

水利水电工程安全施工技术及管理思路探究

文 / 胡 晓 临沂市水利工程保障中心

摘要：水利水电工程施工具有环境复杂、风险点多等特点，因此做好安全管理工作尤为重要。本文以某水库除险加固工程为探究对象，结合工程坝体防渗、溢洪道修复、水下作业等关键施工工序，分析高压旋喷灌浆分段施工、静态爆破与机械破碎、双人潜水监护等安全技术要点。并从构建安全管理体系、教育培训交底、现场监督检查、完善应急机制四个维度，阐述水利水电工程安全管理实践思路。结果表明，通过技术、管理协同发力，实现了项目施工“零安全事故、零人员伤亡”的安全管控目标，项目按期顺利完工。

关键词：水利水电工程；安全施工；高压旋喷灌浆；现场监督检查

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.22.070

引言

水利水电工程作为国家基础设施的重要组成部分，关乎社会经济发展和民生。近些年，随着水利水电工程建设规模持续扩大、施工难度不断提升，坝体坍塌、高空坠落、水下作业事故等安全问题频发，这也突出了安全施工技术创新、安全管理优化的迫切性^[1]。某水库除险加固工程面临工期紧张、作业面分散、施工风险高等多重挑战，对此需要进一步加深对安全施工技术和安全管理的研究，加强细节把控，将施工风险降到最低，确保项目顺利完工。

一、工程概况

某水库位于沿江流域，地处亚热带季风气候，年均降水量为1200-1500mm，汛期集中在每年的5-9月份，为均质土坝结构，总库容量达1200万m³，为当地重要的中型水利枢纽，承担下游3个乡镇、12万亩农田灌溉任务，并保障沿岸5万余群众防洪安全，兼具小型水利发电功能，发电量达80万kWh/年，对保障当地农业生产、民生有着重要意义。水库始建于1975年，运行年限近50年，工程设施老化问题突出，坝体存在多处渗漏点，最大渗流为0.3L/s，坝顶沉降量超出设计允许值，存在坝体失稳风险；溢洪道混凝土结构老化开裂，闸室底板局部存在贯通裂缝，泄洪能力降低，难以应对极端洪水；闸门与启闭设备锈蚀严重，3扇主闸门密封失效，启闭机频繁故障，难以满足应急调度需求。

对此，当地管理部门在2022年启动水库除险加固工程，总投资量3800万元，项目包含坝体防渗处理、溢洪道拆除重建、放水涵管水下修复、防汛公路硬化以及设施完善等。考虑到气候条件、用水需求，项目合同要求在2023年5月（雨季）前完成坝体防渗、溢洪道主体作业等核心工序，施工区域分散在坝体、溢洪道、库区等位置，涉及高空作业、爆破作业、水下作业等高危环节，并且要协调农业灌溉用水和施工进度，安全风险、工期压力叠加，极大提高了施工组织难度。

二、工程安全施工技术应用

（一）坝体防渗施工安全技术

如图1所示，作为本项目工程的核心施工任务，坝

体防渗采用高压喷射灌浆技术搭建防渗墙，施工长度为300m，需穿透坝体填土至基岩面，平均灌浆深度为15m。为了降低施工对坝体稳定性的负面影响，技术团队开展地质补勘，通过钻孔取样方法确定坝体填土压实度、含水率、基岩埋深，制定了“分段、分层、控压”的施工方案。施工前对灌浆设备展开全面检修，更换老化管线、密封件，以防作业时浆液泄漏；坝体设置3道位移观测断面，每个断面布设5个观测点，使用全站仪实时监测坝体竖平、垂直位移量，设定预警值为5mm/d，超出限值自动发出警报，立即停工查找原因并整改^[2]。

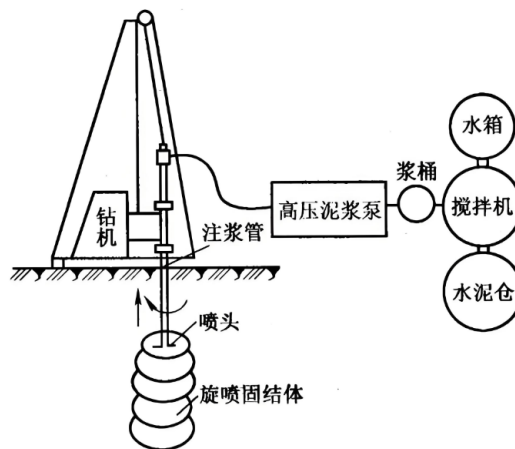


图1 高压喷射灌浆工艺示意图

灌浆作业充分贯彻“先稀后浓、少注多复”原则，初始浆液水灰比为1.5:1，根据返浆情况逐渐调节至0.8:1，注浆压力按0.5-1.2MPa分级提升，每级压力稳定30min后再升压，以免压力骤升导致坝体局部膨胀。对于8-10m高的钻机平台作业，采用Φ48mm钢管搭设满堂脚手架，立杆间距、横板步距分别不超过0.8m、1.2m，平台铺满防滑脚手架，设置1.2m高防护栏杆，底部加装20cm高挡脚板。作业人员均佩戴双钩安全带，挂在不同牢固节点上，不得点单挂扣。灌浆区下方设置10m宽安全警戒线，悬挂“高压作业、禁止通行”警示牌，由专人负责全程值守，以防无关人员进入施工风险区。

（二）溢洪道修复施工安全技术

溢洪道修复工程包含拆除旧混凝土、新结构浇筑2

大环节,旧混凝土拆除量约为2000m³,包含闸室底板、侧墙、消力池,结构最厚处达1.2m。由于溢洪道与坝体距离较近,为避免拆除期间引发坝体振动,本项目采用静态爆破与机械破碎综合方案。静态爆破前进行钻孔作业,孔距为20cm、孔径42mm、孔深80cm,填入膨胀剂并覆盖保温棉,缓慢释放膨胀压力,在爆破区四周搭建2m高彩钢板围挡,内设防飞石尼龙网。机械破碎采用小型液压破碎锤(锤重1.2t),由专人操作设备沿着裂缝方向逐步破碎,不得垂直冲击混凝土结构,破碎期间每隔1h进行一次溢洪道边坡位移监测,要求边坡稳定系数 ≥ 1.25 ^[3]。

浇筑新结构前,需保障模板、支撑体系安全。模板用竹胶板(18mm厚),背楞选择100×100mm方木,设置间距30cm;如图2所示,支撑体系采用碗扣式脚手架,立杆底部垫20×20cm钢板,钢板下铺设5cm厚碎石垫层,立杆间距、横板步距分别为0.9m、1.5m,且每道立杆设置双向扫地杆与水平剪刀撑,脚手架搭设完毕后由第三方检测机构验收,承载力达标后方可投入使用。浇筑混凝土期间,采用溜槽分层浇筑法,每层厚度 ≤ 30 cm,振捣人员需持有特种作业证,振捣棒插入深度严控在50-60cm,振捣点设置间距 ≤ 40 cm,避免出现过振、漏振情况。浇筑平台设置临边防护,搭配2台应急水泵,以防暴雨天基坑积水,确保浇筑施工的连续性。

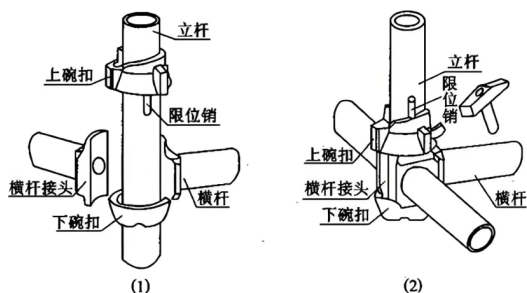


图2 碗扣式脚手架安装示意图

(三) 水下作业安全技术

(1) 严选作业人工,要求潜水员必须持有《潜水员资格证书》且从事相关工作年限达5年以上,上岗前展开专项体检,包括心电图、肺功能等,排除人员的高血压、潜水病等禁忌症。

(2) 优化作业流程,采用“双人双机”作业模式,主潜水员携带液压工具修复涵管,辅潜水员携带应急供氧装置负责全程监护,二人空间距离不超过3m,水面配备1艘应急救援船,船上搭载减压舱、心肺复苏仪、潜水打捞设备。

(3) 强化作业环境管控,作业前用声纳设备探测水下石块、树根等杂物,共设置3道安全警示浮标划定作业区间,实时监控水流速,确保在0.5m/s以内水流速下作业,实时监测水温,要求不低于15℃,实时监控水透明度,要求能见度不低于1.5m,如若环境参数超标立即终止水下作业。

在水下作业期间,潜水员需严格按照“预减压-水下作业-分段减压”施工标准展开作业,水下作业时间不超过60min/次,返回水面后需在减压舱内进行30min减压处理;建立水下通讯系统,使用有线对讲机与水面指挥台保持时刻联系,每隔10min汇报1次作业状态和身体感受,保证在发生潜水服破损、供氧不足等突发情况及时得到响应,在技术层面上保障水下作业安全性^[4]。

三、工程安全施工管理思路

(一) 建立完善的安全管理体系

成立安全管理小组,项目经理担任组长,配置3名专职安全员、8名兼职安全员,确定岗位安全职责,打造“项目经理统筹、专职安全员监督、兼职安全员落实”的三级安全管理架构。制定专项安全管理制度,结合本项目特点,共计编制《高空作业安全管理制度》《水下作业安全操作规程》《爆破作业安全管理办法》等十余项专项制度,制度中明确提出各道施工环节的安全要求、操作流程,确保安全管理工作实施有章可循^[5]。

(二) 强化安全教育培训与技术交底

项目正式开展前,对所有施工现场作业人员展开3d的专项安全培训工作,主要内容包含安全作业相关法律法规、工程安全风险点、各类安全防护用具的使用方法,考核合格后再上岗。施工阶段每月要组织1次安全再培训工作,针对近期施工出现的安全隐患以及重点工序展开针对性讲解,使其掌握安全作业要点与重点。每个分项工程作业前,由技术人员负责向各个施工班组展开安全技术交底工作,明确分项工程的安全风险点、防控措施、应急处理办法等,所有交底内容均要形成书面记录,交底人员、被交底人员签字确认,保证交底到位、责任明确^[6]。

(三) 加强施工现场安全监督检查

专职安全人员每日对施工现场展开全范围的安全巡查,特别是重点检查高空作业、爆破作业、水下作业等高风险工序安全措施落实具体状况,一旦发现安全隐患问题立即下达《安全隐患整改通知书》,书中明确整改负责人、整改时间、整改具体措施,完成整改后二次复查,直至合格方可继续施工。安全管理小组每周组织1次专项检查,针对不同施工阶段的主要风险,包括汛期前检查坝体防渗施工质量、冬季检查混凝土防冻措施等,邀请建设单位、监理单位共同参加并开展检查,保证最终检查结果的客观公正性。另外,建立安全隐患台账,针对日常巡查和专项检查中的风险隐患分类记录,分为一般隐患、较大隐患、重大隐患,实行“销号管理”。特别是对于重大隐患,一旦发现立即停工,组织专家共同制定整改方案,完成整改后由第三方机构评估合格再复工。

(四) 完善应急管理机制

根据工程特点预测可能发生的突发事件,编制《坝体坍塌应急预案》《水下作业人员溺水应急预案》《爆破飞石伤人应急预案》多项应急预案,明确应急组织机构、

应急响应流程、应急救援措施、救援物资调配方案。每隔3个月组织开展1次应急演练，以水下作业人员溺水应急演练为例，通过模拟潜水员在作业期间突发溺水情况，在演练中按照应急预案分别进行水面救援、心肺复苏、医疗转运等操作，通过实际演练提升施工人员的应急处理能力、协同配合能力。保障应急物资数量，在施工现场设置应急物资仓库，主要储备救生衣、救生圈、担架、灭火器、急救药物、沙袋等应急物资，派专人保管物资，并定期进行检查和维护，保证物资的完好性、有效性、充足性^[7]。

四、工程安全施工成效与启示

(一) 施工成效

在水库出现加固项目中，通过科学应用安全技术、严格落实安全管控措施，最终实现了“零安全事故、零人员伤亡”的目标，项目顺利完工并通过验收，项目施工质量、安全管控得到甲方和监理单位的高度认可。并且项目作业期间并未对周边环境、水库水质造成负面影响，同时保障了施工安全、环境安全。该水库除险加固工程安全管理关键指标如表1所示。

表1 水库除险加固工程安全管理关键指标

安全管理指标	目标值	实际完成值	达成情况
安全事故发生率	0起	0起	100%达成
安全隐患整改率	≥98%	100%	100%达成
施工人员安全培训覆盖率	100%	100%	100%达成
应急演练开展次数	≥4次(每季度1次)	6次(含2次专项加练)	超额完成
高危作业(高空/水下/爆破)	合规率 ≥99%	100%	100%达成
安全防护用品配备合格率	100%	100%	100%达成

(二) 项目启示

(1) 安全技术是基础。水利水电工程施工风险高、环境复杂，必须结合项目特点制定针对性安全管控方案，以技术手段降低项目风险，如本项目的高压喷射灌浆分段施工、水下双人监护作业等，为保障施工安全提供技术保障。

(2) 管理制度是关键。完善的安全管理体系、严格的监管机制是确保施工安全性的关键一环，将安全责任落实到每个环节、每个岗位、每位人员，能更及时发现安全隐患，规避风险发生。

(3) 人员意识是核心。施工人员安全意识直接影响到安全作业效果，持续开展安全教育培训、定期开展应急演练，可有效提升施工人员安全意识、应急处理能力，根本上降低风险事故发生率。

结语

综上所述，水利水电工程施工风险高，为了提高项目施工的安全性，需要做到技术与管理的有机统一，让二者相辅相成、共同作用。本文提出的水库除险加固工程实践表明，结合项目工程环境、特点，识别具体风险点，以此创新应用安全施工技术，同时构建“责任明确、培训到位、监督严格、应急高效”的管理体系，二者共同作用下最终实现工程安全管控的“零事故”目标。近些年，我国新建水利水电工程不断朝向大型化、复杂化方向发展，安全施工面临更多的新挑战。基于此，需要未来进一步推动安全技术的智能化升级，通过引

入无人机巡查、智能监测设备实时预警风险；持续优化管理模式，强化参建各方协同联动，形成全员参与、全程管控的安全管理格局。这样才能持续提升水利水电工程安全施工水平，为推动我国水利水电事业可持续发展筑牢安全屏障。

参考文献

[1] 廖建强, 但凯, 罗文品, 等. 水利工程施工安全生产末端管控实践与提升[J]. 四川水利, 2025, (04): 146-148+190.

[2] 桑亚雄. 城市水利水电工程施工安全管理体系构建[J]. 科技与创新, 2025, (15): 185-188.

[3] 肖泽钧, 胡鸿, 刘雪阳, 等. 水利工程施工作业人因失误分析及控制技术研究[J]. 劳动保护, 2025, (08): 91-95.

[4] 许广松. 水利水电工程施工安全技术及管理分析[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2025, (21): 213-215.

[5] 杓积荣. 水利水电工程施工过程中的安全管理技术[J]. 大众标准化, 2025, (13): 51-53.

[6] 邓永泰, 黄伟. 浅析水利水电工程施工安全技术及管理[J]. 长江技术经济, 2024, 8(06): 126-130.

[7] 杨曼. BIM技术在水利水电工程施工安全管理中的实践应用研究[J]. 水上安全, 2024, (16): 71-73.

作者简介: 胡晓(1982.5-), 女, 汉, 山东省临沂市, 工程师, 本科, 研究方向: 水利工程。