

中华人民共和国水利行业标准

SL/T 802—2020

水工建筑物水泥化学复合灌浆施工规范

水工建

Specification for cement - chemical compound  
grouting construction of hydraulic structures

Spe  
gro

2020 - 12 - 25 发布

2020 - 12 - 25 实施

2020 - 09

中华人民共和国水利部 发布

固定电话 8008699855  
手机短信 4007328366



修复  
的公告

中华人民共和国水利部

关于批准发布《河湖生态系统保护与  
工程技术导则》等 2 项水利行业标准的公告

2020 年第 15 号

中华人民共和国水利部批准《河湖生态系统保护与修复工程技术导则》（SL/T 800—2020）等 2 项为水利行业标准，现予以公布。

序号	标准名称	标准编号	替代标准号	发布日期	实施日期
1	河湖生态系统保护与修复工程技术导则	SL/T 800—2020		2020.9.25	2020.12.25
2	水工建筑物水泥化学复合灌浆施工规范	SL/T 802—2020		2020.9.25	2020.12.25

水利部

2020 年 9 月 25 日

# 前 言

根据水利技术标准制修订计划安排，按照 SL 1—2014《水利技术标准编写规定》的要求，制定本标准。

本标准共 10 章和 3 个附录，主要技术内容包括：

- 复合灌浆材料和浆液制备；
- 复合灌浆试验；
- 基岩复合灌浆；
- 隧洞复合灌浆；
- 覆盖层复合灌浆；
- 质量检查；
- 劳动安全防护和环境保护；
- 施工记录和完工资料。

本标准批准部门：中华人民共和国水利部

水利部水利工程建设技术标准部水利工程建设司

水利部水利工程建设司

水利委员会长江科学院

勘测规划设计研究有限责任公司

水电基础局有限公司

葛洲坝集团市政工程有限公司

中国水利水电出版社

本标准主持机构：水利部

本标准解释单位：水利部

本标准主编单位：长江

本标准参编单位：长江

中国

中国

本标准出版、发行单位

魏 涛

孙 亮

周 若

本标准主要起草人：汪在芹 李 珍 景 锋

肖承京 邵晓妹 邹德兵

辜永国 张 健 张 达

本标准审查会议技术负责人：杨晓东

本标准体例格式审查人：陈登毅

本标准在执行过程中，请各单位注意总结经验，积累资料，

随时将有关意见和建议反馈给水利部国际合作与科技司（通信地址：北京市西城区白广路二条 2 号；邮政编码：100053；电话：010-63204533；电子邮箱：bzh@mwr.gov.cn），以供今后修订时参考。

# 目 次

1	总 则	2
2	术语	3
3	复合灌浆材料和浆液制备	3
	3.1 一般规定	3
	3.2 复合灌浆设备	3
	3.3 水泥浆液及制备	3
	3.4 化学浆液及制备	3
4	复合灌浆试验	4
5	基岩复合灌浆	8
	5.1 一般规定	8
	5.2 钻孔	8
	5.3 复合灌浆方法	9
	5.4 水泥灌浆	9
	5.5 化学灌浆	10
	5.6 封孔	11
	5.7 特殊情况处理	11
6	隧洞复合灌浆	13
	6.1 一般规定	13
	6.2 钻孔	13
	6.3 灌浆	14
7	覆盖层复合灌浆	16
	7.1 一般规定	16
	7.2 钻孔	16
	7.3 灌浆	17
8	质量检查	18
	8.1 一般规定	18

8.2	基岩复合灌浆质量检查	8
8.3	隧洞复合灌浆质量检查	19
9	复盖层复合灌浆质量检查	19
9	劳动安全防护和环境保护	21
10	施工记录和完工资料	22
附录 A	灌浆工程压水试验	24
附录 B	复盖层灌浆诺比托尔试验	29
附录 C	灌浆工程施工记录表	32
	标准用词说明	47
	条文说明	49

# 1 总 则

1.0.1 为规范水泥建筑物水泥化学复合灌浆工程施工技术要求和质量检查方法，保障工程质量和安全，制定本标准。

水泥建筑物水泥化学复合灌浆工程。

1.0.2 本标准适用于

灌浆前应研究水泥浆材、化学浆材、受灌体的材料适应性。

1.0.3 水泥化学复合

灌浆应遵循先水泥灌浆，后化学灌浆的原则，并应明确化学灌浆开灌条件。化学灌浆开灌条件应根据受灌

1.0.4 水泥化学复合

灌浆应通过灌浆试验确定复合灌浆方法。

1.0.5 水泥化学复合

灌浆参数和质量检查方

1.0.6 水泥化学复合灌浆工程施工前应取得下列文件和资料：

- 1 灌浆工程区的工程地质与水文地质资料。
- 2 施工详图和设计说明书。
- 3 灌浆材料的检测证书、产品合格证、安全和使用技术说明书。

报告。

4 复合灌浆试验

组织设计。

5 复合灌浆施工

要求、质量标准和检查方法。

6 复合灌浆技术

与环境保护措施。

7 职业健康安全

应急预案。

8 特殊情况下的

灌浆工程施工用水、电、风供应以及通信应

9 水泥化学复合

可靠，宜设置专用的管路和线路。复合灌浆作业场所应保障良好的通风和照明。复合灌浆工程根据需要可配置必要的现场试验设施。

1.0.8 已完成或正在实施水泥化学复合灌浆的部位，其附近30m范围内不宜进行爆破作业。

1.0.9 当水泥化学复合灌浆作业环境或受灌体温度高于35℃或

低于5℃时，应采取相应的温度控制措施。

1.0.10 水泥化学复合灌浆工程应制定相应的职业健康、环境保护和废弃物处置措施。

1.0.11 从事水泥化学复合灌浆作业的作业人员，应按专业安全技术等方面的培训，合格后方可上岗。

1.0.12 水泥化学复合灌浆过程中各项施工记录应及时、准确、真实、齐全、整洁，符合工程档案要求。水泥灌浆应使用灌浆记录簿，化学灌浆宜使用记录袋。复合灌浆计量器具应按规定定期进行检定或校验。

1.0.13 鼓励经过试验论证的新技术、新工艺、新设备，可用于水泥化学复合灌浆工程。

1.0.14 本标准主要引用下列标准：

- GB 15193.3 食品安全国家标准 急性经口毒
- GB 15603 常用化学危险品贮存通则
- GB 18218 危险化学品重大危险源辨识
- GB/T 29510 个体防护基本要求

GB 50010 建筑结构设计防火规范

GB 50194 施工现场临时用电安全技术规范

SL 62 水工建筑物水泥灌浆施工技术规范

SL 345 水利水电工程注水试验规程

SL 399 水利水电工程土建施工安全技术规程

DJ/T 5333 水电水利工程爆破安全监测规程

DJ/T 5166 水工建筑物化学灌浆施工规范

JC/T 2037 卤磷酸盐灌浆材料

JC/T 2070 聚氨酯灌浆材料

JC/T 2329 助基及其改性材料环氧树脂灌浆材料

JG/T 211 建筑工程水泥—水玻璃双液注浆技术规范

1.0.15 水工建筑物水泥化学复合灌浆工程的施工与质量验收等工作除应符合本标准规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

## 2 术 语

2.0.1 受灌体 grouted body

接受灌浆的实体对象，本标准主要是指岩土体。

灌浆 cement - chemical compound grouting

其他方法按设定顺序将水泥浆液和化学浆液注入受灌体，以达到防渗、堵漏、补强和加固目的的综合工程

2.0.2 水泥化学复合灌浆 cement - chemical compound grouting

通过钻孔、埋管或埋管注浆等方式将水泥浆液和化学浆液注入受灌体，以达到防渗、堵漏、补强和加固目的的综合工程措施。

复合灌浆 cement - chemical compound grouting

2.0.3 异孔水泥化学复合灌浆 cement - chemical compound grouting by different holes

将水泥浆液注入受灌体，再通过排孔或排内等其他钻孔注入化学浆液的复合灌浆工艺。

他钻孔注入化学浆液的复合灌浆工艺。

al compound

2.0.4 同孔水泥化学复合灌浆 cement - chemical compound grouting by the same hole

过扩孔或扫孔

利用同一钻孔先将水泥浆液注入受灌体，再通过扩孔或扫孔注入化学浆液的复合灌浆工艺。

chemical com-

2.0.5 高压复合灌浆 high-pressure cement - chemical compound grouting

水泥灌浆或化学灌浆压力大于 3MPa 的水泥化学复合灌浆。

2.0.6 细水泥浆液 fine cement grout

以细水泥或超细水泥为主的水泥基浆液。

2.0.7 可操作时间 operation time

化学灌浆，从现场浆液配制到浆液黏度达到设定值所经历的时间间隔。

### 3 复合灌浆材料和浆液制备

#### 3.1 一般规定

3.1.1 复合灌浆的灌浆材料主要包括水泥灌浆材料和化学灌浆材料。

3.1.2 复合灌浆工程应根据工程地质条件、灌浆目的、灌浆材料性能和化学浆材性能等因素，选择适宜的浆液。

3.1.3 水泥灌浆材料可选用普通水泥或细水泥浆液。

3.1.4 化学灌浆材料可选用环氧树脂、丙烯酸盐、聚氨酯、水玻璃等浆液。

3.1.5 复合灌浆工程开始前，应通过室内试验确定化学浆液配合比。

3.1.6 水泥原材料应置于阴凉干燥处进行妥善保存，

3.1.7 化学灌浆材料应存放在密封的容器中，并符合 GB 18218 和 GB 50616 等的相关规定。

3.1.8 复合灌浆工程所用化学浆材应符合 GB 18218 等的相关规定执行。

#### 3.2 复合灌浆设备和机具

3.2.1 水泥浆液制浆机技术性能应与所搅拌浆液的类型、特性相适应，并能保证均匀、连续地拌制浆液。

3.2.2 化学浆液容器能力应与所搅拌浆液的类型和灌浆泵的排量相适应。

3.2.3 复合灌浆工程的灌浆泵应能满足最大和最小注入率的要求。灌浆泵的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%。双液灌浆泵应能按要求的精度调节双液的比例。

3.2.4 对于水泥灌浆压力大于 10MPa、化学灌浆压力超过

安全防护系统等应进行试验论证。

5 化学灌浆设备管路等等，应满足相应的学习培训的要求。

3.2.5

6 复合灌浆中的水泥灌浆宜采用集中制浆站，化学灌浆浆液制备宜在作业面附近实施。

3.2.6  
液制

### 水泥浆液及制备

### 3.3 水

浆的原材料选择，浆液拌制、输送、

3.3.1 普通水泥、细水泥灌浆

按照 SL 62 及相关标准执行。

使用及现场浆液性能检测应按

浆作业面处的水泥浆液进行检测，

3.3.2 应定期对制浆站、灌

应查明原因并及时处理。

当浆液性能不符合要求指标时

### 化学浆液及制备

### 3.4 化

量应与地层特性和灌浆工艺匹配，

3.4.1 化学灌浆材料的配浆

抽检应以批次或定量随机抽取送检，

遵循少量多次的原则。

。

3.4.2 化学灌浆原材料现场

浆液制备可参照 JC/T 2379 及相关

检验项目应根据工程需要确定

3.4.3 环氧树脂灌浆材料及

标准执行。

浆液制备可参照 JC/T 2037 及相关

标准执行。

3.4.5 聚氨酯灌浆材料及浆液制备可参照 JC/T 2041 及相关标准执行。

3.4.6 水玻璃灌浆材料及浆液制备可参照 JGJ/T 211 及相关标准执行。

灌浆试验宜在

**4.0.1** 复合灌浆工程应进行现场灌浆试验。现场试验应在工程招标设计前完成。

**4.0.2** 复合灌浆试验应包括下列内容：

1 论证水泥化学复合灌浆的可行性、有效性和合理性。

2 推荐适宜的浆材、配比、注浆参数、注浆工艺参数及适宜的浆液，并验证其适应性。

3 推荐适宜的浆液开灌条件。

4 推荐适宜的化学灌浆开灌条件。

5 推荐适宜的灌浆孔布置参数、灌浆工艺参数、结束标准。

6 遇有高地应力、高水头、塌孔、涌水、涌泥等特殊地层时，应推荐相应的处理措施。

7 评价复合灌浆灌后受灌体的物理力学特性和抗渗透变形能力，研究受灌体的灌浆特点、单位注入量、检测变形特征等。

8 研究适合本工程特点与要求的灌浆质量检查方法。

9 制定相应的劳动安全防护、职业健康、环境保护等措施。

10 分析复合灌浆工程的工效、进度、工程造价等，并进行灌浆工程优化。

**4.0.3** 复合灌浆的试验场地应具有代表性。宜选在非工程部位，受场地条件限制时可选在工程部位，但不应对工程产生不良影响。当存在性状不同的地质单元或复杂地层时，应布置多个试验区。

**4.0.4** 应按照地质条件、工程特点和环境因素，水泥和化学浆材特点，以及灌浆技术工艺水平，制定复合灌浆试验方案。

**4.0.5** 复合灌浆试验宜在有盖重条件下进行，并应控制浆液扩散范围。

**4.0.6** 复合灌浆试验应进行灌浆效果检测评价，灌后检测时间

程产生不良影响。

## 5.2 钻 孔

和金刚石或硬质合金钻头钻进，当有其孔方式。

设计偏差不应大于 10cm，孔深误差不应

径不宜小于  $\phi 56\text{mm}$ 。同孔复合灌浆水

$\phi 56\text{mm}$ ，化学灌浆终孔孔径不宜小于

孔径应满足获取岩芯和孔内试验检测

mm。

行孔斜测量。当灌浆孔垂直或顶角小

于  $5^\circ$  时，钻孔允许偏差应符合表 5.2.4 的

规定。当灌浆孔顶角大于  $5^\circ$  时，钻孔

确定，宜采用回转式钻机

他要求时，可采用其他钻

5.2.2 复合灌浆孔位与设计

大于 20cm。

5.2.3 异孔复合灌浆孔孔

泥灌浆孔孔径不宜小于  $\phi$

$\phi 75\text{mm}$ 。先导孔、检查孔

的要求，且不宜小于  $\phi 75\text{mm}$

5.2.4 复合灌浆钻孔应进

深大于 60m 时，钻孔最大允许偏差应根据工程实际情况确定。

灌浆钻孔允许偏差

40	50	60
0.70	1.00	1.30

单位

表 5.2.4 复合

孔深	20	30
允许偏差	0.25	0.45

## 灌浆方法

程要求，复合灌浆可采用异孔复  
浆。异孔复合灌浆可采取排内、排

下分段灌浆，具备条件时也可采

求和灌注浆液等，水泥灌浆宜选  
宜选用自上而下分段灌浆法。根据  
循环式灌浆，化学灌浆选用纯压式  
大于 50cm。

，具备一定条件时，经试验可适  
岩体破碎、孔壁不稳定及岩性变

部位复合灌浆段长宜为 0.5~

在压水试验后及时进行灌浆，也  
上分段灌浆。

灌浆法或

当采用

二次裂隙

冲洗

时间至回水澄清时为止或不大于 20min。

## 5.3 复合

5.3.1 根据不同地质条件和工  
合灌浆，也可采用同孔复合灌浆  
间复合等。

5.3.2 基岩复合灌浆宜自上而  
用自上而下分段灌浆。

5.3.3 根据地质条件、工程要  
用孔口封闭灌浆法，化学灌浆宜  
相应灌浆方法，水泥灌浆选用循  
灌浆，两者射浆管距孔底均不应

5.3.4 复合灌浆段长宜为 5m  
当延长，但不宜超过 10m。当  
化较大时灌浆段长应缩短。

5.3.5 混凝土结构和基岩接触  
3m，且应单独灌注并待凝。

5.3.6 复合灌浆先导孔各段宜  
可在全孔压水试验完成后自下而

## 5.4 水泥灌浆

5.4.1 水泥灌浆前应进行裂隙冲洗。当采用孔口封闭  
自上而下分段灌浆法时，各灌浆段在灌前进行裂隙冲洗。  
自下而上分段灌浆法时，各灌浆孔可在灌浆前全孔进行

断层、大型破碎带、软弱夹层等复杂地质条件孔  
设计要求的地层，裂隙冲洗应通过现场试验确定  
行。对遇水后性能易恶化的地层，可不进行裂隙  
或不做压水试验。

应自上而下分段进行压水试验，压水试验宜采用

参照附录 A 的相

力为最大灌浆压

参照附录 A 的相

水试验压力应大

80%

变至注水比等

调整

孔孔口处，

离不宜太

最大值

去浆液

去浆液

去浆液

去浆液

去浆液

去浆液

去浆液

去浆液

去浆液

去浆液

去浆液

去浆液

去浆液

去浆液

5.4.2 岩溶、  
段，以及有专门  
或按设计要求执  
冲洗，且宜少做

5.4.3 先导孔

单于岩层次要

相关规定执行

5.4.4 各灌浆段灌前宜进行简易压水试验，取

力的 80%，并不宜大于 1MPa。简易压水试验

相关规定执行。有涌水或高孔隙水压孔段，简易压

于涌水压力或孔隙水压力，但不大于灌浆压力的

5.4.5 水灰浆浆液水灰比应根据工程等级、地质各

综合确定。灌浆过程中，灌浆压力可根据具体情况

5.4.6 循环式灌浆压力表或压力传感器应安装在灌浆

的回浆管路上，压力表或压力传感器与灌浆孔孔口的距

于 5m。灌浆压力应保持平稳，测读压力波动的平均值、

应予以记录。

5.4.7 普通水泥、细水泥灌浆的浆液水灰比、升压方

变换、结束标准等应按照 SL 62 及相关标准执行。

5.4.8 灌浆过程中，灌浆压力不得超过设计值，

因，并采取相应措施进行处理。

## 5.5 化学灌浆

开灌条件

5.5.1 灌前各段应进行简易压水试验。达到化学灌浆开  
后，方可开始化学灌浆。

至灌浆孔

5.5.2 化学灌浆前应根据化灌材料性能和工程要求确定  
段是否需要冲洗，并确定相应的冲洗方式。

5.5.3 坝体混凝土

5.5.3 坝体混凝土与其接触部位的化学灌浆段应先单独进行  
灌浆并待凝。

5.5.4 化学灌浆开始前，宜先排除孔内积水再进行灌浆。

### 5.5.5 化学灌浆升压可采用分级升压法或一次升压法，当地质

条件较差时宜选用分级升压法。

5.5.6 化学灌浆过程中，应根据地质条件、浆液注入率、浆液黏度、灌浆压力、地下水状态等及时变换调整浆液。

5.5.7 化学灌浆的结束标准应按下列要求执行：

- 1 在最大设计压力下注入率不大于 0.02 L/min 后，继续灌注 10~30min 或达到凝胶时间，即可结束化学灌浆。
- 2 特殊地层或有其他要求时，可按设计确定。

## 5.6 封 孔

5.6.1 复合灌浆孔封孔应根据灌浆目的、浆液性质和灌浆工艺等综合确定，并按照 SL 62 的相关规定执行。当化学灌浆材料为环氧树脂类等高强度材料时，化学灌浆孔也可采用化学浆液封孔。

5.6.2 当封孔有特殊要求时，应按设计要求进行封孔。

## 特殊情况处理

## 5.7 特

5.7.1

复合灌浆孔孔段的透水率或单位注入量大于

5.7.2 灌浆过程中注入率过大或出现漏浆时，应根据具体

5.7.3 灌浆孔在灌浆过程中出现涌水时，应根据具体

5.7.4 灌浆应连续进行。若因故中断，应在浆液胶凝固化前不

5.7.5 孔口有涌水的灌浆孔段，灌浆前应测记涌水压力和涌水

5.7.6

灌浆孔且各灌浆条件，宜分段、分孔同时并灌，但并灌

3 个，并防止局部混凝土或岩体抬动。

5.7.4 灌浆应连续进行。若因故中断，应在浆液胶凝固化前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。

5.7.5 孔口有涌水的灌浆孔段，灌浆前应测记涌水压力和涌水量。根据涌水情况，可选用但不限于下列处理措施：

- 1 缩短浆液凝胶时间。

2 提高灌浆压力。

3 延长屏浆或闭浆时间。

5.7.6 化学灌浆过程中，应实时查看浆液取样的胶凝固化情况。若胶凝固化情况异常，应及时采取相应措施。

6.1.3 复杂条件隧洞、大埋深隧洞、大断面隧洞、大坡度隧洞、大变形隧洞、裸露围岩洞段的复合灌浆，宜结合现场灌浆试验进行专项研究。

6.1.4 复合灌浆结束时宜屏浆待凝。当遇涌水、涌泥等特殊地段时，屏浆时间应适当延长，延长时间应根据实际情况确定。

洞围岩复合灌浆应设置隧洞结构变形监测装置，其他隧洞围岩复合灌浆宜设置变形监测装置。

6.1.5 高水头水工隧洞围岩复合灌浆，其他隧洞围岩复合灌浆宜设置变形监测装置。

## 6.2 钻 孔

化学复合灌浆，钻孔宜布置为径向孔。

6.2.1 隧洞围岩水泥

复合灌浆孔孔径不宜小于 $\phi 38\text{mm}$ 。回孔

6.2.2 环间或环内异

孔径不宜小于 $\phi 42\text{mm}$ 。

复合灌浆化学灌浆终

采用风钻或其他类型钻机，灌浆孔位与设

6.2.3 复合灌浆孔可

，孔底偏差不应大于 $25\text{cm}$ 。

计偏差不应大于 $10\text{cm}$ 。

应根据灌浆材料性能和工程要求确定孔段是

6.2.4 化学灌浆前应

否需要冲洗，并确定相应的冲洗方式。冲洗压力可为灌浆压力的 $80\%$ ，且不宜大于 $1\text{MPa}$ 。

## 6.3 灌 浆

复合灌浆且不用环间或环内异孔复合灌浆，也可采用同孔复合灌浆。

6.3.1 隧洞围岩同孔复合灌浆

复合灌浆水泥灌浆前应选取适宜的灌浆孔进行灌浆。

6.3.2 异孔复合灌浆

灌浆前应进行简易压水试验，根据透水率确定是否满足化学灌浆开灌条件。简易压水试验可参照附录 A

简易压水试验。化学灌浆孔的透水率确定是否满足化学灌浆开灌的相关规定执行。

简易压水试验，岩体透水率满足化学灌浆条件时，可直接进行化学灌浆。否则应先水泥灌浆，再进行化学灌浆。

6.3.3 同孔复合灌浆孔经灌浆开灌条件时，可直接进行化学灌浆。通过扩孔或扫孔进行化学灌浆。

简易压水试验的压水压力为灌浆压力的 80%，当灌浆压力大于 1MPa 时，压水试验压力可适当提高，但不得大于灌浆压力的 80%。

6.3.4 复合灌浆简易压水试验

于 1MPa。当钻孔涌水压力较高时，压水试验压力可适当提高，但不得大于灌浆压力的 80%。

水泥灌浆可采用纯压式灌浆，也可采用循环式灌浆。化学灌浆应采用纯压式灌浆。

6.3.5 水泥灌浆应采用纯压式灌浆

复合灌浆宜按环间分序、环内加密的原则实施。隧洞围

6.3.6 复合灌浆

岩为Ⅲ类、Ⅳ类、Ⅴ类或斜井和竖井复合灌浆时，环内孔可不分序，环内孔可分为两序。

岩为Ⅲ类、Ⅳ类、Ⅴ类

6.3.7 复合灌浆宜采用单孔灌浆，同序孔并联灌浆孔不应多于 3 个，且孔位宜对称。

6.3.8 灌浆孔入岩深度不大于 6m 时，复合灌浆可不分段。当遇特殊地层或有特殊要求时，应根据灌浆试验确定。

6.3.9 普通水泥、细水泥灌浆浆液水灰比、升压方法、浆液变换、结束标准等应按 SL 62 及相关标准执行。

6.3.10 隧洞复合灌浆的化学灌浆结束标准可按 5.5.7 条的规定执行。

6.3.11 隧洞复合灌浆孔封孔应符合以下要求：

1 水泥灌浆孔灌浆结束后，应置换成 0.5:1 水泥浆采取全孔灌浆法封孔，孔口空余部分用干硬性砂浆填实抹平。有特殊要

求时，也可采用化学灌浆封孔。

2 化学灌浆孔灌浆结束后，可置换成 0.5 : 1 水泥浆采取至浆法封孔。当化学浆材为环氧树脂时，宜结合化学灌浆直接

孔灌  
封孔

3 钢衬段复合灌浆孔灌浆和封孔结束后，钢衬上的灌浆孔

应不用相同强度的材料封孔。

## 7 覆盖层复合灌浆

### 7.1 一般规定

外,还  
7.1.1 覆盖层复合灌浆前,除应取得 1.0.6 条所列资料外,还应取得下列资料:

- 1 覆盖层结构及空间分布情况。
- 2 覆盖层各层颗粒级配、密度、渗透系数、允许渗透比降等物理力学参数。
- 3 覆盖层的不同浆材可灌性分析资料。

水渗流场、流速、水质等分析资料

合灌浆

物理力学参数

确定。

层等形式或

厚度宜超出

置应分别参

、工程技术

成孔方式、

度泥浆、

20mm

理的覆盖层,应先完成其他措施的施工,再进行复合灌浆。

7.1.2 复合灌浆浆材应经物理力学试验确定覆盖层

质分析、灌浆目的、浆液可灌性、现场灌浆试验等

7.1.4 复合灌浆每段设置混凝土盖板或加密灌浆保护层

重。当采用混凝土盖板时,其厚度不宜小于 0.5m,且应

灌浆区边线 3m 以上。

7.1.5 覆盖层复合灌浆的分序加密原则和先导孔布置

照 5.1.3 条和 5.1.4 条相关规定执行。

7.1.6 覆盖层复合灌浆的压力应根据工程地质条件

参数、类似工程以及灌浆试验确定。

### 7.2 钻 孔

7.2.1 覆盖层复合灌浆孔孔位与设计孔位的偏差值、

孔斜控制等可参照 SL 62 的有关规定执行。

7.2.2 覆盖层灌浆孔成孔结束后,可采用压水或低黏

冲净或清除孔内岩屑、渣滓等。孔底沉渣厚度不宜大于

浆。水泥灌浆可采用套阀管

### 7.3.1 复合灌浆宜采用异孔复合灌

浆。化学灌浆可采用孔口堵塞

法、孔口封闭灌浆法、反冒灌浆法等。化学灌浆应将注浆法或套阀管法等。

方法、

**7.3.2** 覆盖层普通水泥、细水泥灌浆的浆液水灰比、升压力浆液变换、结束标准等应按照 SL 62 及相关标准执行。

设计

**7.3.3** 化学灌浆过程宜采用进浆速率控制，逐步升压至压力。

**7.3.4** 化学灌浆结束标准应符合以下要求：

0.02L/

1 按定量灌注时，注入量达到设定值即可结束灌浆。

2 按注入率控制时，在设计压力下注入率不大于 0.02L/

min 后，继续灌注 10min 或继续灌注 0min 或达到胶凝时间，即可结束灌浆。

## 8 质量检查

### 8.1 一般规定

3个月。

8.1.2 复合灌浆灌后质量检查时间应根据灌浆所采用浆液的性能确定，宜在灌后28d进行。

8.1.3 灌后质量检查孔应取芯检查，并对芯样采取相应保护措施，绘制钻孔柱状图，芯样全部拍照，典型芯样宜长期保存。

8.1.4 复合灌浆质量检查孔检测结束后，应按相应技术要求进行封孔。

8.1.5 当复合灌浆灌后检查孔质量不合格时，应根据不合格程度确定扩大检查范围，并分析原因，确定处理方案。

### 8.2 基岩复合灌浆质量检查

8.2.1 基岩复合灌浆检查孔布置应符合下列规定：

- 1 复合灌浆中心线上。
- 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。

4 有特殊要求的部位。

8.2.2 基岩复合灌浆质量检查应采取压水试验，必要时可进行孔内电视、声波测试、钻孔变形模量测试以及芯样室内物理力学试验等。压水试验可采用单点法或五点法。

8.2.3 帷幕复合灌浆检查孔的数量宜为灌浆孔总数的10%，总结复合灌浆检查孔的数量宜为灌浆孔总数的5%，且一个坝段或一个单元内至少应布置一个检查孔。

8.2.4 质量检查孔宜自上而下、分段钻进、分段压水试验，岩

体质量好灌地也可在口端而采用双塞法进行压水试验。

8.2.5 压水试验段长度应不小于3m；当灌浆首段长度较短时，压水试验段可采用四点法。

8.2.6 基岩复合灌浆压水试验质量合格标准为：水工建筑物混凝土与基岩接触面的透水率合格率为100%，其余各段的合格率不小于90%；不合格者除补灌外，亦不得在计划安排的项目中，且不合格试验段的分布不集中。

等其他指标要求时，灌浆质量应结合结果综合评定。

8.2.7 当基岩有变形、强度符合标准外观质量及其他检查结果综合评定。

## 8.3 复合灌浆质量检查

### 8.3 隧洞

布置部位应符合下列规定：

8.3.1 隧洞复合灌浆检查

1 裂隙发育等地质条件复杂的部位。

1 断层、岩体破碎带

2 浆液过程异常等经资料分析认为可能影

2 钻孔偏斜较大、灌

响灌浆质量的部位。

3 围岩破坏部位。

3 隧洞围岩衬砌系统

4 有特殊要求的部位

检查方法应采取压水试验和声波测试。

8.3.2 隧洞复合灌浆质量检

必要时可进行孔内电视、钻孔变形模量测试以及芯样室内物理力

学试验等。压水试验可采用单点法或五点法。

隧洞复合灌浆灌后质量检查孔数目为灌浆总孔数的5%，

8.3.3

单元内至少应布置一个检查孔。

且一个

隧洞复合灌浆压水试验质量合格标准为：90%以上试段

8.3.4

率不超过设计规定值；其余试段的透水率不超过设计规定

的透水

6%，且不合格试段分布不集中。

值的15

对隧洞围岩有变形、强度等其他指标要求时，灌浆质

8.3.5 当

芯样外观质量及其他检查结果综合评定。

量应结合

## 8.4 覆盖层复合灌浆质量检查

8.4.1 覆盖层复合灌浆检查孔布置部位应符合下列规定：

或等地质条件复杂的部位。

等经资料分析认为可能影

要时

及芯

B

%，

的

浆护壁钻进时

4.5

用单点法。

4.6

需要制定

值不集中

1 相邻钻孔的中心部位。

2 大块石、细砂层、地层变化区

3 末序孔注入量大的孔段附近。

4 钻孔偏斜较大、灌浆过程异常

响灌浆质量的部位。

5 有特殊要求的部位。

8.4.2 覆盖层复合灌浆质量检查方法应采取压水试验，必

可进行压水试验、静力或动力触探、荷载试验、孔内电视、

在壁内物理力学试验等。应检查钻孔压水试验可参照附录

执行。

8.4.3 覆盖层复合灌浆检查孔的数量宜为灌浆孔总数的 5%

且一个坝段或三个单元内至少应布置一个检查孔。

8.4.4 检查孔钻孔应采用清水循环钻进，当钻进中遇到难以成

的或钻进时，应采取短段长、套管等钻进措施。当需要取芯时

浆护壁钻进时，应采取措施对注水、压水试验成果的影响。

4.5 钻孔注水或压水试验应自上而下分段进行，压水试验宜

用单点法。

4.6 覆盖层复合灌浆质量检查评价指标应根据地质条件和工

需要制定，检测点合格率应不小于 85%，检测平均值应不小

值不集中，灌浆质量可评定为合格。且每个检测点均

8.4.7 当对覆盖层有变形、强度等其他指标要求时，灌浆质量

应结合其他相应检查结果综合评定。

浆工程应在通风条件良好的环境下进行。作业人员应在通风良好的环境下进行。作业人员应在通风良好的环境下进行。

作业现场应有足够的照明。照明灯具、导线绝缘、接地保护应符合50194和SL 399的有关规定。

复合灌浆作业现场应悬挂醒目的标识。标识应符合GB 18218的相关规定执行。

复合灌浆作业现场严禁吸烟和使用明火。现场应配备相应的干粉、泡沫灭火器及沙土等消防器材和物品。

不得在作业现场进食。作业人员的防护用品、防护手套和口罩等穿戴防护应符合GB 29510和SL 399的有关规定执行。

化学灌浆盛浆容器应密封加盖。随用随盖。不得长时间敞口存放。

化学灌浆材料运输人员应了解并掌握所运输化学灌浆材料的危险性。运输过程中应严格按照GB 15603和SL 399等的有关规定执行。

化学灌浆过程产生的浆液、废浆及废水不得随意排放。应集中临时存储，并根据废弃物特点进行相应的固化预处理。

浆液、废浆及废水不得随意排放。应集中临时存储，并根据废弃物特点进行相应的固化预处理。现场临时集中存储位置的选址应征得业主、监理同意。

场临时集中存储位置的选址应征得业主、监理同意。废弃物固化预处理后，交由有相应处理资质的单位进行处置。

记录应由专人在现场及时、准确、和编制相应成果资料。

整的工程地质、复合灌浆方案、复，施工记录、成果资料和检查测试

**10.0.1** 复合灌浆的各项施工真实、齐全记录，并及时整理

**10.0.2** 复合灌浆工程除有完合灌浆施工组织设计等资料外资料应包括下列内容。

资料应包括下列内容：

**1** 施工记录应包括下列内容：

- 1) 钻孔记录。
- 2) 钻孔测斜记录。
- 3) 钻孔冲洗及裂隙冲洗记录。
- 4) 压水试验记录。
- 5) 灌浆及封孔记录。
- 6) 抬动或变形观测记录。
- 7) 现场浆液制浆记录。
- 8) 现场浆材取样记录。

**2** 灌浆成果资料应包括下列内容：

- 1) 复合灌浆孔成果统计表。

2) 复合灌浆分序统计表。

3) 复合灌浆综合统计表。

4) 复合灌浆工程完成情况表。

5) 复合灌浆孔平面布置图和复合灌浆综合剖面图。

6) 各次序孔单位注入量频率曲线图。

7) 复合灌浆孔测斜成果汇总表和孔斜平面投影图。

**3** 检查测试资料应包括下列内容：

- 1) 检查孔压水、注水试验成果表。
- 2) 检查孔钻孔柱状图。
- 3) 灌浆材料检验报告。

5) 施工前后或施工过程中其他的检验、试验和测试资料。

4 若进行了物探测试，则应包括物探测试成果和报告。

**10.0.3** 复合灌浆工程的主要施工记录表、成果统计表、统计图及竣工图的样式可参照 SL 62 和 DL/T 5406 的相关规定执行，其主要表格样式见附录 C。

**10.0.4** 复合灌浆工程施工与质量检查完成后，应及时进行质量评定和验收。

保证足够的精度和适宜的标值范围。

A.0.2 压水试验的方法：先导孔和检查孔可采用单点法压水试验，灌浆孔灌前可采用简易压水试验。现场灌浆试验可采用二级压力五个阶段的五点法压水试验。

A.0.3 压水试验的压力应根据工程地质条件，参照表 A.0.3 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 A.0.3 压水试验压力值选用表

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

注 1:  $H$  为坝前水头，从帷幕所在部位基岩面高程算起至正常蓄水位。

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

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

注 4: 基岩或隧洞围岩灌浆压力大于 3MPa，及灌浆工程有特殊要求时，压水试验压力可根据工程需要和地质条件确定。

注 5: 现场灌浆试验钻孔压水试验压力可根据工程需要和地质条件确定。

在稳定压力下前2 min内测试

A.0.4 压水流量的稳定标准

其最大值与最小值之差小于最终值的

次压水流量连续四次读数

差为1%以内时,本阶段试验即可

10%或最大值与最终值之

差为1%以内时,本阶段试验即可

结束,取其最终值作为计算值

压水试验的成果以透水率 $q$ 表

A.0.5 压水试验成果的表示

示,单位为 $L/m^2 \cdot MPa \cdot m$

单位为 $L/m^2 \cdot MPa \cdot m$

A.0.6 单点法压水试验的成果可按式(A.0.6)计算:

$$q = \frac{Q}{PL} \quad (A.0.6)$$

式中  $q$ ——试段透水率,  $L/m^2 \cdot MPa \cdot m$ ;

$Q$ ——压水流量,  $L/min$ ;

$P$ ——作用于试段内的全压力,  $MPa$ ;

$L$ ——试段长度,  $m$ 。

计算成果取2位有效数字。

压水试验成果的记录和表示方法应符合下列规定:

A.0.7 压水

水试验三级压力中的最大压力值 $P$ 、相应的压水流

1 以用

量 $Q$ 及式(A.0.6)求算透水率 $q$

2 根据五个阶段的压水试验

表A.0.7确定 $P-Q$ 曲线类型。

3 五点法压水试验成果用透

示。例如,  $2.5^2(A)$ 、 $8.5^2(D)$ 等

$q=(Lu)$ ; (A)和(D)表示该试

和D-(冲蚀)-型。

A.0.8 压水试验压力应按下列规

资料绘制 $P-Q$ 曲线,并参照

透水率 $q$ 和 $P-Q$ 曲线的类型表

表A.0.7和08.5.1试段的透水率

段 $P-Q$ 曲线为A(层流)型

定计算:

水管上

水管上

0.8-1)

0.8-2)

1 若压力表安装在孔口处,应按式

(A.0.8-1)计算压水试验压力。若压力表安装在孔口处的回

(图A.0.8-2),应按式(A.0.8-2)计算压水试验压力。

$$S = S_1 + S_2 + S_f \quad (A.0.8-1)$$

$$S = S_1 + S_2 + S_f' \quad (A.0.8-2)$$

式中  $S$ ——作用于试段内的全压力,  $MPa$ ;

MPa;

力起算零线的水柱压力, MPa;

一般情况下可忽略不计。

$S_1$ ——压力表指示压力,

$S_2$ ——压力表中心至压

$S_f$ 、 $S_f'$ ——压力损失, MPa;

验的  $P-Q$  曲线类型及特点表

表 A.0.7 五点法压水试验

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

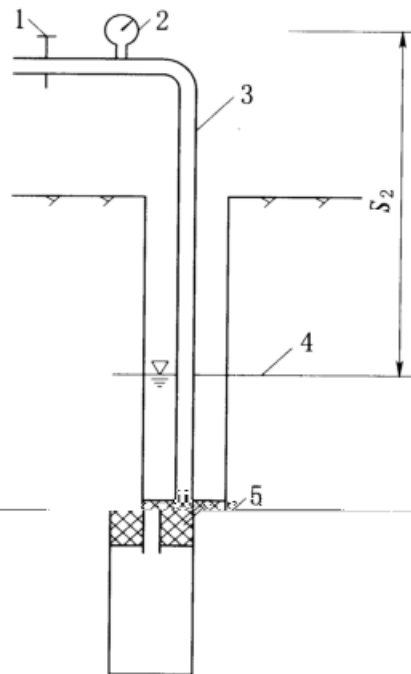
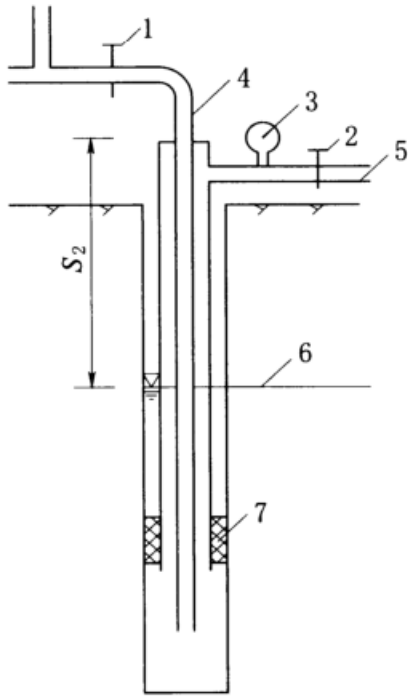


图 A.0.8-1 进水管上安设压力表示意图

1—进水阀门; 2—压力表; 3—进水管;

4—地下水位; 5—橡胶塞



A.0.8-2 回水管上安设压力表示意图

- 1—进水阀门；2—回水阀门；3—压力表；  
4—进水管；5—回水管；6—地下水水位；  
7—橡胶塞

零线应按下列规定确定：

1) 当测段内地下水位在试段以上时，压力起算零线为地下水

2) 当测段内

1) 当地下

水位线。

2) 当测段内地下水位在试段以下时，压力起算零线为通过试段

2) 当地下

3) 当地下

中点的

3) 当地下

水位线

水位线

工程内的灌浆工程开始前，可利用先导孔测定

A.0.9 一个单元

标准为每5min测读一次孔内水位，当连续两次

地下水位稳定标

测得小于5cm/min时，以最后的观测值作为本

测得水位下降速度

单元内相应测定的涌水压力。

单元内相应测定的涌水压力。

A.0.10 各序复合灌浆孔灌浆前可根据需要进行简易压水试验，且应符合下列要求：

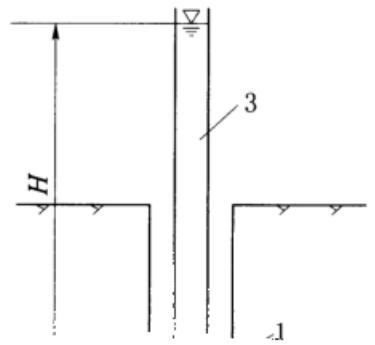
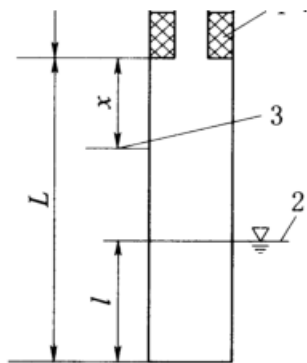


图 A.0.8-3 地下水位在试段内示音像

图 A.0.8-3 地下水位在试段内示音像

水深；

$H$ —橡胶塞以上的水柱高度； $L$ —试段长度； $l$ —试段内的水

1—橡胶塞；2—地下水位；3—试验压力起算零线

地下水

1 试验压力为灌浆压力的 80%，且不大于 1MPa。

位假定与灌浆孔口齐平。

，取最后

2 压水时间为 20min，每 5min 测读一次压入流量。

的流量值作为计算流量。

度 (Lu)。

3 简易压水试验成果以透水率  $q$  表示，单位为吕荣

是高压水：

4 当孔口涌水压力或孔隙水压力较大时，可适当抽

试验压力。

险、破坏

A.0.11 在灌浆试验阶段，必要时可进行疲劳压水试

条件专指：

性压水试验，试验的规则、参数应根据工程情况和地质

制定。已完成的永久性灌浆工程不应进行疲劳压水试验和破坏性压水试验。

## B 覆盖层灌浆钻孔注水试验

### B.1 试验方法

B.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注水试验的方法，试验可参照 SL 345 的有关规定进行。

B.1.2 常水头注水试验应准备下列设备和仪表，所用设备和仪表应满足试验检测所需的量测范围和精度要求。

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。

B.1.3 注水试验孔的钻进应按照覆盖层相关钻孔的规定执行。

B.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。

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

B.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。

B.1.7 注水采用常水头方式，水位可与孔口齐平，或采用管路接至某一高程。

B.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，连续测读四次；以后每

隔 10 min 测读一次并至少连续观测四次。当连续两次测得注入流量之差小于前一次测得流量值的 10% 时，以后测得的流量值均以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，取最大流量值。

当采用灌浆护壁法进行注水试验孔的钻进和试段隔离时，应在灌浆试验完成后，紧接着进行灌浆，待凝固后再进行注水试验。如灌浆流量大于水泵排量时，应待流量稳定后再进行注水试验。

当采用灌浆护壁法进行注水试验孔的钻进和试段隔离时，应在灌浆试验完成后，紧接着进行灌浆，待凝固后再进行注水试验。如灌浆流量大于水泵排量时，应待流量稳定后再进行注水试验。

当采用灌浆护壁法进行注水试验孔的钻进和试段隔离时，应在灌浆试验完成后，紧接着进行灌浆，待凝固后再进行注水试验。如灌浆流量大于水泵排量时，应待流量稳定后再进行注水试验。

当采用灌浆护壁法进行注水试验孔的钻进和试段隔离时，应在灌浆试验完成后，紧接着进行灌浆，待凝固后再进行注水试验。如灌浆流量大于水泵排量时，应待流量稳定后再进行注水试验。

当采用灌浆护壁法进行注水试验孔的钻进和试段隔离时，应在灌浆试验完成后，紧接着进行灌浆，待凝固后再进行注水试验。如灌浆流量大于水泵排量时，应待流量稳定后再进行注水试验。

## B.2 试验成果计算

B.2.1 地层渗透系数计算应符合下列要求：

1 当试段位于地下水水位以下时，可按式 (B.2.1-1) 计算地层渗透系数：

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

式中  $K$  —— 渗透系数， $\text{cm/s}$ ，取两位有效数字；

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

$H$  —— 试验水头， $\text{cm}$ ，等于试验水位与地下水水位之差；

$A$  —— 形状系数， $\text{cm}$ ，分下列四种情况取值：

1) 套管下至试验孔底，孔底进水， $A = 5.5r$ 。

2) 套管下至试验孔底，孔底进水，试验土层顶板为不透水层， $A = 4r$ 。

3) 地层水平各方向渗透系数相等，试验孔内下套管，不下套管，试段裸露或下套阀管，且  $L/r \geq 8$ ， $A = 2\pi L/\ln(L/r)$ 。

4) 地层水平和垂直向渗透系数相等，试段顶部为不透水层，试段底部为透水层， $A = 2\pi L/\ln(L/r)$ 。

5) 地层水平和垂直向渗透系数相等，试段顶部为不透水层，试段底部为透水层， $A = 2\pi L/\ln(L/r)$ 。

$$K = \frac{2.3Q}{\pi H L} \lg \left( \frac{2L}{r} \right)$$

$$\text{管, } L/r \geq 8, A$$

上, 且  $50 \leq H/r \leq 200, H \leq L$

2 当试段位于地下水位以

层渗透系数

时, 可按式 (B. 2. 1) 计算

$$K = \frac{7.05Q \lg(2L/r)}{LH} \quad (\text{B. 2. 1})$$

式中  $L$ ——试段长度, cm;

$r$ ——钻孔半径, cm;

$H$ ——试验水头, cm, 等于试验水位至试段中点的

高度。

3 当试段高出地下水位较多, 上层较深, 且渗透系数

$50 < H/r < 200, H \leq L$  时, 也可按式 (B. 2. 1 - 3) 计算地层

层渗

透系数:

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

**B. 2. 2** 试段所在地层的透水率可按式 (B. 2. 2) 计算:

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

式中  $q$ ——试段透水率, Lu, 计算成果取两位有效数字;

$Q$ ——注入流量, L/min, 如上部孔段采用灌浆护壁,

则

则

全压力为地下水位以上的水柱压力; 当

在试段以下时, 全压力为试段中点以上的

小在压力; 当地下水位在试段以内时, 全压力为试

下水位以上的试段中点以上的水柱压力;

$L$ ——本试段长度, m。

## 附录 C 灌浆工程施工记录表

- 水工建筑物水泥化学复合灌浆施工记录应包括以下主要 **C.0.1**  
表格:
- 1 钻孔灌浆施工记录表, 见表 C.0.1-1。
  - 2 水泥灌浆施工记录表, 见表 C.0.1-2。
  - 3 水泥灌浆施工成果单孔统计表, 见表 C.0.1-3。
  - 4 水泥灌浆施工成果分序统计表, 见表 C.0.1-4。
  - 5 水泥灌浆完成情况统计表, 见表 C.0.1-5。
  - 6 化学灌浆施工记录表, 见表 C.0.1-6。
  - 7 化学灌浆施工成果单孔统计表, 见表 C.0.1-7。
  - 8 化学灌浆施工成果分序统计表, 见表 C.0.1-8。
  - 9 化学灌浆施工成果综合统计表, 见表 C.0.1-9。
  - 10 化学灌浆完成情况统计表, 见表 C.0.1-10。
  - 11 钻孔压水试验记录表, 见表 C.0.1-11。
  - 12 检查孔压水试验成果统计表, 见表 C.0.1-12。
  - 13 注水试验记录与资料整理记录表, 见表 C.0.1-13。
  - 14 检查孔注水试验成果统计表, 见表 C.0.1-14。
- C.0.2** 水工建筑物水泥化学复合灌浆现场施工记录应按规定及时  
进行校核、签证。







注浆量和透水率区划可根据工程具体情况确定。

工程名称 \_\_\_\_\_ 统计人 \_\_\_\_\_ 审核人 \_\_\_\_\_ 审查人 \_\_\_\_\_

表 C.0.1-4 水泥灌浆施工成果分序统计表

孔序	孔号	钻孔 /三 混凝土	工程部位	深度 m	水泥用量			单位 注入量 (kg/m)	单位注入量 (kg/m) 区间分布				平均 透水率 /Lu	透求率 (Lu) 区间	分布	备注
					注浆 /L	注灰 /kg	废弃 /kg		总段数	<10	10 ~ 50	50 ~ 100				
总计																

注：单位在

完成情况统计表

水泥用量 / 吨  
水泥用量 / 吨  
水泥用量 / 吨

水泥灌浆

表 C0.1.15

（特孔灌浆法）

混凝土基础

工程  
数量

工程部位



合计

注 1: 计算灌浆段长  
注 2: 浆量可用 kg

度时, 混凝土部分不计在内, 替代  
替代; 注入率可用 kg/m<sup>3</sup> 替代 L/m

统计人: \_\_\_\_\_ 审核: \_\_\_\_\_

### 灌浆浆液施工成果单孔统计表

年 \_\_\_\_\_ 月 \_\_\_\_\_ 日 施工日期

工程名称: \_\_\_\_\_ 化程: \_\_\_\_\_ 混凝土厚度: \_\_\_\_\_

表 C.0.1

灌浆浆液

单位: \_\_\_\_\_

灌浆浆液

开工日期

灌浆浆液

灌浆浆液

灌浆浆液

灌浆孔号: \_\_\_\_\_

灌浆孔号: \_\_\_\_\_

灌浆孔号: \_\_\_\_\_

灌浆孔号: \_\_\_\_\_

灌浆孔号: \_\_\_\_\_

灌浆孔号: \_\_\_\_\_

灌浆孔号: \_\_\_\_\_

灌浆孔号: \_\_\_\_\_

灌浆孔段 / m  
自 \_\_\_\_\_ 至 \_\_\_\_\_ 段长 \_\_\_\_\_

孔径 / mm

浆液配比

透水率

浆液配比

浆液配比

浆液配比

浆液配比

浆液配比

浆液配比

浆液配比

浆液配比

浆液配比

浆液配比

浆液配比

浆液配比

浆液配比

浆液配比

浆液配比

浆液配比

浆液配比

浆液配比

浆液配比

浆液配比

浆液配比

浆液配比

浆液配比

浆液配比

浆液配比

浆液配比

浆液配比

浆液配比

浆液配比

浆液配比

浆液配比

浆液配比

浆液配比

浆液配比

浆液配比

浆液配比

浆液配比

浆液配比

浆液配比

浆液配比

浆液配比

浆液配比

浆液配比

浆液配比

浆液配比

浆液配比

浆液配比

浆液配比

浆液配比

浆液配比

浆液配比















## 标准用词说明

	标准用词	严格程度
	必须	很严格，非这样做不可
严禁		
应		严格，在正常情况下均应这样做
不应、不得		
宜		允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做
不宜		
可		有选择，在一定条件下可以这样做



中华人民共和国水利行业标准

水工建筑物水泥化学复合灌浆施工规范

SL/T 802—2020

条 文 说 明

# 目 次

1 总则	51
3 复合灌浆材料和浆液制备	54
4 复合灌浆试验	58
5 基岩复合灌浆	60
6 隧洞裂岩灌浆	65
7 覆盖层复合灌浆	70
8 质量检查	71

抽水蓄能电站和长距离调水

破碎带、层间层内错动带、蚀变

灌浆工程，常规普通水泥、细

砂、加固和衬砌要求，需采用水

泥化学复合灌浆包括水泥灌浆

和化学灌浆，两者既相对独立又

有联系，为规范水工建筑物水

泥化学复合灌浆工程施工技术要

求，做到技

术先进、经济合理、安全适用、确

保工程质量和安全，制定本

标准。本标准适用于水工建筑物基

础、隧洞围岩、覆盖层等水

泥化学复合灌浆工程。本标准复

合灌浆主要处理对象是断层、破

碎带、泥化夹层、软弱地层、蚀变

岩等普通水泥或细水泥灌浆难

以解决的工程，以及对变形、强度

和抗渗等要求的地层，以及环境

条件差、环境复杂，环境与

工程之间存在相互作用和影响，可

以采用复合灌浆工程既要考虑受

灌体对受灌体环境的污染问题，

还要考虑浆材的耐久性等

问题。复合灌浆工程

中，水泥灌浆和化学灌浆

两者之间在工程环境

中，水泥灌浆和化学灌浆

两者之间在工程环境

中，水泥灌浆和化学灌浆

1.0.1 复杂条件下的大型水电站

工程，经常会遇到挤压与擦动

岩等地质缺陷，以及有特殊要求

的水泥灌浆难以解决满足防渗、堵

漏、加固和衬砌要求，需采用水

泥化学复合灌浆措施进行处理。

本标准适用于水工建筑物基

础、隧洞围岩、覆盖层等水

泥化学复合灌浆工程。本标准复

合灌浆主要处理对象是断层、破

碎带、泥化夹层、软弱地层、蚀变

岩等普通水泥或细水泥灌浆难

以解决的工程，以及对变形、强度

和抗渗等要求的地层，以及环境

条件差、环境复杂，环境与

工程之间存在相互作用和影响，可

以采用复合灌浆工程既要考虑受

灌体对受灌体环境的污染问题，

还要考虑浆材的耐久性等

问题。复合灌浆工程

中，水泥灌浆和化学灌浆

两者之间在工程环境

中，水泥灌浆和化学灌浆

两者之间在工程环境

中，水泥灌浆和化学灌浆

两者之间在工程环境

中，水泥灌浆和化学灌浆

两者之间在工程环境

中，水泥灌浆和化学灌浆

两者之间在工程环境

1.0.2

充分发挥水泥灌浆强度高、环保、经济、耐久性好等特点，水泥灌浆灌后且满足一定要求后再进行化学灌浆。但特殊情况与特殊工艺，可按设定灌注顺序灌浆。

复合灌浆中的化学灌浆应有明确的开灌条件，即受灌体满足

不能对前述的化学灌浆。复合灌浆的化学灌浆开灌条

可操作性和常用的控制指标是岩体透水率。如向家  
挤压破碎带复合灌浆环氧树脂化学灌浆的开灌条件，  
不大于 $1.0Lu$ ，溪洛渡水电站坝基层间层内错动带  
环氧树脂化学灌浆的开灌条件是岩体透水率不大

建筑物复合灌浆处理对象和工况复杂，其复合灌浆  
浆开灌条件、复合灌浆技术工艺参数，以及复合灌  
浆等，应通过灌浆试验确定以指导设计和施工。对  
有特殊要求的复合灌浆工程，灌浆工艺成熟时，可  
灌浆试验。

化学复合灌浆浆液及水泥和化学灌浆，工程实施前除  
水泥和化学灌浆的一般文件外，还应包括职业健康  
防护措施，以及化学浆材中毒、起火或环境污染等特  
急预案。

或正在实施的水泥化学复合灌浆部位，附近爆破  
影响评估。目前降低爆破震动和冲击影响的可选  
火工品选型、起爆方式、减振措施等。本标准不禁  
的爆破作业，只要爆破振动控制满足DL/T 5333  
爆破安全监测规程》所规定的振动阈值，并采取

当确需进  
浆液在 $5\sim$   
于 $35^{\circ}C$ 时，  
如环氧类和  
当温度低  
当作业环  
度可从施工

相应措施和征得设计、监理同意即可。

**1.0.9** 高温或低温条件下都不宜开展复合灌浆作业。  
行时，应采取相应的温度控制措施。水泥浆液和化学  
 $35^{\circ}C$ 条件下一般可进行正常的灌浆作业。当温度高  
水泥浆液和化学浆液固化速率增快、可灌性变差等，如  
丙烯酸盐类浆液固化速率加快、黏度增大、甚至爆聚。  
于 $5^{\circ}C$ 时，化学浆液易丧失流动性，且难以胶凝固化。  
境温度和受灌体温度高于 $35^{\circ}C$ 或低于 $5^{\circ}C$ 时，相应对策

环境温度控制、浆液温度控制，以及浆液自身性能调整等方面考  
虑，如改善工作面环境温度，对待灌浆液进行降温或保温，以及

调整浆液配比等。

用。而在化学灌浆灌浆自动记录仪器得到应用后，自动记录仪器得到了广泛

动记录仪仍需进一步改进和推广应用。化学灌浆自动记录仪易受

固化淤堵、灌浆作业后难以清洗等影响，尚

化学腐蚀、浆液胶凝

如在向家坝和溪洛渡水电站、清远、深圳和

需不断改进与发展。

括等大型复合灌浆工程中，化学灌浆以人工

海南琼中抽水蓄能电

施工植现代比普

标里可重为主，自初追求为轴。为规范复合灌浆

化学复合灌浆

理，并与国际接轨，修订灌浆工程重要标准

另外，数字灌浆

化学灌浆记录采用自动记录仪器作为一种方

励和引导数客入

工智能技术能发派送速讯海，作为一种程等是通商

工智能技术在复合灌浆工程中的推广应用。

备用于复合

**1.0.13** 本标准鼓励新材料、新技术、新工艺和新设

灌浆工程，为保证处理效果、提高工效、降低成本、满足环保要

求，使用前应先进行试验检验与论证。

**1.0.14** 本标准引用标准，主要是相关国家标准及水利、电力、

建材等行业标准。本标准部分条款主要参考了SL 62《水工建筑

物水泥灌浆施工技术规范》、DL/T 5406《水工建筑物化学灌浆

施工规范》、JC/T 2037《丙烯酸盐灌浆材料》、JC/T 2041《聚

氨酯灌浆材料》、JC/T 2379《地基与基础处理用环氧树脂灌浆

材料》、JGJ/T 211《建筑工程水泥—水玻璃双液注浆技术规程》

等标准。

一般规定

3.1

用水泥灌浆材料和化学灌浆材料，  
掺合料等。

3.1.1 复合灌浆材料主要选  
以及其他一些辅助外加剂、掺

应考虑工程地质条件、灌浆目的、  
浆材和化学浆材性能等因素外，尚应

3.1.2 复合灌浆材料选择除  
灌浆工艺、环保要求、水泥浆

耐久性问题。如需环氧树脂、水玻  
长期变化规律，以及环氧树脂、水

考虑灌浆材料在工程环境下耐  
璃等浆材自身物理力学性能的

压动水及其他侵蚀性条件下的长期

溶性聚氨酯等胶凝固结体在高  
性能演化等。

通水泥浆液、细水泥浆液，本标准

3.1.3 水泥浆液一般包括普通  
将两种浆液统称为水泥浆液。

用环氧树脂、丙烯酸盐、聚氨酯、  
补强宜选用环氧树脂、油溶性聚氨

3.1.4 化学灌浆材料通常可选  
水玻璃等灌浆材料。其中固结

选用水溶性聚氨酯、丙烯酸盐、水  
浆液宜选用水溶性聚氨酯、油溶性

醇、水玻璃等。防渗、堵漏宜  
油溶性聚氨酯和水玻璃等。化学

灌浆材料选型具体见表1。

油溶性聚氨酯和水玻璃等。化学

材料选型统计表

表1 化学灌浆材料

可选材料类型	受灌体	工程要求
环氧树脂、聚氨酯(油溶性)	基础、隧洞围岩	补强加固
环氧树脂	防渗、堵漏	聚氨酯、丙烯酸盐、水玻璃、
水玻璃	覆盖层	水玻璃、丙烯酸盐、聚氨酯、

室内试验

3.1.5 水泥浆液及化学浆液现场使用配合比应进行室内

其中室内试验应有一定研究经费；除现场地质条件、地下水状  
态、施工工艺和管理水平等因素影响，有特殊要求时，还应模拟  
现场实际条件进行试验。

常分为制浆搅拌机和储浆搅拌机，制浆速度不应小于1200r/min，使水泥类原材料高度分散，以制成均匀稳定的浆液。灌浆需临时储浆和低速搅拌以保持浆液的流

采用人工拌制，有些情况下也可采用机械混合拌制。化学浆液拌制能力满足灌浆要

水泥灌浆定为

压力的0.8倍，

浆工程安全作

力大于8MPa

安全防冲系

泥浆液或细水

水灰比拌制，

后使用。其中

浆距离、耗量

液可采取集

高可在灌浆

电站均在两

液质量控制

送，通常应

3.2.1 水泥浆搅拌机通

搅拌机要求功率大，转速

在水灰比0.5:1情况下

浆工作面附近的储浆桶仅

动状态即可。

3.2.2 化学灌浆浆液多

械或多液泵通过混合器混

浆即可。

3.2.4 目前学术界和工程界通常将超过10MPa的

超高压水泥灌浆。化学灌浆压力一般为水泥灌浆

此处将化学灌浆定为大于8MPa。为确保复合灌

浆，对于水泥灌浆压力大于10MPa，化学灌浆且

的高压复合灌浆的管路系统、控制系统、阻浆系统

统等应进行专门设计、加工和试验论证。

3.2.6 大规模的水泥化学复合灌浆工程，普通水

泥浆液宜采取集中制浆站，在集中制浆站按0.5:1

再通过专用管道输送至各灌浆作业面加水稀释调制

细水浆液制备可根据水泥原材料、磨细工艺、输

大小等，制浆系统布置可具体调整，如湿磨细水泥浆

中制浆站制备，而超细水泥浆液因用量相对少，成本

作业面附近制备。向家坝、溪洛渡和白鹤滩等大型水

岸坝肩建立了普通水泥、湿磨细水泥集中制浆站，浆液

效果良好。而化学浆液一般用量少，且不宜长距离输

在灌浆作业面及其附近制备，随配随用。

### 3.3 水泥浆液及制备

普通水泥、

3.3.1 水泥灌浆包括普通水泥灌浆和细水泥灌浆。

细水泥灌浆原材料的选择，浆液的拌制、输送、贮存、使用，以

准直接参照执行。

### 3.3.2 灌浆过程中，应定期对水泥制浆站和灌浆工作面

浆液的温度、密度、稠化率、细度、黏度和流动度等进行检测，发现浆液性能偏离要求指标时，应查明原因并及时处理。

水泥浆液性能现场检测：密度可采用泥浆密度计，析

采用量筒和移液管，黏度可采用马氏漏斗黏度计等，湿磨

浆液的现场细度检测可采用光透沉降式粒度仪。

## 3.4 化学浆液及制备

3.4.1 化学浆液一般在灌浆作业面配置，配浆量应与地层特性、灌浆工艺、注入率等匹配，遵循少量多次和随配随用的原则。

3.4.2 环氧树脂、聚氨酯、丙烯酸盐、水玻璃等化学灌浆原材料现场抽检应按批次或定量随机抽取送检，检验项目应根据工程需要确定，且应符合下列要求：

(1) 环氧树脂灌浆原材料现场抽检按 GB/T 2379 及相关标准的规定执行，宜以同一厂家、同一批次、同一批号 20t 为一批，不足 20t 时可作为单独一批。抽样应随机抽取，总取样重量不应少于 8kg，且不同组份应按相应比例取样。原材料抽检样品应及时送检，检验项目应包括：密度、初始黏度、可操作时间、抗压强度和黏结强度等。

(2) 丙烯酸盐灌浆原材料现场抽检按 JC/T 2037 标准的相关规定执行，宜以同一厂家、同一批次、同一批号 50t 为一批，不足 50t 时可作为单独一批。抽样应随机抽取，总取样重量不应少于 12kg。原材料抽检样品应及时送检，检验项目应包括密度、初始黏度、胶凝时间等。

(3) 水溶性聚氨酯灌浆原材料现场抽检按 JC/T 2041 标准相关规定执行，宜以同一厂家、同一批次、同一批号 50t 为一批，不足 50t 时可作为单独一批。抽样应随机抽取，总取样重量不应少于 5kg。现场原材料抽检样品应及时送检，检验项目应包

发泡倍数等。

抗折强度、胶凝时间、泌水量

(4) 水玻璃灌浆原材料现场抽检按 JGJ/T 211 及相关标准的规定执行，宜以同一厂家、同一批次、同一批号为一品，不足 50t 时可作为单独一批。抽样应随机抽取，总取样重量不少于 1kg。现场抽检材料应及时送检，检验项目应包括密度、胶凝时间等。

根据多个复合灌浆工程的实践经验，灌浆过程中配制好的化

浆液应搅拌均匀，根据现场管径和工程需求，每次灌大量浆

液时，应做好浆液用量的观察记录

浆液胶凝固化情况。

酸盐、聚氨酯和水玻璃灌浆材料

3.4.3~3.4.6 环氧树脂、丙烯酸

已有相应的行业标准，其灌浆材料可参照 GB 2379、JC/T 2037、JC/T 2041、JGJ/T 211 及相关标准的规定

执行。

## 4 复合灌浆试验

地质条件复杂、环境复杂，若因措施不当、材料选型不合理、施工工艺不配套等造成工程处理效果难补救。复杂的复合灌浆工程应进行灌浆试验。灌浆试验应在灌浆工程或重要性工程的灌浆试验前进行，属于加固防渗或固结和强的在前期水泥灌浆后进行。

复合灌浆试验场地、受灌地层和试验环境的选择

应综合考虑工程特点和

试验的指导作用。

应具有代表性，试验方案要符合技术工艺地质条件等，以保证试验结果对复合灌浆

灌浆试验具体试验任务除一般工艺技术和质量检查方法外，应研究复合灌浆浆材尤其是化学浆材与地层和环境间的适应性，确定复合灌浆化学灌浆的开灌条件，还应制定详细的劳动安全防护、职业健康、环境保护等措施。

4.0.5 固结和帷幕灌浆试验均应在有盖重条件下进行，防渗墙与帷幕层固结灌浆试验应根据具体情况确定。复合灌浆盖重可采用混凝土盖重、顶部地层加密灌浆等形式，盖重厚度应根据灌浆压力、岩体质量等情况综合确定。如白鹤滩水电站为保证坝基柱状节理玄武岩的灌浆质量，采用硬岩层作为盖重，待下部固结灌浆完成后再进行帷幕灌浆。帷幕灌浆应在灌浆试验区域侧向相对封闭的条件下进行，以免试验结果失真和浆液扩散范围过大。

4.0.6 复合灌浆试验完成后应留有必要的进行灌浆效果测试评价，预留的时间应由浆材的胶凝固化特性确定。

4.0.7 灌浆试验报告应包含灌浆浆液配合比、灌浆浆材、方

工艺参数、合格标准及环保措施等方面的结论和处置措施。当遇复杂地质条件或工程有特殊要求时，还应结合现场试验数据进行深度和更全面的专项论证。

4.0.8 复合灌浆工程实施前应编制专项施工方案，施工方案应经审批合格后方可实施。施工过程中应加强监测，并根据监测结果及时调整施工参数。

设计。

## 5 基岩复合灌浆

### 5.1 一般规定

5.1.1 基岩复合灌浆可用于基岩固结和帷幕复  
岩灌浆工程可参考使用。全强风化岩层、大型岩

体裂隙发育等工程，复盖层复合灌浆  
的有关规定执行。

5.1.2 基岩复合灌浆工程区一般存在混凝土浇筑、土石方开挖、  
填筑或其他隐蔽性工程，施工作业交叉多，复合灌浆应统筹考  
虑，合理安排施工。基岩帷幕复合灌浆应在水库蓄水前或低水位  
下实施。

5.1.3 复合灌浆应分区、分段、分孔实施，灌浆区应  
由上游至下游原则实施。坝基多排帷幕复合灌浆应上下游  
非、自上游排、最中间排。

5.1.6 基岩复合灌浆过程中，应避免岩层松动或将变形控制在  
弹性范围内，应设置松动观测装置，松动观测系统应采用自动  
监测系统。具有特殊要求的工程，变形控制值应符合设计要求。

### 5.2 钻 孔

5.2.2~5.2.4 基岩复合灌浆处理对象一般为不良地质体，钻孔  
精度要求高，如拱坝防渗层帷幕和搭接帷幕钻孔。复合灌浆的  
钻孔定位、倾斜度和深度控制要求高。复合灌浆钻孔定位误差应  
小于 10cm，孔深误差不应大于 20cm。不同孔深偏差控制要求不  
应低于 DL/T 5406 中的相关规定。同孔复合灌浆先水泥灌浆再  
化学灌浆，水泥灌浆孔孔径不宜小于  $\phi 56\text{mm}$ ，扩孔后化学灌浆  
孔径不宜小于  $\phi 75\text{mm}$ 。

## 5.3 复合灌浆方法

浆多为深部不良地质体帷幕复合灌浆。水泥灌浆结束后实施。基岩也可选择同孔复合灌浆工艺。异孔复合灌浆满足一定要求后再采取注浆化学浆液。同孔复合灌浆应分段进行化学灌浆。下分段灌浆时，水泥灌浆管孔仍采用原孔，分段进行水泥灌浆。上分段灌浆等。

分段灌浆为一段时，段长为0.5~1.0m。直径试验也可延长段长，缩短。

5.3.1 水工建筑物基岩复合灌浆，固结灌浆较少，且多在帷幕复合灌浆可采用异孔复合灌浆。异孔复合灌浆应先分段分段进行。分段灌浆时，应先进行水泥灌浆，再进行化学灌浆。5.3.2、5.3.3 复合灌浆宜自上而下分段灌浆。化学灌浆法。具备条件时也可采用自上而下分段灌浆。

5.3.4、5.3.5 复合灌浆段长与帷幕灌浆段长，3m。当地质条件较好，且具备一定条件时，段长，但不宜超过10m。当地层条件差时段长宜

## 5.4 水泥灌浆

行单点法压水试验

灌浆压力高的孔

5.4.3 复合灌浆工程先导孔宜自上而下分段进行。灌浆压力高的孔，宜适当提高压水试验压力，但不应大于灌浆压力的80%。

5.4.4 水泥灌浆前各段宜进行简易压水试验，压力为最大灌浆压力的80%，并不大于1MPa。涌水、渗水压力高的孔段，简易压水试验压力应适当大于涌水压力或孔隙水压力；但不应大于灌浆压力的80%。

5.4.5 我国基岩水泥灌浆普遍采用多级水灰比浆液，灌浆过程

由稀到浓逐级变换，相当于把每段灌浆分为试验段，灌浆效果好。适合我国灌浆习惯。部分工程采用了一定水灰比的稳定浆液，灌浆过程中水灰比保持不变。普通水泥、细水泥灌浆的具体开灌

水灰比、灌浆

水灰比、灌浆压力、灌浆速度、灌浆材料、灌浆方法、灌浆效果、灌浆标准等应符合

相关标准的规定执行。

结合不同化学浆材特点、DL/T 5406 的相关规定及工程实践，制定结束标准如下：

(1) 一般条件下，化学灌浆灌浆段在最大设计压力下，注入率不大于  $0.02 \text{ L/min}$  后，继续灌注  $30 \text{ min}$  或达到凝胶时间，即可结束化学灌浆。环氧树脂类化学灌浆应严格按此要求执行。

(2) 对于一般条件下的聚氨酯、丙烯酸盐、水玻璃等浆液，

间比环氧树脂类短，可在几分钟左右胶凝固化。对于稀酸盐、水玻璃等浆液，化学灌浆结束标准可调整

胶凝固化时  
聚氨酯、丙  
到，当注入  
学灌浆

复杂工程、特殊条件下，灌浆结束标准可适当放宽。按设计压力下，注入率小于0.05 L/min后，继续灌

(5) 按  
学灌浆在量

达到凝胶时间，即可结束化学灌浆。可按设计或灌浆试验确定。化学灌浆结束标准可按每5min计

注30min  
(4) 特殊地层或有其他要求时受灌浆机械系统波动影响时，算一次平均值。

### 孔

### 5.6 封

6.2的相关规定执行。全孔灌的新鲜水泥浆液置换孔内稀浆。采用分段灌浆法的封孔灌浆口封闭灌浆法的封孔灌浆压力时间宜不小于1h。当复合灌浆的灌浆材料时，也可采用

5.6.1 基岩复合灌浆封孔可按SL浆结束后，可以水灰比为0.5:1的或积水，采用全孔灌浆封孔法封孔。压力宜为全孔段平均压力，采用孔宜为最大水泥灌浆压力。封孔尾浆化学灌浆材料为环氧树脂等高强度化学灌浆进行封孔。

### 况处理

### 5.7 特殊情

5.7.1 复合灌浆把终孔段的胶凝率或干密度等指标未达到设计值时，其灌浆孔宜继续加深。但对于大坝蓄水后高水头下的补强或加强灌浆工程，错孔不宜钻穿原浆液扩散范围。

5.7.5 孔口有涌水的灌浆孔段，灌浆前应测记涌水基量和涌水量，根据涌水情况，可选用提高灌浆压力、缩短浆液凝胶时间、间歇灌浆等措施，并适当延长屏浆时间。高水头下坝基不良地质体复合灌浆工程，钻孔渗水、涌水较普遍。如溪洛渡水电站右岸395m高程灌浆廊道和平洞复合灌浆钻孔过程中，玄武岩层间层内错动带段出现涌水，涌水压力较大的孔段，经采取上述综合措

施后，灌浆效果良好。

**5.7.6** 化学浆液质量与环境温度、配比、操作方式等有直接关系。在化学灌浆过程中，应取样实时查看浆液的胶凝情况，若情况异常，应及时采取相应处理措施。

# 隧洞复合灌浆

6

## 1 一般规定

要适用于水工隧洞等工程。公路和铁路等

交通洞、地下厂房等其他洞室可参

要指凿岩浆液化学灌浆。不包括喷射

浆的水泥和化学灌浆材料应根据灌浆目

地下水状态等因素综合确定。隧洞围岩

复合灌浆仅有防渗要求时可选用环氧树脂、丙烯酸酯等灌浆材

料，而对完整性、强度、均匀性和抗渗性要求高的，可采用环氧  
树脂灌浆材料。如抽水蓄能电站的高内水压水工隧洞系统，化学  
浆材可选用环氧树脂灌浆材料。

6.1.2 混凝土衬砌洞段围岩复合灌浆应在回填灌浆完成后进行，

衬砌段应在回填接触灌浆完成后进行。当隧洞中布置有帷幕灌浆

时，应按照先固结灌浆，后帷幕灌浆的顺序施工。对于倾斜水工

隧洞，灌浆应在洞顶高处依次灌注。对于裸露围岩洞段、喷射

混凝土洞段、钢筋混凝土洞段和钢衬洞段，灌浆时间间隔需考虑

混凝土冷却收缩、灌浆材料固化时间等因素。对于高内水压水工

隧洞的高岔洞段、衬砌结构变化洞段，固结和帷幕复合灌浆的顺

序可特殊考虑。

6.1.3 对于Ⅳ类和Ⅴ类围岩水工洞段、300m以上的高压水工

隧洞、裸露围岩洞段，因地质条件差，复合灌浆的灌浆材料、工

艺、压力、流量等控制参数制定，应结合灌浆试验开展更深入和

全面的专题研究。

围岩复合灌浆，通常水泥灌浆压力为静

水灌浆压力为静水头的1.1~1.3倍。如

浆压力为6.5MPa，清远抽水蓄能电站

6.1.1 本章隧洞复合灌浆工

围岩复合灌浆、隧洞堵头段

照执行。隧洞复合灌浆工

填灌浆和衬砌结构灌浆。

水工隧洞围岩复合灌

的围岩性质、地应力和

6.1.5 高水头水工隧洞围

水头的1.3~1.5倍，化学

广州抽水蓄能电站最大灌

站最大灌浆压力达  
构变形监测装置。  
收敛观测设施，地  
变形监测设施。测  
满足设定要求。  
浆可能引起衬砌或

最大灌浆压力为 7.3MPa，天荒坪抽水蓄能电  
9MPa。高水头水工隧洞复合灌浆时应设置结  
一般情况下的抬动变形监测装置可采用高精度  
质条件差或有特殊要求的部位可布置深孔抬动  
点位置根据现场情况确定，抬动变形控制值应  
当裸露围岩和低水头水工隧洞围岩复合灌  
围岩系统变形破坏时，应设置变形监测装置。

## 6.2 钻 孔

清远和深圳等抽  
金水工隧洞围岩  
灌浆孔可取得好  
水泥灌浆力不大

6.2.1、6.2.2 根据 SL62 的相关规定及惠州  
水蓄能电站高水头水工隧洞围岩灌浆的工程经验  
灌浆孔孔径不宜小于 50mm，水泥灌浆和化学  
浆灌浆效果。对于异孔复合灌浆，为保证质量

## 6.3 灌 浆

和环内孔距一般较小，非环内孔距  
宜采用异孔复合灌浆，也可采用同孔复合灌浆。环内孔复合灌  
浆孔的布置  
一环为化学

浆可采取环内二序孔为水泥灌浆孔，二序孔为化学灌  
浆方式。环内异孔复合灌浆可采取一环为水泥灌浆，下  
灌浆的布置方式。

要手段。  
复合灌浆，  
灌浆孔为三

6.3.2 简易压水试验是确定围岩渗透率、裂隙发育程度等  
当达到化灌开灌条件后才可进行化学灌浆。对于异孔复  
水泥灌浆孔宜选取 5% 进行灌前简易压水试验，而化学  
保证灌浆质量，每孔灌前均应进行简易压水试验。

灌浆前  
进行化  
无异常

6.3.3 对于同孔复合灌浆，水泥灌浆前每个孔均应先进行  
简易压水试验，当透水率满足化学灌浆开灌条件时，可直接  
学灌浆。若需先水泥灌浆，水泥灌浆可正常结束且注入率  
时，化灌前可不进行压水试验而直接进行化学灌浆。特殊情况可

根据设计或现场灌浆情况确定。

### 6.3.4 水工隧洞围岩复合灌浆简易压水试验

当水、渗水或孔隙水压力较高时，简易压水试验

至少不小于涌水或孔隙水压力，且应取涌水或孔隙水压力

环。最大简易压水试验压力可结合隧洞的埋深、围岩强度

力和地下水环境等综合确定，但不得大于后期灌浆压力的 80%

### 6.3.5 隧洞围岩水泥灌浆可采用纯压式，也可采用循环式

现场可操作性看，当钻孔孔径大于  $\phi 50\text{mm}$  时可采用循环

浆。化学灌浆宜选用孔内埋管孔口阻塞纯压式灌浆，化学灌

浆一般应分序、分环、分段、分孔、分孔段、分孔段

进行修饰抹平。

### 6.3.6 6.3.7 复合灌浆钻孔灌浆宜按

则分序灌浆，且环内应分序、分孔、分孔段、分孔段、分孔段

质量不低于 IV 类时，浆液扩散范围有限，且

不分序，环内可分为两序。斜井和竖井因台法

合灌浆环间可不分序，环内可分为两序。

当围岩岩体质量为 III 类和 V 类，通常不宜

复合灌浆，一般可先进行较大范围和深度的水泥灌浆，当水泥灌

浆灌后达到一定标准后，再在水泥灌浆范围内进行水泥化学复

合灌浆。如清远抽水蓄能电站中平洞 V 类围岩洞段，静水头约为

300m。该段为花岗岩断层蚀变带，岩体破碎，蚀变严重，开挖

过程中塌方严重成洞困难。在围岩灌浆处理措施上，采取了先较

大范围和大深度的系统水泥灌浆，当灌后满足一定标准后，再在水

泥灌浆范围内进行较浅水泥化学复合灌浆，处理效果好。

### 6.3.8 复合灌浆孔入岩深度小于 6m 时，水泥灌浆可不分段。

当灌浆孔入岩深度大于 6m 时，水泥灌浆宜分段。隧洞围岩分段

灌浆时，应先灌浅层灌浆孔，后灌深部其他段灌浆孔，卡塞位置可

放在大孔内一定深度岩体处，以免破坏衬砌系统。

隧洞围岩化学灌浆浆液流动性好，一般灌浆孔孔深 5~9m，灌浆可不分段。特殊地层或有特殊工程要求时可根据灌浆试验

水泥灌浆孔灌浆结束后，孔内  
 应用全孔灌浆封孔法封孔。  
 封孔压力宜为全孔平均灌浆压力或  
 不低于1MPa，灌浆持续时间  
 不应少于1h。封孔灌浆结束后，孔  
 内应填实抹平。对于腰线  
 以下，且灌后无渗水孔也可  
 采用微膨胀水泥抹实填平。对于腰线  
 以上，且灌后有渗水孔，或有特  
 殊要求，如工程要求围岩防  
 渗、均匀性、强度等指标要求高时，  
 可采用浓浆进行导管法封孔。当有特  
 殊要求时，可采用化学浆  
 液进行灌浆封孔。  
 化学灌浆孔灌浆结束后，孔内  
 应用全孔灌浆封孔法封孔。  
 化学灌浆采用环氧树脂等  
 浆液，采用全孔灌浆封孔法封孔。  
 灌浆材料，且经化学灌浆直接封孔。  
 钢衬段灌浆和封孔结束后，钢衬上的灌浆孔应采用相同钢质  
 材料，焊封后应打磨平整。

## 7.1 一般规定

7.1.1 本章适用于大坝、水闸、泵站、电站厂房等水工建筑物与其附属建筑物等覆盖层地基的水泥化学复合灌浆。灌浆材料、灌浆工艺、灌浆应通过灌浆试验进行综合论证。

覆盖层地基一般物理力学性状差异大，复合灌浆前除应取得 1.0.6 条所列资料，以及化学灌浆的职业健康、劳动安全防护与环境保护专项措施外，还应取得其岩土体物理力学测试参数，如地层颗粒级配、密度、渗透系数、允许渗透比降等。覆盖层水泥浆液一般可选用普通水泥、细水泥浆液，也可选用水泥黏土或黏土水泥等其他浆液。水泥浆液可灌性可采用可灌比  $M$  作为判别指标，也可选用渗透系数、覆盖层颗粒级配等进行判别和评估。其中可灌比  $M$  可按式 (1) 计算：

$$M = D_{15} / d_{85} \quad (1)$$

式中  $D_{15}$  ——覆盖层颗粒粒径指标，小于该颗粒的土体占覆盖层总重的 15%，mm；

$d_{85}$  ——浆液材料颗粒粒径指标，小于该粒径的材料占材料总重的 85%，mm。

当  $M > 15$  时，可灌注水泥浆； $M > 10$  时，可灌注水泥黏土浆。

7.1.4 覆盖层成孔一般条件较差，复合灌浆应设置混凝土盖板压重，或利用浅部加密灌浆作为盖重等形式，且盖板范围应大于复合灌浆范围。当无明确要求时，压重盖板扩大范围可按上部荷载范围边界的 45° 外扩散角计算，与灌浆深度相适应，且不宜小于 3m。

7.1.5 覆盖层灌浆分区应满足净距原则。

中间孔的分序

边孔再中间孔，帷幕应先下游孔、再上游孔、最后

## 原则。

易产生变形破

7.1.6 覆盖层一般地层软弱，在压力注浆情况下

坏，灌浆压力等控制参数应经试验确定。

对于对变形不太敏感的堆石坝、堤防、围堰类地基，一般情况下允许少量抬动，灌浆压力可按最大允许变形值控制。如砂砾石基础帷幕灌浆，灌浆处理区地面允许最大抬动量不得超过砂砾石灌浆深度的1%~2%。对于已建或在建的水闸、泵站及电站厂房类等覆盖层基础，灌浆压力应按灌浆建筑物的允许变形要求控制。

## 7.2 钻 孔

7.2.1、7.2.2 覆盖层地层条件差，常规钻孔成孔困难，孔内事故多发，钻孔应根据地质条件、孔深、灌浆工艺，选择适宜的钻进方法，可采用普通回旋钻机、冲击回旋钻机以及潜孔锤的扩壁方式。具体可按照 SL 62 的相关规定执行。

## 7.3 灌 浆

7.3.1 覆盖层水泥化学复合灌浆应优先选用排间或排内异孔复合灌浆。用水泥、化学灌浆剂比例也可根据灌浆情况调整。水泥灌浆可选用套阀管法、花管法或套管灌浆法。化学灌浆宜选用循环钻灌法或预埋花管法。

7.3.3 覆盖层因地层松散、强度低，化学灌浆可灌性好，灌浆不宜高压大流量灌注。化学灌浆过程宜采用进浆速率控制，逐步升压至设计压力。

7.3.4 化学灌浆结束标准应根据地层估算的注入量和注入率双重标准来控制，并满足设计要求。覆盖层一般自身强度低，防渗、固结与补强多采用水玻璃、丙烯酸盐、聚氨酯等化学灌浆材料，这些浆液胶凝固化相对较快，在设计压力下注入率不大于0.02L/min后，继续灌注10min或达到胶凝时间，即可结束灌浆。

## 8 质量检查

### 8.1 一般规定

8.1.1 复合灌浆处理对象重要、处理难度大、施工过程中应对

水玻璃和化学灌浆的原材料按批次和数量进行抽样、送检和留样。

并在灌浆过程中按要求的频率取芯检测浆液、浆液胶凝时间。

过程，其现场留样保存时间不宜少于3个月。

8.1.2 灌后检测时间应根据浆液的固化特性、检测项目等综合

进行检测，对于丙烯酸盐、聚氨酯、

的化学浆液，以及有特殊要求时，检

声波测试、钻芯变形模量测试宜在

确定。压水试验一般28d后

水玻璃等胶凝时间相对较快的

测时间可缩短至10~14d。声

28d后进行。

### 复合灌浆质量检查

### 8.2 基岩复

帷幕复合灌浆，检查孔位置应布

主要部位与灌浆过程容易出现异常情

检查孔应布置在灌浆排下游位置。

在灌浆排稍偏下游位置。

的手段是钻芯取芯和钻孔压水试验。

声波测试、钻芯变形模量测试

或跨孔声波测试、钻孔变形模

量测试，以及芯样室内物理力学试验等。

小工程

8.2.6 透水率是评价岩体灌浆质量的最主要指标之

定的主要

建筑物混凝土与基岩接触段是受方、变形、渗漏与抗滑稳

下部基岩压水试验应逐孔进行

部位，合格率应为100%。

其各试段的透水

为：90%以上试段的透水率不大于设计防渗系数

准稍严于SL

率个别人工可规定值的百分之五至百分之十，且不宜由合格标准

62. 压水质量合格标准是基岩复合灌浆的一个最主要检测标准，

### 8.3 隧洞复合灌浆质量检查

#### 8.3.2 隧洞复合灌浆灌浆质量检查方法应以钻孔

法和压水试验法为主,必要时可在孔内

进行物理力学试验等。

且应根据检查结果对灌浆系统的

浆液浓度、浆液量、浆液扩散

范围、浆液与围岩的胶结

程度、浆液与围岩的

结合力、浆液与围岩的

结合力、浆液与围岩的

结合力、浆液与围岩的

结合力、浆液与围岩的

#### 8.4 覆盖层复合灌浆质量检查

#### 8.4.2 覆盖层复合灌浆质量检查

应优先采用压水试验,也可

采用物理力学试验等,必要时

可采用物理力学试验等。

#### 8.4.4 覆盖层复合灌浆检查孔

可采用金刚石钻头钻进,为

保证取芯质量,以及室内物理

力学试验要求,应缩短进尺,

套管跟进,并根据取芯结果

采取相应措施。当清水钻进

难以成孔时,也可采用泥浆

钻进,但应考虑其对质量检

测结果的影响。

#### 8.4.6 覆盖层一般地质条件复杂

时,复合灌浆工程的检测

合格要求难以统一,在具体

工程应再设计基于灌浆试验

设计确定的检测方法和质量合格标准外,还应结合灌浆施工成果资料进行综合分析和评定。

## 水利水电技术标准咨询服务中心

简介

### 中国水利水电出版社标准化出版分社

中国水利水电出版社是一个创新、进取、严谨、团结的文化团队，一家把握时代脉搏、紧跟科技步伐、关注社会热点、不断满足读者需求的出版机构。作为水利部直属的中央部委专业科技出版社，成立于1956年，1993年荣膺首批“全国优秀出版社”的光荣称号。经过多年努力，现已发展成为一家以水利电力专业为基础、兼顾其他学科和门类，以纸质书刊为主、兼顾电子音像和网络出版的综合性出版单位。迄今已经出版近四万种、数亿余册（套、盘）各类出版物。

水利水电技术标准咨询服务中心（中国水利水电出版社标准化出版分社）是水利部指定的行业标准出版发行单位，主要负责水利水电技术标准及相关出版物的出版、宣贯、推广工作，同时还负责水利水电类科技专著、工具书、文集及相关职业培训教材编辑出版工作。

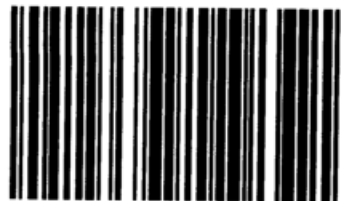
感谢读者多年来对水利水电技术标准咨询服务中心的关注和垂爱，中心全体人员真诚欢迎广大水利水电科技工作者对标准、水利水电图书出版及推广工作多提意见和建议，我们将秉承“服务水电、传播科技，弘扬文化”的宗旨，为您提供全方位的图书出版咨询服务，进一步做好标准和水利水电图书出版、发行及推广工作。

购买标准电子版或其他电子图书，欢迎登录 <http://www.shuizhishi.cn>，或扫描下方二维码。





SL/T 802—2020



155170.636

中华人民共和国水利行业标准  
水工建筑物水泥化学复合灌浆施工规范

SL/T 802—2020

\*

中国水利水电出版社出版发行

(北京市海淀区玉渊潭南路1号D座100038)

网址: www.waterpub.com.cn

E-mail: sales@waterpub.com.cn

电话: (010) 68367658 (营销中心)

北京科水图书销售中心(零售)

63202643、68545874

电话: (010) 88383994

在北京市内各书店均有代售

全国各地新华书店均有代售

清淤永业(天津)印刷有限公司印刷

\*

140mm×203mm—32开本 2.5印张—67千字  
2020年11月第1版 2020年11月第1次印刷

\*

书号: 155170.636

水利水电技术标准  
咨询服务中心



微信二维码, 扫一扫  
信息更多、服务更快

销售分类:

水工建筑物/施工与安装

凡购买我社规程, 如有缺页、倒页、脱页的,  
本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究