

# Quality control and durability evaluation of concrete construction in secondary lining of diversion tunnel

Dongfang Li

Sinohydro Bureau 7 Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 611130, China

## Abstract

The construction quality of secondary lining concrete in water diversion tunnels directly impacts the structural stability and longevity of the entire structure. Based on this, this paper systematically analyzes key control points including raw material selection and mix design optimization, formwork and reinforcement installation precision, as well as concrete pouring and vibration techniques, and proposes targeted control measures. By integrating on-site monitoring with laboratory performance testing, a comprehensive quality control mechanism is established throughout the construction process, along with a durability evaluation system. Additionally, suggestions are provided to optimize the construction quality and stability of secondary lining concrete in water diversion tunnels, offering technical guidance and implementation solutions for enhancing concrete quality and extending tunnel service life.

## Keywords

water diversion tunnel; secondary lining concrete; construction quality control; durability

# 引水隧洞二衬混凝土施工质量控制与耐久性评价

李东方

中国水利水电第七工程局有限公司, 中国 · 四川 成都 611130

## 摘 要

引水隧洞二衬混凝土施工质量对于整体结构是否稳定与长久有着直接影响, 基于此, 下文将由原材料选择与配合比优化, 模板与钢筋安装精度, 混凝土浇筑与振捣工艺等施工质量的关键控制点开系统分析并提出针对性控制措施。并结合现场监测与实验室性能检测, 建立施工全程质量监控机制, 构建耐久性评价体系。同时提出优化引水隧洞二衬混凝土施工质量与稳定性的建议, 以此为提升二衬混凝土质量, 延长隧洞使用寿命提供技术依据以及实施方案。

## 关键词

引水隧洞; 二衬混凝土; 施工质量控制; 耐久性

## 1 引言

随着国家建设发展, 山岭地区修建的水利工程越来越多, 其中引水隧洞往往占较大比例。隧洞的最终承载结构是二衬混凝土, 它不但要承担抵御外部水压力、岩体应力以及化学侵蚀的任务, 而且还决定着隧洞的整体防渗性能与耐久性, 在运行期建立科学的耐久性评价体系, 并在施工阶段着重强化二衬混凝土的质量控制对保障引水隧洞长期安全运行具备关键意义。

## 2 引水隧洞二衬混凝土施工质量控制要点

### 2.1 原材料选择与配合比优化

施工引水隧洞二衬混凝土时结构致密性以及抗渗性能和施工原材料选取还有配合比设计存在直接关联。

第一, 科学选择原材料。首先, 在选用水泥时, 尽可能选用安全系数高、强度等级稳定的低碱型普通硅酸盐水泥, 或者也可选择掺有矿物活性材料的复合水泥, 能够降低碱-骨料反应的风险, 延缓水化热峰值的出现, 减少出现温差裂缝的概率。其次, 要严格筛选骨料, 要保证其坚硬颗粒形状规整且级配连续。并且要采取过筛分析以及级配曲线对粗骨料和细骨料的比例予以调整, 以此让整体密实度达到最大化<sup>[1]</sup>。再者, 结合隧洞环境与混凝土坍落度要求来选用外加剂, 优先选用高效减水剂用以改善混凝土的流动性, 确保泵送和浇筑能够顺畅进行。并依据设计要求可添加膨胀剂或者粉煤灰矿粉等活性掺合料, 以此提升混凝土的早期强度和抗裂能力。

第二, 合理设计配合比。配合比合理与否直接关系到混凝土性能的稳定情况。所以工作人员要结合作业环境、设计要求与材料特点来进行水灰比、水胶比及骨料级配的准确计量, 保证混凝土兼具密实性与流动性。不仅如此, 为了保证含气量、空隙率与坍落度符合规定要求, 还要根据现场

【作者简介】李东方(1988-), 男, 中国河南商丘人, 本科, 工程师, 从事水利水电施工及管理研究。

试配情况来进行砂率和粉煤灰掺量的调整,避免后续出现耐久性下降或是出现早期收缩裂缝的问题。通过合理设计配合比并进行动态优化,能够将整体混凝土稳定性和施工可操作性大幅提高。

## 2.2 模板与钢筋安装精度

在引水隧洞二衬施工中,混凝土结构尺寸的把控以及后续施工的质量很大程度上取决于模板和钢筋的安装精度。因此首先在模板安装之前要对全部支撑架逐个开展检查,确认支撑杆件连接牢固紧密,水平支撑以及剪刀撑的布置具备合理性,垂直度偏差需控制在每米2毫米以内,并且要针对底座与地基的接触面展开找平处理。其次,使用防漏胶条或专用密封条对模板拼缝与接缝处予以密封,拱顶及边角模板最好加装临时撑杆或斜撑,避免因混凝土浇筑荷载致使模板出现变形或偏移。关键节点如洞口拱肩,需设标尺和定位夹具进行复核,模板定位要严格按照施工图放样,高程能够借助全站仪逐点测量,且线形偏差控制在5毫米以内。再者,在钢筋施工时需遵循“先放主筋后绑次筋”这一原则,要使用支撑块与定位卡具,对钢筋间距以及保护层厚度加以固定,搭接长度必须严格按照设计要求来执行。在锚固端以及预留孔的周围应当布置加强筋,采用专用定位夹具来防止其出现移位。在绑扎操作之时需挑选具备耐腐蚀特性的绑丝,且要让绑扎间距保持均匀状态,保证张紧度恰到好处,以此确保在振捣过程当中钢筋不会出现漂移或者倾斜的状况。施工全流程要配置专职质检人员,运用平整度尺模板尺以及钢筋测距工具展开全程检测工作。一旦察觉到偏差马上进行调整并且记录下来,务必保障模板和钢筋的整体精度与设计以及施工规范的要求相符<sup>[2]</sup>。

## 2.3 混凝土浇筑与振捣工艺

在引水隧洞二衬施工里,施工顺序管理和严格的分区浇筑必须落实到位。第一,把隧洞断面形状、断面面积以及施工段长度相结合,对浇筑单元进行科学划分,将每次浇筑厚度控制在设计范围内,防止由于层厚不均匀而致使冷缝出现或者局部强度偏低的情况。在浇筑操作时要先借助布料机来持续布料,再用导管布料辅助把控落料位置,促使混凝土在斜坡以及拱顶实现均匀分布,降低因坍落度过大而导致的粗骨料沉降与浆液分离情况。其次,需依据混凝土标号与坍落度,挑选适宜直径和长度的插入式振捣器来开展振捣作业,让振捣头沿着施工缝以及拱顶曲线均匀移动,防止因局部过振而出现泌水离析或者产生气孔,对在墙面和拱顶拐角,以及支撑附近的薄弱部位而言,要运用手持振捣器来实施补振操作。其中要严格控制每点振捣时间,通常以15~25秒为宜。振捣结束还要借助木抹或者钢抹展开修整工作,以此保证角部和复杂节点的混凝土处在密实状态,不存在空洞情况。此外,配备专职的质量检查员来动态监控振捣过程,借助模板回弹以及对表面浮浆的观察,及时判定振捣成效,一旦察觉到蜂窝麻面或者离析等状况,要即刻采取

局部凿毛、实施二次灌浆或者进行振实补强等手段,以此保证混凝土的整体密实性契合设计规定的要求。

## 2.4 温控与养护措施

混凝土施工温度控制是否妥当将会关系到了后续施工裂缝发生几率的高低,因此务必要予以充分重视与严格把控。首先,在施工前,要根据季节和洞内通风条件来监测并调整混凝土浇筑温度,必要时采取预冷或加温措施,将入模混凝土温度控制在设计允许范围内。在高温季节时,需运用覆盖湿麻袋、喷雾或者雾化降温之类的方法,把混凝土表面的温度降低,避免出现塑性收缩裂缝;寒冷季节时可使用保温覆盖材料、热水搅拌或者加热骨料等手段确保混凝土在早期能达到规定强度。其次,实施湿润养护应在浇筑完成后即刻开展,借助连续喷水或者铺设湿布覆盖的方式维持表面湿度,把控水灰比的波动情况。关键部位以及拱顶之处需设置局部的温控监测点,要借助自动记录仪器实时了解混凝土内部温度的变化情况,并且依据温差对养护措施做出调整。全程施工要构建温控及养护记录的档案,用来在后续进行质量追溯以及评估。

## 3 引水隧洞二衬混凝土施工的耐久性评价

### 3.1 实验室检测与现场监测结合

在引水隧洞二衬施工的耐久性评价当中,必须把现场监测和实验室检测紧密相连。第一,在实验室环节,务必要严格根据规定要求来进行不同施工段混凝土芯样的采集,需要着重把控取样深度以及位置的代表性,确保所采集的样品能够准确反映实际情况<sup>[1]</sup>。同时针对获取的样品要展开一系列全面的测试工作,其中涵盖了密度测试、孔隙率测试以及抗渗性能测试,同时还要进行抗压试验,抗折试验以及冻融循环试验,通过这些试验操作最终建立起施工基准数据。对混凝土中掺有粉煤灰矿粉或者膨胀剂的情况,需额外展开掺合料活性分析,并进行化学稳定性以及碱-骨料反应潜力的检测工作,以此来验证配合比设计在不同龄期的耐久性表现。第二,在关键施工段要布置温湿度传感器以及早期裂缝观测点来开展现场监测,以定时记录内部温湿度的变化情况以及微裂缝的发展趋势。并且还要运用超声波检测、地质雷达或者回弹仪,针对混凝土内部密实性、气孔以及微裂隙分布展开扫描分析,在必要的时候需安装孔隙水压力计或者应力计,对拱顶、洞口以及薄壁节点开展强化的局部监测工作,以持续评估混凝土在使用期及早期的渗水状况和受力情况。

### 3.2 基于寿命预测模型的评价

在引水隧洞二衬施工中,基于寿命预测模型的耐久性评价能够依照以下步骤来施行:首先,在实验数据采集阶段针对施工段的混凝土进行取芯操作。测定其抗压强度、孔隙率、渗透系数以及微裂缝的发展速度,记录下拌合料的掺和比例与养护条件。其次,在环境参数校正阶段时,对隧洞水流速度湿度温度波动以及化学腐蚀指标予以采集。将这些指

标转换成为模型修正因子,依据材料参数对衰减速率进行调整,再者,在模型计算阶段的时候,运用分阶段的分析办法,把早期强度发展、中期裂缝扩展以及长期渗水趋势各自开展模拟,像拱顶洞口以及薄壁段这些关键节点,应当设置局部评估模块。通过有限元分析,来获取局部应力和渗透演变的数据。此外,在模型验证与调整阶段的时候,要把现场监测数据和预测结果进行比对。要是发现偏差超出了容差限,那就需要对混凝土参数或者环境因子做出调整,在必要的情况下还得对配合比进行优化,或者开展局部二次灌浆工作。最后,在档案建立阶段时,将输入参数计算过程监测数据以及所采取的修正措施进行记录,要保证模型应用的整个过程具备可追溯性,进而为二衬施工质量的控制以及长期维护提供确切的操作依据。

### 3.3 多指标综合评价体系

在引水隧洞二衬混凝土施工过程中,构建起多指标综合评价体系,对耐久性的控制有着至关重要的作用。首先,需将混凝土的微观特性,如孔隙率毛细孔结构以及孔径分布等进行量化分析。借助高精度非破坏检测手段来获取内部缺陷信息,且把这些信息作为耐久性指标权重的根基,以此对施工配比优化和养护方案设计予以指导。其次,对在不同施工段落,需通过设定标准化评价指标体系来分层打分,并综合考量抗渗性能、抗冻融能力以及碳化深度的现场检测结果,以此及时察觉可能出现的耐久性隐患,进而采取针对性加固或二次处理举措。再者,对混凝土抗裂性能及长期结构稳定性开展动态监控,需将耐磨性以及收缩应力控制指标纳入评价体系,在实际应用中把各类指标实时反馈到施工管理系统,依据评价结果对混凝土配合比、振捣工艺以及养护温湿度控制方案进行优化,进而保障二衬混凝土在长期运行时维持均匀致密的结构状态。

## 4 质量与耐久性提升策略

### 4.1 建立全寿命管理机制

全寿命管理机制强调从设计、施工到运维的全过程监控与数据积累。设计环节,要对施工工艺参数、使用环境条

件以及材料性能指标予以明确,为后续管理给予可靠依据。施工环节,要动态记录混凝土浇筑、养护、支护拆除及施工缝处理等关键节点以此形成具备可追溯性的施工档案。运营环节,应借助设置传感器以及开展定期检测工作来收集应力温度湿度等方面的运行数据,针对结构性能的变化展开深入分析,最终达成对结构状态进行量化评估的目的。通过积累与分析全寿命数据,能够指导维修策略的优化工作、延长结构的服务周期,并降低长期的维护成本。

### 4.2 结构缺陷监测与修复

要想有所提高二衬混凝土施工质量与那就行,则应当要注重结构缺陷监测与修复,可采取应变传感器、红外热成像以及超声波检测等技术来开展结构缺陷监测,实现对局部损伤渗水点和裂缝发展的高精度定位。与此同时,构建动态数据库,针对缺陷的位置类型以及发展趋势开展量化剖析,以此给修复方案供给科学依据。在修复结构缺陷时需依据缺陷性质来选择修复措施,像微裂缝能够运用注浆封闭处理方式,像局部剥落或者孔洞则可采取复合材料补强的方式。在结构受力的敏感区域方面增加外包钢加固或者碳纤维加固,让整体承载能力得以恢复。

## 5 结论

引水隧洞二衬混凝土施工质量控制与耐久性评价是保障水利工程长期稳定运行的核心环节。在施工阶段对原材料、模板钢筋、浇筑工艺以及养护条件予以严格把控,并且在运行阶段采用科学的检测与评价方法,可有效降低结构劣化风险,提升工程整体的安全性与经济性。未来要进一步强化智能化监测技术应用以及材料创新,达成引水隧洞二衬混凝土耐久性与质量的系统性提升。

### 参考文献

- [1] 姜立洋.富水环境下引水隧洞二次衬砌防水技术创新[J].中国建筑防水, 2024(5):37-41.
- [2] 李志刚,黄铭,闫斌,等.软岩大变形引水隧洞二衬施作时机研究[J].水电与新能源, 2024, 38(10):5-9.
- [3] 孙国兴.引水隧洞围岩二次衬砌支护时机模拟分析[J].水利技术监督, 2025(6).