

ICS 93. 160

P 55

SL

中华人民共和国水利行业标准

SL 564—2014

替代 SD 266—88

土坝灌浆技术规范

Technical specification of earth dam grouting

2014-07-03 发布

2014-10-03 实施



中华人民共和国水利部 发布

中华人民共和国水利部
关于批准发布水利行业标准的公告
(土坝灌浆技术规范)

2014 年第 36 号

中华人民共和国水利部批准《土坝灌浆技术规范》
(SL 564—2014)为水利行业标准，现予以公布。

序号	标准名称	标准编号	替代标准号	发布日期	实施日期
1	土坝灌浆技术规范	SL 564—2014	SD 266—88	2014. 7. 3	2014. 10. 3

水利部
2014 年 7 月 2 日

前 言

根据水利部水利行业标准制修订计划，按照《水利技术标准编写规定》(SL 1—2002)的要求，对《土坝坝体灌浆技术规范》(SD 266—88)进行修订。修订后的标准名称为《土坝灌浆技术规范》。

本标准共6章和3个附录，主要技术内容有：土坝灌浆设计、施工、监测和质量检查，以及有关劈裂灌浆压力和稳定性验算的计算公式。

本次修订的主要内容有：

- 对标准的适用范围进行了修改和补充；
- 增加了术语和堤坝地基劈裂灌浆的内容；
- 对灌浆试验的内容进行了补充；
- 对钻孔、灌浆等工序和工艺要求进行了修改和补充；
- 将原规范中第二章“灌浆前的准备工作”的相关内容分别归并到灌浆设计和灌浆施工等章节中；
- 删除了原规范中关于工程验收等管理性质的内容，简化了原规范中附录的内容；
- 增加了土坝劈裂灌浆设计灌浆压力计算公式，完善了土坝劈裂灌浆控制压力计算公式和土坝劈裂灌浆不利情况下的坝体稳定性验算公式。

本标准为全文推荐。

本标准所替代标准的历次版本为：

——SD 266—88

本标准批准部门：中华人民共和国水利部

本标准主持机构：水利部建设与管理司

本标准解释单位：水利部建设与管理司

本标准主编单位：山东省水利科学研究院

本标准参编单位：河北省水利工程局

本标准出版、发行单位：中国水利水电出版社

本标准主要起草人：王明森 王洪恩 耿灵生 高印军

肖立生 卢超 阎伟忠 李海民

朱艳明 叶良茂 李明 巩向锋

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

目 次

1	总则	1
2	术语	3
3	灌浆设计	4
3.1	一般规定	4
3.2	隐患勘探	4
3.3	灌浆试验	5
3.4	堤坝坝体劈裂灌浆设计	5
3.5	堤坝地基劈裂灌浆设计	7
3.6	堤坝充填灌浆设计	8
4	灌浆施工	9
4.1	施工准备	9
4.2	钻孔	9
4.3	制浆	10
4.4	灌浆	10
4.5	灌浆控制	11
4.6	灌浆结束标准及封孔	12
4.7	特殊情况处理	12
5	灌浆监测	14
5.1	一般规定	14
5.2	坝体变形监测	14
5.3	渗流监测	15
5.4	裂缝和冒浆监测	15
5.5	其他监测	15
6	灌浆质量检查	16
6.1	质量检查要求	16
6.2	质量检查内容	16

6.3 质量检查方法	16
附录 A 土坝劈裂灌浆控制压力和设计灌浆压力的计算	18
附录 B 土坝劈裂灌浆不利情况下的坝体稳定性验算	19
附录 C 灌浆监测记录和成果汇总表	22
标准用词说明	27
条文说明	29

1 总 则

1.0.1 为规范土坝灌浆的设计和施工，做到安全可靠、经济合理、保证质量，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于高度 70m 及以下的均质土坝、土质心墙坝、土堤及其浅层软土地基的土体灌浆。

1.0.3 土坝灌浆可用于处理下列工程隐患：

1 坝体内有渗漏通道，坝后坡浸润线出逸点过高，发生洇湿或渗透破坏现象。

2 坝体碾压不实，密实度较差，坝体分段分层填筑施工质量差的部位。

3 坝体由于不均匀沉陷而产生的裂缝（不包括滑坡裂缝）。

4 坝体和其他建筑物结合不好，存在空隙和渗水通道。

5 坝体内存在洞穴。

6 堤坝浅层软土地基附加应力场主要影响范围以内的渗漏和缺陷。

1.0.4 土坝灌浆应根据土坝的具体情况，因地制宜地选择灌浆方法和施工工艺。

1.0.5 土坝灌浆宜在旱季和水库低水位期进行。

1.0.6 在灌浆工程施工前，应对施工人员进行技术培训。

1.0.7 土坝灌浆应积极采用成熟可靠的新设备、新材料、新技术和新工艺。

1.0.8 本标准的引用标准主要有下列标准：

《通用硅酸盐水泥》（GB 175）

《土的工程分类标准》（GB 50145）

《堤防工程设计规范》（GB 50286）

《水利水电工程地质勘探规范》（GB 50487）

《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》（SL 62）

《小型水利水电工程碾压式土石坝设计导则》(SL 189)

《土工试验规程》(SL 237)

《碾压式土石坝设计规范》(SL 274)

《土石坝安全监测技术规范》(SL 551)

1.0.9 土坝灌浆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 土坝灌浆 earth dam grouting

对已建成的、存在缺陷或隐患的土坝（土堤）工程，为提高其密实性、整体性、稳定性和防渗性能所进行的土体灌浆。

2.0.2 劈裂灌浆 hydrofracture grouting

根据坝体小主应力的分布规律布孔，利用水力劈裂原理，有控制性地劈裂坝体，并灌入合适的浆液，形成防渗帷幕，同时使所有与浆缝连通的裂缝、洞穴、软弱夹层等坝体隐患，均能得到浆液的充填挤压密实，使坝体达到防参加固目的的一种灌浆方法。

2.0.3 充填灌浆 filling grouting

利用浆液压力，充填坝体内已有的裂缝、洞穴等坝体隐患，以达到加固堤坝目的的一种灌浆方法。

2.0.4 堤坝地基劈裂灌浆 hydrofracture grouting in dam foundation

在堤坝附加应力场作用下，堤坝软土地基轴线处的一定深度范围内存在一个小主应力面，沿该小主应力面进行合理布孔，并采取相应的灌浆工艺，进行压力灌浆，能沿小主应力面实现定向劈裂，构筑出符合设计要求的防渗体，从而达到堤坝软土地基防参加固目的的一种灌浆方法。

2.0.5 泥墙 grouted cutoff

利用灌浆压力，沿土坝坝轴线小主应力作用面劈裂坝体，向缝隙中灌注黏土浆，浆液析水固结后形成的具有一定厚度的、在竖直方向上连续分布的、具有防渗作用的泥浆浆体帷幕。

3 灌浆设计

3.1 一般规定

3.1.1 土坝灌浆可分为劈裂灌浆和充填灌浆。劈裂灌浆适用于处理范围较大，性质和部位不能完全确定的隐患；充填灌浆适用于处理性质和范围都已确定的局部隐患。

3.1.2 灌浆设计应在已有资料的基础上进行可行性、可靠性论证，提出灌浆方案。

3.1.3 灌浆设计前，应收集下列资料：

- 1 已建工程的地质、设计和施工资料。
- 2 安全监测资料。
- 3 工程施工和运行期间出现的问题。
- 4 隐患勘探资料。
- 5 灌浆试验资料。

3.1.4 灌浆设计应对施工期监测与质量检查等提出要求。

3.2 隐患勘探

3.2.1 土坝隐患勘探可分为普遍性勘探和针对性勘探。从坝面上不能确定隐患性质和范围时，应进行普遍性勘探；需要进一步确定其性质和准确位置时，可进行针对性勘探。

3.2.2 参照 GB 50487，普遍性勘探可采用物探方法，针对性勘探可采用钻探、井探、槽探等方法。

3.2.3 钻孔、探井、探槽的位置和深度应经过分析、论证和设计。

3.2.4 隐患勘探完成后，应及时回填钻孔、探井、探槽，不应留下人为缺陷。

3.2.5 土坝坝体隐患勘探不宜采用注水试验。

3.3 灌浆试验

3.3.1 对于大、中型工程或有特殊要求的灌浆工程，设计前应进行灌浆试验，为灌浆设计提供依据。

3.3.2 灌浆试验前，应根据隐患勘探情况，分析隐患产生原因和危害程度，并参考类似工程经验，初步确定灌浆试验的技术参数。

3.3.3 应选取长度 20~50m 存在隐患的典型坝段，进行单孔和多孔的灌浆试验。

3.3.4 灌浆试验应布置相应监测设施。

3.3.5 灌浆试验过程中应详细记录现场施工情况和出现的问题，包括钻孔、灌浆压力、浆材、灌浆量、裂缝出现的长度、深度、宽度、连续性和方向等。

3.3.6 对灌浆土料、浆液和外加剂，宜进行必要的物理力学性能试验，可参照 SL 237。

3.3.7 应根据现场试验情况及时优化灌浆技术参数。

3.3.8 应根据试验结果，提交灌浆试验报告。

3.4 堤坝坝体劈裂灌浆设计

3.4.1 当坝体质量普遍较差，有大面积渗漏或坝体内部有较多隐患时，可按劈裂灌浆设计。

3.4.2 坝体劈裂灌浆宜按河床段、岸坡段、弯曲段和其他特殊坝段的不同情况分别进行设计。

3.4.3 在坝体河床段宜沿坝轴线（或稍偏上游）单排布孔。当隐患程度特别严重时，可根据坝体隐患的范围和程度，分两排或多排布孔。

终孔孔距：在河床段，孔深不小于 20m 时，可采用 5~10m；孔深小于 20m 时，可采用 3~5m。也可通过现场灌浆试验确定。

3.4.4 在岸坡段、弯曲坝段和其他特殊坝段布孔，宜布置多排

孔，并适当缩小孔距，或通过试验确定。

3.4.5 灌浆孔应为铅直孔。钻孔深度应超过隐患深度 2~3m。在主排孔两侧出现沉陷缝时，主排孔灌浆结束后应布置副排孔，孔深可为主排孔孔深的 1/3。

3.4.6 泥墙设计厚度应根据土坝土质、碾压质量、隐患性质和坝高等情况合理确定，可采用 5~20cm。

3.4.7 灌浆孔孔口压力应以灌浆孔孔口处进浆管内的浆液压力为准。灌浆控制压力 and 设计灌浆压力可按附录 A 规定的公式分别计算。

3.4.8 灌浆材料可参照 GB 50145 采用粉质黏土或黏土，其性能指标宜满足表 3.4.8-1 的要求，浆液物理力学性能指标宜满足表 3.4.8-2 的要求。

表 3.4.8-1 灌浆土料性能指标要求

项目	指标	项目	指标
塑性指数	10~25	砂粒含量 (%)	0~30
黏粒含量 (%)	20~45	有机质含量 (%)	≤2
粉粒含量 (%)	30~70	水溶盐含量 (%)	≤3

表 3.4.8-2 灌浆浆液物理力学性能要求

项目	指标	项目	指标
密度 (g/cm ³)	1.3~1.6	胶体率 (%)	≥70
黏度 (s)	20~100	失水量 (cm ³ /30min)	10~30
稳定性 (g/cm ³)	0~0.15		

3.4.9 有特殊要求时，浆液中可根据需要掺入下列材料：

1 当需要提高浆液的流动性时，可掺入水玻璃，掺量宜为干土质量的 0.5%~1.0%，或通过试验确定。

2 当需要加速浆液凝固和提高浆液固结强度时，可掺入水泥，掺量宜为干料质量的 10%~15%。与已有建筑物接触部位，水泥掺量应适当增加，必要时应通过试验确定。

3 当需要提高浆液的稳定性时，可掺入适量膨润土或其他外加剂。

4 当需要结合灌浆防止生物危害时，可在浆液中掺入适量的相应药物，但要防止污染环境。

3.4.10 土坝劈裂灌浆每次灌浆量应严格控制。采用多次灌浆的方法，每个灌浆孔都应进行多次灌浆。每个灌浆孔的灌浆次数应根据灌浆孔的深度和坝体隐患的程度确定，坝高 30m 以内的坝体灌浆次数宜在 5 次及以上；坝高 30m 及以上的坝体灌浆次数宜在 10 次以上。每米孔深每次平均灌浆量，宜控制在 $0.5 \sim 1.0\text{m}^3$ 。

3.4.11 应对灌浆期坝体被浆柱压力全线劈开的不利工况进行坝坡稳定性验算，验算方法见附录 B。若验算抗滑稳定安全系数不大于 SL 274 中规定的坝坡抗滑稳定最小安全系数时，应调整灌浆工艺（如延长各序各次灌浆间隔时间、减少每次灌浆量、控制灌浆压力、改善浆液性能等），并增加监测次数。

3.5 堤坝地基劈裂灌浆设计

3.5.1 堤坝地基劈裂灌浆宜适用于堤坝高度小于 10m，且地基处理深度小于 15m 的粉土、粉土质砂和软土透水地基的防渗加固灌浆。

3.5.2 灌浆孔沿堤坝轴线布置，宜布置单排孔，孔距宜为 2~3m。

3.5.3 劈裂灌浆宜灌注水泥黏土浆液，水泥含量宜为干料质量的 30%~40%，浆液中水和干料质量比宜为 1.5:1~0.8:1，也可通过试验确定。

3.5.4 对灌浆土料和浆液性能，宜满足表 3.4.8-1 和表 3.4.8-2 的要求。

3.5.5 灌浆所用水泥的强度等级可为 42.5 级或以上，宜为普通硅酸盐水泥或硅酸盐水泥，其质量应符合 GB 175 的要求。

3.5.6 灌浆所形成的浆体帷幕厚度，应满足渗透稳定要求。

3.5.7 堤坝地基劈裂灌浆灌入量，应满足浆体帷幕厚度的要求。

3.6 堤坝充填灌浆设计

3.6.1 当坝体存在局部裂缝及洞穴等隐患时，可按充填灌浆设计。

3.6.2 孔位布置在隐患位置，可按梅花形布置多排孔，终孔孔距可为1~2m，或按试验确定。

3.6.3 钻孔深度应超过隐患深度1~2m。

3.6.4 深孔灌浆时，宜下套管分段灌浆。

3.6.5 灌浆压力应小于50kPa。

3.6.6 对灌浆土料和浆液性能，宜满足表3.4.8-1和表3.4.8-2的要求。

3.6.7 充填灌浆宜一次灌注至设计要求。如隐患规模较大也可多次灌注，每米孔深每次灌浆量，应根据隐患程度通过现场试验确定。当无试验资料时，可取每米孔深每次灌浆量为0.3~0.5m³。若已知洞穴较大，可适当增加灌浆量和提高浆液稠度。

4 灌浆施工

4.1 施工准备

- 4.1.1 灌浆土料性能指标宜满足表 3.4.8-1 的要求，料场储量宜为需要量的 2~3 倍。
- 4.1.2 制浆用水应符合拌制水工混凝土用水的要求。
- 4.1.3 需掺加其他材料时，材料品质应满足 SL 62 的相关要求。
- 4.1.4 灌浆前应对浆液进行试验，浆液性能宜满足表 3.4.8-2 的要求。采用水泥黏土浆时，应进行不同水泥含量的浆液和结石的物理力学性能试验。对中、小型工程，应满足 SL 189 的相关要求，浆液指标可参照相关试验资料选取。
- 4.1.5 应优先采用灌浆新设备，灌浆机具应有备用。灌浆所用的动力应有保证。
- 4.1.6 灌浆施工前应根据 GB 50286 的规定埋设监测设施。
- 4.1.7 灌浆施工前应选择有代表性坝（堤）段进行生产性试验，试验孔不宜少于 3 个。

4.2 钻孔

- 4.2.1 应按设计要求布孔和钻孔。土坝的河床段钻孔应分序进行，宜分 2 序或 3 序。土坝的岸坡段、弯曲段、其他特殊坝段和堤坝地基劈裂灌浆钻孔可不分序。
- 4.2.2 灌浆孔位置与设计位置偏差不宜大于 10cm，孔底偏斜率不宜大于孔深的 2%。

1 堤坝坝体劈裂灌浆，孔径宜为 45~76mm，孔径应与所下注浆管相匹配。当孔深小于 30m 时，宜用干法成孔；当孔深不小于 30m 或孔深小于 30m、但坝体内有大量砂砾石时，可采用泥浆护壁钻进。

2 堤坝地基劈裂灌浆，可采用泥浆护壁钻进，坝（堤）体

内应下设套管，套管下设深度至坝（堤）基以下 1m 处，在套管内继续钻孔至设计深度。

3 充填灌浆，宜采用干法钻孔。深孔宜下套管，套管下至最低灌浆段的顶部。

4.2.3 钻孔完成后，应及时下注浆管（或套管），注浆管（或套管）与孔壁应结合紧密、封闭，防止灌浆时浆液沿孔壁向上冒出。灌浆孔的孔口处应做保护。

4.2.4 应做好钻孔过程的记录和描述，如发现特殊情况时，应详细记录并及时分析处理。

4.3 制 浆

4.3.1 制浆应采用专用机械。搅拌成浆后应先清除大颗粒和杂质，灌浆前再通过 36 孔/cm² 过滤筛过滤。

4.3.2 制浆过程中浆液密度、输浆量应每小时检测 1 次，浆液的稳定性和自由析水率每 10d 检测 1 次，如浆料发生变化，应随时增加检测频率。

4.4 灌 浆

4.4.1 堤坝坝体劈裂灌浆应符合下列要求：

1 应先灌河床段，后灌岸坡段和弯曲段；多排孔灌浆时，应先灌边排孔，再灌中排孔。同一排孔灌浆，应先灌第一序孔，再灌第二序孔、第三序孔；对于坝体质量较差的宽顶坝，可采用相邻两孔或多孔同时灌浆的方法。

2 灌浆采用纯压式灌浆方式进行时，注浆管应下至距离孔底 0.5~1m 处，自下而上分段灌浆。当孔底段经过多次灌注、灌浆量或灌浆孔孔口压力达到设计要求时，应提升注浆管 3~6m，继续上面一段的灌浆，依次进行。当注浆管出浆口提升至距坝顶 10m 时，不应再提升，直至灌浆达到结束标准。

3 灌浆开始应先用稀浆灌注，经过 3~5min 的灌浆，坝体劈裂后，再加大浆液稠度。若孔口压力下降或出现负压（压力表

读数为“0”以下),应加大浆液稠度。

4 灌浆量应按设计要求控制。

5 坝的岸坡段、弯曲段和其他特殊坝段灌浆,可采用缩小孔距、减小灌浆压力和每次灌浆量、增加复灌次数、相邻多孔同时灌注的方法。

4.4.2 堤坝地基劈裂灌浆应符合下列要求:

1 套管与注浆管之间应设阻浆塞,采用纯压式灌浆方式进行灌浆。

2 灌浆宜采用相邻两孔或多孔同时灌浆的方法。

3 灌浆宜一次灌至设计要求。需要分次灌浆时,每次灌浆结束前应灌注 3~5min 黏土浆,防止注浆管堵塞。

4 坝体和坝基都需要灌浆时,应先灌坝基部分,然后提升套管与注浆管,再进行坝体部分灌浆。

4.4.3 充填灌浆应符合下列要求:

1 多排孔灌浆时,应先灌边排孔,再灌中排孔。

2 深孔充填灌浆时,宜采用自下而上分段灌注的方法,段长可为 5~10m。应先对最底段进行灌浆,当灌浆达到设计要求,提升套管和注浆管 5~10m,然后进行上段的灌浆,直至该孔灌浆结束。

3 各段灌浆宜一次灌注至设计要求,隐患规模较大的也可多次灌注。

4 对于高度小于 10m 的堤坝,灌浆可不下套管,也可不分段。

4.4.4 应做好灌浆记录和成果汇总。格式可参照附录 C。

4.5 灌浆控制

4.5.1 灌浆过程中应对灌浆孔孔口压力、灌浆量、间隔时间、横向水平位移和裂缝开展宽度等进行综合控制。

4.5.2 灌浆孔孔口压力应控制在灌浆控制压力以内,压力表精度不应大于 10kPa。在灌浆过程中,应随时监测压力变化,记录

灌浆压力。

4.5.3 灌浆量宜采用泥浆泵流量进行控制。重要工程的灌浆量监测，应使用流量计。

4.5.4 坝体灌浆两次灌浆间隔时间不宜少于 5d，具备良好排水条件的土坝，灌浆间隔时间可为 2~3d。

4.5.5 在灌浆时，坝顶上、下游边线位置横向水平位移宜控制在 3cm 以内，要求在停灌后能基本复原。含砂量高的均质坝和窄心墙砂壳坝应严格控制坝顶上、下游边线的水平位移。

4.5.6 劈裂灌浆应尽量推迟坝顶出现裂缝时间，裂缝允许宽度应根据灌浆试验确定，宜控制在 3cm 以内，要求在停灌后坝体裂缝能基本闭合。充填灌浆应避免坝顶出现裂缝。

4.6 灌浆结束标准及封孔

4.6.1 满足下列条件之一时，可结束灌浆：

1 经过分段多次灌浆，浆液已灌注至孔口，且连续复灌 3 次不再吃浆。

2 灌浆孔的灌浆量或灌浆孔口压力已达到设计要求。

4.6.2 当每孔灌浆结束后，应进行灌浆封孔。封孔时应将注浆管拔出，向孔内灌注密度大于 $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ 的稠浆，多次灌注，直至浆面升至孔口不再下降为止。待孔口完全析水后，应用含水率适中的制浆土料将孔口回填捣实整平。

4.7 特殊情况处理

4.7.1 施工中出现裂缝时，可按下列方式处理：

1 当坝顶出现纵向裂缝后，应分析发生原因。如果是湿陷缝，可继续灌浆；如果是劈裂缝，应加强监测，当裂缝发展到允许宽度时，应立即停灌，待裂缝基本闭合后再灌。

2 当坝顶出现横向裂缝时，应立即停灌。如果裂缝深度较浅，可开挖，用黏性土回填夯实后继续灌浆；如果裂缝较深，可用稠浆灌注裂缝。

3 当弯曲段坝顶出现裂缝时，应立即停灌。然后沿裂缝布孔，按照多孔轮灌的方法灌注稠浆堵住裂缝。待处理好后再按 4.4.1 条规定的方法进行灌浆。

4.7.2 施工过程中出现冒浆时，可采用浓浆、低压、间歇灌注等措施处理：

1 坝顶冒浆时，应立即停灌，并挖开冒浆出口，用黏性土料回填夯实。钻孔周围冒浆，可采用压砂处理，再继续灌浆。

2 洞穴冒浆时，应先在冒浆口压砂堵塞洞口，再继续灌浆。

3 坝坡冒浆时，可采用稠浆间歇灌注。坝体与已有建筑物接触带冒浆，可用较稠的水泥黏土浆灌注。

4.7.3 施工过程中出现串浆时，可采用浓浆、间歇、低压灌注等措施处理：

1 当第一序孔灌浆时，发现相邻孔串浆，应加强监测，如确认对坝体安全无影响，灌浆孔和串浆孔可同时灌注；如不宜同时灌注，可堵塞串浆孔，然后继续灌浆。

2 如浆液串入测压管，应在灌浆结束后，再补设测压管。

4.7.4 施工过程中出现塌坑时，可在塌坑部位挖出部分泥浆，回填黏性土料，分层夯实。

4.7.5 施工中发现坝坡隆起时，应立即停灌，加强监测，分析原因。如确认坝坡稳定，待停灌 5~10d 后可继续灌浆，并注意监测。

5 灌浆监测

5.1 一般规定

5.1.1 为控制土坝灌浆过程，检验灌浆效果，保证坝体安全，在灌浆期间应进行全过程监测。

5.1.2 在灌浆过程中，应设专门人员负责监测工作，全面控制灌浆过程，及时发现和解决问题。

5.1.3 灌浆监测项目应包括坝体变形、渗流、裂缝和冒浆等，变形和渗流应在灌浆前监测 3~5 次，作为基准数。

5.1.4 灌浆监测应充分利用已有的监测设备，根据需要增设永久和临时的监测设备。

5.1.5 灌浆监测与灌浆控制应密切配合，协调一致。相关的项目宜同时监测，监测成果应及时整理。

5.1.6 监测点的设置及监测方法等除本规范规定外，可参照 SL 551 的要求。

5.2 坝体变形监测

5.2.1 坝体变形监测分水平位移（横向、纵向）、垂直位移（沉降量）和坝坡变形监测，具体监测项目应根据不同需要设置。

5.2.2 大、中型工程的横向水平位移监测，在土坝河床段，应沿坝轴线方向每隔 10~30m 设横向水平位移监测断面，分别在坝顶上、下游坝肩位置各设一个监测标点。灌浆期间，每天至少监测 1~2 次；非灌浆期间，可每 5d 监测 1 次。

5.2.3 在土坝的岸坡段灌浆时，有可能发生纵向水平位移，必要时也应监测。

5.2.4 垂直位移测点可与水平位移测点结合，并同时监测。在灌浆前，至少应监测 3 次。

5.2.5 坝坡变形可选择在河床段和有严重隐患的坝段，按

5.2.2 条的规定进行监测。在灌浆期间，还应经常巡视坝坡，看是否有塌坑、裂缝及坝坡隆起等现象。

5.3 渗流监测

5.3.1 在灌浆期间，应对灌浆孔附近的测压管，每隔 1~2h 监测 1 次，在灌浆结束 1 个月后，可进行正常监测。

5.3.2 应在灌浆前后和灌浆期间进行坝后渗流量的对比监测。

5.3.3 当坝下游坡存在湿润区时，应在灌浆前后和灌浆期间注意监测其位置、面积及含水量变化，用以判断灌浆效果。

5.4 裂缝和冒浆监测

5.4.1 裂缝监测内容应包括裂缝位置、宽度、长度、走向、深度、错距和裂缝发生历时、开展速度等。正在灌浆的坝段应随时监测；如裂缝发展较快，应加强监测；非灌浆坝段可每 5d 监测 1 次。

5.4.2 在灌浆期间应有专人经常巡视坝坡、坝顶，进行冒浆监测。如发现冒浆，应及时处理。

5.5 其他监测

5.5.1 采用电测仪，测定被灌入坝体的浆液液面，了解液面上升高度和速度。

5.5.2 采用测压管或渗压计，测定浆液的孔隙水压力及其消散过程，了解浆液固结程度。

5.5.3 采用在坝体内部设置土压力计或渗压计，测定灌浆坝体应力和孔隙水压力的变化。

6 灌浆质量检查

6.1 质量检查要求

6.1.1 土坝灌浆应进行灌浆过程检查和灌浆质量检查。

6.1.2 灌浆过程检查应符合下列要求：

- 1 灌浆过程资料齐全。
- 2 灌浆过程检查及监测成果满足相关要求。

6.1.3 灌浆质量检查应符合下列要求：

1 灌浆结束后坝后渗流量和浸润线符合设计要求。坝坡润湿面积基本消失或明显减少，坝后下游浸润线出逸点或测压管水位明显降低。

2 坝体内部裂缝、洞穴等隐患，得到浆液充填压密，坝体变形基本处于稳定。

6.2 质量检查内容

6.2.1 灌浆过程检查的主要内容应包括：布孔、钻孔、制浆和灌浆等工序，工艺和技术参数，综合控制情况，各孔结束灌浆是否达到标准，灌浆监测成果以及特殊情况处理等。

6.2.2 灌浆质量检查的主要内容应包括：泥墙厚度、密度、连续性、均匀性，对原有裂缝、洞穴、隐患的充填密实情况，坝体变形、坝顶裂缝、浸润线出逸点及坝后渗流量变化情况等等。

6.3 质量检查方法

6.3.1 灌浆过程检查应采用量测、试验、监测等手段，按设计要求对灌浆过程各工序和技术参数进行严格控制，并及时准确地进行记录。

6.3.2 灌浆质量检查应对照灌浆前的隐患部位仔细察看和量测，主要检查坝后渗流量、下游坝坡渗水出逸点的位置和润湿面积的

大小，以及在相同库水位情况下，对比灌浆前后的变化情况，分析灌浆的效果。

6.3.3 必要时，可采用钻孔、探井（槽）开挖检查、取样测定、物探等方法验证灌浆质量。

6.3.4 分析灌浆过程检查和质量检查资料，并配合监测成果等其他检查资料，对灌浆质量进行综合评价。



附录 A 土坝劈裂灌浆控制压力和设计 灌浆压力的计算

A.0.1 灌浆孔孔口压力系指孔口处进浆管内的浆液压力。施工时，灌浆孔孔口压力应控制在灌浆控制压力之内。

A.0.2 劈裂灌浆控制压力可按公式 (A.0.2) 计算，并经试验确定。

$$P = \gamma H - \gamma_w \Delta H + \sigma_1 - \gamma' h \quad (\text{A.0.2})$$

式中 P ——劈裂灌浆控制压力，kPa；

γ ——坝体土的容重，kN/m³；

H ——劈裂点以上的坝高，m；

γ_w ——水的容重，kN/m³；

ΔH ——计算点至地下水水面线的高度，m，当计算点在地下水水面线以上时， $\Delta H=0$ ；

σ_1 ——坝体土的抗拉强度，kPa， σ_1 值由试验确定，当坝体劈开进行复灌时可取 $\sigma_1=0$ ；

γ' ——灌注浆液的容重，kN/m³；

h ——注浆管内浆柱高度，m。

A.0.3 设计灌浆压力可按公式 (A.0.3-1) 和公式 (A.0.3-2) 计算：

$$P = \sigma_3 + \sigma_1 - \gamma' h \quad (\text{A.0.3-1})$$

$$\sigma_3 = \gamma H k \quad (\text{A.0.3-2})$$

式中 P ——设计灌浆压力（孔口压力），kPa；

σ_3 ——正常坝体小主应力，kPa；

k ——坝体土的侧压力系数，可取 0.6~0.7。

附录 B 土坝劈裂灌浆不利情况下的 坝体稳定性验算

B. 0. 1 当土坝坝体沿坝轴线劈裂，且浆液未固结时，视为最不利情况，应进行坝体稳定性验算。

B. 0. 2 总应力法：适用于上游无水，坝体内没有稳定渗流的情况。抗滑稳定安全系数 K 可按公式 (B. 0. 2 - 1) ~ 公式 (B. 0. 2 - 4) 计算

$$K = \frac{R(\sum W_i \cos \alpha_i \tan \varphi_i + \sum c_i l_i)}{R \sum W_i \sin \alpha_i + R' E} \quad (\text{B. 0. 2 - 1})$$

$$W_i = \gamma_i b_i h_i \quad (\text{B. 0. 2 - 2})$$

$$L_i = b_i \sec \alpha_i \quad (\text{B. 0. 2 - 3})$$

$$E = \gamma' (h')^2 / 2 \quad (\text{B. 0. 2 - 4})$$

式中 R ——滑弧半径，m；

W_i ——土条重量，kN/m；

h_i ——土条高度，m；

b_i ——土条宽度，m；

γ_i ——土的容重，kN/m³；

α_i ——通过土条中心线的重力线与通过土条底面中点的半径的夹角，(°)；

l_i ——土条宽度对应的弧长，m；

c_i ——土条底面土的固结饱和快剪或不固结饱和快剪凝聚力指标，kPa；

φ_i ——土条底面土的固结饱和快剪或不固结饱和快剪内摩擦角指标，(°)；

R' ——滑弧圆心到泥浆柱压力图合力线的垂直距离，m；

E ——劈裂缝中浆液对滑动体的压力的合力，kN，用泥浆柱压力图面积表示（按三角形计）；

γ' ——浆液的容重， kN/m^3 ；

h' ——滑裂弧以上泥浆柱高度， m 。

坝体抗滑稳定验算剖面及土条受力简图见图 B.0.2-1 及图 B.0.2-2。

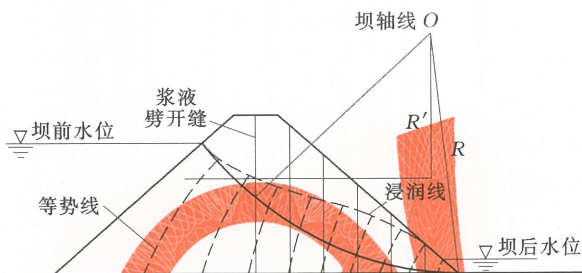


图 B.0.2-1 坝体抗滑稳定验算剖面图

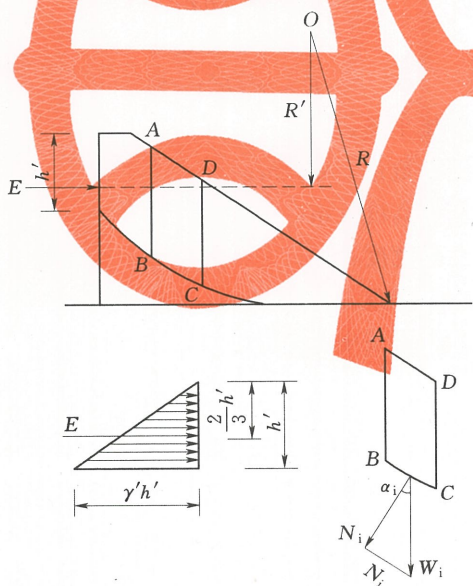


图 B.0.2-2 土条受力简图

B.0.3 有效应力法：适用于上游蓄水且灌浆前坝体内形成稳定渗流的情况。安全系数 K 可按公式 (B.0.3) 计算：

$$K = \frac{R\{\sum[W_i \cos\alpha_i - (\mu_i - \gamma_w Z_i)b_i \sec\alpha_i] \tan\varphi'_i + \sum C'_i l_i\}}{R\sum W_i \sin\alpha_i + R'E} \quad (\text{B. 0. 3})$$

式中 μ_i ——土条滑动面上孔隙水压力， kN/m^2 ；
 c'_i ——土条底面土的有效应力凝聚力指标， kPa ；
 φ'_i ——土条底面土的有效应力内摩擦角指标， $(^\circ)$ ；
 Z_i ——条块底面中点至坝坡外水位的垂直高度， m ；
 γ_w ——水的容重， kN/m^3 。



附录 C 灌浆监测记录和成果汇总表

C.0.1 土坝（堤）灌浆钻孔记录见表 C.0.1。

表 C.0.1 土坝（堤）灌浆钻孔记录表

工程名称： 孔号： 桩号：
 孔口高程： m； 设计孔深： m； 实钻孔深： m
 钻孔机具：
 钻孔日期：__年__月__日__时__分至__年__月__日__时__分

孔深 (m)	高程 (m)	土层 分类	颜色	密实度	进尺 速度	掉钻 情况	备注

记录：_____班（组）长：_____

填表说明：

1. 孔号应表示出序号和孔号，如 2 序孔 5 号孔，则填 2-5。
2. 钻孔机具：锤击钻、回转钻、土钻等。
3. 土层分类：按土工试验分类。
4. 密实度：松散、较密、密实、很密。
5. 进尺速度：较慢、一般、较快、快。

C.0.2 土坝（堤）灌浆施工记录见表 C.0.2。

表 C.0.2 土坝（堤）灌浆施工记录表

工程名称： 孔号： 桩号：
 孔口高程： m； 设计孔深： m； 实钻孔深： m
 始灌日期： 终灌日期： 复灌次数：
 用泵型号：

日期 月-日	灌浆时间			浆液			注浆管 深度 (m)	孔口压力 (MPa)			备注
	开始 (时：分)	终止 (时：分)	延续 时间（分）	灌入量 (m ³)	密度 (g/cm ³)	干料重 (t)		最 大	最 小	一 般	

记录：_____班（组）长：_____

填表说明：

1. 孔号应表示出序号和孔号，如 2 序孔 5 号孔，则填 2—5。
2. 复灌次数：第 1 次灌浆结束后，停数天（一般设计为 5d）后再进行灌浆，即为复灌 1 次，灌浆次数减 1 即为复灌次数。
3. 延续时间：终止时间～开始时间。
4. 有时孔内产生负压，输浆管被压扁，在孔口压力最小栏内应填“—”。

C.0.3 土坝（堤）灌浆汇总见表 C.0.3。

表 C.0.3 土坝（堤）灌浆汇总表

工程名称：

孔号	孔深 (m)	孔口压力 (MPa)		灌入量 (m ³)	浆液密度 (g/cm ³)	干料重 (t)	单位 干料重 (t/m)	备注
		最大	平均					
合计								

制表：_____ 复核：_____ 技术负责人：_____ 监理：_____

填表说明：

1. 孔号应表示出序号和孔号，如 2 序孔 5 号孔，则填 2-5。
2. 孔口压力平均值和浆液密度应按加权平均计算。
3. 干料重 = 土颗粒比重 / (土颗粒比重 - 1) × (浆液密度 - 1) × 灌入量。
4. 单位干料重 = 干料重 / 孔深。

C.0.4 土坝（堤）灌浆成果汇总见表 C.0.4。

表 C.0.4 土坝（堤）灌浆成果汇总表

工程名称：

孔（排）序	孔数	进尺 (m)	灌入量 (m ³)	注入干料重 (t)	单位用土量 (t/m)	备注
合计						

制表：_____ 复核：_____ 技术负责人：_____ 监理：_____

填表说明：

1. 孔（排）序号应表示出孔序号或排序号，如 2 序孔则填 2，5 排孔则填 5。
2. 进尺、灌入量、注入干料重均为相应序孔的和，各序之和相加为合计数。
3. 单位用土量：单位孔深注入的干料重。

C.0.5 坝（堤）顶水平位移监测记录见表 C.0.5。

表 C.0.5 坝（堤）顶水平位移监测记录表

工程名称：

施工单位：

仪 器：

型 号：

监测日期：

监测桩号	监测时间 (时：分)	原桩间距 (m)	桩间距 (m)	位移量 (mm)	备注
					孔口压力变化时加测

测量：_____记录：_____

填表说明：

在监测水平位移时，测点位移偏上游为“+”，反之为“-”。

C.0.6 坝（堤）顶沉降量监测记录见表 C.0.6。

表 C.0.6 坝（堤）顶沉降量监测记录表

工程名称：

施工单位：

仪 器：

型 号：

监测日期：

监测桩号	监测时间 (时：分)	原桩顶高程 (m)	桩顶高程 (m)	沉降量 (mm)	备注
					与坝（堤）顶水平位移监测同步进行

测量：_____记录：_____

填表说明：

在监测沉降量时，测点沉降为“+”，反之为“-”。

标准用词说明

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

中华人民共和国水利行业标准

土坝灌浆技术规范

SL 564—2014

条 文 说 明

目 次

1	总则	31
3	灌浆设计	33
4	灌浆施工	38
5	灌浆监测	43
6	灌浆质量检查	45

1 总 则

1.0.1 凡采用灌浆方法，以消除土坝（堤）坝体、软土浅层坝基（含土堤）隐患，提高土坝坝体防渗能力和稳定性的灌浆工程，均应遵守本规范。

1.0.2 本规范的规定适用于坝高 70m 及以下的均质土坝、土质心墙坝和土堤，主要是由于近年来土坝灌浆的应用深度在逐渐增大，目前灌浆成功的实例，已由过去的 50m 发展到了 70 多 m。另外对劈裂灌浆的适应范围也作了明显的扩大。从目前全国各地劈裂灌浆成功的工程实例来看，已由过去的均质土坝和黏土宽心墙坝，发展到了黏土窄心墙砂壳坝、砂坝和湿陷性黄土坝，以及堤坝软土浅层透水地基的劈裂灌浆。但是，对于堤坝软土透水地基的劈裂灌浆，目前还多用于坝高 10m 以下的低坝和土堤的软土透水浅层地基的防渗加固。对于坝高超过 70m 的土坝灌浆，经过充分论证和试验后方可进行。

1.0.3 土坝灌浆可用于处理坝体分段分层填筑施工时，质量差的结合部位容易产生水力劈裂的情况。

堤坝浅层软土地基，在此系指坝（堤）高 10m 及以下，处理地基深度为附加应力场主要影响范围以内的粉土、粉土质砂、土砂夹层及含有一定泥（土）量的中细砂层透水地基，目前最大处理深度不超过 15m。

1.0.5 土坝灌浆一般在春、秋少雨旱季和水库低水位时进行，以加速泥浆固结。低水位系指库水位低于隐患的最低高程。但有时不易达到，如多年调节水库，弃水引起的经济损失太大。年调节水库不能在一个枯水期完成土坝灌浆的，也可允许在较高水位情况下灌浆，但要严格灌浆工艺，注意灌浆监测和控制。

1.0.6 灌浆前的技术培训，要求技术人员全面了解灌浆设计内容和施工技术要求，能及时发现和处理问题。技术工人熟练掌握操作规程，能及时排除机械故障。



3 灌浆设计

3.1 一般规定

3.1.3

3 收集施工和运行期间的塌坑、裂缝、洞穴、坝后坡渗透变形、湿润范围及滑坡等资料。

3.1.4 灌浆设计包括以下内容：工程概况，存在问题，基本资料及隐患原因分析，灌浆试验报告，灌浆可行性和可靠性的论证，灌浆技术参数设计，相关设计图纸（灌浆平面布置图、纵剖面布置图、特殊部位设计图、监测设备布置图等），施工组织设计，施工期监测，灌浆质量检查，概（估）算，施工及管理问题说明等。

3.2 隐患勘探

3.2.3 例如：检查土坝的土质、密实度、含水率、软弱层和透水砂层时，可采用钻探方法；检查坝体的裂缝、内部洞穴和坝体质量时，可采用井探法。如隐患部位较浅又较长时，也可采用槽探法等。

3.2.5 土坝坝体隐患勘探不宜采用注水试验，是因为：①用注水试验勘探土坝坝体隐患的大小和位置，难以探明坝体现状真实情况；②根据土坝应力计算，水力劈裂理论及劈裂灌浆实践表明，土坝坝体有些部位小主应力很小，注水试验容易产生水力劈裂，使无隐患的坝体产生新裂缝，或使原来有隐患的坝体产生更大更多的裂缝。

3.3 灌浆试验

3.3.1 灌浆试验时，要初拟灌浆设计参数，分析灌浆的可行性、可靠性，以避免灌浆设计的盲目性，减少设计变更次数，提高工

程概（估）算的准确性，有利于投资控制。其他工程，可参考类似灌浆工程确定。

3.3.3 根据初拟的灌浆技术参数，进行单孔和多孔的灌浆试验。单孔试验可检查一次灌浆的吃浆量，灌浆孔口压力，及裂缝长度、宽度、深度和方向等。多孔试验可检查泥墙的连续性及浆液充填裂缝、洞穴等隐患的密实性，为灌浆设计的孔距、孔深、分序分次、吃浆量等技术参数提供依据。

3.3.4 布设沉降位移监测点、测压管等监测设施。

3.3.6 室内试验是验证灌浆土料、浆液性能的基础，其性能宜分别满足表 3.4.8-1 和表 3.4.8-2 的要求。根据不同的功能要求掺加何种外加剂，以及掺量多少，一般通过室内试验确定。

3.4 堤坝坝体劈裂灌浆设计

3.4.1 质量较差是指坝体外部有裂缝、塌陷，浸润线出逸点过高，坝后坡出现大面积润湿，有明显渗漏或坝体内部有较多隐患。

3.4.2 其他特殊坝段，在此系指土坝与已有建筑物（如水闸、放水涵洞等）或较陡的岸坡连接处。在这些部位坝体很容易出现横向缝，产生渗透破坏。在这些部位进行灌浆时，要布置多排孔，并有足够的长度。灌浆一般采用水泥黏土浆液，以增加浆体的抗冲性。

3.4.3 河床段比较容易实现控制性劈裂灌浆，不论设计或施工都要先从这段入手。灌浆孔的排数根据土坝隐患范围的大小来确定。

终孔孔距与灌浆孔序有关，一般采用两序孔或三序孔，我国北方地区的土坝多采用两序孔。单从 1 次能够劈裂的长度看，可达几十米，但灌浆工艺和质量不易控制。所以，第一序孔间距不超过 20m。比较低的坝（堤）或坝身土料黏性较大，间距要小。

本条规定的终孔距离是根据北方某些省的灌浆经验确定的，如土坝土料或质量不同，适宜孔距一般通过试验确定。

3.4.4 岸坡段、弯曲段和其他特殊坝段应力比较复杂，灌浆时容易发生横向裂缝和斜向裂缝，在这种情况下有三种布孔方式：一是参照充填灌浆梅花形布孔；二是沿坝轴线布孔，不分序，孔距 2~3m，只要采取合理的灌浆工艺在岸坡段也能沿坝轴线劈裂，形成防渗体；三是以上两种方式的结合。

3.4.6 当坝体（或心墙）的渗透系数不小于 $n \times 10^{-4}$ cm/s，或坝体存在上、下游贯通的渗漏通道时，要对泥墙的厚度进行渗透稳定验算和专门试验研究。

3.4.7 本标准采用被灌浆处的土柱压力加土的单轴抗拉强度作为劈裂灌浆的控制压力，主要是防止在灌浆时由于压力过大可能会产生水平劈裂，对土坝安全造成不利。不再用原规范中的钻孔起裂压力作为控制压力，是因为钻孔起裂压力的大小与坝体的质量和应力状态有关，有些质量很差的土坝，水柱压力即能将坝体劈裂，显然用这一压力作为劈裂灌浆施工的控制压力是不合理的。

设计灌浆压力系指正常土坝被劈裂后的裂缝扩展压力。质量差的土坝劈裂后压力很低，有时还出现负压，随着灌浆次数的增加，坝体质量逐步得到改善，灌浆压力逐渐增加，直到最后达到设计灌浆压力。

3.4.8 表中数据是总结已灌浆土坝所用土料规定的。从表 3.4.8-1 可看出，灌浆土料要有 20% 以上的黏粒含量和比较多的粉粒含量。各地经验认为劈裂灌浆用粉质黏土较好，充填灌浆用黏土比较好，劈裂灌浆土料比充填灌浆土料稍粗一些，可以有一定含量的砂粒和较多的粉粒，砂料粒径应小于 0.5mm。

3.4.9 土坝灌浆所用浆液一般为土料，有特殊需要时可掺其他材料。

1 掺水玻璃，初期能降低泥浆黏度增加流动性，如掺量过多性质则相反。水玻璃中含阳离子，不同的土料吸附阳离子性质不同，所以合理掺量宜由试验确定。

2 掺水泥，优点是能加速浆液凝固，防渗效果发挥较快。

缺点是在浆体中过早形成骨架，不利于坝体回弹压密，形成的浆脉密度小，性质比较脆，不能适应坝体变形，所以应通过试验合理控制水泥掺量。

3 掺膨润土，可使浆液中一部分自由水变成结合水，有较好的固化性能，能克服纯黏土浆长期发软的状态，改善浆液初期的稳定性和后期泥墙的强度，使用前要进行系统的试验，确定膨润土的合理掺量。

4 防止生物危害，过去多用灭蚁灵，近来发现此药在湿土中易失效，已很少使用。五氯酚钠灭蚁药经江苏省镇江市使用，效果较好，其掺量为浆液 $0.2\text{kg}/\text{m}^3$ 左右，使用时要注意安全防护，防止污染环境。

3.4.10 每孔每次平均灌浆量宜控制在每米孔深 $0.5\sim 1\text{m}^3$ ，每孔灌浆次数宜在 5 次及以上，是根据北方几省数座坝高 30m 左右的土坝灌浆工程实例统计出来的，在应用时应根据坝高和坝体质量的具体情况灵活掌握。一般认为当坝高大于 30m 时，每立方米孔深灌浆量可适当减少，每孔灌浆次数在 10 次以上。同样在高度小于 5m 的土坝岸坡段或土堤，每孔灌浆次数可适当减少，一般通过现场试验确定。

3.5 堤坝地基劈裂灌浆设计

3.5.1 根据青岛大沽河土堤（堤高 4m）和莱州市留驾水库围坝（坝高 10m）现场地基劈裂灌浆试验得出，堤坝地基劈裂灌浆深度约为 $1\sim 1.5$ 倍堤坝高度，即最大劈裂深度在 15m 以内。尽管透水软土地基很深，地基最大劈裂深度也不会超出这个范围。另外，通过非线性有限元分析得知，堤坝高度的变化，对地基劈裂深度影响并不明显，而且也并非呈线性关系。

堤坝软土地基能否实现定向劈裂与主应力比值 β 有关， $\beta = \frac{\sigma_2}{\sigma_3}$ （ σ_2 、 σ_3 分别为正常坝体大、小主应力），当 $\beta \geq 1.2$ 时容易产生定向劈裂。同时当堤坝软土透水地基小于 $1\sim 1.5$ 倍堤坝高度

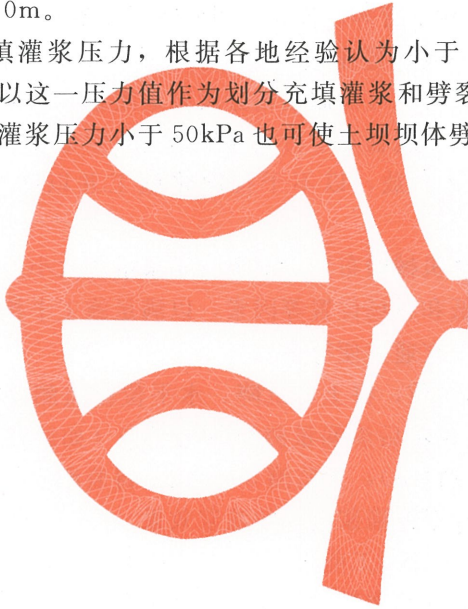
时，由于附加应力场影响深度受到地基地部的约束，劈裂深度还会小于上述数值。

3.5.6 在堤坝透水砂层地基中浆体帷幕厚度设计，要进行渗透稳定性验算。

3.6 堤坝充填灌浆设计

3.6.3 对于高度较小的堤防，钻孔深度要超过临河、背河堤脚连线至少 1.0m。

3.6.5 充填灌浆压力，根据各地经验认为小于 50kPa 比较合适，但不能以这一压力值作为划分充填灌浆和劈裂灌浆的界限。实践证明，灌浆压力小于 50kPa 也可使土坝坝体劈裂。



4 灌浆施工

4.1 施工准备

4.1.5 灌浆机具包括动力、运输、钻孔、制浆、输浆、灌浆、控制及量测等设备。灌浆的关键设备包括钻机、灌浆机（泥浆泵）、注浆管及输浆管等，优先采用灌浆新设备。

灌浆机械一般布置在坝顶，输浆管约 30m，可控制 50m 坝段。当坝顶过长时，可设储浆箱分段泵送灌浆。如果坝顶有交通要求时，可在坝坡筑临时平台或在坝轴线两侧布置。土料可分段堆放，也可连续堆放，以不干扰灌浆施工并以减少运料距离为宜。

制浆和灌浆机械的布置，要考虑灌浆量的大小、输浆距离的远近、扬程高低和料场位置等因素，以满足施工干扰少、搬迁次数少以及电源和交通方便等要求。

4.1.6 灌浆施工前，将土坝沉降、水平位移监测点、浸润线管（或测压管）以及坝后渗漏量测设备安置好（如原来就有，也可利用原有的监测设备），并监测 3~5 次，将监测值作为基数，以检查灌浆期间和对比灌浆前后的灌浆效果。

4.1.7 土坝灌浆在施工前先进行生产性灌浆试验。通过灌浆试验实测数据来验证和调整设计参数，完善灌浆工艺。试验结束后分析试验资料，验证设计参数，完善和熟练施工工艺，总结经验，然后方可全面施工。

4.2 钻 孔

4.2.1 土坝灌浆一般要分序钻孔，灌完第一序孔后视情况再造第二、第三序孔，有时第二序孔就足以形成连续的防渗泥墙，达到防渗设计要求，则不必再造第三序孔。

4.2.2 干法钻孔主要是担心湿钻会有大量水分进入坝体，影响

灌浆质量。干法成孔一般用锤击钻孔法，锤击钻孔效率高，但适用于孔深 30m 以内。当坝高大于 30m 或坝高小于 30m 但有大量砂砾石时，一般用泥浆护壁钻孔。实践证明坝高大于 30m 的坝干法成孔时进尺慢，在浸润线以下坝体土含水量高，易缩孔和塌孔，容易使坝体土受到扰动。所以，当坝高大于 30m 时，不能强求干钻。

4.3 制 浆

4.3.1 目前使用的机械搅浆机，要控制进水阀门水量和人工上土料的速度，使搅浆机搅出的纯黏土浆液密度在 $1.4 \sim 1.5 \text{g/cm}^3$ 为佳。使用泥浆比重秤检验浆液密度。

采用机械搅制的浆液质量好，工效高，所以很少采用人工制浆，只有用浆量很少时采用人工制浆。

4.4 灌 浆

4.4.1

1 河床段的坝体内部应力分布比较简单，容易沿坝轴线劈裂，而岸坡段或土坝的弯曲段，坝体内部应力比较复杂，沿坝轴线定向劈裂不易控制，劈裂缝很容易向河床段发展，由于岸坡段坝体较低，劈裂深度较浅，河床段上部一旦劈裂，坝体下部隐患就无法再灌浆了。所以，应先灌河床段，后灌岸坡段和弯曲段。灌浆采用分序和“少灌多复”（一次灌浆量少，重复灌浆次数要多），目的在于加速浆液在坝体中的析水固结，提高泥墙的质量，控制孔隙水压力在允许范围内，保证坝体安全。灌浆序数的多少，根据坝的高矮长短而定，坝高而短分序要多，可分三序或四序；坝低而长，分序要少，一般分二序为宜。由于坝顶较宽，坝体三向主应力相差不明显，主应力比相对较小，所以单孔灌浆不易实现定向劈裂。按照不分序布孔，并采用相邻数孔同时灌浆的方法，利用数孔同时压力灌浆产生的附加应力效应，就容易沿灌浆轴线实现定向劈裂。经在我国数座土坝进行多排孔的劈裂灌

浆，都获得了成功。

2 劈裂灌浆一般采用孔底注浆、全孔封闭、分段灌注的方法，即注浆管下到孔底以上 0.5~1.0m 处，并且要求所下注浆管要与孔壁紧密接触，以防灌浆时浆液上行。经过几次灌注，灌浆量或灌浆压力达到设计要求时，要立即停灌，提升注浆管 3~6m，继续灌到设计要求，如此反复灌注，直至该孔灌浆达到设计要求为止。灌浆分段，对于坝高大于 30m 的土坝灌浆非常重要，实践证明，如果灌浆不分段则很容易将坝坡灌鼓，而且灌浆压力和灌浆量不易控制。如果用设计的一次灌浆量或设计灌浆压力控制，可避免坝坡被灌鼓。

3 劈裂灌浆先用稀浆灌注，目的在于比较容易实现劈裂。如所用浆料为粉质黏土，稀浆密度一般为 $1.3\sim 1.4\text{g}/\text{cm}^3$ ；如用黏粒含量较多的黏土，浆液密度一般为 $1.2\sim 1.3\text{g}/\text{cm}^3$ 。当坝体一旦被劈裂后（灌浆压力突然下降），即应改为符合设计要求的稠浆。

4 每孔灌浆次数根据坝的高低和吃浆量的大小来确定。根据山东省多年灌浆经验，对于北方地区以粉质黏土建造的中小型水库坝高 30m 左右的土坝，每孔灌浆次数一般控制在 5 次以上，坝高大于 30m 的中、高坝，灌浆次数一般控制在 10 次以上。对南方地区，黏粒含量较多的土坝，可作参考。

5 坝体劈裂方向是由钻孔灌浆时产生的附加应力和钻孔附近的小主应力分布状态决定的。在土坝河床段，小主应力面沿坝轴线分布规律明显，容易实现定向劈裂；土坝岸坡段及弯曲段应力状态比较复杂，一般方法很难定向劈裂。但是利用相邻几孔同时灌浆时产生的附加应力与坝体应力合成，形成有利于定向劈裂的应力场，也可以沿坝轴线劈裂。根据山东省的经验，具体做法是加密孔距，减少灌浆压力和每次灌浆量，不再分序，间距 2~3m 左右，一次灌浆量小于 5m^3 ，实行轮灌。或者相邻两孔或多孔同时灌注，这样就能沿钻孔布置方向定向劈裂。一旦坝体下部形成定向劈裂，上部也就容易定向。

4.4.3 充填灌浆，先灌边排孔，堵塞上、下游漏水通道或其他隐患，然后再灌中排孔。充填灌浆，下套管由下而上分段灌浆，目的是充填坝体中已有的裂缝、洞穴等隐患，坝体不致产生新的劈裂。但在工程实践中，对于堤坝高度小于 10m，隐患部位较明确而又较浅时，可不下套管。

4.5 灌浆控制

4.5.1 灌浆控制是保证灌浆期间坝体安全和灌浆质量的重要措施。灌浆控制包括灌浆孔孔口压力、灌浆量、间隔时间、横向水平位移和裂缝开展宽度等。灌浆控制施行于灌浆过程的始终。

4.5.2 在劈裂灌浆中，对灌浆孔孔口压力的监测和控制是确保灌浆质量和施工安全的重要条件。土坝坝体劈裂灌浆压力，一般分为钻孔起裂压力、正常灌浆压力和灌浆控制压力。

钻孔起裂压力的大小，所反映的是坝体质量的好坏。坝体质量好，起裂压力大；坝体质量差，起裂压力小，有时浆柱重量就能将坝体劈裂。

正常灌浆压力，是指钻孔起裂压力以后的灌浆压力（即裂缝扩展压力），它所反映的是灌浆质量达到的程度。一般是随灌浆次数的增加，正常灌浆压力也逐渐增加，直至达到设计灌浆压力为准。

灌浆控制压力，主要是保证灌浆期的施工安全。这些灌浆压力的大小不仅与坝的质量有关，还与坝型、蓄水情况等因素有关，而且在灌浆施工过程中有些灌浆压力还是在不断变化的。

灌浆控制压力计算公式，是根据灌浆压力克服土柱重和抗拉强度之和的理论推导出来的，在土坝坝体和堤坝软土地基附加应力场主要影响范围以内，其应力状态符合 $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ ，在这种应力场地层钻孔进行压力灌浆，根据断裂力学理论，其裂隙的开裂方向垂直于最小主应力方向。一般劈裂灌浆压力不会大于控制压力。在应用时，可取等于或稍小于控制压力的计算数值，作为灌浆控制压力。

在灌浆过程中，有时压力表读数很大以至超过了灌浆控制压力，这可能是管路堵塞和其他故障所致，并不反映真实的灌浆压力，要及时排除故障，使压力得到准确反映。

4.5.4 本条规定两次灌浆间隔时间不宜少于 5d，是根据各省多年灌浆经验总结出来的。从提高泥浆固结速度和泥墙密度，间隔时间长些好，但施工安排有困难，影响灌浆进度。在我国南方坝体土料黏粒含量较多且含水率较大时，间隔时间应长一些，在我国北方干旱地区灌浆间隔时间一般多为 2~3d，如果坝体干燥，间隔时间可以缩短。具体间隔时间的规定应从坝体土料、含水率、隐患大小和浆液固结速度、坝体孔隙水压力消散快慢等情况综合分析确定。

4.5.5 为保证坝坡稳定和灌浆质量，要对坝肩水平位移加以限制。本条规定水平位移宜控制在 3cm 以内是根据山东省黄前、西埠等水库土坝灌浆试验结果提出的，其他类似的土坝灌浆可以参考。水平位移量过大，停灌后坝体不易回弹，可能留下残余变形，影响灌浆质量。

对于含砂量较高的均质土坝和黏土窄心墙砂壳坝，不宜用上述标准控制，因砂性土黏聚力很低，变形后很难恢复，所以需要更加严格的标准控制，或通过灌浆试验确定。

4.5.6 充填灌浆尽量避免坝顶出现裂缝，劈裂灌浆采用“内劈外不劈”的原则，都是为了避免坝顶过早出现裂缝，但是实际上灌浆时坝顶不出现裂缝是很难做到的。根据山东省黄前水库和西埠水库土坝坝体劈裂灌浆原体监测结果表明，劈裂灌浆坝顶裂缝只要控制在 3cm 以内，一般停灌 24h 后，坝体裂缝即能基本闭合。

5 灌浆监测

5.1 一般规定

5.1.2 灌浆监测资料是评价土坝灌浆质量及效果的主要依据，没有准确的监测资料就不能正确地对灌浆质量及效果进行定量的分析，做出结论，监测应设专人负责。

5.1.5 相关的项目宜同时监测，系指灌浆压力与灌浆量、水平位移与裂缝、水平位移与垂直位移、浸润线管与测压管水位监测与库水位等监测项目同时监测。

5.2 坝体变形监测

5.2.1 在灌浆期间，通过对坝体同一标点的水平位移和垂直位移的监测，来控制施工安全，并通常用位移比来控制，按公式(1)计算：

$$\eta = \frac{V}{W} < M \quad (1)$$

式中 η ——灌浆期间的位移比；

V ——灌浆期间的水平位移量，mm；

W ——灌浆期间的沉陷量，mm；

M ——被灌堤坝边坡比。

当 $\eta < M$ 时，表明灌浆后坝断面变瘦变小，认为坝体土变密实。否则需调整灌浆工艺，使 η 值控制在不大于 M 的范围内。

对于坝体质量好的坝，灌浆期沉陷量 W 很小，而横向水平位移量 V 却往往较大，公式(1)不适用，位移比 η 值需适当放宽。

5.5 其他监测

5.5.3 实践证明，灌浆后坝体内孔隙水压力会迅速上升，停灌

后孔隙水压力又会迅速下降。由于每孔都是分次灌浆，所以坝体内的孔隙水压力也在发生变化。为了确保高坝在高水位时灌浆施工的安全，有时在坝体劈裂的泥浆缝中的不同高度，置入一些孔隙水压力计（或测压管），以监测泥浆中的孔隙水压力消散过程，将坝体裂缝中的孔隙水压力控制在一个允许的范围之内，从而确保大坝灌浆期的施工安全。有效控制坝体内部孔隙水压力的相邻两次灌浆的间隔时间，即为所需要确定复灌间隔的时间。目前多用孔隙压力比这一指标来控制，并按公式（2）计算。

$$\bar{\beta} = \frac{u}{\gamma h} \times 100\% \quad (2)$$

式中 $\bar{\beta}$ ——孔隙压力比，%；

u ——实测孔隙水压力，kPa；

γ ——坝体土的容重，kN/m³；

h ——从坝顶到孔隙水压力测头的垂直高度，m。

当 $\bar{\beta} > 60\%$ 时，除低坝以外都是危险的；为保证灌浆期坝体安全，安全率 $F > 1$ ，需 $\bar{\beta} < 60\%$ ；为使安全率 $F \geq 1.5$ ，需使 $\bar{\beta} < 40\%$ 。

6 灌浆质量检查

6.2 质量检查内容

6.2.2 泥墙厚度在坝体内上下分布往往是不均匀的，一般是在坝体质量差的土层浆脉条数较多，泥墙也较厚；在坝体质量好的土层浆脉条数较少（一般1~2条），泥墙也较薄。这正是劈裂灌浆的优点，它能够随坝体质量的好坏自行调整。判断劈裂灌浆效果的好坏，不能单从泥墙厚度的大小和是否均匀来看，还要看通过灌浆坝体内部隐患是否消除，原坝体的防渗能力是否得到恢复和提高等。但在堤坝砂层地基劈裂灌浆中，对于泥墙的厚度要进行渗透稳定性验算。

泥墙的干密度和渗透系数，可根据不同的土坝、不同的灌浆工艺和浆液中黏粒含量的多少确定。根据工程经验，灌浆1年后的干密度可取 $1.4\sim 1.6\text{t}/\text{m}^3$ ，渗透系数可取 $n\times 10^{-7}\sim n\times 10^{-6}\text{cm}/\text{s}$ 。

6.3 质量检查方法

6.3.4 除分析灌浆过程资料和质量检查及监测成果外，要着重分析原型监测资料的变化，如在灌浆施工过程中和灌浆前后，坝体浸润线、坝坡润湿面积、坝后渗水量的变化和坝体变形稳定情况等。



155170.163

中华人民共和国水利行业标准
土坝灌浆技术规范
SL 564—2014

*

中国水利水电出版社出版发行
(北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038)

网址: www.waterpub.com.cn

E-mail: sales@waterpub.com.cn

电话: (010) 68367658 (发行部)

北京科水图书销售中心(零售)

电话: (010) 88383994、63202643、68545874

全国各地新华书店和相关出版物销售网点经销

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司印刷

*

140mm×203mm 32开本 1.625印张 44千字

2014年8月第1版 2014年8月第1次印刷

*

书号 155170·163

水利水电技术标准
咨询服务中心



微信二维码,扫一扫
信息更多、服务更快

凡购买我社规程,如有缺页、倒页、脱页的,

本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究