

水利工程施工质量管理与技术保障体系探讨

徐路, 李春娇, 王郡

(达州市水利工程建设运行有限责任公司, 四川 达州 635000)

摘要 水利工程施工阶段受地基条件、水文扰动及多工序交叉影响, 质量偏差往往在隐蔽环节逐步累积, 并在结构成型后集中显现。本文基于质量形成机理, 对施工质量管理与技术保障的协同路径展开分析, 结合地基加固、混凝土浇筑、防渗构造及机电安装等关键作业, 对施工过程中参数约束、工艺衔接与检测反馈之间的作用关系进行梳理, 并引入过程监测与数据校核手段, 使质量判定由离散检验转向连续识别。工程应用表明, 关键工序执行稳定、监测数据持续参与控制时, 结构缺陷趋于收敛, 施工过程更具可控性。

关键词 水利工程; 地基处理; 混凝土施工; 技术保障体系; 过程监测

中图分类号: TV512

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.26.032

0 引言

水利工程施工具有作业面分散、结构类型复杂及环境条件变化频繁等特征, 质量状态往往在连续工序作用下逐步形成, 而非由单一环节决定。现场实践表明, 材料检验、工艺执行与过程记录之间若缺乏有效衔接, 检测结果难以参与施工调整, 局部偏差易在后续环节放大, 进而影响结构稳定, 工期约束与多专业交叉作业并行存在, 使施工过程更依赖参数控制与动态校核, 伴随工程管理方式不断更新, 质量控制逐步由经验判断转向数据支撑, 技术手段与管理机制之间的联动关系愈发受到业界关注。

1 水利工程施工质量管理的核心技术

1.1 地基处理与基础稳定控制技术

基础条件直接影响结构受力与渗流路径, 持力层识别偏差或夹层处理不足, 易引发不均匀沉降与渗流发展, 施工准备阶段通常依托勘察资料与现场揭露结果对处理范围进行修正, 使加固措施与实际地层相匹配^[1]。在灌浆加固过程中, 浆液水灰比、注浆压力与扩散半径之间形成约束关系, 压力偏离设定区间时, 浆液易沿弱面外逸或填充不足, 现场多以压力—流量曲线作为判定依据, 对吸浆量异常区段实施补孔或分序调整, 使防渗结构保持连续, 加固完成后沉降观测与原位测试数据结合分析, 用于判定基础承载与变形特征, 结果直接影响上部结构施工安排。

1.2 混凝土施工质量控制关键技术

水工混凝土体量较大, 内部温度与环境条件之间存在差异, 温差应力易诱发裂缝, 配合比设计阶段常

引入低水化热材料与矿物掺合料, 以控制温升速率并延缓峰值出现; 施工过程中分层厚度、浇筑间歇与振捣时长构成核心参数, 振捣不足会形成孔隙, 振捣过度易引起离析, 现场结合坍落度变化对施工状态进行修正, 使密实度保持稳定, 大体积结构施工时入仓温度一般控制在 18℃~25℃区间, 并配合覆盖与分区浇筑方式减缓温差发展; 养护阶段对强度增长具有持续影响, 湿养护时间与温控条件共同作用, 裂缝观测结果作为调整依据, 使结构状态逐步趋于稳定。

1.3 防渗与结构完整性控制技术

防渗体系直接关系到工程长期运行安全, 局部缺陷易演化为渗流集中区, 基层平整度与密实度影响材料铺设效果, 若存在起伏或松散区域, 应力集中将削弱整体稳定性^[2]。施工阶段以土工膜焊接、防渗墙连续性及帷幕灌浆完整性为控制重点, 搭接宽度与焊缝质量需保持稳定, 焊接完成后, 现场多借助真空检测或电火花检测进行校核, 对异常区段实施修复处理; 结构评价依托渗流观测与变形监测数据进行综合判定, 当渗流量或水头分布出现波动时, 施工记录被用于追溯对应工序, 使问题定位更具针对性。

1.4 金属结构与机电安装精度控制技术

闸门及启闭设备运行性能与安装精度直接相关, 预埋件偏差在后续安装中易被放大, 施工阶段依托测量复核对埋件位置进行校正, 为安装提供基准; 构件安装过程中, 同轴度与垂直度为关键控制指标, 吊装定位后需进行复测, 使结构连接保持一致; 焊接完成后采用无损检测手段对焊缝质量进行评估, 并结合防

作者简介: 徐路(1986-), 女, 本科, 助理工程师, 研究方向: 水利工程管理。

腐处理延缓性能衰减；设备调试阶段以启闭试验与荷载运行作为检验手段，运行阻力与响应状态反映安装质量，若监测结果偏离控制范围，则回溯安装环节进行调整，使设备运行保持稳定。

2 水利工程施工质量管理技术保障体系的构建

2.1 全过程质量管理控制机制构建

水利工程质量形成具有连续性特征，设计参数、施工执行与检测结果在工程推进过程中不断叠加，任一环节偏差均可能被放大。项目实施初期，施工组织设计通常将关键工序与质量控制要求同步分解，地基处理、混凝土浇筑及防渗施工等环节被嵌入进度节点，使质量约束与施工节奏形成对应关系。进入现场实施阶段，工序控制逐渐转向动态校核，报验流程与旁站记录共同构成基础管理单元，实测数据不再仅用于结果判定，而参与施工状态修正，比如在混凝土施工中，入仓温度、分层厚度与振捣时长形成联动关系，一旦温差或密实度偏离控制区间，施工组织会调整浇筑节奏或养护条件，使偏差在早期得到收敛^[3]。工程收尾阶段，质量评定侧重全过程数据一致性，隐蔽工程记录、检测报告及影像资料形成交叉验证关系，单项指标合格已难以支撑整体判断，结构性能与施工过程匹配程度成为评价重点，该控制模式使质量管理由节点检查转入连续约束，过程信息在不同阶段形成闭合反馈。

2.2 标准化与精细化施工管理体系

施工质量稳定依赖操作层面的可控程度，标准体系需转化为具体执行单元，现场通常将施工流程拆解为若干控制环节，并以工序卡或作业指导书形式落实至班组，使操作人员能够明确控制参数与允许偏差范围，避免执行尺度随作业人员变化而产生波动，在此基础上典型工序的关键控制参数被归纳为统一指标体系，形成直观约束条件，如表 1 所示。

参数约束使不同工序在执行过程中具备统一参照，

表 1 典型施工工序关键控制参数

工序类别	控制参数	单位	控制范围 / 要求	工程作用
土方填筑	压实度 K	—	≥ 0.95	控制坝体密实性
土方填筑	含水率	%	最优含水率 $\pm 2\%$	保证压实效果
混凝土施工	入仓温度	$^{\circ}\text{C}$	18 ~ 25	降低温差应力
混凝土施工	坍落度	mm	120 ~ 180	保证和易性
防渗施工	搭接宽度	cm	≥ 10	防止渗流通道
灌浆施工	注浆压力	MPa	0.3 ~ 0.8 (分级)	控制扩散范围
金属结构	安装偏差	mm	≤ 5	保证运行精度

压实度与含水率之间保持匹配关系，混凝土坍落度与振捣时间形成联动条件，结构安装精度则依托测量复核进行校正，实测数据在施工过程中持续累积，并在班组间进行横向比对，使质量差异能够被及时识别，样板段作为补充手段，将抽象指标转化为实体参照，在防渗施工及设备安装中应用较多，现场作业据此调整工艺参数，使施工状态趋于稳定。

2.3 信息化与数字化质量监测体系

数字化手段进入水利施工现场后，质量管理的关注点已由“记录是否完整”逐步转向“数据能否参与判断”，沉降、位移、温度、渗压及应力等监测项目一旦接入统一平台，现场管理便不再依赖滞后的纸面汇总，而能依据变化趋势进行预警。大体积混凝土温控是这一体系中较常见的场景，结构表层与内部温差通常需保持在合理范围内，否则温度裂缝风险会明显增大。温度监测与渗流监测之外，数字化质量体系还体现在测量成果、试验数据、影像资料和整改记录的统一归集，多源数据进入同一平台后，问题追溯路径更加清晰。例如：防渗墙某区段渗压值异常，管理人员可直接调取该段施工时段、班组记录、材料批次和检测报告，判断问题源自工艺执行、材料离散还是局部地层变化，此类方式减少了重复核查，提高了质量判断的针对性。对于渗流控制部位，工程实践中常以渗透系数 k 作为重要评价指标，依据达西定律，其基本表达式为：

$$Q = kAi \quad (1)$$

式 (1) 中， Q 为渗流量， A 为过水断面面积， i 为水力坡降，施工完成后，若监测所得渗流量与设计控制目标偏离较大，通常需要回溯防渗结构完整性及灌浆效果，而不是单纯以局部补漏代替系统分析。

2.4 质量责任与协同管理机制优化

质量责任体系的价值，在于让每一项施工行为都能找到对应主体、对应记录和对应复核节点，水利工

程参建单位多,单靠笼统分工难以覆盖复杂工序,因而现场更倾向于建立“岗位—工序—数据—结果”相互对应的责任链;施工单位承担自检、互检和复检职责,监理单位负责关键节点核查,设计单位参与技术交底、设计变更和复杂问题处理,检测单位则以独立数据支撑质量判断,责任边界一旦明确,问题定位和整改闭合会更高效^[4]。协同机制优化并不只是增加会议频次,而是强化信息一致性,施工记录、监测数据、试验成果与设计要求若无法互相印证,责任划分再明确也难以形成有效控制,目前较实用的做法是借助线上审批和资料同步机制,将报验、签认、整改与复核纳入同一链条,使质量信息在参建各方之间保持同步更新,这样形成的技术保障体系,兼具执行深度与追溯能力,更符合水利工程施工质量管理的实际需求。

3 工程实例分析

3.1 工程概况

选取某地区水库除险加固工程作为分析对象,工程兼具灌溉与防洪功能,坝体为黏土心墙土坝,运行时间较长后防渗体系局部失效,坝基渗流路径呈非均匀分布,局部渗漏逐渐加剧。加固范围涵盖坝基帷幕灌浆、防渗结构补强及坝体整形处理,基础处理成为控制重点,现场地层以粉质黏土夹砂层为主,透水夹层分布不连续,渗流条件复杂,处理目标在于形成连续防渗带并降低整体渗透能力,施工阶段受水位波动与作业面受限影响,基础与上部结构需交叉推进,对施工组织与过程控制提出更高要求。

3.2 质量管理与技术保障体系应用实践

坝基处理采用帷幕灌浆技术,施工过程中结合钻孔揭露资料对地层结构进行修正,并对孔距进行局部调整,使防渗帷幕连续性得到增强,注浆以压力—流量变化作为控制依据,浆液扩散状态依托实时记录进行判定,当吸浆量出现异常波动时,对应区段实施补孔加密,使填充范围趋于稳定。加固完成后开展渗透性能检测,结果表明坝基渗透系数控制在 5×10^{-6} cm/s以内,相较原状条件明显收敛,渗流通道得到有效切断,该结果反映出,帷幕灌浆效果与参数控制精度及现场调整能力密切相关,单一工艺难以保证稳定效果。施工管理依托过程控制展开,灌浆记录、检测数据与施工日志形成统一资料链,质量判断不再依赖单点检测,而是结合注浆曲线与施工状态进行综合分析,局部异常能够在施工阶段完成修正,使质量问题不再向后续结构累积。

3.3 应用效果与经验启示

工程实施后,坝基渗透性能趋于稳定,防渗体系连续性得到增强,运行初期未出现异常渗流,为直观反映加固前后变化情况,对关键指标进行对比分析,如表2所示。

表2 工程加固前后关键指标对比

指标	加固前	加固后	变化特征
渗透系数	$\geq 10^{-4}$ cm/s	$\leq 5 \times 10^{-6}$ cm/s	明显收敛
渗流状态	局部集中	均匀分布	渗流路径改善
结构稳定性	存在沉降差异	基本稳定	稳定性增强

对比结果显示,坝基渗透系数由高渗状态收敛至设计控制范围内,渗流路径由局部集中转为均匀分布,结构稳定性同步改善,施工阶段注浆参数变化能够反映地层响应特征,使不同区段形成差异化处理条件,避免统一控制尺度下的效果波动,该运行方式在复杂地基条件下具备良好适应性,有助于维持加固效果的均匀性^[5]。施工记录与监测数据持续参与现场判断时,质量状态更易保持稳定,该经验适用于渗流条件复杂及地层差异明显的除险加固工程。

4 结束语

在水利工程中,施工质量的稳定并非单项技术即可支撑,其形成过程更依赖参数约束、工序衔接与过程数据之间的协同作用,基础处理、防渗构造与结构施工在连续推进中逐步建立受控状态,偏差在动态校核中得到收敛,结构性能由离散波动转向整体稳定。工程实践表明,监测数据与施工记录一旦进入决策环节,现场调整具备针对性,质量风险不再后移累积,进而推动建造方式向精细控制与持续修正转变。

参考文献:

- [1] 郑侃,李波.水利工程施工阶段的监理质量控制措施[J].大众标准化,2025(24):16-18.
- [2] 吴育松.水利水电工程金属结构安装施工质量控制对策探析[J].现代工程科技,2025,04(24):189-192.
- [3] 蔡清发.水利水电设备工程施工质量控制要点分析[J].中国设备工程,2025(23):258-260.
- [4] 刘跟路.水利工程施工中质量控制与安全管理研究[J].水上安全,2025(21):176-178.
- [5] 乌云格日勒.水利工程施工中的质量控制与安全管理研究[J].内蒙古水利,2025(10):112-113.