

水利水电施工中洞室开挖施工安全技术研究

谭志辉 郑传奇 宗桐冰

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：本文围绕水利水电洞室开挖施工安全展开研究，先分析围岩失稳、爆破作业、机械操作、有害环境四类典型安全风险，再构建涵盖前期勘察、爆破控制、围岩支护、机械管控的安全技术体系，最后阐述围岩变形监测、洞内环境监测、人员管理、交叉作业协调等监测管理技术，为洞室开挖施工安全提供技术支撑，保障工程施工进度与人员设备安全。

关键词：水利水电工程；洞室开挖；施工安全技术

引言

水利水电工程中洞室开挖施工环境复杂、风险较高，围岩失稳、爆破事故等问题易造成人员伤亡与设备损坏，严重制约工程推进。当前部分工程在安全技术应用与管理上存在不足，亟需系统研究洞室开挖安全技术。本文从风险分析、技术体系构建、监测管理三方面入手，探索实用安全技术，为同类工程提供参考。

1 水利水电洞室开挖施工典型安全风险分析

1.1 围岩失稳风险

水利水电洞室常为中大断面开挖，地质条件复杂，除本身围岩类型差外，还存在裂隙、溶洞、富地下水等情况。洞室开挖后，打破了原有的岩体应力平衡，顶拱、侧墙成型困难，拱效应难以形成，易出现岩体失稳坍塌等现象。随及时完成支护，在开挖爆破时引起的震动，失稳风险显著升高，导致人员伤害、设备损坏，严重影响施工进度及安全。

1.2 爆破作业安全风险

洞室开挖多依赖爆破工艺，虽进行爆破试验、专业爆破设计，严格控制装药量、孔距、起爆顺序，爆破时易引发两类安全问题：一是爆破飞石击穿洞室临时防护或伤及作业人员；二是爆破振动，破坏周边已开挖洞段的支护结构，或诱发新的围岩裂隙，为后续施工埋下隐患。

1.3 机械操作安全风险

洞室内空间受限（大断面除外），挖掘机、装载机、出渣车等大型设备需在有限区域内交叉施工，若设备行驶路线规划不合理、洞室开挖过程中环境复杂（如洞室照明不足、粉尘浓度高），易发生设备碰撞、设备与洞壁刮蹭事故；此外，设备自身故障（如制动失灵、液压系统泄漏）也可能导致安全事故，尤其在陡坡段或转弯处风险更高。

1.4 有害环境安全风险

地下洞室通风条件差，开挖过程中产生的粉尘（如岩粉）、有害气体（如爆破产生的一氧化碳、甲烷）易积聚，若通风系统布设不当或风量不足，会导致作业人员吸入性损伤，引发呼吸道疾病；同时，洞室内湿度高、光线昏暗，长期作业易导致人员滑倒、磕碰，或因视线不清误操作设备^[1]。

2 水利水电洞室开挖施工安全技术体系构建

2.1 前期勘察与开挖方案适配技术

前期勘察需全面掌握洞室所在区域的地质情况，不仅要探明围岩的整体结构类型，还要细致排查是否存在隐蔽的裂隙、溶洞以及地下水的分布状态。勘察过程中，可采用地质雷达、钻孔摄像等技术手段，直观呈现岩体内部的具体情况，为后续开挖方案制定提供精准依据。在开挖方案设计时，需根据勘察所得的地质数据进行适配调整。对于围岩稳定性较好的区域，可适当采用较大断面的开挖方式，提高施工效率；而针对地质条件复杂、围岩较破碎的地段，则应选择分步开挖的模式，如先开挖导洞，待导洞支护稳定后，再逐步扩大开挖断面。同时，方案中要明确开挖顺序，避免因开挖顺序不当打破岩体原有应力平衡，引发安全风险。此外，还需结合洞室的功能需求，合理规划施工通道与作业空间，确保施工过程中设备运转与人员操作互不干扰，为安全施工奠定基础。

2.2 爆破作业安全控制技术

爆破作业前，需依据洞室的开挖断面尺寸、围岩特性及周边施工环境确定合适爆破参数，炸药优先选用安全性高、爆速稳定的类型，减少意外情况发生。装药过程严格按设计要求操作，精准控制每个炮孔装药量，避免过多或过少，装药完成后妥善封堵炮孔，防止爆破时炸药能量泄漏影响效果或引发安全事故。爆破防护措施落实至关重要，洞室爆破区域周边需用竹排、钢丝网等

材料叠加铺设多层防护结构,有效阻挡爆破飞石;洞室内部已完成支护的部位,爆破前要临时加固,如增加锚杆数量、铺设防护板,降低爆破振动对支护结构的影响。爆破作业时明确划定警戒范围,严禁无关人员进入,安排专人负责信号传递,确保爆破指令传达准确无误,避免信号混乱导致人员伤亡;爆破完成后需等待一段时间,待洞内有害气体充分扩散、烟尘沉降,作业人员进入洞内检查爆破效果,确认无安全隐患后,再开展后续施工工作。

2.3 围岩支护安全技术

围岩支护需遵循“及时支护、动态调整”的原则,洞室开挖完成后要尽快对暴露围岩开展支护作业,避免围岩因长时间暴露在空气中,受风化、渗水等因素影响导致稳定性下降。支护方式选择需结合围岩实际情况:稳定性较好的围岩可采用喷射混凝土支护,通过高压喷射将混凝土均匀覆盖在围岩表面形成保护层,增强围岩整体稳定性;围岩较破碎、裂隙发育的区域,则采用锚杆与喷射混凝土联合支护,锚杆深入岩体内部串联破碎岩块,与喷射混凝土共同构成支护体系,提升围岩承载能力。支护施工中需严格把控质量,喷射混凝土时控制好配合比与喷射压力,确保强度和密实度达标,完成后检查表面,发现空鼓、裂缝等问题及时处理;锚杆安装需保证钻孔深度、孔径符合设计,插入后用专用注浆材料锚固,确保与岩体紧密结合。同时,根据洞室开挖过程中围岩实际变形情况动态调整支护方案,若变形超出预期,及时加密锚杆、增厚喷射混凝土层,防止围岩失稳坍塌。

2.4 施工机械安全管控技术

施工机械进场前,需对设备的性能状态进行全面检查,重点检查设备的制动系统、液压系统、照明系统等关键部件,确保设备无故障隐患。对于存在故障的设备,需及时进行维修保养,待设备性能恢复正常后,方可投入施工使用。同时,要根据洞室的空间尺寸与施工需求,合理选择适配的施工机械,避免因设备尺寸过大无法在洞内灵活运转,或设备功率不足影响施工进度。在设备操作管理方面,需对操作人员进行专业培训,确保操作人员熟悉设备的操作流程、性能参数以及安全注意事项,考核合格后方可上岗操作。施工过程中,要为洞内施工机械规划固定的行驶路线,并在路线两侧设置明显的标识,引导设备有序行驶,防止设备因行驶路线混乱发生碰撞事故。对于洞室内部照明不足的区域,需增设临时照明设备,保证设备操作与行驶过程中有良好的视线条件;针对洞内粉尘浓度较高的问题,要配备专用的降尘

设备,如喷雾降尘装置,降低粉尘浓度,减少粉尘对操作人员健康与设备运转的影响。此外,要定期对施工机械进行维护保养,建立设备维护档案,记录设备的维护时间、维护内容以及故障处理情况,确保设备始终处于良好的运行状态^[2]。

3 水利水电洞室开挖施工安全监测与管理技术

3.1 围岩变形实时监测技术

(1) 围岩变形监测需在洞室开挖前就布设好监测点,监测点的布设要覆盖洞室的顶拱、侧墙等关键部位,确保能够全面反映围岩的变形情况。监测点的设置应根据洞室的断面尺寸与地质条件合理确定,对于地质条件复杂、围岩稳定性较差的区域,需适当加密监测点,提高监测精度。(2) 监测过程中,可采用全站仪、测斜仪等监测设备,对围岩的位移、沉降等变形数据进行实时采集。全站仪可用于监测洞室周边岩体的水平位移与垂直位移,通过定期测量监测点的坐标变化,计算出围岩的变形量与变形速率;测斜仪则可深入岩体内部,监测岩体的深层变形情况,及时发现岩体内部潜在的失稳风险。监测数据需及时传输至数据处理中心,由专业人员对数据进行分析处理,绘制围岩变形曲线,判断围岩变形是否处于正常范围内。若发现围岩变形速率加快、变形量超出预警值,需立即发出预警信号,通知现场施工人员暂停施工,采取应急支护措施,防止围岩进一步变形引发坍塌事故。同时,要对监测数据进行长期保存,为后续类似工程的施工提供参考依据。

3.2 洞内环境安全监测技术

(1) 洞内环境监测主要包括粉尘浓度、有害气体含量、湿度以及照明亮度等方面的监测。在粉尘浓度监测方面,需在洞内作业人员集中区域、施工机械作业区域等关键位置布设粉尘监测仪,实时监测空气中粉尘的浓度变化,当粉尘浓度超过规定限值时,监测设备应自动发出报警信号,提醒现场人员启动降尘设备,如开启喷雾降尘系统、增加通风量等,降低粉尘浓度,保障作业人员的呼吸道健康。(2) 有害气体监测需重点关注爆破后产生的一氧化碳、甲烷等气体,在洞内不同位置设置气体监测传感器,传感器与数据监测终端相连,实时传输气体浓度数据。若监测到有害气体浓度超标,要及时启动通风系统,加大洞内空气流通速度,将有害气体排出洞外,同时组织作业人员撤离至安全区域,待有害气体浓度降至安全标准以下后,方可允许人员重新进入洞内作业。(3) 洞内湿度监测可采用湿度传感器,实时掌握洞内空气湿度情况,当湿度较高时,要采取除湿措施,如在洞内放置除湿设备,或加强通风,降低空气湿

度,防止因湿度过大导致路面湿滑,引发人员滑倒事故。照明亮度监测则需定期对洞内照明设备的亮度进行检查,确保作业区域的照明亮度符合施工要求,对于亮度不足的区域,要及时更换照明灯泡或增加照明设备,避免因视线不清导致人员误操作设备或发生磕碰事故^[3]。

3.3 人员作业安全管理技术

(1) 人员作业安全管理首先要做好人员的安全教育培训工作,培训内容需结合洞室开挖施工的特点,涵盖施工安全操作规程、安全风险识别方法、应急避险技能等方面。培训方式可采用理论授课与现场实操相结合的形式,让作业人员不仅掌握理论知识,还能在实际操作中熟练运用安全技能。同时,要建立培训考核机制,考核不合格的人员不得上岗作业,确保每一位作业人员都具备相应的安全操作能力。(2) 在人员作业过程管理方面,需为作业人员配备齐全的个人防护用品,如安全帽、安全带、防尘口罩、防滑鞋等,并要求作业人员在施工过程中正确佩戴使用,定期对个人防护用品的质量进行检查,对于损坏、过期的防护用品及时更换。同时,要合理安排作业人员的工作时间,避免因长时间作业导致人员疲劳,增加安全事故发生的风险。根据施工进度与作业强度,科学制定排班计划,保证作业人员有充足的休息时间,保持良好的工作状态。(3) 建立人员作业台账,记录作业人员的进出洞时间、作业区域等信息,实时掌握洞内作业人员的数量与位置。当洞内发生紧急情况时,可根据台账快速确定被困人员的位置,及时开展救援工作,提高救援效率,减少人员伤亡损失。

3.4 交叉作业安全协调技术

(1) 交叉作业前,需对参与交叉作业的各施工班组进行详细的安全技术交底,明确各班组的作业内容、作业时间、作业区域以及安全注意事项,避免因作业内容不明确、责任划分不清导致安全事故。同时,要绘制交

叉作业平面布置图,标注各作业区域的位置、设备摆放情况以及人员行走路线,让各班组人员清晰了解作业现场的整体情况。(2) 在交叉作业过程中,需设立专门的安全协调人员,负责统筹协调各班组的施工进度与作业安排,及时解决交叉作业中出现的问题。当不同班组在同一区域作业时,要合理安排作业顺序,避免上下层同时作业或同一空间内多台设备同时运转,若无法避免,需设置有效的防护隔离设施,如在上下层作业区域之间铺设防护网,防止上层作业人员或物体坠落伤及下层作业人员。(3) 对于涉及爆破、支护、出渣等关键工序的交叉作业,要制定专项安全协调方案,明确各工序的衔接时间与衔接方式,确保工序之间无缝衔接,减少因工序衔接不当导致的安全风险。同时,要加强对交叉作业现场的安全巡查,重点检查防护设施的设置情况、作业人员的操作规范程度以及设备的运转状态,若发现安全隐患,要立即要求相关班组停工整改,待隐患消除后方可继续作业。

结语

综上,水利水电洞室开挖施工安全需综合把控风险、技术与管理。通过精准识别风险、构建适配技术体系、落实监测管理措施,可有效降低安全事故发生率。后续工程中,需结合实际地质与施工条件灵活应用相关技术,持续优化安全管控方案,推动水利水电洞室开挖施工安全水平进一步提升。

参考文献

- [1]姜长录.浅析某水库洞室开挖施工技术[J].人民黄河,2023,45(S1):148-149.
- [2]周东平,王存成,罗文君.超长特大导流洞洞室爆破开挖施工方法[J].四川水力发电,2022,41(03):41-45.
- [3]蔡鹏,陈庶娟.非电毫秒延期雷管在特小洞室开挖施工中的应用[J].云南水力发电,2021,37(10):41-44.