

ICS 27.140

P 59

备案号: J1381—2012

DL

中华人民共和国电力行业标准

P

DL / T 5267 — 2012

水电水利工程覆盖层灌浆
技 术 规 范

Specification of overburden grouting
for hydropower and water resources projects

2012-01-04 发布

2012-03-01 实施

国家能源局 发布

中华人民共和国电力行业标准

水电水利工程覆盖层灌浆技术规范

**Specification of overburden grouting
for hydropower and water resources projects**

DL/T 5267 — 2012

主编机构：中国电力企业联合会

批准部门：国 家 能 源 局

施行日期：2012 年 3 月 1 日

中国电力出版社

2012 北 京

中华人民共和国电力行业标准
水电水利工程覆盖层灌浆
技术规范

Specification of overburden grouting
for hydropower and water resources projects
DL/T 5267 — 2012

*

中国电力出版社出版、发行
(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)
北京博图彩色印刷有限公司印刷

*

2012 年 6 月第一版 2012 年 6 月北京第一次印刷
850 毫米×1168 毫米 32 开本 2.5 印张 61 千字
印数 0001—3000 册

*

统一书号 155123·854 定价 21.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

本标准是根据《国家发展改革委办公厅关于印发 2008 年行业标准计划的通知》（发改办工业〔2008〕1242 号文）的要求制定的。

我国在覆盖层地基中进行灌浆始于 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，后来由于混凝土防渗墙技术的快速发展，使得覆盖层灌浆工程大大减少，渐少见于较大规模的应用。近一二十年来，由于水电水利工程建设的发展和各项技术的进步，覆盖层地基和围堰工程的灌浆应用渐多，推广较快。为了促进和规范这项技术的应用，保证覆盖层灌浆工程的质量，制定本标准实为必要。经过两年多的工作，本标准的编写人员进行了广泛的调研，对国内水电水利工程几十年来在覆盖层灌浆工程中采用的各项技术、工艺进行了总结，参考了国外同类灌浆技术标准，吸取了全国水电水利工程建设、设计、施工、监理等单位及有关专家的意见，形成了本标准。

本标准的主要技术内容包括覆盖层灌浆设计原则，灌浆材料、设备与制浆，灌浆施工方法，灌浆工程质量检查等。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业水电施工标准化技术委员会归口。

本标准主编单位：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、陕西省水利电力勘测设计研究院、葛洲坝集团基础工程有限公司、中国水电顾问集团贵阳勘测设计研究院、武警水电第一总队。

本标准主要起草人：夏可风、赵存厚、肖恩尚、杨晓东、杨西林、宋玉才、郑治、杨月林、龚木金、黄灿新、杨锋、刘斌、王建功、高永刚、杨森浩、唐玉书、宋伟、贺永利、王碧峰、刘

松富。

本标准主要审查人员：梅锦煜、许松林、吴新琪、楚跃先、汪毅、毛亚杰、张建华、王琪、孙志禹、孙来成、郭光文、康明华、陈宏、常焕生、杨成文、温文森、吴方明、钟彦祥、马如骐、孙钊、陈琪新、王行本、高广淳。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

目 次

前言	I
1 总则	1
2 术语	2
3 设计原则	4
3.1 一般规定	4
3.2 帷幕灌浆	4
3.3 固结灌浆	6
3.4 现场灌浆试验	7
4 灌浆材料、设备与制浆	8
4.1 灌浆材料与浆液	8
4.2 灌浆设备与机具	9
4.3 制浆	10
5 施工准备与要求	12
6 套阀管法灌浆	14
6.1 钻孔	14
6.2 灌注填料与下设套阀管	14
6.3 灌浆	15
6.4 特殊情况处理	16
7 孔口封闭法灌浆	18
7.1 钻孔	18
7.2 灌浆	18
7.3 特殊情况处理	19
8 沉管灌浆	21
9 质量检查	23
10 竣工资料与工程验收	25

DL / T 5267 — 2012

附录 A 覆盖层灌浆工程钻孔注水试验检查方法.....	27
附录 B 覆盖层灌浆施工记录与成果图表	30
本标准用词说明	41
引用标准名录	42
附：条文说明	43

Contents

Preface	I
1 General Provisions	1
2 Terms	2
3 Design Considerations	4
3.1 General Requirements	4
3.2 Curtain Grouting	4
3.3 Consolidation Grouting	6
3.4 Trial Grouting Tests	7
4 Grouting Materials, Equipment and Grout Mixing	8
4.1 Grouting Materials and Grout	8
4.2 Grouting Equipment and Tools	9
4.3 Grout Mixing	10
5 Preparation and Requirements	12
6 Sleeve Grouting Method	14
6.1 Drilling	14
6.2 Grouting Filling Material and Installation of Sleeve Pipe	14
6.3 Grouting	15
6.4 Measures to Be Taken in Special Conditions	16
7 Orifice-closed Grouting Method	18
7.1 Drilling	18
7.2 Grouting	18
7.3 Measures to Be Taken in Special Conditions	19
8 Grouting of Casing Pipe	21
9 Quality Supervision and Control	23
10 Works Documentation and Acceptance	25

Annex A	Inspection Methods for Water Injecting Test of Overburden Grouting	27
Annex B	Construction Records and Charts for Overburden Grouting Explanation of Wording in This Specification	30
	Explanation of Wording in This Standard	41
	List of Quoted Standards	42
	Additions: Explanation of Provisions	43

1 总 则

1.0.1 为规范水电水利工程覆盖层地基灌浆的设计原则、施工技术要求、工程质量检查方法，满足工程安全 and 经济合理的要求，特制定本标准。

1.0.2 本标准适用于水电水利工程中覆盖层的水泥黏土类浆液的灌浆。

1.0.3 覆盖层地基的灌浆处理方案应根据工程要求、地质、施工等条件，经过技术经济比较后制定。

1.0.4 灌浆工程的所有相关各方应具有必要的灌浆工程经验。对灌浆过程的监管应连续，灌浆施工过程中的成果应及时与设计参数及预期目标进行比较，如果灌浆中间成果与设计预期有重大区别，应立即查明原因，必要时应跟踪调整设计参数及施工工艺。

1.0.5 灌浆工程的实施应避免对环境产生不良影响。

1.0.6 水电水利工程覆盖层灌浆除应遵守本标准外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

下列术语和定义适用于本标准。

2.0.1 覆盖层 overburden

覆盖在基岩之上的各种成因的松散堆积、沉积物。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体等。

2.0.2 覆盖层灌浆 overburden grouting

利用机械压力或浆液自重，将具胶凝性的浆液压入到覆盖层中的孔隙或空洞内，以改善覆盖层的物理力学性能的工程措施。

2.0.3 帷幕灌浆 curtain grouting

将浆液灌入覆盖层孔隙或空洞内形成连续的阻水幕，以减小覆盖层地基的渗漏量或降低渗透压力的灌浆工程。

2.0.4 固结灌浆 consolidation grouting

将浆液灌入覆盖层孔隙或空洞内，以增强覆盖层地基的密实性和承载能力的灌浆工程。

2.0.5 混合浆液 mixed grout

由水泥、水、黏土或膨润土、粉煤灰、外加剂等多种材料混合配制的浆液。

2.0.6 膏状浆液 colloidal grout

具有较大的屈服强度和塑性黏度、较小的流动度及良好的触变性能的、状似膏体的胶凝性浆液。

2.0.7 套阀管法 sleeve grouting method

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灰浆，在套阀管内使用灌浆塞进行灌浆的方法。

2.0.8 孔口封闭法 orifice-closed grouting method

在灌浆孔口埋设孔口管，使用孔口封闭器自上而下分段进行

钻孔和灌浆的方法。

2.0.9 沉管灌浆 grouting method of casing pipe

将钢制灌浆管通过锤击或其他方式沉入覆盖层中进行灌浆的方法，包括打管灌浆法、套管灌浆法等。

2.0.10 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。

3 设计原则

3.1 一般规定

3.1.1 采用灌浆方法处理覆盖层时，应先查明覆盖层的成因、结构、空间分布范围，各土层的颗粒级配、密度、渗透系数、允许渗透比降等，以及地下水的分布规律、流速、水质等情况。在地震区应对覆盖层的液化特性作出判断。

3.1.2 覆盖层灌浆设计技术指标应以现场试验及室内试验成果为依据，通过计算分析和工程类比的方法提出，并应符合 DL/T 5395 或其他相关规范的规定。

3.1.3 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，宽度宜超出灌浆两侧边线 3m 以上。

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

3.1.5 覆盖层灌浆工程应根据其功能要求和使用条件，设置渗流和变形监测设施。

3.2 帷幕灌浆

3.2.1 帷幕灌浆设计应与工程总体的防渗系统设计布置相结合，统筹考虑。

3.2.2 帷幕灌浆设计应满足工程总体渗流控制的要求，工程渗流控制标准应通过渗流计算及渗透试验综合确定。

1 灌浆帷幕的允许渗透比降应满足渗流控制标准的要求。

2 帷幕与其上部的防渗体之间应满足不发生接触冲刷和接触流失的要求。

3 渗流量应满足工程正常运行时的允许漏失量。

3.2.3 帷幕的设计标准应按渗透系数 (K) 控制, 并根据工程的防渗要求和渗流控制标准确定。

3.2.4 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。

可灌比可按式 (3.2.4) 计算:

$$M = D_{15} / d_{85} \quad (3.2.4)$$

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。

$M > 15$ 时可灌注水泥浆; $M > 10$ 时可灌注水泥黏土浆。

3.2.5 帷幕的厚度可按式 (3.2.5) 计算:

$$T = H / J \quad (3.2.5)$$

式中: T ——帷幕厚度, m;

H ——最大设计水头, m;

J ——帷幕的允许比降, 水泥黏土浆可采用 3~6, 若大于 6 应通过试验论证。

对于深度较大的多排帷幕, 可根据渗流计算的成果和已有的工程经验沿深度逐渐减薄。

3.2.6 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, 不宜少于 3 排。灌浆孔排距和孔距宜为 2m~4m, 排距宜小于孔距。

3.2.7 当帷幕设置在混凝土防渗墙墙底时, 多排灌浆帷幕与防渗墙的底部应设置搭接段, 且搭接长度不宜小于 5m, 沿防渗墙底端的绕流渗透比降应小于灌浆帷幕的允许比降。搭接段宜先行灌浆并待凝。

3.2.8 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。

3.2.9 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。水泥黏土浆宜采用水泥：黏土=1:1~1:4（质量比，下同），水：干料（水固比）=3:1~1:1。当对浆液结石有强度要求时，水泥的掺量可采用较大值。

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。

3.2.10 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。

3.2.11 帷幕灌浆施工宜采用套阀管法或孔口封闭法。

3.2.12 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。

3.3 固 结 灌 浆

3.3.1 应根据建筑物对地基承载力和变形控制等使用要求，结合地质及施工等条件进行覆盖层固结灌浆的设计。

3.3.2 覆盖层地基固结灌浆的范围应大于建筑物的外轮廓线，具体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。

3.3.3 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。一般情况下，孔距、排距可采用2m~3m。

3.3.4 覆盖层固结灌浆宜采用沉管灌浆法或孔口封闭灌浆法。施工时宜先灌注周边孔，后灌注中间孔，各灌浆孔按排间分序、排内加密的原则进行。

3.3.5 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，一般情况下可采用 0.1MPa~1.0MPa。必要时应进行变形监测。

3.3.6 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。

3.4 现场灌浆试验

3.4.1 现场灌浆试验宜在可行性研究阶段进行。

3.4.2 现场灌浆试验的地点应具有代表性。地质条件复杂时，应针对不同地质单元和不同施工条件进行灌浆试验。当在工程建设部位进行试验时，应对试验工程的利用及与建筑物的衔接作好安排。

3.4.3 现场灌浆试验的主要任务是：

1 试验论证工程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 评价灌浆帷幕的渗透性和抗渗透破坏能力，固结灌浆后地基的承载能力和变形特性等。

3 试验确定适宜的灌浆材料、浆液配比和浆液性能要求。

4 推荐合理的灌浆技术参数，如灌浆孔排数、排距、孔距、孔深等。

5 推荐合理的施工方法、施工程序和施工参数，如灌浆压力、单位注入量范围等。

6 研究适宜的灌浆质量标准和检查方法。

7 施工工效、进度与工程造价分析等。

3.4.4 对灌浆试验的全过程，包括实施的每一步骤应进行详细的记录。

3.4.5 在施工前或施工初期，宜进行生产性灌浆试验，以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。

4 灌浆材料、设备与制浆

4.1 灌浆材料与浆液

4.1.1 覆盖层灌浆的材料应根据覆盖层的地层组成、渗透性、地下水流速、灌浆材料来源和灌浆目的要求等，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 水泥黏土（膨润土）浆。
- 2 水泥基浆液，包括纯水泥浆、粉煤灰水泥浆、水泥砂浆、水玻璃水泥浆等。
- 3 黏土浆、膨润土浆。
- 4 化学浆液，如水玻璃类、丙烯酸盐类等。
- 5 其他浆液，如沥青、膏状浆液等。

4.1.2 灌浆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确定，一般可采用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥或复合硅酸盐水泥。当有抗侵蚀或其他要求时，可使用矿渣水泥、火山灰水泥或特种水泥。水泥的强度等级可为 32.5 或以上。

水泥的品质、运输和储存条件应符合 GB 175 或所采用的其他水泥的标准的规定。

4.1.3 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。

4.1.4 灌浆用膨润土，其品质指标应符合 GB/T 5005 的规定。

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

4.1.6 灌浆用水应符合 DL/T 5144 规定的拌制水工混凝土用水的要求。

4.1.7 根据灌浆需要，可在灌浆浆液中加入下列外加剂，其种类和掺量应通过室内浆液试验和现场灌浆试验确定：

- 1 速凝剂，如水玻璃、氯化钙或其他无碱速凝剂等。
- 2 减水剂，如萘系高效减水剂、木质素磺酸盐类减水剂等。
- 3 活性剂，如碱等。
- 4 其他外加剂，如膨胀剂等。

所有外加剂的品质指标应符合 DL/T 5100 或其他有关标准的规定。凡能溶于水的外加剂应以水溶液状态加入。

4.1.8 普通纯水泥浆可不进行室内试验。其他浆液可根据工程需要有选择地进行下列试验：

- 1 灌浆材料的细度和颗粒分析。
- 2 浆液密度、黏度、凝结时间、析水率、流变参数等。
- 3 浆液结石密度、抗压强度、弹性模量、抗渗等级或渗透系数、渗透破坏比降等。

4.2 灌浆设备与机具

4.2.1 搅拌机的拌和能力应与所搅拌浆液的类型相适应，保证能均匀、连续地拌制浆液。

4.2.2 灌浆泵的技术性能与所灌注的浆液的类型、浓度应相适应。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%，排浆量应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。

4.2.3 灌浆管路应能保证浆液流动畅通，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距离不宜大于 30m。灌注膏状浆液时灌浆管路直径宜大，长度宜短。

4.2.4 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。

4.2.5 灌浆塞应与所采用的灌浆方法、灌浆压力、灌浆孔或套阀管直径相适应，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，并且易于安装和卸除。

4.2.6 灌浆泵出浆口和灌浆孔孔口处均应安设压力表。压力表量程的最大值宜为最大灌浆压力的 1.5 倍～2.5 倍。压力表与管路之间应设有隔浆装置，且隔浆装置传递压力应灵敏无碍。

4.2.7 覆盖层灌浆工程宜使用灌浆记录仪。灌浆记录仪应能自动测量记录灌浆压力和注入率，其技术性能和安装使用的基本要求应符合 DL/T 5237 的规定。

4.2.8 集中制浆站设备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。

4.2.9 所有灌浆设备应做好维护保养，保证其正常工作状态，并应有备用量。

4.2.10 钻孔灌浆的计量器具，如测斜仪、压力表（压力计）、流量计、密度计（比重计）、灌浆记录仪等，应定期进行校验或检定，保持计量准确。

4.3 制 浆

4.3.1 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称量法计量。

4.3.2 膨润土、黏土加入制浆前应进行浸泡、润胀，充分分散黏土颗粒。

4.3.3 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，水泥浆不宜大于 4h，水泥黏土浆不宜大于 6h。

4.3.4 水泥浆液和水泥黏土（或膨润土）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（或膨润土）浆液时宜先加水、再加水泥拌成水泥浆，后加黏土浆液

共拌。加黏土浆液后的拌制时间不宜少于 2min。

膏状浆液、其他混合浆液的搅拌时间应通过试验确定。

4.3.5 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。与黏土不发生化学反应的外加剂宜在泥浆配制过程中加入。

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

4.3.7 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 $5^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ 。

5 施工准备与要求

5.0.1 覆盖层灌浆工程施工前应具备下列设计文件或相应的资料：

- 1 施工详图和设计说明书。
- 2 灌浆区域工程地质和水文地质资料。
- 3 主要灌浆材料来源及料场资料。
- 4 灌浆试验报告。
- 5 灌浆施工组织设计。
- 6 灌浆施工技术要求。
- 7 灌浆质量标准 and 检查方法。

5.0.2 对需要采取振冲、强夯、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。

5.0.3 灌浆工程所用的风、水、电、水泥浆液、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（或黏土）泥浆的集中拌制站，以及必要的现场试验室。

5.0.4 灌浆工程应制定妥善的环境保护和劳动安全措施。钻渣、污水和废浆应集中处理后排放。

5.0.5 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。

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

5.0.7 灌浆工程中的各个钻孔应统一分类和编号。

5.0.8 各项施工记录应有专人在现场随着施工作业地进行使用墨水笔逐项填写，做到及时、准确、真实、齐全、整洁。

灌浆过程宜采用灌浆记录仪进行记录，灌浆记录仪的打印记录表应当班签证。

5.0.9 各种资料应及时整理，编制成所需的图表和其他成果资料。

6 套阀管法灌浆

6.1 钻 孔

6.1.1 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。

6.1.2 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。

6.1.3 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本标准第 7.1 节的规定。灌浆孔钻进结束后，应使用马氏漏斗黏度为 31s~36s 的稀泥浆清孔，孔底沉淀厚度不宜大于 20cm。

6.1.4 灌浆孔位与设计孔位的偏差应不大于 10cm，终孔孔径不宜小于 91mm，孔深应符合设计规定，孔底偏斜率应不大于 2.5%。应严格控制孔深 20m 以内的孔斜率。

6.2 灌注填料与下设套阀管

6.2.1 灌浆孔填料应为析水率低、稳定性好的水泥黏土浆液，填料结石收缩性小，可在开环压力下碎裂。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。

6.2.2 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，不得中途停顿。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。

6.2.3 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 56mm，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。

6.2.4 沿套阀管轴向每隔 30cm~50cm 设一环出浆孔。每环 2 个~5 个孔，孔径可为 8mm~15mm。出浆孔外面，应用弹性良好的橡皮箍圈套紧。

6.2.5 填料灌注完成后应立即下设套阀管。套阀管下放应平稳，不得强力下压或拧动。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应不大于 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。

6.2.6 套阀管下设完成后宜待凝 3d 以上。

6.2.7 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。

6.3 灌 浆

6.3.1 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。采用纯压式灌浆方式。

6.3.2 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。

6.3.3 灌浆前应先进行开环。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 5min~10min。然后换用灌浆浆液进行灌浆。

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

6.3.5 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。

6.3.6 灌浆浆液及其配比可按本标准第 3.2.9 条执行，通常固定水

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。

6.3.7 灌浆浆液按以下原则逐级变换：

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 1000L~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。

6.3.8 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。

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。一般边排孔单位注入量不大于 3t 或 5t。

中间排孔应采用第 1 款条件。

6.3.9 一个单元工程的各灌浆孔灌浆结束，并通过单元工程质量检查合格后，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。

6.4 特殊情况处理

6.4.1 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。

6.4.2 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。

6.4.3 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。

6.4.4 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。

6.4.5 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。

6.4.6 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，可继续使用中止时的浆液灌注；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。

7 孔口封闭法灌浆

7.1 钻 孔

7.1.1 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，管口高出地面10cm~20cm，埋设要正直、坚固。孔位偏差应不大于10cm。

7.1.2 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56mm。

7.1.3 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，黏粒含量大于50%，含砂量小于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。

7.1.4 灌浆孔孔深应符合设计规定，孔底偏斜率应不大于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。

7.1.5 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。

7.1.6 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。

7.2 灌 浆

7.2.1 灌浆自孔口向孔底逐段进行，采用循环式灌浆方式。

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

7.2.3 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。

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

7.2.5 各段灌浆时灌浆管底口离孔底的距离应不大于 50cm。

7.2.6 灌浆压力应按照本标准第 3.2.10 条或第 3.3.5 条的规定通过试验确定。灌浆压力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。

7.2.7 灌浆浆液配比及变换可按照本标准第 3.2.9 条、第 6.3.6 条和第 6.3.7 条执行。

7.2.8 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。

7.2.9 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一般可不待凝。

7.2.10 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。

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

7.3 特殊情况处理

7.3.1 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。

7.3.2 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。

7.3.3 灌浆过程中发生串浆时, 如串浆孔具备灌浆条件, 应一泵一孔同时进行灌浆。否则, 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。

7.3.4 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。

7.3.5 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。

7.3.6 灌浆过程中如回浆变浓，可换用较稀的新浆灌注，若效果不明显，继续灌注 30min，即可结束灌注，也不再进行复灌。

8 沉 管 灌 浆

8.0.1 沉管灌浆适用于松散覆盖层孔深 15m 以内、压力较低的灌浆。根据工程要求和地层结构可采用打管灌浆法、套管灌浆法或其他方式进行沉管和灌浆。

8.0.2 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 50mm~75mm。
- 2 灌浆管下部应设花管，末端带锥尖。花管段长 1m~2m，出浆孔呈梅花形排列，环距 20cm~30cm，每环 2 个~3 个孔，孔径 10mm。
- 3 灌浆管采用机械或人工锤击沉入地层，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。

8.0.3 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 89mm~146mm，套管护壁深度应不小于设计孔深。
- 2 将护壁套管内冲洗干净，起拔套管 1m~2m。
- 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，一般为 1m~2m。

8.0.4 沉管灌浆压力以灌浆孔口处进浆管路上的压力表读数为准。灌浆压力可按照本标准第 3.3.5 条确定，或采用浆液自流方式灌注。

8.0.5 沉管灌浆宜使用单一比级的稠浆灌注。

8.0.6 达到下列条件之一，可结束灌浆：

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。

9 质 量 检 查

9.0.1 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。

9.0.2 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。注水试验按附录 A 的规定进行。

9.0.3 帷幕灌浆检查孔注水试验宜在该部位灌浆结束 14d 后进行。

9.0.4 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述部位布置：

- 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。

9.0.5 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。

9.0.6 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。

9.0.7 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。

9.0.8 固结灌浆检查孔应布置在地质条件较差、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%，检测点的合格率应不小于 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。

9.0.9 各类检查孔检查工作结束后，应按技术要求进行封孔。

10 竣工资料与工程验收

10.0.1 防渗帷幕灌浆工程的施工记录、成果资料和检验测试资料可包括下列部分或全部内容：

1 施工记录。

- 1) 钻孔记录；
- 2) 钻孔测斜记录；
- 3) 钻孔冲洗记录；
- 4) 注水试验记录；
- 5) 孔壁填料记录；
- 6) 灌浆记录；
- 7) 抬动或变形观测记录；
- 8) 制浆记录；
- 9) 现场浆液试验记录等。

2 灌浆成果资料。

- 1) 灌浆孔成果一览表；
- 2) 灌浆成果分序统计表；
- 3) 灌浆成果综合统计表；
- 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。

- 1) 检查孔注水试验记录与资料整理记录表；
- 2) 检查孔注水试验成果表；

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

主要的灌浆施工记录、成果表、竣工图的样式见附录 B。

固结灌浆的施工记录、成果资料和检验测试资料应包括的内容, 参照上述要求确定。

10.0.2 灌浆工程的单元工程施工及质量检查完成后, 应及时进行单元工程质量评定。

10.0.3 灌浆工程完工后, 应及时整理编制竣工资料, 提出施工总结报告, 申请验收。灌浆工程验收应提供的文件有:

- 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 覆盖层灌浆工程钻孔注水试验检查方法

A.1 试 验 方 法

A.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 DL/T 5148 的有关规定进行。

A.1.2 常水头钻孔注水试验应准备下列设备和仪表：

1 供水设备：水箱、水泵。

2 量测设备：水表、量桶、量杯、流量记录仪、水位计、秒表、米尺等。

3 止水设备：套管、栓塞。

所用设备和仪表应满足试验检测所需的量测范围和精度要求。

A.1.3 注水试验孔的钻进应按照本标准第 9.0.5 条的规定执行。

A.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。

A.1.5 注水试验应自上而下分段进行，试验段长度可为 2m~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。

A.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。

A.1.7 注水采用常水头方式，试验水位可与孔口齐平。当地下水位较高时，也可加接管路提高试验水位。

A.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，以后每隔 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。

A.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，以同样水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。

A.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。

A.2 试验成果计算

A.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 (A.2.1-1) 计算地层渗透系数：

$$K=16.67Q/(AH) \quad (\text{A.2.1-1})$$

式中：K——渗透系数，取 2 位有效数字，cm/s；

Q——注入流量，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，cm³/s；

H——试验水头，等于试验水位与地下水位之差，cm；

A——形状系数，cm。

A 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, 试段裸露或下花管, 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, 试验孔内不下套管或部分下套管, 试段裸露或下花管, 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 (A.2.1-2) 计算地层渗透系数:

$$K = [7.05Q \lg(2L/r)] / (LH) \quad (\text{A.2.1-2})$$

式中: L ——试段长度, cm;

r ——钻孔半径, cm;

H ——试验水头, 等于试验水位至试段中点的高度, cm。

其余符号意义同式 (A.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 (A.2.1-3) 计算地层渗透系数:

$$K = [0.432Q \lg(2H/r)] / H^2 \quad (\text{A.2.1-3})$$

式中符号意义同式 (A.2.1-1) 和式 (A.2.1-2)。

A.2.2 计算地层的透水率

按式 (A.2.2) 计算试段所在地层的透水率:

$$q = Q / (pL) \quad (\text{A.2.2})$$

式中: q ——试段透水率, Lu。

Q ——注入流量, 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, L/min。

p ——作用于试段中点的全压力, 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, MPa。

L ——本试段长度, m。

计算结果取 2 位有效数字。

附录 B 覆盖层灌浆施工记录与成果图表

B.0.1 覆盖层灌浆工程的施工记录和成果资料图表很多，情况不一，格式与内容也不尽相同。主要的表格和成果图的基本样式如下：

- 1 钻孔灌浆施工记录表（表 B.0.1-1）；
- 2 灌浆施工记录表（表 B.0.1-2）；
- 3 灌浆孔成果一览表（表 B.0.1-3）；
- 4 灌浆分序统计表（表 B.0.1-4）；
- 5 灌浆综合统计表（表 B.0.1-5）；
- 6 灌浆工程完成情况表（表 B.0.1-6）；
- 7 注水试验与资料整理记录表（表 B.0.1-7）；
- 8 检查孔注水试验成果表（表 B.0.1-8）；
- 9 覆盖层防渗帷幕灌浆综合剖面图（孔口封闭法，图 B.0.1）。

表 B.0.1-1 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 B.0.1-2 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 地下水位高程_____ m 开环压力_____ MPa 灌前透水率_____ Lu 或渗透系数_____ cm/s

[illegible]

机长_____ 班长_____ 记录_____ 质检_____ 监理_____ 年 月 日 班

注：本记录表可用灌浆记录仪打印记录代替。

表 B.0.1-4 灌浆分序统计表

施工日期

[illegible]

注：单位注入量区间划分可根据工程具体情况确定。

表 B.0.1-5 灌浆综合统计表

工程名称

工程部位

施工日期

单元	排序	灌浆次序	孔数	钻孔进尺 (m)			灌浆进尺 (m)	灌浆材料用量				单位注入量 (kg/m)	段数/频率 (%)						备注
				混凝土	覆盖层	合计		注浆 (L)	干料 (t)	废弃 (t)	总耗量 (t)		总段数	单位注入量区间 (kg/m)					
														<50	50~200	200~1000	1000~3000	>3000	
× 单元	下游排	I																	
		II																	
		III																	
		小计																	
	中间排	I																	
		II																	
		III																	
		小计																	

续表 B.0.1-5

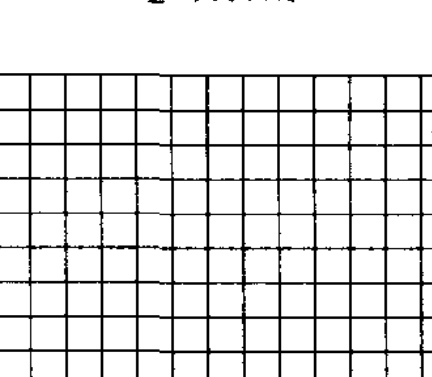
单元	排序	灌浆次序	孔数	钻孔进尺 (m)			灌浆进尺 (m)	灌浆材料用量				单位注入量 (kg/m)	段数/频率 (%)						备注
				混凝土	覆盖层	合计		注浆 (L)	干料 (t)	废弃 (t)	总耗量 (t)		总段数	单位注入量区间 (kg/m)					
														<50	50~200	200~1000	1000~3000	>3000	
× 单元	上游排	I																	
		II																	
		III																	
		小计																	
	合计																		
总计																			
干料注入量总计: 水泥 (t), 土料 (t)										干料废弃量总计: 水泥 (t), 土料 (t)									

注: 表中灌浆孔排序次序及孔序按工程具体情况确定, 但各序孔应分排统计, 多个单元工程汇总也应分排分序累计; 单位注灰量和透水区区间划分可根据工程具体情况确定。

表 B.0.1-7 注水试验与资料整理记录表

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)				

<p style="text-align: center;">Q-t关系曲线</p> 	<p style="text-align: center;">试段安装示意图</p> Empty space for diagram
---	---

续表 B.0.1-7

<p>试验覆盖层的渗透系数:</p> <p>(1) 试段位于地下水位以下:</p> <p>(2) 试段位于地下水位以上:</p> <p>试验覆盖层的基本情况描述和需要说明的问题:</p>	
---	--

审查:

校核:

记录:

计算:

监理工程师:

表 B.0.1-8 检查孔注水试验成果表

[illegible]

注: 渗透系数 (cm/s) 区间划分可根据工程具体情况调整。

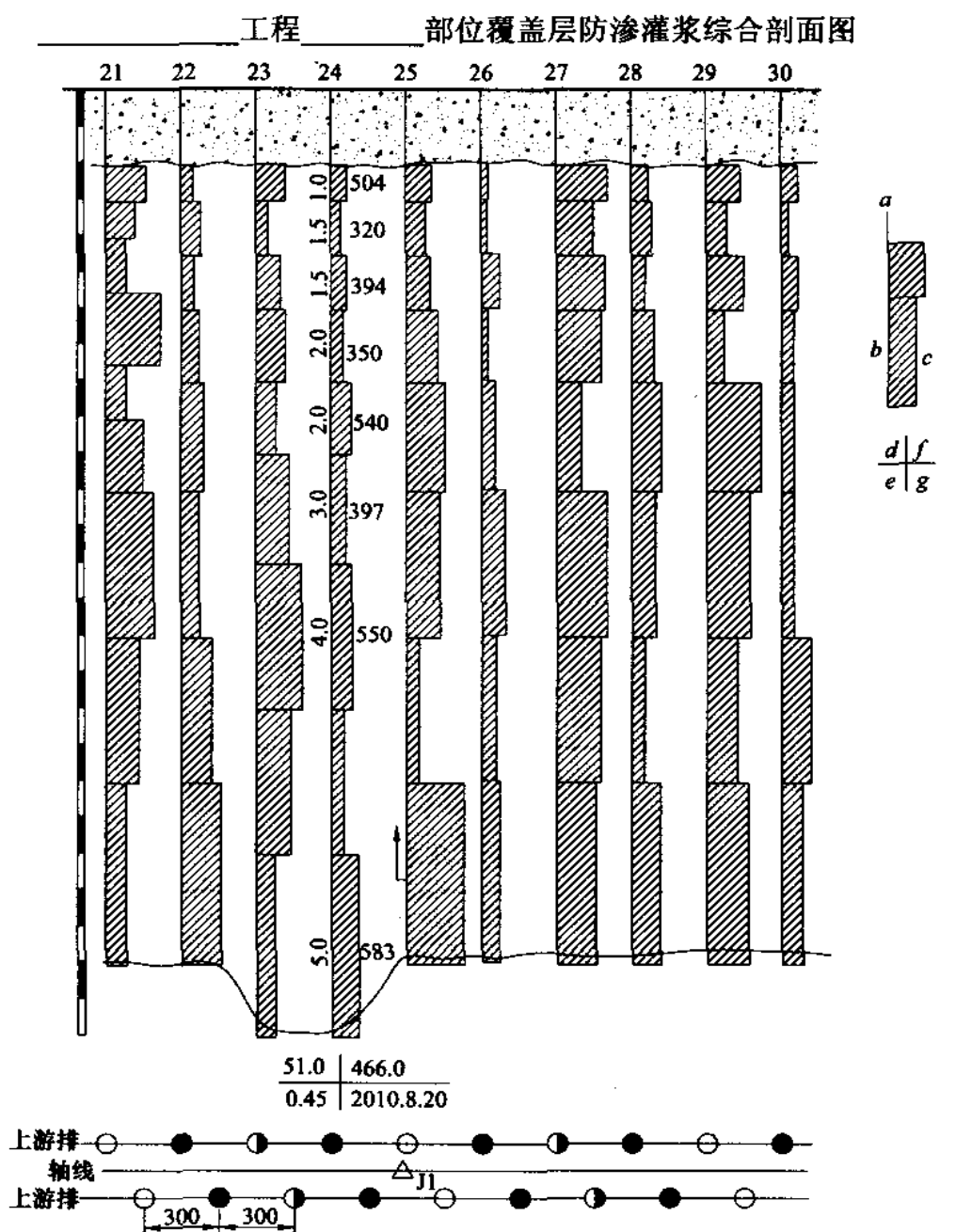


图 B.0.1 覆盖层防渗帷幕灌浆综合剖面图（孔口封闭法）

a —孔号； b —段长； c —单位注灰量； d —孔深； e —孔底偏距； f —全孔平均单位注灰量；
 g —竣工日期

○—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。

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准（规范、规程）条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词：

采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- GB 175—2007 通用硅酸盐水泥
- GB/T 5005 钻井液材料规范
- DL 5180 水电枢纽工程等级划分及设计安全标准
- DL/T 5055 水工混凝土掺用粉煤灰技术规范
- DL/T 5100 水工混凝土外加剂技术规程
- DL/T 5113.1—2005 水电水利基本建设工程 单工程质量等级评定标准 第1部分：土建工程
- DL/T 5144 水工混凝土施工规范
- DL/T 5148—2001 水工建筑物水泥灌浆施工技术规范
- DL/T 5150—2001 水工混凝土试验规程
- DL/T 5237 灌浆记录仪技术导则
- DL/T 5395—2007 碾压式土石坝设计规范
- SL 345—2007 水利水电工程注水试验规程

中华人民共和国电力行业标准

水电水利工程覆盖层灌浆

技 术 规 范

DL/T 5267—2012

条 文 说 明

目 次

1	总则	45
3	设计原则	47
3.1	一般规定	47
3.2	帷幕灌浆	48
3.3	固结灌浆	54
3.4	现场灌浆试验	55
4	灌浆材料、设备与制浆	57
4.1	灌浆材料与浆液	57
4.2	灌浆设备与机具	59
4.3	制浆	60
5	施工准备与要求	61
6	套阀管法灌浆	62
6.1	钻孔	62
6.2	灌注填料与下设套阀管	63
6.3	灌浆	64
6.4	特殊情况处理	65
7	孔口封闭法灌浆	66
7.1	钻孔	66
7.2	灌浆	67
7.3	特殊情况处理	67
8	沉管灌浆	68
9	质量检查	69

1 总 则

1.0.1 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试行规范》，本标准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。

1.0.2 本标准主要针对DL 5180中的1、2、3级水工建筑物覆盖层地基或土石围堰的水泥黏土类浆液的灌浆。4、5级水工建筑物的覆盖层灌浆，其他类型的浆液的灌浆可参照执行。

水泥黏土类浆液，泛指水泥浆、黏土浆或含有水泥、黏土两种以上成分的浆液。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。

1.0.3 覆盖层地基的处理方法有许多种，如水平铺盖、明挖回填截水槽、混凝土防渗墙、灌浆、振冲、强夯、深层搅拌、灌注桩等，哪种处理方法在技术上可行，在运行中安全，在经济上合理，应根据工程要求、地质、施工等条件进行比较后确定。

1.0.4 灌浆工程是隐蔽工程，灌浆施工是勘探、试验与施工平行进行的作业，灌浆技术带有半理论半经验性质，直至目前经验方法仍胜于理论计算。因而要求灌浆工程的业主、设计、监理、施工各方有关人员应具有必要的灌浆工程经验，并对灌浆过程进行正确的监管，确保工程获得成功。

由于地层的变化或其他原因，在灌浆过程中所获得的中间成果与设计预期可能有重大区别，因此，应随时根据施工过程中发

现的新情况，修正设计灌浆参数和施工工艺。

1.0.5 灌浆工程的浆液材料特别是化学灌浆材料可能对地下水水质产生一定影响，灌浆工程施工中排放的废水、废浆较多，这些都应在设计和施工中予以考虑，避免不良影响。

3 设计原则

3.1 一般规定

3.1.1 覆盖层的形成受自然环境的影响,在空间结构上变化较大,同一断面不同的高程可由不同的条件形成,分别由于冲积、洪积、冲洪积、湖积、冰碛、冰水碛、风积或人工等因素产生,查明覆盖层的成因、分布范围、层次、颗粒组成和力学指标等条件,是选择合理、可行的施工方案的前提,属于最重要的基础性工作。

在地震区对覆盖层的液化特性作出判断,主要是评价具有地震液化特性的地层在加固后是否消除了地震液化的可能性。

3.1.4 防渗帷幕起灌高程以上无盖重物或覆盖层较薄时,为了提高灌浆压力和灌浆质量可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 利用需要挖除的覆盖层作为盖重,在灌浆完成后将其挖除。

例如重庆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、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。

3.1.5 鉴于修建在覆盖层上的水工建筑物分属不同的种类,其工程性质、使用目的要求及地质条件差异很大,因此工程设计时应针对具体的建筑物按照相关规范的规定,综合考虑覆盖层地基及

建筑物运行条件，设置变形、渗流等监测设施，以有利于对工程的运行安全作出评价。一般来说，固结灌浆工程可不设渗流监测设施，帷幕灌浆工程宜设置渗流监测设施。

土石坝、水闸、泵站等工程的渗透压力监测可按下列原则设置监测断面和测点：

1 渗透压力监测断面不宜少于 3 个，土石坝地基防渗帷幕监测断面宜选择在最大坝高处、合龙段、地形或地质条件复杂部位，并宜与变形、应力监测断面相结合。

2 每个观测断面不宜少于 3 条观测线，其位置可为防渗灌浆帷幕前后及下游坝趾处。

3 每条线上可不少于 3 个测点，测点高程应位于最低浸润线以下。

3.2 帷 幕 灌 浆

3.2.1 根据目前国内的设计和施工水平，修建于覆盖层地基上土石坝类工程总体防渗结构一般采用混凝土防渗墙与灌浆帷幕相结合的组合方案。如四川冶勒水电站，新疆下坂地水利枢纽等。因防渗灌浆属于工程总体防渗设计的范畴，故灌浆范围、深度、灌注浆液等应根据防渗墙的深度、地层结构及工程防渗系统要求确定。防渗灌浆设计需统筹考虑与防渗墙、岸坡基岩段等之间的衔接问题，以形成完整封闭的防渗体系。

对于水闸、泵站等非土石坝建筑物，其防渗灌浆设计应依据工程情况和相关规范的规定，满足地基渗透稳定及结构稳定性等的要求。

3.2.2 渗流控制包括渗透变形控制和渗流量控制。从已建成的土石坝等水工建筑物运行情况看，修建在砂砾石地基上的有些工程虽然渗流量大、出逸点高，但运行正常，而失事的工程一般是由渗透变形破坏引起的。因此，防渗帷幕设计应以控制不发生渗透变形破坏为主，有关渗流控制的反滤和排水设计及工程等措施，

执行 DL/T 5395—2007 的有关规定；渗流量的控制以满足工程正常运行时允许的渗漏损失量或生态供水要求等。

3.2.3 DL/T 5395—2007 第 6.1.4 条对防渗土料碾压后的渗透系数要求为：对均质坝应不大于 $1 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ ，心墙和斜墙坝应不大于 $1 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ 。因此，防渗帷幕的渗透系数可按照均质坝对碾压后筑坝材料的要求，按渗透系数不大于 $1 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ 控制，如新疆下坂地水利枢纽坝基覆盖层防渗帷幕渗透系数按 $K \leq 1 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ 控制。但由于覆盖层成因条件变化较大，其可灌性、渗流控制形式、处理部位和不同类型工程的要求存在着很大的差距，按照目前施工经验，采用水泥黏土灌浆，覆盖层灌浆后渗透系数要达到小于 $1 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ 难度较大，一般情况下小于 $5 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ 较有保证。对于具体工程，可在满足渗流控制的前提下根据实际情况确定防渗帷幕设计标准。

3.2.4 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 1。

表 1 各种灌浆材料的 d_{85} 值

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} (mm)	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，也有用以下两项指标进行判断的：

1 渗透系数。渗透系数的大小，可以间接地反映土壤孔隙的大小，根据渗透系数的大小，可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 1。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 $5\text{m} \sim 10\text{m}$ ），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。

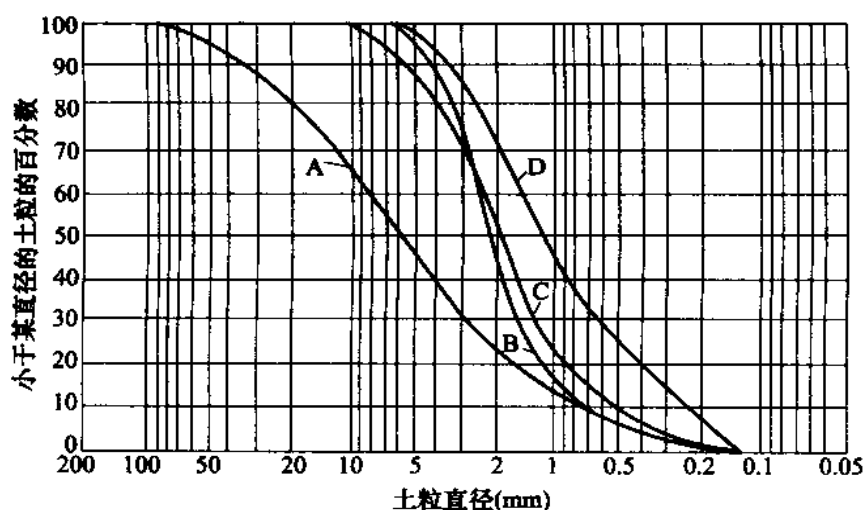


图 1 判别冲积层可灌性的颗粒级配曲线

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。

3.2.5 帷幕的允许水力坡降是确定帷幕厚度的主要控制指标，DL/T 5395—2007 第 8.3.12 条规定：“一般水泥黏土浆帷幕的允许比降可采用 3~4。”按工程经验，帷幕允许水力坡降一般随着深度的增加而提高，如：德国西尔文斯坦坝帷幕上部水力坡降为 1.8，17m 以下采用 4.2；法国谢尔庞桑坝上部采用 2.9，4m 深度以下采用 5.0。但在实际工程中也有采用较大值，如：我国的密云水库、岳城水库等都采用 6.0；法国的克鲁斯登坝采用 8.3；印度的吉尔纳坝采用 10.0。

考虑到已建工程的经验及防渗帷幕灌浆大多在深厚覆盖层实施，而深厚覆盖层的水力坡降具有较大的潜力，因此，本标准提出水泥黏土浆灌浆帷幕的允许水力坡降“一般可采用 3~6，若大于 6 应通过试验论证”的要求。对于具体的工程，允许水力坡降宜结合渗流控制要求和灌浆试验等综合确定。如新疆下坂地水利枢纽结合坝基现场及室内模拟试验成果和专家评价意见，坝基覆盖层 85m 深度以下的灌浆帷幕允许渗透坡降选用不大于 6。

3.2.6 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，防渗效果最佳。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，其孔斜控制简单方便，易于实施，优于倾斜孔。

3.2.7、3.2.8 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 是考虑灌浆施工因素确定的，搭接长度 5m 可分为两段灌浆，第一段可取 2m，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 DL/T 5395—2007 的规定。

3.2.10 防渗帷幕灌浆压力与覆盖层的厚度、地层结构及变形要求、上部建筑物的变形要求有关, 一般情况下应通过灌浆试验来确定。覆盖层厚度较大时, 起始灌浆压力可采用较高值。如新疆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为 3.5MPa, 目前已经完成覆盖层灌浆施工。

当缺乏试验资料时, 可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 (1) 进行估算:

$$p = \beta \gamma T + c \alpha \lambda h \quad (1)$$

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重度, kN/m³;

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重度, kN/m³;

h ——盖重层底面至灌浆段段顶的深度, 无盖重层时, 自砂砾石表面起算, m。

表 2 为国内外若干砂砾石地基灌浆工程的情况。

当上部建筑物对变形有要求时, 可设置变形监测点, 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2 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	42 000	115	19	2~2.5	2.5~4	16 200	$0.6H$ $< 6 \sim 8$	1.5	6.7	3×10^{-1} 9×10^{-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	21 000	110	10	3	3.5	49 000	2~2.5	1.4	3.2	$10^{-2} \sim 10^{-4}$	6×10^{-5}
阿斯旺高坝	埃及	1971	111	54 700	250	15	2.5~5	2.5	335 000	3~6	1.4	6.1	$10^{-1} \sim 10^{-3}$	3×10^{-4}
船明	日本	1977	15	14 200	60	4	2.5	2.5	17 350	(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		1.7×10^{-2} 2.3×10^{-3}	2.3×10^{-3}
密云水库	中国	1960	66	27 400	44	3	3.5	4		2.5			$(4 \sim 10) \times 10^{-1}$	$6 \times 10^{-3} \sim 7 \times 10^{-4}$
岳城水库*	中国	1961	51.5		23	2 3	4、5 1.7~3.3	6	17 790	1.8	左岸 637kg/m 右岸 2340kg/m		$7 \times 10^{-3} \sim 5 \times 10^{-2}$	$10^{-4} \sim 10^{-3}$
小南海地震堆积坝*	中国	2002	100		80	3	1.5~2	1.5~3.5	48 124	0.2~1.4	0.457		$(5 \sim 22) \times 10^{-2}$ $(0.8 \sim 7.6) \times 10^{-2}$	1Lu~ 11.2Lu
冶勒灌浆试验*	中国	2002	125.5		96	3	0.75~1.25	2	473	3.5	0.192		20Lu~100Lu	1Lu~ 4.6Lu
下坂地灌浆试验*	中国	2003	78		158	3	3.0	3.0	1665	2.5	0.641		$10^{-2} \sim 10^{-1}$	$1.7 \times 10^{-6} \sim 1.8 \times 10^{-4}$

* 采用循环钻灌法施工, 其余均采用套阀管法施工。

坝、堤防、围堰类地基在砂砾石层中灌浆时，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。若不允许地基产生抬动或限制抬动量，则应严格控制灌浆压力。

3.2.11 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，本标准为与 DL/T 5148 相一致，改用此名。该法在 20 世纪 60 年代修建河北岳城水库时首创应用，边钻边灌即一边进行钻孔，一边以护壁泥浆进行灌浆。

3.2.12 挖除上部松散层时，应注意避免损坏下部完好帷幕。

3.3 固 结 灌 浆

3.3.1 覆盖层固结灌浆可划分为两大类：一类为坝、堤防、围堰等在建水工建筑物的地基固结灌浆，单纯以提高地基承载力或整体稳定性要求为主，对变形控制要求相对较低；另一类为水闸、泵站及电站厂房等已建成的水工建筑物等固结灌浆，既要求提高地基承载力或整体稳定性，又在灌浆过程中对变形控制要求相对严格，目的是为了避免因变形而影响设备正常使用。因此，固结灌浆应根据使用要求等提出具体的设计要求。

有的工程将固结灌浆作为对覆盖层承载能力的补强措施，如瀑布沟水电站大坝地基对左岸心墙区的砂层，在采用了开挖清除至砂砾石层、掺 5% 的水泥干粉过渡料分层碾压后，再采用固结灌浆处理的措施。有些工程对覆盖层的液化问题采用了固结灌浆处理方案，如新疆下坂地工程，大坝坝基右岸下游部分区域的可液化地层位于大的漂块石之下，采用其他方法施工困难、费用高，

经研究采用了灌浆网格围封及在围封网格内设排水减压的措施处理。

覆盖层固结灌浆设计与防渗帷幕灌浆设计参数的确定原则相同。由于建筑物的使用要求不同，固结灌浆设计时应根据建筑物的具体要求，结合地质及施工等条件进行覆盖层固结灌浆设计。

3.3.2 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。

3.3.5 对变形控制要求相对较低建筑物，可适当地提高灌浆压力。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应设置变形监测点，严格控制变形，具体的测点数量可根据建筑物的布置确定。

3.3.6 覆盖层固结灌浆的浆液材料可参照防渗帷幕的要求，并优先选用水泥浆液作为灌浆材料。

3.4 现场灌浆试验

3.4.1 因为各工程的规模、功能要求和地质条件各不相同，所以水工设计对覆盖层地基的要求也不尽相同，以往同类工程的灌浆经验，可作为参考，但不宜直接搬用。为了使灌浆孔布置、处理深度、灌浆施工工艺等要求符合实际情况，经济合理，大型和重要工程必须先期在现场进行灌浆试验，以确定灌浆方案的可行性，并以试验成果作为坝基灌浆设计、施工的基本依据。这项试验通常在可行性研究阶段进行。

3.4.2 灌浆试验地点是否具有代表性，对试验成果的价值具有重要作用。选择灌浆试验地点一般应考虑下面几个条件：地质条件应具有代表性，可选在未来灌浆施工区域地质条件中等偏差的地

段。帷幕灌浆试验区可选在拟定防渗帷幕的上游部位，当灌浆试验完毕后，即使灌浆质量未达到要求，也不影响将来防渗帷幕的修建，同时，还可起到幕前深孔固结作用，有利于坝基防渗。如地质条件比较简单对灌浆质量有把握时，灌浆试验区也可选在拟定的防渗帷幕线上，这样所得灌浆成果资料，更符合实际地质条件，试验帷幕也可作为永久工程的一部分，从而节省工程费用。固结灌浆试验区可选在坝址需要处理的部位，试验工程即是将来基础固结灌浆的一部分。

由于工程要求的不同，或地质条件复杂而差别又大，有时需要按照不同地质单元使用不同灌浆材料、不同工艺参数，布置多组灌浆试验。

选择灌浆试验位置时还应考虑场地地形、机械材料和水电供应等条件。试验区距离岸坡临空面应远一些。

3.4.5 灌浆施工应按照灌浆工程施工图设计和施工组织设计实施，但两者都有一个试生产和验证的过程，这是生产性灌浆试验的目的。它与勘测设计阶段的现场灌浆试验的目的、要求是不同的，不能混为一谈，一般不应以后者替代前者。

4 灌浆材料、设备与制浆

4.1 灌浆材料与浆液

4.1.1 覆盖层一般都具有成层性、不均匀性和各向异性等特点，都由散粒状颗粒构成，地层的空隙尺寸具有较大的范围，因此应根据不同的地层空隙的尺寸、地下水的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 adopt 水泥砂浆、水泥—水玻璃浆液、膏状浆液（速凝石膏浆）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；对于细砂、粉细砂层，可采用黏土浆、膨润土浆、化学溶液浆等材料。

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，因此选择灌浆材料时一方面应考虑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设计要求和地层特点，通过室内试验和现场试验确定。

4.1.2 根据 GB 175—2007 的规定，硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥最低的强度等级为 42.5。复合硅酸盐的强度等级有 32.5 级，这种水泥通过试验论证也可采用。

GB 175—2007 对水泥的细度规定为“硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥以比表面积表示，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以筛余表示， $80\mu\text{m}$ 方孔筛筛余不大于 10% 或 $45\mu\text{m}$ 方孔筛筛余不大于 30%”，但在可灌性较差的砂层，对水泥的细度应有特殊要求，宜

为通过 80 μ m 方孔筛的筛余量不大于 5%或更细。

4.1.3 本条沿用 DL/T 5148—2001 中 5.1.6 条第 2 项的规定或 1963 年水利电力部水利水电建设总局颁布的《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。作为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。

4.1.4 以往，工程上常用的衡量膨润土品质的依据是石油行业标准 SY/T 5060《钻井液用膨润土》，其中规定膨润土的性能指标见表 3，可供参考。

表 3 钻井液用膨润土分级表

项 目	指 标		
	一级膨润土	二级膨润土	三级膨润土
$\phi 600$ 读数	≥ 30.0	≥ 30.0	≥ 23.0
滤失量 (mL/30min)	≤ 15.0	≤ 17.0	≤ 22.0
动切力 (Pa)	$\leq 1.5 \times PV$ 值	$\leq 3.0 \times PV$ 值	
湿度 (%)	≤ 10.0		≤ 12.0
湿筛分析, 0.074mm 筛余 (%)	≤ 4.0		≤ 4.0
注: PV 为塑性黏度。			

4.1.5 根据 DL/T 5055，各级粉煤灰品质指标和等级见表 4。

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 μ m 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

4.1.6 DL/T 5144—2001 第 5.5.1 条规定, 凡符合国家标准的饮用水, 均可用于拌和与养护混凝土。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 5 的要求。第 5.5.2 条的条文说明中明确地表水、地下水和其他类型水是否适用于拌和和养护混凝土, 必须检验以下三项限制指标: 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 5 拌和与养护混凝土用水的指标要求

项 目	素混凝土
pH 值	>4
不溶物 (mg/L)	<5000
可溶物 (mg/L)	<10 000
氯化物 (以 Cl^- 计) (mg/L)	<3500
硫酸盐 (以 SO_4^{2-} 计) (mg/L)	<2700

4.1.8 纯水泥浆液灌浆工艺较简单, 实践经验丰富, 技术成熟, 且积累了很多室内纯水泥浆液试验资料, 故提出“可不进行室内试验”。

浆液或浆液结石的性能试验方法可参照 DL/T 5150—2001 中的相关内容执行。应选择有资质、有浆液材料试验经验的单位进行试验。需要指出的是, 室内成型的浆液结石性能与灌入地层中的浆液结石性能是不同的, 使用试验数据时应当注意。

4.2 灌浆设备与机具

4.2.1 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。

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，搅拌电动机转速应大于 1200r/min，可搅拌水灰比为 0.45:1 以上的水泥浆或黏度相当的水泥黏土浆。膏状浆液等高内聚力浆液应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。

4.2.2 一般市售的活塞、柱塞式泥浆泵（灌浆泵）可灌注水灰比为 0.45:1 以上的水泥浆或黏度相当的水泥黏土浆。灌注膏状浆液可选择螺杆泵、挤压泵、砂浆泵或者其他形式的灌浆泵。

4.2.8 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，并使用单个流量计即可。仪器复杂化无助于灌浆施工过程质量的监测和保障。

4.2.10 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，确定其是否适合所进行的全部工作。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。根据国家质量技术监督局的规定，施工企业所使用的大部分计量器具可以由企业自行校验。

4.3 制 浆

4.3.3 试验证明，任何浆液都有一个最佳搅拌时间，超过此时间后其结石强度将会降低，甚至不凝固。超过保质期的浆液一般应予废弃。

5 施工准备与要求

5.0.1 一般来说,招标文件中应包括覆盖层灌浆工程的施工组织设计,内容为灌浆工程的总工程量、总进度、总投资和相应的主要机械设备、劳动组合以及场地布置等。若没有这样单独的文件,提交包括上述内容的其他文件也可。

覆盖层灌浆工程为隐蔽工程,施工技术直接影响工程质量,因此,覆盖层灌浆工程施工前除了具有设计图纸外,还应具备“灌浆施工技术要求”和“灌浆质量标准 and 检查方法”等资料。灌浆施工技术要求中应包括灌浆材料、灌浆压力、灌浆工艺等内容。

5.0.3 灌浆施工的意外中断将给工程质量和施工单位造成大的损失,本项措施意在保证连续作业。

5.0.7 灌浆工程是隐蔽工程,各类钻孔很多,事先应按 DL/T 5113.1—2005 的要求划分单元,统一分类编号,要考虑周全,编号与实物应一一对应,不得重复,不得搞错,一经确定,不得轻易变更。此点对于使用计算机整理分析灌浆资料尤为重要。

5.0.8 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。

灌浆记录仪在我国已推广应用,取得了良好的效果。凡重要的灌浆工程或业主有要求的灌浆工程,均应使用灌浆记录仪进行施工参数的记录。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。

6 套 阀 管 法 灌 浆

6.1 钻 孔

6.1.3 1963 年水利电力部水利水电建设总局颁布的《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 20s~22s(1006 型漏斗黏度计)。表 6 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 6 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

6.1.4 本条参照 DL/T 5148 的规定，并考虑覆盖层中钻孔孔斜率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，可考虑采取补救措施，通常可在其旁布设一个检查孔，一方面可检查灌浆质量，另一方面也可作为补强孔，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，则可认为该单元工程帷幕灌浆质量合格。

6.2 灌注填料与下设套阀管

6.2.1 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，浆液密度为 $1.35\text{g/cm}^3 \sim 1.60\text{g/cm}^3$ ，马氏漏斗黏度为 40s~45s，结石 7d 抗压强度为 0.1MPa~0.2MPa，28d 抗压强度为 0.5MPa~0.6MPa 是适宜的。这样的填料在 1.5MPa~2.5MPa 的灌浆压力下一般都能开环。

6.2.2 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。

还可在灌浆孔清孔完成后，先下入套阀管，之后通过套阀管底部的出浆孔注入填料。

6.2.3、6.2.4 1963 年水利电力部水利水电建设总局颁布的《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 钻一排浆孔。现已有市售的商品套阀管，质量好，使用方便，宜优先采用。

6.2.6 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 7d~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 3d~7d。

6.3 灌 浆

6.3.1 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。

6.3.2 双联式灌浆塞是由上下两个单式灌浆塞相连组成的，安装在套阀管中，可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。

6.3.3 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。

6.3.4 灌浆压力通常记录压力表波动范围的平均值，开环压力应同时记录最大值。灌浆记录仪宜同时记录平均压力和最大压力。

6.3.7 本条参照 1963 年水利电力部水利水电建设总局颁布的《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 DL/T 5148—2001 中第 6.5.6 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，应改回原浆液灌注。

6.3.8 本条由 1963 年水利电力部水利水电建设总局颁布的《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。

6.3.9 单个灌浆孔灌浆结束后不宜立即封孔，一般需要通过单元

工程质量检查合格后才可以封孔。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，也可注入砂浆。

6.4 特殊情况处理

6.4.2 发现钻孔偏斜过大，尤其是相邻孔向相反方向偏斜过大，首先应分析注入量，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。

6.4.5 无塞上提灌浆法见条文说明第 8.0.1 条。

6.4.6 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”。

7 孔口封闭法灌浆

7.1 钻 孔

7.1.1 孔口管采用无缝钢管制作时一般情况其底部长 0.5m~1.0m 段钻有出浆孔，孔径 1cm，每环钻 4 个~6 个孔，每 10cm~20cm 设一环孔。

孔口管埋设方法是：在孔位处的覆盖层中开挖一个深 1m~1.5m、断面为 1m×1m 的方坑；然后在坑底的灌浆孔位处用干钻法钻出一个浅孔，孔径与孔口管的管径一致，以便管壁与孔壁接触严密；再将孔口管下入孔内，上端高出地面 10cm~20cm，用麻绳或草绳等物缠绕在坑底处的孔口管上，其主要作用是防止将来浅坑回填混凝土时，砂浆沿孔口管与孔壁之间的间隙流下而堵塞出浆孔，同时也防止灌浆过程中浆液沿管壁上串外冒；再用混凝土或水泥砂浆回填浅坑，并待凝 3d~7d；最后对孔口管下部进行水泥灌浆，镶铸住孔口管的下部，并造成密实的防止冒浆的盖板。

7.1.3 在一定的地质条件下，如能保证孔壁稳定，也可采用清水钻进。使用泥浆护壁钻进时，在保证孔壁稳定的前提下，泥浆浓度以较稀为宜。

通常，孔口封闭法的钻孔过程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。

7.1.4 参见条文说明第 6.1.4 条。

7.1.6 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。

7.2 灌 浆

7.2.3 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。

7.2.4 目的是保证孔内浆液循环流动畅通。

7.2.5 采用循环式灌浆时，只有灌浆管出口下到灌浆段底部，才可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。

7.2.6 参见条文说明第 6.3.4 条。

7.2.8 采用孔口封闭法进行灌浆，特别是深孔（ $>50\text{m}$ ）、浓浆（水固比小于 0.7）、高压（ $>4\text{MPa}$ ）、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 $1\text{min}\sim 2\text{min}$ ，间隔时间 $2\text{min}\sim 10\text{min}$ ，视灌浆时的具体情况而定。

7.2.9 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得到多次重复灌注，所以不需待凝。

7.2.11 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。封孔灌浆压力可使用最大灌浆压力，持续时间不小于 30min 。

7.3 特殊 情 况 处 理

7.3.4 参见条文说明第 6.4.6 条。

7.3.6 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，应视工程要求研究是否采取其他灌浆材料和措施。

8 沉 管 灌 浆

8.0.1 其他沉管灌浆方式，如无塞上提灌浆法、分段埋管灌浆法等。

无塞上提灌浆法。利用泥浆护壁钻孔，孔中下入套管，通过套管用清水洗孔，将泥浆洗净。在套管内下入 42mm~52mm 钻杆，钻杆下部钻有出浆孔并箍有阀套。然后边起拔套管边向孔内填入细砂，细砂充填高度可视孔深一次或分次填满。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。

分段埋管灌浆法。利用任何可行的方式钻孔，在孔中埋入一组灌浆管，灌浆管的出口高程（深度）各不相同，相互间隔一定距离，在灌浆范围内均匀分布，之后回填灌浆孔。灌浆通过埋设的各根灌浆管进行，自出口最低的灌浆管开始灌注，达到结束条件后拔出该根灌浆管，自下而上逐次进行，直至全孔灌完。

还有一些形式各异的沉管灌浆方式近年在一些小型和临时工程中应用。它们大体是在钻孔中埋入特制的灌浆管，灌浆管上设有灌浆孔、附有模袋等，之后在灌浆管中自上而下分段灌浆，上部灌浆形成的浆土凝聚体为下部灌浆创造条件。就其施工原理既可归属于沉管灌浆，也可视为简化的套阀管法灌浆。因其应用范围较窄，实例尚少，本标准未收入。

9 质 量 检 查

9.0.1 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。

9.0.2 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，但也应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，灌后地层渗透性能明显降低，因此可根据附录 A 进行注水试验，测得灌后地层的渗透性能。

附录 A 参照 SL 345—2007 和 DL/T 5148—2001 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。

9.0.3 如采用的灌浆浆液中黏土、膨润土掺量较大，待凝时间应长一些。

9.0.4 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%的比例基本上可达到一个单元工程有 1 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取下限，埋藏较浅和单排覆盖层帷幕灌浆检查孔的数量可取上限；灌浆过程质量控制较好可取下限，反之取上限。

检查孔布置的部位，2、3、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。

9.0.5 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，可参照如下办法进行：

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，应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，其质量合格标准应由设计通过灌浆试验确定。

9.0.6 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 $10^{-5}\text{cm/s} \sim 10^{-4}\text{cm/s}$ （约等于 $0.01\text{m/d} \sim 0.1\text{m/d}$ ），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 $300\text{m/d} \sim 900\text{m/d}$ ，帷幕灌浆完成后渗透系数降为 $0.048\text{m/d} \sim 0.54\text{m/d}$ ，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 $10^{-2}\text{cm/s} \sim 10^{-1}\text{cm/s}$ ；帷幕灌浆后 13 个检查孔静水头压水试验，渗透系数为 $2.6 \times 10^{-7}\text{cm/s} \sim 2.7 \times 10^{-5}\text{cm/s}$ ，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 $5.5 \times 10^{-2}\text{cm/s} \sim 1.1 \times 10^{-1}\text{cm/s}$ 降低到 $3.6 \times 10^{-4}\text{cm/s} \sim 2.3 \times 10^{-4}\text{cm/s}$ ，防渗效果良好。其他工程实例可参见条文说明第 3.2.10 条表 2。

9.0.7 注水试验方便快捷，可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。

9.0.9 覆盖层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。检查孔封孔的灌浆技术要求与主体灌浆孔要求基本一致，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，应分析原因，必要时需进行加强补灌。



155123.854

上架建议：规程规范/
水利水电工程/水力发电

统一书号：155123·854

定 价： 21.00 元