_{50}	P_{95}	P_5	P_{50}	P_{95}
身 高	1585	1680	1775	1455	1555	1655	胯 宽	300	335	370	295	330	365
眼 高	1470	1555	1640	1330	1425	1520	胸 深	155	195	235	160	215	270
肩 高	1300	1380	1460	1180	1265	1350	腹 深	150	210	270	150	215	280

续表

尺 寸	男			女			尺 寸	男			女		
	P_5	P_{50}	P_{95}	P_5	P_{50}	P_{95}		P_5	P_{50}	P_{95}	P_5	P_{50}	P_{95}
肘 高	950	1015	1080	870	935	1000	肩肘长	310	340	370	290	315	340
胯 高	790	855	920	715	785	855	肘 - 指长	410	445	480	360	400	440
指关节高	685	750	815	650	715	780	上身长	680	730	780	615	660	705
指尖高	575	640	705	540	610	680	肩 - 指长	580	620	660	525	560	595
坐姿高	845	900	955	780	840	900	头 长	175	190	205	160	175	190
坐姿眼高	720	780	840	660	720	780	头 宽	150	160	170	135	150	165
坐姿肩高	555	605	655	510	560	610	手 长	165	180	195	150	165	180
坐姿肘高	190	240	290	165	230	295	手 宽	70	80	90	60	70	80
腿 厚	110	135	160	105	130	155	足 长	235	250	265	205	225	245
臀 - 膝长	505	550	595	470	520	570	足 宽	85	95	105	80	85	90
臀 - 腿弯长	405	450	495	385	435	485	双臂平伸宽	1480	1635	1790	1350	1480	1610
膝 高	450	495	540	410	455	500	双肘平伸宽	805	885	965	690	775	860
腿弯高	365	405	445	325	375	425	立姿垂直伸及	1835	1970	2105	1685	1825	1965
肩宽(两三角肌)	380	425	475	335	385	435	坐姿垂直伸及	1110	1205	1300	855	940	1025
肩 宽	335	365	395	315	350	385	前伸及	640	705	770	580	635	690

2.3.2 我国成年人人体功能尺寸

1. 人在工作位置上的活动空间尺度

人在各种工作时都需要有足够的活动空间。工作位置上的活动空间设计与人体的功能尺寸密切相关,为此,作者根据 GB 10000—1988 标准中的人体测量基础数据,分析了几种主要作业姿势活动空间设计的人体尺度,以供设计参考。

由于活动空间应尽可能适应于绝大多数人的使用,设计时应以高百分位人体尺寸为依据。所以,在以下的分析中均以我国成年男子第 95 百分位身高(1 775 mm)为基准。

在工作中常取站、坐、跪(如设备安装作业中的单腿跪)、卧(如车辆检修作业中的仰卧)等作业姿势。现从各个角度对其活动空间进行分析说明,并给出人体尺度图。

(1) 立姿的活动空间 立姿时人的活动空间不仅取决于身体的尺寸,而且也取决于保持身体平衡的微小平衡动作和肌肉松弛脚的站立平面不变时,为保持平衡必须限制上身和手臂能达到的活动空间。在此条件下,立姿活动空间的人体尺度如图 2-9 所示。

图 2-9(a)为正视图,零点位于正中矢状面上(从前向后通过身体中线的垂直平面)。图 2-9(b)为侧视图,零点位于人体背点的切线上,在贴墙站直时,背点与墙相接触。以垂直切线与站立平面的交点作为零点。

(2) 坐姿的活动空间 根据立姿活动空间的条件,坐姿活动空间的人体尺度见图 2-10。

图 2-10(a)为正视图,零点在正中矢状面上。图 2-10(b)为侧视图,零点在经过臀点的垂直线上,并以该垂线与脚底平面的交点作为零点。

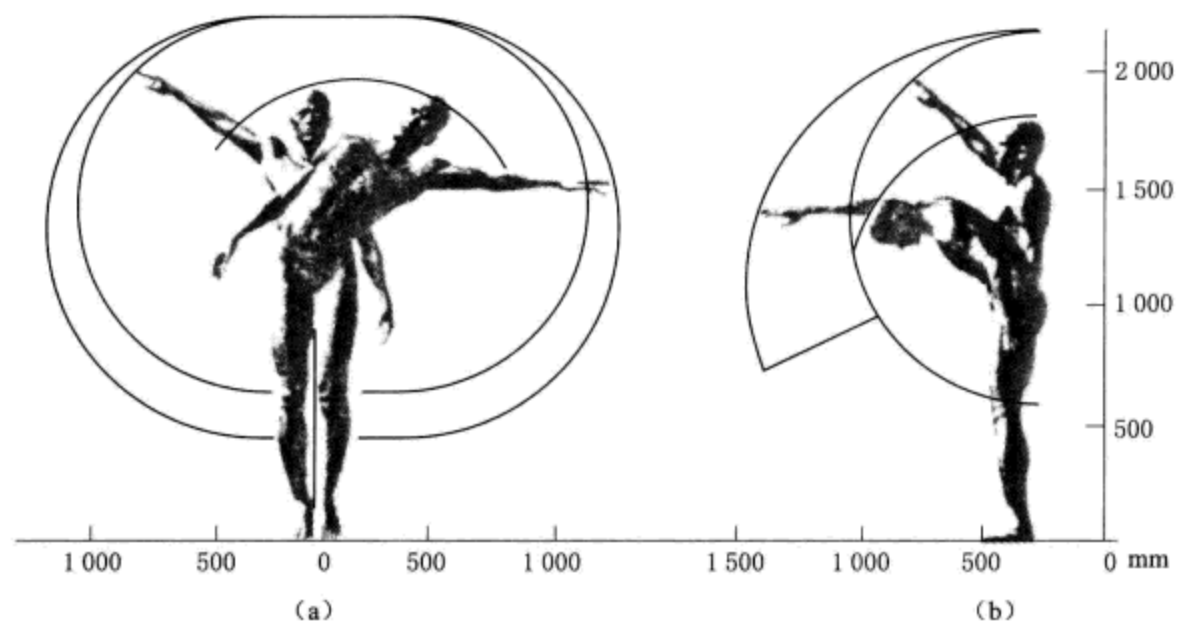


图 2-9 立姿活动空间

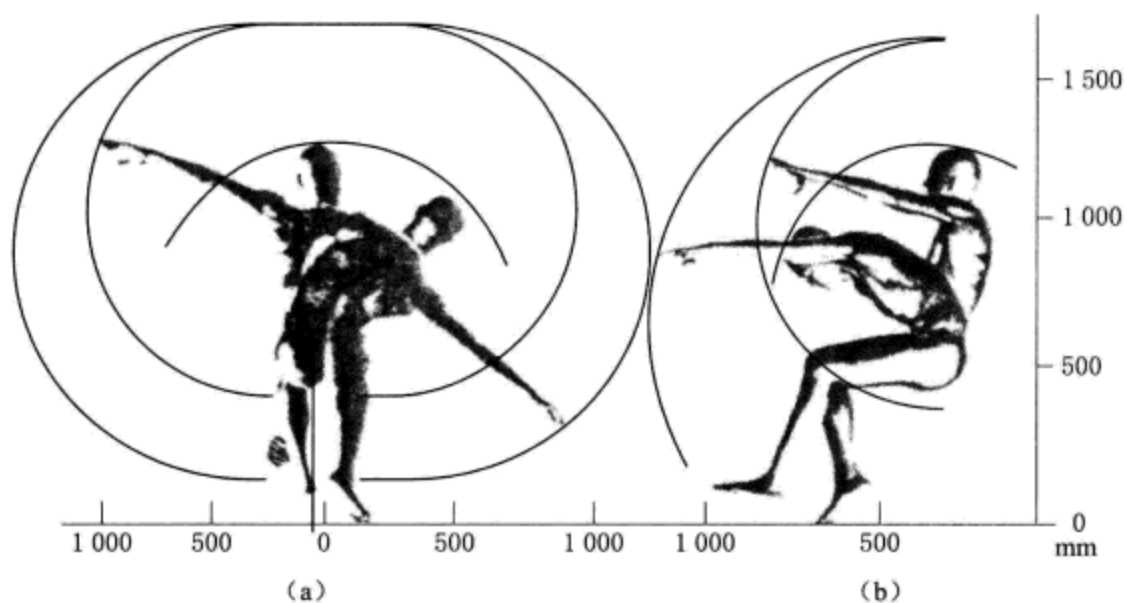


图 2-10 坐姿活动空间

(3) 单腿跪姿的活动空间 根据立姿活动空间的条件,单腿跪姿活动空间的人体尺度如图 2-11 所示。

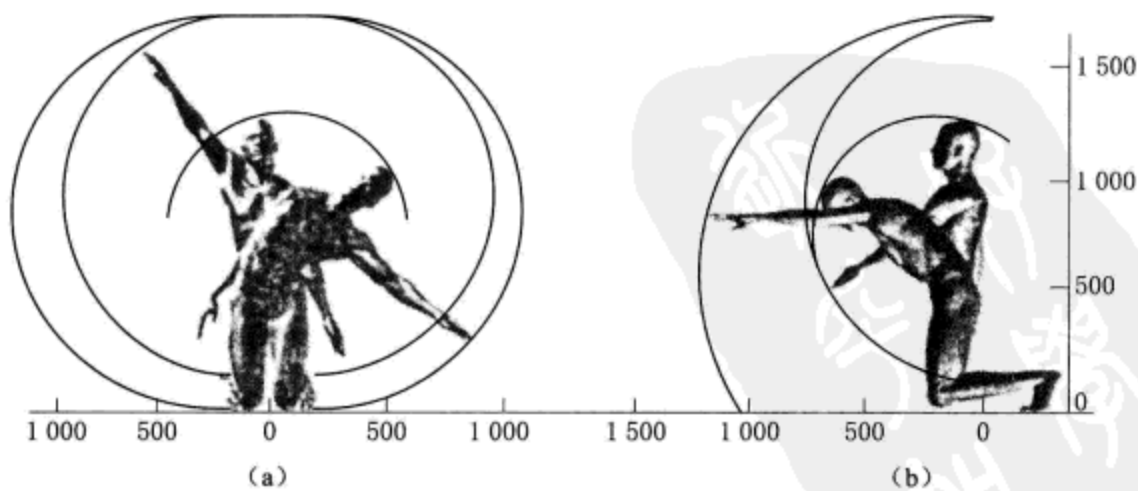


图 2-11 单腿跪姿活动空间

取跪姿时,承重膝常更换。由一膝换到另一膝时,为确保上身平衡,要求活动空间比基本位置大。

图 2-11 (a) 为正视图，其零点在正中矢状面上。图 2-11 (b) 为侧视图，其零点位于人体背点的切线上，以垂直切线与跪平面的交点作为零点。

(4) 仰卧的活动空间 仰卧活动空间的人体尺度见图 2-12。

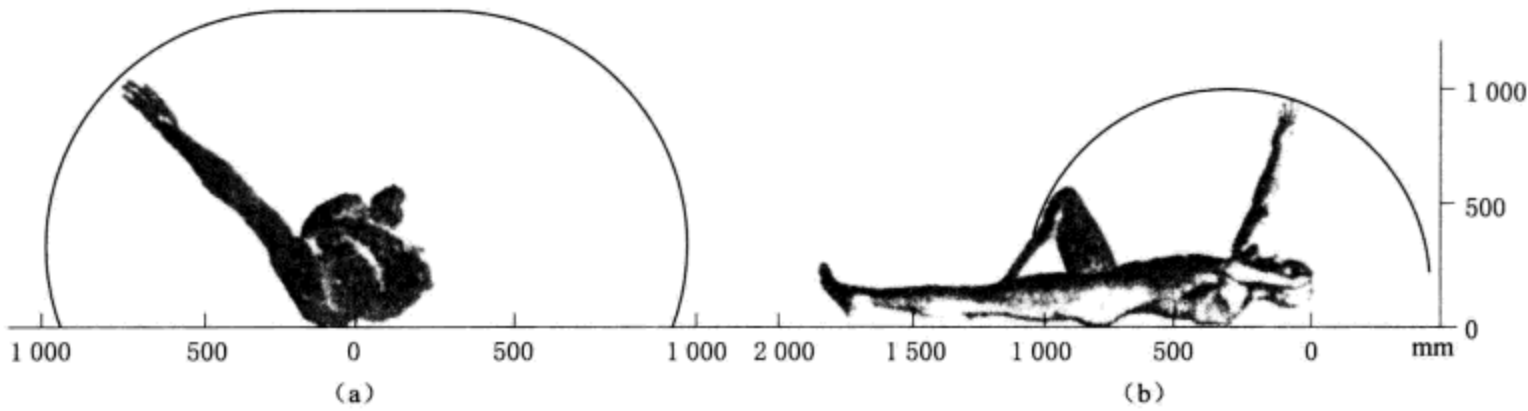


图 2-12 仰卧姿活动空间

图 2-12 (a) 为正视图，零点位于正中中垂平面上。图 2-12 (b) 为侧视图，零点位于经头顶的垂直切线上，垂直切线与仰卧平面的交点作为零点。

2. 常用的功能尺寸

前述常用的立、坐、跪、卧等作业姿势活动空间的人体尺度图，可满足人体一般作业空间概略设计的需要。但对于受限作业空间的设计，则需要应用各种作业姿势下人体功能尺寸测量数据。GB/T 13547—1992 标准提供了我国成年人立、坐、跪、卧、爬等常取姿势功能尺寸数据，经整理归纳后列于表 2-8。表列数据均为裸体测量结果，使用时应增加修正余量。

表 2-8 我国成人男女上肢功能尺寸 mm

测 量 项 目	男(18~60 岁)			女(18~55 岁)		
	P_5	P_{50}	P_{95}	P_5	P_{50}	P_{95}
立姿双手上举高	1971	2108	2245	1845	1968	2089
立姿双手功能上举高	1869	2003	2138	1741	1860	1976
立姿双手左右平展宽	1579	1691	1802	1457	1559	1659
立姿双臂功能平展宽	1374	1483	1593	1248	1344	1438
立姿双肘平展宽	816	875	936	756	811	869
坐姿前臂手前伸长	416	447	478	383	413	442
坐姿前臂手功能前伸长	310	343	376	277	306	333
坐姿上肢前伸长	777	834	892	712	764	818
坐姿上肢功能前伸长	673	730	789	607	657	707
坐姿双手上举高	1249	1339	1426	1173	1251	1328
跪姿体长	592	626	661	553	587	624
跪姿体高	1190	1260	1330	1137	1196	1258
俯卧体长	2000	2127	2257	1867	1982	2102
俯卧体高	364	372	383	359	369	384
爬姿体长	1247	1315	1384	1183	1239	1296
爬姿体高	761	798	836	694	738	783

2.4 人体测量数据的应用

只有在熟悉人体测量基本知识之后，才能选择和应用各种人体数据，否则有的数据可能被误解，如果使用不当，还可能导致严重的设计错误。另外，各种统计数据不能作为设计中的一般常识，也不能代替严谨的设计分析。因此，当设计中涉及人体尺度时，设计者必须熟悉数据测量定义、适用条件、百分位的选择等方面的知识，才能正确地应用有关的数据。

2.4.1 主要人体尺寸的应用原则

为了使人体测量数据能有效地为设计者利用，从以上各节所介绍的大量人体测量数据中，精选出部分工业设计常用的数据，如图 2-13 所示。将这些数据的定义、应用条件、选择依据等列于表 2-9。

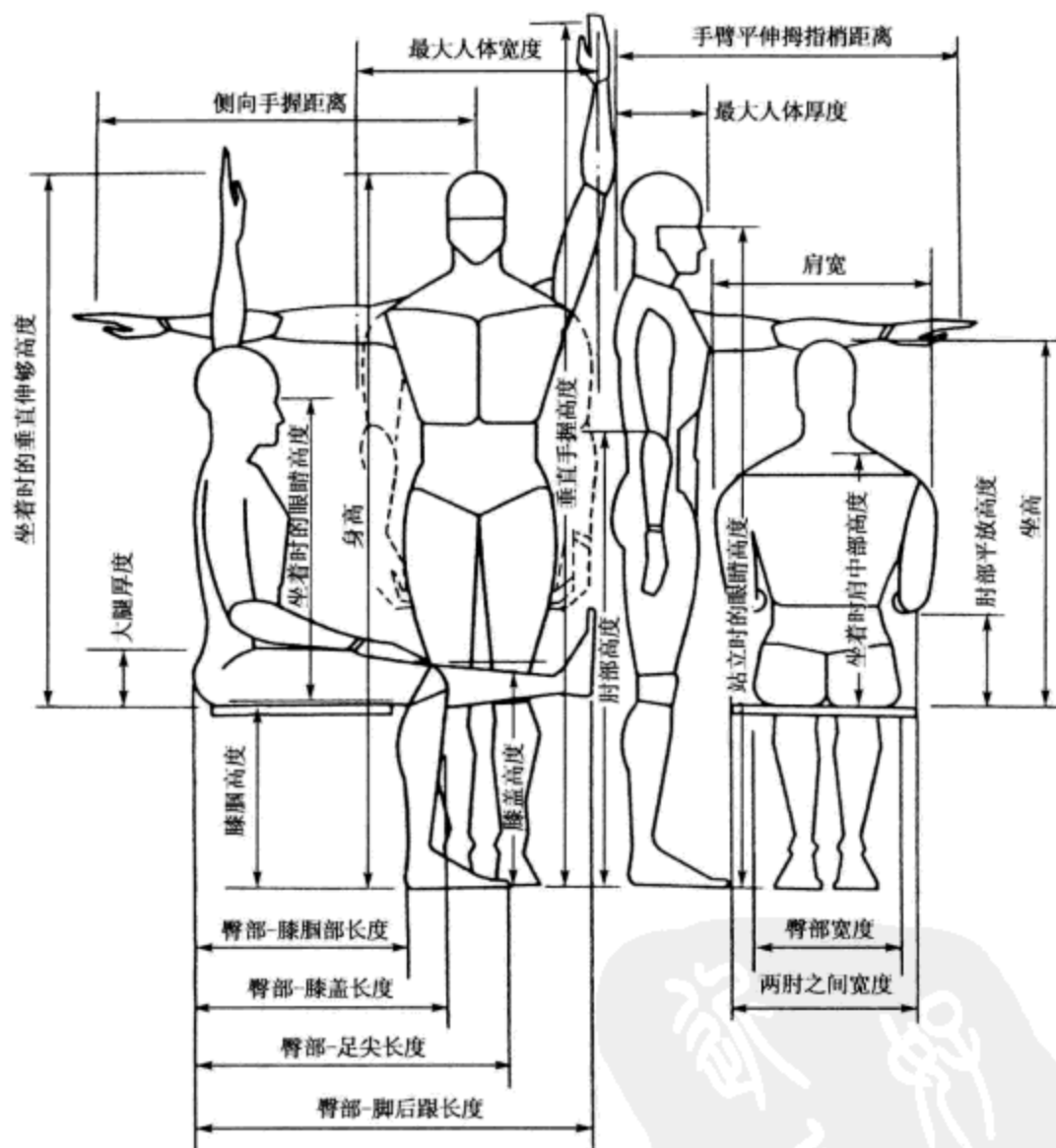


图 2-13 工业设计中常用的人体测量尺寸

表 2-9 主要人体尺寸的应用原则

人体尺寸	应用条件	百分位选择	注意事项
身高	用于确定通道和门的最小高度。然而，一般建筑规范规定的和成批生产制作的门和门框高度都适用于 99% 以上的人，所以，这些数据可能对于确定人头顶上的障碍物高度更为重要	由于主要的功用是确定净空高度，所以应该选用高百分位数据。因为天花板高度一般不是关键尺寸，设计者应考虑尽可能地适应 100% 的人	身高一般是不穿鞋测量的，故在使用时应给予适当补偿

续表

人体尺寸	应用条件	百分位选择	注意事项
立姿眼高	可用于确定在剧院、礼堂、会议室等处人的视线，用于布置广告和其他展品，用于确定屏风 and 开敞式大办公室内隔断的高度	百分位选择将取决于关键因素的变化。例如：如果设计中的问题是决定隔断或屏风的高度，以保证隔断后面人的秘密性要求，那么隔离高度就与较高人的眼睛高度有关（第95百分位或更高）。其逻辑是假如高个子人不能越过隔断看过去，那么矮个子人也一定不能。反之，假如设计问题是允许人看到隔断里面，则逻辑是相反的，隔断高度应考虑较矮人的眼睛高度（第5百分位或更低）	由于这个尺寸是光脚测量的，所以还要加上鞋的高度，男子大约需加2.5 cm，女子大约需加7.6 cm。这些数据应该与脖子的弯曲和旋转以及视线角度资料结合使用，以确定不同状态、不同头部角度的视觉范围
肘部高度	对于确定柜台、梳妆台、厨房案台、工作台以及其他站着使用的工作表面的舒适高度，肘部高度数据是必不可少的。通常，这些表面的高度都是凭经验估计或是根据传统做法确定的。然而，通过科学研究发现最舒适的高度是低于人的肘部高度7.6 cm。另外，休息平面的高度大约应该低于肘部高度2.5 ~ 3.8 cm	假定工作面高度确定为低于肘部高度约7.6 cm，那么从96.5 cm（第5百分位数据）到111.8 cm（第95百分位数据）这样一个范围都将适合中间的90%的男性使用者。考虑到第5百分位的女性肘部高度较低，这个范围应为88.9 ~ 111.8 cm，才能对男女使用者都适应。由于其中包含许多其他因素，如存在特别的功能要求和每个人对舒适高度见解不同，等等，所以这些数值也只是假定推荐的	确定上述高度时必须考虑活动的性质，有时这一点比推荐的“低于肘部高度7.6 cm”还重要
挺直坐高	用于确定座椅上方障碍物的允许高度。在布置双层床时，搞创新的节约空间设计时，例如利用阁楼下面的空间吃饭或工作都要由这个关键的尺寸来确定其高度。确定办公室或其他场所的低隔断要用到这个尺寸，确定餐厅和酒吧里的火车座隔断也要用到这个尺寸	由于涉及间距问题，采用第95百分位的数据是比较合适的	座椅的倾斜、座椅软垫的弹性、衣服厚度以及人坐下和站起来时的活动都是要考虑的重要因素
放松坐高	可用于确定座椅上方障碍物的最小高度。布置双层床时，搞创新的节约空间设计时，例如利用阁楼下面的空间吃饭或工作，都要根据这个关键尺寸来确定其高度。确定办公室和其他场合的低隔断要用到这个尺寸，确定餐厅和酒吧里的火车座隔断也要用到这个尺寸	由于涉及间距问题，采用第95百分位的数据比较合适	座椅的倾斜、座椅垫的弹性、衣服厚度以及人坐下和站起来时的活动都是要考虑的重要因素
坐姿眼高	当视线是设计问题的中心时，确定视线和最佳视区要用到这个尺寸，这类设计对象包括剧院、礼堂、教室和其他需要良好视听条件的室内空间	假如有适当的可调节性，就能适应从第5百分位到第95百分位或者更大的范围	应该考虑本书中其他地方所论述的头部与眼睛的转动范围、座椅软垫的弹性、座椅面距地面的高度和可调座椅的调节范围
坐姿的肩中部高度	大多数用于机动车辆中比较紧张的工作空间的设计中，很少被建筑师和室内设计师所使用。但是，在设计那些对视觉听觉有要求的空间时，这个尺寸有助于确定出妨碍视线的障碍物，也许在确定火车座的高度以及类似的设计中有用	由于涉及间距问题，一般使用第95百分位的数据	要考虑座椅软垫的弹性

续表

人体尺寸	应用条件	百分位选择	注意事项
肩宽	肩宽数据可用于确定环绕桌子的座椅间距和影剧院、礼堂中的排椅座位间距,也可用于确定公用和专用空间的通道间距	由于涉及间距问题,应使用第 95 百分位的数据	使用这些数据要注意可能涉及到的变化。要考虑衣服的厚度,对薄衣服要附加 7.9 mm,对厚衣服要附加 7.6 cm。还要注意,由于躯干和肩的活动,两肩之间所需的空间会加大
两肘之间宽度	可用于确定会议桌、餐桌、柜台和牌桌周围座椅的位置	由于涉及间距问题,应使用第 95 百分位的数据	应该与肩宽尺寸结合使用
臀部宽度	这些数据对于确定座椅内侧尺寸和设计酒吧、柜台和办公座椅极为有用	由于涉及间距问题,应使用第 95 百分位的数据	根据具体条件、与两肘之间宽度和肩宽结合使用
肘部平放高度	与其他一些数据和考虑因素联系在一起,用于确定椅子扶手、工作台、书桌、餐桌和其他特殊设备的高度	肘部平放高度既不涉及间距问题也不涉及伸手够物的问题,其目的只是能使手臂得到舒适的休息即可。选择第 50 百分位左右的数据是合理的。在许多情况下,这个高度在 14 ~ 27.9 cm 之间,这样一个范围可以适合大部分使用者	座椅软垫的弹性、座椅表面的倾斜以及身体姿势都应予以注意
大腿厚度	是设计柜台、书桌、会议桌、家具及其他一些室内设备的关键尺寸,而这些设备都需要把腿放在工作面下面。特别是有直拉式抽屉的工作面,要使大腿与大腿上方的障碍物之间有适当的间隙,这些数据是必不可少的	由于涉及间距问题,应选用第 95 百分位的数据	在确定上述设备的尺寸时,其他一些因素也应该同时予以考虑,例如腿弯高度和座椅软垫的弹性
膝盖高度	是确定从地面到书桌、餐桌和柜台底面距离的关键尺寸,尤其适用于使用者需要把大腿部分放在家具下面的场合。坐着的人与家具底面之间的靠近程度,决定了膝盖高度和大腿厚度是否是关键尺寸	要保证适当的间距,故应选用第 95 百分位的数据	要同时考虑座椅高度和坐垫的弹性
腿弯高度	是确定座椅面高度的关键尺寸,尤其对于确定座椅前缘的最大高度更为重要	确定座椅高度,应选用第 5 百分位的数据,因为如果座椅太高,大腿受到压力会使人感到不舒服。例如一个座椅高度能适应小个子人,也就能适应大个子人	选用这些数据时必须注意坐垫的弹性
臀部至腿弯长度	这个长度尺寸用于座椅的设计中,尤其适用于确定腿的位置、确定长凳和靠背椅等前面的垂直面以及确定椅面的长度	应该选用第 5 百分位的数据,这样能适应最多的使用者——臀部-膝部长度较长和较短的人。如果选用第 95 百分位的数据,则只能适合这个长度较长的人,而不适合这个长度较短的人	要考虑椅面的倾斜度
臀部至膝盖长度	用于确定椅背到膝盖前方的障碍物之间的适当距离,例如:用于影剧院、礼堂和作礼拜的固定排椅设计中	由于涉及间距问题,应选用第 95 百分位的数据	这个长度比臀部-足尖长度要短,如果座椅前面的家具或其他室内设施没有放置足尖的空间,就应该使用臀部-足尖长度

续表

人体尺寸	应用条件	百分位选择	注意事项
臀部至足尖长度	用于确定椅背到膝盖前方的障碍物之间的适当距离,例如:用于影剧院、礼堂和作礼拜的固定排椅设计中	由于涉及间距问题,应选用第 95 百分位的数据	如果座椅前方的家具或其他室内设施有放脚的空间,而且间隔要求比较重要,就可以使用臀部膝盖长度来确定合适的间距
臀部至脚后跟长度	对于室内设计人员来说,使用是有限的,当然可以利用它们布置休息室座椅或不拘礼节地就坐座椅。另外,还可用于设计搁脚凳、理疗和健身设施等等综合空间	由于涉及间距问题,应选用第 95 百分位的数据	在设计中,应该考虑鞋、袜对这个尺寸的影响,一般,对于男鞋要加上 2.5 cm,对于女鞋则加上 7.6 cm
坐姿垂直伸手高度	主要用于确定头顶上方的控制装置和开关等等的位置,所以较多地被设备专业的设计人员所使用。	选用第 5 百分位的数据是合理的,这样可以同时适应小个子人和大个子人	要考虑椅面的倾斜度和椅垫的弹性
立姿垂直手握高度	可用于确定开关、控制器、拉杆、把手、书架以及衣帽架等等的最大高度	由于涉及伸手够东西的问题,如果采用高百分位的数据就不能适应小个子人,所以设计出发点应该基于适应小个子人,这样也同样能适应大个子人	尺寸是不穿鞋测量的,使用时要给予适当地补偿
立姿侧向手握距离	有助于设备设计人员确定控制开关等装置的位置,它们还可以为建筑师和室内设计师用于某些特定的场所,例如医院,实验室等。如果使用者是坐着的,这个尺寸可能会稍有变化,但仍能用于确定人侧面的书架位置	由于主要的功用是确定手握距离,这个距离应能适应大多数人,因此,选用第 5 百分位的数据是合理的	如果涉及的活动需要使用专门的手动装置、手套或其他某种特殊设备,这些都会延长使用者的一般手握距离,对于这个延长量应予以考虑
手臂平伸手握距离	有时人们需要越过某种障碍物去够一个物体或者操纵设备,这些数据可用来确定障碍物的最大尺寸。本书中列举的设计情况是在工作台上方安装搁板或在办公室工作桌前面的低隔断上安装小柜	选用第 5 百分位的数据,这样能适应大多数人	要考虑操作或工作的特点
人体最大厚度	尽管这个尺寸可能对设备设计人员更为有用,但它们也有助于建筑师在较紧张的空间里考虑间隙或在人们排队的场合下设计所需要的空间	应该选用第 95 百分位的数据	衣服的厚薄、使用者的性别以及一些不易察觉的因素都应予以考虑
人体最大宽度	可用于设计通道宽度、走廊宽度、门和出入口宽度以及公共集会场所等等	应该选用第 95 百分位的数据	衣服的厚薄、人走路或做其他事情时的影响以及一些不易察觉的因素都应予以考虑

2.4.2 人体尺寸的应用方法

1. 确定所设计产品的类型

在涉及人体尺寸的产品设计中,设定产品功能尺寸的主要依据是人体尺寸百分位数,而人体尺寸百分位数的选用又与所设计产品的类型密切相关。在 GB/T 12985—1991 标准中,依据产品使用者人体尺寸的设计上限值(最大值)和下限值(最小值)对产品尺寸设计进行了分类,产品类型的名称及其定义

列于表 2-10。凡涉及人体尺寸的产品设计，首先应按该分类方法确认所设计的对象是属于其中的哪一类型。

表 2-10 产品尺寸设计分类

产品类型	产品类型定义	说 明
I 型产品尺寸设计	需要两个人体尺寸百分位数作为尺寸上限值和下限值的依据	又称双限值设计
II 型产品尺寸设计	只需要一个人体尺寸百分位数作为尺寸上限值或下限值的依据	又称单限值设计
II A 型产品尺寸设计	只需要一个人体尺寸百分位数作为尺寸上限值的依据	又称大尺寸设计
II B 型产品尺寸设计	只需要一个人体尺寸百分位数作为尺寸下限值的依据	又称小尺寸设计
III 型产品尺寸设计	只需要第 50 百分位数 (P_{50}) 作为产品尺寸设计的依据	又称平均尺寸设计

2. 选择人体尺寸百分位数

表 2-10 中的产品尺寸设计类型，按产品的重要程度又分为涉及人的健康、安全的产品和一般工业产品两个等级。在确认所设计的产品类型及其等级之后，选择人体尺寸百分位数的依据是满足度。人机工程学设计中的满足度，是指所设计产品在尺寸上能满足多少人使用，通常以合适使用的人数占使用者群体的百分比表示。产品尺寸设计的类型、等级、满足度与人体尺寸百分位数的关系见表 2-11。

表 2-11 人体尺寸百分位数的选择

产品类型	产品重要程度	百分位数的选择	满足度
I 型产品	涉及人的健康、安全的产品	选用 P_{99} 和 P_1 作为尺寸上、下限值的依据；	98%
	一般工业产品	选用 P_{95} 和 P_5 作为尺寸上、下限值的依据	90%
II A 型产品	涉及人的健康、安全的产品	选用 P_{99} 和 P_{95} 作为尺寸上限值的依据；	99% 或 95%
	一般工业产品	选用 P_{90} 作为尺寸上限值的依据	90%
II B 型产品	涉及人的健康、安全的产品	选用 P_1 和 P_5 作为尺寸下限值的依据；	99% 或 95%
	一般工业产品	选用 P_{10} 作为尺寸下限值的依据	90%
III 型产品	一般工业产品	选用 P_{50} 作为产品尺寸设计的依据	通用
成年男、女通用产品	一般工业产品	选用男性的 P_{99} 、 P_{95} 或 P_{90} 作为尺寸上限值的依据； 选用女性的 P_1 、 P_5 或 P_{10} 作为尺寸下限值的依据	通用

表中给出的满足度指标是通常选用的指标，特殊要求的设计，其满足度指标可另行确定。设计者当然希望所设计的产品能满足特定使用者总体中所有的人使用，尽管这在技术上是可行的，但在经济上往往是不合理的。因此，满足度的确定应根据所设计产品使用者总体的人体尺寸差异性、制造该类产品技术

上的可行性和经济上的合理性等因素进行综合优选。

还需要说明的是，在设计时虽然确定了某一满足度指标，但用一种尺寸规格的产品却无法达到这一要求，在这种情况下，可考虑采用产品尺寸系列化和产品尺寸可调节性设计解决。

3. 确定功能修正量

有关人体尺寸标准中所列的数据是在裸体或穿单薄内衣的条件下测得的，测量时不穿鞋或穿着纸拖鞋。而设计中所涉及的人体尺度应该是在穿衣服、穿鞋甚至戴帽条件下的人体尺寸。因此，考虑有关人体尺寸时，必须给衣服、鞋、帽留下适当的余量，也就是在人体尺寸上增加适当的着装修正量。

其次，在人体测量时要求躯干为挺直姿势，而人在正常作业时，躯干则为自然放松姿势，为此应考虑由于姿势不同而引起的变化量。此外，还需考虑实现产品不同操作功能所需的修正量。所有这些修正量的总计为功能修正量。功能修正量随产品不同而异，通常为正值，但有时也可能为负值。

通常用实验方法去求得功能修正量，但也可以从统计数据中获得。对于着装和穿鞋修正量可参照表 2-12 中的数据确定。对姿势修正量的常用数据是，立姿时的身高、眼高减10 mm；坐姿时的坐高、眼高减44 mm。考虑操作功能修正量时，应以上肢前展长为依据，而上肢前展长是后背至中指尖点的距离，因而对操作不同功能的控制器应作不同的修正，如对按按钮开关可减 12 mm；对推滑板推钮、扳动扳钮开关则减 25 mm。

表 2-12 正常人着装身材尺寸修正值 mm

项 目	尺寸修正量	修正原因	项 目	尺寸修正量	修正原因
站姿高	25 ~ 38	鞋 高	两肘间宽	20	
坐姿高	3	裤 厚	肩 - 肘	8	手臂弯曲时， 肩肘部衣物压紧
站姿眼高	36	鞋 高	臂 - 手	5	
坐姿眼高	3	裤 厚	Akunbo 叉腰	8	
肩 宽	13	衣	大腿厚	13	
胸 宽	8	衣	膝 宽	8	
胸 厚	18	衣	膝 高	33	
腹 厚	23	衣	臀 - 膝	5	
立姿臀宽	13	衣	足 宽	13 ~ 20	
坐姿臀宽	13	衣	足 长	30 ~ 38	
肩 高	10	衣(包括坐 高 3 及肩 7)	足后跟	25 ~ 38	

4. 确定心理修正量

为了克服人们心理上产生的“空间压抑感”、“高度恐惧感”等心理感受，或者为了满足人们“求美”、“求奇”等心理需求，在产品最小功能尺寸上附加一项增量，称为心理修正量。心理修正量是用实验方法求得，一般是通过被试者主观评价表的评分结果进行统计分析，求得心理修正量。

5. 产品功能尺寸的设定

产品功能尺寸是指为确保实现产品某一功能而在设计时规定的产品尺寸。该尺寸通常是以设计界限值确定的人体尺寸为依据，再加上为确保产品某项功能实现所需的修正量。产品功能尺寸有最小功能尺寸和最佳功能尺寸两种，具体设定的通用公式如下：

- ① 最小功能尺寸 = 人体尺寸百分位数 + 功能修正量
- ② 最佳功能尺寸 = 人体尺寸百分位数 + 功能修正量 + 心理修正量

2.4.3 人体身高在设计中的应用方法

人体尺度主要决定人机系统的操纵是否方便和舒适宜人。因此，各种工作面的高度和设备高度，如操纵台、仪表盘、操纵件的安装高度以及用具的设置高度等，都要根据人的身高来确定。以身高为基准确定工作面高度、设备和用具高度的方法，通常是把设计对象归成各种典型的类型，并建立设计对象的高度与人体身高的比例关系，以供设计时选择和查用。图 2-14 是以身高为基准的设备和用具的尺寸推算图，图中各代号的定义见表 2-13。

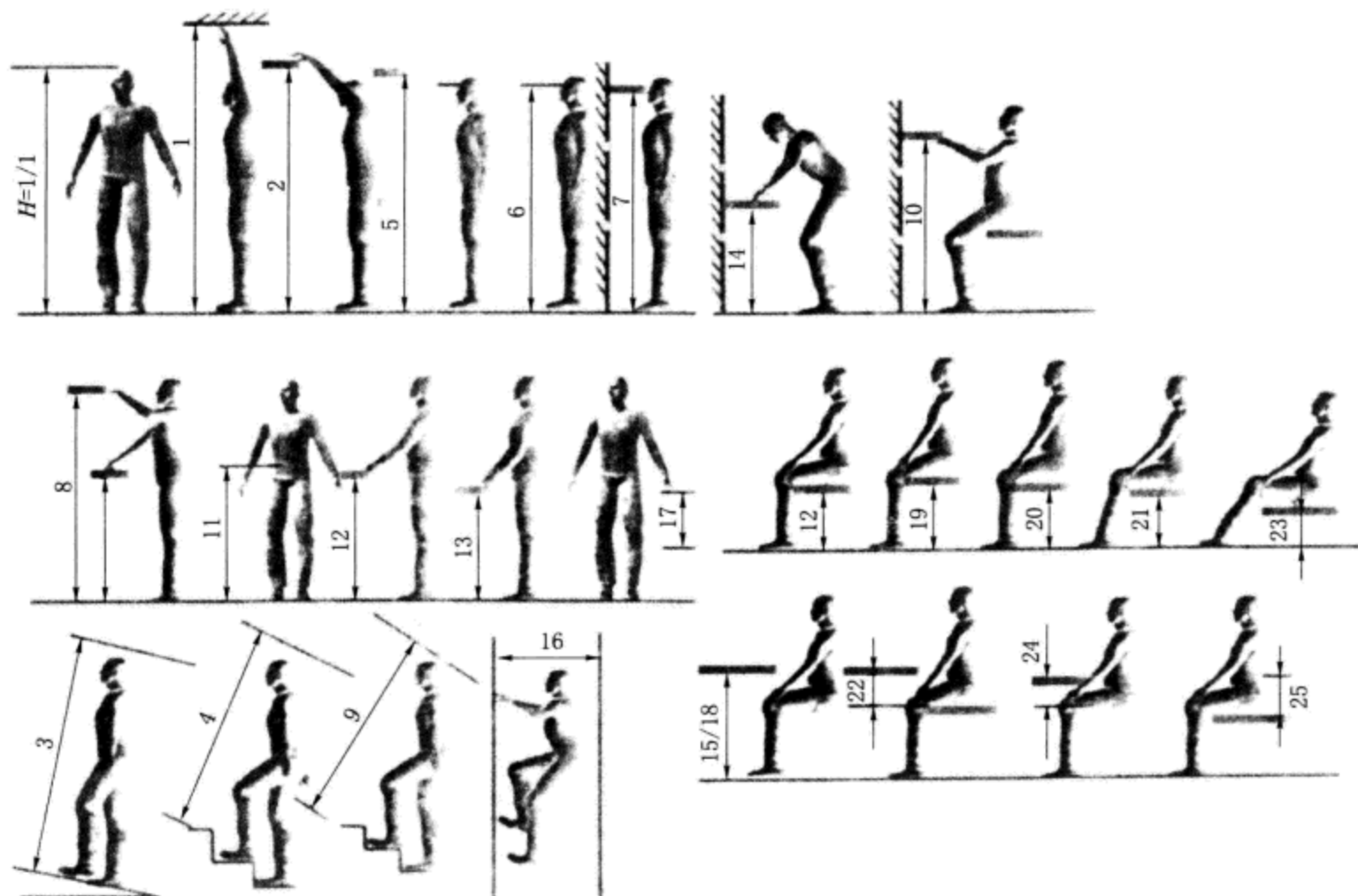


图 2-14 以身高为基准的设备和用具尺寸推算图

表 2-13 设备及用具的高度与身高的关系

代号	定 义	设备高与身高之比
1	举手达到的高度	4/3
2	可随意取放东西的搁板高度（上限值）	7/6
3	倾斜地面的顶棚高度（最小值，地面倾斜度为 5°~15°）	8/7
4	楼梯的顶棚高度（最小值，地面倾斜度为 25°~35°）	1/1
5	遮挡住直立姿势视线的隔板高度（下限值）	33/34
6	直立姿势眼高	11/12
7	抽屉高度（上限值）	10/11
8	使用方便的搁板高度（上限值）	6/7
9	斜坡大的楼梯的天棚高度（最小值，倾斜度为 50°左右）	3/4
10	能发挥最大拉力的高度	3/5

续表

代号	定 义	设备高与身高之比
11	人体重心高度	5/9
12	采取直立姿势时工作面的高度	6/11
12	坐高（坐姿）	6/11
13	灶台高度	10/19
14	洗脸盆高度	4/9
15	办公桌高度（不包括鞋）	7/17
16	垂直踏棍爬梯的空间尺寸（最小值，倾斜 $80^{\circ} \sim 90^{\circ}$ ）	2/5
17	手提物的长度（最大值）	3/8
17	使用方便的搁板高度（下限值）	3/8
18	桌下空间（高度的最小值）	1/3
19	工作椅的高度	3/13
20	轻度工作的工作椅高度*	3/14
21	小憩用椅子高度*	1/6
22	桌椅高差	3/17
23	休息用的椅子高度*	1/6
24	椅子扶手高度	2/13
25	工作用椅子的椅面至靠背点的距离	3/20
* 号为座位基准点的高度（不包括鞋）。		

第3章 人体感知与信息处理

3.1 人在系统中的功能

3.1.1 人是系统中的重要“环节”

对于人机系统中的操作者，如果把他作为一个独立的系统来研究，完整的人体从形态和功能上可划分为：运动系统、消化系统、呼吸系统、泌尿系统、生殖系统、循环系统、内分泌系统、感觉系统和神经系统共九个子系统。各系统的功能活动相互联系、相互制约，在神经、体液的支配和调节下，构成完整统一的有机体，进行正常的功能活动。

人体是一个极为复杂的生命系统，也是一个协同有序的工作系统，人体以一个完整的子系统与外界大系统相联系。在各类人机系统中，人都是以中枢神经为中心与外界建立统一协调的关系，其具体模式如图3-1所示。

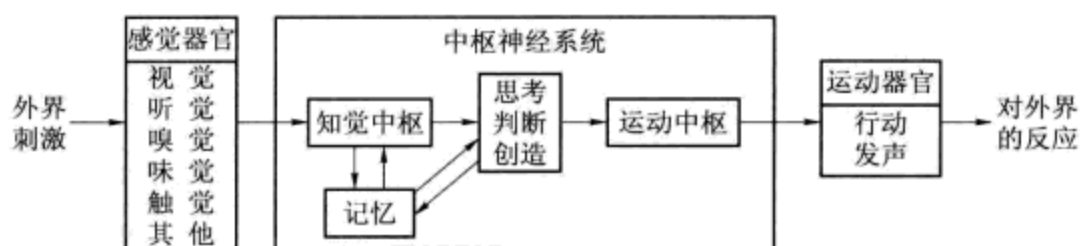


图3-1 人与外界的协调模式

由图可见，人的感觉器官、中枢神经系统、运动器官等人体子系统控制着人体对外界刺激的反应。从人体神经系统活动机制来看，人体对外界刺激的反应过程就是信息在体内的循环过程。从信息理论的基本观点来分析，这种反应过程就是信息在人体内的流动过程。

显然，要使上述的闭环系统有效地运行，就要求人体结构中许多部位协同发挥作用。首先是感觉器官，它是操作者感受人机系统信息的特殊区域，也是系统中最早可能产生误差的部位；其次，传入神经将信息由感觉器官传到大脑的理解和决策中心，决策指令再由大脑传出神经传到肌肉；最后一步，是身体的运动器官执行各种操作动作，即所谓作用过程。对于人机系统中人的这个“环节”，除了感知能力、决策能力对系统操作效率有很大影响之外，最终的作用过程可能是对操作者效率的最大限制。为了建立人与机器、环境之间相适应的关系，以组成一个高效的人-机-环境系统，本章将从人机工程学的观点来讨论人的感觉系统和神经系统的机能特点及其功能限度，为人机工程设计提供有关人体生理学和心理学基础。

3.1.2 人的感知与反应机能

1. 反射弧

神经系统调节机体的活动，对内、外环境的刺激作出一定的应答反应，称为反射。反射是神经系统调节机体活动的一种基本形式。参与一个反射活动的

全部结构组成该反射的反射弧，如膝跳反射的反射弧。不同的反射弧繁简不一，但都具有五个基本环节，即感受器→传入神经元→中间神经元→传出神经元→效应器，如图 3-2（a）所示。

2. 信息键

人机系统中的信息在人的神经系统中的循环过程可用图 3-2（b）加以描述。该图表示，感受器官从外界收集信息，经过传入通道输送到中枢神经系统的适当部位，信息在这里经过处理、评价并与贮存信息相比较，必要时形成指令，并经过传出神经纤维送到效应器而作用于运动器官。运动器官的动作由反馈来监控，内反馈确定运动器官动作强度；外反馈确定用以实现指令的最后效果。

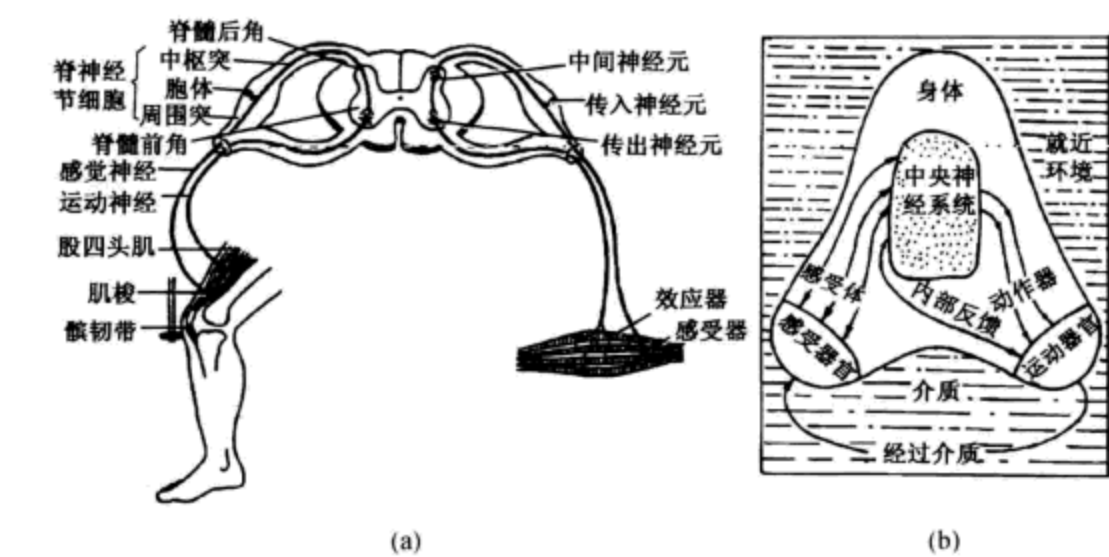


图 3-2 反射弧及信息链
(a) 反射弧基本环节；(b) 信息链

3.1.3 感觉通道与适用的信息

人的感觉器官各有自身的特性、优点和适应能力。对于一定的刺激，选择合适的感觉通道，能获得最佳的信息处理效果。常用的是视觉通道和听觉通道。在特定条件下，触觉和嗅觉通道也有其特殊用处，尤其在视觉和听觉通道都超载的情况下，将专门的触觉传感器贴在皮肤上可作为一种有价值的报警装置。视觉、听觉和触觉通道的适用场合如表 3-1 所示。

表 3-1 不同感觉通道的适用场合

感觉通道	适 用 场 合	
视觉通道	1. 传递比较复杂的或抽象的信息	5. 传递不要求立即作出快速响应的信息
	2. 传递比较长的或需要延迟的信息	6. 所处环境不适合使用听觉通道的场合
	3. 传递的信息以后还要引用	7. 虽适合听觉传递，但听觉通道已过载的场合
	4. 传递的信息与空间方位、空间位置有关	8. 作业情况允许操作者固定保持在一个位置上
听觉通道	1. 传递比较简单的信息	5. 传递要求立即作出快速响应的信息
	2. 传递比较短的或无需延迟的信息	6. 所处环境不适合使用视觉通道的场合
	3. 传递的信息以后不再需要引用	7. 虽适合视觉传递，但视觉通道已过载的场合
	4. 传递的信息与时间有关	8. 作业情况要求操作者不断走动的场合
触觉通道	1. 传递非常简明的、要求快速传递的信息	3. 其他感觉通道已过载的场合
	2. 经常要用手接触机器或其装置的场合	4. 使用其他感觉通道有困难的情况

3.2 视觉机能及其特征

3.2.1 视觉刺激

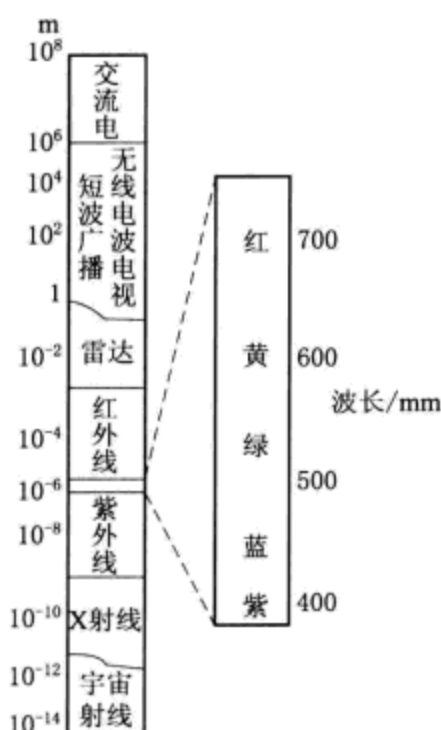


图 3-3 全部电磁光谱中的可见光谱

视觉的适宜刺激是光。光是放射的电磁波，如图 3-3 所示，呈波形的放射电磁波组成光谱，其波长差异极大。整个范围从最短的宇宙射线到无线电和电力波。图 3-3 右方还表示出，为人类视力所能接受的光波只占整个电磁光谱的一小部分，即不到 $1/70$ 。在正常情况下，人的两眼所能感觉到的波长大约是 380 nm ($1\text{ nm} = 10^{-9}\text{ m}$) 到 780 nm 。如果照射两眼的光波波长在可见光谱上短的一端，人就知觉到紫色；如光波波长在可见光谱上长的一端，人则知觉到红色。在可见光谱两端之间的波长将产生蓝、绿、黄各色的知觉；将各种不同波长的光混合起来，可以产生各种不同颜色的知觉，将所有可见的波长的光混合起来则产生白色。

光谱上的光波波长小于 380 nm 的一段称为紫外线；光波波长大于 780 nm 的一段称为红外线。而这两部分波长的光都不能引起人的光觉。

3.2.2 视觉系统

视觉是由眼睛、视神经和视觉中枢的共同活动完成的。人的视觉系统如图 3-4 所示。视觉系统主要是一对眼睛，它们各由一支视神经与大脑视神经表层相连。连接两眼的两支视神经在大脑底部视觉交叉处相遇，在交叉处视神经部分交叠，然后再终止到和眼睛相反方向的大脑视神经表层上。这样，可使两眼左边的视神经纤维终止到大脑左边的视神经皮层上；而两眼右边的视神经纤维终止到大脑右视神经皮层上。由于大脑两半球对于处理各种不同信息的功能并不都相同，就视觉系统的信息而言，在分析文字上，左半球较强，而对于数字的分辨，右半球较强。而且视觉信息的性质不同，在大脑左右半球上所产生的效应也不同。因此，当信息发生在极短时间内或者要求作出非常迅速的反应时，上述视神经的交叉就起了很重要的互补作用。

眼睛是视觉的感受器官，人眼是直径为 $21\sim 25\text{ mm}$ 的球体，其基本构造与照相机相类似，见图 3-5。光线由瞳孔进入眼中，瞳孔的直径大小由有色的虹膜控制，使眼睛在更大范围内适应光强的变化。进入的光线通过起“透镜”

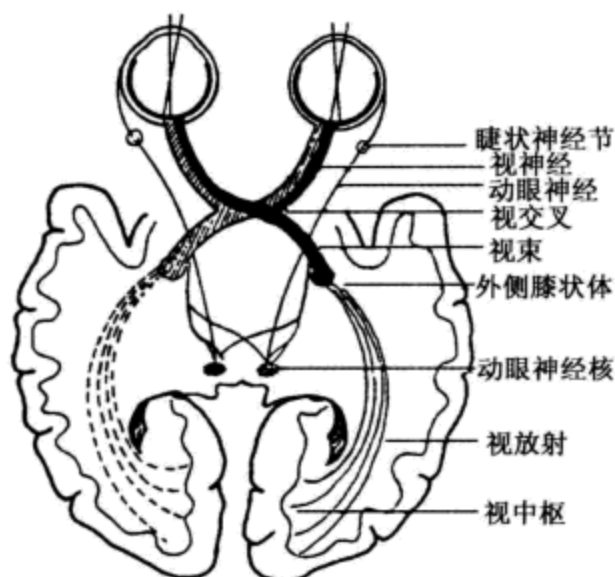


图 3-4 人的视觉系统

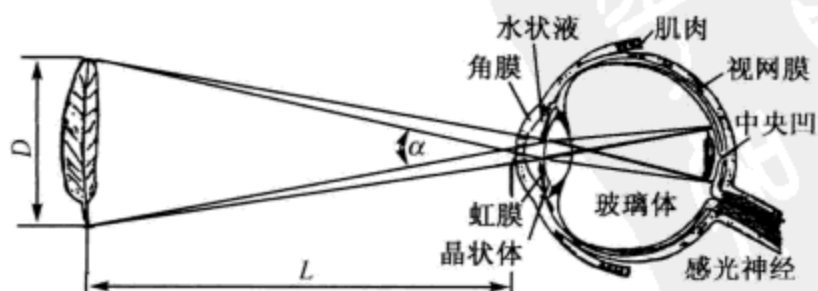


图 3-5 眼睛结构示意图

作用的晶状体聚焦在视网膜上，眼睛的焦距是依靠眼周肌肉来调整晶状体的曲率实现的，同时因视网膜感光层是个曲面，能用以补偿晶状体曲光率的调整，从而使聚焦更为迅速而有效。在眼球内约有三分之二的内表面覆盖着视网膜，它具有感光作用，但视网膜各部位的感光灵敏度并不完全相同，其中央部位灵敏度较高，越到边缘就越差。落在中央部位的映像清晰可辨，而落在边缘部分则不甚清晰。眼睛还有上、下、左、右共六块肌肉能对此作补救，因而转动眼球便可审视全部视野，使不同的映象可迅速依次落在视网膜中灵敏度最高处。两眼同时视物，可以得到在两眼中间同时产生的映像，它能反映出物体与环境间相对的空间位置，因而眼睛能分辨出三度空间。

3.2.3 视觉机能

1. 视角与视力

视角是确定被看物尺寸范围的两端点光线射入眼球的相交角度，见图 3-5。视角的大小与观察距离及被看物体上两端点的直线距离有关，可用下式表示：

$$\alpha = 2\arctan \frac{D}{2L} \quad (3-1)$$

式中， α 为视角，用 (') 表示，即 $(1/60)^\circ$ 单位； D 为被看物体上两端点的直线距离； L 为眼睛到被看物体的距离。

眼睛能分辨被看物体最近两点的视角，称为临界视角。

视力是眼睛分辨物体细微结构能力的一个生理尺度，以临界视角的倒数来表示，即：

$$\text{视力} = \frac{1}{\text{能够分辨的最小物体的视角}}$$

检查人眼视力的标准规定，当临界视角为 1 分时，视力等于 1.0，此时视力为正常。当视力下降时，临界视角必然要大于 1 分，于是视力用相应的小于 1.0 的数值表示。视力的大小还随年龄、观察对象的亮度、背景的亮度以及两者之间亮度对比度等条件的变化而变化。

2. 视野与视距

视野是指人的头部和眼球固定不动的情况下，眼睛观看正前方物体时所能看得见的空间范围，常以角度来表示。视野的大小和形状与视网膜上感觉细胞的分布状况有关，可以用视野计来测定视野的范围。正常人两眼的视野如图 3-6 所示。

在水平面内的视野是：双眼视区大约在左右 60° 以内的区域，在这个区域里还包括字、字母和颜色的辨别范围，辨别字的视线角度为 $10^\circ \sim 20^\circ$ ；辨别字母的视线角度为 $5^\circ \sim 30^\circ$ ，在各自的视线范围以外，字和字母趋于消失。对于特定的颜色的辨别，视线角度为 $30^\circ \sim 60^\circ$ 。人的最敏锐的视力是在标准视线每侧 1° 的范围内；单眼视野界限为标准视线每侧 $94^\circ \sim 104^\circ$ ，见图 3-6 (a)。

在垂直平面的视野是：假定标准视线是水平的，定为 0° ，则最大视区为视平线以上 50° 和视平线以下 70° 。颜色辨别界限为视平线以上 30° ，视平线以下 40° 。实际上人的自然视线是低于标准视线的，在一般状态下，站立时自然视线低于水平线 10° ，坐着时低于水平线 15° ；在很松弛的状态中，站着和坐着的自然视线偏离标准线分别为 30° 和 38° 。观看展示物的最佳视区在低于标准视线 30° 的区域里，见图 3-6 (b)。

视距是指人在操作系统中正常的观察距离。一般操作的视距范围在 38 ~ 76 cm 之间。视距过远或过近都会影响认读的速度和准确性，而且观察距离与

工作的精确程度密切相关，因而应根据具体任务的要求来选择最佳的视距。表 3-2 给出了推荐采用的几种工作任务的视距。

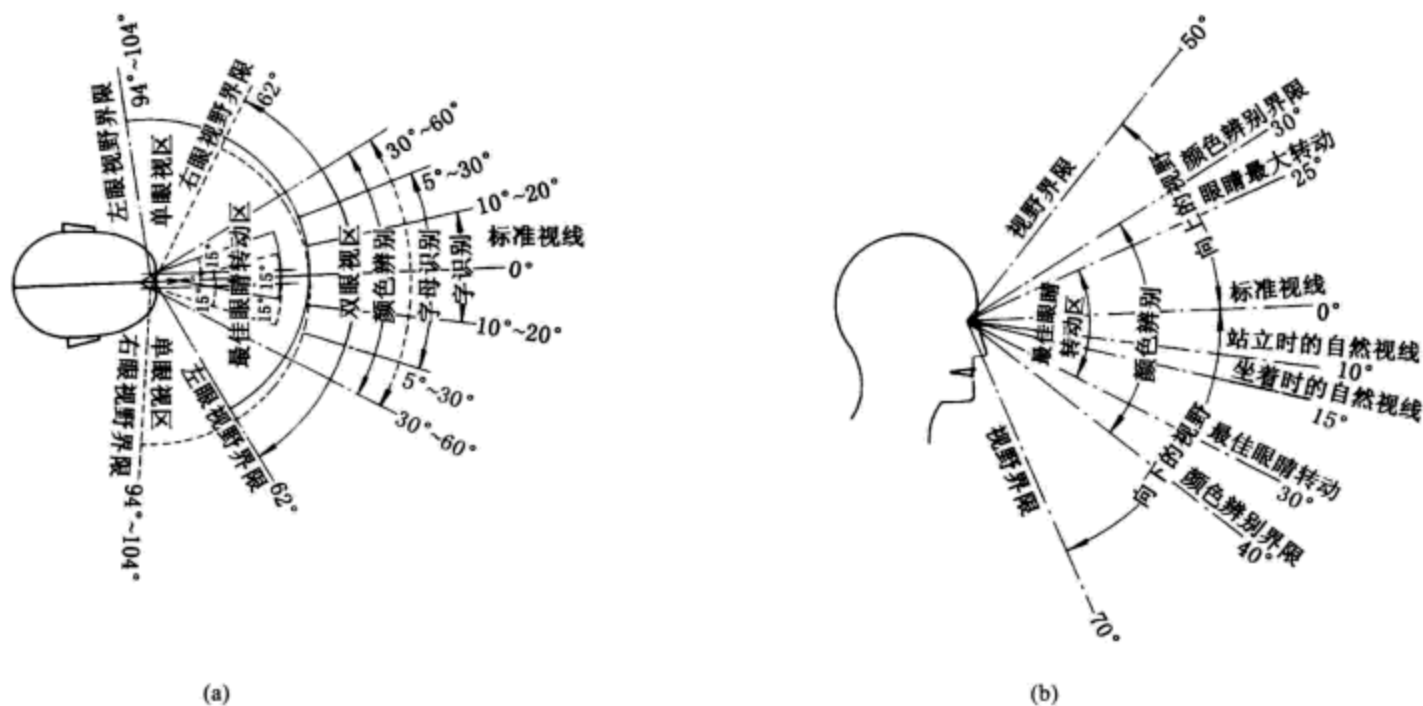


图 3-6 人的水平视野和垂直视野
(a) 水平面内视野；(b) 垂直面内视野

表 3-2 几种工作任务视距的推荐值

任务要求	举 例	视距离（眼至视觉对象）/cm	固定视野直径/cm	备 注
最精细的工作	安装最小部件（表、电子元件）	12 ~ 25	20 ~ 40	完全坐着，部分地依靠视觉辅助手段（小型放大镜、显微镜）
精细工作	安装收音机、电视机	25 ~ 35（多为 30 ~ 32）	40 ~ 60	坐着或站着
中等粗活	在印刷机、钻井机、机床旁工作	50 以下	至 80	坐或站
粗 活	包装、粗磨	50 ~ 150	30 ~ 250	多为站着
远 看	看黑板、开汽车	150 以上	250...	坐或站

3. 中央视觉和周围视觉

在视网膜上分布着视锥细胞多的中央部位，其感色力强，同时能清晰地分辨物体，用这个部位视物的称为中央视觉。视网膜上视杆细胞多的边缘部位感受多彩的能力较差或不能感受，故分辨物体的能力差。但由于这部分的视野范围广，故能用于观察空间范围和正在运动的物体，称其为周围视觉。

在一般情况下，既要求操作者的中央视觉良好，同时也要求其周围视觉正常。而对视野各方面都缩小到 10°以内者称为工业盲。两眼中心视力正常而有工业盲视野缺陷者，不宜从事驾驶飞机、车、船、工程机械等要求具有较大视野范围的工作。

4. 双眼视觉和立体视觉

当用单眼视物时，只能看到物体的平面，即只能看到物体的高度和宽度。若用双眼视物时，具有分辨物体深浅、远近等相对位置的能力，形成所谓立体视觉。立体视觉产生的原因，主要因为同一物体在两视网膜上所形成的象并不完全相同，右眼看到物体的右侧面较多，左眼看到物体的左侧面较多，其位置虽略有不同，但又在对称点的附近。最后，经过中枢神经系统的综合，而得到一个完整的立体视觉。

立体视觉的效果并不全靠双眼视觉，如物体表面的光线反射情况和阴影等，

都会加强立体视觉的效果。此外，生活经验在产生立体视觉效果上也起一定作用。例如，近物色调鲜明，远物色调变淡，极远物似乎是蓝灰色。工业设计与工艺美术中的许多平面造型设计颇有立体感，就是运用这种生活经验的结果。

5. 色觉与色视野

视网膜除能辨别光的明暗外，还有很强的辨色能力，可以分辨出 180 多种颜色。人眼的视网膜可以辨别波长不同的光波，在波长为 380 ~ 780 nm 的可见光谱中，光波波长只相差 3 nm，人眼即可分辨，但主要是红、橙、黄、绿、青、蓝、紫等七色。人眼区别不同颜色的机理，常用光的“三原色学说”来解释，该学说认为红、绿、蓝（或紫）为三种基本色，其余的颜色都可由这三种基本色混合而成；并认为在视网膜中有三种视锥细胞，含有三种不同的感光色素分别感受三种基本颜色。当红光、绿光、蓝光（或紫光）分别入眼后，将引起三种视锥细胞对应的光化学反应，每种视锥细胞发生兴奋后，神经冲动分别由三种视神经纤维传入大脑皮层视区的不同神经细胞，即引起三种不同的颜色感觉。当三种视锥细胞受到同等刺激时，引起白色的感觉。

缺乏辨别某种颜色的能力，称为色盲；若辨别某种颜色的能力较弱，则称色弱。有色盲或色弱的人，不能正确地辨别各种颜色的信号，不宜从事驾驶飞机、车辆以及各种辨色能力要求高的工作。

由于各种颜色对人眼的刺激不同，人眼的色觉视野也就不同，见图 3-7。图中角度数值是在正常亮度条件下对人眼的实验结果，表明人眼对白色的视野最大，对黄色、蓝色、红色的视野依次减小，而对绿色的视野最小。

6. 暗适应和明适应

当光的亮度不同时，视觉器官的感受性也不同，亮度有较大变化时，感受性也随之变化。视觉器官的感受性对光刺激变化的相顺应性称为适应。人眼的适应性分为暗适应和明适应两种。

当人从亮处进入暗处时，刚开始看不清物体，而需要经过一段适应的时间后，才能看清物体，这种适应过程称为暗适应。暗适应过程开始时，瞳孔逐渐放大，进入眼睛的光通量增加。同时对弱刺激敏感的视杆细胞也逐渐转入工作形态，由于视杆细胞转入工作状态的过程较慢，因而整个暗适应过程大约需 30 min 左右才能趋于完成。与暗适应情况相反的过程称为明适应。明适应过程开始时，瞳孔缩小，使进入眼中的光通量减少；同时转入工作状态的视锥细胞数量迅速增加，因为对较强刺激敏感的视锥细胞反应较快，因而明适应过程一开始，人眼感受性迅速降低，30 s 后变化很缓慢，大约 1 min 后明适应过程就趋于完成。暗适应和明适应曲线见图 3-8。

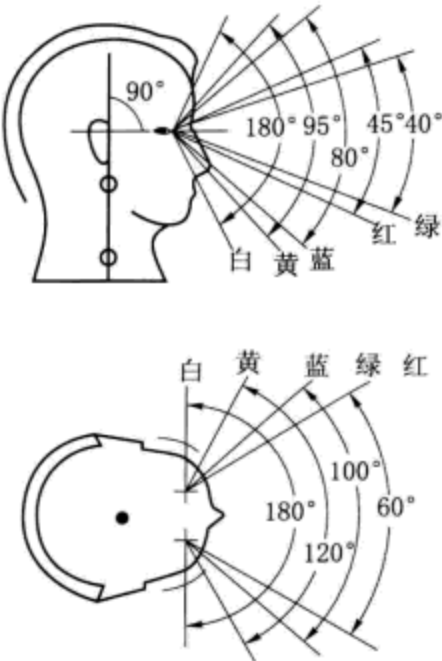


图 3-7 人的色视野

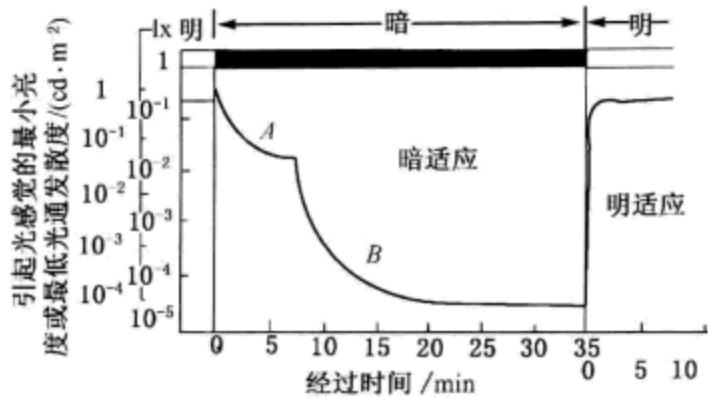


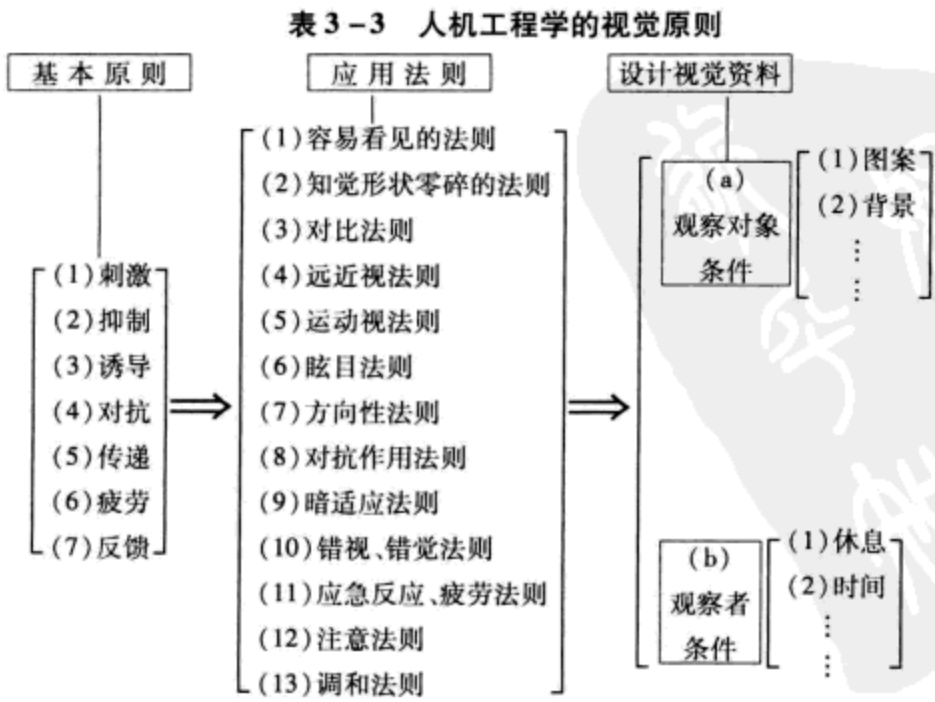
图 3-8 暗适应与明适应

人眼虽具有适应性的特点，但当视野内明暗急剧变化时，眼睛却不能很好适应，从而会引起视力下降。另外，如果眼睛需要频繁地适应各种不同亮度时，不但容易产生视觉疲劳，影响工作效率，而且也容易引起事故。为了满足人眼适应性的特点，要求工作面的光亮度均匀而且不产生阴影；对于必须频繁改变亮度的工作场所，可采用缓和照明或配戴一段时间有色眼镜，以避免眼睛频繁地适应亮度变化而引起视力下降和视觉过早疲劳。

3.2.4 视觉特征

- ① 眼睛沿水平方向运动比沿垂直方向运动快而且不易疲劳；一般先看到水平方向的物体，后看到垂直方向的物体。因此，很多仪表外形都设计成横向长方形。
- ② 视线的变化习惯于从左到右，从上到下和顺时针方向运动。所以，仪表的刻度方向设计应遵循这一规律。
- ③ 人眼对水平方向尺寸和比例的估计比对垂直方向尺寸和比例的估计要准确得多，因而水平式仪表的误读率（28%）比垂直式仪表的误读率（35%）低。
- ④ 当眼睛偏离视中心时，在偏离距离相等的情况下，人眼对左上限的观察最优，依次为右上限，左下限，而右下限最差。视区内的仪表布置必须考虑这一特点。
- ⑤ 两眼的运动总是协调的、同步的，在正常情况不可能一只眼睛转动而另一只眼睛不动；在一般操作中，不可能一只眼睛视物，而另一只眼睛不视物。因而通常都以双眼视野为设计依据。
- ⑥ 人眼对直线轮廓比对曲线轮廓更易于接受。
- ⑦ 颜色对比与人眼辨色能力有一定关系。当人从远处辨认前方的多种不同颜色时，其易辨认的顺序是红、绿、黄、白，即红色最先被看到。所以，停车、危险等信号标志都采用红色。当两种颜色相配在一起时，则易辨认的顺序是：黄底黑字，黑底白字、蓝底白字、白底黑字等。因而公路两旁的交通标志常用黄底黑字（或黑色图形）。

根据上述视觉特征，人机工程学专家对眼睛的使用归纳了表 3 - 3 所述原则。



3.3 听觉机能及其特征

3.3.1 听觉刺激

听觉是仅次于视觉的重要感觉，其适宜的刺激是声音。振动的物体是声音的声源，振动在弹性介质（气体、液体、固体）中以波的方式进行传播，所产生的弹性波称为声波，一定频率范围的声波作用于人耳就产生了声音的感觉。对于人来说，只有频率为 $20 \sim 20\,000\text{ Hz}$ 的振动，才能产生声音的感觉。低于 20 Hz 的声波称为次声；高于 $20\,000\text{ Hz}$ 的声波称为超声。次声和超声人耳都听不见。

3.3.2 听觉系统

人耳为听觉器官，严格地说，只有内耳的耳蜗起司听作用，外耳、中耳以及内耳的其他部分是听觉的辅助部分。人耳的基本结构如图 3-9 (a) 所示，外耳包括耳廓及外耳道，是外界声波传入耳和内耳的通路。中耳包括鼓膜和鼓室，鼓室中有锤骨、砧骨、镫骨三块听小骨以及与其相连的听小肌构成一杠杆系统；还有一条通向喉部的耳咽管，其主要功能是维持中耳内部和外界气压的平衡及保持正常的听力。内耳中的耳蜗是感音器官，它是个盘旋的管道系统，有前庭阶、蜗管及鼓阶三个并排盘旋的管道，见图 3-9 (b)。

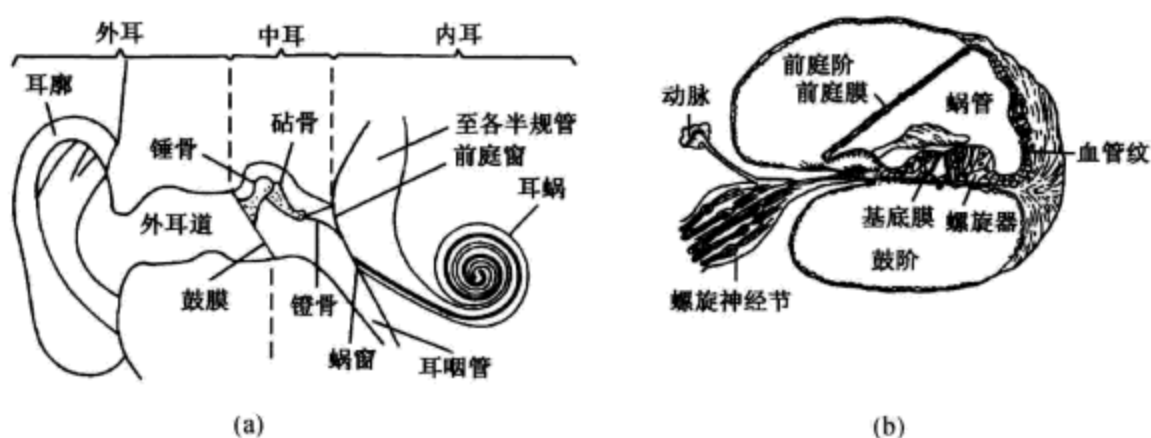


图 3-9 人耳的构造

(a) 人耳基本结构；(b) 耳蜗

外界的声波通过外耳道传到鼓膜，引起鼓膜的振动，然后经杠杆系统的传递，引起耳蜗中淋巴液及其底膜的振动，使基底膜表面的科蒂氏器中的毛细胞产生兴奋。科蒂氏器和其中所含的毛细胞，是真正的声音感受装置，听神经纤维就分布在毛细胞下方的基底膜中，机械能形式的声波就在此处转变为听神经纤维上的神经冲动，并以神经冲动的不同频率和组合形式对声音信息进行编码，然后被传送到大脑皮层听觉中枢，从而产生听觉。

3.3.3 听觉的物理特性

人耳在某些方面类似于声学换能器，也就是通常所说的传声器。听觉可用以下特性描述。

1. 频率响应

可听声主要取决于声音的频率,具有正常听力的青少年(年龄在12~25岁之间)能够觉察到的频率范围大约是16~20 000 Hz。而一般人的最佳听闻频率范围是20~20 000 Hz,可见人耳能听闻的频率比为:

$$\frac{f_{\min}}{f_{\max}} = 1:1\,000 \quad (3-2)$$

人到25岁左右时,开始对15 000 Hz以上频率的灵敏度显著降低,当频率高于15 000 Hz时,听阈开始向下移动,而且随着年龄的增长,频率感受的上限逐年连续降低。但是,对 $f < 1\,000$ Hz的低频率范围,听觉灵敏度几乎不受年龄的影响,见图3-10。听觉的频率响应特性对听觉传示装置的设计是很重要的。

2. 动态范围

可听声除取决于声音的频率外,还取决于声音的强度。听觉的声强动态范围可用下列比值表示:

$$\text{声强动态范围} = \frac{\text{正好可忍受的声强}}{\text{正好能听见的声强}}$$

(1) 听阈 在最佳的听闻频率范围内,一个听力正常的人刚刚能听到给定各频率的正弦式纯音的最低声强 I_{\min} ,称为相应频率下的“听阈值”。可根据各个频率 f 与最低声强 I_{\min} 绘出标准听阈曲线,见图3-11。由该曲线可以得出以下几点结论:

- ① 在800~1 500 Hz这段频率范围内,听阈无明显变化;
- ② 低于800 Hz时,可听响度随着频率的降低而明显减小。例如,在400 Hz时,只有在1 000 Hz时测得的“标准灵敏度”的1/10;在90 Hz时,只有“标准灵敏度”的1/10 000;而在40 Hz时,只有“标准灵敏度”的1/1 000 000;
- ③ 在3 000~4 000 Hz之间达到最大的听觉灵敏度,在该频率范围内,灵敏度高达标准值的10倍;
- ④ 超过6 000 Hz时,灵敏度再次下降,大约在17 000 Hz时,减至标准值的1/10。

(2) 痛阈 对于感受给定各频率的正弦式纯音,开始产生疼痛感的极限声强 I_{\max} ,称为相应频率下的“痛阈值”。可根据各频率 f 与极限声强 I_{\max} ,绘出标准痛阈曲线,见图3-11。由图可见,除了2 000~5 000 Hz之间有一段谷值外,开始感到疼痛的极限声强几乎与频率无关。

(3) 听觉区域 图3-11还绘出了由听阈与痛阈两条曲线所包围的“听觉区”(影线部分)。由人耳的感音机构所决定的这个“听觉区”中包括了标有“音乐”与“语言”标志的两个区域。

由图3-11可见,在1 000 Hz时的平均听阈值 I_0 约为 10^{-12} W/m²,在同一频率条件下痛阈 $I_{\max} = 10$ W/m²,由此可以得出,人耳能够处理的声强比为:

$$\frac{I_0}{I_{\max}} = \frac{1}{10^{13}} = 1:10 \text{ 万亿} \quad (3-3)$$

这种阈值虽然是一种“天赋”,却非常接近于适合人类交换信息的有用极限。

3. 方向敏感度

人耳的听觉本领,绝大部分都涉及到所谓“双耳效应”,或称“立体声效

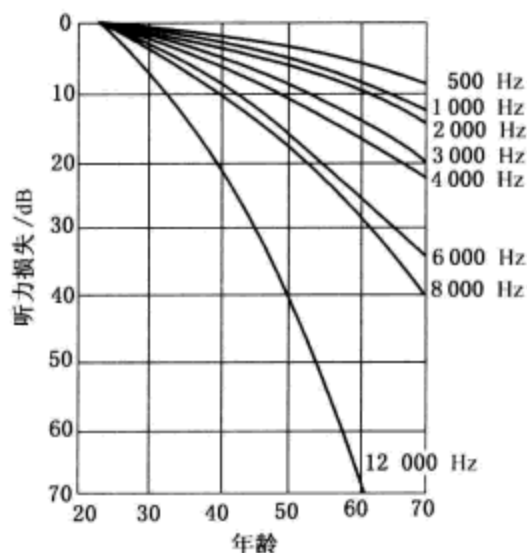


图3-10 听力损失曲线

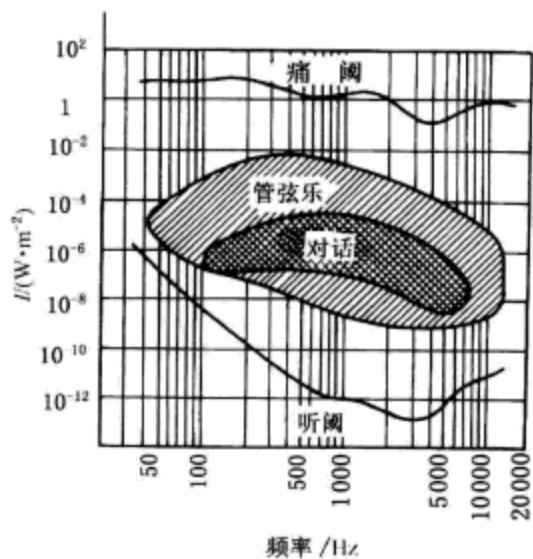


图3-11 听阈、痛阈与听觉区域

应”，这是正常的双耳听闻所具有的特性。当通常的听闻声压级为 50 ~ 70 dB 时，这种效应基本上取决于下列条件：

① 时差 $\Delta t = t_2 - t_1$ ，式中 t_1 为声信号从声源到达其相距较近的那个耳朵所需的时间， t_2 为同一信号到达距离较远的那只耳朵所需的时间。实验结果指出，从听觉上刚刚可觉察到的声信号入射的最小偏角为 3° ，在此情况下的时差 $\Delta t \approx 30 \mu s$ 。根据声音到达两耳的时间先后和响度差别可判定声源的方向。

② 由于头部的掩蔽效应，结果造成声音频谱的改变。靠近声源的那只耳朵几乎接收到形成完整声音的各频率成分；而到达较远那个耳朵的是被“畸变”了的声音，特别是中频与高频部分或多或少地受到衰减。

图 3-12 是右耳对于各种不同频率（200、500、2 500 与 5 000 Hz）纯音进行单耳听闻的方向敏感度。由图可知，入射角的作用也是在低频时比较小， $f = 200 \text{ Hz}$ 时为圆形曲线；频率越高，响应对于方向的依赖程度就越大，在 70° 时达到最大值。该图曲线可以说明人耳对不同频率与来自不同方向的声音的感受能力。人的听觉系统的这一特性对室内声学设计是极其重要的。

4. 掩蔽效应

一个声音被另一个声音所掩盖的现象，称为掩蔽。一个声音的听阈因另一个声音的掩蔽作用而提高的效应，称为掩蔽效应。在设计听觉传递装置时，应当根据实际需要，有时要对掩蔽效应的影响加以利用，有时则要加以避免或克服。

应当注意到，由于人的听阈的复原需要经历一段时间，掩蔽声去掉以后，掩蔽效应并不立即消除，这个现象称为残余掩蔽或听觉残留。其量值可表示听觉疲劳。掩蔽声对人耳刺激的时间和强度直接影响人耳的疲劳持续时间和疲劳程度，刺激越长、越强，则疲劳越严重。

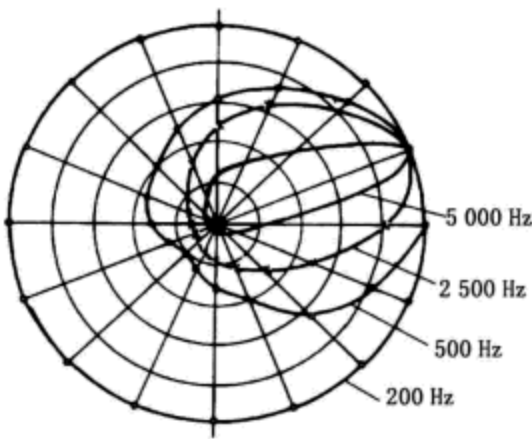


图 3-12 听觉的方向敏感度

3.4 其他感觉机能及其特征

3.4.1 肤觉

从人的感觉对人机系统的重要性来看，肤觉是仅次于听觉的一种感觉。皮肤是人体上很重要的感觉器官，感受着外界环境中与它接触物体的刺激。人体皮肤上分布着三种感受器：触觉感受器、温度感受器和痛觉感受器。用不同性质的刺激检验人的皮肤感觉时发现，不同感觉的感受区在皮肤表面呈相互独立的点状分布。

1. 触觉

(1) 触觉感受器 触觉是微弱的机械刺激触及了皮肤浅层的触觉感受器而引起的；而压觉是较强的机械刺激引起皮肤深部组织变形而产生的感觉，由于两者性质上类似，通常称触压觉。

触觉感受器能引起的感觉是非常准确的，触觉的生理意义是能辨别物体的大小、形状、硬度、光滑程度以及表面机理等机械性质的触感。在人机系统的操纵装置设计中，就是利用人的触觉特性，设计具有各种不同触感的操纵装置，以使操作者能够靠触觉准确地控制各种不同功能的操纵装置。

根据对触觉信息的性质和敏感程度的不同，分布在皮肤和皮下组织中的

触觉感受器有：游离神经末梢、触觉小体、触盘、毛发神经末梢、梭状小体、环层小体等。不同的触觉感受器决定了对触觉刺激的敏感性和适应出现的速度。

(2) 触觉阈限 对皮肤施适当的机械刺激，在皮肤表面下的组织将引起位移，在理想的情况下，小到0.001 mm的位移，就足够引起触的感觉。然而，皮肤的不同区域对触觉敏感性有相当大的差别，这种差别主要是由于皮肤的厚度、神经分布状况引起的。研究表明，女性的阈限分布与男性相似，但比男性略为敏感。还发现面部、口唇、指尖等处的触点分布密度较高，而手背、背部等处的密度较低。

与感知触觉的能力一样，准确地给触觉刺激点定位的能力，因受刺激的身体部位不同而异。研究发现，刺激指尖和舌尖，能非常准确地定位，其平均误差仅1 mm左右。而在身体的其他区域，如上臂、腰部和背部，对刺激点定位能力比较差，其平均误差几乎有1 cm左右。一般说来，身体有精细肌肉控制的区域，其触觉比较敏锐。

如果皮肤表面相邻两点同时受到刺激，人将感受到只有一个刺激；如果接着将两个刺激略为分开，并使人感受到有两个分开的刺激点，这种能被感知到的两个刺激点间最小的距离称为两点阈限。两点阈限因皮肤区域不同而异，其中以手指的两点阈限值最低。这是利用手指触觉操作的一种“天赋”。

2. 温度觉

温度觉分为冷觉和热觉两种，这两种温度觉是由两种不同范围的温度感受器引起的，冷感受器在皮肤温度低于30℃时开始发放冲动；热感受器在皮肤温度高于30℃时开始发放冲动，到47℃时为最高。人体的温度觉对保持机体内部温度的稳定与维持正常的生理过程是非常重要的。

温度感受器分布在皮肤的不同部位，形成所谓冷点和热点。每一平方厘米皮肤内，冷点有6~23个，热点有3个。温度觉的强度，取决于温度刺激强度和被刺激部位的大小。在冷刺激或热刺激不断作用下，温度觉就会产生适应。

3. 痛觉

凡是剧烈性的刺激，不论是冷、热接触，或是压力等，肤觉感受器都能接受这些不同的物理和化学的刺激，而引起痛觉，组织学的检查证明，各个组织的器官内，都有一些特殊的游离神经末梢，在一定刺激强度下，就会产生兴奋而出现痛觉。这种神经末梢在皮肤中分布的部位，就是所谓痛点。每一平方厘米的皮肤表面约有100个痛点，在整个皮肤表面上，其数目可达100万个。

痛觉的中枢部分，位于大脑皮层。机体不同部位的痛觉敏感度不同；皮肤和外黏膜有高度痛觉敏感性；角膜的中央，具有人体最痛的痛觉敏感性。痛觉具有很大的生物学意义，因为痛觉的产生，将导致机体产生一系列保护性反应来回避刺激物，动员人的机体进行防卫或改变本身的活动来适应新的情况。

3.4.2 本体感觉

人在进行各种操作活动的同时能给出身体及四肢所在位置的信息，这种感觉称为本体感觉。本体感觉系统主要包括两个方面。一个是耳前庭系统，其作用主要是保持身体的姿势及平衡；另一个是运动觉系统，通过该系统感受并指

出四肢和身体不同部分的相对位置。

在身体组织中，可找出三种类型的运动觉感受器。第一类是肌肉内的纺锤体，它能给出肌肉拉伸程度及拉伸速度方面的信息；第二类位于腱中各个不同位置的感受器，它能给出关节运动程度的信息，由此可以指示运动速度和方向；第三类是位于深部组织中的层板小体，埋藏在组织内部的这些小体对形变很敏感，从而能给出深部组织中压力的信息。在骨骼肌、肌腱和关节囊中的本体感受器分别感受肌肉被牵张的程度；肌肉收缩的程度和关节伸屈的程度，综合起来就可以使人感觉到身体各部位所处的位置和运动，而无需用眼睛去观察。例如，综合从手臂上双头肌和三角肌给出的信息，操作者便了解到自己手臂伸张的程度；再加上由双头肌、三头肌腱，肩部肌肉给出进一步的信息，就会使人意识到手臂需要给予支持，换句话说，信息说明此时手臂的位置处于水平方向。

运动觉感受器在研究操作者行为时经常被忽视，原因可能是这种感觉器官用肉眼看不到，而作为视觉器官的眼睛，作为听觉器官的耳朵，则是明显可见的。然而，在操纵一个头部上方的控制件时，手的动作，都不需要眼睛看着脚和手的位置，并会自觉地对四肢不断发出指令。

在训练技巧性的工作中，运动觉感受器有非常重要的地位。许多复杂技巧动作的熟练程度，都有赖于有效的反馈作用。例如在打字中，因为有来自手指、臂、肩等部肌肉及关节中的运动觉感受器的反馈，操作者的手指就会自然动作，而不需操作者本身有意识地指令手指往哪里去按。已完全熟练的操作者，能使其发现他的一个手指放错了位置，而且能够迅速纠正。例如，汽车司机已知右脚控制加速器和刹车，左脚控制离合器。如果有意识地让左脚去刹车，司机的下肢及脚踝都会有不舒服之感。由此可见在技巧性工作中本体感觉的重要性。

3.5 神经系统机能及其特征

3.5.1 神经系统

神经系统是人体最主要的机能调节系统，人体各器官、系统的活动，都是直接或间接地在神经系统的控制下进行的。人机系统中人的操作活动，也是通过神经系统的调节作用，使人体对外界环境的变化产生相应的反应，从而与周围环境之间达到协调统一，保证人的操作活动得以正常进行。

神经系统可以分为中枢神经系统和周围神经系统两部分。

1. 中枢神经系统

中枢神经系统包括脑和脊髓。脑位于颅腔内，脊髓在椎管内，两者在枕骨大孔处相连，见图 3-13。

覆在左、右大脑半球表面的灰质层称大脑皮质，它控制着脊髓和脑的其余部分，是调节人体活动的最高中枢所在部位。脊髓则是初级中枢所在部位，它通过上、下行传导束与脑部密切联系，其功能受各级脑中枢的制约。

2. 周围神经系统

周围神经系统是指中枢神经以外全部神经的总称。它起始于中枢神经，分布于周围器官。按起始于中枢部位可分为脑神经和脊神经；按分布器官结

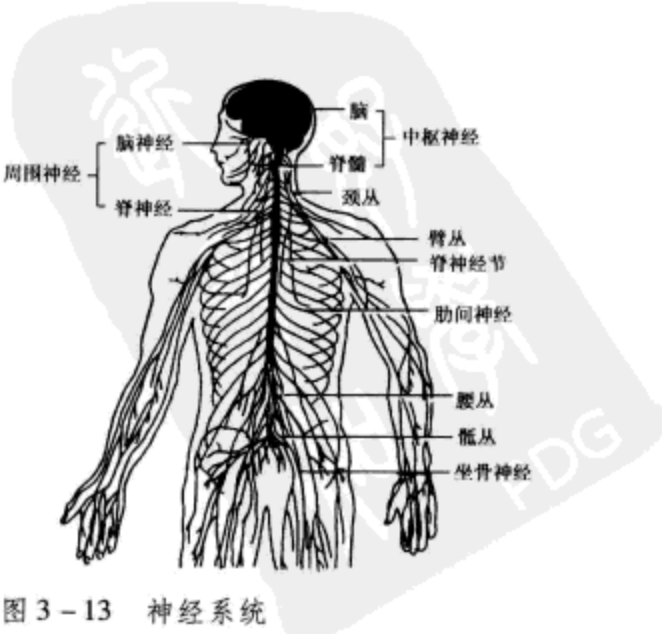


图 3-13 神经系统

构分为躯体神经和内脏神经。其基本形态呈条索状和细丝状，如图 3 - 13 所示。

周围神经的基本功能是在感受器与中枢神经之间以及中枢神经与效应器之间传导神经冲动。组成周围神经的纤维按其分布的器官结构和传导冲动方向分为四种功能成分，即躯体传入纤维、躯体传出纤维、内脏传入纤维和内脏传出纤维。

3.5.2 大脑皮质功能定位

大脑皮质是神经系统的最高级中枢。从人体各部经各种传入系统传来的神经冲动向大脑皮质集中，在此会通、整合后产生特定的感觉；或维持觉醒状态；或获得一定情调感受；或以易化的形式贮存为记忆；或影响其他的脑部功能状态；或转化为运动性冲动传向低位中枢，借以控制机体的活动，应答内外环境的刺激。大脑皮质的不同功能往往相对集中在某些特定部位，其主要的功能定位是：

1. 躯体感觉区

对侧半身外感觉和本体感觉，冲动传此区，产生相应的感觉。身体各部分在此区更精细的代表区是倒置的，身体各部分代表区的大小，取决于功能上的重要性，见图 3 - 14 (a)。

2. 躯体运动区

躯体运动区接受来自肌、腱和关节等处有关身体位置、姿势以及各部运动状态的本体感觉冲动，借以控制全身的运动。如图 3 - 14 (b) 所示，身体各部分在此区更精细的代表区基本上是倒置的，但头面部仍是正的，运动愈是精细的部位，如手、舌、唇等，代表区的面积愈大。

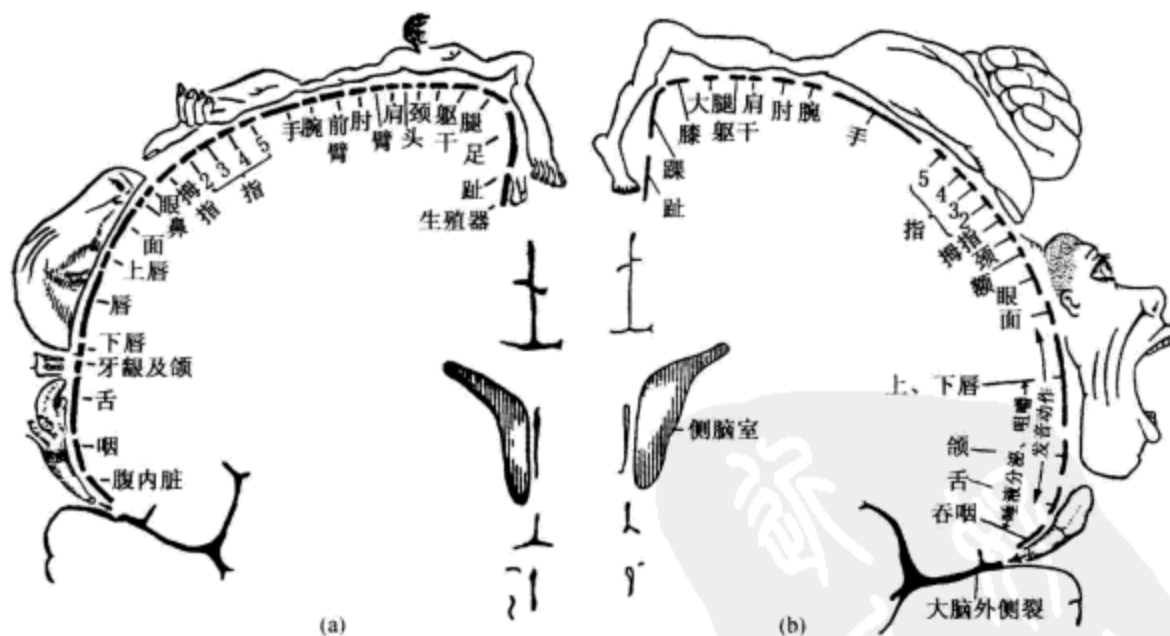


图 3 - 14 躯体感觉区和运动区
(a) 躯体感觉区；(b) 躯体运动区

3. 其他功能区

除了感觉区和运动区外，还有视区、听区、嗅区，可接受相应的神经冲动。语言代表区是人的大脑皮质所独有的，该代表区又分为书写中枢、说话中枢、听话中枢和阅读中枢。

3.5.3 大脑皮质联络区

大脑皮质单项感觉区和运动区之外的部分，具有更广泛更复杂的联系，它们可将单项信息进行综合分析，形成复杂功能，且与情绪、意识、思维、语言等功能有密切关系，这些部位称为联络区。三个基本联络区是：

(1) 第一区（保证调节紧张度或觉醒状态的联络区） 它的机能是保持大脑皮层的清醒，使选择性活动能持久地进行。如果这一区域的器官（脑干网状结构、脑内侧皮层或边缘皮层）受到损伤，人的整个大脑皮层的觉醒程度就下降，人的选择性活动就不能进行或难以进行，记忆也变得毫无组织。

(2) 第二区（接受、加工和储存信息的联络区） 如果这一区域的器官（如视觉区——枕叶、听觉区——颞叶和一般感觉区——顶叶）受到损伤，就会严重破坏接受和加工信息的条件。

(3) 第三区（规划、调节和控制人复杂活动形式的联络区） 它是负责编制人在进行中的活动程度，并加以调整和控制。如果这一区域的器官（脑的额叶）受到损伤，人的行为就会失去主动性，难以形成意向，不能规划自己的行为，对行为进行严格的调节和控制也会遇到障碍。

可见，人脑是一个多输入、多输出、综合性很强的大系统。长期的进化发展，使人脑具有庞大无比的机能结构，很高的可靠性，多余度和容错能力。人脑所具有的功能特点，使人在人机系统中成为一个最重要的、主导的环节。

3.6 人的信息处理系统

3.6.1 人的信息处理系统模型

在人和机器发生关系和相互作用的过程中，最本质的联系是信息交换。因而必须对人的功能从信息理论的角度来加以分析。人在人机系统中特定的操作活动上所起的作用，可以类比为是一种信息传递和处理过程。因而从人机工程学的观点出发，可以把人视为一个单通道的有限输送容量的信息处理系统来研究。该系统如图 3 - 15 所示。

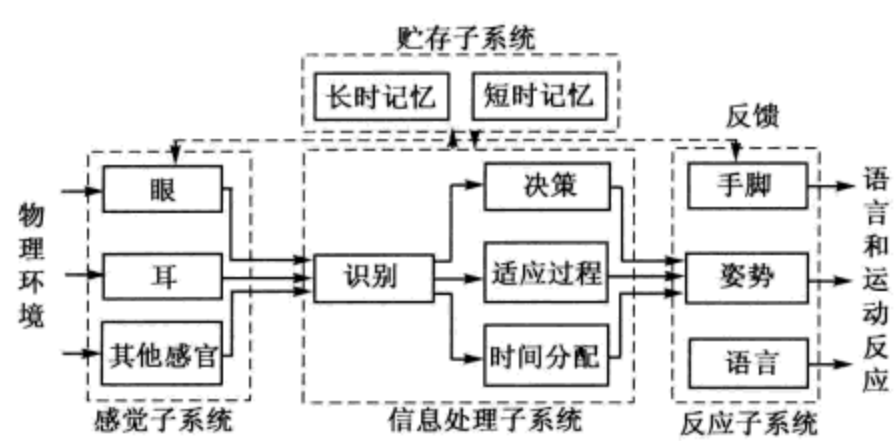


图 3 - 15 人的信息处理系统

有关机器状态的信息，通过各种显示设备（视、听、触等显示器）传送给给人。人依靠眼、耳和其他感官接受这些信

息处理子系统中，将传入的信息加以识别，做出相应的决策，产生某些高级适应过程并组织到某种时间系列之中。这些功能都需要有贮存子系统中的长时记忆和短时记忆参加。被处理加工后的信息也可以贮入长时和短时记忆中。最后，信息处理系统可以发放输出信息，通过反应子系统中的手脚、姿势控制装置、语言器官等，产生各种运动和语言反应。后者将信息送入机器的各种输入装置，改变机器的状态，开始新的信息循环。

3.6.2 信息计量

在人机系统中所讨论的信息是指人类特有的信息，它是客观存在的一切事物通过物质载体所发出的消息、情报、指令、数据、信号和标志等所包含的一切传递与交换的知识内容，是表现事物特征的一种普遍的形式。人的大脑通过感觉器官直接或间接接受外界物质和事物发出的种种信息，从而能识别物质和事物的存在、发展和变化。

信息是可以严格定量的，也就是消息（或信号等）中所包含的信息量。信息量以计算机的“位”（bit）为基本单位，称为比特。1个比特信息量的定义是：在两个均等的可能事件中需要区别的信息量。

由于计算机和通信系统中的电码脉冲调制都是以二进制为基础，所以通常用“二进位数字”来计量信息，并将对数取2为底数。对于由 n 个二进制码组成的信号，若每一位码都能独立地取0或1，而与其他的取值无关，且取0或1的概率均为 $1/2$ ，则该信号所负载的信息量可按式求得：

$$H = \log_2 2^n \quad (3-4)$$

式中， H 为信息量； n 为某信号中所包含的二进制码的个数。

在上述情况中，若出现0的概率不是 $1/2$ 而是 p ，出现1的概率是 $(1-p)$ ，则该信号量可由下式计算：

$$H = -p \log_2 p - (1-p) \log_2 (1-p) \quad (3-5)$$

若信号源中共有 m 个不同的信号，在信号出现概率均等的条件下，每个信号的平均信息量计算式为：

$$H = \log_2 m \quad (3-6)$$

在这种情况下，如果各信号出现的概率不等时，且有信息 i 的概率为 p_i ，那么每一个信息量可表达为信息的概率函数，即：

$$H = \log_2 \frac{1}{p_i} = -\log_2 p_i \quad (3-7)$$

若信号源 S 中含有 n 个相互独立的不同信号，某个信号 i 出现的概率为 p_i ，且有 $\sum_{i=1}^n p_i = 1$ ，那么在 n 个信号序列中， i 信号应出现 np_i 次。因此所有信息的平均信息量为：

$$H = \frac{-np_1 \log_2 p_1 - np_2 \log_2 p_2 - \cdots - np_n \log_2 p_n}{n} = -\sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i \quad (3-8)$$

例如，有4种可能的信息A、B、C、D，且具有均等概率 $p_i = 1/4$ ，此时：

$$H = -\log_2 \frac{1}{4} = 2 \text{ (bit)} \quad (3-9)$$

若它们发生的概率分别为 $p_A = 1/2$ ， $p_B = 1/4$ ， $p_C = 1/8$ ， $p_D = 1/8$ ，在评价每一个信息时，可计算其平均信息量为：

$$H = - \left[\frac{1}{2} \log_2 \frac{1}{2} + \frac{1}{4} \log_2 \frac{1}{4} + \frac{1}{8} \log_2 \frac{1}{8} + \frac{1}{8} \log_2 \frac{1}{8} \right] = \frac{7}{4} \text{ (bit)} \quad (3-10)$$

由此可以证明，只有当各个独立信号出现的概率都相等，即 $p_i = 1/n$ 时，信息量才达到最大值 H_{\max} 。

3.6.3 感觉的信息处理

感觉系统是用信息论观点研究神经系统功能最合适的对象。研究结果表明，人的反应时间与感觉刺激物的刺激量有关，并可用下式进行定量计算：

$$RT = a + bH_T \quad (3-11)$$

式中， RT 为反应时间； a 、 b 为常数； H_T 为传输的信息量。

人对含有不同信息量的图片的认识速度，也服从这一规律。但刺激物的信息量增加时，反应的速度达到一定水平后不再增加。

1. 信息传输速度

人的信息处理系统功能有一定的限度，这些限度主要表现在数量方面，并用感觉通道的信息传输率来描述。信息传输率是指信息通道中单位时间内所能传输的信息量，即：

$$C = H/T \quad (3-12)$$

式中， C 为信息传输速率； H 为传输的信息量； T 为传输的时间。

人的感觉通道的信息传输速率见图 3-16。由图可见，在多维综合情况下，传输速率可以提高，但也都在 10 bit/s 以下。超过了人的信息传输速率这个限度，信息就不能完全地被接受。

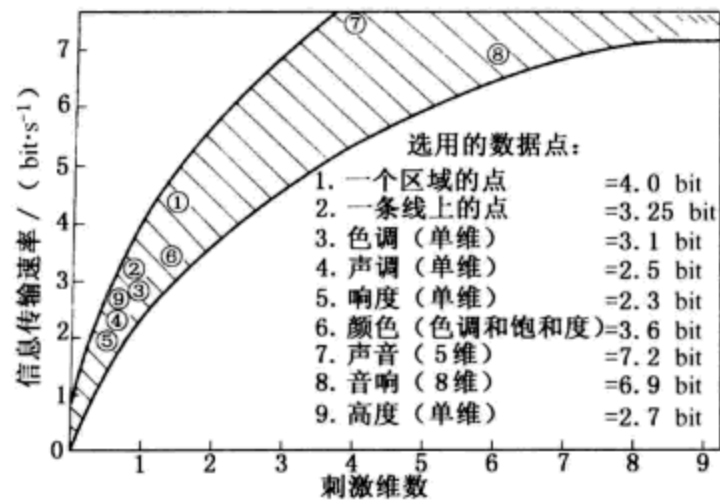


图 3-16 人的感觉通道信息传输速率

信息传输速率是反映人的感觉通道信息传输能力的客观数量，人的信息处理系统的这个量的特点，对工业设计具有重要意义。例如，显示器设计中，认为显示得越多越好、越精确越好的观点是错误的，因为超过了人的信息通道的传输能力，显示是无效的。

人体不存在一个固定不变的信息传输速率数据，它随刺激物的不同性质、维数和不同工作类型而变化。例如，人在典型实验条件下，“视觉—动作”通道的信息传输速率大体上处于 2.7 ~ 7.5 bit/s 左右；人在阅读工作中的信息传输速率为 43 bit/s；人在判读电视屏上图像的信息传输速率为 70 bit/s。根据生物电指标估算人的色觉通道信息传输速率亦为 70 bit/s。

2. 采样

人的信息处理系统的一个重要特点，是能对外界信息进行主动搜索。人的视线分布概率与被观察图形中的信息量分布相一致，即人主动搜索信息量最丰富的区域。这是统计匹配的一种表现，在仪表布局等研究中有重要意义。

感觉系统接受外界刺激是以不连续的、量子化的方式进行的。以时间域为例，以一定时间间隔对外界刺激变量进行采样，采样间隔取决于刺激的频率。若刺激的变化频率为 F 时，采样间隔 T 按下式计算：

$$T = \frac{1}{2F} \quad (3-13)$$

当刺激物以速度和加速度形式出现时，采样时间间隔可按下述通式计算：

$$T = \frac{K+1}{2F} \quad (3-14)$$

式中， K 为导数的阶数。

3. 编码

经过采样所获得的信息，需要从感觉系统的外周部分传至中枢。在通讯系统通道中实现信息传递需要对信息进行编码。研究表明，人的感觉信息的传递也是以各种编码方式进行的。哪些编码方式的信息传递效率最好，对工业设计是富有实践意义的研究课题。

表 3-4 列出了此类研究结果总的情况。由该表可见，编码方式的优劣与工作性质有密切的关系。一般说来，在辨认工作中数码、字母、斜线等是较好的；在搜索定位工作中则以颜色标志为最优，数码和形状次之；在计数工作中以数码、颜色、形状为较优；但在“比较”（比较两个信号是否相同）和“验证”（认定呈现的信号是否为指定信号）工作中，则这些符号对工作效率几乎没有差别。编码优劣与工作条件也有一定关系。例如，在辨认工作中，如时间不限，则颜色标志较斜线为优，如果呈现时间短（如 0.1 ~ 1.0 s），则斜线较颜色为优。

表 3-4 编码方式的优劣

所用的标志或符号种类	工作性质及条件	较好的符号或标志（按优劣先后排列）
颜色、斜线	辨认（时间不限）	颜色
数码、颜色、斜线	辨认（短时呈现）	数码、斜线
数码、斜线、椭圆、颜色	辨认（短时呈现）	数码、斜线
数码、字母、形状、颜色、图案	辨 认	数码、字母、形状
颜色、形状、大小、明度	搜索定位	颜色、形状
数码、字母、形状、颜色、图案	搜索定位	颜色、数码
颜色、数码、形状	搜索定位	颜色、数码
颜色、字母、形状、数码、图案	比 较	无明显差别
颜色、字母、形状、数码、图案	验 证	无明显差别
颜色、字母、形状、数码、图案	计 数	数码、颜色、形状
颜色、军用图形、几何图形、飞机图形	目标搜索	颜色、军用图形（如雷达、飞机等图形）
颜色、数码、颜色加数码（颜色卡片上印有数码）	辨认（短时呈现）	颜色加数码、数码、颜色

巧妙地利用感觉系统信息处理的原理，可以设计出有特殊效果的、高质量的人-机界面和显示器等信息工具。

3.6.4 中枢信息处理

从人体各感觉通道传入的大量信息，是在大脑中枢进行复杂的处理。大脑中枢信息处理过程中，记忆机制具有特殊的意义。记忆是各种信息处理活动的基础，因此，记忆机制的研究是人机系统效率研究的一个重要课题。

记忆可分为三种形式，即感觉信息贮存、短时记忆和长时记忆。

1. 感觉信息贮存

由于人的感觉通道是有一定容量的，而人所接受的输入信息又大大超过了人的中枢神经系统的“通道容量”，因而大量的信息在传递过程中被过滤掉了，而只有一部分进入了神经中枢的高级部位。

感觉信息传入神经中枢后，在大脑组织中贮存一段时间，使大脑能够提取感觉输入中的有用信息，抽取特征和进行模式识别。这种感觉信息贮存过程衰减很快（几分之一秒），所能贮存的信息数量也有一定限度，延长显示时间并不能提高它的效率。例如，同时显示一群字母，被试者一般只能“看清”5个左右。显示器设计中必须考虑到这个因素。

2. 短时记忆

许多职业都需要操作者有良好的短时记忆，所以在人机系统研究中将短时记忆称为操作记忆。短时记忆的持续时间比感觉信息贮存时间长，但也只有若干秒（不超过几十秒）。若不经反复复习，短时记忆的信息便很快消失。短时记忆的保存时间与贮存信息量多少有密切关系，实验表明，记忆3个字母比记忆1个字母容易忘记得多。因此，在需要短时记忆的作业中，其信息编码应尽量缩短。

短时记忆贮存的信息既可来自外部世界，也可来自人脑内部。例如，在思维过程中或解决问题时，需要短时地记忆运算数据。飞行员在对仪表信息进行综合时，就必须有短时记忆参加。

短时记忆所能贮存的数量也有一定的限度，例如，在一连串所显示的词中，人只能记住最后的5个左右。因此，为了保证短时记忆作业效能，一方面是需要短时记忆信息数量不能超过人所能贮存的容量，例如，电话号码、商标字母最好不超过7个数字或字母；另一方面是作业者必须十分熟悉自己的工作内容、信号编码。显然，短时记忆是人机系统设计中必须要考虑的又一个重要因素。

3. 长时记忆

长时记忆实际上没有时间的限制，它可以延续到人的一生。凡比短时记忆时间长的时间过程，都属于长时记忆的范围。长时记忆是人脑学习功能的基础，例如，飞行员大量训练活动就必须有良好的长时记忆功能来保证。长时记忆所能贮存的数量实际上是无限的。

图3-17是人的记忆试验曲线。是以每秒一字的速度给被试者显示30个字，显示完毕后立即检查，表明被试者只能较好地（97%）记住最后几个字（短时记忆）；前面的字只能记住20%左右（长时记忆）。减少显示的字数或延长显示的间隔，只能提高长时记忆段的效率，对短时记忆无影响。

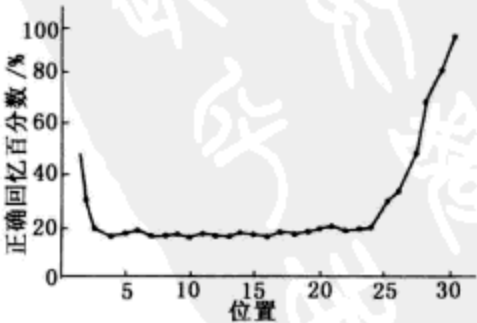


图3-17 人的记忆试验曲线

在人的记忆功能的基础上，产生大脑的学习功能。而学习功能又是人智能行为的基础。复杂智能活动是人脑信息处理的高级形式；现代人机系统中需要充分发挥人脑信息处理的高级功能作用。巧妙地利用人的信息处理系统的特点，在提高人机系统工效方面具有很大的潜力。



第 4 章 人的心理与行为特征

4.1 心理现象与行为构成

4.1.1 心理现象

心理学是研究人的心理现象及其活动规律的科学。心理是人的感觉、知觉、注意、记忆、思维、情感、意志、性格、意识倾向等心理现象的总称。人的心理活动是很复杂的，为了研究的方便，心理学把人的心理活动区分为如图 4-1 所示的不同方面。

心理学把心理现象区分为不同方面是为了研究的需要。实际上，人的心理活动是一个整体，各种心理现象之间是相互联系、相互影响的，并且在特定的情境中综合地表现为一定的心理状态，并在行为上得到体现。

从哲学上讲，人的心理是客观世界在人头脑中主观能动的反映，即人的心理活动的内容来源于人们的客观现实和周围的环境。每一个具体的人所想、所作、所为均有两个方面，即心理和行为。两者在范围上有所区别，又有不可分割的联系。心理和行为都是用来描述人的内外活动，但习惯上把“心理”的概念主要用来描述人的内部活动（但心理活动要涉及外部活动），而将“行为”概念主要用来描述人的外部活动（但人的任何行为都是发自内部的心理活动）。所以人的行为是心理活动的外在表现，是活动空间的状态推移。因此，心理学除了分门别类地研究上述心理活动外，还要研究心理状态和行为。

4.1.2 行为构成

著名的社会心理学家列文（K. Lewin），将密不可分的人与环境的相互关系用函数关系来表示，认为行为决定于个体本身与其所处的环境。即：

$$B=f\left(P\cdot E\right)\tag{4-1}$$

式中， B 为行为； P 为人； E 为环境。

也就是行为（ B ）是人（ P ）及环境（ E ）的函数（ f ）。表现出人与其所处的环境在相互依存中影响行为的产生与变化。

就个体人而言，“遗传”、“成熟”、“学习”是构成行为的基础因素。遗传因素在受精卵形成时即已被决定，其以后的发展都受所处的环境因素影响，故前述公式可简化为：

$$B=f\left(H\cdot E\right)\tag{4-2}$$

式中， H 为遗传。

展开来分析行为的发展，其基本模式可概括为：

$$B=H\times M\times E\times L\tag{4-3}$$

式中， B 为行为； H 为遗传； M 为成熟； E 为环境； L 为学习。

在这里说明行为受遗传、成熟、环境、学习四个因素的相互作用、相互影响。遗传因素一经形成，即已被决定，后天无法对其发生影响。

成熟因素受到遗传因素和成熟环境两种因素的共同作用、共同影响。一般来说，个体成熟遵循一定的自然规律，先后顺序是固定的，婴儿先会爬后会站

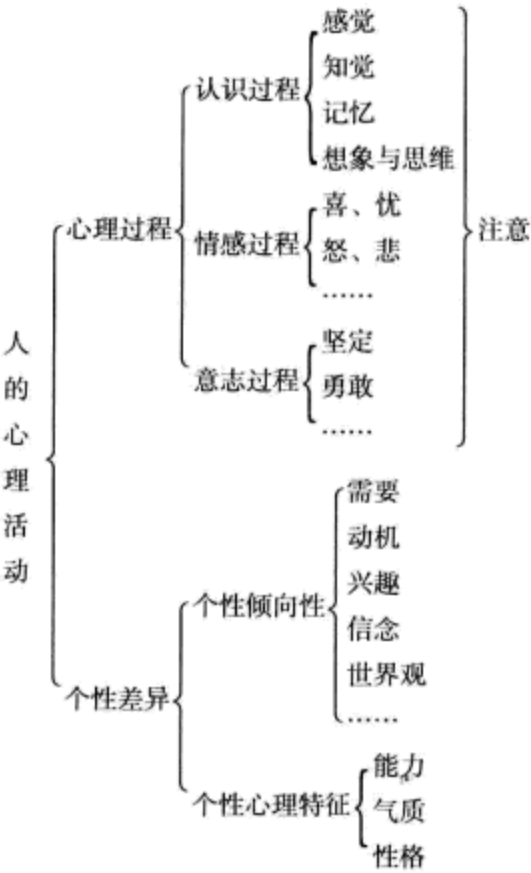


图 4-1 心理活动的组成

立，先会走后会跑。但是在自然成熟过程中，其所处环境的诱导刺激因素的作用是不能低估的。

学习因素是个体发展中必经的不可缺少的历程。个体经过尝试与练习，或接受专门的训练培养或个体自身主动地探求追索，使行为有所改变，逐渐丰富了知识和经验。学习与成熟是个体发展过程中两个互相关联的因素，两者相辅相成。成熟提供学习的基本条件和行为发展的先后顺序，学习的效果往往受成熟的限制。常有这种现象，有些儿童到了某一年龄段，智慧“开窍”了，功课突飞猛进，表现十分突出，这就是因为成熟而将潜在学习能力发挥出来的结果。

环境因素是人与环境系统中的客观侧面。上面讨论了构成人的主观侧面的遗传、成熟、学习各因素，其中在成熟与学习因素中已经含有环境因素。只是已经涉及到的环境是近距离的、近身的，而行为模式中单独提出的环境因素则是广义的。既可是微观的近距离的，又可是宏观的远距离的；既有自然环境，又有社会环境；既可以是自然的环境，又可以是加工改造或人们创造的人工环境。

4.1.3 行为反应

行为是有机体对于所处情境的反应形式。心理学家将行为的产生分解为刺激、生物体、反应三要项来讨论，即：

$$S \rightarrow O \rightarrow R \tag{4-4}$$

式中，S 为外在、内在刺激；O 为有机体·人；R 为行为反应。

下面用图式来看一看 $S \rightarrow O \rightarrow R$ 。

1. 刺激

刺激一词在心理学上是使用频率很高的词汇，它的含意十分广泛。围绕机体的一切外界因素，都可以看成是环境刺激因素，同时也可以把刺激理解为信息，人们对接受的外界信息会自动处理，做出各种反应。构成刺激的源泉十分复杂，图 4-2 将刺激源做了归纳分类。

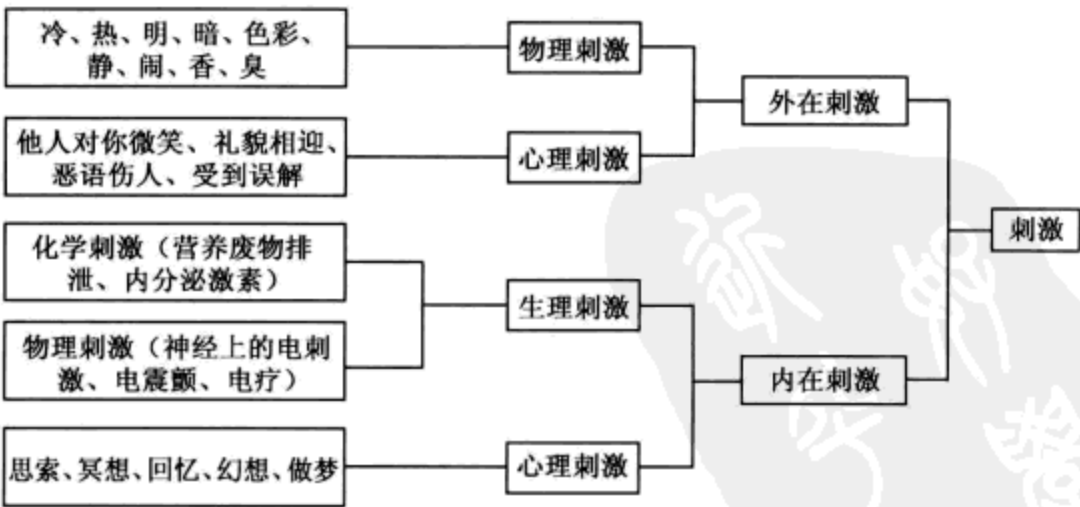


图 4-2 刺激分析示意

就刺激来源，可分成来自体外和来自体内两个方面，前者称为外在刺激，后者称为内在刺激。外在刺激又可分为物理性刺激和心理性刺激；内在刺激可分为生理性刺激与心理性刺激。

① 外在物理性刺激，在生活中随处存在，可以通过人的感觉器官而感受到。皮肤可以感受到环境温度的冷热；眼睛可以看到色彩和光的明暗；耳朵可以听到悦耳的美声也可以听到喧闹的噪声；鼻子则可以区分空气中的气味或香或臭；舌头则可以品尝入口食物饮料的苦辣酸甜咸以及其他美味。这些外在环境物理刺激通过人们的感觉器官，经过传入神经纤维，到达中枢神经系统，产生各种感觉。

② 内在刺激是不依赖于身体外表感觉器官而产生的刺激。其中生理性刺激虽不直接借助于身体外表感觉器官，但需借助于体外刺激因素，如化学刺激，人们日常饮食消化过程中营养物被身体吸收，废物被排出体外，内分泌激素的变化等等，既表现为生物化学过程，也属于生理化学刺激。这种刺激表现为自律性，人的主观意识是不能控制的自动过程。

内在生理刺激有时也会借助于外在物理刺激，但其途径并不借助于身体外表感觉器官，而是借助于物理手段，如在医疗过程中对神经系统的电刺激、电震颤、电疗等，均属于生理物理刺激。

内在刺激不仅产生于生理，也产生于心理活动。日常生活中每人都会经历过独自思索、冥想，或者回忆过去，或者幻想未来，或者在梦境中遨游世界。这一些思维活动，并非直接现实的感知活动，然而会在心理精神世界产生情感上的影响。

上述一切刺激现象都可以理解为环境对人体的直接或间接影响，处于核心地位的人体，在接受刺激后都会做出相应的行为反应。

2. 人体

人的中枢神经系统，脑和脊髓，是接受收外界刺激及做出相应反应的指挥中心，它既负责接受刺激，又负责对刺激进行判断后做出必要的相应反应，所以称为中枢神经系统。在此系统中，脑处于中心地位，处于协调指挥地位。而这一切都是自动进行的，属于自律行为。

就机体来看，围绕中枢神经系统，还存在负责接受刺激的传入神经系统，也存在指挥反应的传出神经系统。有些反应并不都需经过中枢神经系统，在机体外围还存在周围神经系统，可将环境刺激经传入神经系统直接传递给传出神经系统，如图 4-3 中虚线所示。

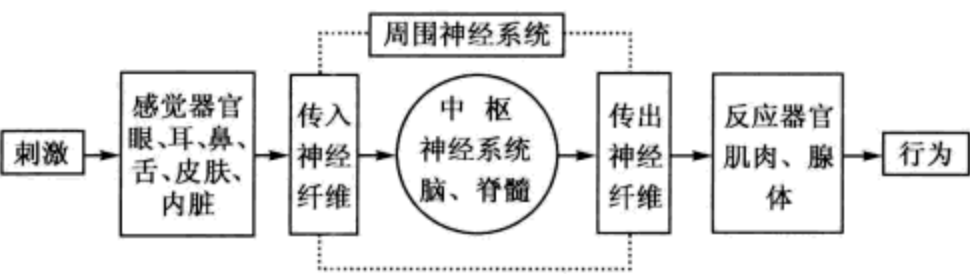


图 4-3 刺激与行为关系示意

机体的神经系统外观是看不到的，而机体接受环境刺激需要借助于感觉器官，健康的正常人感觉器官，包括眼、耳、鼻、舌、皮肤、内脏，直接同外界环境相接触，成为接受外界刺激的桥梁。机体同时存在复杂的反应器官，由肌肉、腺体完成反应动作，做出明确的反应。

3. 反应

行为既包括内在蕴含的动机情绪，也包括外在显现的动作表现。机体接受

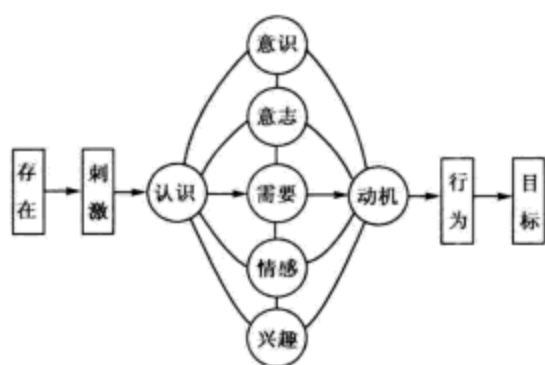


图 4-4 行为的基本模式

刺激必然要做出反应，这种反应不论属于内在的或者是外在的，都是行为的表现形式。

人们由于外界的刺激而产生某种需要和欲望，驱使人们做出某种行为去达到一定的目标。这一过程可用图 4-4 描述。当外界的刺激产生需要，需要未得到满足，就出现心理紧张，产生某种动机，在动机的支配下，采取目标导向行动和目标行动。倘若目标达到了，当前的需要就满足了，就会又有新的需要产生，进入新的循环；如果目标没有达到，就出现积极行动或对抗行动，并反馈回来，开始新的循环。故满足人的需要是相对的、暂时的。行为和需要的共同作用将推动人类社会的发展。

上述模式告诉人们，人的行为是受动机支配的，动机产生于需要。然而，支配人的动机的心理因素是比较复杂的，动机除了受到需要的支配之外，还受到人的意识、意志、情感、兴趣等心理因素的影响。

人的心理活动一般可以分为三大类型：一是人的认知活动，如感觉、知觉、注意、记忆、联想、思维等心理活动；二是人的情绪活动，如喜、怒、哀、乐、美感、道德感等心理活动；三是人的意志活动，这是在认知活动和情绪活动基础上进行的行为、动作、反应的活动。而影响人的行为的首要心理因素是认知心理。因此，要探讨人在工业设计活动中的心理，首先需要了解人的认知心理。

4.2 感觉与知觉特征

4.2.1 感觉的基本特性

感觉是一种最简单而又最基本的心理过程，在人的各种活动过程中起着极其重要的作用。人除了通过感觉分辨外界事物的个别属性和了解自身器官的工作状况外，一切较高级的、较复杂的心理活动，如思维、情绪、意志等都是在感觉的基础上产生的。所以说，感觉是人了解自身状态和认识客观世界的开端。

1. 适宜刺激

人体的各种感觉器官都有各自最敏感的刺激形式，这种刺激形式称为相应感觉器的适宜刺激。人体各主要感觉器的适宜刺激及其识别特征如表 4-1 所示。

表 4-1 适宜刺激和识别特征

感觉类型	感觉器官	适宜刺激	刺激来源	识别外界的特征
视觉	眼	一定频率范围的电磁波	外部	形状、大小、位置、远近、色彩、明暗、运动方向等
听觉	耳	一定频率范围的声波	外部	声音的强弱和高低，声源的方向和远近等
嗅觉	鼻	挥发的和飞散的性质	外部	辣气、香气、臭气等
味觉	舌	被唾液溶解的物质	接触表面	甜、咸、酸、辣、苦等
皮肤感觉	皮肤及皮下组织	物理和化学物质对皮肤的作用	直接和间接接触	触压觉、温度觉、痛觉等
深部感觉	肌体神经和关节	物质对肌体的作用	外部和内部	撞击、重力、姿势等
平衡感觉	半规管	运动和位置变化	内部和外部	旋转运动、直线运动、摆动等

2. 感觉阈限

刺激必须达到一定强度方能对感觉器官发生作用。刚刚能引起感觉的最小刺激量，称为感觉阈下限；能产生正常感觉的最大刺激量，称为感觉阈上限。刺激强度不允许超过上限，否则不但无效，而且还会引起相应感觉器官的损伤。能被感觉器官所感受的刺激强度范围，称为绝对感觉阈值。

感觉器官不仅能感觉刺激的有无，而且能感受刺激的变化或差别。刚刚能引起差别感觉的刺激最小差别量，称为差别感觉阈限。不同感觉器官的差别感觉阈限不是一个绝对数值，而是随最初刺激强度变化而变化，且与最初刺激强度之比是个常数。对于中等强度的刺激，其关系可用韦伯定律表示，即：

$$\frac{\Delta I}{I} = K \quad (4-5)$$

式中， I 为最初刺激强度； ΔI 为引起差别感觉的刺激增量； K 为常数，又称韦伯分数。

3. 适应

感觉器官经持续刺激一段时间后，在刺激不变的情况下，感觉会逐渐减小以致消失，这种现象称为“适应”。通常所说的“久而不闻其臭”就是嗅觉器官产生适应的典型例子。

4. 相互作用

在一定条件下，各种感觉器官对其适宜刺激的感受能力都将受到其他刺激的干扰影响而降低，由此使感受性发生变化的现象称为感觉的相互作用。例如，同时输入两个视觉信息，人往往只倾向于注意其中一个而忽视另一个；同时输入两个相等强度的听觉信息，对其中一个信息的辨别能力将降低 50%；当视觉信息与听觉信息同时输入时，听觉信息对视觉信息的干扰较大，视觉信息对听觉信息的干扰较小。此外，味觉、嗅觉、平衡觉等都会受其他感觉刺激的影响而发生不同程度的变化。

利用感觉相互作用规律来改善劳动环境和劳动条件，以适应操作者的主观状态，对提高生产率具有积极的作用。因此，对感觉相互作用的研究在人机工程学设计中具有重要意义。

5. 对比

同一感觉器官接受两种完全不同但属同一类的刺激物的作用，而使感受性发生变化的现象称为对比。感觉的对比分为同时对比和继时对比两种。

几种刺激物同时作用于同一感受器官时产生的对比称为同时对比。例如，同样一个灰色的图形，在白色的背景上看起来显得颜色深一些，在黑色背景上则显得颜色浅一些，这是无彩色对比；而灰色图形放在红色背景上呈绿色，放在绿色背景上则呈红色，这种图形在彩色背景上而产生向背景的补色方向变化的现象叫彩色对比。

几个刺激物先后作用于同一感受器官时，将产生继时对比现象。例如，吃了糖以后接着吃带有酸味的食品，会觉得更酸；又如，左手放在冷水里，右手放在热水里，过一会以后，再同时将两手放在温水里，则左手感到热，右手会感到冷，这都是继时对比现象。

6. 余觉

刺激取消以后，感觉可以存在一极短时间，这种现象叫“余觉”。例如，在暗室里急速转动一根燃烧着的火柴，可以看到一圈火花，这就是由许多火点

留下的余觉组成的。

4.2.2 知觉的基本特性

知觉是人脑对直接作用于感觉器官的客观事物和主观状况整体的反映。人脑中产生的具体事物的印象总是由各种感觉综合而成的，没有反映个别属性的知觉，也就不可能有反映事物整体的感觉。所以，知觉是在感觉的基础上产生的。感觉到的事物个别属性越丰富、越精确，对事物的知觉也就越完整、越正确。

虽然感觉和知觉都是客观事物直接作用于感觉器官而在大脑中产生对所作用事物的反映，但感觉和知觉又是有区别的，感觉反映客观事物的个别属性，而知觉反映客观事物的整体。以人的听觉为例，作为听知觉反映的是一段曲子，一首歌或一种语言，而作为听觉所反映的只是一个个高高低低的声音。所以，感觉和知觉是人对客观事物的两种不同水平的反映。

在生活或生产活动中，人都是以知觉的形式直接反映事物，而感觉只作为知觉的组成部分而存在于知觉之中，很少有孤立的感觉存在。由于感觉和知觉关系如此密切，所以，在心理学中就把感觉和知觉统称为“感知觉”。

1. 整体性

在知觉时，把由许多部分或多种属性组成的对象看做具有一定结构的统一整体，这一特性称为知觉的整体性。例如，观察图 4-5 时，不是把它感知为四段直线，几个圆或虚线，而是一开始就把它看成正方形、三角形和圆形。

在感知熟悉对象时，只要感知到它的个别属性或主要特征，就可以根据累积的经验而知道它的其他属性和特性，从而整体地感知它。例如，有些艺术家绘画时故意留些缺笔，观赏家在心目中自然会把它弥补起来。

在感知不熟悉的对象时，则倾向于把它感知为具有一定结构的有意义的整体。在这种情况下，影响知觉整体性的因素有以下几个方面：

(1) 接近 在图 4-6 (a) 中，圆点被看成四个纵行，因为圆点的排列在垂直方向上比水平方向上明显接近。

(2) 相似 在图 4-6 (b) 中，点之间的距离是相等的，但同一横行各点颜色相同，由于相似组合作用的结果，这些点就被看成为五个水平横行。

(3) 封闭 如图 4-6 (c) 所示，由于封闭因素的作用，把两个距离较远的纵行组合在一起，被知觉为两个长方形。

(4) 连续 如图 4-6 (d) 所示，由于受连续因素的影响，被知觉为一条直线和一个半圆。

(5) 美的形态 在图 4-6 (e) 中，由于点的形态因素的影响，被知觉为两圆相套。

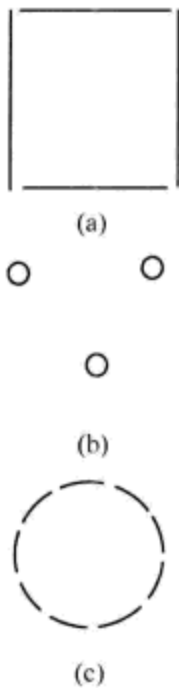


图 4-5 知觉的整体性

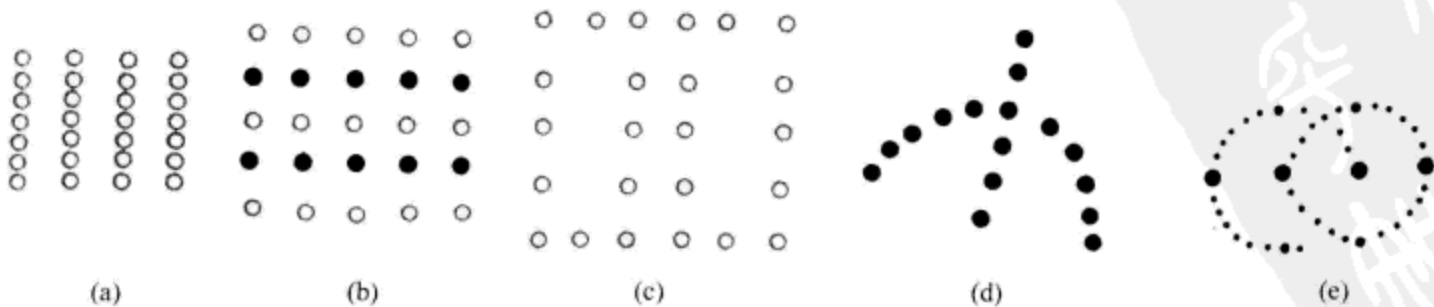


图 4-6 影响知觉整体性的因素

(a) 接近; (b) 相似; (c) 封闭; (d) 连续; (e) 美的形态

2. 选择性

在知觉时，把某些对象从某背景中优先地区分出来，并予以清晰反映的特征，叫知觉选择性。从知觉背景中区分出对象来，一般取决于下列条件：

(1) 对象和背景的差别 对象和背景的差别越大（包括颜色、形态、刺激强度等方面），对象越容易从背景中区分出来，并优先突出，给予清晰的反映；反之，就难于区分。例如，重要新闻用红色套印或用特别的字体排印就非常醒目，特别容易区分。

(2) 对象的运动 在固定不变的背景上，活动的刺激物容易成为知觉对象。例如，航道的航标用闪光作信号，更能引人注意，提高知觉效率。

(3) 主观因素 人的主观因素对于选择知觉对象相当重要，当任务、目的、知识、经验、兴趣、情绪等因素不同时，选择的知觉对象便不同。例如，情绪良好、兴致高涨时，知觉的选择面就广泛；而在抑郁的心境状态下，知觉的选择面就狭窄，会出现视而不见，听而不闻的现象。

知觉对象和背景的关系不是固定不变的，而是可以相互转换的。如图4-7 (a) 所示，这是一张双关图形。在知觉这种图形时，既可知觉为黑色背景上的白花瓶，又可知觉为白色背景上的两个黑色侧面人像。

3. 理解性

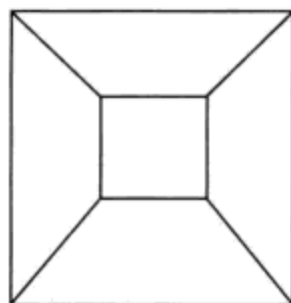
在知觉时，用以往所获得的知识经验来理解当前的知觉对象的特征，称为知觉的理解性。正因为知觉具有理解性，所以在知觉一个事物时，同这个事物有关的知识、经验越丰富，对该事物的知觉就越丰富，对其认识也就越深刻。例如，同样一幅画，艺术欣赏水平高的人，不但能了解画的内容和寓意，而且还能根据自己的知识、经验感知到画的许多细节；而缺乏艺术欣赏能力的人，则无法知觉到画中的细节问题。

语言的指导能唤起人们已有的知识和过去的经验，使人对知觉对象的理解更迅速、完整。例如，图4-7 (b) 也是一张双关图形，提示者可以把它提示为立体的东西，而这个立体随着提示者的语言可以形成向内凹或向外凸的立体。

但是，不确切的语言指导，会导致歪曲的知觉。例如，当受试者观看图4-8 正中间的一排图形时，第一组受试者听到图上左边一排的名称，第二组



(a)



(b)

图4-7 双关图

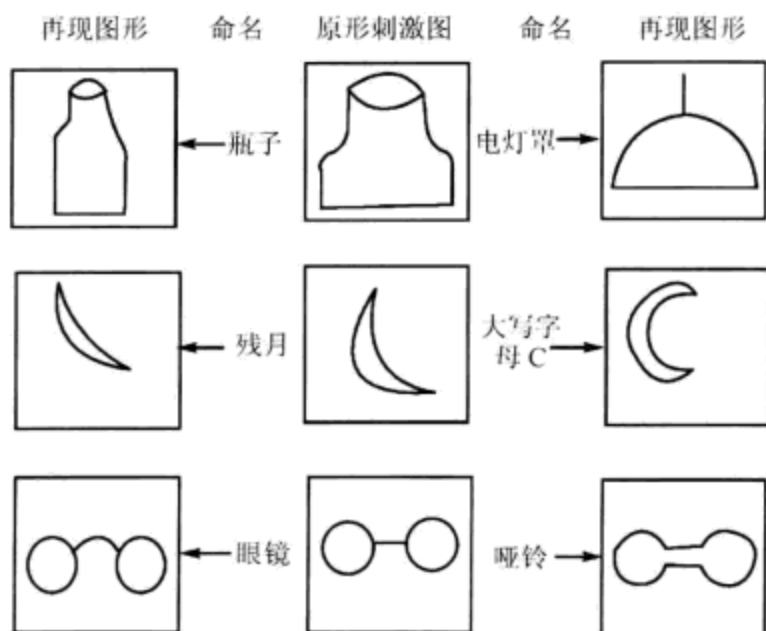


图4-8 语言对知觉理解性的影响

听到右边的一排名称，然后拿走图形，让两组受试者画出他所知觉的图形。结果表明，画得最不像的图形中，约有四分之三的歪曲图形类同于语言指导的名称。所以，在知觉外界事物时，语言的参与对知觉理解性具有重要的意义。

4. 恒常性

知觉的条件在一定范围内发生变化，而知觉的印象却保持相对不变的特性，叫知觉的恒常性。知觉恒常性是经验在知觉中起作用的结果，也就是说，人总是根据记忆中的印象、知识、经验去知觉事物的。在视知觉中，恒常性表现得特别明显。关于视知觉对象的大小、形状、亮度、颜色等的印象与客观刺激的关系并不完全服从于物理学的规律，尽管外界条件发生了一定变化，但观察同一事物时，知觉的印象仍相当恒定。视知觉恒常性主要有以下几方面：

(1) 大小恒常性 看远处物体时，人的知觉系统补偿了视网膜映像的变化，因而知觉的物体是其真正的大小。例如，在 5 m 远和 10 m 远处看一位身高 1.8 m 的人，虽然视网膜上的映像大小是不同的，但总是把他感知为一样高，即有一定限度以内，知觉的物体大小不完全随距离而变化，表现出知觉大小的恒常性。

(2) 形状恒常性 是指看物体的角度有很大改变时，知觉的物体仍然保持同样形状。形状恒常性和大小恒常性可能都依靠相似的感知过程。保持形状恒常性最起作用的线索是带来有关深度知觉信息的线索，如倾斜、结构等。例如，当一扇门在人的面前打开时，视网膜上门的映像经历一系列的改变，但人总是知觉门是长方形的。

(3) 明度恒常性 一件物体，不管照射它的光线强度怎么变化，而它的明度是不变的。决定明度恒常性的重要因素是，从物体反射出来的光的强度和从背景反射出来光的强度的比例，只要这一比例保持恒定不变，明度也就保持恒定不变。因此，邻近区域的相对照明，是决定明度保持恒定不变的关键因素。例如，无论在白天还是在夜空下，白衬衣总是被知觉为白的，那是因为它反射出来的光的强度和从背景反射出来的光的强度比例相同。

(4) 颜色恒常性 是与明度恒常性完全类似的现象。因为绝大多数物体之所以可见，是由于它们对光的反射，反射光这一特征赋予物体各种颜色。一般说来，即使光源的波长变动幅度相当宽，只要照明的光线既照在物体上也照在背景上，任何物体的颜色都将保持相对的恒常性。例如，无论在强光下还是在昏暗的光线里，一块煤看起来总是黑的。

5. 错觉

错觉是对外界事物不正确的知觉。总的来说，错觉是知觉恒常性的颠倒。例如，在大小恒常性中，尽管视网膜上的映像在变化，而人的知觉经验却完全忠实地把物体的大小和形状等反映出来。反之，错觉表明另一种情况是，尽管视网膜上的映像没有变化，而人知觉的刺激却不相同，图 4-9 中列举了一些众所周知的几何图形错觉。

错觉产生的原因目前还不很清楚，但它已被人们大量地利用来为工业设计服务。例如，表面颜色不同而造成同一物品轻重有别的错觉，早被工业设计师所利用。小巧轻便的产品涂着浅色，使产品显得更加轻便灵巧；而机器设备的基础部分则采用深色，可以使人产生稳固之感。从远处看，圆形比同等面积的三角形或正方形要大出约 $1/10$ ，交通上利用这种错觉规定圆形为表示“禁止”或“强制”的标志，等等。

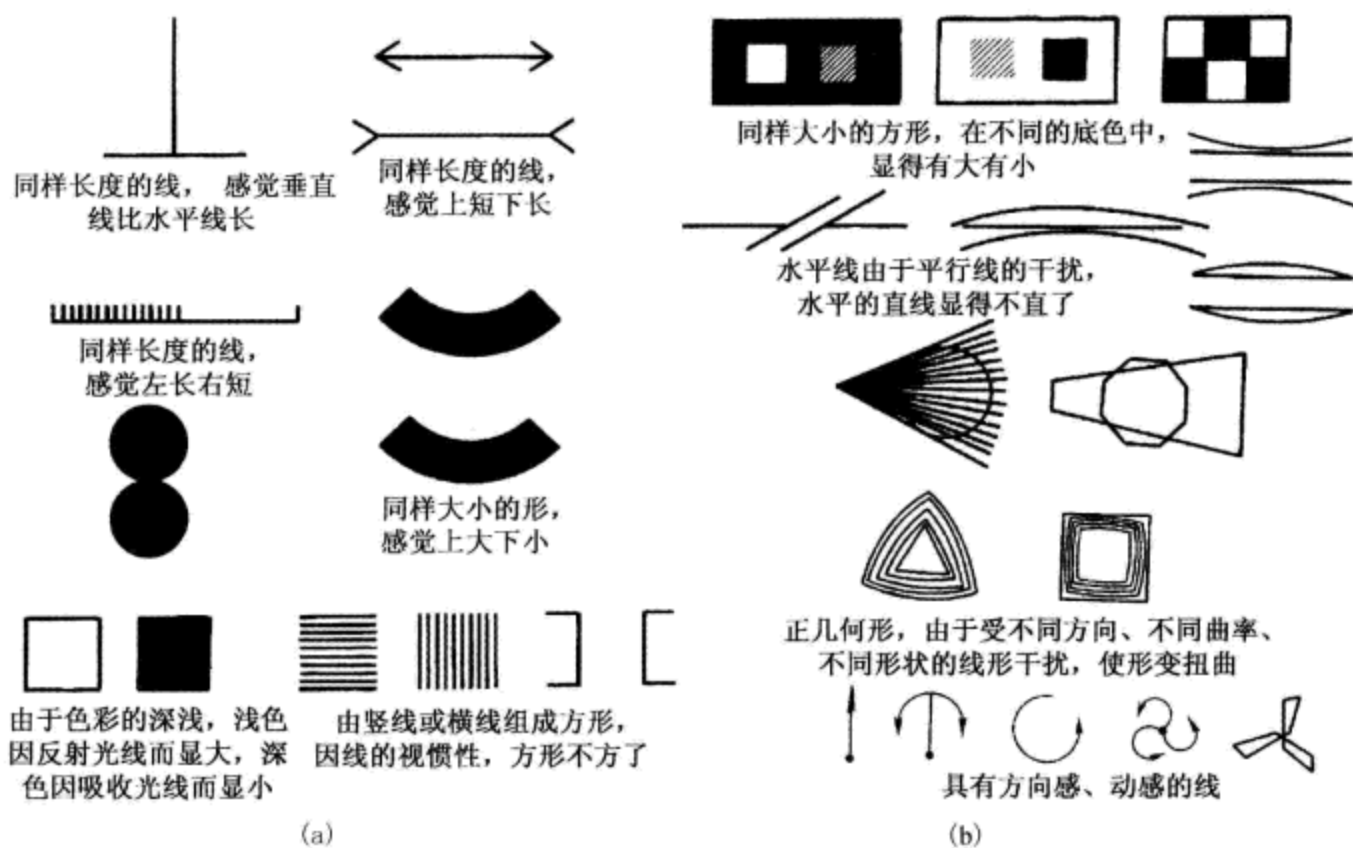


图 4-9 几何图形错觉

4.3 注意与记忆特征

注意是一种常见的心理现象。它是指一个人的心理活动对一定对象的指向和集中。这里的“一定对象”，既可以是外界的客观事物，也可以是人体自身的行动和观念。

4.3.1 注意的模型

英国剑桥大学布罗德本特对注意的生理机制作了理论解释。他认为，人对外界刺激的心理反应，实质上是人对信息的处理过程，其一般模式为：外界刺激→感知→选择→判断→决策→执行。“注意”就相当于其中的“选择”。由此他建立了一个选择注意模型，见图 4-10。

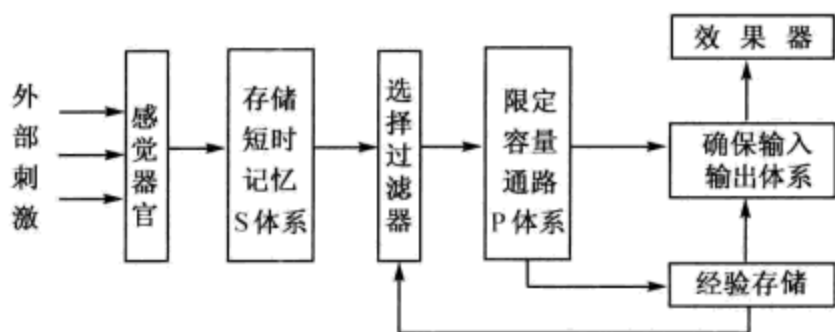


图 4-10 选择注意模型

由图 4-10 可见，各种外界刺激通过多种感觉器官并行输入，感知的信息首先通过短时记忆存储体系（S 体系）保持下来，但能否被中枢神经系统清晰地感知，要受到选择过滤器的制约。该过滤器相当于一个开关，且按“全或无”规律工作，其结果只使得一部分信息能到达大脑，而另一部分信息不能

进入中枢，以免中枢的接受量太多，负担过重。由此造成注意具有选择性和注意广度等特性。也就是说，并不是所有的外界刺激都能被注意到，由不被注意也就相当于“没注意”或“不注意”。过滤器的“开关”动作是受中枢信息处理能力的限定，而哪些信息通过，哪些不能通过，则和人的需要、经验等主观因素相关。

4.3.2 注意的特点

人的各种心理活动均有一定的指向性和集中性，心理学上称之为“注意”。当一个人对某一事物发生注意时，他的大脑两半球内的有关部分就会形成最优越的兴奋中心。同时这种最优越的兴奋中心，会对周围的其他部分发生负诱导的作用，从而对于这种事物就会具有高度的意识性。

注意分无意注意和有意注意两种类型。

无意注意是指没有预定的目的，也不需要作意志努力的注意，它是由于周围环境的变化而引起的。

影响注意的因素有两个方面：一是人的自身努力和生理因素，二是客观环境。注意力是有限的，被注意的事物也有一定的范围，这就是注意的广度。它是指人在同一时间内能清楚地注意到的对象的数量。心理学家通过研究证实，人们在瞬间的注意广度一般为7个单位。如果是数字或没有联系的外文字母的话，可以注意到6个；如果是黑色圆点，可以注意到8~9个，这是注意的极限。

在多数情况下，如果受注意的事物个性明显、与周围事物反差较大，或本身面积或体积较大、形状较显著、色彩明亮艳丽，则容易吸引人们的注意。因此在环境设计时，为引起人们的注意，应加强相对的刺激量，常用的方法有三种：加强环境刺激的强度，加强环境刺激的变化性，采用新颖突出的形象刺激。

有意识注意是指有预定目的，必要时还需要做出一定意志努力的注意。

这种注意主要取决于自身的努力和需要，也受客观事物刺激效应的影响。如有意要购买某一物品，则会注意选择哪一家商店最合适。而有关商店就要将商品陈列在使顾客容易注意的地方，这就形成了橱窗设计的要点。

4.3.3 记忆的特点

1. 记忆的过程

记忆是一个复杂的心理过程，它可以具体划分为识记、保持、再认、再现等阶段。其生理心理学解释和信息论的解释可归纳为表4-2所列。

表 4-2 记忆的解释

记忆的不同阶段	识 记	保 持	再 认	再 现
经典的生理心理学解释	大脑皮层中暂时神经联系（条件反射）的建立	暂时神经联系的巩固	暂时神经联系的再活动	暂时神经联系的再活动（或接通）
信息论的观点	信息的获取	信息的储存	信息的辨识	信息的提取和运用

2. 记忆的种类

记忆，按其目的性的程度或采用什么方法，可以分为不同种类。掌握不同

类型记忆的特点，可以增强记忆的效果。

(1) 有意记忆与无意记忆 按在记忆中意志的参与程度，分为有意记忆和无意记忆。两者的特点可归纳为表 4-3 所列。

表 4-3 有意记忆与无意记忆的特点

有意记忆	无意记忆
1. 有明确目的	1. 无明确目的
2. 有意志的参与，需经努力	2. 意志的参与较少，一般没经过特别努力
3. 有计划性	3. 随机的，无计划性
4. 记忆效果好	4. 记忆效果差
5. 记忆内容专一	5. 记忆内容广泛而不专一
6. 对完成特定任务有利	6. 对储存多种经验有益

(2) 机械记忆与意义记忆 以记忆的方法分，记忆可分为机械记忆与意义记忆。两者的区别与特点见表 4-4 所列。

表 4-4 机械记忆与意义记忆的特点

机 械 记 忆	意 义 记 忆
1. 对内容不理解情况下的记忆	1. 以对内容的理解为基础的记忆
2. 死记硬背	2. 灵活记忆
3. 对不熟悉的事物多采用此法	3. 对较熟悉的事物多采用此法
4. 方式简单	4. 方式较为复杂
5. 记忆效果不巩固	5. 记忆较牢固
6. 容易遗忘，需经常复习	6. 不易遗忘，保持较持久

(3) 瞬时记忆、短时记忆与长时记忆 以时间特性分，记忆可区别为瞬时记忆、短时记忆与长时记忆。瞬时记忆又叫感觉记忆、感觉贮存和感觉登记。它是记忆的最初阶段，对材料保持的时间极短。在视觉范围内，材料保持的时间不超过 1 s，信息完全依据它们具有的物理特征编码，有鲜明的形象性。在听觉范围内，材料保持的时间约在 0.25 ~ 2 s 之间，这种听觉信息的贮存，也叫回声记忆。瞬时可以贮存大量的潜在信息，其容量比短时记忆大得多，但由于其记忆持续的时间极短，贮存的内容往往意识不到，因此易于消失。如果受到注意，则会转入短时记忆。

短时记忆一般是指保持 1 min 以内的记忆。短时记忆对内容已进行了一定程度的加工编码，因而对内容能意识到，但如不加以复述，大约 1 min 内将消退，且不能再恢复。短时记忆的容量有限，通常认为是 7 ± 2 组块，现代研究指出可能是 5 个组块。

如果对短时记忆的内容加以复述或编码，可以转入长时记忆。长时记忆一般是指保持 1 min 以上以至终生不忘的记忆。从信息来源说，它是对短时记忆加工复述的结果，但也有些是由于印象深刻而一次形成的。在长时记忆中，信息的编码以意义为主，是极其复杂的过程。长时记忆的广度几乎是无限的。

瞬时记忆、短时记忆、长时记忆是记忆过程的三个不同阶段，三者相互联系、相互补充，各有特点，也各有用途。瞬时记忆作为对内容的全景式扫描，为记忆的选择提供基础，且为潜意识充实了信息；短时记忆作为工作记忆，对当时的认知活动具有重要意义；长时记忆将有意义和有价值的材料长期保存下来，有利于经验的积累和日后对信息的提取。

瞬时记忆、短时记忆和长时记忆的特点比较见表4-5。

表4-5 瞬时、短时和长时记忆的特点

瞬 时 记 忆	短 时 记 忆	长 时 记 忆
单纯存储	有一定程度的加工	有较深的加工
保持1 s	保持1 min	大于1 min 以至终生
容量受感受器生理特点决定较大	容量有限,一般为 7 ± 2 个组块	容量很大
属活动痕迹,易消失	属活动痕迹,可自动消失	属结构痕迹,神经组织发生了变化
形象鲜明	形象鲜明,但有歪曲	形象加工、简化、概括

(4) 形象记忆、听觉记忆与动作记忆 记忆还可以按记忆内容获得的方式来加以区分。例如,人的大部分记忆内容是通过视觉而获得的视觉形象,因而对此可称为形象记忆;与此相类似,还有听觉记忆。这种以单一感官为主而进行的记忆,相对于以综合运用感官或动作来获取记忆内容的方式,其保持的时间要短,记忆的深刻性要差些。对于职业记忆来说,除运用视觉形象和听觉形象,更主要也更多采用的是动作记忆或动作操作记忆。它比单靠言语或直观形象、抽象概念等的记忆更为持久和深刻。所谓“百闻不如一见”,“看十遍不如做一遍”,这体现了实践对记忆的重要影响。在安全工作中,单纯背诵安全操作规程、安全生产条例的效果远不如熟练掌握,即依靠动作操练来记忆其内容更为理想。

4.4 想象与思维特征

4.4.1 想象

认识事物的过程,除了感知觉、注意、记忆和思维外,还包括想象。

想象就是利用原有的形象在人脑中形成新形象的过程。

想象可以分为无意想象和有意想象两种。无意想象是指没有目的,也不需要努力的想象;有意想象则指再造想象、创造想象和幻想。再造想象就是根据一定的文字或图形等描述所进行的想象;创造想象是在头脑中构造出前所未有的想象;幻想是对未来的一种想象,它包括人们根据自己的愿望,对自己或其他事物的远景的想象。

工业设计需要想象,每一个作品的创造活动,都是创造想象的结果。科学研究和科学创作大体上可以分为三个阶段;第一阶段是准备阶段,其中包括问题的提出、假设和研究方法的制定;第二阶段是研究、创作活动的进行阶段,其中包括实验、假设条件的检查和修正;第三阶段是对创作研究成果的分析、综合、概括以及问题的解决,并用各种形式来验证、比较其创作研究成果的质量和结论。

4.4.2 思维过程

思维是人脑对客观现实的间接和概括的反映,是认识过程的高级阶段。人们通过思维才能获得知识和经验,才能适应和改造环境。因此,思维是心灵的中枢。

思维的基本过程是分析、综合、比较、抽象和概括。

分析，就是在头脑中把事物整体分解为各个部分进行思考的过程。如室内设计包含的内容很多，但在思维过程中可将各种因素如室内空间、室内环境中的色彩、光影等分解为各个部分来思考其特点。

综合，就是在头脑中把事物的各个部分联系起来的思考过程。如室内设计的各种因素，既有本身的特性和设计要求，又受到其他因素的影响，故设计时要综合考虑。

比较，就是在头脑中把事物加以对比，确定它们的相同点和不同点的过程。如室内的光 and 色彩，就是很多相互共同的特点和不同的地方，需要加以比较。

抽象，就是在头脑中把事物的本质特征和非本质特征区别开来的过程。如室内的墙面是米色的，天棚是白色的，地面是棕色的，通过抽象思考，从中抽出它们的本质特征，如墙面、顶棚和地面是组成室内空间的界面，这是本质特征；而它们的颜色不同，就是非本质的特征了。

概括，就是把事物和现象中共同的和一般的东西分离出来，并以此为基础，在头脑中把它们联系起来的過程。

4.4.3 思维的品质

思维的品质是指人们在思维的过程中所表现出来的各自不同的特点，如敏捷性、灵活性、深刻性、独创性和批判性等。

思维的敏捷性，是指思维活动的敏锐程度。如有的人创造思路敏捷，有的人则较慢。敏捷性是可以培养的，多思考、多观察会提高思维的敏捷性。

思维的灵活性，是指思维的灵活程度。有的人掌握一种创作方法，会举一反三，看到周围环境中对创作有用的东西，会很快在设计中加以运用，这是思维灵活性强的表现。

思维的深刻性，是指思维活动的深度。有的人能抓住创作的本质，根据基本原理进行创作活动，他的思维活动具有深刻性。

思维的独创性，是指思维活动的创造精神，亦即精神创造性思维。有的人对室内设计有独特的见解，有自己的一套创作方法，则他的思维具有创造性。

思维的批判性，是指思维活动中分析和批判的深度。有的人善于发现作品中的不足之处而加以改进，有的人则满足于一时的成果，这就是思维的批判性。

1. 思维的特征

思维是人最复杂的心理活动之一，是人的认识过程的高级阶段。在心理学上，一般把思维定义为：思维是人脑对客观事物间接和概括的认识过程；通过这种认识，可以把握事物的一般属性、本质属性和规律性。按照信息论的观点，思维是人脑对进入人脑的各种信息进行加工、处理变换的过程。

任何事物都具有多种属性，有些是常见的，有些是不常见的，有些是具体的，靠感觉、知觉能直接把握的，有些则属于“类”的一般属性，单靠感知觉不能直接把握。任何事物都有外在的现象，也有内在的本质。内在的本质深藏在现象的背后。事物与事物之间的联系也是如此，有的是表面的，一看便知，有的则是复杂的，并非能一眼看穿。因此，要全面而深刻地认识事物，认识事物的本质及规律性，就必须借助思维这种理性认识，才能办到。思维是认

识在感知觉基础上的进一步深化。

思维具有以下一些基本特征：

(1) 思维的间接性 它是指思维对事物的把握和反映，是借助于已有的知识和经验，去认识那些没有直接感知过的或根本不能感知到的事物，以及预见和推知事物的发展进程。如人们常说的“以近知远”、“以微知著”、“以小知大”、“举一反三”、“闻一知十”等等，就反映了思维的这种间接性。

(2) 思维的概括性 它是指思维是人脑对于客观事物的概括认识过程。所谓概括认识，就是它不是建立在个别事实或个别现象之上，而是依据大量的已知事实和已有经验，通过舍弃各个事物的个别特点和属性，抽出它们共同具有的一般或本质属性，并进而将一类事物联系起来的认识过程。通过思维的概括，可以扩大人对事物的认识广度和深度。

(3) 思维与语言具有不可分性 正常成人的思维活动，一般都是借助语言实现的。语言的构成是“词”，而任何“词”都是已经概括化了的東西，如人、机器、人-机系统，等等，反映的都是一类事物的共有或本质特性。它们是人类在许多世代的社会发展进程中固定下来的，为全体社会成员所理解的一种“信号”，是以往人类经验和认识的凝结。利用语言（或词、概念）进行思维，大大简化了思维过程，也减轻了人类头脑的负荷。

2. 思维的种类

首先，按照思维的性质或思维时所采用的形式（或“思维元素”），思维可以分为两大类：具体思维和抽象思维。其中具体思维又包括两类：动作思维和形象思维。

其次，按照思维的指向不同，思维可以区分为发散思维与集中思维。这种区分是美国心理学家吉尔福特首先提出来的。

发散思维又称辐射思维、求异思维或分殊思维。它是指思维者根据问题提供的信息，从多方面或多角度寻求问题的各种可能答案的一种思维方式。其模式如图4-11(a)所示。

发散思维无论在日常生活还是生产活动中都是一种常见的思维方式。一般来说，有“果”求“因”的问题，首先采用的就是发散思维。

发散思维还是一种重要的创造性思维方式。吉尔福特认为，发散思维在人们的言语或行为表达上具有三个明显的特征，即流畅、灵活和独特。所谓流畅，就是在思维中反应敏捷，能在较短时间内想出多种答案。所谓灵活，是指在思维中能触类旁通、随机应变，不受心理定势的消极影响，可以将问题转换角度，使自己的经验迁移到新的情境之中，从而提出不同于一般人的新构想、新办法。所谓独特，是指所提出的解决方案或方法能打破常规，有特色。利用上述三个基本特征可以衡量一个人发散思维能力的大小。

与发散思维相对立的是集中思维。集中思维也称辐合思维、聚合思维、求同思维、收敛思维等。它是一种在大量设想或方案的基础上，引出一两个正确答案或引出一种大家认为是最佳答案的思维方式。其模式如图4-11(b)。

集中思维的特性是来自各方面的知识和信息都指向同一问题。其目的在于通过对各相关知识和不同方案的分析、比较、综合、筛选，从中引出答案。如果说发散思维是“从一到多”的思维，集中思维则是“从多到一”的思维。

发散思维和集中思维作为两种不同的思维方式，在一个完整的解决问题的过程中是相互补充、相辅相成的。发散思维是集中思维的前提，集中思维是发散思

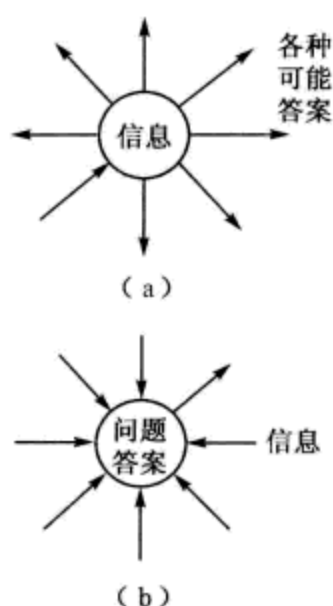


图 4-11 发散思维与集中思维
(a) 发散思维模式；(b) 集中思维模式

维的归宿；发散思维都运用于提方案阶段，集中思维都运用于做决定阶段。只有将两者结合起来，才能使问题的解决既有新意、不落俗套，又便于执行。

4.5 创造性心理特征

4.5.1 创造性机理

人的创造才能正是区别于其他动物的本能，其物质基础存在于人脑的结构之中。人脑在劳动和创造实践中得到了进化，一般高等动物的脑子都有一些“剩余”空间，而人脑有大得多的“剩余”空间。这种“超剩余性”允许人脑存储、转移、改造和重新组合更大量的信息，这就形成了人人都具备的一些创造性思维能力，诸如逻辑推理、联想、侧向思维、形象思维和直觉，等等。

1. 创造力五要素

创造的成功还受知识、经验、才能、心理素质以及机遇等因素的影响。一个人做100件事，上述五种因素都适合的也许只有几件。一百个人各自做同一件事，成功的几率也受上述五种因素的影响。

2. 创造性的三个推动力

一个人即使具备了上述五个创造力要素，还不一定能发挥出创造性来，还需要具备发挥创造力的三个推动力：创造性欲望、创造性思维和创造性实践。

3. 创造性素质

人们从事创造性工作，成功的可能决不像解一道数学难题那样，只要努力，大家都可以得到同样的结果。有人把求解功能原理这样的创造性活动比作在茫茫大海中寻找一座宝岛，最后的成功者只能属于那些最有事业心、自信心、毅力并且机敏和勇于进取的人们。这些因素再加上好奇心强、富于想象、洞察力强、合作精神好、幽默乐观、不怕失败等，形成一个人的创造性“心理素质”。图4-12表示了人的创造性本能和影响成功的因素。图4-13表明了创造性形成的机理：心理素质是核心；知识、经验、能力是基础；灵活的思维不断探索方向；实践是成功之路；如果在前进的道路上遇到了成功的机会，就有可能抓住机会取得成功。

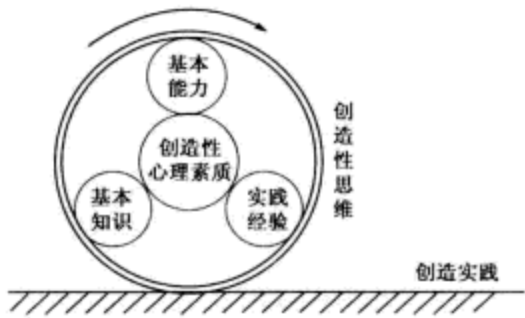


图 4-13 创造性形成的机理

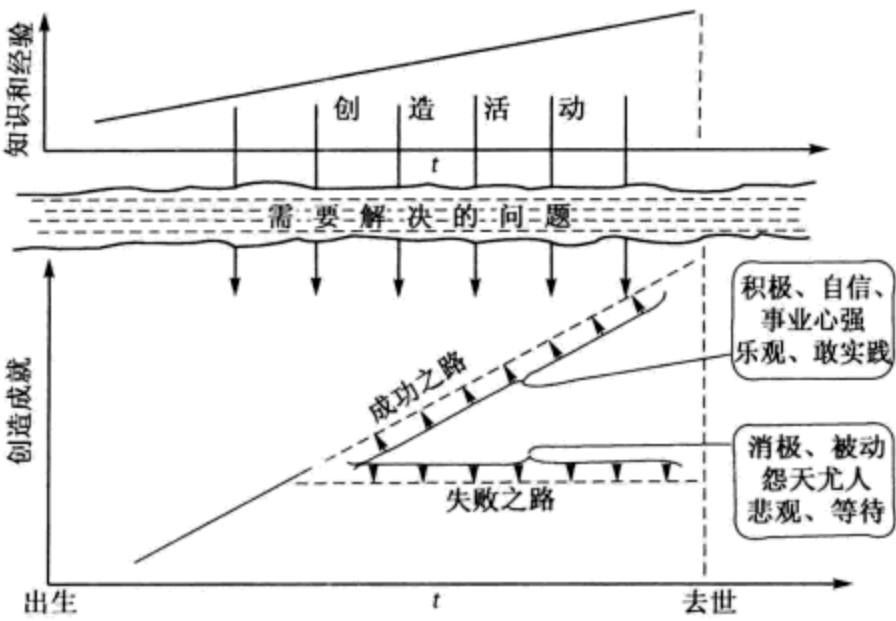


图 4-12 人的创造性本能

4.5.2 创造性知识基础

一个好的设计师应该具有很广的知识面和较坚实的知识基础。为了扩大人们在求解过程中搜索的眼界，人们编制了一些知识库供参考。最典型的是德国学者洛特（Roth）编制的“设计目录”。其中列举了各种已知的物理效应、技术结构……。有些德国学者还提出一种系统化（Systematic）思想，他们力图把各种上技术问题的解法分类排序系统地编排成表格，以供设计人员查阅。这些都属于知识系统化的工作。

创造活动肯定是需要知识的，而且更需要高科技知识。但是，书本知识如果不和实际相结合，确实很难说是有了真正的知识。相反，有丰富实践经验的人如果不掌握现代科学技术知识，也很难取得有较高科技含量的创造性成果。对于从事创造活动的人来说，必须要有清楚的物理概念，这就要学习和掌握现代科学知识。

对于设计人员来说，最宝贵的还是在不断参加设计和制造实践中积累起来的知识和经验，特别是那些失败的经验。

4.5.3 创造性思维规律

人的思维类型有以下几类：

（1）动作思维 边动作边思维，这是一种最原始也是最重要的思维方式。

人们要了解钟表的工作原理和结构，最好能亲手拆装一遍。如果只是看了钟表的图样资料，可能对钟表的原理有了一个理性的认识，但是如果亲手拆装一遍，调试一遍，你就可能得到更深刻、更真切的认识。

在从事创造性设计时，动作思维是最重要的思维方式。必须通过模型实验或样机实验，才能取得对你的构思和原理的评价，是否实现了要求的功能、性能和指标，是否达到预定的目标。

（2）形象思维 以一种“智力图像”的形象进行的思维方式。

形象思维是相对于抽象思维而言的思维方式。人是唯一能进行抽象思维的生物，而形象思维是抽象思维的有力助手。当人们看着某种实物进行思维时，较易于获得正确的认识，而且能产生解决问题的灵感。在解数学问题时，这本身是一种抽象思维，但人们必须借助于草稿在纸上推导公式，而不可能从头到尾完全靠脑中的抽象思维。这说明草稿纸上的公式符号不仅是一种记号，而且是一种“智力图像”，它帮助人们进行抽象思考。

形象思维的另一个意义是指在思维时，在头脑中产生“形象”来帮助思维。例如我们看到平面三视图，就应该能想象出空间的立体实物。又如我们在坐车或休息时，脑子里构思一种机器，而手头又没有纸笔，那么最好在脑中想像一种“形象”来帮助你构思，而不要仅仅做抽象思维。

（3）逻辑思维 抽象的推理性思维。

逻辑思维是人们最熟悉的思维方式，人们从小学到大学一直在受逻辑思维的教育，人们用这种思维方式去求解问题，所有的人都得出同样的答案。逻辑思维的思维方式导致人的思维的教条化，影响人们创造性的发挥，但逻辑思维又是创造性的基础，缺乏逻辑常识的人很难得出合乎物理规律性结果。因此，在提倡创造性思维时，千万不可反对逻辑思维。

（4）直觉思维 非推理性思维。

无数实践证明，创造性的思维往往不是人们在集中精神考虑某个问题时直接得出的结果，往往是当人们绞尽脑汁不得其解，而在休息、散步、聊天甚至做梦时突然出现的思维“火花”。因此不得不相信人脑本身存在一种我们称之为直觉的思维方式，这种思维方式是不能被主观意志控制的，但也不是唯心的。

科学实践证明，创造性思维是包括上述四种思维类型的综合思维方式。当人们偏重逻辑思维时，他的创造性就表现得差一些，极端的例子就是教条主义，当人们的思维偏重于直觉思维时，他的创造性也许全是不合乎科学的空想。因此，从事创造性工作的人们，一定要注意加强科学修养，尤其重要的是要有“清楚的物理概念”。在重视科学的基础上，重视培养自己的创造性思维能力，即动作思维、形象思维和直觉思维能力。应该知道，创造性思维的主要思维方式是直觉思维。为此有必要介绍创造性思维的各种方式和规律。

4.5.4 创造性思维方式

1. 直觉和灵感

直觉 (Intuition) 是创造性思维的一种重要形式，几乎没有任何一种创造性活动能离开直觉思维活动。直觉和灵感并不是唯心的东西，它的基础是平时积累的“思维元素”和“经验”。直觉和灵感不过是它们的升华。由于直觉往往出现在无意识的思维过程中 (如散步时、睡梦中……)，而不是在集中注意力思维的时候，因此常常给人们一种“神秘感”。

爱因斯坦说：“我相信直觉和灵感。”他还画了一个模式图来描绘直觉产生的机理。他认为直觉起源于创造性的想象，通过反复的想象和构思并激发起潜意识，然后就可能在某种环境条件下飞跃、升华为直觉或灵感，见图 4-14。

2. 潜意识

有些心理学家认为在人脑的思维活动中，存在着无意识的思维。所谓“无意识”和“下意识”的行为就和这种思维活动有关。这些心理学家强调这种“无意识”思维的重要性并称之为“潜意识”。他们把它看得比有意识的思考更重要。在他们看来，创造性思维活动过程可以分为四个意识阶段，即：

有意识活动 (准备) 阶段、无意识活动 (潜伏、酝酿) 阶段、过渡 (产生灵感) 阶段和有意识活动 (发展、完善) 阶段。其中第二、三阶段就是潜意识活动的过程。

3. 形象思维和思维实验

形象思维是指头脑里产生实物形象的思维方式，这种形象是介于实物和抽象概念之间的一种图形，爱因斯坦认为直觉思维必须借助于这种“智力图像”。只有这种形象思维才能使人对空间状态和变化过程进行思维。

思维实验则是指在头脑里对所构思的过程进行模拟性的实验。

4. 视觉思维和感觉思维

这是一种强化认识、强化联想和诱发灵感的重要手段，都属于动作思维的范畴。视觉的重要性在于它能从形象上修正人们的主观臆测，从形象上启发人的想象力，从而进一步引发人的灵感。工业设计强调视觉思维，机械设计强调实验和模型试验。模型试验可以给人以视觉以外的更多的感觉，因为它可以使人们从形象思维的基础上，通过视觉和感觉得到更真切的思维判断。

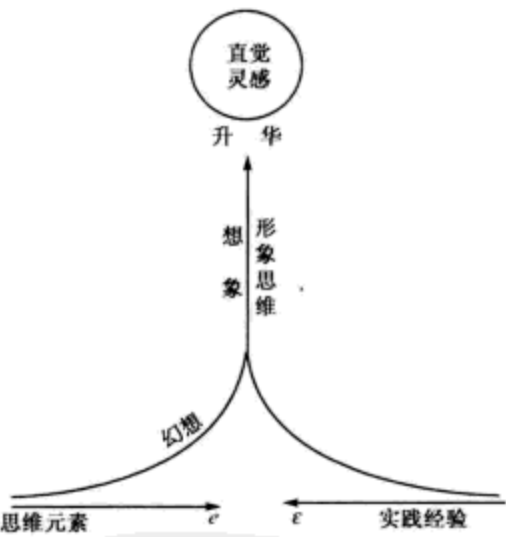


图 4-14 爱因斯坦描述直觉产生的机理

5. 想象力

发明创造需要有丰富的想象力。虽然，并不是所有想象得到的东西都能做得到，但是想象不到的东西肯定是不不会做到的。

人的实践可以启发想象力，在实践中，经常会出现很多原来不曾想象到的现象，它补充了人们想象力的不足。有很多发明创造往往是人们在某种实践中受到意外的启发，而发明了另一种东西。

脱离科学性的想象或离当前科技发展水平过远的想象力，是不可能实现的，或者说是今天难以实现的，这是人们在选择发明创造的目标时应该注意的。

6. 敏感和洞察力

创造性思维的一个重要能力是要善于抓住一闪即逝的思想火花。一个好的构思，它的基本点在开始时是不成熟的，大多数人往往会把它轻易放过，只有思想敏感的人才会抓住它，看出其与众不同的特点并发展成为一个很好的解法。“机会只偏爱那些有准备的头脑。”丰富的知识和敏锐的洞察力才能使人们不致放过那些偶然出现、一瞬即逝的机遇。

7. 联想，侧向思维，转移经验

创造性思维要求“发散”，尽可能把思维的触角伸到很多陌生的领域，以探索那些尚未被发现的、更有前途的解法、原理。这类思维方法中最典型的要算“仿生法”，但这只是发散思维的一个方面，还应向更广的方向去联想，侧向思维和转移经验则是联想的另一些方式。

发明就像向世界纪录挑战的奥运会选手一样，需要一定的素质和才能。素质好又有才能的话，经过实际工作的磨炼便可能得到成功。因此，对于一个设计工作者来说，更重要的是要加强创造性素质的修养和实际创造活动的锻炼，同时不断提高自己的知识、经验和能力。



第5章 人体生物力学与施力特征

5.1 人体运动与骨杠杆

5.1.1 人体运动系统

运动系统是人体完成各种动作和从事生产劳动的器官系统。由骨、关节和肌肉三部分组成。全身的骨借关节连接构成骨骼。肌肉附着于骨，且跨过关节。由于肌肉的收缩与舒张牵动骨，通过关节的活动而能产生各种运动。所以，在运动过程中，骨是运动的杠杆；关节是运动的枢纽；肌肉是运动的动力。三者在中枢神经系统的支配和调节下协调一致，随着人的意志，共同准确地完成各种动作。

人体有 206 块骨头，它们组成坚实的骨骼框架，从而可以支撑和保护肌体。骨骼系统的组成使得它可以容纳人体的其他组成部分并将其连接在一起。有的骨骼主要负责保护内部器官，如头骨覆盖着大脑起保护大脑的作用，胸骨将肺和心脏与外界隔绝起来保护心肺。而有的骨头，如长骨的上下末端，可以和其连接的肌肉产生肌体运动和活动。

5.1.2 骨的功能与骨杠杆

1. 骨的功能

骨是体内坚硬而有生命的器官，主要由骨组织构成。每块骨都有一定的形态、结构、功能、位置及其本身的神经和血管。全身骨的总数约有 206 块，可分为躯干骨、上肢骨、下肢骨和颅骨四部分。

骨的复杂形态是由骨所担负功能的适应能力决定的，骨所承担的主要功能有如下几方面：

① 骨与骨通过关节连接成骨骼，构成人体支架，支持人体的软组织（如肌肉、内脏器官等）和支承全身的重量，它与肌肉共同维持人体的外形。

② 骨构成体腔的壁，如颅腔、胸腔、腹腔与盆腔等，以保护脑、心、肺、肠等人体重要内脏器官，并协助内脏器官进行活动，如呼吸、排泄等。

③ 在骨的髓腔和松质的腔隙中充填着骨髓，这是一种柔软而富有血液的组织，其中的红骨髓具有造血功能；黄骨髓有储藏脂肪的作用。骨髓中的钙和磷，参与体内钙、磷代谢而处于不断变化状态。所以，骨还是体内钙和磷的储备仓库，供人体需要。

④ 附着于骨的肌肉收缩时，牵动着骨绕关节运动，使人体形成各种活动姿势和操作动作。因此，骨是人体运动的杠杆。人机工程学中的动作分析都与这一功能密切相关。

2. 骨杠杆

肌肉的收缩是运动的基础，但是，单有肌肉的收缩并不能产生运动，必须借助于骨杠杆的作用，方能产生运动。人体骨杠杆的原理和参数与机械杠杆完全一样。在骨杠杆中，关节是支点，肌肉是动力源，肌肉与骨的附着点称为力点，而作用于骨上的阻力（如自重、操纵力等）的作用点称为重点（阻力

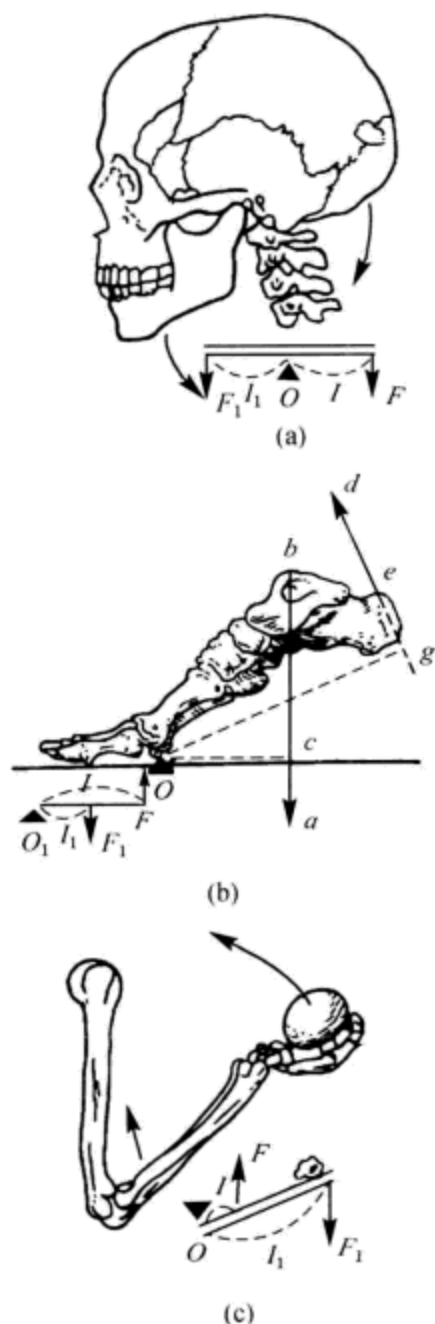


图 5-1 人体骨杠杆
(a) 平衡杠杆; (b) 省力杠杆;
(c) 速度杠杆

点)。人体的活动,主要有下述三种骨杠杆的形式:

(1) 平衡杠杆 支点位于重点与力点之间,类似天平秤的原理,例如通过寰枕关节调节头的姿势的运动,见图 5-1 (a)。

(2) 省力杠杆 重点位于力点与支点之间,类似撬棒撬重物的原理,例如支撑腿起步抬足跟时踝关节的运动,见图 5-1 (b)。

(3) 速度杠杆 力点在重点和支点之间,阻力臂大于力臂,例如手执重物时肘部的运动,见图 5-1 (c)。此类杠杆的运动在人体中较为普遍,虽用力较大,但其运动速度较快。

由机械学中的等功原理可知,利用杠杆省力不省功,得之于力则失之于速度(或幅度),即产生的运动力量大而范围就小;反之,得之于速度(或幅度)则失之于力,即产生的运动力量小,但运动的范围大。因此,最大的力量和最大的运动范围两者是相矛盾的,在设计操纵动作时,必须考虑这一原理。

5.2 人体生物力学模型

5.2.1 人体生物力学建模原理

生物力学模型是用数学表达式表示人体机械组成部分之间的关系。在这个模型中,肌肉骨骼系统被看做机械系统中的联结,骨骼和肌肉是一系列功能不同的杠杆。生物力学模型可以采用物理学和人体工程学的方法来计算人体肌肉和骨骼所受的力,通过这样的分析就能帮助设计者在设计时清楚工作环境中的危险并尽量避免这些危险。

生物力学模型的基本原理建立在牛顿的三大定律上:

- ① 物体在无外力作用下会保持匀速直线运动或静止状态;
- ② 物体的加速度跟所受的合外力大小成正比;
- ③ 两个物体之间的作用力和反作用力总是大小相等,方向相反,作用在一条直线上。

当身体及身体的各个部位没有运动时,可认为它们处于静止状态。处于静止状态的物体受力必须满足以下条件:作用在这个物体上的外力大小之和为零;作用在该物体上的外力的力矩之和为零。这两个条件在生物力学模型中起着至关重要的作用。

单一部位的静止平面模型(又称为二维模型),通常指的是在一个平面上分析身体的受力情况。静止模型认为身体或身体的各个部分如果没有运动就处于静止状态。单一物体的静止平面模型是最基础的模型,它体现了生物力学模型最基本的研究方法。复杂的三维模型和全身模型都建立在这个基本模型上。

5.2.2 前臂和手的生物力学模型

单一部位模型根据机械学中的基本原理孤立地分析身体的各个部位,从而能分析出相关关节和肌肉的受力情况。举例来说,一个人前臂平举、双手拿起 20 kg 的物体,此时两手受力相等。

如图 5-2 所示,物体到肘部的距离为 36 cm。因为两手受力相同,图中只画出右手、右前臂和右肘的受力。

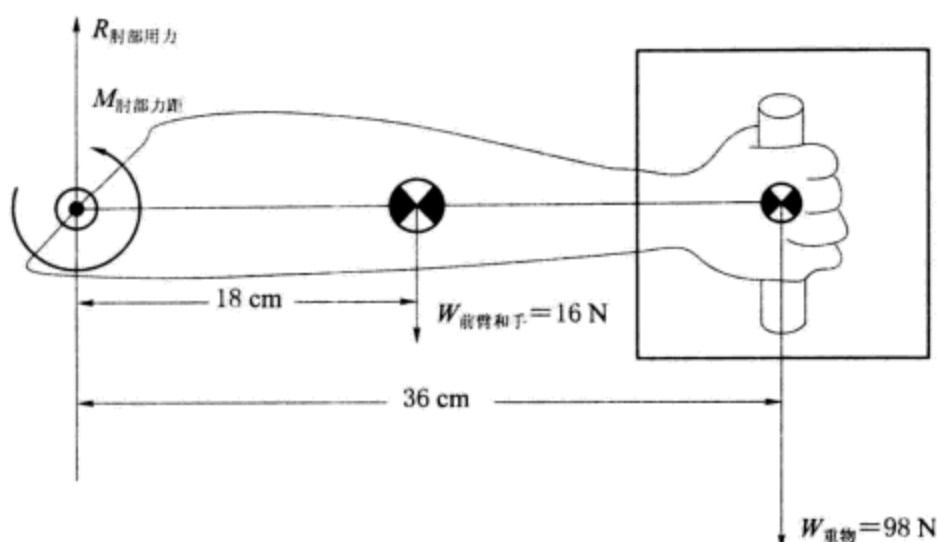


图 5-2 抓握物体时前臂和手的生物力学简化模型

可以根据机械原理分析肘部的力和转矩。首先，物体重力可根据以下公式计算：

$$W = mg \quad (5-1)$$

式中， W 是物体的重力，单位是 (N)； m 是物体的质量，单位是 (kg)； g 是重力加速度，一般按 9.8 m/s^2 计。

在这里，物体的重力是：

$$W = 20 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 = 196 \text{ N}$$

如果物体的重心在两手之间，那么两手受力相等，每只手承受该物体一半的重力。故

$$W_{\text{每只手}} = 98 \text{ N} \quad (5-2)$$

另外，通常情况下，一个成年工人的前臂重力为 16 N，前臂的重心到肘部的距离为 18 cm，见图 5-2。

肘部所用的力 $R_{\text{肘部用力}}$ 可通过以下公式计算。该公式意味着 $R_{\text{肘部用力}}$ 必须是垂直方向并且大小足以对抗重物向下的力和前臂的重力。

$$\begin{aligned} \sum (\text{肘部受力}) &= 0 \\ -16 - 98 + R_{\text{肘部用力}} &= 0 \\ R_{\text{肘部用力}} &= 114 \text{ N} \end{aligned} \quad (5-3)$$

肘部力矩可用以下公式计算。即肘部产生的逆时针力矩要和物体及前臂在肘部产生的顺时针的力矩相等。

$$\begin{aligned} \sum (\text{肘部总力矩}) &= 0 \\ (-16 \text{ N})(0.18 \text{ m}) + (-98 \text{ N})(0.36 \text{ m}) + M_{\text{肘部力矩}} &= 0 \\ M_{\text{肘部力矩}} &= 38.16 \text{ N} \cdot \text{m} \end{aligned} \quad (5-4)$$

肩部受力是不同于肘部的。如果要比较这两部分的受力，必须采用双部位模型。

5.2.3 举物时腰部生物力学模型

有研究者估计因为职业原因及其他不明原因，腰部疼痛问题可能会影响 50% 到 60% 的人口。

引起腰部疼痛的主要原因是用手进行的一些操作，如抬起重物、折弯物体、拧转物体等，这些动作造成的疾病也是最严重的。除此之外，长时间保持

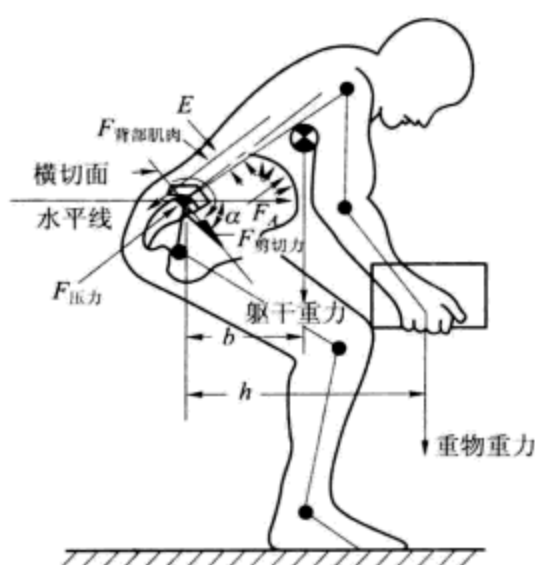


图 5-3 举物时腰部的生物力学静止平面模型

一个静止的姿势也是引起腰部问题的主要原因。因此，生物力学模型应该详细分析这两个问题的原因。

如图 5-3 所示，腰部距离双手最远，因而成为人体中最薄弱的杠杆。躯干的体重和货物重量都会对腰部产生明显的压力，尤其是第五腰椎和第一骶椎之间的椎间盘（又称 L5/S1 腰骶间盘）。

如果想对 L5/S1 腰骶间盘的反作用力和力矩进行精确的分析，需要采用多维模型，这种分析可参见肩部的反作用力和力矩的分析。同时还应该考虑横膈膜和腹腔壁对腰部的作用力。不过可以用单部位模型简单快速地估计腰部的受力情况。

如果某人的躯干重力为 $W_{\text{躯干}}$ ，抬起的重物重力为 $W_{\text{重物}}$ ，这两个重力结合起来产生的顺时针力矩为：

$$M_{\text{货物和躯干重力}} = W_{\text{重物}} \times h + W_{\text{躯干}} \times b \quad (5-5)$$

其中 h 是重物到 L5/S1 腰骶间盘的水平上的距离；

b 是躯干重心到 L5/S1 腰骶间盘的水平上的距离。

这个顺时针力矩必须由相应的逆时针力矩来平衡。这个逆时针力矩是由背部肌肉产生的，其力臂通常为 5 cm。这样，

$$M_{\text{背部肌肉}} = F_{\text{背部肌肉}} \times 5 (\text{N} \cdot \text{cm}) \quad (5-6)$$

因为要达到静力平衡，所以：

$$\sum (\text{L5/S1 腰骶间盘力矩}) = 0 \quad (5-7)$$

即：

$$F_{\text{背部肌肉}} \times 5 = W_{\text{重物}} \times h + W_{\text{躯干}} \times b$$

$$F_{\text{背部肌肉}} = W_{\text{重物}} \times h/5 + W_{\text{躯干}} \times b/5。$$

因为 h 和 b 通常都大于 5，所以 $F_{\text{背部肌肉}}$ 都远远大于 $W_{\text{重物}}$ 与 $W_{\text{躯干}}$ 之和。比如，假设 $h = 40 \text{ cm}$ ， $b = 20 \text{ cm}$ ，则有：

$$\begin{aligned} F_{\text{背部肌肉}} &= W_{\text{重物}} \times 40/5 + W_{\text{躯干}} \times 20/5 \\ &= W_{\text{重物}} \times 8 + W_{\text{躯干}} \times 4 \end{aligned}$$

这个公式意味着在这个典型的举重情境中，背部受力是重物重力的 8 倍和躯干重力的 5 倍之和。假设某人躯干重力为 350 N，抬起 300 N 的重物，根据公式可以计算出背部的作用力为 3 800 N，这个力可能会大于人们可以承受的力。同样，如果这个人抬起 450 N 的重物，则背部的作用力会达到 5 000 N，这个力是人们能承受的上限。据专家分析，正常人腰部的竖立肌可承受的力在 2 200 ~ 5 500 N。

除了考虑背部受力之外，还必须考虑 L5/S1 腰骶间盘的受力。它的作用力和反作用力之和也必须为零。即：

$$\sum (\text{L5/S1 腰骶间盘受力}) = 0 \quad (5-8)$$

将实际受力进行简化，如不考虑腹腔的力，则有以下公式：

$$F_{\text{压力}} = W_{\text{重物}} \cos \alpha + W_{\text{躯干}} \sin \alpha + F_{\text{背部肌肉}}$$

其中 α 是水平线和骶骨切线的夹角（见图 5-3），骶骨切线和腰骶间盘所受的压力互相垂直。这个公式表明腰骶间盘所受的压力可能比肌肉的作用力更大。例如，假设 $\alpha = 55^\circ$ ，某人的躯干重力为 350 N，抬起 450 N 的重物，则有：

$$\begin{aligned} F_{\text{压力}} &= 450 \times \cos 55^\circ + 350 \times \sin 55^\circ + 5\,000 \\ &= 258 + 200 + 5\,000 = 5\,458 (\text{N}) \end{aligned}$$

大多数工人的腰骶间盘都无法承受这个压力水平。

在举起重物这类工作中，脊柱的作用力大小受很多因素的影响。分析主要考虑影响最显著的两个因素——货物的重力和货物的位置到脊柱重心的距离。其他比较重要的因素还有：躯体扭转的角度、货物的大小和形状、货物移动的距离等。对腰部受力情况建立比较全面和精确的生物力学模型，应该考虑到所有这些因素。

5.3 人体的施力特征

5.3.1 主要关节的活动范围

骨与骨之间除了由关节相连外，还由肌肉和韧带联结在一起。因韧带除了有连接两骨、增加关节的稳固性的作用以外，它还有限制关节运动的作用。因此，人体各关节的活动有一定的限度，超过限度，将会造成损伤。另外，人体处于各种舒适姿势时，关节必然处在一定的舒适调节范围内。表5-1 为人体重要活动范围和身体各部舒适姿势调节范围，该表中的身体部位及关节名称可参考相应的示意图，见图5-4。

表 5-1 重要活动范围和身体各部舒适姿势的调节范围

身体部位	关 节	活 动	最大角度/ (°)	最大范围/ (°)	舒适调节范围/ (°)
头至躯干	颈关节	1. 低头，仰头	+40, -35 ^①	75	+12 ~ 25
		2. 左歪，右歪	+55, -55 ^①	110	0
		3. 左转，右转	+55, -55 ^①	110	0
躯 干	胸关节	4. 前弯，后弯	+100, -50 ^①	150	0
	腰关节	5. 左弯，右弯	+50, -50 ^①	100	0
		6. 左转，右转	+50, -50 ^①	100	0
大腿至髋关节	髋关节	7. 前弯，后弯	+120, -15	135	0 (+85 ~ +100) ^②
		8. 外拐，内拐	+30, -15	45	0
小腿对大腿	膝关节	9. 前摆，后摆	+0, -135	135	0 (-95 ~ -120) ^②
脚至小腿	脚关节	10. 上摆，下摆	+110, +55	55	+85 ~ +95
脚至躯干	髋关节 小腿关节 脚关节	11. 外转，内转	+110, -70 ^①	180	+0 ~ +15
上臂至躯干	肩关节 (锁骨)	12. 外摆，内摆	+180, -30 ^①	210	0
		13. 上摆，下摆	+180, -45 ^①	225	(+15 ~ +35) ^③
		14. 前摆，后摆	+140, -40 ^①	180	+40 ~ +90
下臂至上臂	肘关节	15. 弯曲，伸展	+145, 0	145	+85 ~ +110
手至下臂	腕关节	16. 外摆，内摆	+30, -20	50	0 ^③
		17. 弯曲，伸展	+75, -60	135	0
手至躯干	肩关节，下臂	18. 左转，右转	+130, -120 ^{①④}	250	-30 ~ -60

注：给出的最大角度适于一般情况。年纪较高的人大多低于此值。此外，在穿厚衣服时角度要小一些。
有多个关节的一串骨骼中若干角度相叠加产生更大的总活运范围（例如低头、弯腰）。
① 得自给出关节活动的叠加值。 ② 括号内为坐姿值。
③ 括号内为在身体前方的操作。 ④ 开始的姿势为手与躯干侧面平行。

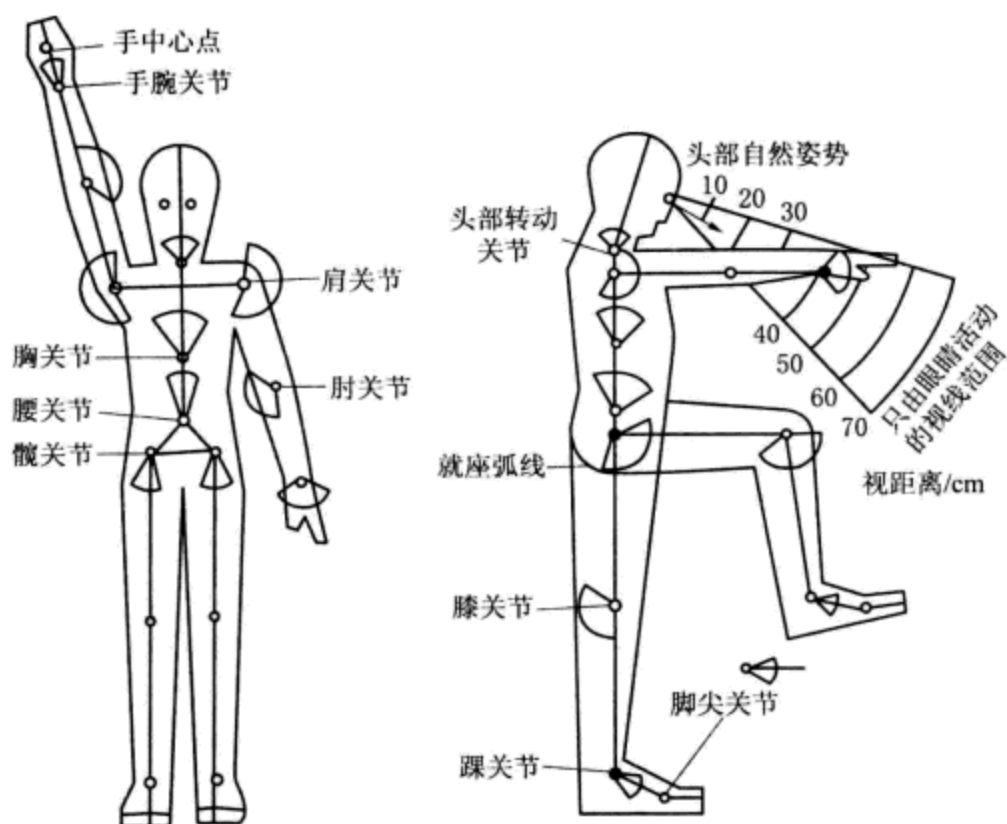


图 5-4 人体各部位活动范围示意图

5.3.2 肢体的出力范围

肢体的力量来自肌肉收缩，肌肉收缩时所产生的力称为肌力。肌力的大小取决于以下几个生理因素：单个肌纤维的收缩力；肌肉中肌纤维的数量与体积；肌肉收缩前的初长度；中枢神经系统的机能状态；肌肉对骨骼发生作用的机械条件。研究表明，一条肌纤维能产生 $10^{-3} \sim 2 \times 10^{-3} \text{ N}$ 的力量，因而有些肌肉群产生的肌力可达上千牛顿。表 5-2 为中等体力的 20~30 岁青年男女工作时身体主要部位肌肉所产生的力。

表 5-2 身体主要部位肌肉所产生的力 N

肌肉的部位		力的大小	
		男	女
手臂肌肉	左	370	200
	右	390	220
肱二头肌	左	280	130
	右	290	130
手臂弯曲时的肌肉	左	280	200
	右	290	210
手臂伸直时的肌肉	左	210	170
	右	230	180
拇指肌肉	左	100	80
	右	120	90
背部肌肉（躯干屈伸的肌肉）		1 220	710

在操作活动中，肢体所能发挥的力量大小除了取决于上述人体肌肉的生理特征外，还与施力姿势、施力部位、施力方式和施力方向有密切关系。只有在这些综合条件下的肌肉出力的能力和限度才是操纵力设计的依据。

在直立姿势下弯臂时，不同角度时的力量分布如图 5-5 所示。可知大约在 70°处可达最大值，即产生相当于体重的力量。这正是许多操纵机构（例如方向盘）置于人体正前上方的原因所在。

在直立姿势下臂伸直时，不同角度位置上拉力和推力的分布如图 5-6 所示。可见最大拉力产生在 180°位置上，而最大推力产生在 0°位置上。

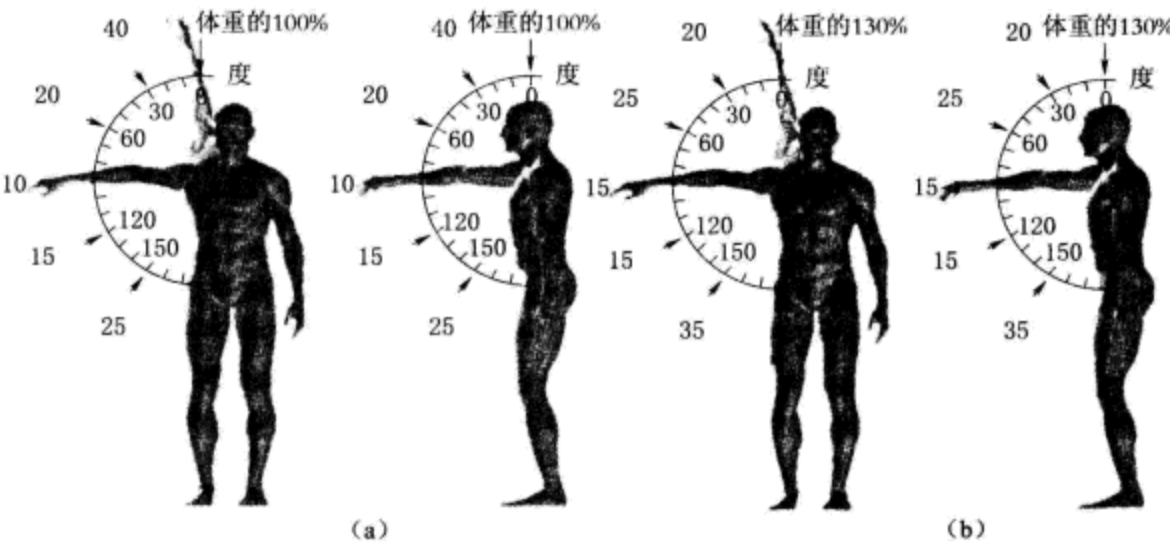


图 5-6 立姿直臂时的拉力与推力分布

在坐姿下手臂在不同角度和方向上的推力和拉力如表 5-3 所示。该表中的数据表明，左手弱于右手；向上用力大于向下用力；向内用力大于向外用力。

表 5-3 手臂在坐姿下对不同角度和方向的操纵力

手臂的角度/ (°)	拉 力/N		推 力/N	
	左 手	右 手	左 手	右 手
向 后				
180 (向前平伸臂)	230	240	190	230
150	190	250	140	190
120	160	190	120	160
90 (垂臂)	150	170	100	160
60	110	120	100	160
向 上				
180	40	60	60	80
150	70	80	80	90
120	80	110	100	120
90	80	90	100	120
60	70	90	80	90
向 内 侧				
180	60	90	40	60
150	70	90	40	70
120	90	100	50	70
90	70	80	50	70
60	80	90	60	80
向 外 侧				
180	60	90	40	60
150	70	90	40	70
120	90	100	50	70
90	70	80	50	70
60	80	90	60	80

坐姿时下肢不同位置上的蹬力大小见图 5-7 (a)，图中的外围曲线就是足蹬力的界限，箭头表示用力方向。可知最大蹬力一般在膝部屈曲 160°时产生。脚产生的蹬力也与体位有关，蹬力的大小与下肢离开人体中心对称线向外偏转的角

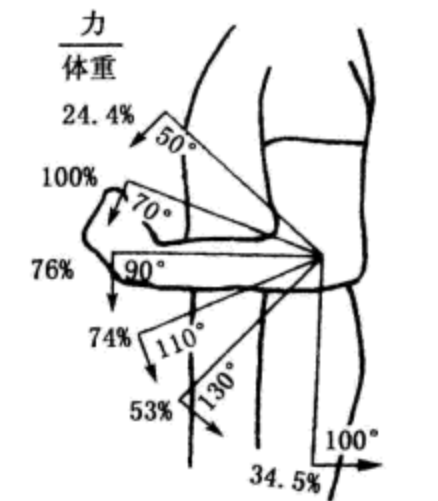


图 5-5 立姿弯臂时的力量分布

度大小有关，下肢向外偏转约 10°时的蹬力最大，如图 5-7（b）所示。

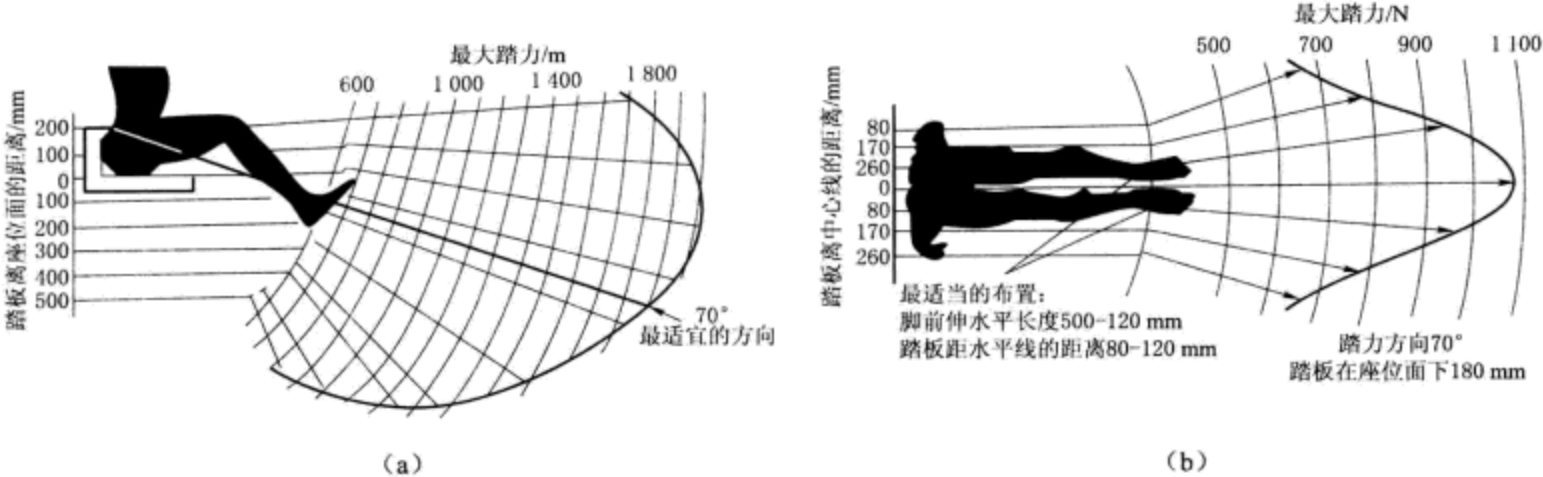


图 5-7 不同体位下的蹬力

应该注意的是：肢体所有力量的大小，都与持续时间有关。随着持续时间延长，人的力量很快衰减。例如，拉力由最大值衰减到四分之一数值时，只需要 4 min。而且任何人劳动到力量衰减到一半的持续时间是差不多的。

5.3.3 人体不同姿势的施力

肌力的大小因人而异，男性的力量比女性平均大 30% ~ 35%。年龄是影响肌力的显著因素，男性的力量在 20 岁之前是不断增长的，20 岁左右达到顶峰，这种最佳状态大约可以保持 10 ~ 15 年，随后开始下降，40 岁时下降 5% ~ 10%，50 岁时下降 15%，60 岁时下降 20%，65 岁时下降 25%。腿部肌力下降比上肢更明显，60 岁的人手的力量下降 16%，而胳膊和腿的力量下降高达 50%。

此外，人体所处的姿势是影响施力的重要因素，作业姿势设计时，必须考虑这一要素。图 5-8 表示人体在不同姿势下的施力状态，图中（a）为常见的操作姿态，其对应的施力数值见表 5-4，施力时对应的移动距离见表 5-5；图中（b）为常见的活动姿态，其对应的施力大小见表 5-6，施力时相应的移动距离已标在该图中。

表 5-4 人体在各种状态时的力量 N

施 力	强壮男性	强壮女性	瘦弱男性	瘦弱女性
A	1 494	969	591	382
B	1 868	1 214	778	502
C	1 997	1 298	800	520
D ₁	502	324	53	35
D ₂	422	275	80	53
F ₁	418	249	32	21
F ₂	373	244	71	44
G ₁	814	529	173	111
G ₂	1 000	649	151	97
H ₁	641	382	120	75
H ₂	707	458	137	97
I ₁	809	524	155	102
I ₂	676	404	137	89
J ₁	177	177	53	35
J ₂	146	146	80	53

续表

施 力	强壮男性	强壮女性	瘦弱男性	瘦弱女性
K_1	80	80	32	21
K_2	146	146	71	44
L_1	129	129	129	71
L_2	177	177	151	97
M_1	133	133	75	48
M_2	133	133	133	88
N_1	564	369	115	75
N_2	556	360	102	66
O_1	222	142	20	13
O_2	218	142	44	30
P_1	484	315	84	53
P_2	578	373	62	42
Q_1	435	280	44	31
Q_2	280	182	53	36

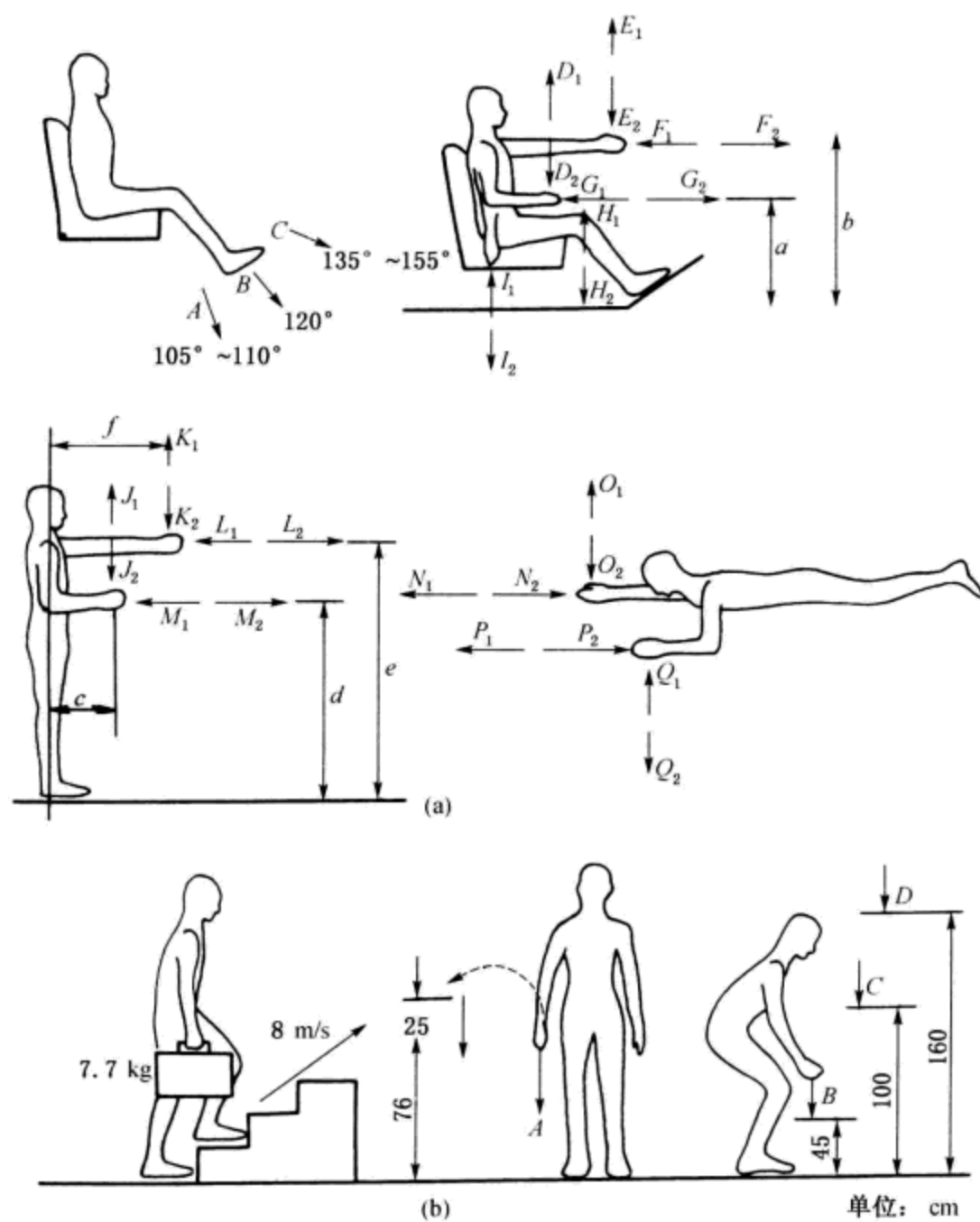


图 5-8 人体在不同姿势下的施力状态
(a) 操作姿态; (b) 活动姿态

表 5-5 人体发力时所移动的距离

cm

距 离	强壮男性	强壮女性	瘦弱男性	瘦弱女性
<i>a</i>	64	62	58	57
<i>b</i>	94	90	83	81
<i>c</i>	36	33	30	28
<i>d</i>	122	113	104	95
<i>e</i>	151	141	131	119
<i>f</i>	65	61	57	53

表 5-6 人体在各种状态时的力量

N

施 力	强壮男性	强壮女性	瘦弱男性	瘦弱女性
<i>A</i>	42	27	19	12
<i>B</i>	134	87	57	37
<i>C</i>	67	43	23	14
<i>D</i>	40	25	11	7

5.4 合理施力的设计思路

5.4.1 避免静态肌肉施力

提高人体作业的效率,一方面要合理使用肌力,降低肌肉的实际负荷;另一方面要避免静态肌肉施力。无论是设计机器设备、仪器、工具,还是进行作业设计和工作空间设计,都应遵循避免静态肌肉施力这一人机工程学的基本设计原则。例如,应避免使操作者在控制机器时长时间地抓握物体。当静态施力无法避免时,肌肉施力的大小应低于该肌肉最大肌力的 15%。在这一动态作业中,如果作业动作是简单的重复性动作,则肌肉施力的大小也不得超过该肌肉最大肌力的 30%。

避免静态肌肉施力的几个设计要点如下:

① 避免弯腰或其他不自然的身体姿势,见图 5-9 (a)。当身体和头向两侧弯曲造成多块肌肉静态受力时,其危害性大于身体和头向前弯曲所造成的危害性。

② 避免长时间地抬手作业,抬手过高不仅引起疲劳,而且降低操作精度和影响人的技能的发挥,在图 5-9 (b) 中,操作者的右手和右肩的肌肉静态受力容易疲劳,操作精度降低,工作效率受到影响。只有重新设计,使作业面降到肘关节以下,才能提高作业效率,保证操作者的健康。

③ 坐着工作比立着工作省力。工作椅的座面高度应调到使操作者能十分容易地改变立和坐的姿势的高度,这就可以减少立起和坐下时造成的疲劳,尤其对于需要频繁走动的工作,更应如此设计工作椅。

④ 双手同时操作时,手的运动方向应相反或者对称运动,单手作业本身就造成背部肌肉静态施力。另外,双手做对称运动有利于神经控制。



图 5-9 不良的作业姿势

⑤ 作业位置（座台的台面或作业的空间）高度应按工作者的眼睛和观察时所需的距离来设计。观察时所需要的距离越近，作业位置应越高，见图 5-10。由图可见，作业位置的高度应保证工作者的姿势自然，身体稍微前倾，眼睛正好处在观察时要求的距离。图中还采用了手臂支撑，以避免手臂肌肉静态施力。

⑥ 常用工具，如钳子、手柄、工具和其他零部件、材料等，都应按其使用的频率或操作频率安放在人的附近。最频繁的操作动作，应该在肘关节弯曲的情况下就可以完成。为了保证手的用力和发挥技能，操作时手最好距眼睛 25 ~ 30 cm，肘关节呈直角，手臂自然放下。

⑦ 当手不得不在较高位置作业时，应使用支撑物来托住肘关节、前臂或者手。支撑物的表面应为毛布或其他较柔软而且不凉的材料。支撑物应可调，以适合不同体格的人。脚的支撑物不仅应能托住脚的重量，而且应允许脚做适当的移动。

⑧ 利用重力作用。当一个重物被举起时，肌肉必须举起手和臂本身的重量。所以，应当尽量在水平方向上移动重物，并考虑到利用重力作用。有时身体重量能够用于增加杠杆或脚踏器的力量。在有些工作中，如油漆和焊接，重力起着比较明显的作用。在顶棚上旋螺钉要比在地板上旋螺钉难得多，这也是重力作用的原因。

当要从高到低改变物体的位置时，可以采用自由下落的方法。如是易碎物品，可采用软垫。也可以使用滑道，把物体的势能改变为动能，同时在垂直和水平两个方向上改变物体的位置，以代替人工搬移。见图 5-11。

5.4.2 避免弯腰提起重物

人的脊柱为“S”曲线形，12 块胸椎骨组成稍向后凹的曲线，5 块腰椎骨连接成向前凸的曲线，每两块脊椎骨之间是一块椎间盘，参见图 5-12。由于脊柱的曲线形态和椎间盘的作用，使整个脊柱富有一定的弹性，人体跳跃、奔跑时完全依靠这种曲线结构来吸收受到的冲击能量。

脊柱承受的重量负荷由上至下逐渐增加，第 5 块腰椎处负荷最大。人体本身就有负荷加在腰椎上，在作业时，尤其在提起重物时，加在腰椎上的负荷与人体本身负荷共同作用，使腰椎承受了极大的负担，因此人们的腰椎病发病率极高。

用不同的方法来提起重物，对腰部负荷的影响不同。如图 5-12（a）所示，直腰弯膝提起重物时椎间盘内压力较小，而弯腰直膝提起超重物会导致椎间盘内压力突然增大，尤其是椎间盘的纤维环受力极大。如果椎间盘已有退化现象，则这种压力急剧增加最易引起突发性腰部剧痛。所以，在提起重物时必须掌握正确的方法。

因为弯腰改变了腰脊柱的自然曲线形态，不仅加大了椎间盘的负荷，而且改变了压力分布，使椎间盘受压不均，前缘压力大，向后缘方向压力逐渐减小，见图 5-12（b），这就进一步恶化了纤维环的受力情况，成为损伤椎间盘的主要原因之一。另外，椎间盘内的粘液被挤压到压力小的一端，液体可能渗漏到脊神经束上去。总之，提起重物时必须保持直腰姿势。人们经过长期的劳动实践和科学研究总结了一套正确的提重方法，即直腰弯膝。



图 5-10 适应视觉的姿势

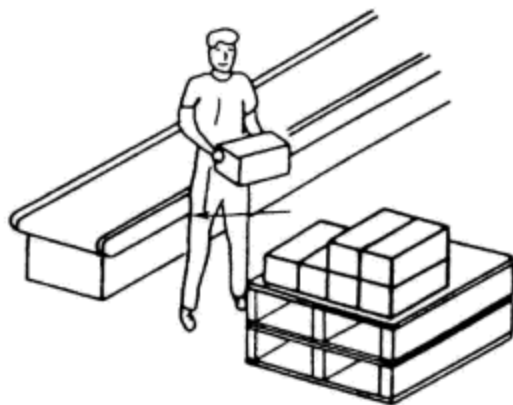


图 5-11 保持从高向低的方向装卸货物示意图

5.4.3 设计合理的工作台

搬运放在地上或比较接近地面的大型货物的危害性最大，因为工人在搬运这些货物时，躯体必须向前弯曲，这样会明显增大腰部椎间盘的压力。所以，大型货物的高度不应低于工人大腿中部，图 5-13 举例说明了可以采用可升降的工作台帮助工人搬运大型货物。升降平台不仅可以减少工人举起货物过程中的竖直距离，而且还可以减少水平距离的影响。

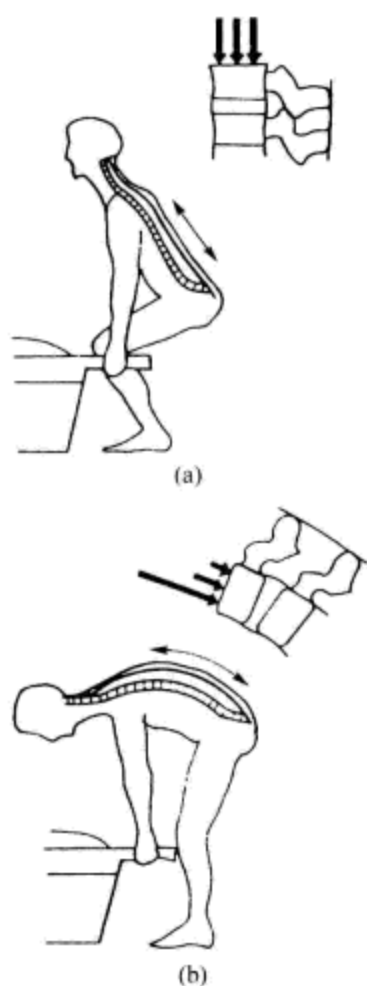


图 5-12 弯腰与直腰提起重物示意图
(a) 直腰弯膝；(b) 弯腰直膝

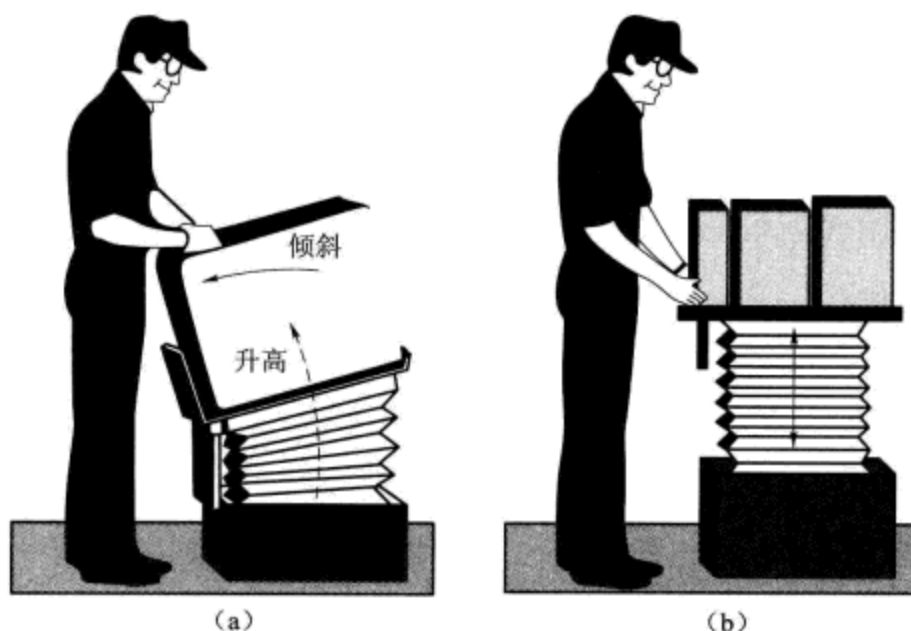


图 5-13 采用可升降的工作台可避免抬起重物时的弯腰动作
(a) 可升降并倾斜的工作台；(b) 可升降的托台

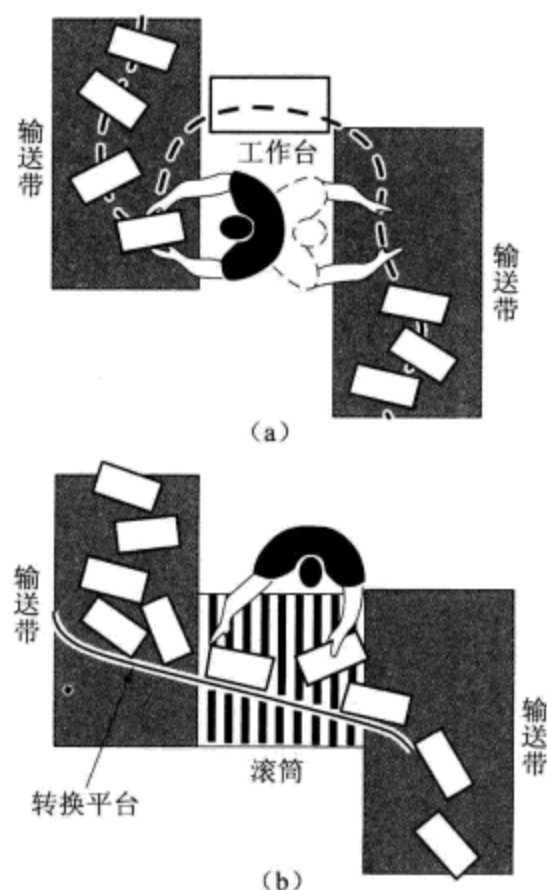


图 5-14 工作场所设计
(a) 在传统的工作场所中，工人需要把物体搬起来并且躯体需要扭转；(b) 重新设计的工作台最大限度地减少了这些操作

第6章 人机的信息界面设计

6.1 人机信息界面的形成

人机系统一旦建立，人机界面便随之形成。人机系统的人机界面是指系统中的人、机、环境之间相互作用的区域。通常人机界面有信息性界面、工具性界面和环境性界面等。就人机系统效能而言，以信息性界面最为重要。

6.1.1 人机信息交换系统模型

在人机间信息、物质及能量的交换中，一般是以人为主动的一方。首先是人感受到机器及环境作用于人感受器官上的信息，由体内的传入神经并经丘脑传达到大脑皮层，在大脑分析器中经过综合、分析、判断，最后做出决策，由传出神经再经丘脑将决策的信息传送到骨骼肌，使人体的执行器官向机器发出人的指挥信息或伴随操作的能量。机器被输入人的操作信息（或操作能量）之后，将按照自己的规律做出相应的调整或输出，并将其工作状况用一定的方式显示出来，再反作用于人。在这样的循环过程中，整个系统将完成人所希望的功能。人机信息交换系统的一般模型如图6-1所示。

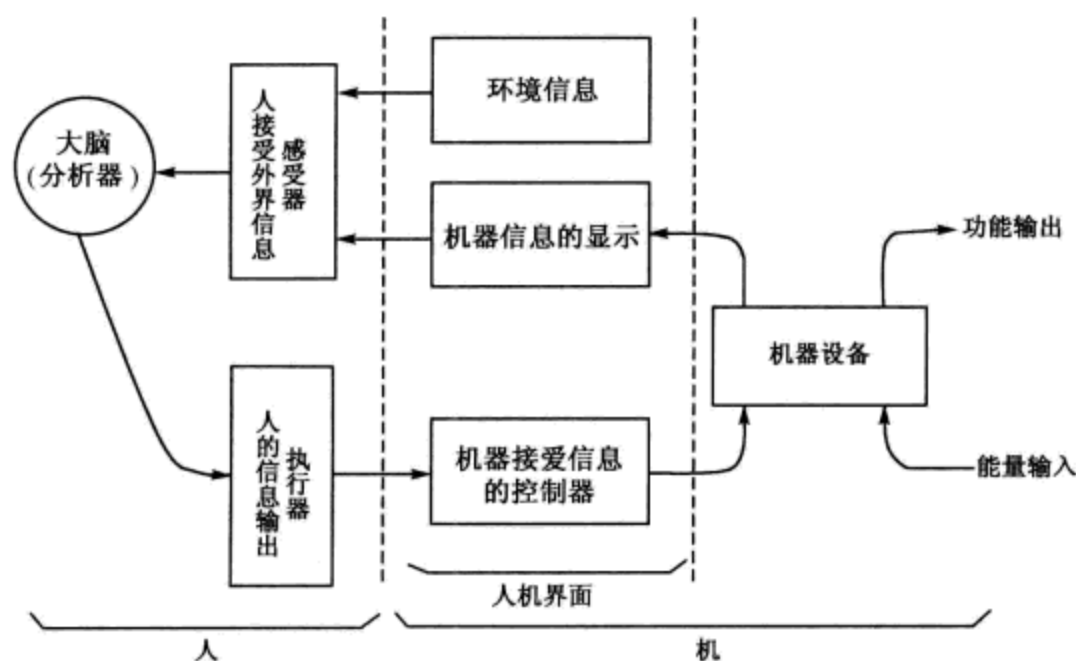


图6-1 人机信息交换系统模型

由图6-1可知，人机信息界面包括环境信息、机器信息的显示和机器接受信息的控制，以下仅讨论后两种信息装置的设计。

6.1.2 人机信息交换方式

机器传递给人信息的显示装置，它们共同的特征是把机器设备的有关信息以人能接收的形式显示给人。在人机系统中，按人接受信息的感觉通道不同，可将显示装置分为视觉显示、听觉显示和触觉显示。其中以视觉和听觉显

示应用最为广泛，触觉显示是利用人的皮肤受到触压或运动刺激后产生的感觉，而向人们传递信息的一种方式，除特殊环境外，一般较少使用。三种显示方式传递的信息特征如表 6-1 所列。

表 6-1 三种显示方式传递的信息特征

显示方式	传递的信息特征	显示方式	传递的信息特征
视觉显示	1. 比较复杂、抽象的信息或含有科学技术术语的信息、文字、图表、公式等； 2. 传递的信息很长或需要延迟者； 3. 需用方位、距离等空间状态说明的信息； 4. 以后有被引用可能的信息； 5. 所处环境不适合听觉传递的信息； 6. 适合听觉传递，但听觉负荷已很重的场合； 7. 不需要急迫传递的信息； 8. 传递的信息常须同时显示、监控	听觉显示	1. 较短或无须延迟的信息； 2. 简单且要求快速传递的信息； 3. 视觉通道负荷过重的场合； 4. 所处环境不适合视觉通道传递的信息
		触觉显示	1. 视觉、听觉通道负荷过重的场合； 2. 使用视觉、听觉通道传递信息有困难的场合； 3. 简单并要求快速传递的信息

本章着重介绍视觉、听觉信息显示装置的人机工程学设计。

在人机系统中，人通过信息显示器获得关于机械的信息之后，利用效应器官操纵控制器，通过控制器调整和改变机器系统的工作状态，使机器按人预定的目标工作。因此，控制器是把人的输出信息转换为机器输入信息的装置，也即在生产过程中，人是通过操纵控制器完成对机器的指挥和控制的。

目前，常见的人机信息交换中，人对机器的控制大多是通过肢体活动来实现的，依据人体的操作部位，主要可分为手动、脚动两大类控制器。

6.2 视觉信息显示设计

6.2.1 仪表显示设计

仪表是一种广泛应用的视觉显示装置，其种类很多。按其功能可分为读数用仪表、检查用仪表、追踪用仪表和调节用仪表等；按其结构形式可分为指针运动式仪表、指针固定式仪表和数字式仪表等。任何显示仪表，其功能都是将系统的有关信息输送给操作者，因而其人因工程学性能的优劣直接影响系统的工作效率。所以，在设计和选择仪表时，必须全面分析仪表的功能特点，见表 6-2。

表 6-2 显示仪表的功能特点

比较项目	模拟显示仪表		数字显示仪表
	指针活动式	指针固定式	
数量信息	中 指针活动时读数困难	中 刻度移动时读数困难	好 能读出精确数值，速度快，差错少

续表

比较项目	模拟显示仪表		数字显示仪表
	指针活动式	指针固定式	
质量信息	好 易判定指针位置,不需读出数值和刻度时,能迅速发现指针的变动趋势	差 不需读出数值和刻度时,难以确定变化的方向和大小	差 必须读出数值,否则难以得知变化的方向和大小
调节性能	好 指针运动调节活动具有简单而直接的关系,便于调节和控制	中 调节运动方向不明显,指针的变动不便于监控,快速调节时难以读数	好 数字调节的监测结果精确,快速调节时难以读数
监控性能	好 能很快地确定指针位置并进行监控;指针位置与监控活动关系最简单	中 指针无变化有利于监控,但指针位置与监控活动关系不明显	差 无法根据指针的位置变化来进行监控
一般性能	中 占用面积大;仪表照明可设在控制台上;刻度的长短有限,尤其在使用多指针显示时认读性差	中 占用面积小,仪表须有局部照明,由于只在很小范围内认读,其认读性好	好 占用面积小,照明面积也最小,刻度的长短只受字符、转鼓的限制
综合性能	价格低;可靠性高;稳定性好;易于显示信号的变化趋势;易于判断信号值与额定值之差		精度高;认读速度快;无视读误差;过载能力强;易与计算机联用
局限性	显示速度较慢;易受冲击和振动影响;过载能力差		价格偏高;显示易于跳动或失效;干扰因素多;需内附或外附电源
发展趋势	降低价格;提高精度与显示速度;采用模拟与数字显示混合型仪表		降低价格;提高可靠性;采用智能化显示仪表

1. 仪表形式

仪表的形式因其用途不同而异,现以读数式仪表为例来分析确定仪表形式的依据。图 6-2 为几种常见的读数式仪表形式与误读率的关系。其中以垂直长条形仪表的误读率最高,而开窗式仪表的误读率最低。但开窗式仪表一般不宜单独使用,常以小开窗插入较大的仪表表盘,用来指示仪表的高位数值。通常将一些多指针仪表改为单指针加小开窗式仪表,使得这种形式的仪表不仅可增加读数的位数,而且还大大提高读数的效率和准确度。

指针活动式圆形仪表的读数效率与准确度虽不如数字式仪表高,但这类仪表可以显示被测参数的变化趋势,因而仍然是常用的仪表形式。

2. 表盘尺寸

表盘尺寸与刻度标记的数量和观察距离有关,一般表盘尺寸随刻度数量和观察距离的增加而增大。以圆形仪表为例,其最佳直径 D 与目视距离 L 、刻度显示最大数 I 之间的关系如图 6-3 所列。由图可知, I 一定时, D 随 L 的增加而增大; L 不变时, D 随 I 的增加而增大。

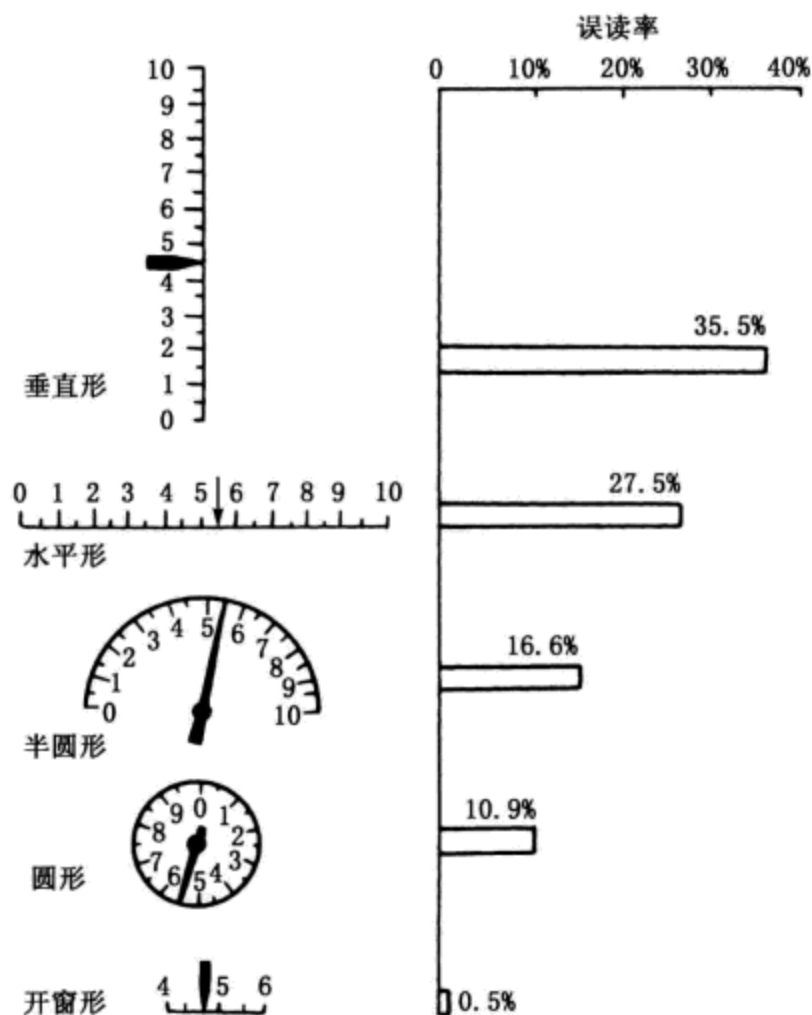


图 6-2 仪表形式与误读率的关系

<i>I</i> /cm	0	50	70	100	150	200	250	300	350	
<i>D</i> /cm			2.5	3.6	5.4	7.2	8.9	10.7	12.5	0.5
<i>I</i> /cm	38									
<i>D</i> /cm		2.5		6.4	9.6	12.9	16.1	19.3	22.5	0.9
<i>I</i> /cm	19	3.2								
<i>D</i> /cm	2.5	6.4	12.9	19.3	25.7	32.2	38.6	45.0		1.8
<i>I</i> /cm	9									
<i>D</i> /cm	2.5	12.9	25.7	38.6	51.4	64.3	77.2	90.0		3.6
<i>I</i> /cm	5									
<i>D</i> /cm	2.5	21.4	42.9	64.3	85.7	107.2	128.6	150.0		6.0

图 6-3 圆形仪表的最佳直径

3. 刻度与标数

表盘上的刻度线、刻度线间距，以及文字数字等尺寸也是根据视距来确定的。人机工程学的有关实验已提供了视距与上述各项尺寸的关系。仪表刻度线一般分为长刻度线、中刻度线和短刻度线三级。各级刻度线和文字的高度可根据视距按表 6-3 所列选用。

表 6-3 目视距离与刻度线的最佳高度

目视距离/m	文字（数字） 高度/cm	刻度线高度/cm		
		长刻度线	中刻度线	短刻度线
0.5 以下	0.23	0.44	0.40	0.23
0.5 ~ 0.9	0.43	1.00	0.70	0.43

续表

目视距离/m	文字(数字) 高度/cm	刻度线高度/cm		
		长刻度线	中刻度线	短刻度线
0.9~1.8	0.85	1.95	1.40	0.85
1.8~3.6	1.70	3.92	2.80	1.70
3.6~6.0	2.70	6.58	4.68	2.70

刻度线间的距离称为刻度。若视距为 L 时,小刻度的最小间距为 $L/600$;大刻度的最小间距为 $L/50$ 。对于人眼直接判读的仪表刻度最小尺寸不宜小于 $0.6 \sim 1 \text{ mm}$,最大可取 $4 \sim 8 \text{ mm}$,而一般情况下取 $1 \sim 2.5 \text{ mm}$ 。对于用放大镜读数的仪表,若放大镜的放大率为 f ,间距可取 $(1/f) \text{ mm}$ 。

刻度线的宽度一般取间距大小的 $5\% \sim 15\%$ 。当刻度线宽度为间距的 10% 时,判读误差最小。狭长形字母数字的分辨率较高,其高度比常取 $5:3$ 或 $3:2$ 的比例。

仪表的标数,可参考下列原则进行设计。

① 通常,最小刻度不标数,最大刻度必须标数。

② 指针运动式仪表标数的数码应当垂直,表面运动的仪表数码应当按圆形排列。

③ 若仪表表面的空间足够大,则数码应标在刻度记号外侧,以避免它被指针挡住;若表面空间有限,应将数码标在刻度内侧,以扩大刻度间距。指针处于仪表表面外侧的仪表,数码应一律标在刻度内侧。

④ 开窗式仪表窗口的大小至少应能显示被指示数字及其上下两侧的两个数,以便观察指示运动的方向和趋势。

⑤ 对于表面运动的小开窗仪表,其数码应按顺时针排列。当窗口垂直时,安排在刻度的右侧;当窗口水平时,安排在刻度的下方,并且都使字头向上。

⑥ 对于圆形仪表,不论表面运动式或指针运动式,均应使数码按顺时针方向依次增大。数值有正负时,0位设在时钟12时位置上,顺时针方向表示“正值”,逆时针方向表示“负值”。对于长条形仪表,应使数码按向上或向右顺序增大。

⑦ 不做多圈使用的圆形仪表,最好在刻度全程的头和尾之间断开,其首尾的间距以相当于一个大刻度间距为宜。

仪表刻度与标数的优劣对比见图6-4。

4. 仪表指针

(1) 指针的形状和长度 指针的形状应以头部尖、尾部平、中间等宽或狭长三角形为好。实验结果表明,指针长度对读数误差影响很大,当指针与刻度线的距离超过 0.6 cm 时,距离越大,认读误差就越大;相反,从 0.6 cm 开始,越接近0,认读误差越小;当间隔接近 0.2 cm , 0.1 cm 时,认读误差保持不变。因此,指针与刻度线的间隔宜取 $0.1 \sim 0.2 \text{ cm}$ 。指针的针尖应与最小刻度线等宽,指针应尽量贴近表面,以减少认读时的视差。

(2) 指针的零位 仪表指针零位一般设在时钟12时或9时的位置上。指针不动,表面运动的仪表指针零位应在时钟12时位置;追踪仪表应处于9时或12时位置;圆形仪表可视需要安排或设在12时的位置上;警戒仪表的警戒区应设在12时处,危险区和安全区则处于其两侧。

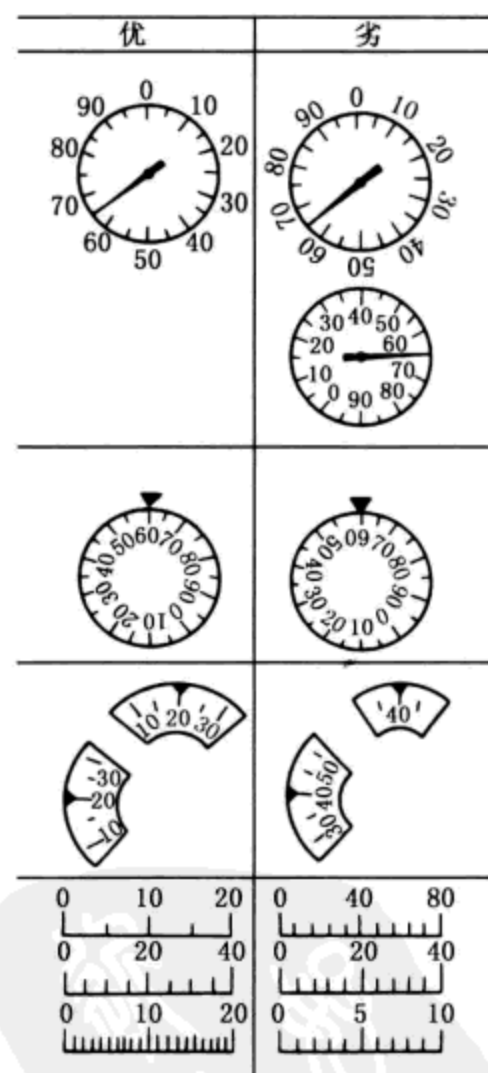


图6-4 仪表刻度与标数的优劣对比

5. 仪表色彩

仪表的色彩是否合适，对认读速度和误读率都有影响。由实验获得的仪表颜色与误读率关系可知，墨绿色和淡黄色仪表表面分别配上白色和黑色的刻度线时，其误读率最小，而黑色和灰黄色仪表表面配上白色刻度线时，其误读率最大，不宜采用。

6.2.2 信号显示设计

1. 信号灯设计

视觉信号是指由信号灯产生的视觉信息，目前已广泛用于飞机、车辆、航海、铁路运输及仪器仪表板上。其特点是面积小、视距远，引人注目，简单明了，但信息负荷有限，当信号太多时，会形成杂乱现象和产生干扰。信号灯主要有两个作用，其一是指示性的，即引起操作者的注意，或指示操作，具有传递信息的作用；其二是显示工作状态，即反映某个指令、某种操作或某种运行过程的执行情况。

在大多数情况下，一种信号只用来指示一种状态或情况。例如，运行信号灯只指示某一机件正在运行；警戒信号灯用来指示操作者须注意某种不安全的因素；故障信号灯则指示某一机器或部件出了故障等。要利用灯光信号来很好地显示信息，就应按人机工程学的要求来设计信号灯。

信号灯是以灯光作为信息载体的，在设计上涉及光学原理和人的视觉特性，在实践上是比较复杂的，这里仅从人机工程学的角度出发，介绍信号灯设计所依据的主要原则。

(1) 信号灯的视距设计 信号灯应清晰、醒目，保证必要的视距。例如，驾驶舱的信号灯要保证看清信号又不致眩目，以免影响司机夜间对舱内的观察。在一定视距下能引起人注意的信号灯，其亮度至少应两倍于背景的亮度，同时背景以灰暗无光为好，但信号灯的高亮太大会造成眩目而影响观察。对于远距离观察的信号灯，如交通信号灯、航标灯等，应保证在较远视距下也能看清，而且在日光亮度和恶劣气候条件下清晰可辨。因此，可选用空气散射小、射程较远的长波红光信号灯，或选用功率消耗较少的蓝绿光信号灯。

对于远距离通信用的信号灯，还必须考虑信号灯在各种气象条件下的能见距离，此处的能见距离是指当物体到达某一距离时，人眼不能再分辨它的临界距离。能见距离不仅受空气透明度的影响，也受物体本身大小、亮度和颜色，以及它与背景关系的影响。在一般白昼日照条件下，人眼看清一个天空背景上黑色客体的能见距离，叫“气象能见距离”，它是在气象上作为标准测量条件的能见距离，见表6-4。其他非绝对黑体的能见距离一般要比气象能见距离近些。表6-5是夜间发光客体的能见距离，可供设计信号灯时参考。

表 6-4 能见距离与空气透明度的关系

大气状态	透明系数	能见距离/km
空气绝对纯净	0.99	200
透明度非常好	0.97	150
很透明	0.96	100
透明度良好	0.92	50
透明度中等	0.81	20

续表

大气状态	透明系数	能见距离/km
空气稍许混浊	0.66	10
空气混浊(霾)	0.36	4
空气很混浊(浓霾)	0.12	2
薄雾	0.015	1
中雾	$2 \times 10^{-4} \sim 8 \times 10^{-10}$	0.5~0.2
浓雾	$10^{-19} \sim 10^{-34}$	0.1~0.05
极浓雾	$< 10^{-34}$	几十~几米

表 6-5 全黑夜中灯光的能见距离

能见距/ km 气象能见度/km	灯类	小煤油灯、 微微发光的 窗子、街灯 (3.5 cd)	大煤油灯、 明亮的街灯、 火把、篝火 (8.5 cd)	电 灯				
				50 cd	100 cd	200 cd	500 cd	1 000 cd
0.05		0.10	0.10	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16
0.2		0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5
0.5		0.5	0.6	0.8	0.8	0.9	1.0	1.1
1		0.8	0.9	1.3	1.4	1.5	1.7	1.9
2		1.2	1.5	2.1	2.3	2.6	2.9	3.2
4		1.8	2.2	3.2	3.7	4.1	4.8	5.3
10		2.5	3.4	5.4	6.4	7.0	9.9	10
20		3.1	4.3	7.6	9.1	11	13	16
50		4.2	5.3	10.4	13.3	16	22	26

(2) 信号灯的形状、标记设计 不同信号的指示灯应当选用不同的颜色,当信号灯很多时,不仅在颜色上,还要在形状、标记上加以区别,而形状、标记应与其表示的意义有逻辑联系,如“→”表示指向,“×”表示禁止,“!”表示警告,慢闪光表示慢速等。为引起注意,可用强光和闪光信号,闪光频率为0.67~1.67 Hz,闪光方式可为明暗、明灭、似动(并列两灯交替明灭)等。

闪光信号较之固定光信号更能引起人注意,闪光信号的作用是:

- ① 引起观察者的进一步注意;
- ② 指示操作者立即采取行动;
- ③ 反映不符合指令要求的信息;
- ④ 用闪光的快慢指示机器或部件运动速度的快慢;
- ⑤ 用以指示警觉或危险信号。

闪光信号的强弱应视具体情况而定,例如,表示重要信息或危险信号的闪光,其强度应比其他信号强,因强光信号比弱光信号更易于引起注意,但光的强度不能大到刺眼和眩目。闪光信号的闪烁频率一般为0.67~1.67 Hz,当亮度对比较差时,闪光频率可稍高。较优先和较紧急的信息可使用较高的闪烁频率(10~20 Hz)。

不同背景的灯光信号对人的认读效果有较大的影响。人们曾做过这样的测试,如果背景的灯光信号也为闪光,人将很难辨认出作为警告用的闪光信号

灯。表 6-6 为不同背景下人对灯光信号辨认效果的影响。

表 6-6 不同背景下人对信号灯的辨认

信号灯	背景灯光	认读效果
闪光	稳光	最佳
稳光	稳光	好
稳光	闪光	好
闪光	闪光	差

(3) 信号灯的颜色选择 信号灯的颜色不宜过多，以防误认。常用的 10 种编码颜色不易混淆的次序为：黄、紫、橙、浅蓝、红、浅黄、绿、紫红、蓝、黄粉。对单个信号灯，以蓝绿色为最清晰；作为警戒、禁止、停顿或指示不安全情况的信号灯，最好使用红色；提请注意的信号灯用黄色；表示正常运行的信号灯用绿色；其他信号灯的颜色可按用途任选，见表 6-7。

表 6-7 指示信号灯的颜色及其含义

颜色	含 义	说 明	举 例
红	危险或告急	有危险或需要立即采取行动	1. 润滑系统失压； 2. 温升已超（安全）极限； 3. 有触电危险
黄	注意	情况有变化或即将发生变化	1. 温升（或压力）异常； 2. 发生尚能承受的暂时过载
绿	安全	正常或允许运行	1. 冷却通风正常； 2. 自动控制运行正常； 3. 机器准备启动
蓝	按需要指定用意	除红、黄、绿三色之外的任何指定用意	1. 遥控指示； 2. 选择开关为准备位置
白	无特定用意	任何用意，例如，你正在“执行”	

(4) 信号灯的布置 重要信号灯与重要仪表一样，必须布置在最佳视区视野中心 3°范围内，一般信号灯在 20°范围内，次要信号灯布置在离视野中心 60°~80°范围外，但仍须在不必转头即能看到的范围内。信号灯显示与操纵或其他显示有关时，应与有关器件位置靠近，成组排列，而且信号灯的指示方向与操作方向须保持一致，例如开关向上时，上方信号灯亮等。

(5) 重要信号灯的设计 采用信号灯显示特别重要的信号或危险信号时，可考虑同时采用听觉、触觉等多重显示的方式，以引起特别的注意。

2. 荧光屏设计

(1) 荧光屏的显示特征 随着电子和信息技术的发展，在视觉信息显示方面，新的视频显示装置得以广泛应用，目前使用愈来愈多的是荧光屏，如图文电视屏幕、计算机的高分辨率（1 600×1 280 像素点）显示器、示波器、彩超及雷达等。荧光屏显示的独特优点在于既能显示图形、符号、信号，又能显

示文字，既能作追踪显示，又能显示多媒体的图文动态画面，因而得到迅速发展，在人-机信息交换中发挥着愈来愈重要的作用。

荧光屏设计需要电子、信息等工程技术和视觉生理、心理等多方面的知识，涉及的内容很多，本节仅从人机工程学的角度介绍一些设计原则和应用新技术。

(2) 目标的亮度、呈现时间 所谓目标是指在荧光屏上显示的视觉信息载体。如一个图形、文字、符号和信号等，它在背景颜色的衬托下显示出来。因此，目标亮度愈高，愈易觉察，但是当目标亮度超过 34 cd/m^2 时，视敏度不再有较大的改善，所以目标亮度不应超过 34 cd/m^2 。为了在屏面上突出目标，屏面的亮度不宜调节到最亮，当调节为合适的亮度时，工作效率最优。

当目标呈现时间在 $0.01\sim 10\text{ s}$ 范围内时，目标的视见度随呈现时间的增大而提高。不过，在呈现时间大于 1 s 的情况下，视见度提高的速度减慢；当呈现时间大于 10 s 时，视见度只有很小的提高。一般来说，目标呈现时间为 0.5 s 大体上已可满足视觉辨别的基本要求；呈现时间在 $2\sim 3\text{ s}$ ，可认为是最有利的数值。呈现时间再延长，则占用时间太多，对提高视见度无意义。周围的灯光照度对余辉的视觉效应影响很大，周围照度太高或太低都对它有不利的影响，而以周围照度为 1 lx 时最优。

(3) 目标的运动速度 目标的运动状态对视觉辨别有很大影响。一般来说，运动着的目标比静止目标易于察觉，但难于看清。因此就视觉辨别效率来说，目标运动速度愈大愈不利。视敏度与目标运动状态的关系如表 6-8 所列，从表中可看出，视力大体上与目标运动速度成反比，人对静止目标的视力比运动目标平均高一倍左右。当目标运动速度超过 $80^\circ/\text{s}$ 时，已很难看清目标，视觉工作效率剧烈下降。因此，设计时应限制目标的运动速度。

表 6-8 视敏度与目标运动状态的关系

目标运动速度/ ($^\circ\cdot\text{s}^{-1}$)	静止	20	60	90	120	150	180
视敏度/ ($'$) $^{-1}$ (视角)	2.04	1.95	1.84	1.78	1.63	0.90	0.94

(4) 目标的形状、大小和颜色 对屏面上不同形状目标的辨认效率不同，其一般的优劣次序为：三角形、圆形、梯形、方形、长方形、椭圆形和十字形。当干扰光点强度较大时，方形目标优于圆形目标。

目标采用红色 ($6\,310\text{ \AA}$ ^①) 或绿色 ($5\,210\text{ \AA}$) 时，视觉辨别效率与白色目标相似，但红色目标易引起视觉疲劳，故微型计算机的荧光屏上绝大多数都用绿色作为目标。采用蓝色 ($4\,670\text{ \AA}$) 则视觉辨别效率稍差。

从视敏度的角度看，目标愈大愈易察觉。一般来说，目标的能见度随着目标面积的增大而提高，大体上呈线性关系。可是目标太大，占用空间就太多，因而应有一个适宜的大小。荧光屏上字符的大小与视距的关系如表 6-9 所列。字符的高宽比可取 2:1 或 1:1，其笔画宽与字高之比可取 1:8 或 1:10。一般常用字符的大小（字符的直径或方形字符的对角线长）规格为 0.76, 1.5, 3.8, 4.6, 5.1, 7.6, 10, 12.2, 20, 25.4 mm 等。

① $1\text{ \AA}=1\times 10^{-10}\text{ m}$

表 6-9 荧光屏字符的大小与视距的关系

视距/m	字符直径/mm
0.5	3
1.0	6
3.0	10

(5) 目标与背景的关系 目标的视见度受制于目标与背景的亮度对比值, 即:

$$\text{亮度对比度} = \frac{\text{目标亮度} - \text{背景亮度}}{\text{背景亮度}}$$

目标的亮度必须达到亮度对比度高于能见的阈值, 目标才能被看见。在背景亮度为 $0.34 \sim 34 \text{ cd/m}^2$ 的情况下, 亮度对比阈一般随着背景亮度的增大而缩小, 大体上呈线性关系; 在背景亮度为 68 cd/m^2 时, 达最大值的 90%; 以后背景亮度再增大, 亮度对比阈只有很小的改变。所以, 就亮度对比感受性而言, 68 cd/m^2 可以视做背景 (屏面) 亮度的最优数值。

屏面以外的照明称为环境照明。人们往往认为环境照明最好是黑暗, 以提高屏面的清晰度, 其实并不然。实践证明, 屏面亮度与环境亮度相一致时, 目标察觉、识别和追踪效率都达到最优。当环境亮度超过屏面亮度较多时, 视觉工作效率受到明显的不利影响。如果环境亮度与目标亮度相同, 颜色也相同时, 视觉工作效率也会受到不利的影响。

(6) 屏面 屏面的大小与视距和要显示目标的大小有关。一般视距的范围为 $50 \sim 70 \text{ cm}$, 此时屏面的大小以在水平和垂直方向对人眼形成不小于 30° 的视角为宜。当视距为 $35.5 \sim 71 \text{ cm}$ 时, 雷达屏面直径以 $12.7 \sim 17.8 \text{ cm}$ 为最佳; 而对计算机而言, 常用的屏面尺寸为 $14 \text{ in}^{\text{①}}$ (对角线长), 相当于 35.6 cm , 当显示的信息较多或较复杂时, 屏面可增大至 17 in , 20 in 。例如, 对于机械产品 CAD 图形的显示, 由于图形的点、线、面结构复杂, 常用 20 in 的高分辨率显示器。

对于计算机屏幕, 除屏面大小外, 屏幕显示的分辨率和颜色对显示信息也有较大的影响。计算机屏幕的分辨率以纵、横坐标的像素点来区分, 如 640×480 的分辨率表示屏面横坐标的像素点为 640 线, 纵坐标为 480 线。计算机中常说的高分辨率一般指 1024×768 以上的像素点。屏幕的分辨率愈高, 显示的信息清晰度愈好, 愈易被人认读。

3. 图形符号设计

现代信息显示中广泛使用了各种类型的图形和符号指示。由于人在知觉图形和符号信息时, 辨认的信号和辨认的客体有形象上的直接联系, 其信息接收的速度远远高于抽象信号。由于图形和符号具有形、意、色等多种刺激因素, 传递的信息最大, 抗干扰力强, 易于接收, 故图形和符号指示在现代工业生产中具有重要意义。

信息显示中所采用的图形和符号, 是经过对显示内容的高度概括和抽象处理而形成的, 使得图形和符号与标志客体间有着相似的特征, 让人便于识别辨认。图形和符号的辨认速度和准确性, 与图形和符号的特征数量有关, 并不是

① $1 \text{ in} = 2.54 \text{ cm}$

符号的形状愈简单愈易辨认。有人做过实验，选用三类符号，在所传递的信息量大体相同时，考查其辨认效果。第一类为简单的符号，只有必要的特征，仅按形状（三角形、梯形等）辨认；第二类为中等的符号，除了主要特征外还有辅助特征（外表和内部的细节）；第三类是复杂的符号，有若干个彼此混淆的辅助特征（一般是两个），实验结果表明，辨认简单符号和辨认复杂符号一样，比辨认中等符号需要的时间更长，准确性更低（表 6 - 10）。因此，为了提高图形和符号的辨认速度和准确性，必须注意：设计的图形和符号要反映客体的特征。只有用高度概括、简练、生动的形象表达出客体的基本特征，才能适宜操作者辨认。

表 6 - 10 辨认的速度和准确性与识别特征数量的关系

辨认速度和准确性的指标	符 号		
	简单的	中等的	复杂的
呈现的时间阈限/s	0.034	0.053	0.169
感觉 - 语言反应潜伏期/s	3.11	2.70	3.13
占呈现总数的认错率/%	10.8	2.2	2.5

信息显示中所采用的图形和符号指示，大多数是作为操纵控制系统或操作内容和位置的指示。但“形象化”的图形和符号指示也有自己的限度，如果在操作中须精确知道被调节量，则图形、符号指示就不能胜任，必须用数字加以补充。

图形和符号作为一种视觉显示标志出现时，总是以某种与被标识的客体有含义联系的颜色表示。因此，标志用色在图形符号设计中也是十分重要的内容。

标志作为一种形象语言，要便于识别。标志的颜色都有特定意义，我国和国际上都做了规定。颜色除了用于安全标志、技术标志外，还可用来标志材料、零件、产品、包装和管线等。

生产、交通等方面使用色彩的含义如下：

(1) 红 (7.5R4.5/14)

- ① 停止：交通工具要求停车，设备要求紧急刹车；
- ② 禁止：表示不准操作，不准乱动，不准通行；
- ③ 高度危险：如高压电、下水道口、剧毒物、交叉路口等；
- ④ 防火：消防车和消防用具都以红色为主色。

(2) 橙 (2.5YR6.5/12) 用于危险标志，涂于转换开关的盖子、机器罩盖的内表面、齿轮的侧面等。橙色还用于航空、船舶的保安措施。

(3) 黄 (2.5Y8/13) 明视性好，能唤起注意，多用于警告信号。如铁路维护工穿黄衣。

(4) 绿 (5G5.5/6)

- ① 安全：引导人们行走安全出口标志用色；
- ② 卫生：救护所、保护用具箱常采用此色；
- ③ 表示设备安全运行。

(5) 蓝 (2.5PB5.5/6) 警惕色。如开关盒外表涂色，修理中的机器、升降设备、炉子、地窖、活门、梯子等的标志色。

- (6) 紫红 (2.5RP4.5/12) 表示放射性危险的颜色。
- (7) 白 (N9.5/) 表示通道、整洁、准备运行的标志色。白色还用来标志文字、符号、箭头, 以及作为红、绿、蓝的辅助色。
- (8) 黑 (N1.5/) 用于标志文字、符号、箭头, 以及作为白、橙的辅助色。

表 6-11 为管道颜色标记。

表 6-11 管道颜色标记

类 别	色 别	色 标
水	青色	2.5PB 5.5/6
汽	深红	7.5R 3/6
空气	白色	N 9.5/
煤气	黄色	2.5 Y 8/12
酸、碱	橙、紫	2.5 P 5/5
油	褐	7.5 YR 5/6
电气	浅橙	2.5 YR 7/6
真空	灰	N 5/
氧	蓝	—

值得一提的是, 在实际应用各类图形符号时, 不得采用人们不能接受的或过分抽象的图形和符号, 只能使用有利于人的知觉的图形、符号, 以便减少知觉时间, 加强对符号的记忆和提高操作者的反应速度。图形、符号设置的位置应与所指示的操纵机构相对应。例如, 转动手柄的操纵机构 (手柄转动在 90° 以上), 应在手柄轴线的上方标出符号; 对于普通单工位按钮, 可在按钮轴线上方标出机器开动状态的符号, 这样操作者就能按图形、符号所指示的内容, 准确而迅速地操纵机器。

6.3 听觉信息传示设计

6.3.1 听觉信息传示装置

听觉信息传示具有反应快, 传示装置可配置在任一方向上, 用语言通话时应答性良好等优点, 因而在下述情况下被广泛采用: 信号简单、简短时; 要求迅速传递信号时; 传示后无必要查对信号时; 信号只涉及过程或时间性事件时; 视觉负担过重或照明、振动等作业环节又不利于采用视觉信息传递时; 操作人员处于巡视状态, 并需要从干扰中辨别信号时等。

听觉信息传示装置种类很多, 常见的为音响报警装置, 如铃、蜂鸣器、枪声、汽笛、哨笛等。

1. 蜂鸣器

它是音响装置中声压级最低, 频率也较低的装置。蜂鸣器发出的声音柔和, 不会使人紧张或惊恐, 适用于较宁静的环境, 常配合信号灯一起使用, 作为指示性听觉传示装置, 提请操作者注意, 或指示操作者去完成某种操作, 也可用做指示某种操作正在进行。汽车驾驶员在操纵汽车转弯时, 驾驶室的显示

仪表板上就有一个信号灯亮和蜂鸣器鸣笛，显示汽车正在转弯，直到转弯结束。蜂鸣器还可作报警器用。

2. 铃

因铃的用途不同，其声压级和频率有较大差别，例如电话铃声的声压级和频率只稍大于蜂鸣器，主要是在宁静的环境下让人注意。而用做指示上下班的铃声和报警器的铃声，其声压级和频率就较高，可在有较高强度噪声的环境中使用。

3. 角笛和汽笛

角笛的声音有吼声（声压级 90 ~ 100 dB、低频）和尖叫声（高声强、高频）两种。常用做高噪声环境中的报警装置。

汽笛声频率高，声强也高，较适合用于紧急事态的音响报警装置。

4. 警报器

警报器的声音强度大，可传播很远，频率由低到高，发出的声音富有调子的上升和下降，可以抵抗其他噪声的干扰，特别能引起人们的注意，并强制性地使人们接受。它主要用做危急事态的报警，如防空警报、救火警报等。

听觉信息传示装置设计必须考虑人的听觉特性，以及装置的使用目的和使用条件。具体内容如下：

① 为提高听觉信号传递效率，在有噪声的工作场所，须选用声频与噪声频率相差较远的声音作为听觉信号，以削弱噪声对信号的掩蔽作用。

听觉信号与噪声强度的关系常以信号与噪声的强度比值（信噪比）来描述，即：

信/噪 = 10 lg 信号强度/噪声强度

信噪比愈小，听觉信号的可辨性愈差。所以应根据不同的作业环境选择适宜的信号强度。常用听觉信号的主宰频率和强度可参考表 6 - 12。

表 6 - 12 几种常用听觉信号的主宰频率和强度①

分类	听觉信号	平均强度水平/dB		主宰可听频率/Hz
		距离 3 m 处	距离 0.9 m 处	
大面积、 高强度	10 cm 铃	65 ~ 77	75 ~ 83	1 000
	15 cm 铃	74 ~ 83	84 ~ 94	600
	25 cm 铃	85 ~ 90	95 ~ 100	300
	喇叭	90 ~ 100	100 ~ 110	5 000
	汽笛	100 ~ 110	110 ~ 121	7 000
小面积、 低强度	重声蜂鸣器	50 ~ 60	70	200
	轻声蜂鸣器	60 ~ 70	70 ~ 80	400 ~ 1 000
	2.5 cm 铃声	60	70	1 100
	5 cm 铃声	62	72	1 000
	7.5 cm 铃声	63	73	650
	钟声（谐音）	69	78	500 ~ 1 000

① 大面积高强度听觉信号在安静场所用 50 ~ 60 dB 强度，在露天工场用 70 ~ 80 dB，在强噪声工厂、机器厂或冲压车间用 90 ~ 100 dB

② 使用两个或两个以上听觉信号时，信号之间应有明显的差异；而对某

一种信号在所有时间内应代表同样的信息意义，以提高人的听觉反应速度。

③ 应使用间断或变化信号，避免使用连续稳态信号，以免人耳产生听觉适应性。

④ 要求远传或绕过障碍物的信号，应选用大功率低频信号，以提高传示效果。

⑤ 对危险信号，至少应有两个声学参数（声压、频率或持续时间）与其他声信号或噪声相区别；而且危险信号的持续时间应与危险存在时间一致。

6.3.2 言语传示装置

人与机器之间也可用言语来传递信息。传递和显示言语信号的装置称为言语传示装置。如麦克风这样的受话器就是言语传示装置，而扬声器就是言语显示装置。经常使用的言语传示系统有：无线电广播、电视、电话、报话机和对话器及其他录音、放音和电声装置等。

用言语作为信息载体，其优点是可使传递和显示的信息含意准确、接收迅速、信息量较大等；缺点是易受噪声的干扰。在设计言语传示装置时应注意以下几个问题。

1. 言语的清晰度

用言语（包括文章、句子、词组及单字）来传递信息，在现代通信和信息交换中占主导地位。对言语信号的要求是语言清晰。言语传示装置的设计首先应考虑这一要求。在工程心理学和传声技术上，用清晰度作为言语的评定指标。所谓言语的清晰度是人耳对通过它的音语（音节、词或语句）中正确听到和理解的百分数。言语清晰度可用标准的语句表通过听觉显示器来进行测量，若听正确的语句或单词占总数的 20%，则该听觉显示器的言语清晰度就是 20%。对于听正确和听错的记分方法有专门的规定，此处不作论述。表 6-13 是言语清晰度（室内）与主观感觉的关系。由此可知，设计一个言语传示装置，其言语的清晰度必须在 75% 以上，才能正确传示信息。

表 6-13 言语的清晰度评价

言语清晰度/%	人的主观感觉
96	言语听觉完全满意
85 ~ 96	很满意
75 ~ 85	满意
65 ~ 75	言语可以听懂，但非常费劲
65 以下	不满意

2. 言语的强度

言语传示装置输出的语音，其强度直接影响言语清晰度。当语音强度增至刺激阈限以上时，清晰度的分数逐渐增加，直到差不多全部语音都被正确听到的水平；强度再增加，清晰度分数仍保持不变，直到强度增至痛阈为止，如图 6-5 所示。不同研究者的结果表明，语音的平均感觉阈限为 25 ~ 30 dB（即测听材料可有 50% 被听清楚），而汉语的平均感觉阈值是 27 dB。

由图中可以看出，当言语强度达到 130 dB 时，受话者将有不舒服的感觉；达到 135 dB 时，受话者耳中即有发痒的感觉，再高便达到了痛阈，将有损耳朵的机能。因此言语传示装置的语音强度最好在 60 ~ 80 dB。

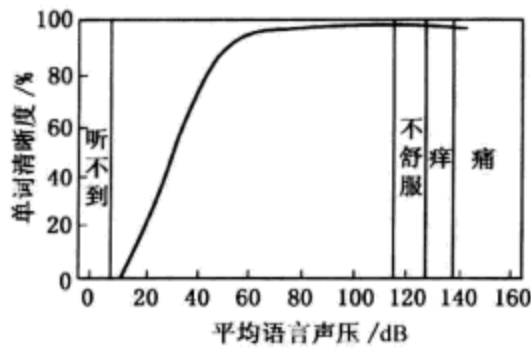


图 6-5 语音强度与清晰度的关系

3. 噪声环境中的言语通信

为了保证在有噪声干扰的作业环境中讲话人与收听人之间能进行充分的言语通信，则须按正常噪声和提高了的噪声定出极限通信距离。在此距离内，在一定语言干涉声级或噪声干扰声级下可期望达到充分的言语通信，在此情况下言语通信与噪声干扰之间的关系如表 6-14 所列。

表 6-14 言语通信与噪声干扰之间的关系

干扰噪声的 A 计权 声级 L_A /dB	语言干涉声级 /dB	认为可以听懂正常 噪音下口语的距离/m	认为在提高了的噪音下可 以听懂口语的距离/m
43	36	7	14
48	40	4	8
53	45	2.2	4.5
58	50	1.3	2.5
63	55	0.7	1.4
68	60	0.4	0.8
73	65	0.22	0.45
78	70	0.13	0.25
83	75	0.07	0.14

上面所说的充分的言语通信，是指通信双方的言语清晰度达到 75% 以上。距声源（讲话人）的距离每增加 1 倍，言语声级将下降 6 dB，这相当于声音在室外或室内传至 5 m 远左右。不过，在房间中声级的下降还受讲话人与收听人附近的吸声物体的影响。在有混响的房间内，当混响时间超过 1.5 s 时，言语清晰度将会降低。

在噪声环境中作业，当为了保护人耳免受损害而使用护耳器时，护耳器一般不会影响言语通信。因为它不仅降低了言语声级，也降低了干扰噪声。同不戴护耳器的人相比，戴护耳器的讲话人在噪声级较低时声音较高，而在噪声级较高时则声音较低。

对于使用言语传示装置（如电话）进行通信时，对收听人来说，对方的噪声和传递过来的言语音质（响度、由电话和听筒产生的线路噪声）可能会有起伏，尽管如此，表 6-15 所给出的关系仍然是有效的。

表 6-15 在电话中言语通信与干扰噪声的关系

收听人所在环境的干扰噪声		言语通信的质量
A 计权声级 L_A /dB	语言干涉声级 L_{all} /dB	
55	47	满意
55 ~ 65	47 ~ 57	轻微干扰
65 ~ 80	57 ~ 72	困难
80	72	不满意

须注意的是，当收听者处的干扰噪声增强时，首先受到影响的是另一方语言的清晰度。这时收听人根据经验会提高自己的声音。对于扬声器和耳机这样

的言语传示装置,要保证通过扬声器传送的语言信息有充分的语言通信功能,须使 A 计权语言声级至少比干扰噪声的声级高 3 dB。

6.3.3 听觉传示装置的选择

1. 音响传示装置的选择

在设计和选择音响、报警装置时,应注意以下原则:

① 在有背景噪声的场合,要把音响显示装置和报警装置的频率选择在噪声掩蔽效应最小的范围内,使人们在噪声中也能辨别出音响信号。

② 对于引起人们注意的音响显示装置,最好使用断续的声音信号;而对报警装置最好采用变频的方法,使音调有上升和下降的变化,更能引起人们注意。另外,警报装置最好与信号灯一起作用,组成“视、听”双重报警信号。

③ 要求音响信号传播距离很远和穿越障碍物时,应加大声波的强度,使用较低的频率。

④ 在小范围内使用音响信号,应注意音响信号装置的多少。当音响信号装置太多时,会因几个音响信号同时显示而互相干扰、混淆,遮掩了需要的信息。在这种情况下可舍去一些次要的音响装置,而保留较重要的,以减少彼此间的影响。

2. 言语传示装置的选择

言语传示装置比音响装置表达更准确,信息量更大,因此,在选择时应与音响装置相区别,并注意下列原则:

① 须显示的内容较多时,用一个言语传示装置可代替多个音响装置,且表达准确,各信息内容不易混淆。

② 言语传示装置所显示的言语信息表达力强,较一般的视觉信号更有利于指导检修和故障处理工作。同时语言信号还可以用来指导操作者进行某种操作,有时可比视觉信号更为细致、明确。

③ 在某些追踪操纵中,言语传示装置的效率并不比视觉信号差。例如,飞机着陆导航的言语信号、船舶驾驶的言语信号等。

④ 在一些非职业性的领域中,如娱乐、广播、电视等,采用言语传示装置比音响装置更符合人们的习惯。

6.4 操纵装置设计

操纵装置是将人的信息输送给机器,用以调整、改变机器状态的装置。操纵装置将操作者输出的信号转换成机器的输入信号。因此,操纵装置的设计首先要充分考虑操作者的体形、生理、心理、体力和能力。操纵装置的大小、形态等要适应人的手或脚的运动特征,用力范围应当处在人体最佳用力范围之内,不能超出人体用力的极限,重要的或使用频繁的操纵装置应布置在人反应最灵敏、操作最方便、肢体能够达到的空间范围内。操纵装置的设计还要考虑耐用性、运转速度、外观和能耗。操纵装置是人-机系统中的重要组成部分,其设计是否得当,关系到整个系统能否高效、安全运行。

6.4.1 常用操纵装置

常用的几种操纵器的功能见表 6-16,其形态如图 6-6 所示。

表 6-16 各种操纵器的功能和使用情况

操纵装置名称	使用功能					使用情况					
	启动 制动	不连续 调节	定量 调节	连续 调节	数据 输入	性能	视觉辨 别位置	触觉辨 别位置	多个类似操纵 器的检查	多个类似操纵 器的操作	复合 控制
按钮	△					好	一般	差	差	好	好
钮子开关	△	△			△	较好	好	好	好	好	好
旋转选择开关		△				好	好	好	好	差	较好
旋钮		△	△	△		好	好	一般	好	差	好
踏钮	△					差	差	一般	差	差	差
踏板			△	△		差	差	较好	差	差	差
曲柄			△	△		较好	一般	一般	差	差	差
手轮			△	△		较好	较好	较好	差	差	好
操纵杆			△	△		好	好	较好	好	好	好
键盘					△	好	较好	差	一般	好	差

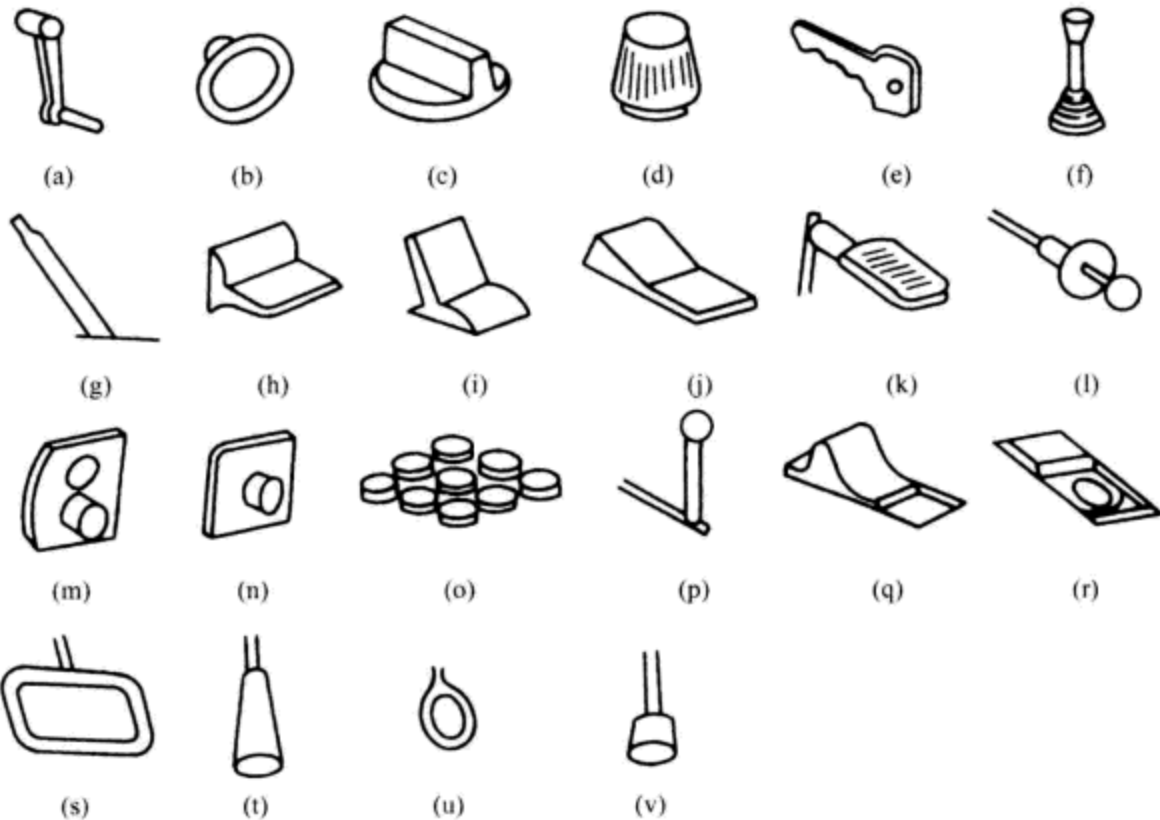


图 6-6 操纵装置形态

(a) 曲柄；(b) 手轮；(c) 旋塞；(d) 旋钮；(e) 钥匙；(f) 开关杆；(g) 调节杆；(h) 杠杆键；
(i) 拨动式开关；(j) 摆动式开关；(k) 脚踏板；(l) 钢丝脱扣；(m) 按钮；(n) 按键；(o) 键
盘；(p) 手闸；(q) 指拨滑块（形状决定）；(r) 指拨滑块（摩擦决定）；(s) 拉环；(t) 拉手；
(u) 拉圈；(v) 拉钮

6.4.2 手控操纵器的设计

1. 触觉功能与触觉特性

操作中的握、动等动作是人与物接触的过程，接触是人动作的基础，特别是在不能用视觉判断的情况下（如黑暗中），动作必须根据触觉来产生。触觉与视觉、听觉相比，有以下特征：

(1) 不太敏感 人接触物体时，从对物体的知觉到认识它需要一定的时间，即认识物体比视觉慢。触觉存在于人体的所有部位，但触觉敏感度随触觉

部位的不同而异。

(2) 适应迅速 人在接触物的时候,通过重复提拿能对物的重量和形状再认识,能从接触反射做出判断转为马上操作。

(3) 有立体感 与视觉等相比,触觉能直接掌握物的立体感。触觉能同时感觉温度、压力和痛觉等,因此触觉的判断是综合性的。

2. 操纵手把的设计

手是人体进行操作活动最多的器官之一。长期使用不合理的操作手把,可使操作者产生痛觉,出现老茧甚至变形,并可影响劳动情绪、劳动效率和劳动质量。因此,操纵手把的外形、大小、长短、重量以及材料等,除应满足操作要求外,还应符合手的结构、尺度及其触觉特征。设计合理的操纵手把,主要考虑以下几个方面。

(1) 手把形状应与手的生理特点相适应 就手掌而言,掌心部位肌肉最少,指骨间肌和手指部分是神经末梢满布的区域。而指球肌、大鱼际肌、小鱼际肌是肌肉丰满的部位,是手掌上的天然减振器,见图 6-7 (a)。设计手把形状时,应避免将手把丝毫不差地贴合于手的握持空间,更不能紧贴掌心。手把着手方向和振动方向不宜集中于掌心和指骨间肌。因为长期使掌心受压受振,可能会引起难以治愈的痉挛,至少也容易引起疲劳和操作不准确。图 6-7 是手的生理结构及手把形状设计,其中以图 6-7 中 (b) (c) (d) 为好,图 6-7 中 (e) (f) (g) 为差。

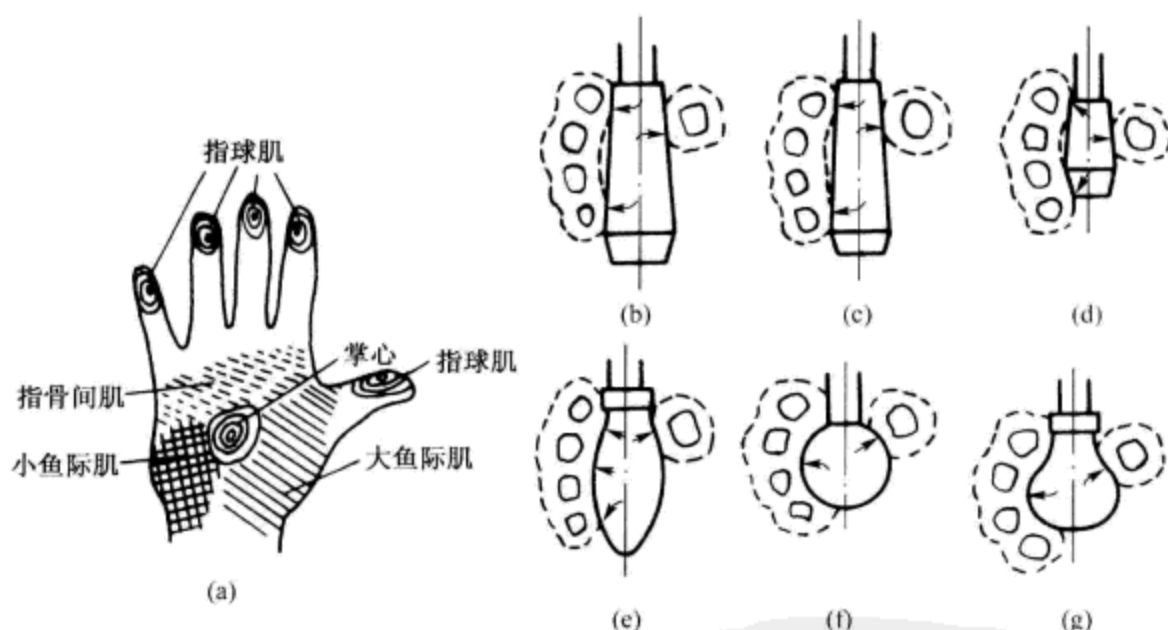


图 6-7 手的生理结构及手把形状设计
(a) 人手结构; (b) ~ (g) 各种手把形状设计

(2) 手把形状应便于触觉对它进行识别 在使用多种控制器的复杂操作场合,每种手把必须有各自的特征形状,以便于操作者确认而不混淆。这种情况下的手把形状必须尽量反映其功能要求,同时还要考虑操作者戴上手套也能分辨和方便操作。图 6-8 分别表示了根据触觉能立即辨认的手把形状。

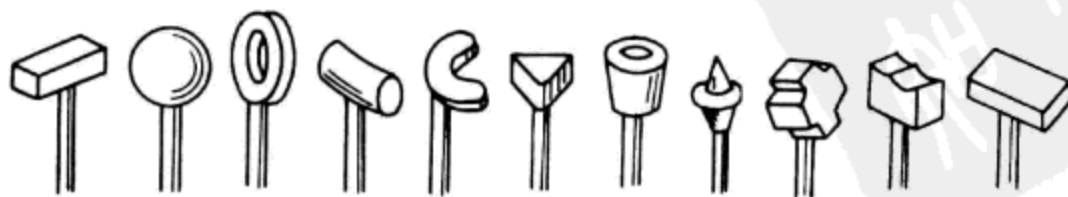


图 6-8 便于触觉辨认的手把形状

(3) 尺寸应符合人手尺度的需要 要设计一种合理的手把, 必须考虑手幅长度、手握粗度、握持状态和触觉的舒适性。通常, 手把的长度必须接近和超过手幅的长度, 使手在握柄上有一个活动和选择的范围。手把的径向尺寸必须与正常的手握尺度相符或小于手握尺度。如果太粗, 手就握不住手把; 如果太细, 手部肌肉就会过度紧张而疲劳。另外, 手把的结构必须能够保持手的自然握持状态, 以使操作灵活自如。手把的外表面应平整光洁, 以保证操作者的触觉舒适性。图 6-9 表示各种不同手把的握持状态。

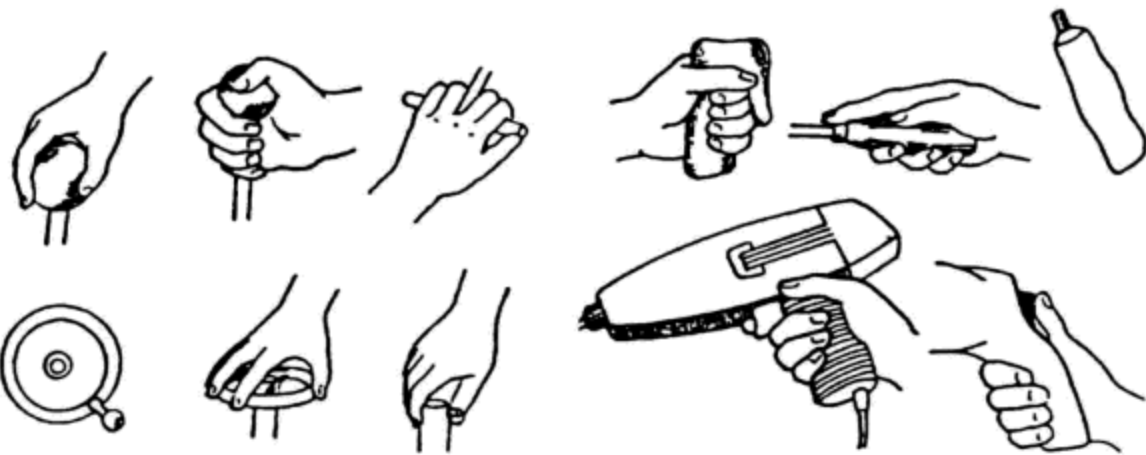


图 6-9 各种不同手把的握持状态

3. 适宜的操纵力范围

操纵器所需的操纵力要适中, 不仅要使其用力不超过人的最大用力限度, 而且还应使其用力保持在人最合适的用力水平上, 使操作者感到舒适而又不易引起疲劳。由于人在操纵时须依靠操纵力的大小来控制操纵量, 并由此来调节其操纵活动。因此, 操纵力过小则不易控制, 操纵力过大则易引起疲劳。表 6-17 列出手控操纵器允许的最大用力; 表 6-18 列出不同转动部位的平稳转动操纵器的最大用力。

表 6-17 手控操纵器的最大用力

操 纵 器	允许的最大用力/N	操 纵 器	允许的最大用力/N
轻型按钮	5	前后向杠杆	150
重型按钮	30	左右向杠杆	130
轻型转换开关	4.5	手轮	150
重型转换开关	20	方向盘	150

表 6-18 平稳旋转操纵的最大用力

转动部位与特征	最大用力/N	转动部位与特征	最大用力/N
用手转动	10	用手最快转动	9 ~ 23
用手和前臂转动	23 ~ 40	精确安装时的转动	23 ~ 25
用手和全臂转动	80 ~ 100	—	—

4. 操纵器的适宜尺寸

操纵器的大小必须与人手尺度相适应, 以使操纵活动方便、舒适而高效。据有关实验研究资料所确定的各种手控操纵器与人体尺度有关的尺寸参数, 列于表 6-19, 尺寸含义见图 6-10。

表 6-19 手控操纵器与人体尺度有关的尺寸参数

名称与图例	尺寸/cm	位 移	阻力 F/N
按钮开关 (见图 6-10 (a))	指尖操作: $D_{\min} = 1.25$ 拇指按压: $D_{\min} = 1.8$	在范围内: $x = 0.3 \sim 1.25$ 不在范围内: $x = 0.3 \sim 1.8$	指尖操作: 2.85 ~ 11.35 小指按压: 1.43 ~ 5.68
拨钮开关 (见图 6-10 (b))	$D = 0.3 \sim 2.5$ $l = 1.25 \sim 50$	最近控制位置: $\theta_{\min} = 40^\circ$ 总位移量: $\theta = 120^\circ$	2.83 ~ 11.34
箭头旋钮 (见图 6-10 (c))	指针可动: $l \geq 2.5$ $b \leq 2.5$ $h = 1.25 \sim 7.5$ 刻度盘可动: $D = 2.5 \sim 10.0$ $h = 1.25 \sim 7.5$	视觉定位: $\theta = 15^\circ \sim 40^\circ$ 盲目定位: $\theta = 30^\circ \sim 90^\circ$	3.40 ~ 13.55
旋钮 (见图 6-10 (d))	定位旋钮: $D = 3.5 \sim 7.5$ $h = 2.0 \sim 5.0$ 连续旋钮: $D = 1.0 \sim 3.0$ $h = 1.5 \sim 2.5$	视觉定位: $\theta \geq 15^\circ$ 盲目定位: $\theta \geq 30^\circ$ 人能一次转动: 120°	12 ~ 18 2 ~ 4.5
操纵杆 (见图 6-10 (e))	手指抓握: $d = 2.0$ 手掌抓握: $d = 3.0 \sim 4.0$ 球形手把: $d = 1.25 \sim 5.0$ $e > 5.0$	前后: $\theta_{\max} = 45^\circ$ 左右: $\theta_{\max} = 90^\circ$ 按控制比确定	手指: 3 ~ 9 手掌: 9 ~ 135
曲柄 (见图 6-10 (f))	轻载高速: $r = 1.25 \sim 10.0$ 重载时: $r_{\max} = 50$	按控制比确定	轻载高速: 9 ~ 22.5 大型高速: 22.5 ~ 45 精确定位: 2.3 ~ 36
手轮 (见图 6-10 (g))	手轮直径: $D = 17.5 \sim 52.5$ 截面直径: $d = 1.8 \sim 5.0$	按控制比确定 $\theta_{\max} = 90^\circ \sim 120^\circ$	单手操作: 25 ~ 135 双手操作: 22.5 ~ 225

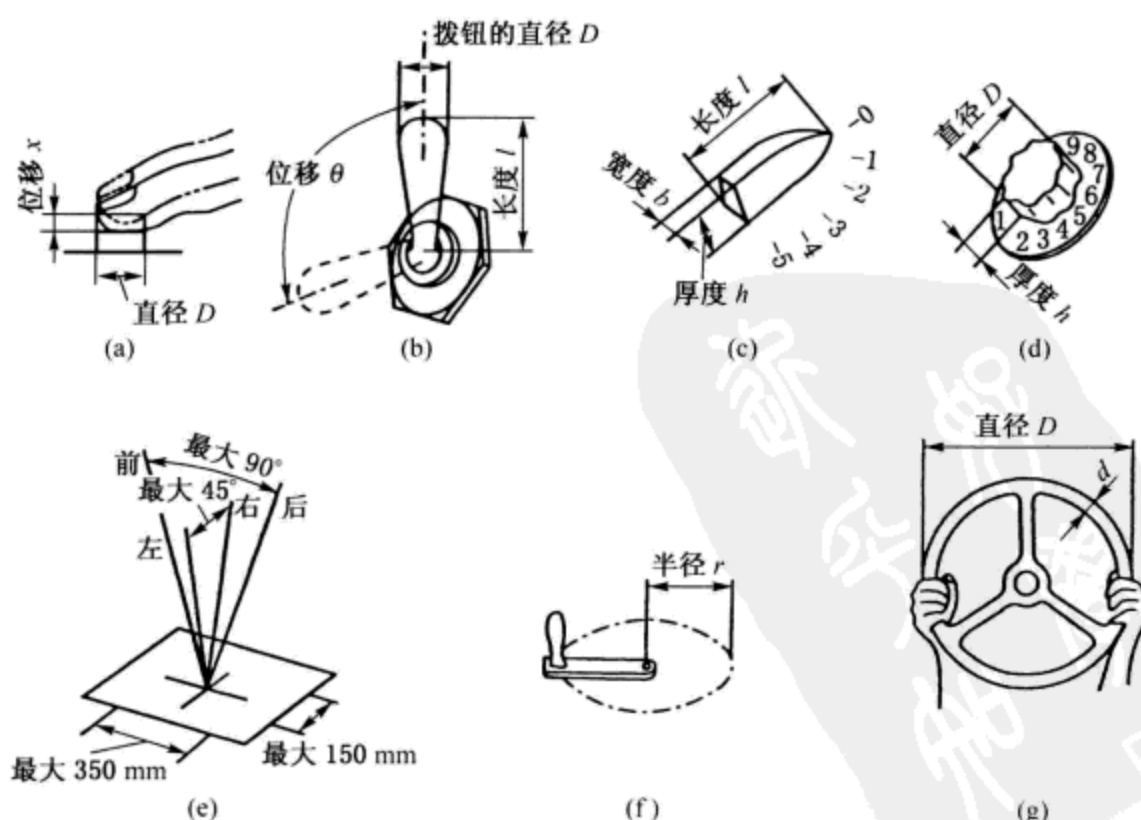


图 6-10 常用手控操纵器的尺寸

(a) 按钮开关; (b) 拨钮开关; (c) 箭头旋钮; (d) 旋钮; (e) 操纵杆; (f) 曲柄; (g) 手轮

6.4.3 脚控操纵器的设计

脚控操纵器主要用于需要较大操纵力时，如操纵力超过 50 ~ 150 N；需要连续操作而又不使用手时；手的操作负荷太大时，采用脚控操纵可减轻上肢负担和节省时间。通常脚控操纵是在坐姿且有靠背支持身体的状态下进行的，一般多用右脚，用力大时由脚掌操作；快速控制时由脚尖操作，而脚后跟保持不动。立位时不宜采用脚控操纵器，因操作时体重压于一侧下肢，极易引起疲劳。必须采用立位脚控操作时，脚踏板离地不宜超过 15 cm，踏到底时应与地面相平。

1. 适宜的操纵力

脚控操纵器主要有脚踏压钮、脚动开关和脚踏板。在操纵力大于 50 ~ 150 N 且需要连续用力时，才选用脚踏板。一般选用前两种较多。

为了防止无意踩动，脚控操纵器至少应有 40 N 的阻力。脚控器纵器的适宜用力见表 6 - 20。

表 6 - 20 脚控操纵器的适宜用力

脚控操纵器	适宜用力/N	脚控操纵器	适宜用力/N
休息时脚踏板受力	18 ~ 32	离合器最大蹬力	272
悬挂脚蹬	45 ~ 68	方向舵	726 ~ 1 814
功率制动器	~ 68	可允许的最大蹬力	2 268
离合器和机械制动器	~ 136	—	—

2. 脚控操纵器的尺寸

脚踏板一般设计成矩形，其宽度与脚掌等宽为佳，一般大于 2.5 cm；脚踏时间较短时最小长度为 6 ~ 7.5 cm；脚踏时间较长时为 28 ~ 30 cm，踏下行程应为 6 ~ 17.5 cm，踏板表面宜有防滑齿纹。

脚踏按钮是取代手控按钮的一种脚控操纵器，可以快速操作。其直径为 5 ~ 8 cm，行程为 1.2 ~ 6 cm。

3. 脚踏板结构形式的选择

在相同条件下，不同结构形式的脚踏板，其操纵效率是不同的。图 6 - 11 表示不同类型脚踏板的对比实验结果。图中按编号 (a) ~ (e) 顺序，在相同条件下，相应的踏板每分钟脚踏次数分别为 187，178，176，140，171。试验结果表明，每踏 1 次，图 (a) 所示踏板所需时间最少，图 (b) (c) (e) 所示踏板所需的时间依次增多，而图 (d) 所示踏板所需的时间最多，比图 (a) 所示踏板多用 34% 的时间。

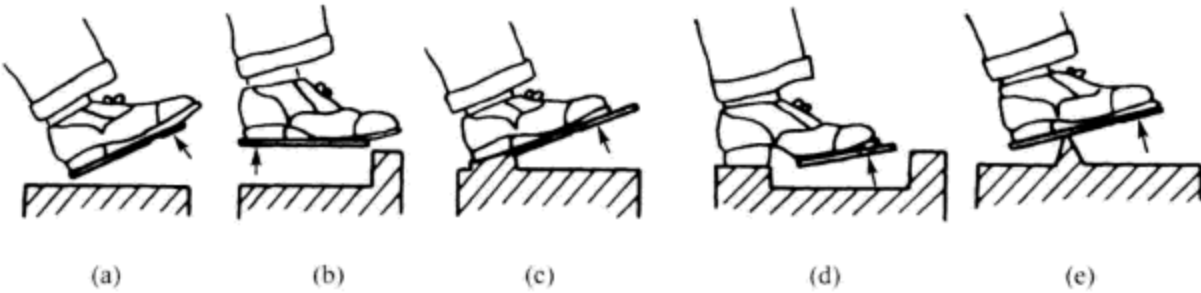


图 6 - 11 不同类型脚踏板操纵效率的比较

脚踏板的布置形式也与操作效率有关,实验指出,踏板布置在座椅前7.62~8.89 cm,离椅面5~17.8 cm,偏离人体正中面小于7.5~12.5 cm处,操作方便,出力最大,有利于提高操作效率。

6.4.4 操纵装置编码与选择

1. 操纵装置编码

在使用多种操纵器的复杂操作场合,按其形状、位置、大小、颜色或标号对操纵器进行编码,是提高效率和减少误操作率的一种有效的方法。

(1) 形状编码 对操纵器进行形状编码,是使具有不同功能的操纵器具具有各自的形状特征,便于操作者的视觉和触觉辨认,并有助于记忆,因而操纵器的各种形状设计要与其功能有某种逻辑上的联系,使操作者从外观上就能迅速地辨认操纵器的功能。

图6-12是一组形状编码设计的实例。图(a)应用于连续转动或频繁转动的旋钮,其位置一般不传递控制信息;图(b)应用于断续转动的旋钮,其位置不显示重要的控制信息;图(c)应用于特别受到位置限制的旋钮,它根据其位置给操作人员以重要的控制信息。

(2) 位置编码 利用安装位置的不同来区分操纵器,称为位置编码。如将操纵器设在某一位置上表示系统某种功能的类型,并实现标准化,则操作者可不必注视操作对象,而能很容易地识别操纵器并正确地进行操作。它常用于脚踏板编码。

(3) 尺寸编码 利用操纵器的尺寸不同,使操作者能分辨出其功能之间的区别,称为尺寸编码。由于手操纵器的尺寸首先必须适合手的尺度,因而利用尺寸进行编码,其应用是有限的。如把旋钮分为大、中、小三挡,并叠放在一起的结构形式,是尺寸编码设计的最佳实例。

(4) 颜色编码 利用色彩不同来区分操纵器,称为颜色编码。由于颜色编码的操纵器只有在采光照明较好的条件下才能有效地分辨,同时,色彩种类多了也会增加分辨的难度,因而其使用范围受到一定的限制,一般仅限于红、橙、黄、绿、蓝5种色彩。但是,如果将色彩编码与其他方式编码组合使用,则效果甚佳。

(5) 符号编码 利用操纵器上标注的文字符号来区分操纵器,称为符号编码。通常,当操纵器数量很多,上述其他方式编码又难以区分时,可在操纵器上刻上适当的符号,或标上简单的文字以增加分辨效果。但使用的文字符号应力求简单、达意,而且最好是使用手的触觉可分辨的符号。

2. 操纵装置的选择

操纵装置的选择应考虑两种因素,一种是人的操纵能力,如动作速度、肌力大小、连续工作的能力等;另一种是操纵装置本身,如操纵装置的功能、形状、布置、运动状态及经济因素等。按人机工程学原则来选择操纵装置,就是要使这两种因素协调,达到最佳的工作效率。

此处只介绍操纵装置的有关选择依据,见表6-21~表6-23,以供合理选择操纵装置时参考。

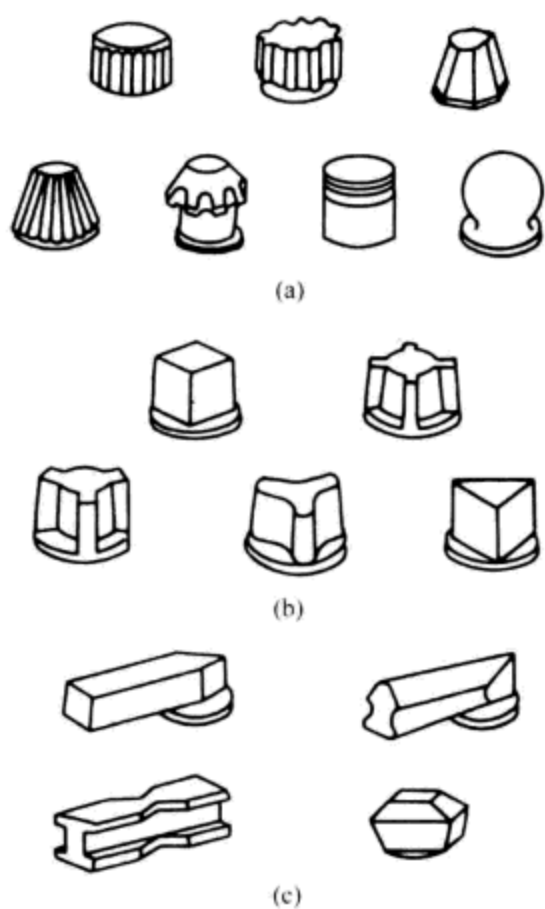


图6-12 形状编码

表 6-21 一些操纵装置的最大允许用力

操纵装置所允许的最大用力			平稳转动操纵装置的最大用力	
操纵器的形式		允许的最大用力/N	转动部位和特征	最大用力/N
按钮	轻型	5	用手操纵的转动机构	< 10
	重型	30		
转换开关	轻型	4.5	用手和前臂操纵的转动机构	23 ~ 40
	重型	20		
操纵杆	前后动作	150	用手和臂操纵的转动机构	80 ~ 100
	左右动作	130		
脚踏按钮		20 ~ 90	用手的最高速度旋转的机构	9 ~ 23
手轮和方向盘		150	要求精度高时的转动操纵器	23 ~ 25

表 6-22 各种操纵器之间的距离

mm

把手和摇柄之间的距离	180
单手快速连续动作手柄之间最远距离	150
周期使用的选择性按钮之间的边距	50
交错排列的连续使用的按钮之间的边距	15
连续使用的转换开关（或拨动开关）柄之间的距离	25
周期使用的转换开关（或拨动开关）柄之间的距离	50
多人同时使用的两邻近转换开关间的距离	75
离单一工作的瞬间转换开关之间邻近边的距离	25
手柄之间最近边距	75
机床边缘上手柄之间的距离	300

表 6-23 各种不同工作情况下建议使用的操纵器

工作情况		建议使用的操纵器
操纵力较小情况	2 个分开的装置	按钮、踏钮、拨动开关、摇动开关
	4 个分开的装置	按钮、拨动开关、旋钮选择开关
	4 ~ 24 个分开的装置	同心多层旋钮、键盘、拨动开关、旋转选择开关
	25 个以上分开的装置	键盘
	小区域的连续装置	旋钮
	较大区域的连续装置	曲柄
操纵力较大情况	2 个分开的装置	扳手、杠杆、大按钮、踏钮
	3 ~ 24 个分开的装置	扳手、杠杆
	小区域的连续性装置	手轮、踏板、杠杆
	大区域的连续性装置	大曲柄

6.5 操纵与显示相合性

6.5.1 操纵 - 显示比

在操纵中，通过操纵装置对机器进行定量调节或连续控制，操纵量则通过

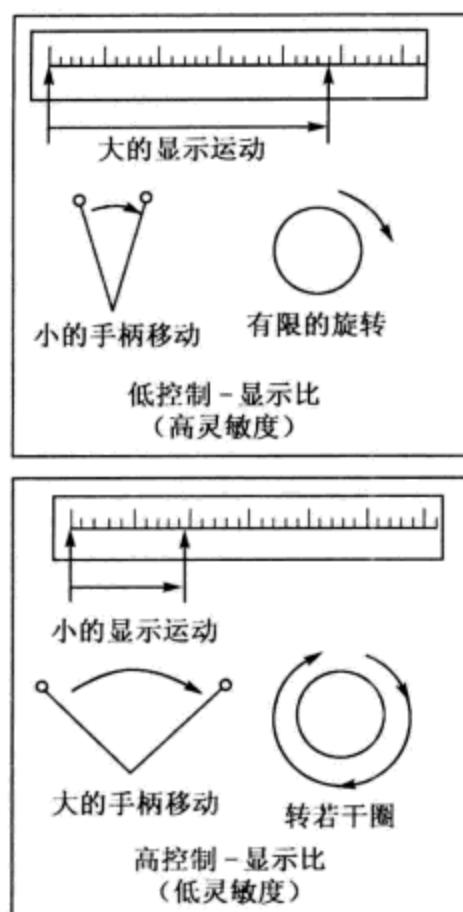


图 6-13 操纵 - 显示比

显示装置（也可以是机器本身或其执行机构，例如，汽车方向盘的转动与车身转弯程度）来反映。操纵 - 显示比就是操纵器和显示器移动量之比，即 C/D 比。移动量可以是直线距离（如直线型刻度盘的显示量，操纵杆的移动量），也可以是旋转的角度和圈数（圆形刻度盘的指针显示量，旋钮的旋转圈数等）。灵敏度低的操纵器是指它的操纵位移量很大，但显示器的移动量却很小；相反，灵敏度高的操纵器则是它的位移量小，但显示量大。 C/D 反映了操纵 - 显示界面的灵敏度高低， C/D 比高，说明操纵 - 显示系统灵敏度低； C/D 比低，则灵敏度高。如图 6-13 所示。

在操纵 - 显示界面中，人们对于操纵器的调节有两种形式：粗调和精调。在选择 C/D 比时，需考虑两种调节形式。在图 6-14 中可以看到，随着 C/D 比的下降，粗调所需的时间急剧下降，而精调正好与之相反。因此，在粗调的时候，要求 C/D 比低一些；而精调的时候，则要求 C/D 比高一些。

一般来说，人机界面上的操纵 - 显示系统具有精调和粗调两种功能。 C/D 比的选择则考虑精调和粗调时间，而不是简单地选择高 C/D 比还是低 C/D 比。最佳的 C/D 比是两种调节时间曲线的相交处，这样可以使总的调节时间降到最低，如图 6-14 所示。

最佳的 C/D 比选择还受到许多因素的影响。例如显示器的大小、操纵器的类型、观察距离以及调节误差的允许范围等。对于最佳 C/D 比的选择往往是通过实验得出的，没有一个理想的计算公式。国外曾有人经过实验得出：旋钮的最佳 C/D 比，范围为 0.2 ~ 0.8，对于操纵杆或手柄， C/D 应在 2.5 ~ 4.0 之间较为理想。

6.5.2 操纵与显示的相合性原则

操纵器与显示器除了有密切的功能联系外，两者的运动方向还应互相适应，而且其相应的动作应符合人的习惯，这样系统操纵效率方能提高。因此，操纵与显示方向的相合性是人机界面设计中的重要部分。

图 6-15 (a) (b) 分别表示操纵器与显示器方向相合性及操纵习惯模式。由图表明，在操纵与显示相合性设计时，应遵循下述原则：

- ① 操纵器右移或右旋时，水平式代表的指针应右移，垂直式代表的指针应朝上移动；
- ② 操纵器朝上或朝前移动时，显示器指针必须朝上或向右移动；
- ③ 操纵器右移或顺时针转动时，表示被控量增加，显示器应显示出增加；
- ④ 如果采用指针固定式显示器，则操纵器右移时，表盘应左移，而显示刻度应从左至右表示数值增加，以保证操纵器右移时读数增加的相应关系；

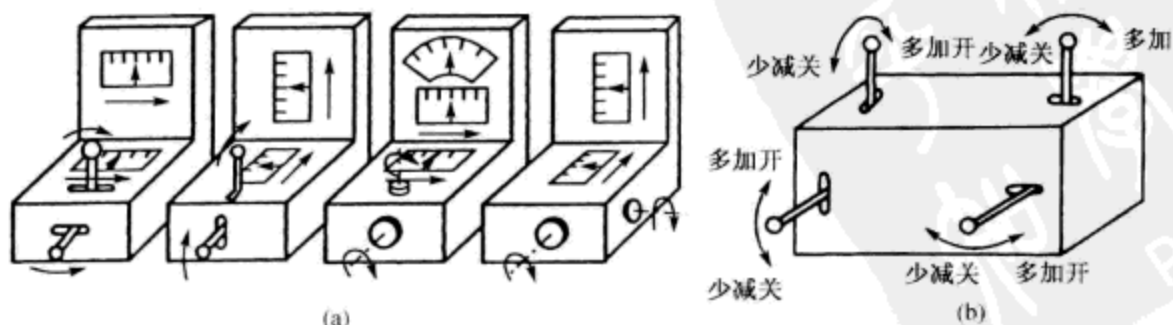


图 6-15 操纵器与显示器方向相合性及操纵习惯模式

(a) 操纵器与显示器方向相合性；(b) 操纵习惯模式

⑤ 操纵器朝上、朝前和向右移动时，显示器应显示读数增加，或者开关进入“开”的位置，反之亦然。

6.5.3 操纵－显示的编码和编排相合性

操纵－显示的编码和编排相合的目的主要是减少信息加工的复杂性，从而提高工作效率。其中比较重要的一个原则就是应使操纵器编码尽可能与显示器编码相一致。

在中央控制室，常会遇到很多操纵钮与信号灯有对应关系的情况，怎样处理操纵钮与灯的关系，才能使操纵效率达到最优呢？最好的一种编码方式是操纵钮本身带有灯光信号，按下哪个钮，哪个钮的灯就亮。此外，如果不能采用钮本身带灯的方式，则可将钮集中在操纵板上，信号灯集中在显示板上，但两者的空间排列必须相互对应，否则工作效率就会受到影响。

对于操纵钮和仪表显示的相合性，因受彼此排列方式的影响，其工作效率也有很大的差异。如图 6－16 所示的两种编排方式，图（a）比（b）好。

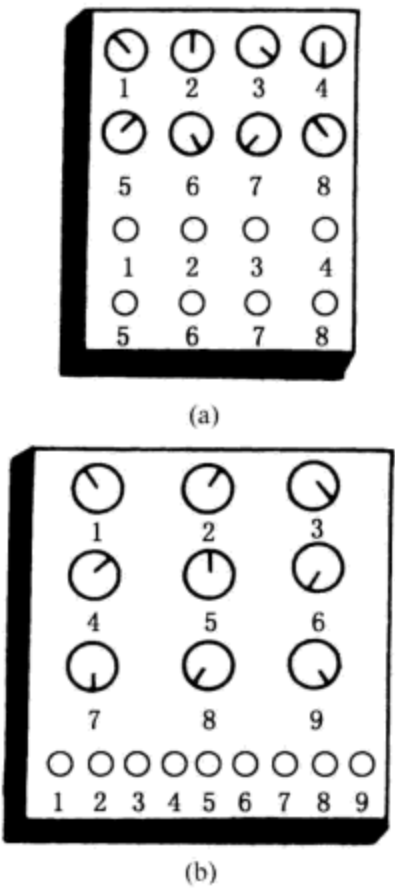


图 6－16 旋钮与仪表的位置对应关系
(a) 对应关系较好；(b) 对应关系较差

第7章 工作台椅与工具设计

7.1 控制台设计

由于工作岗位不同,工作台种类繁多。在现代化生产系统中,常将有关的显示器、控制器等器件集中布置在工作台上,让操作者方便而快速地监控生产过程,具有这一功能的工作台称为控制台。

对于自动化生产系统,控制台就是包含显示器和控制器的作业单元,它小至像一台便携式打字机,大到可达一个房间。此处仅介绍一般常用控制台的设计。

7.1.1 控制台形式

1. 桌式控制台

桌式控制台的结构简单,台面小巧,视野开阔,光线充足,操作方便。适用于显示、控制器件数量较少的控制,如图7-1(a)所示。

2. 直柜式控制台

其构成简单,台面较大,视野效果较好。适用于显示、控制器件数量较多的控制,一般多用于无需长时间连续监控的控制系统,见图7-1(b)。

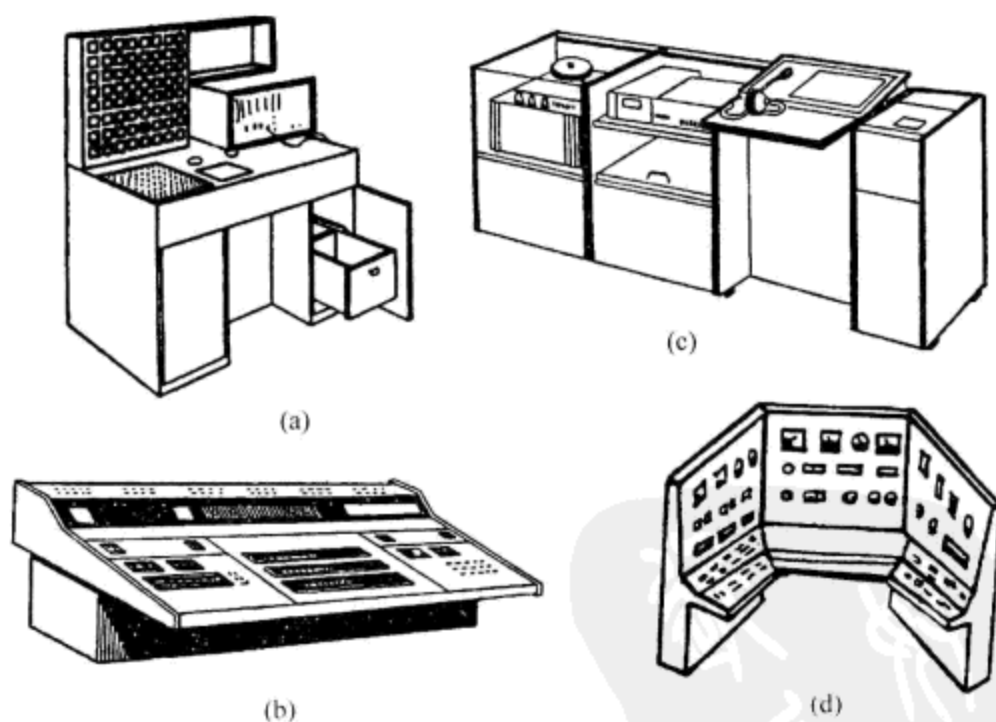


图7-1 控制台形式

(a) 桌式控制台; (b) 直柜式控制台; (c) 组合式控制台; (d) 弯折式控制台

3. 组合式控制台

组合式控制台的组合方式千变万化,有台和台、台和箱、柜和柜等组合方式,具体视其功能要求而定。与桌式控制台相比,虽然其结构较复杂,但它除了布置显示、控制器件外,还可以将有关的电气元器件配置在箱柜中,是一种风格独特的控制台,见图7-1(c)。

4. 弯折式控制台

弯折式控制台与弧形控制台属于一种形式，其结构复杂，适用于显示、控制器件数量很多的控制，一般多用于需长时间连续监控的控制系统。与直柜式控制台相比，具有监视观察视野佳、控制操作舒适方便等特点，如图 7-1 (d) 所示。

7.1.2 控制台的设计要点

控制台的设计，最关键的是控制器与显示器的布置必须位于作业者正常的作业空间范围内。保证作业者能良好地观察必要的显示器，操作所有的控制器，以及为长时间作业提供舒适的作业姿势。控制台有时在操作者前侧上方也有作业区，当然所有这些区域都必须在可视可及区内。因此，控制台设计的主要工作是客观地掌握人体尺度。

1. 控制台作业面

图 7-2 为较方便舒适的显示控制作业面。该图是基于第 2.5 百分位的女性作业者人体测量学数据做出的。根据图中阴影区的形状来设计控制台，可使得操作者具有良好的手-眼配合协调性。

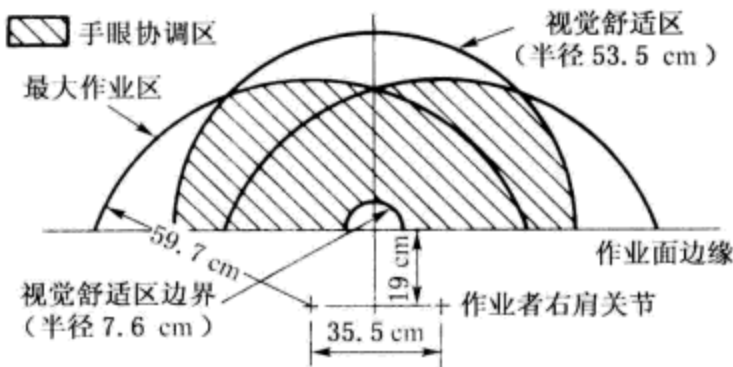


图 7-2 推荐的控制台作业面布置区域

2. 显示器面板型式

控制台显示器面板大多为平坦的矩形。但对于大型控制室内，常将控制台设计成显示-控制分体式，即显示器面板与控制台分开配置。此种类型的控制台，其面板形状应具有灵活性。图 7-3 为各种不同型式的显示器面板，对分体式控制台应采用展开 U 型或半圆型等型式，选型时应充分考虑到操作人员的立体操作范围。

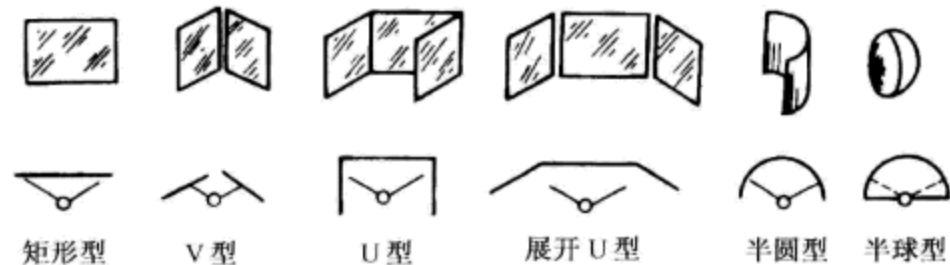


图 7-3 面板型式

3. 控制台上方干涉点高度

对于分体式控制台，由于控制台高度方向上的干涉点，可能遮挡视

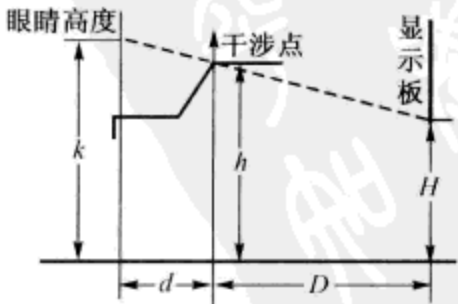


图 7-4 控制台干涉点高度

线，在显示面板的下方产生死角，在死角部分不能配置仪表，如 7-4 所示。

在设计时，为保证操作者能方便地观察到显示面板的仪表，控制台上方干涉点的高度 h 可用下式计算：

$$h = \frac{Dk + dH}{D + d} \tag{7-1}$$

式中， h 为干涉点高度； k 为操作者眼高； H 为显示面板下端高度； d 为操作者眼点与干涉点的投影距离； D 为干涉点与显示面板的投影距离。

7.1.3 常用控制台设计

1. 坐姿低台式控制台

当操作者坐着监视其前方固定的或移动的目标对象，而又必须根据对象物的变化观察显示器和操作控制器时，则满足此功能要求的控制台应按图 7-5 进行设计。

首先控制台的高度应降到坐姿人体视水平线以下，以保证操作者的视线能达到控制台前方；其次应把所需的显示器、控制器设置在斜度为 20° 的面板上；再根据这两个要点确定控制台其他尺寸。

2. 坐姿高台式控制台

当操作者以坐姿进行操作，而显示器数量又较多时，则设计成高台式控制台。与低台式控制台相比，其最大特点是显示器、控制器分区域配置，见图 7-6。

首先在操作者视水平线以上 10° 至以下 30° 的范围内设置斜度为 10° 的面板，在该面板上配置最重量的显示器；其次，从视水平线以上 $10^\circ \sim 45^\circ$ 范围内设置斜度为 20° 的面板，这一面板上应设置次要的显示器；另外，在视水平线以下 $30^\circ \sim 50^\circ$ 范围内，设置斜度为 35° 的面板，其上布置各种控制器。最后确定控制台其他尺寸。

3. 坐立姿两用控制台

操作者按照规定的操作内容，有时需要坐着、有时又需要立着进行操作时，则设计成坐立两用控制台。这一类型的控制台除了能满足规定操作内容的要求外，还可以调节操作者单调的操作姿势，有助于延缓人体疲劳和提高工作效率。

坐立两用控制台面板配置如图 7-7 所示。从操作者视水平线以上 10° 到向下 45° 的区域，设置斜度为 60° 的面板，其上配置最重要的显示器和控制器；视水平线向上 $10^\circ \sim 30^\circ$ 区域设置斜度为 10° 的面板，布置次要的显示器。最后，确定控制台其余尺寸。

设计时应注意的是，必须兼顾两种操作姿势时的舒适性和方便性。由于控制台的总体高度是以操作者的立姿人体尺度为依据的，因而当坐姿操作时，应在控制台下方设有脚踏板，才能满足较高坐姿操作的要求。

4. 立姿控制台

其配置类似于坐立两用控制台，但在台的下部不设容腿空间和脚踏板，故下部仅设容脚空间或封板垂直。



图 7-5 坐姿低台式控制台

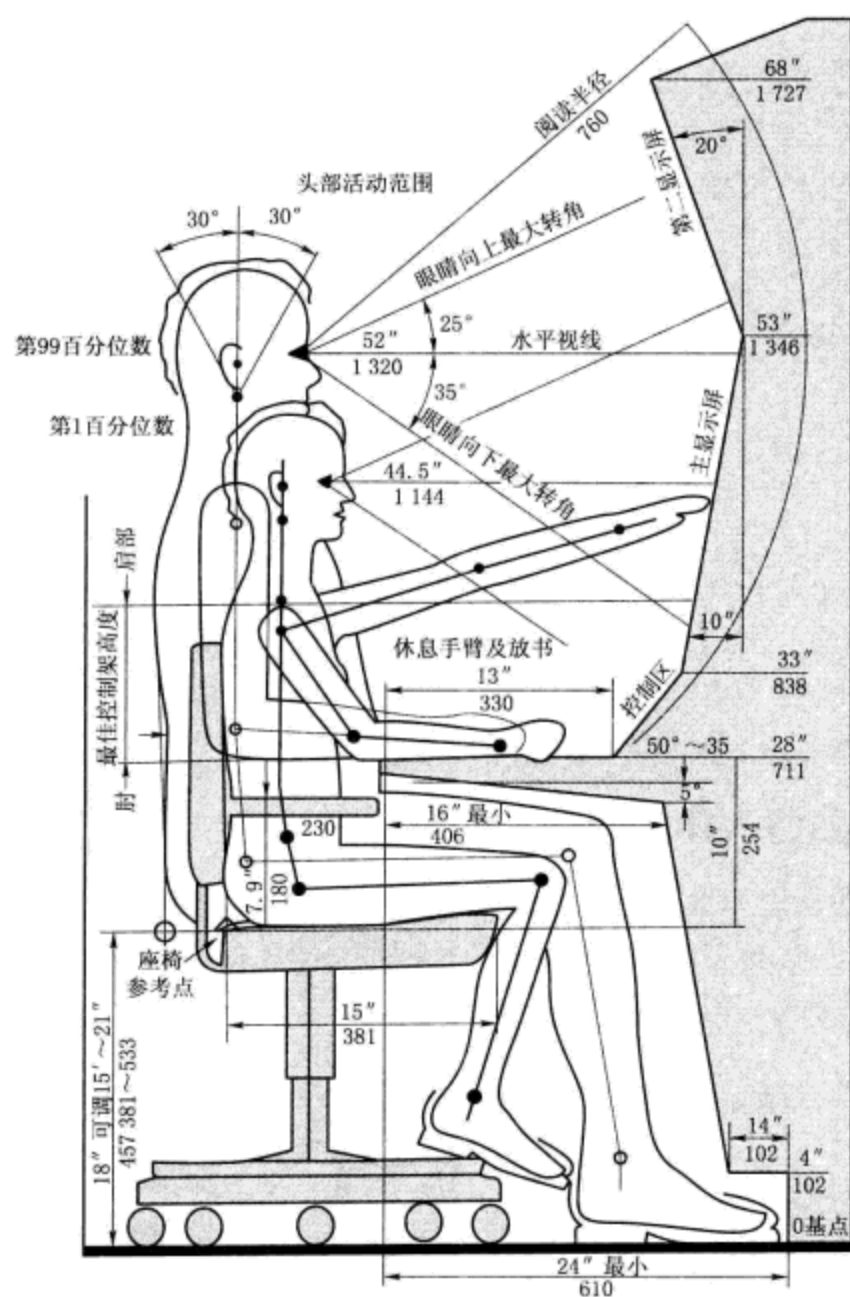


图 7-6 坐姿高台式控制台

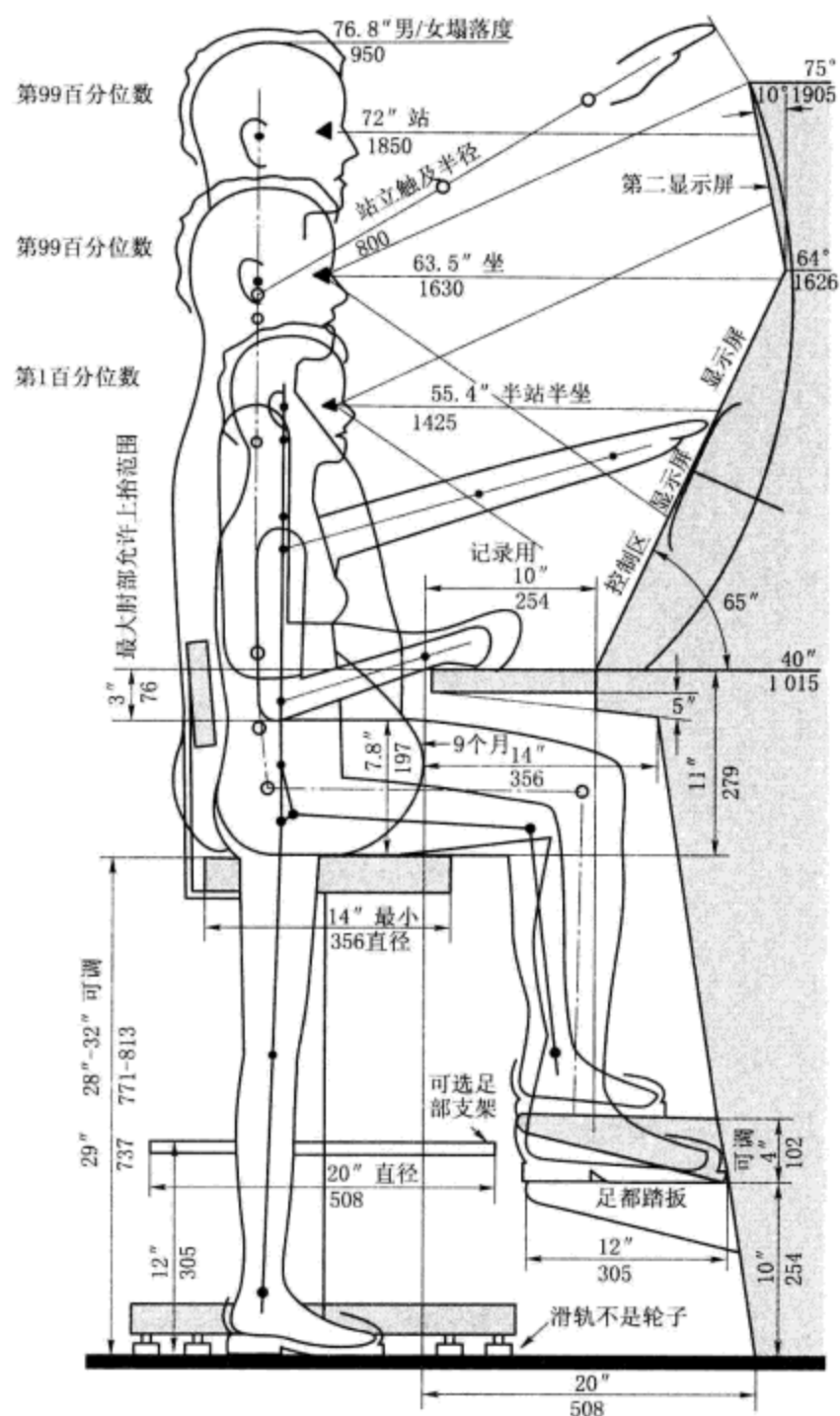


图 7-7 坐立姿两用控制台

5. 标准控制台

作业姿势不同,控制台的尺寸范围也不相同。图 7-8 是一种控制台的标准设计,在三种作业姿势及其他有关条件下,各种尺寸范围见表 7-1。

表 7-1 标准控制台尺寸

尺寸序标	尺寸名称	坐/站姿	坐 姿	站 姿
A	控制台最大高度/cm	158	130 ~ 158	183
B	控制台深度/cm	—	—	—
C	台面至顶部高度/cm	66	66	91
D	面板倾角/ (°)	38	38	38
E	笔架最小深度/cm	10	10	10
F	书写表面最小深度/cm	40	40	40
G	最小容膝空间/cm	45	45	45

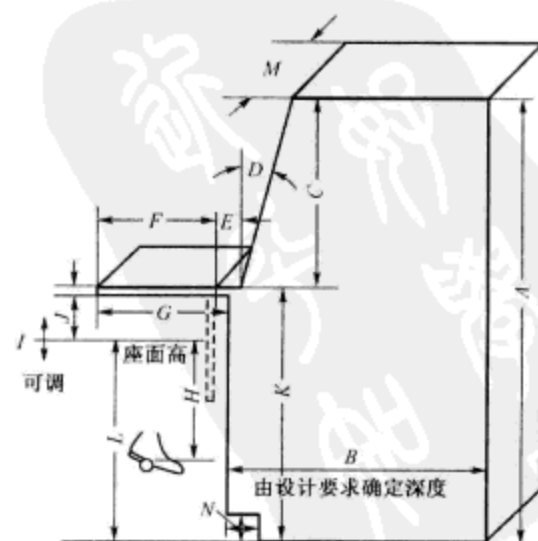


图 7-8 标准控制台

续表

尺寸序标	尺寸名称	坐/站姿	坐 姿	站 姿
<i>H</i>	座面至支脚高度/cm	45	45	45
<i>I</i>	座高调整范围/cm	10	10	10
<i>J</i>	最小大腿空间/cm	16.5	16.5	16.5
<i>K</i>	书写表面高度/cm	91	65~91	91
<i>L</i>	座高/cm	72	45~72	—
<i>M</i>	控制面板最大宽度/cm	91	91	91
<i>N</i>	最小容脚空间/cm	10	10	10

7.2 办公台设计

采用信息处理机、电子计算机、复印机、传真机、电视会议系统等电子设备处理办公室的日常事务,已成为现代化办公室的重要手段。随着现代化办公室内电子设备的更新和完善,逐渐形成电子化办公室。与电子化办公室中电子设备相适的办公家具设计,已显得非常重要。

7.2.1 电子化办公台人体尺度

图7-9是电子化办公台示意图,由图可见,现代电子化办公室内大多数人员是长时间面对显示屏进行工作,因而要求像控制台一样具有合理的形状和尺寸,以避免工作人员肌肉、颈、背、腕关节疼痛等职业病。



图7-9 电子化办公台示意图

按照人机工程学原理,电子办公台尺寸应符合人体各部位尺寸。图7-10是依据人体尺寸确定的电子化办公台主要尺寸,该设计所依据的人体尺寸是从大量调查资料获得的平均值。

7.2.2 电子化办公台可调设计

由于实际上并不存在符合平均值尺寸的人,即使身高和体重完全相同的人,其各部位的尺寸也有出入。因此,在电子化办公台按人体尺寸平均值设计的情况下,必须给予可调节的尺寸范围,如图7-10下部三个高度尺寸范围和

座椅靠背调节范围等。

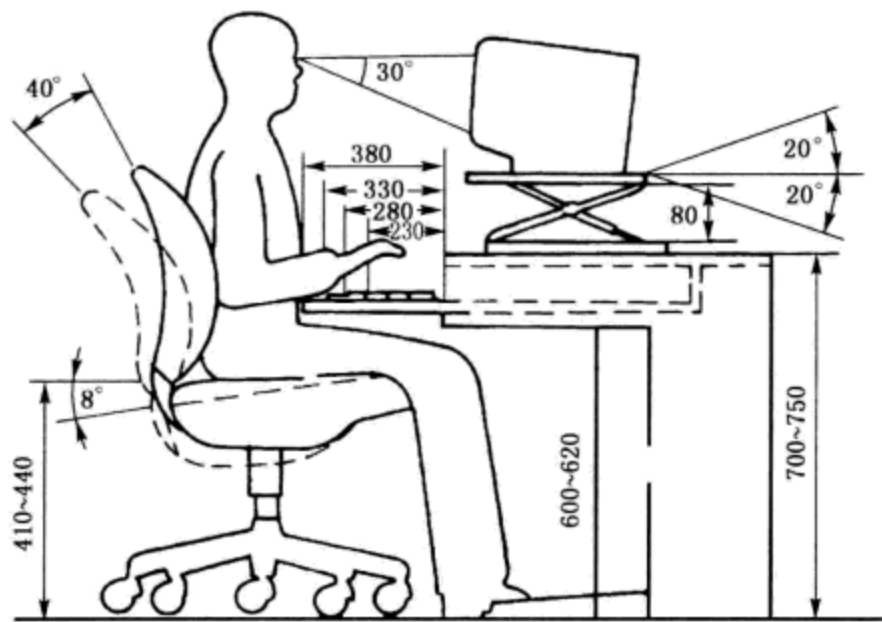


图 7-10 电子化办公台主要尺寸

电子化办公台的调节方式有：垂直方向的高低调节、水平方向的台面调节以及台面的倾角调节等，如图 7-11 所示。国外电子化办公台使用实践证明，采用可调节尺寸和位置的电子化办公台，可大大提高舒适程度和工作效率。

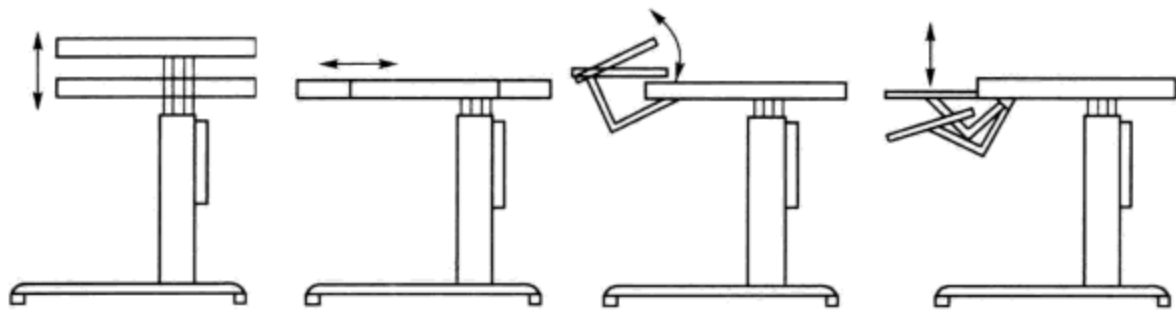


图 7-11 电子化办公台调节方式

7.2.3 电子化办公台组合设计

采用现代办公设备和办公家具，即意味着办公室内部的重新布置，因而要求办公室隔断、办公单元系列化、办公台易于拆装、变动灵活等特点。为适应这些要求，电子化办公台大多设计成拆装灵活方便的组合式，如图 7-12 (a) 所示。

根据电子化办公台的几种基本组合单元，可组合成各种形式多变的办公单元系列，见图 7-12 (b)。

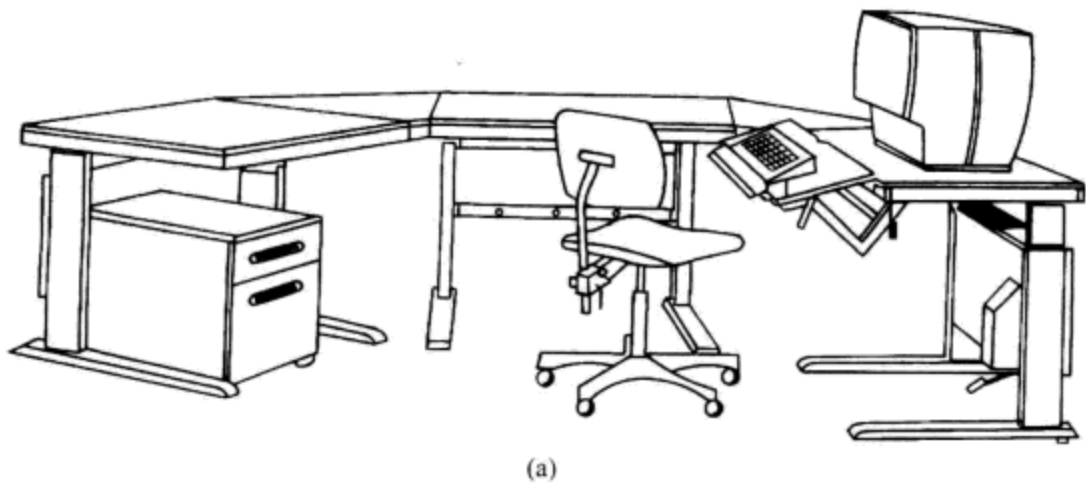
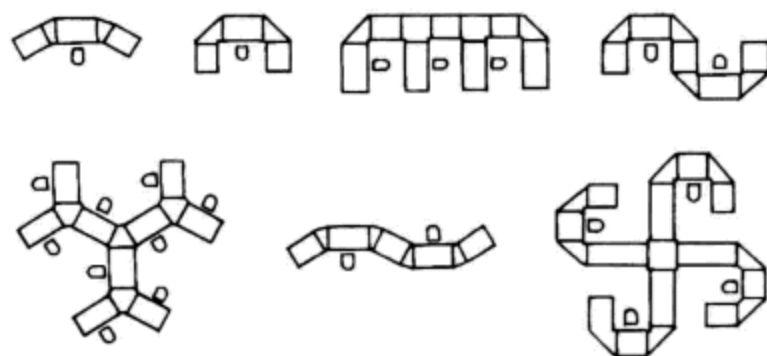


图 7-12 办公台组合设计





(b)

图 7-12 办公台组合设计 (续)

7.3 工作座椅设计主要依据

坐姿是人体较自然的姿势，它有很多优点。当站立时，人体的足踝、膝部、臀部和脊椎等关节部位受到静肌力作用，以维持直立状态；而坐着时，可免除这些肌力，减少人体能耗，消除疲劳。坐姿比站立更有利于血液循环，站立时，血液和体液会向下肢积蓄；而坐着时，肌肉组织松弛，使腿部血管内血流静压降低，血液流回心脏的阻力也就减少。坐姿还有利于保持身体的稳定，这对精细作业更合适。在脚操作场合，坐姿保持身体处在稳定的姿势，有利于作业，因而坐姿是最常采用的工作姿势。

目前，大多数办公室工作人员、脑力劳动者、部分体力劳动者都采用坐姿工作。随着技术的进步，愈来愈多的体力劳动者也将采取坐姿工作。在工业化国家，三分之二以上是坐姿工作。可以设想，坐姿也将是我国未来劳动者主要的工作姿势。因而工作座椅设计和相关的坐姿分析日益成为人机工程学工作者和设计师们关注的研究课题。

7.3.1 坐姿生理学

1. 脊柱结构

在坐姿状态下，支持人体的主要结构是脊柱、骨盆、腿和脚等。脊柱位于人体背部中线处，由 33 块短圆柱状椎骨组成，包括 7 块颈椎、12 块胸椎、5 块腰椎和下方的 5 块骶骨及 4 块尾骨，相互间由肌腱和软骨连接，见图 7-13。腰椎、骶骨和椎间盘及软组织承受坐姿时上身大部分负荷，还要实现弯腰扭转等动作。对设计而言，这两部分最为重要。

正常的姿势下，脊柱的腰椎部分前凸，而至骶骨时则后凹。在良好的坐姿状态下，压力适当地分布于各椎间盘上，肌肉组织上承受均匀的静负荷。当处于非自然姿势时，椎间盘内压力分布不正常，产生腰部酸痛、疲劳等不适感。

2. 腰曲弧线

从图 7-13 所示的脊柱侧面可看到有四个生理弯曲，即颈曲、胸曲、腰曲及骶曲。其中与坐姿舒适性直接相关的是腰曲。图 7-14 为各种不同姿下所产生的腰曲弧线，人体正常腰曲弧线是松弛状态下侧卧的曲线，如图中曲线 B 所示；躯干挺直坐姿和前弯时的腰弧曲线会使腰椎严重变形，如图中曲线 F 和 G 所示；欲使坐姿能形成几乎正常的腰曲弧线，躯干与大腿之间必须有大于 90° 的角度，且在腰部有所支承，如图中曲线 C 所示。可见，保证腰弧曲线的正常

形状是获得舒适坐姿的关键。

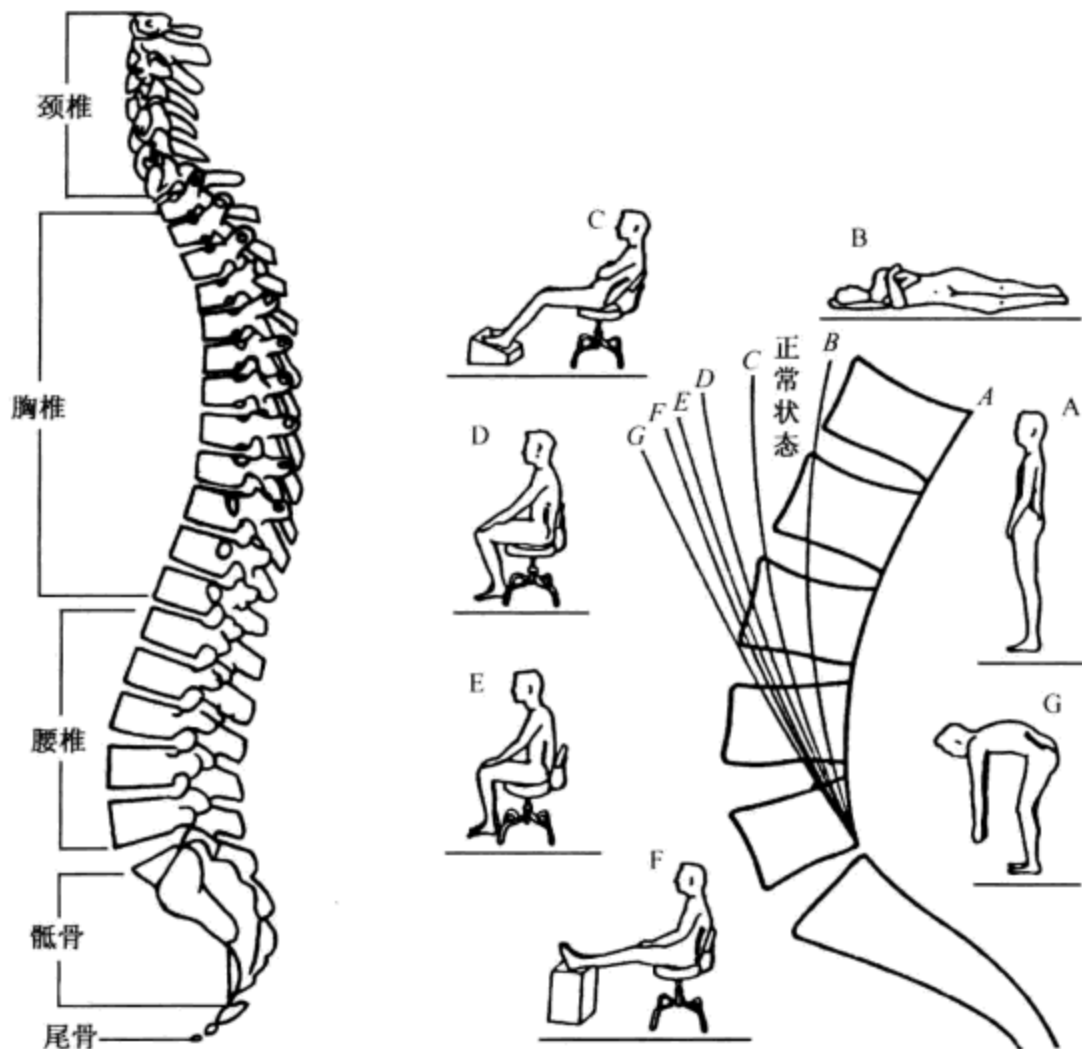


图 7-13 脊柱的形状及组成 图 7-14 各种不同姿势下所产生的腰椎曲度

3. 腰椎后突和前突

正常的腰弧曲线是微微前突。为使坐姿下的腰弧曲线变形最小，座椅应在腰椎部提供所谓两点支承。由于第 5，6 胸椎高度相当于肩胛骨的高度，肩胛骨面积大，可承受较大压力，所以第一支承应位于第 5，6 胸椎之间，称其为肩靠。第二支承设置在第 4，5 腰椎之间的高度上，称其为腰靠，和肩靠一起组成座椅的靠背。无腰靠或腰靠不明显将会使正常的腰椎呈图 7-15 (a) 中的后突形状。而腰靠过分凸出将使腰椎呈图 7-15 (b) 中的前突形状。腰椎后突和过分前突都是非正常状态，合理的腰靠应该是使腰弧曲线处于正常的生理曲线。

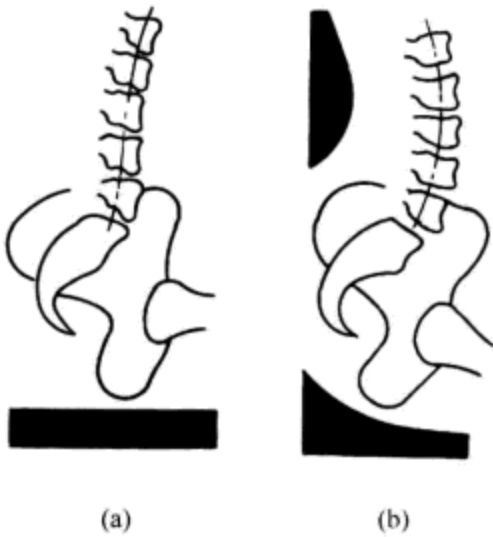


图 7-15 腰椎后突和前突
(a) 腰椎后突；(b) 腰椎前突

7.3.2 坐姿生物力学

1. 肌肉活动度

脊椎骨依靠其附近的肌肉和腱连接，椎骨的定位正是借助于肌腱的作用力。一旦脊椎偏离自然状态，肌腱组织就会受到相互压力（拉或压）的作用，使肌肉活动度增加，招致疲劳酸痛。肌腱组织受力时，产生一种活动电势。根据肌电图记录结果可知，在挺直坐姿下，腰椎部位肌肉活动度高，因为腰椎前向拉直使肌肉组织紧张受力。提供靠背支承腰椎后，活动力则明显减小；当躯干前倾时，背上方和肩部肌肉活动度高，以桌面作为前倾时手臂的支承并不能降低活动度。这些结果与坐姿生理学是相符合的。

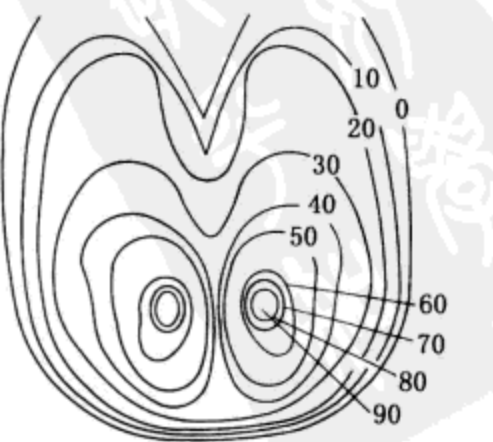


图 7-16 体压分布曲线

2. 体压分布

由人体解剖学可知,人体坐骨粗壮,与其周围的肌肉相比,能承受更大的压力。而大腿底部有大量血管和神经系统,压力过大会影响血液循环和神经传导而感到不适。所以座垫上的压力应按照臀部不同部位承受不同压力的原则来设计,即在坐骨处压力最大,向四周逐渐减小,至大腿部位时压力降至最低值,这是坐垫设计的压力分布不均匀原则。

图7-16是较为理想的坐垫体压分布曲线,图中各条曲线为等压力线,所标数字的压力单位为 10^2 Pa 。研究结果指出,坐骨处的压力值以 $8\sim 15\text{ kPa}$ 为宜,在接触边界处压力降至 $2\sim 8\text{ kPa}$ 为宜。

3. 股骨受力分析

如图7-17(a)所示,人体结构在骨盆下面有两块圆骨,称为坐骨结节。坐姿时这两块面积很小的坐骨结节能支承上身的大部分重量。坐骨结节下面的座面呈近似水平时,可使两坐骨结节外侧的股骨处于正常的位置而不过分的压迫,因而人体感到舒适。

如图7-17(b)所示,当座面呈斗形时,会使股骨向上转动,见图中箭头指向。这种状态除了使股骨处于受压迫位置而承受载荷外,还造成髋部肌肉承受反常压迫,并使肘部和肩部受力,从而引起不舒适感。所以在座椅设计中,斗形座面是应该避免的。

4. 椎间盘受力分析

当坐姿腰弧曲线正常时,椎间盘上受的压力均匀而轻微,几乎无推力作用于韧带,韧带不拉伸,腰部无不舒适感,见图7-18(a)。但是,当人体处于前弯坐姿时,椎骨之间的间距发生改变,相邻两椎骨前端间隙缩小,后端间隙增大,见图7-18(b)。椎间盘在间隙缩小的前端受推挤和摩擦,迫使它向韧带作用一推力,从而引起腰部不适感,长期累积作用,可造成椎间盘病变。

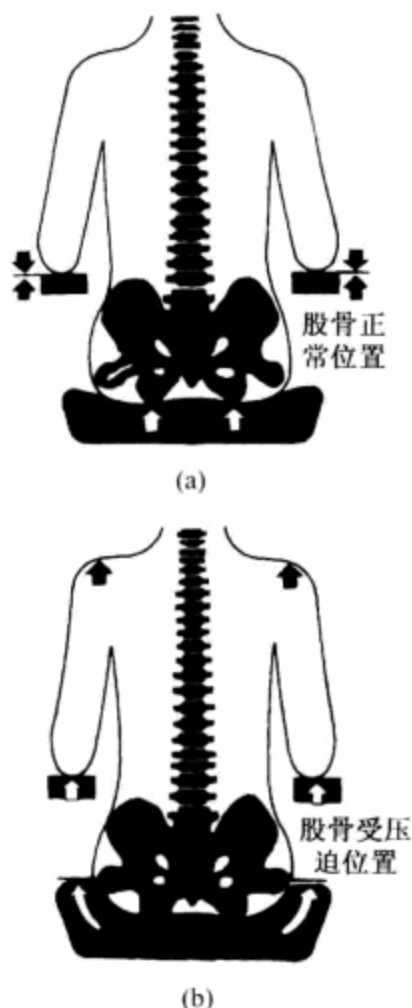


图7-17 座面对股骨的影响

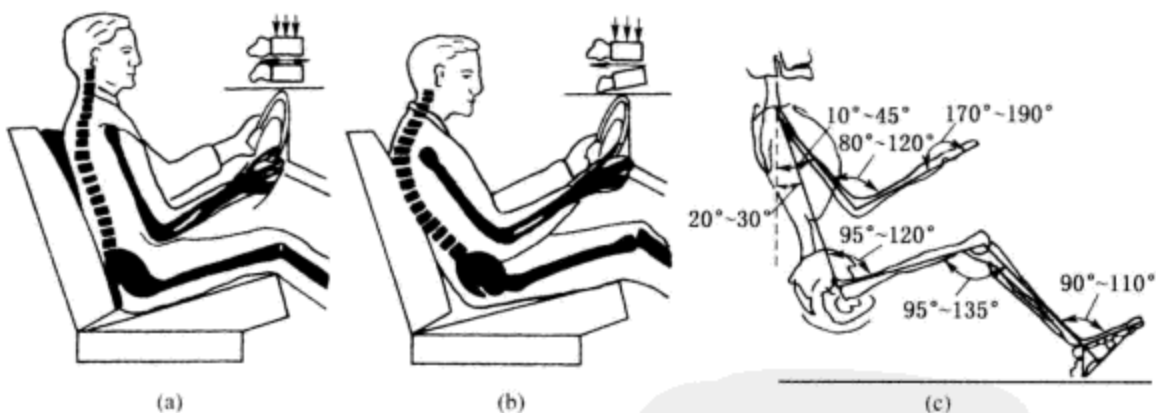


图7-18 不同坐姿时椎间盘受力分析

综合来看,从坐姿生理学角度,应保证腰弧曲线正常;从坐姿生物力学角度,应保证肢体免受异常力作用。依据两方面的要求,研究了人体作业的舒适坐姿。如图7-18(c)是汽车驾驶员舒适驾驶姿势。

7.3.3 坐姿人体测量尺寸

坐姿人体测量尺寸是座椅静态尺寸设计的主要依据。与座椅设计相关的人体测量主要尺寸见图7-19。

图7-20为不良座椅例。扶手过宽,坐面过高、过深和左右弧度过大,靠背不支撑腰和左右弧度过大都将压迫股骨等,从而引起疲劳和不舒适感。



图 7-19 对座椅设计有用的人体尺寸

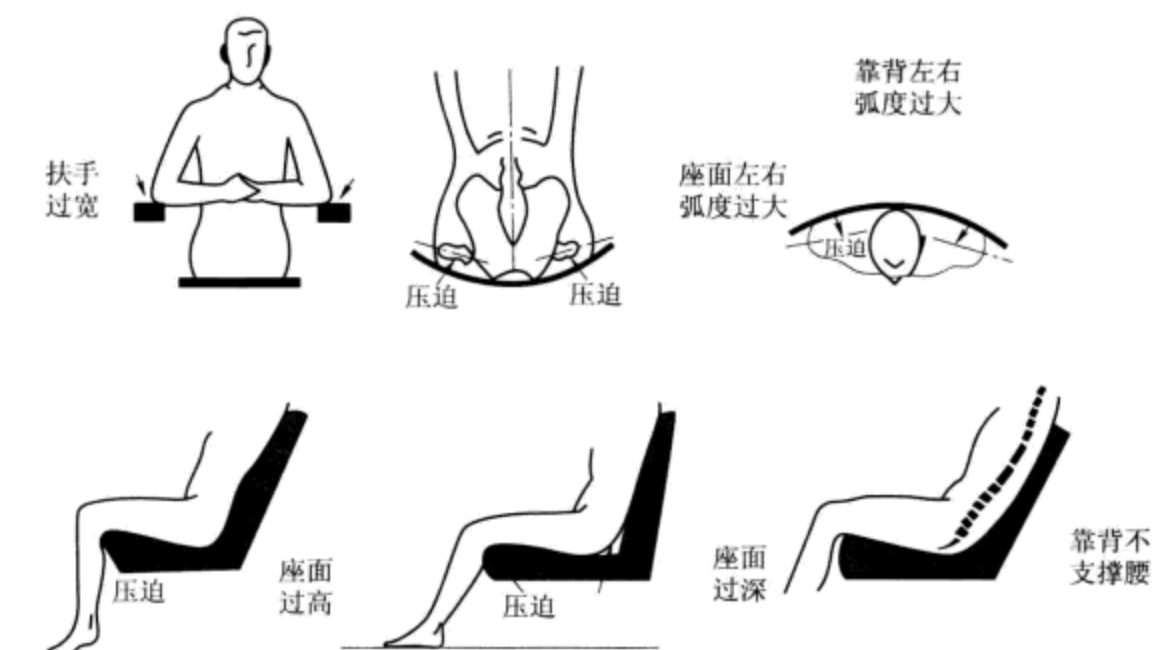


图 7-20 不良座椅

7.4 工作座椅设计

7.4.1 一般工作场所座椅

一般工作场所座椅是指计算机房、打字室、控制室、交换台等场所坐姿操作者使用的工作座椅。GB/T 14774—1993 标准给出了这类工作座椅设计的一般人机工程学要求、结构形式和主要尺寸。

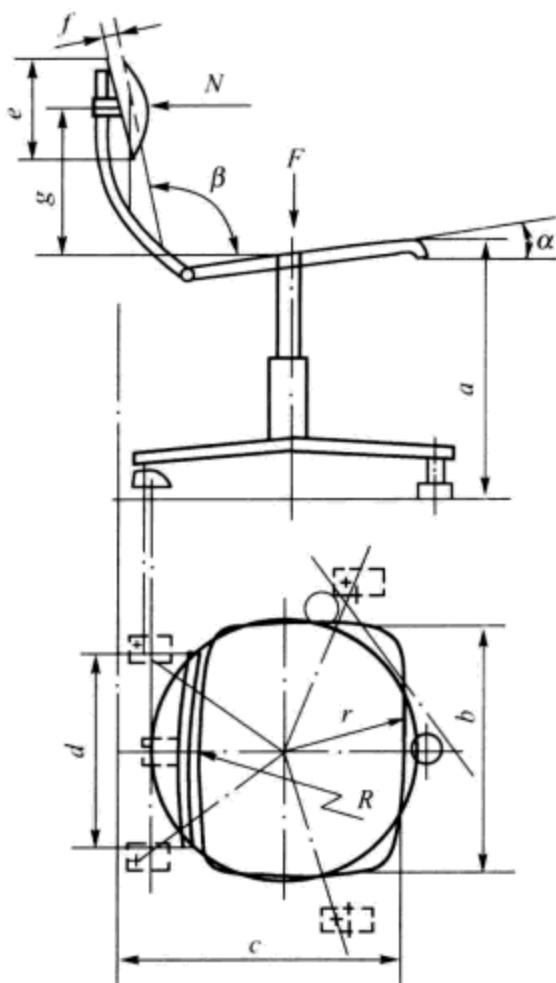


图 7-21 一般工作座椅结构形式

1. 座椅设计要点

① 工作座椅的结构形式应尽可能与坐姿工作的各种操作活动要求相适应，应能使操作者在工作过程中保持身体舒适、稳定并能进行准确地控制和操作。

② 工作座椅的座高和腰靠高必须是可调节的。座高调节范围在 GB 10000 中“小腿加足高”，即 360 ~ 480 mm 之间；工作座椅坐面高度的调节方式可以是无级的或间隔 20 mm 为一挡的有级调节。工作座椅腰靠高度的调节方式为 165 ~ 210 mm 间的无级调节。

③ 工作座椅可调节部分的结构构造，必须易于调节，必须保证在椅子使用过程中不会改变已调节好的位置并不得松动。

④ 工作座椅各零部件的外露部分不得有易伤人的尖角锐边，各部结构不得存在可能造成挤压、剪钳伤人的部位。

⑤ 无论操作者坐在座椅前部、中部还是往后靠，工作座椅坐面和腰靠结构均应使其感到安全、舒适。

⑥ 工作座椅腰靠结构应具有一定的弹性和足够的刚性。在座椅固定不动的情况下，腰靠承受 250 N 的水平方向作用力时，腰靠倾角 β 不得超过 115° 。

⑦ 工作座椅一般不设扶手。需设扶手的座椅必须保证操作人员作业活动的安全性。

⑧ 工作座椅的结构材料和装饰材料应耐用、阻燃、无毒。坐垫、腰靠、扶手的覆盖层应使用柔软、防滑、透气性好、吸汗的不导电材料制造。

2. 座椅结构形式

工作座椅必须具有的主要构件：坐面、腰靠、支架。工作座椅视情况而设的辅助构件有扶手。其主要结构形式如图 7-21 所示。

3. 座椅主要参数

图 7-21 中所标注的座椅参数可依据中国成年人人体尺寸确定具体数值，见表 7-2。该表中参数的确定，已考虑了操作者穿鞋和着冬装的因素。

表 7-2 工作座椅主要参数

参 数	符 号	数 值	测 量 要 点
座高	a	360 ~ 480 mm	在座面上压以 60 kg，直径 350 mm 半球状重物时测量
座宽	b	370 ~ 420 mm 推荐值 400 mm	在座椅转动轴与座面的交点处或座面深度方向二分之一处测量
座深	c	360 ~ 390 mm 推荐值 380 mm	在腰靠高 $g = 210$ mm 处测量，测量时为非受力状态
腰靠长	d	320 ~ 340 mm 推荐值 330 mm	
腰靠宽	e	200 ~ 300 mm 推荐值 250 mm	
腰靠厚	f	35 ~ 50 mm 推荐值 40 mm	腰靠上通过直径 400 mm 半球状物，施以 250 N 力时测量
腰靠高	g	165 ~ 210 mm	
腰靠圆弧半径	R	400 ~ 700 mm 推荐值 550 mm	
倾覆半径	r	195 mm	

续表

参 数	符 号	数 值	测 量 要 点
座面倾角	α	$0^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 推荐值 $3^{\circ} \sim 4^{\circ}$	
腰靠倾角	β	$95^{\circ} \sim 115^{\circ}$ 推荐值 110°	
注：① 表中各符号所代表的参数意义见图 7-21； ② 表中所列参数 a 、 f 、 g 、 α 、 β 为操作者坐在椅上之后形成的尺寸、角度			

7.4.2 久坐工作人员座椅

对于需要长时间操作的工种，要尽量采用坐姿，因为人们在静坐时身体承受的张力比较小，也比较容易保持姿势。同时，坐姿也有利于更好地控制胳膊，可以更好地保持平衡，从而也提高了安全性，并且还有利于血液循环。但是，坐姿也存在很多问题，其中之一就是它极易导致腰部问题。实际上，在久坐工作中腰部疼痛问题非常常见，即使在这些工作中并没有涉及举重和体力劳动。

久坐工作易引起腰部不适的原因在于，人们在坐着的时候脊柱弯曲的程度不够，这样使椎间盘的压力增大。因为成人站立时，腰椎是向前弯曲的，即脊柱前凸；胸椎是向后弯曲的，即脊柱后凸。而当人在坐着时，骨盆向后弯曲，腰椎由前凸变成后凸，尤其是当人坐姿懒散时更是如此，这样很容易形成驼背。人在坐下时如果没有适当的支撑，坐姿很快就会变得懒散。此时椎间盘前部所受的压力增大，背部被拉紧。这些力使椎间盘向后凸出，使脊柱的软组织压力增大，并有可能影响到神经根部，这样就会导致腰部疼痛。

坐着时因为骨盆向后弯曲而躯体向前弯曲从而导致躯干负荷瞬间增大，所以坐着时腰部前凸的缺失会增加腰椎间盘的负担。大量研究表明站立时腰椎间盘的压力比坐着时低 35% ~ 40%，在各种无支撑坐姿中，背部平直坐姿压力最小。如图 7-22 所示，挺直坐着比弯曲坐着椎间盘压力小很多。椎间盘压力大小因坐姿不同而改变。

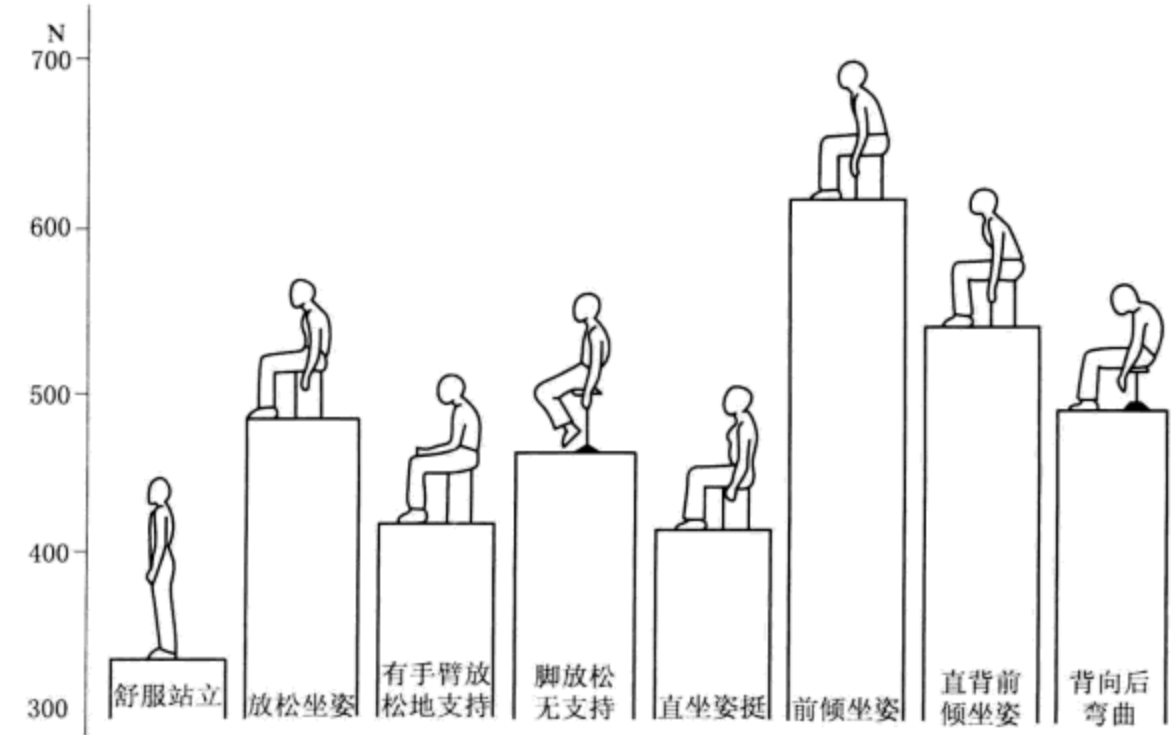


图 7-22 在立姿和无支撑的坐姿时椎间盘所受压力的大小



为了降低久坐工作中腰部疼痛的发生率和严重程度，设计者必须对座位的设计尤为注意。设计合理的座椅能够帮助人们减少坐姿的不适度，降低脊柱的负担。靠背倾斜角、腰部支撑、臂部支撑等几个座位设计参数对于达到这样的目的是非常有效的。

背部支撑可以有效地减小腰部的压力。背部支撑设计最重要的参数是它的倾斜角，即靠背和座位平面的夹角。一个 90° 的后背倾斜角（即一个竖直后背的座位）是不合适的，因为它迫使人们使用弯曲的姿势。靠背倾斜角增加能使身体的重量更多地移向靠背并减小椎间盘压力。最佳的倾斜角在 $110^{\circ} \sim 120^{\circ}$ 之间。

在靠背上还可以加一个靠垫（称为腰部支撑），这样能够帮助人们坐着时保持脊柱前凸，可大大减轻腰部的压力。靠背倾斜角度较小时腰部支撑尤为重要。有证据表明腰部支撑和全背部的支撑一样有效。腰部支撑物的厚度大约为 5 cm。但是，为了使不同体型的人能够最大限度地舒适，应当根据身高和胖瘦调整腰部支撑物。

臂部支撑物能够支撑人们的部分重量，这样可以减轻脊柱的负担。尽管没有证据表明倾斜式座椅可以显著地改变脊柱的负担，但因为它允许调整坐姿，所以倾斜式座椅是比较理想的。座位高度可调节、座位上铺垫子和脚部有充足的空间都能减轻背部压力。在这里需要进一步强调的是，不论座位设计如何，人们都不应当长时间采用一种坐姿。久坐人士应当经常站一站，走一走，使腰部休息。

7.4.3 办公室工作座椅

图 7-23 为根据日本人体测量数据所设计的办公用座椅原型，从该图可以

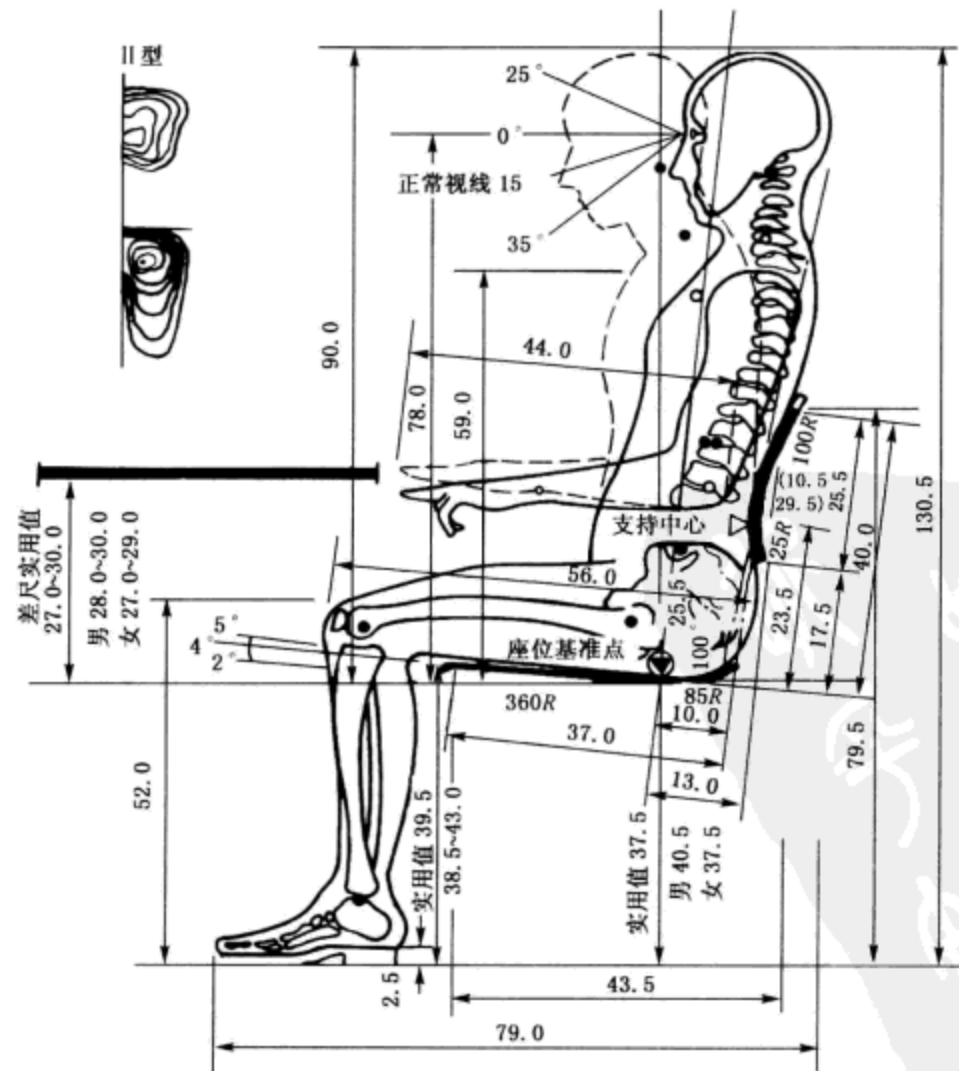


图 7-23 办公用座椅原型

看出座椅设计基本尺寸的概况。其设计数据是：坐面高 370 ~ 400 mm，坐面倾角 $2^{\circ} \sim 5^{\circ}$ ，上身支撑角约 110° ；工作时以靠背为中心，与一般作业场所座椅最显著的不同之处是，靠背点以上的靠背弯曲圆弧在人体后倾稍事休息时，能起支撑的作用。该类座椅也可作为会议室用椅。

图 7-24 是国外按人体工程学原理设计的办公座椅。

7.4.4 座椅设计的新观念

近年来，人机工程学专家与设计师对于座椅设计有新的观念。一般的座椅设计仅是从座椅的固有形状与尺寸关系上进行调整性设计，而近期的座椅设计则从座椅最根本的功能要求的角度着手，从设计观念上已有所突破与创新。

1. 动态座椅

所谓“动态”座椅，其设计特点是座椅能对坐者的动作与姿势做出自动响应。通常的座椅背靠与椅面夹角是固定的，座面除椅垫能部分地吸收落座时的冲击以外，没有其他吸收冲击的措施。图 7-25 为一“动态”座椅的设计示例，座面下配置的液压缸控制座椅角度在 14° 范围内连续调整，液压缸的动作由坐者重心的移动来实现。这种自动调节可以使座椅适应不同使用者习惯的坐姿，使用者也可以在座椅上时常改变姿势，以防止久坐对身体的压力局部积累。调整后，座椅还可以在任意角度锁紧。该座椅上还设计有座面提升机构，以吸收落座时的冲击。落座时，座面下陷一定高度，坐稳后，提升机构使之回复到原来位置。

2. 前倾式座椅

研究表明，采用座面适当前倾设计的工作椅会更适合于工作，尤其是办公室工作，比如对写字和绘图用椅的设计，见图 7-26。当要求座高较高时，对于倾斜式绘图桌用椅，前倾角应达到 15° 以上，如果背靠角为 90° ，则相当于座面与靠背夹角为 105° ，这是坐姿的最小舒适角度，靠背对于脊椎部还能起适度的支持作用，肌肉紧张较小，背部压力在椎骨上分布也较均匀。

3. 膝靠式座椅

为了适应办公室工作，如打字、书写的坐姿要求，座面应设计成前倾式。但前倾式座面使坐者有从前缘滑脱的趋势，为了维持坐姿，坐者不得不腿部用力抵住地面，防止前滑。为了解决这一问题，设计时从膝部支承考虑，提供一膝部下方至小腿中部的膝靠，这样座面倾斜时前滑的趋势被膝靠阻挡，保持坐姿的稳定。

膝靠式座椅是一种打破传统座椅支承上体重量靠臀部的椅子。其设计特点如图 7-27 所示，由坐骨与膝盖来分担大腿以上部位的重量，以减轻脊柱和臀部的承重负担。但膝靠式座椅本身还有一些缺陷有待克服。主要问题在于进出座椅不方便；坐者只能采取前倾作业姿势，如欲后仰休息，则膝部以下被膝盖所限制。

4. 靠背可调座椅

在虚拟技术中，让人体模型坐在模型化的椅子上，人体具有柔软的表面组



图 7-24 国外的人体工程学办公座椅

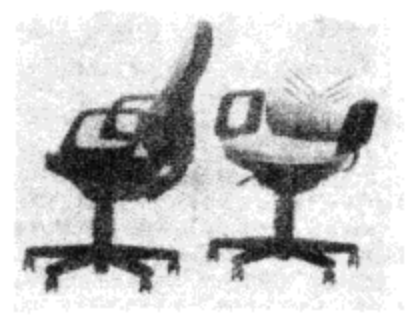


图 7-25 “动态”座椅的设计



图 7-26 座面前倾的写字、绘图椅



图 7-27 膝靠式座椅



图 7-28 变椅背座椅

织，内置超声波传感器、压力传感器和倾斜计等，能计测出评价椅子所需的各种参数和坐姿，能对坐姿感觉进行评价。

虚拟数值人体可模拟人体的真实形状，从而为变椅背座椅设计提供依据。一般座椅靠背曲面是固定的，当人体的坐姿改变后，靠背和人背之间将产生空隙，使受力分布不均匀。图 7-28 所示的椅背曲面数据是通过人体仿真而得。为了调整曲面形状，可通过操作靠背右侧的旋钮来对应背的变形，进行座椅变背调节。

5. 多功能沙发椅

使用产品的过程中，使用者总是自觉或被动地处于某种姿势。在产品设计中考虑产品操作姿势，将可避免使用者采用不良的操作姿势，增强产品的可用性，提高使用效率，图 7-29 是产品设计实例。



图 7-29 多功能沙发椅

从不同活动姿势产生的多功能沙发设计，可以看到设计中关注和保证舒适的产品操作姿势，与实现产品功能和创造产品美感同等重要。此外，活动姿势的变化不仅可以提高舒适性和产生新的使用方式，同时还会带来活动空间的变化，产生提高效率和舒适性、灵活性的人性化设计内容，因此，坐姿的设计已经成为设计改进的重点。

7.5 手握式工具设计

工具是人类四肢功能的扩展。使用工具使人类增加了动作范围、力度，提高了工作效率。工具的发展过程与人类历史几乎一样悠久。为了适合精密性作业，人手的解剖学机能及工具的构造都曾做过大量研究。人们在工作、生活中一刻也缺少不了工具，使用的工具大部分还没有达到最优的形态，其形状与尺寸等因素也并不符合人机工程学原则，很难使人有效并安全地操作。实际上，传统的工具有许多已不能满足现代生产的需要与现代生活的要求。人们在作业或日常生活中长久使用设计不良的手握式工具和设备，造成很多身体不适、损伤与疾患，降低了生产率，甚至使人致残，增加了人们的心理痛苦与医疗负担。因此，工具的适当设计、选择、评价和使用是一项重要的人机工程学内容。

7.5.1 手的解剖及其与工具使用有关的疾患

人手是由骨、动脉、神经、韧带和肌腱等组成的复杂结构，见图 7-30。手指由小臂的腕骨伸肌和屈肌控制，这些肌肉由跨过腕道的腱连到手指，而腕道由手背骨和相对的横向腕韧带形成，通过腕道的还有各种动脉和神经。腕骨

与小臂上的桡骨及尺骨相连，桡骨连向拇指一侧，而尺骨连向小指一侧。腕关节的构造与定位使其只能在两个面动作，这两个面各成 90°。一面产生掌屈与背屈，第二个面产生尺偏和桡偏，见图 7-31。

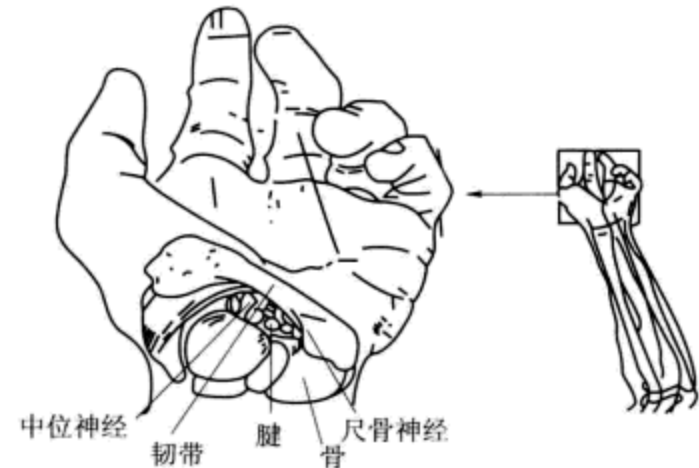


图 7-30 人体手部的掌侧观模型

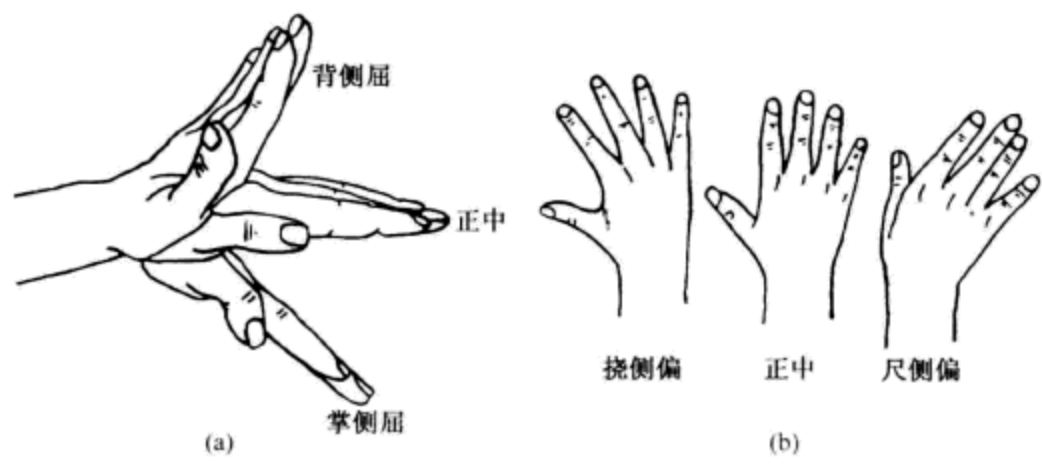


图 7-31 腕关节动作状态
(a) 侧视图；(b) 俯视图

人手具有极大的灵活性。从抓握动作来看，可分为着力抓握和精确抓握。着力抓握时，抓握轴线和小臂几乎垂直，稍屈的手指与手掌形成夹握，拇指施力。根据力的作用线不同，可分为力与小臂平行（如锯），与小臂成夹角（如锤击）及扭力（如使用螺丝起子）。精确抓握时，工具由手指和拇指的屈肌夹住。精确抓握一般用于控制性作业（如小刀、铅笔）。操作工具时，动作不应同时具有着力与控制两种性质，因为在着力状态让肌肉也起控制作用会加速疲劳，降低效率。

使用设计不当的手握式工具会导致多种上肢职业病甚至全身性伤害，这些病症如腱鞘炎、腕道综合征、腱炎、滑囊炎、滑膜炎、痛性腱鞘炎、狭窄性腱鞘炎和网球肘等，一般统称为重复性积累损伤病症。

腱鞘炎是由初次使用或过久使用设计不良的工具引起的，在作业训练工人中常会出现。如果工具设计不恰当，引起尺偏和腕外转动作，会增加其出现的机会，重复性动作和冲击震动使之加剧。当手腕处于尺偏、掌屈和腕外转状态时，腕肌腱受弯曲，如时间长，则肌腱及鞘处发炎。

腕道综合征是一种由于腕道内正中神经损伤所引起的不适。手腕的过度屈曲或伸展造成腕道内腱鞘发炎、肿大，从而压迫正中神经，使正中神经受损。它表征为手指局部神经功能损伤或丧失，引起麻木、刺痛、无抓握感觉，肌肉萎缩失去灵活性。其发病率女性是男性的 3 到 10 倍。因此，工具必须设计合适，避免非顺直的手腕状态。

网球肘（肱骨外踝炎）是一种肘部组织炎症，由手腕的过度桡偏引起。尤其是当桡偏与掌内转和背屈状态同时出现时，肘部桡骨头与肱骨小头之间的压力增加，导致网球肘。

狭窄性腱鞘炎（俗称扳机指），是由手指反复弯曲动作引起的。在类似扳机动作的操作中，食指或其他手指的顶部指骨须克服阻力弯曲，而中部或根部指骨这时还没有弯曲。腱在鞘中滑动进入弯曲状态的位置时，施加的过量力在腱上压出一沟槽。当欲伸直手指时，伸肌不能起作用，而必须向外将它扳直，此时一般会发出响声。为了避免扳机指，应使用拇指或采用指压板控制。



图 7-32 烙铁把手的设计

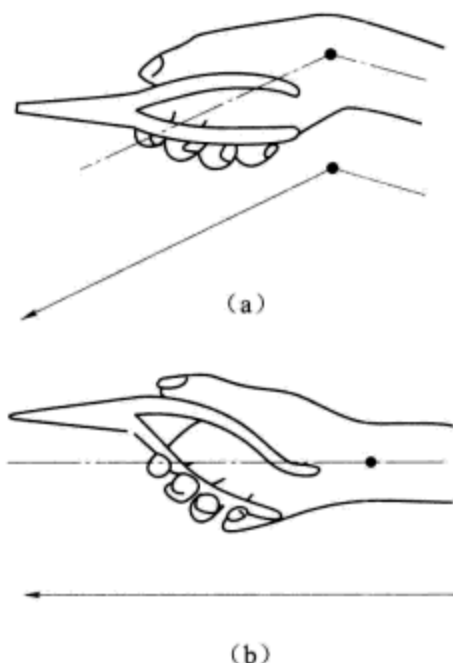


图 7-33 使用传统的和改进的两种
钢丝钳操作时的比较
(a) 传统设计; (b) 改良设计

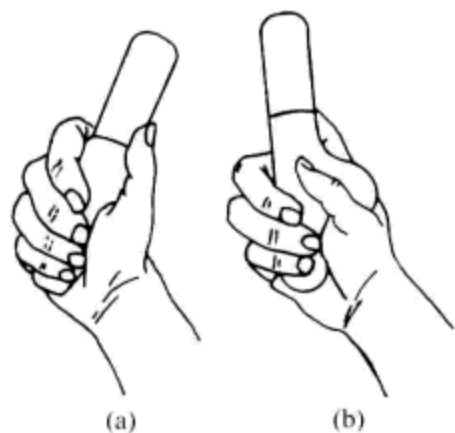


图 7-36 避免掌部压力的把手设计
(a) 传统把柄; (b) 改良后把柄

7.5.2 手握式工具设计原则

1. 一般原则

工具必须满足以下基本要求, 才能保证使用效率:

- ① 必须有效地实现预定的功能;
- ② 必须与操作者身体成适当比例, 使操作者发挥最大效率;
- ③ 必须按照作业者的力度和作业能力设计, 所以要适当地考虑到性别、训练程度和身体素质上的差异;
- ④ 工具要求的作业姿势不能引起过度疲劳。

2. 解剖学因素

(1) 避免静肌负荷 当使用工具时, 臂部必须上举或长时间抓握, 会使肩、臂及手部肌肉承受静负荷, 导致疲劳, 降低作业效率。如在水平作业面上使用直杆式工具, 则必须肩部外展, 臂部抬高, 因此应对这种工具设计作出修改。在工具的工作部分与把手部分做成弯曲式过渡, 可以使手臂自然下垂。例如, 传统的烙铁是直杆式的, 当在工作台上操作时, 如果被焊物体平放于台面, 则手臂必须抬起才能施焊。改进的设计是将烙铁做成弯把式, 操作时手臂就可能处于较自然的水平状态, 减少了抬臂产生的静肌负荷, 见图 7-32。

(2) 保持手腕处于顺直状态 手腕顺直操作时, 腕关节处于正中的放松状态, 但当手腕处于掌屈、背屈、尺偏等别扭的状态时, 就会产生腕部酸痛、握力减小, 如长时间这样操作, 会引起腕道综合征、腱鞘炎等症状。图 7-33 是钢丝钳传统设计与改进设计的比较, 传统设计的钢丝钳造成掌侧偏, 改良设计使握把弯曲, 操作时可以维持手腕的顺直状态, 而不必采取尺偏的姿势。图 7-34 为使用这两种钳操作后, 患腱鞘炎人数的比较。可见, 在传统钳用后第 10 到 12 周内, 患者显著增加, 而改进钳使用者中没有此现象。

一般认为, 将工具的把手与工作部分弯曲 10° 左右, 效果最好。弯曲式工具可以降低疲劳, 较易操作, 对于腕部有损伤者特别有利。图 7-35 也是弯把式设计的例子。

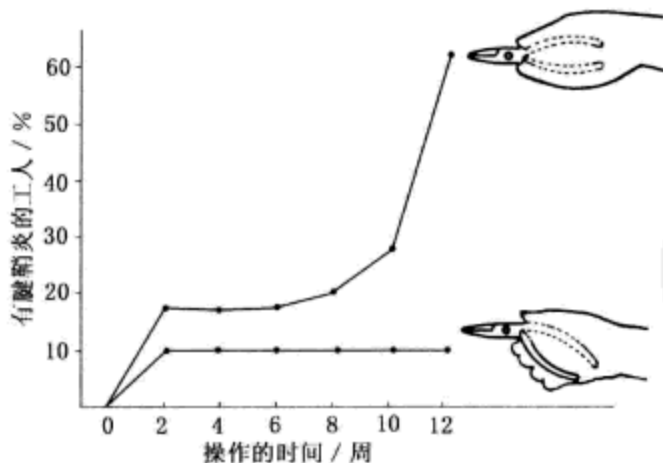


图 7-34 使用不同的钢丝钳后患腱鞘炎病人人数比较



图 7-35 把手弯曲式工具设计

(3) 避免掌部组织受压力 操作手握式工具时, 有时常要用手施相当的力。如果工具设计不当, 会在掌部和手指处造成很大的压力, 妨碍血液在尺动脉的循环, 引起局部缺血, 导致麻木、刺痛感等。好的把手设计应该具有较大的接触面, 使压力能分布于较大的手掌面积上, 减小应力; 或者使压力作用于不太敏感的区域, 如拇指与食指之间的虎口位。图 7-36 就是这类的设计实

例。有时，把手上有指槽，但如没有特殊的作用，最好不留指槽，因为人体尺寸不同，不合适的指槽可能造成某些操作者手指局部的应力集中。

(4) 避免手指重复动作 如果反复用食指操作扳机式控制器时，就会导致扳机指（狭窄性腱鞘炎），扳机指症状在使用气动工具或触发器式电动工具时常会出现。设计时应尽量避免食指作这类动作，而以拇指或指压板控制代替，如图 7-37 所示。

3. 把手设计

操作手握式工具，把手当然是最重要的部分，所以有必要单独讨论其设计问题。对于单把手工具，其操作方式是掌面与手指周向抓握，其设计因素包括把手直径、长度、形状、弯角等。

(1) 直径 把手直径大小取决于工具的用途与手的尺寸。对于螺丝起子，直径大可以增大扭矩，但直径太大会减小握力，降低灵活性与作业速度，并使指端骨弯曲增加，长时间操作，则导致指端疲劳。比较合适的直径是：着力抓握 30~40 mm，精密抓握 8~16 mm。

(2) 长度 把手长度主要取决于手掌宽度。掌宽一般在 71~97 mm 之间（5% 女性至 95% 男性数据），因此合适的把手长度为 100~125 mm。

(3) 形状 指把手的截面形状。对于着力抓握，把手与手掌的接触面积越大，则压应力越小，因此圆形截面把手较好。哪一种形状最合适，一般应根据作业性质考虑。为了防止与手掌之间的相对滑动，可以采用三角形或矩形，这样也可以增加工具放置时的稳定性。对于螺丝起子，采用丁字形把手，可以使扭矩增大 50%，其最佳直径为 25 mm，斜丁字形的最佳夹角为 60°。

(4) 弯角 把手弯曲的角度前面已述，最佳的角度为 10°左右。

(5) 双把手工具 双把手工具的主要设计因素是抓握空间。握力和对手指屈腱的压力随抓握物体的尺寸和形状而不同。当抓握空间宽度为 45~80 mm 时，抓力最大。其中若两把手平行时为 45~50 mm，而当把手向内弯时，为 75~80 mm。图 7-38 即为抓握空间大小对握力影响的情况，可见，对不同的群体而言，握力大小差异很大。为适应不同的使用者，最大握力应限制在 100 N 左右。

(6) 性别差异 从不同性别来看，男女使用工具的能力也有很大的差异。女性约占人群的 48%，其平均手长约比男性短 2 cm，握力值只有男性的 2/3。图 7-38 中男女性握力差异即为一实例。设计工具时，必须充分考虑这一点。

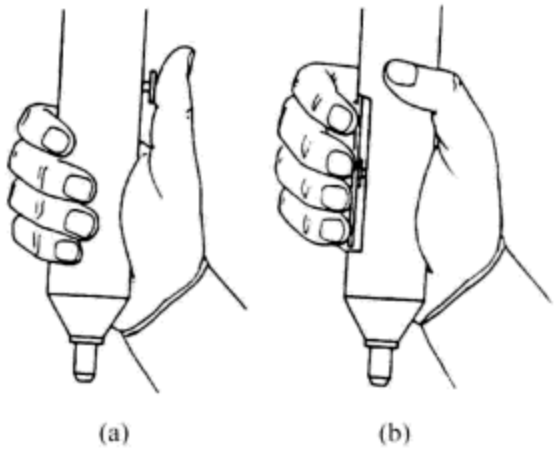


图 7-37 避免单小指（如食指）反复操作的设计
(a) 拇指操作；(b) 指压板操作

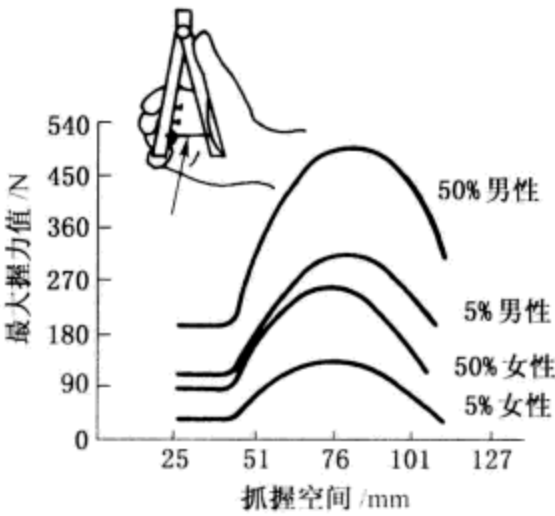


图 7-38 双把手工具抓握空间与握力的关系

第8章 作业岗位与空间设计

8.1 作业岗位的选择

作业岗位按人作业时的姿势分为坐姿岗位、立姿岗位和坐、立姿交替岗位三类。在人机系统设计时选择哪一类作业岗位，必须依据工作任务的性质来考虑。工业生产中常用的联合作业所推荐的最适用的方案见图8-1。

参数	重载和/或力量	间歇工作	扩大作业范围	不同作业	不同表面高度	重复移动	视觉注意	操作精密	延续时间>4小时
重载和/或力量		ST	ST	ST	ST	S/ST	S/ST	S/ST	ST/C
间歇工作			ST	ST	ST	S/S/ST	S/S/ST	S/S/ST	S/S/ST
扩大作业范围				ST	ST	S/ST	S/ST	S/ST	ST/C
不同作业					ST	S/ST	S/ST	S/ST	ST/C
不同表面高度						S	S	S	S
重复移动							S	S	S
视觉注意								S	S
精密操作									S
延续时间>4小时									

图8-1 推荐的作业岗位选择依据

S = 坐姿；ST = 立姿；S/ST = 坐或立姿；ST/C = 立姿，备有座椅

8.1.1 三种作业岗位的特征

1. 坐姿作业岗位

坐姿作业岗位是为从事轻作业、中作业且不要求作业者在作业过程中走动的工作而组织的。当具有下述基本特征时，宜选择坐姿岗位。

① 在坐姿操作范围内，短时作业周期需要的工具、材料、配件等都易于拿取或移动。

② 不需用手搬移物品的平均高度超过工作面以上15 cm的作业。

③ 不需作业者施用较大力量，如搬动重物不得超过4.5 kg，否则，应采用机械助力装置。

④ 在上班的绝大多数时间内从事精密装配或书写等作业。

2. 立姿作业岗位

立姿作业岗位是为从事中作业、重作业以及坐姿作业岗位的设计参数和工作区域受到限制的情况下而组织的。因而下列基本特征是选用立姿岗位的依据。

① 当其作业空间不具备坐姿岗位操作所需的容膝空间时。

② 在作业过程中，常需搬移重量超过4.5 kg物料时。

③ 作业者经常需要在其前方的高、低或延伸的可及范围内进行操作。

④ 要求操作位置是分开的，并需要作业者在不同的作业岗之间经常走动。

⑤ 需作业者完成向下方施力的作业，如包装或装箱作业等。

3. 坐、立姿交替作业岗位

因工作任务的性质,要求操作者在作业过程中采用不同的作业姿势来完成,而只有不同的作业岗位才能满足作业者采用不同作业姿势的要求,为此情况而组织的作业岗位称坐、立姿交替作业岗位。具有下列特点时,建议采用坐、立姿交替岗位。

① 经常需要完成前伸超过 41 cm 或高于工作面 15 cm 的重复操作。如果不考虑人体可及范围和静负荷疲劳的特点,可取坐姿作业岗位;但考虑人的特点,应选择坐、立姿交替岗位。

② 对于复合作业,有的最好取坐姿操作,有的则适宜立姿操作,从优化人机系统来考虑,应取坐、立姿交替岗位。

8.1.2 作业岗位设计要求和原则

1. 设计要求

① 作业岗位的布局,应保证作业者在上肢活动所能达到的区域内完成各项操作,并应考虑下肢的舒适活动空间。

② 设计作业岗位时,应考虑操作动作的频繁程度,此处对动作频率程度的划分是:每分钟完成两次或两次以上的操作动作为很频繁;每分钟完成的操作动作少于两次,而每小时完成两次或两次以上时为频繁;而每小时完成的操作动作少于两次的为不频繁。

③ 设计作业岗位时,还应考虑作业者的群体,如全部为男性或女性,应选用两种不同性别各自的人体测量尺寸;如果作业岗位是男性和女性共同使用,则应考虑男性和女性人体测量尺寸的综合指标。

2. 设计原则

① 设计作业岗位时,必须考虑作业者动作的习惯性、同时性、对称性、节奏性、规律性等生理特点,以及动作经济性原则。

② 作业岗位的各组成部分,如座椅、工具、显示器、操纵器及其他辅助设施的设计,均应符合工作特点及人机工程学要求。

③ 在作业岗位上不允许有与作业岗位结构组成无关的物体存在。

④ 作业岗位的设计还应符合 GB 5083、GB 3861、GB 4064 等有关标准和劳动安全规程要求。

8.2 手工作业岗位设计

8.2.1 手工作业岗位的类型

在工业生产中,以手工操作为主的生产岗位称为手工作业岗位。按工作任务的性质,也分为三种类型。国标 GB 14776—1993 中对三种类型的手工作业岗位的设计提供了有关的基本原则和确定尺寸的基本方法。

1. 坐姿手工作业岗位

图 8-2 (a)、(b) 分别为坐姿手工作业岗位的侧视图和俯视图,图中标注的代号为设计时需确定的与作业有关和与人体有关的尺寸。

2. 立姿手工作业岗位

图 8-3 为立姿手工作业岗位的侧视图,其俯视图同图 8-2 (b)。图中代

号同图 8-2。

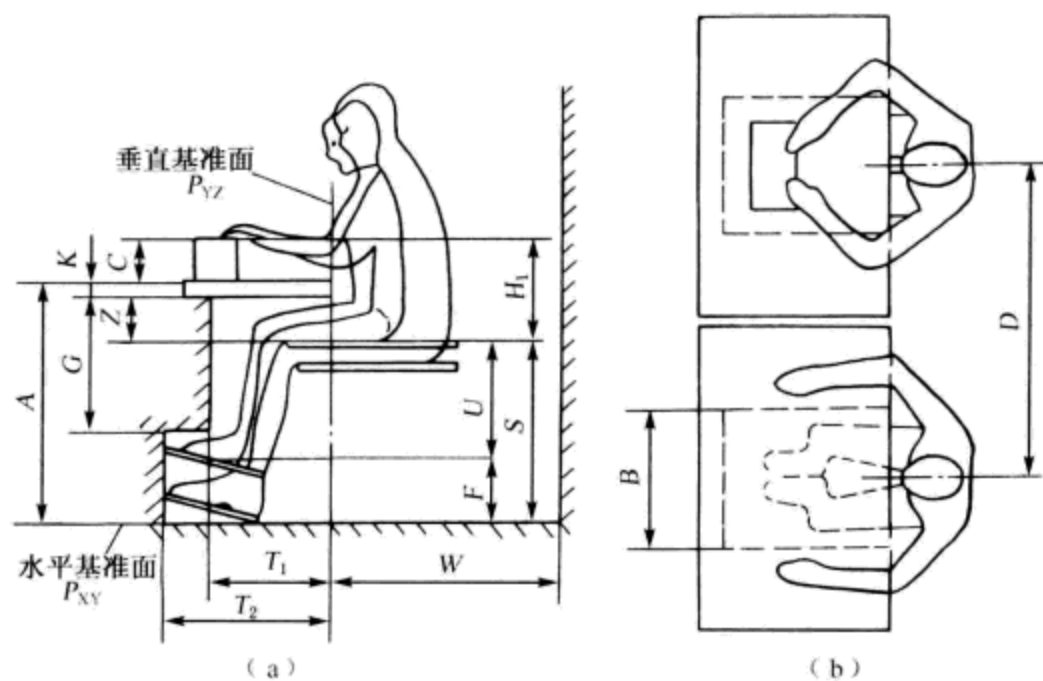


图 8-2 坐姿手工作业岗位
(a) 侧视图; (b) 俯视图

3. 坐、立姿交替手工作业岗位

坐、立姿交替手工作业岗位侧视图见图 8-4，其俯视图见图 8-2 (b)，图中代号含义亦同图 8-2。

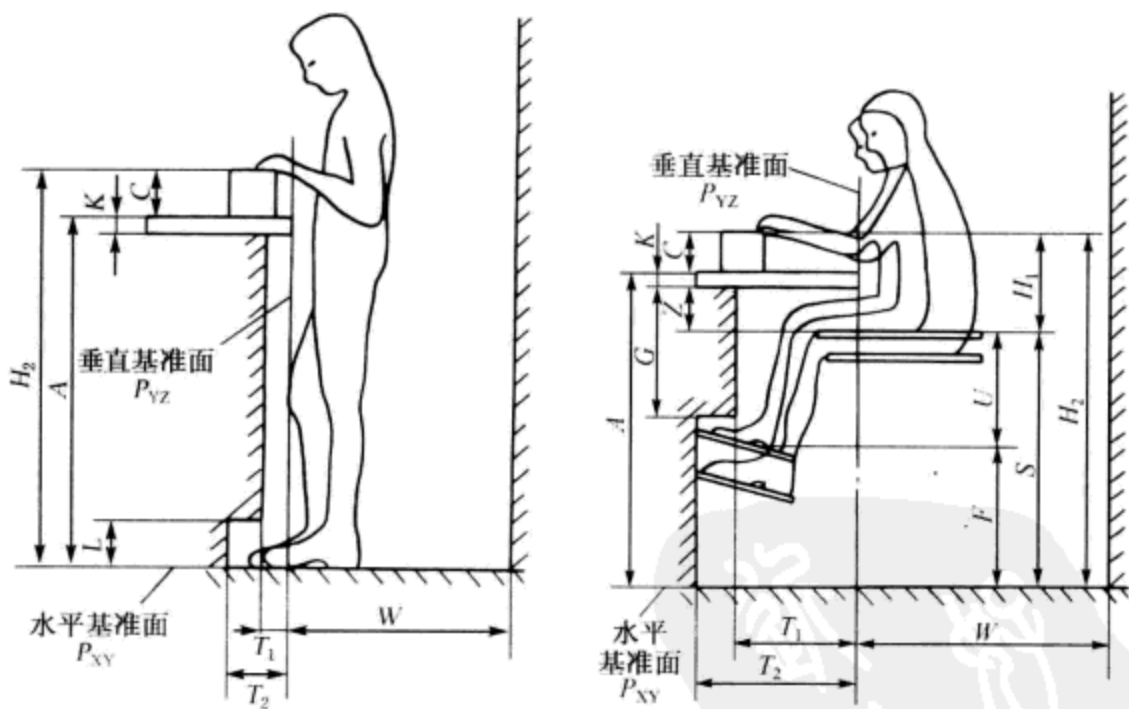


图 8-3 立姿手工作业岗位 图 8-4 坐、立姿交替手工作业岗位

8.2.2 手工作业岗位尺寸设计

根据作业岗位与作业和人体相关的程度，三种手工作业岗位中的尺寸均分为与作业有关和与人体有关两类，下面分别介绍两类尺寸确定方法。

1. 与人体有关的作业岗位尺寸

由国家标准中与作业者人体有关部位第 5 或第 95 百分位数值推导出与人体有关的岗位尺寸，列于表 8-1。

表 8-1 与人体有关的作业岗位尺寸 mm

尺寸符号	坐姿工作岗位	立姿工作岗位	坐立姿工作岗位
横向活动间距 D	$\geq 1\ 000$		
向后活动间距 W	$\geq 1\ 000$		
腿部空间进深 T_1	≥ 330	≥ 80	≥ 330
脚空间进深 T_2	≥ 530	≥ 150	≥ 530
坐姿腿空间高度 G	≤ 340	—	≤ 340
立姿脚空间高度 I	—	≥ 120	—
腿部空间宽度 B	≥ 480	—	$480 \leq B \leq 800$
			$700 \leq B \leq 800$

2. 与作业有关的作业岗位尺寸

① 作业面高度 C ，通常依据作业对象、工作面上相关配置件尺寸确定；对较大的或形状复杂的加工对象，则以加工对象方位处于满足最佳加工条件状态下确定。

② 工作台面厚度 K ，在设计时应满足下式关系：

$$K = A - S_{5\%} - Z_{5\%} \quad K = A - S_{95\%} - Z_{95\%} \quad (8-1)$$

式中， $S_{5\%}$ 、 $S_{95\%}$ 为第 5 和第 95 百分位数人体座位面高度； $Z_{5\%}$ 、 $Z_{95\%}$ 为第 5 和第 95 百分位数人体大腿空间高度。

③ 坐姿岗位相对高度 H_1 和立姿岗位工作高度 H_2 ，可根据作业中使用视力和臂力情况，分为三类来确定。其中Ⅰ类为以视力为主的手工精细作业；Ⅱ类为使用臂力为主，对视力有一般要求的作业；Ⅲ类为兼顾视力和臂力的作业。各类作业的举例及其相应的 H_1 、 H_2 尺寸见表 8-2。

表 8-2 作业岗位相对高度和工作高度 mm

类别	举例	坐姿岗位相对高度 H_1				立姿岗位工作高度 H_2			
		P_5		P_{95}		P_5		P_{95}	
		女 (W)	男 (M)	女 (W)	男 (M)	女 (W)	男 (M)	女 (W)	男 (M)
Ⅰ	调整作业 检验工作 精密元件装配	400	450	500	550	1 050	1 150	1 200	1 300
Ⅱ	分检作业 包装作业 体力消耗大的 重大工件组装	250		350		850	950	1 000	1 050
Ⅲ	布线作业 体力消耗小的 小零件组装	300	350	400	450	950	1 050	1 100	1 200

④ 工作平面高度 A 的最小限值，对图 8-2 所示的坐姿作业岗位，可用下式确定：

$$A \geq H_1 + S - C \quad (8-2)$$

$$\text{或} \quad A \geq H_1 + U + F - C \quad (8-3)$$

对图 8-3 所示的立姿作业岗位, 则由下式确定:

$$A \geq H_2 - C \quad (8-4)$$

⑤ 座位面高度 S 的调整范围计算式如下:

$$S_{95\%} - S_{5\%} = H_{1(5\%)} - H_{1(95\%)} \quad (8-5)$$

⑥ 脚支撑高度 F 的调整范围计算式为:

$$F_{5\%} - F_{95\%} = S_{5\%} - S_{95\%} + U_{95\%} - U_{5\%} \quad (8-6)$$

⑦ 大腿空间高度 Z 和小腿空间高度 U 的最小限值见表 8-3。

表 8-3 大腿和小腿空间高度最小限值 mm

尺寸符号	P_5		P_{95}	
	女性	男性	女性	男性
Z	135	135	175	175
U	375	415	435	480

3. 与性别有关的作业岗位尺寸

在作业岗位尺寸设计中, 除了上述两类尺寸外, 还会遇到与作业人员性别有关的尺寸, 例如, 在生产流水线工作平面高度 A 必须统一的情况下, 工作高度 H_2 应按作业人员性别异同分两种情况确定:

① 当作业人员性别一致时, 即全部为男性或全部为女性, 此情况下工作高度 H_2 计算式为:

$$H_2 = [H_{2(5\%)} + H_{2(95\%)}] / 2 \quad (8-7)$$

式中, $H_{2(5\%)}$ 、 $H_{2(95\%)}$ 为某类别作业的男性或女性第 5 和第 95 百分位数立姿岗位高度。

② 当作业人员性别不一致时, 工作岗位高度 H_2 按下列确定:

$$H_2 = [H_{2(W,95\%)} + H_{2(M,5\%)}] / 2 \quad (8-8)$$

式中, $H_{2(W,95\%)}$ 为某类别作业的女性作业者第 95 百分位数立姿岗位高度; $H_{2(M,5\%)}$ 为某类别作业的男性作业者第 5 百分位数立姿岗位高度。

以上两式中有关数据的选择见表 8-2。

8.3 视觉信息作业岗位设计

视觉信息作业是以处理视觉信息为主的作业, 如控制室作业、办公室作业、目视检验作业以及视觉显示终端作业等。随着现代生产自动控制技术、通信技术、计算机技术等学科的飞速发展, 各种系统的计算机通讯网络的建立, 正在改变着人们作业岗位的面貌。因此, 视觉信息作业岗位将逐渐成为当代人重要的劳动岗位, 其中视觉显示终端作业岗位更具有代表性。

8.3.1 视觉显示终端作业岗位的人机界面

视觉显示终端作业岗位的人机界面关系可用图 8-5 来加以说明。由于这类作业岗位大多采用坐姿岗位, 因而其人机界面关系主要存在于图中箭头所指示的四处, 即该类岗位设计要点。

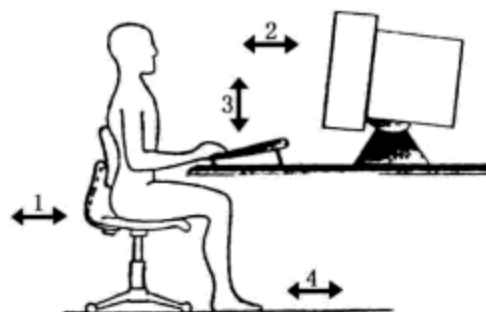


图 8-5 视觉显示终端岗位的人-机界面

1. 人-椅界面

在人-椅界面上,首先要求作业者保持正确坐姿,正确坐姿为:头部不过分弯曲,颈部向内弯曲;胸部的脊柱向外弯曲;上臂和下臂之间约成 90° 角,而上臂近乎垂直;腰部的脊柱向内弯曲;大腿下侧不受压迫;脚平放在地板或脚踏板上。

组成良好人-椅界面的另一要求是,采用适当尺寸、结构和可以调节的座椅,当调节座椅高度时,作业者坐下后,使脚能平放在地板或脚踏板上;调节座椅靠背,使其正好处于腰部的凹处,如此由座椅提供的符合人体解剖学的支撑作用,而使作业者保持正确坐姿。

2. 眼-视屏界面

在眼-视屏界面上,首先要求满足人的视觉特点,即从人体轴线至视屏中心的最大阅读距离为 $710\sim 760\text{ mm}$,以保护人眼不受电子射线伤害;俯首最大角度不超过 15° ,以防止疲劳;视屏的最大视角为 40° ,以保持一般不转动头部。

眼-视屏界面的另一要求是,选用可旋转和可移动的显示器,建议显示器可调高度约为 180 mm ,显示器可调角度为 $-5^{\circ}\sim +15^{\circ}$,以减少反光作用;如设置固定显示器,其上限高度与水平视线平齐,以避免头部上转。

3. 手-键盘界面

在手-键盘界面上,要求上臂从肩关节自然下垂,上臂与前臂的最适宜的角度为 $70^{\circ}\sim 90^{\circ}$,以保证肘关节受力而不是上臂肌肉受力;还应保持手和前臂呈一直线,腕部向上不得超过 20° 。

在手-键盘界面设计时,为适应所有成年人的使用,可选择高度固定的工作台,但应选择高度可调的平板以放置键盘。键盘在平板上可前后移动,其倾斜度在 $5^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 范围内可调。在腕关节和键盘间应留有 100 mm 左右的手腕休息区;对连续作业时间较长的文字、数据输入作业,手基本不离键盘,可设置一舒适的腕垫,以避免作业者引起手腕疲劳综合征。

4. 脚-地板界面

脚-地板界面对坐姿视觉显示作业岗位也是一个重要的人-机界面,如果台、椅、地三者之间高差不合适,则有可能形成作业者脚不着地,从而引起下肢静态负荷;也有可能形成大腿上抬,而引起大腿受到工作台面下部的压迫。这两种由不良设计引起的后果,都将影响作业人员的舒适性和安全性。

8.3.2 视觉信息作业岗位的人体尺寸

视觉显示终端作业岗位在各种视觉信息作业岗位设计中最具典型性,对其人机界面关系的分析方法也适用于类似的视觉信息作业岗位的分析,故不一一列举。下面提供几种视觉信息作业岗位的人体尺寸,虽图中数据不是来源于有关标准,但其设计原则值得参考。

① 视觉显示终端作业岗位的人体尺度见图8-6。该图是通过前述的人机界面关系分析后,将各关键尺寸具体化的结果。

② 仪表控制作业岗位的人体尺度见图8-7。该图中(a)(b)(c)分别表示因控制台结构形式不同,相应的作业岗位尺寸也有一定的差异。

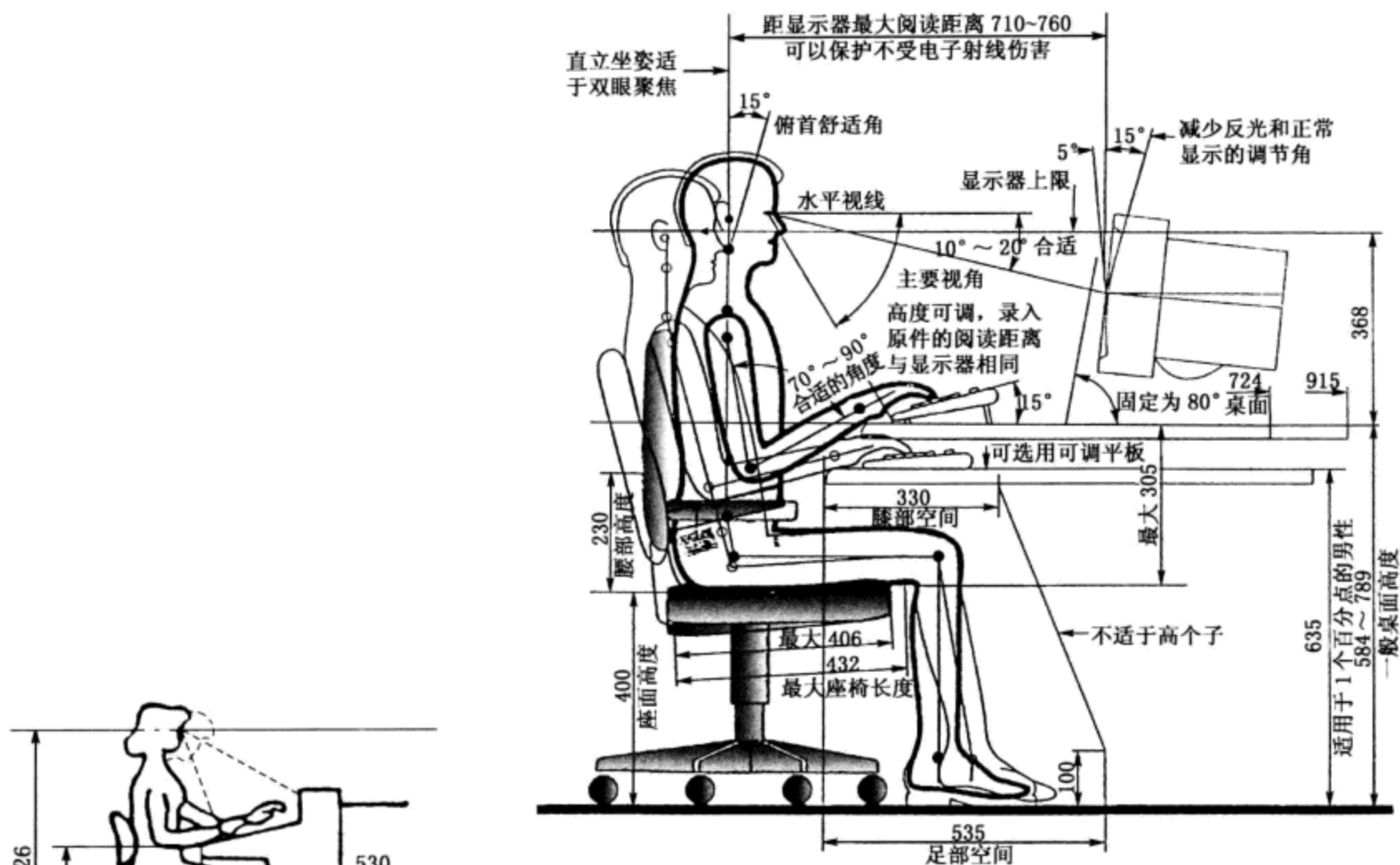


图 8-6 视觉显示终端作业岗位尺寸

③ 荧光屏观察作业岗位的人体尺度见图 8-8。该图表示采用坐姿和立姿不同作业姿势时，作业岗位中的人-机界面关系和作业岗尺寸的变化。

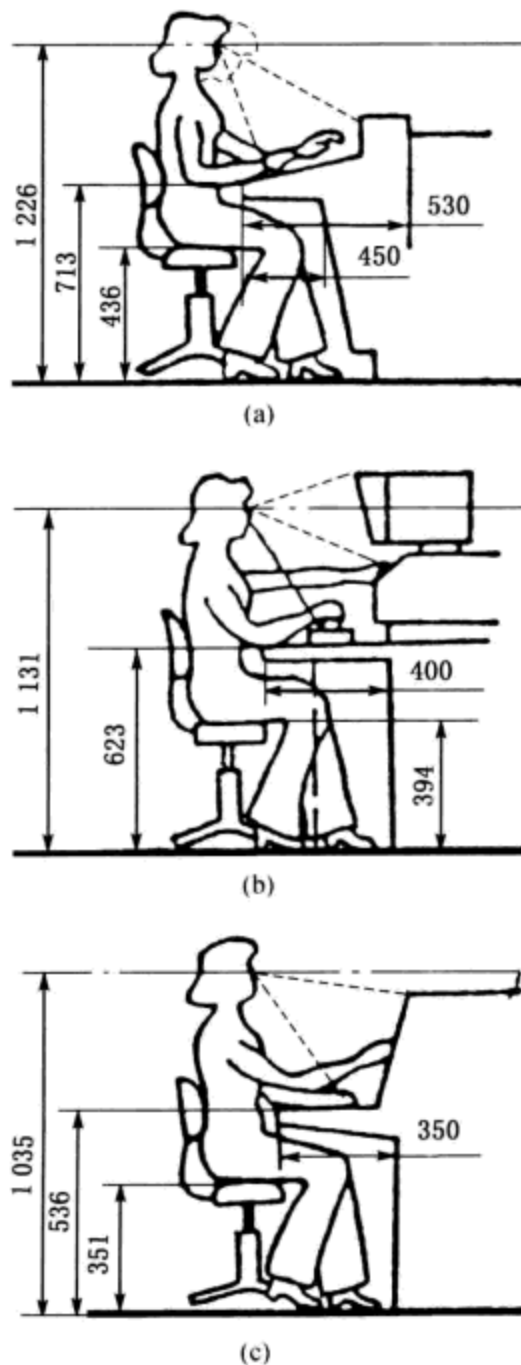


图 8-7 仪表控制作业岗位尺寸

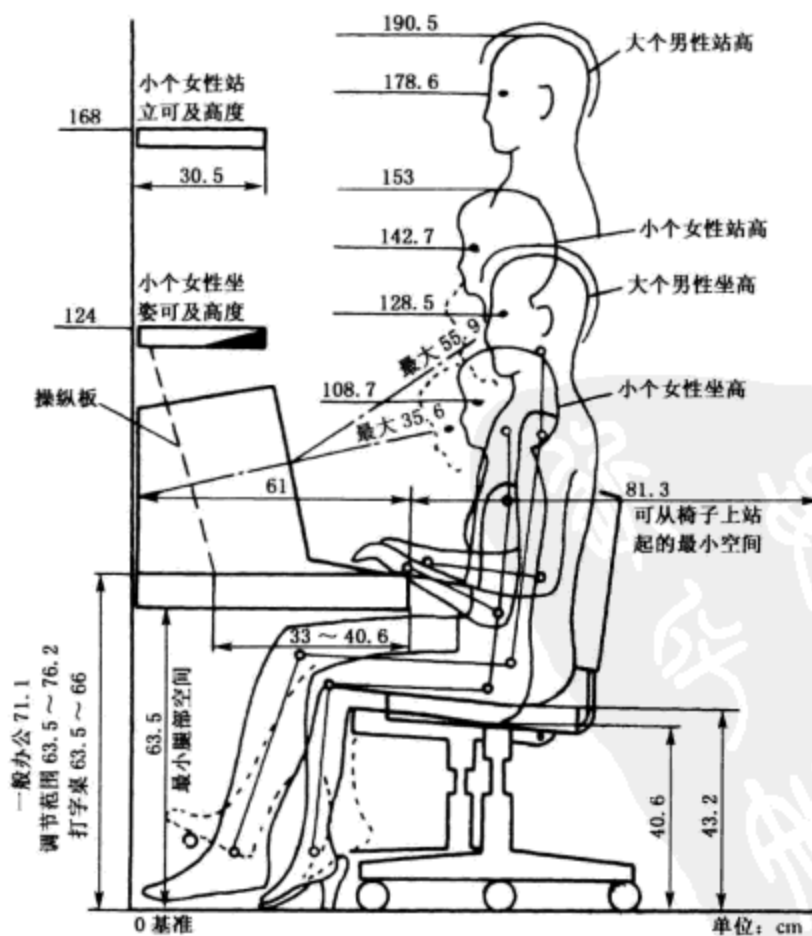


图 8-8 荧光屏作业岗位的人体尺度

8.4 作业空间的人体尺度

要设计一个合适的作业空间，不仅须考虑元件布置的原则与形式，还要顾及下列因素：操作者的舒适性与安全性；便于使用，避免差错，提高效率；控制与显示的安排要做到既紧凑，又可区分；四肢分担的作业要均衡，避免身体局部超负荷作业；作业者身材的大小，等等。从人机工程学的角度来看，一个理想的设计只能是考虑各方面的因素折中所得，其结果对每个单项而言，可能不是最优的，但应最大限度地减少作业者的不便与不适，使得作业者能方便而迅速完成作业。显然，作业空间设计应以“人”为中心，以人体尺度为重要设计基准。

8.4.1 有关概念

在讨论作业空间设计之前，必须澄清几个迄今定义含糊的概念，即近身作业空间，个体作业场所和总体作业空间。

1. 近身作业空间

指作业者在某一位置时，考虑身体的静态和动态尺寸，在坐姿或站姿状态下，其所能完成作业的空间范围。

2. 个体作业场所

指操作者周围与作业有关的、包含设备因素在内的作业区域，如汽车驾驶室、计算机操作台（包括计算机、工作台与座椅等）。

3. 总体作业空间

不同个体作业场所的布置构成总体作业空间。总体作业空间不是直接的作业场所，它反映的是多个作业者或使用者之间作业的相互关系，如一个办公室或计算机房。

8.4.2 近身作业空间

近身作业空间即指作业者操作时，四肢所及范围的静态尺寸和动态尺寸。近身作业空间的尺寸是作业空间设计与布置的主要依据。它主要受功能性臂长的约束，而臂长的功能尺寸又由作业方位及作业性质决定。此外，近身作业空间还受衣着影响。

1. 坐姿近身作业空间

坐姿作业通常在作业面以上进行，其作业范围为图 8-9 所示的三维空间。随作业面高度、手偏离身体中线的距离及手举高度的不同，其舒适的作业范围也在发生变化。

若以手处于身体中线处考虑，直臂作业区域由两个因素决定：肩关节转轴高度及该转轴到手心（抓握）距离（若为接触式操作，则到指尖）。图 8-10 为第 5 百分位的人体坐姿抓握尺度范围，以肩关节为圆心的直臂抓握空间半径：男性为 65 cm，女性为 58 cm。

2. 站姿近身作业空间

站姿作业一般允许作业者自由地移动身体，但其作业空间仍需受到一定的限制。例如，应避免伸臂过长的抓握、蹲身或屈曲、身体扭转及头部处于不自然的位置等。图 8-11 为站姿单臂作业的近身作业空间，以第 5 百分位的男性

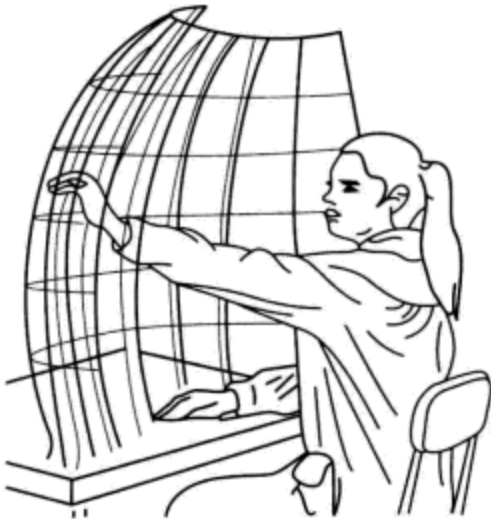


图 8-9 坐姿近身作业空间

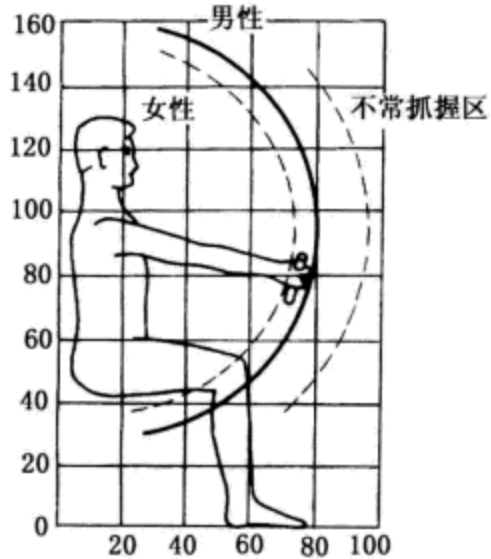


图 8-10 坐姿抓握尺度范围/cm

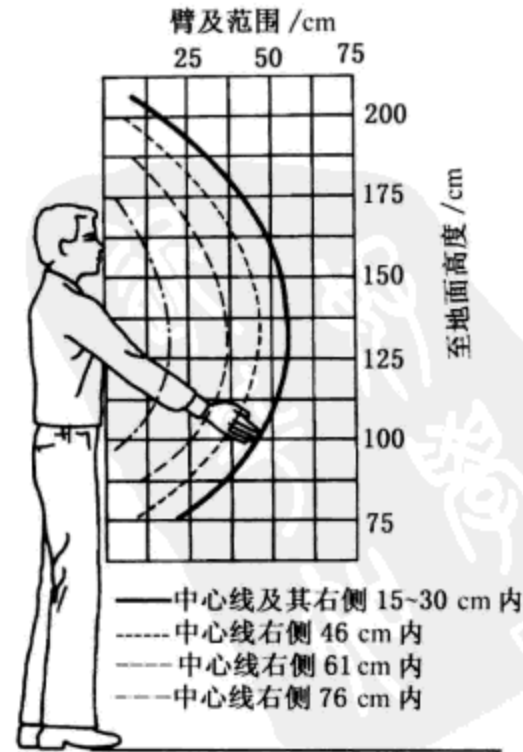


图 8-11 站姿单臂作业近身空间

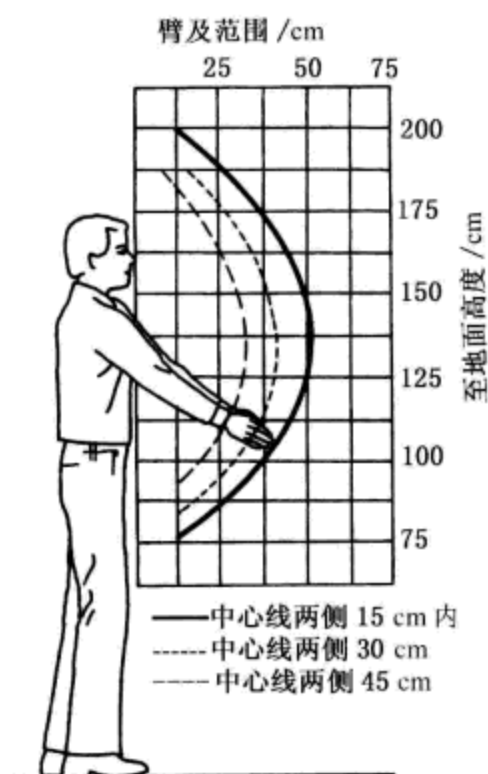


图 8-12 站姿双臂作业近身空间

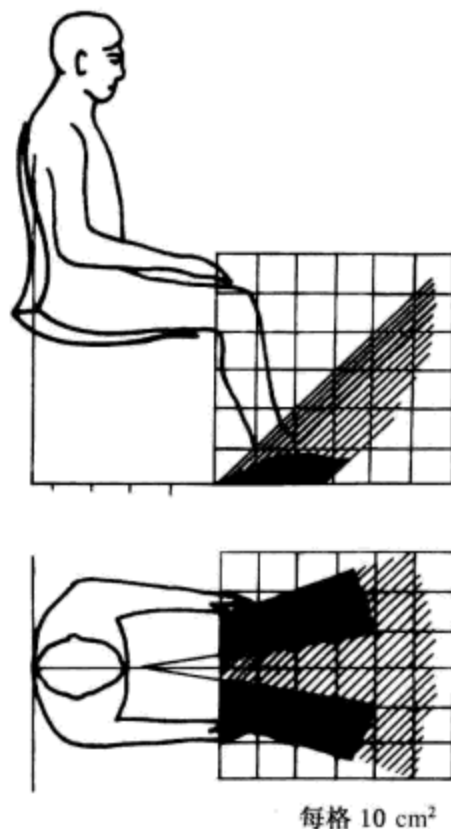


图 8-13 脚作业区域

为基准,当物体处于地面以上 110 cm ~ 165 cm 高度,并且在身体中心左右 46 cm 范围内时,大部分人可以在直立状态下达到身体前侧 46 cm 的舒适范围(手臂处于身体中心线处操作),最大可及区弧半径为 54 cm;对于双手操作的情形,由于身体各部位相互约束,其舒适作业空间范围有所减小,见图 8-12。这时伸展空间为:在距身体中线左右各 15 cm 的区域内,最大操作弧半径为 51 cm。

3. 脚作业空间

与手操作相比,脚操作力大,但精确度差,且活动范围较小,一般脚操作限于踏板类装置。正常的脚作业空间位于身体前侧,座高以下的区域,其舒适的作业空间取决于身体尺寸与动作的性质。图 8-13 为脚偏离身体中线左右 15°范围内作业空间的示意,深影区为脚的灵敏作业空间,而其余区域需要大腿、小腿有较大的动作,故不适于布置常用的操作元件。

4. 水平作业面

水平作业面主要在坐姿作业或坐/站作业场合采用,它必须位于作业者舒适的手工作业空间范围内。对于正常作业区域,作业者应能在小臂正常放置而上臂处于自然悬垂状态下舒适地操作;对最大作业区域,应使在臂部伸展状态下能够操作,且这种作业状态不宜持续很久。见图 8-14 中细实线与虚线所示。

作业时,由于肘部也在移动,小臂的运动与之相关联。考虑到这一点,则水平作业区域小于上述范围,见图 8-14 中粗实线所示。在此水平作业范围内,小臂前伸较小,从而能使肘关节处受力减小。因此考虑臂部运动相关性,确定的作业范围更为合适。

办公室工作通常在水平台面上进行,如阅读、写作。但有研究发现,适度倾斜的台面更适合于这类作业,实际设计中也已有采用斜作业面的例子。当台面倾斜(12°和 24°)时,人的姿势较自然,躯干的移动幅度小,与水平作业面相比,疲劳与不适感会减小。绘图桌桌面一般是倾斜的,如果桌面水平或位置太低,因头部倾角不能超过 30°,绘图者就必须身体前屈。为了适应不同的使用者,绘图桌面应设计成可调式:

高度 66 ~ 133 cm (以适应从坐姿到站姿的需要)

角度 0° ~ 75°

5. 作业面高度

进行作业场所设计时,作业面高度是必须选择的要素之一。作业面如太低,则背部过分前屈;如果太高,则必须抬高肩部,超过其松弛位置,引起肩部和颈部的不适。作业面高度的确定应遵从下列原则:

① 如果作业面高度可调节,则必须将高度调节至适合操作者身体尺度及个人喜好的位置。

② 应使臂部自然下垂,处于合适的放松状态,小臂一般应接近水平状态或略下斜;任何场合都不应使小臂上举过久。

③ 不应使脊椎过度屈曲。

④ 若在同一作业面内完成不同性质的作业,则作业面高度应可调节。

一般,作业面高度应在肘部以下 5 ~ 10 cm。对于特定的作业,其作业面高度取决于作业的性质、个人的喜好、座椅高度、作业面厚度、操作者大腿的厚度等。表 8-4 为作业面高度推荐值,适用于身材较高地区。对于写字或轻型

装配，其作业面高度为正常位置；重荷作业面高度低是为了臂部易于施力，且避免手部负重；对于精细作业，较高的作业面使得眼睛接近作业对象，便于观察。

表 8-4 坐姿作业面高度 cm

作 业 类 型	男 性	女 性
精细作业(如钟表装配)	99 ~ 105	89 ~ 95
较精密作业(如机械装配)	89 ~ 94	82 ~ 87
写字或轻型装配	74 ~ 78	70 ~ 75
重荷作业	69 ~ 72	66 ~ 70

对于站姿作业，其作业面高度的设计要素与坐姿相似，即肘高（此时应从地板面算起）和作业类型。基本原则与坐姿作业面相同。图 8-15 为三种不同作业面的推荐高度，图中零位线为肘高，我国男性肘高均值为 102 cm，女性为 96 cm。图 8-16 为轻荷作业面高度随身高不同而调节的情况，它可作为设计可调作业台的依据。

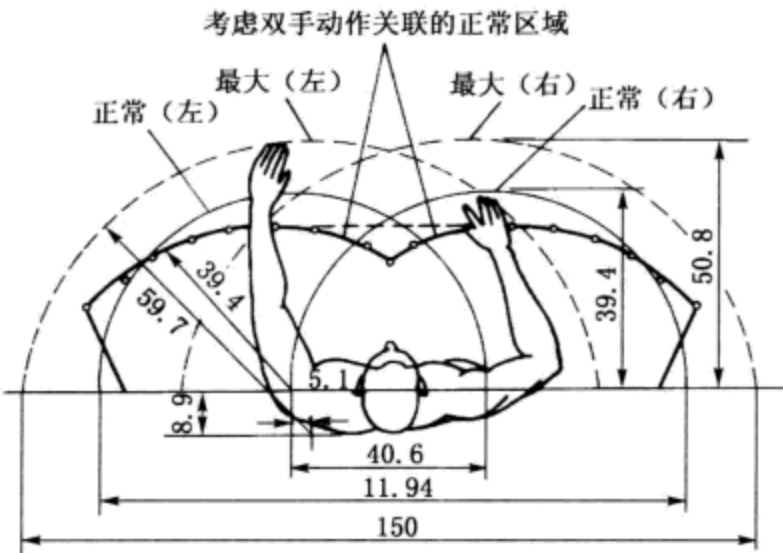


图 8-14 水平作业面的正常尺寸和最大尺寸(cm)

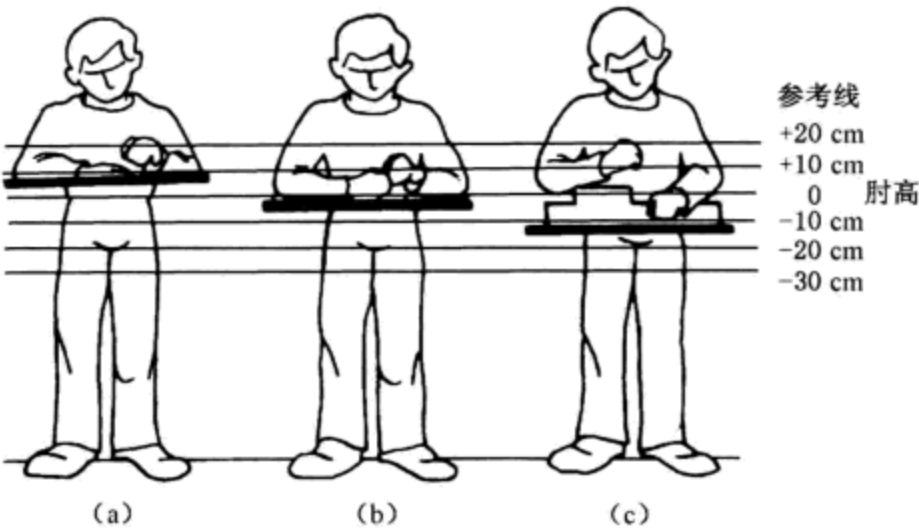


图 8-15 站姿作业面高度与作业性质的关系
(a) 精密作业；(b) 一般作业；(c) 重荷作业

为使操作者能变换姿势，以消除局部疲劳或利于操作，有时采用坐姿站姿交替式作业。在这种情况下，作业面高度的设计应保持上臂处于自然松弛状态，椅子与踏板应便于变换姿势。因此，交替式作业面并不是单纯地提高坐姿作业面高度，而且必须考虑作业的性质与变换的频率。

8.4.3 受限作业空间

作业者有时必须在限定的空间中进行作业，有时还需要通过某种狭小的通道。虽然这类空间大小受到限制，但在设计时，还必须使作业者能在其中进行作业或经过通道。为此，应根据作业特点和人体尺寸确定受限作业空间的最低尺寸要求。为防止受限作业空间设计过小，其尺寸应以第 95 百分位数或更高百分位数人体测量数值为依据，并应考虑冬季穿着厚棉衣等服装进行操作的要求。

图 8-17 为几种受限作业空间尺度，图中代号所表示的尺寸见表 8-5。图 8-18 为几种常见通道的空间尺度，图中代号所表示的尺寸见表 8-6。

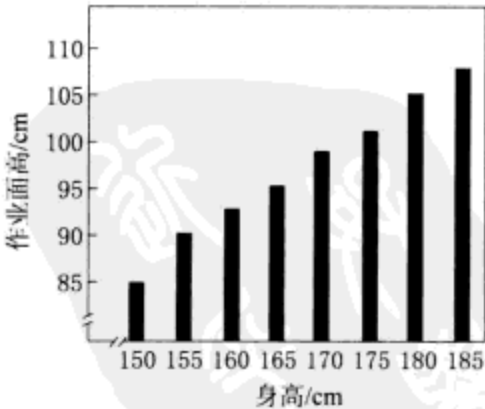


图 8-16 站姿一般作业面高度与身高的关系

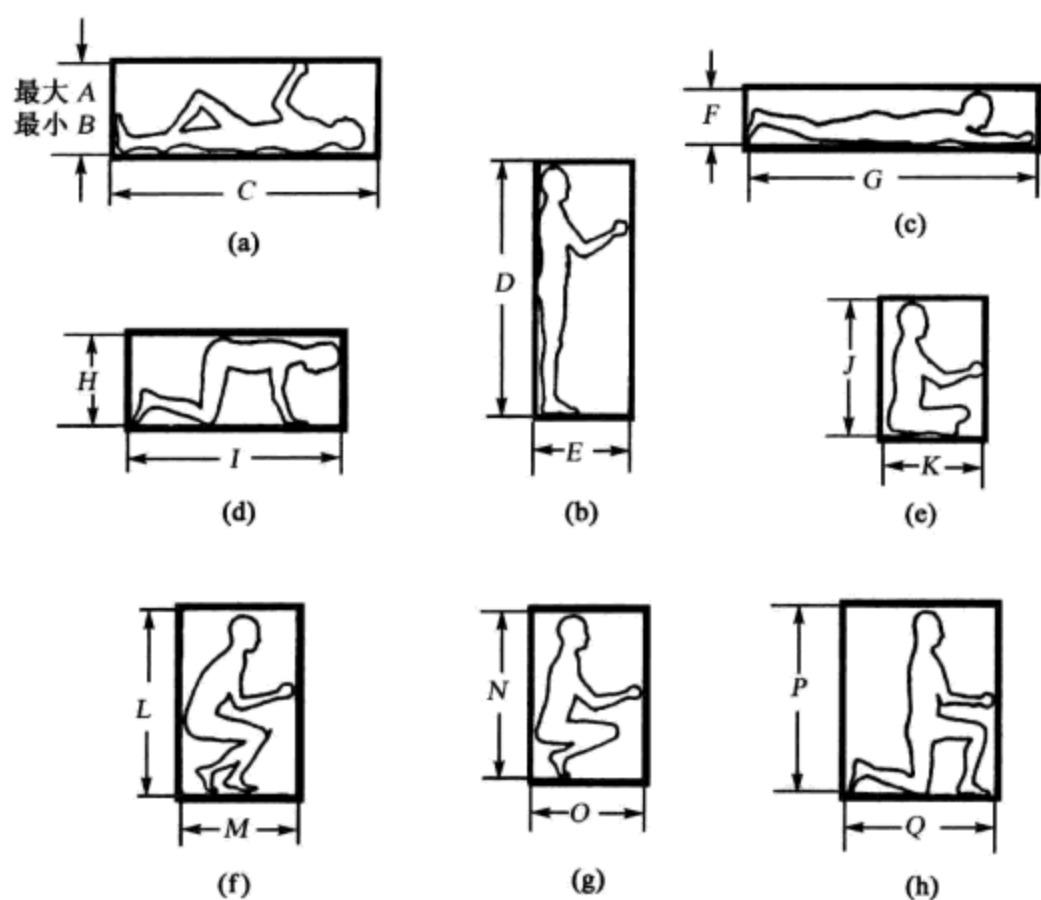


图 8-17 几种受限作业空间尺度

表 8-5 受限作业空间尺寸

mm

代 号	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
高身材男性	640	430	1980	1980	690	510	2440	740	1520	1000	690	1450	1020	1220	790	1450	1220
中身材男性 及高身材女性	640	420	1830	1830	690	450	2290	710	1420	980	690	1350	910	1170	790	1350	1120

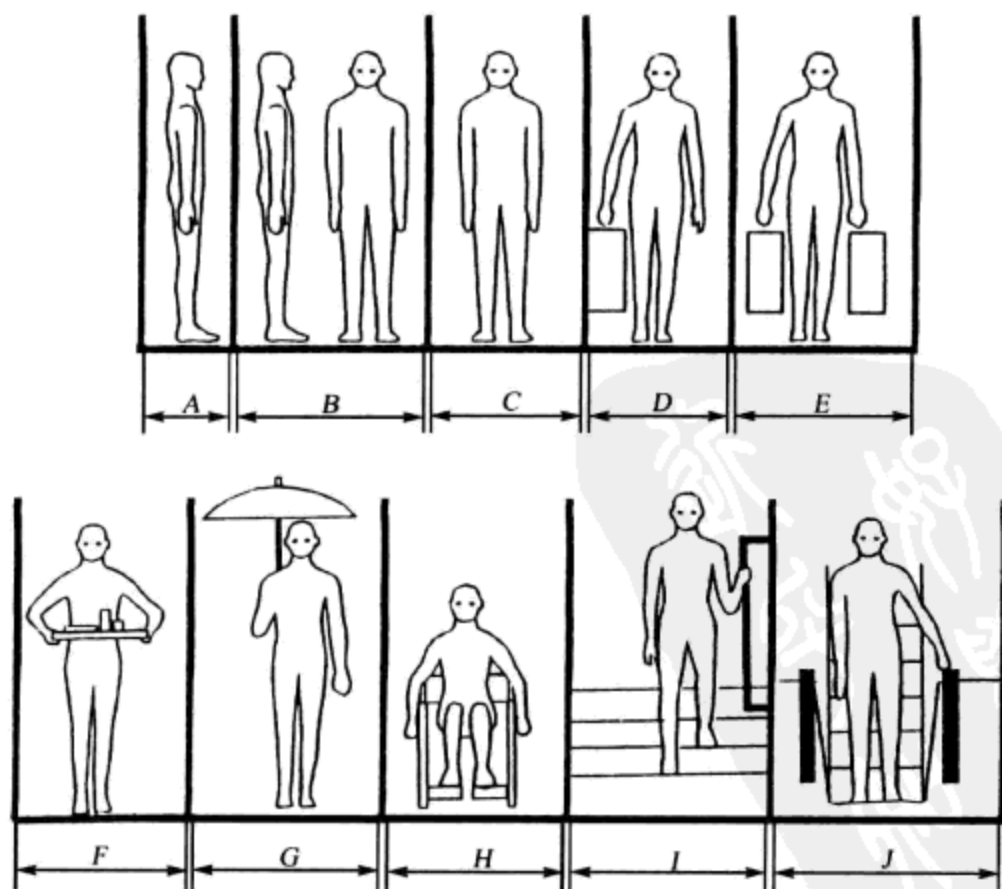


图 8-18 几种通道空间尺度

表 8-6 通道的空间尺寸

mm

代 号	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
静态尺寸	300	900	530	710	910	910	1 120	760	单向 760	610
动态尺寸	510	1 190	660	810	1 020	1 020	1 220	910	双向 1 220	1 020

许多维修空间都是受限作业空间，在确定维修空间尺寸时，应考虑人的肢体尺寸、维修作业姿势、零件最大尺寸、标准维修工具尺寸以及维修时是否需要目视等因素。表 8-7 是由上肢和零件尺寸确定的维修空间，表 8-8 是由标准工具尺寸和使用方法确定的维修空间。

表 8-7 由上肢和零件尺寸限定的维修空间

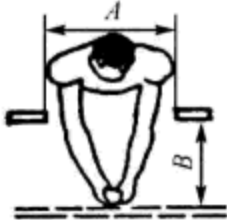
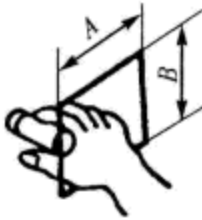

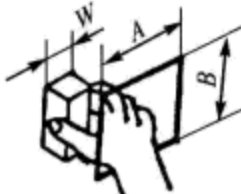
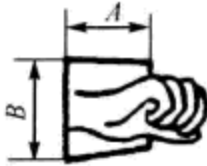
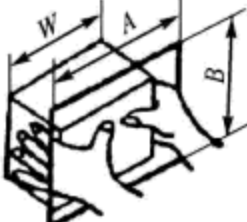
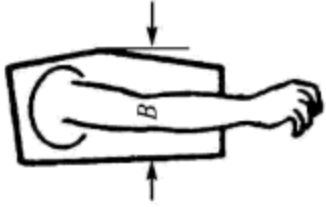
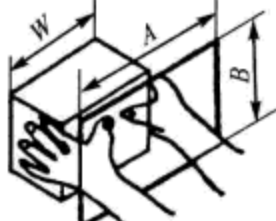
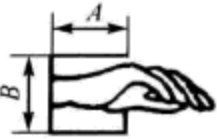
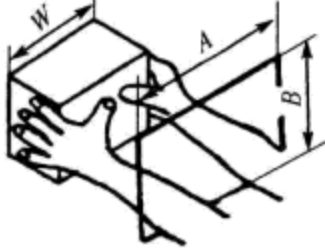

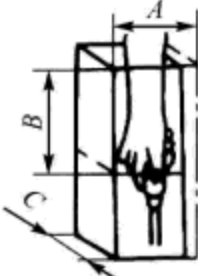
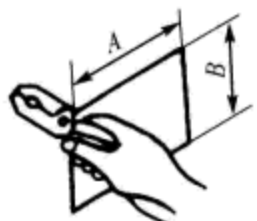
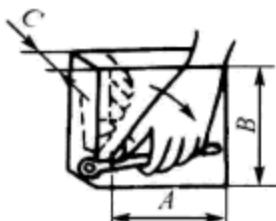
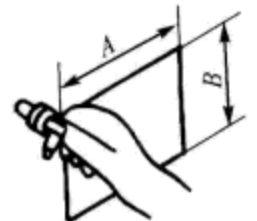
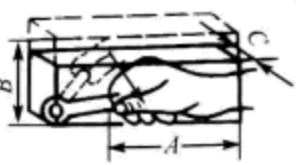
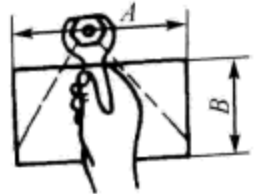
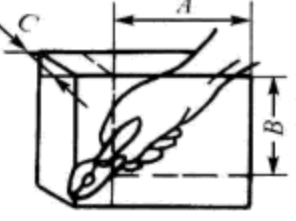
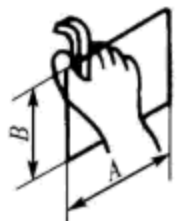

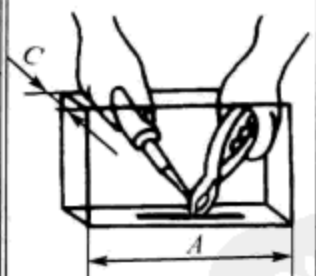
开口部尺寸	尺 寸/mm		开口部尺寸	尺 寸/mm	
	A	B		A	B
	650	630		120	130
		200		$W + 45$	130
	125	90		$W + 75$	130
		250		$W + 150$	130
	100	50		$W + 150$	130

表 8-8 由标准工具尺寸和使用方法限定的维修空间

开口部尺寸	尺寸/mm		开口部尺寸	尺寸/mm			使用工具
	A	B		A	B	C	
	140	150		135	125	145	可使用 螺丝刀等
	175	135		160	215	115	可用扳 手从上旋 转 60°
	200	185		215	165	125	可用扳 手从前面 旋转 60°
	270	205		215	130	115	可使用 钳子、剪 线钳等
	170	250					
	90	90		305		150	可使用 钳子、剪 线钳等

8.5 作业空间的布置

作业空间的布置是指在限定的作业空间内，设定合适的作业面后，显示器与控制器（或其他作业设备、元件）的定位与安排。作业空间或设施的设计对人的行为、舒适感与心理满足感有相当大的影响，而其设计的重要方面之一就是各组成元素在人们使用的空间或设施中的布置问题。本节只讨论在个体作业场所内显示器与控制器的布置。

8.5.1 作业场所布置总则

任何元件都可有其最佳的布置位置，这取决于人的感受特性、人体测量学与生物力学特性以及作业的性质。对于一作业场所而言，因为显示与控制器众多，不可能使每个元件都处于其本身理想的位置。这时，就必须依据一定的原则来安排。从人机系统的整体考虑，最重要的是要保证方便、准确的操作。据此可确定作业场所布置的总体原则。

1. 重要性原则

即首先考虑操作上的重要性。最优先考虑的是实现系统作业的目标或达到其他性能最为重要的元件。一个元件是否重要往往根据它的作用来确定。有些元件可能并不频繁使用，但却是至关重要的，比如紧急控制器，一旦使用，就必须保证迅速而准确。

2. 使用频率原则

显示与控制器应按使用的频率优先排列。经常使用的元件应置于作业者易见易及的位置，比如冲床的动作开关。

3. 功能原则

在系统作业中，应按功能性相关关系对显示器、控制器以至于机器进行适当的编组排列。比如温度显示器与温度控制器应编组排列，配电指示与电源开关应处于同一布置区域。

4. 使用顺序原则

在设备操作中，为完成某动作或达到某一目标，常按顺序使用显示器与控制器。这时，元件则应按使用顺序排列布置，以使作业方便、高效。例如，开启电源、启动机床、看变速标牌、变换转速等。

在进行系统中各元件布置时，不可能只遵循一种原则。通常，重要性和频率原则主要用于作业场所内元件的区域定位阶段，而使用顺序和功能原则侧重于某一区域内各元件的布置。选择何种原则布置，往往是根据理性判断来确定，没有很多经验可供借鉴。在上述四种原则都可以使用的情况下，有研究表明，按使用顺序原则布置元件，执行时间最短，见图 8-19。

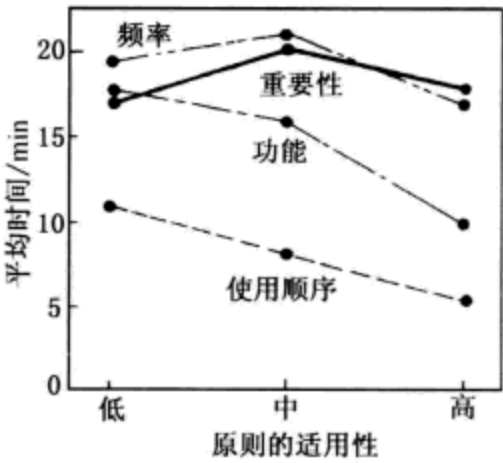


图 8-19 面板布置原则与作业执行时间的关系

8.5.2 作业场所布置考虑顺序

上述布置原则从空间位置上讨论了作业场所的布置问题。对于包含显示与控制的个体作业空间，还可以从以下的时间顺序上考虑布置的问题，以做出合适的折中。

- 第一位：主显示器；
- 第二位：与主显示器相关的主控制器；
- 第三位：控制与显示的关联（使控制器靠近相关的显示器，运动相关性关系等）；
- 第四位：按顺序使用的元件；
- 第五位：使用频繁的元件应处于便于观察、操作的位置；
- 第六位：与本系统或其他系统的布局一致。

第9章 人与环境的界面设计

9.1 人体对环境的适应程度

在人-机-环境系统中,对系统产生影响的一般环境主要有:热环境、照明、噪声、振动、粉尘以及有毒物质等。随着人类生产活动领域的扩大,影响系统的还有失重、超重、异常气压、加速度、电离辐射以及非电离辐射等特殊环境因素。如果在系统设计的各个阶段,尽可能排除各种环境因素对人体的不良影响,使人具有“舒适”的作业环境,不仅有利于保护劳动者的健康与安全,还有利于最大限度地提高系统的综合效能。因此,作业环境对系统的影响就成为人机工程学研究中的一个重要方面。

根据作业环境对人体的影响和人体对环境的适应程度,可把人的作业环境分为四个区域,即:

(1) 最舒适区 各项指标最佳,使人在劳动过程中感到满意。

(2) 舒适区 在正常情况下这种环境使人能够接受,而且不会感到刺激和疲劳。

(3) 不舒适区 作业环境的某种条件偏离了舒适指标的正常值,较长时间处于此种环境下,会使人疲劳或影响工效,因此,需采取一定的保护措施,以保证正常工作。

(4) 不能忍受区 若无相应的保护措施,在该环境下人将难以生存,为了能在该环境下工作,必须采取现代化技术手段(如密封),使人与有害的外界环境隔离开来。

最佳方案是创造一种人体舒适而又有利于工作的环境条件。因此,必须了解环境条件应当保持在什么样的范围之内,才能使人感到舒适而工作效率又能达到最高。图9-1是根据作业环境分区的原则,提供了一个决定舒适程度的环境因素示意图,以直观的方式表示了不同舒适程度的范围。



图9-1 决定舒适程度的环境因素范围

在生产实践中,由于技术、经济等各种原因,上述舒适的环境条件有时是难以充分保证的,于是就只能降低要求,创造一个允许环境,即要求环境条件保证在不危害人体健康和基本不影响工作效率的范围之内。

有时,由于事故、故障等原因,上述基本允许的环境条件也会难以充分保证,在这种情况下,必须保证人体不受伤害的最低限度的环境条件,创造一个安全的环境。

在人机系统设计中,利用环境控制系统来控制 and 改善环境只是保障人的健康和安全的一个方面。而在很多情况下,由于经济和技术上的原因,充分控制环境仍不够理想,为此,就常常需要采用各种个体防护用具来对抗种种不利的环境条件,以保证系统的安全和高效。

下面将介绍一般环境因素对人体的影响、防护标准、评价方法等内容,为设计各种舒适环境、允许环境或安全环境提供基础资料。

9.2 人与热环境

9.2.1 影响热环境的要素

影响热环境条件的主要因素有:空气温度、空气湿度、空气流速和热辐射。这四个要素对人体的热平衡都会产生影响,而且各要素对机体的影响是综合的。因此,为了对热环境进行分析和评价,就必须考虑各个要素对热环境条件的影响。

1. 气温

作业环境中的气温除取决于大气温度外,还受太阳辐射和作业场所的热源,如各种冶炼炉、化学反应锅、被加热的物体、机器运转发热和人体散热等影响。热源通过传导、对流使作业环境的空气加热,并通过辐射加热四周物体,形成第二热源,扩大了直接加热空气的面积,使气温升高。

2. 气湿

作业环境的气湿以空气相对湿度表示。相对湿度在 80% 以上称为高气湿;低于 30% 称为低气湿。高气湿主要由于水分蒸发与释放蒸气所致,如纺织、印染、造纸、制革、缫丝以及潮湿的矿井、隧道等作业场所常为高气湿。在冬季的高温车间可出现低气湿。

3. 气流

作业环境中的气流除受外界风力的影响外,主要与作业场所中的热源有关。热源使空气加热而上升,室外的冷空气从门窗和下部空隙进入室内,造成空气对流。室内外温差愈大,产生的气流愈大。

4. 热辐射

热辐射主要指红外线及一部分可视线而言。太阳及作业环境中的各种熔炉、开放火焰、熔化的金属等热源均能产生大量热辐射。红外线不能直接使空气加热,但可使周围物体加热。当周围物体表面温度超过人体表面温度时,周围物体表面则向人体放散热辐射而使人体受热,称为正辐射。相反,当周围物体表面温度低于人体表面温度时,人体表面则向周围物体辐射散热,称为负辐射。负辐射有利于人体散热,在防暑降温上有一定的意义。

9.2.2 人体的热平衡

人体所受的热有两种来源:一种是机体的代谢产热;另一种是外界环境热

量作用于机体。机体通过对流、传导、辐射、蒸发等途径与外界环境进行热交换，以保持机体的热平衡。机体与周围环境的热交换可用下式表示：

$$M \pm C \pm R - E - W = S \tag{9-1}$$

式中， M 为代谢产热量； C 为人体与周围环境通过对流交换的热量，人体从周围环境吸热为正值，散热为负值； R 为人体与周围环境通过辐射交换的热量，人体从外环境吸收辐射热为正值，散出辐射热为负值； E 为人体通过皮肤表面汗液的蒸发散热量，均为负值； W 为人体对外做功所消耗的热量，均为负值； S 为人体的蓄热状态。

显然，当人体产热和散热相等时，即 $S = 0$ ，人体处于动态热平衡状态；当产热多于散热时，即 $S > 0$ ，人体热平衡破坏，可导致体温升高；当散热多于产热时，即 $S < 0$ ，可导致体温下降。图 9-2 为人体热平衡状态图。

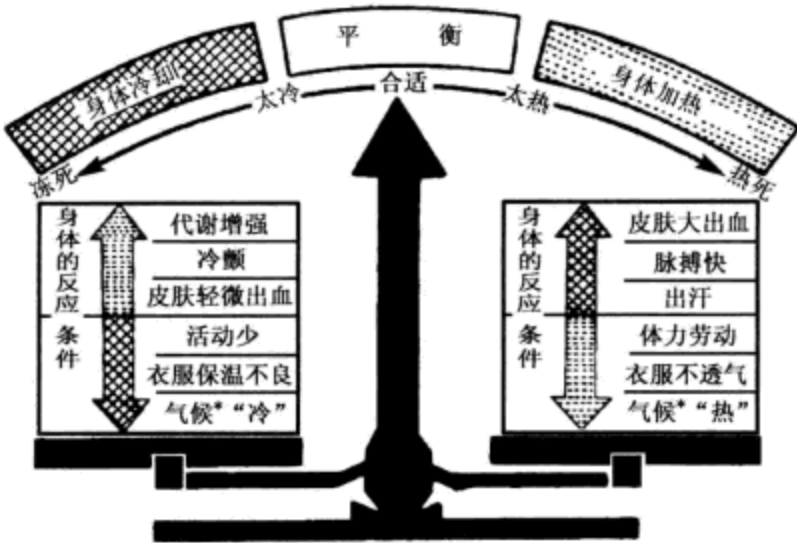


图 9-2 人体热平衡状态图

人体的热平衡并不是一个简单的物理过程，而是在神经系统调节下的非常复杂的过程。所以，周围热环境各要素虽然经常在变化，而人体的体温仍能保持稳定。只有当外界热环境要素发生剧烈变化时，才会对机体产生不良影响。

9.2.3 热环境对人体的影响

1. 热舒适环境

热舒适环境的定义是：人在心理状态上感到满意的热环境。所谓心理上感到满意就是既不感到冷，又不感到热。影响热舒适环境有六个主要因素，其中四个与环境有关，即空气的干球温度、空气中的水蒸气分压力、空气流速以及室内物体和壁面辐射温度；另外有两个因素与人有关，即人的新陈代谢和服装。此外，还与一些次要因素有关，例如大气压力、人的肥胖程度、人的汗腺功能等。为了建立符合人们心理要求的热舒适环境，可由图 9-3 来了解其主要影响因素的相互关系和最佳组合。

图 9-3 是空调工程中常用的温湿图和舒适区。设干球温度为 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，水蒸气分压力为 $2\text{ }000\text{ Pa}$ ，则在图中找到交点 K ，过 K 点有一条斜虚线，该虚线与相对湿度 100% 曲线交点的水平坐标值为 $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，称其为“有效温度 ET ”；该虚线与相对湿度 50% 曲线交点的水平坐标值为 $25.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，称该值为“新有效温度 ET^* ”。现在主要采用新有效温度来进行热舒适环境的研究。

在温湿度图上的阴影区，是由数千名受试者投票统计结果而确定的热舒适

区。主要环境因素组合处于该区域内，可满足人对热环境舒适性的要求。

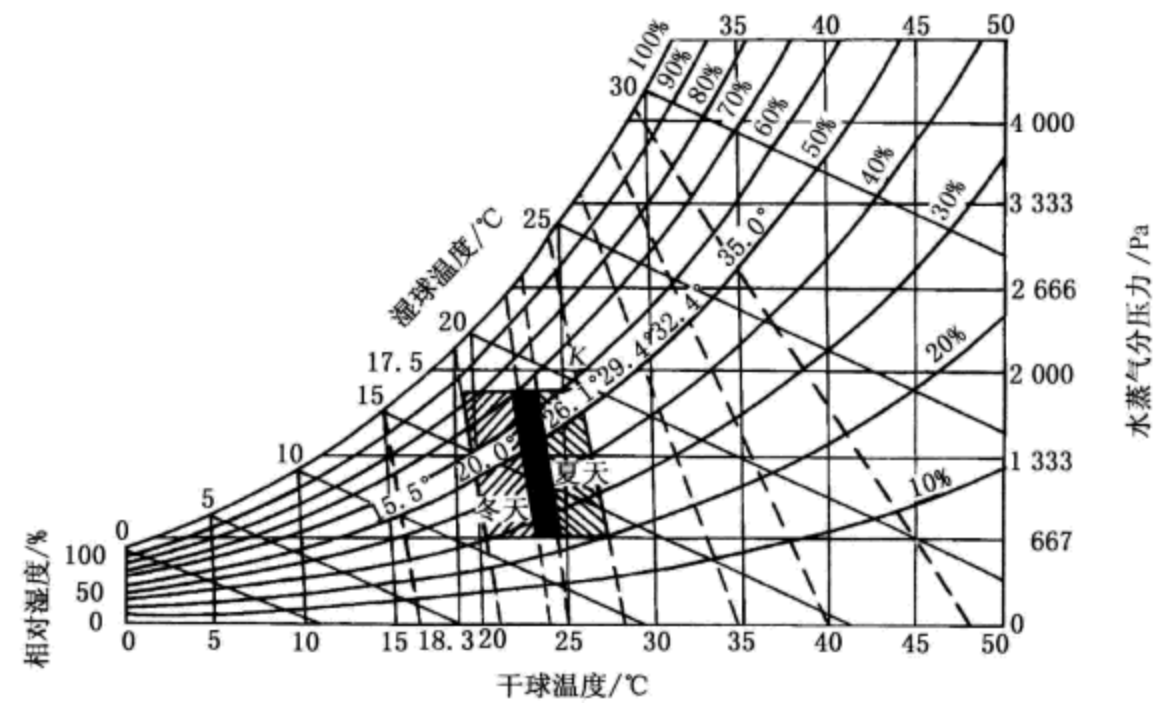


图 9-3 常用的温湿图和舒适区

2. 过冷、过热环境对人体影响

人体具有较强的恒温控制系统，可适应较大范围的热环境条件。但是，人处于远远偏离热舒适范围、并可能导致人体恒温控制系统失调的热环境中，将对人体造成伤害。

(1) 低温冻伤 低温对人体的伤害作用最普遍的是冻伤。冻伤的产生与人在低温环境中暴露时间有关，温度越低，形成冻伤所需的时间越短。例如，温度为 5~8℃ 时，人体出现冻伤一般需要几天时间；而在 -73℃ 时，暴露时间只需 12 s 即可造成冻伤。人体易于发生冻伤的部位是手、足、鼻尖或耳廓等部位。

(2) 低温的全身性影响 人在温度不十分低的环境（-1~6℃）中依靠体温调节系统，可使人体深部温度保持稳定。但是在低温环境中暴露时间较长，深部体温便会逐渐降低，出现一系列的低温症状。首先出现的生理反应是呼吸和心率加快，颤抖等现象；接着出现头痛等不适反应。深部体温降至 34℃ 以下时，症状即达到严重的程度，产生健忘、呐吃和定向障碍；降至 30℃ 时，全身剧痛，意识模糊；降至 27℃ 以下时，随意运动丧失，瞳孔反射、深部腱反射和皮肤反射全部消失，人濒临死亡。

(3) 高温烫伤 高温使皮肤温度达 41~44℃ 时即会感到灼痛，若高温继续上升，则皮肤基础组织便会受到伤害。高温烫伤在生产中并不少见，一般以局部烫伤为最多，全身性烫伤见于火灾事故等。

(4) 全身性高温反应 人在高温环境中停留时间较长，体温会渐渐升高，当局部体温高达 38℃，便会产生不舒适反应。人在体力劳动时主诉可耐受的深部体温（通常以肛温为代表）为 38.5~38.8℃，高温极端不舒适反应的深部体温临界值为 39.1~39.4℃。深部体温超过这一限度，汗率和皮肤热传导量都不再上升，表明人体对高温的适应能力已达到极限。如果温度再升高，即会出现生理危象。全身性高温的主要症状为：头晕、头痛、胸闷、心悸，视觉障碍（眼花）、恶心、呕吐、癫痫样抽搐等。温度过高还会引起虚脱、肢体强直、大小便失禁、晕厥、烧伤、昏迷直至死亡。

应该指出的是：人体耐低温能力比耐高温能力强。当深部体温降至 27℃ 时，经过抢救还可存活；而当深部体温高到 42℃ 时，则往往引起死亡。

9.2.4 热环境对工作的影响

虽然正常工作与生活的人很少会因过冷或过热环境而影响健康及生命，但在某些特定的工作条件下，人们却必须在过冷或过热环境中工作，不仅使影响健康的危害性大大增加，而且人的工作能力也无疑受到影响。

1. 热环境对脑力劳动的影响

为了提供公共建筑内的热舒适条件，曾对室内空气温度与脑力劳动的关系进行过大量试验。图9-4(a)是脑力劳动工作效率随室内空气温度的变化关系；图9-4(b)是脑力劳动相对差错次数与空气温度的变化关系。虽然两图中的曲线是在实验条件下，根据明显的变化趋势作出的一般结论。然而，在实际工作条件下，这一结论也得到了证实。

2. 热环境对体力劳动的影响

实地研究表明，在偏离热舒适区域的环境温度下从事体力劳动，小事故和缺勤的发生几率增加，车间产量下降。当环境温度超出有效温度 27°C 时，发现需要用运动神经操作、警戒性和决断技能的工作效率会明显降低，而非熟练操作工的工作效能比熟练工损失更大。低温对人的工作效率的影响，最敏感的是手指的精细操作。当手部皮肤温度降低至 15.5°C 以下时，手部操作灵活性会急剧下降，人手的肌力和肌动感觉能力都会明显变差，从而引起操作效率的下降。

图9-5(a)为马口铁工相对产量的季节性变化，表明在高温条件下会降低重体力劳动的效率。图9-5(b)为军火工厂相对事故发生率与温度的关系，表明温度偏离舒适值将影响事故发生率。

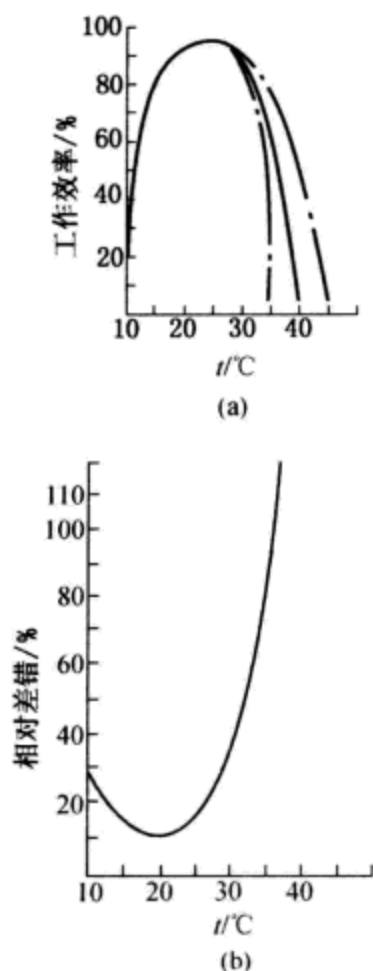


图9-4 气温对效率和相对差错的影响

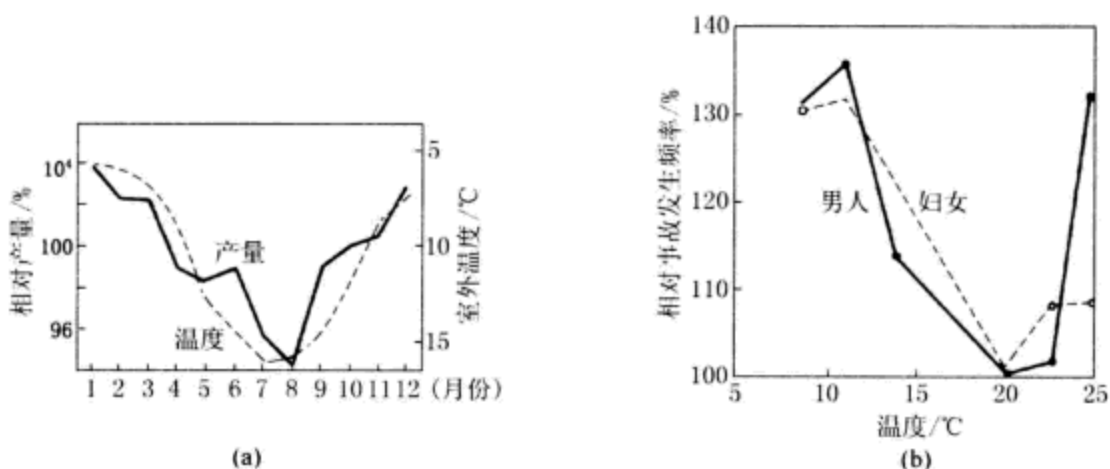


图9-5 温度对生产率和事故发生率的影响

综上所述，过度的冷或热都会影响人的脑力及体力工作能力。显然，对危及健康的工作热环境，应采取缩短工作时间和相应的防护措施；对暂无条件改善的工作热环境，只能牺牲工作效率和增加人体不舒适感；而对新设计的办公室、工厂之类的工作场所采用热舒适环境设计是合理的。对于最佳热舒适温度有 3°C 偏离一般不影响工作能力，从对人体最佳激励和经济性考虑，设计时可根据不同工作性能使温度向最佳温度的某一方向有一定偏离。

9.2.5 热环境的主观评价标准

1. 主观评价依据

热环境对人体影响的主观感觉是评价热环境条件的主要依据之一，几乎所有的热环境评价标准都是在研究人的主观感觉的基础上制订的。当调查人数足够多而且方法适当时，所获得的资料便可以作为主观评价的依据。表9-1是

对上海地区工厂工人的调查资料，表 9-2 是对广州地区居民的调查资料，可供评价热环境时参考。

表 9-1 在不同气温下工厂工人的主观感觉

数据/ 主观感觉 气温/℃	热	尚可	舒适	数据/ 主观感觉 气温/℃	热	尚可	舒适
17.6~20.0	0	16.6	83.4	32.6~35.0	27.5	58.2	14.3
20.1~22.5	0	60	50	35.1~37.5	46.3	47.0	6.7
22.6~25.0	0	22.5	77.5	37.6~40.0	55.0	45.0	0
25.1~27.5	0	52	48	40.1~42.5	56.0	44.0	0
27.6~30.0	6.2	63.8	30.0	42.6~45	100	0	0
30.1~32.5	16.8	64.7	18.5				

表 9-2 热环境对人体舒适感影响的主观评价

空气温度/℃	25.1~27.0	27.1~29.0	29.1~31.0	31.1~32.0	32.1~33.0
热辐射温度/℃	25.6~27.8	27.8~29.7	29.7~32.0	32.5~32.7	33.4~33.5
空气相对湿度/%	85~92	84~90	76~80	74~79	74~76
气流速度/(m·s ⁻¹)	0.05~0.1	0.05~0.2	0.1~0.2	0.2~0.3	0.2~0.4
人体温度/℃	36.0~36.4	36.0~36.5	36.2~36.4	36.3~36.6	36.4~36.8
皮肤温度/℃	29.7~29.9	29.7~32.1	33.1~33.9	33.8~34.6	34.5~35.0
出汗情况	无	无	无	微少	较多
人体活动特征	可穿外衣，工作愉快，有微风时清凉，无微风工作仍适宜，吃饭不出汗，夜间睡眠舒适	可穿衬衣，有微风时工作舒适，无微风时感到微热，但不出汗，夜间睡眠仍感舒适	稍感到热，有微风时工作尚可，无微风时出微汗，夜间不易入睡，蒸发散热增加	有风时勉强工作，但较干燥，较热，口渴；有微风时仍出微汗，夜间难睡，主要靠蒸发散热	皮肤出汗，家具表面发热，感觉闷热工作困难，虽有风，工作仍感困难
主观评价	凉爽，愉快	舒适	稍热，尚可	较热，勉强	过热，难受

2. 耐受标准

若以人不能耐受的温度作为限度，则低于或高于该限度的温度称为可耐温度，见图 9-6 所示。图中曲线 1 为高温可耐限，曲线 2 为低温可耐限，两曲线的中间区域，是人对温度的主诉可耐区。

3. 安全标准

若以不出现生理危险或伤害作用的温度作为极限标准，则称为温度的安全限度，见图 9-7 所示。图中范围 1 为低温安全限度，范围 2、3、4、5 分别为空气相对湿度为 100%、50%、25%、10% 时的高温安全限度。当温度超过安全限度时，将出现高温或低温生理危险或伤害。但在劳动条件下，高温安全限度要比图示数值稍低。

4. 工作效率不受影响的温度范围

若以保持人的工作效率的温度为限度，则可确定工作效率不受影响的温度范围，图 9-8 (a) (b) 分别为工作效率不受影响的允许温度和温度范围。图

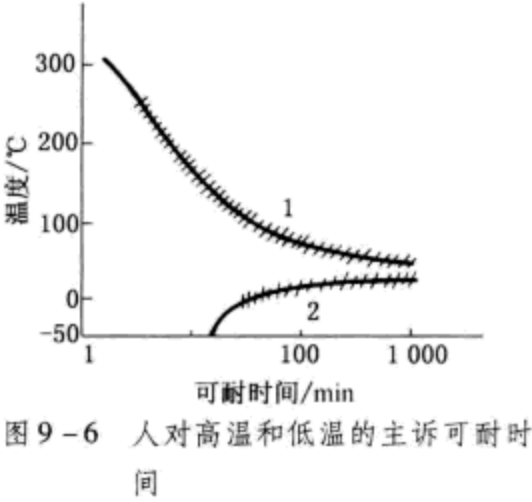


图 9-6 人对高温和低温的主诉可耐时间

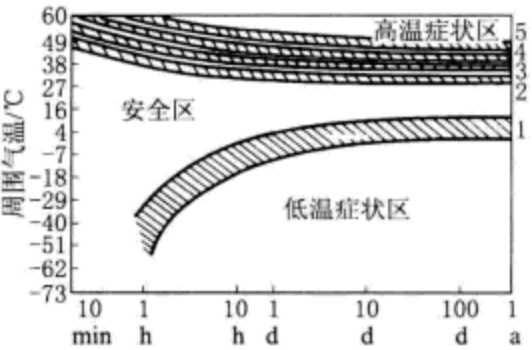


图 9-7 温度的安全限度

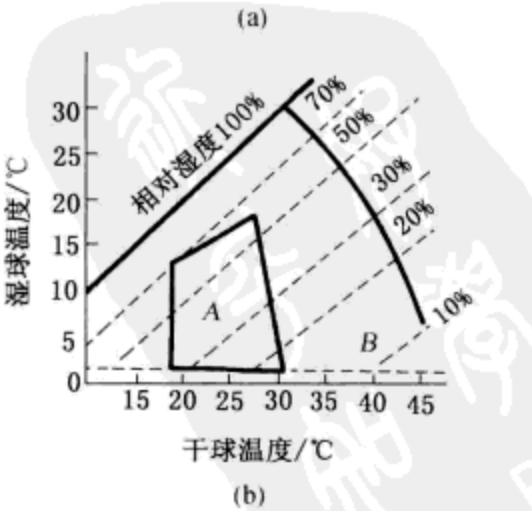
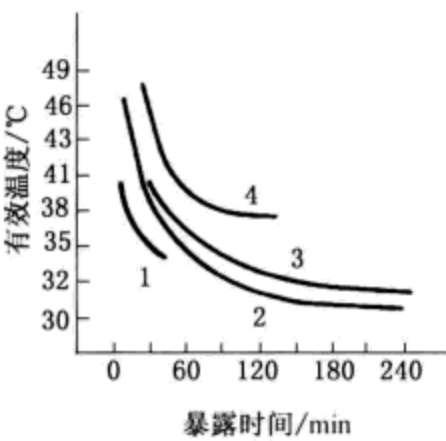


图 9-8 工作效率不受影响的允许温度和温度范围
(a) 允许温度；(b) 温度范围

(a) 中曲线 1 为复杂操作效率不受影响的限度；曲线 2 为智力工作效率不受影响的限度；曲线 3 为生理能耐限度；曲线 4 为出现虚脱危险的限度。图 (b) 中 A 为工作效率不受影响的温度范围，B 为生理能耐限度。

5. 工业生产热环境标准

① 在工业生产中根据作业特征和劳动强度不同，要求有不同的热环境。表 9-3 为工厂车间内作业区的空气温度和湿度标准。

表 9-3 工厂车间内作业区的空气温度和湿度标准

车间和作业的特征			冬 季		夏 季	
			温度/℃	相对湿度	温度/℃	相对湿度
主要放散对流热的车间	散热量不大的	轻 作 业	14 ~ 20	不 规 定	不超过室外温度 3 ℃	不 规 定
		中等作业	12 ~ 17			
		重 作 业	10 ~ 15			
	散热量大的	轻 作 业	16 ~ 25	不 规 定	不超过室外温度 5 ℃	不 规 定
		中等作业	13 ~ 22			
		重 作 业	10 ~ 20			
	需要人工调节温度和湿度的	轻 作 业	20 ~ 23	≤ (80 ~ 75) %	31	≤ 70 %
		中等作业	22 ~ 25	≤ (70 ~ 65) %	32	≤ (70 ~ 60) %
		重 作 业	24 ~ 27	≤ (60 ~ 55) %	33	≤ (60 ~ 50) %
放散大量辐射热和对流热的车间 (辐射强度大于 $2.5 \times 10^5 \text{ J}/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$)			8 ~ 15	不 规 定	不超过室外温度 5 ℃	不 规 定
放散大量湿气的车间	散热量不大的	轻 作 业	16 ~ 20	≤ 80 %	不超过室外温度 3 ℃	不 规 定
		中等作业	13 ~ 17			
		重 作 业	10 ~ 15			
	散热量大的	轻 作 业	18 ~ 23	≤ 80 %	不超过室外温度 5 ℃	不 规 定
		中等作业	17 ~ 21			
		重 作 业	16 ~ 19			

② 对工业企业和服务性行业工作地点具有生产性热源，且室外实际出现本地区夏季室外通风设计计算温度时，其工作地点的温度高于室外 2 ℃ 或 2 ℃ 以上的作业为高温作业。GB 935—1989 标准规定，高温作业工人在不同工作地点温度、不同劳动强度条件下允许持续接触热时间不得超过表 9-4 所列数值。

表 9-4 高温作业允许持续接触热时间限值

工作地点 温度/℃	轻劳动 /min	中等劳动 /min	重劳动 /min	工作地点 温度/℃	轻劳动 /min	中等劳动 /min	重劳动 /min
> 30 ~ 32	80	70	60	> 38 ~ 40	40	30	20
> 32 ~ 34	70	60	50	> 40 ~ 42	30	20	15
> 34 ~ 36	60	50	40	> 42 ~ 44	20	10	10
> 36 ~ 38	50	40	30				

为保证高温作业工人持续接触热环境后生理功能得到恢复，标准还规定，持续接触热环境后必要休息时间不得少于 15 min，且休息时应脱离热环境。在应用该标准时，如高温作业工作地点空气湿度大于 75% 时，则空气湿度每增加 10%，允许持续接触时间相应降低一个档次，即采用高于工作地点温度

2℃的时间限值。

9.3 人与光环境

9.3.1 良好光环境的作用

作业场所的光环境，有天然采光和人工照明。利用自然界的天然光源形成作业场所光环境的叫天然采光（简称采光）；利用人工制造的光源构成作业场所光环境的称人工照明（简称照明）。作业场所的合理采光与照明，对生产中的效率、安全和卫生都有重要意义。

1. 光环境对生产率的影响

根据大量的改善光环境而具有一定效果的定量数据和统计分析的结果，可用图9-9来说明良好光环境的作用。由图可知，良好的光环境主要是通过改善人的视觉条件（照明生理因素）和改善人的视觉环境（照明心理因素）来达到提高生产率的。

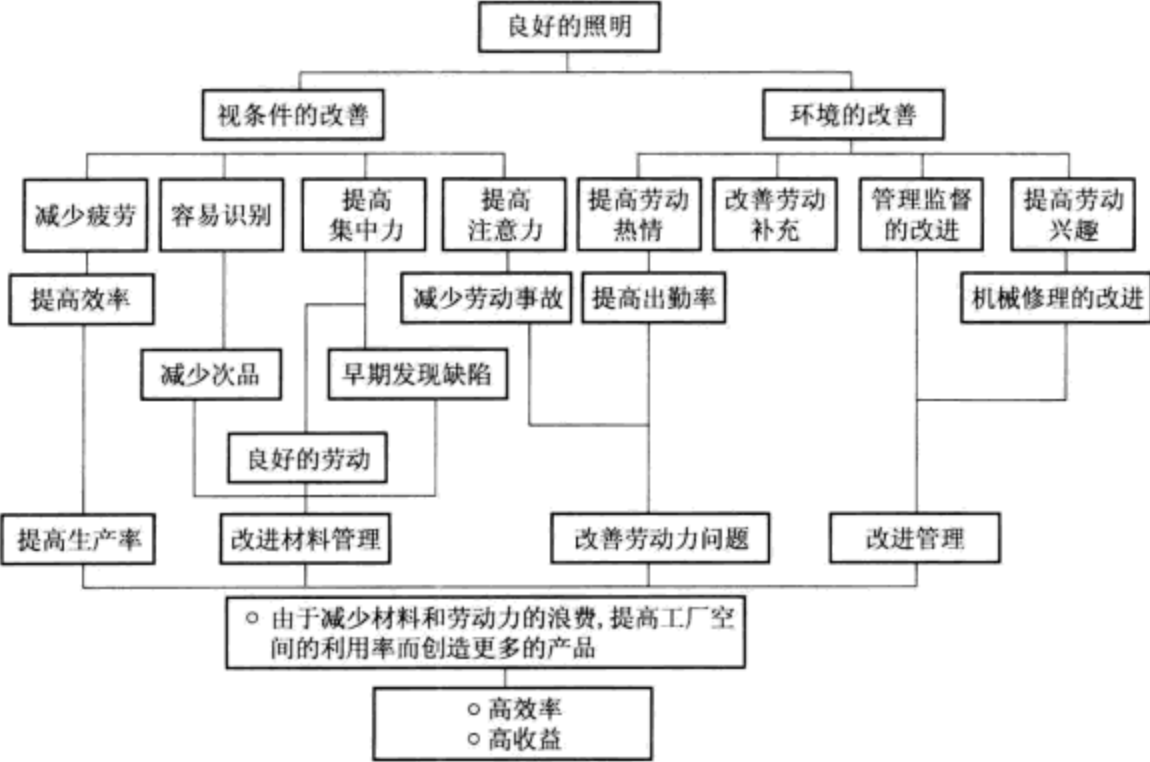


图 9-9 良好光环境的作用

2. 光环境对安全的影响

良好的光环境对降低事故发生率和保护工作人员的视力和安全有明显的效果。图9-10（a）是因改善照明和工作场所的粉刷而减少事故发生率的统计资料。从中可以看出，仅改善照明一项，现场事故就减少了32%，全厂事故减少了16.5%；如同时改善照明和粉刷，事故的减少就更为显著。图9-10（b）则说明良好照明使事故次数、出错次数、缺勤人数明显减少。

9.3.2 对光环境的要求

照明的目的大致可以分为以功能为主的明视照明和以舒适感为主的气氛照明。作业场所的光环境，明视性虽然重要，而环境的舒适感，心情舒畅也是非常重要的。前者与视觉工作对象的关系密切，而后者与环境舒适性的关系很大。

为满足视觉工作和环境舒适性的需要，光环境设计应考虑以下几项主要要求。

1. 设计的基本原则

- ① 合理的照度平均水平，同一环境中，亮度和照度不应过高或过低，也不要过于一致而产生单调感；
 - ② 光线的方向和扩散要合理，避免产生干扰阴影，但可保留必要阴影，使物体有立体感；
 - ③ 不让光线直接照射眼睛，避免产生眩光，而应让光源光线照射物体或物体的附近，只让反射光线进入眼睛，以防止晃眼；
 - ④ 光源光色要合理，光源光谱要有再现各种颜色的特性；
 - ⑤ 让照明和色相协调，使气氛令人满意，这称为照明环境设计美的思考；
 - ⑥ 创造理想的照明环境不能忽视经济条件的制约，因而必须考虑成本。
- 依据设计基本原则，实现良好照明的特性因素如图 9-11 所示。

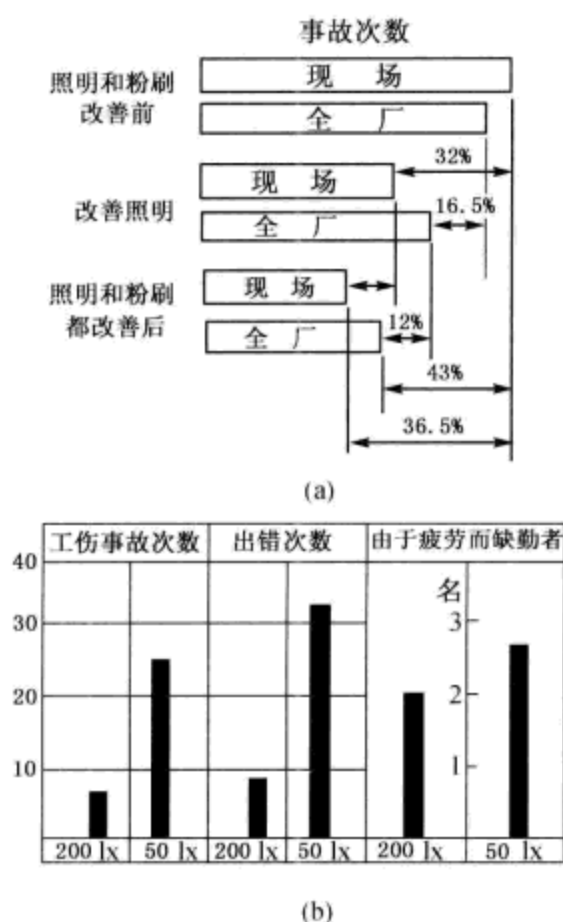


图 9-10 照明与事故发生率的关系

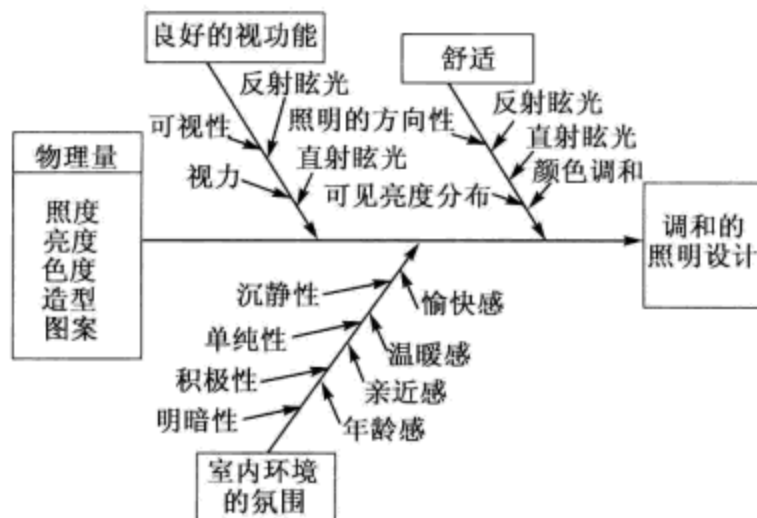


图 9-11 良好照明的特性因素

2. 天然光照度和采光系数

由于直射阳光变化大，不能用它作为稳定光源，而是把天空光及其反射光作为天然采光的光源。又因天空光也有相当大的变化，室内天然光照度也随之变化，所以像人工照明那样来决定照度标准是困难的。在采光设计中将天然采光系数作为天然采光设计的指标，对于室内某一点的采光系数 c ，可按下列公式计算：

$$c = \frac{E_n}{E_w} \times 100\% \quad (9-2)$$

式中， E_n 为室内某一点的照度； E_w 为与 E_n 同一时间的室外照度。

在满足视机能基本要求的条件下，采光系数是比较全面的指标。常以采光系数的最低值作为设计标准值。我国的采光与照明标准中规定，生产车间工作面上的采光系数最低值不应低于表 9-5 所规定的数值。

表 9-5 生产车间工作面上的采光系数最低值

采光等级	视觉工作分类		室内天然光照度最低值 /lx	采光系数最低值 /%
	工作精确度	识别对象的最小尺寸 d/mm		
I	特别精细工作	$d \leq 0.15$	250	5
II	很精细工作	$0.15 < d \leq 0.3$	150	3
III	精细工作	$0.3 < d \leq 1.0$	100	2
IV	一般工作	$1.0 < d \leq 5.0$	50	1
V	粗糙工作	$d > 5.0$	25	0.5

注：1. 采光系数最低值是根据室外临界照度为 5 000 lx 制定的。如采用其他室外临界照度值，采光系数最低值应作相应的调整；
2. 生产车间和工作场所的采光等级可参考有关标准

为确保室内所必需的最低限度的照度，在进行采光设计时，采用通常出现的低天空照度值作为设计依据。必要的最低照度设计用的天空照度值见表 9-6。将某种条件下的天空照度值乘以选用的采光系数，就可计算出某种条件下室内某点的天然光照度。

表 9-6 必要的最低照度设计用的天空照度值

条 件	天 空 照 度/lx
对于有代表性的太阳高度角的天气状况的最低值	5 800
对于最低太阳高度角的天气状况的代表值	5 600
对于最低太阳高度角的天气状况的最低值	1 300
全年的采光时间的 99% 的最低值	2 000
全年的采光时间的 95% 的最低值	4 500

3. 照明的照度与照度分布

照度是照明设计的数量指标。它表明被照面上光的强弱，以被照场所光通的面积密度来表示。取微小面积 dA ，入射的光通为 $d\phi_i$ ，则照度 E 为：

$$E = \frac{d\phi_i}{dA} \quad (9-3)$$

照明的照度按以下系列分级：2 500、1 500、1 000、750、500、300、200、150、100、75、50、30、20、10、5、3、2、1、0.5、0.2 lx。

我国的照度标准是以最低照度值作为设计的标准值。标准规定生产车间工作面上的最低照度值，不得低于表 9-7 所规定的数值。

表 9-7 生产车间工作面上的最低照度值

识别对象的最小尺寸/mm	视觉工作分类等级		亮度对比	最低照度/lx	
				混合照明	一般照明
$d \leq 0.15$	I	甲	小	1 500	—
		乙	大	1 000	—
$0.15 < d \leq 0.3$	II	甲	小	750	200
		乙	大	500	150
$0.3 < d \leq 0.6$	III	甲	小	500	150
		乙	大	300	100

续表

识别对象的最小尺寸/mm	视觉工作 分类等级		亮度对比	最低照度/lx	
				混合照明	一般照明
$0.6 < d \leq 1.0$	IV	甲	小	300	100
		乙	大	200	75
$1 < d \leq 2$	V	—	—	150	50
$2 < d \leq 5$	VI	—	—	—	30
$d > 5$	VII	—	—	—	20
一般观察生产过程	VIII	—	—	—	10
大件贮存	IX	—	—	—	5
有自行发光材料的车间	X	—	—	—	30
注：1. 一般照明的最低照度一般是指距墙 1 m（小面积房间为 0.5 m）、距地为 0.8 m 的假定工作面上的最低照度； 2. 混合照明的最低照度是指实际工作面上的最低照度； 3. 一般照明是指单独使用的一般照明					

若照度标准值用 E_n 表示，则工作面上的最小照度 E_{\min} 应满足下式：

$$E_{\min} \geq E_n \quad (9-4)$$

由于视觉工作对象的正确布置及其如何变化通常难以预测，因而希望工作面照度分布相对比较均匀。在全部工作平面内，照度不必都一样，但变化必须平缓。因此，对工作面上的照度分布推荐值如下：即局部工作面的照度值最好不大于照度平均值的 25%；对于一般照明，最小照度与平均照度之比规定为 0.8 以上。

4. 亮度分布

为了形成良好的明视和舒适的照明环境，需要有适当的亮度分布。亮度分布可通过规定室内各表面的适宜的反射系数范围，以组成适当的照度分布来实现。有关亮度分布、室内各表面的反射系数以及各表面照度分布同各表面反射系数相配合的推荐值如下：

① 室内各部分的亮度分布的限度见表 9-8；

表 9-8 亮度对比最大值

室内各部分	办公室	车 间
工作对象与其相邻近的周围之间（如书或机器与其周围之间）	3:1	3:1
工作对象与其离开较远处之间（如书与地面、机器与墙面之间）	5:1	10:1
照明器或窗与其附近周围之间		20:1
在视野中的任何位置		40:1

② 室内各表面反射系数的推荐值见表 9-9；

表 9-9 室内反射率的推荐值

室内各表面	反射率的推荐值/%
顶棚	80~90
墙壁（平均值）	40~60
机器设备、工作桌（台）	25~45
地面	20~40

③ 照度分布和室内各表面的反射系数推荐值见图 9-12。

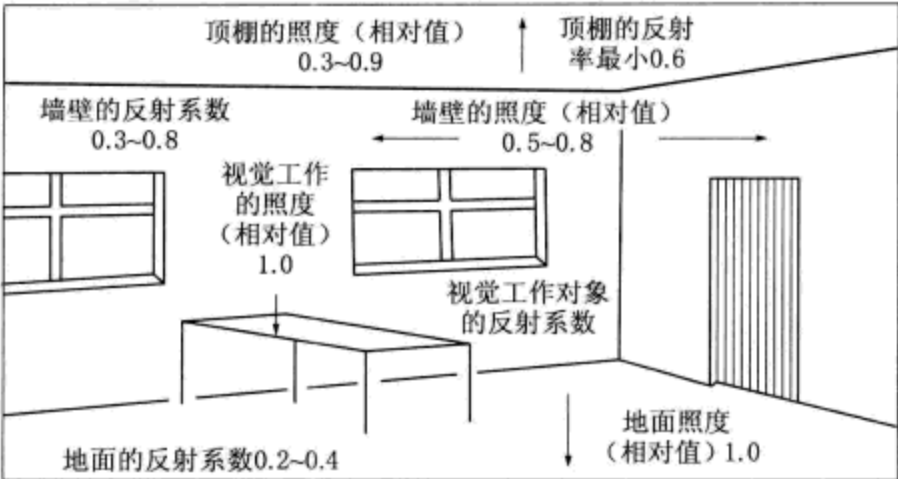


图 9-12 室内各表面的反射系数和相对照度

5. 光的方向性和扩散性

由于光照射到对象上的方向不同，在对象上产生的阴影、反射状况和亮度分布也不相同，从而会使人产生满意和不满意两种情况。

(1) 满意的状态 对于需要清楚表现出室内人和对象物形态的立体视觉工作对象，当形成适宜的阴影时，则可改善其可见度。为此，光不能从几个方向来照射，而几乎是由一个方向照射来实现，而且当立体的明亮部分同最暗部分的亮度比为 3:1 时，是形成立体感的最理想的照明条件。

通常，当安设从斜面来的指向性光照射时，可产生小的阴影来表现物体的粗糙和凹凸等，以强调材质感，而且最好用点光照明和壁面照明，从而可形成愉快的照明效果。此外，用立体角小的高亮度光源还可以强调光亮、光泽等材质感的效果，给人以豪华的或诱人的美，或者使人心情舒畅。

(2) 不满意的状态 当视觉工作对象上产生阴影时，则使对象的亮度和亮度对比降低。在工作面上产生手或身体的阴影，或者人脸由逆光照明所形成的阴影，都不能令人满意。如将照明器做成扩散性的，并在布置上加以注意，可防止产生这种现象。

在视野内因看见亮度过高的点和面所引起的障碍，称为眩光。眩光可引起不舒适感、眼疲劳、可见度降低等。因此，应该尽力加以避免和限制。对于由天然光或强烈的人工光源而引起的直接眩光，可以通过减少引起眩光的高亮度的面积；增加视线和眩光源间的角度；提高眩光源周围地区的亮度等方法来加以限制。对于由视野内的天花板、墙壁、机器或其他表面反射而产生的反射眩光，则可以通过降低光源亮度、改变光源位置或改变作业对象的位置，使反射眩光避开观察者的眼睛；或变更反射物体表面的性质，使之不产生或少产生反射；也可以提高周围环境亮度，以减少反射物与周围环境之间的亮度对比来限制反射眩光。

6. 光源色和显色性

(1) 色温 各种光源都具有固有的颜色，而光源的各种各样固有的颜色可用色温来表示。当热辐射光源（如白炽灯、卤钨灯等）的光谱与加热到温度为 T_e 的黑体发出的光谱分布相似时，则将温度 T_e 称为该光源的色温，其单位是绝对温度（K）。各种光源的色温度见表 9-10。因光源的色温不同，人对照度和色温有表 9-11 所示的一般感觉。

表 9-10 各种光源的色温度

光 源	色温度/K	光 源	色温度/K
太阳（大气外）	6 500	钨丝白炽灯（100 W）	2 740
太阳（在地表面）	4 000 ~ 5 000	钨丝白炽灯（1 000 W）	2 020
蓝色天空	18 000 ~ 22 000	荧光灯（昼光灯）	6 500
月亮	4 125	荧光灯（白色）	4 500
蜡烛	1 925	荧光灯（暖白色）	3 500
煤油灯	1 920	钠灯	6 000
弧光灯	3 780	铊钠灯	3 800 ~ 4 200
钨丝白炽灯（10 W）	2 400	高压钠灯	2 100

表 9-11 对照度和色温的一般感觉

照度/lx	对光源色的感觉		
	暖	中间	冷
≤500	愉快	中间	冷
500 ~ 1 000	↑	↑	↑
1 000 ~ 2 000	刺激	愉快	中间
2 000 ~ 3 000	↓	↓	↓
≥3 000	不自然	刺激	愉快

研究表明，在不同的照明环境中，照明水平和反映照明光性质的色温都能影响人的舒适感。图 9-13 给出照度水平与色温舒适感的关系。在低照度下，舒适光的色温接近火焰的低色温；在高照度下，舒适的光色是接近正午阳光或偏蓝的高色温光色。该结论与人长期对自然光和火焰光的适应性有关。

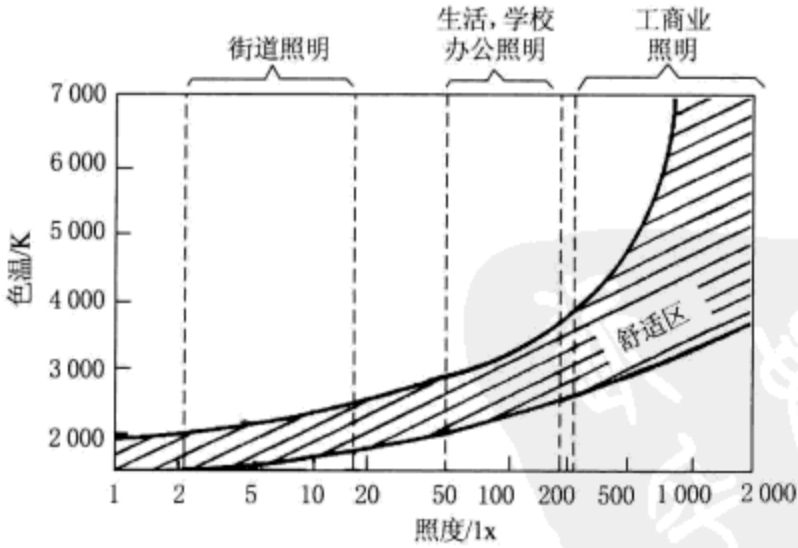


图 9-13 照度水平与色温舒适感关系

(2) 显色性 由光源所表现的物体色的性质称为光源的显色性。通常，光源的显色性用显色指数来表示，平均显色指数 R_a 是从光的光谱分布计算求出的。在显色性的比较中，一般是以日光或接近日光的人工光源作为标准光源，其显色性最优，将其显色指数 R_a 用 100 表示，其余光源的显色指数均小

于100。各种光源的平均显色指数见表9-12。室内照明光源显色性可按表9-13规定选取。

表9-12 各类光源的显色指数

光 源	显色指数	光 源	显色指数
白色荧光灯	65	荧光水银灯	44
日光色荧光灯	77	金属卤化物灯	65
暖白色荧光灯	59	高显色金属卤化物灯	92
高显色荧光灯	92	高压钠灯	29
水银灯	23	氙灯	94

表9-13 光源的显色性分组

显色性组别	显色指数范围	应用示例	
		优先采用	允许采用
1A	$R_a \geq 90$	颜色匹配 医疗诊断	—
1B	$90 > R_a \geq 80$	办公室 医院 印刷、油漆和纺织 工业、精密加工工业	—
2	$80 > R_a \geq 60$	工业生产	办公室
3	$60 > R_a \geq 40$	粗加工工业	工业生产
4	$40 > R_a \geq 20$	—	粗加工工业

9.3.3 色彩调节

1. 色彩的感情效果

利用色彩的感情效果，在工作场所构成一个良好的光色环境，称为色彩调节。

如果人的作业环境缺乏色彩，那么将影响人对外界信息的接受，影响人的感情和情绪。色彩引起人们心理上、情绪上、情感上及认知上的变化，都可以作为调节现有环境条件、提高工作效率的手段。色彩的感情效果，可以从表9-14中的因素进行分析，如暖寒感、轻重感、硬软感、强弱感、明快阴晦感、兴奋沉静感、漂亮朴素感等。

表9-14 色彩的感情效果

心理因子	评 价	活 动	力 量
关 系 深 浅 尺 度	喜欢—讨厌	动—静	强—弱
	美丽—丑陋	暖—冷	浓艳—清淡
	自然—做作	漂亮—朴素	硬—软
		明快—阴晦	刚—柔
		前进—后退	重—轻
		烦躁—安定	
		光亮—灰暗	

续表

心理因子		评 价	活 动	力 量
与色彩三属性关系	色调	绿、青↔红、紫	红（暖色）↔青（冷色）	基本无关
	饱和度	大↔小	大↔小	基本无关
	明度	大↔小	大↔小	小↔大

日本学者大山称之为“意义微分法”。用这一方法对住宅或工场壁色的测定评价，称之为SD法。把色彩三属性作为三个横坐标，把心理影响的程度大小作为纵坐标，对室内环境的色彩气氛影响程度进行测评，用图表示，可以得到三类曲线，如图9-14所示，称为SD图。这里，色调用门塞尔色环（Munsell-Wheel）上的R（红）、YR（黄红）、Y（黄）、GY（绿黄）、G（绿）、BG（青绿）、B（青）、PB（紫青）、P（紫）、RP（红紫）十种颜色作坐标点；明度也用门塞尔表色系0~9V（表示从理想黑经灰到理想白的绝对明度）分成若干等级；饱和度的划分则按门塞尔表色系的0~14C（表示从无色彩的白灰黑逐渐到纯色的程度）分成若干等级。这里摘录三类曲线是根据心理因子中的“活动性”再分为“活动性”“心情愉快”“暖和”这三者测定的。

由图9-14可知，活动性-明度、情绪-饱和度、暖和感-色调三种曲线的变化最大，说明明度对活动性因子影响最大，饱和度对情绪的影响最大，色调对暖和感的影响最大。所以，亮度大的壁面增加活力造成快活的气氛；饱和度过大对情绪有不良影响，饱和度在2左右也有一个低负荷谷，说明饱和度低对情绪也有不良影响，较佳为4左右，这与实际中人们不希望壁面涂料太蓝或太白的心情符合；而暖色给人以暖和感，冷色给人以寒冷感这是人们的日常生活经验。

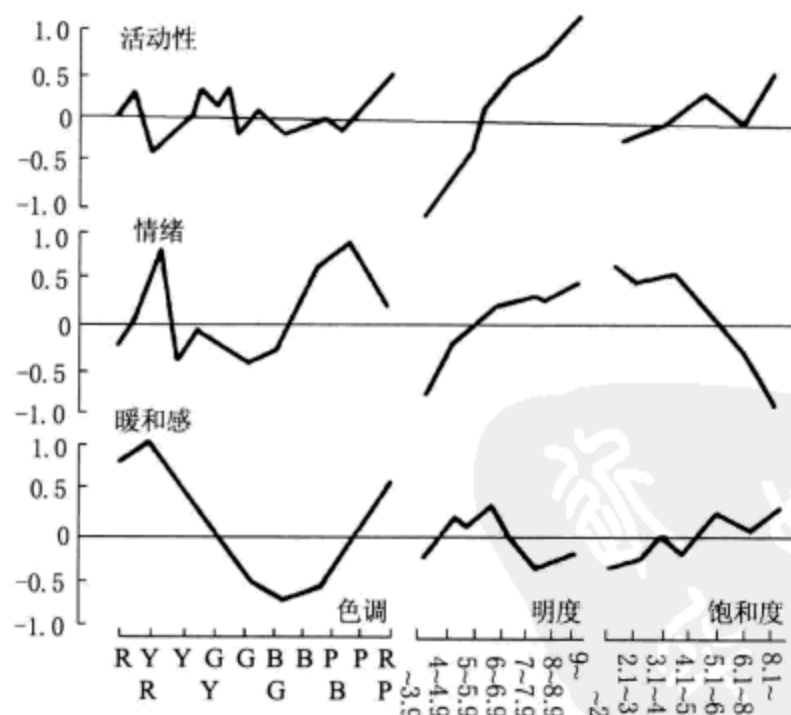


图9-14 环境色彩对气氛的影响程度

2. 环境色彩的选择

根据表9-14及相应的SD图，并结合作业环境条件的特点，决定色彩调节时采用的各种色调、明度和彩度。选择的主要原则是：

狭小的空间，需采用“后退”的活动心理因子（使四壁“向后”），用绿

蓝色、低饱和度、稍低明度。

空旷的空间，需采用“前进”的活动心理因子，用黄色、高明度、稍高饱和度。

车间地面，为防止“打瞌睡”、增加活力，用红色、稍高饱和度。但考虑到避免疲劳，以低明度安定情绪。

车间天花板，为避免“压抑感”，采用青蓝色。如用天顶内藏式照明光，由于明度增大，可增加青蓝色饱和度来进行调节。

环境色彩选择的具体方法如下：

机械设备本体的颜色：色调用 5G ~ 5B，明度 $V=5 \sim 6$ ，彩度 $C=3$ 左右，或用无彩色 N6 ~ 7。但大型设备如果也用 $V=5 \sim 6$ ，则会使房间内显得暗淡，故可选用 $V=8$ 。当需要把机械的工作部分与本体分开时，工作部分可用 7.5YR8/4。

如果工作面与环境墙壁的明度不同，则眼睛移开工作面接触壁面时要进行暗调节，易使眼球疲劳。为此，一般工作面明度选择为 $V=7.5 \sim 8$ ，壁面明度选为 $V=8$ 为宜。要尽量避免刺激性强的高彩度，壁面 $C<3$ 。

墙壁的颜色色调如朝南屋，工作温度较高，则选用有寒冷感的，如 2.5G；朝北房间，工作温度较低的用有暖感的，如 2.5Y。高温工作间用 5BG ~ 5B。

天花板人们习惯用白色，因为白色反射率高。但在面积较大而天花板又较低的车间，如一抬头就是白色天花板，会产生一种压抑感，在此情况下，天花板改用青色较好，使人有在青空之下的广阔感。

最不易使人的眼睛疲劳的颜色是 7.5GY8/2，所以它最适用于办公室。

不同车间作业环境色彩设计举例见表 9 - 15。

表 9 - 15 环境色彩设计举例

室内各表面	大型机器车间	小型机器车间
天 棚	5Y9/2	5Y9/2
墙 壁	6GY7.5/2	1.5Y7.5/3
墙 围	10GY5.5/2	7YR5/3.5
地 面	10YR5/4	N5
机 器 本 体	7.5GY7/3	7.5GY6/3
机器工作面	1.5Y8/3	1.5Y8/3

9.3.4 光环境的综合评价

由于光环境设计的目的已从过去单纯提高照度转向创造舒适的照明环境，即由量向质的方向转化。因而从人机工程学对光环境的要求来看，不仅需要対光环境的视功能进行评价，而更需要对光环境进行综合评价。

1. 评价方法

该评价方法考虑了光环境中多项影响人的工作效率与心理舒适的因素，通过问卷法获得主观判断所确定的各评价项目所处的条件状态，利用评价系统计算各项评分及总的光环境指数，以确定光环境所属的质量等级。

评价方法的问卷形式如表 9 - 16 所示，其评价项目包括光环境中 10 项影响人的工作效率与心理舒适的因素，而每项又包括四个可能状态，评价人员经过观察与判断，从每个项目的各种可能状态中选一种最符合自己的观察与感受的状态进行答卷。

表 9-16 评价项目及可能状态的问卷形式

项目编号 <i>n</i>	评价项目	状态编号 <i>m</i>	可能状态	判断投票	注释说明
1	第一印象	1	好		
		2	一般		
		3	不好		
		4	很不好		
2	照明水平	1	满意		
		2	尚可		
		3	不合适, 令人不舒服		
		4	非常不合适, 看作业有困难		
3	直射眩光与 反射眩光	1	毫无感觉		
		2	稍有感觉		
		3	感觉明显, 令人分心或令人不舒服		
		4	感觉严重, 看作业有困难		
4	亮度分布 (照明方式)	1	满意		
		2	尚可		
		3	不合适, 令人分心或令人不舒服		
		4	非常不合适, 影响正常工作		
5	光影	1	满意		
		2	尚可		
		3	不合适, 令人不舒服		
		4	非常不合适, 影响正常工作		
6	颜色显现	1	满意		
		2	尚可		
		3	显色不自然, 令人不舒服		
		4	显色不正确, 影响辨色作业		
7	光色	1	满意		
		2	尚可		
		3	不合适, 令人不舒服		
		4	非常不合适, 影响正常作业		
8	表面装修 与色彩	1	外观满意		
		2	外观尚可		
		3	外观不满意, 令人不舒服		
		4	外观非常不满意, 影响正常工作		
9	室内结构 与陈设	1	外观满意		
		2	外观尚可		
		3	外观不满意, 令人不舒服		
		4	外观非常不满意, 影响正常工作		
10	同室外的 视觉联系	1	满意		
		2	尚可		
		3	不满意, 令人分心或令人不舒服		
		4	非常不满意, 有严重干扰感或 有严重隔离感		

2. 评分系统

对评价项目的各种可能状态，按照它们对人的工作效率与心理舒适影响的严重程度赋予逐级增大的分值，用以计算各个项目评分。对问卷的各个评价项目，根据它们在决定光环境质量上具有的相对重要性赋予相应的权值，用以计算总的光环境指数。

3. 项目评分及光环境指数

① 项目评分计算式（其结果四舍五入取整数）：

$$S(n) = \sum_m P(m) V(n, m) / \sum_m V(n, m) \quad (9-5)$$

式中， $S(n)$ 为第 n 个评价项目的评分， $0 \leq S(n) \leq 100$ ； \sum_m 对 m 个状态求和； $P(m)$ 为第 m 个状态的分值，依状态编号 1、2、3、4 为序，分别为 0、10、50、100； $V(n, m)$ 为第 n 个评价项目的第 m 个状态所得票数。

② 总的光环境指数计算式（其结果四舍五入取整数）：

$$S = \sum_n S(n) W(n) / \sum_n W(n) \quad (9-6)$$

式中， S 为光环境指数， $0 \leq S \leq 100$ ； \sum_n 为 n 个评价项目求和； $S(n)$ 为第 n 个评价项目的评分； $W(n)$ 为第 n 个评价项目的权值，项目编号 1~10，权值均取 1.0。

4. 评价结果与质量等级

项目评分和光环境指数的计算结果，分别表示光环境各评价项目特征及总的质量水平。各项目评分及光环境质量指数越大，表示光环境存在的问题越大，即其质量越差。

为了便于分析和确定评价结果，该方法中将光环境质量按光环境指数的范围分为四个质量等级，其质量等级的划分及其含意见表 9-17。

表 9-17 质量等级

视觉环境指数	$S=0$	$0 < S \leq 10$	$10 < S \leq 50$	$S > 50$
质量等级	1	2	3	4
意义	毫无问题	稍有问题	问题较大	问题很大

9.4 人与声环境

环境中起干扰作用的声音、人们感到吵闹的声音或不需要的声音，称为噪声。作业环境的噪声不仅限于杂乱无章的声音，也包括影响人们工作的车辆声、飞机声、机械撞击振动声、马达声、邻室的高声谈笑声、琴声、歌声、音乐声，等等。环境噪声可能妨碍工作者对听觉信息的感知，也可能造成生理或心理上的危害，因而将影响操作者的工作效能、舒适性或听觉器官的健康。但和谐的生产性音乐，对某些工种的工作效率却是有益的。

9.4.1 噪声对人的影响

1. 噪声对工作的影响

关于噪声对不同性质工作的影响，许多国家做过大量的研究。成果表明，噪声不但影响工作质量，同时也影响工作效率。如果噪声级达到 70 dB (A)，

对各种工作产生的影响表现在以下几个方面：

- ① 通常将会影响工作者的注意力；
- ② 对于脑力劳动和需要高度技巧的体力劳动等工种，将会降低工作效率；
- ③ 对于需要高度集中精力的工种，将会造成差错；
- ④ 对于需要经过学习后才能从事的工种，将会降低工作质量；
- ⑤ 对于不需要集中精力进行工作的情况下，人将会对中等噪声级的环境产生适应性；
- ⑥ 如果已对噪声适应，同时又要求保持原有的生产能力，将要消耗较多精力，从而会加速疲劳；
- ⑦ 对于非常单调的工作，处在中等噪声级的环境中，噪声就像一只闹钟，将可能产生有益的效果；
- ⑧ 对能够遮蔽危险报警信号和交通运行信号的强噪声环境下，还易引发事故。

研究还指出，噪声对人的语言信息传递影响最大。如图 9-15 (a) 所示，交谈者相距 1 m 在 50 dB 噪声环境中可用正常声音交谈，但在 90 dB 噪声环境中应大声叫喊才能交谈。由此还将影响交谈者的情绪，如图 9-15 (b) 表明，在上述情况下，交谈者情绪将由正常变为不可忍耐。

因此，许多国家的标准在規定作业场所的最大允许噪声级时，对于需要高度集中精力的工作场所均以 50 dB (A) 的稳态噪声级作为其上限。

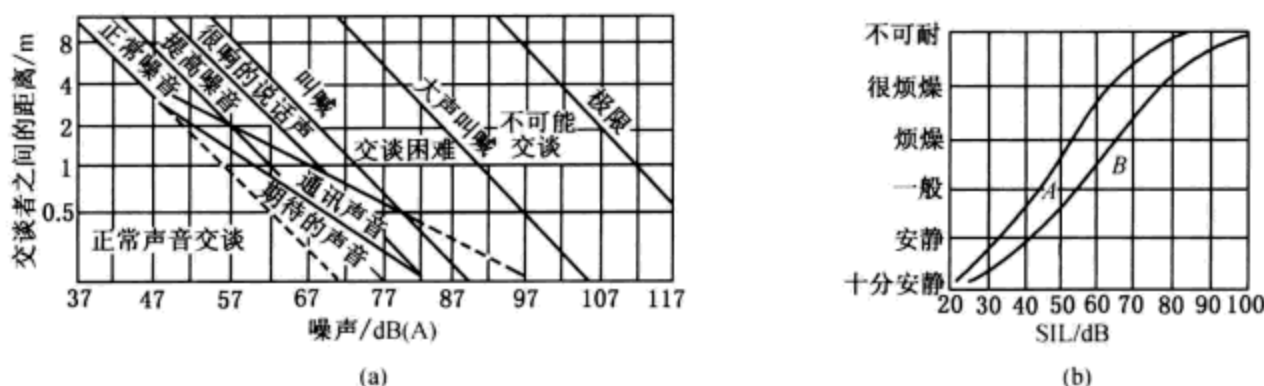


图 9-15 噪声对语言信息传递的影响

2. 噪声对听觉的影响

(1) 暂时性听力下降 在噪声作用下，可使听觉发生暂时性减退，听觉敏感度降低，可听阈提高。当人离开强噪声环境而回至安静环境时，听觉敏感度不久就会恢复，这种听觉敏感度的改变是一种生理上的“适应”，称为暂时性听力下降。

不同的人，对噪声的适应程度是不同的。但暂时性听力下降却有明显的特征，即受到噪声作用后听觉有较小的减退现象，约 10 dB；回到安静环境中听觉敏感度能迅速恢复；通常以在 4 000 Hz 或 6000 Hz 处比较显著，而低频噪声的影响较小。

(2) 听力疲劳 在持久的强噪声作用下，听力减退较大，恢复至原来听觉敏感度的时间也较长，通常需数小时以上，这种现象称为听力疲劳。

噪声引起的听力疲劳不仅取决于噪声的声级，还取决于噪声的频谱组成。频率越高，引起的疲劳程度愈重。

(3) 持久性听力损失 如果噪声连续作用于人体，而听觉敏感度在休息

时间内又来不及完全恢复，时间长了就可能发生持久性听力损失。另外，如果长期接触过量的噪声，听力阈值就不能完全恢复到原来的数值，便造成耳感受器发生器质性病变，进而发展成为不可逆的永久性听力损失，临床上称噪声性耳聋，它是一种进行性感音系统的损害。

噪声性耳聋的特点是，在听力曲线图上以 4 000 Hz 处为中心的听力损失，即所谓“V”字形病变曲线。噪声性耳聋的另一特点是，先有高音调缺损，然后是低音调缺损。噪声性耳聋听力损失的一般发展形式见图 9-16。

(4) 爆震性耳聋 上面介绍的都是缓慢形成的噪声性听力损失。如果人突然暴露于极其强烈的噪声环境中，如高达 150 dB 时，人的听觉器官会发生鼓膜破裂出血，迷路出血，螺旋器（感觉细胞和支持结构）从基底膜急性剥离，一次刺激就有可能使人双耳完全失去听力，这种损伤称为声外伤，或称爆震性耳聋。

3. 噪声对机体的其他影响

噪声在 90 dB 以下，对人的生理作用不明显。90 dB 以上的噪声，对神经系统、心血管系统等有明显的影响。

将不同声级的噪声对人体器官的主要影响进行了汇总，并将汇总结果分为四个“噪声品级”，该分级方式相当精确，足以对所有实际应用分析提供信息。图 9-17 为四个噪声品级所造成的影响程度（按%计）与声级（单位为加权分贝）之间的关系，如：

第一噪声品级： $L=30\text{ dB (A)}\sim65\text{ dB (B)}$ ，其影响程度仅限于心理的，见图 9-17 中区域 1；

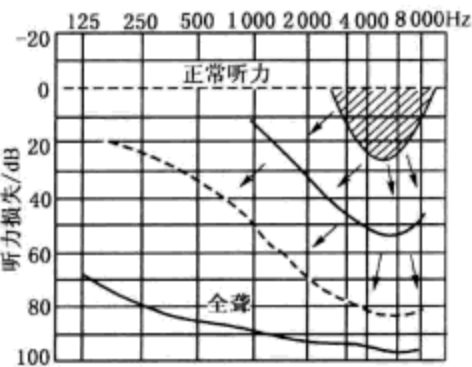


图 9-16 噪声性耳聋的进展形式

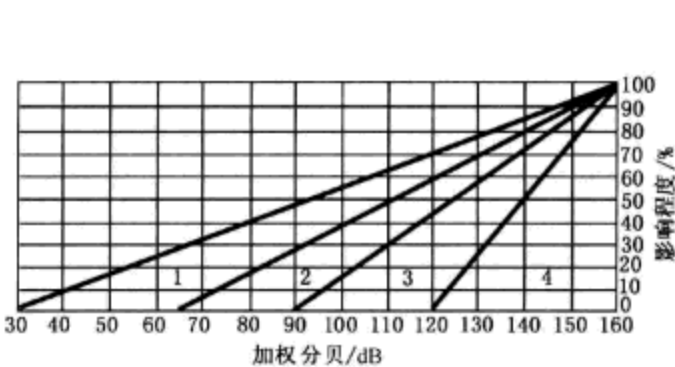


图 9-17 四个噪声品级所造成的影响

第二噪声品级： $L=65\sim90\text{ dB (B)}$ ，心理影响大于第一品级，另外还有植物神经方面的影响，见图 9-17 中区域 2；

第三噪声品级： $L=90\sim120\text{ dB (B)}$ ，心理影响和植物神经影响均大于第二品级，此外还有造成不可恢复的听觉机构损害的危险，见图 9-17 中区域 3；

第四噪声品级： $L>120\text{ dB (B)}$ ，经过相当短时间的声冲击之后，就必须考虑内耳遭受的永久性损伤。当声级达到 $L>140\text{ dB (B)}$ 时，遭受刺激的人很可能形成严重的脑损伤，见图 9-17 中区域 4。

9.4.2 影响噪声对机体作用的因素

1. 噪声的强度

噪声强度大小是影响听力的主要因素。强度越大听力损伤出现得越早，损伤就越严重，受损伤的人数越多。经调查发现语言听力损伤的阳性率随噪声强度的增加而增加，噪声性耳聋与工龄有关。

2. 接触时间

接触噪声的时间越长，听力损伤越重，损伤的阳性率越高。听力损伤的临界暴露时间，在同样强度的噪声作用下由各频率听阈的改变表现也是各不相同的。4 000 Hz ~6 000 Hz 出现听力损伤的时间最早，即该频段听力损伤的临界暴露时间最短。一般情况下接触强噪声头 10 年听力损伤进展快，以后逐渐缓慢。

3. 噪声的频谱

在强度相同条件下，以高频为主的噪声比以低频为主的噪声对听力危害大；窄频带噪声比宽频带噪声危害大。研究发现频谱特性可影响听力损伤的程度，而不会影响听力损失的高频段凹陷这一特征。

4. 噪声类型和接触方式

脉冲噪声比稳态噪声危害大。持续接触比间断接触危害大。

5. 个体差异

机体健康状况和敏感性对听力损伤的发生和严重程度也有差异。在现场调查中常发现少数（1% ~10%）特别敏感及特别不敏感的人。

9.4.3 噪声评价标准

1. 国外听力保护噪声标准

为了保护经常受到噪声刺激的劳动者的听力，使他们即使长期在噪声环境中工作，也不致产生听力损伤和噪声性耳聋。听力保护噪声标准以 A 声级为主要评价指标，对于非稳定噪声，则以每天工作 8 h，连续每周工作 40 h 的等效连续 A 声级进行评价。表 9 - 18 为国外几种听力保护噪声标准。

表 9 - 18 国外听力保护噪声允许标准（A 声级）

每个工作日允许 工作时间/h	允许噪声级/dB（A）		
	国际标准化组织 （1971 年）	美国政府 （1969 年）	美国工业卫生医师协会 （1977 年）
8	90	90	85
4	93	95	90
2	96	100	95
1	99	105	100
1/2（30 min）	102	110	105
1/4（15 min）	115（最高限）	115	110

2. 我国工业噪声卫生标准

我国 1979 年颁布的“工业企业噪声卫生标准”中，对工业企业的生产车间和作业场所的噪声允许标准的规定见表 9 - 19。

表 9 - 19 我国工业企业的噪声允许标准

每个工作日接触噪声的 时间/h	新建、改建企业的噪声允许标准 /dB（A）	现有企业暂时达不到标准时， 允许放宽的噪声标准/dB（A）
8	85	90
4	88	93
2	91	96
1	94	99
最高不得超过	115	115

3. 环境噪声标准

为了控制环境污染，保证人们的正常工作和休息不受噪声干扰，ISO 规定住宅区室外噪声允许标准为 35 ~ 45 dB (A)，对不同的时间、地区要按表 9 - 20 进行修正。非住宅区室内噪声允许标准见表 9 - 20。

表 9 - 20 ISO 公布的各类环境噪声标准

I. 不同时间的修正值/dB (A)		III. 室内修正值/dB (A)	
时 间	修正值	条 件	修正值
白 天	0	开 窗	- 10
晚 上	- 5	单层窗	- 15
夜 间	- 10 ~ - 15	双层窗	- 20
II. 不同地区的修正值/dB (A)		IV. 室内噪声标准/dB (A)	
地区分类	修正值	室的类型	允许值
医院和要求特别安静的地区	0	寝室	20 ~ 50
郊区住宅，小型公路	+ 5	生活室	30 ~ 60
工厂与交通干线附近的住宅	+ 15	办公室	25 ~ 60
城市住宅	+ 10	单间	70 ~ 75
城市中心	+ 20		
工业地区	+ 25		

9.5 人与振动环境

振动环境是伴随人们工作和生活较普遍的环境。各种空中的、陆地的、水中的交通工具，以及各种工业的、农业的、家用的机械工具都可使人们处于振动环境之中，影响人的工作效率、舒适性以及人的健康和安全。此外，振动还影响机械、设备、工具、仪表的正常工作。

9.5.1 人体的振动特性

人体是一个有生命的有机体，对振动的反应往往是组合性的。研究指出，人体对振动敏感范围如图 9 - 18 (a) 所示，表明人体暴露在振动环境中分为高频区和低频区，同时又分为整体敏感区和局部敏感区。

人体可视为一个多自由度的振动系统。由于人体是具有弹性的组织，因此，对振动的反应与一个弹性系统相当。尽管将人体作为振动系统研究时，出现的情况十分复杂，但是，对于坐姿人体承受垂直振动时的振动特性，其研究结果基本一致。人体对 4 ~ 8 Hz 频率的振动能量传递率最大，其生理效应也最大，称作第一共振峰。它主要由胸部共振产生，因而对胸腔内脏影响最大。在 10 ~ 12 Hz 的振动频率时出现第二共振峰，它是由腹部共振产生，对腹部内脏影响较大，其生理效应仅次于第一共振峰。在 20 ~ 25 Hz 的频率时出现第三共振峰，其生理效应稍低于第二共振峰。以后随着频率的增高，振动在人体内的传递逐步衰减，其生理效应也相应减弱。显然，对人体影响最大的是低频区。当整体处于 1 ~ 20 Hz 的低频区时，人体随着频率不同而发生的不同反应，见图 9 - 18 (b)。



9.5.2 影响振动对机体作用的因素

由图 9-18 可知,不同的振动物理参数,将使人体产生不同的反应。振动频率、作用方向、振动强度是振动作用于人体的主要因素;作用方式、振动波形、暴露时间等因素也相当重要。此外,寒冷是振动引起人体不良反应的重要外界条件之一。振动对机体作用因素见图 9-19。

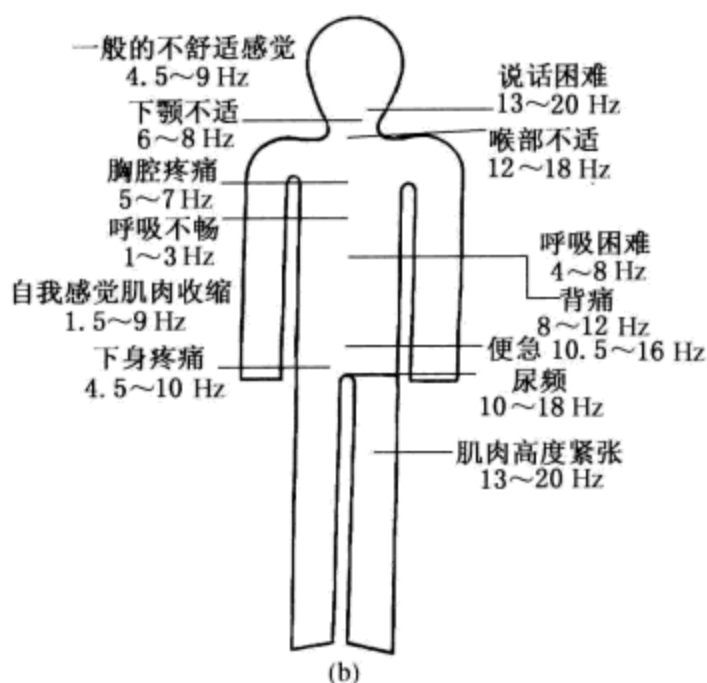
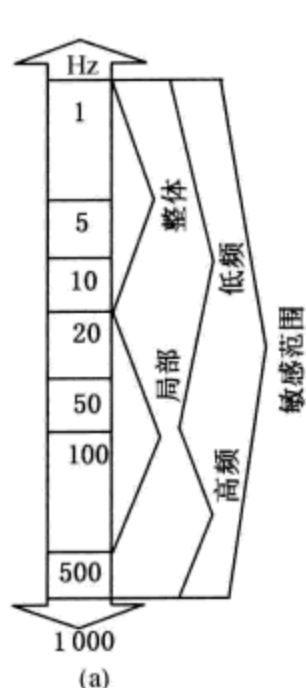


图 9-18 人体对振动的敏感范围

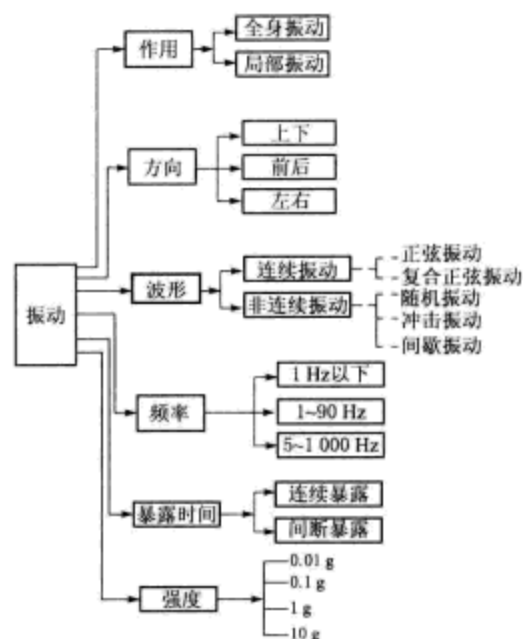


图 9-19 振动对人体的影响因素

9.5.3 振动对人体的影响

振动对人的影响主要取决于振动的强度,而振动强度一般是用加速度有效值来计量的。除了振动强度外,还有两个十分重要的因素。其一是振动频率,实验证明,人对 4~8 Hz 的振动感觉最敏感,频率高于 8 Hz,或低于 4 Hz,敏感性就逐渐减弱。其二,对于同强度、同频率的振动来说,振动的影响还同振动的暴露时间有关。短暂时间内可以容忍的振动,时间一长就很可能变成不能容忍。

振动对人的影响,大致有四种情况:

① 人体刚能感受到振动的信息,即是通常所说的“感觉阈”,见图 9-20。人们对刚超过感觉阈的振动,一般并不觉得不舒服,即多数人对这种振动是可容忍的。

② 振动的振幅加大到一定程度,人就感到不舒服,或者作出“讨厌”的反应,这就是“不舒服阈”。不舒服是一种生理反应,是大脑对振动信息的一种判断,并没有产生生理的影响。

③ 振动振幅进一步增加,达到某种程度时,人对振动的感觉就由“不舒服”进到“疲劳阈”。对超过疲劳阈的振动,不仅有心理的反应,而且也出现生理的反应。这就是说,振动的感受器官和神经系统的功能在振动的刺激下受到影响,并通过神经系统对人体的其他功能产生影响,如注意力的转移,工作效率的降低,等等。对刚超过“疲劳阈”的振动来讲,振动停止以后,这些生理影响是可以恢复的。

④ 振动的强度继续增加，就进入到“危险阈”。超过危险阈时，振动对人不仅有心理、生理的影响，还产生病理性的损伤和病变，且在振动停止后也不能复原，这一界限通常称为“痛阈”。

9.5.4 振动对工作能力的影响

上述振动对人的心理效应主要表现为操作能力的变化，而振动对人的工作能力的影响又是多方面的。由于人体与目标的振动，使视觉模糊，仪表判读以及精细的视分辨发生困难；由于手脚和人机界面振动，使动作不协调，操纵误差增加；由于全身受损颠簸，使语言明显失真或间断；由于强烈振动使脑中枢机能水平降低，注意力分散，容易疲劳，从而加剧振动的心理损害。振动负荷导致人的操作能力的降低主要反映在操纵误差、操作时间、反应时间的变化，具体如图 9-21 所示。

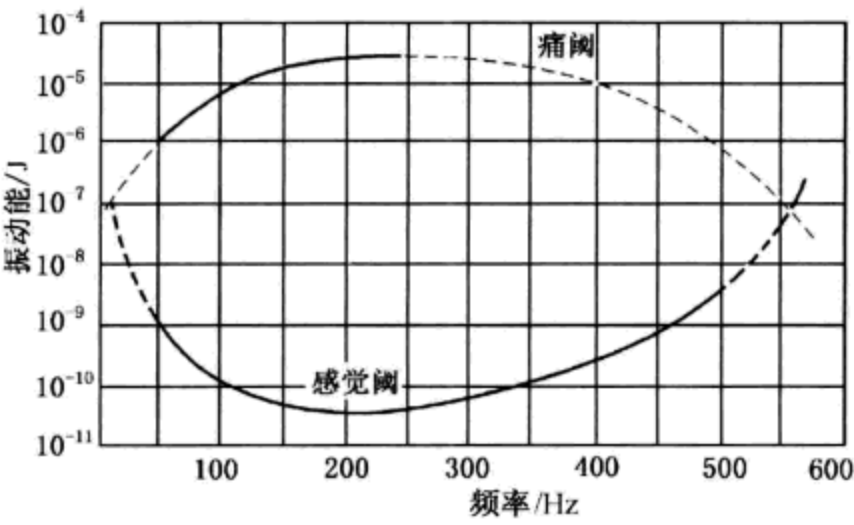


图 9-20 振动的阈值

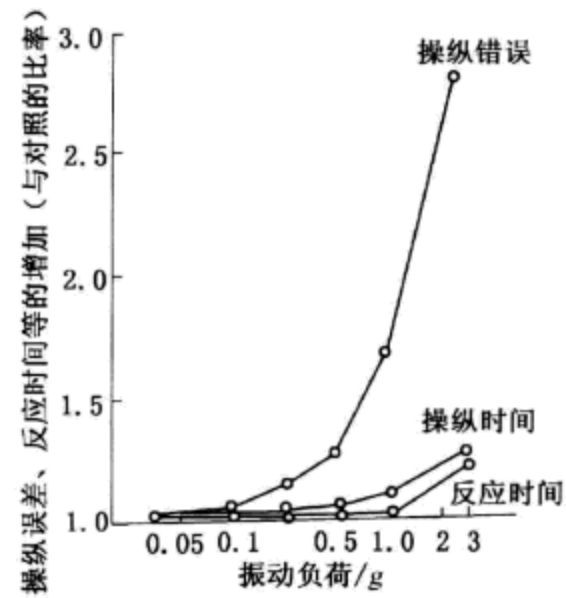


图 9-21 振动对操作能力的影响

9.5.5 振动的评价

振动的评价标准是对所接触的振动环境进行人机工程学评价的重要依据。以下介绍 ISO 组织颁布的振动评价标准。

1. 全身承受振动的评价标准

ISO 2631 《人体承受全身振动的评价指南》是国际标准化组织推荐的振动评价标准。该标准提出以振动加速度有效值、振动方向、振动频率和受振持续时间这四个基本振动参数的不同组合来评价全身振动对人体产生的影响。ISO 2631 根据振动对人的影响，规定了 1~80 Hz 振动频率范围内人体对振动加速度均方值反应的三种不同感觉界限，即：

- (1) 健康与安全界限 (EL) 人体承受的振动强度在这个界限内，人体将保持健康和安全。
 - (2) 疲劳-降低工作效率界限 (FDP) 当人体承受的振动在此界限内，人将能保持正常的工作效率。
 - (3) 舒适降低界限 (RCB) 当振动强度超过这个界限，人体将产生不舒适反应。
- 三种界限之间的简单关系为：

$$EL = 2FDP(两者相差 6 \text{ dB}) \quad (9 - 7)$$

$$RCB \approx \frac{FDP}{3.15}(两者相差 10 \text{ dB}) \quad (9 - 8)$$

图 9-22 是 ISO 2631 振动评价标准中的疲劳-降低工作效率界限。图中实线为垂直振动评价标准；虚线为水平振动（胸背或侧面）评价标准。虚线比实线下降 3 dB，这说明人体对水平振动比对垂直振动更敏感。

对于不同的工作环境，应根据具体的工作要求和条件，选取上述的评价界限之一作为振动评价的基本标准。如果需要以健康与安全界限或舒适降低界限为评价的基本标准，则可将图 9-22 中图线上的振动加速度有效值乘以 2，便可得到“健康与安全界限”；若将图线上的振动加速度有效值除以 3.15，便能得到“舒适降低界限”。

ISO 2631 评价标准中的允许界限值可直接用于单频率正弦振动的评价。按等效的观点，也可以直接用于集中在 1/3 倍频程或更小频带中的窄带随机振动的评价，但在这种情况下，应当以 1/3 倍频程中心频率处的振动加速度有效值的允许界限值，与相应的 1/3 倍频程的实测振动加速度的均方根值相对比较来进行评价。

对于多个离散频率的振动或宽带随机振动，则可视情况和要求的不同，采用 1/3 倍频程分析评价法或总加权加速度有效值评价法。

2. 局部振动的评价标准

国际标准化组织提出《人对手传振动暴露的测量和评价指南》(ISO/DIS 5349)，虽是局部振动标准草案，但已为许多国家所承认，成为评价局部振动的重要依据。

按该标准要求，测试点应在与手接触的机械之某处（如手柄或手抓取处）。振动定向是根据人体的解剖位置以第三掌骨头为坐标原点确定 X、Y、Z 三轴向，见图 9-23。

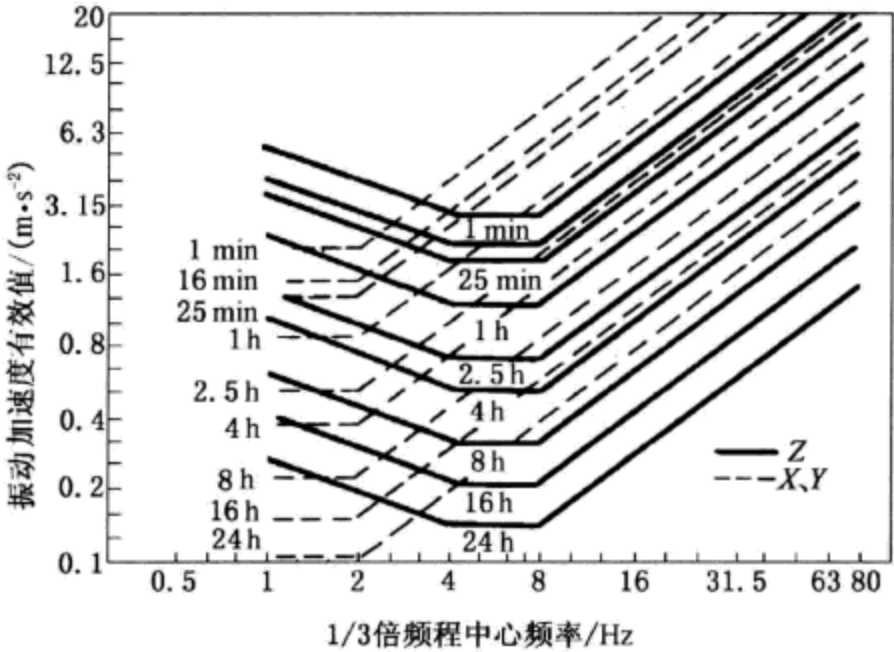


图 9-22 全身振动允许界限

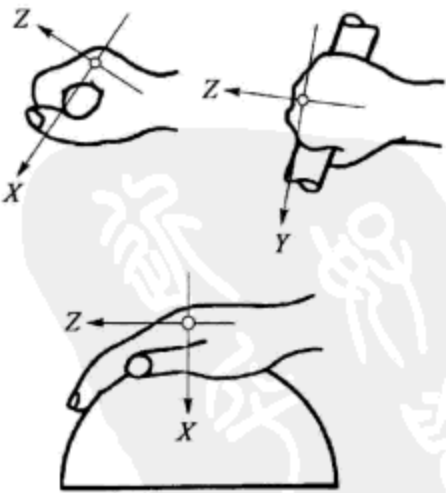


图 9-23 局部振动的方向

ISO/DIS 5349 标准是根据每天接振时间，规定出最大轴向各中心频率下振动加速度、速度有效值的最大限值。该标准所规定的具体原则为：每班接振时间以 4 h 计，不足 4 h 者以 4 h 等能量频率计权加速度表示。该评价准则对于三

个轴的测量结果均可适用，但三个轴向振动以最大轴向振动加速度成分评价。评价时用倍频程分析的结果计算。

因不同的受振时间，允许不同的接振加速度，如果工作日内接触振动时间不足4~8 h，则无论是连续暴露，还是不规则间断暴露，或规则间断暴露，均应按表9-21中的校正系统进行加权计算后评价。表中的系数即为各频带范围4~8 h容许接触界限的倍数。如系数为5，即将4~8 h最大容许值各项数值乘以5，其余类推。

通常，根据接触时间，由表9-21查出修正系数，然后利用图9-24所示的相应曲线进行评价。该图中的横坐标是倍频程中心频率（Hz）；纵坐标为加速度有效值（ m/s^2 ）；其中1~5条曲线即是不同修正系数时的容许界限。评价时可将手传振动的测试结果绘制频谱图，与ISO/DIS 5349的标准曲线相比较，即可对局部接触振动做出评价。

表 9-21 校正系数

工作日内接触时间	持续或不规则间断	规则性间断				
		每小时不接触振动时间/min				
		~ 10	10 ~ 20	20 ~ 30	30 ~ 40	> 40
~ 30 min	5	5	—	—	—	—
0.5 ~ 1 h	4	4	—	—	—	—
1 ~ 2 h	3	3	3	4	5	5
2 ~ 4 h	2	2	2	3	4	5
4 ~ 8 h	1	1	1	2	3	4

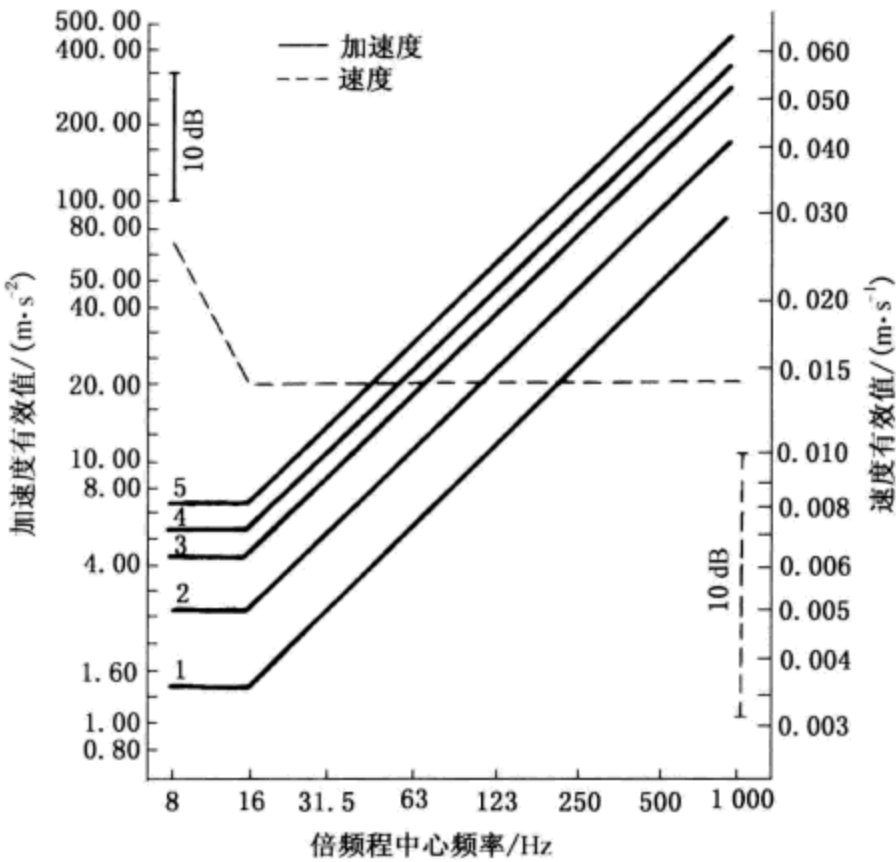


图 9-24 局部振动评价曲线

9.6 人与毒物环境

人在劳动中的许多环节都有可能接触到生产性毒物。各种生产性毒物常以固体、液体、气体或气溶胶的形态存在，其中固体和液体形态存在的生产性毒

物，如果不挥发又不经皮肤进入人体，则对人体危害较小。因此，就其对人体的危害来说，则以空气污染具有特别重要的意义。而对作业环境的空气造成污染的主要物质是有毒气体、蒸气、工业粉尘以及烟雾等有害物质。

9.6.1 有毒气体和蒸气

有毒气体是指常温、常压下呈气态的有害物质。例如，由冶炼过程、发动机排放的一氧化碳；由化工管道、容器或反应器逸出的氯化氢、二氧化硫、氯气等。有毒蒸气是指有毒的固体升华、液体蒸发或挥发时形成的蒸气。例如，喷漆作业中的苯、汽油、醋酸酯类等物质的蒸气。当空气中含有过量的有害气体或蒸气，可使人产生中毒或导致职业性疾病。工业生产中几种常见的有害气体与人体的关系见表9-22。

表 9-22 几种有毒气体与人体的关系

有毒气体	浓 度	对人体产生的影响
一氧化碳浓度/ 10^{-6} (体积的百万分比率)	100	数小时对人体无影响
	400 ~ 500	1 h 内无影响
	600 ~ 700	1 h 后有时会引起不快感
	1 000 ~ 1 200	1 h 后会引引起不快
	1 500 ~ 2 000	1 h 后会有危险
	4 000 以上	1 h 后即有危险
二氧化碳浓度/%	45	几小时内无症状
	54	呼吸的深度会增加
	72	有局部症状，头痛、耳鸣、心跳、昏迷、意识丧失
	108	呼吸显著地增加
	144	呼吸明显困难
	180	意识丧失，死亡状态
	360	生命的中枢完全麻痹，死亡
氯气浓度/ 10^{-6}	0.02	嗅觉阈浓度
	0.5	有气味
	1 ~ 3	有明显气味，刺激眼、鼻
	6	刺激咽喉致咳
	30	引起剧咳
	40 ~ 60	接触 30 ~ 60 min，可能引起严重损害
	100	可能造成致命损害
	1 000	可危及生命
二氧化硫 24 h 平均 浓度/ $(\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3})$		中年以上或慢性病患者出现超出预计的死亡呼吸道病人的病情恶化

9.6.2 工业粉尘和烟雾

工业粉尘是指能较长时间飘浮在作业场所空气中的固体微粒，其粒子大小多在 0.1 ~ 10 μm 。固体物质经机械粉碎或辗磨时可产生粉尘，粉状原料、半成品和成品在混合、筛分、运送或包装时有粉尘飞扬。例如，炸药厂的三硝基

甲苯粉尘，干电池厂的锰尘等。

烟（尘）为悬浮在空气中直径小于 $0.1\ \mu\text{m}$ 的固体微粒。某些金属熔融时所产生的蒸气在空气中迅速冷凝或氧化而形成烟，例如，熔炼铅时产生的铅烟，熔铜铸铜时产生的氧化锌烟。有机物质加热或燃烧时也可产生烟，例如农药熏蒸剂燃烧时产生的烟。

雾为悬浮于空气中的液体微滴，多由于蒸气冷凝或液体喷洒而形成的。例如，喷洒农药时的药雾；喷漆时的漆雾；电镀铬时的铬酸雾；金属酸洗时的硫酸雾等。

在生产过程中，如没有控制毒物的措施，作业环境中均会有大量粉尘和烟雾逸散，从事有关作业的操作者，都有可能接触这类有害物质而受其危害。

粉尘在进入呼吸道后，根据其物理性状，在呼吸道各部位通过不同方式沉积、储留以及最后清除。生产性粉尘根据其理化性质、进入人体的量和作用部位，可引起不同的病变。粉尘主要引起职业性呼吸系统疾患，如尘肺、支气管哮喘、职业性过敏性肺炎、呼吸系统肿瘤等。

此外，粉尘还会引起中毒作用，如吸入铅、砷、锰等有毒粉尘，能在支气管和肺泡壁上溶解后吸收，引起中毒表现。

9.6.3 有毒环境的卫生标准

我国于 1979 年重新修订了《工业企业设计卫生标准》（TJ 36—1979），该标准规定车间空气中有毒气体、蒸气及粉尘等共 120 种有毒物体的最高允许浓度。其中一般作业环境可能接触的部分有毒物质的最高允许浓度见表 9-22。

表 9-22 中最高允许浓度系指工人工作地点的空气中有毒物质不能超过的数值。工作地点是指生产过程中经常停留的地点，若经常停留的地点很多，则以整个车间为工作地点。

表 9-22 中数据均以单种有毒物质、稳定发生量及 8 h 工作为前提，若情况不同，可按下述方式进行换算，其换算式为：

$$C_8 = \frac{C_1 T_1 + C_2 T_2 + \cdots + C_i T_i}{8} \leq [M] \quad (9-9)$$

式中， C_8 为相当于 8 h 内的当量浓度； C_1, C_2, \cdots, C_i 为不同作业时间内的浓度； T_1, T_2, \cdots, T_i 为不同作业时间（h）； $i = 1, 2, 3 \cdots$ 为对应的作业环节数； $[M]$ 为表 9-22 中某有毒物质的最高允许浓度。

当计算结果 $C_8 \leq [M]$ ，表示此作业环境符合卫生标准；当其结果 $C_8 > [M]$ ，则表示此作业环境不符合卫生标准。

当工作地点存在两种以上毒物时，应考虑其联合作用，可用下式进行评价：

$$\frac{C_1}{M_1} + \frac{C_2}{M_2} + \cdots + \frac{C_n}{M_n} \leq 1 \quad (9-10)$$

式中， C_1, C_2, \cdots, C_n 为各种有毒物质的实测浓度； M_1, M_2, \cdots, M_n 为各有毒物质的最高允许浓度。

如计算结果 ≤ 1 ，表示有毒物质浓度低于最高允许浓度，表示此作业环境符合卫生标准；若计算结果 > 1 ，则表示有毒物质超过最高允许浓度，此作业环境不符合卫生标准。

10.1 人的可靠性

10.1.1 人机系统可靠性

人机系统的可靠性由该系统中人的可靠性和机械的可靠性所决定，对人的可靠性很难下定义。在此，暂且定义为“人们正确地从事规定的工作的概率”。

设人的可靠性为 R_H ，机械的可靠性为 R_M ，整个系统的可靠性 R_S 就为：

$$R_S = R_H \cdot R_M$$

它们三者的关系可用图 10-1 表示。如果人的可靠性为 0.8，即使机械的可靠性高达 0.95，即么，整个人机系统的可靠性也只有 0.76。如果不断对机械进行技术改进，将可靠性提高到 0.99，系统的可靠性仍然只有 0.79，并没有提高多少。因此，提高人的可靠性成了提高系统可靠性的关键。由于人机系统越来越复杂和庞大，一旦出现人为失误就会酿成严重事故，人们日益关心因人的可靠性低下而引起事故。

一个设计良好的系统需要考虑的不仅仅是设备本身，还应该包括人这一要素。正如一个系统中的其他部分一样，人的因素并非是完全可靠的，而人的错误可导致系统崩溃。国内外许多安全专家认为，大约 90% 的事故与人的失误有关，而仅有 10% 的事故归咎于不安全的物理、机械条件。

如上所述，事故的主要根源在于人为差错，而人为差错的产生则是由人的不可靠性引起的。本章将通过对人的可靠性、人为差错和人的安全性的分析，找出事故发生的原因，并据此提出防止发生事故的措施。

10.1.2 人的可靠性分析

1. 影响人的可靠性的内在因素

人的内在状态可以用意识水平或大脑觉醒水平来衡量。日本的桥本邦卫将人的大脑的觉醒水平分为五个等级，如表 10-1 所示。由表可知，人处于不同觉醒水平时，其行为的可靠性是有很大的差别的。人处于睡眠状态时，大脑的觉醒水平极低，不能进行任何作业活动，一切行为都失去了可靠性。处于第 I 等级状态时，大脑活动水平低下，反应迟钝，易于发生人为失误或差错。处于第 II、III 等级时，均属于正常状态。等级 II 是意识的松弛阶段，大脑大部分时间处于这一状态，是人进行一般作业时大脑的觉醒状态，并应以此状态为准设计仪表、信息显示装置等。等级 III 是意识的清醒阶段，在此状态下，大脑处理信息的能力、准确决策能力、创造能力都很强，此时，人的可靠性可高达 0.999 999 以上，比等级 I 时高十万倍，因此，重要的决策应在此状态下进行。但 III 类状态不能持续很长的时间。第 IV 等级为超常状态，如工厂大型设备发生故障时，操作人员的意识水平处于异常兴奋、紧张状态，此时，人的可靠性明显降低，因此，应预先设定紧急状态时的对策，并尽可能在重要设备上设置自动处理装置。

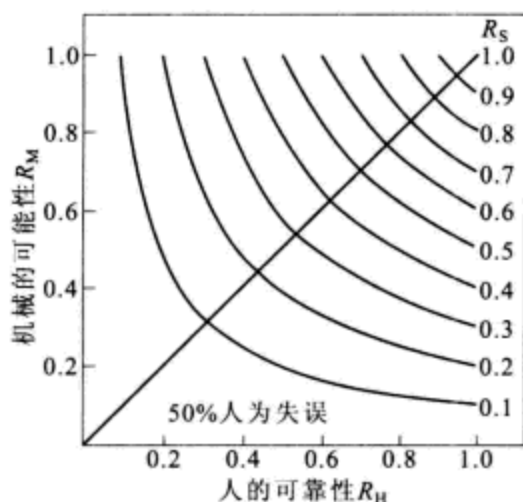


图 10-1 人、机械的可靠性与人机系统的可靠性

表 10-1 大脑意识水平的等级划分

等级	意识状态	注意状态	生理状态	工作能力	可靠度
0	无意识, 神智丧失	无	睡眠, 发呆	无	0
I	常态以下, 意识模糊	不注意	疲劳, 困倦, 单调, 醉酒 (轻度)	低下, 易出事故	0.9 以下
II	正常意识的松弛阶段	无意注意	休息时, 安静时或反射性活动	可进行熟练的, 重复性的或常规性的操作	0.99 ~ 0.999 9
III	正常意识的清醒阶段	有意注意	精力充沛, 积极活动状态	有随机处理能力, 有准确决策能力	0.999 999 以上
IV	超常态, 极度紧张、兴奋	注意过分集中于某一点	惊慌失措, 极度紧张	易出差错, 易造成事故	0.9 以下

2. 影响人的可靠性的外部因素

影响人的可靠性的一个极为重要的方面是人所承受的压力。压力是人在某种条件刺激物 (机体内部或外部的) 的作用下, 所产生的生理变化和情绪波动, 使人在心理上所体验到的一种压迫感或威胁感。

各方面的研究表明, 适度的压力即足以使人保持警觉的压力水平对于提高工作效率, 改善人的可靠性是有益的, 压力过轻反而会使人精神涣散, 缺乏动力和积极性。但是, 当人承受过重压力时, 发生人为差错的概率比其在适度压力下工作时要高, 因为过高的压力会使人理解能力消失, 动作的准确性降低, 操作的主次发生混乱。

工作中造成人的压力的原因通常有以下四个方面:

(1) 工作的负荷 如果工作负荷过重, 工作要求超过了人满足这些要求的能力, 会给人造成很大的心理压力, 而工作负荷过轻, 缺乏有意义的刺激, 例如不需动脑的工作, 重复性的或单调的工作, 无法施展个人才华或能力的工作等, 同样也会给人造成消极的心理压力。

(2) 工作的变动 例如机构的改组、职务的变迁、工作的重新安排等, 破坏了人的行为、心理和认识的功能的模式。

(3) 工作中的挫折 例如任务不明确、官僚主义造成的困难, 职业培训指导不够等, 阻碍了人达到预定的目标。

(4) 不良的环境 例如噪声太大, 光线太强或太暗, 气温太高或太低以及不良的人际关系等。

在作业过程中, 由于超过操作者的能力限度而给操作者造成的压力以及其他方面给人增加的压力, 其表现特征如表 10-2 所示。

表 10-2 给操作人员造成压力的类型

超过操作者能力限度的压力	其他方面的压力
反馈信息不充分, 不足以使操作者下决心改正自己的动作	不得不与性格难以捉摸的人一起工作
要求操作者快速比较两个或两个以上的显示结果	不喜欢从事的职业和工作
要求高速同时完成一个以上的控制	在工作中得到晋升的机会很少
要求高速完成操作步骤	负担的工作低于其能力与经验
要求完成一项步骤次序很长的任务	在极紧张的时间限度内工作, 或为了在规定时间内完成工作, 经常加班

续表

超过操作者能力限度的压力	其他方面的压力
要求在极短时间内快速作出决策 要求操作者延长监测时间 要求根据不同来源的数据快速作出决策	沉重的经济负担 家庭不和睦 健康状况不佳 上级在工作中的过分要求

10.1.3 影响人的操作可靠性的综合因素

影响人的可靠性的因素极为复杂，但人为失误总是人的内在状态与外部因素相互作用的结果。影响人的操作可靠性的因素列于表 10-3 中。

表 10-3 影响人的操作可靠性的因素

因素类型		因 素
人的因素	心理因素	反应速度、信息接受能力、信息传递能力、记忆、意志、情绪、觉醒程度、注意、压力、心理疲劳、社会心理、错觉、单调性、反射条件
	生理因素	人体尺度、体力、耐力、视力、听力、运动机能、身体健康状况、疲劳、年龄
	个体因素	文化水平、训练程度、熟练程度、经验、技术能力、应变能力、感觉阈限、责任心、个性、动机、生活条件、家庭关系、文化娱乐、社交、刺激、嗜好
	操作能力	操作难度、操作经验、操作习惯、操作判断、操作能力限度、操作频率和幅度、操作连续性、操作反复性、操作准确性
环境因素	机械因素	机械设备的功能、信息显示、信号强弱、信息识别、显示器与控制器的匹配、控制器的灵敏度、控制器的可操作性、控制器的可调性
	环境因素	环境与作业的适应程度、气温、照明、噪声、振动、粉尘、作业空间
	管理因素	安全法规、操作规程、技术监督、检验、作业目的和作业标准、管理、教育、技术培训、信息传递方式、作业时间安排、人际关系

10.2 人的失误

10.2.1 人的失误行为

人的行为是指人在社会活动、生产劳动和日常生活中所表现的一切动作。人的一切行为都是由人脑神经辐射，产生思想意识并表现于动作。

人的不安全行为则是指造成事故的人的失误（差错）行为。在人机工程领域，对人的不安全行为曾作过大量研究，较新的研究成果提出，人的失误行为发生过程如图 10-2 所示。

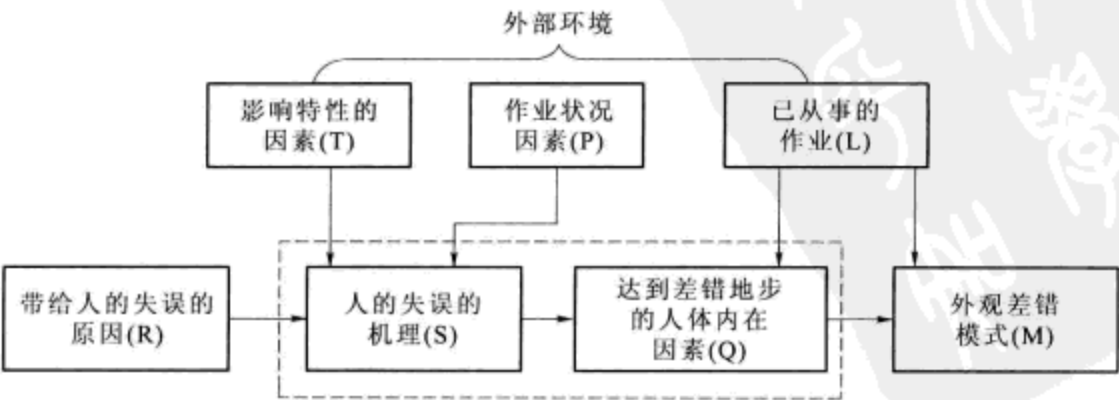


图 10-2 人的失误行为发生过程

由图 10-2 可知，人的失误行为的发生既有外部环境因素，也有人体内在因素。为了减少系统中人的失误行为的发生，必须对内、外两种因素的相关性进行分析。

10.2.2 人的失误的主要原因

按人机系统形成的阶段，人的失误可能发生在设计、制造、检验、安装、维修和操作等各个阶段。但是，设计不良和操作不当往往是引发人的失误的主要原因，可由表 10-4 加以说明。

在进行人机系统设计时，若设计者对表 10-4 中的“举例”进行仔细分析，可获得有益的启示，使系统优化，将使诱发人的失误行为的外部环境因素得到控制，从而减少人的不安全行为。至于诱发人的失误行为的人体内在因素极为复杂，仅将其主要诱因归纳于表 10-5。

表 10-4 人的失误（差错）的外部因素

类型	失误	举 例	类型	失误	举 例
知 觉	刺激过大或过小	(1) 感觉通道间的知觉差异； (2) 信息传递率超过通道容量； (3) 信息太复杂； (4) 信号不明确； (5) 信息量太小； (6) 信息反馈失效； (7) 信息的贮存和运行类型的差异	信 息	按照错误的或不准确的信息而操纵机器	(1) 训练； ① 欠缺特殊的训练； ② 训练不良； ③ 再训练不彻底。 (2) 人机工程学手册和操作明细表； ① 操作规定不完整； ② 操作顺序有错误。 (3) 监督方面； ① 忽略监督指示； ② 监督者的指令有误
显 示	信息显示设计不良	(1) 操作容量与显示器的排列和位置不一致； (2) 显示器识别性差； (3) 显示器的标准化差； (4) 显示器设计不良； ① 指示方式； ② 指示形式； ③ 编码； ④ 刻度； ⑤ 指针运动。 (5) 打印设备的问题； ① 位置； ② 可读性、判别性； ③ 编码	环 境	影响操作机能下降的、物理的、化学的空间环境	(1) 影响操作兴趣的环境因素； ① 噪声；② 温度； ③ 湿度；④ 照明； ⑤ 振动；⑥ 加速度。 (2) 作业空间设计不良； ① 操作容量与控制板、控制台的高度、宽度、距离等； ② 座椅设备、脚、腿空间及可动性等； ③ 操纵容量； ④ 机器配置与人的位置可移动性； ⑤ 人员配置过密
控 制	控制器设计不良	(1) 操作容量与控制器的排列和位置不一致； (2) 控制器的识别性差； (3) 控制器的标准化差； (4) 控制器设计不良； ① 用法；② 大小； ③ 形状；④ 变位； ⑤ 防护；⑥ 动特性	心 理 状 态	操作者因焦急而产生心理紧张状态	(1) 人处于过分紧张状态； (2) 裕度过小的计划； (3) 过分紧张的应答； (4) 因加班休息不足而引起的病态反应

表 10-5 人的失误的内在因素

项 目	因 素
生理能力	体力、体格尺度、耐受力,有否残疾(色盲、耳聋、音哑……)、疾病(感冒、腹泻、高温……)、饥渴
心理能力	反应速度、信息的负荷能力、作业危险性、单调性、信息传递率、感觉敏感度(感觉损失率)
个人素质	训练程度、经验多少,熟练程度、个性、动机、应变能力、文化水平、技术能力、修正能力、责任心
操作行为	应答频率和幅度、操作时间延迟性、操作的连续性、操作的反复性
精神状态	情绪、觉醒程度等
其 他	生活刺激、嗜好等

10.2.3 人的失误引发的后果

人的失误是人所具有的一种复杂特性,它与人机系统的安全密切相关。因此,如何避免人的失误对于提高系统的可靠性具有十分重要的意义。

人的失误可定义为人未能实现规定的任务,从而可能导致中断计划运行或引起财产和设备的损坏。人的失误发生的方式有 5 种,即人没有实现某一必要的功能任务;实现了某一不应该实现的任务;对某一任务作出了不适当的决策;对某一意外事故的反应迟钝和笨拙;没有觉察到某一危险情况。

人的失误所造成的后果随人为差错程度的不同以及机械安全设施的不同而不同,一般可归纳为 4 种类型:

第一种类型,由于及时纠正了人的失误,且设备有较完善的安全设施,故对设备未造成损坏,对系统运行没有影响;

第二种类型,暂时中断了计划运行,延迟了任务的完成,但设备略加修复,工作顺序略加修正,系统即可正常运行;

第三种类型,中断了计划运行,造成了设备的损坏和人员的伤亡,但系统仍可修复;

第四种类型,导致设备严重损坏,人员有较大伤亡,使系统完全失效。

10.3 人的失误事故模型

许多专家学者根据大量事故的现象,研究事故致因理论。在此基础上,又运用工程逻辑,提出事故致因模型,用以探讨事故成因、过程和后果之间的联系,达到深入理解构成事故发生诸原因的因果关系。此处仅从人机工程学的角度,讨论几种以人的因素为主因的事故模型。

10.3.1 人的行为因素模型

事故发生的原因,很大程度上取决于人的行为性质。由人机工程学基础理论可知,人的行为是由多次感觉(S)—认识(O)—响应(R)组合模型的连锁反应,人在操作过程中,由外部刺激输入使人产生感觉“S”,外部刺激如显示屏上仪表指示、信号灯变化、异常声音、设备功能变化等;人识别外部刺激并作出判断称之为人的内部响应“O”,人对内部响应所作出的反应行动,

称之为输出响应“R”。

人的行为因素模型如图 10-3 所示，包含有 S—O—R 行为的第一组问题是反映了危险的构成，以及与此危险相关的感觉、认识和行为响应。若第一组中的任何一个问题处理失败，就会导致危险，造成损失或伤害；如每一个问题处理都成功，第一组的危险不可能构成，也不会发生第二组的危险爆发。同样包含有 S—O—R 行为的第二组问题是危险的显现，即使第一组问题处理失败，只要危险显现时处理得当，也不会造成损失和伤害；如果不能避免危险，则造成损失和伤害的事故必将爆发。

10.3.2 事故发生顺序模型

事故发生顺序模型见图 10-4。该模型把事故过程划分为几大阶段。在每个阶段，如果运用正确的能力与方式进行解决，则会减少事故发生的机会，并且过渡到下一个防避阶段。如果作业者按图示步骤作出相应反应的话，虽然不能肯定会完全避免事故的发生，但至少会大大减少事故发生的概率；而如不采取相应的措施，则事故发生的概率必会大大增加。

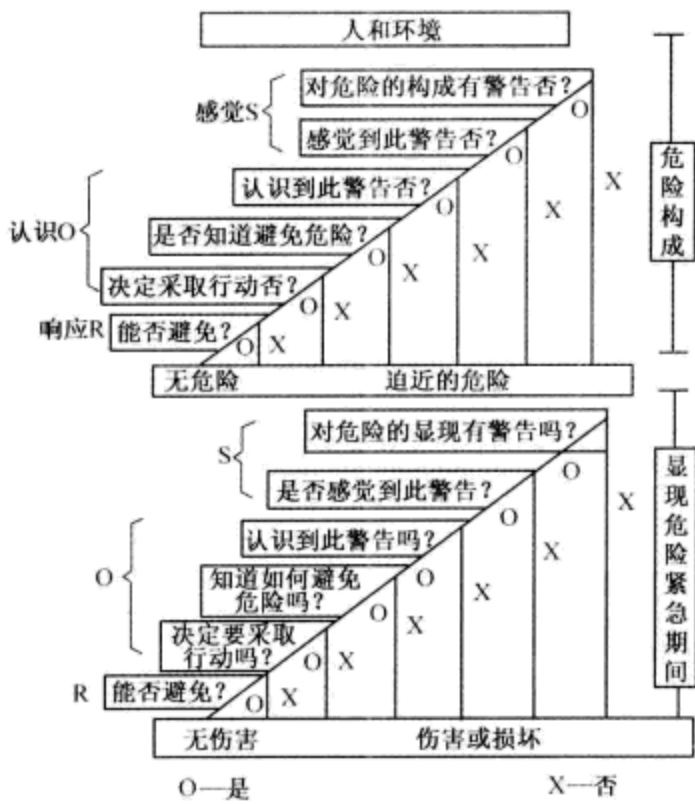


图 10-3 人的行为因素模型

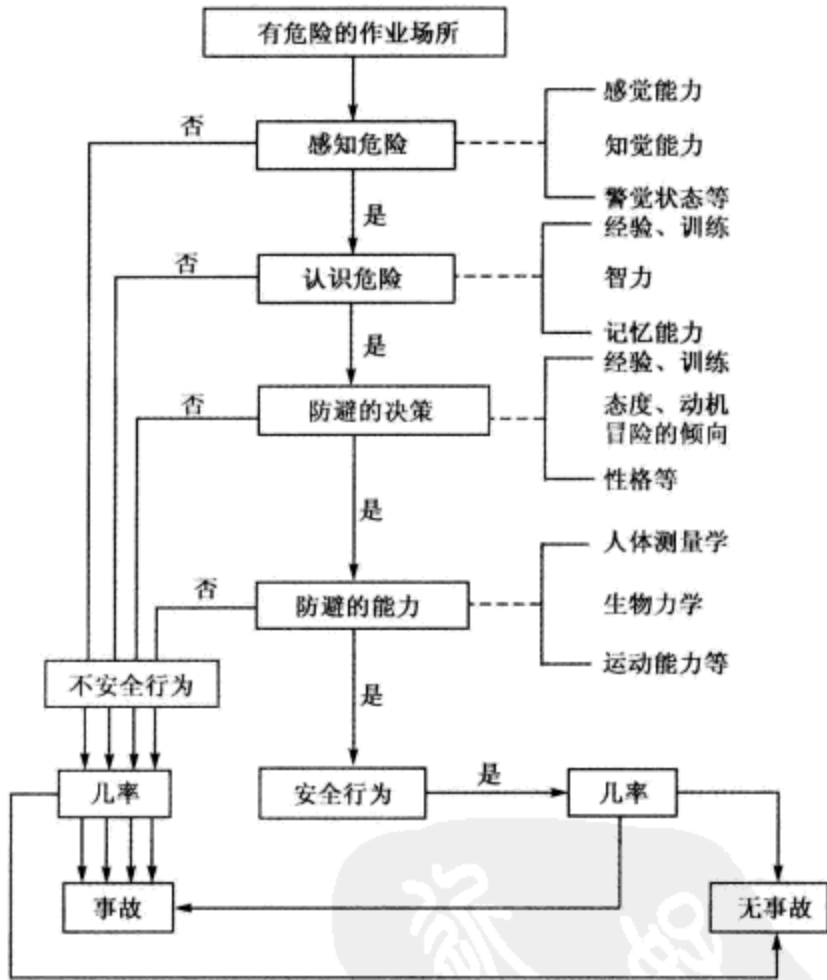


图 10-4 事故发生阶段顺序图

按图 10-4 所示模式，为了避免事故，在考虑人机工程学原理时，重点可放在：

- ① 准确、及时、充分地传示与危险有关的信息（如显示设计）；
- ② 有助于避免事故的要素（如控制装置、作业空间等）；
- ③ 作业人员培训，使其能面对可能出现的事故，采取适当的措施。

根据研究的结果表明，按照事故的行为顺序模式，不同阶段的失误造成的比例如下：

对将要发生的事故没有感知	36%
已感知，但低估了发生的可能性	25%
已感知，但没能作出反应	17%
感知并作出反应，但无力防避	14%

根据该结果可知，人的行为、心理因素对于事故最终发生与否有很大影响，而“无力防避”属环境与设备方面的限制与不当（也可能是人的因素），只占很小的比例。

10.4 安全装置设计

安全防护是通过采用安全装置或防护装置对一些危险进行预防的安全技术措施。安全装置与防护装置的区别是：安全装置是通过其自身的结构功能限制或防止机器的某些危险运动，或限制其运动速度、压力等危险因素，以防止危险的产生或减小风险；而防护装置是通过物体障碍方式防止人或人体部分进入危险区。究竟采用安全装置还是采用防护装置，或者二者并用，设计者要根据具体情况而定。

安全装置是消除或减小风险的装置。它可以是单一的安全装置，也可以是和联锁装置联用的装置。常用的安全装置有联锁装置、联动装置、止-动操纵装置、双手操纵装置、自动停机装置、机器抑制装置、限制装置、有限运动装置等。

10.4.1 联锁装置

当作业者要进入电源、动力源这类危险区时，必须确保先断开电源，以保证安全，这时可以运用联锁装置。图 10-5 中，机器的开关与门是互锁的。作业者打开门时，电源自动切断；当门关上后，电源才能接通。为了便于观察，门用钢化玻璃或透明塑料做成，无需经常进去检查内部工作情况。

10.4.2 双手控制按钮

对于图 10-6 所示的作业，有些作业者习惯于一只手放在按钮上，准备启动机器动作，另一只手仍在工作台面调整工件或试件。为了避免开机时另一只手仍在台面上从而发生事故，可用图示的双手控制按钮，这样必须双手都离开台面才能启动，保证了安全。

10.4.3 利用感应控制安全距离

在图 10-7 中，若身体的任何部位经过感应区进入机床作业空间的危险区域时，光电传感器则发出停止机床动作的命令，保护作业者免受意外伤害。还可以运用其他感应方式，如红外、超声、光电信号等。但必须注意，当人体侵入危险区时，检测信号必须准确无误，以确保安全。

10.4.4 自动停机装置

自动停机装置是指当人或其身体的某一部分超越安全限度时，使机器或其零部件停止运行或保证处在安全状态的装置，如触发线、可伸缩探头、压敏杠、压敏垫、光电传感装置、电容装置等。图 10-8 (a) 为一机械式（距离杆）自动停机装置应用实例，图 10-8 (b) 是其工作原理。

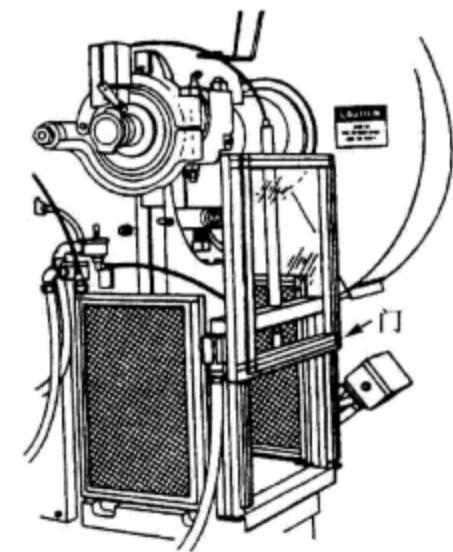


图 10-5 联锁门

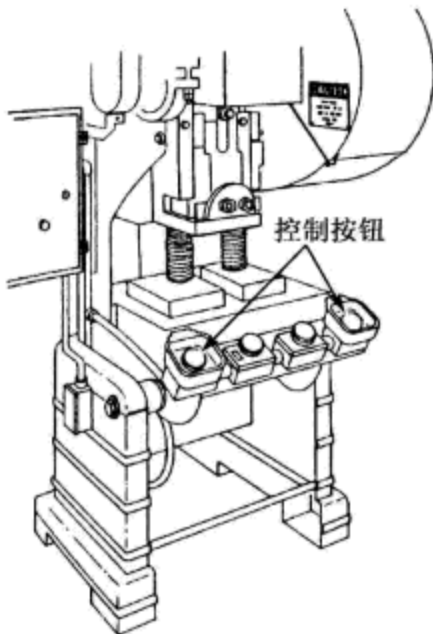


图 10-6 双手控制按钮

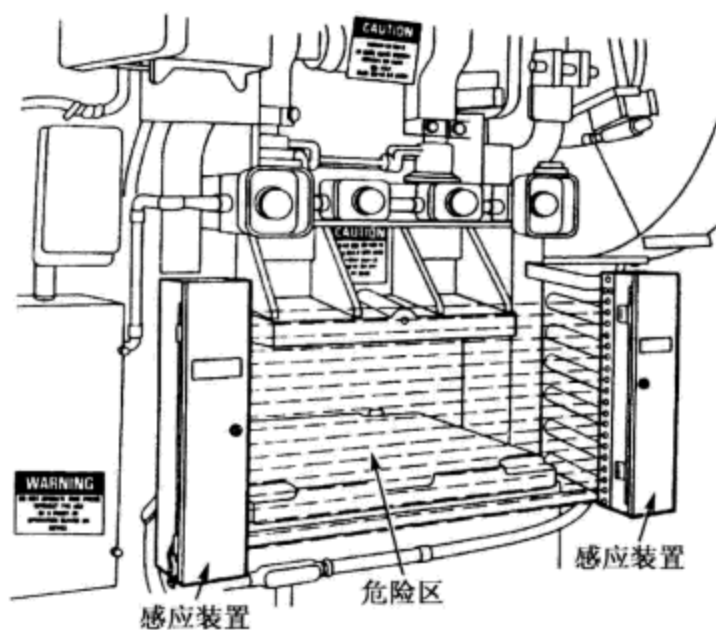


图 10-7 感应式安全控制器

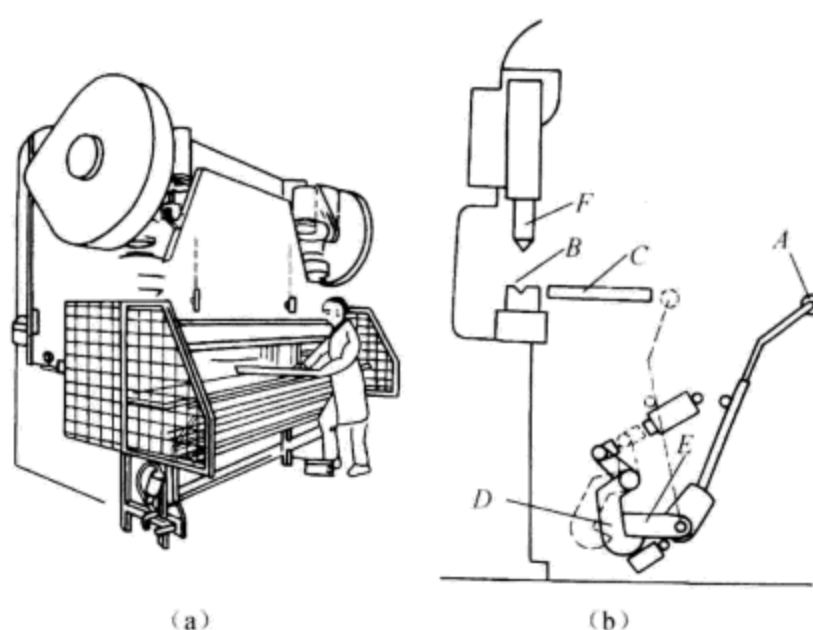


图 10-8 机械式自动停机装置
(a) 应用实例; (b) 工作原理

10.5 防护装置设计

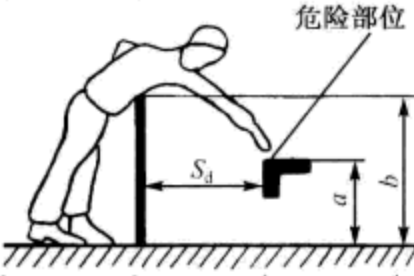
专为防护人身安全而设置在机械设备上的各种防护装置，其结构和布局应设计合理，使人体各部位均不能直接进入危险区。对机械式防护装置设计应符合下述与人体测量参数相关的尺寸要求。

- ① 上肢自由摆动可及安全距离见表 10-6；
- ② 上肢探越可及安全距离见表 10-7；

表 10-6 上肢自由摆动可及安全距离 S_d mm

上肢部位		安全距离 S_d	图 示
从	到		
掌指关节	指尖	≥ 120	
腕关节	指尖	≥ 225	
肘关节	指尖	≥ 510	
肩关节	指尖	≥ 820	


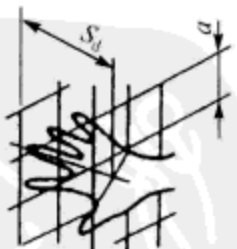
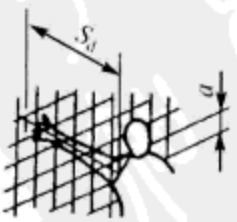
表 10-7 探越可及安全距离 S_d mm

a	b							
	2 400	2 200	2 000	1 800	1 600	1 400	1 200	1 000
2 400	—	50	50	50	50	50	50	50
2 200	—	150	250	300	350	350	400	400
2 000	—	—	250	400	600	650	800	800
1 800	—	—	—	500	850	850	950	1 050
1 600	—	—	—	400	850	850	950	1 250
1 400	—	—	—	100	750	850	950	1 350
1 200		—	—	—	400	850	950	1 350
1 000		—	—	—	200	850	950	1 350
800		—	—	—	—	500	850	1 250
600		—	—	—	—	—	450	1 150
400		—	—	—	—	—	100	1 150
200	—	—	—	—	—	—	—	1 050

* a ——从地面算起的危险区高度； b ——棱边的高度； S_d ——棱边距危险区的水平安全距离


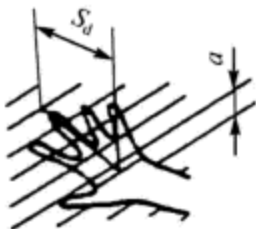
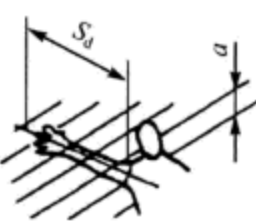
- ③ 穿越网状孔隙可及安全距离见表 10-8；
④ 穿越栅栏状缝隙可及安全距离见表 10-9；

表 10-8 穿越网状（方形）孔隙可及安全距离 S_d mm

上肢部位	方形孔边长 a	安全距离 S_d	图 示
指 尖	$4 < a \leq 8$	≥ 15	
手 指 (至掌指关节)	$8 < a \leq 25$	≥ 120	
手 掌 (至拇指根)	$25 < a \leq 40$	≥ 195	
臀 (至肩关节)	$40 < a \leq 250$	≥ 820	








* 当孔隙边长在 250 mm 以上时，身体可以钻入，按探越类型处理。

表 10-9 穿越栅栏状（条形）缝隙可及安全距离 S_d mm

上部部位	缝隙宽度 a	安全距离 S_d	图 示
指 尖	$4 < a \leq 8$	≥ 15	
手 指 (至掌指关节)	$8 < a \leq 20$	≥ 120	
手 掌 (至拇指根)	$25 < a \leq 30$	≥ 195	
臀 (至肩关节)	$30 < a \leq 135$	≥ 320	

⑤ 防止挤压伤害的夹缝安全距离见表 10-10。

表 10-10 防止受挤压伤害的夹缝安全距离 S_d mm

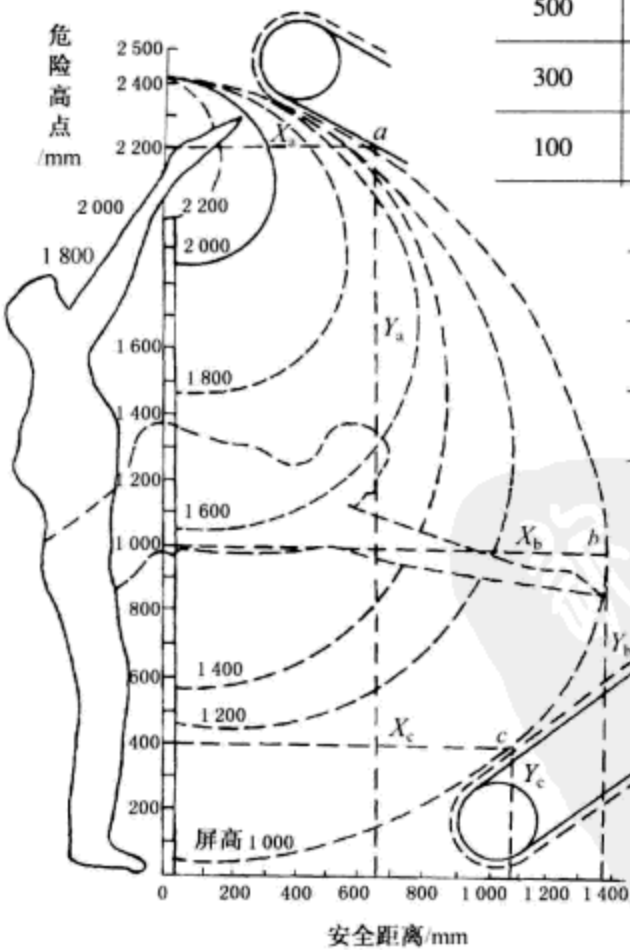
身体部位	安全夹缝间距 S_d	图 示	身体部位	安全夹缝间距 S_d	图 示
躯 体	≥ 470		臀	≥ 120	
头	≥ 280		手、腕、 拳	≥ 100	
腿	≥ 210		手、指	≥ 25	
足	≥ 120				

⑥ 防护屏、危险点和最小安全距离关系见表 10-11。表中曲线分别为防护屏高等于 1.0, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8, 2.0, 2.2 m 时的人体危险区; a , b , c 分别为三个危险物体所形成的危险区域的危险点; Y_a , Y_b , Y_c 分别为三个危险点的高度; X_a , X_b , X_c 分别为三个危险区或应具备的最小安全距离。

设计时依据危险点高度和危险区应具有的最小安全距离, 由该表可确定防护屏高度。

表 10-11 防护屏、危险点高度和最小安全距离关系表 mm

安全最小 距离 危险 点高度	屏高	2 400	2 200	2 000	1 800	1 600	1 400	1 200	1 000
2 400		100	100	100	150	150	150	150	200
2 300			200	300	350	400	450	450	500
2 200			250	350	450	550	600	600	650
2 100			200	350	550	650	700	750	800
2 000				350	600	750	750	900	950
1 900				250	600	800	850	950	1 100
1 800					600	850	900	1 000	1 200
1 700					550	850	900	1 100	1 300
1 600					500	850	900	1 100	1 300
1 500					300	800	900	1 100	1 300
1 400					100	800	900	1 100	1 350
1 300						700	900	1 100	1 350
1 200						600	900	1 100	1 400
1 100						500	900	1 100	1 400
1 000						500	900	1 000	1 400
900							700	950	1 400
800							600	900	1 350
700							500	800	1 300
600							200	650	1 250
500								500	1 200
400									1 100
300									1 000
200									750
100									500



10.6 安全信息设计

10.6.1 警示设计的原则

1. 人的失误最小化

一个系统中差错的来源（以及由此发生的故障）之一就是信息的传递，既有从设备到操作者也有从人到书面指令、警告、代码等传递差错。要最小化此类差错，需要在发送人和接收者之间存在着共同的理解。通过确定哪些地方可能发生差错，就能运用人的因素原理来减少它们的可能性。

经过一定时间，个体将对一任务及其环境逐渐熟悉，随着操作者对信息理解程度的提高，对此类信息的依赖程度也随之降低。可是，在为一般群体进行设计时，初学者或不熟练的使用者应作为目标对象。此外，由于紧急状态通常会导致反射性反应，而不是有分析地排除故障，即使是对有经验的人而言也需要在工作场所中设有设计良好的书面资料。这一部分的重点是旨在提高信息在人之间有效传递的设计原则，从而降低人的失误的潜在可能。

2. 警觉信息有效传递

成功的警示应该被察觉（通常是见到或听到），被正确地解释并被遵守。通过人机学原则的应用，察觉、解释和遵守三个步骤中的每一步都应有确定的作用。

就察觉而言，警示的信息或信号必须清楚地传递，从而能显著地从背景噪声中确认和区别开来。对于视觉警示，大小、形状、对比、反色是可能有助于提高察觉的特性。对于听觉警示，时间方案、声级以及声谱是一些在提高察觉性能时需要考虑的特性。

使用人群对信息的准确解释和理解对警示的合理设计是至关重要的。无论其性质上是视觉的还是听觉的，应对警示进行测试以保证最终的使用人群能正确地理解其意义。在开发一个警示时应考虑以下几条原则。

① 避免含糊的、不明确的或错误定义的术语（词汇或图标），非常专业的术语或短语，双重否定、复杂的语法和长句（多于12个单词的）。

② 了解对象人群。需考虑语言、当地风俗以及可能在场的参观人员。为你的对象人群中的低端部分设计。以普通人群来确认结果（保证不存在内部的个体差异性）。

③ 了解对象环境。对环境的考虑（如噪声、灯光、主要任务）可能会影响到警示的设计和表达。考虑当前在场的其他警告或警示以保证能准确地识别。

④ 察觉到警告的严重程度要和警示的严重性相匹配。例如，其他的事情都是平等的，对于后果最严重的情形，其警报应该让使用者听起来是最迫切的。

⑤ 在现实条件下以适当的使用人群来测试警示系统的有效性。

警示被察觉和解释之后，人员必须留意并遵守。

3. 执行警示发布的条件

当危害涉及严重的伤害或死亡时，警示应该在近似于实际使用环境的条件下，并以接近于最终使用者的有代表性的人群进行严格的试验。

以下是发布警告的4个基本条件。

① 使人获悉危险或潜在的危險状态；

- ② 提供在对象使用的过程中或可能预见的误用时损伤的可能性和严重程度；
- ③ 提供关于如何降低损伤的可能性和严重性的信息；
- ④ 提醒使用者/操作人员何时何地最容易遭遇到该危险情况。

10.6.2 视觉警示信息设计

1. 视觉警示信息的基本元素

一个设计合理的警示应包括以下的基本元素：

- ① 信号词——对危害程度的指示（危险、警告、小心）；
- ② 危害——对危害的识别或扼要说明；
- ③ 后果——相关的代价或可能损害（如果不遵守警告的话）；
- ④ 指示——对可降低或消除危害的行为的描述。

通常有三个信号词是公认的。它们表达警告和传达情况的严重性的能力有所区别。

(1) 危险 直接的危害，如果遇上的话，会导致个体的损伤或死亡（首选的视觉警示：白底红字，反之亦然）。如高压线（危害），能致命（后果）。

(2) 警告 危险或不安全的操作，如果遇上的话，可能导致损伤或死亡（首选的视觉警示：橙色的背景黑色的字）。如保持距离（指示）。

(3) 小心 危险或不安全的操作，如果遇上的话，可能导致轻微的个人损伤、产品或财产损毁（首选的视觉警示：黄色的背景黑色的字）。

2. 视觉警示信息的重要因素

以下是一个警示标志的一些重要因素：大小、形状、颜色、图形化（图标的）叙述、对比、放置和耐久性。

(1) 大小 在合理的限度内，一个警示标志相对其周围信息越大，它就越能被发现。

(2) 形状 与图形化描述类似，形状有助于吸引一个人对警告信息的注意（例如箭头）。警示信号的形状代码主要地运输区域使用，一些信号的大概意思从其形状就能体现出来（例如八角形的停止标志，矩形的信号标志）。

(3) 图形化（图标的）描述 与形状编码相似，通过描绘可能发生的结果，图标具有吸引人对警示加以注意的能力。

(4) 颜色与对比 警示本身文字与背景之间的高对比度（在浅色背景上的深色文字或深色背景下的浅色字）有助于察觉。背景与警示信息自身类似的对比度同样会有助于察觉（例如，一个在黑白纸上的彩色警示）。通常，黑、白、橙、红以及黄色是警示标志或信号的推荐颜色。表 10 - 12 显示不同颜色组合的易辨认性。

表 10 - 12 白色光下各种颜色组合的易辨认性

易辨 认性	颜色组合		易辨 认性	颜色组合		易辨 认性	颜色组合	
	字	背景		字	背景		字	背景
非常好	黑色	白色	一般	绿色	白色	很差	橙色	黑色
好	黑色	黄色		红色	白色		橙色	白色
	黄色	黑色		红色	黄色		黑色	蓝色
	白色	黑色	不佳	绿色	红色		黄色	白色
	深蓝	白色		红色	绿色		—	—

(5) 位置 在现代文化中, 阅读是从左到右或自上而下的; 因此, 警示应呈现在顶部或者是左边, 取决于显示的设计。如果可能的话, 将警示标志放在靠近危害的附近是比较好的。将警示与其他的信息如标志分开同样有助于察觉。

10.6.3 特定安全信息设计

1. 安全色设计

安全色标是特定表达安全信息含义的颜色和标志。它以形象而醒目的信息语言向人们表达禁止、警告、指令、提示等安全信息。安全色是以防止灾害为指导思想而逐渐形成的。

安全色是传递安全信息的颜色, 表达“禁止”“警告”“指令”和“提示”等安全信息。安全色是根据颜色给予人们不同的感受而确定的。目的是使人们能够迅速发现或分辨安全标志和提醒人们注意, 以防发生事故。安全色的含义和用途如表 10-13。

表 10-13 安全色的含义及用途

颜色	所起心理作用	含 义	用 途 举 例
红色	危险	禁止	禁止标志
		停止	停止信号: 机器、车辆上的紧急停止手柄或按钮, 以及禁止人们触动的部位; 红色也表示防火
蓝色	沉重、诚实	指令	指令标志: 如必须佩戴个人防护用具
		必须遵守的规定	道路上指引车辆和行人行驶的方向指令
黄色	警告、希望	警告	警告标志 警戒标志: 如厂内危险机器和坑地边周围的警戒线、行车道中线
		注意	机械上齿轮箱内部; 安全帽
绿色	安全、希望	指令	提示标志
		安全状态	车间内的安全通道
		通行	行人和车辆通行标志; 消防设备和其他安全防护设备的位置

注: ① 蓝色只有与几何图形同时使用时才表示指令;

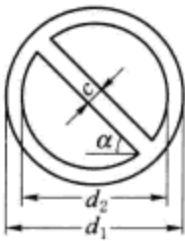

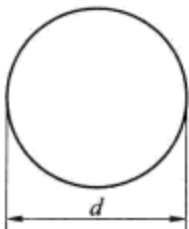
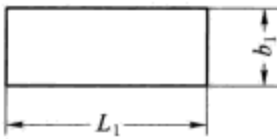
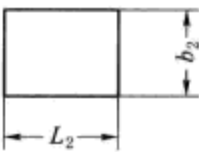
② 为了不与道路两旁绿色行道树相混淆, 道路上的提示标志用蓝色

2. 安全标志设计

安全标志是由安全色、几何图形和图形符号构成, 用以表达特定的安全信息。其作用是引起人们对不安全因素的注意, 以达到预防事故发生的目的。但安全标志不能代替安全操作规程和防护措施, 不包括航空、海运及内河航运上的标志。

安全标志国家标准 (GB 2894—1982) 中将安全标志分为禁止标志、警告标志、指令标志、揭示标志 4 类。这 4 类标志的规格见表 10-14。

表 10-14 几何图形规格、颜色及含义

图 形	图形规格	颜色要求	含义
	外径 $d_1 = 0.025L$ 内径 $d_2 = 0.800L$ 斜杠宽 $c = 0.080d_1$ 斜杠与水平线的夹角 $\alpha = 45^\circ$ L 为观察距离	圆环和斜杠 红色 图形符号 黑色 背 景 白色	禁止
	外边 $a_1 = 0.034L$ 内边 $a_2 = 0.700a_1$ L 为观察距离	背 景 黄色 三角边框及 图形符号 黑色	警 告
	$d = 0.025L$ L 为观察距离	背 景 蓝色 图形符号 白色	指 令
	短边 $b_1 = 0.01414L$ 长边 $L_1 = 2.500b_1$ L 为观察距离	背 景 绿色	一般提示标志
	短边 $b_2 = 0.01768L$ 长边 $L_2 = 1.600b_2$ L 为观察距离	图形符号 及文字 白色	消防设备 提示标志

禁止标志 16 个，选择的示例见图 10-9。



图 10-9 禁止标志

警告标志 23 个，选择的示例见图 10-10。

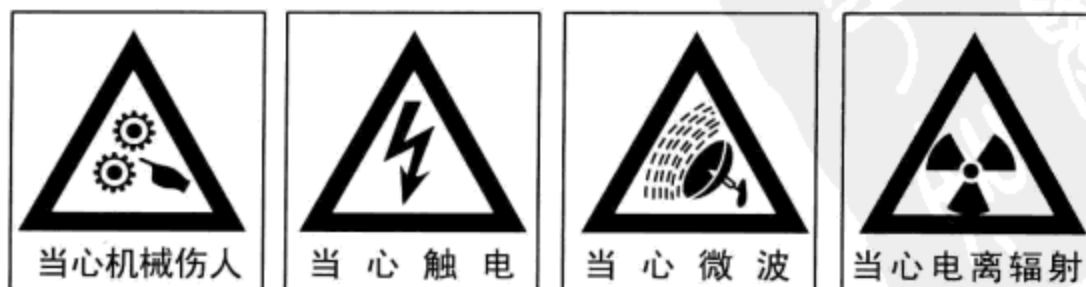


图 10-10 警告标志

指令标志 8 个，选择的示例见图 10-11。



图 10-11 指令标志

提示标志：

① 一般指示标志 2 个，选择的示例如图 10-12 所示。



图 10-12 提示标志

② 消防设备提示标志 7 个，选择的示例如图 10-13 所示。



图 10-13 消防设备提示标志

安全标志牌应设在醒目、与安全有关的地方，并使人们看到后有足够的时间来注意它所表示的内容，不宜设在门、窗、架等可移动的物体上。安全标志牌每年至少检查一次，如发现有变形、破损或图形符号脱落及变色不符合安全色的范围，应及时修整或更换。

安全标志牌

11.1 总体设计的目标

人机工程学的最大特点是，把人、机、环境看做是一个系统的三大要素，在深入研究三要素各自性能和特征的基础上，着重强调从全系统的总体性能出发，并运用系统论、控制论和优化论三大基础理论，使系统三要素形成最佳组合的优化系统。

11.1.1 人机系统的组成

人机系统中，一般的工作循环过程可由图 11-1 所示来加以说明，人在操作过程中，机器通过显示器将信息传递给人的感觉器官（如眼睛、耳朵等），中枢神经系统对信息进行处理后，指挥运动系统（如手、脚等）操纵机器的控制器，改变机器所处的状态。由此可见，从机器传来的信息，通过人这个“环节”又返回到机器，从而形成一个闭环系统。人机所处的外部环境因素（如温度、照明、噪声和振动等）也将不断影响和干扰此系统的效率。因此，从广义来讲，人机系统又称人-机-环境系统。

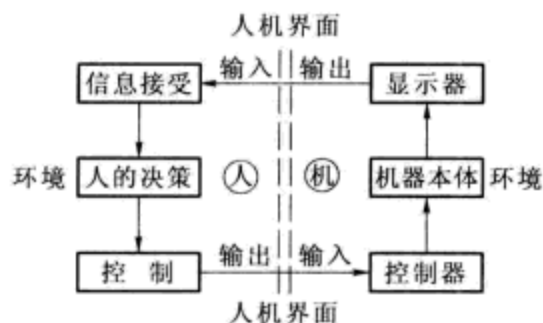


图 11-1 人机系统示意图

11.1.2 人机系统的类型

1. 按系统自动化程度分类

(1) 人工操作系统 这类系统包括人和一些辅助机械及手工工具。由人提供作业动力，并作为生产过程的控制者。如图 11-2 (a) 所示，人直接把输入转变为输出。

(2) 半自动化系统 这类系统由人来控制具有动力的机器设备，人也可能为系统提供少量的动力，对系统进行某些调整或简单操作。在闭环系统中反馈的信息，经人的处理成为进一步操纵机器的依据，如图 11-2 (b) 所示。这样不断地反复调整，保证人机系统得以正常运行。

(3) 自动化系统 这类系统中信息的接受、贮存、处理和执行等工作，全部由机器完成，人只起管理和监督作用，如图 11-2 (c) 所示，系统的能源从外部获得，人的具体功能是启动、制动、编程、维修和调试等。为了安全运行，系统必须对可能产生的意外情况设有预报及应急处理的功能。值得注意的是，不应脱离现实的技术、经济条件过分追求自动化，把本来一些适合于人操作的功能也自动化了，其结果将会引起系统可靠性和安全性的下降，人与机器不相协调。

2. 按人机结合方式分类

按人机结合方式可分为人机串联、人机并联和人与机串、并联混合三种方式。

(1) 人机串联 人机串联结合方式，如图 11-3 (a) 所示。作业时人直接介入工作系统，操纵工具和机器。人机结合使人的长处和作用增大了，但是也存在人机特性互相干扰的一面。由于受人的能力特性的制约，机器特长不能充分发挥，而且还会出现种种问题。例如，当人的能力下降时，机器的效率也随之降低，甚至会由于人的失误而发生事故。

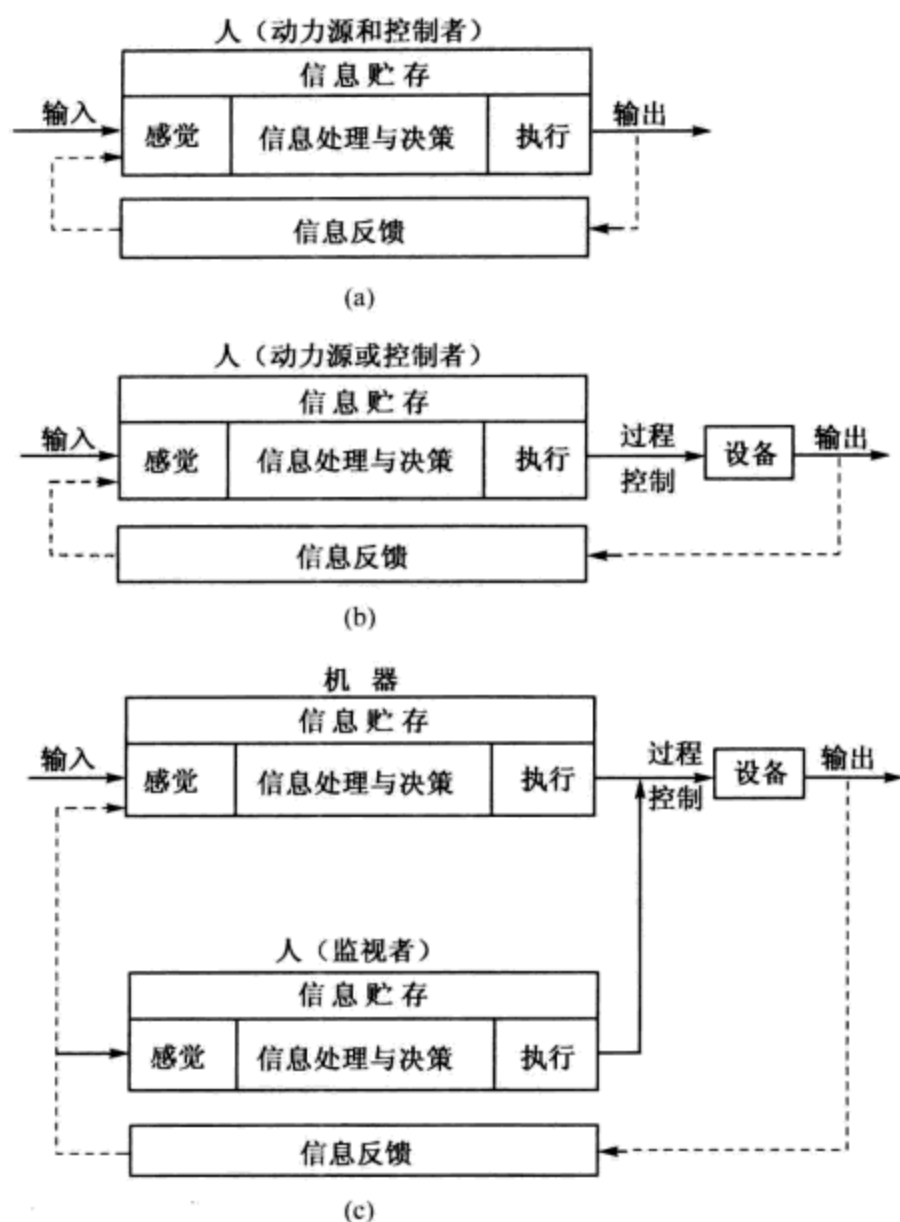


图 11-2 三种类型人机系统
(a) 人工操作系统; (b) 半自动化系统; (c) 自动化系统

(2) **人机并联** 人机并联结合方式如图 11-3 (b) 所示。作业时人间接介入工作系统，人的作用以监视、管理为主，手工作业为辅。这种结合方式，人与机的功能有互相补充的作用，如机器的自动化运转可弥补人的能力特性的不足。但是人与机结合不可能是恒常的，当系统正常时，机器以自动运转为主，人不受系统的约束；当系统出现异常时，机器由自动变为手动，人必须直接介入到系统之中，人机结合从并联变为串联，要求人迅速而正确地判断和操作。

(3) **人与机串、并联混合** 人与机串、并联的示意图如图 11-3 (c) 所示。这种结合方式多种多样，实际上都是人机串联和人机并联的两种方式的综合，往往同时兼有这两种方式的基本特性。

在人机系统中，无论是单人单机、单人多机、单机多人还是多机多人，人与机之间的联系都发生在人-机界面上。而人与人之间的联系主要是通过语言、文字、文件、电信、信号、标志、符号、手势和动作等。

11.1.3 人机系统的目标

由于人机系统构成复杂、形式繁多、功能各异，无法一一列举具体人机系统的设计方法，但是，结构、形式、功能均不相同的各种各样的人机系统设

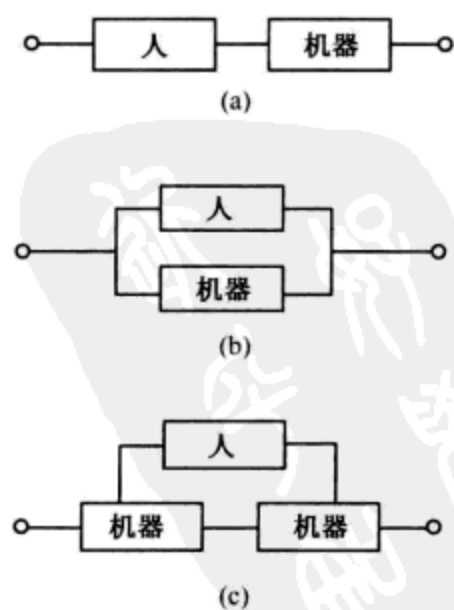


图 11-3 人与机的结合方式
(a) 人机串联; (b) 人机并联;
(c) 人与机串、并联混合

计，其总体目标都是一致的。因此，研究人机系统的总体设计就具有重要的意义。

在人机系统设计时，必须考虑系统的目标，也就是系统设计的目的所在，由图11-4可知，人机系统的总体目标也就是人机工程学所追求的优化目标，因此，在人机系统总体设计时，要求满足安全、高效、舒适、健康和经济五个指标的总优化。

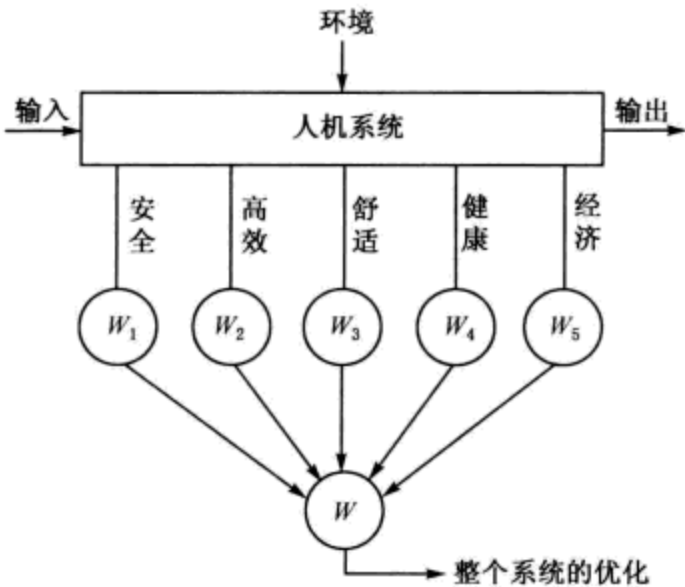


图 11-4 系统的总体目标

11.2 总体设计的原则

ISO6385—1981 (E) 国际标准规定了人机工程学原则为工作系统设计的基本指导方针，可应用于对人的福利、安全和健康的最佳工作条件，同时也考虑到技术和经济上的效果。现将该国际标准中所规定的人机工程学一般指导原则介绍如下。

11.2.1 工作空间和工作设备的设计

1. 与身体尺寸有关的设计

对工作空间和工作设备的设计应考虑到工作过程中对人身体尺寸所产生的约束条件。

工作空间应适合于操作者，在设计时要特别注意下列各点：

- ① 工作高度应适合于操作者的身体尺寸及所要完成的工作类型。座位、工作面和（或）工作台应设计成能获得所期望的身体姿势，即身体躯干挺直，身体重量能适当地得到支承，两肘置于身体两侧，前臂接近水平状态。
- ② 座位装置应适合于人的解剖生理特点。
- ③ 应为身体的活动，特别是头、手臂、腿和脚活动提供足够的空间。
- ④ 各种操作器应布置在人的功能可及的范围内。
- ⑤ 把手和手柄应适合手的功能解剖学要求。

2. 有关身体姿势、肌力和身体动作的设计

工作设备的设计应避免肌肉、关节、韧带，以及呼吸和循环系统必要的和过度的应变，力的要求应在生理上所期望的范围内，身体动作应遵循自然节

奏。身体姿势、力的使用以及身体的动作应互相协调。

(1) 身体姿势

① 操作者应能交替采用坐姿和立姿。如果必须两者择一，则通常坐姿优于立姿；然而工作过程也可能要求立姿。

② 如果必须施用较大的肌力，那么应该采取合适的身体姿势和提供适当的身体支承，使通过身体的一连串力或扭矩不致损伤身体。

③ 身体不应由于长时间的静态肌肉紧张而引起疲劳，应该可以变换身体姿势。

(2) 肌力

① 力的要求应与操作者的体力相一致。

② 所涉及的肌肉群必须在肌力上能满足力的要求。如果力的要求过大，那么应在工作系统中引入辅助能源。

③ 应该避免同一肌肉保持长时间的静态紧张。

(3) 身体动作

① 应在身体动作间保持良好的平衡，最好能选择长时间固定不变的动作。

② 动作的幅度、强度、速度和节拍应互相协调。

③ 对精度要求较高的动作不应使用很大的肌力。

④ 如适当的话，可设置引导装置，以便于动作的实施和明确它的先后顺序。

3. 有关信号、显示器和控制器设计

(1) 信号与显示器 信号和显示器应以适合人的感受特性的方式选择、设计和配置。尤其应注意下列各点：

① 信号和显示器的种类和数量应符合信息的特性。

② 当显示器数量很多时，为了能清楚地识别信息，应以能够清晰、迅速地获得可靠的方位来配置它们。对它们的排列可以根据工艺流程或使用特定信息的重要性和频率来确定。这种排列还可依据过程的机能、测定种类等，划分为若干部分。

③ 信号的显示器的种类和设计应保证清晰易辨。这一点对危险信号尤其重要，应考虑到如强度、形状、大小、对比度、显著性和信噪比等各个方面。

④ 信号显示的变化速率和方向应与主信息源变化的速率和方向相一致。

⑤ 在以观察和监视为主的长时间工作中，应通过信号和显示器的设计与布置来避免过载及负载不足的影响。

(2) 控制器 控制器的选择、设计和配置应与人体操作部分的特性（特别是动作）相适应。应该考虑到技能、准确性、速度和力的要求，特别应注意下列各点：

① 控制器的类型、设计和配置应适合于控制的任務。应考虑到人的各项特性，包括学会的和本能的动作。

② 控制器的行程和操作阻力应根据控制任务和生物力学及人体测量数据来选择。

③ 控制动作、设备的应答和显示信息应相互适应和协调。

④ 各种控制器的功能应易于辨认，避免混淆。

⑤ 在控制器数量很多的地方，应以能确保安全、明确、迅速地操作进行配置。其配置方法与信号的配置相同，可以根据控制器在过程中的功能和使用

顺序等，把它们分成若干部分。

⑥ 关键的控制器应有防止误动作的保护装置。

11.2.2 工作环境设计

工作环境的设计应保证工作环境中的物理、化学和生物学条件对人们不产生有害的影响，而且要保证人们的健康及工作能力和便于工作，也应以客观可测的现象和主观评价作为依据。

对于工作环境应特别注意以下各点：

① 工作场所的大小（总体布置、工作空间和通行有关的工作空间）应适当。

② 通风应按下列因素进行调节：

- 室内的人数；
- 工作场所的大小；
- 消耗氧气的设备；
- 所涉及的体力劳动强度；
- 室内的污染物质的产生情况；
- 热条件。

③ 应按当地的气候条件来调节工作场所的热条件：

- 气温；
- 风速；
- 所涉及的体力劳动强度；
- 湿度；
- 热辐射；
- 衣服、工作设备和专用保护设备的性质。

④ 照明应为所需的活动提供最佳的视觉感受：

- 亮度；
- 光分布；
- 亮度和颜色的对比度；
- 颜色；
- 无眩光及不合需要的反射；
- 操作者的年龄。

⑤ 在为房间和工作设备选择颜色时，应该考虑到它们对亮度的分布，对视野的结构和质量及对安全色感受的影响。

⑥ 声学工作环境应避免有害或扰人噪声的影响，包括外部噪声的影响，还应注意下列因素：

- 声压级；
- 时间分布；
- 频谱；
- 对声响信号的感知；
- 通话清晰度。

⑦ 传递给人的振动和冲击不应引起肉体损伤，以及生理和病理反应或感觉、运动神经系统失调。

⑧ 应避免工人暴露于危险物质及有害辐射的环境中。

⑨ 在室外工作时，存在不利的气候影响（如热、冷、风、雨、雪、冰）时，应为操作者提供适当的遮掩物。

11.2.3 工作过程设计

工作过程设计特别应避免工人劳动超载和负载不足，以保护工人的健康和安
全，增进福利和便于完成工作。超越操作者的生理或心理功能范围的上限或
下限，都会形成超载或负载不足，产生不良后果：

- 肉体或感觉的过载使人产生疲劳；
- 负载不足或使人感到单调的工作会降低警惕性。

生理上和心理上所施加的压力不仅有赖于 11.2.1 和 11.2.2 中考虑的因素，
而且也有赖于操作的内容和重复程度，以及操作者对整个工作过程的控制。

应该注意采用下列一种或多种方法改善工作过程和质量：

① 由一名代替几名操作者完成属于同一工作职能的几项连续操作（职能
扩大）；

② 由一名代替几名操作者完成属于不同工作职能的连续操作，例如，组
装作业的质量检查可由次品检出人员完成（职能充实）；

③ 改变工作，例如，在装配线上的工人中，实行自愿轮换工种的方法；

④ 有组织的或无组织的休息。

为了采用上述方法，应特别注意下列各点：

- ① 警惕性和工作能力的昼夜变化；
- ② 操作者之间工作能力上的差异及随年龄的变化；
- ③ 个人技能的高低。

11.3 总体设计的程序

11.3.1 人机系统设计的程序

一般来说，人机系统设计具有如图 11-5 所示的程序，该程序包括以下几
个方面：

① 了解整个系统的必要条件，如系统的任务、目标，系统使用的一般环
境条件，以及对系统的机动性要求等。

② 调查系统的外部环境，如构成系统执行上障碍的外部大气环境，外部
环境的检验或监测装置等。

③ 了解系统内部环境的设计要求，如采光、照明、噪声、振动、温度、
湿度、粉尘、气体、辐射等作业环境以及操作空间等的要求，并从中分析构成
执行上障碍的内部环境。

④ 进行系统分析，即利用人机工程学知识对系统的组成、人机联系、作
业活动方式等内容进行方案分析。

⑤ 分析构成系统的各要素的机能特性及其约束条件，如人的最小作业空
间，人的最大操作力，人的作业效率，人的可靠性和人体疲劳、能量消耗，以
及系统费用、输入输出功率等。

⑥ 人与机的整体配合关系的优化，如分析人与机之间作业的合理分工，
人机共同作业时关系的适应程度等配合关系。

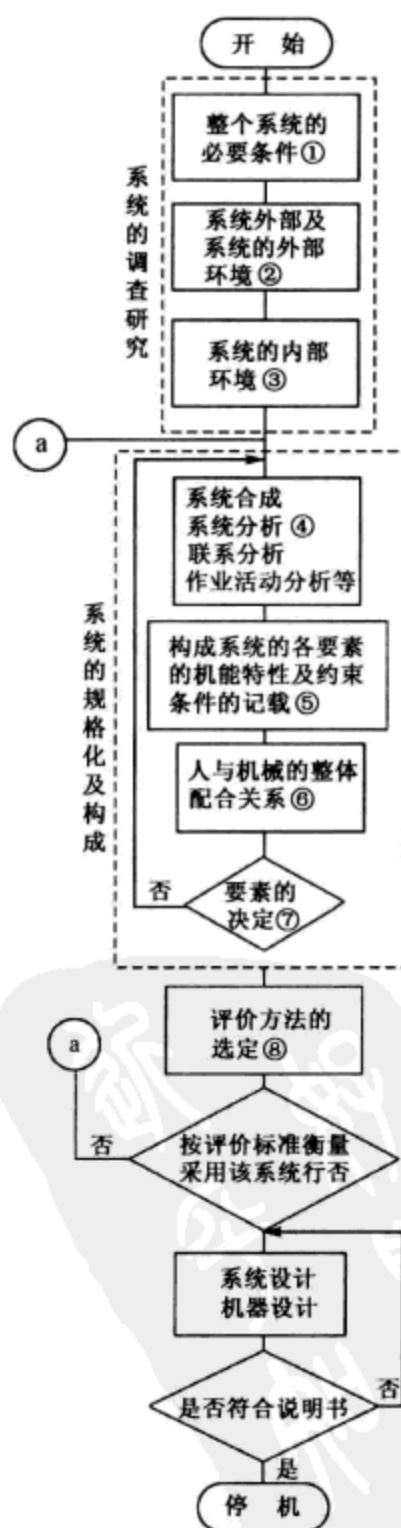


图 11-5 人机系统设计程序

⑦ 人、机、环境各要素的确定。

⑧ 利用人机工程学标准对系统的方案进行评价，如选定合适的评价方法，对系统的可靠性、安全性、高效性、完整性以及经济性等方面做出综合评价，以确定方案是否可行。

11.3.2 人机系统开发的步骤

按人机工程学要求，在人机系统开发的全过程中，均应有人机工程学专家参与，而且在不同的开发阶段，所参与的工作是不同的。人机系统综合开发的步骤及应考虑的人机工程学问题可参见表 11-1。

表 11-1 人机系统的开发步骤

系统开发的各阶段	各阶段的主要内容	人机系统设计中应注意的事项	人机工程学专家的设计事例
明确系统的重要事项	确定目标	主要人员的要求和制约条件	对主要人员的特性、训练等有关问题的调查和预测
	确定使命	系统使用上的制约条件和环境上的制约条件； 组成系统中人员的数量和质量	对安全性和舒适性有关条件的检验
	明确适用条件	能够确保的主要人员的数量和质量，能够得到的训练设备	预测对精神、动机的影响
系统分析和系统规划	详细划分系统的主要事项	详细划分系统的主要事项及其性能	设想系统的性能
	分析系统的功能	对各项设想进行比较	实施系统的轮廓及其分布图
	系统构思的发展（对可能的构思进行分析评价）	系统的功能分配； 与设计有关的必要条件与人员有关的必要条件； 功能分析； 主要人员的配备与训练方案的制订	对人机功能分配和系统功能的各种方案进行比较研究； 对各种性能的作业进行分析； 调查决定必要的信息显示与控制的种类
	选择最佳设想和必要的设计条件	人机系统的试验评价设想与其他专家组进行权衡	根据功能分配，预测所需人员的数量和质量，以及训练计划和设备； 提出试验评价的方法设想与其他子系统的关系和准备采取的对策
系统设计	预备设计（大纲的设计）	设计时应考虑与人有关的因素	准备适用的人机工程数据
	设计细则	设计细则与人的作业的关系	提出人机工程设计标准； 关于信息与控制必要性的研究与实现方法的选择与开发； 研究作业性能； 居住性的研究

续表

系统开发的各阶段	各阶段的主要内容	人机系统设计中应注意的事项	人机工程学专家的设计事例
系统设计	具体设计	在系统的最终构成阶段, 协调人机系统; 操作和保养的详细分析研究 (提高可靠性和维修性); 设计适应性高的机器; 人所处空间的安排	参与系统设计最终方案的确定, 最终决定人机之间的功能分配, 使人在作业过程中, 信息、联络、行动能够迅速、准确地进行; 对安全性的考虑; 防止热情下降的措施
	显示装置、控制装置的选择和设计		控制面板的配置; 提高维修性对策; 空间设计、人员和机器的配置决定照明、温度、噪声等环境条件和保护措施
	人员的培养计划	人员的指导训练和配备计划与其他专家小组的折衷方案	决定使用说明书的内容和式样; 决定系统的运行和保养所需人员的数量和质量, 训练计划的开展和器材的配置
系统的试验和评价	规划阶段的评价; 模型制作阶段; 原型、最终模型的缺陷诊断和修改的建议	人机工程学试验评价; 根据试验数据的分析, 修改设计	设计图纸阶段的评价; 模型或操纵训练用模拟装置的人机关系评价; 确定评价标准 (试验法、数据种类、分析法等); 对安全性、舒适性、工作热情的影响评价; 机械设计的变动, 使用程序的变动, 人的作业内容变动, 人员素质的提高, 训练方法的改善, 对系统规划的反馈
生产	生产	以上几项为准	以上几项为准
使用	使用、保养	以上几项为准	以上几项为准

11.4 总体设计的要点

人机系统的显著特点是, 对于系统中人、机和环境三个组成要素, 不单纯追求某一个要素的最优, 而是在总体上、系统级的最高层次上正确地解决好人机功能分配、人机关系匹配和人-机界面合理三个基本问题, 以求得满足系统总体目标的优化方案。因此, 应该掌握总体设计的要点。

11.4.1 人机功能分配

在人机系统中，充分发挥人与机械各自的特长，互补所短，以达到人机系统整体的最佳效率与总体功能，这是人机系统设计的基础，称为人机功能分配。

人机功能分配必须建立在对人和机械特性充分分析比较的基础上，见表11-2。一般地说，灵活多变、指令程序编制、系统监控、维修排除故障、设计、创造、辨认、调整，以及应付突然事件等工作应由人承担。速度快、精密度高、规律性的、长时间的重复操作、高阶运算、危险和笨重等方面的工作，则应由机械来承担。随着科学技术的发展，在人机系统中，人的工作将逐渐由机械所替代，从而使人逐渐从各种不利于发挥人的特长的工作岗位上得到解放。

表 11-2 人与机器的特性比较

能力种类	人的特性	机器的特性
物理方面的功率 (能)	10 s 内能输出 1.5 kW，以 0.15 kW 的输出能连续工作 1 天，并能做精细的调整	能输出极大的和极小的功率，但不能像人手那样进行精细的调整
计算能力	计算速度慢，常出差错，但能巧妙地修正错误	计算速度快，能够正确地进行计算，但不会修正错误
记忆容量	能够实现大容量的、长期的记忆，并能实现同时和几个对象联系	能进行大容量的数据记忆和取出
反应时间	最小值为 200 ms	反应时间可达微秒级
通道	只能单通道	能够进行多通道的复杂动作
监控	难以监控偶然发生的事件	监控能力很强
操作内容	超精密重复操作时易出差错，可靠性较低	能够连续进行超精密的重复操作和按程序常规操作，可靠性较高
手指的能力	能够进行非常细致而灵活快速的动作	只能进行特定的工作
图形识别	图形识别能力强	图形识别能力弱
预测能力	对事物的发展能做出相应的预测	预测能力有很大的局限性
经验性	能够从经验中发现规律性的东西，并能根据经验进行修正总结	不能自动归纳经验

在人机系统设计中，对人和机械进行功能分配，主要考虑的是系统的效能、可靠性和成本。例如，在宇宙航行中，绕月球飞行的成功率，全自动飞行 为 22%，有人参与的为 70%，人承担维修的为 93%，后者为前者的 4.2 倍，这就是功能分配的效果。功能分配也称为划定人机界限，通常应考虑以下各点：

- ① 人与机械的性能、负荷能力、潜力及局限性；

- ② 人进行规定操作所需的训练时间和精力限度；
- ③ 对异常情况的适应性和反应能力的人机对比；
- ④ 人的个体差异的统计；
- ⑤ 机械代替人的效果和成本等。

一般认为，用机械代替人，在等效等质条件下，符合下列公式才是经济可行的：

$$[\text{设备原值} \times (\text{折旧率} + \text{大修率}) + \text{设备能耗} + \text{设备维修保养费} + \text{设备原值的银行利率}] < [\text{人工工资} + \text{工资附加费} + \text{社会保险费}]$$

人机功能分配的结果形成了由人、机共同作用而实现的人机系统功能。现代人机系统的功能包括信息接收、贮存、处理、反馈和输入输出以及执行等。

11.4.2 人机匹配

在复杂的人机系统中，人是一个子系统，为使人机系统总体效能最优，必须使机械设备与操作者之间达到最佳的配合，即达到最佳的人机匹配。人机匹配包括显示器与人的信息通道特性的匹配，控制器与人体运动特性的匹配，显示器与控制器之间的匹配，环境（气温、噪声、振动和照明等）与操作者适应性的匹配，人、机、环境要素与作业之间的匹配等。要选用最有利于发挥人的能力、提高人的操作可靠性的匹配方式来进行设计。应充分考虑有利于人能很好地完成任务，既能减轻人的负担，又能改善人的工作条件。例如，设计控制与显示装置时，必须研究人的生理、心理特点，了解感觉器官功能的限度和能力，以及使用时可能出现的疲劳程度，以保证人、机之间最佳的协调。随着人机系统现代化程度的提高，脑力作业及心理紧张性作业的负荷加重，这将成为突出的问题，在这种情况下，往往导致重大事故的发生。

在设备设计中，必须考虑人的因素，使人既舒适又高效地工作。随着电子计算机的不断发展，将会使人机配合、人机对话进入新的阶段，使人机系统形成一种新的组成形式——人与智能机的结合，人类智能与人工智能的结合，人与机械的结合，从而使人在人机系统中处于新的主导地位。

11.4.3 人-机界面设计

人-机界面设计，必须解决好两个主要问题，即人控制机械和人接受信息。前者主要是指控制器要适合于人的操作，应考虑人进行操作时的空间与控制器的配置。例如，采用坐姿脚动的控制器，其配置必须考虑脚的最佳活动空间，而采用手动控制器，则必须考虑手的最佳活动空间。后者主要是指显示器的配置如何与控制器相匹配，使人在操作时观察方便，判断迅速、准确。

人-机界面设计主要是指显示、控制，以及它们之间的关系的设计。作业空间设计、作业分析等也是人-机界面设计的内容。有关人-机界面的设计内容，在前面各有关章节中已做过详细的介绍，在此仅以一例来说明人-机界面设计的分析方法。

图 11-6 是一种控制仪表板的人-机界面设计程序示例。

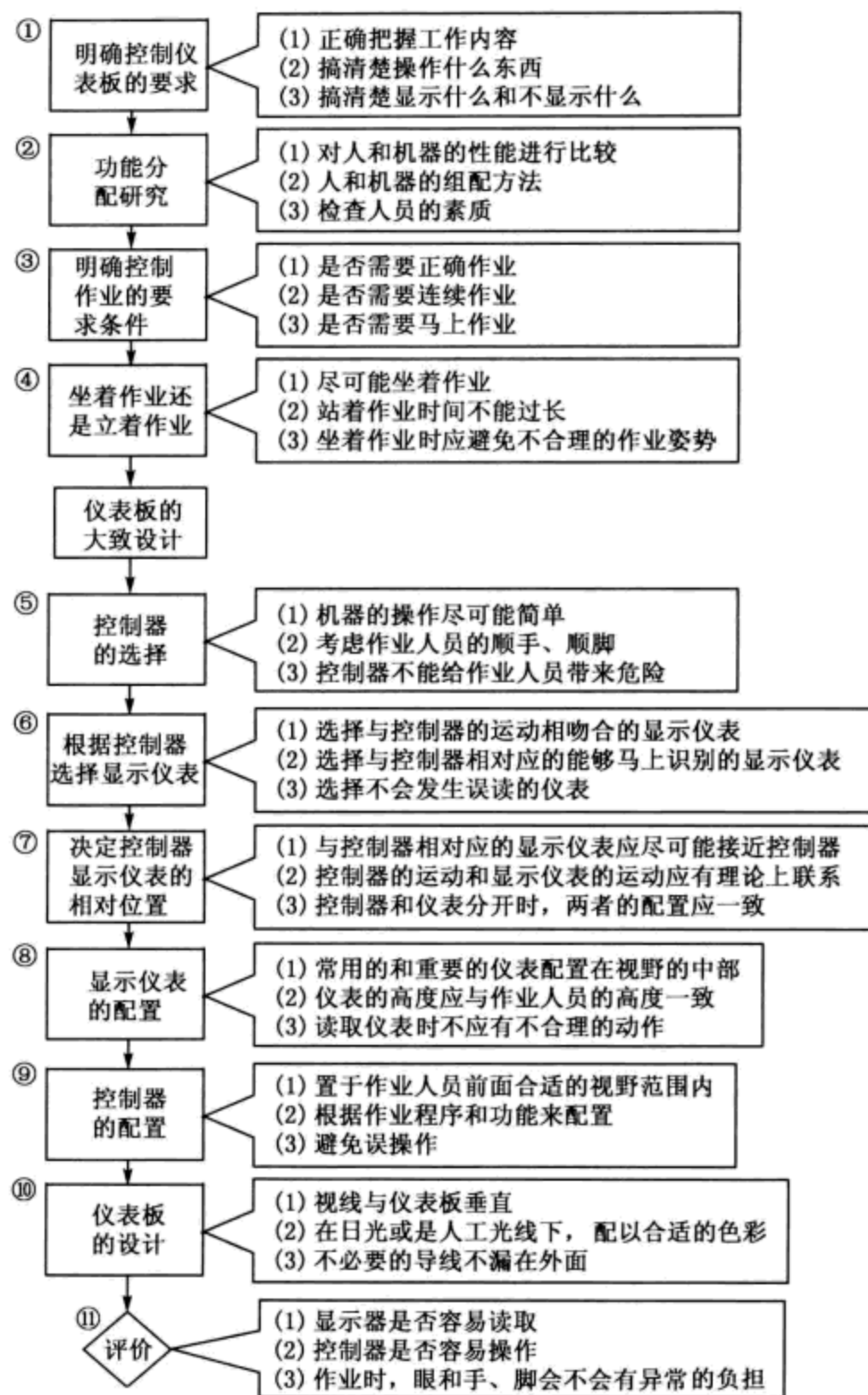


图 11-6 人-机界面设计程序示例

11.5 总体设计的评价

11.5.1 人机系统评价方法

人机系统的评价方法通常分为三类：实验法、模拟装置法和实际运行测定法。它们各自的优缺点见表 11-3。

11.5.2 检查表法（检核表法）

用检查表进行评价是一种较为普遍的、初步定性的评价方法。该方法既可用于系统评价，也可用于单元评价。

表 11-3 人机系统各种评价方法的优缺点

评价方法	优 点	缺 点	用 途
实 验 法	<p>正确性——非常好；</p> <p>彻底性——现象的把握和记录确切；</p> <p>再现性——在大体上相同或完全相同的实验条件下能再现；</p> <p>控制性——可限定实验条件，也可限定实验范围；</p> <p>弹性——实验因素可做各种组合，各因素的水准容易扩大到相当宽的范围；</p> <p>解析性——由于以上的特点，可把握住因果关系；</p> <p>问题的探索——可判定问题的焦点，较早就能得到初步的概念；</p> <p>费用——一般来说费用较便宜；</p>	<p>人为性——与实际情况相比较，实验室的作业条件是人为的；</p> <p>不完全性——在很多场合下，不能再现人的不安、应激、异常环境和辅助条件等</p>	<p>实验室方法最适合剖析科学现象，能用公式表示结论。用这种方法也能求得特殊问题的特殊解答</p>
模 拟 装 置 法	<p>真实性——能在实际的或逼真的装置上进行真实的作业；</p> <p>交互作用研究——能较真实地对于操作顺序、训练与任务的协调、人机之间的干扰等进行研究；</p> <p>诊断——能有效地模拟系统特有的问题</p>	<p>特殊性——因为模拟装置是为特定目的设计的，所以不能在很宽的范围内改变变量，难以得出一般性的结论</p>	<p>模拟装置适合在计划初期时做人机系统的研究，以谋求系统的最佳化。这时，就可做各种各样的设计修改。采用模拟装置能预测实际的作业</p>
实 际 运 行 测 定 法	<p>真实性——在实际运行状态下观察到的行动，其真实性高。在被试者不知正在进行着实验的情况下，能得到非常有用的数据</p>	<p>设定条件的限制——难以设定控制的要素与偶然性要素两者相容的条件；</p> <p>缺少再现性——不能重复设定环境条件和试验条件；</p> <p>复杂性——由于以上的原因，作业测定的结果受其他因素的影响。在很多场合，数据混淆、歪曲，仅采用这样的数据做预测是有危险的</p>	<p>在确认系统可否使用时，实际运行测定法是有效的。此法更适用于做检验，因为在实际运行时马上可发现设计上的差错</p>

1. 检查表编制方法

应根据评价对象和要求，有针对性地编制检查表，要求尽可能系统和详细。具体要求如下：

- ① 从“人、机、环境”要求出发，利用系统工程方法和人机工程的原理编制，将系统划分为单元，便于集中分析问题；
- ② 以各种规范、规定和标准等为依据；
- ③ 要充分收集有关资料、市场信息和同类或类似产品的情报；
- ④ 由人机工程技术人员、生产技术人员和有经验的操作人员共同编制；
- ⑤ 检查表的格式有提问式、叙述式，有的可以打分。表 11-4 是提问式

检查表的格式。

表 11-4 检查表

单元名称	检查项目内容	回答		备注
		是	否	

2. 系统分析检查表

系统分析检查表是指对整个人机系统（包括人、机、环境）进行检查。由于篇幅所限，这里仅介绍其中几个主要部分的检查内容，供评价时参考。

(1) 信息显示

- ① 作业操作能得到充分的信息指示吗？
- ② 信息数量合适否？
- ③ 作业面的亮度能否满足视觉的判断对象，以及进行作业要求的必要照明标准？
- ④ 警报指示装置是否配置在引人注意的地方？
- ⑤ 仪表控制台上的事故信号灯是否位于操作者的视野中心？
- ⑥ 标志记号是否简洁、意思明确？
- ⑦ 信号和显示装置的种类、数量是否符合信息的特性？
- ⑧ 仪表的安排是否符合按用途分组的要求？排列顺序是否与操作者的认读次序一致？是否符合视觉运动规律？调节或操纵把手时视线是否不被遮挡？
- ⑨ 最重要的仪表是否布置在最有利的视区内？
- ⑩ 显示仪表与控制装置在位置上对应关系如何？
- ⑪ 能否很容易地从仪表板上找出所需要的仪表？
- ⑫ 仪表刻度能否十分清楚地分辨？
- ⑬ 仪表的精度符合读数精度要求吗？
- ⑭ 刻度盘分度的特点不同，会引起读数误差吗？
- ⑮ 根据指针是否能容易地读出所需要的数字？指针运动方向符合习惯要求吗？
- ⑯ 音响信号是否受到噪声干扰？必要的会话是否受到干扰？

(2) 操纵装置

- ① 操纵装置是否设置在手易达到的范围内？
- ② 需要进行快而准确的操纵动作是否用手操作？
- ③ 操纵装置是否按不同功能和不同系统分组？
- ④ 不同的操纵装置在形状、大小、颜色上是否有区别？
- ⑤ 操作极快、使用频繁的操纵装置是否用按钮？
- ⑥ 按钮的表面大小、按压深度和表面形状是否合理？
- ⑦ 手控操纵机构的形状、大小和材料是否与施力大小相符合？
- ⑧ 从生理上考虑，施力大小是否合理？是否有静态施力状态？
- ⑨ 脚踏板是否必要？是否以坐姿操作脚踏板？
- ⑩ 显示装置与操纵装置是否按使用顺序原则、使用频率原则和重要性原则安排？
- ⑪ 能用复合的操纵装置（多功能的）吗？
- ⑫ 操纵装置的运行方向是否与预期的功能和被控制的部件运动方向一致？
- ⑬ 操纵装置的设计是否满足协调性（适应性或兼容性）的要求（即显示

装置与操纵装置的空间位置协调性,运动上的协调性和概念上的协调性)?

⑭ 紧急停车装置设置的位置是否合理?

⑮ 操纵装置的布置是否能保证操作者能以最佳体位进行操作?

(3) 作业空间

① 作业地点的空间是否足够宽敞?

② 仪表及操纵机构的布置是否便于操作者采取方便的工作姿势?能否避免长时间保持站立姿势?能否避免出现频繁的前屈弯腰动作?

③ 如果是坐姿工作,是否有放脚的空间?

④ 从工作位置和到眼睛的距离来考虑,工作面的高度是否合适?

⑤ 机器、显示装置、操纵装置和工具的布置是否能保证人的最佳视觉条件、最佳听觉条件和最佳触觉条件?

⑥ 是否按机器的功能和操作顺序安排?

⑦ 设备布置是否考虑进入作业姿势及退出作业姿势的充分空间?

⑧ 设备布置是否注意安全和交通问题?

⑨ 大型仪表板的位置是否能满足作业人员操纵仪表、巡视仪表和在控制台前操作的空间尺寸?

⑩ 危险作业点是否留有足够的退避空间?

⑪ 操作人员进行操作、维护、调节的工作位置在坠落基准面 2 m 以上时,是否在生产设备上配置供站立的平台和护栏?

⑫ 对可能产生渗漏的生产设备,是否设有收集和排放设施?

⑬ 地面是否平整?

⑭ 危险作业区和危险作业点是否隔离?

(4) 环境要素

① 作业区的环境温度是否适宜?

② 全区照明与局部照明之比是否适当?是否有忽明忽暗、频闪现象?是否有产生眩光的可能?

③ 作业区的湿度是否适宜?

④ 作业区的粉尘怎样?

⑤ 作业区的通风条件怎样?强制通风的排风能力及分布位置是否符合规定的要求?

⑥ 噪声是否超过卫生标准?采用的措施有效否?

⑦ 作业区是否有放射线及其物质?采用的措施有效否?

⑧ 电磁波的辐射量怎样?是否有防护措施?

⑨ 是否有出现可燃、有毒气体的可能?监测装置是否符合要求?

⑩ 原材料、半成品、工具及边角废料置放可靠否?

⑪ 是否有刺眼或不协调的颜色存在?

11.6 无障碍化人机系统设计示例

11.6.1 社会对无障碍化设计的重视

1. 境外的无障碍设计概况

这里简要介绍部分国家或地区的无障碍设计的情况。

美国是世界上第一个制定“无障碍标准”的国家，其无障碍环境建设既有多层次的立法保障，又已进入了科研与教育的领域；各种无障碍设施既有全方位的布局，又与建筑艺术协调统一，同时给残疾人、老年人带来了方便与安全，堪称世界一流水平。1961年美国国家标准协会制定了第一个无障碍设计标准。1968年和1973年国会分别通过了建筑无障碍条例和康复法，提出了使残疾人平等参与社会生活，在公共建筑、交通设施及住宅中实施无障碍设计的要求，并规定所有联邦政府投资的项目，必须实施无障碍设计。为了从根本上转变观念，美国许多高等院校建筑系，已专门设立无障碍设计技术课程，作为必须训练的一项基本功。现在新建道路和建筑物基本能做到无障碍建设，改造也能考虑无障碍，尤以残疾人居住的建筑最为突出，针对使用者的特殊需求，采取了更多措施，包括建筑设施的灵活调整等，以使残疾人通行安全和使用方便。

日本目前为残疾人、老年人增设的无障碍设施比较普及，国家所制定的统一建设法规中就包括残疾人、老年人无障碍设计。每一幢建筑物竣工时，有专门部门验收其是否符合残疾人、老年人无障碍设计。在一些公共设施中，尤其是商店，要按商业建筑面积大小实现不同等级的无障碍设计，建筑面积大于1500平方米的大中型商业建筑要为残疾人、老年人提供专用停车场、厕所、电梯等设施。在机场、电力火车站、电力火车以及道路等地方和设备，无障碍设施、服务也较为完善。

《香港残疾人通道守则》自1976年至1984年多次修订。中国香港对规定道路的无障碍要求是比较高的，乘轮椅者在规定的无障碍道路上要实现通行无阻。跨车行道的建筑物、交通信号与标志、地铁的无障碍设施十分完善和发达。有关建筑物也做到无障碍设施齐全。

2. 我国的无障碍设计概况

联合国世界卫生组织对一些国家进行了抽样调查，认为残疾人约占世界人口总数的10%，因此当今全世界有5亿多残疾人，其中1亿在中国。

20世纪末，我国60岁以上的老年人总数约达1.3亿，占总人口的10.5%，为此我国也进入了老年型国家的行列，2040年将是我国老龄化的高峰，老年人口占总人口的比重大约增长到24%，届时每4人中将有一位老年人。因此不论在目前还是将来，我国是世界上老年人口最多的国家。

目前，在许多城市设计方面也考虑到一些残疾人及老年人的特殊生活需求。这不但是社会发展的需要，也是和谐社会和现代城市文明的体现。

在我国的《城市道路和建筑物无障碍设计规范》标准中也明确规定如下：

(1) 城市道路 实施无障碍的范围是人行道、过街天桥与过街地道、桥梁、隧道、立体交叉的人行道、人行道口等。无障碍内容是设有路缘石（马路牙子）的人行道，在各种路口应设缘石坡道；城市中心区、政府机关地段、商业街及交通建筑等重点地段应设盲道；公交候车站点地段应设提示盲道；城市中心区、商业区、居住区及主要公共建筑设置的人行天桥和人行地道应设符合轮椅通行的轮椅坡道或电梯，坡道和台阶的两侧应设扶手，上口和下口及桥下防护区应设提示盲道；桥梁、隧道入口的人行道应设缘石坡道，桥梁、隧道的人行道应设盲道；立体交叉的人行道口应设缘石坡道，立体交叉的人行道应设盲道。

(2) 居住区 实施无障碍的范围主要是道路、绿地等。无障碍要求是，设有路缘石的人行道，在各路口应设缘石坡道；主要公共服务设施地段的人行道应设盲道，公交候车站点应设提示盲道；公园、小游园及儿童活动场的通路应符合轮椅通行要求，公园、小游园及儿童活动场通路的入口应设提示盲道。

(3) 房屋建筑 实施无障碍的范围是办公、科研、商业、服务、文化、纪念、观演、体育、交通、医疗、学校、园林、居住建筑等。无障碍要求是建筑入口、走道、平台、门、门厅、楼梯、电梯、公共厕所、浴室、电话、客房、住房、标志、盲道、轮椅等应依据建筑性能配有相关无障碍设施。

城市道路和建筑物的无障碍设计必须严格执行有关方针政策和法律法规,以为残疾人、老年人等弱势群体提供尽可能完善的服务为指导思想,并应贯彻安全、适用、经济、美观的设计原则。

11.6.2 无障碍设计的特殊要求

人体尺度及活动空间,是确定道路与建筑设计的主要依据,在过去的城市建设和房屋设计中,是依据健全成年人的尺度和人体活动空间参数考虑的,许多设施是按照健全人的活动模式和使用需要进行制定的,其中许多设施不适合残疾人、老年人及幼儿使用,给他们在参与社会生活方面带来了许多困难,甚至造成不可逾越的障碍。设计者和建设者面对现实情况,应全方位考虑人体尺度与活动空间及其行为特点,真正做到“对人的关怀”这一崇高的设计基本原则。

健全人与残疾者的尺度与行为比较如下:

(1) 正面宽 健全人的平均肩宽为 45 cm,行进时的宽幅则为 50 cm,乘轮椅者的宽幅为 65 cm,行进时因双手操作外轮,则需要 70 cm 的宽幅,约为健全人 1.5 倍。拄拐杖者因使用拐杖的种类不同,其宽幅各异,按拄双杖者考虑,其宽幅为 90 cm,行进时宽幅则为 120 cm,约为健全人的 2.4 倍。视力残疾者用盲杖行进时的幅宽是 90 cm,约为健全人的 2 倍。

(2) 侧面宽 健全人的平均侧面宽为 30 cm,乘轮椅者为坐式,其侧面宽为 110 ~ 120 cm,约为一般人的 4 倍。拄双拐者及使用盲杖者其侧面宽为 60 ~ 70 cm,约为一般人的 2 倍。

(3) 眼高 健全人的平均眼高为 160 cm,乘轮椅者的眼高为 110 cm,为健全人的 0.7 倍。拄双拐者因姿态向前倾斜,眼位稍低一点,约为 150 cm,为健全人的 0.9 倍。

(4) 旋转 180° 健全人作 180° 旋转,约需 60 cm × 60 cm 的面积空间,乘轮椅者以轮椅为中心旋转 180°,则约需直径 150 cm 圆的面积空间;拄双拐旋转 180° 所需面积稍小,约需直径 120 cm 圆的面积空间;盲人借助盲杖旋转 180°,约需直径 150 cm 圆的面积空间。

(5) 水平移动 健全人的水平移动平均速度约为 1.0 m/s;手动轮椅的速度稍快,约为 1.5 ~ 2.0 m/s;拄双拐者及拄盲杖者速度稍慢,约为 0.7 ~ 1.0 m/s。

(6) 垂直移动 健全人跨越 15 ~ 20 cm 高的台阶没有困难,但是对乘轮椅者来说,跨越这个高度几乎是不可能的。轮椅在跨越地面高差为 25 mm 时将非常困难,因此供乘轮椅者通行的地面如有高差应控制在 20 mm 以下,并用斜面进行连接。拄双拐者可在台阶上行走,但台阶的高度不宜超过 12 cm。因此解决残疾人的垂直移动方式,是在台阶一侧修建平缓的供轮椅通行的坡道,室内坡道的坡度为 1/12,室外坡道的坡度为 1/12 ~ 1/20。乘轮椅者在楼层间垂直移动只能依靠电梯或坡道上下转移。

(7) 手的范围 与健全人相比,乘轮椅者的手的活动范围相对较小。手的触摸高度侧面为 125 ~ 135 cm;正面为 115 ~ 120 cm。手向侧面伸出时可触及到 60 cm 内的物体。当要接触前方物体时,该物体最好向外突出,底部可容

纳轮椅搁脚板。

(8) 健全人与残疾人的尺度比较 各项具体尺度比较见表 11-15。

表 11-5 健全人与残疾人的尺度比较 cm

类别	身高	正面宽	侧面宽	眼高	水平移动	旋转 180°	垂直移动 (台阶)
健全成人	170	45	30	160	1	60×60	15~20
乘轮椅人	120	65~70	110~120	110	1.5~2.0	φ150	2
拄双杖人	160	90~120	60~70	150	0.7~1.0	φ120	10~15
拄盲杖人	—	60~100	70~90	—	0.7~1.0	φ150	15~20

11.6.3 常见的无障碍设计示例

1. 无障碍设施标志设计

常见的各种无障碍设施标志牌设计见图 11-7；无障碍设施及通道方向牌标志设计见图 11-8；无障碍标志的位置设置如图 11-9 所示。

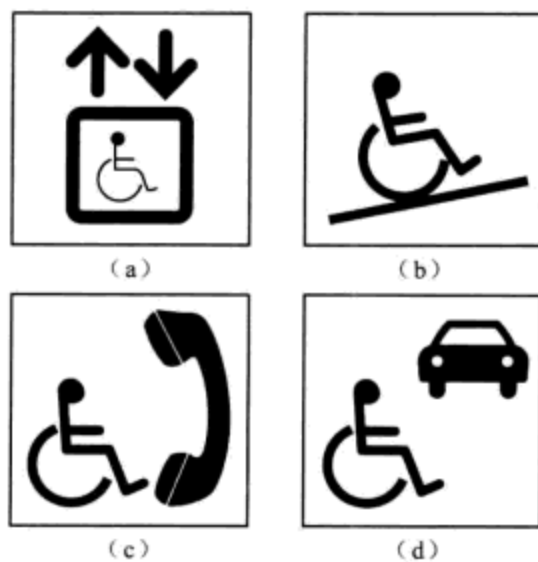


图 11-7 各种无障碍设施标志牌
(a) 电梯标志；(b) 坡道标志；
(c) 电话标志；(d) 停车车位标志



图 11-8 无障碍设施及通道方向标志牌

2. 无障碍公共设施设计

无障碍过街通道设计见图 11-10；供乘坐轮椅者使用的公用设施设计见图 11-11。



图 11-9 无障碍标志的位置
(a) 公用电话无障碍标志；(b) 洗手间入口标志

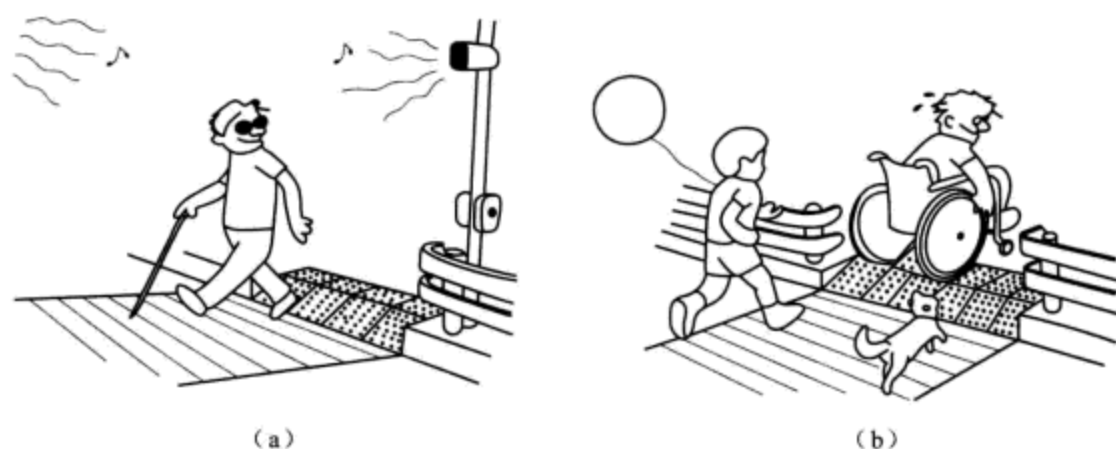


图 11-10 无障碍过街通道
(a) 方便盲人过街音响；(b) 方便过街的缘石坡道

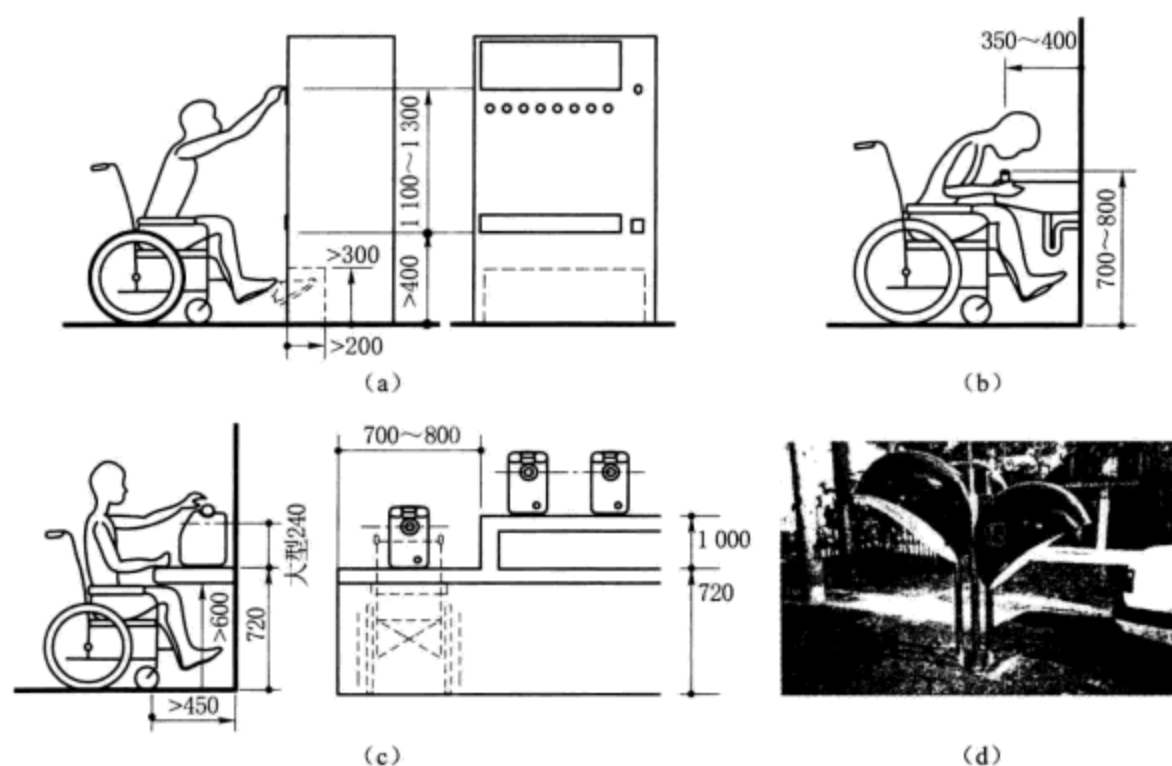


图 11-11 乘轮椅者使用的公用设施
(a) 适合乘轮椅者使用的自动购物机高度；(b) 供乘轮椅者使用的饮水器高度；
(c) 供乘轮椅者使用的台式电话的高度及深度；(d) 北京街头为乘轮椅者设置的低位公用电话

3. 无障碍用具及室内设施设计

轮椅类型及参数如图 11-12 所示；残疾人使用的室内设施如图 11-13 所示。

综上所述，在一般情况下，无障碍化设计都只是为老年人和残疾人考虑的特殊设计。像高差处坡道的设置、电梯的设置、轮椅乘坐者专用厕所的设置等，都是出于特殊的考虑而设置的。

近几年，无障碍设计更多地出现在城市的公共设施建设及小区的建设中，人行道上设置了坡道和盲道，公共卫生间也增加了专供老人或残疾人使用的厕位等。从更深层次上说，无障碍不仅仅限于老人、残疾人这样的特殊群体，同时，也是人性的共同需求。如公共台阶的无伤害化处理等都可以列入无障碍的范畴，无障碍设计就是在营造一个更加人性化、更舒适的环境。

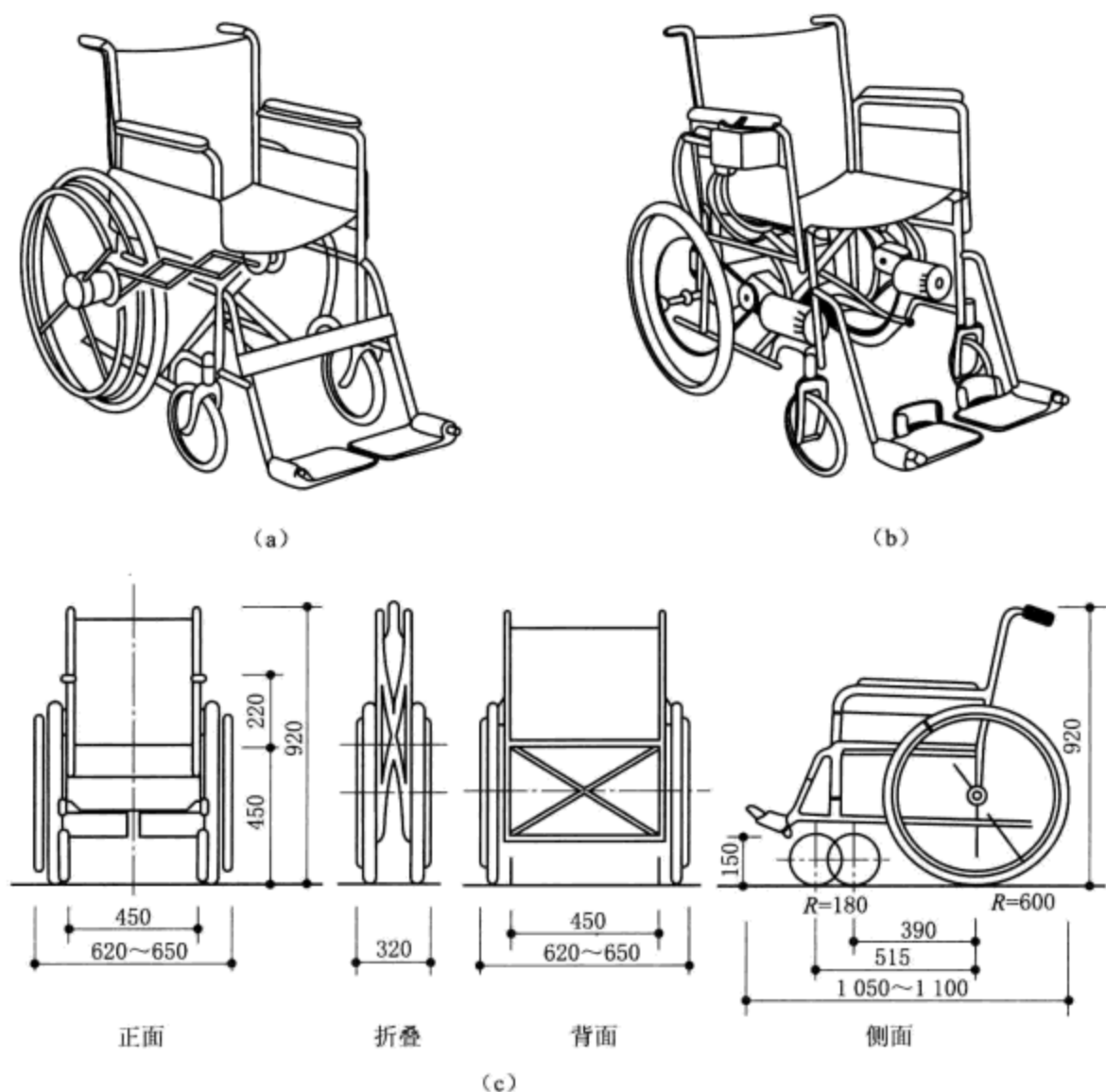


图 11-12 轮椅类型及其参数
(a) 残疾者单手操纵的轮椅；(b) 电动轮椅；(c) 手动轮椅主要参数



图 11-13 小区残疾人套房的无障碍设施

第 12 章 人机工程发展新趋势

12.1 非物质化人机工程

12.1.1 非物质化的趋势

非物质 (immaterial) 的英文原意是 “not material”。非物质主义是一种哲学意义上的理论,其基本观点是,物质性是由人决定的,离开了人,物质就没有意义了。

在工业社会中,设计是以满足人类“物质欲望”和“消费主义”为核心的活动。“物质性”表达了人们的生活方式和生活内容的基本方面,产品的所谓“艺术性”和“精神性”是附着在产品的物质性上的。物质性是一种明摆在人们面前,但可以由人们去解释和表现的东西。

对于设计而言,“非物质性”的基本意义是:

非物质性或者设计对非物质性的表达是社会后工业化或信息化的结果。信息社会是一个“基于提供服务和非物质产品的社会”,信息社会是物理现实和社会现实充分信息化的社会。因此,未来社会也许可以称为“以知识为中心的社会”,这是一种基于计算机和网络系统的信息社会。“非物质”不是物质,但“非物质”是基于物质的,只不过是脱离了物质的层面。美国的微软 (Microsoft) 公司称得上是一个非物质时代的标志,微软生产的 Windows 系列软件其物质的“量”可以说是微不足道的,但微软的服务对象遍及全世界,其提供的“数字化”和“服务”是无法比拟的,因此,微软的收益巨大。“数字化”和“服务”创造了效益。

从工业社会的物质文明向后工业社会的非物质文明 (immateriality) 转变,将是本世纪设计发展的总趋势,而推进这一转变的关键是信息技术。21 世纪的设计将从有形 (tangible) 的设计向无形 (intangible) 的设计转变;从物 (material) 的设计向非物 (immaterial) 的设计转变;从产品 (product) 的设计向服务 (service) 的设计转变;从实物产品 (product) 的设计向虚拟产品 (less product) 的设计转变。

未来,人类最迫切的需求是将计算技术不断深入地集成到人们的物质生活中。计算机可以达到的影响远远超越了一个特定的人、在一段特定时间内所能完成的工作量。计算机将物质世界中的人的智能、信息的获取与实际行为联系了起来。人机界面在各种趋势中,可以找出一些值得注意的发展方向,包括:

(1) 小型与隐形的趋势 不久,数字化、网络化家庭将成为现实。网络家电,如全自动洗衣机、数字化微波炉、数字电视机、屏幕电冰箱等早已经成为计算机的隐身之处,计算机还会继续以各种“不起眼”的形式进入人们的日常生活空间。

(2) 服务方式的变化 无论是生态界面设计、非命令界面,还是智能代理都强调减小人在使用界面时的认知负荷,让用户集中注意力于事物本身,而非机器或者界面上。这实际上反映了从人操作计算机向计算机在人的工作中“悄悄地”主动为人服务的方向发展。

(3) 虚拟与现实的结合 虚拟现实技术的进一步应用, 可以使人身临其境, “完全自由”地在现实中享受虚拟的乐趣。

12.1.2 非物质化设计

随着计算机技术和网络技术的逐步发展, 第三次浪潮——信息化浪潮迎面而来, 逐渐改变了人们的生活方式。此时的设计, 逐步从物质化设计转向信息化、非物质设计。软件开发设计层出不穷, 虚拟设计、网络化设计、并行工程逐步成为设计的主流。人与机器的交互走向多通道化、虚拟化, 人与人之间的交互也步入网络化、虚拟化。

人机工程学是一门应用性很强的学科, 从它诞生时起, 即与工业设计紧密地联系在一起。当设计的主流发生变化时, 随之便提出了许多全新的人机工程学研究课题, 扩展了人机工程学学科领域。物质化设计中的人机工程学和非物质化设计中的人机工程学已成为人机工程学的两大分支, 即:

(1) 硬件人机工程学 主要集中在对人体能力、人体限制及其他与设计相关的人体特性信息的应用, 以满足设计、分析、测试与评价、标准化, 以及系统控制的要求。它是在工程设计缺陷诊断中发展起来的, 主要研究课题有: 控制与显示的设计; 研究人体能力与限制在环境中的光照、温度、噪声及震动等因素作用中的关系; 研究作业空间布局, 减少人体的工作负荷, 增强舒适程度, 提高生产率等。人体生物力学与人体测量学在其中起着核心的作用, 其主要目的是在交通、工业、消费类电子产品的设计与生产中, 提高安全性与可用性。

(2) 软件人机工程学 研究软件和软件界面, 侧重于运用和扩充软件工程的理论和原理, 对软件人机界面进行分析、描述、设计和评估等。主要解决有关人类思维与信息处理的有关问题, 包括设计理论、标准化、增强软件的可用性的方法等, 使软件(计算机)与人的对话能够满足人的思维模式与数据处理的要求, 实现软件的高可用性。

12.1.3 软件人机界面

人-计算机系统是由人和计算机硬件、软件共同构成的人机系统。在人-计算机系统中, 人与硬件、软件结合分别构成硬件人机界面和软件人机界面, 如图 12-1 所示。

在图 12-1 中, 人机工程学研究的是人与硬件界面、人与软件界面之间的关系, 而硬件界面与软件界面之间的关系则通过计算机技术来解决。人与硬件界面之间的关系是本章之前所介绍的经典人机工程学的研究内容, 此处仅介绍软件人机界面的设计要点。

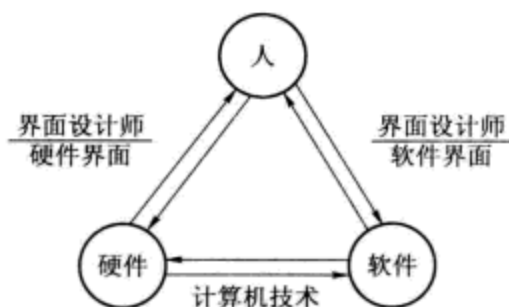


图 12-1 人-计算机系统的界面

12.1.4 设计师、界面与用户的交互模型

由于目前计算机系统应用范围很广, 其用户范围也遍及各个领域。设计师必须了解各种用户的习性、技能、知识和经验, 以便预测不同类别的用户对界面有什么不同的需要与反应, 为人机交互系统的分析设计提供依据, 使设计出的人机交互系统更适合于各类用户的使用。

根据用户的个性可分为: ① 外向型和内向型: 外向型用户注重外部刺激, 喜欢变化和行动; 而内向型用户喜欢采取熟悉的方式工作。② 感知型和直觉型: 感知型用户善于做精细的工作, 喜欢使用熟悉的技巧; 而直觉型用户喜欢

解决新问题。③ 理解型和理智型：理解型喜欢了解新的形式，但对于做出决策可能有困难；而理智型用户喜欢制订周密的计划。

另外，按用户是否为程序员，可分为非程序员用户和程序员用户，程序员用户又可分为应用程序员用户和系统程序员用户；按用户是否受过使用计算机系统知识的培训，可分为未受过训练的用户和受过训练的用户；按照使用计算机系统的目的可分为最终用户、应用开发用户、系统开发维护用户等。根据使用计算机系统的频度和熟练程度，可以将他们分为偶然型用户、生疏型用户、熟练型用户和专家型用户，目前这一种分类比较流行。

认识用户是用户工程学原理表上的第一个原理。用户在背景知识、使用系统的频度、目标和系统对用户错误的影响等方面千差万别。因此，在设计之前界面设计师必须尽可能把用户和形态特征了解全面。

计算机用户的认知和行为特性主要包括以下内容：

(1) 人机匹配性 软件界面作为用户完成任务的工具，应该使用户意图和界面允许动作之间很好地匹配。如果有矛盾，应该让软件更好地适应用户，而不是用户适应软件。

(2) 用户的技能和弱点 用户具有许多固定的技能，如身体和动作的技能、语言和通信的技能、思维能力、学习和求解问题能力等；同时也具有健忘、易出错、注意力不集中、疲劳、情绪不稳定等弱点。适应各类用户感性的、认知的和运动的能力和弱点对每个设计师都是一场挑战。

(3) 用户的知识背景 用户的知识背景（包括知识经验、受教育程度、语言背景等）决定了他对人机交互的知识经验以及对计算机应用领域的知识水平，这些都将影响到使用软件界面的方式，从而决定了设计师该用何种方式来解决问题。

(4) 用户对系统的期望和态度 有些人不喜欢甚至厌恶计算机；另一些人则对计算机很感兴趣并渴望使用计算机。即使同样喜欢计算机的人也会对对话方式、速度等各方面有不同的偏爱。清楚地了解用户的个性和认知方式，在设计系统时是十分有利的。

设计师对用户的想法和对系统的期望有自己的理解，当然这些理解是基于对用户任务、需求、用户的背景、经验和能力，以及对人脑信息处理机构的特点和限制等考察的基础。

对用户的认知和行为特性的分析，能够帮助设计师正确地估计软件界面的复杂程度，提供清晰的结构，以及与之相联系的用户手册和操作手册。

图 12-2 所示为设计师、界面与用户的交互模型。

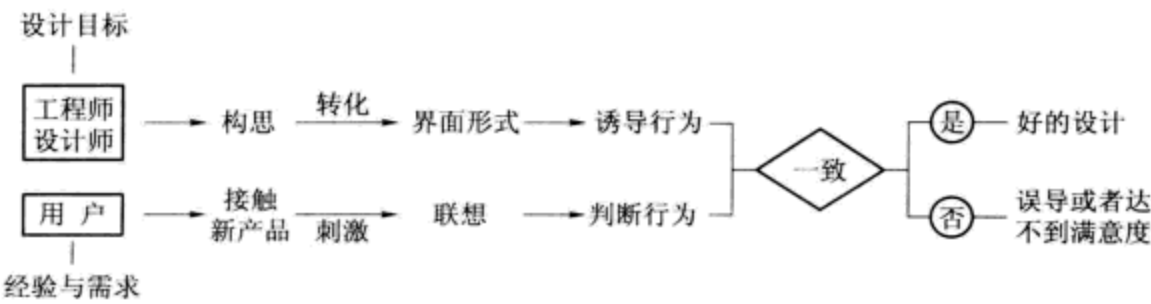


图 12-2 设计师、界面与用户交互模型

在图 12-2 中，设计师将设计目标（用户需求），结合自己的经验与技术，

通过构思转化为界面形式（包括符号、色彩等），给用户一种诱导；用户通过自己的经验与需求，借助以前的产品使用方式，以联想的方式与设计师设计的界面进行交互；当这种交互达到一致或者某种耦合时，这种形式的界面就满足了用户的需求，是好的设计；当这种交互达不到一致时，就达不到用户的满意度，甚至可能误导用户的行为。

就人机界面的具体形式而言，过去经历了批处理、联机终端（命令接口）、菜单（文本）等阶段。目前正处于以图形用户界面和多媒体用户界面为主流的阶段。未来的发展趋势是多通道——多媒体用户界面和虚拟现实系统，从而最终将进入“人机和谐”“适人化”的多维信息空间和“基于自然交互方式的”的最高形式。

不论从何种角度看，人机界面发展的趋势体现了对人的因素的不断重视，使人机交互更接近于自然的形式。它使用户能利用日常生活中的自然技能，而无需经过特别的学习，降低认知负荷，提高工作效率，体现“以人为中心”的设计思想。

仅以国产软件为例，就有许多“适人化”设计的优秀产品。例如联想的“幸福之家”“我的办公室”；实达的“世纪数码城”；海信的“海信工作室”等。方正、浪潮等公司也有类似产品，还有一些教学软件如金洪恩的“开天辟地”也采用了这种界面。它们的共同特点在于通过一个如同实际生活和日常工作环境的软件界面来集成管理各种常用软件，必要时在卡通人物或动物的语言和动作的引导下进行操作，使用户感觉亲切舒适，各种操作对象一目了然，易学易用。

12.2 网络化人机工程

12.2.1 协同工作的人机系统

从20世纪80年代末开始，计算机局域网技术和国际互联网（Internet）技术迅速发展，以计算机及网络技术为核心的高新技术将人类从后工业化社会快速推进到信息化社会。网络通信技术已经成为刚刚迈入21世纪的人们生活中必不可少和无所不在的技术，如果说计算机是当今信息技术发展的原动力，那么网络通信技术则是信息技术发展的加油站，很快便出现了网络化人机工程，最典型的应用就是协同工作的人机系统。

经济的全球化和社会的信息化，尤其是网络技术的迅猛发展，使得人们面临着更为广泛的活动范围和更多的合作机会，群体的规模越来越大，范围也越来越广。世界市场的激烈竞争和工业经济时代向知识经济时代的转型，要求国家、公司甚至个人改变组织形式或工作方式，更多地采用动态协作的方式，群策群力、高效和高质量地完成共同的任务。协同工作的出现标志着计算机应用水平又上了一个新的台阶，实现了计算机从单纯支持个体工作到能够同时支持群体协同工作的转化。

协同工作系统很好地适应了社会信息化、经济全球化和知识经济时代的要求以及诸如交互性、分布性和协同性等的特点，因而，它的应用领域相当广泛，如协同编辑、电子会议、工业应用、科学协作、远程教学、 workflow 管理、远程医疗等。

协同工作是一个多学科的新兴领域，其理论、技术均尚未成熟，但其全新的观念、工作模式和巨大的应用价值将使它成为人机工程学科研究的热点。

12.2.2 协同人机系统的特点

协同工作系统与传统应用系统之间既有差异，又有继承和发展。二者的不同点主要表现在：交互模式指出传统的单机应用软件采用人-机交互模式，传统的分布式应用软件系统采用人-机的交互模式，即人和机器（应用软件）交互，而协同工作系统的主要交互模式应为人-人交互，协作者通过协同工作系统和其他协作者交互。

但是，协同工作系统并不是一种和过去完全无关的新技术，它既继承了传统应用软件的一些技术和内容，又以传统应用系统为基础而有所发展，如图 12-3 所示。

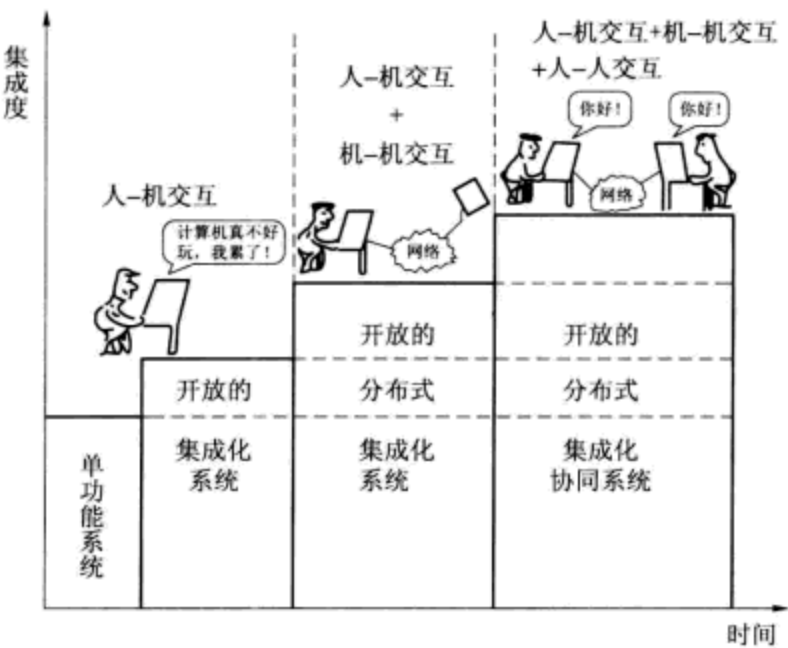


图 12-3 协同工作系统与传统应用系统

由图 12-3 可看出，协同工作系统是在分布式系统的基础上发展起来的，但它不等同于分布式系统，除了上述的交互模式，不同点还体现在以下几个方面：

① 分布式系统可支持多个用户，同时，又屏蔽了用户之间的感知和交互，用户感觉上认为他正在独占使用系统，系统的多个用户并非为了共同的任务或目标而形成有效的群体；而协同工作系统支持协作者感知群体的存在和活动，必须是特定的群体成员共同使用协同工作系统以完成共同的目标或任务，单个人使用协同工作系统是毫无意义的，但是，该类系统能支持多个群体协同工作。

② 协同工作系统和分布式系统具有相似的节点网络分布结构，但在具体技术如协调控制、一致性和并发控制等方面有着区别。分布式系统中，“协调”是指对许多进程或线程的调度和控制，而该类系统的“协调”是指协调群体或群体活动之间的冲突。

③ 协同工作系统有着群体活动的动态性、人-人交互和工作模式等特性，而分布式系统根本不考虑这些因素。

12.2.3 协同工作中的人-人交互

协同工作的工作方式和传统的单个计算机工作不同。在协同的工作方式中，用户通过计算机彼此交互，其界面问题已经不是简单的人-计算机界面问题，而是复杂的人-计算机-人的界面问题。协同工作涉及的面相当广泛，除

了计算机技术方面的问题以外，和人的因素有关的问题主要有两个：一是人-人交互界面，二是群体的组织设计。

(1) 人-人交互界面 有关协同工作系统界面的提法，还有群体界面，与单用户界面的不同是：群体界面描述群体行为，界面是由多个用户而非一个用户控制；群体界面涉及单用户界面所没有涉及的设计问题，如多个协作者有着比单个用户更高层的活动和更大的并发度，群体界面必须管理这种复杂性。

正如人机交互是在人机交互界面中具体体现一样，人-人交互主要通过协同工作系统界面体现。将这种界面称为人-人交互界面，人-人交互界面与群体界面概念的内涵是相同的。人-人交互界面更直观体现协同工作系统的人-人交互方式，并易与传统应用系统的人机交互方式相对应。

(2) 群体的组织设计 协同工作的出现不仅产生了一种全新的人-机界面形式，而且伴随着出现了一种全新的社会组织结构。在以往的组织形式中，人们为了完成共同任务形成的组织内部人与人的沟通，大都是通过面对面的形式完成的，而在该类系统中，通过计算机网络的协同是借助于计算机达成的。因此在该类中，和心理学、组织行为学相关的组织设计就显得非常重要。

12.2.4 基于信息的界面设计

从人机界面的角度，可以将互联网理解为一个用户和其他用户的知识之间的抽象界面。因而网络界面设计是人机界面设计的一个延伸，是人与计算机交互方式的演变，是随计算机技术发展而发展的。从计算机诞生到现在，人机交流的方式从利用穿孔纸带输入计算机程序，发展到面对终端机上的字符操作界面，再到个人计算机上图形界面的多媒体。从发展历程来看，随着技术的进步，人机交互方式日益朝着更友好、更便捷的方式发展。因此，人性化的设计是网络界面设计的核心，如何根据人的心理、生理特点，运用技术手段，创造简单、友好的界面，是网络界面设计的重点。

1. 信息交互模型

网站是储藏信息的产品，信息是联系供给者和学习者或用户的中间媒介，正是丰富的信息使互联网具有如此的魅力。信息的提供者利用自身的认知结构将知识转化为可以交流的信息储存在网络空间中，用户在特定的认知环境下为自己的目的获取信息，从而转化为自己的知识。而网页的目的是使最终用户更容易获取信息。互联网信息交互模型对于信息提供者来说包括信息的表达，对于使用者来说则是信息的获取。信息的表达与获取分别受到两者认知结构的制约，如图 12-4 所示。

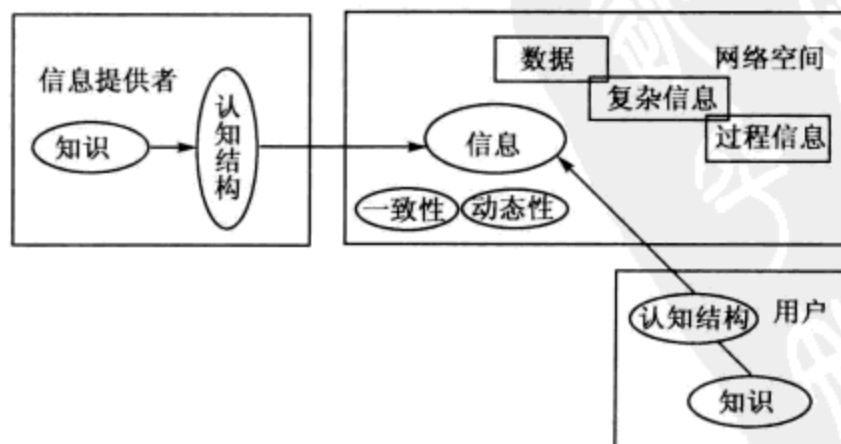


图 12-4 信息交互模型

该模型指出,从“信息是什么”的角度来说,网页设计任务包括以下过程:经由设计师的认知结构将知识转化为信息;期待用户的认知结构可以吸收或适应的信息。因此,信息提供者和用户的认知结构则将影响界面的有效性。

2. 界面设计的主体

人是一切设计面对的主体,设计的一切活动和成果都是为人服务的,网络界面设计也不例外。由于互联网具有的无限延伸性,数以万计的信息在网络上传递,互联网的用户也遍及各个国家、民族、社会各阶层。不同的人群对信息的需求各不相同,他们的社会、文化背景、生活习惯等都不尽相同;而各种各样的网站发布者,对于他们的网站也都有各自发布的初衷。例如,有许多个人网站,他们的网站发布目的就是利用网络表现自我,以个人表现、自我意识为第一位。但在商业网站中,用户的需求则是第一位的,没有忠实用户,网站就不能生存,因此在商业网络界面设计中,网站对网络界面的要求就是网站用户的需求,二者是一致的,是摆在首位的。只有充分分析、了解网站的用户需求,才能准确地把握设计的方向和尺度,设计出令人满意的界面。

从电脑进入人们生活开始,到现在的万维网络,各种复杂的操作界面,使人们的“数字化生存”变得很辛苦。如何根据人本身的特点,运用现有的技术手段,消除人们对操作电脑的恐惧、对上网的陌生,改善人-网络(机)-环境的关系,是商业网络界面设计的着眼点。根据符号学的观点,一切人类的文化现象和精神活动,包括语言、艺术和科学,都是在运用符号的方式来表达人类的各种经验。所以,在商业网络界面设计中,利用人们在现实生活中熟悉的图形符号,表达界面信息,寻求那种没有技术理解也能使人亲近的元素,使用户产生共鸣,是改善人机交互方式、创造友好界面的途径。

3. 用户行为分析

社会工作有行业之分,网站也有类别之分。网站是以提供的信息内容来分类的,不同类别的网站,面向的访问群体不同;对于同一类型的网站,用户群体也有年龄、行业等差别之分。按照人机工程学的观点,行为方式是人们由于年龄、性别、地区、种族、职业、生活习俗、受教育程度等原因形成的动作习惯、办事方法。行为方式直接影响人们对产品的操作使用,是设计者需要加以考虑或利用的因素。同样,用户上网的浏览习惯、上网特点也是商业网络界面设计需要注意和运用的问题。

12.3 虚拟化人机工程

12.3.1 虚拟现实的特征

虚拟现实(Virtual Reality)是一种为改善人与计算机的交互方式、提高计算机可操作性的人机界面综合技术。它通过高速图形计算机、头盔显示器或其他三维视觉通道、三维位置跟踪器和立体声音响,使计算机用户能够沉浸到计算机屏幕所显示的场景中去,从而产生一种类似“幻觉”的人工三维环境——“虚拟环境”或“灵镜”。

近年来,对虚拟现实技术的研究和应用表明,虚拟现实技术将会改变人类从计算机获取信息的方式,使人机界面从数字、符号、平面图形和图像真正进入三维空间,产生质的飞跃。虚拟现实技术是计算机人性化的重大突破,具有广泛的

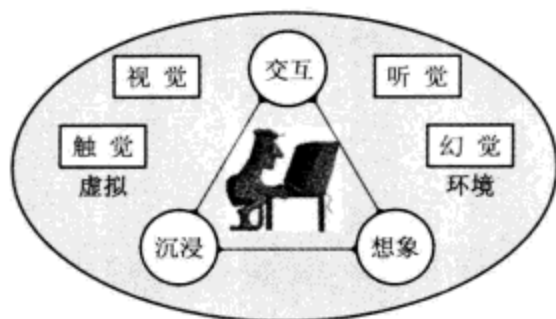


图 12-5 虚拟环境的特征

科学和工程应用前景，已成为各国科学界和工程界普遍关注的热点之一。

虚拟现实技术包含用户（操作者）、机器及人机接口三个基本组成部分。这里“机器”是指安装了适当软件程序、能生成用户能与之交互的虚拟环境的计算机；人机接口则是指将虚拟环境与用户连接起来的传感、控制和输入输出装置。与其他的计算机系统相比较，虚拟环境可提供实时交互性操作、三维视觉空间和多种感觉通道（视觉、听觉、触觉、嗅觉等）的人机界面。因此，虚拟现实技术显著提高了人与计算机之间的交互能力以及和谐程度，成为一种更有力的仿真工具。

借助虚拟现实技术，可以对现实世界的事物进行动态仿真。所生成的动态仿真环境能够对用户的头部和四肢的姿势、语言命令等作出实时响应，即计算机屏幕显示的场能够跟踪用户的输入，及时按照输入信息修改场景，使用户和虚拟环境之间建立起实时交互性关系，进而使用户产生身临其境的沉浸感觉，其特征如图 12-5 所示。

由此可见，交互性和沉浸性是虚拟现实技术的两个基本特征。当将虚拟现实技术应用于求解实际工程问题时，问题解决得成功与否，很大程度上还取决于工程师能否充分发挥他的想象力，来提高虚拟环境的“现实”程度。因此，想象力也成为虚拟现实技术工程应用的第三个重要特征。虚拟现实技术的这三个特征以及其形成的视觉、听觉、触觉和幻觉构成了虚拟环境。

12.3.2 产品开发技术的重大变革

新产品的开发，需要考虑诸多的因素，例如在开发一种新车型时，其美学的创造性要受到安全、人机工程学、可制造性及可维护性等多方面要求的制约。过去，为了在这方面作出较好的权衡，需要建立小比例（或者是全比例）的产品物理原型，用原型供设计、工艺、管理和销售等不同经验背景的人员进行讨论。这些来自不同部门的人员不仅希望能有直观的原型，而且原型最好能够迅速地、方便地修改，以便能体现讨论的结果，并为进一步的讨论作准备，但这样做不仅要花费大量的时间和费用，有时甚至是不可能的。虚拟现实技术的出现圆满地解决了这个问题。

虚拟设计在产品的人机工程学方面也有着特别重要的意义。从社会对商品的要求来看，以往的大批量生产已经难以满足人们对商品规格多样化日益增长的需要，取而代之的将是小批量、多规格的生产，由于需要在同一生产线上装配不同规格的产品，因此，对设计和制造技术的灵活性提出了很高的要求。虚拟设计系统将为解决这一难题提供很好的帮助。

虚拟产品开发带来的重大变革还在于：设计者不仅要负责图样的正确与否，还要与企业各部门以及客户一起，对产品的整个生产过程和生命周期负责。因为虚拟产品开发过程是多学科交叉、多部门合作的过程，产品开发的结果，不仅是生成产品的图样或模型，而且是通过仿真和虚拟现实技术对整个生产过程和产品使用性能的全面预测。

此外，虚拟现实技术将成为网络联盟企业相互通信与交流的有力工具。通过虚拟环境网络，由产品设计开发人员、生产管理人员、营销人员组成的团队可以从不同的角度对产品的设计方案进行讨论。

12.3.3 缩短产品开发设计周期

制造企业在产品研究和开发过程中，设计师一开始就需要对产品设计的各

方面,包括外观、零部件间的关系、性能等方面作出评价,以减少设计上的错误和最大限度地满足客户需求。传统的方法是在产品设计完成后制造一个物理原型——样机,然后对样机进行试验,再修改原有的设计方案。像这样反复试制和修改样机,相当费时费钱。为了缩短产品的设计周期和节省试制费用,应尽可能避免多次制造样机。这就需要在计算机辅助设计和仿真功能上增强人机交互性,在样机试制或产品投产之前,人们就能观看到和感觉到所设计的产品——虚拟原型。

虚拟原型 (Virtual Prototyping) 是利用虚拟环境在可视化方面的强大优势以及可交互地探索虚拟物体的功能,对产品进行几何、功能、制造等方面交互的建模与分析。它是在 CAD 模型的基础上,使虚拟技术与仿真方法相结合,为建立原型提供新的方法。虚拟原型技术可用来快速评价不同的设计方案,与物理原型相比较,虚拟原型生成的速度快,生成的原型可被直接操纵与修改,且数据可被重新利用。运用虚拟原型技术,可以减少甚至取消物理原型的制作,从而加速新产品的开发进程。

虚拟产品开发的目的是,在获得市场机遇后,能够在计算机上迅速开发出新产品,反复完善产品的外观和性能、可制造和可装配性,规划生产新产品的设备布局 and 流程,在虚拟环境中“制造产品”。经过反复优化后,再在现实生产环境中顺利地制造出真实的、高质量的产品,保证新产品开发一次就获得成功,如图 12-6 所示。

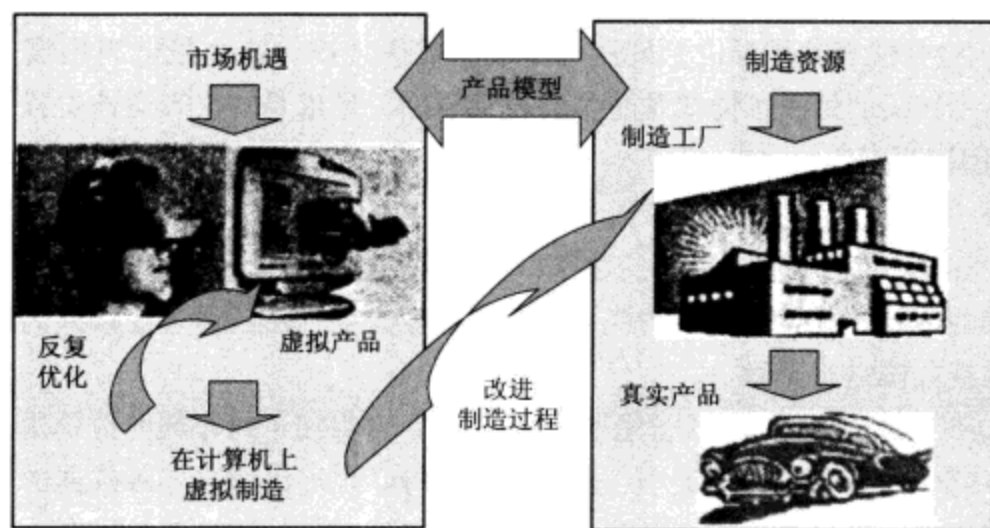


图 12-6 虚拟产品开发和制造

12.3.4 虚拟环境中的人机工程学模型

通过计算机建模和模拟标准的“虚拟”人体模型,还可以对处于虚拟环境中的人对物体的反应进行特定的分析。例如,它能够精确地预测人的行为,给出人的各关节角度是否在舒适范围内,是否超出舒适范围,以及是否超出人的承受范围,从而使设计最大程度地满足人机工程学对舒适性、功能性和安全性的要求。

应德国汽车工业联合会的要求,开发商研制了一套名为“Ramsis”的人机工程学模型系统。这个系统可以用来客观地评价汽车驾驶室的人机工程学性能,如:司机的胳膊和腿的位置、视野和舒适程度等。

将这个人机工程学模型引入虚拟环境,人们便可操纵一个虚拟人使它移动到不同位置,用户可以为这个虚拟人选定视点和坐姿。图 12-7 为虚拟环境中人机工程学模型 (RAMSIS),该模型可完成车辆人机系统性能评价。

① 考察概念车的座椅与周围物体的关系。虚拟人有男女之分,并具有各种各样的身材,以便涵盖全部可能的司机范围。虚拟人在软件的控制下试坐各种可能的位置。技术人员可以通过立体投影壁等来考察脚的活动空间是否足够,大个头男子的膝盖会不会碰到转向盘,头侧和头顶预留的空间是否合适等。

② 观察者通过虚拟人可以查看司机的视觉条件,如:是否能够方便清楚地观察前面的信号灯,遮阳板是否遮挡了视野等。

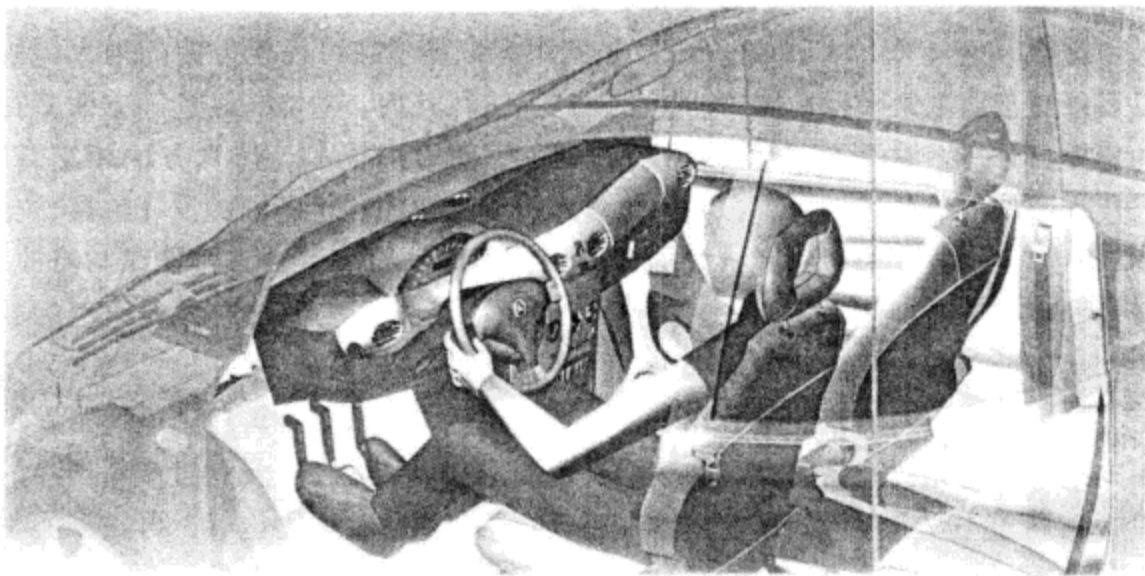


图 12-7 虚拟环境中的人机工程学模型

③ 检查仪表盘是否位于最佳视锥覆盖范围之内。这个最佳视锥定义了司机在不用转头的情况下能清楚看到的视觉范围。最重要的仪表应该安置在这个视锥范围之内。

④ 观察人体后倾时的状况,即所谓的“C-pillar”位置。虚拟人身体的各个部位都会有相对运动以便用于模拟人体复杂的运动学特性。首先将虚拟人置于后倾的位置,并将观察者的视点定义到虚拟人上,然后通过虚拟人的视野来观察可视范围是否足够。

人机工程学模型系统目前正在研制之中,它将用于对车厢的评价。例如用户可以感觉车厢的空间的大小、颜色、材料等,也可以查看各种仪器的位置并摸索操作方法。另外,这个系统还装有转向盘和其他一些必要的设备,并配有力量反馈系统以便考察汽车在不同路况下的行驶情况。图 12-8 为人机工程学模型系统。



图 12-8 人机工程学模型系统

12.3.5 虚拟产品诊断

为了避免设计缺陷,汽车的概念设计一般需要到所谓的汽车诊所进行框架性检测。这样的检测应在产品远没有上市之前进行。

直到目前,这样的检测还必须通过造价昂贵的实物模型来进行。前不久,大众公司市场部在 VRLab 实验室的帮助下,建立了一个虚拟的汽车诊所。

接受检测的是新型的汽车,这是个完整的虚拟汽车模型。为了增强真实感,对模型的外表进行了光泽处理,对车内的零部件(如,车座、仪表和地板等)也添加了不同的纹理。图 12-9 为汽车的虚拟设计。

模型呈现在 3.5 m 的立体投影壁上,可利用三维鼠标来操纵。利用这个系统设计人员也可以考察车门开关情况,实验人员还可以试坐司机的座椅。利用

这个系统进行的市场调查结果与真车所得的结果吻合很好。甚至汽车的尺寸关系也可以通过这个系统得到正确的评价。

但从另一个方面看,虚拟诊所也提供了一些现实汽车诊所不能提供的项目,例如时间的超前性,远在第一个真实的样机制作之前就可以进行虚拟诊断了;另外,造价低是其最大的优点;另外,利用这个系统用户在查看模型的同时也可方便地查看各项色彩的效果。



图 12-9 汽车的虚拟设计

该系统还有一个优点,可以在一开始研制就考虑到最终用户的愿望,进而得到用户更加满意的设计方案。

21 世纪企业竞争的焦点是创新产品的竞争。对于产品生命周期来说,虚拟产品设计、虚拟人体模型和评价标准日益显得重要,并且成为虚拟产品开发(VPD)中的重要因素。随着计算机技术的发展,虚拟设计与评价朝着全方位的数字化制造,提供企业范围仿真集成的解决方案以及人能够和谐地参与到虚拟制造环境中的方向发展,对人机工程和人机交互提出了范围更加广泛的挑战。

12.4 数字化人机工程

随着计算机技术和网络技术的飞速发展,人机工程也逐渐步入数字化,无论是对于人机工程本身,还是对于人机界面设计,都拓展了研究领域和提出了新的研究课题。纵观世界数字化人机工程的研究现状,主要包括以下几个方面。

12.4.1 数字化的人体态

计算机技术的飞速发展使人机工程学进入数字化的环境中。因此,当代的建模技术、“数字人”和真实人的建模等领域的发展值得关注。

可以从复杂性和结构两方面改变人的模型,也可以把人的结构、生理学或

行为学的任何数学表达式看成人的模型。例如，人肌肉骨骼动力学的模拟人的模型应该反映足够详尽程度的结构、形状和尺寸。今天，人的模型有30到148个自由度（取决于所提供的手、足、肩和脊椎的详尽程度）。肩与脊椎的详细模型要考虑人的行为学。人体态的内部骨骼结构和表面拓扑影响到体态的定量与定性利用。作为一个工程工具，内部联系的结构精确性会影响环境和人体态的测定。为了实现体态及其他人体测量学特征的仿真，需要建立人体测量学的数据库，如：1988年美国陆军广泛应用的数据库ANSUR88，包含了近9000名军人的132种标准测量结果。因此，可以利用它们建立人的体态模型，并开发人的建模软件。另一个可以利用的人体测量学数据库是美国国家健康与营养测试协会1994年开发的数据库NHANESⅢ。它包括33994个2个月的婴儿到99岁的老年人和17752个18岁的年轻人到老年人的测量数据。其他还有：包括40000个7至90岁日本人测量数据的HQL-Japan数据库（1992—1994年），包含8886个6岁到50岁的韩国人测量数据的KBISS-Ko-rea数据等。

12.4.2 数字化产品开发

数字化产品开发的基本思路是“用计算机完成产品开发的全过程”。工程师在计算机上建立产品模型，对模型进行分析，然后改进产品设计方案。数字化产品开发通过建立产品的数字原型，用数字化形式来代替传统的实物原型试验，在数字状态下进行产品分析，然后再对原设计重新进行组合或者改进。即使对于复杂的产品，也只需要制作一次最终的实物原型，使新产品开发一次获得成功。

在组织形式上，数字化产品开发是由从事产品设计、分析、仿真、制造以及产品销售和服务等方面的各种人员网络所组成。他们通过网络通信组建成“虚拟”的产品开发小组，将设计和制造工程师、分析专家、支持人员、供应商以及顾客联成一体，不管他们身处何地，都可实现异地协同工作。因为数字化产品开发是通过网络确定工作任务，通过网络在企业各部门、各地点、各分公司以及同盟者之间进行任务分派。

数字化产品开发技术的应用过程是用数字形式“虚拟地”创造产品，并在制造实物原型之前对产品的外形、部件组合和功能进行评审，快速地完成新产品开发。由于在数字化产品开发环境中的产品实际上只是一种数字模型，因此可以对它随时随地进行观察、分析、修改、通信及更新版本，这样使新产品开发所涉及的方方面面，包括设计、分析、可制造性、可维护性、可销售性等，都能同时相互配合进行。

数字化产品开发可使企业各部门同时在一个产品模型上工作，因而可以减少大量不必要的等待时间，减少或避免传统产品开发过程业务（例如反复制作原型，并对原型进行手工试验及分析）中所投入的时间和费用，同时还能在设计过程中及早地发现和解决问题。

12.4.3 数字工厂

数字工厂（E-Factory）是一个集成化的虚拟仿真环境，它将制造企业信息管理系统与虚拟制造的各种应用结合在一起，提供了一个从产品设计到产品废弃的全生命周期数据管理平台，是数字化产品开发的主要内容之一。数字工厂把产品、过程、工厂管理和制造资源的信息捆绑在一起，形成无缝连接信息

流，在产品设计阶段就定义了制造什么、采用什么制造工艺、在哪里制造以及所需的制造资源。

数字工厂不仅关注产品的物质生产过程，还重视工人在生产中的作用，旨在规划设计一个安全、以人为本的工作地、产品和过程。

数字工厂不是优化一个环节或一个过程，而是从全局优化整个复杂的制造过程，提供如何合理地使用各种资源并快速而低成本地满足市场需求的可视化决策。

许多著名的软件公司，如 SUN、UGS、Delima 等，都提供“数字工厂”解决方案，即包括工厂设计、工人操作、加工和装配过程、质量管理和资源管理的集成化仿真软件环境。

“数字工厂”的另一个特征是“数字人 (Digital Human)”参与产品使用维护和生产过程的仿真。产品设计者应该了解用户在使用所开发的产品时是否安全、方便和舒适。过程设计者应该了解操作者在操作机器或搬运物料时的安全、疲劳程度和效率。不同种族和性别的人，体型和体力是不一样的，在设计产品和过程时应该区别对待。现代产品开发的根本理念是以人为本，一切为了人。采用“数字人”仿真技术可以给产品设计和过程设计带来以下好处：

- (1) 提高产品开发的效率和自动化程度，缩短产品开发周期，加快新产品上市；
- (2) 以数字原型替代物理原型，降低开发成本；
- (3) 提高产品的使用安全性和产品质量；
- (4) 提高工人的操作安全性，优化 workflow，降低工人的补偿费用；
- (5) 使整个工厂较快投入生产或转产，减少停工事件。

“数字人”的工作绩效和劳动负荷在仿真结束后将以数据或图表的形式显示。它在产品开发和过程设计中的典型应用如图 12 - 10 所示。

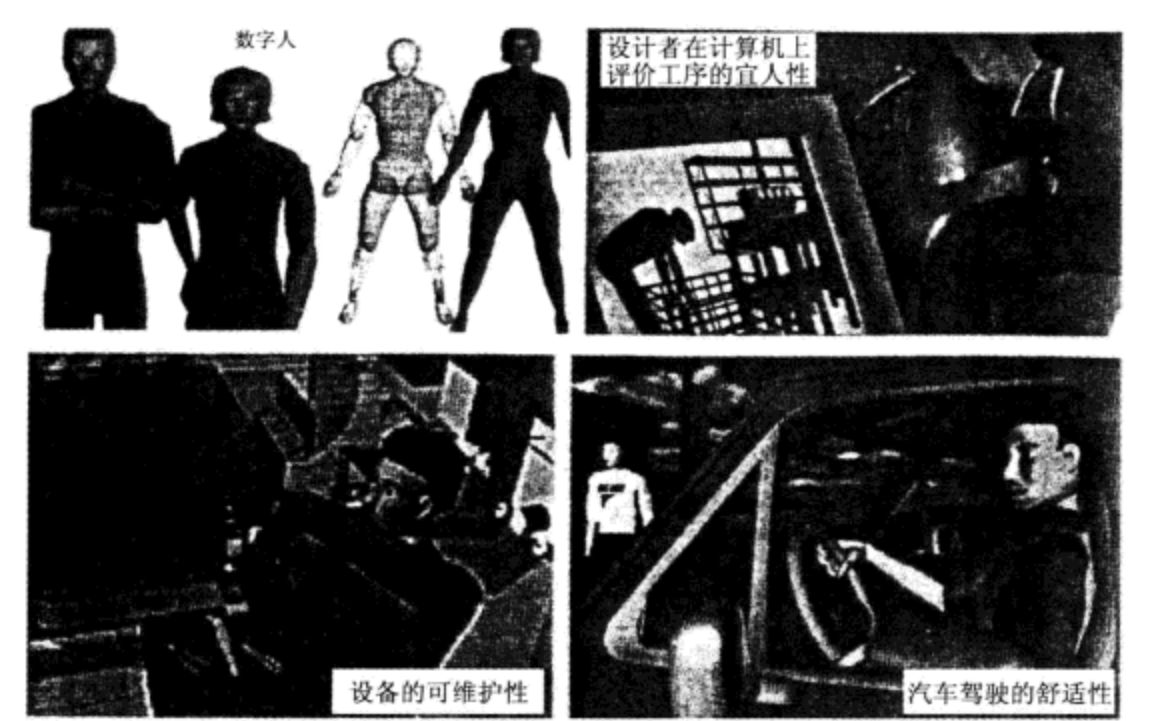


图 12 - 10 数字人的典型应用

12.4.4 人体数据咨询系统

人体数据咨询系统包括各种国别、年龄、性别的人体测量学数据，如英国

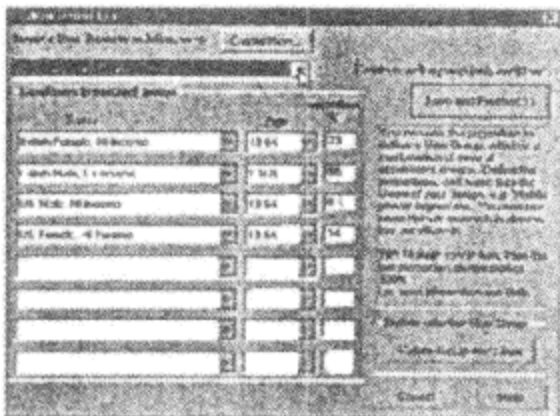
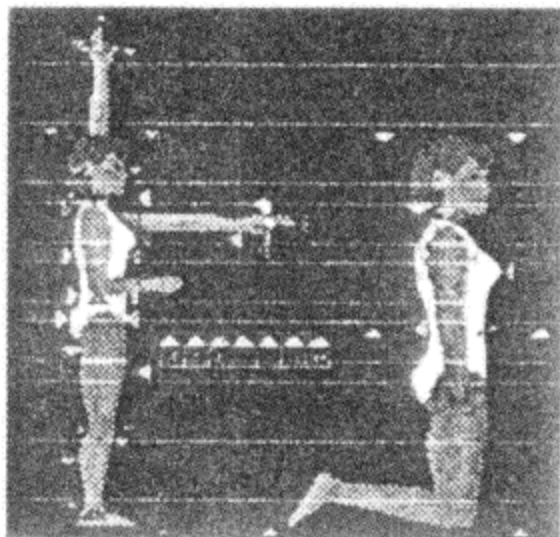


图 12-11 人体数据咨询系统

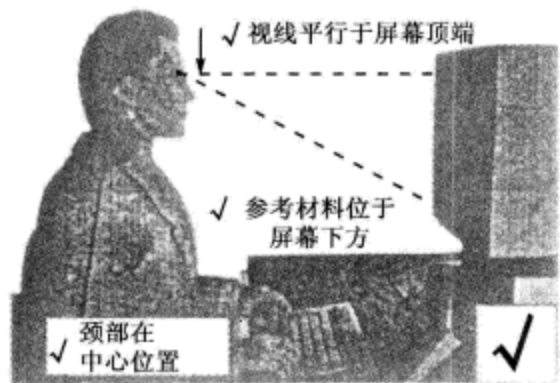


图 12-12 办公室系统人机工程仿真评价

Open Ergonomics 公司开发的 PeopleSize 系统, 美国的 Deneb 和 Transom 公司推出了 ERGO 和 Jack 人体模型系统, 中国台湾“清华大学”和长庚大学等推出的台湾人体数据系统等。

目前, 基于人体测量等技术而建立起来的人体数据咨询系统软件也较多。如英国 Open Ergonomics 公司开发的 PeopleSize 2000 人体数据咨询系统, 如图 12-11 所示, 包括英国儿童(从出生起)、成年人的尺寸以及其他一些国家人的尺寸, 其中包括部分中国人人体尺寸(18~45 岁, 这些尺寸是由新加坡南洋理工大学的 Professor L. Lim 提供的)。这些数据是在 1994—1995 年间测量了 13 678 至 16 443 个样本得到的, 基本覆盖了英国的各个阶层, 包括人体全身尺寸、人体头部尺寸、手部尺寸、足部尺寸等。利用此人体测量数据库, 他们还进行了一些人体姿势分析, 座椅等的设计, 为民航、铁路、汽车、国防、劳动安全等服务。

Transom 公司开发的 Transom Jack 人机工程软件, 包括了世界范围内大部分人体测量的数据, 并且留有开放式接口, 便于添加、修改。Jack 中的人体模型是三维的, 因为它不仅仅包括人体数据咨询系统, 还包括人机工程评价系统和人机工程仿真系统。

12.4.5 人机工程评价系统

通过嵌入人机工程评价标准, 基于运动学、生理学等模拟人的使用方式, 实现工作任务仿真中的实时人体性能分析, 其评价体系包括: 可视度评价、可及度评价、舒适度评价系统、静态施力评价、脊柱受力分析、举力评价、力和扭矩评价系统、疲劳分析、能量消耗与恢复评价系统、决策时间标准、姿势预测等。

Delima 公司(国际上较早的数字化企业)已经将 3D 虚拟人体融入到从过程计划、成本预算、质量控制、人机分析到数字化制造中; 另外, 基于开放的 C 商业平台(Open C-commerce Platform OCP), EDS Unigraphics 公司提出了 e-Factory 概念, 也将虚拟人作为咨询、仿真、评价的一个重要因素。Transom 公司开发的 Transom Jack 人机工程软件可以评价安全姿势、举升与能量消耗、疲劳与体能恢复、静态受力、人体关节移动范围等人机工程性能指标。由于 Jack 具有的优势, 已经在航空、车辆、船舶、工厂规划、维修、产品设计等领域广泛应用。图 12-12 为办公室系统人机工程仿真及评价系统, 它主要模拟人在办公工作时的各种动作。

12.5 智能化人机系统

12.5.1 人的智能

人的智能(HI)通常是指人在认识与改造客观世界的活动中, 由思维过程和脑力劳动所体现出的能力, 它包括三个方面。

(1) 思维能力 人们通过脑的思维活动(如记忆、联想、推理、计算、分析、比较、判断、决策、规划、学习、探索等)对各种信息进行加工处理, 将感性知识上升为理性知识, 进一步积累与总结经验, 形成概念、建立方法、制订计划、做出决策的能力; 通过推理、论证或分析、计算, 求解问题, 做出

结论的能力；通过学习、教育或训练、实践，从而增长知识、丰富经验、促进工作的能力。

(2) 感知能力 人们通过视觉、听觉、触觉系统等，感知客观世界，获取感性知识的能力。例如，由眼、耳等感觉器官接受各种信息（如文字、图像、物景、声音、语言等），产生相应的冲动，沿外周神经传入中枢神经——脑，通过视觉、听觉中枢等进行信息处理、模式识别、语言理解等的智能活动的能力。

(3) 行为能力 人们通过效应器官（如手、足以及发音器官等）对外界刺激（输入信息）做出反应（输出信息）、采取行动的能力。例如根据仪表的显示信息，进行手动操作，或者对用户提出的问题做出回答或解释等。行为的智能特性表现在反应的灵活性与适应性，即对于变化的、不确定或不确知的环境和刺激干扰，灵活地做出适宜反应的能力。

人的高层智能的核心是知识。知识包括感性知识与理性知识、经验知识与理论知识。感性知识是通过感觉器官对客观事物片面的、现象的和外部联系的感性认识获得的知识；理性知识是在感性知识的基础上，把所获得的感觉材料，经过思考、分析，加以去粗取精、去伪存真、由此及彼、由表及里的整理和改造，形成概念、判断、推理；经验知识是由实践得来的对客观世界的认识或形成的技能；理论知识是人们由实践概括出来的、系统的对客观世界的认识。

12.5.2 人工智能

人工智能（Artificial Intelligence, AI）于1956年问世以来，同许多其他事物一样，发展是曲折的，不平坦的。它在理想和实践的矛盾中，探索着人工智能发展的有效途径和技术。人工智能是研究机器智能和智能机器的高新技术学科，是模拟、延伸和扩展人的智能，实现某些脑力劳动自动化的技术基础，是开拓计算机应用的技术、研制新一代计算机的前沿阵地，是探索人脑奥秘的重要科学途径和计算机应用的广阔领域。

广义的人工智能，不仅包括专家系统（Expert System, ES），还有人工神经网络（Artificial Neural Network, ANN）以及模式识别（Pattern Recognition, PR）、智能机器人（Intelligent Robot, IR）等。

人工智能的主要研究内容有3个方面。

(1) 机器思维与思维机器 机器思维，如启发式程序、专家系统、知识工程、机器学习、机器证明、机器博弈等。思维机器，如智能计算机、学习机、推理机、博弈机、逻辑机、自动机、神经细胞模型、人工神经网络、脑模型等。

(2) 机器感知与感知机器 机器感知，如文字、图像、物景、声音等模式识别与自然语言理解；计算机视觉、听觉、触觉等。感知机器，如文字、图像、声音、语言的识别机、感知机、触觉感知器、平衡感知器、各种智能传感器等。

(3) 机器行为与行为机器 机器行为，如自适应、自镇定、自寻优等智能控制、管理、决策行为，机器人在不确定的、动态环境中的“漫游”行为等。行为机器，如智能控制器、智能效应器、智能执行机构、智能机械手、智能机器人等。

人工智能广泛应用于工业、农业、科技、国防及国民经济各部门, 计算机控制, 计算机管理, 计算机辅助设计、制造, 生产过程自动化等各个领域, 促进了各种智能化新技术、新方法、新产品的发展, 如智能控制、智能管理、智能体通信、智能 CAD、智能 CAM、智能仪表、智能自动化、智能检索等。

人工智能的研究、开发和应用, 需要采取多学科结合 (如计算机科学、生物科学、系统科学等)、多途径协同 (如功能模拟、结构模拟、行为模拟等) 的综合研究方法, 软件和硬件结合、通用与专用并行的集成技术路线。

12.5.3 人机智能结合

人机智能结合是指人的智能与机器智能 (人工智能) 的结合, 有两方面的含义。

(1) 智能集成 人的智能与人工智能相结合, 取长补短, 产生集成智能。可表示为:

$$HI + AI \rightarrow II$$

式中, HI——人的智能 (Human Intelligence);

AI——人工智能 (Artificial Intelligence);

II——集成智能 (Integrated Intelligence);

+——集成。

例如, 人的创造才能与计算机的逻辑运算能力相结合, 设计启发式智能系统。

(2) 智能开发 人的智能与人工智能相结合, 相互促进, 开发智能, 可表示为:

$$HI \times AI \rightarrow DI$$

式中, HI——人的智能;

AI——人工智能;

DI——开发智能 (Developing Intelligence);

\times ——促进;

\rightarrow ——开发。

例如, 利用人工智能知识工程技术、集中多个专家的知识 and 经验, 构成群体专家系统, 可具有高于个别专家的智能水平。利用人的智能, 加入启发信息, 提高专家系统知识推理效率。

系统的“智能化”, 不仅意味着人工智能的应用, 机器智能水平的提高, 而且需要在人机合理分工的条件下, 进行人机智能集成, 提高系统的集成智能水平。为了实现人机智能集成, 首先, 需要应用人机系统和工程心理学方法, 进行人机合理分工。如人为主导, 进行需要主动性、创造性、灵活性的工作, 机为辅助, 进行需要精确计算、重复操作、海量存储的工作。其次, 需要通过多媒体智能界面 MII, 进行交互式友好通信, 协同合作解题, 才能实现人机智能结合, 组成具有集成智能的智能化系统。

12.5.4 “人机协同”智能驾驶系统

人机协同智能驾驶系统主要包括人机信息融合、人机协同决策、人机协同执行等技术。

在人机信息融合过程中, 通过现有的测距技术、图像辨识技术、卫星遥感

技术、卫星定位系统、交通网络等信息获取技术，获得道路的路况静态和动态信息；通过汽车上的轮胎压力检测、油箱液面检测、发动机工况检测等技术，获得汽车的工况信息；通过安装在驾驶员身上的肌电探头、心电探头等传感器，检测驾驶员的生理状况；同时驾驶员将自己观测到的道路宏观信息、路程目的地以及一些突发信息一同输入计算机，进行信息融合，获取最优的结果。

对于人机协同决策，人或机器将根据“人主机辅”“机主人辅”或是“人机协同”的方式，得出最优的结果。当机器得出结果后，可以通过汽车上的各种仪表盘或者电脑的人机界面向驾驶员提供相应的信息；如果由驾驶员作出结论，则可以通过人机界面对机器的控制规则、控制状态进行调整或者直接对汽车的方向盘、制动器等进行操作，改变汽车的当前状态。

人机协同执行技术对于人和机器具有相互的等同性和协调性，将根据主辅控制策略，接受主控制方的指令，但在危险状态或者主控制方处于非正常工作状态时，人和机器都可以对汽车进行危急处理。

当人机协同智能驾驶系统出现错误或者人机工作在非正常工况下时，系统中的一方必须对整个系统作出必要的应急处理。人机协同制动系统在整个人机协同智能驾驶系统工作过程中，将直接关系到整个系统的驾驶安全性。一旦系统的监测系统检测到驾驶员处于酒醉或者嗜睡等状态时，或者汽车处于将造成危险的工况下时，人机协同制动系统通过一个“或”控制器，将接受来自人或机器任何一方的制动信号，将汽车制动，确保行车安全。

从总体上讲，在整个驾驶过程中，采用的是人机协同的驾驶方式。这种驾驶方式的结构形式如图 12-13 所示。

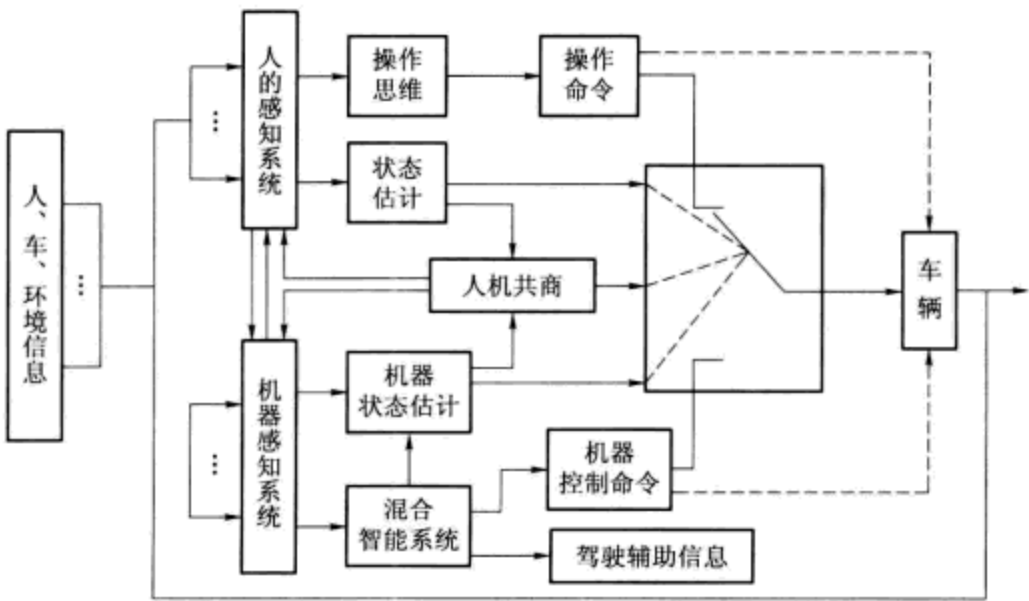


图 12-13 人机协同智能驾驶系统

图中虚线带箭头部分表示极限状态下的处理，在极限状态下，人和机器同时对汽车进行操作。为了安全起见，为了将损失降低到最低限度，采用“或”选择器，只要有高电平的控制信号（无论这种控制信号是来自机器还是来自人），控制器就立刻起作用。将这种人机协同控制器应用在紧急制动系统中。无论是机器还是人发现紧急情况，需要紧急制动时，系统都能有效地紧急制动。

在人机协同驾驶过程中，人根据直觉对路况、车况及自身状况进行估计，判断目前状态适合于哪种方式驾驶。每个人都有自己的判断准则，一般人的判

断准则是最大安全性、最高可靠性及自己的劳动强度最低。而机器则根据系统状态辨识,根据交通状态的复杂程度来判断机器本身是否有能力进行智能驾驶。在许多情况下,系统往往可以通过人机共商来确定。

这种驾驶控制策略通常也采用人机一体化混合智能系统来实现。

人机交互技术是 21 世纪信息领域需要解决的重大课题。美国 21 世纪信息技术计划中的基础研究内容为 4 项:软件、人机界面、网络及高性能计算。其中,人机建模研究在信息技术中被列为与软件技术和计算机技术等并列的 6 项国家关键技术之一,并被认为是“对于计算机工业有着突出的重要性,对其他工业也很重要”。美国国防关键技术计划不仅把人机交互列为软件技术发展的重要内容之一,而且还专门增加了与软件技术并列的人机界面这项内容。日本也提出了 FPIEND21 计划(Future Personalized Information Environment Development),其目标就是要开发 21 世纪个性化的信息环境。我国 973、S-863、十五计划均将人机交互列为主要内容。人机交互技术将在新的研究领域和学科空间获得更大的发展。



主要参考文献

- [1] 丁玉兰. 人机工程学 [M]. 第三版. 北京: 北京理工大学出版社, 2005.
- [2] 丁玉兰. 人机工程学 [M]. 修订版. 北京: 北京理工大学出版社, 2000.
- [3] 丁玉兰. 人机工程学 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1991.
- [4] 丁玉兰. 人因工程学 [M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2004.
- [5] 丁玉兰. 应用人因工程学 [M]. 台北: 新文京发出版股份有限公司, 2005.
- [6] 罗仕鉴, 等. 人机界面设计 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [7] 陈信, 等. 人-机-环境系统工程计算机仿真 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2001.
- [8] (美) 肯威斯, 等. 人因工程学导论 [M]. 第二版. 张侃, 等, 译. 上海: 华东师范大学出版社, 2007.
- [9] 袁修干, 等. 人机工程计算机仿真 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2005.
- [10] 路甬祥, 等. 人机一体化系统科学体系和关键技术 [J]. 机械工程学报, 1995 (1).
- [11] 丁玉兰, 等. 建筑机械人系统可靠性研究 [J]. 同济大学学报, 1993 (增刊).
- [12] (美) Panero Julius. 人体尺度与室内空间 [M]. 龚锦, 译. 天津: 天津科学技术出版社, 1987.
- [13] (匈) 巴赫基. 房间的热微气候 [M]. 傅忠诚, 等, 译. 北京: 中国建筑工业出版社, 1987.
- [14] (德) 许雷尔. 产品与造型 [M]. 汪大钺, 译. 北京: 中国轻工业出版社, 1987.
- [15] 日本造船学会. 人机工程学舢装设计基准 [M]. 田训珍, 等, 译. 北京: 人民交通出版社, 1985.
- [16] 朱祖祥. 工程心理学 [M]. 上海: 华东师范大学出版社, 1990.
- [17] 朱治远. 人体系统解剖学 [M]. 上海: 上海医科大学出版社, 1997.
- [18] 航空医学编委会. 航空医学 [M]. 北京: 人民军医出版社, 1992.
- [19] 国家技术监督局. GB 10000—1988, GB/T 12985—1991, GB/T 14776—1993, GB/T 14779—1993, GB/T 13547—1992. 北京: 中国标准出版社.
- [20] [日] 浅居喜代治. 现代人机工程学概论 [M]. 刘高送, 译. 北京: 科学出版社, 1992.
- [21] 刘宏增, 等. 虚拟设计 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1999.
- [22] 程景云, 倪亦泉. 人机界面设计与开发工具 [M]. 北京: 电子工业出版社, 1994.
- [23] 董士海, 王坚, 戴国忠. 人机交互和多通道用户界面 [M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [24] 吴玲达, 老松杨, 王晖. 多媒体人机交互技术 [M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 1999.
- [25] 罗仕鉴, 郑加成. 基于人机工程的虚拟产品设计与评价系统研究 [J]. 软件学报, 2001 (增刊).
- [26] 小原二郎. 室内·建筑·人间工学 [M]. 东京: 鹿岛出版社, 1983.
- [27] 游万来, 等. 工业设计与人因工程 [M]. 台北: 六合出版社, 1986.

- [28] 高敏. 机电产品艺术造型设计基础 [M]. 成都: 四川科技出版社, 1984.
- [29] 卢焯初, 等. 人类工效学 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1990.
- [30] 程景云, 等. 人机界面设计与开发工具 [M]. 北京: 电子工业出版社, 1994.
- [31] 李乐山. 工业设计思想基础 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.
- [32] 林泽炎. 人为事故预防学 [M]. 哈尔滨: 黑龙江教育出版社, 1998.
- [33] 吴玲达, 等. 多媒体人机交互技术 [M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 1999.
- [34] Reason J. Human Error [M]. Cambridge University Press, 1990.
- [35] Reason J. Managing the Risk of Organizational Accidents [M]. Ashgate Press, 1997.
- [36] Redmill F, Rajan J. Human Factors in Safety-Critical Systems [M]. Reed Educational & Professional Publishing Ltd., 1997.
- [37] Rasmussen J. Information processing and human-machine interaction: An approach to cognitive engineering [M]. North-Holland, NY, USA, 1986.
- [38] Sanders, M S, et al. Human Factors in Engineering and Design [M]. New York: Mc Graw-Hill, 1985.
- [39] David J Osborne. Ergonomics at Work [M]. John Wiley & Sons, 1982.
- [40] Sutchiffe A, Human-Computer interface Design [M]. Macmillan Education Ltd, 1988.
- [41] Kantowitz, B. H. . et al. Human Factors: Under-Standing People-System Relationships [M]. Taylor & Francis, 1986.
- [42] Osborne, D. J. Ergonomics at Work [M]. Wiley, 1987.
- [43] Galer. f. Applied-Ergonomics Handbool [M]. Wiley, 1987.
- [44] Grandjean, E. Ergonomics in Computerized Offices [M]. Taylor & Francis, 1987.
- [45] Eastman Kodak Company, Ergonomics Design for People at Work (vol. I). L. L. P. 1983.
- [46] Gloss DS. et al. Introduction to Safety Engineering [M]. 1984.
- [47] Salrendy, G. Handbook of Human Factors [M]. New York: John Wiley and Sone, 1987.
- [48] Tilly AR. The Measure of Man and Woman—Human Factors in Design [M]. Henry Dreyfuss Associates, 1993.



责任编辑：陈 竑

封面设计：庚辰年代



工业设计史（修订版）

设计数学基础

新概念素描与造型语言解析

设计速写

造型基础

平面构成法新解

新构成艺术

立体构成（修订版）

色彩设计

工业设计理念与方法（第2版）

工业产品形态设计（修订版）

人机工程学（第4版）

工业设计方法学（第3版）

工业设计专业英语（第2版）

设计心理学

设计图学

设计图学习题集

设计材料及加工工艺

产品设计快速表现图实用技法

工业设计模型制作工艺

产品模型制作

计算机辅助工业设计教程——产品设计

多媒体设计

视觉传达设计

创意字体构成

展示艺术设计

网站界面设计

绿色设计

销售分类建议：设计、美术类

定价(含光盘)：36.00 元

ISBN 978-7-5640-4341-4



9 787564 043414 >