

中华人民共和国水利行业标准

SL 62—2014

替代 SL 62—94

水工建筑物水泥灌浆施工技术规范

**Technical specification for cement grouting
of hydraulic structures**

2014-10-27 发布

2015-01-27 实施



中华人民共和国水利部 发布

中华人民共和国水利部

关于批准发布水利行业标准的公告 (水工建筑物滑动模板施工技术规范、水工 建筑物水泥灌浆施工技术规范、水利水电 工程混凝土防渗墙施工技术规范)

2014 年第 53 号

中华人民共和国水利部批准《水工建筑物滑动模板施工技术规范》(SL 32—2014)、《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》(SL 62—2014)、《水利水电工程混凝土防渗墙施工技术规范》(SL 174—2014) 为水利行业标准, 现予以公布。

序号	标准名称	标准编号	替代标准号	发布日期	实施日期
1	水工建筑物滑动模板施工技术规范	SL 32—2014	SL 32—92	2014. 10. 27	2015. 1. 27
2	水工建筑物水泥灌浆施工技术规范	SL 62—2014	SL 62—94	2014. 10. 27	2015. 1. 27
3	水利水电工程混凝土防渗墙施工技术规范	SL 174—2014	SL 174—96	2014. 10. 27	2015. 1. 27

水利部

2014 年 10 月 27 日

前 言

根据水利部水利行业标准制修订计划，按照《水利技术标准编写规定》（SL 1—2002）的要求，对《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》（SL 62—94）进行修订。

本标准共 11 章和 4 个附录，主要技术内容有：灌浆材料、设备和制浆，现场灌浆试验，基岩帷幕灌浆，基岩固结灌浆，隧洞灌浆，混凝土坝接缝灌浆，岸坡接触灌浆，覆盖层灌浆，施工记录和竣工资料等。

本次修订的主要部分有：

- 增加了现场灌浆试验、隧洞封堵灌浆、覆盖层灌浆的有关内容；
- 增加了浆液主要性能现场检测方法覆盖层灌浆钻孔注水试验、灌浆工程施工记录和成果图表 3 个附录；
- 浆液材料以水泥为主，也兼顾了其他颗粒型浆液；
- 将原标准“坝基岩石灌浆”分列为“基岩帷幕灌浆”和“基岩固结灌浆”两章，基岩帷幕灌浆中补充了“搭接帷幕灌浆”一节，并调整充实了其他内容；
- 补充了若干新技术，如稳定性浆液、接缝灌浆重复灌浆系统等；
- 调整了若干重要的施工工序如钻孔、钻孔冲洗和压水试验、灌浆、灌浆结束条件等的工艺参数；
- 调整或完善了帷幕灌浆孔不同深度的偏斜要求、灌浆质量检查压水试验压力适用范围、浆液水灰比设置、灌浆质量的合格标准等；
- 将原标准中隶属于接缝灌浆的岸坡接触灌浆独立作为一章，重新规定了接缝灌浆、岸坡接触灌浆的实施条件、质量检查方法等；

——修改补充了若干重要条文的说明（产生背景、应用条件等）。

本标准中的强制性条文有 8.1.1 条。以黑体字标识，必须严格执行。

本标准所替代标准的历次版本为：

——SDJ 210—83

——SL 62—94

本标准批准部门：中华人民共和国水利部

本标准主持机构：水利部建设管理司

本标准解释单位：水利部建设管理司

本标准主编单位：中国水利学会地基与基础工程专业委员会
中国水电基础局有限公司

本标准参编单位：中国水利水电科学研究院
长江勘测规划设计研究有限责任公司
武警水电第一总队

本标准出版、发行单位：中国水利水电出版社

本标准主要起草人：夏可风 赵存厚 肖恩尚 杨晓东
杨月林 徐年丰 姜命强 彭春雷
唐玉书 刘松富 王碧峰 符 平
杨森浩 贺永利 施华堂 赵卫全
龚木金 王海云 孙 亮

本标准审查会议技术负责人：陈珙新

本标准体例格式审查人：牟广丞

目 次

1	总则	1
2	术语	4
3	灌浆材料、设备和制浆	7
3.1	灌浆材料和浆液	7
3.2	灌浆设备和机具	9
3.3	制浆	10
4	现场灌浆试验	12
5	基岩帷幕灌浆	14
5.1	一般规定	14
5.2	钻孔	15
5.3	裂隙冲洗和压水试验	17
5.4	灌浆方法和灌浆方式	17
5.5	灌浆压力和浆液变换	18
5.6	孔口封闭灌浆法	19
5.7	特殊情况处理	20
5.8	灌浆结束和封孔	22
5.9	搭接帷幕灌浆	23
5.10	质量检查	24
6	基岩固结灌浆	26
6.1	一般规定	26
6.2	钻孔、裂隙冲洗和压水试验	27
6.3	灌浆和封孔	28
6.4	质量检查	29
7	隧洞灌浆	30
7.1	一般规定	30
7.2	回填灌浆	30

7.3	固结灌浆	31
7.4	钢衬接触灌浆	33
7.5	隧洞封堵灌浆	34
7.6	质量检查	35
8	混凝土坝接缝灌浆	37
8.1	一般规定	37
8.2	灌浆系统的布置	38
8.3	灌浆系统的加工安装和检查维护	39
8.4	灌浆准备和灌浆	41
8.5	特殊情况处理	43
8.6	质量检查	44
9	岸坡接触灌浆	46
9.1	一般规定	46
9.2	灌浆方法	46
9.3	质量检查	48
10	覆盖层灌浆	49
10.1	一般规定	49
10.2	套阀管灌浆法	51
10.3	孔口封闭灌浆法	54
10.4	其他灌浆法	56
10.5	质量检查	58
11	施工记录和竣工资料	60
附录 A	浆液主要性能现场检测方法	63
附录 B	灌浆工程压水试验	67
附录 C	覆盖层灌浆钻孔注水试验	72
附录 D	灌浆工程施工记录和成果图表	75
	标准用词说明	93
	条文说明	95

1 总 则

1.0.1 为规范水工建筑物水泥灌浆工程的施工技术要求和质量检查评定方法,满足工程安全 and 经济合理的要求,制定本标准。

1.0.2 本标准适用于下列灌浆工程:

1 水工建筑物地基灌浆、水工隧洞灌浆、混凝土坝接缝和接触灌浆。

2 水泥类、黏土类或其他颗粒型浆液的灌浆。

3 1级、2级、3级水工建筑物,4级、5级水工建筑物可参照使用。

1.0.3 灌浆工程施工前应具备下列设计文件或相应的资料:

1 岩石地基、覆盖层地基灌浆应包括下列内容:

——施工详图和设计说明书。

——灌浆区域的工程地质和水文地质资料。

——主要灌浆材料来源及料场资料。

——灌浆试验报告。

——灌浆施工组织设计。

——灌浆施工技术要求、灌浆质量标准和检查方法。

2 混凝土坝接缝灌浆和接触灌浆应包括下列内容:

——坝体结构和接缝灌浆设计说明书。

——接缝灌浆、接触灌浆分区和灌浆系统设计图。

——坝块混凝土应达到的温度和测定温度的方法,接缝设计张开度、增开度。

——接缝灌浆、接触灌浆施工组织设计。

——接缝灌浆、接触灌浆施工技术要求、灌浆质量标准和检查方法。

1.0.4 灌浆工程所用的风、水、电、水泥浆、泥浆等供给应可靠,宜设置专用管路和线路。水源和电源应有备用。大型灌浆工

程应设置水泥浆液和膨润土（黏土）浆液的集中拌制站，以及必要的现场试验室。

1.0.5 灌浆工程施工应制定妥善的环境保护和职业健康安全措施。灌浆廊道和井洞的适当部位宜设有灌浆机房、污水沉淀池等；各种管路、电线应架设整齐有序。作业场所应有良好的照明和通风条件；钻渣、污水和废浆应集中处理后排放，应避免对环境产生不良影响。

1.0.6 已完成灌浆或正在灌浆的部位，其附近 30m 以内不应进行爆破作业，确需爆破时应采取减振和防振措施，并征得设计或监理单位的同意。

1.0.7 灌浆工程中的各个钻孔应与设计图纸相对应，统一分类和编号。

1.0.8 各项施工记录应有专人在现场随着施工作业的进行使用墨水笔逐项填写，做到及时、准确、真实、齐全、整洁，符合归档要求。灌浆记录应当班签认，各种资料应及时整理，编制成所需的图表和其他成果资料。

帷幕灌浆和固结灌浆工程应使用灌浆记录仪。灌浆记录仪的打印记录表应当班签认。

1.0.9 灌浆工程的所有相关各方应具有必要的灌浆工程经验。施工过程中应做好工序质量控制和检查，应将施工中间成果及时与设计参数及预期目标进行比较，如与设计预期有重大区别时，应立即查明原因，必要时跟踪调整设计参数及施工工艺。

1.0.10 本标准的引用标准主要有下列标准：

《通用硅酸盐水泥》（GB 175）

《钻井液材料规范》（GB/T 5005）

《水利水电工程钻孔压水试验规程》（SL 31）

《水利水电工程物探规程》（SL 326）

《水利水电工程注水试验规程》（SL 345）

《灌浆记录仪校验方法》（SL 509）

《水工混凝土外加剂技术标准》（SD 108）

《水工混凝土掺用粉煤灰技术规范》(DL/T 5055)

《水工混凝土外加剂技术规程》(DL/T 5100)

《灌浆记录仪技术导则》(DL/T 5237)

1.0.11 各项灌浆工程的施工与质量检查验收等工作除应符合本标准规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 水泥灌浆 cement grouting

利用灌浆泵或浆液自重，通过钻孔、埋管或其他方法把水泥浆液或以水泥为主要成分的浆液注入到岩体的裂隙、土体的孔隙、混凝土裂缝、接缝或空洞内的工程措施。

2.0.2 回填灌浆 filling grouting

用浆液填充混凝土结构物施工留下的空穴、孔洞，或地下空腔，以增强结构物或地基的密实性的灌浆工程，也称充填灌浆。

2.0.3 固结灌浆 consolidation grouting

用浆液灌入岩体裂隙或破碎带，以提高岩体的整体性和抗变形能力为主要目的的灌浆工程。

2.0.4 帷幕灌浆 curtain grouting

用浆液灌入岩体或土层的裂隙、孔隙，形成连续的阻水幕，以减小渗流量和降低渗透压力的灌浆工程。

2.0.5 接缝灌浆 joint grouting

通过埋设管路或其他方式将浆液灌入混凝土坝块之间预设的接缝缝面，以增强坝体的整体性改善传力条件的灌浆工程。

2.0.6 接触灌浆 contact grouting

用浆液灌入混凝土与基岩、钢板，或其他材料之间的缝隙，以增强接触面结合能力的灌浆工程。

2.0.7 循环式灌浆 circulation grouting

浆液通过射浆管注入到孔段底部，部分浆液渗入到岩体裂隙中，部分浆液通过回浆管返回，保持孔段内的浆液呈循环流动状态的灌浆方式。

2.0.8 纯压式灌浆 non-circulation grouting

浆液通过管路注入到孔段内和岩体裂隙中，不再由孔段内返回的灌浆方式。

2.0.9 GIN 灌浆 grouting intensity number

一种灌浆工程的设计和控制方式，这种方式提出一个灌浆强度指数（GIN），以此作为各个孔段灌浆过程的控制和结束条件。

2.0.10 自上而下分段灌浆法 descending stage grouting

从上向下逐段进行钻孔，逐段安装灌浆塞进行灌浆，直至孔底的灌浆方法。

2.0.11 自下而上分段灌浆法 ascending stage grouting

将灌浆孔一次钻进到设计深度，然后自孔底开始往上逐段安装灌浆塞进行灌浆，直至孔口的灌浆方法。

2.0.12 综合灌浆法 comprehensive grouting

在钻孔的某些部位采用自上而下分段灌浆，另一些部位采用自下而上分段灌浆的方法。

2.0.13 孔口封闭灌浆法 orifice - closed grouting

在钻孔孔口安装孔口管，自上而下分段进行钻孔和灌浆，各段灌浆时都在孔口连接孔口封闭器下入射浆管进行循环式灌浆的方法。

2.0.14 套阀管灌浆法 sleeve grouting

在覆盖层中钻孔，在孔内置入套阀管并在管外环状空隙充填低强度浆体，在套阀管内使用灌浆塞进行灌浆的方法。

2.0.15 先导孔 pilot hole

灌浆工程中，用于查明验证或补充灌浆区域地质资料的，最先施工的少数灌浆孔。

2.0.16 压水试验 water pressure test

利用水泵或水柱自重，将清水压入钻孔试验段，根据一定时间内压入的水量和施加压力大小的关系，计算岩体相对透水性和了解裂隙发育程度的试验。

2.0.17 简易压水试验 simple water pressure test

一种试验时间较短、精确度较低的压水试验，其目的是了解灌浆施工过程中岩体透水性变化的趋势。

2.0.18 注水试验 injection test

通过向覆盖层的钻孔中连续注水，测定注水量、注水水位与时间的关系，从而计算覆盖层透水性的试验。

2.0.19 屏浆 measurements for keeping pressure to stage

灌浆段的灌浆工作达到结束条件后，为使已灌入的浆液加速凝固、提高强度，继续使用灌浆泵对灌浆孔段内的浆液施加压力的措施。

2.0.20 闭浆 measurements for keeping stage closed

灌浆段的灌浆工作结束后，为防止灌入孔段和裂隙内的浆液在地下水压力、地层压力或浆液自重作用下由孔口溢出，使用灌浆塞或孔口封闭器继续保持孔段封闭状态的措施。

2.0.21 高压水泥灌浆 high pressure cement grouting

灌浆压力不小于 3MPa 的水泥灌浆。

2.0.22 水灰比 water - cement ratio

水泥浆液中所含的水与水泥成分数量的比值。我国通常使用质量（重量）比，用数字或分式表示。同样，水与固相材料（水泥、黏土、粉煤灰等）的比值称为水固比。

2.0.23 覆盖层 overburden

覆盖在基岩之上的各种成因的松散堆积、沉积物地层。本标准主要指适宜于灌浆处理的砂卵砾石层、砂土层和人工填筑的碎石土层等。

3 灌浆材料、设备和制浆

3.1 灌浆材料和浆液

3.1.1 灌浆工程所采用的水泥品种，应根据灌浆目的、地质条件和环境水的侵蚀作用等因素确定。可采用硅酸盐水泥、普通硅酸盐或复合硅酸盐水泥。当有抗侵蚀或其他要求时，应使用特种水泥。

使用矿渣硅酸盐水泥或火山灰质硅酸盐水泥灌浆时浆液水灰比不宜大于 1。

3.1.2 灌浆用水泥的品质应符合 GB 175 或所采用的其他水泥的标准以及本条的规定。

回填灌浆、固结灌浆和帷幕灌浆所用水泥的强度等级可为 32.5 或以上，坝体接缝灌浆、各类接触灌浆所用水泥的强度等级可为 42.5 或以上。

帷幕灌浆、坝体接缝灌浆和各类接触灌浆所用水泥的细度宜为通过 $80\mu\text{m}$ 方孔筛的筛余量不大于 5%。

3.1.3 灌浆用水泥应妥善保管，严格防潮并缩短存放时间。不应使用受潮结块的水泥。

3.1.4 灌浆用水应符合拌制水工混凝土用水的要求。

3.1.5 基岩帷幕灌浆、基岩固结灌浆、隧洞灌浆、混凝土坝接缝灌浆和岸坡接触灌浆宜使用普通水泥浆液。在特殊地质条件下或有特殊要求时，根据需要现场通过现场灌浆试验论证，可使用下列类型浆液：

1 细水泥浆液，系指干磨细水泥浆液、超细水泥浆液，湿磨细水泥浆液。

2 水泥基混合浆液，系指掺有掺合料的水泥浆液，包括黏土水泥浆、粉煤灰水泥浆、水泥砂浆等。

3 稳定浆液，系指掺有稳定剂，2h 析水率不大于 5% 的水

泥浆液。

4 膏状浆液，系指以水泥、黏土为主要材料的初始塑性屈服强度大于 50Pa 的混合浆液。

5 其他浆液。

3.1.6 覆盖层灌浆材料应根据覆盖层的地层组成、透水性、地下水流速、灌浆材料来源和灌浆目的等要求，通过室内浆材试验和现场灌浆试验确定，可使用下列类型浆液：

1 水泥基浆液，包括普通水泥浆、细水泥浆、黏土（膨润土）水泥浆、粉煤灰水泥浆、矿渣粉水泥浆、水泥砂浆、水玻璃水泥浆等。

2 黏土浆、膨润土浆，或掺入了胶凝材料的黏土浆、膨润土浆。

3 化学浆液，如水玻璃类、丙烯酸盐类、沥青等。

4 其他浆液。

3.1.7 根据灌浆需要，灌浆浆液或浆液组成部分的材料应满足下列要求：

1 灌浆用黏性土的塑性指数不宜小于 14，黏粒（粒径小于 0.005mm）含量不宜少于 25%，含砂量不宜大于 5%，有机物含量不宜大于 3%。黏土宜采用浆液的形式加入，并筛除大颗粒和杂物。

2 灌浆用膨润土，其品质指标应符合 GB/T 5005 的规定。

3 灌浆用粉煤灰，根据工程需要可使用Ⅰ级或Ⅱ级粉煤灰，其品质指标应符合 DL/T 5055 的规定。

4 灌浆采用的砂应为质地坚硬的天然砂或人工砂，粒径不宜大于 1.5mm。

5 根据灌浆需要，在浆液中加入的其他掺合料，应通过室内试验或现场试验确定。

3.1.8 根据灌浆需要，可在水泥浆液中加入下列外加剂：

1 速凝剂，水玻璃、氯化钙、硫酸钠等，或使用硫铝酸盐水泥。

2 减水剂, 木质素磺酸盐类减水剂、萘系高效减水剂、聚羧酸类高效减水剂等。

3 稳定剂, 膨润土及其他高塑性黏土等。

4 其他外加剂。

3.1.9 各类浆液中加入掺合料和外加剂的品种、性能及数量, 应根据工程情况和灌浆目的通过室内浆材试验和现场灌浆试验确定。外加剂的品质应符合 SD 108 或 DL/T 5100 的有关规定。

外加剂凡能溶于水的宜以水溶液状态加入。膨润土宜加水润胀后再加入。

3.1.10 普通水泥浆液可不进行室内试验。其他类型浆液应根据设计要求和工程需要, 有选择地进行下列性能试验:

1 掺合料(或细水泥)的细度和颗分曲线。

2 浆液的流动性或流变参数。

3 浆液的密度、析水率或沉降稳定性。

4 浆液的凝结时间或丧失流动性时间。

5 浆液结石的密度、抗压强度、抗拉强度、弹性模量和渗透系数、渗透破坏比降。

6 其他试验。

3.1.11 灌浆浆液在施工现场应定期进行温度、密度、析水率和漏斗黏度等性能的检测, 发现浆液性能偏离规定指标较大时, 应查明原因, 及时处理。浆液主要性能现场检测方法见附录 A。

3.2 灌浆设备和机具

3.2.1 制浆机的技术性能应与所搅拌浆液的类型、特性相适应, 保证能均匀、连续地拌制浆液。高速制浆机的搅拌转速应不小于 1200r/min。

3.2.2 灌浆泵的技术性能应与所灌注的浆液的类型、特性相适应。额定工作压力应大于最大灌浆压力的 1.5 倍, 压力波动范围宜小于灌浆压力的 20%, 排浆量能满足灌浆最大注入率的要求。为减小灌浆泵输出压力的波动, 宜配置空气蓄能器。

3.2.3 灌浆管路应保证浆液流动畅通，并应能承受 1.5 倍的最大灌浆压力。灌浆泵到灌浆孔口的输浆管长度不宜大于 30m。

3.2.4 灌注膏状浆液和沥青等高凝聚力浆液时，宜根据浆液特性选择制浆与灌浆设备。灌浆管路直径宜大，长度宜短。

3.2.5 灌浆塞应与所采用的灌浆方法、灌浆压力、灌浆孔孔径及地质条件相适应，可选用挤压膨胀式橡胶灌浆塞或液（气）压式胶囊灌浆塞。灌浆塞应有良好的膨胀和耐压性能，在最大灌浆压力下能可靠地封闭灌浆孔段，并应易于安装和拆卸。

3.2.6 灌浆管路阀门应采用可承受高压水泥浆液冲蚀的耐磨灌浆阀门。

3.2.7 灌浆泵出浆口和灌浆孔口处均应安设压力表。灌浆压力表的量程最大标值宜为最大灌浆压力的 2~2.5 倍。压力表与管路之间的隔浆装置传递压力应灵敏无碍。

3.2.8 灌浆记录仪应能自动测量记录灌浆压力和注入率。灌浆记录仪的技术性能和安装使用的基本要求应符合工程的需要以及 DL/T 5237 的规定，灌浆记录仪的校验应遵循 SL 509 的规定。

3.2.9 集中制浆站的制浆能力应满足灌浆高峰期所有机组用浆需要，并应配备防尘、除尘设施。当浆液中需加入掺合料或外加剂时，应增设相应的设备。

3.2.10 所有灌浆设备应注意维护保养，保证其正常工作状态，并应有备用量。

3.2.11 灌浆用的计量器具，如钻孔测斜仪、压力表、灌浆记录仪（包括流量计、压力计等）以及其他监测试验仪表，应定期进行校验或检定，保持量值准确。

3.3 制 浆

3.3.1 制浆材料应按规定的浆液配比计量，计量误差应小于 5%。水泥等固相材料宜采用质量（重量）称量法计量。

3.3.2 膨润土、黏土加入制浆前宜进行浸泡、润胀，或强力高速搅拌，充分分散黏土颗粒。

3.3.3 水泥浆液宜采用高速搅拌机进行拌制，水泥浆液的搅拌时间不宜少于 30s。

拌制水泥黏土（膨润土）浆液时宜先加水、再加水泥拌成水泥浆，后加黏土浆液搅拌。加黏土浆液后的拌制时间不宜少于 2min。如使用黏土（膨润土）直接搅拌成浆时，应先制成黏土（膨润土）浆液，再加入水泥充分搅拌。

细水泥浆液和稳定浆液应使用高速搅拌机拌制并加入减水剂，搅拌时间不宜少于 60s。

膏状浆液应使用大扭矩的搅拌机，搅拌时间应结合浆液配比通过试验确定。

沥青等其他浆液的搅拌设备和搅拌时间应通过试验确定。

3.3.4 各类浆液应搅拌均匀，使用前应过筛。浆液自制备至用完的时间，细水泥浆液不宜大于 2h，水泥浆不宜大于 4h，水泥黏土浆不宜大于 6h，其他浆液的使用时间应根据浆液的性能试验确定。

3.3.5 浆液宜采用集中制浆站拌制，可集中拌制最浓一级的浆液，输送到各灌浆地点调配使用。输送浆液的管道流速宜为 1.4~2.0m/s。各灌浆地点应测定从制浆站或输浆站输送来的浆液密度，然后调制使用。

3.3.6 应对浆液密度等性能指标进行定期检查或抽查，保持浆液性能符合工程要求。

3.3.7 寒冷季节施工应做好机房和灌浆管路的防寒保暖工作，炎热季节施工应采取防晒和降温措施。浆液温度宜保持在 5~40℃。

4 现场灌浆试验

4.0.1 下列工程应进行现场灌浆试验：

- 1 1级、2级水工建筑物基岩帷幕灌浆、覆盖层灌浆。
- 2 地质条件复杂地区或有特殊要求的1级、2级水工建筑物基岩固结灌浆和地下洞室围岩固结灌浆。
- 3 其他认为有必要进行现场试验的灌浆工程。

4.0.2 现场灌浆试验宜在工程初步设计阶段或招标设计阶段进行。试验应包含下列任务：

- 1 试验论证本工程拟采用灌浆方法在技术上的可行性、施工效果的可靠性、经济上的合理性。
- 2 试验评价帷幕灌浆后地基的渗透性和抗渗透破坏能力，固结灌浆后地基的物理力学特性与渗透性，探索受灌地层的灌浆特点、单位注入量大小、抬动变形特性等。
- 3 推荐合理的灌浆布置，如灌浆孔排数、排距、孔距、孔深等。
- 4 推荐适宜的施工方法、施工程序、灌浆压力、灌浆材料、浆液配比与浆材性能，适宜的水灰比。
- 5 试验确定工程重大地质缺陷的灌浆处理措施。
- 6 研究适合本工程特点与要求的灌浆质量标准 and 检查方法，为编制灌浆工程施工技术要求、制定验收评价标准提供技术依据。
- 7 为施工工效、进度、工程造价分析及灌浆工程优化等提供依据。

4.0.3 试验场地选择与试验方案确定时，应综合考虑下列因素：

- 1 试验场地应具有代表性。选取的试验场地应能充分反映实际施工的地质条件，当存在多个性状不同的地质单元或复杂地层时，应视情况布置多个试区和进行多组试验。

2 研究试验工程与后期建设工程的结合问题。当在工程建设部位进行试验时，应对试验工程的利用及与永久工程灌浆的衔接做好安排，且不宜进行破坏性检查；当可能对建筑物或地基产生不利影响时，应另选试验地点。

3 试验方案应符合工程特点和地质条件，试验项目、组（孔）数、辅助检查与测试、室内试验等应与试验研究的目标要求相适应，满足获取所需的数据支持与依据。试验程序安排应合理，满足工程总体进度要求。

4 试验场地施工干扰少，水电、交通方便，辅助工程量小。
4.0.4 试验施工完成后应留有必要的时间进行灌浆效果的测试，并提出专项测试报告。

4.0.5 对灌浆试验的全过程，包括实施的每个步骤或每道工序应做详细、准确的记录。

4.0.6 试验完成后，应按照试验的目的和要求对全部试验成果进行分析研究，提出完整的灌浆试验报告。

4.0.7 在施工前或施工初期，宜进行生产性灌浆试验，其目的是验证灌浆工程施工详图设计和施工组织设计，调试运行钻孔灌浆施工系统，验证合理的机械设备与人员配置。

5 基岩帷幕灌浆

5.1 一般规定

5.1.1 本章规定适用于水工建筑物一般基岩帷幕灌浆的施工。全强风化岩层、大型岩溶充填物、宽大软弱构造带等的灌浆处理还应参照第 10 章“覆盖层灌浆”的有关规定。

5.1.2 水库蓄水前，应完成蓄水初期最低库水位以下的帷幕灌浆并检查合格；水库蓄水或阶段蓄水过程中，应完成相应蓄水位以下的帷幕灌浆并检查合格。

5.1.3 防渗帷幕的钻孔灌浆应具备下列条件方可进行：

1 上部结构混凝土浇筑厚度达到设计规定的盖重厚度要求。上部结构混凝土厚度较小的部位（趾板、压浆板、心墙底板、岸坡坝段、尾坎等），须待混凝土浇筑达到其完建高程和设计强度，压浆板、趾板等加固锚杆砂浆达到设计强度；防渗墙与覆盖层下帷幕灌浆时，达到相应设计规定。

2 相应部位的基岩固结灌浆、混凝土坝底层灌区接缝灌浆、岸坡接触灌浆完成并检查合格。

3 相应部位灌浆平洞的开挖、混凝土衬砌（或喷锚支护）、回填灌浆、围岩固结灌浆完成并检查合格。

4 灌浆区邻近 30m 范围内的勘探平洞、大口径钻孔、断（夹）层等地质缺陷的开挖、清理、混凝土回填、灌浆等作业完成，影响灌浆作业的临空边坡锚固、支护完成并检查合格。

5.1.4 进行工程总体进度安排时，应对帷幕灌浆（含搭接帷幕灌浆）及与其相关的混凝土浇筑、岸坡接触灌浆、灌浆平洞与引水洞衬砌、导流洞封堵等的施工时间做好统筹安排。

5.1.5 灌浆前，应查明灌浆区内已布设的各种监测仪器、电缆、管线、止水片、锚杆、钢筋等设施的具体位置，当灌浆孔位放样出现与上述设施相矛盾或潜在矛盾时，应适当调整灌浆孔位或孔

向。灌浆过程中，应对上述设施进行妥善保护。

5.1.6 帷幕灌浆应按分序加密的原则进行。由三排孔组成的帷幕，应先灌注下游排孔，再灌注上游排孔，后灌注中间排孔，每排孔可分为二序。由两排孔组成的帷幕应先灌注下游排孔，后灌注上游排孔，每排孔可分为二序或三序。单排孔帷幕应分为三序灌浆。

5.1.7 在帷幕的先灌排或主帷幕孔中宜布置先导孔，先导孔应在一序孔中选取，其间距宜为 16~24m，或按该排孔数的 10% 布置。岩溶发育区、岸坡卸荷区等地层性状突变部位先导孔宜适当加密。

5.1.8 采用自上而下分段灌浆法或孔口封闭灌浆法进行帷幕灌浆时，同一排相邻的两个次序孔之间，以及后序排的第一次序孔与其相邻部位前序排的最后次序孔之间，在岩石中钻孔灌浆的高差不应小于 15m。

采用自下而上分段灌浆法进行帷幕灌浆时，相邻的前序孔灌浆封孔结束后，后序孔方可进行钻进，但 24h 内不应进行裂隙冲洗与压水试验。

5.1.9 混凝土防渗墙下基岩帷幕灌浆宜采用自上而下分段灌浆法或自下而上分段灌浆法，不宜直接利用墙体内预埋灌浆管作为孔口管进行孔口封闭法灌浆。

5.1.10 帷幕后的排水孔和扬压力观测孔应在相应部位的帷幕灌浆完成并检查合格后，方可钻进。

5.1.11 工程必要时，应安设抬动监测装置，在灌浆过程中连续进行观测并记录，抬动变形值应在设计允许范围内。

5.2 钻 孔

5.2.1 帷幕灌浆孔的钻孔方法应根据地质条件、灌浆方法与钻孔要求确定。当采用自上而下灌浆法、孔口封闭灌浆法时，宜采用回转式钻机和金刚石或硬质合金钻头钻进；当采用自下而上灌浆法时，可采用回转式钻机或冲击回转式钻机钻进。

5.2.2 灌浆孔位与设计孔位的偏差不应大于 10cm，孔深不应小于设计孔深，实际孔位、孔深应有记录。

5.2.3 帷幕灌浆中各类钻孔的孔径应根据地质条件、钻孔深度、钻孔方法、钻孔要求和灌浆方法确定。灌浆孔以较小直径为宜，但终孔孔径不宜小于 $\phi 56\text{mm}$ ；先导孔、质量检查孔孔径应满足获取岩芯和进行测试的要求。

5.2.4 帷幕灌浆中的各类钻孔均应分段进行孔斜测量。垂直的或顶角不大于 5° 的钻孔，孔底的偏差不应大于表 5.2.4 的规定。如钻孔偏斜值超过规定，必要时应采取补救措施。

表 5.2.4 钻孔孔底允许偏差

单位：m

孔深	20	30	40	50	60	80	100
允许偏差	0.25	0.50	0.80	1.15	1.50	2.00	2.50

对于顶角大于 5° 的斜孔，孔底允许偏差值可适当放宽，但方位角的偏差值不应大于 5° 。孔深大于 100m 时，孔底允许偏差值应根据工程实际情况确定。钻进过程中，应重点控制孔深 20m 以内的偏差。

5.2.5 钻孔遇有洞穴、塌孔或掉块，难以钻进时，可先进行灌浆处理，再行钻进。如发现集中漏水或涌水，应查明情况、分析原因，经处理后再行钻进。

5.2.6 灌浆孔或灌浆段及其他各类钻孔（段）钻进结束后，应及时进行钻孔冲洗。钻孔冲洗一般采用大流量水流冲洗。冲洗后，孔（段）底残留物厚度不应大于 20cm。

遇页岩、黏土岩等遇水易软化的岩石时，可视情况采用压缩空气或泥浆进行钻孔冲洗。

5.2.7 当施工作业暂时中止时，孔口应妥加保护，防止流进污水和落入异物。

5.2.8 钻孔过程应进行记录，遇岩层、岩性变化，发生掉钻、卡钻、塌孔、掉块、钻速变化、回水变色、失水、涌水等异常情况时，应详细记录。

5.3 裂隙冲洗和压水试验

5.3.1 采用自上而下分段灌浆法和孔口封闭法进行帷幕灌浆时，各灌浆段在灌浆前应进行裂隙冲洗。裂隙冲洗宜采用压力水冲洗，冲洗压力可为灌浆压力的 80%，并不大于 1MPa，冲洗时间至回水澄清时止或不大于 20min。

当采用自下而上分段灌浆法时，可在灌浆前对全孔进行一次裂隙冲洗。

5.3.2 帷幕灌浆先导孔、质量检查孔应自上而下分段进行压水试验，压水试验宜采用单点法，按附录 B 执行。

5.3.3 采用自上而下分段灌浆法、孔口封闭灌浆法进行帷幕灌浆时，各灌浆段在灌浆前宜进行简易压水试验，按附录 B 执行。简易压水试验可与裂隙冲洗结合进行。

采用自下而上分段灌浆法时，灌浆前可进行全孔一段简易压水试验和孔底段简易压水试验。

5.3.4 岩溶、断层、大型破碎带、软弱夹层等地质条件复杂地区，以及设计有专门要求地段的裂隙冲洗，应通过现场试验确定或按设计要求执行。对遇水后性能易恶化的地层，可不进行裂隙冲洗，且宜少做或不做压水试验。

5.4 灌浆方法和灌浆方式

5.4.1 根据不同的地质条件和工程要求，帷幕灌浆可选用自上而下分段灌浆法、自下而上分段灌浆法、综合灌浆法及孔口封闭灌浆法。

5.4.2 根据地质条件、灌注浆液和灌浆方法的不同，应相应选用循环式灌浆或纯压式灌浆。当采用循环式灌浆法时，射浆管应下至距孔底不大于 50cm。

5.4.3 帷幕灌浆段长宜为 5~6m，具备一定条件时可适当加长，但最长不应大于 10m，岩体破碎、孔壁不稳时灌浆段长应缩短。混凝土结构和基岩接触处的灌浆段（接触段）段长宜

为1~3m。

5.4.4 采用自上而下分段灌浆法时，第1段（接触段）灌浆的灌浆塞宜跨越混凝土与基岩接触面安放；以下各段灌浆塞应阻塞在灌浆段段顶以上50cm处，防止漏灌。

5.4.5 采用自下而上分段灌浆法时，如灌浆段的长度因故超过10m，对该段灌浆质量应进行分析，必要时宜采取补救措施。

5.4.6 混凝土与基岩接触段应先行单独灌注并待凝，待凝时间不宜少于24h，其余灌浆段灌浆结束后可不待凝，但灌浆前孔口涌水、灌浆后返浆等地质条件复杂情况下应待凝，待凝时间应根据工程具体情况确定。

5.4.7 先导孔各孔段宜在进行压水试验后及时进行灌浆，也可在全孔压水试验完成后自下而上分段灌浆。

5.4.8 不论灌前透水率大小，各灌浆段均应按技术要求进行灌浆。

5.5 灌浆压力和浆液变换

5.5.1 灌浆压力应根据工程等级、灌浆部位的地质条件、承受水头等情况进行分析计算并结合工程类比拟定。重要工程的灌浆压力应通过现场灌浆试验论证。施工过程中，灌浆压力可根据具体情况进行调整。灌浆压力的改变应征得设计同意。

5.5.2 采用循环式灌浆时，灌浆压力表或记录仪的压力变送器应安装在灌浆孔孔口处回浆管路上；采用纯压式灌浆时，压力表或压力变送器应安装在孔口处进浆管路上。压力表或压力变送器与灌浆孔孔口间的管路长度不宜大于5m。灌浆压力应保持平稳，宜测读压力波动的平均值，最大值也应予以记录。

5.5.3 根据工程情况和地质条件，灌浆压力的提升可采用分级升压法或一次升压法。升压过程中应保持灌浆压力与注入率相适应，防止发生抬动变形破坏。

5.5.4 普通水泥浆液水灰比可采用5、3、2、1、0.7、0.5六级，细水泥浆液水灰比可采用3、2、1、0.5四级，灌注时由稀

至浓逐级变换。开灌水灰比根据各工程地质情况和灌浆要求确定，采用循环式灌浆时，普通水泥浆可采用水灰比 5，细水泥浆可采用 3；采用纯压式灌浆时，开灌水灰比可采用 2 或单一比级的稳定浆液。

5.5.5 特殊地质条件下（如洞穴、宽大裂缝、松散软弱地层等）经试验验证后，可采用稳定浆液、膏状浆液进行灌注。其浆液的成分、配比以及灌注方法应通过室内浆材试验和现场灌浆试验确定。

5.5.6 当采用多级水灰比浆液灌注时，浆液变换应符合下列原则：

1 当灌浆压力保持不变，注入率持续减少时，或注入率不变而压力持续升高时，不应改变水灰比。

2 当某级浆液注入量已达 300L 以上时，或灌浆时间已达 30min 时，而灌浆压力和注入率均无改变或改变不显著时，应改浓一级水灰比。

3 当注入率大于 30L/min 时，可根据具体情况越级变浓。

5.5.7 灌浆过程中，灌浆压力或注入率突然改变较大时，应立即查明原因，采取相应的措施处理。

5.5.8 灌浆过程的控制也可采用灌浆强度值（GIN）等方法进行，其最大灌浆压力、最大单位注入量、灌浆强度指数、浆液配比、灌浆过程控制和灌浆结束条件等，应经过试验确定。

5.6 孔口封闭灌浆法

5.6.1 孔口封闭法适用于块状、厚层、高倾角岩层等地层的高压灌浆，当应用于软弱破碎岩石地基或覆盖层时，应按 10.3 节的规定执行。

5.6.2 灌浆孔孔径宜为 $\phi 56 \sim 76\text{mm}$ ，自上而下分段钻进、分段灌浆。

5.6.3 各孔孔口管段即混凝土与基岩接触段，应先行单独钻孔与灌浆，镶铸孔口管，并待凝 48~72h。

5.6.4 孔口管埋入基岩的深度应根据最大灌浆压力和岩体特性确定。采用 5MPa 以上高压灌浆时，孔口管埋入基岩的深度不应小于 2m。

5.6.5 孔口管段以下 2~3 个灌浆段，段长宜短，灌浆压力递增宜快，再以下各段段长宜为 5m，按设计最大灌浆压力灌注。

5.6.6 孔口封闭器应具有良好的耐压和密封性能，灌浆管应能在灌浆过程中灵活转动和升降。

5.6.7 灌浆管的外径与钻孔孔径之差宜为 10~20mm，若用钻杆作为灌浆管，应采用外平接头连接。各段灌浆时灌浆管应深入灌浆段底部，管口离孔底的距离不应大于 50cm。

5.6.8 各孔段的裂隙冲洗和压水试验，可按照 5.3 节的规定执行。

5.6.9 灌浆浆液宜采用多级水灰比，其比级设置及变换原则，可按照 5.5.4 条、5.5.6 条的规定执行。

5.6.10 灌浆过程中应保持灌浆压力和注入率相适应。宜采用中等以下注入率灌注，当灌浆压力大于 4MPa 时，注入率宜小于 10L/min。同一部位不宜聚集多台灌浆泵同时灌浆。

5.6.11 灌浆过程中应经常转动和上下活动灌浆管，回浆管宜有 15L/min 以上的回浆量，防止灌浆管在孔内被水泥浆凝住。

5.7 特殊情况处理

5.7.1 帷幕灌浆孔终孔段的透水率或单位注入量大于设计规定值时，其灌浆孔宜继续加深。

5.7.2 灌浆过程中发现冒浆、漏浆时，应根据具体情况采用嵌缝、表面封堵、低压、浓浆、限流、限量、间歇、待凝、复灌等方法进行处理。

5.7.3 灌浆过程中发生串浆时，应阻塞串浆孔，待灌浆孔灌浆结束后，再对串浆孔进行扫孔、冲洗、灌浆。如注入率不大，且串浆孔具备灌浆条件，也可一泵一孔同时灌浆。

5.7.4 灌浆必须连续进行，若因故中断，应按下列原则处理：

1 应尽快恢复灌浆。如无条件在短时间内恢复灌浆时，应立即冲洗钻孔，再恢复灌浆。若无法冲洗或冲洗无效，则应进行扫孔，再恢复灌浆。

2 恢复灌浆时，应使用开灌比级的水泥浆进行灌注。如注入率与中断前相近，即可采用中断前水泥浆的比级继续灌注；如注入率较中断前减少较多，应逐级加浓浆液继续灌注；如注入率较中断前减少很多，且在短时间内停止吸浆，应采取补救措施。

5.7.5 孔口有涌水的灌浆孔段，灌浆前应测记涌水压力和涌水量，根据涌水情况，可选用下列措施综合处理：

- 1 自上而下分段灌浆。
- 2 缩短灌浆段长。
- 3 提高灌浆压力。
- 4 改用纯压式灌浆。
- 5 灌注浓浆。
- 6 灌注速凝浆液。
- 7 屏浆。
- 8 闭浆。
- 9 待凝。
- 10 复灌。

5.7.6 灌浆段注入量大而难以结束时，应首先结合地勘或先导孔资料查明原因。根据具体情况，可选用下列措施处理：

- 1 低压，浓浆，限流，限量，间歇灌浆。
- 2 灌注速凝浆液。
- 3 灌注混合浆液或膏状浆液。

5.7.7 对溶洞灌浆，应查明溶洞规模、发育规律、充填类型、充填程度和渗流情况，采取相应措施处理：

1 溶洞内无充填物时，根据溶洞大小和地下水活动程度，可泵入高流态混凝土或水泥砂浆，或投入级配骨料再灌注水泥砂浆、混合浆液、膏状浆液，或进行模袋灌浆等。

2 溶洞内有充填物时，根据充填物类型、特征以及充填程

度，可采用高压灌浆、高压旋喷灌浆等措施。灌浆注入量大时，可按照 5.7.6 条规定处理。

5.7.8 灌浆过程中如回浆失水变浓，可选用下列措施处理：

- 1 适当加大灌浆压力。
- 2 采用分段阻塞循环式灌注。
- 3 换用相同水灰比的新浆灌注。
- 4 加密灌浆孔。

5 若回浆变浓现象普遍，上述处理措施效果不明显，应研究改用细水泥浆、水泥膨润土浆或化学浆液灌注。

5.7.9 灌浆过程中，为避免射浆管被水泥浆凝铸在钻孔中，可选用下列措施处理：

- 1 按照 5.6.11 条规定进行操作。
- 2 如灌浆已进入结束条件的持续阶段，并仍为浓浆灌注时，可改用水灰比为 2 或 1 的较稀浆液灌注。
- 3 条件允许时，改为纯压式灌浆。
- 4 如射浆管已出现被凝住的征兆，应立即放开回浆阀门，强力冲洗钻孔，并尽快提升钻杆。

5.7.10 灌浆孔段遇特殊情况，无论采用何种措施处理，均应进行扫孔后复灌，复灌后应达到规定的结束条件。

5.8 灌浆结束和封孔

5.8.1 各灌浆段灌浆的结束条件应根据地层和地下水条件、浆液性能、灌浆压力、浆液注入量和灌浆段长度等综合确定。应符合下列原则：

1 当灌浆段在最大设计压力下，注入率不大于 1L/min 后，继续灌注 30min，可结束灌浆。

2 当地质条件复杂、地下水流速大、注入量较大、灌浆压力较低时，持续灌注的时间应适当延长。

5.8.2 全孔灌浆结束后，应以水灰比为 0.5 的新鲜普通水泥浆液置换孔内稀浆或积水，采用全孔灌浆封孔法封孔。封孔灌浆压

力：采用自上而下分段灌浆法和自下而上分段灌浆法时，可采用全孔段平均灌浆压力或 2MPa；采用孔口封闭法时，可采用该孔最大灌浆压力。封孔灌浆时间可为 1h。

5.9 搭 接 帷 幕 灌 浆

5.9.1 本节适用于灌浆平洞内上下两层帷幕间的搭接帷幕灌浆，以及地下洞室（引水洞、导流洞、泄洪洞等）与帷幕交叉部位的搭接帷幕灌浆。

5.9.2 灌浆平洞内上下两层帷幕间的搭接帷幕宜布置在下层平洞上游侧，水平或下倾向成排布置，宜布置 3 排或 4 排，孔深应穿过上层主帷幕。相应部位的上层主帷幕孔应深入至下层灌浆平洞底板高程以下不小于 5m。地下洞室与帷幕交叉部位的搭接帷幕应在地下洞室内环向成排辐射形布置，宜布置 4~6 环（排）。搭接帷幕的防渗标准宜与相连接的主帷幕一致。

5.9.3 搭接帷幕灌浆宜在灌浆平洞或地下洞室顶拱回填灌浆和围岩固结灌浆完成后，主帷幕灌浆施工前进行。灌浆平洞内搭接帷幕灌浆应按照先下排、再上排、后中间排顺序进行，排内分为二序施工；地下洞室内搭接帷幕灌浆应按照先两边环（排）、后中间环（排）顺序进行，环（排）内分为二序施工。

5.9.4 搭接帷幕孔可采用风钻或其他型式钻机钻进，孔位、孔向和孔深应满足设计要求，孔径不宜小于 $\phi 38\text{mm}$ 。

5.9.5 搭接帷幕孔钻孔结束后应使用大流量水或压缩空气冲净孔内岩粉、渣屑，冲洗后孔底残留物厚度不应大于 20cm。

5.9.6 灌浆前应使用压力水进行裂隙冲洗，冲洗压力可为灌浆压力的 80%，并不大于 1MPa，冲洗时间至回水澄清后止或不大于 20min。

地质条件复杂或有特殊要求时，是否需要裂隙冲洗以及如何冲洗，宜通过现场试验确定。

5.9.7 可在各序孔中选取不少于 5% 的灌浆孔（段）在灌浆前进行简易压水试验。简易压水试验可结合裂隙冲洗进行。

5.9.8 搭接帷幕灌浆可采用全孔一次灌浆法或分段灌浆法，采用纯压式灌浆或循环式灌浆。

5.9.9 灌浆宜采用单孔灌浆的方法，在注入量较小地段，同一序灌浆孔也可并联灌浆，并联灌浆的孔数不宜多于 3 个。

5.9.10 搭接帷幕灌浆的最大压力可为 $1.0 \sim 2.0 \text{MPa}$ ，如在主帷幕灌浆之后施工，灌浆压力应取大值。

5.9.11 搭接帷幕灌浆使用的浆液水灰比及其变换规则，可按 5.5.4 条、5.5.6 条规定执行。

5.9.12 搭接帷幕灌浆结束条件为：灌浆段在最大设计压力下，注入率不大于 $1\text{L}/\text{min}$ 后，继续灌注 30min。

5.9.13 搭接帷幕灌浆完成后，可采用导管注浆法或全孔灌浆法封孔，孔口空余部分使用干硬性砂浆填实抹平。

5.10 质量检查

5.10.1 帷幕灌浆工程质量的评价应以检查孔压水试验成果为主要依据，结合施工成果资料和其他检验测试资料，进行综合分析确定。

5.10.2 帷幕灌浆检查孔应在分析施工资料的基础上在下列部位布置：

- 1 帷幕中心线上。
- 2 基岩破碎、断层与裂隙发育、强岩溶等地质条件复杂的部位。
- 3 末序孔注入量大的孔段附近。
- 4 钻孔偏斜过大、灌浆过程不正常等经分析资料认为可能对帷幕质量有影响的部位。
- 5 防渗要求高的重点部位。

5.10.3 帷幕灌浆检查孔数量可按灌浆孔数的一定比例确定。单排孔帷幕时，检查孔数量可为灌浆孔总数的 10% 左右，多排孔帷幕时，检查孔的数量可按主排孔数的 10% 左右。一个坝段或一个单元工程内，至少应布置一个检查孔。

5.10.4 帷幕灌浆检查孔应采取岩芯，绘制钻孔柱状图。岩芯应全部拍照，重要岩芯应长期保留。

5.10.5 帷幕灌浆的检查孔压水试验应在该部位灌浆结束 14d 后进行，检查孔应自上而下分段钻进，分段阻塞，分段压水试验，宜采用单点法，按附录 B 执行。

5.10.6 搭接帷幕灌浆的检查孔压水试验可在搭接帷幕施工完成 7d 后，或搭接帷幕和主帷幕灌浆全部完成后一并进行，检查孔的数量可为搭接帷幕灌浆总孔数的 3%~5%。

5.10.7 帷幕灌浆工程质量的评定标准为：经检查孔压水试验检查，坝体混凝土与基岩接触段的透水率的合格率为 100%，其余各段的合格率不小于 90%，不合格试段的透水率不超过设计规定的 150%，且不合格试段的分布不集中；其他施工或测试资料基本合理，灌浆质量可评为合格。

5.10.8 帷幕灌浆孔封孔质量应进行孔口封填外观检查和钻孔取芯抽样检查，封孔质量应满足设计要求。

5.10.9 检查孔检查工作结束后，应按 5.4 节和 5.8 节进行灌浆和封孔。检查不合格的孔段应根据工程要求和不合格程度确定是否需进行扩大补充灌浆和检查。

6 基岩固结灌浆

6.1 一般规定

6.1.1 本章规定了深度不大于 15m 的水工建筑物基岩固结灌浆的施工技术要求。深孔固结灌浆和高压固结灌浆的施工应按照第 5 章“基岩帷幕灌浆”的有关规定执行。

6.1.2 固结灌浆布孔范围应根据工程规模、工程重要性、基岩特性综合分析决定。基岩固结灌浆布孔的重点部位为：

1 地基应力较大的坝踵、坝趾区；建筑物高低差异较大的区域（如导墙）。

2 基岩破碎、断（夹）层与裂隙发育、强岩溶等地质条件复杂的部位。

3 建基面陡坡段。

4 防渗帷幕的前沿。

6.1.3 安排工程总体进度时，应对固结灌浆和混凝土浇筑、岸坡接触灌浆、土方填筑等的施工时间做好统筹安排。

6.1.4 施工前，应查明灌浆区内预埋的监测仪器、电缆、管线、止水片、锚杆、钢筋等布设位置。固结灌浆孔位放样与其发生矛盾时，应调整固结灌浆孔位或孔向。灌浆区邻近 10m 范围内的勘探平洞、大口径钻孔、断（夹）层等地质缺陷处理的清理与开挖、回填混凝土、回填灌浆等作业应已完成并检查合格。

6.1.5 固结灌浆宜在有益重混凝土的条件下进行。对于混凝土坝，盖重混凝土厚度可为 1.5m 以上，盖重混凝土应达到 50% 设计强度后方可进行钻灌。

对于土石坝防渗体基础混凝土盖板或喷混凝土护面、堆石坝混凝土趾板下的基岩进行固结灌浆时，应待其盖板或护面结构混凝土达到设计强度后进行。

6.1.6 在有益重条件下进行固结灌浆施工时，应采取有效措施

防止对冷却水管、接缝接触灌浆系统、坝内钢筋、监测仪器等设施的损坏，必要时可采用引管、预埋导向管法施工。

6.1.7 需在无盖重条件下进行固结灌浆时，应通过现场灌浆试验论证，采取有效措施确保建基面表部岩体的灌浆质量。

6.1.8 固结灌浆应按分序加密的原则进行。同一区段或同一坝块内，周边孔应先行施工。其余部位灌浆孔排与排之间和同一排孔孔与孔之间，可分为二序施工，也可只分排序不分孔序或只分孔序不分排序。

6.1.9 具备条件时，固结兼辅助帷幕孔宜布置在灌浆廊道内施工，且于主帷幕施工前完成。

6.1.10 进行有盖重灌浆时，应安设抬动监测装置，在灌浆过程中连续进行观测并记录，抬动变形值应在设计允许范围内。

6.2 钻孔、裂隙冲洗和压水试验

6.2.1 固结灌浆孔应根据工程的地质条件选用适宜的钻机和钻头钻进。灌浆孔孔径不宜小于 $\phi 56\text{mm}$ 。物探测试孔、质量检查孔、抬动监测孔孔径不宜小于 $\phi 76\text{mm}$ 。

6.2.2 灌浆孔位与设计位置的偏差不宜大于 10cm ，孔向、孔深应满足设计要求。

6.2.3 灌浆孔或灌浆段钻进完成后，应使用大水流或压缩空气冲洗钻孔，清除孔内岩粉、渣屑，冲洗后孔底残留物厚度不应大于 20cm 。

6.2.4 灌浆孔或灌浆段在灌浆前应采用压力水进行裂隙冲洗，冲洗压力采用灌浆压力的 80% 并不大于 1MPa ，冲洗时间为 20min 或至回水清净时止。串通孔冲洗方法与时间应按设计要求执行。

地质条件复杂以及对裂隙冲洗有特殊要求时，冲洗方法应通过现场灌浆试验确定。

6.2.5 可在各序孔中选取不少于 5% 的灌浆孔（段）在灌浆前进行简易压水试验。简易压水试验可结合裂隙冲洗进行。

6.3 灌浆和封孔

6.3.1 根据不同的地质条件和工程要求,固结灌浆可选用全孔一次灌浆法、自上而下分段灌浆法、自下而上分段灌浆法,也可采用孔口封闭灌浆法或综合灌浆法。

6.3.2 灌浆孔的基岩灌浆段长不大于 6m 时,可采用全孔一次灌浆法;大于 6m 时,宜分段灌注。各灌浆段长度可采用 5~6m,特殊情况下可适当缩短或加长,但不应大于 10m。

6.3.3 固结灌浆可采用纯压式或循环式。当采用循环式灌浆时,射浆管出口与孔底距离不应大于 50cm。

6.3.4 灌浆孔宜单孔灌注。对相互串通的灌浆孔可并联灌注,并联孔数不应多于 3 个,软弱地质结构面和结构敏感部位,不宜进行多孔并联灌浆。

6.3.5 固结灌浆的压力应根据地质条件、工程要求和施工条件确定。当采用分段灌浆时,宜先进行接触段灌浆,灌浆塞深入基岩 30~50cm,灌浆压力不宜大于 0.3MPa;以下各段灌浆时,灌浆塞宜安设在受灌段顶以上 50cm 处,灌浆压力可适当增大。灌浆压力宜分级升高。应严格按注入率大小控制灌浆压力,防止混凝土结构物或基岩抬动。

6.3.6 固结灌浆的浆液水灰比可采用 3、2、1、0.5 四级,开灌浆液水灰比选用 3,其浆液变换原则可按照 5.5.6 条执行。经试验论证也可采用单一比级的稳定性浆液。

6.3.7 固结灌浆施工中特殊情况的处理可按照 5.7 节的规定执行。

6.3.8 各灌浆段灌浆的结束条件应根据地质条件和工程要求确定。当灌浆段在最大设计压力下,注入率不大于 1L/min 后,继续灌注 30min,可结束灌浆。

6.3.9 固结灌浆孔各灌浆段灌浆结束后可不待凝,但在灌浆前涌水、灌后返浆或遇其他地质条件复杂情况,则应待凝,待凝时间可为 12~24h。

6.3.10 灌浆孔灌浆结束后，可采用导管注浆法封孔，孔口涌水的灌浆孔应采用全孔灌浆法封孔。

6.4 质量检查

6.4.1 固结灌浆工程的质量检查宜采用检测岩体弹性波波速的方法，检测可在灌浆结束 14d 后进行。检查孔的数量和布置、岩体波速提高的程度应按设计规定执行。检测的仪器和方法应符合 SL 326 的要求。

6.4.2 固结灌浆工程的质量检查也可采用钻孔压水试验的方法，检测时间可在灌浆结束 7d 或 3d 后进行。检查孔的数量不宜少于灌浆孔总数的 5%。压水试验应采用单点法，按附录 B 执行。工程质量合格标准为：单元工程内检查孔各段的合格率应达 85% 以上，不合格孔段的透水率值不超过设计规定值的 150%，且不集中。

6.4.3 声波测试孔、压水试验检查孔完成检测工作后，应按 6.3 节进行灌浆和封孔。对检查不合格的孔段，应根据工程要求 and 不合格程度确定是否需对相邻部位进行补充灌浆和检查。

7 隧洞灌浆

7.1 一般规定

7.1.1 本章规定了水工隧洞各种灌浆的施工技术要求，竖井、斜井、堤坝涵管及其他地下洞室的灌浆可参照执行。

7.1.2 水工隧洞混凝土衬砌段的灌浆，应按先回填灌浆后固结灌浆的顺序进行。回填灌浆应在衬砌混凝土达到 70% 设计强度后进行，固结灌浆宜在该部位的回填灌浆结束 7d 后进行。当隧洞中布置有帷幕灌浆时，应按照先回填灌浆，再固结灌浆，后帷幕灌浆的顺序施工。

7.1.3 当隧洞、涵管布置在全强风化或松散软弱岩土体中时，洞涵环周应布置止水帷幕。

7.1.4 水工隧洞钢板衬砌段各类灌浆的顺序应按设计规定进行。钢衬接触灌浆宜在衬砌混凝土浇筑结束 60d 后进行。

7.1.5 灌浆结束时，有往外流浆或往上返浆的灌浆孔应闭浆待凝。

7.1.6 必要时应安设隧洞结构变形监测装置，进行监测和记录。

7.2 回填灌浆

7.2.1 顶拱回填灌浆应分成区段进行，每区段长度不宜大于 3 个衬砌段，区段端部应在混凝土施工时封堵严密。

7.2.2 灌浆孔应布置在隧洞顶拱中心线上和顶拱中心角 $90^{\circ} \sim 120^{\circ}$ 范围内。灌浆孔排距可为 3~6m，每排可为 1~3 孔。

7.2.3 灌浆孔在混凝土衬砌中宜采用直接钻设的方法；在钢筋混凝土衬砌中应采用从预埋导向管中钻孔的方法。钻孔孔径不宜小于 $\phi 38\text{mm}$ ，孔深应钻透空腔或进入围岩 10cm，并应测记混凝土厚度和混凝土与围岩之间的空腔尺寸。

7.2.4 遇有围岩塌陷、溶洞、超挖较大等部位的回填灌浆，应

在浇筑该部位的混凝土时预埋灌浆管路和排气管路，通过管路进行灌浆。埋管数量不应少于 2 个，位置在现场确定。

7.2.5 灌浆前应对衬砌混凝土的施工缝和混凝土缺陷等进行全面检查，对可能漏浆的部位应先进行处理。

7.2.6 灌浆采用纯压式灌浆法，宜分为两个次序进行，后序孔应包括顶孔。

7.2.7 回填灌浆施工应自较低的一端开始，向较高的一端推进。同一区段内的同一次序孔可全部或部分钻出后再进行灌浆，也可单孔分序钻进和灌浆。

7.2.8 低处孔灌浆时，高处孔可用于排气、排水。当高处孔排出浓浆（接近或等于注入浆液的水灰比）后，可将低处孔堵塞，改从高处孔灌浆，依此类推，直至结束。

7.2.9 浆液的水灰比可采用 1、0.5 两级，一序孔可直接灌注 0.5 级浆液。空隙大的部位应灌注水泥基混合浆液或回填高流态混凝土，使用水泥砂浆时掺砂量不宜大于水泥重量的 200%。全强风化或松散软弱岩体中隧涵的回填灌浆，宜采用水泥黏土浆液或其他复合浆液灌浆。

7.2.10 灌浆压力应视混凝土衬砌厚度和配筋情况等确定。在素混凝土衬砌中可采用 0.2~0.3MPa；钢筋混凝土衬砌中可采用 0.3~0.5MPa。

7.2.11 灌浆应连续进行，因故中止灌浆的灌浆孔，应扫孔后再进行复灌，直至达到结束条件。

7.2.12 灌浆结束条件：在规定的压力下，灌浆孔停止吸浆，延续灌注 10min 即可结束。

7.2.13 灌浆孔灌浆完成后，应使用水泥砂浆将钻孔封填密实，孔口压抹齐平。

7.3 固 结 灌 浆

7.3.1 灌浆孔可采用风钻或其他型式钻机钻孔，终孔直径不宜小于 $\phi 38\text{mm}$ ，孔位、孔向和孔深应满足设计要求。

灌浆孔穿过钢筋混凝土衬砌时，宜在混凝土中预埋灌浆管指示孔位，预埋管应位置准确、固定牢靠、拆模后易于找到。

7.3.2 灌浆在喷混凝土衬砌内进行时，喷混凝土强度等级可为C15~C20，厚度不宜小于10cm。

7.3.3 灌浆孔钻进结束后应使用大流量水流或压缩空气进行钻孔冲洗，冲净孔内岩粉、杂质。

7.3.4 灌浆孔在灌浆前应用压力水进行裂隙冲洗，冲洗时间不大于15min或至回水清净时止。冲洗压力可为灌浆压力的80%，并不大于1MPa。

地质条件复杂或有特殊要求时，是否需要冲洗以及如何冲洗，宜通过现场试验确定。

7.3.5 可在各序孔中选取约5%的灌浆孔进行灌前简易压水试验，简易压水可结合裂隙冲洗进行。

7.3.6 灌浆可采用纯压式灌浆法，按环间分序、环内加密的原则进行。Ⅳ级、Ⅴ级围岩环间宜分为二序或三序，Ⅱ级、Ⅲ级围岩环间可不分序。竖井或斜井固结灌浆环间可不分序。环内各孔可分为两序。

7.3.7 灌浆宜采用单孔灌浆的方法，但在注入量较小地段，同一环内同序孔可并联灌浆，并联灌浆的孔数不宜多于3个，孔位宜保持对称。

7.3.8 灌浆孔基岩段长小于6m时，可全孔一次灌浆。当地质条件不良或有特殊要求时，可分段灌浆。

7.3.9 一般隧洞灌浆压力可为0.3~2.0MPa；高水头压力隧洞灌浆压力应根据工程要求和围岩地质条件经灌浆试验确定。

7.3.10 灌浆浆液水灰比、浆液变换、施工中特殊情况的处理和结束条件可按照6.3.6条、6.3.7条和6.3.8条的规定执行。

7.3.11 围岩高压固结灌浆应由浅入深分段灌浆，灌浆段的划分、灌浆压力的使用、灌浆设备和灌浆工艺的选择应通过灌浆试验确定。

7.3.12 灌浆孔灌浆结束后，应排除钻孔内的积水和污物，采用

“全孔灌浆法”或“导管注浆法”封孔，孔口空余部分用干硬性砂浆填实抹平。

7.4 钢衬接触灌浆

7.4.1 钢衬接触的区域和灌浆孔的位置可在现场经敲击检查确定。面积大于 0.5m^2 的脱空区宜进行灌浆，每一个独立的脱空区布孔不应少于 2 个，最低处和最高处都应布孔。

7.4.2 钢衬接触灌浆孔可在钢板上预留，孔内宜有丝扣，在预留孔钢衬外侧宜补焊加强钢板。灌浆短管与钢衬间可采用丝扣连接，也可焊接。

7.4.3 在钢衬的加劲环上应设置连通孔，孔径不宜小于 $\phi 16\text{mm}$ ，以便于浆液流通。

7.4.4 在钢衬上钻灌浆孔宜采用磁座电钻，孔径不宜小于 $\phi 12\text{mm}$ 。每孔宜测记钢衬与混凝土之间的间隙尺寸。

7.4.5 灌浆前应使用洁净的压缩空气检查缝隙串通情况，并吹除空隙内的污物和积水。风压应小于灌浆压力。

7.4.6 灌浆压力应以控制钢衬变形不超过设计规定值为准，可根据钢衬的形状、厚度、脱空面积的大小以及脱空的程度等情况确定，不宜大于 0.1MPa 。当脱空区高度很大时，灌浆压力应考虑浆液自重的影响。

7.4.7 灌浆浆液水灰比可采用 0.8、0.5 两个比级，浆液中宜加入减水剂。

7.4.8 灌浆应自低处孔开始，并在灌浆过程中敲击震动钢衬，待各高处孔分别排出浓浆后，依次将其孔口阀门关闭，同时应测量和记录各孔排出的浆量和浓度。

7.4.9 在设计规定压力下灌浆孔停止吸浆，延续灌注 5min，即可结束灌浆。

7.4.10 如一次灌浆未能满足设计要求，可采取复灌、改用细水泥浆液或化学浆液等措施处理。

7.4.11 灌浆孔灌浆结束后应用丝堵加焊或焊补法封孔，孔口用

砂轮磨平。

7.4.12 钢衬接触灌浆也可采用预埋专用灌浆管或灌浆盒的无钻孔方式进行，其技术和质量要求按设计规定执行。

7.5 隧洞封堵灌浆

7.5.1 与防渗帷幕相交的大型导流洞封堵段应按顺序进行回填灌浆、接缝灌浆或接触灌浆；封堵段围岩应进行固结灌浆和搭接帷幕灌浆。各种灌浆均应在混凝土堵头挡水前完成。

其他隧洞封堵段应根据其运行条件和围岩地质条件设置和实施所需的灌浆工程。

7.5.2 大型导流洞封堵段混凝土结构中宜设置小型灌浆廊道，廊道断面尺寸不应小于 $2.2\text{m} \times 2.5\text{m}$ （宽 \times 高）。

7.5.3 隧洞封堵段顶拱空腔和接缝、接触灌浆灌区应埋设灌浆管路系统，分别进行回填灌浆、接缝灌浆或接触灌浆，灌浆管路系统埋设的要求、灌浆条件和灌浆质量标准应遵照第 7 章、第 8 章、第 9 章的规定执行。

7.5.4 条件具备时，封堵段回填灌浆、接缝灌浆或接触灌浆也可在灌浆廊道中通过钻孔进行，其灌浆方法和技术要求可参照 7.2 节和 9.2 节的规定执行。

7.5.5 封堵段围岩固结灌浆、搭接帷幕灌浆和导流洞下部帷幕灌浆施工分别应遵守 7.3 节和第 5 章的规定。各种灌浆宜在导流洞过水前完成，也可在导流洞封堵后在堵头灌浆廊道内施工。当采取后种安排时，应满足下列要求：

1 适当调整下部帷幕灌浆孔的布置，以确保大坝防渗帷幕底部的连续性和整体性。

2 钻孔灌浆施工中应注意保护好埋设的接缝灌浆系统和灌浆缝面。

7.5.6 工程需要时，隧洞封堵段灌浆也可通过上层邻近隧洞进行，其灌浆孔的布置和施工组织应根据工程具体情况和设计要求确定。

7.6 质量检查

7.6.1 回填灌浆工程质量的检查,可采用检查孔注浆试验或取芯检查的方法,检查时间分别在该部位灌浆结束 7d 或 28d 以后。检查孔应布置在顶拱中心线、脱空较大和灌浆情况异常的部位,孔深应穿透衬砌深入围岩 10cm。压力隧洞每 10~15m 宜布置 1 个或 1 对检查孔,无压隧洞的检查孔可适当减少。

7.6.2 回填灌浆工程质量检查应满足下列合格标准,根据工程条件可选用其中一种或两种检查方法。对于不要求将空腔填满的部位,浆液充填厚度应满足设计要求。

1 单孔压浆试验。向检查孔内注入水灰比为 2 的水泥浆,压力与灌浆压力相同,初始 10min 内注入浆量不大于 10L 为合格。

2 双孔连通试验。在指定部位布置 2 个间距为 2m 的检查孔,向其中一孔注入水灰比为 2 的水泥浆,压力与灌浆压力相同,若另一孔出浆流量小于 1L/min 为合格。

3 检查孔及芯样检查。探测钻孔及观察岩芯,浆液结石充填饱满密实满足设计要求为合格。

7.6.3 围岩固结灌浆工程质量的检查,应以测定灌后岩体弹性波速为主,压水试验透水率为辅。弹性波测试宜采用声波法或地震波法。压水试验为单点法,按附录 B 进行。

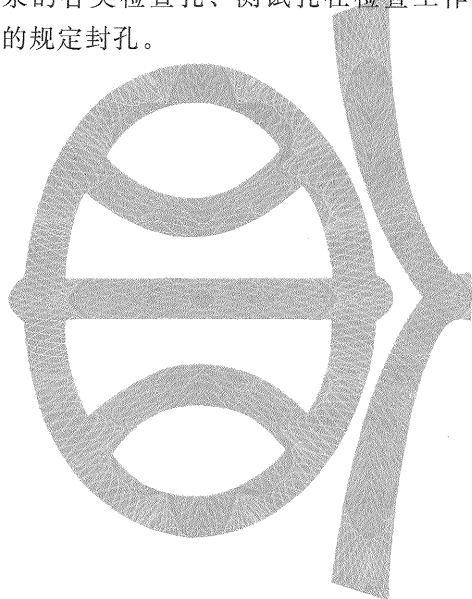
7.6.4 围岩弹性波波速测试,应在该部位灌浆结束 14d 后进行,其检查孔的布置、测试仪器的选用和合格的标准,应按设计规定执行。

7.6.5 固结灌浆压水试验检查的时间宜在该部位灌浆结束 3d 以后,检查孔的数量不宜少于灌浆孔总数的 5%。合格标准为 85% 以上试段的透水率不大于设计规定,其余试段的透水率不超过设计规定值的 150%,且分布不集中。

7.6.6 钢衬接触灌浆工程质量检查应在灌浆结束 7d 后进行,采用敲击法或其他方法,钢板脱空范围和程度应满足设计要求。

7.6.7 隧洞封堵段采用钻孔灌浆方式的回填灌浆、接缝灌浆或接触灌浆工程质量检查，可采取检查孔注浆试验或取芯检测方法，其技术要求和合格标准可参照 7.6.1 条，7.6.2 条执行。采用预埋灌浆管路方式的回填灌浆、接触灌浆和接缝灌浆工程质量，可通过分析灌浆施工成果资料进行评定，其合格标准可参照 8.6 节执行。必要时可根据工程条件布置检查孔（槽）进行检查。

7.6.8 隧洞灌浆的各类检查孔、测试孔在检查工作结束以后，应按 7.3.12 条的规定封孔。



8 混凝土坝接缝灌浆

8.1 一般规定

8.1.1 接缝灌浆应在库水位低于灌区底部高程的条件下进行。蓄水前应完成蓄水初期最低库水位以下各灌区的接缝灌浆及其验收工作。

8.1.2 接缝灌浆应按高程自下而上分层进行施工。在同一高程上，重力坝宜先灌纵缝，再灌横缝；拱坝宜先灌横缝，再灌纵缝。横缝灌浆宜从大坝中部向两岸推进；纵缝灌浆宜从下游向上游推进或先灌上游第一道缝后，再从下游向上游推进。

8.1.3 接缝灌浆各灌区应符合下列条件，方可进行灌浆：

- 1 灌区两侧坝块混凝土的温度应达到设计规定值。
- 2 灌区两侧坝块混凝土的龄期宜大于4个月，在采取了有效冷却措施情况下，也不宜少于3个月。
- 3 除顶层外，灌区上部混凝土的厚度不宜少于6m，其温度也应达到设计规定值。
- 4 接缝的张开度不宜小于0.5mm。
- 5 灌区周边封闭，灌浆管路系统和缝面通畅。

8.1.4 根据接缝灌浆的需要，混凝土坝块内应埋设一定数量的测温计和测缝计。

8.1.5 同一高程的灌区（纵缝或横缝），一个灌区灌浆结束3d后，其相邻的灌区方可灌浆。若相邻灌区已具备灌浆条件，可采取同时灌浆方式，也可采取逐区连续灌浆方式。当采取连续灌浆时，前一灌区灌浆结束8h以内，必须开始后一灌区的灌浆，否则仍应间隔3d。

8.1.6 同一坝缝的下层灌区灌浆结束7d后，上层灌区方可开始灌浆。若上下层灌区均已具备灌浆条件，可采用连续灌浆方式，但上层灌浆应在下层灌浆结束4h以内进行，否则仍应间隔7d。

8.1.7 工程需要时，可设置重复灌浆系统进行接缝灌浆。

8.1.8 为便于进行灌浆、处理事故及质量检查，应在大坝的适当部位设置廊道、预留平台。

8.2 灌浆系统的布置

8.2.1 接缝灌浆系统应分灌区进行布置。每个灌区的高度宜为 9~12m，面积宜为 200~300m²。

8.2.2 灌浆系统的布置应遵守下列原则：

- 1 浆液能自下而上均匀地灌注到整个灌区缝面。
- 2 灌浆管路和出浆设施与缝面连通顺畅。
- 3 灌浆管路顺直、弯头少。
- 4 同一灌区的进浆管、回浆管和排气管管口宜集中。

8.2.3 每个灌区的灌浆系统应由进浆管、回浆管、升浆和出浆设施、排气设施以及止浆片组成。

升浆和出浆设施可采用拔塑料管方式、预埋管和出浆盒方式，也可采用出浆槽方式。

排气设施可采用埋设排气槽和排气管方式，也可采用拔塑料管方式。

8.2.4 升浆和出浆设施采用拔塑料管方式时，升浆管的间距宜为 1.5m，升浆管顶部宜终止在排气槽以下 0.5~1.0m 处。

8.2.5 升浆和出浆设施采用预埋管和出浆盒方式时，出浆盒应呈梅花形布置，每盒担负的灌浆面积不宜大于 6m²。纵缝的出浆盒应布置在先浇筑块键槽的倒坡面上。

8.2.6 升浆和出浆设施采用出浆槽方式时，进浆管、回浆管应与灌区底部的出浆槽连接。若出浆槽较长时宜设置备用进浆、回浆管路。

8.2.7 接缝灌浆采用重复灌浆系统时，应满足下列要求：

- 1 重复灌浆系统安装前，必须对拟采用的出浆设施的材质、构造及安装方法进行设计，并进行模拟重复灌浆试验。

- 2 每次灌浆前，坝块混凝土的温度、缝面张开度应达到设

计规定值；灌浆系统均应进行通水检查、缝面进行充水浸泡。

3 每次灌浆后，灌浆管路系统应能被低于灌浆压力的清水冲洗干净，而不使水渗入接缝内。

4 当坝块混凝土温度再次降低缝面重新张开时，灌浆系统的出浆设施应恢复出浆功能。

8.2.8 垂直上引的进浆、回浆管路在底部连接时，宜采用沉污管形式。

8.3 灌浆系统的加工安装和检查维护

8.3.1 灌浆管路和部件的加工应按设计图纸进行。加工完成后应逐件清点检查，合格后方可运送至现场安装。

8.3.2 灌浆管路不应穿过缝面，否则必须采取可靠的过缝措施。

8.3.3 采用拔塑料管方式时，塑料管应使用软质材料，其封头端宜采用热压模具加工成圆锥形，其充气接头端应采用压紧连接方式，并经充气 24h 检查无漏气现象时方可使用。

8.3.4 采用预埋铁管方式时，管路转弯处应使用弯管机加工或采用弯管接头连接。进浆管与升浆管或水平支管的连接应使用三通，不应焊接。管上开孔宜使用电钻，钻后应清除管内渣屑。

8.3.5 止浆片、出浆盒及盖板、排气槽及盖板的材质、规格和加工应符合设计要求。

8.3.6 采用拔塑料管方式时，应遵守下列规定：

1 灌浆管路应全部埋设在后浇筑块中。在同一个灌区内浇筑块的先后浇筑顺序不应改变。

2 先浇筑块缝面上预设的竖向半圆模具，应在上下浇筑层间保持连续，并在同一条直线上。

3 后浇筑块浇筑前安设的塑料软管应顺直地稳固在先浇筑块的半圆槽内，塑料软管充气后应与进浆管三通或升浆孔洞连接紧密。

4 塑料软管的拔管时机应根据塑料管的材质、混凝土状态以及气温条件，通过现场试验确定。宜待后浇筑块的混凝土终凝

后相机放气拔出。

8.3.7 采用预埋管和出浆盒方式时，应遵守下列规定：

1 灌浆管路、出浆盒、排气槽等应在先浇筑块的模板立好后进行安装，混凝土浇筑前完成。出浆盒、排气槽的周边应与模板紧贴，安装牢固。

2 出浆盒盖板、排气槽盖板应在后浇筑块浇筑前安设。盒盖与盒、槽盖与槽应完全吻合，加以固定，周边封闭严实。

3 灌区应设两套进浆、回浆管路系统（即进浆、回浆管路和备用进浆、回浆管路各一套）。纵缝灌区的进浆管（或备用进浆管）和回浆管（或备用回浆管）应分别安装在灌区左右两侧；横缝灌区的进浆管（或备用进浆管）和回浆管（或备用回浆管）应分别安装在灌区的上、下部位。

8.3.8 采用出浆槽方式时，应遵守下列规定：

1 先浇筑块浇筑前应安装好进浆管、回浆管、底部的出浆槽、顶部的排气槽及排气管。出浆槽和排气槽应与模板紧贴，安装牢固。

2 出浆槽和排气槽的盖板应在后浇筑块浇筑前安设。槽盖与槽应完全吻合，加以固定，周边封闭严实。

8.3.9 灌浆管路连接完毕后应进行固定，防止在浇筑过程中管路位移、变形或损毁。

8.3.10 各灌区的止浆片应在先浇筑块浇筑前安设。后浇筑块浇筑前应检查先期埋设的止浆片，发现错位、缺损必须进行修补；必须确保基础灌区底层水平止浆片的埋设质量。

8.3.11 分层安装的灌浆系统应及时做好每层的施工记录。整个灌区形成后，应绘制该灌区的灌浆系统竣工图。

8.3.12 灌浆管路系统应根据需要选择不同的管径。外露的管口段其长度不宜小于 15cm，距底板的高度应适当，并应分别标出管路名称。

8.3.13 每层混凝土浇筑前后均应对灌浆系统进行检查，发现问题应及时处理。灌区形成后应对整个灌区的灌浆管路进行通水检

查并做记录。

8.3.14 在清洗混凝土仓面时，应防止污水流入接缝内。在后浇筑块浇筑前应清洗先浇筑块的缝面。灌浆系统的外露管（孔）口，应封盖保护，管路标识不应损毁。

8.3.15 在混凝土浇筑过程中，应设专人对灌浆系统进行维护，防止管路系统受损。止浆片两侧的混凝土应振捣密实，严禁大骨料集中。一旦发现管路、出浆盒和止浆片断裂、损坏、错位等情况，应立即采取补救措施。

8.4 灌浆准备和灌浆

8.4.1 准备灌浆前，应测试灌区缝面两侧和上部坝块的混凝土温度，可通过预埋温度计量测，也可采用充水闷温法或其他方法量测。

8.4.2 灌浆前，应测定灌区缝面张开度。表层缝面张开度可使用孔探仪或厚度规量测，内部缝面张开度可采用预埋的测缝计量测。

8.4.3 对灌区灌浆系统的通畅情况应进行通水检查，通水压力宜为设计灌浆压力的 80%。应包括下列检查内容以及应具备下列基本条件：

1 查明灌浆管路的通畅情况。灌区至少应具备一套灌浆管路畅通，其流量宜大于 30L/min。

2 查明缝面通畅情况。采用“单开通水”检查法，测得的两个排气管的“单开流量”均宜大于 25L/min。

3 查明灌区密闭情况。缝面的漏水量宜小于 15L/min。

8.4.4 灌浆前，必须先进行预灌性压水检查，压水压力宜采用设计灌浆压力。检查确认合格后，报监理工程师签发灌证。

预灌性压水检查宜在相邻已灌灌区满足 8.1.5 条和 8.1.6 条所规定的间隔时间后进行。

8.4.5 当发现两个灌区相互串通时，应待互串区均具备灌浆条件后同时进行灌浆。若有三个或以上灌区相互串通时，应查明情

况，研究制定可靠施工方案。

8.4.6 应根据坝块结构特点或设计要求，在相应的缝面上安装变形监测装置，在压水检查和灌浆过程中及时监测缝面的增开度。在需要通水平压或缝面冲洗的灌区，应做好管口装置的安装等准备工作。

8.4.7 灌浆机距灌区不宜太远，两者之间应建立可靠的通信联络方式。

8.4.8 灌浆前应对灌区缝面充水浸泡 24h，待放净或通入洁净的压缩空气排除缝内积水后，方可开始灌浆。

8.4.9 灌浆过程中应控制灌浆压力和缝面增开度。灌浆压力应满足设计要求，若压力达不到设计值而缝面增开度达到了设计规定值，则应以缝面增开度为准限制灌浆压力。

8.4.10 灌浆压力的计算应以与排气槽同一高程处的排气管管口的浆液压力为准，如排气管管口引至廊道或坝后平台，其管口控制压力应根据排气槽高程换算确定。

8.4.11 浆液水灰比可采用 2、1、0.6（或 0.5）三级。开始宜灌注水灰比为 2 的浆液，待排气管出浆后，可改换水灰比为 1 的浆液。当排气管排出的浆液水灰比接近 1 时，可换成水灰比 0.6（或 0.5）的浆液灌注。当缝面张开度较大、管路畅通，两个排气管单开流量均大于 30L/min 时，即可采用水灰比为 1 或 0.6 的浆液开灌。

8.4.12 开灌时排气管应全部开启放浆，其他管口也应间断开启放浆，尽快使浓浆充填缝面。当排气管排出最浓级浆液时，再调节排气管的排浆量控制灌浆压力，直至灌浆达到结束条件。

所有管口每次放浆时均应量测浆液密度和放浆量，并及时做好记录。

8.4.13 当排气管排浆达到或接近最浓级浆液，且管口压力或缝面增开度达到设计规定值，注入率不大于 0.4L/min 时，持续 20min，灌浆即可结束。

8.4.14 当排气管出浆不畅或已被堵塞时，应在缝面增开度限值

范围内提高进浆管的压力，促使排气管排浆，直至按规定条件结束灌浆。若无效，则应从排气管口进行倒灌，使用最浓级浆液从一个排气管中进浆；另一个排气管中回浆，在规定压力下缝面停止进浆，持续 10min 即可结束。

8.4.15 灌浆结束时，应先关闭各管口阀门再停灌浆泵，闭浆时间不宜少于 8h。

8.4.16 同一高程的灌区相互串通采用同时灌浆方式时，应一区一泵进行灌浆。灌浆过程中宜保持各灌区的灌浆压力一致，协调各灌区浆液的变换。

8.4.17 同一坝缝的上下层灌区相互串通采用同时灌浆方式时，应先灌下层灌区，待上层灌区有浆液串出时，再开始用另一泵进行上层灌浆。灌浆过程中以控制上层灌浆压力为主，调节下层灌浆压力。下层灌浆应待上层开始灌注最浓级浆液后再结束。

在未灌浆的邻缝灌区应通水平压。

8.5 特殊情况处理

8.5.1 灌浆前，发现灌浆管路堵塞、止浆片或混凝土缺陷漏水时，可采用下列方法处理：

- 1 采用压力水冲洗或风水联合冲洗等方法对堵塞管路进行正、反向反复浸泡冲洗。

- 2 当排气管与缝面不通时，可针对排气槽部位补钻排气孔。

- 3 当灌浆管路全部堵塞无法疏通时，应全面补孔。

- 4 当止浆片缺陷漏水时，应采取嵌缝、掏洞堵漏等措施。

- 5 当混凝土缺陷（裂缝、骨料架空）漏水时，应先处理混凝土缺陷再灌浆。

8.5.2 灌浆过程中，发现灌区浆液外漏或灌区之间串浆时，可采用下列方法处理：

- 1 当浆液外漏时，应先从外部进行堵漏。若无效再采取灌浆措施，如加浓浆液、降低压力等，但不应采用间歇灌浆方法。

- 2 当灌区之间串浆时，若串浆灌区已具备灌浆条件，可同

时灌浆，并按“一区一泵”要求进行灌注。若串浆灌区不具备灌浆条件，且开灌时间不长，可先用清水冲洗灌区和串区，直至排气管排出清水止，待串区具备灌浆条件后再进行同时灌浆。若串浆轻微，可在串区通入低压水循环，直至灌区灌浆结束。

8.5.3 灌浆过程中进浆管堵塞或灌浆因故中断，可采用下列方法处理：

1 当进浆管（或备用进浆管）堵塞时，应先打开所有管口放浆，然后暂改用回浆管进浆，在控制缝面增开度限值内提高进浆压力，疏通进浆管。若无效，可以回浆管控制进浆压力，直至灌浆结束。

2 当灌浆因故中断时，应立即用清水冲洗管路和灌区，直至管路系统通畅为止。恢复灌浆前，应再进行一次压水检查，若发现管路不通畅或排气管“单开流量”明显减少时，应采取补救措施。

8.5.4 当灌区的缝面张开度小于0.5mm时，可采用下列措施：

1 使用细度为通过71 μ m方孔筛筛余量小于2%的水泥浆液或细水泥浆液。

2 在水泥浆液中加入减水剂。

3 在缝面增开度限值内提高灌浆压力。

4 采用化学灌浆。

8.6 质量检查

8.6.1 接缝灌浆工程质量应以分析灌浆施工记录成果资料为主，结合钻孔取芯、压浆试验和槽检等测试资料，综合进行评定。

8.6.2 钻孔取芯、压浆试验和缝面凿槽检查应选择有代表性的灌区进行，检查时间在灌浆结束28d以后，检查数量不宜超过灌区总数的10%，重点宜放在根据灌浆施工资料分析情况异常的灌区。

8.6.3 根据灌浆施工资料和钻孔、压浆、凿槽检查成果分析，若满足下列条件之一，灌区灌浆质量可评定为合格：

1 施工资料表明，坝块混凝土温度达到设计规定，两个排气管排浆密度已达到 $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ 以上，且压力达到设计值的 50% 以上，其他情况基本符合要求。

2 钻孔取芯检查，斜穿缝面检查孔在缝面处取出较完整的有一定黏结强度的水泥结石；骑缝检查孔芯样缝面上水泥结石填充面积达 70% 以上。

3 钻孔压浆试验，采用与接缝灌浆相同的压力，向检查孔内注入水灰比为 2 的水泥浆。如斜穿孔在初始 10min 内，单孔注浆量不超过 10L，或两孔不串浆为合格。骑缝孔的合格标准参照斜穿孔确定或由有关单位商定。

4 凿槽检查，直观接缝内填充有水泥结石或缝面呈闭合状态。

8.6.4 接缝灌浆灌区的合格率应在 85% 以上，不合格的灌区分布不应集中，且每一坝段内纵缝灌区的合格率不低于 80%，每一条横缝内灌区的合格率不低于 80%，接缝灌浆工程质量可评为合格。

8.6.5 对质量检查不合格的灌区应进行补充灌浆，最终的质量等级应根据补充灌浆效果另行评定。

8.6.6 检查工作结束后，检查孔和检查槽应封填密实。

9 岸坡接触灌浆

9.1 一般规定

9.1.1 混凝土坝坝肩岸坡或坝基齿槽的坡度陡于 50° ，且坡面高差大于 3m 时，应布置接触灌浆。处于灌浆帷幕范围的岸坡部位可不设接触灌浆。

9.1.2 当岸坡既有接触灌浆，又有固结灌浆时，应根据工程具体情况和设计要求，选择相适应的灌浆方法，以减少两种灌浆的施工干扰。

9.1.3 当岸坡坝段既有接触灌浆，又设有横向排水孔（幕）时，应先完成接触灌浆再进行排水孔的施工。

9.1.4 岸坡接触灌浆应待坝块混凝土的温度达到设计规定值后方可进行。

9.2 灌浆方法

9.2.1 岸坡接触灌浆可采用钻孔埋管灌浆法，也可采用预埋管灌浆法或直接钻孔灌浆法。

9.2.2 钻孔埋管灌浆法适用于在分层浇筑的混凝土面上钻孔和埋管，相应部位的岸坡岩体固结灌浆已经完成的情况。钻孔埋管灌浆法应遵循下列原则：

1 接触灌浆孔位应靠近岩石面，上下层错开，孔向斜穿混凝土深入岩石 0.2~0.5m。每孔控制灌浆面积宜为 6m^2 。

2 接触灌浆系统应由进浆主管、回浆主管、灌浆支管、钻孔及排气设施组成。灌浆支管插入钻孔应牢固，四周应封闭，并应与灌浆主管连接。灌浆主管就近引入廊道或坝后平台。灌区顶部可单独设一排钻孔埋管作为排气设施。

3 当岸坡高度超过 12m 时，应分灌区埋设灌浆系统，灌区之间应设置止浆片。

4 灌浆系统的维护、通水检查、测温等应参照第 8 章有关规定进行。

5 灌浆施工参数应根据岸坡灌区规模、坝块混凝土压重厚度等条件拟定，通常进浆管压力不宜大于 0.5MPa 或 0.6MPa，排气管控制压力不宜大于 0.2MPa 或 0.3MPa，浆液水灰比可采用 3、2、1、0.6 四级。

6 灌浆时，除顶层留作排气外，可将各层的进浆主管、回浆主管分别并联后进行灌注。

7 灌浆结束条件：当排气管排浆达到或接近最浓级浆液，且管口压力达到或接近设计值时，缝面注入率不大于 0.4L/min，持续 20min，灌浆即可结束。

8 当进浆或排浆不畅时，可在顺灌结束后即刻进行倒灌。

9.2.3 预埋管灌浆法适用于基岩在无盖重条件下进行了固结灌浆或不要求进行固结灌浆，且岸坡岩体比较完整、开挖面比较平顺的部位。预埋管灌浆法应遵循下列原则：

1 根据岸坡建基面情况应分成若干封闭灌区，每个灌区面积不宜大于 200m²，四周应设止浆片。各个灌区设有进浆管、回浆管、配浆支管、出浆盒（孔）和排气设施。

2 出浆盒埋设。应先在岩石面上按 2~3m 孔、排距呈梅花形布设定位孔，孔深入岩 0.2~0.5m。出浆盒应稳固地埋设在定位孔上，盒盖四周用砂浆封闭。每层灌浆支管与出浆盒相接后，两端与进浆主管、回浆主管联通。进浆主管、回浆主管应就近引向廊道或坝后平台。

3 止浆片埋设。应先在岩石面上掏槽、插筋，浇筑混凝土隔墩，在隔墩上埋入止浆片。

4 排气设施的埋设。应在灌区顶部混凝土隔墩上预埋三角形排气槽，从槽两端引出排气管，形成排气系统。

5 灌浆系统的维护、灌前准备工作及灌浆施工，可参照 9.2.2 条执行。

9.2.4 直接钻孔灌浆法适用于岸坡规模较小、坡度较缓、坝体

设置了适合钻孔灌浆施工的廊道或平台的情况。采用直接钻孔灌浆法应遵循下列原则：

1 钻孔的布设及深度可按 9.2.2 条规定执行。

2 钻孔灌浆宜从灌区边缘开始，之后再自下而上分层分序施工。其他技术要求可参照岩石固结灌浆的有关规定。

3 若岸坡岩体固结灌浆孔兼作接触灌浆时，灌浆应在坝块混凝土温度达到接触灌浆设计要求后进行，接触段和岩石段分别灌注，先灌接触段后灌岩石段。

9.3 质量检查

9.3.1 当采用钻孔埋管灌浆法和预埋管灌浆法进行岸坡接触灌浆时，可参照 8.6 节的规定进行灌浆工程质量的检查和评定。

9.3.2 当采用直接钻孔灌浆法进行岸坡接触灌浆时，可参照 6.4 节的规定进行灌浆工程质量的检查和评定。

10 覆盖层灌浆

10.1 一般规定

10.1.1 本章适用于覆盖层地基的水泥浆液、水泥黏土类浆液的灌浆。

10.1.2 对需要采取强夯、振冲、振动加密、置换和灌浆等多项措施综合处理的覆盖层地基，应先进行其他措施的施工，再进行灌浆。

10.1.3 覆盖层地基的可灌性可按可灌比 M 或其他指标判别，并通过现场试验确定。

可灌比应按式 (10.1.3) 计算。 $M > 15$ 时，可灌注水泥浆； $M > 10$ 时，可灌注水泥黏土浆。

$$M = D_{15} / d_{85} \quad (10.1.3)$$

式中 D_{15} ——覆盖层粒径指标，小于该粒径的土体重占覆盖层总重的 15%，mm；

d_{85} ——浆液材料粒径指标，小于该粒径的材料重占材料总重的 85%，mm。

10.1.4 覆盖层灌浆部位宜设置混凝土盖板，混凝土盖板厚度不宜小于 0.5m，宽度宜超出灌浆区两侧边线 3m 以上。

10.1.5 帷幕灌浆孔宜采用垂直孔。帷幕灌浆孔的排数应根据对帷幕厚度的要求确定，并不宜少于 3 排。灌浆孔排距和孔距宜为 2~4m，排距宜小于孔距。

10.1.6 灌浆应按分序加密的原则进行。由多排孔组成的帷幕，应先灌注下游排，再灌注上游排，然后进行中间排孔的灌浆，每排孔可分为二序或三序。

10.1.7 在帷幕灌浆的先灌排一序孔中宜布置先导孔，其间距为 24~40m。

10.1.8 当在混凝土防渗墙墙底布置帷幕时，多排灌浆帷幕与防

渗墙的底部应设置搭接段，搭接长度不宜小于 5m，搭接段宜先行灌浆并待凝。

10.1.9 帷幕的底部宜伸入基岩或相对不透水层 2m 或 5m。当基岩或相对不透水层较深时，可根据渗流分析成果设置悬挂式帷幕，并参照类似工程研究确定防渗帷幕底线。

10.1.10 帷幕灌浆浆液可采用水泥黏土（或膨润土）浆、水泥浆、黏土浆。水泥和黏土灌浆不能满足工程要求时，可采用化学灌浆材料。各种浆液的配比应由浆液试验确定。

10.1.11 帷幕灌浆压力应通过工程类比和现场灌浆试验确定。帷幕直接与土石坝填筑体或其他建筑物相接并在其后施工时，宜设置变形监测点，灌浆压力应按建筑物的允许变形控制。

10.1.12 帷幕灌浆施工宜采用套阀管法、孔口封闭法或其他灌浆方法。

10.1.13 灌浆结束后，应挖除表层未固结好的覆盖层，在完好的帷幕体顶上填筑防渗体，必要时可设置利于与上部结构结合的齿槽或混凝土垫层。

10.1.14 覆盖层地基固结灌浆的范围应大于建筑物的外轮廓线，扩展范围的尺寸可根据覆盖层的分布和结构物的要求等条件进行分析计算确定。

10.1.15 覆盖层地基固结灌浆的孔深、孔距、排距可根据现场灌浆试验成果进行分析计算，并参照类似工程经验确定。孔距、排距可采用 2~3m。

10.1.16 覆盖层固结灌浆宜采用沉管灌浆法、孔口封闭灌浆法或其他灌浆法。施工时宜先灌注周边孔，后灌注中间孔，各排孔按排按孔分序加密施工。

10.1.17 覆盖层固结灌浆的压力应根据地质条件和现场试验成果，按建筑物的允许变形确定，可采用 0.1~1.0MPa。必要时应进行变形监测。

10.1.18 覆盖层固结灌浆宜采用水泥浆，也可采用黏土水泥浆或膨润土水泥浆、粉煤灰水泥浆。空隙较大时，可使用膏状浆液

或水泥砂浆等。

10.1.19 为提高近地表覆盖层的灌浆质量,可采用加密浅层灌浆孔、浅表层先行灌浆、自上而下灌浆、增加浆液中水泥含量、适当待凝等措施。

10.2 套 阀 管 灌 浆 法

I 钻 孔

10.2.1 根据覆盖层地质条件和工程要求,灌浆孔可采用冲击回转跟管钻进或泥浆护壁回转钻进。

10.2.2 当采用冲击回转钻机跟管钻进灌浆孔时,钻机、潜孔锤、钎头及套管等的性能应满足地层及钻孔孔径、深度等的要求。

10.2.3 当采用泥浆护壁回转钻机钻进灌浆孔时,钻孔机具、泥浆、孔口管埋设等应符合 10.3 节的规定。灌浆孔钻进结束后,应使用马氏漏斗黏度为 31~36s 的稀泥浆清孔,孔底沉淀厚度不宜大于 20cm。

10.2.4 灌浆孔位与设计孔位的偏差不应大于 10cm,终孔孔径不宜小于 $\phi 91\text{mm}$,孔深应符合设计规定,孔底偏斜率不应大于 2.5%。应严格控制孔深 20m 以内的孔斜率。

II 灌注填料和下设套阀管

10.2.5 灌浆孔填料应采用析水率低、稳定性好的水泥黏土浆液,填料结石收缩性应小,易在开环压力下碎裂。填料的配合比应根据材料性能、施工条件等情况通过试验确定。

10.2.6 灌浆孔清孔完成后,可立即灌注填料。填料应通过导管从孔底连续注入,不应中途停顿。压注填料的时间不宜超过 1h。当孔口返出填料的密度与压注前填料密度差不超过 $0.02\text{g}/\text{cm}^3$ 并确定灌满后,方可结束填料灌注。

10.2.7 套阀管管体可由钢管或聚乙烯 (PE) 管等制成,内壁应光滑,内径不宜小于 $\phi 56\text{mm}$,底部应封闭,在最大灌浆压力下不应产生破坏。灌浆孔深度较大时,套阀管应分节,两节之间

宜采用螺纹连接。

10.2.8 沿套阀管轴向每隔 30~50cm 可设一环出浆孔。每环 2~5 个孔，孔径可为 $\phi 8 \sim 15\text{mm}$ 。出浆孔外面，应用弹性良好的橡皮箍圈套紧。

10.2.9 填料灌注完成后应立即下设套阀管。套阀管下放应平稳，不应强力下压或拧动。如套阀管自重不足以保证下沉，可在管内填砂加重。套阀管底端与灌浆孔底距离不应大于 20cm。

套阀管的各节长度、下设深度、下设时间、入孔情况等应详细准确记录。

10.2.10 套阀管下设完成后宜待凝 3d 以上。

10.2.11 如灌浆孔采用套管护壁钻进，则套阀管下设完成后应拔出套管，并同时向孔内补充填料。

III 灌 浆

10.2.12 套阀管内灌浆可自上而下或自下而上进行，也可先灌注指定部位。应采用纯压式灌浆方式。

10.2.13 灌浆时应在套阀管内下入双联式灌浆塞，每次宜灌注一环孔。

10.2.14 灌浆前应先行开环。开环可采用水固比 8:1~4:1 的稀黏土水泥浆或清水，开环后持续灌注 5~10min。然后换用灌浆浆液进行灌浆。

10.2.15 开环和灌浆压力以灌浆孔孔口处进浆路上的压力表读数和传感器测值为准。开环压力可为 1~6MPa，灌浆压力可为 2~4MPa。

10.2.16 灌浆过程中灌浆压力应由小到大逐级增加，防止突然升高。灌浆过程发现冒浆、返浆及地面抬动等现象时，应立即降低灌浆压力或停止灌浆，并进行处理。

10.2.17 灌浆浆液及其配比可按 10.1.10 条执行，宜固定水泥与黏土比例（灰土比），调节水与固体材料比例（水固比），由稀至浓分为 3 级或 4 级，以稀浆开灌。

10.2.18 灌浆浆液应按下列原则逐级变换：

1 当灌浆压力保持不变、注入率持续减少时，或注入率不变而压力持续升高时，不应改变浆液比级。

2 当某级浆液灌入量达到 1000~1500L 或灌注时间已达 30min，而灌浆压力和注入率均无改变或改变不显著时，应改浓一级。

3 当注入率大于 30L/min 时，可变浓一级。

10.2.19 达到下列条件之一，可结束灌浆：

1 在最大灌浆压力下，注入率不大于 2L/min，并已持续灌注 20min。中间排孔应采用本款条件控制。

2 单位注入量达到设计规定最大值。设计单位注入量应根据地质条件和工程情况通过计算或现场试验确定。边排孔单位注入量一般不大于 3t/m 或 5t/m。

10.2.20 一个单元工程的各灌浆孔灌浆结束，并通过验收合格后，应尽早进行封孔。封孔采用导管注浆法，封孔浆液为最浓一级水泥黏土浆。

IV 特殊情况处理

10.2.21 当施工作业暂时终止时，钻孔孔口应妥加保护，防止流进污水和落入异物。灌浆孔完成灌浆后因故需要保留，可在孔内回填细砂，孔口加塞保护。

10.2.22 当钻孔偏斜使得相邻灌浆孔之间的距离过大时，应采取补救措施，必要时需补钻灌浆孔进行灌浆。

10.2.23 若套阀管开环困难，可根据情况采用下列方法处理：

1 检查灌浆塞位置是否正确，并加以调整。

2 使用较高压力，进行高压开环。

3 高压开环无效时，可上移或下移一环进行开环，两环合并灌注。

4 连续两环高压开环无效时，可采用定向爆破或水压切管器将该部位套阀管炸裂或切开，而后进行灌注。

10.2.24 灌浆时沿孔壁冒浆或地面发生冒浆，可根据情况采用下列方法处理：

- 1 堵塞冒浆处。
- 2 降低灌浆压力，浓浆灌注。
- 3 间歇灌浆。
- 4 在浆液中加入掺合料或外加剂。

10.2.25 灌浆时套阀管内返浆，应查明漏浆位置，分别采用下列方法处理：

- 1 采用自上而下灌浆法。
- 2 重新安设灌浆塞或加长灌浆塞。
- 3 在套阀管内使用无塞上提法灌浆。

10.2.26 灌浆因故中止，应尽快恢复灌浆。恢复灌浆后如注入率与中止前相近，可直接使用中止时的浆液配比灌注；如注入率减少很多或不吸浆，可采用最大灌浆压力进行压水冲洗，再进行复灌。

10.3 孔口封闭灌浆法

I 钻 孔

10.3.1 钻孔前应先在混凝土盖板上埋设孔口管。孔口管可采用无缝钢管，管径应大于灌浆孔直径 2 级，长度不宜小于 2m，管口应高出地面 10~20cm，埋设应正直、坚固。孔位偏差不应大于 10cm。

10.3.2 灌浆孔宜采用回转式钻机与合金钻头或金刚石钻头钻进。终孔孔径不宜小于 $\phi 56\text{mm}$ 。

10.3.3 钻孔护壁宜采用膨润土泥浆，也可使用黏土泥浆或黏土水泥浆。黏土塑性指数宜大于 25，黏粒含量宜大于 50%，含砂量宜小于 5%，有机物含量不宜大于 3%。钻孔中耗用的浆液材料应计入注入量。

10.3.4 灌浆孔孔深应符合设计规定，孔底偏斜率不应大于 2.5%。应严格控制孔深 20m 以内的孔斜率。发现钻孔偏斜值超过设计要求时，应及时纠正或以后采取补救措施。

10.3.5 钻孔结束后应捞除孔内残留物，冲净岩粉、岩屑。孔底

沉淀厚度不宜大于 20cm。

10.3.6 钻孔过程应进行记录，遇地层变化，发生掉钻、坍孔、钻速变化、回水变色、失水、涌水等异常情况，应详细记录。

II 灌 浆

10.3.7 灌浆应自孔口向孔底逐段进行，应采用循环式灌浆方式。

10.3.8 孔口管以下 5m 或 10m 范围内，段长宜为 1~2m；以下各段段长宜为 2~5m。当地层稳定性差时，段长取较小值。

10.3.9 孔口封闭器应具有良好的耐压和密封性能，在灌浆过程中灌浆管应能灵活转动和升降。

10.3.10 灌浆管的外径宜小于灌浆孔孔径 10~20mm，若用钻杆作为灌浆管，应采用外平接头连接。

10.3.11 各段灌浆时灌浆管底口离孔底的距离不应大于 50cm。

10.3.12 灌浆压力应按照 10.1.11 条或 10.1.17 条规定通过试验确定。灌浆压力应以孔口回浆管上的压力表读数和传感器测值为依据。灌浆压力宜分级提升。

10.3.13 灌浆浆液配比及变换可按照 10.1.10 条和 10.2.18 条执行。

10.3.14 灌浆过程中应经常活动灌浆管，并注意观察回浆量，防止灌浆管在孔内被浆液凝住。

10.3.15 各灌浆孔的第 1 灌浆段灌浆结束并镶铸孔口管后应待凝 72h，其余灌浆段灌浆结束后可不待凝。

10.3.16 在规定的灌浆压力下，注入率不大于 2L/min 后继续灌注 30min，可结束灌浆。

10.3.17 各灌浆孔灌浆结束后，应以最稠一级的浆液采用全孔灌浆法进行封孔。

III 特殊情况处理

10.3.18 钻孔过程中遇塌孔、空洞、漏浆或掉块难以钻进时，可先进行灌浆处理，然后再钻进。

10.3.19 灌浆过程中发现冒浆、漏浆等现象时，应视具体情况

采用表面封堵、低压、浓浆、限流、限量、间歇、待凝等方法进行处理。灌浆过程中发现地面抬动时，应立即降低压力或停止灌浆，进行处理。

10.3.20 灌浆过程中发生串浆时，应塞住串浆孔，待灌浆孔灌浆结束后，再对串浆孔进行扫孔、冲洗，而后继续钻进或灌浆。如串浆孔具备灌浆条件，且注入率较小时，可一泵一孔同时进行灌浆。

10.3.21 灌浆应连续进行，若因故中断，应尽快恢复灌浆。否则应立即冲洗钻孔，再恢复灌浆。若无法冲洗或冲洗无效，则应进行扫孔，再恢复灌浆；恢复灌浆时，应使用开灌比级的浆液进行灌注，如注入率与中断前相近，即可采用中断前浆液的比级继续灌注；如注入率较中断前减少较多，应逐级加浓浆液继续灌注；如注入率较中断前减少很多，且在短时间内停止吸浆，应采取补救措施。

10.3.22 灌浆段注入量大而难以结束时，可采用低压、浓浆、限流、限量、间歇灌浆；灌注速凝浆液；灌注混合浆液或膏状浆液等措施处理。

10.3.23 灌浆过程中如回浆变浓，可适当加大灌浆压力或换用较稀的新浆灌注，若效果不明显，应研究采用其他灌浆材料或施工工艺。

10.4 其他灌浆法

10.4.1 沉管灌浆法适用于松散覆盖层孔深 15m 以内、压力较低的灌浆。根据地层结构和施工条件可采用打管灌浆法、套管灌浆法。

10.4.2 打管灌浆法可按照下列步骤和规定进行：

1 灌浆管采用厚壁无缝钢管，直径可为 $\phi 50 \sim 75 \text{mm}$ 。

2 灌浆管下部应设花管，末端带锥尖。花管段长 1~2m，出浆孔呈梅花形排列，环距 20~30cm，每环 2~3 孔，孔径 $\phi 10 \text{mm}$ 。

3 灌浆管采用机械或人工锤击，直至设计深度。沉管时宜在灌浆管周围堆放细砂，让其跟管下沉，保持管壁与地层接触紧密。

4 在灌浆管内下入水管，通水冲洗至回水变清或大量渗漏时结束。

5 在灌浆管上部连接进浆管路和阀门装置，自下而上分段上提，分段进行纯压式灌浆。直至全孔灌浆完成。

10.4.3 套管灌浆法可按照下列步骤和规定进行：

1 宜采用液压跟管钻机和扩孔钻头套管护壁钻孔，套管直径宜为 $\phi 89 \sim 146 \text{mm}$ ，套管护壁深度不应小于设计孔深。

2 将护壁套管内冲洗干净，起拔套管 $1 \sim 2 \text{m}$ 。

3 在套管内下入灌浆塞，安放在套管底端，灌浆塞射浆管口距孔底不大于 20cm ，进行纯压式灌浆。

4 自下而上分段提升护壁套管和灌浆塞，分段灌浆，直至全孔灌浆完成。分段提升和灌浆的长度视地层的稳定情况而定，宜为 $1 \sim 2 \text{m}$ 。

10.4.4 沉管灌浆压力应以灌浆孔口处进浆路上的压力表读数为准。灌浆压力可按照 10.1.17 条确定，或采用浆液自流方式灌注。

10.4.5 沉管灌浆宜使用单一比级的稠浆灌注。

10.4.6 沉管灌浆达到下列条件之一，可以结束。

1 注入量或单位注入量达到规定值。注入量规定值应根据地质情况和工程要求确定。

2 在规定的灌浆压力下，注入率不大于 2L/min ，延续灌注 10min 。

10.4.7 覆盖层灌浆也可采用模袋封隔灌浆法、细砂封隔灌浆法、稠浆封隔灌浆法，以及挤密灌浆法等。当采用模袋、细砂和稠浆作为孔段封堵体进行灌浆时，分隔材料的性能、质量要求应经过试验确定；灌浆分段段长、灌浆浆液配比、灌浆压力、结束条件等可参照沉管灌浆法执行。

10.5 质量检查

10.5.1 在灌浆施工过程中，应做好各道工序的质量控制和检查，以过程质量保证工程质量。

10.5.2 帷幕灌浆工程的质量应以检查孔注水试验成果为主，结合对施工记录、成果资料和其他检验测试资料的分析，进行综合评定。注水试验应按附录 C 的规定进行。

10.5.3 帷幕灌浆检查孔的钻进和注水试验宜在该部位灌浆结束 14d 后进行。

10.5.4 帷幕灌浆检查孔的数量可为灌浆孔总数的 3%~5%，一个单元工程宜布置 1 个检查孔。检查孔应在分析施工资料的基础上在下列部位布置：

- 1 帷幕中心线上。
- 2 大块石、细砂层、地层变化区域等地质条件复杂的部位。
- 3 末序孔注入量大的孔段附近。
- 4 钻孔偏斜过大、灌浆过程不正常等经分析资料认为可能对帷幕质量有影响的部位。

10.5.5 帷幕灌浆检查孔应采用清水循环钻进，采取岩芯，绘制钻孔柱状图。当检查孔钻进困难时，可以采取缩短段长、套管跟进、在注水试验后进行灌浆护壁等措施。

当需要采用泥浆护壁钻进时，应对泥浆性能作出规定并分析论证其对注水试验成果的影响程度。

10.5.6 帷幕灌浆工程的质量标准和合格条件应根据工程要求、地层特点等因素由设计确定。

10.5.7 固结灌浆工程质量检查可采用坑探、动力触探或静力触探、弹性波测试等方法，必要时可进行荷载试验，宜在灌浆结束 28d 以后进行。根据工程需要，也可采用钻孔注水试验方法检查，在灌浆结束 7d 以后进行。各种检查方法的质量标准应根据地层条件和工程要求由设计确定。

10.5.8 固结灌浆检查孔应布置在灌浆地质条件较差、灌浆过程

异常和浆液扩散的结合部位，检查孔数量可为灌浆孔数的 2%~5%，检测点的合格率不应小于 85%，检测平均值不小于设计值，且不合格检测点的分布不集中，灌浆质量可评为合格。

10.5.9 各类检查孔检查工作结束后，应按技术要求进行封孔。检查孔封孔灌浆注入量较大时，应分析原因，必要时应采取补灌措施。

11 施工记录和竣工资料

11.0.1 基岩帷幕灌浆工程的施工记录、成果资料和检验测试资料宜包括下列内容：

1 施工记录应包括下列内容：

- 1) 钻孔记录。
- 2) 钻孔测斜记录。
- 3) 钻孔冲洗及裂隙冲洗记录。
- 4) 压水试验和简易压水记录。
- 5) 灌浆记录及封孔记录。
- 6) 抬动或变形观测记录。
- 7) 制浆记录。
- 8) 现场浆液试验记录等。

2 灌浆成果资料应包括下列内容：

- 1) 灌浆孔成果一览表。
- 2) 灌浆分序统计表。
- 3) 灌浆综合统计表。
- 4) 灌浆工程完成情况表。
- 5) 灌浆孔平面布置图和灌浆综合剖面图。
- 6) 各次序孔透水率频率曲线图。
- 7) 各次序孔单位注入量频率曲线图。
- 8) 灌浆孔测斜成果汇总表和孔斜平面投影图。

3 检验测试资料应包括下列内容：

- 1) 检查孔压水试验成果表。
- 2) 检查孔钻孔柱状图。
- 3) 灌浆材料检验报告。
- 4) 照片、录像和岩芯实物。
- 5) 施工前后或施工过程中其他的检验、试验和测试资料。

4 基岩固结灌浆、隧洞灌浆和覆盖层灌浆的施工记录、成果资料和检验测试资料应包括的内容，可根据工程具体情况参照上述要求确定。若进行了物探测试，则应包括物探测试成果和报告。

11.0.2 混凝土坝接缝灌浆工程的施工记录、成果资料和检验测试资料宜包括下列内容：

1 施工记录应包括下列内容：

- 1) 各灌区灌浆准灌证。
- 2) 坝块混凝土温度测量记录。
- 3) 坝缝张开度测量记录。
- 4) 灌浆系统通水检查、预灌性压水试验记录。
- 5) 接缝灌浆记录和孔（管）口放浆记录。
- 6) 灌浆时缝面增开度观测记录。

2 成果资料应包括下列内容：

- 1) 混凝土坝接缝灌浆单区灌浆成果一览表。
- 2) 混凝土坝接缝灌浆成果综合统计表。
- 3) 混凝土坝接缝灌浆综合剖面图。

3 检验测试资料应包括下列内容：

- 1) 检查孔钻孔取芯记录、注浆试验记录。
- 2) 检查孔成果一览表。
- 3) 缝面槽检成果一览表。
- 4) 芯样力学性能试验报告。
- 5) 灌浆材料检验报告。
- 6) 照片、孔内录像和芯样实物等。

4 岸坡接触灌浆的施工记录、成果资料和检验测试资料应包括的内容，可根据工程具体情况参照上述要求确定。

11.0.3 各项钻孔灌浆工程的主要施工记录表、成果统计表、统计图及竣工图的样式见附录 D。

11.0.4 灌浆工程的单元工程施工及检查完成后，应及时进行单元工程质量评定和验收。

11.0.5 灌浆工程完工后，施工单位应及时整编竣工资料和提出报告，申请验收。灌浆工程验收应提供下列文件：

1 工程设计文件。工程地质资料、设计图纸、施工技术要求、设计修改通知等。

2 施工资料。有关的施工记录、成果资料、检验测试资料、施工报告等。

3 质量检查报告。单元工程质量评定表及有关说明等。

附录 A 浆液主要性能现场检测方法

A.1 密 度

A.1.1 目的及适用范围为：现场快速测定水泥浆、泥浆等灌浆浆液的密度。

A.1.2 应采用下列试验仪器：1002 型泥浆密度计（见图 A.1.2），测量范围 0.96~2.0，刻度分值为 0.01，泥浆杯容积约 140mL。

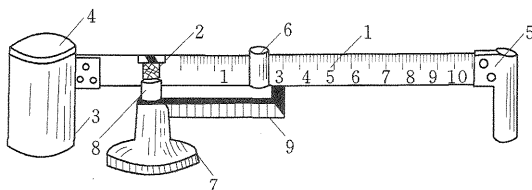


图 A.1.2 1002 型泥浆密度计示意图

1—杠杆；2—主刀口；3—泥浆杯；4—杯盖；5—平衡圆柱；
6—游码；7—底座；8—主刀垫；9—挡臂

A.1.3 应采用下列试验方法：

1 仪器校正：用清水（相对密度 1.0）校正仪器。往泥浆杯中注满清水，加盖使多余的水从杯盖的中心孔溢出，擦净表面水渍。将主刀口置于刀垫上。移动游码至刻度线 1.0 处。此时仪器应处于平衡状态，水平泡应处于中央位置。否则，应增减平衡圆柱中的金属颗粒，将水平泡调整至中央位置。

2 密度的测定：自搅拌桶中取泥浆装满泥浆杯，盖上杯盖，使多余的泥浆从杯盖的中心孔排出。用清水冲净仪器外表（此时应用手指堵住杯盖中心孔，以免水分进入泥浆杯中，影响试验结果），擦净表面水渍。按上述同样方法，移动游码使水平泡处于中央位置，测读游码左侧的刻度值，即为泥浆的密度。

3 重新取样，再测验一次，取两次测值的平均值为检验结果。当两次测试的差值大于 5% 时，应分析原因，并重新测定。

A. 1. 4 应注意下列事项：

- 1 密度计必须放置在水平的台面上。
- 2 在给泥浆杯加盖时，必须有泥浆从杯盖的中央孔中溢出。
- 3 不应随意打开平衡圆柱。

A. 2 浆液析水率试验

A. 2. 1 目的及适用范围为：测定水泥浆、水泥黏土浆等颗粒型灌浆浆液的析水率。

A. 2. 2 应采用下列试验仪器：100mL 量筒、时钟、移液管等。

A. 2. 3 应采用下列试验方法：

1 取约 100mL 浆液倒入量筒中，在接近 100mL 时改用移液管将浆液加到 100mL 刻度。

2 静置 2h 后，读取上部清水与下部浆液分界面对应的刻度读数，并记录。

3 重复以上步骤，共进行两次测定。

4 按式 (A. 2. 3) 计算浆液析水率：

$$B = \frac{100 - h}{100} \times 100\% \quad (\text{A. 2. 3})$$

式中 B ——析水率；

h ——静置后水泥浆液表面位置的刻度读数。

以两次测值的平均值为试验结果（精确至 1%），两次测值的差值如大于 10%，应分析原因并另取浆液重新测定。

A. 3 马氏漏斗黏度

A. 3. 1 目的及适用范围为：现场快速测定水泥浆、泥浆等颗粒性灌浆浆液的表现黏度。

A. 3. 2 应采用下列试验仪器：马氏漏斗黏度计（见图 A. 3. 2）、精度为 0. 2s 的秒表、1000mL 敞口量杯、1000mL 量杯。

A.3.3 应采用下列试验方法：

1 仪器校正：

- 1) 黏度计使用前应用水湿润，然后装置在仪器架上，装好筛网，并将一个 1000mL 敞口量杯平置于黏度计下方。
- 2) 用左手食指堵住仪器的出液管，向漏斗中注入清水至标示的刻度线。
- 3) 迅速放开食指同时启动秒表，当流入量杯中的水恰好为 946mL 时，停止秒表，秒表示值 T 即为清水黏度，应为 $26s \pm 0.5s$ 。否则应更换漏斗黏度计。

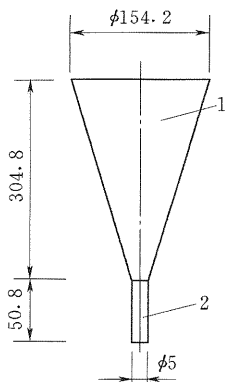


图 A.3.2 马氏漏斗
黏度计示意图
(单位：mm)

1—漏斗；2—出液管

2 黏度测定：按照以上程序自现场水泥浆搅拌桶中取水泥浆连续进行两次试验，以两次测值的平均值为试验结果，精确至 1s。

A.3.4 应注意下列事项：

- 1 试验中泥浆从出液管流出应连续顺畅。
- 2 试验完毕，应及时冲洗黏度计，特别注意对出液管的清洗、保护。

A.4 流 动 度

A.4.1 目的及适用范围为：快速测定膏状水泥浆、泥浆等颗粒性灌浆浆液的流动度。

A.4.2 应采用下列试验仪器：截锥圆模（上口直径 $\phi 36\text{mm}$ 、下口直径 $\phi 64\text{mm}$ 、高度 60mm，内壁光滑无接缝的金属制品）、玻璃板、秒表、水平尺、钢直尺、刮刀。

A.4.3 应采用下列试验方法：

- 1 将玻璃板放置在水平位置，用湿布擦抹玻璃板、截锥圆

模，使其表面湿而不带水渍。将截锥圆模放在玻璃板的中央，并用湿布覆盖待用。

2 将拌好的浆液迅速注入截锥圆模内，用刮刀刮平。

3 将截锥圆模按垂直方向提起，同时开启秒表计时，任浆液在玻璃板上流动。至 30s，用直尺量取流淌部分相互垂直的两个方向的最大直径，取平均值作为浆液的流动度。

4 重复以上步骤，再测定一次。以两次测值的平均值为试验结果（精确至 1mm）。如两次测值的差值大于 10%，应分析原因并另行测定。

A. 4. 4 应注意下列事项：

- 1 浆体注满试模后，应立即进行测试。
- 2 试验过程切忌振动。

附录 B 灌浆工程压水试验

B.0.1 压水试验的设备和仪表。可使用灌浆施工所用的设备和仪表，但应保持足够的精度和适宜的标值范围。

B.0.2 压水试验的方法。灌浆工程先导孔和检查孔一般使用一级压力的单点法压水试验，灌浆孔灌浆前可进行简易压水试验。现场灌浆试验可采用三级压力五个阶段的五点法压水试验。

B.0.3 压水试验的压力。可根据工程具体情况和地质条件按照表 B.0.3 选用适当的压力值。检查孔各孔段压水试验的压力不应大于灌浆施工时该孔段所使用的最大灌浆压力的 80%。

表 B.0.3 压水试验压力值选用表

灌浆工程类别	钻孔类型	坝高 (m)	灌浆压力 (MPa)	压水试验压力
帷幕灌浆	先导孔和 检查孔	<50	—	灌浆压力的 80%， 且不大于 1MPa
		50~100	—	1MPa
		100~200	—	1MPa 或 H (m)， 且不大于 2MPa
		>200	—	
搭接帷幕	检查孔	—	—	1MPa
坝基及隧洞 固结灌浆	检查孔	—	1~3	1MPa
			≤1	灌浆压力的 80%

注 1: H 为坝前水头，从帷幕所在部位基岩面高程起算至正常蓄水位。

注 2: 除特殊情况外，灌浆工程各部位均进行试验压力为 1MPa 的标准压水试验。

注 3: 坝前水头大于 100m 时，帷幕检查孔可使用相当于作用水头的压水试验压力，但不大于 2MPa。

注 4: 坝基或隧洞围岩固结灌浆压力大于 3MPa 时，压水试验压力根据工程需要和地质条件确定。

注 5: 现场灌浆试验钻孔压水试验压力根据工程需要和地质条件确定。

B. 0. 4 压入流量的稳定标准。在稳定的压力下每 2~5min 测读一次压入流量, 连续四次读数中最大值与最小值之差小于最终值的 10%, 或最大值与最小值之差小于 1L/min 时, 本阶段试验即可结束, 取最终值作为计算值。

B. 0. 5 压水试验成果的表示。压水试验的成果以透水率 q 表示, 单位为吕荣 (Lu)。在 1MPa 压力下, 每米试段长度每分钟注入水量为 1L 时, $q=1\text{Lu}$ 。

B. 0. 6 单点法压水试验成果的计算方法。单点法压水试验的成果可按式 (B. 0. 6) 计算:

$$q=Q/PL \quad (\text{B. 0. 6})$$

式中 q ——试段透水率, Lu;

Q ——压入流量, L/min;

P ——作用于试段内的全压力, MPa;

L ——试段长度, m。

计算成果取 2 位有效数字。

B. 0. 7 五点法压水试验成果的计算和表示方法。

1 以压水试验三级压力中的最大压力值 P 及相应的压入流量 Q 及式 (B. 0. 6) 求算透水率。

2 根据五个阶段的压水试验资料绘制 P — Q 曲线, 并参照表 B. 0. 7 确定 P — Q 曲线类型。

3 五点法压水试验的成果用透水率和 P — Q 曲线的类型表示。例如, 2.3 (A)、8.5 (D) 等, 2.3 和 8.5 为试段的透水率 (Lu); (A) 和 (D) 表示该试段 P — Q 曲线为 A (层流) 型和 D (冲蚀) 型。

B. 0. 8 压水试验压力的组成和计算。

1 压力表安设在孔口处的进水管上 (图 B. 0. 8-1), 按式 (B. 0. 8-1) 计算压水试验压力。压力表安设在孔口处的回水管上 (图 B. 0. 8-2), 按式 (B. 0. 8-2) 计算压水试验压力。

$$S=S_1+S_2-S_f \quad (\text{B. 0. 8-1})$$

$$S = S_1 + S_2 + S'_i \quad (\text{B.0.8-2})$$

式中 S ——作用于试段内的全压力, MPa;

S_1 ——压力表指示压力, MPa;

S_2 ——压力表中心至压力起算零线的水柱压力, MPa;

S_i 、 S'_i ——压力损失, MPa, 一般情况下忽略不计。

表 B.0.7 五点法压水试验的 $P-Q$ 曲线类型及特点表

类型名称	A (层流) 型	B (紊流) 型	C (扩张) 型	D (冲蚀) 型	E (充填) 型
$P-Q$ 曲线					
曲线特点	升压曲线为通过原点的直线, 降压曲线与升压曲线基本重合	升压曲线凸向 Q 轴, 降压曲线与升压曲线基本重合	升压曲线凸向 P 轴, 降压曲线与升压曲线基本重合	升压曲线凸向 P 轴, 降压曲线与升压曲线不重合, 呈顺时针环状	升压曲线凸向 Q 轴, 降压曲线与升压曲线不重合, 呈逆时针环状

2 压力起算零线的确定。

- 1) 当地下水位在试段以上时, 压力起算零线为地下水位线。
- 2) 当地下水位在试段以下时, 压力起算零线为通过试段中点的水平线。
- 3) 当地下水位在试段以内时, 压力起算零线为通过地下水位以上的试段的中点的水平线, 见图 B.0.3-3, 图中 $x = (L - l)/2$, $S = H + x$ 。

B.0.9 地下水位的观测和确定。一个单元工程内的灌浆工程开始前, 可利用先导孔测定地下水位。稳定标准为每 5min 测读一

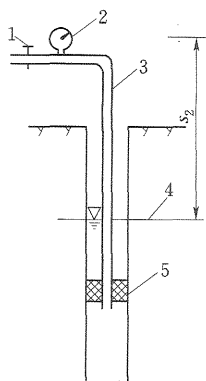


图 B.0.8-1 进水管上安设压力表示意图

1—进水阀门；2—压力表；3—进水管；

4—地下水位；5—橡胶塞

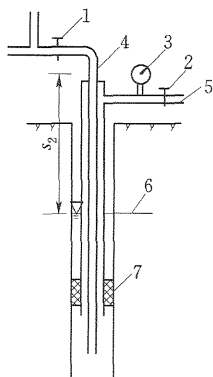


图 B.0.8-2 回水管上安设压力表示意图

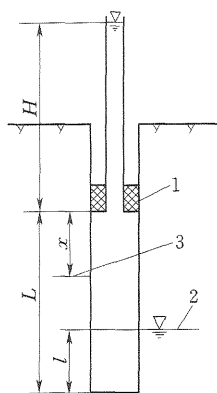
1—进水阀门；2—回水阀门；3—压力表；

4—进水管；5—回水管；6—地下水位；

7—橡胶塞

次孔内水位，当连续两次测得水位下降速度均小于 $5\text{cm}/\text{min}$ 时，以最后的观测值作为本单元工程的地下水位值。

孔口有涌水时应测定涌水压力。



B. 0. 8 - 3 地下水位在试验段内示意图

H —橡胶塞以上的水柱高； L —试验段长； l —试验段内水深；

1—橡胶塞；2—地下水位；3—试验压力起算点

B. 0. 10 简易压水试验。各序灌浆孔灌浆前根据需要可进行简易压水试验，应符合下列要求：

1 试验压力为灌浆压力的 80%，且不大于 1MPa。地下水位假定为与灌浆孔口齐平。

2 压水时间为 20min，每 5min 测读一次压入流量，取最后的流量值作为计算流量。

3 简易压水试验成果以透水率 q 表示，单位为吕荣 (Lu)。

B. 0. 11 疲劳压水试验和破坏性压水试验。在灌浆试验阶段，必要时可进行疲劳压水试验和破坏性压水试验，试验的规则、参数应根据工程情况和地质条件专门制定，已经完成的永久性灌浆工程不应进行疲劳压水试验和破坏性压水试验。

附录 C 覆盖层灌浆钻孔注水试验

C.1 试 验 方 法

C.1.1 覆盖层灌浆工程先导孔和检查孔的渗透试验可采用常水头钻孔注水试验的方法，试验按照 SL 345 的有关规定进行。也可进行检查孔压水试验，参照附录 B 执行。

C.1.2 常水头钻孔注水试验应准备下列设备和仪表，所用设备和仪表应满足试验检测所需的测量范围和精度要求。

——供水设备：水箱、水泵。

——量测设备：水表、量桶、量杯、流量记录仪、水位计，秒表、米尺等。

——止水设备：套管、栓塞。

C.1.3 注水试验孔的钻进应按照 10.3.1 条的规定执行。

C.1.4 在注水试验前，应进行地下水位观测，水位观测间隔为 5min，当连续 2 次观测数据变幅小于 10cm 时，水位观测即可结束，以最后的观测值作为地下水位计算值。

C.1.5 注水试验应自上而下分段进行，试验段长度可为 2~10m，地层复杂时分段宜短一些，一个试段不宜跨越渗透性悬殊的两类地层。

C.1.6 试验段的隔离止水可采用栓塞或套管脚填黏土的方法，也可采用对试验段上部孔段进行灌浆护壁的方法。当采用后者时，试验孔孔口应安设孔口管，在孔口管上可安装孔口封闭器或灌浆塞。

C.1.7 注水采用常水头方式，水位可与孔口齐平，或采用管路接至某一高程。

C.1.8 试验注入流量的稳定标准为：在保持水头不变的条件下，开始时每 5min 测读一次注入流量，连续测读 4 次；以后每 10min 测读一次并至少连续观测 4 次。当连续 2 次测得注入流量

之差不大于最后一次注入流量的 10% 时, 流量观测即可结束, 取最后一次注入流量作为计算值。

当试段注水流量大于水泵排量时, 可停止试验并记下最大流量值。

C. 1. 9 如采用灌浆护壁法进行注水试验孔的钻进和试段隔离, 则上面试段注水试验完成后, 应接着进行灌浆, 待凝后扫孔至原孔深, 以同样注头再测量一次注入流量, 如注入量大, 则需再次灌浆、待凝、扫孔, 直至注入流量降至足够小, 方可进行下一段钻孔和注水试验, 如此自上而下逐段进行, 直至全孔完成。

C. 1. 10 如采用套管护壁进行注水试验, 上面试段注水试验完成后, 应跟进套管、止水和继续钻进, 进行下一孔段注水试验。

C. 2 试验成果计算

C. 2. 1 计算地层的渗透系数。

1 当试段位于地下水水位以下时, 按式 (C. 2. 1 - 1) 计算地层渗透系数。

$$K = 16.67Q/AH \quad (\text{C. 2. 1 - 1})$$

式中 K ——渗透系数, cm/s , 取 2 位有效数字;

Q ——注入流量, cm^3/s , 如上部孔段系采用灌浆护壁, 则流量中应减去该孔段的渗漏量;

H ——试验水头, cm , 等于试验水位与地下水水位之差;

A ——形状系数, cm , 分下列四种情况取值; ①套管下至试验孔底, 孔底进水, $A = 5.5r$; ②套管下至试验孔底, 孔底进水, 试验土层顶板为不透水层, $A = 4r$; ③地层水平和垂直向渗透系数相等, 试验孔内下套管或不下套管, 试段裸露或下套阀管, 且 $L/r > 8$, $A = 2\pi L/\ln(L/r)$; ④地层水平和垂直向渗透系数相等, 试段顶部为不透水层, 试验孔内下套管或不下套管, 试段裸露或下套阀管, 且 $L/r > 8$, $A = 2\pi L/\ln(2L/r)$ 。

2 当试段位于地下水位以上, 且 $50 < H/r < 200$, $H \leq L$ 时, 按式 (C. 2. 1 - 2) 计算地层渗透系数:

$$K = [7.05Q \lg(2L/r)] / LH \quad (\text{C. 2. 1 - 2})$$

式中 L ——试段长度, cm;

r ——钻孔半径, cm;

H ——试验水头, cm, 等于试验水位至试段中点的高度;

其余符号意义同式 (C. 2. 1 - 1)。

3 当试段高出地下水位较多, 土层较干燥, 介质均匀, 且 $50 < H/r < 200$, $H \leq L$ 时, 也可按式 (C. 2. 1 - 3) 计算地层渗透系数:

$$K = [0.432Q \lg(2H/r)] / H^2 \quad (\text{C. 2. 1 - 3})$$

式中符号意义同式 (C. 2. 1 - 1) 和式 (C. 2. 1 - 2)。

C. 2. 2 计算地层的透水率。按式 (C. 2. 2) 计算试段所在地层的透水率, 计算成果取 2 位有效数字。

$$q = Q / PL \quad (\text{C. 2. 2})$$

式中 q ——试段透水率, Lu;

Q ——注入流量, L/min, 如上部孔段系采用灌浆护壁, 则流量中应减去该孔段的渗漏量;

P ——作用于试段中点的全压力, MPa, 当地下水位在试段以上时, 全压力为地下水位以上的水柱压力; 当地下水位在试段以下时, 全压力为试段中点以上的水柱压力; 当地下水位在试段以内时, 全压力为地下水位以上的试段中点以上的水柱压力;

L ——本试段长度, m。

附录 D 灌浆工程施工记录和成果图表

D.0.1 灌浆工程施工记录应包括下列主要表格：

- 1 钻孔灌浆施工记录表（表 D01）。
- 2 灌浆施工记录表（表 D02）。
- 3 灌浆施工成果单孔统计表（表 D03）。
- 4 灌浆施工成果分序统计表（表 D04）。
- 5 帷幕灌浆施工成果单元工程统计表（表 D05）。
- 6 回填灌浆施工成果综合统计表（表 D06）。
- 7 帷幕灌浆施工成果汇总表（表 D07）。
- 8 固结灌浆施工成果汇总表（表 D08）。
- 9 灌浆工程完成情况表（表 D09）。
- 10 混凝土坝接缝灌浆单区灌浆施工成果表（表 D10）。
- 11 混凝土坝接缝灌浆施工成果综合统计表（表 D11）。
- 12 钻孔压水试验记录表（表 D12）
- 13 注水试验记录与资料整理记录表（表 D13）
- 14 检查孔注水试验成果表（表 D14）

D.0.2 灌浆工程施工应包括下列成果图：

- 1 各次序孔单位注灰量频率曲线图（图 D01）。
- 2 帷幕灌浆综合剖面图（图 D02）。
- 3 深孔固结灌浆成果综合平、剖面图（图 D03）。
- 4 隧洞固结灌浆成果展示图（图 D04）。
- 5 混凝土坝接缝灌浆（纵缝）综合剖面图（图 D05）。

表 D01 钻孔灌浆施工记录表

施工部位____ 孔号____ 桩号____ 排序____ 孔序____ 钻孔顶角____ (°) 方位角____ (°) 孔口高程____ m 机地距____ m
 接班孔深____ m 本班钻孔进尺____ m 交班孔深____ m 接班灌浆深度____ m 交班灌浆深度____ m 本班灌浆段长____ m

时 间			工 作 内 容	钻 孔 情 况										灌 浆 情 况						孔 内 情 况						
开始	终止	间隔		钻 头			钻具 总长 (m)	机上余尺 (m)		进尺 (m)	孔深 (m)	段次	灌浆段 (m)			灌注		岩性、变层、坍孔、 掉块、岩芯采取率、 回水、串浆、抬动 等情况								
				名称	规格 (mm)	长度 (m)		始	止				自	止	段长	结束 (+)	继续 (-)									
使用机械			工时利用 (时:分)										主要材料消耗						使用人工							
钻机 型号	灌浆 泵型号	项 目	纯 钻 灌	起 钻 下 塞	准 备	冲 孔	扫 孔	机 修	迁 安	孔 故	机 故	停 水	停 电	待 料	其 他	合 计	钻 头	水	电	油	水 泥	其 他	技 工	普 工		合 计
		钻孔																								
		灌浆																								

机长:

班长:

记录:

年

月

日

班

注: 本表下半部分是为进行施工工效、成本计算所用。如不需要可省略。

表 D02 灌浆施工记录表

孔号_____ 桩号_____ 段次_____ 段长自_____ m 至_____ m 计_____ m 孔底沉淀_____ cm 射浆管距孔底_____ cm
 排序_____ 次序_____ 孔口高程_____ m _____ 年_____ 月_____ 日_____ 班

时间			浆液配比			浆液配量			加浆量	槽内浆量	注入量	注入率	灌浆压力	备注
时	分	间隔	水	水泥		水	水泥		(L)	(L)	(L)	(L/min)	(MPa)	
(h)	(min)	(min)				(kg)	(kg)							
合计注入浆量			(L)			注入水泥			(kg)	废弃水泥	(kg)			

机(班)长_____ 记录_____ 质检_____ 监理_____

注:本记录表可用灌浆记录仪打印记录代替。

表 D03 灌浆施工成果单孔统计表

工程名称_____ 孔号_____ 桩号_____ 施工次序_____ 孔口高程_____ m 开竣工日期_____

段次	灌浆孔段 (m)			孔径 (mm)	岩石 情况 简述	透水率 (Lu)	水灰比		注入率 (L/min)		灌浆 压力 (MPa)	水泥用量				单位 注入量 (kg/m)	灌浆时间			备 注
	自	至	段长				开始	终止	开始	终止		注浆 (L)	注灰 (kg)	废弃 (kg)	合计 (kg)		开始	终止	纯灌	

统计人_____ 校核人_____ 审查人_____

注：计算灌浆段长度时，混凝土部分不计在内。

表 D05 帷幕灌浆施工成果单元工程统计表

工程名称

工程部位

施工日期

单元	排 序	孔 序	孔 数	钻孔 长度 (m)	灌浆 长度 (m)	水泥用量			单 位 注入量 (kg/m)	单位注入量 (kg/m) 分布 (区间段数/频率,%)					平均 透水率 (Lu)	透 水 率 (Lu) 分布 (区间段数/频率,%)					备注		
						注灰量 (kg)	废弃量 (kg)	总用量 (t)		总 段 数	< 10	10 ~ 50	50 ~ 100	100 ~ 1000		> 1000	总 段 数	<1	1 ~ 5	5 ~ 10		10 ~ 100	> 100
× × × 坝 段	下游排	I																					
		II																					
		III																					
		小计																					
	上游排	I																					
		II																					
		III																					
		小计																					
	中间排	I																					
		II																					
III																							
小计																							
合计																							
总计																							

统计人_____ 校核人_____ 审查人_____

注：帷幕灌浆孔应分排分序统计；单位注入量和透水率区间划分可根据工程具体情况确定。

表 D06 回填灌浆施工成果综合统计表

工程部位	单元工程	工程量 (m ²)	注入水泥 (kg)	单位注入量 (kg/m ²)			检查孔注浆试验		
				I 序	II 序	合计	孔数	合格孔数	最大值 (L/10min)

统计人_____ 校核人_____ 审查人_____

表 D07 帷幕灌浆施工成果汇总表

工程名称

工程 部位	孔数	灌浆 长度 (m)	水泥 注入量 (kg)	单位注入量 (kg/m)								灌浆前透水性 (Lu)						检查孔压水试验				
				平均	下游排		上游排		中间排		下游排		上游排		中间排		孔数	压水 段数	合格 段数	合格率 (%)	超标值 (Lu)	
					I 序	II 序	I 序	II 序	I 序	II 序	I 序	II 序	I 序	II 序	I 序	II 序						
合计																						

统计人_____ 校核人_____ 审查人_____

表 D08 固结灌浆施工成果汇总表

工程名称

工程 部位	孔数	灌浆 长度 (m)	水泥 注入量 (kg)	单位注入量 (kg/m)				灌浆前透水性 (Lu)				检查孔压水试验					
				平均	Ⅰ 序排		Ⅱ 序排		Ⅰ 序排		Ⅱ 序排		孔数	压水 段数	合格 段数	合格率 (%)	超标值 (Lu)
					Ⅰ 序	Ⅱ 序	Ⅲ 序	Ⅳ 序	Ⅰ 序	Ⅱ 序	Ⅲ 序	Ⅳ 序					
合计																	

统计人_____ 校核人_____ 审查人_____

表 D09 灌浆工程完成情况表

[illegible]

统计人_____校核人_____审查人_____

表 D10 混凝土坝接缝灌浆单区灌浆施工成果表

部位：_____ 缝别：_____ 灌区编号：_____ 灌区起止高程：自 _____ m 至 _____ m 灌区面积：_____ m² 灌浆日期：_____ 年 _____ 月 _____ 日

灌浆条件	坝块龄期		坝块温度		压重块温度		缝面开度			所用水泥			外加剂	备注						
	前(左)块 (月)	后(右)块 (月)	前(左)块 (℃)	后(右)块 (℃)	前(左)块 (℃)	后(右)块 (℃)	顶部 (mm)	中部 (mm)	底部 (mm)	品种	强度 等级	4900 孔筛余 (%)								
通水检查情况	管道名称		进浆管	备 用 进浆管	回浆管	备 用 回浆管	排气管	排气管	预灌性 压水检查	串漏情况 和漏水量 (L/min)	实测 缝容 (L)	浸泡时间 (h)								
	单开出水流量																			
	通水压力 (MPa)																			
灌浆施工情况	灌浆时间 (h: min)		施工简要说明 (水灰比变换、 结束条件等)				管口压力 (MPa)		密度 (g/cm ³)	倒灌	缝面增开度 (mm)			通水缝		平压缝				
	自	至					间隔	进浆管	回浆管	排气管	排气管	排气管	排气管	水灰比	管口 压力 (MPa)	顶部	中部	底部	缝号	管口 名称
浆液耗用情况	总用量		弃浆量		放浆量		总注入量		单位面积 注入水泥量 (kg/m ²)		排气管口至 顶部排气槽 的垂直距离 (m)		管口 排列 示意图							
	浆液 (L)	水泥 (kg)	浆液 (L)	水泥 (kg)	浆液 (L)	水泥 (kg)	浆液 (L)	水泥 (kg)												

技术负责人 _____ 校对入 _____ 制表人 _____

制表日期 _____ 年 _____ 月 _____ 日

表 D11 混凝土坝接缝灌浆施工成果综合统计表

施工部位：

施工单位：

灌区 编号	灌区 面积 (m ²)	坝块温度 (℃)		压块温度 (℃)		缝面开度 (mm)		单开流量 (L/min)			灌浆时间			水灰 比 变换	顺 灌					倒灌		水泥注入量		质 检 情 况	综 合 评 定
		前 (左) 块	后 (右) 块	前 (左) 块	后 (右) 块	张开 度	增开 度	管路 通畅 情况	灌区 串漏 情况	年 月 日	历 时 (h: min)	压力 (MPa)			密度 (g/cm ³)		水 灰 比	管口 压力 (MPa)	总 量 (kg)	单 位 注 入 量 (kg/m ²)					
												进浆 管	排 气 管		排 气 管	排 气 管					排 气 管				
说明																									

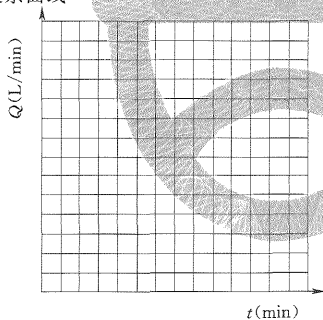
技术负责人_____ 校核人_____ 制表人_____ 日期_____年___月___日

表 D13 注水试验记录与资料整理记录表

工程名称: _____ 试段编号: _____ 覆盖层名称: _____
 地下水位: _____ 试验深度: _____ m ~ _____ m 试段长度: _____ m
 试段孔径: _____ mm 试段类型: _____ 试验时间: _____ 年 _____ 月 _____ 日

序号	试验时间				试验水头 (cm)	注入水量 (L)	单位时间 注入量 (L/min)	备注
	日	时	分	持续时间 (min)				

Q—t 关系曲线



试段安装示意图

试验覆盖层的渗透系数:

(1) 试段位于地下水位以下:

(2) 试段位于地下水位以上:

试验覆盖层的基本情况描述和需要说明的问题:

审查人: _____ 校核人: _____ 记录人: _____ 计算人: _____ 监理工程师: _____

表 D14 检查孔注水试验成果表

[illegible]

统计人 校核人 审查人

注: 渗透系数 (cm/s) 区间划分可根据工程具体情况调整。

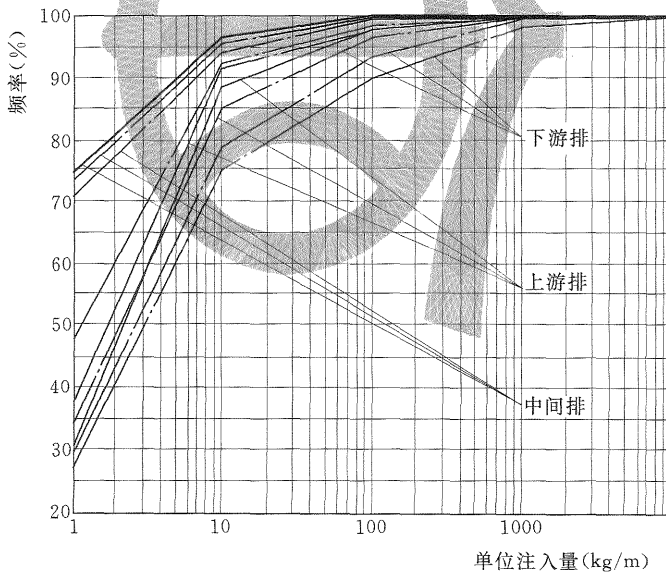


图 D01 各次序孔单位注入量频率曲线图

注：透水率频率曲线图形式参照本图绘制。

工程 坝段帷幕灌浆综合剖面图

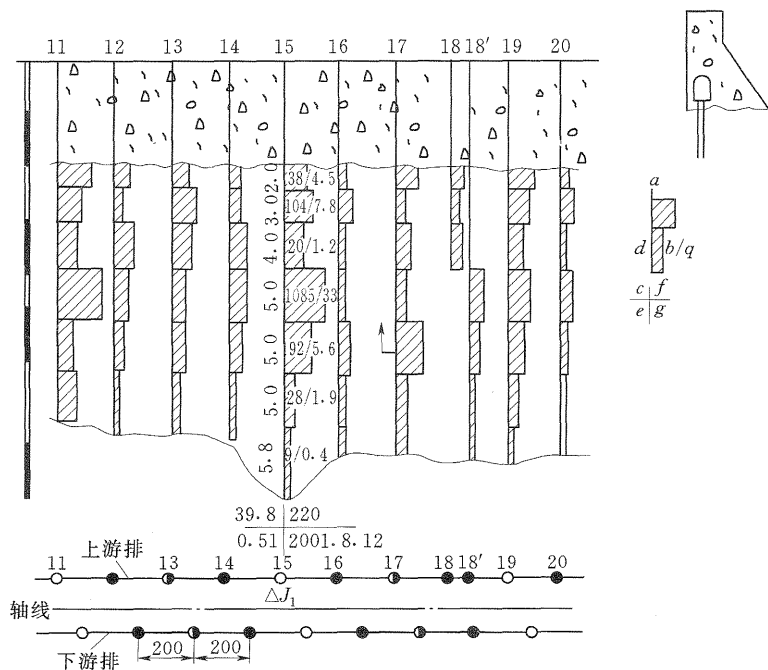


图 D02 帷幕灌浆综合剖面图

a —孔号; b —单位注入量 (kg/m); c —孔深 (m);

d —一段长 (m); e —孔底偏距 (m); f —全孔平均单位注入量 (kg/m);

g —竣工日期 (年月日); q —透水性 (Lu);

○—I 序孔; ●—II 序孔; ●—III 序孔; △—检查孔; ↑—串、冒浆

注: 图中仅标注一孔, 其余相同。各项内容系基本要求, 可根据需要增减。

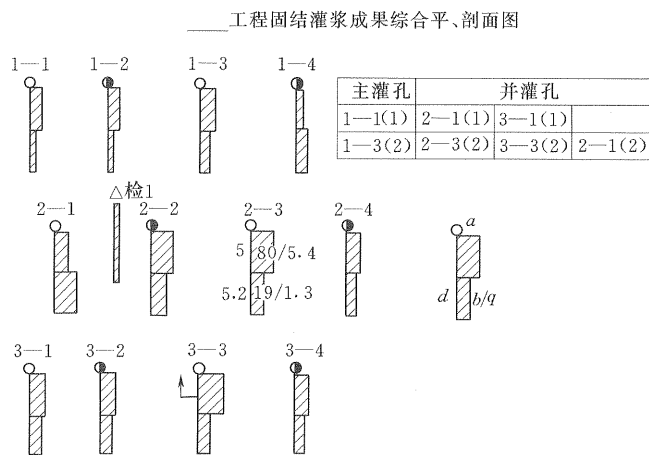


图 D03 深孔固结灌浆成果综合
平、剖面图

a —孔号； b —单位注入量 (kg/m)；
 d —段长 (m)； q —透水率 (Lu)；
 ○—I 序孔；●—II 序孔；△—检查孔；↑—串、冒浆
 注：图中仅标注一孔；浅孔固结灌浆成果图参照绘制。

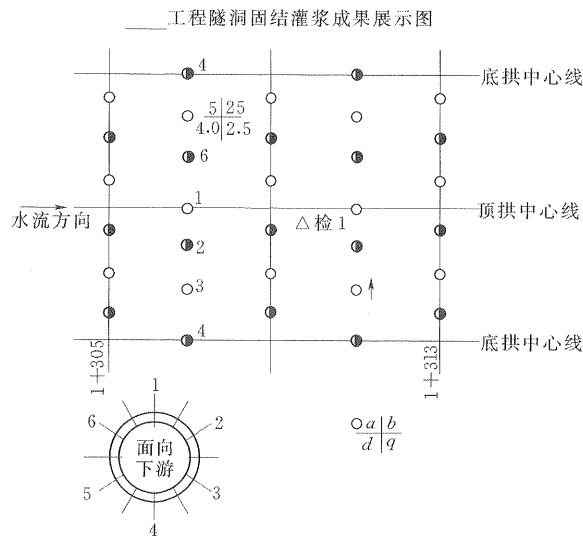


图 D04 隧洞固结灌浆成果展示图

a —孔号； b —单位注入量 (kg/m)；
 d —段长 (m)； q —透水率 (Lu)；
 ○—I 序孔；●—II 序孔；△—检查孔；↑—串、冒浆
 注：隧洞回填灌浆和钢衬接触灌浆成果图参照绘制。

____工程坝体接缝(纵缝)灌浆综合剖面图

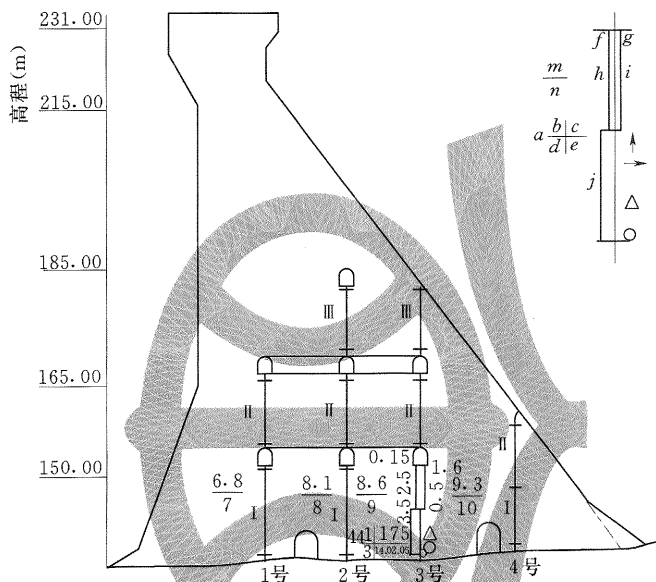


图 D05 混凝土坝接缝灌浆(纵缝)综合剖面图

a —坝段; b —灌区; c —灌区面积 (m^2); d —缝号;
 e —灌浆日期 (年. 月. 日); f —排气管 (槽) 最终压力;
 g —排气管 (槽) 排浆密度 (g/cm^3); h —缝面张开度 (mm);
 i —缝面增开度 (mm); j —缝面单位面积注入量 (kg/m^2);
 m —实测温度 ($^{\circ}\text{C}$); n —设计温度 ($^{\circ}\text{C}$);
 \uparrow —与上层灌区串浆; \rightarrow —缝面漏浆;
 \triangle —作业正常 (\triangle 非正常); \bigcirc —管路系统畅通 (\otimes 非畅通);
 I、II、III—灌区号

注: 图中仅标注一个灌区; 横缝灌浆参照本图绘制。

标准用词说明

标准用词	在特殊情况下的等效表述	要求严格程度
应	有必要、要求、要、只有……才允许	要 求
不应	不允许、不许可、不要	
宜	推荐、建议	推 荐
不宜	不推荐、不建议	
可	允许、许可、准许	允 许
不必	不需要、不要求	

中华人民共和国水利行业标准

水工建筑物水泥灌浆施工技术规范

SL 62—2014

条 文 说 明

目 次

1	总则.....	97
3	灌浆材料、设备和制浆	100
4	现场灌浆试验	110
5	基岩帷幕灌浆	114
6	基岩固结灌浆	138
7	隧洞灌浆	143
8	混凝土坝接缝灌浆	149
9	岸坡接触灌浆	163
10	覆盖层灌浆.....	166
11	施工记录和竣工资料.....	181

1 总 则

1.0.1 本标准是对《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》(SL 62—94)的修订,其主要内容是对水工建筑物水泥灌浆的施工技术提出规范性要求。由于国家和行业并无专门的灌浆工程设计规范,有些灌浆施工参数的确定也同时具有设计和施工的性质,因此本标准也对水工建筑物灌浆工程的设计工作具有指导或参考意义。

1.0.2 本条文由原规范相应条文修改而成。规定了本标准适用的范围。

(1) 适用灌浆工程的类别。水工建筑物地基的灌浆,包括岩基和覆盖层地基的灌浆,主要是防渗帷幕灌浆和固结灌浆;水工隧洞灌浆,包括混凝土衬砌顶拱回填灌浆、围岩固结灌浆、钢衬接触灌浆、隧洞封堵灌浆等;混凝土坝接缝接触灌浆,包括混凝土结构之间的接缝灌浆和混凝土结构与地基的接触灌浆。

(2) 适用的灌浆浆液。本标准主要针对应用最广泛的水泥浆液灌浆。由于实际工程的需要以及技术的进步,添加各种成分的水泥浆液,甚至以其他材料为主要成分的浆液,如黏土类浆液、沥青浆液等应用也越来越多,这些浆液灌浆的许多基本要求与水泥灌浆有很大的共性,而工程界目前还没有针对那些特种浆材的专用技术标准,因此本标准原则上也涵盖了这些浆液的灌浆,供工程中参照使用。

水泥黏土类浆液,泛指水泥浆、黏土浆或以水泥、黏土两种材料为主要成分的浆液。水泥黏土浆,指以黏土为主要成分(含量大于50%)的水泥黏土类浆液;黏土水泥浆,指以水泥为主要成分的水泥黏土类浆液。

(3) 适用的建筑物等级。按照《防洪标准》(GB 50201—1994)和《水利水电工程等级划分及洪水标准》(SL 252—

2000)，水工建筑物划分为五个等级，本标准主要针对 1 级、2 级、3 级水工建筑物，4 级、5 级水工建筑物也可以参照应用。本标准也不建议直接应用于特殊的灌浆施工如结构物补强灌浆、应急堵漏灌浆等。

1.0.4 保证灌浆施工的连续作业十分重要，意外中断将给工程质量和施工单位造成大的损失。

1.0.5 对于长度大于 100m 的灌浆廊道（隧洞），设计时可以按 60～80m 的间距设置灌浆机房、污水沉淀池等。工程区或附近有煤层或其他矿床时，应进行易燃、易爆等有害气体的监测和防治，金沙江向家坝水电站灌浆隧洞曾发生过硫化氢、甲烷等瓦斯爆炸事故。

1.0.6 严格地说，爆破振动是否会对已完成的灌浆工程造成损害，应以爆破时工程部位质点峰值振动速度判定。《水利水电工程爆破施工技术规范》（DL/T 5135—2001）规定的允许爆破质点振动速度见表 1。灌浆工程附近如需进行大型爆破时，可按此进行爆破设计。

表 1 允许爆破质点振动速度 单位：cm/s

项 目	龄 期 (d)		
	3	3～7	7～28
坝基灌浆（含坝体接缝灌浆）	1	1.5	2～2.5

1.0.7 灌浆工程是隐蔽工程，各类钻孔很多，事先按《水利水电工程单元工程施工质量验收评定标准——地基处理与基础工程》（SL 633—2012）的要求划分单元，统一分类编号，一一对应，不能重复，不能出错。此点对于使用计算机整理分析灌浆资料尤为重要。

1.0.8 各种现场施工记录是分析评价灌浆工程质量的重要依据，有时是唯一依据，因此要严格要求，认真记好。记录要在施工现场随着施工的进行随时填写，专人审核。不允许事后补记，更不得随意编造。

填写记录的墨水笔蓝色黑色均可，但须色泽清晰、不易污损、褪色和涂改，便于长期保存。

灌浆记录仪一般记录 2 项参数（灌浆压力和注入率）即可，有特殊要求时可记录 3 项参数（灌浆压力、注入率和浆液密度）。由于目前多数灌浆记录仪流量传感器的理论最小分辨率为 0.2L/min，因此一些注入量和注入率很小的接缝灌浆、接触灌浆一般不使用灌浆记录仪来监测其流量过程。

既然使用了灌浆记录仪，一般就不必重复安排人员进行手工记录。无论采用记录仪与否，都不能放松现场质量检查和旁站监理，不能用仪器代替人的管理。

1.0.9 灌浆工程是隐蔽工程，施工效果难以进行直接和完全地检查，搞好施工过程（工序）质量是保证工程产品最终质量的前提，因此各项灌浆工程施工要把工序的质量控制放在质量管理的首要位置。

灌浆是勘探与施工平行进行的作业，要随时根据施工过程中发现的新情况，修正设计文件和施工工艺。

3 灌浆材料、设备和制浆

3.1 灌浆材料和浆液

3.1.1 试验表明,矿渣硅酸盐水泥和火山灰质硅酸盐水泥比硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥抗侵蚀性更好,在环境水有侵蚀性的灌浆工程中使用,但因其含有矿渣或火山灰,浆液过稀时易于离析,因此,浆液水灰比不宜大于1。

3.1.2 根据《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2007)及相应的水泥试验标准,硅酸盐水泥的强度等级分为42.5、42.5R、52.5、52.5R、62.5、62.5R六个等级;普通硅酸盐水泥的强度等级分为42.5、42.5R、52.5、52.5R;矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥、复合硅酸盐水泥的强度等级分为32.5、32.5R、42.5、42.5R、52.5、52.5R六个等级。

GB 175—2007规定,硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥的细度以比表面积表示,要求不小于 $300\text{m}^2/\text{kg}$;矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥和复合硅酸盐水泥的细度以筛余表示,要求 $80\mu\text{m}$ 方孔筛筛余不大于10%或 $45\mu\text{m}$ 方孔筛筛余不大于30%。灌浆使用水泥对细度有较为严格的要求,硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥的细度一般能满足通过 $80\mu\text{m}$ 方孔筛的筛余量不大于5%的要求,但其他种类水泥的细度通常难以满足,需进行专门处理。

3.1.4 《水工混凝土施工规范》(SDJ 207—1982、DL/T 5144—2001)都规定,凡符合国家标准的饮用水,均可以用于拌和与养护混凝土。DL/T 5144—2001第5.5.2条规定,其他类型水在首次用于混凝土施工时,应进行水泥凝结时间和水泥浆结石抗压强度的试验,水的pH值和水中的不溶物、可溶物、氯化物、硫酸盐的含量应符合表2的要求。5.5.2条条文说明中指出地表水、地下水和其他类型水是否适用于拌和和养护混凝土,必

须检验下列三项限制指标：一是拌和用水对水泥凝结时间影响的限值；二是拌和用水对砂浆或混凝土抗压强度影响的限值；三是对水中有害物质的含量限值。灌浆浆液与素混凝土类似，不存在钢筋腐蚀的问题，只需满足素混凝土的要求即可。

表 2 拌和与养护混凝土用水的指标要求

项 目	单 位	素混凝土
pH 值		>4
不溶物	mg/L	<5000
可溶物	mg/L	<10000
氯化物（以 Cl^- 计）	mg/L	<3500
硫酸盐（以 SO_4^{2-} 计）	mg/L	<2700

3.1.5 对各种浆液说明如下：

1 细水泥浆液，适用于岩体微细裂隙和张开度小于 0.5mm 的坝体接缝灌浆。超细水泥，系指用特殊方法磨细的水泥，一般 D_{\max} 在 $12\mu\text{m}$ 以下， D_{50} 为 $3\sim 6\mu\text{m}$ 。干磨细水泥，是指将普通水泥通过干法进一步磨细，一般情况下最大粒径 D_{\max} 在 $35\mu\text{m}$ 以下， D_{50} 为 $6\sim 10\mu\text{m}$ 。湿磨水泥，是指将普通水泥浆液通过湿磨机磨细，其细度与湿磨机型式及研磨时间有关，采用胶体磨一般为 $D_{97}\leq 40\mu\text{m}$ ， $D_{50}=10\sim 12\mu\text{m}$ ，采用珠磨机能达到干磨细水泥和超细水泥的细度。

超细水泥由于粒径小，因而可以灌注的缝隙小。但是，其比表面积和表面能也大，颗粒团聚能力大，对灌浆施工带来不利影响：①流动性降低，如不采取措施，要达到同普通水泥相同的流动性必须增加用水量，增大水灰比又使浆液稳定性降低；②由于保水性好，硬化结石的水灰比大，毛细管孔尺寸大且多，影响水泥结石的密实性，进而影响抗渗和耐蚀等性能；③水泥越细收缩值越大，引起结石与基体黏结失效；④有的专家对超细水泥的耐久性有疑虑。另外这种材料价格昂贵。目前，超细水泥在水利水电灌浆工程中较少应用。

2 水泥基混合浆液，是在水泥浆液中加入砂子、黏土、粉煤灰等制成，包括水泥砂浆、黏土水泥浆、粉煤灰水泥浆等。适用于注入量很大时的灌浆。

3 稳定浆液，适用于遇水性能易恶化或注入量较大的地层的灌浆。通常在水泥浆液中加入 3%~5% 的钠基膨润土和外加剂制成，若加入钙基膨润土和高塑性黏土，其掺量需通过室内配比试验确定。

4 膏状浆液，适用于大孔隙地层（岩体宽大裂隙、溶洞、堆石体等）的灌浆。通常是在水泥浆液中加入较多黏土、增塑剂等制成，其基本特征是屈服强度值大于其重力的影响，具有自堆积特性。实际上，浆体进入膏体状态并无明显界限值，如以膏状浆液堆积体的倾角为 10° 计，则浆液初始屈服强度理论计算值约为 50Pa；以膏状浆液堆积体的倾角为 15° 计，则浆液初始屈服强度理论计算值约为 100Pa；以膏状浆液堆积体的倾角为 25° 计，则浆液初始屈服强度理论计算值约为 200Pa。国际岩石力学学会灌浆专业委员会主席奥地利学者 R. 维德曼 (R. widmann) 认为屈服强度小于 50Pa 的浆液属于“稳定”或“接近稳定”的悬浮浆液，故此处以大于 50Pa 作为膏状浆液起点。为便于现场操作，施工中可以采用流动度（见 A.4 节）来表征和控制膏状浆液性质。

速凝膏浆是通过加入速凝剂或其他速凝材料制成的膏状浆液，其凝结时间可控制在 10min 以内。通常用于堵漏工程中，由于其凝结时间较快和较高的屈服强度值，速凝膏浆在细小孔隙中的扩散距离有限。

5 其他浆液。例如沥青浆液，包括改性沥青，指的是利用沥青不与水互溶，当沥青被加热成液态时，沥青浆液具有良好的流动性和可灌性，沥青浆液通过灌浆泵进入渗漏部位，遇水将逐步冷却、凝固，且表层不被水稀释、冲散，内部沥青仍具有相当的流动性，有利于浆液的扩散。常规热沥青灌浆施工温度常在 120°C 以上，添加柴油、石蜡等改性剂的沥青施工温度在 100°C

以上,利用乳化原理制成的低热沥青的施工温度可控制在 80°C 以下, 60°C 仍具有一定的流动性。沥青灌浆凝固后通常具有一定的蠕变性,在永久工程中要考虑进行补强灌浆。

已有的工程经验和室内模拟试验表明:一般情况下,化学浆、黏土浆适用于微细开度的裂隙灌浆;细水泥浆适用于细开度的裂隙灌浆;纯水泥浆、水泥黏土浆、水泥粉煤灰浆适用于小开度、静水或小流速的裂隙灌浆;普通水泥膏浆、砂浆、水泥水玻璃浆、低级配混凝土适用于中等开度、静水或小流速流量的裂隙灌浆;速凝水泥膏浆适用于中等开度、一定流速下的动水裂隙灌浆;对于大开度、高流速裂隙地层灌浆宜根据现场情况采用填级配料、速凝浆液、模袋灌浆或者其他特殊措施。

3.1.6 覆盖层由散粒状颗粒构成,一般都具有成层性、不均匀性和各向异性等特点,地层的空隙尺寸具有较大的范围,因此,要根据不同地层空隙的尺寸、地下水流速及流量等特点选择不同的灌浆材料。一般来说,对于空隙尺寸大、地下水流速较大的地层,可采用水泥砂浆、水泥—水玻璃浆液、膏状浆液等材料;对于一般松散的覆盖层,常用水泥黏土浆、纯水泥浆等材料;对于由细砂、粉细砂等细颗粒构成的致密地层,可采用黏土浆、膨润土浆、化学浆液等材料。

覆盖层地层的灌浆结石体不需要很高的强度,同时注入量常常很大,因此,选择灌浆材料要考虑:一方面使地层得到充分的灌注;另一方面也要降低造价。经验表明,大多数的黏土和含少量黏土的壤土都可以用于覆盖层的水泥黏土灌浆。其他细颗粒的土壤能否应用于覆盖层灌浆应根据地层特点和设计要求,通过室内试验和现场试验确定。

矿渣粉,即用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉,其品质标准可遵照《用于水泥和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》(GB/T 18046—2008)执行。

黏土浆胶凝材料,如土壤固化剂等。土壤固化剂是以工业废渣为主要成分,由多种无机、有机材料混合,添加少量激发剂,

经磨细而形成的微细粉末，用以固化各类土壤的新型材料，可以替代石灰、水泥、粉煤灰等物资。用于黏土浆的固化，在同等条件下用量仅需水泥的一半。近年来已有工程应用该项技术取得成功。

3.1.7

1 本条沿用原规范第 2.1.6 条 (2) 的和 1963 年《水工建筑物砂砾石基础帷幕灌浆工程施工技术试行规范》第八十二条的规定。覆盖层灌浆浆液一般采用水泥黏土浆液，对黏土的性能指标要求因受灌地层地质情况的不同而异，用于填充覆盖层大空隙的浆液，黏土的黏粒含量可以低一些，甚至可以掺加粉土；而用于灌注细颗粒覆盖层时，掺加黏土的黏粒含量应高一些，或采用膨润土。

2 《钻井液材料规范》(GB/T 5005—2001) 中规定的各类膨润土性能指标见表 3。

表 3 《钻井液材料规范》中各类膨润土性能指标

性 能	钻井液膨润土	未处理膨润土	OCMA 膨润土
黏度计 600r/min 读数	≥ 30		≥ 30
屈服值/塑性黏度 (Pa)	≤ 3	≤ 1.5	≤ 6
滤失量 (cm^3)	≤ 15		≤ 16
分散后的塑性黏度 (Pa)		≤ 10	
分散后的滤失量 (cm^3)		≤ 12.5	
75 μm 筛余 (%)	≤ 4		≤ 2.5
水分 (%)			≤ 13

3 加入水泥浆液中的粉煤灰一般应使用 I 级、II 级粉煤灰，回填灌浆可使用 III 级粉煤灰。根据《水工混凝土掺用粉煤灰技术规范》(DL/T 5055—2007)，各级粉煤灰的质量指标见表 4。

4 砂浆之用于灌浆，主要是针对大空隙的回填或堵漏。为便于灌浆泵输送一般采用细砂。

5 “其他掺合料”，如石粉、赤泥、硅粉等。在有些堵漏灌

浆中，甚至可掺入锯末、棉籽壳、海带等材料。

表 4 粉煤灰品质指标和等级

序号	指 标	等 级		
		I 级	II 级	III 级
1	细度 (45 μm 方孔筛筛余)	≤ 12	≤ 20	≤ 45
2	烧失量	≤ 5	≤ 8	≤ 15
3	需水量比	≤ 95	≤ 105	≤ 115
4	三氧化硫含量	≤ 3	≤ 3	≤ 3

3.1.8 本条和 3.1.5 条 3 款中所说的“稳定剂”的作用是增强浆液的沉降稳定性，故名“稳定剂”，它与石油钻井泥浆中使用的降失水剂、增黏剂作用相似。

“其他外加剂”，如膨胀剂等。

3.1.9 膨润土的润胀，见条文说明 3.3.2。

3.1.10 纯水泥浆液灌浆工艺较简单，实践经验丰富，技术成熟，各地水泥性能差异不大，以往已积累了很多室内纯水泥浆液试验的资料，故提出“可不进行室内试验”。其他浆液材料和浆液配比相对复杂，各地材料性能可能差别较大，因此一般进行浆液试验。

浆液材料的细度和颗分曲线是评价材料可灌性的一个重要依据，通常情况下都要进行检测。材料细度测试可以采用激光粒度分析法。

在条件许可的情况下，浆液的凝结时间试验建议增加黏度—时间曲线的试验，通过分析其规律，判断浆液丧失流动性的时间或塑性黏度超过 $100\text{mPa} \cdot \text{s}$ 的时间。当采用旋转黏度计或毛细管黏度计测试浆液的流变参数时，注意分析由于浆液与转子或毛细管壁之间产生滑移所造成的误差。浆液越稀，其误差越大，采用旋转黏度计测量大水灰比浆液的流变参数时，经常出现剪切屈服强度值小于 0 的极端情况。

浆液结石的强度试验主要是抗压强度和抗拉强度，抗拉强度

可采用抗折强度试验或劈裂抗拉强度确定。渗透性能试验主要是渗透系数和抗渗透比降,可参照《水工混凝土试验规程》(SL 352—2006)相关内容执行。对于高水灰比的浆液成模,由于水分析出,在成模时将3~5个试模叠加起来,倒入浆液,待浆液稳定不再析水后,选取倒数第2个试模的浆液沉淀物成模、养护。由于试模尺寸大小的不同,注意分析试件强度的尺寸效应影响。

应当说明的是,室内浆液及其结石性能试验均是在浆液自由沉淀的条件下进行的,这与浆液在灌浆压力作用下析水过程是不同的,对试验所得数据要进行分析,参考应用。同时,目前大多数进行的室内压滤试验,也没有考虑实际岩体中的排水条件以及地下水分布情况,因此,室内压滤试验中的压力并不能代表实际岩体中的灌浆压力梯度,压滤试验所得数值明显偏大。灌浆过程中的压力梯度分布情况主要通过理论分析计算获得。

3.1.11 本条的目的为使施工现场的浆液试验较为统一和规范化。一般说,浆液的室内试验带有研究性质,而浆液的现场检测则主要服务于施工过程质量控制,其检测项目要精简易行。附录A主要对现场测定浆液性能的方法和仪器进行规定,并非所有灌浆工程都要进行各项试验。通常普通水泥浆要进行密度(水灰比)检测,稳定性浆液要进行密度、析水率和黏度的检测,膏状浆液要进行密度、流动度的检测。浆液在寒冷、炎热或长时间高压循环条件下作业一般进行温度检测。

灌浆过程中,尤其是循环式灌浆时,浆液性质发生变化难以避免,检测的数据要如实记录,根据灌浆孔段的情况及时调整浆液性能。

3.2 灌浆设备和机具

3.2.1 水泥浆搅拌机分为制浆搅拌机和储浆搅拌机,前者要对固体的浆液原材料进行高度分散,制成均匀滑润的浆液,要求功率较大,转速较快;后者仅是保持浆液的运动状态,不使沉淀,

要求转速较慢，功率也较小。

高速制浆机有多种型式，主要指涡旋式、水力式等型式的搅拌机。目前国内使用较多的高速搅拌机（制浆机），是一种涡旋式搅拌机，搅拌电机转速需大于 1200r/min ，可以搅拌水灰比 $0.45:1$ 以上的水泥浆或黏度相当的水泥黏土浆。

膏状浆液、沥青等高内聚力浆液需使用大扭矩的叶片式搅拌机，如强制式混凝土搅拌机和自制的专用搅拌机。

3.2.2 除通常采用的活塞式和柱塞式灌浆泵外，膏浆灌注可以选择螺杆式、螺旋式或者其他型式的灌浆泵。采用热沥青灌浆时，浆液需要保温。有时为了增加浆液的比重，通常会加入水泥、砂等填料，因此，需选择能保温、能泵入一定直径颗粒的特制灌浆泵。

条文中对灌浆泵压力波动和配置空气蓄能器的要求主要针对常规流动性的浆液。

3.2.4 膏状浆液和沥青等高内聚力浆液在灌浆过程中管路压力损失所占比例较大，而且其内聚力在灌浆过程中会快速增加，极易造成管路堵塞，因此其管路长度通常不大于 20m ，所选取的灌浆泵的最大压力一般在 5MPa 以上。

3.2.7 原规范第 2.2.4 条和第 2.2.6 条均规定了压力表的量程范围，对比两者之间的差异，统一规定灌浆压力表的最大标值，既能满足高压灌浆要求，也能满足低压灌浆要求。

3.2.8 目前市场上的灌浆记录仪型号较多、功能不一，对于一般灌浆工程的基本需求而言，灌浆记录仪能测记灌浆压力、注入率两个参数即可。有些重要工程或灌浆试验还要求测记浆液密度和抬动变形，可以根据需要选用。

就目前的电子技术水平而言，对于一般灌浆工程来说，灌浆记录仪硬件的精度是足够的，施工中的关键是要通过管理和技术手段防止记录成果的失真。

另外，在灌浆作业进入结束阶段时，注入率小于 1L/min ，记录仪流量计的精度大大降低。当使用大循环双流量计时，精度

加倍降低。必要时此刻可以辅以手工记录。

3.2.11 为了保持灌浆计量器具的量值准确，必须定期进行校验或检定。校验，是指对所使用的自制、专用和非强制检定的通用计量、检测器具，按照规定的标准和方法检查其性能是否符合规定的要求。检定，即计量检定，是指为评定计量器具的计量性能，确定其是否合格所进行的全部工作。计量检定必须按照国家计量检定系统表进行，必须执行计量检定规程。根据中华人民共和国计量法，施工企业所使用的大部分计量器具不在强制检定范围，可以由企业自行校验。监理工程师可以对承包商的校验工作进行见证。

3.3 制 浆

3.3.2 灌浆浆液中掺加膨润土时，膨润土一般预先加水润胀。润胀，或称溶胀、水化、膨化、湿化，是指将干膨润土加水湿润或搅拌后放置一段时间，以待膨润土矿物成分充分吸水膨胀。膨润土达到完全润胀的时间随膨润土品种、性能而异，通常需要7~24h。当少量使用或需要立即使用时，也可干掺，干掺时应适当延长膨润土浆的搅拌时间，日本资料称，高速搅拌4min时膨润土的润胀程度可达93%，搅拌9min可达100%。黏土与其情况类似。国内工程实践中也有采用具有高剪切粉碎搅拌功能的专用设备直接拌制土料成浆的。

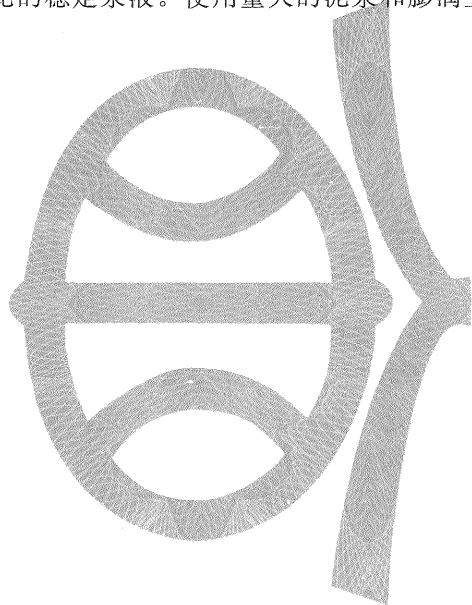
3.3.3 因为细水泥较普通水泥具有较高的表面活性，在相同水灰比下易凝聚结团，必须采用机械分散和化学分散；稳定浆液也必须采用机械分散和化学分散才能达到良好的性能。另外，这两类浆液黏度较大，必须加入减水剂，改善其流动性能。

膏状浆液搅拌机尚无定型产品，有的单位研制了专用的膏浆搅拌机，有的以混凝土搅拌机、强制式搅拌机代用。膏状浆液可以根据凝结时间的不同分普通和速凝膏状浆液，凝结时间差异较大，因此，搅拌时间要根据膏浆的凝结时间和搅拌均匀的要求通过试验确定。

热沥青浆液施工温度通常需大于 80°C ，现场制浆设备需采用专用沥青搅拌设备或对相关设备进行保温处理，搅拌时间要满足掺合料搅拌均匀。

3.3.4 试验证明，浆液一般有最佳搅拌时间，超过此时间后其结石强度将会降低，甚至不凝固。超过最佳搅拌时间的浆液一般予以废弃。

3.3.5 在使用稳定浆液灌浆的工地，集中制浆站也可以直接制备固定水灰比的稳定浆液。使用量大的泥浆和膨润土浆一般也集中配制。



4 现场灌浆试验

4.0.1 由于各工程的规模、功能要求和地质条件不同，坝型各异，水工设计对建筑物地基的要求也不尽相同，具体的灌浆条件也不一样，所以，以往同类工程的灌浆经验，可以作为参考，一般不直接搬用。为了使具体工程的灌浆设计与施工（包括灌浆孔布置、灌浆深度、灌浆施工工艺与要求等）更符合实际情况，更为经济合理，在大型工程、重要工程、存在复杂地质条件和重大地质缺陷的工程中，必须进行先期现场灌浆试验，以试验成果作为指导工程灌浆设计、施工的基本依据。因此，《工程建设标准强制性条文》（水利工程部分 2010）作出了灌浆工程中需进行现场灌浆试验的专门规定，相关的重力坝设计规范等也对此作出了明确要求。

其他认为有必要进行现场试验的灌浆工程，主要指枢纽工程中存在对总体或某个建筑物安全有重要影响的深厚覆盖层、特殊地层与复杂地质问题（如松散体、强透水层、破碎带等）的灌浆处理工程，以及采用特殊灌浆方法与灌浆材料（如新方法与新材料）、灌浆条件恶劣（如高水头）、技术难度较高效果难以掌控的灌浆工程。其试验往往具有较强的针对性，且不一定是存在于规模较大的枢纽工程中。

4.0.2 现场灌浆试验在何阶段进行，对灌浆工程设计、施工有着重要的影响。如在初步设计阶段进行，其优点是灌浆试验有利于工程中灌浆设计方案的落实与细化，缺点是初设审定后，当存在布置调整或进一步查明新的地质问题时，其适应性较差，有时需作补充灌浆试验。如在招标设计阶段进行，其优点是灌浆试验针对性较好，缺点是在工程面临开工的情况下，存在一定的试验工期压力与施工干扰。目前大多数工程是在招标前期进行。有的重要工程，或地质条件复杂的工程，如地基中有大的构造断裂和

破碎带、透水性严重、岩层特别软弱，或处于深厚覆盖层上面等，地基处理对选定坝址坝线具有重要影响，也曾可在可研阶段进行灌浆试验。也有在施工详图阶段边进行灌浆施工边进行灌浆试验的。还有的工程在各个阶段都安排了不同深度、不同内容的灌浆试验。工程规模不大，地质条件较好，类似工程经验较多时，也有将该项试验与施工阶段的生产性试验一并结合进行的。

本条规定灌浆试验宜在初步设计阶段或招标设计阶段进行，是根据一般工程特点提出的，由于各工程的施工条件、进度安排不同，具体安排在哪一阶段进行，要根据各工程的具体情况分析确定。鉴于现代工程建设速度不断加快，原则上在满足工程要求的前提下尽量及早安排实施。

各工程的特点、要求、地质与施工条件不同，灌浆试验要解决的主要问题和采用的手段不同，试验内容的侧重点也不一样，灌浆试验设计中，要根据具体工程情况分主次进行。

4.0.3 场地选择与方案确定是灌浆试验的两项重点工作，两者相互关联。由于各工程的情况不同，对其很难作出统一的规定。本条列出需考虑的一些主要因素，实施中要灵活分析。

一般来说，灌浆试验场地选择需考虑几方面的条件：地质条件具有代表性，常规灌浆试验可以选在未来灌浆施工区域地质条件中等偏差的地段，基岩中的软弱夹层、断层破碎带、糜棱岩、性状很差的岩脉、强岩溶发育区等部位要予以重点考虑，或设专门试区。帷幕灌浆试验区可以选在拟定防渗帷幕的上游部位，灌浆试验完后，即使灌浆质量未达到要求，也不影响将来防渗帷幕的修建，还可以起到幕前深孔固结作用，有利于坝基防渗；如地质条件简单，灌浆质量有保证时，灌浆试验区也可以选在拟定的防渗帷幕线上，这样不仅所得灌浆成果资料更切实际，试验帷幕还可以作为永久工程的一部分，从而节省工程费用。固结灌浆试验区可以选在坝基需要处理的部位，试验工程即作为永久工程固结灌浆的一部分。另外，由于各工程的要求不同，或地质条件复杂而差异又大，有时需选择多个试验区进行试验。此外，选择灌

浆试验位置时还需考虑场地地形、机械设备与材料运输、水电供应、人员交通等条件，与其他施工干扰宜小。试验区还要远离岸坡临空面。同时，辅助工程量宜小，尽量选择在地势相对平缓部位或现有洞室内，使开挖、场平等辅助工程量小，节约投资及便于管理。

试验方案及试验规模直接关系到试验的目标和经济性。既具有代表性、全面反映工程特点、取得所需数据与支持依据，又满足工程进度与经济性要求的试验方案是所期望的目标。值得一提的是试验的经济性，有的工程总灌浆工程量不大，一项试验的费用有时占到总灌浆工程费的较大比例，而试验又是必须的，如果不能很好地与后期结合利用或优化试验方案，从经济性方面来说是很不合理的，这时，往往对灌浆试验方案的设计提出了很高的要求。

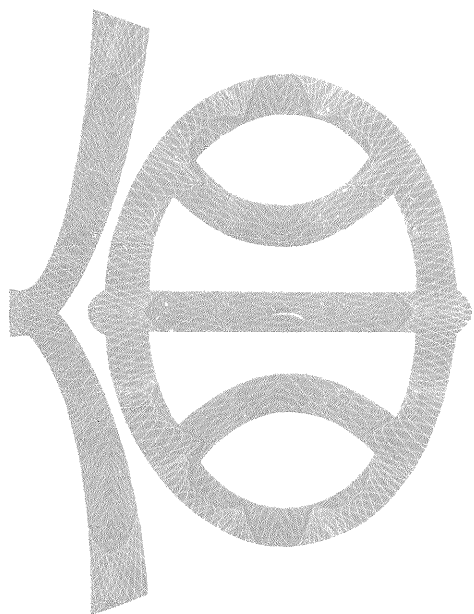
灌浆试验是一项繁杂而细致的工作。灌浆试验虽工程量不大，但要试验的项目、内容多，程序、步骤多而杂，测试项目多，因而要求试验方案完整、周密，对试验项目的先后顺序、施工步骤、工序衔接及试验中可能出现不同情况时的应对措施等作出细致安排。为了达到预期目的，有时需要根据试验过程中出现的新情况及时调整或补充部分试验项目或内容。同时，工程尚处勘测或筹建阶段，试验现场的生产、生活、交通常常十分困难，试验施工可能费时较长，要做好详细的计划与安排。

4.0.4 灌浆试验后期的测试工作非常重要。测试的项目要能满足评价灌浆效果的需要，通常会比施工阶段多一些，但也不要太多太滥。试验施工后的待凝和测试都需要足够的时间，必须予以保证。

4.0.6 当现场试验灌浆工程后期利用作为永久工程时，除需按试验目的与要求提交灌浆试验报告外，还需按第 11 章要求提交相关施工记录与竣工资料。生产性试验工程本身就是施工的一部分，需按第 11 章要求提交相关施工记录与资料及试验报告。

4.0.7 灌浆工程设计施工详图和施工技术要求是灌浆施工的基

本依据。施工组织设计是实施灌浆工程施工的一系列施工技术、施工工艺和施工组织措施，两者都有一个试生产的过程，同时，尚需对前期灌浆试验成果进一步验证，这就是生产性灌浆试验的目的。它与勘测设计阶段现场灌浆试验的目的和要求是不同的。



5 基岩帷幕灌浆

5.1 一般规定

5.1.1 全强风化岩层、大型岩溶充填物、宽大软弱构造带的灌浆与基岩灌浆在工艺、方法、材料等方面存在较多差异，因此本条规定了各自的执行要求。

5.1.2 《混凝土重力坝设计规范》(SL 319—2005)第 7.4.4 条规定“帷幕灌浆应在水库蓄水前完成”，是为了确保帷幕灌浆的质量和蓄水的顺利进行。本条文是对该条文的进一步细化。

许多工程实例证明，在地下水条件下进行帷幕灌浆时，其灌浆效果往往较差，质量难以保证。因此，要求在相应蓄水位达到前需完成其以下的帷幕灌浆并检查合格。要求检查合格是为了在检查有不合格情况时，能及时补救，直至满足挡水要求。

有的工程因特殊原因在蓄水前来不及完成全部帷幕灌浆，或不能在蓄水过程中完成相应蓄水位以下的帷幕灌浆，如在岸坡部位，特别是拱坝岸坡部位往往在上下层廊道或灌浆平洞间存留三角形未灌区，这些部位位于建基面或临近建基面，严格地说，这种情况不具备挡水条件。但为了保证蓄水，经过论证分析认为至少需完成近岸段一定范围内的帷幕灌浆。这种近岸段“一定范围”在不同工程条件下存在较大差异，有的工程规定近岸段 30m 以内，有的工程位于岩溶地区规定近岸段 200m 以内，有的工程则要求需包括岸坡地下厂房以内的地段，很难统一定出一个固定值，要根据各工程的具体情况分析确定。

至于远岸段剩余的帷幕灌浆，系在地下水条件下进行，特别是当灌浆孔较深而多段位于地下水条件下灌浆时，需要进行充分的分析论证。一些工程中，为此采取了在蓄水前先完成一排帷幕灌浆或设置临时帷幕，后期再进行后续排帷幕灌浆或主帷幕灌浆的应对措施，均取得了成功。

另外,水库蓄水后孔口高程低于库水位的帷幕灌浆孔常会出现孔口涌水情况,增加了灌浆施工的难度,灌浆质量也不易保证。根据经验,当孔口涌水压力大于 0.2MPa 时,灌浆施工尤为困难。我国有些大坝坝基帷幕灌浆为处理此类问题,耗费了较多的时间、材料和人力,要引以为戒。

5.1.3 本条是新增条文,规定了帷幕灌浆施工前要具备的条件。通过对这些相关条件的分析研判,可以提前发现问题,减少失误,也便于灌浆工程的进度安排。

1 帷幕灌浆的压力一般较大,需在有盖重条件下进行。对上部结构混凝土盖重厚度提出一定要求,有利于提升灌浆压力、减少抬动、保证灌浆质量。但盖重厚度定得过高虽有利于灌浆质量,却不利于灌浆工期。许多大型工程中规定上部混凝土厚度不小于 30m ,也有规定不小于 20m 的。考虑到一些工程中的大坝不高,特别是中小工程,如上部混凝土厚度要求过高,往往使帷幕灌浆开工时间过于滞后,工期难以保证,蓄水压力较大。况且灌浆压力的大小还与基岩自身条件有很大关系。初步统计国内大型工程一般约为坝高的 $1/8\sim 1/5$ 。设计时应综合分析确定,一般高坝可考虑盖重大一些,低坝可小一些。

防渗墙与覆盖层下帷幕灌浆时,由于其施工方法各异,要根据具体情况作出相应的规定。

2 固结灌浆由于孔浅,采用的灌浆压力较小,相应盖重也小,且布置在大面积上,因此要先安排施工,这样既可以使混凝土钻孔工程量小,又可以减少帷幕灌浆时的串、冒浆情况,有利于帷幕灌浆采用较大压力。

岸坡接触灌浆是采用灌浆充填混凝土结构与建基面间的张开缝,其先行灌浆对提高后期帷幕灌浆压力、减少抬动和串漏、保证灌浆质量有利,反之则不仅影响帷幕灌浆质量,且会损坏部分接触灌浆设施、堵塞管路。由于岸坡接触灌浆往往需要等坝体混凝土上升达到一定高度并充分冷却后进行,这样与帷幕灌浆的矛盾十分突出,特别在高拱坝中,这种现象十分普遍。通常采用的

做法是：①距离接触灌浆区一定范围外的帷幕灌浆先灌，近接触灌浆区待接触灌浆完成后再进行帷幕灌浆；②在前法的基础上，将接触灌浆区的帷幕灌浆又分上部和下部进行，先进行下部基岩帷幕灌浆，待接触灌浆完成后再进行上部帷幕灌浆。这样帷幕灌浆的工期压力将大大减小。

3 本款要求均为帷幕灌浆正常进行所必须的。

4 对灌浆区相邻 30m 范围边界条件的规定是多年来国内一些工程中采用的做法。

5.1.4 对帷幕灌浆（含搭接帷幕灌浆）及与其相关的一些项目的施工时间作好统筹安排，是为了避免或减少相互之间的工期制约和施工干扰，确保工程建设的顺利进行。

5.1.6 灌浆孔的上下游排，是依据帷幕的具体挡水方向确定的，有时并不一定与河流的上下游一致。

5.1.7 布设先导孔是为了核对或补充勘探资料，尽可能准确地掌握灌区地质情况，特别是对设计帷幕底线进行验证与确认，以便有针对性地进行灌浆。先导孔需最先施工，也需布置在最深的一排孔中。先导孔需参照相应《水利水电工程钻探规程》（SL 291—2003）的要求进行施工，采取岩芯，分段进行压水试验、分段灌浆。先导孔的深度一般深入帷幕底线以下 1~2 个灌段，中小工程中也有深入帷幕底线以下 2~3m。

先导孔虽然具有补充勘探的性质，但需注意它只是兼顾一定探测任务的先行灌浆孔，而不是勘探孔，不能把勘探阶段的任务随意转移到先导孔来完成。

5.1.8 采用自上而下分段灌浆法或孔口封闭灌浆法进行帷幕灌浆时，在正常情况下，相邻两个次序的灌浆孔（同一排或不同排）需待先序（排）孔全孔施工完毕以后再开始后序（排）孔的施工。但工程中往往工期紧迫，于是在施工实践中广泛采用了后序（排）孔较先序（排）孔滞后 15m（通常为 3 个灌浆段），并行施工的方法。实践证明，在一般地质条件下相邻孔串浆的可能性较小，但对加快施工进度十分有利。

采用自下而上分段灌浆法进行灌浆时，邻孔同时灌浆很容易串漏，甚至造成事故，故要求严格分序施工。

5.1.9 许多工程中曾采用或试用混凝土防渗墙内预埋导管和覆盖层护壁套管作为孔口管进行孔口封闭法灌浆，出现的主要问题是：因管底处通常存有沉碴、淤泥等，而导管或套管又没有嵌入基岩中，导致灌浆过程中不能正常升压，或当压力升高时，在管底处产生击穿，不仅反复待凝与复灌费时较长，而且耗浆量大；还由于压力很难升至设计压力而使下部基岩段灌浆质量受到影响。因此，直接使用预埋灌浆管作为孔口管灌浆是不妥的。

为了解决这一问题，许多工程中进行了有益的探索，通常的几种做法：①在导管或套管内阻塞进行第1段（接触段）灌浆（视情况复灌）后，重新下入孔口管至基岩内，利用嵌岩的孔口管进行以下基岩段灌浆，其优点是下部基岩灌浆压力可保证，缺点是管材消耗多；②在导管内对下部基岩采用分段钻进和分段阻塞灌浆，其优点是耗材少，缺点是孔较深时下部灌浆段阻塞费力。在南水北调中线一期陶岔渠首工程覆盖层下基岩灌浆施工中，经灌浆试验探索全部采用了变径搭接管方式，即利用埋管采用孔口封闭法或管内阻塞法进行第1段（接触段）灌浆后，在管内再下入一节变径短管，短管下部嵌岩2~3m，上部与埋管搭接1.5m左右，以下各段基岩均采用孔口封闭法灌浆，获得了良好效果。

5.1.10 一般指紧邻防渗帷幕的主排水孔、扬压力观测孔。离帷幕较远的辅助排水孔可以视情况处理。

5.1.11 一些工程通常规定允许抬动值不大于200 μm ，具体到某工程要根据地质条件和抬动可能造成危害分析确定。实际作业时要努力控制灌浆在无抬动条件下进行。为了防止岩层或混凝土面抬动，在一些敏感部位安设抬动监测装置是必要的。抬动观测装置通常使用千分表或位移传感器，对于抬动量大或工作面上不易安设和保护抬动监测装置的部位，需增加水准观测。

另外，有些工程抬动监测装置安设过多过滥，有的没有必

要，有的没有很好利用，有的早已损坏，徒然增加了工程成本。为防止岩层或混凝土面抬动，从根本上要靠灌浆压力的合理设置，要靠灌浆作业人员的责任心和技术水平，而不是靠仪器监测。

5.2 钻 孔

5.2.1 实践证明，帷幕灌浆孔采用回转式、冲击式和冲击回转式钻机钻进都是可行的。具体采用哪一种，需根据地质条件、灌浆施工方法与钻孔要求来选择。回转式与冲击式两类钻孔方法各有其优缺点，前者孔形较好，但工效较低；后者钻进工效高，但因其是无岩芯钻进，岩粉、岩屑较多，要加强钻孔和裂隙冲洗，冲击式钻孔的孔斜率通常也高于回转式钻进。

对页岩、黏土岩等遇水易软化的岩石，要根据其具体特性，选用合适的钻机钻进。

5.2.2 孔位偏差系指对任何方向而言。

5.2.3 钻孔取芯、压水试验、物探测试、抬动监测、灌浆施工等各自对钻孔孔径的要求不同，要根据其使用要求和钻孔条件等确定。使用同一种方法钻孔，一般说来孔径小的钻进快，成本低。而对于循环式灌浆来说，小孔径钻孔灌浆时浆液流动速度快，可以减少浆液在钻孔内的沉淀，从而减少灌浆管在孔内被凝住事故；但对于分段循环式灌浆，孔径需满足安装灌浆塞的需要，因而孔径又不能太小。

帷幕灌浆孔一般采用一径到底的结构，对于变径的深孔，终孔段孔径需满足上述要求。

5.2.4 帷幕灌浆中的各类钻孔一般都要进行孔斜测量，其检测频率、测斜方法和使用仪器可以根据具体工程要求确定。

表 5.2.4 中孔底偏距基本按照原规范的尺度延伸至 100m，自 100m 以后，孔斜率保持在 2.5%。实际上孔斜的发展规律是随着孔深的增加而偏距增加越快，所以对于深孔来说，要以控制孔底偏距为目标，有针对性地进行钻孔偏斜设计，而不能简单地

套用表中各段孔深对应的偏距。也不可能要求钻孔越深偏斜率越小,那样要么做不到,要么需付出高昂但并不必要的代价。在工程中,如果遇到大于 70m 深的帷幕,设计上一般考虑分为两层施工,或增加帷幕孔排数。

顶角大于 5° 的斜孔孔底允许偏差值“适当放宽”的尺度,根据工程具体情况确定,有的工程坝基倾斜帷幕灌浆孔(顶角 30°)孔底最大允许偏差值比垂直孔增加 50%。

钻孔开孔后,孔口 20m 范围内的孔斜控制至关重要,一定要保证孔向准确,再往下继续使用较长的粗径钻具(钻头加岩芯管)并适当控制压力,就不易偏斜。

若钻孔偏斜超过设计要求,需对该孔和相邻孔的灌浆情况进行分析,如出现明显异常,则要考虑采取补救措施,通常可以在其旁布设一个检查孔,既可以检查原灌孔的灌浆质量,又可以作为补强孔,弥补原灌孔偏斜过大的缺陷。若这些检查孔压水试验成果达到设计要求,则可以认为该单元工程帷幕灌浆质量合格。

5.2.5 即在这种情况下不必按原定的段长(如 5m)分段钻灌,而要及时进行处理。

5.2.6 钻孔冲洗,包括孔壁和孔底沉淀物的冲洗。冲洗方法为利用钻杆或下入导管至孔(段)底,通入大流量水流,将孔内岩粉、沉渣等冲出,至孔底沉淀物厚度小于 20cm 或回水澄清时止。钻孔冲洗工序为钻孔工作的一部分。

当钻孔遇有遇水崩解、软化的软岩时,也要考虑钻进方式的适宜性。

5.2.8 这样做便于在灌浆时采取有针对性的技术措施,确保灌浆质量。若一旦发生质量问题,也便于查考处理。

5.3 裂隙冲洗和压水试验

5.3.1 裂隙冲洗,指对钻孔四周一定范围内岩体裂隙的冲洗。通常采用压力水冲洗,即在固定灌浆塞后通过射浆管(或钻杆)向钻孔内泵入压力水流,使裂隙中的充填物被流动水冲刷至孔外

或被压力水推赶至离孔较远端。裂隙冲洗的水流方式一般为循环式，采用纯压式灌浆方式进行裂隙冲洗时，因冲洗液不能返出孔外，因此一般只在裂隙发育地段或其他认为必要的地段进行。

工程实践证明，一般地层采用孔口封闭法进行高压帷幕灌浆时，不进行严格的裂隙冲洗也能保证灌浆的效果。在隔河岩（灰岩）、三峡（花岗岩）、水布垭（灰岩）、彭水（灰岩）、构皮滩（灰岩）、皂市（石英砂岩、砂岩黏土岩互层）、寺坪（页岩）等水利工程的不同岩体中，都只是结合简易压水试验进行了一般的裂隙冲洗，灌浆均取得了成功。

采用自下而上分段灌浆法时，除在孔底段灌浆前可以进行一次全孔裂隙冲洗外，其余各段在灌浆前一般不进行裂隙冲洗或简易压水试验，以免影响前一段灌注浆液的凝固，对灌浆质量不利。

各孔段裂隙冲洗的压力可以采用该孔段灌浆压力的 80% 并不大于 1MPa（自下而上分段灌浆时，全孔一次裂隙冲洗压力可以采用孔口段灌浆压力的 80% 并不大于 1MPa）。冲洗时间最多 20min 或小于 20min（回水很快清静），过长时间的冲洗起不到作用，注入大量的水反而有害。

5.3.2 先导孔的压水试验要求较为精确，所以不论采用孔口封闭灌浆法、自上而下分段灌浆法或自下而上分段灌浆法，其先导孔压水试验均需自上而下分段进行。

本次修订对原规范中有关压水试验的方法和压力重新做了规定：

（1）先导孔和检查孔压水试验一般使用单点法。这是因为灌浆工程压水试验的任务主要是求得岩体的透水率，先导孔作为指导施工的参考依据，检查孔作为灌浆效果和质量的的评价依据，一般不进行流态分析，而单点法压水试验已经可以满足这一要求，因此不需要进行三级压力五个阶段的五点法试验。

灌浆试验的任务不像施工那样单纯，要对岩体的渗透性、可灌性，帷幕的渗透稳定性等进行试验和评价，因此全部或部分采

用五点法压水试验是必要的。

(2) 依据坝高(帷幕承受水头)和灌浆压力对检查孔压水试验的压力等级进行了适当简化和调整,坝高延伸到200m以上。近些年来,我国高坝建设很多,有的工程对承受高水头的帷幕希望采用较高压力进行压水试验检查。表B.0.3规定可以采用1倍水头压力并不大于2MPa,这是因为帷幕检查孔都是布置在中心线上,试验时幕体内的渗径是幕厚的一半,如果以1倍水头压力压水的话,理论安全系数为2。另外,水的渗透、劈裂能力很强,岩体裂隙的抗劈裂能力一般较弱,大于2MPa的压力很容易将已经灌注好的帷幕体劈裂,这是有害的。但对于灌浆试验来说,因为要获得多种条件下的数据,可以不必受此限制。

5.3.3 简易压水试验与裂隙冲洗工艺相同,因此两者结合进行可以节省工时。许多工程这样执行已取得良好效果。

5.3.4 地质条件复杂地区,情况差别很大,工程要求不一,是否需要进行裂隙冲洗或采用何种冲洗方法,一般通过现场灌浆试验来具体确定,也可以根据类似工程的实践经验确定。经验表明,在岩溶泥质充填物和遇水性能易恶化的岩层中,进行裂隙冲洗和压水试验,不仅达不到冲洗的目的,而且还会恶化岩体性能,影响灌浆质量。天生桥二级水电站引水隧洞不良地质地段围岩固结灌浆和新疆克孜尔水库主坝右坝肩岩体固结灌浆等工程曾遇到了这样的问题,采取了本条措施。在岩溶充填物以黏土为主的地段,帷幕灌浆孔可以不进行裂隙冲洗,而采用高压灌浆方法解决,这在乌江渡水电站、东风水电站、隔河岩水电站坝基帷幕灌浆施工中均已取得很好的成效。

当灌浆孔串通时,其裂隙冲洗方法和冲洗时间根据裂隙发育情况、连通性等具体确定。已建工程中多采用压力水轮换进行裂隙冲洗,即将2个或多个串通孔同时安装灌浆塞,采用一孔进水,另一孔出水的方式,冲洗一定时间后,依次轮换进、出水孔进行冲洗,一般要求总冲洗时间不少于2h。当冲洗效果不佳时,可以采用风、水轮换冲洗。

5.4 灌浆方法和灌浆方式

5.4.1 具体地说,地质条件较差灌浆阻塞困难或工程防渗要求较高时,一般采用孔口封闭灌浆法、自上而下分段灌浆法。地质条件较好时,可以采用自下而上分段灌浆法。地层变化大时可采用自上而下和自下而上相结合的综合灌浆法。

5.4.2 具体地说,自上而下分段灌浆法可以采用循环式灌浆或纯压式灌浆;自下而上分段灌浆法可以采用纯压式灌浆;孔口封闭灌浆法采用循环式灌浆。稳定性浆液可以采用纯压式灌浆,易于沉淀分离的浆液一般采用循环式灌浆。

5.4.3 本条文对原规范做了适当修改,有利于加快施工速度。一般在下列条件下灌浆段长可加长:

(1) 岩体相对完整、裂隙不甚发育、透水率不大时,当前序孔(如Ⅰ序孔、Ⅱ序孔)灌浆单位注入量不大,且能一次灌浆正常结束,其后序孔(如Ⅲ序孔)灌浆段长可以适当加大。有的工程规定如灌前压水试验透水率小于 $1Lu$ 时,可以与下一段合并灌注。

(2) 地层均一,基岩裂隙主要为短小或微裂隙,灌浆吸浆量普遍不大,灌浆段长可以视情况适当加大。

(3) 孔底段,深入基岩隔水层内或基岩透水率接近设计防渗标准时,其灌浆段可以适当加长。

原规范规定,接触段的长度不大于 $2m$ 。本条文改为 $1\sim 3m$,具体根据地质条件和灌浆压力选用。

5.4.4 第1段(接触段)灌浆时,灌浆塞跨混凝土与基岩接触面安放,有利于提高灌浆压力和防止基岩或混凝土发生抬动变形。

5.4.5 采用自下而上灌浆法时,由于多种原因,有时灌浆塞在规定的位置卡不住,不得不上提,甚至多次上提致使灌浆段很长,影响灌浆质量。对这样的孔段的灌浆效果需进行分析甄别,必要时采取补救措施,如可以对该部位重新扫孔进行分段复灌,

或以后在其旁布设检查孔，一方面检查灌浆质量；另一方面利用检查孔进行灌浆，起到补强的作用等。

5.4.6 接触段一般为基岩薄弱部位且上部直接面临混凝土结构物，采用自上而下灌浆法和孔口封闭灌浆法时，对接触段先行灌浆并待凝，有利于防止混凝土结构物在以下孔段的灌浆时发生抬动，也有利于上部岩体形成较坚固的盖重，以提高下部基岩的灌浆压力。

长期的施工实践证明，在灌浆正常结束的条件下，已经灌入到岩石裂隙内的水泥浆液，不会在下一个灌浆段钻进时被循环水流冲洗出来，所以一般不需待凝。但遇灌浆前孔口涌水、灌浆后孔口返浆、不能正常结束灌浆、地质条件复杂，以及灌浆压力很低等情况时，待凝是必要的，待凝时间根据工程具体情况确定。

各工程具体情况不同，所需待凝时间长短也不一。三峡水利枢纽工程防渗帷幕高压灌浆，微裂隙地层个别涌水，当涌水压力小于 0.1MPa 时待凝 12h，不小于 0.1MPa 时待凝 24h，效果较好。丹江口水库大坝加高工程高水头下帷幕补强灌浆试验中，高压灌浆，微裂隙且不发育地层，有涌水，试验结果待凝 3h、6h、12h、24h 无明显差异，推荐 6h。南水北调中线一期陶岔渠首工程黏土覆盖层下基岩灌浆试验中，岩溶地层接触段待凝 12h 效果差，24h 效果好，推荐 24h；亭子口水利工程现场灌浆试验和施工中，风化与卸荷砂岩透水率大，试验待凝 12h 效果差，24h 效果好。

上述工程实例表明，微裂隙岩体中，采用高压灌浆时，即使在涌水情况下，待凝 6~12h，已经可以满足要求；在风化软岩中，由于可以耐受的灌浆压力较小，即使在无涌水情况下，仍需待凝 24h 以上方有效。

5.4.7 先导孔本身也是灌浆孔，需妥善进行灌浆。如采用自上而下分段进行压水试验和灌浆的方法，即每段灌浆在该孔段压水试验完毕后立即进行，这样做对压水试验成果的精确

性会有些微影响，但对灌浆是有利的，而这正是工程的主要目的。

5.4.8 这样规定的主要理由是，灌浆前做的简易压水试验所用的压力小，而灌浆时所用的压力大，有时透水率小于 1Lu 的孔段，在较大的灌浆压力下，也能灌入较多浆液。灌浆施工实践中，就经常发生一个灌浆段的透水率虽小，但注入水泥量却较大的情况。所以既然灌浆段已钻完，且已安装好灌浆塞，接着进行灌浆既不很费事，且可以避免失误。

5.5 灌浆压力和浆液变换

5.5.1 灌浆压力是保证和控制灌浆质量的重要因素，对工程安全和造价也有重要影响。近 30 年来工程界趋向于尽量采用较高的灌浆压力，传统的经验公式多已不适用，因此，工程类比和现场灌浆试验已成为确定灌浆压力的主要途径。探索既不引起有害的抬动变形和岩体劈裂，又能保证灌浆效果的合适的灌浆压力，通常是现场灌浆试验中的一项主要内容。

5.5.2 从理论上讲，灌浆压力是孔内灌浆段中点处所承受的压强，施工中以孔口安装的压力表或压力变送器测得的压力表示，两者一般存在一定的差异，且压力表或压力变送器离孔口越远，其差异越大，因此，本条文规定压力表或压力变送器与孔口间管路长度不大于 5m 。

灌浆压力记读压力表指针摆动的“中值”（平均值），或是“峰值”（最大值），都是可行的。从理论上讲，中值较峰值更能代表对灌浆段实际施加的总能量。

灌浆压力必须稳定，本条与 3.2.2 条规定灌浆泵压力波动值一般小于 20% 要求是一致的。压力波动的主要原因在于灌浆泵的类型及其工作状态。使用单缸泵，摆动就大，使用双缸泵或三缸泵，摆动就会小些。灌浆泵使用时间过久或维修不善，也会加大压力波动。所以必须重视灌浆泵的选用，注意维护保养，使其保持良好的工作状态。

记读灌浆压力值的方法，在技术要求中必须标明。高压灌浆时，为了防止发生过大地面抬动或岩层破坏，一般还对最大限值提出要求。同一工程中记读灌浆压力的方法必须保持一致。

使用灌浆记录仪可以方便地测记灌浆时段内的平均压力和最大压力，这对分析灌浆过程、控制灌浆质量十分有利。采用灌浆记录仪进行灌浆数据采集时，灌浆孔孔口处同时安装压力变送器与压力表，对灌浆很有好处。安装一个压力表很简单，却可以构成对两者显示的实际灌浆压力进行相互的动态校验，特别是当其中一个被浆液堵塞时（两者相关性发生异常），可以及时发现问题，及时处理问题。

5.5.3 原规范规定“灌浆需尽快达到设计压力，但注入率大时需分级升压”。近年来，一些工程只注意了该条文前半部分，片面追求高压、大注入量，造成浪费和地层抬动。因此，本条文不再强调一次升压法，而提倡分级升压法。一般来说，在地质条件较好、注入率较小时，灌浆一开始需尽快达到设计压力；反之，或在情况不甚明了时，需分级提高灌浆压力。

根据现场灌浆试验成果与受灌基岩地质条件，拟定工程应用的灌浆压力与灌浆注入率对应关系表（见表9），在灌浆过程中，按灌浆压力与注入率对应关系控制压力的升降，这样做非常方便，也可以避免出现大的失误。目前许多工程中都已采用了这种做法。

5.5.4 原规范规定浆液水灰比为5、3、2、1、0.8、0.6、0.5六级，本条文将0.8、0.6两级合并为0.7，各比级含水泥量差值较均匀，也更简便。

表5为某工程采用的纯水泥浆的流变参数资料。从表中可见水灰比为3、5和10的水泥浆的两项参数比较接近，因此，从可灌性的角度考虑，开灌浆液水灰比采用3和5差别不大，但从灌浆的勘探性质和节约水泥综合考虑，采用循环式灌浆时开灌水灰比采用5是适宜的。

表 5 纯水泥浆的塑性屈服强度和黏度

水灰比	屈服强度 (Pa)	黏度 (mPa · s)	水灰比	屈服强度 (Pa)	黏度 (mPa · s)
0.3	384	403	1.0	2	6
0.4	67	90	2.0	1	2.5
0.5	23	37	3.0	0.7	1.8
0.6	12	20	5.0	0.53	1.4
0.7	7	13	10.0	0.43	1.2
0.8	5.5	12	水	0	1.0
注：浆液的塑性屈服强度和黏度与水泥品种、试验条件等有关，表中数据仅供参考。					

由于细水泥浆的水泥颗粒细，比表面积大，活性高，浆液保水性强，为保证水泥结石有一定的强度和提灌浆质量，采用比普通水泥更小一些的水灰比。同时细水泥灌浆中通常掺加适量的外加剂，使浆液流动性增强，也适合水泥含量多一些的浆液灌注。但具体选用哪种水灰比开灌需根据具体工程地质条件、基岩的可灌性和灌浆压力的大小综合确定。

另外，细水泥主要在微小裂隙地层使用，且多配合高压力灌浆，但这种地层灌浆常易产生析水回浓。考虑到这一点，细水泥浆液开灌水灰比采用 3 更有利一些。

长江科学院针对三峡水利枢纽工程帷幕灌浆中所用湿磨细水泥浆材（525 号普硅水泥湿磨，掺加 1% JG-2 减水剂）进行了室内模拟灌浆试验，比较在常压（大气压）和高压（5MPa）两种条件下的循环灌浆 1h 形成的水泥结石性能。试验结果见表 6。

表 6 常压和高压下浆液结石性能试验结果

测试内容	压力	W/C=3	W/C=2	W/C=1	W/C=0.6
凝结时间（初/终） (h: min)	常压	16: 30/ 26: 05	15: 49/ 21: 25	14: 48/ 20: 21	8: 28/ 12: 33
	高压	已终凝	已终凝	已终凝	已终凝

表 6 (续)

测试内容	压力	W/C=3	W/C=2	W/C=1	W/C=0.6
7d 抗压强度 (MPa)	常压	4.22	7.0	12.4	15.2
	高压	70.8	94.5	95.1	70.7
28d 抗压强度 (MPa)	常压	12.2	17.0	22.2	28.2
	高压	105.0	109.0	112.0	96.3
28d 抗渗 (试件开始透水的 压力, MPa)	常压	0.4	0.6	1.0	>3.0
	高压	>3.0	>3.0	>3.0	>3.0

试验表明, 在常压试验条件下, 不同水灰比浆液的凝结时间均较长, 浆液结石的抗压和抗渗强度存在明显的差异, 且强度值普遍较低。在 5MPa 压力作用后, 不同水灰比浆液均已终凝; 浆液结石的强度值较常压下有显著增加, 且各种水灰比浆液结石的抗压和抗渗能力基本相当。本试验说明在排水条件较好的情况下, 不同水灰比浆液高压作用下获得的水泥结石性质相近。

也应当说明, 水泥浆液结石机理研究表明, 水泥结石体的最终强度发展决定于孔隙率, 或者说决定于在灌浆过程中浆液自由水析出、固结排水后剩余水分所占据的空间比。根据大量的试验结果, 水泥结石体的强度 f 与孔隙率 X 用式 (1) 计算:

$$f = f_0(1 - X)^n \quad (1)$$

式中 f_0 ——孔隙率为 0 时的水泥结石体强度, 通常 42.5 级普通硅酸盐水泥的 $f_0 \approx 110\text{MPa}$;

X ——水泥结石体的孔隙率;

n ——试验常数, 与水泥种类以及试验条件有关, 波动于 2.6~3.0 之间。

水泥结石体孔隙率与灌浆过程中的排水条件、压力梯度和灌浆时间有关。上述压滤试验中良好的排水条件、较高的压力梯度和持续的灌浆时间也可以说是一种较极端情况, 因此所得出的结石体强度要大于实际工程中的结石体强度, 而通常的浆液室内常压试验成果则只考虑自由水的排出, 浆液在压力作用下的固结排

水几乎不考虑,因此,常压试验的结石体强度必定小于实际工程中的结石体强度。

纯压式灌浆的浆液变换不灵活,因此,其浆液水灰比等级一般较少,开灌浆液不建议太稀。一些国外工程采用单一比级的稳定性浆液。需要注意的是,这种单一比级的稳定性浆液在施工过程中基本不变,所以其配合比要充分考虑到大多数地段的地质条件,慎重确定。

5.5.5 稳定浆液和膏状浆液组分复杂,浆液比级变换不仅要改变水与固相材料的比例(水固比),而且往往还要改变固相材料间的配比,各工程应因地制宜确定。

5.5.6 本条规定的为常用的浆液变换方法,不同工程针对具体的地质条件可以调整各级浆液的灌注量或灌注时间。

5.5.7 灌浆压力和注入率突然改变,包括灌浆压力突然升高和注入率减小,或灌浆压力突然降低和注入率增大的现象。这常常是一些施工事故的征兆,或设备系统发生故障,正常灌浆的通道突然被堵塞;或灌浆范围内某一裂隙、通道突然被打开,如岩体劈裂、混凝土结构抬动或裂缝等,要高度警惕和重视。

5.5.8 上世纪90年代初期,15届国际大坝会议主席,瑞士学者G.隆巴迪提出了一种新的设计和控制灌浆工程的方法——“灌浆强度值”(Grouting Intensity Number,简称GIN)方法。这种方法的基本概念是,对任意孔段的灌浆,都是一定能量的消耗,这个能量消耗的数值,近似等于该孔段最终灌浆压力 P 和灌入浆液体积 V 的乘积 PV , PV 就叫作灌浆强度值,即GIN。由于裂隙岩体灌浆时,大裂隙常常注入量大而使用压力小,细裂隙常常注入量小而使用压力高。隆巴迪认为,如果在各个灌浆段的全部灌浆过程中,都控制GIN为一常数,就可以自动地对开敞的宽大裂隙限制其注入量,对比较致密的可灌性差的地段提高灌浆压力。由于GIN等于常数,在压力—注入量坐标系上,GIN曲线是一条双曲线,其值越大,曲线离开原点的距离越远。再加上对最大灌浆压力和最大注入量的限制,就组成了一条对灌

浆过程控制的包络线。

采用 GIN 方法灌浆的要点是：

(1) 应用稳定的、中等稠度的浆液，以达到减少沉淀，防止过早地阻塞渗透通道和获得紧密的浆液结石的目的。

(2) 整个灌浆过程中尽可能只使用一种配合比的浆液，以简化工艺，减少故障，提高效率。

(3) 用 GIN 曲线控制灌浆压力，在需要的地方尽量使用高的压力，在有害和无益的地方避免使用高压。

(4) 用计算机监测和控制灌浆过程，实时地控制灌浆压力和注入率，绘制 $P-V$ 过程曲线，掌握灌浆结束条件。

此外，该法所采用的灌浆方式多是自下而上纯压式灌浆。

GIN 灌浆法在一定程度上自动地适应了岩体地质条件的不规则性，使得沿帷幕体的总的注入浆量得到较合理分配，灌浆帷幕的效益—投资比率达到最大。GIN 法在北美洲、南美洲一些国家的工程中首先应用，取得了较好的效果。但也有学者提出质疑，认为该法不适用于细微裂隙和宽大裂隙（包括岩溶）岩体的灌浆，隆巴迪本人也承认这一局限性。

我国于 1994 年引进该法，先后在黄河小浪底水利枢纽、三峡水利枢纽工程和江垭水利枢纽等工程进行了灌浆试验或应用，但未曾大面积推广。总的看来，该法理论明确、施工简便、工效较高，但地质针对性不强，用以构建的帷幕防渗标准较低。

20 世纪七八十年代，我国在乌江渡水电站灌浆施工中，提出了注入率与灌浆压力相适应的原则，二滩水利工程灌浆试验中提出了“双限注浆压力控制技术”，机理相似，也曾取得良好效果。

5.6 孔口封闭灌浆法

5.6.1 1982 年，乌江渡水电站坝基帷幕灌浆首创使用孔口封闭灌浆法取得成功。孔口封闭法的作业程序是：孔口管段钻孔→孔口管段灌浆→镶铸孔口管→第二段钻孔、灌浆→第三段钻孔、灌

浆……直至终孔→封孔。此法的优点是：灌浆时，孔内不需下入灌浆塞，施工简便；正常情况下，每段灌浆结束后，不需待凝，即可开始下一段的钻孔，加快了进度；上部孔段可得到多次重复灌注，对提高灌浆质量有利；使用孔口封闭器可比灌浆塞施加更大灌浆压力等。经过许多工程实践的总结推广，孔口封闭法已成为水利水电灌浆工程施工中的主要工法，也是我国自主创新的国家级工法。

孔口封闭灌浆法起源于强岩溶灰岩地基的灌浆，后在国内其他地层的岩体中也得到了广泛的应用。该法总体适应我国技术与经济发展的条件，但也具有浆液损耗多、浓浆灌注时易凝铸灌浆管、在软岩与缓倾角地层中易发生抬动变形等缺点，因此，在任何条件下都采用该法也是不适宜的。

有的工程使用一种简化的孔口封闭灌浆法——孔口阻塞灌浆，即不设置孔口管，不使用孔口封闭器，自上而下分段钻孔和灌浆时，每一段灌浆都将灌浆塞安设在孔口（或第1段顶）来实施，随着灌浆孔段加深，射浆管也相应延长。很显然，该法省去了镶铸孔口管的工序，因而效率提高成本降低。也正因为如此，该法不能适应较高灌浆压力和较大孔深。该法主要应用在钻孔数量很多，灌浆孔深和灌浆压力不很大的坝基固结灌浆中，帷幕灌浆一般不采用。

5.6.2 灌浆孔孔径大小必须与受灌地层的岩体条件和钻孔要求相适应。为避免浆液在钻孔中因流速太慢发生沉淀，一般情况下，灌浆孔孔径宜小。

5.6.3 镶铸好孔口管是孔口封闭灌浆法的前提条件。孔口管段孔径比下部灌浆孔径大1~2级，孔口管宜为无缝钢管，管口有可与孔口封闭器连接的丝扣，如用多节钢管连接而成时，需用丝扣内部平接。孔口管段灌浆时，灌浆塞尽量跨越建基面安设在混凝土和基岩内，采用纯压式或循环式灌注，灌浆结束后安设孔口管，使用水灰比0.5的浓浆从孔口管内注入，自管外孔口返出，固定孔口管待凝，完成镶铸孔口管。

5.6.4 孔口管埋入岩石中的深度随使用的最大灌浆压力而定，灌浆地段表层岩石情况也有影响。在一般条件下，表 7 可供参考。

表 7 孔口管埋入岩石中的深度

最大灌浆压力 (MPa)	3.0	4.0	5.0	6.0
孔口管埋入岩石中的深度 (m)	1.0~1.5	1.5~2.0	2.0	2.0~2.5

5.6.5 目的是尽快升高灌浆压力，使在较浅的深度上即可使用最大的灌浆压力灌浆。表 8 列举了几个工程实例的情况，供参考。

表 8 几个工程的灌浆段长和灌浆压力使用情况表

工 程	灌浆段长 (m) / 灌浆压力 (MPa)				
	岩石中的 第一段 (孔口管段)	第二段	第三段	第四段	第五段
乌江渡水电站	2/1.0	1/2.0	2/4.0	5/6.0	5/6.0
隔河岩水电站	2/1.0	1/2.5	2/3.5	5/5.0	5/5.0
龙羊峡水电站	2/1.5	1/2.0	1.5/3.0	5/6.0	5/6.0
东风水电站	2.4/1.0	2.6/2.5	5/3.5	5/5.0	5/5.0
三峡水电站	2/1.5	1/3.0	2/4.5	5/6.0	5/6.0
构皮滩水电站	2/1.0~3.5	3/1.5~3.5	5/3~4.5	5/4.5~6.0	5/6.0
水布垭水电站 (面板坝)	2~3/0.5~ 1.0	1/1.0~ 1.5	2/1.5~ 2.5	5/3.0~ 4.0	5/4.0
彭水水电站	2~3/1.0~ 1.5	1/1.5~ 2.5	2/2.5~ 3.5	5/4.0	5/4.0

5.6.6 孔口封闭灌浆法的主要缺点是在灌注浓浆时间较长时，灌浆管容易被孔内水泥浆凝住。为此必须使用性能良好的孔口封闭器，以便能在灌浆过程中经常活动灌浆管，防止其被凝死。

5.6.7 目的是保证孔内水泥浆有一定流速并流动畅通。

5.6.8 采用孔口封闭灌浆法时，各灌浆段裂隙冲洗、压水试验或简易压水试验的做法，可以根据工程实际情况，参照 5.3 节有关内容确定。通常采取下列做法：

(1) 各灌浆段钻孔完成后进行钻孔冲洗。

(2) 各灌浆段灌前裂隙冲洗和简易压水按 5.3.3 条规定执行。裂隙冲洗和简易压水时，各段均在孔口封闭；在计算透水率时，段长取未灌段岩石的长度，已灌段视为不透水。

5.6.9 孔口封闭法灌浆一般不会发生浆液沉淀现象，同时浆液损耗比其他灌浆方法要大，因此，尽量不采用单一比级的稳定性浆液。

5.6.10 本条意为防止岩体或结构物抬动，同时也减少浆液浪费。中等注入率一般指 30L/min。

高压灌浆应当特别注意的是控制灌浆压力和注入率。隆巴迪以平缝模型推导出灌浆缝面上产生的最大上抬力用式 (2) 表示 (隆巴迪《内聚力在岩石水泥灌浆中所起的作用》)。

$$F_{\max} = V_{\max} P_{\max} / 6t \quad (2)$$

式中 F_{\max} ——最大上抬力，N；

P_{\max} ——最大灌浆压力，N/m²；

V_{\max} ——最大注入量，即平缝中尚未发生沉淀的浆液体积，m³；

t ——缝宽的一半，m。

由式 (2) 可见，上抬力与最大灌浆压力、处于流动状态的最大注入量成正比。而处于流动状态的注入量与注入率直接有关，因此，为防止上抬力过大而引起地面抬动，必须协调控制灌浆压力和注入率，避免它们的乘积最大化。

国内几个工程在不同的灌浆压力下控制注入率的情况见表 9。

表 9 灌浆压力与注入率的关系

灌浆压力 (MPa)	1~2	2~3	3~4	>4
注入率 (L/min)	30	30~20	20~10	<10

同一部位，聚集多台灌浆泵同时灌浆，明显地违背了上述原则，很容易导致岩体和结构物抬动变形，工程实践中已有教训，值得注意。

5.6.11 采用孔口封闭法进行灌浆，特别是在深孔（大于50m）、浓浆（水灰比小于0.7）、高压（大于4MPa）、大注入率和长时间灌注的条件下必须经常活动灌浆管和十分注意观察回浆。灌浆管的活动包括转动和上下升降，每次活动的时间1~2min，间隔时间2~10min，视灌浆时的具体情况而定。

5.7 特殊情况处理

5.7.1 目的是为了保证帷幕底线达到设计要求，对于封闭式帷幕，这一条尤为重要。有个别工程忽视了这一点，留下隐患。

5.7.4

2 为便于操作可以建议：中断后恢复灌浆的注入率与中断前的注入率相比较，达到90%以上谓“相近”；达到70%~90%谓“减少较多”；70%以下谓“减少很多”。

5.7.5~5.7.7 各条措施可以单独采用，也可以综合采用。具体实施时，如何量化各条措施，根据工程实际情况确定。当灌浆注入量大而难以结束时，首先查明原因，有时大漏量是钻孔遇到溶洞或打穿平洞等造成的。

5.7.8 回浆变浓，一般出现在具有细微裂隙的岩体中，如换用相同水灰比的新浆进行灌注，尚可再进一些浆液，如加水改稀，一般仍然是“进水不进浆”，没有效果。有些工程回浆变浓现象严重，在换用了一两次新浆灌注后，仍然远达不到结束条件（注入率不大于1L/min），灌浆后检查孔压水试验仍然达不到设计要求，这时需采取多项措施综合处理。

5.7.9 灌浆管（钻杆）被水泥浆凝固在孔中，也称铸管。这种情况常发生在孔口封闭灌浆法施工中，是该工法的一个主要缺点。条文中所列措施可酌情选用。

5.8 灌浆结束和封孔

5.8.1 本条对原规范对应条文做了修改,强调灌浆结束条件要根据灌浆孔所在部位地质和地下水条件、灌浆施工过程情况等确定,不宜千篇一律。针对一般情况提出的结束条件中“继续灌注时间”比原规范缩短,有下列原因:

(1) 参考借鉴国外标准。欧、美、日及苏联的许多灌浆技术标准中对灌浆结束条件的规定总体上比我国宽松许多,如规定注入率达到“不显著吸浆”,或不大于 1 立方英尺/10min (2.8L/min),或不大于 0.2L/(min·m) 等;达到设计灌浆压力和注入率条件后的继续灌注时间各国不一,变化范围为 0~30min。

(2) 试验资料证明。灌浆结束条件中设置“持续灌注时间”的主要用意是使已灌注到岩石裂隙中的水泥浆液在灌浆压力作用下尽量滤除多余的水分。室内模拟试验证明,在泌水条件较好时,这一过程通常在 20min 内可以完成。

(3) 国内 20 世纪 90 年代一些接受外资采用国际标准的工程如二滩水电站等,其灌浆也是成功的。

当然,如遇灌浆对象为溶洞泥质充填物、软弱夹层或排水不畅等条件或设计有专门要求时,“继续灌注时间”可以另行规定。

5.8.2 封孔工作非常重要,灌浆孔如果封堵不严,孔内就会有水渗出,对灌入到基岩裂隙中的浆液结石体起到冲刷溶蚀破坏作用。目前常用的封孔方法基本上可以概括为两种:

(1) 导管注浆法。全孔灌浆完毕后,将导管(灌浆铁管或胶管)下入到钻孔底部,用灌浆泵向导管内泵入水灰比为 0.5 的新鲜普通水泥浆,将孔内余浆或积水顶出孔外。在泵入浆液过程中,将导管徐徐上提,并注意务使导管底出口始终保持在浓浆面以下。工程有专门要求时,也可注入砂浆。这种封孔方法适用于承受水头小的浅孔和灌浆后孔口没有涌水的钻孔。

(2) 全孔灌浆法。全孔灌浆完毕后,先采用导管注浆法将孔内余浆置换成为水灰比 0.5 的新鲜普通水泥浆,而后将灌浆塞阻

塞在孔口，进行纯压式灌浆封孔。封孔灌浆的压力可以根据工程具体情况确定，一般不小于 2MPa，当采用孔口封闭法灌浆时，可以使用该孔最大灌浆压力。灌浆持续时间不要小于 1h。

当采用自下而上分段灌浆法时，全孔灌浆结束后，下部大部分孔段已成为固态或半凝固状的稠浆，这时只需置换上部稀浆后进行封孔灌浆即可。

如封孔灌浆中出现较大的注入量（如大于 1L/min），则应当按本标准 5.8.1 条要求灌注达到结束条件。

采用上述方法封孔，待孔内水泥浆液凝固后，及时清除孔口段浮浆和积水，当孔口上部空余段大于 3m 时，采用导管注浆法继续封孔；小于 3m 时，使用干硬性水泥砂浆人工回填并捣实。

细水泥灌浆后，也要采用新鲜的普通水泥浆液进行封孔，这是因为细水泥较贵，且其结石强度不如普通水泥结石强度高。另外，灌浆过程中的剩余浆液，一般搅拌、碾磨时间过长或搅拌后放置时间过长，这种浆液易出现不凝、缓凝或低强的现象，不能用来封孔。

5.9 搭 接 帷 幕 灌 浆

5.9.1 本节为新增内容。搭接帷幕，也称衔接帷幕、浅帷幕等。是指高坝岸坡帷幕在多层灌浆平洞中施工时，在下层灌浆平洞上游侧布置的连接上下层帷幕的水平或倾斜浅孔帷幕，以及引水洞、导流洞等与防渗帷幕相交部位，在其洞周布置的加强灌浆帷幕（环状帷幕）。

5.9.2 搭接帷幕布置成缓倾孔、下倾孔易于保证灌浆和封孔质量。上层主帷幕孔深入至下层灌浆平洞（或地下洞室）底板高程以下，可以充分利用高压灌浆帷幕保护洞室边墙。

搭接帷幕灌浆孔的排数与隧洞是否进行围岩固结灌浆有关，如果隧洞围岩进行了充分的固结灌浆，搭接帷幕排数则可以减少甚至不另做。

5.9.3 从理论上说，同一部位有多种灌浆时，压力低的应先施

工，这样才可达到各种灌浆的目的并保证质量。搭接帷幕灌浆压力通常较主帷幕低，因此，一般先于主帷幕施工。施工中也有因某些原因而导致搭接帷幕是在该部位主帷幕灌浆完成后再施工的，也无不可，需注意的是，这种情况下搭接帷幕灌浆的压力需适当提高。

有的工程将搭接帷幕灌浆和平洞围岩固结灌浆结合起来，可以节约部分重复工程量，在一般中小工程或远岸的低防渗标准要求部位，这样结合是可行的，但须注意此时搭接帷幕更需先于主帷幕施工。

5.10 质量检查

5.10.1 检查孔压水试验成果是评价帷幕灌浆工程质量的主要依据，但也要结合施工过程中的质量控制以及其他检查成果，进行综合分析评价。

在有些风化软弱岩层中，灌浆孔难以分段阻塞进行压水试验，此时也可以采用常水头注水试验检查，见 10.5 节。

5.10.2

2~4 所述均为灌浆工程质量问题易发部位，在这些地方布置检查孔，一是针对性强；二是可以利用检查孔进行补充灌浆。

5.10.3 本条在原规范的基础上做了修正。考虑到多排孔帷幕灌浆时，如按全部灌浆孔总数的 10% 布置检查孔时，帷幕线上的检查孔数量太多，为此适当减少。“主排孔”指多排孔帷幕中最深的那排孔，如果各排孔深度相同，则只按一排计。

严格地说，帷幕灌浆的检查是与各工程要求和灌浆具体特点相关的，不同工程的要求不同，检查的力度与要求也不一样。本条只是给出一个基本的规定，各工程可以根据具体情况调整，对于地质条件较好的工程可以适当减少，对于灌浆困难、工艺复杂的地段可以增加。

5.10.4 一个灌浆工程通常岩芯量很大，所有岩芯都保留既不易做到，也无必要。不如以有限的条件重点保存好一些有价值的岩

芯。哪些岩芯需保存，哪些可以废弃，需按设计要求确定。

5.10.5 附录 B 灌浆工程压水试验系根据《水利水电工程钻孔压水试验规程》(SL 31—2003) 适当简化制定，其试验成果主要用于对灌浆过程的控制和工程质量的评定。

5.10.7 本条对原规范做了修改，增加了“其他施工或测试资料基本合理”的原则要求，这是对 5.10.1 条的呼应。施工实践中确有不看全面资料，不问过程质量，把透水率标准唯一化的倾向。实际上，过程资料不合理，检查孔透水率数值也不可信。但是其他资料的合理程度很难掌握，故仅要求基本合理，具体尺度由监理工程师或质量检查验收人员掌握。

坝体混凝土与基岩接触段不包括两岸延伸帷幕灌浆隧洞中混凝土底板下的灌浆段。

分布不集中，即检查孔中不合格的试段不分布在上下连续或左右相邻的孔段上。

5.10.8 灌浆孔的封孔极为重要，封孔不实，等于增加了新的渗漏通道，以往有些工程曾发生封孔不密实的情况，给工程留下隐患。

孔口封填外观质量一般逐孔检查，要求孔口封填密实不渗水和基本不渗水。钻孔取芯可以进行抽样检查，抽检数量和合格的标准各工程可以根据具体情况制定。水布垭水电站帷幕灌浆封孔检查数量为灌浆孔数的 2%；金安桥水电站检查数量为 3%，但只抽检上部 15m。一般说，封孔取芯检查孔数量可以按灌浆孔的 1% 掌握。抽检的钻孔芯样有的进行了力学试验，有的仅进行目测检查。定性地说，封孔检查结果孔深需符合要求，水泥浆液结石芯样需连续、密实或较密实。如进行了室内试验，芯样干密度以大于 $1.8\text{g}/\text{cm}^3$ 为好。搭接帷幕孔可以不进行钻孔取芯检查。

5.10.9 检查孔完成检查任务后的灌浆有两种做法：一是自上而下检查一段，灌浆一段；二是全孔检查完成后，自下而上分段灌浆。都是可行的。检查孔的灌浆既是对帷幕的进一步检查，也是对帷幕的补强或对钻孔资源的合理利用，经常有某些检查孔段注入了不少水泥浆的情况。

6 基岩固结灌浆

6.1 一般规定

6.1.1 本章针对深度不大于 15m 的基岩固结灌浆作出有关规定。深孔固结灌浆、高压固结灌浆的施工技术要求与帷幕灌浆基本相同。当然这两种灌浆的计价也需参照帷幕灌浆。

6.1.2 新增条文。列出固结灌浆应布置的重点部位，但并不表示其他部位不需要进行固结灌浆。

6.1.3 大坝施工中，混凝土的浇筑（或碾压）、岸坡接触灌浆、土石坝心墙的填筑与坝基固结灌浆之间常常存在矛盾，有的工程顾此失彼导致被动局面，本条文意在应防止或避免其相互干扰和制约。对各自的施工时间作出统筹安排，必要时，应规定在固结灌浆未完成的部位不得浇筑第二层坝体混凝土，或不得进行土坝填筑。

6.1.4 基岩固结灌浆通常在一定范围内进行，灌浆孔布置与灌区内其他设备和部件相交或相互干扰的几率较大。固结灌浆前，首先要考虑可能的情况，放样中遇到这些问题时，调整孔位是必要的。

6.1.5 从理论上说，盖重混凝土越厚，对提高灌浆效果越有利，但混凝土太厚，也增加了钻孔长度和其他困难。本条规定兼顾了施工安排和尽量取得有盖重灌浆的实际效果。

土石坝防渗体基础混凝土盖板或喷混凝土护面、堆石坝混凝土趾板、基岩面灌浆压浆板的厚度一般较小，本身的盖重的作用有限，因此通常采用与其他措施（如锚杆）结合来发挥盖重作用。

6.1.6 引管，指先在基岩中钻好灌浆孔，而后在孔口接上管子引出工作面外，待以后通过管子进行灌浆，这种方法可以避免在混凝土中钻孔。导向管，混凝土浇筑时埋设在适当位置的灌浆孔

位和方向指示短管，通过导向管钻灌浆孔可以避免钻坏其他预埋设施。

6.1.7 由于施工安排或其他的原因，有的大坝或坝段需要进行无盖重灌浆；另外，面板坝的薄趾板、土石坝心墙底板等结构下的灌浆，实质上均属于无盖重固结灌浆的范畴。

从地质条件来说，无盖重灌浆一般在裂隙不发育、块状结构、相对完整基岩采用，这类岩体依靠其自身强度，可以承受很大灌浆压力。如长江三峡大坝三期工程中大面积应用了无盖重固结灌浆效果良好。施工中一般部位采用的灌浆压力：①有盖重灌浆，盖重小于3m时，Ⅰ序孔0.25MPa，Ⅱ序孔0.4MPa；盖重为3m时，Ⅰ序孔0.3MPa，Ⅱ序孔0.5MPa。②找平混凝土封闭（无盖重）灌浆时，Ⅰ序孔0.3MPa，Ⅱ序孔0.5MPa。

无盖重灌浆方式的岩面处理有多种多样，如凿槽嵌缝、喷混凝土、找平混凝土、砂浆抹面、填坑、裸岩等，应与基岩条件相配合采用。由于各工程的基岩特性不同，在无盖重条件下进行固结灌浆时，其基岩的耐压性和灌注效果如何，需要进行灌浆试验确定。

6.1.8 周边孔先行施工，主要为防止后续灌浆孔施工时浆液外漏。

6.1.9 固结兼辅助帷幕孔通常比常规固结灌浆孔深，施工时间相对长一些，有条件时布置在灌浆廊道内施工：一是可减轻基础混凝土面固结灌浆施工的工期压力，减少与混凝土浇筑之间的干扰；二是其施工时间可推移至廊道内帷幕灌浆前进行，这时上部混凝土厚度一般远大于基础层混凝土厚度，可以使用较高的灌浆压力，对基岩固结和防渗都有利。许多工程中采用了这种做法。

采用这种方式有两点值得注意：一是在廊道内施工的预算价要比坝面施工高；二是与坝面固结灌浆之间相当于分为二期施工，其灌浆质量的检查和评价须根据具体情况适当调整。

6.1.10 见条文说明5.1.11条。固结灌浆施工时，岩体或混凝土结构抬动问题比帷幕灌浆更突出和复杂，必须予以充分重视。

6.2 钻孔、裂隙冲洗和压水试验

6.2.1 一般来说, 固结灌浆孔可以使用任何钻机钻进, 主要是要求工效高一点。但也要注意, 有些较软弱破碎的地层在高风压钻机的钻孔作业下, 地层易受到震动破坏, 达不到固结灌浆的要求, 是不适宜的, 有的工程为此付出了代价。

6.2.2 对固结灌浆孔的孔位偏差提出了不大于 10cm 的要求, 主要适用于有盖重和铺筑了找平混凝土等条件, 对于完全在裸露岩面上的灌浆要求可以适当放宽。

6.2.4 固结灌浆常采用纯压式灌浆, 灌浆前的裂隙冲洗也是纯压式压水冲洗, 故观测不到“回水清静”, 这时冲洗时间可以按 20min 控制。另见条文说明 5.3.1 条。

地质条件复杂以及对裂隙冲洗有特殊要求时, 一般是遇到对工程有重要影响需重点处理或采用特殊方法处理的问题: 一方面裂隙冲洗要求较高; 另一方面有其特殊性。选择的冲洗方法及效果通过现场灌浆试验确定。

6.2.5 灌浆前选取一定比例的灌浆孔进行简易压水试验, 便于进行灌浆前后和灌浆过程中各次序孔间岩体透水率的变化分析, 有利于灌浆施工质量的过程控制和最终质量评价。

6.3 灌浆和封孔

6.3.1 固结灌浆施工中使用的孔口封闭法通常是简化形式, 即孔口阻塞灌浆。另见条文说明 5.6.1 条。

6.3.5 坝基固结灌浆往往在岩体浅表部进行, 无论有盖重或无盖重, 灌浆压力选择都要慎重。近些年来, 有些工程片面追求高灌浆压力, 又未采取有效的防抬动措施, 致使混凝土结构大面积抬动、开裂, 造成损失。

本条文建议的压力是指一般情况, 对于具体的工程一般通过现场灌浆试验论证确定。灌浆压力的使用推荐采用分级升压法, 其目的也是为了防止和减少抬动。

按照静水压力理论, 盖重混凝土厚度为 $D=1\text{m}$ 时, 灌浆压力不大于 0.024MPa , 但实际施工中灌浆压力常常大于甚至远大于这一数值。假定灌浆压力 P 超过盖重静压力的倍数为“不安全系数” K , 则

$$K = P/0.024D \quad (3)$$

当 $D=3\text{m}$, $P=0.3\text{MPa}$ 时, $K=4.17$ 。

这是针对岩体较完整的情况。对于软弱松散或缓倾角层状岩体 K 值要接近 1。例如, 向家坝水电站坝基固结灌浆在 5m 混凝土盖重下, I 序孔灌浆压力只能达到 0.2MPa 。

6.3.6 经验证明, 固结灌浆浆液水灰比采用 3、2、1、0.5 或 2、1、0.8、0.5 四个比级都是可行的、成功的, 考虑前者适用岩体的范围更广一些, 因此本条文不再推荐两套比级, 而明确推荐前者。有些工程的实践表明, 对于具有隐微裂隙的岩体, 开灌浆液水灰比采用 5 效果更好。

鉴于稳定性浆液对于纯压式灌浆有许多优点, 因此增加了“也可采用单一比级的稳定性浆液”的规定。需要注意的是, 由于单一比级浆液一经确定, 施工中不再随时改换其配比, 故其配合比的确定必须经过试验。

6.3.9 参见条文说明 5.4.6 条。

6.3.10 导管注浆法封孔和全孔灌浆法封孔, 见条文说明 5.8.2 条。

对采用引管法施工的固结灌浆孔, 在灌浆达设计结束条件后, 需视情况采用水灰比为 0.5 的新鲜水泥浆置换或部分置换孔(管)内稀浆后进行管口扎封, 3d 后割除外露管段。

6.4 质量检查

6.4.1、6.4.2 从理论上说, 固结灌浆质量检查采用测量岩体波速或静弹性模量的方法比较适宜, 压水试验的方法比较间接。但由于后者方法简单, 等待时间短, 工程中已长期应用, 试验结果也能说明问题, 故一并提出供选用。有条件者可两种方法配合应

用。本条文未规定弹性模量（变形模量）的测试，主要是应用不多，不排除有条件时使用。一些工程进行岩体弹性波检测常用的方法为：

（1）检测方法。在灌浆前、灌浆后采用岩石声波仪进行单孔或跨孔声波测试，或采用大功率声波仪、地震仪进行跨孔测试，测试灌浆前后的岩体弹性波波速。灌前灌后测试方法需一致，跨孔测试的钻孔需平行，准确测量计算出孔间距离。超声波测井点距为 0.2m，跨孔测试可以采用同步测试或 CT 扫描，点距为 0.2~0.5m。对于所测介质波速小于 1400m/s 时，采用干孔超声波测井或跨孔测试。

（2）质量评价。根据不同的工程要求和基岩特点，通常采用下列两种模式：

1) 90%的测点波速达到设计规定，小于设计规定波速的测点数不超过总测点数的 5%，平均波速提高 3%以上。

2) 85%的测点波速达设计规定，小于设计规定波速 85%的测点数不超过总测点数的 3%，且不集中。

另见条文说明 5.10.7 条。

7 隧洞灌浆

7.1 一般规定

7.1.1 本章主要针对水平隧洞（坡度小于 6° ）灌浆进行规定。竖井（倾角大于 75° ）、斜井（倾角 $6^\circ \sim 75^\circ$ ）和其他地下洞室的灌浆，许多情况与水平隧洞灌浆类似，但也有不同，因此为参照执行。

7.1.4 隧洞采用钢板衬砌时，施工方法顺序不尽相同，有的先进行围岩固结灌浆，再安装钢板；有的则先安装钢板，再回填混凝土，然后进行顶拱回填灌浆。因此，对各类灌浆的施工顺序要求也有所不同。“钢衬接触灌浆宜在衬砌混凝土浇筑结束 60d 后进行”，是由于混凝土的凝固和冷却收缩的完成需要较长的时间。

7.1.5 指孔口朝下的倒向孔和其他在灌浆结束后可能发生返浆或涌水的灌浆孔。

7.1.6 “必要时”，指可能导致隧洞混凝土或钢板衬砌发生有害变形的情况时。另见条文说明 5.1.11 条。

7.2 回填灌浆

7.2.1 通常隧洞混凝土浇筑完毕后，顶部仍有较大脱空，连通也较远，一次灌浆很难填满一条隧洞的全部空腔。较好的办法是分区段进行，这里规定每区段长度不大于 3 个衬砌段（40m 左右）。区段分隔的办法是当衬砌混凝土浇筑完成后，在其两端用砌石或混凝土将端部顶拱缺口封堵严实。

7.2.2 引自《水工隧洞设计规范》（DL/T 5195—2004）第 15.1.2 条规定。

7.2.3、7.2.4 在钢筋混凝土衬砌浇筑时预埋灌浆管好处较多：一是可以避免钻断钢筋，保持衬砌结构的完整性；二是可以将灌浆孔布置于需要灌注的重点部位，保证灌浆质量。

7.2.5 防止在灌浆过程中发生不易封堵的漏浆通路，致使影响灌浆质量并浪费浆材。

7.2.8 这是一个灌浆原则。操作中也有另一种做法，即在高处孔出浓浆后，堵塞该孔，在原低处孔继续灌注，直至压力升高、注入率减小，再转移至连通的高孔继续灌浆，依次前移，直至全区灌浆结束。

7.2.9 各种措施在于确保空腔部位灌注饱满密实。全强风化或松散软弱岩体中隧涵的回填灌浆采用水泥黏土浆液或其他复合浆液灌浆，有利于浆材结石与围岩体的良好结合和协同受力。水泥基混合浆液，见 3.1.5 条 2 款。

7.2.11 回填灌浆事前要做好充分准备，保证灌浆连续进行，这是灌浆取得成功的重要条件。因故中止灌浆的灌浆孔一般都会被堵塞，必须扫孔穿透混凝土达到空腔或基岩后，才能开始复灌。

7.2.13 在灌浆过程中有的灌浆孔可能已经被串浆封堵密实，这种情况可以不再进行专门封孔。回填灌浆孔如要加深作为固结灌浆使用，则可以等固结灌浆完成后再封孔。

7.3 固 结 灌 浆

7.3.2 部分工程的实践表明，喷混凝土厚 10cm 左右可承受 0.5 ~ 1.0MPa 固结灌浆压力。采用此法不但固结灌浆质量可以保证，同时可以加快施工进度，减小对后序工作的干扰。

7.3.3 增加了可以采用压缩空气冲洗的规定，隧洞围岩固结灌浆孔孔深不大，采用不大于灌浆压力的气压可以将孔壁冲洗干净。

7.3.4 参见条文说明 5.3.1 条。

7.3.6 环间分序，就是以每一环孔为单位进行分序。例如：第 1、3、5 环孔为第一次序，第 2、4、6 环孔为第二次序。环内加密，是指将每环上的孔间隔开来，按中间插入、逐渐加密的原则进行钻孔灌浆。例如：先灌第 1、3、5 号孔，再灌第 2、4、6 号孔，不可按 1、2、3、… 顺次进行。

表 10 水工隧洞围岩高压固结灌浆施工简况表

工程名称	围岩岩性	灌浆部位	灌浆孔深度	孔段划分和压力使用	结束条件	灌浆塞型式
天生桥 二级水电站	岩溶发育的 石灰岩	引水隧洞不良 地质段 ($\phi 8.7 \sim 9.8\text{m}$)	8m	0~3m 2~2.5MPa 3~8m 4~6MPa	达到设计压力持续 2h, 注入率小于 0.5L/min 后,继续灌注 1.5h	机械式高压 灌浆塞
广州抽水 蓄能电站	黑云母 花岗岩	岔管段	5m	奇数环 I 序 2.5MPa, II 序 4.5MPa; 偶数环 0.6~2.5m, 4.5MPa 2.5~5.0m, 6.5MPa	灌浆压力达 4.5MPa, 注入率小于 0.4L/min 后,继续灌注 20min	法国充气 式灌浆塞
		下平段 ($\phi 8\text{m}$)	5m	0.6~2.5m, 3.0MPa 2.5~5.0m, 6.5MPa	灌浆压力达 6.5MPa, 注入率小于 2.5L/min 后,继续灌注 5min	
天荒坪抽水 蓄能电站	流纹质角砾 熔凝灰岩和 流纹质溶凝 灰岩等	上斜井 ($\phi 7\text{m}$)	4m	4MPa	注入率小于 2.5L/min 后,压力提高至 9MPa 继 续灌注 20min	机械式高压 灌浆塞
		下斜井 ($\phi 7\text{m}$)	4~6m	入岩 3m 以内 3MPa 3m 以下 5~9MPa		
		下弯段、下平段	6m			
		岔管段	8m			

本条规定Ⅱ级、Ⅲ级围岩灌浆孔可以不按环间分序，是由于岩体质量较好，这样做不至于影响灌浆质量，但有利简化施工和提高工效。

7.3.11 我国已有一些长距离引水隧洞、抽水蓄能输水隧洞采用了高压灌浆，表 10 列出几个工程的情况供参考。

7.3.12 参见条文说明 5.8.2 条。孔口朝下的倒向孔和有涌水的钻孔必须采用“全孔灌浆法”封孔。

7.4 钢衬接触灌浆

7.4.1 脱空区面积小于 0.5m^2 时可以不进行灌浆，这样可以减小开孔对钢管的损伤，有利于保持钢结构的完整性，经许多工程的实践经验表明是可行的。甚至也有的工程规定脱空区面积大于 1.0m^2 才进行接触灌浆。按明管设计的钢衬可以不作接触灌浆。

7.4.2 钢衬上预留灌浆孔，也常用于回填灌浆，但孔径稍大。

7.4.3 目的是使浆液在可能脱空的范围内得以流动、串通，防止出现封闭区，同时也可以减少钢衬上的钻孔数量。

7.4.5 压缩空气要进行油水分离或过滤，避免将污物带入缝面。

7.4.6 当进行竖井、斜井钢衬接触灌浆时，如一个灌浆区连续高度太大（如大于 10m），注意防止浆体自重压力压迫钢衬变形。

7.4.7 意在尽量多灌注浓度较大的浆液，以减小或避免浆液泌水收缩凝结形成新的空隙。加入减水剂可以降低浆液黏度，减水剂的种类和掺量，需通过试验确定。

7.4.12 小浪底水利枢纽等工程使用了 FUKO 管进行钢衬接触灌浆的技术。FUKO 管是一条四周带有出浆孔的特制管子，浆液可以由出浆孔流出而不能回流，还可以多次向管子中注浆。施工时先将 FUKO 管预埋在钢衬外混凝土收缩易产生脱空的部位，待混凝土浇筑完成并收缩稳定后，即可通过 FUKO 管进行接触灌浆。

7.5 隧洞封堵灌浆

7.5.1 本节为新增内容,根据“征求意见稿”的反馈意见要求编写。近年来确有一些导流洞封堵体灌浆施工发生问题,甚至挡水后失事,教训值得汲取。

隧洞封堵体的灌浆项目包括隧洞顶拱回填灌浆、堵头侧墙新老混凝土结合面和两段封堵体接缝面内的接缝灌浆,或混凝土与基岩接触面的接触灌浆。一般来说,只有挡水水头较高(如80m以上)或断面较大(如大于 100m^2)的大型隧洞封堵段才有多个灌浆项目和较严格的灌浆要求。如封堵段较短或堵头断面尺寸较小,混凝土的收缩轻微,可能不需要进行接缝灌浆或接触灌浆;不挡水的隧洞可能不需要进行任何灌浆,或只进行回填灌浆即可。

7.5.2 经验表明,在需要进行多种灌浆的大型隧洞封堵段内设置一个小型灌浆廊道对减少与混凝土施工的干扰,方便钻孔灌浆施工、保证灌浆质量十分有利。施工完成后,廊道可以再进行简单封堵,或留着观测使用。

7.5.3 隧洞封堵接缝灌浆和接触灌浆也要做好灌区设计,在混凝土浇筑时埋设好灌浆系统,即进浆管、回浆管、配浆管、出浆盒和排气管等全套设施。灌区周边需设置止浆片,做到灌区封闭,防止浆液流失和不同灌区浆液串流。灌浆开始时也需满足混凝土温度和接缝张开的条件。

7.5.5 由于导流洞下闸后封堵段的混凝土施工任务繁重、时间紧迫,因此,该洞段的围岩固结灌浆、搭接帷幕灌浆和下部的帷幕灌浆最好在过水前完成。有的工程实在来不及,也可部分或全部安排至下闸后施工,此时更应当在封堵体内设置灌浆廊道,在廊道内作业。

在进行围岩灌浆时要注意防止浆液串流堵塞接缝、接触灌浆灌区和管路系统。

7.5.6 有的工程,导流洞上部或临近就有灌浆隧洞或其他隧洞

通过，通过这些隧洞的适当位置对导流洞封堵体进行需要的灌浆，可以分担封堵体工作面的施工任务，十分有利。

7.6 质量检查

7.6.3 固结灌浆是提高隧洞围岩承载能力的重要手段，对复杂岩溶、低地下水位、水资源匮乏地区的隧洞还兼有防渗作用。本条文规定围岩固结灌浆检查以测试岩体弹性波波速为主，检查孔压水试验为辅。

另见条文说明 6.4.1 条。

7.6.6 钢衬接触灌浆质量检查的合格标准，各工程不同。许多工程的实践经验表明，有较多部位经过一次、两次甚至三次以上灌浆后，再进行检查时，仍有脱空感觉。因此，有些工程规定经过一次、两次灌浆后，如脱空面积不超过一定数值，脱空程度不是很严重，即不再进行灌浆。如太平哨、云峰、湖南镇等工程规定不大于 0.5m^2 ，石门工程规定不大于 1m^2 。

8 混凝土坝接缝灌浆

8.1 一般规定

8.1.1 蓄水后坝体承受库水压力，缝面将被压缩；库水渗透可能造成缝内存在渗水，均不利于接缝灌浆，故要求灌区的“接缝灌浆应在库水位低于灌区底高程的条件下进行”。

8.1.2 明确在同一高程上，重力坝和拱坝纵、横缝灌浆顺序。实践表明，后灌区可能因串浆、挤压等原因受前灌区灌浆的不利影响。

“横缝灌浆宜从坝中间向两岸推进”目的是尽量减少向一个方向的累计变形，防止坝块产生侧向应力。“纵缝灌浆宜从下游向上游推进”，目的使坝块变形倾向上游，对大坝挡水运行有利。当需要提前蓄（挡）水时，为防止上游坝块单独受力，可以先灌上游第一条缝。

8.1.3 本条将原规范中 5.1.3 条第 2 款、第 3 款的有关参数进行了修改：

2 灌区两侧坝块混凝土龄期由“6 个月”改为“4 个月”；在采取有效措施情况下，也“不得少于 4 个月”改为也“不宜少于 3 个月”。

根据《混凝土拱坝设计规范》（DL/T 5346—2006）第 12.4.3 条规定接缝灌浆的条件“缝两侧坝体混凝土龄期不宜小于 90d”及结合重力坝等坝型的结构特点，提出比原文的龄期适当缩短。

3 灌区上部混凝土压重由“9m”改为“6m”。其原因一是原规定过严，有些工程因等待上部混凝土压重厚度和冷却，错过了接缝灌浆的有利时机；二是有的工程（如五强溪水电站、二滩水电站、三峡水利枢纽工程等）已按 6m 控制，未发现工程质量问题。本款规定 6m 盖重混凝土“其温度应达到设计规定值”，

一是防止上层温度过高，影响下层缝面张开；二是防止上层冷却时将已灌过浆的下层缝面再次拉开。

8.1.4 埋设测温计和测缝计是用来了解坝块混凝土温度和接缝张开度变化情况，并与使用其他测温法和测缝法进行比较，防止发生误差。通常根据接缝灌浆工程规模，选择有代表性的坝块埋设测温计和测缝计，例如：潘家口水库大坝为宽缝重力坝，在 40 个坝段 310 个灌区中埋设了测温计 155 支、测缝计 100 支；东风电站大坝为双曲拱坝，在 14 个坝段 124 个灌区中埋设了 150 支测温计、80 支测缝计。

8.1.5 “相邻”灌区指与被灌灌区相隔一个坝块（纵缝）或相隔一个坝段（横缝）的灌区。

8.1.6 将原规范第 5.1.6 条的上层、下层灌区灌浆间隔时间由“14d”改为“7d”。

据有关室内试验资料（水利水电工程施工手册《地基与基础工程》——压滤作用对浆液结石性能的影响）介绍，水泥浆液压滤成型试件的早期（7d）强度约为 28d 强度的 70%。接缝灌浆使用的均为高强度水泥，颗粒细凝结硬化快，早期强度高，灌入缝内的水泥浆受泌水、压实作用，类似上述“压滤成型”室内试验。工程实例证明，下层灌区灌浆 7d 后，不会再受上层灌浆的影响。

有条件时，上层、下层灌区要连续灌浆。若下层灌浆结束 4h 之后再进行上层灌浆，就可能对下层灌区已处于凝固状态但尚未有强度的浆液结石产生破坏作用。

8.1.7 新增条文。有的混凝土坝（重力坝或拱坝）在施工过程中，为改善坝体应力条件，根据工程总进度安排，要求坝体混凝土尚未达到稳定温度（即缝面未充分拉开）的情况下，先进行接缝灌浆，待混凝土继续冷却、缝面再次张开后，再次进行灌浆；有的碾压混凝土拱坝在诱导缝内埋设了重复接缝灌浆系统，要求对诱导缝进行反复灌浆。在《水工设计手册》（水利电力出版社，1987 年，下同）第五卷“混凝土坝”第二十一章“重力坝”的

“坝体构造设计”中也谈到有关“二次接缝灌浆”的内容：二次接缝灌浆系统主要用外套橡皮的出浆口或特制的出浆阀代替普通的出浆盒，灌浆时具有一定压力的水泥浆可以将出浆管口的橡皮套顶开，灌浆完毕后用压力水冲洗，压力以不将橡皮套顶开为度。当混凝土温度又有降低，已灌浆的接缝重新张开时，可以再次灌浆。这种灌浆法对时间要求和温度控制条件有较大灵活性，是一项有发展前途的措施，国外已有成功的经验，国内亦曾在部分工程中试用。

据查，龙滩水电站碾压混凝土重力坝、沙牌碾压混凝土拱坝采用了重复接缝灌浆系统，取得了有价值的成果。为此，本条文将“重复灌浆系统”列为特殊情况下的一种接缝灌浆措施。

8.2 灌浆系统的布置

8.2.1 灌区高度是影响灌浆质量的一个重要因素。据有关资料介绍，在管路基本通畅情况下，灌区高度在10m以内的灌区合格率可达100%，高度超过15m时合格率下降到70%~80%。据此，本条文规定“灌区高度宜为9~12m”。

8.2.3 本条增加了在二滩水电站拱坝横缝灌浆采用的出浆槽的升浆、出浆方式。

当前国内通常采用的几种接缝灌浆的升浆、出浆和排气方式有：

(1) 预埋管和出浆盒方式，即缝内顺沿水平键槽（纵缝）或竖直键槽（横缝）埋设水平支管或升浆（支）管，按规定在缝面上安装出浆盒与支管连接，形成升浆、出浆设施。此谓“点出浆”方式。

(2) 拔塑料管方式，即将充气膨胀的塑料软管按规定埋入坝块接缝中，待混凝土浇筑后放气拔出，在接缝处形成与缝面相通的升浆、出浆系统。此谓“线出浆”方式。

(3) 出浆槽方式，即在灌区底部形成三角形出浆槽，此槽可与一套或两套进回浆主管连接，取消缝内升浆管。为减小浆液在

缝面的流动阻力，缝内按规定设球面键槽。此谓“面出浆”方式。

(4) 排气设施，多数工程在灌区顶部采用埋设排气槽和排气管形成。

8.2.4 升浆管管顶若距排气槽太近，浆液很快进入排气槽不利浆液在缝内扩散和充填；若太远，浆液难以顺利进入排气槽，易引起排气管排浆不畅，影响灌浆质量。

8.2.5 与原规范比较，一是取消了“纵缝灌区底部一排出浆盒可适当加密”。实践证明，灌区底部出浆盒位置及数量的变动，不仅给现场安装工作带来不便，而且对提高灌浆效果也意义不大，只要缝面张开、管路畅通，灌浆质量是有保证的。二是将每盒担负的灌浆面积“ 5m^2 ”改为“ 6m^2 ”。接缝灌浆系统中升浆和出浆设施的布置多数为 $(1.5\sim 2\text{m})\times 3\text{m}$ ，应施工单位要求，为便于施工，适当放宽每盒控制的灌浆面积，灌浆质量不会受到较大的影响。

纵缝的出浆盒安装在先浇块键槽的倒坡面目的是，出浆盒在模板上易于安装，且坝块混凝土冷却后易于拉开。

8.2.6 新增条文。出浆槽方式的特点是取消了缝面预埋的升浆管、出浆盒或塑料拔管系统，而用灌区底部预留水平出浆槽代替。为减少缝内阻力，将常规梯形键槽改为球面键槽。混凝土施工时一旦发现管路堵塞，即可重新设一套出浆槽和灌浆管路，并且不受先后浇筑块顺序的制约。一般“出浆槽”超过 10m 时，需设双套进回浆管路。

8.2.7 新增条文。参考龙滩水电站碾压混凝土重力坝、沙牌水电站碾压混凝土拱坝采用重复灌浆系统的资料，对重复接缝灌浆系统的特点、性能及施工提出了原则要求。目前采用重复接缝灌浆系统的出浆设施多为出浆花管方式。

(1) 混凝土坝采用重复接缝灌浆时，灌区高度一般以 $6\sim 9\text{m}$ 为宜。灌浆系统的埋设基本类似“拔塑料管方式”：在先浇块缝面模板上预设横向（或竖向）半圆模具，拆模后形成半圆

槽。灌浆管路及出浆花管需全部埋在后浇块。后浇块浇筑前，将出浆花管及配（或升）浆管顺直安放在先浇块的半圆槽内。

（2）碾压混凝土坝的诱导缝采用重复接缝灌浆时，灌区高度一般为 6m。诱导缝上先间断埋设由两块组成的预制混凝土诱导板（块），在灌区内按诱导板的布设分层将单回路进回浆管埋进两块诱导板之间预留的孔槽中，对应每个诱导板内，进回浆管上均串连一个出浆花管。灌区顶部由几段铁管连接诱导板（板内不设出浆花管）组成排气系统。碾压混凝土坝重复接缝灌浆系统布置及预制混凝土诱导板（块）、出浆花管结构见图 1。

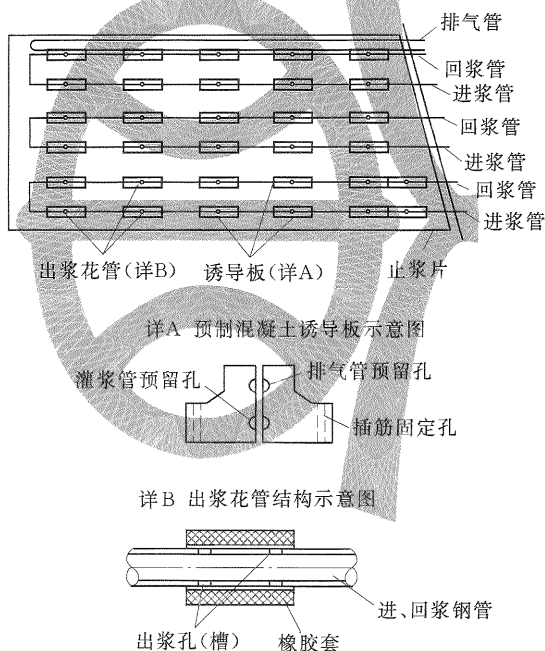


图 1 碾压混凝土坝诱导缝重复接缝
灌浆系统布置示意图

实践证明：采用重复接缝灌浆系统关键是当再次灌浆时，出浆设施能否恢复正常出浆的功能，因此，要求在正式采用前，必

须做模拟灌浆试验，测定出浆花管在重复灌浆时能否开环及开环压力。

碾压混凝土坝采用重复接缝灌浆系统的实例还提示：

(1) 形成排气槽的两块诱导板合并缝顶面要封堵严实，以免混凝土进入槽内堵塞排气系统。

(2) 灌浆结束后应立即冲洗进、回浆管路。排气管宜适当推迟 10~20min 冲洗，冲洗压力宜适当提高。对于相互串浆的灌区冲洗应慎重。

关于施灌的技术要求，可参照 8.4.9 条、8.4.11 条、8.4.13 条执行。

8.2.8 新增条文。强调当灌浆主管需在灌区底部连接且开口向上引时，应在管的底端连接沉污管，以防止管路堵塞。三峡水利枢纽工程已采用，效果良好。

8.3 灌浆系统的加工安装和检查维护

8.3.2 接缝灌浆管路原则不要穿过缝面。若跨缝面，需采取过缝措施。通常可以在接缝处加接 Ω 形管或在管外包裹沥青油毡等。

8.3.4 实践证明弯管段加工方法不当常会造成管路不畅或堵塞。

8.3.5 通常可以采用国产 651 号橡胶止浆片，也可以采用宽为 25~30cm、厚为 0.8~1.0mm 的镀锌板或黑铁板制作止浆片。金属止浆片现场搭接要用气焊，搭接长度一般不小于 4cm。搭接缝处要焊密实牢固，不要出现孔洞。

为解决出浆盒加工、安装较复杂问题，现在许多工程（如长江三峡大坝、永久船闸等工程）采用了预制硬质橡胶模具件，此件类似出浆盒形状，浇筑前易于安装且与模板挤压紧密，浇筑后易于从混凝土中撬出，模具件可以回收再利用。

8.3.6 后浇块浇筑后何时拔出塑料管，需通过现场试验确定。以下实例供参考：隔河岩水电站为 24h；东风水电站夏季为 16h，春秋 20h，冬季 24h；潘家口水库夏季为 24h，冬季为 48~

72h; 乌江渡水电站、五强溪水电站和东江水电站为 3d。

8.3.8 新增条文。规定了采用出浆槽方式的注意事项。

8.3.10 止浆片埋设不好(错位、有孔洞等)会造成灌区串漏,直接影响灌浆质量。尤其底层的止浆片若存在质量缺陷,在坝基固结灌浆中,浆液可能串入基础灌区缝内,不仅影响固结灌浆的正常施灌,而且可能造成整个基础接缝灌区管路、缝面的堵塞。底层的止浆片更容易被锈蚀、损坏,故必须保护好。

8.3.11 据了解,有的工程在查阅有关接缝灌浆管路埋设资料时,只能提供管路布置设计图,而没有实际埋设竣工图,每个灌区管路埋设的具体尺寸及变更情况无据可查,给处理灌区“病害”或分析灌浆出现的异常情况,带来难度。

8.3.12 从多数工程的使用情况看,区别不同类型的管路,以选择不同管径的方法效果较好。为便于现场操作,对管口外露长度、距地面(板)高度及管口名称标识,均需提出要求。

8.3.13 该条将原规范第 5.4.2 条和第 5.4.3 条进行了合并。每层混凝土浇筑前后均需对管路系统进行检查,若发现个别出浆盒(孔)、灌浆主管或配浆管堵塞或损坏,及时疏通或更换。检查的主要方法是“通水检查”:当采用拔塑料管方式时,在后浇块混凝土浇完并拔出塑料管后,对进回浆管、升浆孔进行通水检查和冲洗;当采用预埋管方式时,在先浇块混凝土拆模后对进回浆管、升浆管、出浆盒进行通水检查和冲洗。在后浇块混凝土浇完后,对灌浆管路通水检查和冲洗。

“灌区形成后,要对整个灌区灌浆管路进行通水检查并做记录”,这是了解该灌区管路系统埋设质量的重要环节。“通水”主要检查进回浆管及两个排气管是否各自互通,并详细记录各自的流量。此时,因缝面未必张开,故不要求检测“进浆管进水、排气管出水”的“单开流量”。发现问题后需尽早进行疏通或另接新管,否则等到灌浆前再行处理,难度增大。

8.3.14 该条将原规范第 5.4.5 条和第 5.4.6 条进行了合并。污水流入接缝内和先浇筑块缝面不洁净是造成缝面不通畅的原因之

一；施工过程中对外露管（孔）口不加以保护、损坏管路标识等是造成管路堵塞、混乱的原因之一。

8.3.15 有许多工程的教训是：接缝灌浆管路加工、安装比较规范，却不注意现场维护，无人值班，不能及时发现、处理浇筑过程中人为对管路的损坏及止浆片周围混凝土不密实等问题，结果不少的灌区出现“病害”。

8.4 灌浆准备和灌浆

本节对原规范第 5.5 节和第 5.6 节进行了合并和补充。

8.4.1 坝块混凝土的温度状况是关系到是否需要继续冷却、能否进行接缝灌浆的重要技术指标，灌区两侧坝块及压重块的混凝土温度必须进行实地量测。预埋测温计是必要的，但不可能全部灌区都要求埋设测温计。目前国内常使用的测温方法是“充水闷温”法。使用此法需注意下列几点：

（1）充入冷却水管里的水温一般不低于 5°C 。

（2）每个灌区至少选 2~4 层充水闷温资料，以其平均值作为该坝块混凝土的温度。

（3）根据埋设冷却水管的层距和间距，确定闷温时间。如有的工程层距和间距 3m，闷温时间为 5d。有的工程层距和间距 2m，闷温时间为 3d。

（4）闷温水放出和测温要迅速准确，尽量减少外界气温影响。可准备三个容积为 10~20L 用绝热材料制作的小桶，将闷温水排入桶后立即插入温度计量测，取三桶水温平均值作为该层冷却水管的闷温资料。

也有的工程采用了钻孔测温法：即在坝块适当部位向坝体内打孔（孔深据具体情况确定，一般 3~5m），在孔内置入温度计测温。

埋设的温度计与其他方法测得的混凝土温度要相互对照，从而准确判断坝块混凝土实际温度，为灌浆提供依据。

8.4.2 量测接缝的实际张开情况，为正确选择灌浆材料、浆液

浓度及控制灌浆压力提供依据。一般情况下，测缝计的测值代表坝块内部缝面张开情况，孔探仪和厚度规的测值代表坝块表层缝面张开情况，两者有时误差较大，施工中需注意此问题。有的工程取平均值，有的再进行灌区缝容测定，三种数据相互对照，取其合理数值。

8.4.3 本条文指灌区中至少要有一套灌浆管路畅通。检查是否畅通的方法是从进浆管（或备用进浆管）进水，开启回浆管（或备用回浆管），其他管口关闭，测量回浆管（或备用回浆管）出水量。当此流量大于 $30\text{L}/\text{min}$ 时，则该灌浆管路具备了“管路通畅”的基本条件。若采用拔塑料管方式（灌区底部仅一套灌浆管路）则要求进浆管、回浆管必须畅通。

“单开通水”检查法是从进浆管（或备用进浆管）进水，关闭其他管口，分别开启排气管并测其出水量。当此“单开流量”大于 $25\text{L}/\text{min}$ 时，则缝面具备了“缝面通畅”的基本条件。

采取“通水检查”的方法查明灌区密闭情况，即从进浆管（或备用进浆管）进水，关闭所有出水管口，测定灌区缝内较稳定的进水率（ L/min ）。当此进水率小于 $15\text{L}/\text{min}$ 时，即认为缝面具备了“密闭”的基本条件。严格说来，灌区缝面容积是有限的，当注入一定水量后，缝面不再进水。若缝面长时间保持较稳定的进水率，说明灌区有串漏现象。至于串、漏量各是多少，很难分清。根据实践经验，灌区的串漏水量小于 $15\text{L}/\text{min}$ 时，是可以采取一定措施，按规范要求施工，达到灌浆结束条件的。

8.4.4 本条对原规范第 5.5.8 条进行了补充。

预灌性压水检查是灌浆前最后一次检查，要特别重视。目的是再次查明灌区还是否存在“病害”，避免灌浆过程中出现问题。

本条补充了：为防止预灌性压水检查时对已灌灌区产生不利影响，规定了进行预灌性压水检查时的限制条件。

8.4.5 三个或三个以上灌区串通需要同时灌浆，施工中做到相互协调非常困难。为制定行之有效、稳妥可靠的施工方案，必

须在灌前通水检查中摸清灌区串通情况，对能处理的“病害”尽力处理。

8.4.6 本条将原规范第 5.5.11 条和第 5.5.12 条进行了合并。对未灌浆的相邻灌区通水平压的目的是防止该缝被挤压或坝块过大变形。对未灌浆、但发现已被串浆的灌区的缝面进行冲洗目的是防止串进该灌区的浆液凝固，堵塞缝面和管路。

8.4.7 此条对于采用多区同时灌浆方式时尤为重要。通常灌浆机至灌区管口距离一般不大于 50m。

8.4.8 缝面浸泡有两个目的：其一，浸泡使缝面内充填的污物软化，在通水检查和灌浆过程中，可以将其冲出缝面，对疏通管路和缝面有利；其二，使缝面保持湿润状态，有利于浆液与缝面牢固结合。

8.4.9 接缝灌浆压力系根据应力及变形条件由设计单位确定。但由于浆液在缝内的扩散规律很难掌握，坝块受力状态很难准确计算，多数工程采用类比法结合工程具体情况确定设计压力。根据《混凝土重力坝设计规范》（SL 319—2005）第 11.3.7 条规定，并参照《水工设计手册》第五卷第四节有关内容，建议除顶层外，一般情况下灌浆压力可以取 0.2~0.3MPa；坝块变位（缝面增开度）允许值，纵缝不大于 0.5mm，横缝不大于 0.3mm。

8.4.10 明确接缝灌浆压力的记读方法。如排气管上引或下引，排气管管口的压力控制需考虑排气槽至排气管管口高差及不同密度的水泥浆柱的影响。如利用回浆管控制灌浆压力，不能简单地根据高差换算，需考虑到浆液在缝面和管路中的压力损失。

8.4.11 将原规范第 5.6.4 条的开灌水灰比“3:1（或 2:1）”改为“2:1”。据施工单位反映：多数工程开灌水灰比采用了 2:1，未发现因开灌水灰比变浓而发生质量事故。为了尽快使浓浆充填缝面，使用较浓浆液更有利于提高灌浆质量，缩短灌浆时间。

8.4.12 开灌时两个排气管需全部开启，有利于浆液自下而上充

填整个缝面，可加快灌注进度。为防止堵塞、以利缝内浆液扩散，其他管路间断放浆。

本条强调“所有管口每次放浆均应量测浆液密度和放浆量，并做好记录”，目的是灌浆结束后，能较准确地计算缝内实际注入的水泥量。

8.4.13 规定每个灌区接缝灌浆结束条件：一是“排气管排浆达到或接近最浓比级浆液，且管口压力达到设计规定值”，可以结束灌浆；二是“排气管排浆达到或接近最浓比级浆液，且缝面增开度达到设计规定值”，也可以结束灌浆。两个条件多数情况下不能同时满足，但必须满足“排气管排浆达到或接近最浓比级浆液”的条件。由于接缝灌浆的特殊性，不便使用灌浆记录仪，至今仍采用人工记录方法，故继续采用原规范的接缝灌浆结束条件。

8.4.14 该条将原规范第 5.6.7 条和第 5.6.8 条进行了合并。本条适用于在灌浆过程中（尤其是进入结束阶段）发生排气管出浆不畅或被堵塞时的应急处理。若灌浆一开始就发生此问题，需马上用清水冲洗灌区，排除“病害”后再行灌注。条文中还明确了进行“倒灌”的方法和结束条件，实践证明“倒灌”是弥补接缝灌浆“顺灌”不足的有效措施。

8.4.16 强调“应一区一泵进行灌浆”。“保持各灌区灌浆压力基本一致，协调各灌区浆液的变换”这是原则要求，实践表明，串层、串块的处理，弄清串通途径和主次关系是关键。隔河岩水电站大坝接缝灌浆串浆灌区施工采取了“多机多灌区接连灌浆法”，取得了有益的经验。

8.4.17 灌浆过程中以控制上层灌浆压力为主，目的是防止上层灌区顶部产生过大变形。下层灌浆需待上层开始灌注最浓比级浆液后再结束，是要求上下层灌浆结束时间间隔不能太长（一般控制在 1h 之内）。在未灌浆的邻缝灌区通水平压，是因为在灌区上下层同时灌浆时，灌区面积大，可能对未灌浆的邻缝灌区产生缝面压缩的不利影响。通水平压在一定程度上可以减小上述不利

变形。

8.5 特殊情况处理

8.5.1 本条将原规范第 5.5.4 条、第 5.5.5 条、第 5.5.6 条、第 5.5.7 条进行了合并，针对灌浆前发现的各种灌区“病害”，分别提出原则性处理意见。

8.5.2 本条将原规范第 5.7.1 条、第 5.7.2 条进行了合并，针对灌浆过程中发生的各种异常情况，分别提出原则性处理意见。

8.5.3 本条将原规范第 5.7.3 条、第 5.7.4 条进行了合并。针对灌浆过程中，由于操作不当或停水、停电和机械原因引起的故障，提出参考性处理意见。

(1) “打开所有管口放浆”的作用是卸压；“改用回浆管进浆，适当提高进浆压力”目的是逆向疏通管路。

(2) “用清水冲洗管路和灌区”目的是保持灌浆管路的通畅，防止浆液沉淀，堵塞缝面。“恢复灌浆前，应再进行一次压水检查”，以查明中停后管路是否仍满足“通畅”要求，否则，需考虑采取补救措施。

8.5.4 提出细缝灌浆的几种措施。细水泥浆液，见 3.1.5 条 1 款。据了解，国内少有对细缝进行化学灌浆的实例，因为化学浆液虽然可以灌入细微缝隙中，但其造价高，施工较困难，且有污染环境之嫌，一般不采用。

8.6 质量检查

8.6.1 本条删除了原规范第 5.8.1 条中“从以下几个方面，进行综合评定”的内容。因“分析灌浆施工记录成果资料”即包括了原条文所指内容。分析灌浆施工记录成果资料主要分两方面：一是开灌条件（坝块混凝土温度和龄期，灌区管路通畅情况）；二是灌浆情况（灌浆结束时排气管的出浆浓度和压力）。钻孔取芯、压浆试验和槽检等检查仅是辅助手段，不可能也没必要每个灌区都要取样检查。

8.6.2 本条将原规范第 5.8.3 条、第 5.8.4 条进行了合并、修改。

(1) 钻孔取芯主要是观察接缝中水泥浆液充填的情况、密实程度,以及水泥结石与其两侧混凝土胶结的情况,用直观方法评价该部位接缝灌浆质量。取芯钻孔的孔径不要太小,可选用 $\phi 91 \sim 150\text{mm}$ 金刚石钻头;骑缝孔不要太深,一般孔深 5m 左右,最深不超过 10m,否则钻孔将可能偏出缝面。

(2) 将原规范中 5.8.4 条的“压水试验”修改为“压浆试验”。因压水实验是通过测定单位钻孔长度渗水量来检测岩体渗透性能的方法,在机理上与本处要求不符。

压浆试验孔可以利用取芯检查孔,也可以根据需要另行布置 1~2 孔。

(3) 缝面凿槽检查是在指定部位骑缝凿除接缝两侧混凝土,凿槽平面尺寸一般为 $40\text{cm} \times 40\text{cm}$,槽深以凿穿止浆片为准。

8.6.3 本条将原规范第 5.8.2 条进行了修改、补充。

(1) 本条将“其中一个排气管管口压力已达到设计压力的 50% 以上”修改为“两个排气管管口压力已达到设计压力的 50% 以上”。经调研近期完成的接缝灌浆工程实例,基本能达到此要求。

(2) 本条补充了钻孔取芯检查、压浆试验和凿槽检查合格的判定。

斜穿孔取出的缝面结石能将两侧混凝土黏结或黏结在一侧者,为较完整和具有一定强度。骑缝孔要求绘制钻孔柱状图,实测每块芯样取出缝面的面积和水泥结石充填的面积,并计算芯样取出接缝的总面积 S_t 和水泥结石充填的面积 S_j ,当 $S_j/S_t \geq 70\%$ 时为合格。

有些基础灌区受基岩或地基约束,缝面实际没有张开,这样的灌区灌不进浆、无水泥结石是正常的,大坝运行时将不会影响力传递,故规定了“缝面呈闭合状态”为合格。

(3) 压浆试验借用了回填灌浆质量检查的方法。从机理上分

析，接缝灌浆也属于回填性质的灌浆。将水灰比为 2 的水泥浆液压入缝面，根据初始时间的注浆量大小来判断缝面脱空程度，在回填灌浆质量检查中长期被采用。

接缝灌浆的斜穿检查孔类似回填灌浆的检查孔（钻孔与缝面大角度相交），采用回填灌浆质量检查的合格标准基本适用。但对于骑缝孔，因孔深不同交割的缝面长度不同，故提出其合格标准“参照斜穿孔执行或由有关单位商定”。

压浆检查孔一般布置在灌区的中、上部位，若采用双孔压浆时，两孔间距宜为 2~3m。灌浆塞的位置，对于斜穿孔可以安装在接缝以上 0.5~1.0m，（不考虑较长）；对于骑缝孔灌浆塞可以安装在止浆片以下，从塞位到孔底的距离视为骑缝孔的有效段长。

压浆试验检查的过程也可以对灌区起到补充灌浆的作用。

8.6.4 将原规范中接缝灌浆灌区合格率由 80% 以上提高到 85% 以上；将每个坝段的纵缝灌区和每条横缝的灌区的合格率由 70% 以上提升到 80% 以上。经调查，隔河岩水电站、三峡水利枢纽大坝及永久船闸等工程接缝灌浆质量评定情况，灌区的合格率均达 100%，优良率达 85% 以上。

9 岸坡接触灌浆

9.1 一般规定

9.1.1 新增条文。参考《水工设计手册》第五卷“混凝土坝”第二十一章和 DL/T 5346—2006 第 11.3.3 条对岸坡接触灌浆的要求，以及国内一些工程实例，规定了岸坡部位（或齿槽、井、洞的边坡）布设接触灌浆的前提条件。

处于岸坡部位的帷幕灌浆与接触灌浆，施工干扰很大：若先进行接触灌浆，因混凝土温控要求，使接触灌浆迟迟不能进行，导致了该部位帷幕灌浆施工长期拖延，造成整个工程拖后工期；若先进行帷幕灌浆，则会对接触灌浆管路系统造成破坏。为解决这个矛盾，有的工程取消了防渗帷幕轴线上下游一定范围内的岸坡接触灌浆。实践证明，经帷幕灌浆可以达到对岸坡接触面补强防渗的目的。为防止浆液扩散到帷幕区域以外的接触灌浆部位，其间一般设止浆隔离设施。

9.1.2 新增条文。要求施工组织者在安排岸坡各类钻孔灌浆时统筹考虑，选择合适的灌浆方案。

9.1.3 新增条文。

9.2 灌浆方法

9.2.2 新增条文。

（1）采用“钻孔埋管灌浆”法的前提是岸坡岩石固结灌浆结束之后才可以进行钻孔埋管（图 2）。岩体固结灌浆可以在每层混凝土浇筑后（有盖重条件下）进行，也可以在混凝土浇筑前（无盖重条件下）进行。

（2）浆液水灰比“采用 3、2、1、0.6 四个比级”，开灌浆液比坝体接缝灌浆开灌浆液较稀的原因：接触灌浆的钻孔深入岩体 0.2~0.5m，浆液不仅灌入接触面缝内，而且也可以灌入岩体裂

隙中；岸坡段接触缝面张开只是一侧的混凝土冷却、干缩引起的，且缝面在坝块混凝土的自重作用下会被挤压，缝面张开度很小，为此浆液稀一点，有利于浆液扩散。当排气管出浆后，仍按逐级变浓原则，灌至最浓级浆液。

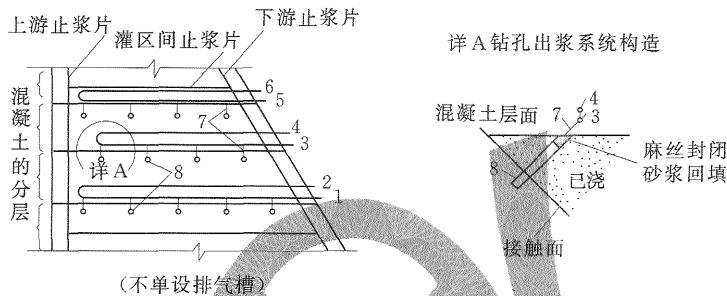


图 2 钻孔埋管灌浆法管路系统埋设形式示意图

1, 3, 5—进浆管；2, 4, 6—回浆管；5, 6—兼排气管；
7—配浆管；8—灌浆孔

9.2.3 新增条文。

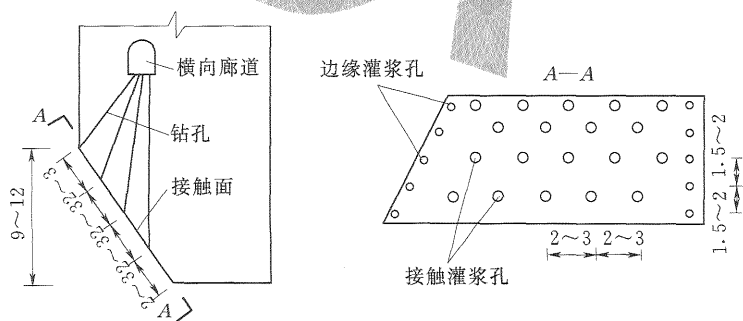
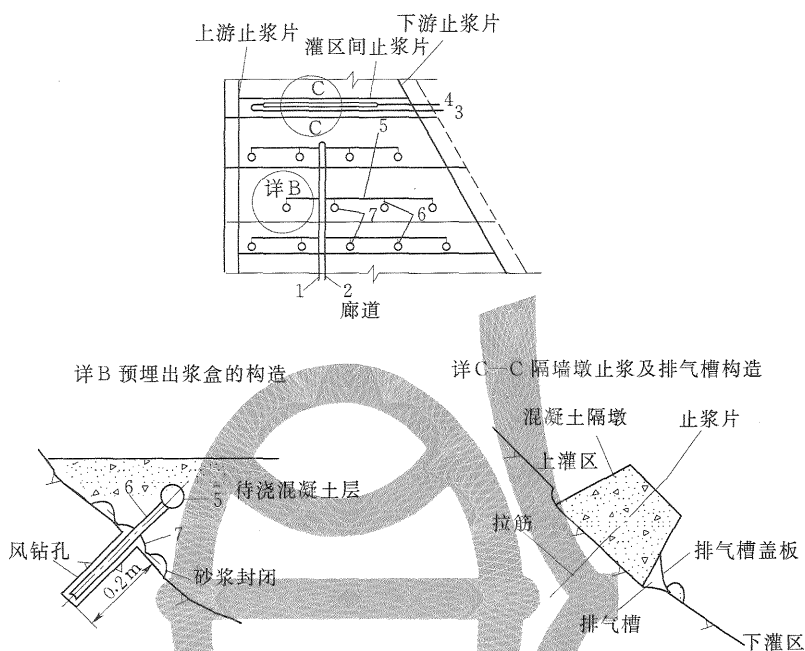
(1) 预埋管灌浆法是直接在建基面上预埋灌浆系统，其前提是先在无盖重条件下完成岸坡岩石固结灌浆，之后进行埋管（见图 3）。

(2) 灌区四周需埋设止浆片、顶部需埋设排气槽（管），均需在预先浇筑的混凝土隔墩上完成。

9.2.4 新增条文。

(1) 采用“直接钻孔灌浆”法的前提是有适合钻孔灌浆施工的廊道或平台，且岸坡规模较小、坡度较缓（图 4）。因为采用“直接钻孔灌浆”法需遵守下列原则：不得长期占用工作面、影响坝块继续上升；不宜增加过多的钻孔工作量；钻孔不宜过深、角度不宜太平缓。

(2) 灌浆孔分接触和岩石两段灌注，并先灌接触段再灌岩石段。这样有利于保证接触段灌浆质量。



10 覆盖层灌浆

10.1 一般规定

10.1.1 我国水利水电工程覆盖层地基的灌浆始于 20 世纪 50 年代，曾在北京密云水库、河北岳城水库等大型工程中应用，在总结一些工程经验的基础上，当时的水利电力部水利水电建设总局于 1963 年颁布了《水工建筑物砂砾石基础帷幕灌浆工程施工技术规范》，本章条文在参考该试行规范的基础上，补充近一二十年来的技术成就和施工经验制定。

本标准中所指水泥黏土类浆液，泛指水泥浆、黏土浆或以水泥、黏土两种材料为主要成分的浆液。水泥黏土浆，指以黏土为主要成分（含量大于 50%）的水泥黏土类浆液；黏土水泥浆，指以水泥为主要成分的水泥黏土类浆液。

本章所阐明的灌浆方法是历年来水利水电工程覆盖层地基灌浆应用较多的方法。近年一些国外和其他行业的灌浆技术，如压密灌浆法、挤入灌浆法、劈裂灌浆法渐有应用于水利工程的，其技术要求和施工参数可以参考有关文献并通过专项试验研究确定。

10.1.3 查明覆盖层地质条件，初步判断其可灌性是论证灌浆处理方案工作的基本要求。当采用可灌比值判别地层的可灌性时，常用灌浆材料的 d_{85} 值见表 11。

表 11 各种灌浆材料的 d_{85} 值

单位：mm

灌浆材料	42.5 水泥	32.5 水泥	磨细水泥	膨润土	黏土	水泥黏土浆	粉煤灰
d_{85}	0.06	0.075	0.025	0.0015	0.02~ 0.026	0.05~ 0.06	0.047

地层的可灌性除用可灌比 M 作为判别指标外，也有用下列两项指标进行判断的：

(1) 渗透系数。渗透系数的大小,可以间接的反映土壤孔隙的大小,根据渗透系数的大小,可以选择不同的灌浆材料。

$K=800\text{m/d}$ 水泥浆液中可加入细砂;

$K>150\text{m/d}$ 可灌纯水泥浆;

$K=(100\sim 200)\text{m/d}$ 可灌掺有减水剂的水泥浆;

$K=(80\sim 100)\text{m/d}$ 可灌加有 2%~5% 活性掺料的水泥浆;

$K\leq 80\text{m/d}$ 可灌黏土水泥浆。

一般认为,水泥黏土浆灌注效果较好的地层,其渗透系数应大于 40m/d 。渗透系数大于 25m/d 的砂砾石地层,一般能接受水泥黏土浆液或经过磨细的水泥与膨润土制成的混合浆液。

(2) 地层中粒径小于 0.1mm 的颗粒含量。砂砾石地基中小于 0.1mm 的颗粒含量小于 5% 时,一般可能接受水泥黏土浆液。

(3) 地层的颗粒级配。国内曾根据一些工程的经验整理出若干特征曲线作为地基对不同灌浆材料可灌性的界限进行判断,见图 5。当被灌地层的颗粒曲线位于 A 线左侧时,该地层容易接受水泥灌浆;当地层埋藏较浅(如 $5\sim 10\text{m}$),其颗粒曲线位于 B 线和 A 线之间时也可以接受水泥黏土灌浆;当地层颗粒曲线位于 C 线和 B 线之间时,该地层容易接受一般的水泥黏土灌浆;当地层颗粒曲线位于 D 线和 C 线之间时,需使用膨润土和磨细水泥灌注。

对所有的砂层和砂砾石层,化学灌浆都是可灌的。从工程造价考虑,化学灌浆费用高,水泥浆、水泥黏土(膨润土)混合浆费用低,且无毒性,对环境的影响较小,是优先选用的灌浆材料。

需要说明,本标准主要适用渗透性灌浆。劈裂灌浆、挤密灌浆等另当别论。

10.1.5 根据目前的设计理念和工程实践经验,国内外工程的覆盖层防渗灌浆一般都采用垂直防渗型式,防渗效果好。防渗灌浆的施工经验表明,受覆盖层地层结构不均匀性的限制,采用垂直孔灌浆,施工较简单,孔斜及灌浆质量易于控制。

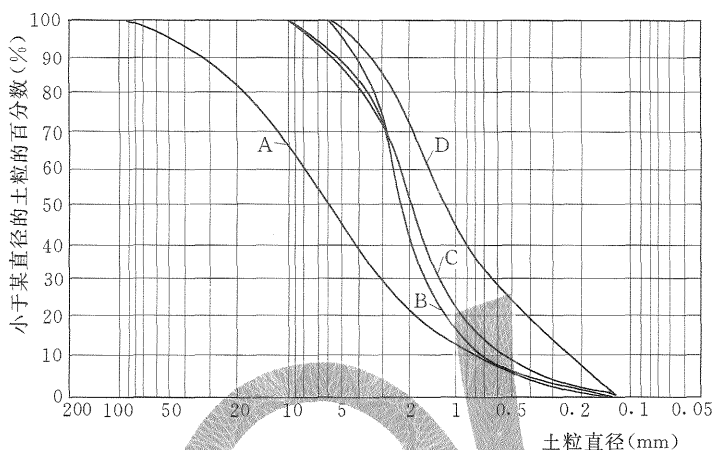


图5 判别冲积层可灌性的颗粒级配曲线

条文中推荐的孔排距为一般情况，具体工程可以通过试验确定。

10.1.8、10.1.9 在防渗灌浆帷幕与防渗墙之间设搭接段，以及要求防渗灌浆帷幕的底部伸入基岩或相对不透水层，主要目的是为了保持工程防渗系统的封闭性和完整性，避免结合部位发生渗透变形。

搭接长度 5m 的是考虑灌浆施工因素确定的，搭接长度 5.0m 可以分为两段灌浆，第一段可取 2.0m；第二段可取 3m，以下各段段长可根据现场试验结果确定。搭接段具体的长度按照沿防渗墙的绕墙渗流比降小于防渗灌浆帷幕的允许比降原则确定。

防渗灌浆帷幕的底部要求伸入相对不透水层小于 5m，采用了《混凝土重力坝设计规范》(SL 314—2007) 的规定。

10.1.10 有些工程使用水泥黏土浆，采用水泥：黏土=1：1~1：4（重量比，下同），水：干料（水固比）=3：1~1：1，可供参考。当对浆液结石有强度要求时，水泥的掺量可以采用较大值。进行多排孔帷幕灌浆时，边排孔和帷幕浅部宜采用水泥含量

较高的浆液，临时性工程可减少水泥含量或使用黏土浆。

10.1.11 防渗帷幕灌浆压力与灌浆段上部覆盖层的厚度、地层结构及变形要求、上部建筑物的变形要求及注浆量有关，一般情况下通过灌浆试验来确定。灌浆段上部覆盖层厚度较大时，起始灌浆压力可以采用较高值。如下坂地水利枢纽工程，坝基为冰碛含漂块碎石层及冰水积含块卵砾石层，厚度 149m，坝基防渗结构为 85m 深的混凝土防渗墙下接 4 排孔帷幕灌浆至基岩。帷幕起始灌浆高程以上的覆盖层厚度为 80m，采用的最大灌浆压力 3.5MPa，目前已经完成覆盖层灌浆施工。

当缺乏试验资料时，可以用经验公式计算或通过工程类比确定允许灌浆压力。可用式（4）进行估算。

$$P = \beta\gamma T + \alpha\lambda h \quad (4)$$

式中 P ——允许灌浆压力，kPa；

β ——系数，在 1~3 范围内选择；

γ ——砂砾石之上盖重层的容重， kN/m^3 ；

T ——盖重层厚度，m；

c ——与灌浆次序有关的系数。Ⅰ序孔 $c=1$ ，Ⅱ序孔 $c=1.25$ ，Ⅲ序孔 $c=1.5$ ；

α ——与灌浆方式有关的系数。自上而下灌浆 $\alpha=0.8$ ，自下而上灌浆 $\alpha=0.6$ ；

λ ——灌浆段以上砂砾石层的平均容重， kN/m^3 ；

h ——盖重层底面至灌浆段段顶的深度，m，无盖重层时，自砂砾石表面起算。

表 12 为国内外若干砂砾石地基灌浆工程的情况，其设计和施工参数可供参考。

当上部建筑物对变形有要求时，可以设置变形监测点，以便于施工控制和保证建筑物安全。变形测点的布置范围、数量根据工程的具体情况确定，变形值通过灌浆前及灌浆过程中测量获得。

表 12 国内外若干砂砾石地基灌浆工程的情况

工程名称	国别	建成年份	坝高或水头 (m)	帷幕面积 (m ²)	帷幕最大深度 (m)	帷幕孔布置			灌浆孔总长 (m)	最大灌浆压力 (MPa)	单位注入量		平均渗透系数 (cm/s)	
						排数	排距 (m)	孔距 (m)			t/m	t/m ²	灌浆前	灌浆后
西尔文斯坦	德国	1959	46	5200	120	7	3	2~3	8000	(0.3~0.6) H	1.3	2.5	5×10^{-1}	$(1 \sim 3) \times 10^{-4}$
谢尔庞桑	法国	1960	120	42000	115	19	2~2.5	2.5~4	16200	$0.6H < (6 \sim 8)$	1.5	6.7	$\frac{3 \times 10^{-1}}{9 \times 10^{-2}}$	2×10^{-5}
米松·太沙基	加拿大	1960	60	6200	150	5	3	3~4.5	8000	(0.3~0.6) H	2.1	3.1	2×10^{-1}	4×10^{-4}
马特马克	瑞士	1967	115	21000	110	10	3	3.5	49000	2~2.5	1.4	3.2	$10^{-2} \sim 10^{-4}$	6×10^{-5}
阿斯旺高坝	埃及	1971	111	54700	250	15	2.5~5	2.5	335000	3~6	1.4	6.1	$10^{-1} \sim 10^{-3}$	3×10^{-4}
船明	日本	1977	15	60	14200	4	2.5	2.5	17350	(0.8~1.0) H	1.37	1.67	$10^{-1} \sim 10^{-2}$	10^{-4}
只见	日本	1988	19.8	铺盖灌浆深 5m		2		2.5	1735		湿磨水泥 260kg/m		$\frac{1.7 \times 10^{-2}}{2.3 \times 10^{-3}}$	2.3×10^{-5}
密云水库	中国	1960	66	27400	44	3	3.5	4		2.5			$(4 \sim 10) \times 10^{-1}$	$\frac{6 \times 10^{-5}}{7 \times 10^{-4}}$
岳城水库 ^a	中国	1961	51.5		23	2、3	1.7~5	6	17790	1.8	左岸 637 右岸 2340kg/m		$\frac{7 \times 10^{-3}}{5 \times 10^{-2}}$	$10^{-4} \sim 10^{-3}$
小南海地震堆积坝 ^a	中国	2002	100		80	3	1.5~2	1.5~3.5	48124	0.2~1.4	0.457		$\frac{(5 \sim 22) \times 10^{-2}}{(0.8 \sim 7.6) \times 10^{-2}}$	1~11.2Lu
冶勒灌浆试验 ^a	中国	2002	125.5		96	3	0.75~1.25	2	473	3.5	0.192		20~100Lu	1~4.6Lu
下坂地灌浆试验 ^a	中国	2003	78		158	3	3.0	3.0	1665	2.5	0.641		$10^{-2} \sim 10^{-1}$	$\frac{1.7 \times 10^{-6}}{1.8 \times 10^{-4}}$

^a 采用孔口封闭法施工, 其余均采用套阀管法施工。

坝、堤防、围堰类地基砂砾石层中灌浆时，一般情况下少量抬动是允许的。1963年，水利电力部水利电力建设总局审定的《水工建筑物砂砾石基础帷幕灌浆工程施工技术试行规范》中，对地表抬动的要求为“灌浆处理后，地面允许最大抬动不得超过砂砾石灌浆深度的1%~2%”。

对于水闸、泵站及电站厂房类基础，灌浆压力应根据建筑物的允许变形要求控制。

10.1.12 套阀管法，又称预埋花管法、袖阀管法，是由法国 Soletanche 公司首创使用的，译名索列丹斯法。孔口封闭灌浆法，在覆盖层中首先应用时曾称边钻边灌法和循环钻灌法，后来在岩石地基采用的孔口封闭灌浆法是在本法的基础上发展起来的，两者工艺程序基本相同，本章为与 5.6 节保持一致，统称为孔口封闭法。该法在 20 世纪 60 年代修建河北岳城水库时首创应用，所谓边钻边灌，有一边进行钻孔；一边以护壁泥浆进行灌浆之意。

10.1.13 挖除上部松散层时，注意避免损坏下部完好帷幕。

10.1.14 水闸、泵站、电站厂房等建筑物地基，在上部荷载作用下外力沿地基深度具有扩散性，按照 45° 扩散角考虑，外延距离可以与灌浆深度相同。设计时根据实际地质条件及建筑物对地基承载力的要求，按计算确定加固范围。土石坝地基或防渗墙两侧的固结灌浆范围根据具体情况确定。

10.1.15 固结灌浆设计的排距、孔距、灌浆压力等参数的确定方法与帷幕灌浆一致，可以按照帷幕设计的方法，通过现场试验、工程经验类比确定。

10.1.17 对变形控制要求相对较低建筑物，可以适当的提高灌浆压力。因建筑物的变形影响其使用功能时，按建筑物的变形要求控制灌浆压力，避免灌浆压力过大引起抬动而影响其正常使用功能。此类地基在固结灌浆时需设置变形监测点，严格控制变形，具体的测点数量可以根据建筑物的布置确定。

10.1.18 覆盖层固结灌浆的浆液材料可以参照防渗帷幕的要求，并优先选用水泥浆液作为灌浆材料。

10.1.19 防渗帷幕起灌高程以上无覆盖层或覆盖层较薄时，为了提高灌浆压力和灌浆质量可以采取下列表层处理措施：①在砂砾石层上部铺设一定厚度的黏土铺盖；②通过碾压等手段增大表层密实度；③在砂砾石表层灌浆段的灌注浆液中加大水泥含量，或灌注纯水泥浆，以形成一个较坚固的盖重层；④采用自上而下灌浆法；⑤可以利用需要挖除的覆盖层作为盖重，在灌浆完成后将其挖除。小南海水库帷幕灌浆采用了浇筑宽 6.0m、厚 0.3m 的混凝土盖板后，先钻灌第 1 段、第 2 段，再镶铸长 4m 的孔口管进行下部的灌浆，保证了灌浆效果。

10.2 套阀管灌浆法

I 钻孔

10.2.3 1963 年颁布的《水工建筑物砂砾石基础帷幕灌浆工程施工技术试行规范》第三十八条规定清孔稀泥浆的黏度为 20~22s (1006 型漏斗黏度计)。表 13 为 1006 型漏斗黏度与马氏漏斗黏度之间的近似对应关系，本条文中的数据由此比照查得。

表 13 1006 型漏斗黏度与马氏漏斗黏度的对照关系参考值

黏土泥浆			膨润土泥浆		
密度 (g/m ³)	1006 漏斗 黏度 (s)	马氏漏斗黏度 (s)	密度 (g/m ³)	1006 漏斗 黏度 (s)	马氏漏斗 黏度 (s)
1.22	39	52	1.11	62	77
1.20	27	40	1.10	37	51
1.18	22	38	1.09	28	41
1.16	20	37	1.08	23	36
1.14	19	33	1.07	21	32
1.12	17	29	1.06	19	30
1.10	16	27	1.05	18	28

10.2.4 本条参照原规范并考虑覆盖层中钻孔孔斜控制难度远大于基岩,同时覆盖层帷幕灌浆大多属于多排孔,帷幕厚度较大,因此本条文规定孔斜率不大于2.5%。

钻孔开孔后,深度20m范围内一定要保证孔向准确,做到这一点后,往下继续使用较长的粗径钻具(钻头加岩芯管)并适当控制压力,就不易偏斜了。

若钻孔偏斜超过设计要求,可以考虑采取补救措施,通常可以在其旁布设一个检查孔,一方面可以检查灌浆质量;另一方面也可以作为补强孔,弥补原灌浆孔偏斜过大的缺点。若这些检查孔注水试验成果达到设计要求,则可以认为该单元工程帷幕灌浆质量合格。

II 灌注填料和下设套阀管

10.2.5 填料是具有特定性能的水泥黏土(膨润土)浆液,在套阀管与孔壁之间的环状间隙中灌注填料,待其凝结,灌浆时即可起到防止浆液沿孔壁在垂直方向上流动的作用,以迫使浆液注入地层。填料的性能要求:一是具有适宜的强度,早期强度增加较快,后期强度增加缓慢;二是析水率低,稳定性高;三是密度、黏度适当,既易于注入孔内,又易于下入套阀管,并不使过多的浆液渗入地层中。

填料的配合比决定填料的性能,以往的经验表明,水泥:黏土:水为1:2.6:4的填料,浆液密度 $1.35\sim 1.60\text{g}/\text{cm}^3$,马氏漏斗黏度 $40\sim 45\text{s}$,结石7d抗压强度 $0.1\sim 0.2\text{MPa}$,28d抗压强度 $0.5\sim 0.6\text{MPa}$ 是适宜的。这样的填料在 $1.5\sim 2.5\text{MPa}$ 的灌浆压力下一般都能开环。

10.2.6 灌浆孔清孔完成后,先注入填料后下套阀管,有利于填料灌注操作,对采用泥浆护壁钻进的灌浆孔的孔壁稳定更有利。

另外方法是灌浆孔清孔完成后,先下入套阀管,之后通过套阀管底部的出浆孔注入填料,也是可行的。

10.2.7、10.2.8 1963年颁布的《水工建筑物砂砾石基础帷幕灌浆工程施工技术试行规范》第三十三条规定套阀管每隔33cm

或 50cm 钻一排出浆孔。现已有市售的商品套阀管，质量好，使用方便，建议优先采用。

10.2.10 填料灌注后需要待凝多长时间，因填料配比的不同而异。所以在进行填料的配比设计时要考虑施工进度安排、填料的强度等情况。密云水库大坝帷幕灌浆填料灌注后待凝时间是 7~14d。近年的一些工程实例由于填料中的水泥掺量较大，结石强度增长较快，待凝时间多为 3~7d。

Ⅲ 灌 浆

10.2.12 通常可先自上而下灌注孔口以下若干段，然后自孔底向上逐段灌注。

10.2.13 双联式灌浆塞是由上下两个单式灌浆塞相联组成的，安装在套阀管中，可以将两塞之间的管段与上部和下部隔离，浆液由两塞之间的出浆孔流出。

10.2.14 开环，指安装好灌浆塞，使用水或泥浆压力将套阀管出浆孔外侧的胶皮胀开，填料破裂的工序。开环后，浆液可以从出浆孔流向地层进行灌浆，但浆液不能倒流。判断开环的条件一般为施压过程中压力突然降低，注水量（或注浆量）突然增大。

10.2.15 灌浆压力通常记录压力表波动范围的平均值，开环压力需同时记录最大值。灌浆记录仪建议同时记录平均压力和最大压力。

10.2.18 本条参照 1963 年颁布的《水工建筑物砂砾石基础帷幕灌浆工程施工技术试行规范》第五十五条和原规范第 3.5.5 条修订。对于“改变不显著”的理解可以量化为，某一级浓度的浆液在灌注了一定数量之后，其注入率仍大于初始注入率的 70%，就属于“改变不显著”。

当注入率大于 30L/min，浆液变浓一级后，如注入率减小超过 50% 时，需改回原浆液灌注。

10.2.19 本条由 1963 年颁布的《水工建筑物砂砾石基础帷幕灌浆工程施工技术试行规范》第六十条修订。灌浆结束条件中设置“持续灌注时间”的主要用意，是使已灌注到岩石裂隙中的水泥

浆液在灌浆压力作用下尽量滤除多余的水分。室内模拟试验证明,这一过程通常在 20min 内可以完成。

10.2.20 单个灌浆孔灌浆结束后一般不建议立即封孔,一般需要通过单元工程验收合格后才可封孔。因为如单元工程检查不合格,还可能要对某些灌浆孔进行复灌,直至单元工程通过验收为止。

导管注浆封孔法是指全孔灌浆完毕后,将导管(灌浆铁管或胶管)下入到钻孔底部,用灌浆泵向导管内泵入最稠一级的浆液,将孔内余浆或积水顶出孔外。在泵入浆液过程中,导管徐徐上提,并注意使导管底口始终保持在浆面以下。工程有专门要求时,也可以注入砂浆。

IV 特殊情况处理

10.2.22 发现钻孔偏斜过大,尤其是相邻孔向相反方向偏斜过大,首先要分析注入量,推测浆液扩散范围,必要时采取补救措施,包括加大灌浆压力增加注入量,重复灌浆等,直至加孔补灌。

10.2.25 无塞上提灌浆法见条文说明 10.4.7 条。

10.2.26 中断后恢复灌浆的注入率与中断前的注入率相比较,达到 80% 以上谓“相近”;达到 60%~80% 谓“减少较多”;60% 以下谓“减少很多”。

10.3 孔口封闭灌浆法

I 钻 孔

10.3.1 孔口管采用无缝钢管制作,其底部长 0.5~1.0m 段钻有出浆孔,孔径 1cm,每环钻 4~6 孔,每 10~20cm 设 1 环孔。孔口管下设后,应先进行灌浆,待凝。

10.3.3 在一定的地质条件下,如能保证孔壁稳定,也可以采用清水钻进。使用泥浆护壁钻进时,在保证孔壁稳定的前提下,建议泥浆浓度较稀。

通常,孔口封闭法的钻孔过程也是灌浆过程的一部分,护壁

泥浆材料的大部分被注入到地层中，统计到注入量中去是合理的和必要的。

10.3.4 参见条文说明 10.2.4 条。

10.3.6 这样做便于详细了解地层情况，在灌浆时采用针对性措施，确保灌浆工程质量。若一旦发生质量问题，也便于查考处理。

II 灌 浆

10.3.9 使用性能良好的孔口封闭器，以便在灌浆过程中经常活动灌浆管，防止其被浆液凝住。

10.3.10 目的是保证孔内浆液循环流动畅通。

10.3.11 采用循环式灌浆时，只有灌浆管出口下到灌浆段底部，才可以促使浆液在灌浆段内真正保持循环流动状态，有利于保证灌浆质量。

10.3.12 另参见条文说明 10.2.15 条。

10.3.14 采用孔口封闭法进行灌浆，特别是深孔（大于 50m）、浓浆（水固比小于 0.7）、高压力（大于 4MPa）、大注入率和长时间灌注的条件下，必须经常活动灌浆管和十分注意观察回浆。灌浆管的活动包括转动和上下升降，每次活动的时间 1~2min，间隔时间 2~10min，视灌浆时的具体情况而定。

10.3.15 孔口封闭法灌浆达到结束条件后，在较长时间持续高压作用下，灌入岩土孔隙内的水泥浆会较快地泌水凝固，接着钻进时钻孔用的循环泥浆或水流对其已无大影响，而且下部孔段灌浆时上部孔段可以得到多次重复灌注，所以不需待凝。

10.3.17 全孔灌浆封孔法，即全孔灌浆完毕后，采用导管注浆将孔内余浆置换成为最浓一级浆液或 0.5:1 的水泥浆，而后封闭孔口进行纯压式灌浆封孔。封孔灌浆压力可以使用最大灌浆压力，持续时间不小于 30min。

III 特殊情况处理

10.3.21 参见条文说明 10.2.26 条。

10.3.23 回浆变浓，一般是灌浆段进入砂层，此时采用水泥黏

土浆、水泥膨润土浆或水泥浆等材料灌注，一般都难有效果，需视工程要求研究是否采取其他灌浆材料和措施。

10.4 其他灌浆法

10.4.7 模袋封隔灌浆法，近年来我国灌浆工程师开发出来的一种较简便的覆盖层灌浆方法，在一些小型工程中已经应用，取得了良好效果。这种方法的施工要点为，先钻好灌浆孔，将灌浆花管和按一定间距（相当于灌浆段长）固定于花管上的模袋下入灌浆孔中，使模袋充浆膨胀将灌浆孔分割成若干灌浆段，在灌浆花管中自上而下分段进行覆盖层灌浆。

细砂封隔灌浆法，在1963年颁布的《水工建筑物砂砾石基础帷幕灌浆工程施工技术试行规范》中称为“无塞上提灌浆法”。其施工要点为，利用泥浆护壁钻灌浆孔，在孔中下入套管洗净灌浆孔，在套管内下入 $\phi 42 \sim 52\text{mm}$ 钻杆，钻杆下部钻有出浆孔并箍有阀套，起拔套管并向孔内填入细砂，充填高度可以根据孔深一次和分次填满。之后通过钻杆向地层灌浆，灌注完一段提拔一段钻杆，自下而上直至灌完全孔。

稠浆封隔灌浆法，近年来我国灌浆工程师开发出来的一种简便高效的覆盖层灌浆方法。其施工要点为，先钻好灌浆孔，在灌浆孔中下入灌浆管和封隔稠浆，利用稠浆的内聚力和触变性将灌浆孔上部封隔，通过灌浆管底口自下而上逐段向覆盖层灌浆。该法已在小湾水电站围堰防渗帷幕灌浆和湖南托口水电站河湾地块防渗灌浆等工程中应用，取得良好效果。

挤压灌浆法，是利用专用灌浆设备高压向地层中注入以水泥为主要胶凝材料的、干硬性的浆体，凝固后形成球根状或柱状的桩形结构物，达到挤密土体并与之形成复合地基，提高承载或防渗能力的一种施工方法。该法近年自国外引进，已在新开河口排灌站地基加固、采兔沟水库泄洪隧洞基础加固、荣桓水电站坝基加固等工程中应用，取得了良好效果。

采用模袋封隔灌浆法、细砂封隔灌浆法、稠浆封隔灌浆法，

灌浆段的封隔措施的有效性是施工取得成效的关键。采用挤压灌浆法，灌浆机械和浆体的性能是重要条件。这些方法的施工技术参数根据工程要求和地质条件通过现场试验确定。

10.5 质量检查

10.5.1 灌浆施工属于隐蔽工程和特殊过程，工程产品完成后难以实施直观的和完全的检查，施工过程中每道工序的质量控制是保证灌浆效果的基础。

10.5.2 检查孔注水试验成果是评价帷幕灌浆工程质量的主要依据，但也要注重施工过程记录以及其他检查成果，进行综合评价分析。

考虑覆盖层灌后地层与灌前地层的均质性发生了较大的改变，同时灌后地层渗透性能得到明显改善，因此可以根据附录 C 进行注水试验，测得灌后地层的渗透性能。

附录 C 系参照《水利水电工程注水试验规程》（SL 345—2007）制定。推荐采用常水头钻孔注水试验，实质也是一种静水头压水试验。根据这种试验方法，可以测算试段所处地层的渗透系数和透水率。在实际工程中，也可以采用几种方法进行计算和分析比较，综合应用试验和计算成果。

10.5.3 如采用的灌浆浆液中黏土、膨润土掺量较大，待凝时间需长一些。

10.5.4 考虑到覆盖层灌浆孔数量较多，检查孔都是布置在帷幕中心线上，3%~5%的比例基本上可以达到一个单元工程有一个检查孔。对于深厚覆盖层和多排孔覆盖层帷幕灌浆的检查孔数量可以取下限，埋藏较浅和单排覆盖层帷幕灌浆检查孔的数量可以取上限；灌浆过程质量控制较好可以取下限，反之取上限。

检查孔布置的部位，2~4 款均为灌浆工程质量容易发生问题的地方。在这些部位布孔：一是针对性强；二是可以利用检查孔进行补充灌浆。

10.5.5 覆盖层灌浆检查孔一般采用检查一段，灌浆一段，待凝

后再进行下一段钻进检查的方式。

对于深厚覆盖层、塌孔明显、清水钻进困难的检查孔段，除了特别重要的部位或者设计明确要求的部位，必须采用清水钻进（如采用多重套管护壁）外，可以参照下列办法进行：

（1）泥浆护壁钻进：采用较稀的泥浆（水固比 10 : 1 ~ 14 : 1）护壁钻孔，钻孔结束后用清水洗孔，再进行注水试验。

（2）采用最稀一级的灌浆浆液进行护壁钻进，钻孔结束后直接用灌浆浆液进行注水试验。适用于需要快速判断灌后地层是否仍存在较大的渗漏通道的情況。

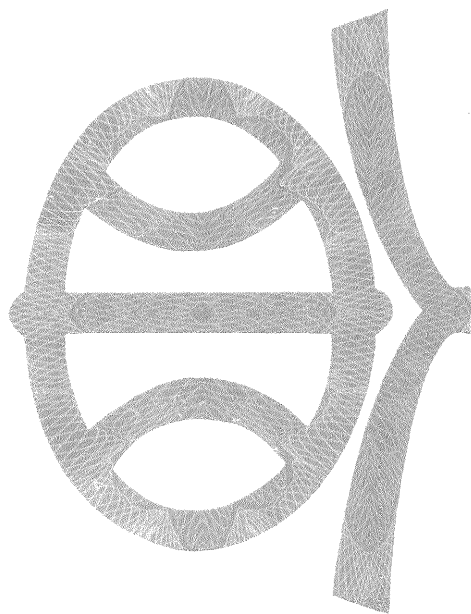
对于非清水钻进的检查孔，要对泥浆或最稀一级灌浆浆液的性能进行测试，并在灌前采用同样的方法进行注水试验，以进行灌浆前后的比较、评价和论证，其质量合格标准由设计通过灌浆试验确定。

10.5.6 覆盖层帷幕灌浆检查孔的合格标准难于统一规定，一般认为除有特殊要求外，砂砾石地层的渗透系数降低到 $10^{-5} \sim 10^{-4} \text{cm/s}$ （约等于 $0.01 \sim 0.1 \text{m/d}$ ），即可认为合格。例如，北京密云水库坝基砂砾石层渗透系数为 $300 \sim 900 \text{m/d}$ ，帷幕灌浆完成后渗透系数降为 $0.048 \sim 0.54 \text{m/d}$ ，达到了防渗要求。新疆下坂地水利枢纽覆盖层帷幕灌浆布置在深 85m 的混凝土防渗墙下面，覆盖层灌浆前渗透系数 $10^{-2} \sim 10^{-1} \text{cm/s}$ ；帷幕灌浆后 13 个检查孔静水头压水试验，渗透系数为 $2.6 \times 10^{-7} \sim 2.7 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ ，满足设计要求。埃及阿斯旺高坝坝基深厚覆盖层帷幕灌浆后，渗透系数由原来的 $5.5 \times 10^{-2} \sim 1.1 \times 10^{-1} \text{cm/s}$ 降低到 $(2.3 \sim 3.6) \times 10^{-4} \text{cm/s}$ ，防渗效果良好。其他工程实例可参见表 12。

10.5.7 注水试验方便快捷，可以用来初步评价固结灌浆的效果，但注水试验结果与固结灌浆后地层的力学特性缺乏明确的关系。必要时，可以通过现场触探与坑探对比试验，进一步准确地评价固结灌浆效果。

10.5.9 检查孔封孔的技术要求与灌浆孔基本一致。由于检查孔

通常布置在地质复杂、重要部位或疑似灌浆有问题的部位，因此，检查孔的灌浆（包括封孔灌浆）相当于又增加了一序孔。对于检查孔注入量仍然较大的孔段，必要时需增布检查孔或进行加密灌浆。



11 施工记录和竣工资料

11.0.1、11.0.2 对坝基岩体帷幕灌浆和混凝土坝接缝灌浆的施工现场记录、成果资料和检验测试资料分别列出。这里所列资料较多，但对于某些特殊工程可能还不够。各工程情况不同，并非都要具备全部所列资料或只能有这些资料。一个工程具体要提供那些资料，需遵照设计或监理规定执行。

基岩固结灌浆、覆盖层灌浆的相关图表与帷幕灌浆大同小异，本规范中不一一列出。

11.0.3 与原规范比较，对附录表格进行了补充修改。补充了钻孔灌浆施工记录表、回填灌浆施工成果综合统计表、固结灌浆施工成果综合统计表、压水试验记录表，对其他表和图的内容、格式也进行了不同程度的修改或补充。

近一二十年来，由于水利水电建设高速发展，大量新生力量涌入灌浆行业之中，不少工程发现灌浆资料统计不规范、不正确。补充和修正有关图表有助于解决这一问题。

11.0.4 单元工程是工程项目的组成部分，及时地进行单元工程的验收，有利于工程进度的安排和及时发现工程缺陷，以便尽早修补。最终有利于竣工验收。

水利水电技术标准咨询服务中心 简介

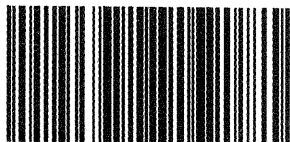
中国水利水电出版社标准化出版分社

中国水利水电出版社，一个创新、进取、严谨、团结的文化团队，一家把握时代脉搏、紧跟科技步伐、关注社会热点、不断满足读者需求的出版机构。作为水利部直属的中央部委专业科技出版社，成立于1956年，1993年荣膺首批“全国优秀出版社”的光荣称号。经过多年努力，现已发展成为一家以水利电力专业为基础、兼顾其他学科和门类，以纸质书刊为主、兼顾电子音像和网络出版的综合性出版单位，迄今已经出版近三万种、数亿余册（套、盘）各类出版物。

水利水电技术标准咨询服务中心（中国水利水电出版社标准化出版分社）是水利部指定的行业标准出版、发行单位，主要负责水利水电技术标准及相关出版物的出版、宣贯、推广工作，同时还负责水利水电类科技专著、工具书、文集及相关职业培训教材编辑出版工作。

感谢读者多年来对水利水电技术标准咨询服务中心的关注和垂爱，中心全体人员真诚欢迎广大水利水电科技工作者对标准、水利水电图书出版及推广工作多提意见和建议，我们将秉承“服务水电，传播科技，弘扬文化”的宗旨，为您提供全方位的图书出版咨询服务，进一步做好标准和水利水电图书出版、发行及推广工作。

主 任：王德鸿 010-68545951 wdh@waterpub. com. cn
副 主 任：陈 昊 010-68545981 hero@waterpub. com. cn
主任助理：王 启 010-68545982 wqi@waterpub. com. cn
责任编辑：王丹阳 010-68545974 wdy@waterpub. com. cn
章思洁 010-68545995 zsj@waterpub. com. cn
覃 薇 010-68545889 qwei@waterpub. com. cn
刘媛媛 010-68545889 lyuan@waterpub. com. cn
传 真：010-68317913



155170.182

中华人民共和国水利行业标准
水工建筑物水泥灌浆施工技术规范

SL 62—2014

*

中国水利水电出版社出版发行
 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038)

网址: www.waterpub.com.cnE-mail: sales@waterpub.com.cn

电话: (010) 68367658 (发行部)

北京科水图书销售中心 (零售)

电话: (010) 88383994、63202643、68545874

全国各地新华书店和相关出版物销售网点经售

北京瑞斯通印务发展有限公司印刷

*

140mm×203mm 32开本 5.875印张 158千字
 2014年12月第1版 2014年12月第1次印刷

*

书号 155170·182

定价 56.00元

水利水电技术标准
 咨询服务中心



微信二维码，扫一扫
 信息更多、服务更快

凡购买我社规程，如有缺页、倒页、脱页的，

本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究