

ICS 27.140

P 59

备案号: J1044—2010

DL

中华人民共和国电力行业标准

P

DL/T 5406 — 2010

水工建筑物化学灌浆施工规范

**Specification for chemical grouting construction
of hydraulic structures**



2010-05-24 发布

2010-10-01 实施

国家能源局 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	2
3 术语和定义	3
4 总则	5
5 化学灌浆材料及浆液配制	7
5.1 一般规定	7
5.2 化学灌浆材料	7
5.3 浆液配制	8
6 化学灌浆设备	9
7 基岩化学灌浆	10
7.1 一般规定	10
7.2 钻孔	11
7.3 裂隙冲洗和压水试验	11
7.4 灌浆	12
7.5 灌浆结束和封孔	13
7.6 特殊情况处理	13
8 砂层化学灌浆	15
8.1 一般规定	15
8.2 钻孔	15
8.3 灌浆	15
9 混凝土裂缝化学灌浆	17
9.1 一般规定	17
9.2 灌浆准备	17

9.3 灌浆	18
9.4 特殊情况处理	19
10 混凝土结构缝化学灌浆	20
11 混凝土与钢结构接触缝化学灌浆	21
12 质量检测	22
12.1 一般规定	22
12.2 基岩化学灌浆质量检测	23
12.3 砂层化学灌浆质量检测	23
12.4 混凝土裂缝化学灌浆质量检测	23
12.5 混凝土结构缝化学灌浆质量检测	24
12.6 混凝土与钢结构接触缝化学灌浆质量检测	24
13 劳动安全保护和环境保护	25
附录 A (资料性附录) 化学灌浆工程施工记录及成果图表	26
附录 B (规范性附录) 灌浆工程压水试验	39
附录 C (资料性附录) 粉砂层化学灌浆扩散范围与灌浆段纯 注入量估算公式	44
附录 D (资料性附录) 混凝土裂缝钻孔孔位布置原则	45
条文说明	49

前 言

本标准是根据《国家发展改革委办公厅关于下达 2004 年行业标准项目计划的通知》（发改办工业〔2004〕872 号）的要求制定的。

我国的化学灌浆研究和应用始于 20 世纪 50 年代，半个多世纪以来，在水电水利工程中采用化学灌浆解决了许多工程技术难题，如细微裂隙岩石地基帷幕防渗、坝基断层破碎带的防渗加固、砂土地层的防渗固结、大量渗水或流速较大的涌水封堵以及恢复产生裂缝缺陷的建筑物整体性等，应用的工程实例有三峡、葛洲坝、龙羊峡、新安江、丹江口、陈村、凤滩、万安、小浪底、李家峡等。本标准是在全面总结化学灌浆施工经验的基础上，为规范化学灌浆施工行为，确保化学灌浆工程质量而制定的。

本标准规定了化学灌浆材料的选用原则及配制要求，灌浆设备的选用原则，基岩、砂层及混凝土建筑物裂缝等化学灌浆的施工技术要求和质量检测方法，并对化学灌浆施工的劳动安全和环境保护作出了规定。

本标准的附录 A、附录 C、附录 D 为资料性附录。

本标准的附录 B 为规范性附录。

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委员会归口。

本标准负责起草单位：中国葛洲坝集团股份有限公司、中国水电基础局有限公司、中国水电顾问集团华东勘测设计研究院。

本标准参加起草单位：葛洲坝集团第二工程有限公司、湖南湘禹防水有限公司。

本标准主要起草人：周厚贵、张良秀、张捷、王祥、李焰、赵存厚、孙亮、陈宏、唐玉书、肖恩尚、李伟丁、包银鸿、李浩宇。

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中心（北京市白广路二条1号，100761）。

1 范 围

本标准规定了水工建筑物化学灌浆工程施工的技术要求及其质量检测方法。

本标准适用于水电水利工程地基处理及混凝土建筑物的化学灌浆工程施工，其他类似工程可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

DL/T 5148 水工建筑物水泥灌浆施工技术规范

JC/T 1041 混凝土裂缝用环氧树脂灌浆材料

JC/T 2037 丙烯酸盐灌浆材料

JC/T 2041 聚氨酯灌浆材料

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.0.1

化学灌浆 chemical grouting

利用压力，通过钻孔、埋管、贴嘴等设施，将化学浆液注入基岩、覆盖层（砂层）、混凝土裂缝、结构缝等需处理的工程部位，使其充填、扩散、胶凝、固结，达到防渗堵漏、补强加固目的的工程措施。

3.0.2

聚氨酯灌浆材料 polyurethane grouting material

以多异氰酸酯与多羟基化合物制备的预聚体为主剂，通过与水或固化剂反应形成具有聚氨基甲酸酯（简称聚氨酯）结构交联化合物的化学灌浆材料，分水溶性（亲水型）、油性（疏水型）两类。

3.0.3

环氧树脂灌浆材料 epoxy resin grouting material

以环氧树脂或改性环氧树脂为主剂，通过与固化剂反应形成交联化合物的化学灌浆材料。

3.0.4

丙烯酸盐灌浆材料 acrylate grouting material

以丙烯酸盐为主剂，采用氧化还原引发体系，通过自由基聚合反应形成不溶于水的凝胶体的化学灌浆材料。

3.0.5

水玻璃灌浆材料 water glass grouting material

以水玻璃（硅酸钠）溶液为主剂，与各种胶凝剂反应形成不溶于水的硅酸凝胶的化学灌浆材料。

3.0.6

包水性 water absorption capability

指水溶性聚氨酯灌浆材料与固定倍数水混合后，在一定时间内与水完全反应后形成凝胶体的能力。用于表征水溶性聚氨酯灌浆材料的堵水能力。

3.0.7

单液灌浆法 single liquid grouting method

将浆液配方中的各种组分，按规定比例进行混合搅拌成为一种浆液，向灌浆孔内注入的方法。

3.0.8

双液灌浆法 double liquid grouting method

按规定比例将甲液和乙液分别泵送至混合器或分别同时向灌浆孔内注入的方法。

3.0.9

循环钻灌法 rotation drilling grouting method

在覆盖层（砂层）中自上而下逐段进行钻孔和灌浆，各灌浆段均在孔口封闭的灌浆方法。

3.0.10

预埋花管法 soletanche grouting method

在覆盖层（砂层）中先通过钻孔埋设特制的花管，然后在花管中分段进行灌浆的方法。

3.0.11

贴嘴灌浆法 port-adhesive grouting method

通过粘贴专门的注浆嘴将浆液灌入混凝土裂缝、结构缝和接触缝等部位的方法。

4 总 则

4.0.1 化学灌浆工程施工前，应取得与工程有关的下列文件或资料：

- 1 施工详图和灌浆设计说明书。
- 2 灌浆施工技术要求。
- 3 灌浆质量标准 and 检测方法。
- 4 化学灌浆材料的产品合格证、安全和使用技术说明书。

4.0.2 化学灌浆工程施工前，应编制施工组织设计，包括劳动安全保护和环境保护措施。

4.0.3 地质条件复杂地区或有特殊要求的化学灌浆工程在施工前或施工初期应进行现场灌浆试验，试验地点应具有代表性。当结合工程部位进行试验时，不得采取对工程可能产生不良后果的试验方法。

4.0.4 化学灌浆施工所用的风、水、电供应应可靠，必要时可设置专用管路和线路。

4.0.5 制浆与灌浆使用的天平、台秤、压力表、流量计、密度计、温度计等计量器具，应定期进行校验或率定，保持量值准确。

4.0.6 从事化学灌浆施工的人员，应接受专业技术、劳动环境保护等方面的培训，并经考核合格后方能上岗。

4.0.7 化学灌浆应采用纯压式灌浆方式。根据工程要求和材料性能的不同，可选用单液或双液灌浆法。

4.0.8 灌浆压力应按设计规定执行。无设计规定时，应通过分析计算并结合工程类比确定，必要时通过灌浆试验论证，并在施工过程中调整。

4.0.9 化学灌浆材料的实际使用配合比应在室内配合比试验数据的基础上，通过现场试验后确定。

4.0.10 灌浆过程中若浆液温度偏高，影响浆液性能指标时应采取降温措施。当浆液黏度明显增大不符合要求时，应弃浆。若继续灌浆，应重新配制。

4.0.11 灌浆过程中各项施工记录应及时、准确、真实、齐全、清晰。图表格式参见附录 A。

4.0.12 灌浆孔口、注浆嘴在灌浆作业前及灌浆作业暂时中止时应妥加保护，不得流进污水和落入异物。

4.0.13 化学灌浆宜采用较小直径的灌浆孔和灌浆管，灌浆管路宜短。

4.0.14 易变形（抬动部位）应安设变形监测装置，在灌浆施工全过程中进行实时监控、连续观测并记录，变形值不得超过设计规定。

4.0.15 经实践检验和论证的新技术、新工艺、新材料、新设备等，可应用于水工建筑物化学灌浆工程施工。

5 化学灌浆材料及浆液配制

5.1 一般规定

5.1.1 化学灌浆材料的选用应根据工程要求、材料特性及灌浆目的确定。

5.1.2 化学灌浆材料的性能指标应符合国家标准、行业标准或设计要求。

5.1.3 根据灌浆需要,可在浆液中添加稀释剂、促进剂、缓凝剂及填料等物质,添加量应通过室内试验和现场试验确定。

5.1.4 化学灌浆材料应存放在密闭容器内,储存于阴凉、干燥处,并设有消防安全措施。

5.2 化学灌浆材料

5.2.1 聚氨酯灌浆材料

1 水溶性聚氨酯灌浆材料宜用于防渗堵漏工程;油溶性聚氨酯灌浆材料可用于防渗堵漏工程,也可用于补强加固工程。

2 聚氨酯灌浆材料的性能指标按照 JC/T 2041 的规定执行。

3 有变形要求的结构缝处理宜采用弹性较大的聚氨酯灌浆材料。

4 聚氨酯灌浆材料在存放和配制过程中不得与水接触,包装开启后宜一次使用完。

5.2.2 环氧树脂灌浆材料

1 环氧树脂灌浆材料宜用于混凝土结构和地基的补强、加固和防渗工程。

2 用于混凝土裂缝的环氧灌浆材料性能指标应符合 JC/T 1041 的规定。

3 环氧灌浆材料应进行现场配合比的试验。

5.2.3 丙烯酸盐灌浆材料

1 丙烯酸盐灌浆材料宜用于地基和混凝土裂缝防渗工程,土层、砂砾石的固结灌浆工程,不得用于有补强要求的工程。

2 丙烯酸盐灌浆材料的性能指标按照 JC/T 2037 的规定执行。

3 丙烯酸盐灌浆材料宜采用双液法进行灌注,胶凝时间大于 30min 的,可用单液法灌注。

5.2.4 水玻璃灌浆材料

1 水玻璃灌浆材料可用于防渗堵漏工程。

2 灌浆用水玻璃原液模数宜为 2.4~3.0,浓度宜为 30°Bé~45°Bé。

5.2.5 其他化学灌浆材料

1 甲基丙烯酸酯(甲凝)灌浆材料:可用于基岩固结灌浆和混凝土细微裂缝的补强灌浆。

2 硫木质素灌浆材料:可用于基础防渗堵漏处理。

5.3 浆液配制

5.3.1 化学灌浆材料宜采用专业厂家生产的产(成)品。如购买原料现场自行配制,应对所配制的灌浆浆液进行性能测试,各项性能指标应满足设计要求。

5.3.2 现场浆液配制应准确称量,称量误差应满足设计要求。

5.3.3 浆液配制应遵循“少量、多次”的原则。

5.3.4 当 2 种或 2 种以上化学灌浆材料现场混合配制时,应搅拌均匀。

5.3.5 盛浆容器不应与浆液发生化学反应,且宜加盖封闭。

5.3.6 施工难度大、地质条件与灌浆技术复杂的灌浆施工,宜备有 2 种及以上同类型浆液的配方。

6 化学灌浆设备

6.0.1 搅拌机拌和能力应与所搅拌浆液的类型和灌浆泵的排浆量相适应。

6.0.2 灌浆泵应耐化学腐蚀。排浆量应能无级调节且能满足最大和最小注入率的要求。额定工作压力应大于最大灌浆压力的 1.5 倍。双液灌浆泵应能调节两液的比例。

6.0.3 灌浆管耐压能力应大于最大灌浆压力的 1.5 倍，并应能耐受化学浆液溶胀。

6.0.4 灌浆泵应安设压力表。基岩和砂层化学灌浆时，除在灌浆泵安设压力表外，灌浆孔孔口也应安设压力表，工作压力宜在压力表最大标值的 $1/4 \sim 3/4$ 。压力表与管路之间应设有隔浆装置。

6.0.5 灌浆塞应与所采用的灌浆方法和灌浆压力相适应，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，并便于安装和拆除。

6.0.6 灌浆结束后，应根据浆液的性质，选用相应的清洗剂或采用物理措施，及时对灌浆设备和管路进行清洗。

6.0.7 用于施工的灌浆设备应按规定进行维护保养，保证正常工作状态。

7 基岩化学灌浆

7.1 一般规定

7.1.1 化学灌浆试验或灌浆前，除应取得 4.0.1 所列资料外，还应取得以下资料：

- 1 水文地质与工程地质资料。
- 2 水泥灌浆资料。

7.1.2 帷幕化学灌浆可选用丙烯酸盐、聚氨酯、水玻璃或硫木素等材料。固结化学灌浆可选用环氧树脂、聚氨酯或甲基丙烯酸酯等材料。

7.1.3 基岩化学灌浆施工开始前，宜在现场进行灌浆试验以确定施工技术参数。

7.1.4 基岩化学灌浆宜在水泥灌浆之后和有盖重条件下进行。

7.1.5 帷幕化学灌浆应按分序加密的原则进行。

1 由三排孔组成的帷幕，应先灌注下游排，再灌注上游排，最后灌注中间排，每排孔可分为二序。

2 由两排孔组成的帷幕应先灌注下游排，后灌注上游排，每排孔可分为二序或三序。

3 单排孔帷幕应分为三序灌浆。

7.1.6 固结化学灌浆应按分序加密的原则进行。灌浆孔排与排之间和同排内孔与孔之间，可分为二序施工。

7.1.7 基岩化学灌浆需布置先导孔时，宜在 I 序孔中选取，每单元不宜少于 1 孔。

7.1.8 采用自上而下分段灌浆法时，前次序孔与其相邻后次序孔之间，钻孔灌浆的高差不宜小于 15m。

7.2 钻 孔

7.2.1 固结化学灌浆孔可采用各种适宜的方法钻进，当采用冲击或冲击回转式钻机钻孔时，应加强钻孔和裂隙冲洗。帷幕化学灌浆孔宜采用回转式钻机和金刚石或硬质合金钻头钻进。

7.2.2 灌浆孔位与设计孔位的偏差值不应大于 100mm，孔深不得小于设计规定值。

7.2.3 帷幕灌浆孔应进行孔斜测量。

1 垂直或顶角小于 5° 的帷幕灌浆孔，孔底平面位置的偏差不应大于表 7.2.3 的规定。发现偏差值超过规定时，应及时纠正或采取补救措施。

表 7.2.3 帷幕灌浆孔孔底平面位置允许偏差

孔深 m	20	30	40	50	60
允许偏差 m	0.25	0.45	0.70	1.00	1.30

2 顶角大于 5° 的斜孔，孔底平面位置最大允许偏差值可根据实际情况按表 7.2.3 中的规定适当放宽。

3 孔深大于 60m 时，孔底平面位置最大允许偏差值应根据工程实际情况确定。

7.2.4 钻孔过程中，遇岩层、岩性变化，发生回水变色、涌水等异常情况，应详细记录。

7.2.5 灌浆孔（段）在钻进结束后，应进行钻孔冲洗，孔底沉积厚度不应大于 0.2m。

7.3 裂隙冲洗和压水试验

7.3.1 当采用自上而下分段灌浆法时，灌前宜进行裂隙冲洗。采用自下而上分段灌浆法时，各灌浆孔可在灌浆前全孔进行一次裂

隙冲洗。冲洗压力可为灌浆压力的 80%，并不大于 1MPa。对断层破碎带、软弱夹层等地质条件复杂地段，以及设计有专门要求的地段，裂隙冲洗应按设计要求进行，或通过现场试验确定。

7.3.2 帷幕化学灌浆先导孔应自上而下分段进行压水试验，试验可采用单点法，单点法试验方法见附录 B。其他灌浆孔各灌浆段灌前宜进行简易压水，简易压水可结合裂隙冲洗进行，压力为最大灌浆压力的 80%，并不大于 1MPa，压水时间 20min，每 5min 测读一次压入流量，取最后的流量值作为计算流量，其成果应以透水率 q (Lu) 表示。

7.3.3 固结化学灌浆孔各孔段灌浆前应采用压力水进行裂隙冲洗，冲洗时间宜为 20min，压力为最大灌浆压力的 80%，并不大于 1MPa。灌浆前的压水试验应在裂隙冲洗后进行，试验孔数不宜少于总孔数的 5%；试验可采用单点法。

7.3.4 在岩溶泥质充填物和遇水后性能易恶化的岩层中进行灌浆时，可不进行裂隙冲洗和简易压水。

7.4 灌 浆

7.4.1 根据不同的地质条件和工程要求，基岩灌浆方法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。

7.4.2 进行帷幕化学灌浆时，坝体混凝土与基岩接触部位的灌浆段应先行单独进行灌浆并待凝。接触段在岩石中的长度不得大于 2m，以下各段段长在 I 序孔中宜为 3m~4m，II、III 序孔中可为 5m，断层破碎带、软弱夹层等地质条件复杂地段灌浆段长度应缩短。

7.4.3 采用自上而下分段灌浆法时，灌浆塞应阻塞在该灌浆段段顶以上 0.5m 处。

7.4.4 采用自下而上分段灌浆法时，如灌浆段的长度超过 10m，对该段宜采取补救措施。

7.4.5 帷幕化学灌浆先导孔各孔段宜与压水试验同步自上而下

进行灌浆。

7.4.6 化学灌浆开始前，宜先排除孔内积水，然后进行灌浆。

7.4.7 灌浆压力记录以孔口压力表为准。压力值宜读取压力表指针摆动的中值，指针摆动范围宜小于灌浆压力的 20%，摆动范围宜做记录。

7.4.8 灌浆宜尽快达到设计压力，但对于注入率较大或易于抬动的部位应分级升压。

7.5 灌浆结束和封孔

7.5.1 化学灌浆的结束标准应按设计要求执行，若设计无明确要求时，可按以下标准执行。

1 帷幕化学灌浆：灌浆段在最大设计压力下，注入率不大于 $0.02\text{L}/(\text{min} \cdot \text{m})$ 后，继续灌注 30min 或达到胶凝时间。

2 固结化学灌浆：灌浆段在最大设计压力下，注入率不大于 $0.05\text{L}/(\text{min} \cdot \text{m})$ 后，继续灌注 30min 或达到胶凝时间。

7.5.2 各灌浆段灌浆结束后，应进行闭浆，待浆液胶凝后再钻灌下一段。

7.5.3 化学灌浆的封孔及封孔方法应按 DL/T 5148 的规定执行。

7.6 特殊情况处理

7.6.1 化学灌浆过程中发现冒浆、漏浆时，应根据具体情况采用低压、限流、调凝、间歇等方法进行处理。如效果不明显，应停止灌浆，待浆液凝固后重新扫孔复灌。

7.6.2 化学灌浆过程中发生串浆时，如串浆孔具备灌浆条件，宜一泵一孔同时并灌，但并灌孔不宜多于 3 个，并应控制灌浆压力，防止上部混凝土或岩体抬动。否则，应阻塞被串孔，待灌浆孔灌浆结束后，再对被串孔进行扫孔、冲洗后，继续钻进或灌浆。

7.6.3 化学灌浆应连续进行，若因故中断，应在浆液胶凝以前且不影响灌浆质量时恢复灌浆，否则应进行冲孔或扫孔，再恢复

灌浆。

7.6.4 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，可选用但不限于下列处理措施：

- 1 提高灌浆压力。
- 2 缩短浆液胶凝时间。
- 3 进行屏浆或闭浆。
- 4 化学浆液和水泥混合使用等。

7.6.5 灌浆注入率大时，宜采取低压、限流、限量、间歇、改用速凝浆液等技术措施处理。

7.6.6 化学灌浆过程中，灌浆压力或注入率突然改变幅度较大时，应分析原因，及时采取有效措施处理。

8 砂层化学灌浆

8.1 一般规定

8.1.1 化学灌浆试验或灌浆前，除应取得 4.0.1 所列资料外，还应取得以下资料：

- 1 水文地质与工程地质资料。
- 2 水泥灌浆资料。

8.1.2 化学灌浆施工开始前，宜在现场进行灌浆试验以确定施工参数。

8.1.3 化学灌浆宜在有盖重的情况下进行。

8.1.4 化学灌浆分序加密应按照 7.1.5 的规定执行。

8.1.5 化学灌浆先导孔布置应按照 7.1.7 的规定执行。

8.2 钻 孔

8.2.1 化学灌浆孔可采用回转钻机或其他适宜的钻机，清水或泥浆护壁钻进，也可采用跟管或打管等各种适宜的成孔方法。

8.2.2 化学灌浆孔位与设计孔位的偏差值、钻孔孔斜控制应按照 7.2 的规定执行。

8.2.3 钻进过程中应详细记录钻进速度、返水、返浆及地层变化情况。

8.3 灌 浆

8.3.1 砂层化学灌浆可采用循环钻灌法或预埋花管法。

8.3.2 射浆管宜采用花管，射浆管至孔底距离不得大于灌浆段长的 $1/3$ ，且不得超过 0.5m。

8.3.3 采用循环钻灌法时，灌浆段长宜为 2m~3m。采用预埋花

管法时，灌浆段长宜为 0.5m~1m。

8.3.4 化学浆液在粉砂层中的扩散范围和每个灌浆段纯注入量估算方法参见附录 C。

8.3.5 化学灌浆宜采用进浆速率控制灌浆，不宜采用高压大流量灌注。

8.3.6 预埋花管可采用钢管，也可采用塑料管。塑料管应满足强度要求。

8.3.7 预埋花管的封填料应满足下列要求：

- 1 在灌浆压力下易于开环。
- 2 收缩性小，在凝固过程中不会与孔壁或花管脱开。
- 3 早期强度增长快，后期强度增长慢。

8.3.8 灌浆结束标准应按设计要求确定。

9 混凝土裂缝化学灌浆

9.1 一般规定

9.1.1 化学灌浆试验或灌浆前,除应取得 4.0.1 所列资料外,还应取得裂缝调查资料。

9.1.2 混凝土裂缝化学灌浆可采用钻孔灌浆法、贴嘴灌浆法、钻孔加贴嘴灌浆法或其他适宜的灌浆法。对深度小于 1.5m 的裂缝,宜采用钻孔或贴嘴灌浆法。对深度大于 1.5m 的裂缝,宜采用钻孔加贴嘴灌浆法。

9.1.3 对基本稳定不再发展的裂缝,应及时进行化学灌浆处理。对无法判定是否继续发展的裂缝,宜在低温季节、裂缝张开度较大时进行化学灌浆处理。

9.1.4 混凝土施工缝化学灌浆,可按照混凝土裂缝化学灌浆规定执行。

9.2 灌浆准备

9.2.1 采用钻孔灌浆法时,钻孔可布置在裂缝的一侧或两侧,钻孔排数、孔深、孔排距和斜孔倾角等参数,应按设计规定执行。设计无明确规定时,参照附录 D 确定。

9.2.2 化学灌浆孔应选用适宜的钻机钻进。斜孔孔径不宜小于 12mm,骑缝孔和孔深大于 1m 的钻孔孔径不宜小于 25mm。钻孔应采取有效措施保证按设计角度成孔。

9.2.3 钻孔终孔后应及时用洁净的压缩空气或压力水将钻孔内粉末、碎屑冲(吹)洗干净,并检查、记录孔径、孔向、倾角和孔深,其误差值应满足设计要求。

9.2.4 钻孔验收合格后埋设灌浆管时,孔内可插入过缝钢筋或

投放干净、干燥的小石。灌浆管与钻孔壁间宜采用胶结材料密封。

9.2.5 采用贴嘴灌浆法时,贴嘴间距不宜大于 0.5m。裂缝交叉点、尖灭点应布置贴嘴。

9.2.6 封缝应根据混凝土结构和裂缝的情况,选取凿槽嵌缝、布液相间粘贴和表面涂抹封缝材料等方法。

9.2.7 埋管、贴嘴、封缝应定位准确、粘贴牢固,能承受最大灌浆压力。

9.2.8 灌浆单元内所有混凝土裂缝、灌浆管口、贴嘴应统一编号。

9.2.9 化学灌浆前应采用洁净压缩空气对裂缝与埋管、贴嘴之间的畅通性和封缝的密封性以及管路安装的牢固性、可靠性等进行检查,吹出缝内碎屑、浮尘及积水,并进行记录。风压不得超过最大灌浆压力的 30%。

9.3 灌 浆

9.3.1 立面竖向裂缝或斜缝灌浆应自下而上、由深孔到浅孔进行。立面水平或近似水平裂缝灌浆应自一端向另一端、由深孔到浅孔进行。平面裂缝宜选择通畅性最好的孔(嘴)开灌,同时向两端依次进行。

9.3.2 当裂缝规模较大,超过灌浆设备的正常工作能力,灌浆质量难以保证时,可采取分区灌浆。分区方法可采取钻孔封堵、间隔灌浆分割等形式。

9.3.3 钻孔灌浆法、贴嘴灌浆法应逐孔、逐嘴灌注,钻孔加贴嘴灌浆法应先灌钻孔后灌贴嘴。相邻多孔、多嘴出浆时可并联灌浆。

9.3.4 灌浆过程中应逐级提升灌浆压力。

9.3.5 灌浆结束标准应按设计规定执行。

9.3.6 灌浆结束待浆液固化后,应对埋管、贴嘴及封缝材料进行拆除清理和封孔。

9.4 特殊情况处理

9.4.1 化学灌浆过程中发生冒浆、外漏时，应采取措施堵漏并根据具体情况采用低压、限流和调整配比灌注等措施进行处理。如效果不明显，应停止灌浆，待浆液胶凝后重新堵漏复灌。

9.4.2 化学灌浆过程中当灌浆压力达到设计值，而进浆量和注入率仍然小于预计值且缝面增开度或抬动（变形）值未超过设计规定时，应研究是否提高灌浆压力。

9.4.3 化学灌浆应连续进行，因故中断应尽快恢复灌浆，必要时可进行补灌。

9.4.4 若灌浆达不到结束标准，或注入量突然减小或增大等，应分析原因，及时采取补救措施。

9.4.5 若裂缝与混凝土内部的预埋件或预设孔发生串通时，应采取阻隔、限压、限量等方式进行控制，并采用冲洗等措施防止预埋件被堵塞。

9.4.6 在水下进行混凝土裂缝灌浆时，应选择适当的灌浆材料，所选材料应能在水中固化，并与混凝土粘接牢固。水下灌浆宜采用钻孔灌浆法。

10 混凝土结构缝化学灌浆

10.0.1 化学灌浆试验或灌浆前，除应取得 4.0.1 所列资料外，还应取得以下资料：

1 结构缝设计资料。

2 结构缝竣工资料。

10.0.2 化学灌浆应在混凝土体达到稳定温度后进行，并宜选择低温季节施工。

10.0.3 化学灌浆应根据结构缝的功能和特性，选择适当的化学灌浆材料。

10.0.4 化学灌浆宜利用预设的管（孔）进行，若无预设管（孔）可采用钻孔灌浆法、贴嘴灌浆法或钻孔加贴嘴灌浆法施工。

10.0.5 化学灌浆前应对结构缝用洁净水进行压水检查，并做好记录。

10.0.6 钻孔、贴嘴、埋管及封缝应按照 9.2 的规定执行。

10.0.7 灌浆及灌浆特殊情况处理应按照 9.3、9.4 的规定执行。

11 混凝土与钢结构接触缝化学灌浆

11.0.1 若接触缝直接采用化学灌浆，应先敲击检查混凝土与钢结构脱空区范围并标识、记录。每一个独立的脱空区布孔不宜少于 2 个，最低和最高部位均应布孔。

11.0.2 若接触缝在水泥灌浆后再采用化学灌浆，在布置灌浆孔时，应充分利用原水泥灌浆孔（嘴）。

11.0.3 钢结构上钻灌浆孔宜采用磁座电钻，孔径不宜小于 8mm。钻孔后应测量钢衬与混凝土之间的间隙并及时安装灌浆管（嘴）。

11.0.4 灌浆管（嘴）与钢结构间宜采用丝扣连接，也可焊接。

11.0.5 化学灌浆前宜使用洁净的压缩空气检查缝隙串通情况，并吹除缝隙内的污物和污水。风压应小于最大灌浆压力的 50%。

11.0.6 化学灌浆压力应根据钢结构的壁厚、脱空程度及钢衬底部设计规定的承受压力等实际情况确定。灌浆施工时，钢结构变形不应超过设计规定值。受灌接触面单位面积承受压力不宜大于 0.3MPa。

11.0.7 化学灌浆应自一端或低处孔开始，并在灌浆过程中敲击振动钢结构，待相邻孔或高处孔排出原浆后，依次将其孔口关闭。

11.0.8 化学灌浆结束标准：在规定压力下灌浆孔（嘴）停止吸浆，继续灌注 5min。

11.0.9 灌浆结束，待浆材凝固后撤除灌浆管（嘴），对钢衬钻孔焊补并磨平。

12 质 量 检 测

12.1 一 般 规 定

12.1.1 施工过程中应对化学灌浆材料和各道工序的质量进行检测并记录。

12.1.2 化学灌浆施工质量检测应按表 12.1.2 执行。

表 12.1.2 化学灌浆施工质量检测方法一览表

项目类别		应采取的方法	必要时可采取的方法
基岩化学灌浆	帷幕灌浆	1. 钻孔取芯, 绘制钻孔柱状图; 2. 检查孔压水试验	孔内电视录像
	固结灌浆	1. 钻孔取芯, 绘制钻孔柱状图; 2. 声波测试; 3. 检查孔压水试验	1. 变模测试; 2. 孔内电视录像; 3. 岩芯物理力学试验; 4. 大口径钻孔观察及取芯检测
砂层化学灌浆		1. 钻孔取芯, 绘制钻孔柱状图; 2. 检查孔注水试验	检查孔压水试验
混凝土裂缝化学灌浆	防渗堵漏	检查孔压水试验	钻孔取芯, 绘制钻孔柱状图
	补强加固	1. 钻孔取芯, 绘制钻孔柱状图; 2. 检查孔压水试验	1. 孔内电视录像; 2. 岩芯物理力学试验; 3. 声波测试
	水下	1. 表面检查; 2. 检查孔压颜色水试验	钻孔取芯, 绘制钻孔柱状图

12.1.3 检测时间应根据所灌材料的性能在灌浆结束后适时进行。

12.1.4 检测结束后，应对质量检测孔按技术要求进行灌浆和封孔。

12.2 基岩化学灌浆质量检测

12.2.1 帷幕化学灌浆检查孔宜在以下部位布置：

- 1 帷幕中心线上。
- 2 断层、岩体破碎带、裂隙发育等地质条件复杂的部位。
- 3 钻孔偏斜较大、灌浆过程异常等经资料分析认为可能影响灌浆质量的部位。

12.2.2 帷幕化学灌浆检查孔的数量不宜少于灌浆孔总数的 10%，固结化学灌浆检查孔的数量不宜少于灌浆孔总数的 5%。一个坝段或一个单元工程内，至少应布置一个检查孔。

12.2.3 检查孔压水试验宜采用单点法，也可采用五点法。

12.3 砂层化学灌浆质量检测

12.3.1 检查孔宜在以下部位布置：

- 1 设计要求的部位。
- 2 末序孔注入量异常的孔段附近。
- 3 钻孔偏斜较大、灌浆过程异常等经分析资料认为可能对质量有影响的部位。

12.3.2 检查孔的数量宜为灌浆孔总数的 5%~10%，一个单元工程内至少应布置一个检查孔。

12.3.3 检测时间宜在灌浆结束 7d 后进行。注水试验和压水试验可自上而下分段进行。试段长度宜为 2m~10m。

12.3.4 检查孔钻孔应采用清水钻进，钻进中遇到难以成孔的情况时，可采取缩短段长、套管钻进等措施，不宜使用泥浆固壁钻进。

12.4 混凝土裂缝化学灌浆质量检测

12.4.1 检查孔宜在以下部位布置：

- 1 贯穿性裂缝、深层裂缝和对结构整体性影响较大的裂缝。
- 2 结合施工记录、灌浆成果资料分析等确定的部位。

12.4.2 检查孔布置数量:

1 贯穿性裂缝、深层裂缝和对结构整体性有影响的裂缝, 每条缝至少布置一个检查孔。

2 其他裂缝每 100m 布置不少于 3 个检查孔; 当处理总长度小于 100m 时, 亦布置 3 个检查孔。

12.4.3 检查孔压水试验其压力宜采用 0.3MPa, 并稳压 10min~20min 后结束。

12.4.4 水下混凝土裂缝灌浆质量检测按设计规定执行。若设计无明确规定时, 每条缝至少布置 1 个检查孔; 检查孔压水压力宜采用最高蓄水位至裂缝最低端水位的压力差值。

12.5 混凝土结构缝化学灌浆质量检测

12.5.1 检查孔宜在以下部位布置:

- 1 有代表性的结构缝和重要部位的结构缝。
- 2 结合施工记录、灌浆成果资料分析等确定的部位。

12.5.2 结构缝化学灌浆的质量检测数量按设计规定执行。

12.5.3 检测采用钻孔压水的方法进行, 或按设计要求进行表面检测。压水压力可按被检查部位实际运行最大水头压力的 0.8 倍~1.5 倍取值。

12.6 混凝土与钢结构接触缝化学灌浆质量检测

12.6.1 质量检测宜在灌浆结束浆液凝固后采用敲击法进行。残留脱空面积应小于设计规定值。

12.6.2 混凝土与钢结构接触缝化学灌浆质量检测率应为 100%。

13 劳动安全保护和环境保护

13.0.1 化学灌浆施工的劳动安全保护和环境保护，应遵循国家及行业相关标准的规定。

13.0.2 化学灌浆工作人员施工作业时，应穿戴防护工作服、护目眼镜和防护手套，必要时应戴防毒口罩。

13.0.3 化学灌浆施工应在通风条件良好的环境下进行。在室内操作和廊道、孔洞内灌浆作业时，应布置鼓风、排风设备，作业人员应在上风处进行操作。

13.0.4 不得在实验室内及施工现场进食和吸烟。不得用丙酮等渗透性强的溶剂清洗皮肤、饮食器具及衣服。

13.0.5 化学灌浆材料应按相关规定进行运输。运输人员应了解和掌握所运输化学材料的危害特性和发生意外的应急措施。

13.0.6 化学灌浆材料的储存应根据材料的种类和特性，在库房等作业场所设置相应的通风、防火、防泄漏等安全设施。

13.0.7 化学灌浆过程中产生的弃浆、废浆及废水不得随意排放，应集中储存。待灌浆结束后，对弃浆、废浆进行胶凝处理，对废弃的化学品包装袋、罐（桶）、废水按照相关规定进行处理。

附录 A
(资料性附录)

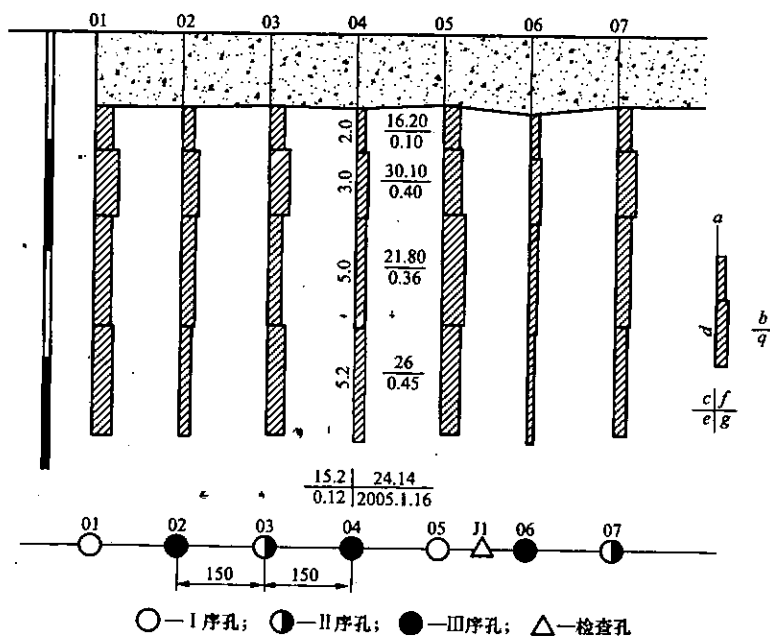
化学灌浆工程施工记录及成果图表

化学灌浆工程的施工记录和成果资料图表因各工程情况不一,图表格式内容也不尽相同,现列出下列主要的表格和成果图的常用样式。

- A.1 基岩(砂层)化学灌浆施工记录表(见表 A.1)
- A.2 基岩(砂层)化学灌浆孔成果一览表(见表 A.2)
- A.3 基岩(砂层)化学灌浆分序统计表(见表 A.3)
- A.4 基岩(砂层)化学灌浆综合统计表(见表 A.4)
- A.5 基岩(砂层)化学灌浆检查孔压水试验成果表(见表 A.5)
- A.6 基岩(砂层)化学灌浆工程完成情况表(见表 A.6)
- A.7 基岩(砂层)帷幕化学灌浆综合剖面图(见图 A.1)
- A.8 混凝土裂缝检查表(见表 A.7)
- A.9 混凝土裂缝化学灌浆畅通、密封性检查表(见表 A.8)
- A.10 混凝土裂缝化学灌浆记录表(见表 A.9)
- A.11 混凝土裂缝化学灌浆综合成果统计表(见表 A.10)
- A.12 混凝土裂缝化学灌浆检查孔成果表(见表 A.11)

工程 坝段

帷幕化学灌浆综合剖面图



a —孔号； b —单位注浆量 (L/m 或 kg/m)； c —孔深 (m)； d —段长 (m)；

e —孔底间距 (m)； f —全孔平均单位注浆量 (kg/m)；

g —竣工日期 (年·月·日)； q —透水性 (Lu)

注：图中只画了一排化学灌浆孔，且仅标注一孔，其余相同。

各项内容系基本要求，可根据实际需要增减。

图 A.1 基岩 (砂层) 帷幕化学灌浆综合剖面图

表 A.8 混凝土裂缝化学灌浆畅通、密封性检查表

施工单位: _____ 裂缝编号: _____ 年 月 日 第 页

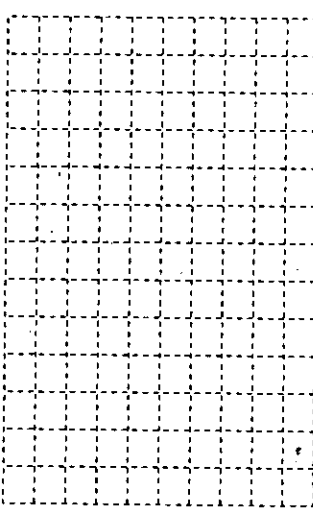
单位工程名称或编号		分部工程名称或编号		分项工程名称或编号		单元工程名称或编号	
孔(嘴)编号	压水压力 MPa	起始时间 h	min	终止时间 h	min	耗时 min	孔(嘴)通畅性、封缝密封性说明:
	压风压力 MPa						
							孔(嘴)布置简图: 
初检: _____ 复检: _____ 终检: _____							

表 A.11 混凝土裂缝化学灌浆检查孔成果表

施工单位:

年 月 日

第 页

单位工程 名称或编号			分部工程 名称或编号			
分项工程 名称或编号			单元工程 名称或编号			
检 查 成 果						
检查孔 编号	检查孔芯样 %		检查孔芯样浆液充填情况、 声波检测		说 明	
	采取率	获得率	充填描述	声波值 m/s		
检查孔 编 号	透 水 率 Lu				设计 标准 Lu	备 注
	<0.1	0.1~0.5	0.5~1	>1		

注：透水率区间划分可根据工程具体情况调整。

初检:

复检:

终检:

监理:

附录 B

(规范性附录)

灌浆工程压水试验

B.1 压水试验的设备和仪表:可使用水泥灌浆施工所用的设备和仪表,但应保证足够的精度和适宜的标值范围。

B.2 压水试验的方法:灌浆工程宜使用一级压力的单点法,灌浆试验或先导孔可采用三级压力 5 个阶段的五点法。

B.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.1 选定。检查孔各孔段压水试验的压力应不大于灌浆施工时该孔段所使用的最大灌浆压力的 80%。

表 B.1 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		备注
				单点法	五点法	
帷幕灌浆	先导孔	—	≥ 1	1 (MPa)	0.3、0.6、1.0、0.6、0.3 (MPa)	H_0 、 H 为坝前水头,以正常蓄水位为准,分别从河床基岩面和帷幕所在部位基岩面高程算起; 1.5H 大于 2MPa 时,采用 2MPa
		—	< 1	0.3 (MPa)	0.1、0.2、0.3、0.2、0.1 (MPa)	
		—	< 0.3	灌浆压力	—	
	检查孔	< 70	—	H_0 或 $1.5H_0$ (m)	单点法试验压力的 0.3 倍、0.6 倍、1.0 倍、0.6 倍、0.3 倍	
		70 ~ 100	—	1 (MPa)		
		> 100	—	1 (MPa) 或 $1.5H$ (m)		
坝基及隧洞固结灌浆	灌浆孔和检查孔		1~3	1 (MPa)	—	灌浆压力大于 3MPa 时,压水试验压力由设计按地质条件和工程需要确定
			≤ 1	灌浆压力的 80%		

B.4 压入流量的稳定标准：在稳定的压力下宜每 3min~5min 测读一次压入流量，连续 4 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.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.6 单点法压水试验成果的计算方法：

单点法压水试验成果按式 (B.1) 计算：

$$q = \frac{Q}{PL} \quad (\text{B.1})$$

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。

计算结果取 2 位有效数字。

B.7 五点法压水试验成果计算和表示方法：

B.7.1 以压水试验三级压力中的最大压力值 (P)、相应的压入流量 (Q) 及式 (B.1) 求算透水率。

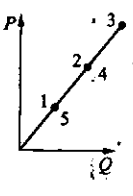
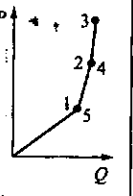
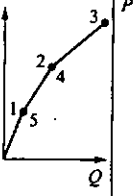
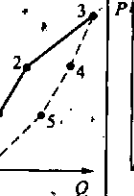
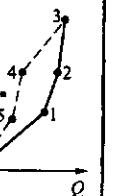
B.7.2 根据 5 个阶段的压水试验资料绘制 $P-Q$ 曲线，并参照表 B.2 确定 $P-Q$ 曲线类型。

B.7.3 五点法压水试验成果用透水率和 $P-Q$ 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.8 压水试验全压力的组成和计算：

B.8.1 压力表安设在孔口处的进水管上 (见图 B.1)，按式 (B.2)

表 B.2 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

计算压水试验压力。压力表安设在孔口处的回水管上 (见图 B.2), 按式 (B.3) 计算压水试验压力。

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

$$S = S_1 + S_2 + S'_f \quad (\text{B.3})$$

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;

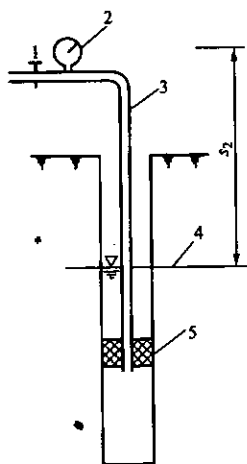
S_f, S'_f ——压力损失, MPa, 一般情况下忽略不计。

B.8.2 压力起算零线的确定。

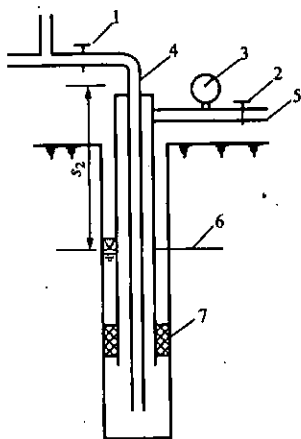
当地下水位在试段以上时, 压力起算零线为地下水位线。

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。

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, 如图 B.3 所示, 图中 $x = (L-1)/2$, $S = H + x$ 。



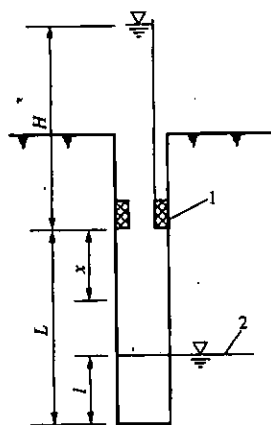
1—进水阀门；2—压力表；
3—进水管；4—地下水位；
5—橡胶塞



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

图 B.1 进水管上安设压力表示意图

图 B.2 回水管上安设压力表示意图



H —橡胶塞以上的水柱高；1—橡胶塞；2—地下水位

图 B.3 地下水位在试验段内示意图

B.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 测读一次孔内水位,当连续两次测得水位下降速度均小于 50mm/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。

附录 C

(资料性附录)

粉砂层化学灌浆扩散范围与灌浆段纯注入量估算公式

C.1 浆液在粉砂层中的扩散范围可按马格公式估算:

$$R = \sqrt[3]{\frac{3rkh t}{n\alpha} + r^3} \quad (\text{C.1})$$

式中:

 r ——灌浆孔半径, cm; k ——渗透系数, cm/s; α ——水的黏度与浆液黏度之比; t ——灌浆时间, s; n ——孔隙率, %; h ——灌浆压力, 以水头高度 cm 计; R ——灌浆有效扩散半径, cm。

C.2 粉砂层中的每个灌浆段纯注入量估算公式如下:

$$Q = \pi r^2 n L \quad (\text{C.2})$$

式中:

 Q ——孔段纯灌入浆量, m^3 ; π ——圆周率; r ——扩散半径, m; n ——粉砂层的孔隙率, %; L ——灌浆孔段长, m。

附录 D

(资料性附录)

混凝土裂缝钻孔孔位布置原则

D.1 混凝土裂缝断面上孔距和排距。

依据化学灌浆浆液在混凝土裂缝中的有效扩散半径 R ，为保证化学浆液在裂缝面上充填密实，按如图 D.1 所示确定混凝土裂缝断面上的孔距 S 和排距 h 。 S 、 h 值按式 (D.1)、式 (D.2) 计算

$$S = \sqrt{3} R \quad (\text{D.1})$$

$$h = \frac{3}{2} R \quad (\text{D.2})$$

式中：

S ——裂缝断面上孔距，m；

h ——裂缝断面上排距，m；

R ——浆液有效扩散半径，m。

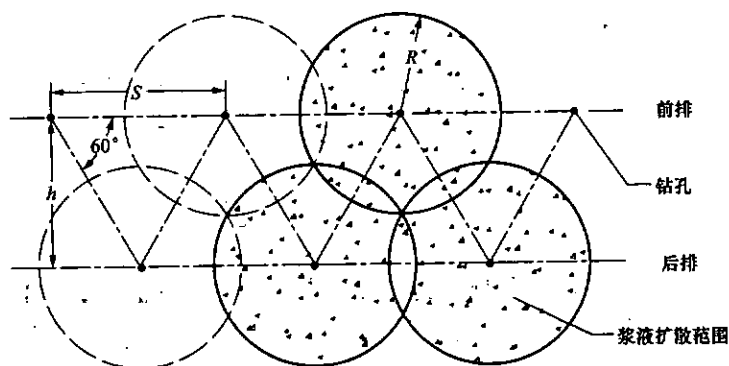


图 D.1 混凝土断面上的孔距和排距

D.2 混凝土表面上的孔距和排距。

D.2.1 垂直裂缝（裂缝面与混凝土表面呈 90° ），如图 D.2、图 D.3 所示，混凝土表面的钻孔孔距和排距按式（D.3）、式（D.4）计算

$$S_1 = S = \sqrt{3} R \quad (\text{D.3})$$

$$h_1 = \frac{h}{\tan \alpha} = \frac{3R}{2 \tan \alpha} \quad (\text{D.4})$$

式中：

S_1 ——混凝土表面上的孔距，m；

h_1 ——混凝土表面上的排距，m；

R ——浆液有效扩散半径，m；

α ——灌浆钻孔倾角， $(^\circ)$ 。

注：第一排孔的孔位距裂缝开口线的距离应等于 $h_1/2$ 。

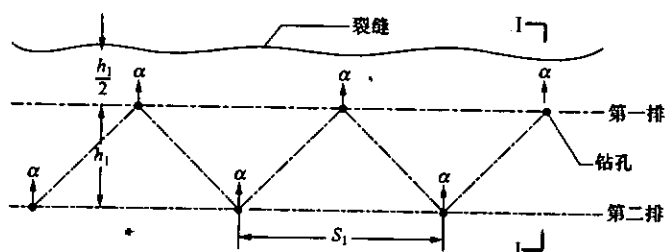


图 D.2 混凝土表面上的孔距和排距

D.2.2 斜缝（裂缝面与混凝土表面夹角不等于 90° ）时，断裂缝面上的孔距和排距仍按 D.1 确定，混凝土表面钻孔的孔距和排距，根据斜缝实际倾角，通过数学方法计算求出（其中，孔距不变）。

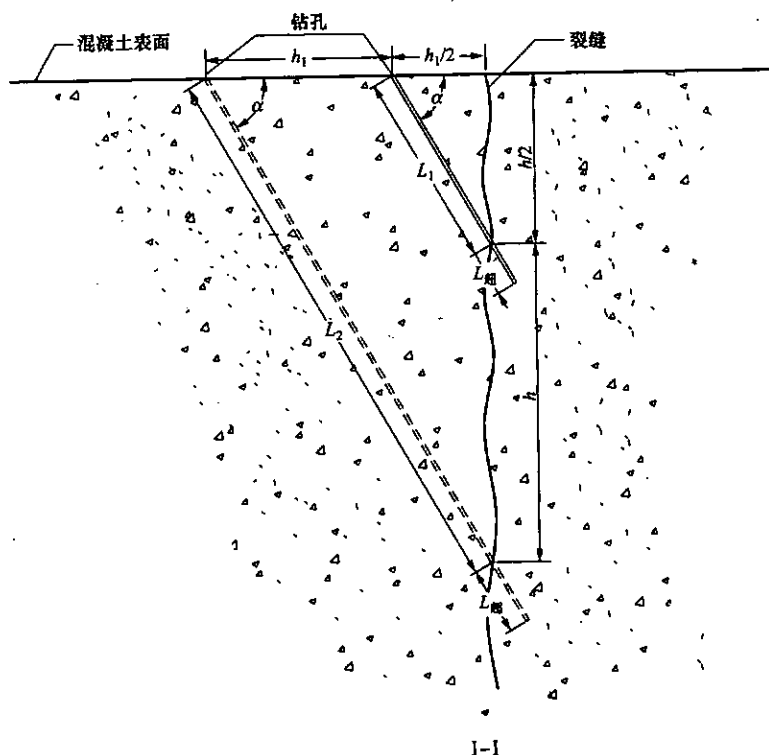


图 D.3 混凝土裂缝钻孔剖面图

D.3 钻孔孔深。

D.3.1 混凝土垂直裂缝钻孔孔深 (如图 D.3 所示) 按式 (D.5) 计算

$$L_n = \frac{\left(n - \frac{1}{2}\right)h}{\sin \alpha} + L_{超} = \frac{3\left(n - \frac{1}{2}\right)R}{2\sin \alpha} + L_{超} \quad (\text{D.5})$$

式中:

L_n ——第 n 排孔深 ($n=1, 2, \dots$), m;

R ——浆液有效扩散半径, m;

α ——灌浆钻孔倾角, ($^{\circ}$);

$L_{\text{超}}$ ——孔深超深值 (0.5m~1.5m, 孔越深, 孔深超深值越大);

n ——系数 (排数, $n=2、3\cdots$)。

D.3.2 混凝土斜缝钻孔孔深, 应根据斜缝实际倾角, 通过数学计算方法求出。

D.4 混凝土表面上的钻孔孔距应与混凝土断裂面上的孔距相同。钻孔时应保证钻杆在混凝土表面上的投影线与混凝土裂缝开口线垂直 (90°)。

D.5 混凝土表面钻孔时的后排孔位应在前排相邻两孔连线中点垂线上。

水工建筑物化学灌浆 施 工 规 范

条 文 说 明

目 录

4	总则	52
5	化学灌浆材料及浆液配制	54
5.1	一般规定	54
5.2	化学灌浆材料	55
5.3	浆液配制	60
6	化学灌浆设备	62
7	基岩化学灌浆	64
7.1	一般规定	64
7.2	钻孔	65
7.3	裂隙冲洗和压水试验	66
7.4	灌浆	67
7.5	灌浆结束和封孔	69
7.6	特殊情况处理	71
8	砂层化学灌浆	73
8.1	一般规定	73
8.2	钻孔	73
8.3	灌浆	73
9	混凝土裂缝化学灌浆	76
9.1	一般规定	76
9.2	灌浆准备	78
9.3	灌浆	81
9.4	特殊情况处理	83
10	混凝土结构缝化学灌浆	85
11	混凝土与钢结构接触缝化学灌浆	86

12 质量检测	87
12.1 一般规定	87
12.2 基岩化学灌浆质量检测	88
12.3 砂层化学灌浆质量检测	88
12.4 混凝土裂缝化学灌浆质量检测	88
12.5 混凝土结构缝化学灌浆质量检测	89
12.6 混凝土与钢结构接触缝化学灌浆质量检测	89
13 劳动安全保护和环境保护	91

4 总 则

4.0.1 所列内容均是化学灌浆施工前最基础和不可缺少的重要文件或资料。有了这些资料才能为制定灌浆方案、细化灌浆措施、确保灌浆质量,提供可靠的技术依据。

4.0.3 强调地质条件复杂或有特殊要求的水工建筑物基岩化学灌浆、砂层化学灌浆及混凝土裂缝、接触缝化学灌浆工程应进行现场灌浆试验。

条文中,“试验地点应具有代表性”指试验成果能对以后的灌浆工程具有指导意义。“代表性”对基岩、砂层化学灌浆而言,一般指在灌浆区域内地质条件偏差的地层;对混凝土裂缝、接触缝化学灌浆指可灌性较差的部位。“对工程可能产生不良后果”主要指破坏了地层结构,抬动了建筑物或留下有害的物质等。

4.0.4 是为了避免灌浆过程中发生中断等特殊情况。

4.0.5 化学浆材的物理性能技术指标是否真实、稳定,与计量器具的精确度关系密切,因此计量器具的精度要高,称量应准确,以确保浆材的各项技术指标满足设计和施工要求。

4.0.6 专业技术培训的主要项目:各种不同的灌浆目的、不同浆材的物理性能、配浆常识、施工工艺与方法、设备性能与使用、质量检测项目与方法及资料记录与整理等。

劳动与环境保护的培训项目可参照本标准第 13 章内容进行选择。

4.0.8 以混凝土裂缝化学灌浆工程为例,表 1 列出了几个工程不同灌浆方法的压风、压水和灌浆压力参数值供参考。

4.0.9 室内与现场有环境差别,如廊道与室内温度的差别等。根据现场环境及边界条件再试验进行配比的验证和微调,以保证灌浆质量。

表1 几个工程的混凝土裂缝灌浆压力参数值

压 力 项 目	压风 MPa	压水 MPa	灌浆 MPa	备 注
三峡	≤0.1	≤0.3	0.3~0.5	永久船闸施工缝钻孔灌注法灌浆
三峡	0.2~0.3	—	0.3~0.4	二期工程裂缝钻孔法、贴嘴法灌浆
四女寺	—	—	0.2~0.8	贯穿裂缝 0.2MPa; 一般裂缝 0.4 MPa~0.6MPa; 尖灭裂缝和连通性差裂缝 0.6 MPa~0.8MPa
西藏索县水电站	0.3~0.4	—	0.4	钻孔法灌浆

4.0.10 现场降温措施可采取盛浆容器外通循环冷却水、循环自然水等方式进行。

4.0.11 各种现场施工记录是分析评价灌浆工程质量的重要依据,因此要及时、准确、真实、齐全、整洁地记录。即应在现场随着施工的进程随时填写,专人审核,不允许事后回忆补记,更不许随意编造。

4.0.13 使用同一种方法钻孔,一般来说孔径小的进尺快。绝大多数化学灌浆材料价格较贵,采用小孔径和尽量缩小输浆管路内径及减短输浆管长度,灌浆时可占浆少,节省浆材,降低工程成本。

减短输浆管长度的最简单措施是灌浆泵尽量靠近灌浆孔(嘴)。工程实践表明,输浆管长度控制在3m左右可满足施工要求。

4.0.14 本条规定的目的是防止因灌浆引起的变形(抬动)、劈裂或位移,以确保被灌体的稳定和安全。尤其是小断面、薄壁结构混凝土和无压重岩体等,应在灌浆时适当的部位安装变形、抬动或位移监测装置进行连续观测,控制其有害变形。

5 化学灌浆材料及浆液配制

5.1 一般规定

5.1.1 化学灌浆浆液均为真溶液，不含固体颗粒，因此可灌性极好，是水泥灌浆的有效补充，一般在水泥灌浆或其他方法不能满足设计要求时使用。常用的化学灌浆材料有聚氨酯类、环氧树脂类、水玻璃类、丙烯酸盐类等，其他化学灌浆材料有甲基丙烯酸酯类、丙烯酰胺（丙凝）类和木质素类等。

化学灌浆材料品种很多，分类方法也很多，除按照组成化学灌浆材料主要材料的成分进行分类外，也可按灌浆目的分为防渗堵漏和固结补强两类，前者有聚氨酯类、水玻璃类、丙烯酰胺类、丙烯酸盐类和木质素类等；后者有聚氨酯类、环氧树脂类、甲基丙烯酸酯类等，这些材料都有一定的独特性能，使用的针对性强，故应根据工程处理的要求加以选用。

5.1.2 目前国内生产化学灌浆材料的厂家比较多，品种也比较齐全，另外还有许多施工单位在现场进行配制，但大多数产品尚没有统一的国家标准，一般都执行各生产企业自己制定的企业标准，由于各自参照的标准不尽相同，试验方法不统一，指标高低不相同，因此给施工单位在实际选用过程中带来一定的困难。国家有关部门已经注意到了这一问题，目前已开始着手制定各类灌浆材料的技术标准。到目前为止，已发布实施的有国家建材行业标准 JC/T 1041—2007《混凝土裂缝用环氧树脂灌浆材料》、JC/T 2037—2010《丙烯酸盐灌浆材料》、JC/T 2041—2010《聚氨酯灌浆材料》。这些标准的发布规范了化学灌浆材料的质量标准与检验方法，对化学灌浆的施工具有指导意义。

在选用化学灌浆材料时，凡已有国家标准或行业标准的应首先

按标准要求执行,有特殊情况或无标准可循的,则应根据工程的实际需要,由设计提出相应的技术要求,由具有资质的检验机构检验合格后,方可在工程中使用。

5.1.3 一般生产厂家提供的灌浆材料只是一个基本配方,可根据现场的实际需要添加不同的助剂,一些主要助剂的作用如下:

- 1 水泥:用于提高浆液固化后的强度。
- 2 填料:如氧化钙、滑石粉等,可以降低成本,提高灌浆材料触变性能。
- 3 稀释剂:用于提高浆液的可灌性,但需在厂家说明书指导下进行。
- 4 促进剂:用于加快浆液的反应速度,常在低温环境或有特殊要求时使用。
- 5 缓凝剂:用于减慢浆液的反应速度,常在高温环境或有特殊要求时使用。

上述各种助剂的添加量应针对不同的灌浆材料,按照生产厂家的要求以及工程的实际需要,通过室内试验和现场试验来确定。

5.1.4 化学灌浆材料常含有各类溶剂及助剂,其中有部分为易燃物质,因此应密闭保存在阴凉处,并做好消防安全措施。

5.2 化学灌浆材料

5.2.1 聚氨酯化学灌浆材料是应用非常普遍的一种材料,它因为结构中含有聚氨酯甲酸酯而得名。聚氨酯灌浆材料以多异氰酸酯与多羟基化合物制备的预聚体为主剂,在分子结构两端有游离的 $-NCO$,它能与水或固化剂反应形成不溶于水、具有一定弹性或强度的固体。

聚氨酯灌浆材料根据其性状不同,可分为水溶性(或称亲水型)、油溶性(或称疏水型)两类。

国家建材行业标准 JC/T 2041—2010《聚氨酯灌浆材料》中对

聚氨酯化学灌浆材料的力学性能规定见表2。

表2 聚氨酯灌浆材料物理力学性能

序号	试验项目	单位	指 标		备 注
			水溶性	油溶性	
1	密 度	g/cm ³	≥1.00	≥1.05	
2	黏 度	mPa·s	≤1000		
3	凝胶时间	s	≤150	—	根据客户要求进行定制
4	凝固时间	s	—	≤800	根据客户要求进行定制
5	遇水膨胀率	%	≥20	—	
6	包水性(10倍水)	s	≤300	—	
7	不挥发物含量	%	≥75	≥78	
8	发泡率	%	≥350	≥1000	
9	抗压强度	MPa	—	≥6	根据工程需要,对结构有加固要求时测试该项目

1. 水溶性聚氨酯灌浆材料与水混合后可以乳化、分散,进而胶凝固化,它的特点是与水反应迅速,并能与水形成凝胶体,适用于大流量的快速堵水与潮湿裂缝的防渗处理。

聚氨酯灌浆材料与水形成凝胶体的能力称为包水性能,它有两种表达方法:一种称为包水性,指与固定倍数水混合后形成凝胶体的时间,重在反映其包水的速度,时间越短,固化速度越快;另一种称为包水量,是指一份聚氨酯灌浆材料与水形成凝胶体的最大用水量,重在反映包水的数量,数值越大,包水能力越强。

JC/T 2041—2010《聚氨酯灌浆材料》最终选用了包水性用来表征水溶性聚氨酯灌浆材料的包水性能,但在实际应用中也经常用包水量来表示。

水溶性聚氨酯灌浆材料又可分为高强度(如HW)和低强度

(如 LW) 两类, 两者能以任意比例混合, 以得到不同性能的固结体, 主要用于各种防渗堵漏工程。

2. 油性聚氨酯灌浆材料与水不相容, 只能溶于有机溶剂, 并与水或其他活性氢基团反应而固化, 其反应速度较快, 形成的固结体一般强度较高, 因此既可用于防渗堵漏, 亦可用于补强加固工程。

3 对于变形缝的防渗处理, 考虑到结构缝要经受反复的张拉变形, 因此要求所采用的聚氨酯灌浆材料具有较好的弹性, 能满足变形要求。

4 由于聚氨酯灌浆材料的固化机理是通过与水或含羟基化合物反应生成大分子, 因此在存放和配制过程中不应与水或含羟基化合物接触, 否则将会引起反应, 导致浆液黏度变稠, 影响灌浆效果。包装桶中如果有潮湿空气进入, 也将会与灌浆材料反应, 使其变稠, 因此一经开封后宜使用完。

5.2.2 环氧树脂是使用最为广泛的化学物质之一, 其特点是结构中含有环氧基团, 能与活性基团反应, 生成稳定的高分子结构。

1 由于环氧树脂具有强度高、收缩小、粘接力强、耐老化性能好的特点, 因此常用于混凝土结构和地基基础的补强、加固与防渗处理。

2 JC/T 1041—2007《混凝土裂缝用环氧树脂灌浆材料》是我国第一部关于化学灌浆材料的行业标准, 它规定了适用于混凝土裂缝用环氧树脂灌浆材料的术语和定义、分类、一般要求、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输与储存等。

根据 JC/T 1041 的规定, 环氧树脂灌浆材料按类型分为低黏度型 (L) 和普通型 (N), 把初始黏度小于 $30\text{mPa}\cdot\text{s}$ 的定义为低黏度。根据固化物的力学性能又把 L 型和 N 型分别分成 I、II 两个等级。具体的性能指标要求见表 3 和表 4。

表3 环氧树脂灌浆材料浆液性能

序号	项 目	单位	浆液性能	
			L	N
1	浆液密度	g/cm ³	>1.00	>1.00
2	初始黏度	mPa·s	<30	<200
3	可操作时间	min	>30	>30

表4 环氧树脂灌浆材料固化物性能

项 目		单位	固化物性能	
			I	II
1	抗压强度	MPa	≥40	≥70
2	拉伸剪切强度	MPa	≥5.0	≥8.0
3	抗拉强度	MPa	≥10	≥15
4	粘接强度	干粘接 MPa	≥3.0	≥4.0
		湿粘接 MPa	≥2.0	≥2.5
5	抗渗压力	MPa	≥1.0	≥1.2
6	渗透压力比	%	≥300	≥400

注1: 湿粘接强度, 潮湿条件下必须进行测定。

注2: 固化物性能的测定试龄期为28d。

3 环氧灌浆材料一般均分成主剂和固化剂双组分, 按规定比例配制后进行灌浆。影响环氧灌浆材料固化速度的因素比较多, 如不同温度条件、一次配浆量的多少、固化剂用量的多少等, 因此需在现场进行配合比试验以确定最佳的配合比, 并可根据需要通过添加促进剂来调整反应速度, 以满足灌浆的需要。

环氧灌浆材料的固化时间虽然可通过添加促进剂来调节, 但总体来说, 仍属于固化时间比较长的灌浆材料, 因此对于有流动水的场合, 不宜采用环氧灌浆材料。

5.2.3 丙凝灌浆材料曾经是应用非常普遍的一种灌浆材料, 但已

被证明毒性较大,在日本、美国等许多国家已禁止使用,我国虽然尚没有明文规定禁止使用,但也不提倡使用。丙烯酸盐的性能与丙凝类似,但毒性要小得多,因此是取代丙凝的理想材料,目前较多地使用在基础处理和防渗堵漏上。近年来,在丙烯酸盐灌浆材料的研究上又取得了新进展,开发出的第二代丙烯酸盐灌浆材料的LD50可大于8850mg/kg,已达到实际无毒级别,其凝胶体的渗透系数最高可达到 10^{-9} cm/s级别。丙烯酸盐灌浆材料可用于水利、铁道、地下建筑的防渗堵漏,软弱地层的基础稳定处理以及钻孔扩壁等方面。

丙烯酸盐灌浆材料采用氧化还原引发系统,其固化速度可以通过引发剂、促进剂的浓度来控制,可以在几分钟至几十分钟内调节。由于其固化速度快,宜采用双液法进行灌浆。

国家建材行业标准JC/T 2037—2010《丙烯酸盐灌浆材料》中对丙烯酸盐灌浆材料的性能要求见表5、表6。

表5 浆液物理性能

序号	项 目	单 位	技 术 要 求
1	外观		不含颗粒的均质液体
2	密度	g/cm ³	生产厂控制值 ± 0.05
3	黏度	MPa·s	≤ 10
4	pH值		6.0~9.0
5	凝胶时间	s	报告实测值
注:生产厂控制值应在产品包装与说明书中明示用户。			

表6 固化物物理性能

序号	项 目	单 位	技 术 要 求	
			I 型	II 型
1*	渗透系数	cm/s	$< 1.0 \times 10^{-6}$	$< 1.0 \times 10^{-7}$
2	固砂体抗压强度	kPa	≥ 200	≥ 400
3	抗挤出破坏比降		≥ 300	≥ 600
4	遇水膨胀率	%	≥ 30	

5.2.4 水玻璃灌浆材料是最早使用的化学灌浆材料，由于其具有无毒、价廉、黏度小等特点，目前仍是多数防渗堵漏工程的首选材料，特别是水泥—水玻璃体系仍在大量的工程中应用。但由于其耐久性问题一直没有得到很好的解决，从而限制了它的应用，一般只在临时性工程中使用。与传统的碱性水玻璃相比，酸性水玻璃研究成果表明，其耐久性有了较大的提高。

5.2.5 从灌浆材料的分类上说，还有几种灌浆材料，但这些材料现已很少使用在水工建筑物上，如甲基丙烯酸酯灌浆材料常用于混凝土干细裂缝和文物修复处理，木质素类灌浆材料中的硫木素可用于基础的防渗处理，但铬木素类由于毒性较大，已不再使用。

近几年还有许多新型的化学灌浆材料问世，并在工程中应用。如多羟甲基树脂类化学灌浆材料曾在新安江工程中应用，丙烯酸环氧酯类灌浆材料也用于结构加固处理，但由于此类材料尚属于研究试验阶段，应用工程较少，无成熟的总结经验，因此本标准未予收入。

5.3 浆液配制

5.3.1 在一些参考资料中，给出了一些聚氨酯、环氧等灌浆材料的配方，但由于灌浆材料所用的原料种类较多，配合比要求比较精确，现场配制比较繁琐，因此在实际操作中宜采用专业厂家生产的产品。若自行购买原材料在现场配制，则需对所配浆材进行性能测试，并确认其各项性能满足工程需要，方可应用。

5.3.2 多组分灌浆材料一般在现场进行配制，各组分之间的比例不同会导致固化产物的性能发生变化，因此应按照材料生产厂家提供的配合比进行配制，如无特殊说明，称量误差宜控制在5%以内。对于促进剂、催化剂等助剂，由于其用量很少，因此宜使用药物天平进行称量。

5.3.3 化学灌浆材料一经混合后，如果不用完会造成浪费，而且

当配浆量较大时会导致反应放热增加,影响反应速度,因此在保证灌浆进度的条件下,应减少每次的配浆量。

5.3.4 对于多组分灌浆材料,只有各组分之间混合均匀,才能保证反应平稳进行,如果混合不均匀,会导致局部浓度过高,有可能形成暴聚现象。有条件的施工现场,应采用机械搅拌的方式;没有条件的,也必须用人工充分搅拌,保证混合均匀。

5.3.6 施工难度大、地质条件与灌浆技术复杂的化学灌浆试验或灌浆工程,施工过程中会遇到较多问题,为及时应对,在浆材方面宜事先做好准备。化学灌浆施工通常采用“多种功能、优选组合灌注方法”,遇到不同的工况,相应采用不同的技术措施。例如,河南省故县水库大坝坝基帷幕灌浆 F₅ 断层化灌处理,采用环氧化灌浆材,事先备有 4 种配方:1 号浆材,在正常情况下使用;2 号浆材,快速凝固,当注入率大且较长时间不见明显减少时使用;3 号浆材,渗透性能好,当注入率小时使用;4 号浆材,充填较大孔隙且具备固壁性能。

6 化学灌浆设备

6.0.1 拌和能力应与所搅拌浆液的类型和灌浆泵的排浆量相适应，旨在保证均匀、连续地制浆和灌注。

6.0.2 近几年来引进或新开发出多种型号的化灌泵，有电动、液压、气动、手压等型式，其中多数产品具有体积小、重量轻以及压力、流量可自动调节等优点，只要符合要求，不规定具体型号。因化学灌浆为纯压式灌浆，不允许浆液在孔内循环，不能靠调节回浆量来控制灌浆压力，灌浆过程中，灌浆泵的排浆量必须能从零到最大额定值范围内无级调节。手压泵结构简单，拆卸、清洗和安装方便，易于搬运，且不需要用电，特别适用于没有电源的地方，只要排浆量和压力能满足要求即可选用。而双液灌浆，两种浆液的比例不同，直接影响浆液的各项性能指标。因此，双液灌浆泵，必须能按要求调节两液的比例。

6.0.3 有的灌浆管虽然标称压力能满足要求，但使用中由于浆液中溶剂的作用，可能发生溶胀现象。一旦发生溶胀，耐压能力大大降低，易发生事故。规定灌浆管耐压能力，主要是为了保证灌浆施工安全。

6.0.4 混凝土裂缝化学灌浆施工中，灌浆管路一般较短，压力损失小，可以只在灌浆泵处设一个压力表。基岩和砂层化学灌浆时，孔口也应安设压力表。

为防止浆液进入压力表，导致灌浆压力计量错误及压力表损坏，故应设置隔浆装置。

6.0.5 通常使用的灌浆塞有螺杆挤压胶球式、气胀或水胀胶囊式，还有孔口封闭器等。

6.0.6 化学灌浆材料中，除水玻璃与丙烯酸盐类为水溶性外，像

环氧树脂、聚氨酯等都不溶于水，只溶于丙酮类有机溶剂，因此，在清洗设备与管路时，应根据浆液的性质，酌情选用水或丙酮等做清洗剂。如果设备或管路中有浆液的凝聚物，必要时可采用物理措施清洗。

7 基岩化学灌浆

7.1 一般规定

7.1.1 水文地质与工程地质资料主要包括：被灌地段节理裂隙的发育规律、宽度、密度、充填物性质和充填状况；断层破碎带和软弱夹层的产状、延伸情况；岩石物理力学性能指标；压水试验资料；地下水水质化学分析资料等。

化学灌浆前，应对水泥灌浆情况与资料做全面了解与分析，查清水泥灌浆不能满足工程要求的原因。

7.1.2 丙烯酰胺类和铬木素类材料毒性较大，对施工人员健康和环境保护均十分不利，故不得使用。

水玻璃材料用于工程中已经有近一个世纪的历史，效果显著，价格便宜且不污染环境，故在工程条件许可的情况下可优先选用。出于耐久性方面的担心，碱性水玻璃材料宜用于临时性和半永久性工程；酸性水玻璃材料耐久性有较大改善，在牡丹江郭家沟截污坝和威海艾山截污坝等永久性工程应用，效果良好。

固结补强材料中，环氧树脂类应用最为广泛。甲基丙烯酸酯类曾用于三峡工程坝基固结灌浆试验，但近年来使用较少。聚氨酯类作为固结补强材料目前仅见国外报道，国内尚未见到应用的先例。由于聚氨酯强度比环氧树脂类材料低，且有发泡特性，强度受外部环境的影响较多，故在使用前宜进行试验，以确保施工质量。

7.1.3 试验地点应选择现场地质条件中等或较差的部位，试验成果较有代表性，同时有利于保证灌浆质量。施工技术参数应包括：灌浆压力、结束标准、孔距、排距等。

7.1.4 水泥灌浆和盖重分别对化灌区域的周边和上部形成了相对封闭，减少了材料浪费，利于采用较大的灌浆压力；水泥灌浆

还对较大的裂隙进行了充填，并使地层的均一性得到了提高，这些均有利于保证灌浆质量。

7.1.5、7.1.6 基岩化学灌浆一般是在水泥灌浆之后进行的，分序布孔以及排间分序是遵循灌浆逐渐加密的原则进行的，有利于保证施工质量。

7.1.7 基岩化学灌浆施工中，先导孔可分为两类，一是水泥灌浆先导孔，二是化学灌浆先导孔。前者的目的是摸清施工地质条件，后者则是作为水泥灌浆的检查孔，通过和水泥灌浆先导孔的压水试验结果对比，可对水泥灌浆成果进行评估，并及时对原设计的化学灌浆施工参数进行验证和必要调整。

7.1.8 在正常情况下，相邻两个次序的灌浆孔（同一排或不同排）应当待先序孔全孔施工完毕以后才开始后序孔的施工。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孔较先序孔滞后 15m（通常是 3 个灌浆段）并行施工的方法。这样做，相邻孔串浆的可能性较小，但对加快施工进度有利。

7.2 钻 孔

7.2.1 化学灌浆是在水泥灌浆之后进行，此时岩层透水率已经较小，使用冲击式或冲击回转式钻机钻进灌浆孔，利于提高工效，但是因为它是无岩心钻进，岩粉、岩屑较多，易于堵塞裂隙而影响灌浆质量，因此如果采用冲击或冲击回转式钻机钻孔时，应加强钻孔和裂隙冲洗。同时，这种钻孔方式的孔斜率通常也高于回转式钻进，这是应当注意的。

7.2.2 相对于水泥灌浆孔而言，化学灌浆孔距较小，故孔位偏差应予以控制。条文中“偏差值不应大于 100mm”，系对任何方向而言。

7.2.3 化学灌浆孔距较小，原则上钻孔偏斜要求应比水泥灌浆更高一些。但从系统观念看，化学灌浆是在水泥灌浆之后进行的，水泥灌浆的进行一方面减少了地层的不均匀程度，另一方面封堵

了大的裂隙，使化学灌浆区域外围相对封闭，内部渗透性大为降低，而化学灌浆材料的良好扩散性又在相当程度上可以弥补孔底偏差带来的负面影响。结合目前国内灌浆界钻孔实际水平，条文中采用了 DL/T 5148 中关于单排帷幕灌浆孔的偏差标准作为化学灌浆孔的偏差标准。

若钻孔偏斜超过设计要求且纠偏无效，可考虑采取补救措施，例如将来在其旁布设一个检查孔或重钻一孔。检查孔一方面可检测灌浆质量，一方面也可作为补强孔，弥补原灌浆孔偏斜过大的缺点。

顶角大于 5° 的斜孔孔底允许偏差值“适当放宽”的尺度，宜在综合考虑孔距、所使用灌浆材料的特性等因素的前提下根据工程具体情况确定。

7.2.4 本条规定便于在灌浆时采用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。

7.2.5 钻孔冲洗，包括孔壁和孔底沉淀的冲洗。冲洗方法为在孔内下入钻具（或导管）直到孔底，通入大流量水流，污水自孔口返出，直至符合要求。钻孔冲洗工序应为钻孔工作的一部分。

7.3 裂隙冲洗和压水试验

7.3.1 裂隙冲洗是指对钻孔四周一定范围内岩体的裂隙的冲洗。其方法是在卡紧灌浆栓塞后通过钻孔向裂隙中压入压力水流，使裂隙中的充填物被冲刷出孔外或夹带到离孔较远的地方。在许多情况下，裂隙冲洗可结合简易压水一并进行。

裂隙冲洗的方式主要是压水冲洗，对于断层破碎带等特殊孔段可酌情采用风水联合冲洗或高喷冲洗。三峡工程 F₂₁₅ 断层化学灌浆试验工程中，在水泥灌浆前首先进行了钻进断层高喷冲洗孔进行高喷冲洗的工艺，效果良好。

7.3.2 化学灌浆先导孔同时也是水泥灌浆的检查孔。通过和水泥灌浆先导孔的压水试验结果对比，可对水泥灌浆成果进行评估，

并及时对原设计的化学灌浆施工参数进行验证和必要调整。因此，化学灌浆先导孔应自上而下分段进行压水试验。

“其他灌浆孔各灌浆段灌前宜进行简易压水”，主要是考虑到灌浆试验和化学灌浆先导孔得到的数据较少，代表性不够。简易压水一定程度上能够对裂隙的可灌性有所反映，加之操作简便，故作了上述规定。

7.3.4 经验表明，在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。新安江水电站坝基页岩化学灌浆试验施工中即遇到了这样的问题，采取了本条措施。

7.4 灌 浆

7.4.1 全孔一次灌浆法适用于浅孔。一般认为，灌浆孔的基岩段长小于5m时，可采用全孔一次灌浆法。大于5m时应采用其他方法分段灌浆。

自上而下分段灌浆法是指钻一段灌一段，直至设计孔深，多用于裂隙发育、渗透性强及破碎的岩层。有许多工程采用了孔口封闭自上而下分段灌浆法，取得了较好的效果，但由于重复钻灌，孔内浆材占用较多。

自下而上分段灌浆是指一次成孔，自下而上进行灌浆。一般应用于岩石比较完整、裂隙不甚发育、渗透性不很强的地层。

7.4.2 灌浆段长度应根据岩层裂隙发育程度和破碎情况确定，化学浆液为真溶液，渗透性很强，故保证灌浆段内各裂隙的相对均一性对于保证灌浆质量至关重要。施工实践表明，接触段部位往往是灌浆的薄弱环节，而下部各段则要好一些；从序次间比较来看，随着化学灌浆施工的进行，地层的不均一性逐步减小，故条文中作了相应的规定。

缩短灌浆段长度是降低灌浆段内不均一性的重要措施。缩短段长有利于保证灌浆质量，但对施工进度影响较大，故须根据工

程实际综合考虑。施工实践中破碎地层灌浆段长多为 2m~3m。

7.4.4 从工程实践看,化学灌浆采用自下而上法并不普遍。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,可能会影响灌浆质量。因此,对长度超过 10m 的灌浆段,应该对灌浆资料进行分析,如认为对灌浆质量有影响,则采取补救措施,例如可对该部位重新钻开进行分段复灌,或以后在其旁布设检查孔,一方面检测灌浆质量,另一方面通过对检查孔进行灌浆,起到补强的作用等。

7.4.5 先导孔本身也是灌浆孔,应当妥善进行灌浆。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小影响,但对灌浆是有利的,而这正是工程的主要目的。

7.4.6 孔内积水会稀释灌入的浆液或影响浆液性能,直接影响灌浆质量,在透水性较弱的孔段尤其突出。排除孔内积水的方法很多,小浪底工程 F₁ 断层带化学灌浆试验采用的是顶浆排水法,三峡工程 F₂₁₅ 断层带化学灌浆试验采用的是充气排水法,均取得了良好效果。

射浆管接近孔底,有利于孔内积水排除,保证灌浆质量。

7.4.7 化学灌浆多以调节灌浆泵排量进行灌浆控制,为方便操作,灌浆泵和孔口处均应安装压力表,灌浆结束时孔口压力表值应达到设计压力值。

在技术要求中应明确记读灌浆压力值的方法。高压灌浆时,为了防止压力过大发生地面抬动或破坏岩层,应对最大限值提出要求。同一工程中记读灌浆压力的方法应保持一致。

7.4.8 灌浆开始后尽快达到设计压力的优点是能使细微裂隙得到充分地灌注,有利于提高灌浆质量;缺点是有可能造成浆液扩散过远,浪费浆液,或引起岩层抬动。由于化学灌浆之前已进行水泥灌浆,大的裂隙已被水泥结石充填,所以,一般情况下宜采

用此种方法进行灌浆。但注入率过大，有可能造成材料扩散范围过大或引起岩层抬动，故此时应根据情况分级升压。

此外，灌浆升压方式宜和灌浆目的、灌浆浆液性能结合考虑。一般来说，聚氨酯、丙烯酸盐和水玻璃材料胶凝时间较短，尽快升压有利于保证灌浆质量；环氧树脂材料相对而言黏度增长较慢，可灌性保持时间较长，故可根据实际情况分级升压；以利于排水排气，并防止皸裂。

7.5 灌浆结束和封孔

7.5.1 由于化学灌浆材料的特性，有时可以达到注入率为 0，所以原则上化学灌浆应以达到不吸浆，或注入率降至相当低的水平后持续一段时间结束，而后进行闭浆。在工程实践和有关权威文献中，这个水平多为帷幕化学灌浆 $0.01\text{L}/(\text{min} \cdot \text{m}) \sim 0.02\text{L}/(\text{min} \cdot \text{m})$ ，固结灌浆为 $0.01\text{L}/(\text{min} \cdot \text{m}) \sim 0.05\text{L}/(\text{min} \cdot \text{m})$ 。屏浆时间和所灌注的材料关系密切，水玻璃和丙烯酸盐材料一般在 30min 左右；环氧树脂类材料则多在 1h~4h 之间。

从灌浆量上分析，达到上述灌浆结束标准后，持续 30min 还是更长时间再闭浆对灌浆质量影响不大，而对工期和现场人员的工作强度影响较大，故条文中统一规定屏浆 30min 后结束；如不到 30min 而浆液已经胶凝，则继续灌注已无意义，可直接结束。

从施工实践看，水玻璃材料、聚氨酯材料和丙烯酸盐材料达到上述结束标准比较容易，施工中出现特殊情况较少。环氧树脂类材料则比较复杂，有时长时间不能达到上述规定，所以往往需要由设计补充其他结束标准。一些工程中的补充结束标准如下：

1) 定时标准。如小浪底 F_1 断层带化学灌浆工程规定灌浆时间超过 30h 可以结束；龙羊峡 G4 伟晶岩劈理带化学灌浆工程则规定，灌浆时间超过 25h（后改为 36h）可以结束。

2) 最大累计注入量标准。如小浪底 F_1 断层带化学灌浆工程规定，累计注入量达到 $120\text{L}/\text{m}$ 时可以结束，龙羊峡 G4 伟晶岩劈

理带化学灌浆工程则规定，累计注入量达到 150L/m 时可以结束。

3) 定时与定量相结合的方式，具体可参阅相关资料。

值得注意的是，各工程项目中，化学灌浆所要达到的目的和具体要求各有特点，受灌地层的地质条件千差万别，化学灌浆材料种类繁多，用途各异，同类材料各配比间的性能差别较大，加之各施工单位的习惯和做法也多有不同，因此，化学灌浆结束标准统一起来困难很大，工程实践中则应在条文基础上根据具体情况适当收紧。例如，在断层泥等低渗透性地层中进行固结化学灌浆时，结束标准应控制在 $0.02\text{L}/(\text{min} \cdot \text{m})$ 或更低，屏浆时间则宜延长至 2h 以上，以保证灌浆质量。

7.5.3 本条文引用了 DL/T 5148—2001 6.6.3 和 6.6.4 相关规定，即：帷幕灌浆采用自上而下分段灌浆法时，灌浆孔封孔应采用“分段灌浆封孔法”或“全孔灌浆封孔法”；采用自下而上分段灌浆时，应采用“全孔灌浆封孔法”。固结灌浆孔封孔应采用“导管注浆封孔法”或“全孔灌浆封孔法”。

1) 分段灌浆封孔法是指在全孔灌浆完毕后，自下而上分段进行纯压式灌浆封孔。分段长度 20m~30m，使用浆液水灰比 0.5，灌浆压力为相应深度的最大灌浆压力，持续时间一般为 30min，孔口段为 1h。这种封孔方法适用于采用自上而下分段灌浆、孔深较大和封孔较为困难的情况。

2) 全孔灌浆封孔法是指在全孔灌浆完毕后，先采用导管注浆法将孔内余浆置换成为水灰比 0.5 的浓浆，而后将灌浆塞塞在孔口，继续使用这种浆液进行纯压式灌浆封孔。封孔灌浆的压力可根据工程具体情况确定，一般不宜小于 1MPa，当采用孔口封闭法灌浆时，可使用最大灌浆压力。灌浆持续时间不应小于 1h。

当采用自下而上灌浆法，一孔灌浆结束后，通常全孔已经充满凝固或半凝固状态的浓稠浆体，在这种情况下可直接在孔口段进行封孔灌浆即可。

3) 导管注浆封孔法是指在全孔灌浆完毕后，将导管（胶管、

铁管或钻杆)下入到钻孔底部,用灌浆泵向导管内泵入水灰比为0.5的水泥浆。水泥浆自孔底逐渐上升,将孔内余浆或积水顶出孔外。在泵入浆液过程中,随着水泥浆在孔内上升,可将导管徐徐上提,但应注意务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。这种封孔方法适用于浅孔和灌浆后孔口没有涌水的钻孔。

采用上述方法封孔,待孔内水泥浆液凝固后,灌浆孔上部空余部分大于3m时,应继续采用导管注浆法进行封孔;小于3m时,可使用干硬性水泥砂浆人工封填捣实。

环氧树脂凝胶体强度较高,浆液凝固后,灌浆孔上部空余部分小于3m,则没有必要再用水泥浆进行封孔,可使用干硬性水泥砂浆人工封填捣实;如大于3m,应采用导管注浆法进行封孔,而后进行人工封填捣实。

7.6 特殊情况处理

7.6.3 灌浆恢复后,若吸浆量变化不大,可继续灌浆,若吸浆量明显减少,应采取补救措施。

7.6.4 在正常情况下,化学灌浆应处于水泥灌浆所形成的相对封闭的区域中,出现涌水说明水泥灌浆封闭的效果较差。因此,如涌水量较大,则应首先进行水泥灌浆,待凝固后再进行化学灌浆;如涌水量较小,亦可采用本条所列的其他措施进行综合处理,而后达到7.5.1所列的正常结束标准即可。

7.6.6 本条文包括两种情况,一是灌浆压力突然下降或注入率突然增大的情况,二是灌浆压力突然增大或注入率突然减小。无论出现哪种情况,都应当立即查明原因,及时处理。在采用环氧树脂作为灌浆材料的情况下,前一种情况处理起来往往比较困难。在小浪底工程F₁断层带化学灌浆试验和三峡工程F₂₁₅断层带化学灌浆试验工程中,均采取了先迅速降压的方法处理,低压灌注一段时间后,如果注入率变化不大或继续增加,则采

用改变浆液配比、低压长时间灌注、间歇等方法处理。此外，也有的工程采用了改灌水泥浆等措施，但操作比较繁琐。后一种情况多由设备运转不正常或管路堵塞所致，应立即进行检查，及早恢复灌浆。

8 砂层化学灌浆

8.1 一般规定

8.1.1 水文地质与工程地质资料主要包括被灌地段地层资料、颗粒组成、渗透系数、容重、孔隙率等各项物理指标及压水试验资料、地下水水质化学分析资料等。

8.1.2 参见 7.1.3 条文说明。

8.1.3 在有盖重的条件下进行灌浆，能有效减少表层漏浆，可使用较高的灌浆压力，有利于提高灌浆质量。

盖重的类型有多种，以往的工程实例中采用混凝土盖板的工程较多，但有的工程采用了黏土铺盖或加密灌浆形成盖板，具体类型可以结合上部建筑物的防渗结构型式和工程的具体情况确定。

8.2 钻 孔

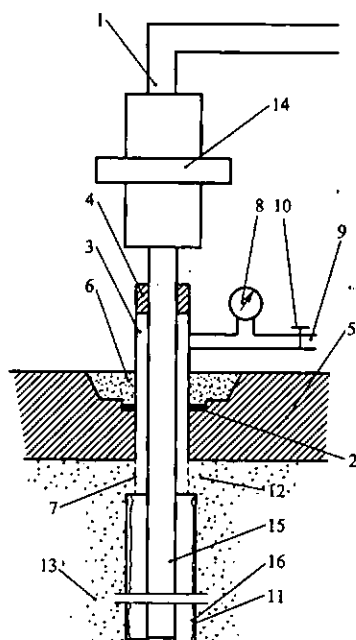
8.2.1 砂层钻孔的主要问题是成孔，以往的灌浆工程采用了各种各样的钻孔机械和钻孔方式，均能满足灌浆的要求，因此不作统一规定，只要能提高工效、降低成本，均可采用。

8.3 灌 浆

8.3.1 循环钻灌法、预埋花管灌浆法灌浆工艺示意图分别如图 1、图 2 所示。

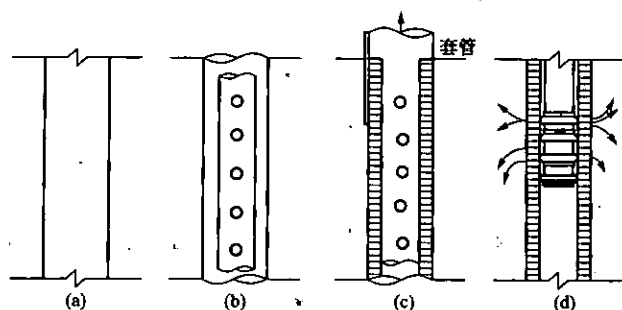
8.3.2 主要针对循环钻灌法而言。采用循环钻灌法在砂层中钻孔，会有不同程度的塌孔现象，采用花管可减少堵管并使全孔均能得到灌注。

8.3.3 化学浆液具有良好的灌入能力，对于循环钻灌法而言，采用合理段长有利于保证灌浆质量和施工速度；对于预埋花管法而言，灌浆塞的移动较容易，采用较小段长有利于保证灌浆质量。



1—灌浆管；2—防浆环；3—孔口管；4—封闭器；5—黏土铺盖；6—混凝土或砂浆；
7—孔口管下部的花管；8—压力表；9—回浆管；10—阀门；11—孔壁；12—盖板灌浆段；
13—砂砾石层；14—钻机立轴；15—孔内灌浆管；16—射浆花管

图1 循环钻灌法灌浆工艺



(a) 成孔后下套管；(b) 插入花管；(c) 灌入封填料，提升套管；

(d) 下入带双止浆塞的灌浆管，开始灌浆

图2 预埋花管法灌浆工艺

8.3.4 浆液的扩散半径计算公式很多，马格公式计算最简单。

8.3.5 砂层中往往存在软弱层面，使用高压，大流量容易导致地层劈裂、浆液集中流失的问题，不仅造成浆液浪费，而且影响灌浆质量。

8.3.6 预埋花管的主要作用是护壁和通过花眼向地层注浆，灌后要留在孔内。随着我国塑料工业的发展，塑料管强度已能够满足灌浆的要求，采用塑料管用作灌浆管，可以降低工程成本，但要求通过试验证明其强度能够满足灌浆要求。

8.3.7 封填料主要由水泥、砂和黏土等材料组成，填充于花管与孔壁之间的空隙，用于防止灌浆时浆液沿孔壁上返。强度太高，灌浆时不易劈开，强度太低则达不到阻止浆液上返的目的。表 7 为某工程封填料的配比及强度指标。

表 7 某工程封填料的配比及强度指标

水泥	粉质黏土	水	抗压强度 MPa	开环压力 MPa
1	1.5~1.7	2	0.3~0.5	0.1~0.3

8.3.8 化学灌浆的结束标准，理论上应该采用定量灌注，但实际施工时，很多情况下，灌入量不能达到设计量，除非使用很高的压力。国外有的工程一序采用定量灌注，二序根据流量—压力关系判断是否应该结束。国内工程结束标准有多种，但大部分采用定量和注入率小于某一数值的双重标准。鉴于化学灌浆的复杂性，很难确定统一的标准，本条文未作具体规定，可根据工程目的和具体要求按设计要求确定。

9 混凝土裂缝化学灌浆

9.1 一般规定

9.1.1 调查资料要求真实、齐全、准确、清晰。主要项目包括：缝宽（表面宽度）、缝深、缝长、裂缝方向、倾向、所在部位、高程、数量、缝面是否渗水、溶出物等。

鉴于本标准“限在混凝土裂缝发生后，仅对灌浆处理及检测行为”进行规定的原则，因此化学灌浆试验或灌浆前的一些工作，如裂缝调查分析等不为制定内容。但考虑到实际工作中检查和裂缝统计与灌浆往往不可分，经常会在一起做甚至被要求参与原因分析和依据检查资料对裂缝进行分类，以正确、合理地对裂缝进行危害性评估及选择加固方案。所以化学灌浆试验或灌浆前的调查、分析、统计和制定分类标准、方法等工作，本标准原则要求按照各自工程的具体情况开展。

9.1.2 混凝土裂缝化学灌浆方法除钻孔灌浆法、贴嘴灌浆法和钻孔加贴嘴灌浆法这3种方法外，还有真空注入法和从国外引进在国内工程中应用的其他注浆方法，如日本的“壁可法”等。由于水工建筑物以前3种方法施工居多，因此进行了标准制定。其他因应用较少且经验不多或技术工艺不成熟，暂不考虑标准的制定。

如何选择适宜的灌浆方法应根据裂缝的产状及工程技术要求具体情况确定，参见表8。

9.1.3 通常，裂缝的灌浆时间若选在冬季气温最低裂缝开度最大的时段进行，其可灌性好容易保证浆液的饱满密实和不留隐患。但也不是一概而论，例如大体积混凝土的温度应力裂缝——活缝，就不宜在开度最大时进行灌浆，因为灌浆后裂缝因升温开始闭合

表 8 混凝土裂缝灌浆方法与选用

裂缝深度	灌浆方法	选 用 说 明
≤1.5m	贴嘴灌浆	当裂缝深度较浅,具有良好的联通性和通畅性时,其灌浆浆液的扩散、充填等均能获得较好的效果且不因钻孔损伤混凝土,因此优先采用,尤其是板、梁、墩薄壁结构
	钻孔灌浆	当裂缝的联通性和通畅性相对较差,或联通但通畅性欠佳时,可考虑采用此方法。 钻孔灌浆法以低位孔为进浆孔,高位孔为排气、排水及放浆之用,低位孔可以是斜孔也可能是骑缝孔或斜孔加骑缝孔形式,高位孔则宜采用深度较浅的骑缝孔(也可改用贴嘴方式,具体视工程要求而定)
>1.5m	钻孔加贴嘴	当裂缝深度较大,贴嘴灌浆法受浆液扩散半径和灌浆压力局限不宜采用时,可考虑采用此方法。 原则上,钻孔可以是斜孔或骑缝孔,但受钻孔精度及裂缝产状不规则等因素影响,“骑缝”不易骑准,因此钻孔宜采用斜孔并以此作为进浆孔,贴嘴以做排气、排水及放浆之用

时,缝中浆材将处于逐渐增大的受压状态,对于那些抗压强度较低的浆材是不利的,而对于抗压强度较高的浆材又会出现对裂缝尖端产生劈裂作用,恶化裂缝原有形态和性质。所以,“活缝”需要进行理论计算得出结构的应力状态,再结合选用浆材的性能和特点确定最适宜的灌浆时间。

对基本稳定不再发展的裂缝,即“死缝”,可按工程要求及时灌浆,但不宜在高温天气条件下露天作业。

其他无法判定是否继续发展的裂缝,宜选在每年低温季节裂缝张开度较大时进行灌浆,但不宜在雨雪或大风等恶劣气候的露天环境下进行。这里强调“较大”,目的是为保险起见,尽量避免“尖端劈裂”或重新拉开现象。

若因种种原因不能在低温季节灌浆时,应对混凝土裂缝缝口及时妥善地封闭保护,防止污物进入缝面造成污染。

9.1.4 混凝土施工缝(惯称冷缝),一般均由于下层混凝土仓面打毛冲洗不彻底、不干净,或混凝土仓面低洼处有积水、积碴、积砂等,在上层混凝土浇筑完成之后即产生结合不良的层面施工

缝。根据工程要求并非全部的施工缝要求进行灌浆处理，对有要求进行灌浆处理恢复其整体性的施工缝，一般采用化学灌浆。灌浆方法、工序流程和技术标准等与混凝土裂缝基本相同，因此可按照混凝土裂缝化学灌浆的要求执行。

9.2 灌 浆 准 备

9.2.1 钻孔分为骑缝孔和斜孔两种形式。骑缝孔应顺裂缝倾向钻进，斜孔则应根据裂缝的产状布置在裂缝的一侧或两侧，一般情况下应以孔深最浅和最有利于浆液的扩散为原则进行布置。

钻孔的排数、孔深、孔排距和斜孔倾角等参数，与灌浆效果、质量、工程成本密切相关，由于各种裂缝的边界条件和各工程的灌浆技术要求不同，对重点工程或重点部位，这些参数应通过现场试验后确定，设计有要求时按设计要求执行，无设计要求时，可参照附录 D 公式进行计算，必要时通过现场试验验证。

9.2.2 灌浆孔的钻孔设备目前有回转钻、风动钻、手电钻等，根据工程需要可选用适宜的钻机进行钻进。钻孔前，应确定混凝土中是否有预埋件，若有必须合理避让。钻孔过程中，应采取定时量测孔深、校测钻孔与混凝土面夹角等措施，以确保钻孔按设计角度成孔。

无论采用什么型式的钻机，钻机钻进过程中其孔内粉末和碎屑总是存在，若不采取措施防止或减少，容易堵塞裂缝，不仅影响缝面与孔（嘴）的畅通，而且影响灌浆效果和质量，甚至灌不进浆。因此必须采取有效措施进行避免。常规的措施有勤提钻、勤吹孔，尤其钻孔将要穿过缝面前（接近 100mm~200mm 时），将孔内吹干净，再钻进。

一般工程中斜孔的钻孔孔径最小为 12mm，对于骑缝孔，为保证钻孔能“骑准”，规定最小孔径为 25mm。

9.2.3 钻孔终孔后应及时冲（吹）洗干净并验收，埋设灌浆管，以免粉末、碎屑、污水或异物落入孔内堵塞钻孔和裂缝。灌浆管

宜高出混凝土面 100mm，不合格钻孔应重新补钻。因此，钻孔与埋管应是一个连续作业的施工工序，宜一气呵成。

压缩空气应通过油水分离专用设施过滤，以保证洁净。

9.2.4 钻孔内填过缝钢筋或投放干净、干燥的小石其目的是减少钻孔占浆量以节约成本，同时可提高孔内浆材固结物的强度。这一做法参照了三峡工程混凝土裂缝化学灌浆技术要求而制定。

9.2.5 贴嘴，即粘贴注浆嘴。其间距的疏密不仅决定着浆液扩散半径的大小，而且是影响灌浆质量好坏的一个重要因素。一般情况下，规则裂缝的交叉点是浆液扩散、分配的关键点，尖灭点（裂缝的端部）是死点，因此应专门粘贴注浆嘴。

注浆嘴，目前国内尚无统一标准和型式，各工程均可根据自己要求制作，可以是铁质焊接也可以是硬塑料整体铸成，推荐基本结构如图 3 所示。注浆嘴周边设小孔目的是增加粘接强度。

这里需要说明的是：过去工程中还有一种盒式灌浆嘴与现注浆嘴相似，但已基本不用，因此本标准不作规定。

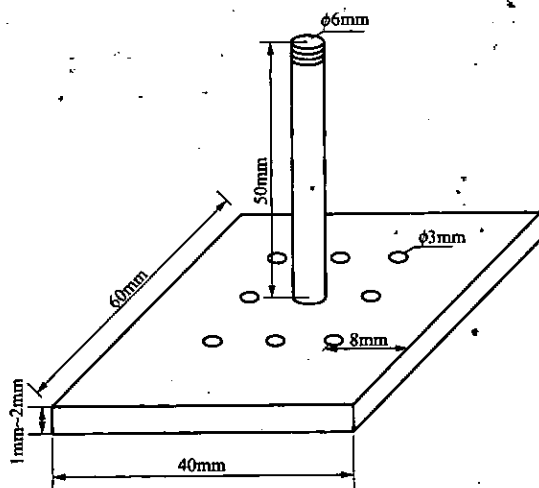


图 3 注浆嘴示意图

9.2.6 封缝，就是对裂缝缝口采用胶结材料进行封闭，其目的是为止浆，防止浆液流失，确保浆液在灌浆压力的作用下将裂缝充填密实。

封缝通常有凿槽法和表面封缝法，前者对大体积混凝土而言，无论是干缝口（无水）或湿缝口（有水）条件下均适用，对小构件、薄壁结构不适用；后者对大体积混凝土和小构件、薄壁结构均适用，但最好在干缝口条件下使用。凿槽形式一般有“U”、“V”形槽两种，如图4所示。

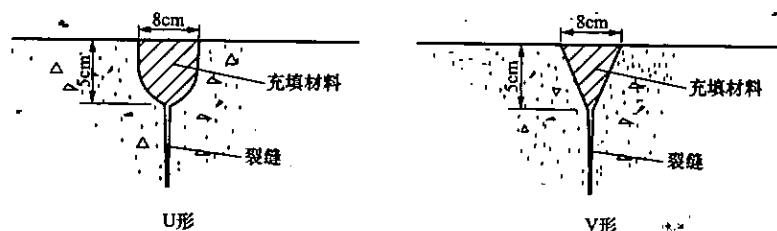


图4 混凝土裂缝凿槽封缝示意图

采用凿槽法时，其槽中的充填材料根据工程具体情况采用环氧砂浆、聚氨酯嵌缝膏、丙乳砂浆或水泥砂浆、预缩砂浆等。但当缝口为湿缝口时，充填材料可选用速凝水泥、水泥水玻璃、堵漏灵等。同时，对漏水裂缝应在大漏水处钻孔埋管导流，然后在小漏水处堵漏止水，逐渐达到全部表面不漏为止，再进行压风试验，发现漏风部位再进行处理。

对于垂直面或斜面上的裂缝，采用凿槽法封缝时，有些充填材料往往由于本身自重作用，在凝固之前会向下流淌使上部脱开，应采取相应措施予以防止，如采用模板支护等。

布液相间粘贴和表面涂抹均属表面封缝法范畴，封缝不必凿槽。布液相间粘贴可采用环氧等胶黏剂将玻璃丝布粘贴在裂缝表面，一般为“三液二布”。表面涂抹封缝如三峡工程采用环氧胶泥直接涂抹封缝，取得了较好的效果。

总之，封缝工序是裂缝灌浆中的一道重要工序，目前大多数工程仍然沿用，但也有工程如小浪底工程部分混凝土裂缝灌浆则取消了这一工序，认为混凝土微细裂缝或用超细水泥灌过的裂缝连通性较差，为使浆液在裂缝中充填饱满，与其凿槽封缝，不如多次布孔灌浆。至于浆液流失问题，认为，混凝土微细裂缝实现“由钻孔灌进，自缝面溢出”很不容易，需较高的压力和较长的灌注时间才能充填密实，不存在浆液大量流失问题。

考虑大多数工程仍有裂缝缝口灌前进行封缝的工序要求，因此封缝工序被列入并规定，当工程无要求时，可不采用。

9.2.7 贴嘴时应用定位针穿过进浆管，对准缝口插入并将注浆嘴骑缝压向混凝土面，拔出定位针时，以不黏附嘴胶（胶黏剂）为合格。不合格时，应清理缝口，重新贴嘴，直至合格。

为确保灌浆过程中管、嘴及封缝不脱落不开裂，粘贴强度宜为灌浆压力的 1.5 倍。

9.2.8 统一编号的主要目的是便于现场施工管理方便和成果资料的整理。

9.2.9 压风检查裂缝与埋管、贴嘴之间的畅通性和封缝的密封性以及管路安装的牢固性、可靠性等，是确保灌浆能否顺利进行的重要手段。为便于观察，压风前可在管（嘴）封缝材料表面涂抹肥皂液或用其他有效方法，观察压风过程中有无气泡出现和有无漏气现象。发现质量问题应做好标记并及时处理，直至合格。

在过去的工程中有压水检查的实例，通过压水，测得其注入量和进水速度，为储备灌浆浆材和控制灌浆压力提供参考数据。近年来大多数工程已不主张压水，只是“试气”即压风检查，因此本标准对灌浆前压水检查不做规定。

9.3 灌 浆

9.3.1 立面竖向裂缝（包括斜缝）灌浆应从最底部一个灌浆孔（嘴）开始，自下而上逐孔（嘴）上移注浆，随着灌浆过程的进展，

浆液在缝面内逐步上升，当最上部一个灌浆孔（嘴）出浆时，表明缝已灌满，于是关闭灌浆管阀门，达到结束标准时结束灌浆。

立面的水平裂缝或接近水平状裂缝由于高差小，排气比竖向裂缝差，因此灌浆前应打开所有灌浆孔（嘴），灌浆开始后使浆液自里向外、自一端流向另一端，在此过程中相邻孔（嘴）出浆时，出一个关闭一个，直至最后一个灌浆孔（嘴）出浆后，将其关闭，达到结束标准时结束灌浆。

平面上的裂缝可从通畅性最好的一个灌浆孔（嘴）开灌，然后向两边同时施灌。

9.3.2 分区灌浆前的钻孔封堵，钻孔一般可采取骑缝，必要时结合斜孔进行，孔内可回填砂浆等适宜材料，也可采用阻塞装置进行孔内卡塞。间隔灌浆分割一般较复杂，灌浆方法以及材料应根据具体情况与设计商定。

9.3.3 本条与 9.3.1 “自下而上、由深孔到浅孔”、“自一端向另一端”、“同时向两端”，配套使用。

参照三峡工程技术要求实例说明并联式灌浆方式的含义。即并联灌浆最多可并联 5 个灌浆嘴，应按 1、2、3、4、5 的顺序逐个并联灌注，且只有在 1 号灌浆嘴在设计压力 0.4MPa 下，吸浆量小于 0.004L/min、灌浆时间达 15min 时，邻近的 2 号灌浆嘴才能接灌浆管并联灌浆；2 号灌浆嘴在设计压力下，灌浆时间达 15min，1 号和 2 号灌浆嘴吸浆量小于 0.004L/min 时，3 号灌浆嘴才能接灌浆管并联灌浆；按以上步骤重复到 5 号灌浆嘴并联灌浆也达上述标准时，可将 1 号灌浆嘴关闭或关闭灌浆管路，把 1 号灌浆嘴的灌浆管接到 6 号灌浆嘴进行灌浆。一直到该缝的最后 5 个灌浆嘴在设计压力下，吸浆量为零后稳定 30min 结束。

上述要求在实际工作中往往会出现下述情况，1 号灌浆嘴还未达设计压力，吸浆量还未小于 0.004L/min，2 号灌浆嘴已出浆，此时也必须接管并联灌浆。

钻孔加贴嘴灌浆法中，骑缝孔和斜孔均为首选的灌浆孔，贴

嘴的功能开始是排气、排水。当贴嘴出浆时表明气、水排尽，此时相邻多孔出浆可并联灌浆。

9.3.4 逐级提升灌浆压力目的是防止发生有害的变形，产生不良后果。每级提升量值宜控制为 0.05MPa。实施时应依据具体工程的允许增开度或抬动值的大小而定。接近增开度或变形允许值时，量值应逐级变小。

实际工程中以堵漏为目的的裂缝灌浆，应尽快提升压力，但也不能产生有害变形，只是此时的提升量值可加大。

9.3.5 不同类裂缝或不同的浆材，以及不同的灌浆方法，灌浆结束标准会不尽一致，各工程各类裂缝必须按各自规定的灌浆结束标准执行。

9.3.6 灌浆结束按工程要求规定对埋管、贴嘴及封缝材料进行拆除清理。目的是保证外表美观和尽量回收埋管及贴嘴。孔内浆材固结物达到或超过混凝土强度时可不清除，对强度不高的浆材固结物应清除，并按设计规定的材料、工艺和方法重新封孔并抹平，以保证混凝土的整体强度。

9.4 特殊情况处理

9.4.1 发现浆液冒浆和外漏，不宜采用间歇灌浆的方法。间歇后灌浆管路和缝面易于堵塞，很难或无法从原管路复灌。

9.4.2 本条是指灌浆的初始至中间阶段的处理方法。“预计值”指灌浆在设计压力下进浆量或注入率达不到理想的“量”和注入速度慢或灌不进。此时，经设计同意可以适当加大灌浆压力。

9.4.3 灌浆过程中断的原因主要有：机械故障、制浆速度慢或停水、停电等。对中断查明原因后应尽快恢复灌浆。重点部位的裂缝灌浆时，需有备用灌浆设备。

9.4.4 灌浆达不到结束标准的原因有多种且较为复杂，要视具体情况与有关方面商定解决。一般浆液注入量突然减小，可能是管路被堵或浆液浓度有变化所致；浆液注入量突然增大，可能是有

部位被击穿发生泄漏或管路破裂、脱落所致。总之，要及时查明原因，进行处理。

9.4.5 裂缝与混凝土内部预埋件的串通问题，应在灌前检查时发现，以便制定措施进行保护。若灌前不串通而在灌浆过程中突然串通，应采取封堵、限制浆液扩散半径或定量灌注等方式进行控制，并配合冲洗等措施防止堵塞预埋件。

9.4.6 在水工建筑物中，经常会遇到需要在水下处理的裂缝，如水库大坝深水部位的裂缝、导墙部位的裂缝、尾水护坦底板的裂缝等。由于目前水下施工设备有了迅速的发展，在水下对混凝土进行凿槽、钻孔、切割等一系列操作已经可以实现，且国内已有多项水下裂缝灌浆处理工程实例，因此编制了本条混凝土水下裂缝化学灌浆的基本标准。

混凝土水下裂缝化学灌浆从施工角度上说，应由具有水下作业资质和能力的专业人员进行，从施工技术上说与普通的混凝土裂缝化学灌浆原则一样，施工工艺也类似，其操作一般均由潜水员在水下进行。两者最大的区别在于灌浆材料的选择，对于水下灌浆所采用的材料，其固化不应受水的影响，同时固结体在水中与混凝土应有良好的粘接，这样才能保证灌浆达到应有的目的。目前，国内外许多厂家已开发了多种专用于水中灌浆的材料，使用前最好能够通过试验加以论证。

鉴于水下作业的特殊性，贴嘴法难于实施，封逢和灌浆宜采用凿槽嵌缝、钻孔灌浆法施工。

10 混凝土结构缝化学灌浆

10.0.1 混凝土结构缝在施工过程中可能因各种原因被修改，因此混凝土结构缝在化学灌浆试验或灌浆前，必须了解结构缝的设计及竣工相关技术资料，为制定钻孔、灌浆试验或灌浆处理方案，细化灌浆措施和取得良好的灌浆质量，提供可靠的技术保障措施。

10.0.2 混凝土结构缝灌浆施工时机与混凝土裂缝灌浆时机相同。

10.0.3 混凝土结构缝属变形缝，主要包括伸缩缝、接缝等。对结构缝进行化学灌浆多数是为防渗漏。例如葛洲坝船闸结构缝，因使用年限长结构变形等原因，部分止水系统逐渐失效，导致局部出现渗漏水现象，为此采用了适应变形的 LW、HW 和 GS 材料进行灌浆处理。

另有少数以改善传力条件增强建筑物整体性或其他要求的灌浆，如潘家口水库坝体接缝灌浆，因处于廊道口附近的已灌浆灌区超冷后缝面再次拉开，经研究采取打骑缝孔灌注改性环氧浆液，收到一定效果。环氧浆液是能改善传力条件增强建筑物整体性的材料。

10.0.4 混凝土裂缝灌浆的几种方法同样适宜结构缝灌浆。

10.0.5 与混凝土裂缝不同，结构缝宜用洁净水进行压水检查和洗缝。

11 混凝土与钢结构接触缝化学灌浆

11.0.1 混凝土与钢结构的结合部位。例如水轮机机组的座环、基础环板和压力钢管、蜗壳、肘管以及各种工作门、检修门的门槽滑轨等，由于浇筑手段、混凝土收缩等原因，常会出脱空（接触缝）现象。这些接触缝脱空不进行处理，将会影响运行稳定与安全。处理方法一般优先采用水泥灌浆，当水泥灌浆不能满足设计要求或设计要求采用化学浆材充填时，再进行化学灌浆。

接触缝脱空范围检查采用敲击法。经敲击检查确定的每一个独立的脱空范围区，应作资料记录和现场标识，为布孔、灌浆过程中敲击振动钢结构和灌后检测提供依据。至少布置两个灌浆孔，目的是低位孔灌浆高位孔排气、排水，最后排浆。

11.0.2 经过水泥灌浆后仍达不到设计要求的灌区，当改用化学灌浆时，应充分利用原有的水泥灌浆孔（嘴）进行统一布置。目的是减少在钢衬上的开孔；前提是原有孔（嘴）经扫孔、压风检查可利用时。

11.0.3 因化学浆材为真溶液，不含固体颗粒，可灌性好，因此灌浆孔径不宜过大。测记钢衬与混凝土之间的间隙尺寸目的是为了了解脱空程度和可灌性，为制定灌浆措施提供技术参数。工程实践发现，当间隙尺寸很小实际测记很困难，甚至无法量测，通常只能采用压风的方法判定其可灌性。

11.0.4 采用丝扣连接灌浆管（嘴）施工简单，便于拆卸。

11.0.5 应逐孔（嘴）、间歇、换向交替反复吹风。

11.0.6 当竖井、斜井、门槽的钢衬接触灌浆时，如一个灌浆片连续高差太大（如大于 15m），应注意防止浆体自重压力压迫钢衬变形。

11.0.8 设计无具体灌浆结束标准时，可参照本标准。

11.0.9 对钢衬钻孔实施焊补并磨平其具体的技术要求应按金属结构相关要求执行。

12 质 量 检 测

12.1 一 般 规 定

12.1.1 化学浆材随着环境的变化（如温度等）其物理性能可能产生改变，因此施工过程中应随时检测和控制并认真做好记录，以便成为灌浆质量评价的重要依据。

12.1.2 除混凝土与钢结构接触缝外，基岩、砂层化学灌浆、混凝土裂缝、结构缝化学灌浆质量检测，一般均进行钻孔压水试验和取芯素描绘制钻孔柱状图。其他辅助方法则根据工程要求进行。

化学灌浆按目的可分为防渗堵漏和固结补强两类。前者目的是减少渗透性，故多采用压水（注水）试验、钻孔取芯并绘制岩芯柱状图等方法进行检测；后者的目的则是提高岩体的完整性，从而达到提高受灌体强度和抗变形能力的作用，故采用声波或弹模测试和压水试验相结合的方法，必要时辅之以孔内电视录像、岩芯物理力学试验、大口径钻孔等手段，作为固结化学灌浆质量检测、分析的依据。

混凝土与钢结构接触缝化学灌浆则是一种充填灌浆，检测方法也比较特殊，一般采取敲击检测法。

钻孔压水（注水）试验和声波、弹模测试等检测项目的比例可由设计或监理单位根据工程实际情况选定。

12.1.3 检测时间，例如压水试验在灌浆结束后何时进行，应根据所采取的化学灌浆材料的性能而定。水玻璃、丙烯酸盐、聚氨酯类材料凝胶体强度增长很快，一般在灌浆结束后 7d 即可进行压水试验。环氧树脂等材料的聚合体强度增长比较缓慢，压水试验宜在灌浆结束一个月后进行。固结化学灌浆材料主要是环氧树脂材料，它的聚合体强度增长比较缓慢，岩体波速测试、静弹性模

量测试和芯样物理力学指标试验均宜在灌浆结束 1~3 个月后进行。

12.1.4 基岩、砂层化学灌浆，混凝土裂缝、结构缝、接触缝化学灌浆，检测工作结束后均需封孔，但各自的方法和要求是不同的，应按技术要求进行，有灌浆要求的还要进行灌浆。

12.2 基岩化学灌浆质量检测

12.2.1 本条 2、3 为灌浆工程质量容易发生问题的部位，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。

12.3 砂层化学灌浆质量检测

12.3.1 “末序孔注入量异常的孔段附近”及“钻孔偏斜过大、灌浆过程异常等经分析资料认为可能对质量有影响的部位”均为灌浆工程质量容易发生问题的部位，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。

12.3.4 压水结果或注水试验结果为灌浆质量检测主要评定指标，采用泥浆钻进会影响试验的准确性。

12.4 混凝土裂缝化学灌浆质量检测

12.4.1 贯穿性裂缝、深层裂缝和对结构整体性有影响的裂缝是灌后质量检测的重点。结合施工记录、成果资料分析确定的检测部位应包括灌浆过程有异常和质量较好的（两类）部位，以及有代表性的裂缝。其中，质量较好的部位进行检测其目的是与灌浆异常部位进行对比分析和比较。

12.4.2 有设计要求时，按设计规定执。无规定时，按本条执行。

12.4.3 压水试验压力和稳压时间会因不同类裂缝或不同的浆材，检测标准不尽一致，各工程应按各自的技术规定执行。无规定时，按本条执行。

12.4.4 由于目前水下裂缝灌浆大多为应急处理工程，因此认为应由设计提出具体的检测方法及相关质量合格检测指标。例如，要求渗漏量减少到多少量值时即为合格，等等。当设计无明确规定时，按本条文执行。

考虑到水下裂缝灌浆施工技术复杂，一旦有问题返工处理施工难度大，因此，要求每条缝均进行检测。

12.5 混凝土结构缝化学灌浆质量检测

12.5.1 与混凝土裂缝不同，结构缝是规则的人工缝，灌浆后质量检测仅选代表性的同类缝和重要部位的结构缝即可，相对单一。结合灌浆成果资料综合分析，确定检测的部位应包括灌浆过程有异常和质量较好的部位，其中质量较好的部位进行检测其目的是与灌浆异常部位进行对比分析和比较。

12.5.3 有些混凝土结构缝灌浆后压水或外观检查是合格的，但当蓄水发电运行时，又出现漏水现象。所以，还是尽量按设计规定的压力进行检测。

12.6 混凝土与钢结构接触缝化学灌浆质量检测

12.6.1 根据灌浆材料的不同性质，适时确定灌后检测的具体时间。检测以敲击法为主，有特殊和设计要求时按规定方法执行。例如，景洪水电站机组蜗壳与混凝土接触缝灌浆完成并敲击检查后，对质量怀疑部位又采用了中子法检测技术检测蜗壳周边混凝土脱空情况。该方法原理和依据是：

利用快中子慢化原理，让快中子穿过钢板与钢板下混凝土材料相互作用，从而被慢化减速产生热中子。只要钢板下混凝土在平面上和沿深度方向上充填分布不均匀，即存在脱空缺陷，那么在相应部位测点上热中子分布就会出现异常。用热中子探测器测取检测面上各测点处的热中子计数率，根据测取的热中子计数率大小变化和分布规律，可探查出钢板下混凝土脱空缺陷。本项中

子检测技术能无损、快速、准确和安全地探查出厚度达 60mm 钢板下浇筑混凝土脱空缺陷，并能确定脱空缺陷平面分布范围和大致深度。

该项技术先后也在黄河小浪底、万家寨、天生桥一级水电站和广西桂平、贵港等大型水利、水电、航运工程中得到应用。

由于各种原因产生的灌浆脱空，其面积应小于设计规定值，否则应采取补灌措施。现国内工程已有不同的允许脱空值，面积分别有： 0.3m^2 、 0.5m^2 、 1.0m^2 不等。

12.6.2 所有被灌浆范围应 100% 进行锤敲检测。

13 劳动安全保护和环境保护

13.0.2 目前应用的化学灌浆材料除硅酸盐类之外,都具有不同程度的毒性,有些化学材料还具有易燃、易挥发特性。如化学灌浆材料中的主剂、溶剂、固化剂及其他助剂等,许多都含有一定的刺激性和毒性,它可以通过人的呼吸道、消化道吸入,或通过皮肤黏膜渗入,对人体造成伤害,因此规定在进行化学灌浆作业时,需穿好防护服、戴防毒口罩、护目眼镜和防护手套。

13.0.3 为保证化学灌浆施工人员的健康,施工场所应尽量保证通风良好,对于室内(或洞内)的操作,则必须有足够的排风设备,并且施工人员应尽可能在上风操作,以减少操作人员与化学灌浆材料中有害气体的接触。

13.0.4 在实验室及施工现场禁止进食和吸烟,主要是防止有害物质进入人体内部,对人造成更大的伤害。

许多有机溶剂(如丙酮等)对皮肤黏膜有刺激作用,特别是如果皮肤有破损,灌浆材料容易通过溶剂渗入人体,对人体造成伤害,因此应禁止使用丙酮等渗透性强的溶剂洗手、洗饮食器具及衣服。

13.0.5 许多化学灌浆材料及助剂属易燃易爆品,因此应按照国家关于化学危险品的运输要求进行运输。

13.0.6 对于易燃易爆的灌浆材料,在储存时也必须按照相应的要求配备必要的通风、消防设施。

13.0.7 灌浆过程中产生的废浆、弃浆等,如果任其流入河流、土壤中,其中含有的有害物质可能会对水源及土质造成影响,因此是不允许的。由于绝大多数的浆液的固结体是无毒的,故可采用加入固化剂使其凝胶固化,以减少对环境的污染。