

水利水电工程灌浆施工技术与管理控制

鲍锦维¹ 蔡辉² 刘澳²

1. 长委工程建设监理(宜昌)有限公司 湖北 宜昌 431900

2. 湖北水总水利水电建设股份有限公司 湖北 武汉 430000

摘要: 随着水利水电工程建设规模的不断扩大与技术要求的日益严苛,灌浆施工技术作为保障工程稳定与安全的关键环节,其重要性愈发凸显。本文聚焦水利水电工程灌浆施工技术与管理控制。首先概述灌浆施工技术原理及其重要性,接着介绍帷幕、固结、回填、接缝、接触等常用灌浆技术。随后阐述质量控制要点,涵盖灌浆材料、设备、施工过程及质量检验与验收。最后分析灌浆施工中常见的浆液漏失、灌浆压力异常、钻孔塌孔等问题,并针对性地提出解决措施,旨在为水利水电工程灌浆施工提供全面的技术指导与质量保障参考,提升工程建设质量与效益。

关键词: 水利水电;工程灌浆;施工技术;质量控制

引言:水利水电工程作为国家基础设施建设的关键部分,对保障水资源合理利用、防洪减灾及发电等意义重大。灌浆施工是水利水电工程建设中的核心环节,其施工质量直接影响工程的稳定性、耐久性和安全性。随着水利水电工程规模不断扩大、技术要求日益提高,灌浆施工技术不断革新,质量控制也愈发关键。深入探讨灌浆施工技术与管理控制,有助于解决施工难题,提高工程质量,推动水利水电工程事业持续健康发展,更好地服务于社会经济发展与民生改善。

1 水利水电工程灌浆施工技术概述

1.1 灌浆施工技术的原理

灌浆施工技术通过高压设备将具有流动性和胶凝性的浆液注入地基、裂缝或建筑物缝隙中,利用浆液的物理扩散与化学胶结作用实现加固与防渗。其核心原理包含三方面:一是高压喷射破坏地层结构,使浆液与土石颗粒充分掺混,形成高强度凝结体;二是静压渗透促进浆液与周围土体结合,在渗透性强的砂卵石层中可形成10—15厘米厚的防渗层;三是通过浆液填充、挤压和余压渗透的综合作用,解决复杂地质条件下的渗漏问题。例如,高压旋喷灌浆通过20MPa以上压力破坏土体,形成桩柱状或板墙状凝结体,显著提升地基承载力与抗渗性。

1.2 灌浆施工技术的重要性

灌浆技术是水利水电工程安全稳定运行的关键保障。首先,其防渗功能可降低渗漏概率,避免因渗漏导致的工程进度延误与成本增加,如大坝防渗处理中,帷幕灌浆可减少80%以上的渗流量。其次,通过填充地基孔隙与裂缝,灌浆技术能提升地基承载力,解决软弱土层、砂土地基等承载力不足问题,确保水工建筑物在地震、水流冲刷等荷载下的稳定性。此外,该技术还具

备施工灵活性,可适应岩溶地区、断层带等复杂地质条件,例如岩溶地区采用高压水泥灌浆技术,通过填充物加固地基,显著提高施工效率与质量。其应用直接关系到工程寿命与民生安全,是水利水电建设中不可或缺的核心技术^[1]。

2 水利水电工程常用灌浆施工技术

2.1 帷幕灌浆技术

帷幕灌浆是水利水电工程中极为重要的防渗处理技术,主要应用于坝基、两岸接缝及地下建筑物周围等部位。其核心原理是通过钻孔,将水泥基浆液等灌入岩土体的裂隙或孔隙中,经凝固后形成一道连续且致密的防渗帷幕,有效截断水流,降低坝基渗透压力,防止发生渗透变形,保障大坝等建筑物的安全稳定运行。施工时,一般先进行钻孔,确保孔位准确、孔斜符合要求。之后采用自上而下分段灌浆法,根据地质条件确定段长,一般为5-6米。灌浆过程中,严格把控浆液水灰比,遵循由稀到浓的原则逐级变换,同时控制灌浆压力,保证浆液充分扩散填充。最后通过压水试验等检测手段,检查帷幕的防渗效果,确保其渗透系数满足设计要求,为水利水电工程筑牢防渗屏障。

2.2 固结灌浆技术

固结灌浆是水利水电工程中改善岩基力学性能、增强整体性的关键技术。其通过向岩体裂隙中灌注水泥浆液,填充并胶结破碎岩石,形成坚固的结石体,从而提高岩基的强度、弹性模量和抗渗性,减少基础沉降与不均匀变形。施工时,先按设计要求布置孔位,采用地质钻机钻孔,孔深根据地质条件确定,一般为3-8米。灌浆前进行简易压水试验,了解岩体透水性。灌浆多采用纯压式或循环式,遵循分序加密原则,先灌I序孔,再灌

II、III序孔。浆液水灰比按由稀到浓逐级变换,常见起始比为3:1-2:1。结束标准为在设计压力下,注入率不大于0.4L/min,持续30分钟即可。该技术广泛应用于大坝基础、厂房基础等部位,能有效提升工程结构的稳定性与耐久性。

2.3 回填灌浆技术

回填灌浆是水利水电工程中用于填充混凝土衬砌与围岩之间空隙,保证结构整体性的重要技术。在隧洞、竖井等工程中,由于混凝土浇筑时难以完全充满空间,会形成大小不一的空腔,若不及时处理,不仅会降低结构承载能力,还可能引发渗漏等问题。施工时,先按设计要求在衬砌上布置灌浆孔,孔深通常穿透衬砌进入围岩10cm左右。一般采用纯压式灌浆,浆液多采用水泥砂浆,水灰比控制在0.6:1-0.5:1,以保证浆液具有良好的流动性和填充性。灌浆顺序遵循由低到高、由一端向另一端推进的原则,防止浆液串孔。当吸浆量逐渐减小,达到设计压力下注入率不大于0.4L/min,持续20分钟即可结束灌浆。通过回填灌浆,能有效消除空腔,增强衬砌与围岩的紧密结合,提升工程结构的稳定性与安全性。

2.4 接缝灌浆技术

接缝灌浆是水利水电工程中确保混凝土坝块间紧密连接、形成整体受力结构的关键技术。在大坝施工中,为适应混凝土浇筑能力和减少温度应力,常将坝体分成若干坝块,块与块之间会形成施工接缝,若不进行有效处理,接缝处将成为结构的薄弱环节,影响大坝安全。接缝灌浆通常在坝体温度稳定且达到一定龄期后进行。施工前,需对接缝进行清理和检查,确保无杂物、积水。灌浆系统由进浆管、回浆管、排气管等组成,布置要合理,保证浆液能均匀填充接缝。灌浆时,采用分级升压的方式,控制灌浆压力和浆液浓度,使浆液充分填充接缝空间。结束标准为在设计压力下,吸浆量小于一定值并持续一段时间。通过接缝灌浆,能有效增强坝体的整体性和抗渗性,提高大坝的承载能力和耐久性,保障其长期安全运行。

2.5 接触灌浆技术

接触灌浆是水利水电工程中强化混凝土与岩石、混凝土与钢结构等接触面结合质量的关键技术。在工程实际中,混凝土与周边介质接触处往往存在空隙或薄弱带,若不处理,会降低结构的整体性和抗渗性,影响工程安全与耐久性。施工时,先在接触面合理布置灌浆孔,孔深根据接触情况确定,确保能深入接触面内部。一般采用纯压式灌浆方式,浆液多选用水泥浆或化学浆液,水泥浆水灰比依据工程需求调整,化学浆液则根据

接触面特性选择合适类型。灌浆过程中,严格控制灌浆压力,避免压力过大破坏接触面结构。当在设计压力下,吸浆量逐渐减小至规定值并持续一段时间后结束灌浆。通过接触灌浆,可有效填充接触面空隙,增强界面粘结力,提高结构的整体稳定性和抗渗能力,保障水利水电工程长期安全运行^[2]。

3 水利水电工程灌浆施工质量控制要点

3.1 灌浆材料的质量控制

灌浆材料质量是保障工程效果的基础。水泥作为常用材料,要严格检验其品种、标号、出厂日期,确保符合设计要求,且进场时需提供质量证明文件并进行抽样复检,合格后方可使用。对于外加剂,如减水剂、速凝剂等,要检查其质量标准和掺量,通过试验确定最佳配合比,保证浆液性能满足施工需求。骨料应选用质地坚硬、级配良好的砂石,控制其含泥量和有害物质含量,避免影响浆液强度。水需采用清洁淡水,严禁使用含油、酸、碱等有害物质的水。材料储存要分类存放,做好防潮、防雨措施,水泥存放期超过三个月需重新检验,确保材料在使用过程中性能稳定,从源头上把控灌浆质量。

3.2 灌浆设备的质量控制

优质的灌浆设备是施工顺利进行的保障。灌浆泵性能要稳定,其工作压力和排量应满足设计要求,使用前需进行调试和校准,确保压力和流量准确无误。搅拌机要保证搅拌均匀,搅拌时间和转速符合规定,避免浆液出现离析现象。输浆管路应密封良好,无泄漏,管径选择合适,以减少浆液在输送过程中的压力损失。储浆桶要清洁,定期清理残渣,防止浆液污染。同时,要配备齐全的监测仪器,如压力表、流量计等,并定期进行校验,保证监测数据的准确性。施工前对设备进行全面检查和维护,施工中密切关注设备运行状态,及时排除故障,确保设备正常运转。

3.3 施工过程的质量控制

施工过程是质量控制的关键环节。钻孔要严格按照设计孔位、孔深和孔径进行施工,偏差控制在允许范围内。钻孔完成后,进行孔壁清理和孔口保护,防止杂物落入孔内。灌浆前进行压水试验,了解地层透水性,为确定灌浆参数提供依据。灌浆过程中,严格控制灌浆压力、浆液浓度和注入率,根据地层情况和吸浆量及时调整参数。采用分段灌浆时,要确保段间接缝密封良好,避免串浆。灌浆顺序应遵循由稀到浓的原则,逐步提高浆液浓度。同时,做好施工记录,详细记录灌浆时间、压力、流量等参数,以便及时发现问题并调整施工工

艺,确保灌浆质量符合设计要求。

3.4 质量检验与验收

质量检验与验收是灌浆施工的最后一道关卡。灌浆结束后,采用钻孔取芯、压水试验、物探等方法对灌浆质量进行检查。钻孔取芯可直观观察浆液充填情况和结石强度;压水试验能测定地层的透水率,判断防渗效果;物探方法可大面积检测灌浆区域的异常情况。检验点数量应符合规范要求,具有代表性。验收时,要检查施工记录、质量检验报告等资料是否齐全、真实。对于不符合质量要求的部位,要分析原因并采取补救措施,如进行补灌处理。只有当各项检验指标均满足设计标准和规范要求后,方可通过验收,确保水利水电工程灌浆施工质量达到预期目标,保障工程的安全运行^[3]。

4 水利水电工程灌浆施工常见问题及解决措施

4.1 常见问题

4.1.1 浆液漏失

在水利水电工程灌浆施工中,浆液漏失是常见问题。多发生在地质条件复杂的区域,如岩溶发育地段、裂隙密集带等。当浆液注入后,会顺着这些通道快速流失,难以在预定位置形成有效的充填和固结。这不仅造成浆液材料的浪费,增加工程成本,还会导致灌浆达不到设计要求的范围和强度,影响工程的防渗、加固效果,威胁工程整体稳定性。

4.1.2 灌浆压力异常

灌浆压力异常在施工过程中较为普遍。压力过低时,浆液无法充分扩散到设计范围,难以形成连续、密实的灌浆体,影响工程防渗与加固性能;压力过高则可能使地层结构遭受破坏,引发新的裂缝或导致原有裂缝扩大,造成浆液浪费,甚至出现冒浆、串浆等不良现象,干扰正常施工秩序,对周边环境和工程结构安全产生不利影响。

4.1.3 钻孔塌孔

钻孔塌孔现象在水利水电工程灌浆施工中时有发生。主要由于地质条件不佳,如土质松散、含水量高,或钻孔操作不当,如钻进速度过快、冲洗液使用不合理等引起。塌孔会破坏钻孔的完整性,导致钻孔偏离设计位置,影响后续灌浆作业的顺利进行,还可能损坏钻孔设备,增加施工难度和成本,延误工程进度。

4.2 解决措施

4.2.1 针对浆液漏失的解决措施

对于轻微浆液漏失,可适当降低灌浆压力,减缓浆液注入速度,延长灌浆时间,让浆液有足够时间在孔隙中沉淀、凝固。若漏失较严重,先向孔内投入级配良好的骨料,如砂、碎石等,填充大裂隙通道,形成反滤层,再灌注水泥砂浆或化学浆液。在岩溶地区,可采用模袋灌浆,将浆液注入模袋,模袋在压力作用下变形填充裂隙,防止浆液流失。

4.2.2 应对灌浆压力异常的方法

当灌浆压力过低时,检查灌浆设备,如泵体、管路是否存在泄漏,及时修复;检查浆液性能,若浆液黏度过大,调整水灰比降低黏度。若是地层吸浆量大导致压力低,可采用限量灌浆法,控制单位时间内的灌浆量。灌浆压力过高时,立即停止灌浆,检查是否因孔口堵塞、地层突然变密实等原因导致,疏通孔口或调整灌浆参数。

4.2.3 解决钻孔塌孔的策略

钻孔塌孔时,若塌孔不严重,可提升钻具,向孔内注入优质泥浆,泥浆比重根据地层情况调整,形成护壁,防止塌孔扩大,待泥浆稳定后再继续钻进。若塌孔严重,先清除孔内塌落物,下入套管进行护壁,套管长度应超过塌孔段一定距离。在松散地层钻进,可采用跟管钻进技术,边钻进边下入套管,保护孔壁^[4]。

结束语

水利水电工程中,灌浆施工技术是保障工程安全与稳定运行的核心环节,其施工质量直接影响工程的防渗、加固等关键性能。本文详细阐述了帷幕、固结、回填、接缝及接触等多种灌浆技术要点,并强调了施工各阶段的质量控制措施。未来,随着水利水电工程规模扩大与复杂程度提升,对灌浆施工技术与质量控制将提出更高要求。施工人员需不断探索新技术、新工艺,完善质量控制体系,严格把控每一道工序。

参考文献

- [1]邓渊,张志鹏,李莹,等.高压喷射灌浆在水利工程深层地基防渗中的应用[J].施工技术,2020,49(23):107-111.
- [2]吴军.水利工程防渗处理中的灌浆施工技术分析[J].工程技术研究,2020,5(20):115-116.
- [3]程静.水利水电工程灌浆施工技术浅析[J].河南水利与南水北调,2021(07):98-99.
- [4]金玲.水利水电工程灌浆施工技术与质量管理措施分析[J].低碳世界,2022(10):109-110.