

水利工程施工技术措施及水利工程施工

陈燕腾

山东省水利工程局有限公司 山东 济南 250000

摘要：水利工程作为国家基础设施建设核心，在防洪、供水等领域意义重大。本文围绕水利工程施工技术与管理展开研究，系统分析施工复杂性、季节性及生态敏感性特点，梳理前期准备、主体施工、验收运维三大流程关键环节。详细阐述地基处理、混凝土施工等传统技术及装配式、智能化等新型技术措施，构建涵盖组织设计、质量安全、成本进度的管理体系。研究成果为优化施工工艺、保障工程质量、实现生态与经济效益平衡提供理论支撑与实践指导。

关键词：水利工程施工；技术措施；水利工程施工管理

引言：水利工程施工受地质水文、季节变化及生态保护多重制约，技术与管理难度高。同时新材料、新工艺的应用需求迫切，传统施工模式亟需革新。本文旨在剖析水利工程施工技术与管理要点，探索高效、安全、绿色的施工路径，推动行业可持续发展。

1 水利工程施工概述

1.1 水利工程施工特点

水利工程施工具有显著的复杂性、季节性与生态敏感性，这些特点决定了其技术与管理的特殊性。（1）工程建设受地质与水文条件制约明显，不同区域的地形地貌、土壤特性及地下水位差异，要求施工方案需因地制宜。（2）施工过程具有强烈的季节性。汛期的洪水威胁、枯水期的施工窗口期，使得工程进度必须与水文周期紧密衔接，例如河道整治工程通常需在枯水期完成主体结构施工，以降低洪水对工程安全的影响。（3）水利工程与生态环境高度关联，施工中需同步落实生态保护措施，如鱼类增殖放流、施工废水处理等，避免对流域生态系统造成破坏。

1.2 水利工程施工面临的挑战

水利工程施工在技术、安全与环保层面面临以下挑战。（1）技术层面，复杂地质条件常引发施工难题，如深埋隧洞穿越断层破碎带时易出现塌方、涌水事故，需结合超前地质预报与注浆加固技术保障施工安全；高边坡开挖过程中的稳定性控制，也需综合运用预应力锚索、喷锚支护等措施。新材料、新工艺的应用也带来技术革新压力，例如生态混凝土的配比优化、智能监测系统的集成应用等，对施工人员的技术能力提出更高要求。（2）安全与环保风险是施工管理的重点。水利工程施工多涉及高空、深基坑、爆破等高风险作业，安全事故隐患突出，如脚手架坍塌、爆破飞石伤人等，需严格

落实安全操作规程与应急预案^[1]。施工活动对生态环境的影响不容忽视，土方开挖导致的水土流失、混凝土生产产生的粉尘污染、施工弃渣对河道行洪的影响等问题，均需通过环保技术措施与全过程监管进行管控。

2 水利工程施工流程与关键环节

水利工程施工流程主要涵盖前期准备、主体施工、验收与运维三大阶段：（1）在前期准备阶段，需完成勘察设计与施工方案制定。勘察设计通过地质勘探、水文监测等手段，掌握施工区域地形地貌、地质结构及水文气象信息，如钻探获取岩芯分析土壤承载力，利用水文数据规划导流方案。施工方案则结合勘察结果，统筹规划施工工艺、进度安排与资源调配，确定土方开挖、混凝土浇筑等关键技术细节。（2）主体施工阶段包含基础处理与构筑物建设两大关键环节。基础处理针对不同地质条件采用差异化技术，软土地基用排水固结、砂桩挤密增强承载力，岩石地基则进行爆破开挖与锚固处理。构筑物建设涉及大坝、水闸、输水渠道等施工，大坝需严控混凝土配合比与温控防裂，水闸要保证金属结构安装精度。（3）验收与运维阶段是工程质量的最终检验与长期保障。验收阶段依据规范标准核查工程实体质量与施工资料，通过蓄水试验等验证功能。运维阶段建立自动化监测体系，实时掌握大坝变形、渗流情况，及时处理隐患^[2]。

3 水利工程施工技术措施

3.1 地基处理技术

3.1.1 桩基施工

桩基施工作为水利工程地基加固核心技术，包含钻孔灌注桩与预制桩两类。（1）钻孔灌注桩施工时，先对场地进行平整压实，利用全站仪进行测量放线确定桩位，随后埋设钢制或混凝土护筒，护筒需高出地面0.3-

0.5m,以固定桩位、保护孔口并防止塌孔。采用旋挖钻机、冲击钻机等设备进行钻孔作业,钻进过程中需实时监测泥浆指标,确保孔壁稳定。成孔后进行两次清孔,首次利用钻具低速旋转清渣,二次采用换浆法,使孔底沉渣厚度 $\leq 50\text{mm}$ 。钢筋笼采用分节制作,现场焊接或机械连接,下放至设计标高后,通过导管法进行水下混凝土灌注,灌注时需保证导管埋深在2-6m,防止断桩。

(2) 预制桩按制作工艺分为预应力管桩、实心方桩等,制作时需严格控制钢筋骨架尺寸与混凝土配合比,确保桩体强度达到设计要求。沉桩方法包括锤击沉桩、静力压桩与振动沉桩。锤击沉桩利用桩锤冲击力将桩体打入地基,需根据地质条件选择合适的锤重与落距;静力压桩通过液压装置将桩体缓慢压入,适用于软土地基;振动沉桩借助振动锤产生的高频振动使土体液化,桩体在自重作用下沉入,常用于砂土地基。

3.1.2 地基加固

深层搅拌法施工采用双轴或多轴搅拌桩机,将水泥浆或水泥粉通过钻头喷入软土,搅拌叶片旋转将固化剂与土体强制混合。施工流程为定位、预搅下沉、喷浆搅拌提升、重复搅拌下沉与提升,搅拌次数不少于2次,确保桩体均匀性。搅拌桩直径通常为500-800mm,桩长根据设计要求确定,搭接长度不小于200mm,形成连续的挡土或防渗结构。强夯法施工前需对场地进行平整,确定夯点布置,夯点间距一般为5-15m。根据地基土类型与设计选择夯击能,分3-4遍夯击,每遍夯击次数以最后两击平均夯沉量控制(一般 $\leq 50\text{mm}$)。夯击完成后,采用推土机推平场地,静置1-4周待地基土强度恢复后,进行检测验收。

3.1.3 防渗处理

帷幕灌浆采用回转式钻机钻孔,孔径一般为76-110mm,钻孔按序分三序施工,遵循“逐渐加密”原则。钻孔完成后进行高压水冲洗,清除孔内岩粉、碎屑,随后进行压水试验,测定岩体透水率(q值)。灌浆采用纯压式或循环式,浆液配比从稀到浓(逐级变换,灌浆压力根据孔深、地层特性控制在0.3-3MPa,以达到设计防渗标准($q \leq 5\text{Lu}$)。高压喷射灌浆通过高压喷射设备,将水泥浆液以20-40MPa压力喷射,切割土体并与之混合形成凝结体。按喷射方式分为旋喷、摆喷与定喷,旋喷形成圆柱状桩体,摆喷形成扇形板墙,定喷形成板状结构。施工时先钻孔至设计深度,插入喷射管,自下而上喷射提升,提升速度控制在10-25cm/min,旋转速度10-20r/min,确保凝结体连续性与强度。

3.2 混凝土施工技术

3.2.1 大体积混凝土温控措施

冷却水管布置采用蛇形或网格形,管径25-50mm,层间距0.5-1.5m,水平间距1-3m,水管距混凝土表面 $\geq 50\text{cm}$ 。通水流量控制在15-25L/min,水温与混凝土内部温差 $\leq 25^\circ\text{C}$,通水时间根据温度监测数据确定,一般持续7-14天。配合比设计时,优先选用中低热水泥,掺加20%-40%粉煤灰或15%-30%矿渣粉,粗骨料采用二级或三级配,降低水泥水化热。混凝土浇筑采用分层连续浇筑或推移式浇筑,每层厚度30-50cm,层间间歇时间 $\leq$ 混凝土初凝时间。采用保温材料(如棉被、泡沫板)覆盖表面,控制混凝土内外温差 $\leq 20^\circ\text{C}$,表面与大气温差 $\leq 25^\circ\text{C}$,通过埋设测温元件(热电偶或热敏电阻)实时监测温度变化。

3.2.2 模板与钢筋施工工艺

模板设计需进行强度、刚度与稳定性验算,木模板面板厚度 $\geq 18\text{mm}$,钢模板面板厚度 $\geq 4\text{mm}$ 。安装时模板拼缝采用海绵条或橡胶条密封,垂直度偏差 $\leq 3\text{mm}$,平整度 $\leq 2\text{mm}$ 。采用对拉螺栓、支撑体系固定模板,对拉螺栓间距根据混凝土侧压力计算确定,一般水平间距60-90cm,竖向间距40-60cm。钢筋加工前需进行调直除锈,采用钢筋切断机、弯曲机加工成型。钢筋连接时,直径 $\geq 16\text{mm}$ 的钢筋优先采用机械连接,直径 $< 16\text{mm}$ 可采用绑扎连接,搭接长度按规范要求确定。

3.2.3 混凝土碾压技术

RCC坝施工采用自卸汽车运输混凝土,通过平仓机摊铺,摊铺厚度30-50cm,相邻两层摊铺间隔时间 $\leq 2\text{h}$ 。振动碾采用自行式振动碾,振动频率28-35Hz,激振力30-50kN,碾压遍数8-12遍,先无振碾压2遍,后振动碾压6-10遍。施工过程中需控制混凝土VC值在10-30s,确保混凝土压实度 $\geq 98\%$,层面结合良好。

3.3 土方与爆破施工技术

3.3.1 土方开挖与填筑工艺

土方开挖采用自上而下分层开挖,每层开挖深度3-5m,边坡按设计坡比放坡,采用反铲挖掘机配合自卸汽车运输。高边坡开挖时,设置马道,宽度2-3m,每隔10-15m高度设置一级,以保证边坡稳定。土方填筑前需进行碾压试验,确定铺土厚度、碾压遍数、含水量等参数。填筑采用进占法或后退法卸料,推土机摊铺,振动碾压实,碾压方向平行于坝轴线,搭接宽度 $\geq 50\text{cm}$,垂直碾压方向搭接宽度 $\geq 1\text{m}$ 。每层填筑完成后,采用环刀法或核子密度仪检测压实度,合格后方可进行下一层填筑。

3.3.2 爆破技术

预裂爆破炮孔直径70-100mm,间距0.8-1.2m,装药

量100-300g/m,采用不耦合装药,导爆索起爆。光面爆破参数与预裂爆破类似,炮孔间距0.5-0.8m,装药量80-200g/m,采用间隔装药或底部加强装药结构。两种爆破均需严格控制起爆顺序,预裂爆破先于主爆区50-100ms起爆,光面爆破滞后主爆区100-150ms起爆,确保爆破轮廓精度。

3.4 新型施工技术与材料

3.4.1 装配式施工

预制构件生产采用自动化生产线,钢筋骨架通过焊接机器人制作,混凝土采用高精度计量搅拌设备浇筑,蒸汽养护室控制养护温度与湿度确保构件强度与尺寸精度。现场拼装时,采用塔式起重机或履带式起重机吊装,灌浆套筒连接需控制灌浆压力0.2-0.5MPa,螺栓连接需采用扭矩扳手按设计扭矩值紧固,保证连接可靠性。

3.4.2 智能化技术

BIM技术通过Revit、Catia等软件建立三维模型,整合工程几何信息、材料属性、施工进度等数据,利用Navisworks进行4D施工模拟,优化施工顺序与资源配置。无人机监测采用多旋翼或固定翼无人机,搭载1亿像素以上相机与LiDAR设备,飞行高度50-200m,获取分辨率0.05-0.2m的影像数据,通过Pix4D、ContextCapture软件进行三维建模与数据分析。

3.4.3 生态混凝土与环保材料应用

生态混凝土采用多孔结构设计,孔隙率15%-30%,骨料粒径10-20mm,通过调整胶凝材料与骨料比例控制强度^[3]。环保材料方面,可降解模板采用竹纤维、秸秆纤维等生物基材料制成,再生骨料混凝土利用废弃混凝土破碎筛分后替代部分天然骨料,替代率可达30%-50%,降低资源消耗与碳排放。

4 水利工程施工管理体系

水利工程施工管理体系涵盖以下核心模块,各模块相互关联、协同运作,是保障工程顺利实施的关键。

(1) 施工组织设计。综合考虑工程规模、地质条件与施工工艺。在进度计划编制中,运用网络图、甘特图等工具对施工流程进行系统规划,明确各工序的逻辑关系与时间节点,合理安排基础处理、混凝土浇筑、设备安装等施工顺序,确保施工连续性。资源调配方面,精准

计算人力、机械、材料需求,依据工程进度动态配置资源,如在混凝土浇筑高峰期,提前调配充足的搅拌设备、运输车辆及作业人员,保障施工效率。(2) 质量控制贯穿施工全过程。原材料检测严格把控水泥、钢筋、砂石等材料质量,通过抽样检验、进场复检等手段,确保材料性能符合要求;施工工艺控制则对每个环节制定详细标准,如地基处理中的桩基施工,需明确钻孔深度、孔径偏差、混凝土灌注强度等参数,施工过程中采用旁站监督、工序验收等方式,及时纠正偏差,保障工程实体质量。(3) 安全与环保管理。安全管理针对高空作业、深基坑施工、爆破作业等高风险环节,制定专项安全操作规程,配备安全防护设施,定期开展安全培训与应急演练,强化人员安全意识与应急能力;环保管理围绕施工废水、废气、噪声及固体废弃物等污染源,采用沉淀过滤处理废水、覆盖防尘网减少扬尘、设置隔音屏障降低噪声等措施,减少施工对环境的负面影响。

(4) 成本与进度控制。成本管理通过工程量清单计价,对施工各环节进行成本核算与动态监控,分析成本偏差原因并及时调整资源投入;进度控制采用动态调整策略,当出现进度延误时,通过增加资源投入、优化施工工艺等方式追赶进度,同时运用信息化手段实时跟踪工程进度,确保工程按期完工^[4]。

结束语:研究全面揭示水利工程施工技术与管理规律,明确各阶段技术要点与管理方法,为工程建设提供系统化方案。然而,面对复杂地质条件与生态保护要求,仍需加强智能化监测、绿色施工技术研发及管理体系创新。未来将持续推动技术升级,助力水利工程建设高质量发展。

参考文献

- [1]沙亚伟.水利工程施工技术措施及水利工程施工[J].水利电力技术与应用,2024,6(19):13-14.
- [2]王康宁.水利工程施工技术措施及水利工程施工[J].水利电力技术与应用,2024,6(20):18-19.
- [3]朱微微.水利工程施工技术措施及水利工程施工[J].工程研究与实用,2024,5(5):22-23.
- [4]郭西敬.水利工程施工技术措施及水利工程施工[J].建筑工程技术与设计,2020(26):2177.