

# 大断面隧洞二次衬砌混凝土浇筑质量缺陷防治技术实践

彭超超

中国水利水电第十二工程局有限公司 浙江杭州 310000

**摘要:** 大断面隧洞施工阶段,二次衬砌混凝土浇筑质量直接关联结构安全与耐久性,实际作业中因断面尺寸较大、混凝土供给失衡、模板构造设计欠缺、仓面设计不合理等情况,常诱发裂缝、蜂窝麻面、冷缝等质量缺陷。本文依托霍尔古吐水电站引水隧洞工程案例,系统剖析二次衬砌混凝土施工期间易出现的典型质量问题并探究其形成缘由,结合新型技术与工艺制定对应防治手段。经现场应用检验,所构建的技术体系可切实改善混凝土浇筑质量,具备较高推广意义。

**关键词:** 大断面隧洞;二次衬砌;混凝土浇筑;质量缺陷;防治技术

## 引言

隧洞工程在现代交通、水利及市政基础设施领域作用愈发关键,大断面隧洞的应用范围也在持续拓展,二次衬砌作为隧洞结构核心构成部分,其混凝土浇筑质量对结构使用寿命与运营安全构成直接影响。受大断面施工复杂条件制约,各类质量缺陷较易产生,实践中如何精准识别问题并落实防控措施,已成为隧洞工程质量管理领域亟待解决的核心议题,本文结合工程实践探索形成一套具备系统性与可复制性的质量缺陷防治技术方案。

## 一、大断面隧洞二次衬砌混凝土质量缺陷现状分析

大断面隧洞在当前基础设施建设领域应用广泛,复杂地质条件与施工环境对二次衬砌混凝土质量提出更高标准,实际施工阶段二次衬砌混凝土常显现各类质量缺陷,这类问题已成为制约工程整体稳定性与耐久性的核心要素。受隧洞断面尺寸偏大、浇筑厚度变大影响,温度梯度与水化热效应表现更为突出,致使混凝土内部易生成收缩裂缝及温度裂缝。加之大体积混凝土内部气体难以快速排出,养护措施不到位还会引发结构表层产生干缩裂缝,此类情况对结构密实度与整体性能造成严重影响。

施工组织层面,大断面隧洞多采用机械化衬砌台车

或分区分段浇筑施工工艺,工序衔接不当易形成冷缝削弱混凝土整体性,模板支护体系若刚度不足或安装偏差大,会致模板移位、跑模,最终引发断面变形或局部厚度不足。混凝土运输距离长、供应波动频繁,也是造成混凝土和易性下降、离析、泌水等质量问题的重要原因。拌合站配料控制不严、操作工振捣不密实及漏振、过振等,进一步加剧蜂窝麻面、露筋、砂浆脱落等外观缺陷发生,直接影响衬砌混凝土外观质量与结构性能。

从当前工程实践观察,质量缺陷出现并非偶然,而是多类因素叠加作用的结果,折射出施工管控、设计配合、工艺设备等环节仍存在薄弱之处,尤其在长距离隧洞衬砌施工中,浇筑节段跨度大、作业面数量多且交叉作业频繁,质量控制难度明显上升。部分工程忽略环境温度湿度对混凝土早期强度及收缩行为的作用,未采取有效温控与养护手段,进而留下裂缝产生隐患,故需从系统化视角解决这类质量问题,推动施工管理模式、施工技术及设备材料、施工工艺升级。构建全过程质量控制机制,方能从根本上提升大断面隧洞二次衬砌混凝土浇筑质量水平。

## 二、质量缺陷产生的关键诱因剖析

大断面隧洞二次衬砌混凝土施工面对复杂工况环境,质量缺陷产生常是多因素交织作用的结果,从工程实践来看,设计阶段未充分考量现场实际条件是诱发质量问题的重要源头之一。结构布置与配筋设计中,若忽略混凝土收缩变形规律、温度应力分布或排气通道设计欠合理性,极易让应力集中区域产生裂缝。部分工程存在配筋率过高或过低、钢筋锚固长度不足、施工缝位置设

**作者简介:** 彭超超(1993.7—),男,河南信阳人,汉族,本科学历,中级职称,研究方向为水利水电工程施工。

置不当等情况，使得混凝土浇筑过程中无法有效释放应力，进而在衬砌结构内形成不可逆的裂缝。

施工组织与工艺控制不当也是质量缺陷频发的直接诱因。在混凝土运输过程中，未合理把控浇筑时间间隔与坍落度，容易造成浇筑中断，进而形成冷缝及结构分层，大断面隧洞因空间尺度大、通风条件差，振捣作业常存在死角或盲区，难以实现混凝土全面密实，从而引发蜂窝、麻面、孔洞等缺陷。模板系统刚度不足、拼缝处理粗糙同样会导致漏浆、错台与断面偏差，严重时还可能加大二次衬砌回弹及脱模难度，破坏混凝土表面完整性。部分工程所用衬砌台车设备维护不到位、机械精度欠佳，造成断面施工精度偏差积累，对结构安全构成潜在威胁。

材料选用与环境因素同样需重点关注。拌合站控制精度不足、水胶比波动明显、外加剂掺量管控不严等情况，会导致混凝土性能不稳定。尤其在高温或低温季节施工时，更易呈现工作性下降与水化反应异常的问题，湿度管控不当或养护条件恶劣，直接影响混凝土早期强度提升与结构变形控制，催生早期开裂风险，部分施工单位在温控防裂体系搭建中缺乏系统性手段。未布设温度传感器或未实时监测混凝土内部温升变化，致使工程无法及时采取应对举措，造成不可逆裂缝产生，故需从设计、施工、材料、设备及环境等多维度协同优化，方能有效遏制质量缺陷出现，提升大断面隧洞二次衬砌混凝土施工的整体质量水平。

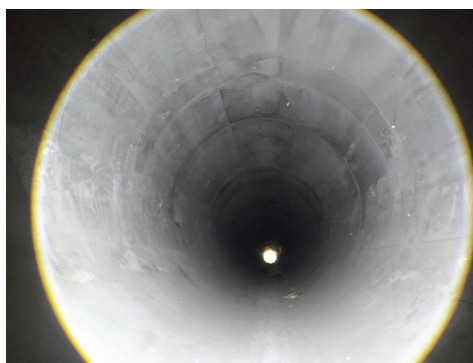
### 三、混凝土浇筑全过程质量控制技术措施

混凝土浇筑全过程的质量控制在在大断面隧洞二次衬砌施工中起决定性作用，施工准备阶段的技术交底与方案优化是质量保障的前提，需结合隧洞断面尺寸、结构形式及地质条件合理编制施工组织设计，并明确各施工工序技术参数。混凝土配合比设计要依据现场温度、湿度等环境因素，充分考量工作性、可泵性与收缩性能的平衡，确保具备良好流动性与凝结时间，避免因失水快、保水性差催生早期裂缝。原材料进场环节必须严格检验，尤其对骨料级配、水泥品种、外加剂适应性等开展全面复核，保障混凝土性能符合施工要求。

浇筑过程的工艺控制是实现高质量成型的关键，浇筑前需对模板系统全面复核，确保模板拼缝严密、支撑牢固，避免因模板变形或漏浆造成断面尺寸偏差。混凝土输送阶段应合理布设泵管及料斗，减少中途停滞与离析情况，维持连续浇筑作业以降低冷缝形成风险。振捣

工艺需规范实施，采用插入式振捣棒与附着式振捣器相结合的方式，尤其在结构转角、钢筋密集区及模板交界处要加强振捣频率与振捣时间把控，规避漏振、欠振或过振引发的蜂窝、麻面与结构孔洞等问题，需安排专人负责混凝土表面收平与抹面施工，提升衬砌混凝土整体观感质量。

衬砌混凝土养护阶段，同样需搭建系统化质量保障机制，应及时覆盖并喷洒养护剂，保持表面湿润以减缓水分蒸发速度，降低干缩裂缝出现概率，温差较大环境下须采用分层测温技术，布设温度传感器实时监测混凝土内部及表面温度变化趋势，结合冷却管通水或表面覆盖保温毡等方式落实温控措施。施工过程中还需开展过程质量抽检与结构实体检测，钢筋保护层厚度、混凝土强度、结构厚度等关键指标均应契合设计与规范要求。依托全过程、全环节、全覆盖的技术措施体系，能明显提升大断面隧洞二次衬砌混凝土浇筑质量，减少缺陷产生，保障工程实体的安全性与耐久性。



### 四、典型防治技术的现场应用与效果评价

在大断面隧洞二次衬砌混凝土施工中，为有效预防和治理质量缺陷，现场普遍推广一系列成熟且具针对性的技术手段，这类技术多在工程一线经过优化试验与反复验证，具备良好适应性与可操作性。为控制混凝土浇筑过程中温差引发的开裂问题，可采用嵌入式温控系统对混凝土内部温度实时监测，以实测数据反馈指导现场施工进度与养护节奏。部分工程结合温控通水系统，在混凝土内部布设冷却水管，调节水温与流量有效降低水化热峰值，减缓温度梯度变化，从源头上减少裂缝产生。针对施工缝与结构薄弱部位，采用高粘结性能界面剂与二次抹浆压光技术，能增强新老混凝土粘结效果，减少冷缝产生与结构不连续性。

为提升混凝土浇筑的密实性与均匀性，现场普遍引入自动化衬砌台车与智能泵送系统，能够精准控制混凝土

土输送速率与振捣频率,使浇筑更加均衡连续,有效规避离析、泌水及振捣不迷失等问题。施工中强化模板系统的封闭性与刚度控制,经过模块化拼装、定点加固及缝隙填封技术防止跑模与漏浆现象,保障断面成型精度。混凝土表面处理环节采用高分子材料养护膜结合湿麻袋覆盖措施开展复合式养护,提高早期保湿性能并增强表面结构密实度,隧洞通风困难区域则设立移动喷雾系统调节局部温湿环境,降低干裂风险,确保养护环境与混凝土早期强度增长速率匹配。

上述衬砌质量控制典型防治技术的实施明显提升大断面隧洞二次衬砌混凝土施工的整体质量水平,以霍尔古吐水电站引水隧洞工程为实例,应用温控与自动化施工系统后,衬砌结构表面裂缝发生率下降超80%,蜂窝麻面等常见缺陷发生概率控制在5%以内。实体结构密实性与强度均优于设计标准,经过全过程质量数据对比与现场实体检测结果验证,采用综合防治技术的衬砌段在耐久性、承载能力和观感质量方面表现均良好,具备良好的推广价值。这些成果证实防治措施的技术可靠性,也为类似复杂工程提供可借鉴的施工技术路径与质量控制模式,为今后大断面隧洞施工质量管理筑牢坚实基础。

### 五、基于实践的质量防控技术体系构建

在大断面隧洞二次衬砌混凝土施工实践中,搭建一套系统化、可操作的质量防控技术体系,是保障工程结构安全与延长使用寿命的核心路径,该体系需立足全过程质量管理理念,贯穿设计、材料、施工、检测与运维全过程,确保各环节协同高效运转。设计阶段应经过结构优化与裂缝控制设计预判潜在风险,明确关键部位施工缝布置与钢筋锚固措施,材料准备阶段建立原材料准入标准与动态抽检机制,以保障混凝土拌合质量稳定可靠且具备良好的和易性与耐久性。施工环节则实施标准化作业流程、智能监测系统与节点质量验收闭环管理机制,强化操作工艺控制与现场反馈调度能力,为质量防控筑牢坚实基础。

经实践验证,构建该技术体系还需融入信息化与数字化手段,提升质量控制的实时性与精度,实际工程中应用BIM模型与工艺模拟技术,可提前推演衬砌结构几何尺寸、管线排布、模板拼装顺序等内容,发现设计与施工间的冲突问题。混凝土浇筑过程中引入传感监测系统,实时采集混凝土温度、湿度、强度发展等数据,结

合无线传输与预警算法实现自动化分析与超限报警,指导现场采取养护、降温、减载等应对措施,防范早期开裂与结构变形风险。建立施工全过程的数字化档案管理系统,实现质量追溯与数据共享,推动工程管理从经验控制向数据驱动转变,增强质量管理的系统性与可控性。

质量防控技术体系的构建还需依托完善的制度保障与高效的组织协同,项目层面应专门设置质量总岗位与专项技术责任人,并明确岗位职责,清晰界定各施工工序的质量控制要点与具体责任划分,同步建立(PDCA)“策划-实施-检查-反馈”的完整闭环机制,并确保质量管理体系能在施工现场真正落地执行。针对大断面隧洞施工中特有的高风险环节,大体积混凝土的温控养护作业、超长衬砌段的连续浇筑施工等,需提前制定专项技术操作指南与应急事件处理预案,切实提升现场面对突发情况的快速响应能力。实践结果表明,经过上述防控体系的系统构建与规范运行,能够有效降低二次衬砌混凝土各类质量缺陷的发生概率,还能从整体上提升施工组织效率与工程质量稳定性,为其他类似复杂条件下的隧洞工程提供了可直接复制、可广泛推广的标准化管理模式。

### 结语

本文围绕大断面隧洞二次衬砌混凝土施工中的常见质量缺陷开展系统研究,深入剖析问题现状与形成缘由,提出覆盖衬砌施工全流程的质量控制办法。结合典型现场应用情况验证防治技术的实际效用,在此基础上搭建起基于工程实践的质量防控技术体系,实现设计、材料、施工与监测等环节的有机衔接。为提升大断面隧洞二次衬砌混凝土施工质量提供可行路径与理论依据,对同类工程具备较强的借鉴意义与推广价值。

### 参考文献

- [1] 李强,王勇.隧道施工混凝土衬砌质量控制技术研究[J].岩土工程技术,2020,38(4):112-116.
- [2] 周林,高峰.大断面隧洞二次衬砌裂缝成因与防治措施[J].水利水电施工,2021,53(2):77-81.
- [3] 孙伟,黄斌.大体积混凝土温控裂缝控制技术在隧道中的应用[J].土木工程与管理学报,2022,39(1):45-50.