

ICS 27.140

P 59

备案号: J1946—2015

DL

中华人民共和国电力行业标准

P

DL / T 5712 — 2014

水电水利工程接缝灌浆施工技术规范

Construction technology specifications for joint grouting
of hydropower and water conservancy engineering

2014-10-15 发布

2015-03-01 实施

国家能源局 发布

中华人民共和国电力行业标准

水电水利工程接缝灌浆施工技术规范

Construction technology specifications for joint grouting
of hydropower and water conservancy engineering

DL / T 5712 — 2014

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：2015 年 3 月 1 日

中国电力出版社

2015 北 京

中华人民共和国电力行业标准
水电水利工程接缝灌浆施工技术规范
Construction technology specifications for joint grouting
of hydropower and water conservancy engineering
DL / T 5712 — 2014

*

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

*

2015 年 8 月第一版 2015 年 8 月北京第一次印刷
850 毫米×1168 毫米 32 开本 2.5 印张 59 千字
印数 0001—3000 册

*

统一书号 155123 · 2561 定价 **21.00** 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪
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

本规范是根据《国家能源局关于下达 2012 年第二批能源领域行业标准制（修）订计划的通知》（国能科技〔2012〕326 号）要求制定的。

本规范在编制过程中，编制组进行了广泛调查分析，召开了多次专题研讨会，总结了我国近 20 年大中型水电水利工程接缝灌浆施工的实践经验和科研成果，在此基础上征求了国内有关单位及专家的意见，对主要问题进行了反复讨论和研究，最后经审查定稿。

本规范的主要技术内容包括总则，术语，基本规定，灌浆材料、设备与制浆，灌浆系统布置与安装，灌浆准备，灌浆施工，特殊情况处理，灌浆质量检查与评定，施工记录和竣工资料等。

本规范由中国电力企业联合会提出。

本规范由电力行业水电施工标准化技术委员会归口。

本规范主编单位：中国水利水电第四工程局有限公司

本规范主要起草人员：席 浩 李 力 吴旺宗 张 兴
唐正前 丁时伟 薛清伟 李克信
牛宏力

本规范主要审核人员：许松林 汪 毅 周厚贵 宗敦峰
梅锦煜 李晶华 郭光文 吴义航
郑 平 楚跃先 康明华 余 英
陈 宏 孙来成 吴 旭 郑桂斌
吴国如 蔡启光 杨溪滨 吴高见
杨成文 朱镜芳 陈 茂 朱明星
吕芝林

本规范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 基本规定	3
4 灌浆材料、设备与制浆	4
4.1 灌浆材料	4
4.2 浆液试验	5
4.3 灌浆设备和机具	5
4.4 制浆	6
5 灌浆系统布置与安装	7
5.1 灌浆系统布置	7
5.2 灌浆系统材料与加工	8
5.3 灌浆系统安装	9
5.4 灌浆系统检查和维护	10
6 灌浆准备	11
7 灌浆施工	13
7.1 一般规定	13
7.2 灌浆压力	14
7.3 灌浆	14
7.4 结束条件	15
8 特殊情况处理	16
8.1 灌浆前灌区缺陷处理	16
8.2 灌浆过程特殊情况处理	17
9 灌浆质量检查与评定	18
10 施工记录和竣工资料	20

附录 A 水泥浆液主要性能现场检测方法	22
附录 B 灌浆工程施工记录及成果图表	26
本规范用词说明	40
引用标准名录	41
附：条文说明	43

Contents

Foreword	I
1 General provisions	1
2 Terms	2
3 Basic rules	3
4 Grouting material, equipment and grout mixing	4
4.1 Grouting material	4
4.2 Serum test	5
4.3 Grouting equipment and tools	5
4.4 Grout mixing	6
5 Grouting system layout and installation	7
5.1 Arrangement for grouting system	7
5.2 Grouting system materials and processing	8
5.3 Grouting system installation	9
5.4 Check and maintenace for grouting system	10
6 Grouting preparation	11
7 Grouting construction	13
7.1 General	13
7.2 Grouting pressure	14
7.3 Grout	14
7.4 The end of filling conditions	15
8 Treatment of special situations	16
8.1 Before filling defect treatment of irrigation area	16
8.2 During the process of special treatment	17
9 Quality inspection and evaluation of grouting	18
10 Records and documentation	20

Appendix A Site test methods for grout 22

Appendix B Construction records and charts 26

Explanation of wording in this specification 40

List of normative standards 41

Additions: explanation of provisions 43

1 总 则

1.0.1 为规范水电水利工程混凝土坝接缝灌浆施工技术和质量检查评定，特制定本规范。

1.0.2 本规范适用于水电水利工程混凝土坝接缝灌浆。

1.0.3 接缝灌浆施工，应制定环境保护和职业健康措施，确保施工安全。

1.0.4 接缝灌浆施工，除应遵守本规范外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 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和改善传力条件的灌浆工程。

2.0.2 屏浆 the measurement for keeping pressure to stage

接缝灌浆工作达到结束条件后，为使已注入缝面内的浆液加快凝固、提高强度，继续使用灌浆泵对缝面内浆液施加压力的措施。

2.0.3 闭浆 the measurement for keeping closed stage

接缝灌浆结束后，为防止缝面内的浆液返流溢出，继续保持缝面封闭状态的措施。

2.0.4 充水闷温法 water filling stuffy temperature menthod

向混凝土内埋设的冷却水管内充水，封闭 3d~5d 后，通过测定冷却水管出水温度，确定混凝土内部温度的一种方法。

2.0.5 单开流量 single open flow

灌浆前，灌区通水检查时，进浆管（或备用进浆管）进水，其他管口关闭，单一管口的稳定出水流量。

2.0.6 增开度 crack open degree

接缝灌浆过程中，缝面张开度的增加值。

3 基本规定

3.0.1 接缝灌浆工程施工前应具备下列文件和相应资料：

- 1 坝体结构图和接缝灌浆设计说明书。
- 2 接缝灌浆施工组织设计。
- 3 接缝灌浆分区和灌浆系统设计图。
- 4 接缝灌浆系统实际埋设图和竣工图。
- 5 坝块混凝土应达到的设计温度和实测温度、缝面设计张开度和实测张开度、设计允许增开度。
- 6 接缝灌浆施工计划、作业指导书。
- 7 接缝灌浆施工技术要求、灌浆质量标准 and 检查方法。

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

3.0.3 混凝土坝块内应根据接缝灌浆的需要埋设一定数量的测温计和测缝计。

3.0.4 接缝灌浆施工记录、资料应及时分析、整理。

3.0.5 接缝灌浆施工过程中遇到异常情况时，应及时反馈，及时处理。

3.0.6 接缝灌浆一般使用普通水泥浆液。

3.0.7 灌区缝面张开度在 $0.3\text{mm}\sim 0.5\text{mm}$ 时，宜使用细水泥浆液。

3.0.8 灌区缝面张开度在 0.3mm 以下时，通过试验论证后，可使用化学浆液。

4 灌浆材料、设备与制浆

4.1 灌 浆 材 料

4.1.1 接缝灌浆工程所采用的水泥品种，应根据大坝混凝土所使用的水泥品种和环境水侵蚀作用等因素确定。水泥强度等级不低于 42.5。

4.1.2 接缝灌浆使用水泥品质除应符合《通用硅酸盐水泥》GB 175 外，还应满足以下要求：

1 接缝灌浆所使用的水泥强度等级应不低于大坝混凝土水泥强度等级。

2 水泥细度宜为通过 $80\mu\text{m}$ 方孔筛筛余量不大于 5%。当灌区缝面张开度小于 0.5mm 时，可使用细度为通过 $71\mu\text{m}$ 方孔筛筛余量不大于 2% 的细水泥或超细水泥、化学灌浆材料。

3 接缝灌浆使用水泥须妥善保管，防潮、防晒。水泥进场时应对其品种、强度等级、出厂日期进行检查。每批进行抽样，检验水泥的物理性能指标包括凝结时间、安定性、强度、细度等。

4.1.3 化学灌浆材料，可采用环氧树脂类，材质应符合《水工建筑物化学灌浆施工规范》DL/T 5406 的有关规定。

4.1.4 接缝灌浆用水应符合《水工混凝土施工规范》DL/T 5144 的规定。

4.1.5 接缝灌浆使用单一比级水泥浆液灌注时，浆液中需掺入高效减水剂，其品质应符合《水工混凝土外加剂技术规范》DL/T 5100 的有关规定。

4.2 浆液试验

4.2.1 为了确定浆液的可灌性、使用时间、浆液凝固形成结石的密实程度和强度，应进行浆液室内试验。

4.2.2 细水泥浆液应根据设计和工程要求，有选择地进行下列试验：

- 1 水泥细度和颗分曲线。
- 2 浆液流动性或流变参数。
- 3 浆液析水率。
- 4 浆液凝结时间或丧失流动性时间。
- 5 浆液结石密度、抗压强度、抗拉强度、弹性模量和渗透系数、渗透破坏比降。
- 6 浆液中外加剂掺合比。

4.2.3 化学浆液应进行浆材配比、浆液密度、初始黏度、初凝时间、终凝时间、抗压强度、黏结强度、抗渗等试验。

4.2.4 水泥浆液在施工现场应定期进行温度、密度、漏斗黏度等指标检测，发现浆液性能指标偏离设计允许范围时，应查明原因，及时处理。水泥浆液主要性能现场检测方法见附录 A。

4.3 灌浆设备和机具

4.3.1 制浆机的技术性能应与所搅拌浆液的类型、密度相适应。

4.3.2 接缝灌浆宜布置集中制浆站，配置高速制浆机，当浆液中加入外加剂时，应增加相应的设备。高速制浆机的搅拌转速应不小于 1200r/min，制浆能力须满足同一时间段内所有灌浆部位用浆需求，并应保证浆液均匀、连续拌制。

4.3.3 集中制浆站应配备防尘、除尘设施。配制化学浆液时应配备防火、防毒设施。

4.3.4 灌浆泵技术性能应与所灌注浆液类型、密度相适应。额定工作压力应大于最大灌浆压力的 1.5 倍，压力波动范围应小于灌浆压力的 20%。为减少灌浆泵输出压力波动，宜配置空气蓄能器，

灌浆泵排浆量应满足最大注入率要求。

4.3.5 灌浆管路应保证浆液流动畅通，并能承受 1.5 倍的最大灌浆压力。进（回）浆管、排气管口处应安装压力表，灌浆压力应在压力表最大标值的 $1/4 \sim 3/4$ 之间。压力表与管路之间应设有隔浆装置，隔浆装置传递压力应灵敏无碍。

4.3.6 接缝灌浆前，安装在混凝土内或外表面的电子测缝计或千分表，其精度须达到 0.001mm 级，安装数量满足监测要求。

4.3.7 灌浆使用的设备、仪器仪表、计量器具等应定期进行校验或检定，保持正常工作状态，应有备品备件。

4.4 制 浆

4.4.1 制浆材料应按规定的浆液配合比计量，计量误差应小于 5%。

4.4.2 各类浆液应搅拌均匀，并测定浆液密度和温度。

4.4.3 集中制浆站宜制备水灰比 0.5:1 的纯水泥浆液，输送浆液的管道流速宜为 $1.4\text{m/s} \sim 2.0\text{m/s}$ 。各灌浆部位应测定接收浆液的密度和温度，调制使用。

4.4.4 纯水泥浆液拌制时间，使用高速制浆机时应大于 30s，使用普通搅拌机时应大于 3min。浆液在使用前应过筛，浆液自制备至用完的时间不宜大于 3h。

4.4.5 拌制细水泥浆液时，应掺加减水剂，并使用高速制浆机。搅拌时间宜通过试验确定，自制备至用完的时间不宜大于 2h。

4.4.6 配制化学浆液时，制浆站应按照浆液配方配制成 A 液、B 液，密封运送至灌浆部位，按照浆液配比将 A 液、B 液混合成化学浆液。随用随配，在要求的时间内用完。

4.4.7 接缝灌浆浆液应采取措施，温度保持在 $5^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ 。

5 灌浆系统布置与安装

5.1 灌浆系统布置

5.1.1 接缝灌浆系统应分灌区布置。碾压混凝土坝每个灌区的高度宜为 6m~9m, 面积不宜大于 200m²。常态混凝土坝每个灌区的高度宜为 9m~12m, 面积宜为 200m²~300m²。

5.1.2 灌浆系统布置应遵守以下原则:

- 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应集中布置, 且管口与灌区顶部高程差不宜过大。

5.1.3 每个灌区灌浆系统由进浆管、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塑料拔管方式、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, 也可采用塑料拔管方式。

5.1.4 升浆和出浆系统采用塑料拔管方式时, 升浆管的间距宜为 1.5m, 升浆管顶部宜终止在排气槽以下 0.5m~1.0m 处。

5.1.5 升浆和出浆系统采用预埋管和出浆盒方式时, 出浆盒应呈梅花形布置, 每个出浆盒担负的灌浆面积不宜大于 6m²。纵缝出浆盒应布置在先浇筑块键槽的倒坡面上。

5.1.6 升浆和出浆系统采用出浆槽方式时, 进、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、排气管路。

5.1.7 垂直上引的进、回浆管路在底部连接时, 宜采用沉污管形式。

5.1.8 当工程需要时，应按设计要求设置接缝重复灌浆系统。

5.1.9 接缝灌浆采用重复灌浆系统时，应满足以下要求：

- 1 灌浆前，坝块混凝土的温度、缝面张开度达到设计规定值。
- 2 灌浆前，灌浆系统均应进行通水检查、缝面充水浸泡。
- 3 第一次灌浆后，用低于灌浆压力的清水将灌浆管路系统冲洗干净，便于重复灌浆。
- 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能恢复出浆功能。

5 重复灌浆系统采用的出浆设施的材质、构造及安装方法应满足设计要求，并进行模拟重复灌浆试验。

5.1.10 重复灌浆系统布置可采用在坝体接缝处预埋独立的灌浆管路系统，也可利用第一套（即第一次灌浆）灌浆管路系统。灌浆系统由进浆管、回浆管、升浆和出浆设施、排气设施、橡胶套阀出浆盒、诱导板以及止浆片组成。

5.2 灌浆系统材料与加工

5.2.1 进浆管、回浆管、升浆管、排气管等材质须满足设计要求，外露管口段宜采用钢管。

5.2.2 采用拔管方式时应使用聚乙烯类塑料软管，混凝土浇筑前充气 24h 检查无漏气现象时方可使用，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。

5.2.3 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接头，钢管接头采用丝扣连接，不得焊接或用铅丝绑扎，连接后应进行压水检查。管壁开孔应使用电钻，开孔后管内清理干净。

5.2.4 灌浆管路和部件加工完成后应逐件清点检查，验收合格后方可运送至现场安装。

5.2.5 安装在重复灌浆管路上的橡胶套阀出浆盒须由优质高弹性和耐久性良好的硫化橡胶加工成型。

5.3 灌浆系统安装

5.3.1 灌浆管路不宜穿过缝面，当必须通过缝面时，应采取可靠的过缝措施。

5.3.2 采用塑料拔管方式时，应遵守下列规定：

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

2 先浇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且在同一条直线上，固定牢固。半圆模具与底部进浆系统应连接紧密，不得直接通到顶部排气槽，与顶部排气槽的距离应满足设计要求。

3 后浇块浇筑前安装埋设的塑料软管应顺直地固定在先浇块的半圆槽内，塑料软管充气后应与进浆系统连接紧密。

4 塑料软管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。

5 塑料拔管拔出后，应使用配套的孔口塞将孔口封闭。

5.3.3 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、排气槽周边应与模板紧贴，固定牢固。

2 出浆盒盖板、排气槽盖板应在后浇块浇筑前安装埋设。盒盖与盒、槽盖与槽应完全吻合，固定牢固，周边封闭严实。

5.3.4 采用出浆槽方式时，应遵守下列规定：

1 进、回浆管，底部的出浆槽，顶部的排气槽及排气管的安装应在先浇块浇筑前完成，出浆槽和排气槽应与模板紧贴，安装牢固。

2 出浆槽和排气槽盖板的安装应在后浇块浇筑前完成。槽盖与槽应完全吻合，周边封闭严实。

5.3.5 在出浆槽和排气槽盖板安装前，应将槽内清除干净。盖板

端部应有 10cm 的搭接，搭接部位应用沥青或焦油涂抹，形成连续完整的隔离面。

5.3.6 灌浆管路连接完毕后应固定牢固，防止在浇筑过程中管路位移、变形或损毁。

5.3.7 各灌区的止浆片应在先浇块浇筑前安装埋设，后浇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，确保基础灌区底层水平止浆片的埋设质量。

5.3.8 分层安装的灌浆系统应及时做好每层的安装记录，整个灌区形成后，对灌区灌浆管路进行详细地编号及标识，绘制灌区灌浆系统竣工图。

5.3.9 灌浆管路管径应满足设计要求。外露的管口段长度不应小于 15cm，距地面（板）高度以便于操作为宜，并对管口明确标识，妥善保管。

5.3.10 重复灌浆管路应在浇筑碾压混凝土时，与诱导板同时预埋安装，串联在灌浆管道上的橡胶套阀应位于两块诱导板之间。诱导板通过钢筋与碾压混凝土体牢固连接，以确保缝面在两块诱导板之间张开。

5.3.11 重复灌浆系统埋设过程中，须对重复灌浆出浆盒开阀压力进行逐个检查，调整开阀压力处于设计要求的范围内。

5.4 灌浆系统检查和维护

5.4.1 每层混凝土浇筑前后均应进行灌浆系统检查，发现问题及时处理。灌区形成后，应对整个灌区的灌浆管路进行通水检查，并做好检查记录。

5.4.2 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。

5.4.3 灌浆系统外露管口应封盖保护，管路标识不得损毁。

6 灌 浆 准 备

6.0.1 坝块混凝土温度，可采用预埋温度计法，也可采用充水闷温法或其他测温法量测。

6.0.2 灌区内部的缝面张开度应使用测缝计量测，表层的缝面张开度可以使用厚薄规量测；对于未安装测缝计且无法量测张开度的灌区，通过预灌性压水注入缝面的水量估算张开度。

6.0.3 灌浆前应进行灌区通水，检查管路和缝面畅通性及灌区密封情况。灌区通水检查压力宜为设计压力的 80%。合格灌区通水检查应达到以下要求：

- 1 灌区至少应有一套灌浆管路畅通，出水流量大于 30L/min。
- 2 至少有一根排气管单开出水流量大于 25L/min。
- 3 缝面漏水量小于 15L/min。

6.0.4 灌浆前应进行预灌性压水检查。预灌性压水检查应在本灌区具备灌浆条件时进行，压水压力等于灌浆压力，检查情况应作记录。

6.0.5 发现灌区相互串通时，应查明情况，研究制定相应的施工措施。

6.0.6 灌浆前应根据灌区位置，合理布置浆液中转站和灌浆泵，灌浆泵距灌区不宜太远，相互之间应建立通信联络。

6.0.7 灌浆前应对缝面充水浸泡 24h，打开管口待放净水压入洁净的压缩空气排除缝面积水后，方可开始灌浆。缝面内积水排净后 24h 内开灌，否则重新进行缝面浸泡和排水，以防止缝面干燥后影响浆液扩散。

6.0.8 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。

6.0.9 应提前在需要灌浆、通水平压或缝面冲洗的灌区做好管口阀门安装等准备工作。

6.0.10 灌浆前须对重复灌浆系统回路逐个通水检查,确保各灌浆回路畅通。

6.0.11 当灌区两侧坝体有贯穿性裂缝等缺陷时,接缝灌浆施工应通过专题研究确定。

7 灌 浆 施 工

7.1 一 般 规 定

7.1.1 接缝灌浆应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；纵缝灌浆宜由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。

7.1.2 进行接缝灌浆时，各灌区除满足设计要求外，还应符合下列条件：

- 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，采取有效措施时，亦不宜少于 3 个月。
- 3 除顶层外，灌区上部混凝土厚度不宜少于 6m，其温度也应达到设计规定值。
- 4 缝面张开度不宜小于 0.5mm。
- 5 灌区周边封闭、管路和缝面畅通。

7.1.3 同一高程的灌区，一个灌区灌浆结束 3d 后，其相邻的灌区方可进行灌浆。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。当采取连续灌浆方式时，前一灌区灌浆结束 8h 以内，必须开始后一灌区的灌浆，否则应间歇 3d。

7.1.4 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，否则应间歇 7d。

7.2 灌 浆 压 力

7.2.1 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，若压力未达到设计压力而缝面增开度达到设计规定值，则应以达到设计允许缝面增开度时的压力作为灌浆压力。

7.2.2 灌浆压力以层顶排气槽压力作为控制值，以进浆管口压力作为辅助控制值。

7.2.3 灌浆过程中，应随时观测跨缝电子表面测缝计或千分表读数，及时调整相邻灌区通水平压压力，控制缝面增开度不超过设计允许值。

7.2.4 为保证灌浆质量，灌浆压力应尽快达到设计值。

7.3 灌 浆

7.3.1 浆液水灰比可采用 2:1、1:1、0.6:1（或 0.5:1）三级。开始宜灌注水灰比 2:1 的浆液，待排气管出浆后，可改换水灰比为 1:1 的浆液；当排气管排出的浆液水灰比接近 1:1 时，可换成水灰比 0.6:1 或 0.5:1 的浆液灌注。

7.3.2 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，开始即可灌注水灰比为 0.6:1 或 0.5:1 的浆液。

7.3.3 进浆管进浆时，其他管口均应开启，按出浆的先后次序依次关闭各管口。灌浆过程中其他管口应间断开启放浆，使浆液充分充填缝面。当排气管排出最浓级浆液时，通过控制进浆量控制排气管口压力，直至灌浆达到结束条件。

7.3.4 排气管开始流出最浓级浆液时，应尽快达到设计压力，并间歇性开启各管口，排出残留的空气和稀浆，使最浓级浆液充满缝面。

7.3.5 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。

7.3.6 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。灌浆过程中应保持各灌区灌浆压力基本一致，协调各灌区浆液的浓度变换。

7.3.7 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，待上层灌区管口浆液流出时，开始用另一台泵进行上层灌区灌浆。灌浆过程中以控制上层灌浆压力为主，调节下层灌浆压力。下层灌浆应待上层灌注最浓比级浆液后再结束。若采用连续灌浆方式时，在下层灌浆时，上层灌区通压力循环水，压力不小于下层灌浆压力。

7.3.8 设有重复灌浆系统的部位，当缝面二次张开度达到设计值时，可进行二次灌浆；当缝面张开度小于设计值时，应加强张开度观测，待张开度变化稳定后，再根据稳定后张开度的大小确定灌浆方案。

7.4 结 束 条 件

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

7.4.2 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，恢复排气管排浆，按规定条件结束灌浆。若无效，则应从排气管口进行倒灌，使用最浓一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。

7.4.3 灌浆结束时，应先关闭各管口阀门再停机，闭浆时间不少于 8h。

8 特殊情况处理

8.1 灌浆前灌区缺陷处理

8.1.1 灌浆管路不通时可采取以下处理措施：

1 进、回浆管不通处理。可采用进、回浆管反复通水浸泡冲洗方式处理。先对灌区通水浸泡，再用风水轮换冲洗，逐级升压，风压不超过 0.2MPa，水压不超过灌浆压力的 80%。如堵塞部位距表面较近，可凿开混凝土，割断管路堵塞段，恢复进、回浆管。当上述措施无效时，可视具体情况采用骑缝钻孔或斜穿缝面钻孔替代进、回浆管。

2 排气管不通处理。当排气管不互通，或排气管与缝面不互通时，可采用反向通水处理。如疏通无效，可采用钻孔处理，用钻穿灌区顶层的钻孔替代排气管路。单孔出水流量大于 25L/min，可认为畅通。

3 升浆管进渣堵塞处理。可采用高压水和高压风轮换冲洗将渣子清除，待畅通后再安装上层升浆管。若疏通无效，可采用与相邻升浆管串通方法处理。

4 当灌浆管路全部堵死无法疏通时，另行确定处理措施。

8.1.2 缝面不通时，采用反复浸泡、风和水轮换冲洗方式处理；如处理无效，采用钻孔的方法形成新的灌浆系统。

8.1.3 止浆片失效时，采用嵌缝方式处理，在缝面渗水部位凿槽，用速凝水泥砂浆、环氧砂浆等材料嵌堵。

8.1.4 当混凝土因质量缺陷漏水时，应先处理混凝土缺陷再进行灌浆。

8.2 灌浆过程特殊情况处理

8.2.1 灌浆过程中,出现灌区浆液外漏时,应先从外部进行堵漏,若无效,再采用加浓浆液、降低压力等措施,但不得采用间歇灌浆方法。

8.2.2 灌浆过程中,出现灌区之间串浆时,若串浆灌区已具备灌浆条件,可同时灌浆。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为止,待串区具备灌浆条件后再进行同时灌浆。若灌浆时间较长且串浆轻微,可在串区通入低压水循环,直至灌区灌浆结束,串区循环水洁净为止。

8.2.3 灌浆过程中,出现进浆管堵塞或灌浆因故中断时,可按以下方法处理:

1 当进浆管堵塞时,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,可用回浆管进浆控制进浆压力,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,应重新进行压水检查,若管路不通畅或排气管单开流量达不到 25L/min 时,应采取补救措施。

8.2.4 当灌区的缝面张开度在 0.5mm~0.3mm 之间时,可采用以下措施:

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 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 采用化学浆液。

8.2.5 当灌区缝面张开度小于 0.3mm 时,可采取以下措施:

1 在经过论证的情况下,加强冷却措施,改善缝面张开度。

2 若加强冷却仍不能满足灌浆要求时,可采用化学浆液。

9 灌浆质量检查与评定

9.0.1 接缝灌浆工程质量检查应以分析灌浆施工记录和成果资料为主，结合钻孔取芯、孔探仪观察或孔内电视数字成像、压浆检查、缝面凿槽检查等手段综合检查。

9.0.2 钻孔取芯、压浆检查和缝面凿槽检查应选择有代表性的灌区进行，检查时间应在灌浆结束 28d 以后。检查数量为灌区总数的 5%~10%，检查重点应放在依据灌浆资料分析情况异常的灌区，依据灌浆资料被评为合格的灌区检查视工程具体情况确定。

9.0.3 接缝灌浆质量检查应包括以下内容：

- 1 灌浆时坝块混凝土温度。
- 2 管路畅通、缝面畅通以及灌区密封情况。
- 3 灌浆施工作业情况。
- 4 灌浆结束时排气管出浆密度及压力。
- 5 灌浆过程有无中断、串区、漏浆和管路堵塞情况等。
- 6 灌浆前、后缝面增开度大小及变化。
- 7 灌浆材料性能检验情况。
- 8 缝面注入水泥量或化学浆液量（应扣除管路、灌浆槽、回浆槽所占容积）。

9.0.4 确定钻孔取芯检查的灌区，钻孔数量应不少于 2 个。根据灌区条件可布置骑缝孔或斜穿孔，斜穿孔孔深穿过缝面至少 0.5m。

9.0.5 钻孔取出的芯样应保留影像资料，绘制素描图，对芯样详细描述。芯样描述内容包括：芯样是否穿过缝面，水泥结石颜色、厚度、分布情况、密实性、有无气泡，以及结石与两侧混凝土的胶结程度等。

9.0.6 分析接缝灌浆施工资料和成果资料：坝块混凝土温度达到

设计规定，排气管排浆密度达到 1.73g/cm^3 以上，或张开度小于 0.5mm 的灌缝使用湿磨水泥或细水泥的灌区和不同高程同坝缝串区灌浆时的上层灌区排气管排浆密度达到 1.50g/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，灌区灌浆质量可评为合格。

9.0.7 钻孔取芯检查：斜穿缝面检查孔，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，灌区灌浆质量可评为合格。

9.0.8 凿槽检查：直观缝面内填充水泥结石或缝面呈闭合状态，灌区灌浆质量可评为合格。

9.0.9 钻孔检查满足下列条件之一，灌区灌浆质量可评为合格：

1 斜穿缝面单孔或双孔连通压浆检查，在规定压力下，注入水灰比为 2:1 的水泥浆，开始 10min 内，注入量不超过 4.0L 或两孔不互通。

2 骑缝的单孔或双孔连通压浆检查，在规定压力下注入水灰比为 2:1 的水泥浆，开始 10min 内，注入率不超过 $0.2\text{L}/(\text{min} \cdot \text{m})$ （段长）或两孔不互通。

9.0.10 接缝灌浆灌区的合格率应在 85% 以上，不合格的灌区分布应不集中，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。

9.0.11 检查工作结束后，检查孔和检查槽应封填密实。

10 施工记录和竣工资料

10.0.1 接缝灌浆工程施工记录、成果资料和检验测试资料应包括下列内容：

- 1 施工记录。
 - 1) 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、灌前压水试验记录。
 - 5) 接缝灌浆记录。
 - 6) 灌浆时缝面增开度变化观测记录。
- 2 成果资料。
 - 1) 单区灌浆成果一览表。
 - 2) 成果综合统计表。
 - 3) 综合剖面图。
- 3 检验测试资料。
 - 1) 检查孔基本情况资料。
 - 2) 检查孔取芯、压浆检查记录。
 - 3) 芯样力学性能试验报告。
 - 4) 灌浆材料检验报告。
 - 5) 槽检成果一览表。

10.0.2 接缝灌浆工程主要施工记录、成果统计表、统计图及竣工图的样式见附录 B。

10.0.3 接缝灌浆工程施工及检查完成后，应及时进行质量评定。

10.0.4 接缝灌浆工程完工后，施工单位应及时整编竣工资料，提交报告，申请验收。接缝灌浆工程验收应提供以下文件：

1 工程设计文件：工程设计图纸、施工技术要求、设计修改通知等。

2 施工资料：相关的施工记录、成果资料、检验测试资料、施工报告或施工技术总结等。

3 质量检查报告。

附录 A 水泥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

现场快速测定水泥浆液的密度。

A.1.2 试验仪器

1002 型泥浆密度计（见图 A.1.2），测量范围 $0.96\text{g/cm}^3 \sim 2.0\text{g/cm}^3$ ，刻度分值为 0.01g/cm^3 ，泥浆杯容积约 140mL。

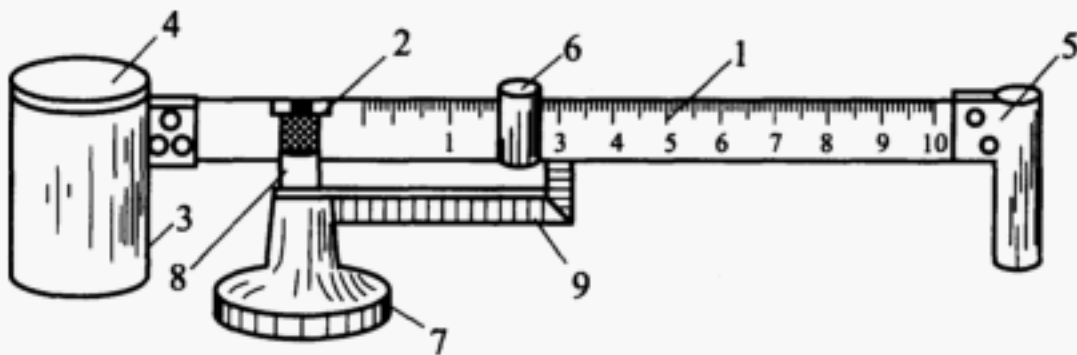


图 A.1.2 1002 型泥浆密度计

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 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：自搅拌桶中取水泥浆液装满泥浆杯，盖上杯盖，使多余的水泥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,即为水泥浆液的密度。

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 注意事项

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

A.2 浆液析水率

A.2.1 目的及适用范围

测定水泥浆等颗粒型灌浆浆液的析水率。

A.2.2 仪器设

100mL 的量筒、时钟、移液管等。

A.2.3 试验步骤

- 1 取约 100mL 水泥浆液倒入量筒中,在接近 100mL 时改用移液管将水泥浆液加到 100mL 刻度。
- 2 静置 2h 后,读取水泥浆液表面位置的刻度读数,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

现场快速测定水泥浆等颗粒性灌浆浆液的表现黏度。

A.3.2 试验仪器

马氏漏斗黏度计，仪器外形尺寸见图 A.3.2，以 946mL 液体从黏度计中流出的时间来确定液体的黏度；精度为 0.2s 的秒表一块；1000mL 敞口量杯一个；1000mL 量杯一个。

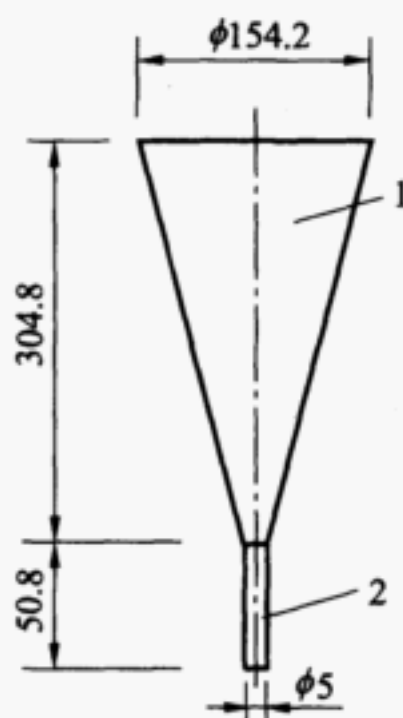


图 A.3.2 马氏漏斗黏度计（单位：mm）

1—漏斗；2—出液管

A.3.3 试验方法

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 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 $26 \pm 0.5s$ 。否则应更换漏斗黏度计。

4 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 注意事项

- 1 试验中水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，特别应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

快速测定水泥浆等颗粒性灌浆浆液的流动度。

A.4.2 仪器设备

截锥圆模(上口直径 36mm, 下口直径 64mm, 高度为 60mm, 内壁光滑、无接缝的金属制品)、玻璃板、秒表、钢直尺、刮刀。

A.4.3 试验步骤

- 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 注意事项

- 1 浆液注满试模后, 应立即进行测试。
- 2 试验过程切忌振动。

附录 B 灌浆工程施工记录及成果图表

B.0.1 接缝灌浆工程的施工记录和成果资料图表很多，各工程情况不一，图表格式内容也不尽相同，现列出部分主要表格和成果图的常用样式如下：

- 1 管路安装质量评定表（表 B.0.1-1）。
- 2 坝体混凝土测温（闷温）记录表（表 B.0.1-2）。
- 3 后期通水冷却检查记录表（表 B.0.1-3）。
- 4 通水平压记录表（表 B.0.1-4）。
- 5 灌前冲洗（浸泡）记录表（表 B.0.1-5）。
- 6 灌区准灌证（表 B.0.1-6）。
- 7 接缝灌浆记录表（表 B.0.1-7）。
- 8 管口放浆记录表（表 B.0.1-8）。
- 9 缝面增开度监测记录表（表 B.0.1-9）。
- 10 预灌性压水检查成果表（表 B.0.1-10）。
- 11 通（压）水检查记录表（表 B.0.1-11）。
- 12 单区灌浆施工成果表（表 B.0.1-12）。
- 13 施工成果综合统计表（表 B.0.1-13）。
- 14 综合成果图（图 B.0.1）。

表 B.0.1-1 管路安装质量评定表

承建单位:

合同编号:

No:

单位工程名称				单元工程质量			
分部工程名称				施工单位			
单元工程名称、部位				检验日期			
项类	检查项目		质量标准			质量评定	
主控项目	1. 管材质量		材质、尺寸符合设计要求, 表面无锈皮、油污残留				
	2. 管路安装、接头		安装规范, 接头不漏水、不漏气、无堵塞				
一般项目	1. 管路位置、高程		符合设计要求				
	2. 管路进出口		露出模板外 30cm~50cm, 妥善保护, 有识别标志				
施工单位	自检结果	主控项目		监理单位	检查结果	主控项目	
		一般项目				一般项目	
	质量等级			质量等级			
	质量负责人			监理工程师			
		年 月 日				年 月 日	

表 B.0.1-2 坝体混凝土测温（闷温）记录表

承建单位：合同编号：年 月 日

部位		闷温时段		测温时间	
风温 (℃)		水温 (℃)			
冷却水管编号	高程 (m)	出水温度 (℃)	均温 (℃)	备注	

测温：记录：质检：监理：

表 B.0.1-3 后期通水冷却检查记录表

承建单位：合同编号：No:

部位	冷却水管编号	冷却水管材质	高程 (m)	管口位置	通水类别	开始时间 (h:min)	结束时间 (h:min)	通水量 (L)	进水温度 (℃)	回水温度 (℃)	记录人	备注

记录：质检：日期：

表 B.0.1-4 通水平压记录表

承建单位：合同编号：No:

灌区 编号				灌区 缝别				部位				高程 (m)		
时间					通水平压缝号:			通水平压缝号:			备注			
起		止		历时										
时	分	时	分	min	工作 内容	进水管 名称	压力 (MPa)	工作 内容	进水管 名称	压力 (MPa)				

记录：质检：日期：

表 B.0.1-5 灌前冲洗（浸泡）记录表

承建单位：合同编号：No:

灌区 编号					灌区 缝别			浸泡 时间			使用机械		
冲洗时间					工作 内容	进水管			出水管口			备注	
起		止		历时		管口 名称	压力 (MPa)		管口 名称	压力 (MPa)	回水 颜色		
时	分	时	分	min			风压	水压					

记录：质检：日期：

表B.0.1-6 灌区准灌证

承建单位:

合同编号:

No:

缝号		缝别		灌区编号		灌区 高程 (m)		灌区 面积 (m²)	
灌区顶部混凝土叠重		上部已浇至m, 厚度m				灌区混凝土温度	设计		
混凝土浇筑时间	本区	块年 月 日, 龄期:					本区	块℃, 测温方法:	
		块年 月 日, 龄期:						块℃, 测温方法:	
	上区	块年 月 日, 龄期:					上区	块℃, 测温方法:	
		块年 月 日, 龄期:						块℃, 测温方法:	

续表 B.0.1-6

管路 通试 情况	原 装 管 路										补 装 管 路								缝 开 度		灌前 开度	测缝计测试:
																						计算:
																			灌区封闭情况			
																			邻区管路通试 情况			
																			上区通试情况			
压水 情况	进水管			出水管			渗漏量 (L/min)			缝面			上(邻)区			有关 单 位 意 见	施工队 (厂) 质检	签字:				
灌浆 实施 方案	本区灌浆			串区灌浆			邻区通水			上区通水				质量办	签字:							
	进浆	回浆	排气	进浆	回浆	排气																
压力 控制														监理部	签字:							

表 B.0.1-7 接缝灌浆记录表

承建单位:

合同编号:

No:

单元工程 名称或编码					分部工程 名称或编码					坝段缝别					灌区编号										
灌区位置					灌区高程					灌区面积					施工日期										
时间					配合比 (重量比)		配合量 (kg)			浆液 温度	槽内 浆量 (L)	液面 深度 (cm)	间隔 时间 液面 下降 量 (cm)	间隔 时间 吸浆 量 (L)	平均 吸浆 量 (L/min)	弃浆 量 (L)	压力表读数 (MPa)				浆液比重				
起		止		历时 min	水:灰	外 加 剂	水	灰	外 加 剂								进 浆	回 浆	排气		进 浆	回 浆	排气		
时	分	时	分																1号	2号			1号	2号	

技术员:

班长:

记录员:

表 B.0.1-8 管口放浆记录表

承建单位:

合同编号:

No:

[illegible]

记录:

质检:

日期:

表 B.0.1-9 缝面增开度监测记录表

承建单位:

合同编号:

No:

灌区 编号			灌区 缝别			灌区高程 (m)	观测项目		测点高程 (m)		仪器名称				
									测点编号		仪器编号				
观测时间 (h:min)		使用压力 (MPa)		缝面观测值 (mm)			观测时间 (h:min)		使用压力 (MPa)		缝面观测值 (mm)				
开始	终止	主进 浆管	排气管		读数	增开值	累计值	开始	终止	备进 浆管	排气管		读数	增开值	累计值
			主排	备排							主排	备排			

记录:

质检:

日期:

表 B.0.1-10 预灌性压水检查成果表

承建单位:

合同编号:

No:

缝面编号		灌区类别		部位		灌区高程 (m)						
管口高程 (m)		压水方法		压水日期		压水时间 (min)		总压水历时 (min)				
灌区面积 (m²)		缝容 (L)		张开度 (mm)		增开度 (mm)		水压 (MPa)				
进水管					关闭压力 (MPa) /单开流量 (L/min)					缝面稳定漏水率		备注
管口名称	压力 (MPa)	压力表 高程 (m)	通水延时 (min)	进水率 (L/min)	备进 浆管	主回 浆管	备回 浆管	主排 气管	备排 气管	观测时间 (min)	漏水率 (L/min)	
绘制管口位置简要外露示意图					灌区存在问题的分析意见							

制表:

校核:

审核:

日期:

表 B.0.1-11 通（压）水检查记录表

承建单位:

合同编号:

No:

灌区编号					灌区 缝别					灌区高程 (m)					管口高程 (m)					管口位置				
时 间					进 水 管					回 水 管					总漏水率 (L/min)					外漏串 通及其他情况 描述				
起		止		历时	工作 内容	管口 名称	压水压力 (MPa)			进水率 (L/min)	管路 名称	回水 时间 (min)	关闭 时间 (min)	关闭 压力 (MPa)							单开 流量 (L/min)	回水 颜色		
时	分	时	分	min			全开	单开	全关															

记录:

质检:

日期:

表 B.0.1-13 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)		管路通畅情况	单开流量 (L/min)		灌区串漏情况	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	
		压力 (MPa)		密度 (g/cm ³)			张 开 度		增 开 度						排 气 管	排 气 管	进 浆 管	排 气 管	排 气 管	排 气 管	水 灰 比	管口 压力 (MPa)	总 量 (kg)			单 位 注 入 量 (kg/m ³)
		前 (左)	后 (右)	前 (左)	后 (右)																					

技术负责人:

校对:

制表:

制表日期:

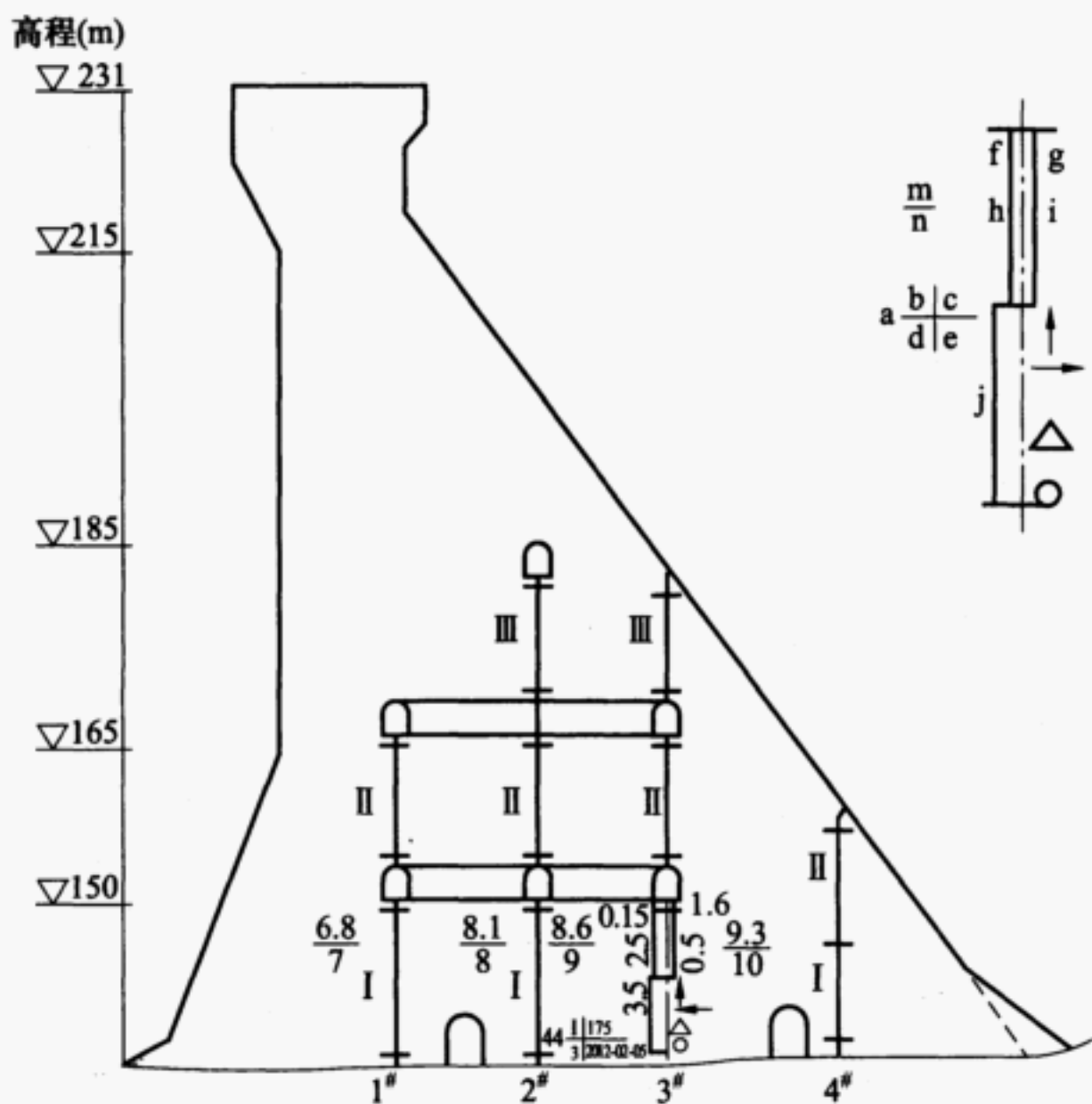


图 B.0.1 综合剖面图

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—缝面单位面积注灰量， kg/m^2 ；
m—实测温度， $^{\circ}\text{C}$ ；n—设计温度， $^{\circ}\text{C}$ ；↑—与上层灌区串浆；→—缝面漏浆；
△—作业正常（⊗非正常）；○—管路系统畅通（⊗非畅通）

本规范用词说明

1 为了便于在执行本规范条文时区别对待,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;
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;
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;
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,采用“可”。

2 条文中指定按其他有关标准、规范执行时,写法为:“应符合……的规定”或“应遵守……的规定”或“应按……执行”。非必须按所指定的标准和规范执行的,写法为:“可参照……”。

引用标准名录

- 《通用硅酸盐水泥》 GB 175
- 《水工混凝土外加剂技术规范》 DL/T 5100
- 《混凝土重力坝设计规范》 DL/T 5108
- 《水工混凝土施工规范》 DL/T 5144
- 《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》 DL/T 5148
- 《水工混凝土试验规程》 DL/T 5150
- 《拱坝设计规范》 DL/T 5346
- 《水工建筑物化学灌浆施工规范》 DL/T 5406
- 《水泥颗粒级配测定方法 激光法》 JC/T 721

中华人民共和国电力行业标准

水电水利工程接缝灌浆施工技术规范

DL/T 5712 — 2014

条 文 说 明

目 次

1 总则 45

3 基本规定 46

4 灌浆材料、设备与制浆 47

 4.1 灌浆材料 47

 4.2 浆液试验 50

 4.3 灌浆设备和机具 51

 4.4 制浆 52

5 灌浆系统布置与安装 53

 5.1 灌浆系统布置 53

 5.2 灌浆系统材料与加工 56

 5.3 灌浆系统安装 57

 5.4 灌浆系统检查和维护 58

6 灌浆准备 59

7 灌浆施工 62

 7.1 一般规定 62

 7.2 灌浆压力 63

 7.3 灌浆 65

 7.4 结束条件 66

8 特殊情况处理 68

 8.1 灌浆前灌区缺陷处理 68

 8.2 灌浆过程特殊情况处理 68

9 灌浆质量检查与评定 69

10 施工记录和竣工资料 71

1 总 则

1.0.1 说明了制定本规范的目的。

1.0.2 说明了本规范的适用范围。

1.0.3 接缝灌浆施工过程，管口须间歇放浆，灌浆时须在管口附近设置储浆桶或专用排污管路，将弃浆排至指定地点集中处理，防止影响文明施工。

化学灌浆材料是易燃品，要求化学灌浆现场必须禁止烟火，配备灭火器和通风设施。单体材料有毒，进入施工现场人员必须使用专用劳动防护用品，并对作业人员进行定期健康检查。化学灌浆弃浆必须及时收集在塑料桶内，密封后转运至指定地点按照要求处理。

3 基本规定

3.0.2 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部高程的条件下进行”。

3.0.3 埋设测温计和测缝计是为了掌握坝块混凝土温度和缝面张开度，并与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：三峡水利枢纽工程、溪洛渡水电站、向家坝水电站、宁波周公宅水库、拉西瓦水电站、江口水电站等大中型水电站均在大坝混凝土中有选择地埋设了测温计和测缝计。

3.0.4 接缝灌浆各工序检查记录、施工记录是分析评价灌浆工程质量的重要证据，有时是唯一证据，因此要严格要求，认真填写。记录要在施工现场随着施工的进程随时填写，专人审核，不允许事后补记，更不得随意编造、涂改。

3.0.6 灌浆浆液应在初凝前灌入缝内，一般情况下，从开始搅拌到灌入缝内的总时间普通水泥浆液不大于 3h，细水泥浆液不大于 2h。水泥接缝灌浆采用水灰比为 0.5:1 的浆液时，马氏漏斗黏度宜小于 40s，2h 析水率小于 3%。

3.0.7~3.0.8 已有的接缝灌浆经验表明，接缝灌浆缝面张开度小于 0.5mm 的灌区是很难避免的，灌浆质量是关注的焦点；室内试验表明，细水泥浆液、化学浆液适用于缝面张开度小于 0.5mm 的灌区，小湾水电站缝面张开度小于 0.5mm 的灌区采用了细水泥灌浆和化学灌浆，效果较好。

4 灌浆材料、设备与制浆

4.1 灌 浆 材 料

4.1.1 接缝灌浆的目的是通过注入缝面内的水泥浆液凝固使坝块连成整体，增强坝体的整体性和改善传力条件，灌浆水泥的强度应接近或等于拌制大坝混凝土水泥的强度，否则将影响坝体的整体性和改善传力条件。

4.1.2 根据《通用硅酸盐水泥》GB 175 及相应的水泥试验标准，水泥的标号改为相对应的强度等级。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 四个等级；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。

《通用硅酸盐水泥》GB 175 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 $300\text{m}^2/\text{kg}$ ；复合硅酸盐水泥的细度以筛余量表示，要求 $80\mu\text{m}$ 方孔筛筛余量不大于 10% 或 $45\mu\text{m}$ 方孔筛筛余量不大于 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必须满足通过 $80\mu\text{m}$ 方孔筛的筛余量不大于 5% 的要求。

细水泥适用于缝面张开度小于 0.5mm 的接缝灌浆。超细水泥，用特殊方法磨细的水泥，一般 D_{max} 在 $12\mu\text{m}$ 以下， D_{50} 为 $3\mu\text{m}\sim 6\mu\text{m}$ 。干磨细水泥，将普通水泥通过干磨法进一步磨细，一般情况下最大粒径 D_{max} 在 $35\mu\text{m}$ 以下，平均粒径 D_{50} 为 $6\mu\text{m}\sim 10\mu\text{m}$ 。湿磨水泥，将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 $D_{97}\leq 40\mu\text{m}$ ，

$D_{50}=10\mu\text{m}\sim 12\mu\text{m}$ ，采用珠磨机能达到干磨细水泥和超细水泥的细度。小湾水电站采用了湿磨水泥灌浆；向家坝水电站 $0.2\text{mm}\leq$ 缝面宽度 $\leq 0.5\text{mm}$ 的灌区，采用湿磨细水泥灌浆，要求 95% 以上水泥颗粒细度 $< 40\mu\text{m}$ 。

1 坝体接缝灌浆水泥的组分应符合表 4-1 的规定。

表 4-1 水泥的组分表

品种	代号	组 分				
		熟料+石膏	粒化高炉矿渣	火山灰质混合材料	粉煤灰	石灰石
硅酸盐水泥	P. I	100	—	—	—	—
	P. II	≥ 95	≤ 5	—	—	—
		≥ 95	—	—	—	≤ 5
普通硅酸盐水泥	P.O	≥ 80 且 < 95	> 5 且 ≤ 20			—
复合硅酸盐水泥	P.C	≥ 50 且 < 80	> 20 且 ≤ 50			

2 水泥化学指标应符合表 4-2 的规定。

表 4-2 水泥化学指标表

品种	代号	不溶物 (质量分数)	烧失量 (质量分数)	三氧化硫 (质量分数)	氧化镁 (质量分数)	氯离子 (质量分数)
硅酸盐水泥	P. I	≤ 0.75	≤ 3.0	≤ 3.5	≤ 5.0	≤ 0.06
	P. II	≤ 1.50	≤ 3.5			
普通硅酸盐水泥	P.O	—	≤ 5.0			
复合硅酸盐水泥	P.C	—	—	≤ 3.5	≤ 6.0	

4.1.3 采用化学灌浆前，须对缝面情况充分了解，慎重使用。化

学灌浆材料，一般为改性环氧化学灌浆材料；小湾水电站对缝面张开度小于 0.3mm 的灌区，采用了 PSI-500 型环氧树脂类化学灌浆材料。

4.1.4 《水工混凝土施工规范》DL/T 5144 中 5.5.2 的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。

1 凡符合国家标准的饮用水，均可用于接缝灌浆，未经处理的工业污水和生活污水不得用于接缝灌浆。

2 地表水、地下水和其他类型水用于接缝灌浆时，须按现行的有关标准，经检验合格后方可使用，检验项目和标准应符合以下要求：

- 1) 待检验水与标准饮用水试验所得的水泥初凝时间差及终凝时间差不得大于 30min。
- 2) 待检验水配置的水泥浆 28d 抗压强度不得低于用标准饮用水配置的水泥浆的抗压强度的 90%。
- 3) 配置水泥浆液用水的 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 4-3 的规定。

表 4-3 水的 pH 值、不溶物、可溶物、氯化物、硫酸盐的含量表

项目	pH 值	不溶物 (mg/L)	可溶物 (mg/L)	氯化物（以 Cl ⁻ 计） (mg/L)	硫酸盐（以 SO ₄ ²⁻ 计） (mg/L)
指标	>4	<5000	<10 000	<3500	<2700

4.1.5 接缝灌浆浆液中加入的外加剂主要为减水剂，目的是改善浆液的和易性，防止离析，降低浆液凝固的收缩率。采用细水泥浆液时须加入减水剂。

减水剂主要性能指标见表 4-4。

表 4-4 减水剂主要力学性能指标

序号	检测项目		标准要求
1	减水率 (%)		不小于 12
2	泌水率比 (%)		不大于 100
3	抗压强度比 (%)	3d	不小于 125
		7d	不小于 125
		28d	不小于 120
4	凝结时间差 (min)	初凝	>+90
		终凝	—

4.2 浆 液 试 验

4.2.1 水泥浆液室内试验项目主要包括浆液流动性、稳定性、初凝时间、终凝时间、析水率及不同龄期结石抗压强度、弹性模量等，可参照《水工混凝土试验规程》DL/T 5150 相关内容执行。

应当说明的是，室内浆液及其结石试验均是在浆液自由沉淀的条件下进行的，这与浆液在灌浆过程及缝面中的状况是不同的，对试验所得数据应进行分析，参考使用。

一般来说，水泥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，其检测项目应精简易行。附录 A 主要对现场测定浆液性能的方法和仪器进行了规定，并非所有灌浆工程都要进行各项试验。

4.2.2 细水泥细度和颗分曲线是评价其可灌性的一个重要依据，通常情况下均应进行检测。一般采用激光粒度分析仪或其他方法进行检测，可参照《水泥颗粒级配测定方法 激光法》JC/T 721 进行。

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。

4.2.3 化学浆液是通过材料之间的化学反应形成的，受环境因素的影响较大，在室内须对各种材料的用量、加入顺序、凝固时间等进行试验，确定制浆工艺。

4.3 灌浆设备和机具

4.3.1、4.3.2 高速搅拌机一般使用涡旋式、水力式，转速均能达到 1200r/min 以上。

4.3.4 接缝灌浆为确保水泥浆液稳定的流量和流速通常采用三缸活塞式和柱塞式灌浆泵，化学灌浆采用计量泵。

4.3.6 采用通仓浇筑的混凝土拱坝，坝体内交通廊道少，监测灌区有限，一般利用坝后栈桥进行灌浆及变形监测，而坝后栈桥很难测出缝面平均增开度数据，特别是靠上游侧的增开度；因此电子测缝计应多布置，同一灌缝上至少两层灌区按上、中、下游各布置一组。

4.3.7 接缝灌浆开灌后，必须连续进行，灌浆意外中断将给工程质量和施工单位造成大的损失，故规定了灌浆设备、仪器、仪表等应有备品备件。

为了保持接缝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。

4.4 制 浆

4.4.1 水泥等固相材料宜采用质量（重量）称量法计量，误差应小于 5%。化学浆液是多组分灌浆材料，各组分之间的比例不同会导致固化产物性能的变化，因此按照材料配合比进行配置，如材料无特殊说明，称量误差宜控制在 5% 以内，对于用量很少的促进剂、催化剂等助剂宜使用药用天平称量。

4.4.4 经过施工实践证明，浆液超过 4h，其流动性、稳定性下降较大，凝结时间延长，结石强度下降。接缝灌浆要求浓浆尽快、充分充填缝面，灌浆压力较低，浆液在缝面内扩散阻力较大，要求浆液有较高的流动性、稳定性和鲜活性，故规定了浆液自制备至用完的时间不宜大于 3h。

4.4.5 因为细水泥比普通水泥具有较高的表面活性，在相同水灰比下易于凝聚结团，必须采用机械分散和化学分散。浆液黏度较大，应加入减水剂，改善其流动性能。

4.4.6 化学浆液是通过单体材料之间的化学反应形成的，不宜从制浆站通过管路长距离运输。化学浆液制浆分为两个阶段，在专门的制浆站按配方先制成 A、B 两种浆液，密封运至灌浆现场后再将 A、B 液按比例混合搅拌形成化学浆液，其目的是控制浆液凝结时间和避免因大量配制而造成弃浆浪费。

4.4.7 通常水泥浆液应进行密度（水灰比）检测，浆液在寒冷、炎热或长时间高压循环时，流动性变化较大，流动性大小决定浆液在缝面内扩散距离的远近，故接缝灌浆时须检测、控制浆液的温度。

5 灌浆系统布置与安装

5.1 灌浆系统布置

5.1.1 灌区高度是影响灌浆质量的一个重要因素。据有关资料，常态混凝土坝，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%。碾压混凝土坝接缝缝面与常态混凝土缝面比较，张开度较小，灌区面积亦应较小。故本条文规定碾压混凝土大坝，灌区高度以 6m~9m 为宜，常态混凝土大坝灌区高度以 9m~12m 为宜。

5.1.2 进浆管口位置高于灌区排气槽过大时，浆液自重压力可能超过排气槽设计压力，易导致缝面增开度超过设计规定值。管口位置远低于灌区排气槽时，加大进浆压力才能使浆液进入缝面，否则浆液很难在缝面内部有效扩散。

5.1.3 当前国内通常采用的接缝灌浆升浆、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 塑料拔管方式，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，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。为减小浆液在缝面内流动阻力，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。

在小湾水电站、溪洛渡水电站接缝灌浆布置了“线出浆”和“面出浆”结合方式的灌浆系统。

为防止灌浆管路堵塞影响灌浆质量，宜在灌区底部布置两套灌浆系统。

5.1.4 升浆管顶部若距排气槽太近，浆液很快进入排气槽，不利浆液在缝内扩散和充填；若太远，浆液难以进入排气槽，影响灌浆质量。如果灌缝较长，对于上、下游各有一套进浆管路的灌区且采用双泵同时进浆时影响不大。对于长灌缝从一侧单泵进浆、小于 0.5mm 的缝面质量保证度较低，因为缝面浆液扩散阻力大，流动相对较慢，而升浆管出浆快。可通过增加升浆管顶部距排气槽间距解决，对于较长的灌缝，可以增加至 1.5m~2.0m。

5.1.5 纵缝的出浆盒安装在先浇块键槽的倒坡面的目的是出浆盒在模板上易于安装，坝块混凝土冷却后此面易于拉开。

5.1.6 出浆槽方式是面出浆，取消了缝内升浆管，出浆槽较长时，浆液在缝面内流动阻力较大，影响浆液在缝面内扩散，当出浆槽超过 10m 时，应设两套灌浆系统。

5.1.7 当灌浆主管在灌区底部连接且开口向上引时，在管的底端连接沉污管，可有效防止管路堵塞。

5.1.8 有的碾压混凝土坝，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灌浆系统，要求对诱导缝进行反复灌浆。在《水工设计手册 第 5 卷：混凝土坝》ISBN: 978-7-5084-8949-0 的 1.11 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，国内已在少数工程中使用。据查，广西龙滩碾压混凝土重力坝、四川沙牌碾压混凝土拱坝、向家坝碾压混凝土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。

5.1.9 参考向家坝水电站碾压混凝土坝、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、白莲崖碾压混凝土拱坝、玄庙观水库碾压混凝土拱坝等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性要求。目前采用重复接缝灌浆系统的出浆设施为橡胶套阀出浆盒。

1 混凝土坝采用重复接缝灌浆时，灌区高度以 6m~9m 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。后浇块浇筑前，将出浆花管及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，灌区高度宜为 6m。诱导缝上间断埋设两块预制的混凝土诱导板（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，每个诱导板内，进回浆管上均串联橡胶套阀出浆盒。灌区顶部由几段铁管连接诱导板组成排气系统。采用重复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功能，因此重复灌浆前，必须进行模拟试验，测定出浆花管在重复灌浆时能否开环及开环压力。故须做到：

- 1) 形成排气槽的两块诱导板顶部合并缝要封堵严实，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浆、回浆、排气管路。排气管宜适当推迟 10min~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。

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 5-1。

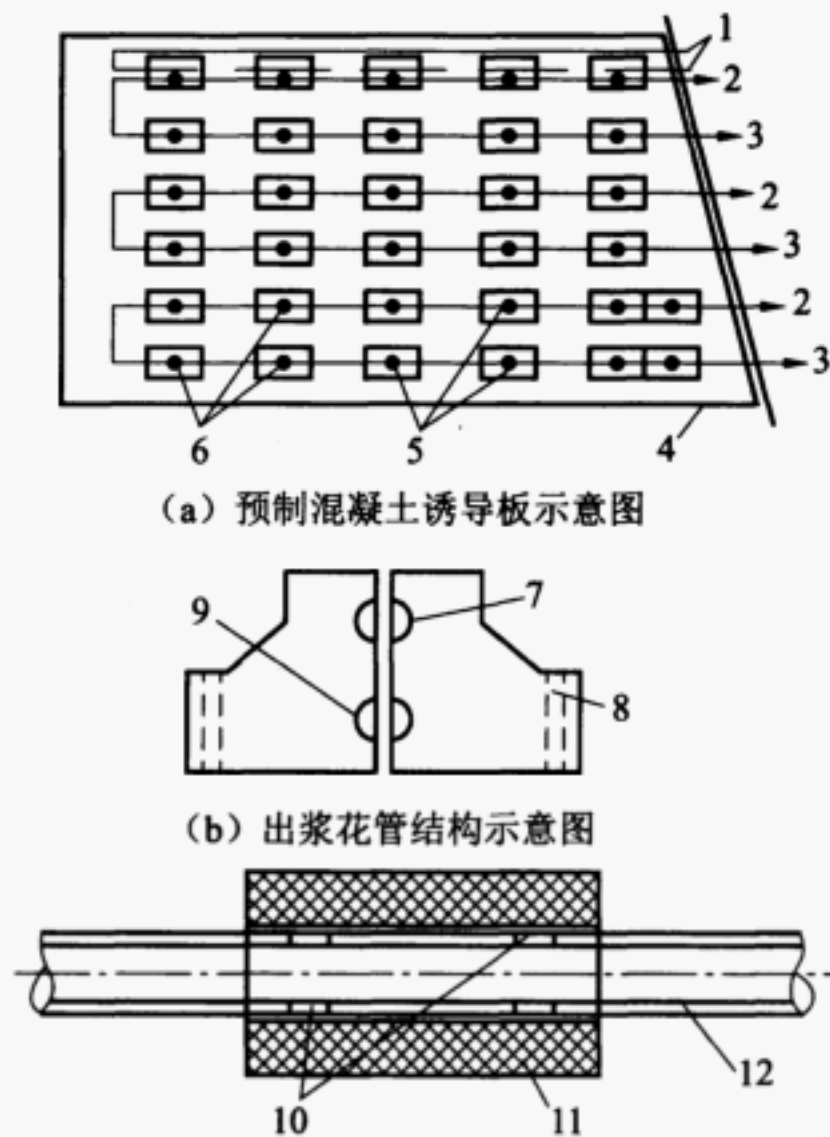


图 5-1 碾压混凝土坝重复接缝灌浆系统布置及
预制混凝土诱导板、出浆花管结构示意图

1—排气管；2—回浆管；3—进浆管；4—止浆片；5—预制混凝土诱导板；
6—出浆花管；7—插筋固定孔；8—排气管预留孔；9—灌浆管预留孔；
10—出浆孔（槽）；11—橡胶套；12—进、回浆钢管

5.2 灌浆系统材料与加工

5.2.1~5.2.3 灌浆系统材料需与灌浆系统的布置方式相对应。采用塑料拔管方式时，进浆管、回浆管、排气管材料使用高密度聚乙烯硬管。采用预埋铁管方式时，应使用钢管，弯管段应为弧形过渡，不得直角连接，其目的是管路安装、连接尽量减少变径，减少灌浆过程中浆液流动阻力。施工证明，管路接头连接方法、弯管段连接方法不当会造成管路不畅，管路在连接接头处和弯管段易形成堵塞。

5.2.5 橡胶套阀出浆盒由一根有孔管、一个橡胶套和两个管接头组成。

5.3 灌浆系统安装

5.3.1 接缝灌浆管路原则上不应穿过缝面。若跨缝面，必须采取过缝措施。通常在接缝处加“Ω”形管或在管外包裹沥青油毡等方法。

5.3.2 对“拔塑料管方式”的安装提出原则要求。后浇块浇筑后何时拔出塑料管，应通过现场试验确定。以下实例供参考：湖北隔河岩水电站为 24h；贵州东风水电站夏季为 16h，春秋季节为 20h，冬季为 24h；河北潘家口水库为夏季为 24h，冬季为 48h~72h；周公宅水库大坝为 24h；小湾水电站为 24h；拉西瓦水电站为 24h。

塑料拔管拔出后，用配套的孔口塞将孔口封闭，防止杂物堵塞升浆孔。

5.3.5、5.3.6 混凝土浇筑过程，由于混凝土冲击、振捣产生的侧压力会造成灌浆系统移位、变形，甚至损坏，出浆槽和排气槽盖板端部会错开移位，水泥浆进入槽内，堵塞出浆槽和排气槽。拉西瓦、溪洛渡、小湾等水电站大坝施工经验证明，板盖板端搭接 10cm 可以减小变形损坏。

5.3.7 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，尤其底层止浆片若存在质量缺陷，在坝基固结灌浆时，浆液可能进入基础灌区缝面内，不仅影响固结灌浆的正常施灌，而且可能造成整个基础灌区管路、缝面堵塞。底层止浆片更容易被锈蚀、损坏，故必须确保止浆片埋设质量。

5.3.8 由于灌区管路在实际埋设过程中，受施工环境影响，管路实际埋设位置、具体尺寸等与管路布置设计图存在差异，若无管路埋设竣工图，会给处理“病区”或分析灌浆异常情况带来难度，故要求“必须绘制灌区的灌浆系统竣工图”。

5.3.9 当前国内灌浆管路系统管径通常为：钢管管径不小于 32mm，PVC 管管径为 32mm 和 40mm。管口段外露长度以方便灌

浆胶管连接为宜，一般外露长度为 15cm~20cm。由于灌浆系统外露管口均布设在廊道内或坝后栈桥（或临时交通桥），往往在一个位置布设多个灌区灌浆系统的管口，容易混淆，故本条强调每个灌区的管口“排列整齐有序，并分别标出管路名称”。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等，均提出了要求。

5.4 灌浆系统检查和维护

5.4.1 每层混凝土浇筑前后对管路系统进行检查目的是：及时疏通或更换堵塞或损毁的出浆盒（孔）、灌浆主管或升浆管。检查的主要方法是“通水检查”。当采用拔塑料管方式时，在后浇块混凝土浇筑完毕并拔出塑料管后，应对进回浆管、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，在后浇块混凝土浇筑完成后，应对灌浆管路通水检查和冲洗。

当后浇块混凝土浇筑层盖过灌浆槽或排气槽盖板顶部时，应立即对灌浆系统或排气系统进行通水检查，若回水中带有水泥浆时，应将水泥浆冲洗干净；通水不畅或堵塞时，必须排除堵塞物，否则采用钻孔或在混凝土中凿槽等方法，使其功能恢复。

“灌区形成后，应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和各自的流量。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”。发现问题后应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。

5.4.2 许多工程接缝灌浆管路加工、埋设比较规范，但在混凝土浇筑过程中不注意现场维护，无人值班，造成管路损坏、止浆片周围混凝土振捣不密实等不能及时发现、处理，结果不少灌区成为“病区”，给灌浆造成了很大的困难。

6 灌 浆 准 备

6.0.1 灌区两侧坝块及压重块的混凝土温度是能否进行接缝灌浆的重要控制指标。混凝土内预埋测温计主要布置在具有代表性的坝块，不能覆盖所有坝块，目前国内测温方法常用“充水闷温”法，个别工程亦采用钻孔测温法。

使用充水闷温应注意以下几点：

1 充入冷却水管里的水温不宜低于 5℃。

2 每个灌区所有冷却水管均需充水闷温测试温度，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材质、层距和间距确定闷温时间，一般闷温时间为 3d~5d。材质为钢管，闷温时间一般为 3d，材质为 PVC 管一般为 5d；冷却水管层距和间距为 2m，闷温时间为 3d，层距和间距为 3m，闷温时间为 5d。

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 3 个容积为 10L~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 3 桶~5 桶水的温度平均值作为该层冷却水管的闷温资料。

钻孔测温法：即在坝块适当部位向坝体内打孔，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应相互对照，从而准确判断坝块混凝土实际温度，为灌浆提供依据。

6.0.2 量测缝面实际张开度是为正确选择灌浆材料、浆液浓度及灌浆压力提供依据。测缝计的测值代表坝块内部缝面张开度，孔探仪和厚薄规的测值代表坝块表层缝面张开度，两者有时误差较大。有的工程取其平均值，有的还进行灌区缝容测定，3 种数据相

互对照,取其合理数值。无法使用孔探仪或厚薄规量测的灌区,灌区的张开度可通过预灌性压水来确定,压水前用压缩风将灌区内的积水吹干净,然后压水,计算出缝面张开度,可采用式(6-1)计算张开度。

$$h_{\text{张开度}} = (V_{\text{总}} - V_{\text{进回浆管}} - V_{\text{排气管}} - V_{\text{升浆管}} - V_{\text{进浆槽}} - V_{\text{排气槽}} - V_{\text{漏量}}) / S_{\text{灌区面积}} \quad (6-1)$$

6.0.3 每个灌区通常布置两套灌浆管路即主进和主回、备进和备回。本条是指两者中至少有一套灌浆管路畅通。检查“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 30L/min 时,则该灌浆管路具备了“管路通畅”的基本条件。

“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“单开流量”大于 25L/min 时,则认为缝面畅通。

采取“通水检查”的方法查明灌区密封情况,即从进浆管(或备用进浆管)进水,关闭所有出水管口,测定灌区缝内稳定的进水率(L/min)。当进水率小于 15L/min 时,即认为缝面满足密封要求。严格来说,灌区缝面容积是有限的,当注入一定水量后,缝面应不再进水。若缝面长时间保持较稳定的进水率,说明灌区有串漏现象。至于串漏量是多少,很难分清。实践经验证明,灌区串漏水量小于 15L/min 时,可以采取一定措施,按规范要求要求进行施工,能达到灌浆结束条件。

6.0.4 这是灌浆前最后一次检查,目的是进一步查明灌区是否存在缺陷,避免灌浆过程中出现问题。为防止进行预灌性压水检查时对灌区产生不利影响,规定了进行预灌性压水检查时的时间限制条件。

6.0.5 3 个或 3 个以上灌区串通需要同时灌浆时,施工中做到相互协调非常困难,难以保证接缝灌浆质量,故须制定行之有效、

稳妥可靠的施工措施。

6.0.6 在制浆站、中转站、灌浆泵与灌区之间建立可靠的通信联络是为了确保输浆环节畅通,防止出现灌浆中断,影响灌浆质量。管浆管路过长,浆液流动阻力增大,灌浆时容易发生管路堵塞,故灌浆泵距灌区不宜太远。

6.0.7 缝面浸泡有两个目的:其一,浸泡使缝面内充填的污物软化,在通水检查过程中,可将其冲出缝面,对疏通管路和缝面有利;其二,使缝面保持湿润状态,有利于浆液在缝面内流动及与缝面胶结牢固。

6.0.8 缝面上安装变形监测装置的目的是监测压水检查和灌浆过程中缝面的增开度,防止增开度超过设计允许值。

6.0.10 此条是为了检查重复灌浆系统相邻回路间有无串通现象,便于采取应对措施。

7 灌 浆 施 工

7.1 一 般 规 定

7.1.1 后灌区可能因串浆、挤压等原因受前灌区灌浆不利的影响，同时为了保证坝体整体性和应力传递，所以明确了同一高程上，重力坝和拱坝纵、横缝灌浆顺序。横缝灌浆从坝中间向两岸推进可减少向一个方向的累计变形，防止坝块产生侧向应力。纵缝灌浆由下游向上游推进可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，先灌上游第一条缝可防止上游坝块单独受力。

7.1.2 《拱坝设计规范》DL/T 5346 中 12.4.3 规定“缝两侧坝体混凝土龄期不宜小于 90d”。小湾水电站接缝灌浆灌区两侧混凝土龄期不少于 90d，锦屏一级水电站接缝灌浆灌区两侧混凝土龄期不得小于 120d，施工时执行此规定，接缝灌浆质量均满足设计要求。

规定 6m 盖重混凝土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。

自 1994 年以来，国内大坝接缝灌浆均将缝面张开度界定为不小于 0.5mm，实践证明，普通水泥浆具有可灌性，是恰当的。近几年缝面张开度小于 0.3mm 采用细水泥或化学浆液灌浆逐渐增多，弥补了普通水泥浆液的不足。

7.1.3 相邻横缝宜采取逐区连续灌浆方式，是为了防止灌区受压导致缝面出浆不畅。这种灌浆方式须在先灌横缝排气管出浆且浆液达到设计密度后，相邻横缝启动灌浆，这是最早开灌的时间要求。

7.1.4 查阅混凝土坝接缝灌浆资料，2001 年以前，上、下层灌区灌浆间隔时间为 10d，2001 年后修改为 7d，实施过程中，有关单位对此项修改未提出过意见，故本规范将上、下层灌区灌浆间隔时间确定为 7d。据有关室内试验资料介绍，水泥浆液压滤成型试件的早期（7d）强度约为 28d 强度的 70%。根据小湾水电站接缝灌浆强度试验，7d 的平均抗折、抗压强度分别为 28d 强度的 88.4% 和 70.7%。表 7-1 为小湾水电站强度试验结果。

表 7-1 小湾水电站浆液强度试验表

区间	细度 (%)	凝结时间		安定性 (mm)	抗折强度 (MPa)			抗压强度 (MPa)			检测 次数
		初凝 (min)	终凝 (h)		3d	7d	28d	3d	7d	28d	
最大值	2.9	215	5.33	1.5	6.2	8.2	9.8	28.2	42.2	56.1	
最小值	1.2	124	3.32	0.5	4.3	6.2	7.7	17.2	29.2	45.4	
平均值	2.1	175	4.65	0.8	5.4	7.6	8.6	25.2	34.5	48.8	
合格率 (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
标准要求	≤3	≥60	≤12	≤5	≥3.0	≥4.5	≥7.5	≥12	≥22	≥46.5	

接缝灌浆使用水泥强度等级较高，颗粒细凝结硬化快，灌入缝内的水泥浆液受泌水、压实作用，早期强度高，下层灌区灌浆 7d 后，不会再受上层灌浆的影响。

有条件时，上、下层灌区应连续灌浆。若下层灌浆结束 4h 之后再继续进行上层灌浆，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。

7.2 灌 浆 压 力

7.2.1 灌浆压力系指与排气槽同一高程处的排气管管口的浆液压力，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。

接缝灌浆压力是根据应力及变形条件由设计单位确定。由于浆液在缝内扩散规律很难掌握，坝块受力状态很难准确计算，设计单位多采用类比法结合工程具体情况确定设计压力。例如：向家坝水电站灌区层顶接缝灌浆压力一般采用 $0.2\text{MPa}\sim 0.25\text{MPa}$ ，无压重混凝土的顶层灌区层顶压力采用 0.05MPa ，横缝有压重时灌区层顶灌浆压力一般采用 $0.2\text{MPa}\sim 0.25\text{MPa}$ ，缝面增开度横缝不大于 0.3mm ，纵缝不大于 0.5mm ；拉西瓦水电站灌区顶层一般采用 $0.2\text{MPa}\sim 0.30\text{MPa}$ ，底层进浆管压力为 $0.4\text{MPa}\sim 0.60\text{MPa}$ ，无盖重混凝土的顶层灌区压力采用 $0.10\text{MPa}\sim 0.15\text{MPa}$ ，底层进浆管压力为 $0.4\text{MPa}\sim 0.50\text{MPa}$ ，缝面增开度或压缩变形值不超过 0.3mm ；小湾水电站灌区层顶排气槽压力 $0.25\text{MPa}\sim 0.35\text{MPa}$ ，底层进浆管压力为 $0.55\text{MPa}\sim 0.65\text{MPa}$ ，无盖重混凝土的顶层灌区压力采用 $0.10\text{MPa}\sim 0.15\text{MPa}$ ，缝面增开度或压缩变形值不超过 0.5mm ；溪洛渡水电站灌区顶层排气槽压力一般采用 $0.2\text{MPa}\sim 0.3\text{MPa}$ ，底层进浆管压力为 $0.4\text{MPa}\sim 0.5\text{MPa}$ ，缝面增开度或压缩变形值不超过 0.5mm 。根据《混凝土重力坝设计规范》DL/T 5108 中 11.3.7 规定，建议一般情况下灌区层顶排气槽压力可采用 $0.2\text{MPa}\sim 0.3\text{MPa}$ ，灌区底部进浆管压力采取 $0.4\text{MPa}\sim 0.6\text{MPa}$ ；无盖重混凝土的顶层灌区压力采用 $0.10\text{MPa}\sim 0.15\text{MPa}$ 。通常缝面增开度允许值，纵缝不大于 0.5mm ，横缝不大于 0.3mm 。

因施工环境（如气温、张开度等）不同，浆液在缝面内扩散速度亦不同，灌浆过程中缝面增开度达到设计允许值而压力达不到设计值的情况，屡见不鲜，故规定了“若压力未达到设计压力而缝面增开度达到了设计规定值，则应以达到设计允许缝面增开度的压力作为灌浆压力。”

7.2.2 明确了接缝灌浆压力的计读方法和控制压力方法。如排气管上引或下引，排气管管口的压力控制应考虑排气槽至排气管管口高差及不同密度的水泥浆自重的影响。

所有灌区均应在控制缝面增开度的前提下，以排气管管口压力为主，进浆管口压力为辅，调节进浆压力以保证排气压力达到设计要求。排气管口压力可参考经验公式（7-1）计算。

$$P_{\text{排管口}} = P_{\text{排}} \pm \rho_{\text{浆或水}} h \pm \varepsilon \rho_{\text{浆或水}} h \quad (7-1)$$

进浆管控制灌浆压力时，不能简单地根据高差换算，还应考虑到浆液在缝面和管路中的压力损失。底层进浆管管口压力可参考经验公式（7-2）计算。

$$P_{\text{底}} = P_{\text{排}} + \rho_{\text{浆或水}} H + \varepsilon \rho_{\text{浆或水}} H \quad (7-2)$$

式中： $P_{\text{排管口}}$ ——排气管口压力；

$P_{\text{排}}$ ——顶层排气槽设计压力；

$P_{\text{底}}$ ——进浆管口压力；

ε ——阻力损失系数，灌浆初期通过进出浆管压力测量反算求 ε 值；

$\rho_{\text{浆或水}}$ ——浆液或水的密度；

H ——灌区高度；

h ——排气管口到灌区顶部的高度，当排气管口高于排气槽时为“+”，当排气管口低于排气槽时为“-”。

7.2.3 观测测缝计或千分表读数是为了监测缝面增开度，控制灌浆压力。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。灌浆压力的大小，不仅直接影响灌浆质量，而且与接缝两侧坝块的应力稳定有关，因此灌区压水检查、灌浆过程中，邻缝均应进行通水平压。

7.3 灌 浆

7.3.1 此条明确了灌浆使用的浆液水灰比、开灌比级和浆液变换条件。

7.3.2 此条是在《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》DL/T 5148“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, 开始即可灌注水灰比为 1:1 或 0.6:1 浆液”调整为“0.6:1 或 0.5:1 的浆液”。使用浓浆时可以缩短灌浆时间, 减少灌浆材料浪费, 更有利于提高灌浆质量。在缝面封闭、管路畅通, 单开流量大于 30L/min 时, 重庆江口水电站、宁波周公宅水库大坝开灌均采用了 0.5:1 浆液; 小湾水电站接缝灌浆直接采用 0.5:1 和 0.45:1 浆液灌注。经钻孔取芯、凿槽检查, 水泥结石密实, 结石与混凝土胶结紧密。

7.3.3~7.3.4 灌浆开始, 开启管口的目的是将缝面内的空气和积水排出缝外, 有利于浆液自下而上充填整个缝面, 加快灌注进度。

“按出浆的先后次序依次关闭各管口”的目的是让浆液均匀充填缝面; “灌浆过程其他管口应间断开启放浆”, 放浆的次序为备进浆管→主回浆管→备回浆管→备排气管→主排气管。间断开启放浆的目的是排除缝面内稀浆和空气, 尽快使浓浆充填缝面, 对浆液在缝内扩散有利, 并防止浆液沉淀堵塞管路。

7.3.5 本条的目的是灌浆结束后, 能够准确地计算缝内实际浆液注入量。

7.3.6 此条明确了串区灌浆的灌浆方式和原则。

7.3.7 此条明确了上、下层灌区相互串通灌浆的方式。“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。“下层灌浆应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宜太长(控制在 1h 之内为宜)。

“上层灌区通压力循环水”是为平衡下层灌区灌浆压力, 同时减少串入上层灌区的浆液, 避免上层灌区缝面、管路堵塞。

7.3.8 统计向家坝、龙滩等水电站重复灌浆缝面二次张开度, 均小于一次张开度, 部分缝面二次张开度达不到设计值, 灌浆时采用了湿磨水泥并提高了灌浆压力。

7.4 结 束 条 件

7.4.1 此条明确了灌浆结束的两个条件, 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；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，可以结束灌浆。多数情况下管口压力和缝面增开度不能同时满足，但应满足“排气管排浆达到或接近最浓比级浆液”的条件。重庆江口水电站接缝灌浆 126 个灌区中 124 个灌区排气管出浆比重达到 1.73g/cm^3 以上；宁波周公宅水库接缝灌浆 144 个灌区中 141 个灌区排气管出浆比重达到 1.73g/cm^3 以上；小湾水电站右岸 261 个灌区中，17 个灌区排气管出浆比重达到 1.73g/cm^3 以上，244 个灌区排气管出浆比重达到 1.82g/cm^3 以上；向家坝二期 II 标段接缝灌浆 308 个灌区，176 个灌区排气管出浆比重达到 1.73g/cm^3 以上，127 个灌区排气管出浆比重达到 1.8g/cm^3 以上。

7.4.2 本条适用于在灌浆过程中（尤其是灌浆进入结束阶段）发生“排气管出浆不畅或已被堵塞”情况下，采取的应急措施。若灌浆一开始就发生此问题，应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”的方法和结束标准。工程实践证明“倒灌”是弥补接缝灌浆“顺灌”不足的有效措施。

7.4.3 此条是灌浆结束后防止注入缝内的浆液外流的控制措施。

8 特殊情况处理

8.1 灌浆前灌区缺陷处理

8.1.1 此条明确了管路不通的处理措施。

8.1.2 当进回浆互通，排气管也互通，但排气管与进回浆管不互通时，可判断为缝面不通。

8.1.4 灌区两侧的坝块存在裂缝、架空等缺陷时，接缝灌浆与缺陷处理视具体情况分别对待：若缺陷已处理，应在保证灌浆质量的前提下，控制灌浆压力防止已处理的缺陷二次破坏；若缺陷与缝面串通，接缝灌浆与缺陷处理可同时进行；若缺陷与缝面不串通，接缝灌浆和缺陷处理可分别进行。一般情况下，先进行缺陷处理后进行接缝灌浆。

8.2 灌浆过程特殊情况处理

8.2.1~8.2.3 明确了灌浆过程出现异常情况的处理措施。

8.2.4、8.2.5 缝面张开度小于 0.5mm 的灌区，经过多年的研究和工程实践，使用细水泥浆液或磨细水泥浆液、化学浆液可有效的提高该类灌区的可灌性。

小湾水电站缝面张开度小于 0.3mm 的 6 个灌区中，4 个灌区使用了湿磨水泥浆液，注入磨细水泥量分别为 1.34kg/m^2 、 3.25kg/m^2 、 3.06kg/m^2 、 2.41kg/m^2 ；2 个灌区使用了 PIS-500 型化学浆液，注入化学浆液分别为 2.25L/m^2 、 2.11L/m^2 ，经灌后检查，灌浆质量满足设计要求。

9 灌浆质量检查与评定

9.0.1 接缝灌浆质量检查的重点是灌浆施工记录和成果资料，由于接缝灌浆的施工效果难以进行直接全面检查，灌浆施工记录是灌浆质量检查的直接证据，成果资料反映了施工参数、检测方法、合格标准等和满足设计要求的程度。钻孔取芯、孔探仪观察或孔内电视数字成像、压浆检查、缝面凿槽检查等，均是接缝灌浆质量检查的辅助手段，没必要使用在所有灌区。

9.0.2 钻孔取芯主要是观察缝面浆液充填情况，水泥结石与两侧混凝土胶结情况，用直观方法评价该部位接缝灌浆质量。钻孔取芯的直径不宜太小，一般为 $\phi 91\text{mm} \sim \phi 150\text{mm}$ 。骑缝孔孔深一般5m左右，斜穿缝面孔深以穿过缝面0.5m为宜。缝面凿槽检查是在指定部位骑缝凿除接缝两侧混凝土，凿槽平面尺寸宜为 $40\text{cm} \times 40\text{cm}$ ，槽深以凿穿止浆片为宜。

9.0.3 本条说明了接缝灌浆的主要控制指标，灌浆质量的好坏体现了这些控制指标的实现程度。

9.0.6 宜从两个方面分析灌浆记录和成果资料。一是开灌前的条件（主要是坝块混凝土温度及管路通畅情况）；二是施灌情况（主要是排气管排浆密度及管口压力）。

此条明确了3种灌区灌浆质量合格的条件。

正常灌区合格的条件是：坝块混凝土温度达到设计规定，排气管排浆密度达到 1.73g/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。经三峡、重庆江口、宁波周公宅、拉西瓦、小湾、溪洛渡、向家坝等水电站工程接缝灌浆调研，排气管口出浆密度均能达到 1.73g/cm^3 ，且压力达到设计值的50%以上，基本能达到此要求。

张开度小于 0.5mm 的灌缝使用湿磨水泥或细水泥的灌区合格的条件是：坝块混凝土温度达到设计规定，排气管排浆密度达到 1.50g/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。

不同高程同坝缝串区灌浆时上层灌区合格的条件是：坝块混凝土温度达到设计规定，排气管排浆密度达到 1.50g/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。

9.0.7 钻孔取芯检查“合格”的判定。斜穿孔取出的缝面结石能将两侧混凝土黏接或黏接在一侧者，为“较完整、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，并计算芯样取出缝面的总面积 S_f 和水泥结石充填的面积 S_j ，当 $S_j/S_f \geq 70\%$ 时为合格。

9.0.8 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”。

9.0.9 压水试验是通过测算单位钻孔长度渗水量来检验岩体渗透性能的方法，但缝面与检查孔相交是一条线，因而用压水试验检查接缝缝面是否充填饱满是不适宜的。故本条采用了压浆法检查缝面充填情况。

斜穿孔灌浆塞卡在缝面以上 0.5m~1.0m；骑缝孔灌浆塞卡在止浆片以下 0.5m 左右，从灌浆塞位到孔底的距离视为骑缝孔的有效段长。

9.0.10 经调查三峡、重庆江口、宁波周公宅、拉西瓦、小湾、溪洛渡、向家坝等水电站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，故规定了“接缝灌浆灌区的合格率应在 85% 以上，不合格的灌区分布应不集中，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%”，作为合格的标准。

10 施工记录和竣工资料

10.0.1~10.0.2 列出了接缝灌浆施工现场记录、成果资料和检验测试资料的种类和样式。这些记录、图表、资料是在收集近 20 年来接缝灌浆资料的基础上综合分析确定的，灌区准灌证、管口放浆记录是在收集三峡、江口、周公宅、拉西瓦、小湾、溪洛渡、向家坝水电站等工程要求格式的基础上制定的。由于工程情况不同，本条所列资料，并非都具备或只能这些，每个工程具体应提供那些资料，应遵守工程设计或监理规定。

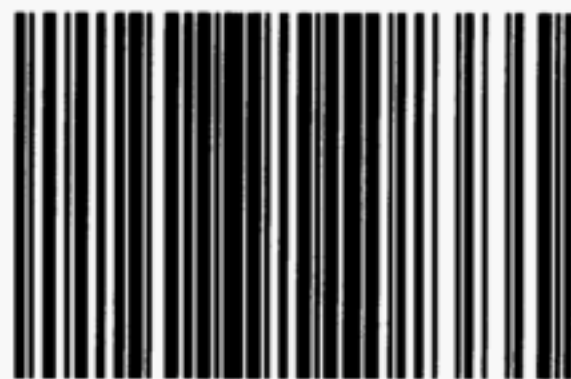
填写记录的墨水笔蓝色黑色均可，但须色泽清晰、不易污损、褪色和涂改，便于长期保存。



中国电力出版社官方微信



掌上电力书屋



155123.2561

定价：21.00 元

上架建议：规程规范/
水利水电工程/水利水电施工