

地铁区间隧道衬砌施工裂缝控制与监理

贾 宁

中铁第六勘测设计研究院中铁路安工程咨询有限公司 天津 300250

【摘 要】：地铁区间隧道衬砌结构的完好程度直接决定地下线路运营安全，施工形成的裂缝会逐步破坏防水与结构承载能力。结合地下隧道施工环境与现场作业条件，梳理各类裂缝形成诱因，落实材料、工序层面的前置防控手段。同步发挥工程监理的全程管控作用，紧盯各施工环节的作业标准，把施工防控与监理监督融合落地，能够有效削减衬砌裂缝产生的几率，稳固衬砌施工整体品质，为地铁隧道土建施工质量管控提供可行的实操思路。

【关键词】：地铁隧道；衬砌施工；裂缝控制；工程监理

DOI:10.12417/2705-0998.26.11.022

引言

地下隧道长期处于复杂岩土与地下水包围的环境，二次衬砌是抵御地层压力、阻隔水体渗透的核心主体，成型质量直接关系到隧道长久使用状态。衬砌裂缝属于现场高频质量缺陷，细小裂纹如若放任发展，会不断延展拓宽，引发渗水、结构变形等问题，后续整修会耗费大量人力物力。地层条件、建材品质、现场施工工序都会催生不同形态的裂缝，做好施工阶段的抗裂管控，搭配完整的监理巡查机制，才能切实守住衬砌施工质量底线，保障地下轨道交通工程建设的稳固性。

1 地铁区间隧道衬砌施工裂缝主要类型与形成诱因

1.1 结构性裂缝的具体表现与产生原因

地铁区间隧道结构性裂缝由受力失衡造成，会直接削弱隧道承载能力，分为环向、纵向、斜向三类。环向裂缝常见于衬砌环缝部位，围岩应力不均、浇筑厚度不足时，围岩形变压力拉扯混凝土形成开裂。纵向裂缝顺着隧道掘进方向延伸，集中在侧壁与拱腰，初期支护和二次衬砌贴合较差，受力不均衡让局部荷载超过混凝土抗拉上限。斜向裂缝没有固定分布位置，多出现在地质突变地段，岩土不均匀沉降带来局部应力集中，结构承受多向作用力，催生不规则斜裂纹，持续降低衬砌整体承载水准。

1.2 非结构性裂缝的具体表现与产生原因

地铁隧道衬砌非结构性裂缝不直接影响结构承载能力，但会破坏衬砌防水体系与外观完整性，加速结构老化损耗，以温度裂缝、收缩裂缝、塑性裂缝为主要类型。温度裂缝集中产生于混凝土浇筑成型初期，地下施工环境温度差变化、混凝土水化热集中释放，会造成结构内外温度应力差值过大，引发表层及浅层开裂。收缩裂缝源于混凝土养护作业不规范，混凝土硬化过程中水分蒸发速率过快，内部体积收缩受限，表层产生均匀或不规则细微裂纹。塑性裂缝出现在混凝土初凝前，现场浇筑振捣不均匀、混凝土配合比适配性不佳，会导致混凝土塑性阶段稳定性不足，表层出现网状、条状细微裂缝，长期受地下水侵蚀会逐步扩张。

1.3 施工环境与工艺诱发裂缝的核心因素

地下复杂施工环境与不规范施工工艺是衬砌裂缝产生的主要人为及环境诱因。地质条件方面，软土、流沙、破碎围岩等复杂地层稳定性差，施工过程中围岩易出现微量形变与沉降，持续扰动未完全固化的衬砌结构，诱发开裂问题。施工工艺层面，混凝土浇筑速度把控不当、分层浇筑间隔不合理、振捣作业不密实或过度振捣，均会破坏混凝土结构均匀性，形成内部空隙与表层裂缝^[1]。材料管控层面，原材料质量不达标、配合比未根据现场环境微调、外加剂使用不当，会降低混凝土强度与抗裂性能。此外，模板安装平整度不足、脱模时间把控偏差、初期支护变形未稳定便开展二次衬砌施工，也会大幅提升裂缝产生概率。

2 地铁区间隧道衬砌施工前期裂缝预防控制措施

2.1 优化衬砌施工原材料质量管控标准

原材料性能是保障衬砌混凝土抗裂性能的基础，需构建全流程原材料质量管控机制，从源头规避裂缝隐患。水泥选型优先选用水化热低、稳定性强的品种，适配地下隧道恒温高湿的施工环境，减少水化热引发的温度裂缝。骨料需严格把控粒径、含泥量与杂质含量，洁净度达标、级配合理的骨料可提升混凝土密实度与结构稳定性，降低收缩开裂风险。外加剂需结合现场地质、温度、施工进度等条件精准选型，合理把控掺加比例，有效改善混凝土和易性，缓解混凝土硬化过程中的形变应力。所有原材料进场前需完成专项检测，不合格材料严禁进场使用，进场后分类规范存放，避免受潮、变质影响使用性能，保障混凝土基础质量达标。

2.2 科学定制混凝土施工配合比方案

结合地铁隧道地下施工特性与衬砌结构受力需求，针对性优化混凝土配合比，可有效提升结构抗裂性能。配合比设计需兼顾混凝土强度、密实度、抗渗性与抗形变能力，合理调控水胶比，避免水分占比过高导致混凝土硬化收缩量过大。依托施工现场的温湿度、围岩条件，微调砂率、骨料配比，保障混凝土拌和后和易性均匀，适配隧道衬砌浇筑施工工况^[2]。同时掺

入适量粉煤灰、矿粉等掺合料，替代部分水泥，有效降低混凝土水化热释放速率，减小结构内外温差应力，规避温度裂缝产生。配合比确定后需提前开展试配试验，检测混凝土初凝、终凝时间与力学性能，根据试验结果优化调整，确保适配现场施工需求。

2.3 完善施工前期现场筹备与技术交底工作

施工前期系统化筹备工作可从流程层面规避施工疏漏引发的裂缝问题。施工前需全面勘察隧道施工区段地质条件，梳理围岩稳定性、地下水分布等核心参数，结合勘察结果制定适配的衬砌施工方案与裂缝防控预案。对隧道施工基面进行全面清理与修整，平整围岩基面，消除凸起、凹陷与松散岩土体，保障初期支护基面平整稳定，为二次衬砌施工提供良好基础。同时落实全员技术交底工作，明确衬砌浇筑、振捣、养护等各环节施工标准与防控要点，规范现场作业流程。对施工设备进行全面检修调试，保障振捣设备、浇筑设备运行稳定，避免设备故障导致施工中断、浇筑不均匀等问题，从前期筹备层面筑牢抗裂基础。

3 地铁区间隧道衬砌施工过程裂缝动态控制技术

3.1 规范混凝土现场浇筑与振捣作业流程

混凝土浇筑与振捣的规范性直接决定衬砌结构成型质量，是施工过程裂缝防控的核心环节。隧道衬砌浇筑采用分层、分段对称浇筑模式，严格把控每层浇筑厚度与浇筑速度，保障混凝土逐层均匀填充，避免单次浇筑厚度过大导致混凝土自重沉降不均、内部应力集中。浇筑过程中保持连续作业，严控分层浇筑间隔时长，杜绝出现施工冷缝，防止冷缝位置产生结构性开裂。振捣作业选用适配的振捣设备，遵循快插慢拔的作业原则，均匀排布振捣点位，全面消除混凝土内部气泡与空隙，保障结构密实度。规避局部过度振捣导致骨料下沉、砂浆上浮的问题，防止表层混凝土强度不均引发开裂，全程保障浇筑振捣作业标准化、规范化。

3.2 精准把控模板安装与脱模施工工序

模板体系的稳定性与脱模时机的合理性，对衬砌结构成型平整度与完整性至关重要。模板安装前需完成表面清理与打磨，去除残留杂物与锈蚀，涂刷均匀脱模剂，保障衬砌表层成型平整。严格按照施工方案固定模板支架，把控模板安装平整度、垂直度与密封性，杜绝模板缝隙漏浆、局部变形等问题，防止衬砌出现蜂窝、麻面、凹凸不平等质量缺陷，规避缺陷位置应力集中引发的裂缝^[3]。混凝土浇筑完成后，根据现场环境温度与混凝土固化进度精准把控脱模时间，严禁提前脱模导致衬砌结构受力形变开裂，也需避免脱模过晚造成模板粘连破损结构表层，保障衬砌成型结构完整稳定。

3.3 落实混凝土成型后精细化养护作业

养护作业是规避混凝土收缩、温度裂缝的关键工序，需落

实全周期精细化养护管控。混凝土浇筑成型完成表面收光后，及时开展保湿养护作业，地下隧道环境通风条件特殊，需采用覆盖保湿材料、喷雾加湿等方式，持续维持衬砌表层湿度稳定，避免水分快速蒸发引发收缩裂缝。根据环境温度调整养护方案，低温环境做好保温防护，减小结构内外温差，抑制温度裂缝产生；高温环境加大加湿频次，保障养护湿度达标。严格把控养护周期，全程保持养护作业连续性，杜绝养护中断、养护时长不足等问题，通过规范养护提升混凝土强度与抗裂稳定性，减少后期裂缝滋生。

4 地铁区间隧道衬砌施工全过程监管管控要点

4.1 强化施工前期准备阶段监理核查工作

施工前期监理核查是从源头把控衬砌施工质量、防范裂缝隐患的关键环节。监理人员需全面核查施工单位提交的衬砌施工方案、裂缝防控专项预案，审核方案的可行性、针对性与规范性，对不合理的施工流程、防控举措提出优化整改意见。严格开展原材料进场监理验收工作，核查水泥、骨料、外加剂等原材料的质量证明文件，配合现场抽样复检，杜绝不合格原材料投入施工。同时核查施工设备性能、作业人员资质、前期技术交底落实情况，确认施工基面修整、模板筹备等前期工作达标。全面排查施工前期各类质量隐患，督促施工单位落实整改，为后续衬砌施工质量管控筑牢基础。

4.2 落实施工过程动态旁站与巡视监理

施工过程需依托旁站、巡视相结合的监理模式，实现裂缝隐患动态管控。监理人员全程参与混凝土浇筑、振捣、模板安装等核心工序作业，实时监督施工流程合规性，纠正不规范施工操作，杜绝违规浇筑、振捣不到位、模板安装偏差等问题^[4]。定时开展施工现场巡视检查，重点排查混凝土配合比执行情况、浇筑连续性、振捣均匀度等核心内容，及时发现并制止影响衬砌结构质量的施工行为。针对地质条件复杂、施工难度较大的隧道区段，加大监管频次与力度，全程跟踪施工进度与质量状态，实时把控施工过程质量，及时规避各类裂缝诱发隐患。

4.3 细化施工成品质量验收与隐患整改

衬砌施工成型后，监理单位需开展精细化成品质量验收，全面排查裂缝及各类质量缺陷。采用全方位外观检查结合专项检测的方式，排查衬砌表层细微裂缝、结构性开裂、表层破损等问题，精准记录裂缝分布位置、形态、延展范围。针对排查发现的各类裂缝缺陷，结合结构受力特性与施工规范要求，制定针对性整改方案，督促施工单位限时完成整改修复。整改完成后开展二次复检验收，确保裂缝隐患彻底消除，结构质量达标。同时梳理施工全过程质量问题，督促施工单位总结优化施工工艺，完善裂缝防控体系，规避同类质量问题重复出现。

5 地铁区间隧道衬砌裂缝修复处置与质量优化提升

5.1 区分裂缝类型制定针对性修复方案

不同类型、不同程度的衬砌裂缝需适配差异化修复方案，保障修复后结构性能达标。针对表层细微非结构性裂缝，采用表层封闭修复工艺，清理裂缝表层杂物与松散混凝土，涂刷专用修补胶体，封闭裂缝通道，阻隔地下水侵蚀，规避裂缝进一步扩张。针对中度浅层裂缝，采用注浆填充修复技术，通过低压注浆方式将修补浆液注入裂缝内部，填充裂缝空隙，粘结固化混凝土结构，恢复表层完整性。针对深度较大、影响结构受力的结构性裂缝，需开展加固修复处理，结合隧道衬砌结构受力需求，采用植筋加固、喷射混凝土补强等工艺，修复结构损伤，恢复衬砌承载性能，保障结构稳定。

5.2 规范裂缝修复施工全过程管控流程

裂缝修复施工需遵循标准化流程管控，保障修复施工质量，杜绝二次病害产生。修复施工前需完成裂缝全面检测，精准判定裂缝深度、宽度、延展走向及结构受损情况，以此为依据细化修复施工流程与工艺标准。严格按照修复方案开展基面处理、钻孔、注浆、封闭、养护等各工序作业，把控每道工序施工精度，保障修复材料与原衬砌结构紧密结合^[5]。修复作业完成后，落实专项养护工作，保障修补材料充分固化成型，提升修复部位结构强度与稳定性。全程规范修复施工操作，避免

修复工艺不当导致裂缝反复出现、结构二次受损等问题，切实保障裂缝修复成效。

5.3 依托施工复盘优化整体质量防控体系

结合衬砌施工及裂缝处置全过程开展施工复盘，持续优化隧道衬砌质量防控体系。汇总梳理施工过程中出现的各类裂缝问题，溯源分析材料、工艺、环境、管控等多方面诱因，总结施工与监理管控薄弱环节。针对暴露的问题，优化原材料管控、配合比设计、现场施工、养护作业等核心环节的防控标准，完善精细化施工管控体系。同步优化监理管控流程，细化各工序监理核查要点，强化薄弱施工环节的动态监管力度。通过问题复盘、工艺优化、管控升级，持续提升地铁隧道衬砌施工整体质量，从根本上降低衬砌裂缝病害发生概率。

6 结语

本文围绕地铁区间隧道衬砌结构性与非结构性裂缝成因，梳理施工全流程抗裂工艺举措，明确各阶段监理管控的实施细则，搭配针对性的裂缝修复方案形成完整管控路径。衬砌裂缝治理重在前置防控与过程监管，施工工艺的规范执行配合监理全方位巡查验收，可有效规避各类开裂隐患。整套管控方式贴合地下隧道施工工况，能够切实保障衬砌结构完整稳固，助力轨道交通工程建设品质提升，减少后期运维病害问题。

参考文献：

- [1] 高勇.地铁车站暗挖隧道复合式衬砌开挖施工技术[J].四川建材,2026,52(3):137-139+142.
- [2] 刘钦文.地铁双护盾 TBM 工法隧道衬砌结构施工技术分析[J].新城建科技,2025,34(6):122-124.
- [3] 魏智强.防水技术在地铁施工工程中的应用研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(15):115-117.
- [4] 郭延辉,李顺银.隧道双线盾构-暗挖近距下穿湖底安全性研究[J].地下空间与工程学报,2024,20(S2):900-906.
- [5] 魏传蒙.地铁盾构施工扰动下既有隧道衬砌结构损伤研究[D].沈阳建筑大学,2024.