

现代水利水电施工中的技术挑战与应对

刘闯杰¹ 戚媛蕾¹ 刘志远²

1 宿迁金龙水利建设工程有限公司

2 泗洪县水利工程有限公司

DOI:10.32629/btr.v8i10.5038

[摘要] 水利水电工程是我国防洪减灾、水资源统筹优化调配的核心基础设施,对社会经济发展作用重大。现阶段,水利水电工程建设有规模化、场址偏远、地质复杂、生态管控标准严苛等新特点,传统施工技术与管理模式无法适配,施工面临诸多技术难题。本文聚焦现代水利水电施工核心技术痛点,梳理复杂地质施工、大体积混凝土温控防裂、高边坡与深基坑稳定控制、生态环保施工、施工安全与质量管控五大技术挑战。结合实际施工场景,针对性提出超前地质预报、精细化施工工艺优化、动态监测预警、全周期生态防护、全过程安全质量管控等应对策略。本次研究旨在突破技术瓶颈,提升工程施工安全性、结构稳定性与生态环保水平,为同类水利工程建设与运营提供技术依据和实践借鉴。

[关键词] 水利水电施工; 技术挑战; 应对措施

中图分类号: TV52 文献标识码: A

Technical Challenges and Countermeasures in Modern Water Conservancy and Hydropower Construction

Chuangjie Liu¹ Yuanlei Qi¹ Zhiyuan Liu²

1 Suqian Jinlong Water Conservancy Construction Engineering Co., Ltd.

2 Sihong County Water Conservancy Engineering Co., Ltd.

[Abstract] Water conservancy and hydropower projects are core infrastructure facilities for flood control, disaster mitigation, and the optimized allocation of water resources in China, playing a vital role in social and economic development. At present, the construction of water conservancy and hydropower projects is characterized by large-scale development, remote project locations, complex geological conditions, and stringent ecological protection requirements. Traditional construction technologies and management approaches are increasingly unable to meet these demands, resulting in numerous technical challenges during project implementation. This paper focuses on the key technical difficulties encountered in modern water conservancy and hydropower construction and summarizes five major challenges, including construction under complex geological conditions, temperature control and crack prevention in mass concrete, stability control of high slopes and deep foundation pits, environmentally friendly construction practices, and construction safety and quality management. Based on practical construction scenarios, corresponding countermeasures are proposed, including advanced geological forecasting, optimization of refined construction techniques, dynamic monitoring and early-warning systems, full-life-cycle ecological protection, and comprehensive safety and quality management throughout the project process. This study aims to overcome technical bottlenecks, improve construction safety, structural stability, and environmental performance, and provide technical references and practical experience for the construction and operation of similar water conservancy projects.

[Key words] Water Conservancy and Hydropower Construction; Technical Challenges; Countermeasures.

引言

水利水电工程在防洪减灾、水资源调配等方面作用不可替代。随着我国经济社会发展,对水利水电资源开发利用需求增长,

现代水利水电工程呈现规模大型化、地点偏远化、地质条件复杂化和生态要求严格化等特征。这些特征使施工面临技术挑战,传统施工技术和管理方法难以满足建设要求。因此,分析当前施

工主要技术问题, 制定应对措施, 对提高水利水电工程建设水平有重要现实意义。

1 复杂地质条件下的施工技术挑战与应对

1.1 主要技术挑战

复杂地质条件是现代水利水电施工常见难题。我国地域广、地质差异大, 许多水利水电工程选址在岩溶发育区、断层破碎带、高地应力区和软土地基等不良地质区域。在这些区域施工, 易遭遇涌水、突泥、塌方、岩爆和地基不均匀沉降等地质灾害, 影响施工进度、增加成本, 威胁人员安全。其中, 岩溶发育区溶洞等发育, 易大规模涌水和突泥; 断层破碎带岩石破碎、胶结差, 围岩不稳, 开挖后易塌方和滑坡; 高地应力区常见于深埋隧道和地下厂房施工, 易产生岩爆危害安全; 软土地基承载力低等, 易导致建筑物不均匀沉降, 影响结构稳定性和耐久性^[1]。

1.2 应对措施

针对复杂地质条件下的施工挑战, 首先要加强超前地质预报工作。综合运用地质雷达、TSP地震波探测等技术, 查明前方地质情况, 预判灾害风险, 为施工方案调整提供依据。超前地质预报应贯穿施工全程, 在复杂地段加密预报、提高精度。其次, 根据不同地质条件选合适的地基处理技术, 如岩溶地基用注浆加固, 断层破碎带用超前预注浆, 软土地基用换填法等, 且严格按设计和规范施工, 确保地基承载与稳定。第三, 优化隧道和地下工程施工工艺, 围岩稳定性好的地段用新奥法, 差的地段用盾构法或TBM法。施工中坚持“短进尺、弱爆破、强支护、早封闭、勤量测”原则, 控制参数, 及时支护, 防止围岩失稳。最后, 制定完善的地质灾害应急预案, 针对涌水等灾害提前制定方案, 储备物资, 定期演练, 提高应急能力。灾害发生时立即启动预案, 抢险救灾, 减少损失^[2]。

2 大体积混凝土施工的温控与裂缝控制

2.1 主要技术挑战

大体积混凝土是水利水电工程常用建筑材料, 用于大坝、水闸、桥墩和基础等部位。因其体积大、水泥用量多, 浇筑时会产生大量水化热, 使内部温度急剧升高。当内外温差过大, 产生的温度应力超过混凝土抗拉强度时会产生裂缝, 裂缝分表面、深层和贯穿三种类型。表面裂缝对结构承载力影响小, 但影响耐久性; 深层和贯穿裂缝严重影响结构整体性、承载力和耐久性, 甚至引发工程事故。所以, 大体积混凝土的温控与裂缝控制是水利水电施工核心技术问题之一。

2.2 应对措施

大体积混凝土温控与裂缝控制需从原材料选择、配合比设计、施工工艺和温度监测等多方面综合防治。首先, 优化原材料选择, 优先用矿渣或粉煤灰硅酸盐水泥, 减少水泥用量; 掺加矿物掺合料, 降低水化热、改善性能; 选级配好、质地硬的骨料, 严控含泥量; 用高效缓凝减水剂, 延长凝结时间、降低水化热峰值。其次, 科学设计配合比, 在满足强度等要求下, 降低水胶比和水泥用量; 优化骨料级配, 提高体积率; 根据季节和温度调整配合比。第三, 严格控制施工工艺, 采用分层浇筑振捣, 每层不超

50cm; 合理安排浇筑顺序和时间, 避开高温时段; 及时清除泌水浮浆; 浇筑后及时保温保湿养护, 重要部位可蓄水或喷雾养护, 养护不少于28天。最后, 加强温度监测与调控, 预埋温度传感器, 实时监测温度; 根据结果调整保温保湿措施, 控制内外温差; 大体积混凝土可预埋冷却水管通水冷却^[3]。

3 高边坡与深基坑的稳定性控制

3.1 主要技术挑战

高边坡与深基坑属于水利水电工程里较为常见的施工区域, 结构整体稳定状态, 直接关联项目施工安全与建设推进节奏。边坡开挖作业会改变原生地形地貌, 破坏地层原有构造, 极易诱发滑坡、坍塌以及泥石流等地质灾害。基坑开挖会改变周边土层原有应力分布, 容易引发坡面失稳、坑底隆起渗水等问题, 还可能造成场地周边建筑出现沉降变动。边坡稳定程度会受地层条件、开挖规模、坡面角度以及支护体系等多重条件影响。岩质边坡的受力状态, 大多受岩体裂隙、断层结构与软弱夹层分布制约, 土质边坡的稳定性, 则和土体自身力学特性、地下水活动以及降水环境密切相关。基坑稳定效果主要取决于开挖深度、围护结构类型, 同时也会受到地下水赋存情况与场地周边环境的综合作用^[4]。

3.2 应对措施

高边坡与深基坑的稳定性管控, 遵循事前防范为主、隐患处置为辅的管理思路, 结合实体工程处置与动态监测手段, 保障区域结构始终处于稳定状态。前期结合场地实际条件制定合理的支护设计方案。动工前完成全方位地质勘察, 摸清地层结构、地下水分布以及周边场地情况, 依据现场实际条件选取适配的支护形式。边坡区域可采用锚杆类支护结构加固岩体, 基坑部位可选用地下连续墙作为围护体系, 所有设计内容都经过精密测算与多方论证后确定。现场作业严格依照设计要求有序推进。边坡施工按照自上而下的顺序分层分段开展, 避免底部掏挖与大规模爆破作业, 每完成一段开挖便同步完成支护施工, 尽量保护原有地质形态不受过度扰动。基坑作业遵循分层开挖、先支护再掘进的作业准则, 合理把控开挖深度与施工进度, 支护结构紧随施工工序及时成型, 杜绝超出规划范围开挖的行为。场地内部搭建完善的排水疏导体系。在边坡顶部与外围布设截水设施, 坡面配套修建导流沟槽, 基坑底部设置集排水设施。地下水储量偏高的区域, 可以采用降水工艺下调地下水位, 削弱水体对土体结构带来的不利影响。全程做好动态监测与风险预警工作。在结构关键位置布设监测点位, 不间断观测形体变形、内部应力以及水位的实时变化。搭建数据汇总分析机制, 一旦监测数值达到预警范围, 立刻暂停现场施工并排查处置隐患, 从源头规避安全事故发生。

4 生态环境保护与工程施工的协调

4.1 主要技术挑战

国内生态文明建设水平稳步提升, 水利水电工程对应的生态环保管控标准也随之不断提高。项目建设过程会对周边自然生态体系形成不同程度影响, 容易引发水土损耗、水域环境变差

等问题, 水域生物栖息环境、区域原生植被都会受到扰动, 野生动物常规迁徙活动也会受到相应阻碍。现阶段施工建设需要兼顾工程推进节奏, 同时尽量缩减生态层面的负面影响, 推动工程建设与自然生态和谐共存, 这也是水利水电施工开展过程中需要应对的现实难题。水土损耗是工程建设里较为突出的生态问题。土方开挖、岩体破除等施工行为会改变原有地表形态, 破坏原生植被覆盖, 土体稳定结构也随之受损, 区域水土流失的情况会进一步加剧。施工产生的各类废水是水体污染的主要诱因, 污水未经净化处理直接排放, 会逐步破坏周边水域原本的水质条件。大坝修建会打破河道原本连贯的水系形态, 流域水文规律与局部生态环境产生变动, 鱼类自然洄游和繁衍生长都会受到明显影响。

4.2 应对措施

生态保护工作需要贯穿水利水电工程整体建设周期, 方案规划、现场施工以及后续运营管护各个阶段, 都应当充分兼顾生态防护相关要求。项目开展过程中首先扎实推进水土维护相关工作。规划设计阶段优化整体场地布局, 合理压缩土方开挖范围, 减少废弃渣土产出量。现场作业采取分区分批推进的模式, 同步落实配套防护举措, 裸露开挖坡面及时进行覆绿处理, 同步搭建排水导流设施与挡护构筑物。渣土堆放场地优先选取地势平缓、地质条件稳固的地段, 尽量避开耕地与林地范围。渣土分层规整堆放, 压实处理后及时开展植被复原作业。同步做好水域环境维护工作。施工产生的废水经过净化处置, 各项指标达标之后再行排放。砂石加工废水依托沉淀过滤工艺完成净化处理, 混凝土作业废水采用中和沉淀方式改善水质。生活污水经由配套处理设施净化后规范排出。日常强化施工器械与运输车辆的日常管护, 防范油污渗漏污染水体, 同时杜绝在水域周边随意堆放丢弃各类废弃物。重视水域生物的生存保护。对于存在鱼类洄游习性的河道, 配套修建专用通行设施, 保障生物迁徙通道保持通畅。施工及后续运营阶段维持合理的生态下泄水量, 维系流域基础生态功能。常态化开展水生生物增殖投放, 逐步补足区域鱼类种群资源。着重守护原生栖息场地, 降低工程活动对珍稀水生物种生存状态的干扰。兼顾陆上生态体系的保护修护。动工前期先完成区域生态现状摸排, 梳理当地植被分布情况以及珍稀动植物存续状态, 针对重点保护物种, 结合实际采取移栽安置或者原地看护等保护方式。现场作业尽量缩小植被破坏范围, 工程完工后有序开展区域植被复原。结合野生动物活动习性搭建通行廊道, 保障物种拥有正常迁徙与活动的空间。

5 施工安全与质量管理的技术挑战

5.1 主要技术挑战

水利水电工程施工条件繁杂, 现场作业点位分散, 多类工序同步穿插推进, 项目建设耗时跨度较大, 人员作业负担较重, 整体施工环节安全隐患突出。高处坠落、物体打击属于现场高发

事故类型, 事故发生后不仅会造成人员伤亡与经济损失, 还会扰乱施工排布节奏, 拖累工程建设进度与成型品质。这类工程本身设定的质量标准较为严苛, 实际施工阶段, 原材料品质不达标、现场作业流程不符合规范等问题, 容易造成混凝土强度达不到设计要求等质量缺陷。这类问题若没能及时妥善处置, 会持续留存风险, 对工程后续长期稳定运行造成负面影响。

5.2 应对措施

安全管理与质量管控是水利水电工程建设的核心支撑, 项目推进过程中需要搭建完备的管控体系, 对各施工环节实施精细化管控。项目会逐层梳理安全生产权责边界, 清晰划定各层级工作人员的履职内容, 确保各项管理要求落实到具体岗位与人员。定期组织安全相关学习与实操训练, 稳步提升作业人员的风险认知与实操能力。依托日常巡查排查现场潜在问题, 及时消除各类不安全因素, 同时编制完备的应急处置方案, 按期开展实景演练, 强化团队突发状况应对能力。现场作业严格恪守安全技术相关准则, 高空作业区域配套布设防护设施。起重作业全程遵循操作规范, 杜绝超载运行与违规操作。爆破施工依照既定设计方案实施作业, 同步设置警戒区域规避风险。临时用电统一采用三级配电两级保护模式, 严禁私自拉扯改装线路。工程同步构建完整的质量管控体系, 采用全流程管控模式, 将管理范围延伸至物料采购、现场施工直至竣工验收全部阶段。常态化开展质量检测核验工作, 严格遵照行业标准完成各项验收流程, 对工程核心结构与关键施工工序安排专人全程旁站监管。施工期间持续做好现场质量把控, 所有进场原材料均经过资质核验, 品质达标后方可投入使用。现场施工严格贴合设计文件与行业规范, 不随意改动施工方案。同步把控工艺执行水准, 一旦发现质量偏差即刻开展整改, 避免问题积压遗留。

6 结语

综上所述, 现代水利水电工程建设场景复杂, 施工受地质、工艺等多因素制约, 面临复合型技术难题, 复杂地质灾害、混凝土裂缝等是普遍核心问题, 影响工程进度、成本等。针对这些挑战, 本文结合工程全流程制定应对方案, 强化超前探测、优化工艺、搭建监测预警体系、落实生态保护措施、构建管控机制, 可破解技术瓶颈, 规避隐患。

[参考文献]

- [1]李景军.现代水利水电施工技术探讨[J].科技资讯,2024,22(4):110-112.
- [2]朱波,郭天炜.现代水利水电施工技术探讨[J].工程施工新技术,2024,3(10):11.
- [3]黄佳慧.现代水利水电施工技术探讨[J].建筑与施工,2024,3(20):52-53.
- [4]黄雪妮.现代化水利水电施工技术应用研究[J].黑龙江水利科技,2025,53(11):173-175.