

水利水电施工技术和灌浆施工的应用

郑传奇 宗桐冰 谭志辉

湖北省水利水电规划勘测设计院有限公司 湖北 武汉 430000

摘要：本文围绕水利水电施工技术与灌浆施工展开，阐述二者概述，深入分析施工中土方开挖与填筑、混凝土施工等关键技术要点，详细探讨灌浆在坝基防渗、隧洞围岩加固等场景的具体应用，旨在为水利水电工程施工提供专业参考，助力提升工程质量，保障工程安全稳定运行。

关键词：水利水电施工技术；灌浆施工；关键技术；工程应用

引言

社会对水资源调控与能源供应需求提升，推动水利水电工程建设发展。施工技术是工程建设核心支撑，灌浆施工是基础处理与病害修复关键手段。深入研究二者，对解决工程施工难题、保障工程质量与安全，推动水利水电行业技术进步意义重大。

1 水利水电施工技术与灌浆施工概述

水利水电施工技术是工程全流程综合技术体系，涵盖前期准备，中期土方开挖与填筑、混凝土浇筑养护、基础处理，在保障安全与质量前提下平衡效率，且技术随工程需求持续优化。灌浆施工是工程基础处理与病害修复核心技术，依托专业设备与工艺，将浆液注入结构缺陷或岩土体空隙，经凝固实现补强防渗。水泥浆适用于多数岩基防渗，水泥黏土浆兼顾经济与适应性，化学浆液善补细微裂缝。施工需精准控压、流量与浆液浓度，经前期试验定参数、施工中实时监测，确保浆液均匀填充，形成稳定防护层，保障工程安全^[1]。

2 水利水电施工中的关键技术要点

2.1 土方开挖与填筑技术

土方开挖需遵循“分层开挖、先支后挖”原则，根据地质情况选择合适开挖方式。明挖适用于地表浅层工程，需设置合理边坡坡度，结合锚杆、锚索等支护措施防止边坡坍塌；洞挖针对隧洞等地下工程，需采用光面爆破或盾构技术，减少对围岩扰动，同时做好洞内通风与排水，保障施工环境安全。开挖过程中，采用全站仪、水准仪等设备实时监测开挖轮廓线与高程，避免超挖或欠挖，对超挖部位需采用同级混凝土或浆砌石回填，确保基础结构完整性。土方填筑前需对填料进行全面检测，明确颗粒级配、含水量、压实度等指标，不符合要求的填料需进行改良。例如黏性土含水量过高时，采用晾晒或掺加干土的方式调整；砂性土稳定性不足时，掺入黏土改善级配。填筑过程中严格控制铺土厚度，根据压实机械类型确定合理分层

厚度，一般振动碾压实分层厚度为30-50cm，羊足碾为20-30cm。压实操作遵循“先轻后重、先慢后快”原则，确保填筑体密实度均匀，每层压实后需进行取样检测，压实度达标后方可进行下一层填筑，避免因压实不足导致后期沉降或渗漏。

2.2 混凝土施工技术

混凝土配制需结合工程部位功能需求确定配合比，大坝等大体积混凝土需重点控制水化热，采用低热水泥、掺加粉煤灰等矿物掺合料，减少水泥用量，同时添加缓凝型外加剂，延长初凝时间，降低温度应力。骨料选择需满足级配要求，粗骨料采用连续级配，细骨料控制含泥量在3%以内，确保混凝土和易性与强度。配制过程中实时监测骨料含水量，动态调整用水量，保证混凝土坍落度符合施工要求，一般泵送混凝土坍落度控制在120-180mm。混凝土运输需选择密封性能良好的运输设备，减少运输过程中水分蒸发与骨料离析，运输时间夏季不超过30分钟，冬季不超过45分钟。分层厚度根据振捣设备确定，插入式振捣器浇筑分层厚度不超过50cm，表面振捣器不超过20cm。振捣操作需到位，振捣时间以混凝土表面出现浮浆、不再下沉为宜，避免漏振或过振导致蜂窝、麻面等缺陷。浇筑完成后及时覆盖保湿，采用洒水养护或蓄水养护，养护期间控制混凝土内外温差，通过埋设温度传感器实时监测温度变化，必要时采取通水冷却等温控措施，防止温度裂缝产生。

2.3 基础处理技术

基础处理需根据地基类型选择合适技术，软土地基常用换填法、排水固结法等。换填法适用于浅层软土，将软弱土层挖除后换填碎石、灰土等材料，分层压实，压实度不低于96%；排水固结法通过设置砂井、塑料排水板等排水通道，加速地基土固结，提高承载力。岩基处理重点解决裂隙问题，采用固结灌浆增强岩基整体性，灌浆孔布置根据裂隙分布确定，孔深一般为5-15m，浆液

采用水泥浆,压力控制在0.5-1.5MPa。防渗帷幕施工是基础防渗的关键,采用钻孔灌浆形成连续防渗墙,帷幕布置为单排或多排孔,孔距2-3m,排距1.5-2.5m。钻孔过程中控制孔斜度不超过0.5%,确保帷幕连续性,灌浆采用循环式灌浆法,浆液浓度从稀到浓逐步调整,根据吸浆量变化确定灌浆结束标准,一般在设计压力下吸浆量小于0.4L/min时,持续灌注30分钟即可结束。断层破碎带处理需综合采用清挖、回填与灌浆技术,先清除破碎带内松散物质,回填混凝土形成截水墙,再进行固结灌浆与帷幕灌浆,提高断层带稳定性与抗渗性。

2.4 机电设备安装及调试技术

机电设备安装前需对基础进行验收,检查基础平整度、高程及预留孔位置,偏差控制在设计允许范围内,同时清理基础表面杂物与油污,确保设备安装贴合度。设备开箱验收需核对型号、规格与零部件数量,检查设备外观与关键部件精度,对轴承、密封件等易损部件进行无损检测,确保设备完好。安装前对设备进行清洗与润滑,采用煤油清洗轴承座、轴颈等部位,涂抹专用润滑脂,保证设备运转顺畅。设备安装过程中采用高精度测量仪器控制安装精度,水轮机安装时,主轴垂直度偏差不超过0.02mm/m,定子与转子空气间隙偏差不超过平均值的10%;发电机组安装需控制主轴同轴度,通过调整轴承座高程与水平度,确保同轴度误差小于0.05mm。

设备调试需分阶段开展,单机调试先进行无负荷试运行,检查运转声音、轴承温度(不超过70℃)、振动值(转速3000r/min时 $\leq 0.05\text{mm}$),持续2小时;再进行带负荷调试,逐步加载至额定值,监测功率、电压等参数,满载运行不少于4小时。联动调试模拟实际工况,测试设备协同能力,如闸门与水泵联动、机组与电网并网,重点验证过载、超温等连锁保护功能,确保触发故障信号时设备紧急停机。专项调试针对高压设备,如断路器需测绝缘电阻($\geq 1000\text{M}\Omega$)、调整分合闸时间;液压系统调试压力、流量,保证执行元件动作平稳。调试全程记录数据,形成报告,发现问题及时整改,直至设备达标^[2]。

2.5 水工结构施工技术

挡水建筑物施工中,重力坝采用柱状分块浇筑,分缝间距15-20m,块体设键槽增强整体性;拱坝从两岸向中间对称浇筑,用全站仪监测变形,控制在设计范围。泄水建筑物过流面用钢模施工,模板接缝贴止水带,混凝土强度 $\geq \text{C30}$,浇筑后抹面,平整度偏差 $\leq 3\text{mm/m}$,粘贴碳化硅板抗冲磨。

输水建筑物中,渡槽槽身用挂篮施工,支架预压

(荷载为设计1.2倍)消除变形;倒虹吸管道安装控制坡度偏差 $\leq 0.2\%$,接口用橡胶圈密封,打压试验(1.5倍工作压力)保压30分钟无渗漏。取水建筑物水下施工用沉井或围堰,沉井下沉偏斜度 $\leq 1\%$,及时纠偏;取水头部用水下不分散混凝土(坍落度180-220mm)浇筑,确保强度达标。施工中用回弹法测混凝土强度、激光测距仪检测结构尺寸,保障质量。

3 灌浆施工在水利水电工程中的具体应用

3.1 坝基防渗灌浆应用

坝基防渗是保障大坝安全运行的核心环节,其核心目标是通过灌浆形成连续的防渗帷幕,阻断地下水渗透通道。帷幕灌浆通常采用多排孔布置,施工顺序遵循“先下游后排上游”原则,确保浆液逐步扩散形成封闭体系。孔深需穿透透水层并深入隔水层1-2m,以彻底截断渗流路径。钻孔采用回转式钻机配合双层岩芯管,通过取芯分析裂隙发育情况,优化灌浆参数。浆液选用水泥浆,水灰比从初始的5:1逐步调整至0.8:1,通过分级升压(初始压力为设计压力的50%,稳定后每30分钟递增10%)控制浆液扩散范围。施工过程中需实时监测压力与吸浆量,若压力骤升则需降压并稀释浆液,避免局部堆积;若吸浆量骤增则暂停灌浆,排查裂隙连通性或地质异常。灌浆结束后采用0.5:1水灰比浆液以80%设计压力封孔1小时,并通过压水试验验证防渗效果,透水率需控制在1Lu以下,否则需补灌至达标。

3.2 坝体接缝灌浆应用

坝体接缝灌浆是解决混凝土坝分段浇筑接缝渗漏的关键技术,其核心条件是混凝土温度稳定(通常为浇筑后6个月或达到设计稳定温度)。灌浆系统由灌浆孔、排气孔与回浆孔组成,水平接缝预埋 $\Phi 50\text{mm}$ 钢管(间距2-3m),垂直接缝设置灌浆盒以确保浆液均匀分布。灌浆前需通水检查管道畅通性(流速 $\geq 15\text{L/min}$),并冲洗杂物防止堵塞。浆液温度控制在15-25℃,与坝体温差 $\leq 5^\circ\text{C}$,以避免热应力导致开裂。采用循环式灌浆工艺,当回浆浓度与进浆一致时逐步升压至0.2-0.5MPa,同时监测坝体位移,若位移超5mm则立即降压防止结构损伤。灌浆结束标准为设计压力下吸浆量 $< 0.4\text{L/min}$ 持续30分钟,随后用水泥砂浆封孔并养护7天,确保接缝密实。

3.3 隧洞围岩加固灌浆应用

隧洞围岩加固需根据围岩类别(Ⅲ-V类)制定差异化方案:Ⅲ类围岩采用局部布孔,Ⅳ、Ⅴ类围岩则采用环形布孔(孔距2-3m、深3-5m,梅花形排列)。钻孔使用气腿式钻机垂直裂隙面,高压水(70%设计压力)冲洗孔内岩粉,确保浆液渗透通道畅通。浆液选择依据岩

性:砂岩采用水泥浆(水灰比1:1-0.5:1),页岩采用水泥黏土浆(3:1-2:1)以兼顾经济性与适应性。灌浆采用纯压式工艺,压力从0.5MPa逐步升至1.5MPa,每级压力持压15分钟,若吸浆量大则延长持压时间。加固效果通过声波测试(波速提升 $\geq 30\%$)与钻孔取芯(芯样采取率 $\geq 85\%$)双重验证,不达标区域需补灌直至满足要求^[3]。

3.4 混凝土结构缺陷修补灌浆应用

混凝土缺陷修补需先通过超声波定位缺陷范围,表面缺陷凿除松散部分后,采用0.8:1水灰比水泥浆以0.2-0.3MPa压力浅层灌浆,抹面养护5天。内部空洞与裂缝需布孔(深超缺陷0.5m、孔径 $\Phi 42\text{mm}$ 、间距1-1.5m),宽 $> 0.2\text{mm}$ 裂缝采用水泥浆(1:1-0.6:1),窄缝采用环氧树脂浆(5:1-4:1)以增强粘结力。灌浆采用低压(0.3-0.5MPa)慢灌(5-10L/h)工艺,确保浆液充分填充缺陷。修补后通过超声波检测与钻芯取样验证质量,芯样强度需 \geq 设计值的90%,缺陷填充率 $\geq 95\%$ 。

3.5 堤防防渗灌浆应用

堤防防渗需区分堤身与堤基处理:堤身采用单排孔(孔距3-4m、深2/3堤高),堤基采用双排孔(前排距3m、后排4m,深穿透透水层入隔水层0.5-1m)。浆液选择依据土质:砂性土采用水泥粉煤灰浆(1:2:3),黏性土采用水泥黏土浆(1:3:4)。灌浆采用低压分段工艺(0.1-0.3MPa),每段1-2m,吸浆量 $< 0.3\text{L/min}$ 时持压20分钟。施工期间需监测堤顶沉降,若超3mm则暂停灌浆防止结构失稳。遇管涌时,先在出口铺设0.5-1m厚砂碎石反滤层,周围布孔(距1-1.5m、深超管涌1m)注入0.8:1水泥黏土浆(0.2MPa),通过注水试验验证渗水量 $< 0.01\text{m}^3/(\text{m} \cdot \text{d})$,封孔采用水泥土压实(压实度 $\geq 93\%$)。

3.6 泵站、水闸、水电站基础处理灌浆应用

泵站基础处理需结合地质条件:泵房软基采用高压喷射灌浆形成0.8-1.2m防渗桩(间距1.5m,梅花形布置),水泥浆压力20-30MPa,提升速度5-10cm/min,构建防渗墙;机组岩基采用固结灌浆(方格网布孔,孔距2m、深8-12m),水泥浆水灰比1:1-0.6:1,压力1.0-2.0MPa,通过压板试验验证承载力 \geq 设计值的1.2倍。水闸基础处理重点在闸室与两岸连接部,采用双排帷幕灌浆(前排深穿透透水层,后排深为前排2/3,孔距2.5m、排距2m),水泥黏土浆(1:2)压力0.5-1.0MPa,循环式灌浆回浆浓度达标后持压30分钟。水电站基础处理需区分厂房与尾水管:厂房基础采用固结灌浆(孔距2.5m、深10-15m),水泥浆压力1.5-2.5MPa;尾水管基础采用接触灌浆,布孔于混凝土与基岩接触面,压力0.3-0.5MPa,确保结合紧密无渗漏。

结语

水利水电施工技术与灌浆施工在工程建设中不可或缺。本文梳理的关键技术要点与应用场景,为工程实践提供指导。未来需持续优化技术与工艺,提升工程建设水平,以更好满足水利水电工程需求,为国家水资源与能源安全提供坚实保障。

参考文献

- [1]李四红.水利水电施工技术和灌浆施工的应用[J].湖南水利水电,2020(01):31-33.
- [2]刘磊.水利水电施工技术和灌浆施工的应用[J].城市建筑,2020,18(29):142-143+192.
- [3]谭东东.水利水电施工技术和灌浆施工的应用[J].科技风,2020(21):195-196.