

地铁土建结构施工中的混凝土裂缝控制分析

孔庆伟

天津国际工程建设监理有限公司 河北 石家庄 050000

摘 要：地铁土建结构施工中，混凝土裂缝问题备受关注。本文详细分析地铁土建结构混凝土裂缝类型，包括按产生时间、形态、机理的分类。探讨混凝土材料自身、施工工艺、环境及施工过程其他因素对裂缝的影响。提出施工前期预防准备、施工过程预防管控、后期养护预防强化等预防措施，以及针对表面、深层、贯穿裂缝的治理措施。通过系统研究，为地铁土建结构混凝土裂缝控制提供全面参考，助力提升工程质量与安全性。

关键词：地铁土建结构；混凝土裂缝；裂缝类型；影响因素；控制措施

引言：地铁作为城市交通的关键组成部分，其土建结构施工质量至关重要。混凝土作为地铁土建结构主要材料，裂缝问题直接影响结构安全性与耐久性。地铁土建结构施工环境复杂，涉及诸多环节与因素，混凝土裂缝成因多样，涵盖材料、工艺、环境等方面。裂缝类型不同，对结构影响程度有别，准确分类与分析成因是有效控制裂缝的前提。深入研究地铁土建结构混凝土裂缝控制，对保障地铁建设质量、确保运营安全具有重大现实意义。

1 地铁土建结构混凝土裂缝的类型

1.1 按裂缝产生时间分类

地铁土建结构混凝土裂缝依据产生时间的不同，可明确划分为施工阶段裂缝与使用阶段裂缝两大类^[1]。施工阶段裂缝，顾名思义，是在地铁土建结构混凝土施工过程中出现的裂缝。这一阶段，混凝土从搅拌、浇筑到养护，各个环节均可能因操作不当、环境因素或材料性能问题而引发裂缝。例如，混凝土搅拌不均匀、浇筑速度过快、养护条件不佳等，都可能导致混凝土内部应力分布不均，进而产生裂缝。而使用阶段裂缝，则是在地铁土建结构投入运营后，由于长期承受荷载、环境侵蚀、材料老化等多种因素作用而逐渐形成的裂缝。这类裂缝往往随着运营时间的延长而逐渐扩展，对地铁结构的安全性和耐久性构成潜在威胁。

1.2 按裂缝形态分类

从裂缝形态的角度出发，地铁土建结构混凝土裂缝可细分为表面裂缝、深层裂缝与贯穿裂缝。表面裂缝通常仅出现在混凝土表面，深度较浅，一般不超过5mm，对结构整体性能影响较小，但可能影响结构的外观质量。深层裂缝则延伸至混凝土内部一定深度，深度多在5~50mm之间，可能对结构的承载力和耐久性产生一定影响。而贯穿裂缝则更为严重，它们从混凝土表面一直延

伸至内部，甚至可能贯穿整个结构截面，裂缝宽度多大于0.2mm，严重削弱结构的整体性和承载能力，对地铁安全运营构成重大隐患。

1.3 按裂缝产生机理分类

深入探究裂缝产生的机理，地铁土建结构混凝土裂缝可进一步划分为收缩裂缝、温度裂缝、荷载裂缝与沉降裂缝。收缩裂缝是由于混凝土在硬化过程中体积收缩而产生的，这种收缩可能因内部应力分布不均而导致裂缝形成。温度裂缝则与混凝土内部温度变化密切相关，当混凝土内部温度与外界环境温度存在较大差异时，温度应力可能导致裂缝产生。荷载裂缝是在地铁运营过程中，由于结构承受荷载作用而产生的裂缝，这类裂缝往往与荷载大小、作用方式及结构受力状态有关。沉降裂缝则是由于地基不均匀沉降或结构支撑条件变化而引起的，它们可能出现在结构底部或连接部位，对结构稳定性构成威胁。

2 地铁土建结构施工中混凝土裂缝的影响因素

2.1 混凝土材料自身因素

混凝土材料性能是决定裂缝产生与否的内在基础。混凝土配合比设计需兼顾强度与耐久性，水灰比过大将直接导致硬化后混凝土孔隙率增加，收缩变形加剧，进而引发裂缝。水泥作为胶凝材料，其品种选择至关重要，高早强水泥虽能缩短工期，但水化热释放集中，易在构件内部形成温度梯度，导致温度裂缝产生^[2]。骨料质量与级配同样不容忽视，骨料含泥量超标会削弱骨料与水泥石的界面粘结力，级配不良则造成混凝土密实度不足，两者均会降低混凝土抗裂性能。外加剂选用需根据工程需求精准匹配，减水剂过量可能引发混凝土泌水离析，引气剂使用不当则影响混凝土强度发展，均可能成为裂缝产生的潜在诱因。

2.2 施工工艺因素

施工工艺水平对混凝土裂缝控制具有决定性影响。搅拌与运输环节需确保混凝土均匀性,搅拌时间不足导致各组分分散不均,运输过程中剧烈颠簸可能引发混凝土分层离析,均会降低混凝土工作性能,增加裂缝风险。浇筑工艺与顺序需科学规划,分层浇筑厚度过大易造成混凝土内部应力集中,浇筑速度过快则可能导致模板侧压力过大引发变形,两者均可能诱发裂缝。振捣作业质量直接影响混凝土密实度,振捣不足留下孔隙成为裂缝起点,振捣过度则可能造成骨料下沉、浆体上浮,形成塑性收缩裂缝。养护工艺与措施是防止裂缝的关键防线,养护不及时导致混凝土表面水分过快蒸发,养护温度过低则延缓水泥水化进程,均会加剧混凝土收缩变形。模板安装与拆除需严格遵循规范,模板刚度不足或支撑不稳导致混凝土变形,拆除过早则因混凝土强度不足而引发结构性裂缝。

2.3 环境因素

环境因素对混凝土裂缝产生具有显著促进作用。环境温度变化是重要诱因,高温条件下混凝土水化反应加速,早期强度增长过快导致后期收缩增大,低温环境则因水泥水化反应减缓,强度增长滞后,易因内外温差过大而产生温度应力裂缝。在夏季高温时,混凝土内部温度与外界环境温差可达30~40℃,产生的温度应力可能导致裂缝产生;在冬季低温时,若混凝土养护温度低于5℃,水泥水化反应几乎停止,强度增长缓慢,也容易产生裂缝。环境湿度条件同样关键,干燥环境加速混凝土表面水分蒸发,形成湿度梯度导致干缩裂缝,潮湿环境则可能因混凝土内部水分迁移不均而引发裂缝。当环境相对湿度低于40%时,混凝土表面水分蒸发速度加快,干缩裂缝产生的概率增加。风荷载影响在露天作业或高层结构施工中尤为突出,强风导致混凝土表面水分蒸发速度加快,形成表面干缩与内部湿胀的应力差,进而引发裂缝。

2.4 施工过程其他因素

施工过程管理细节对裂缝控制具有重要影响。施工荷载控制需严格,超载或偏载导致结构局部应力集中,超出混凝土抗拉强度时即产生裂缝,荷载作用时间过长则可能引发徐变裂缝。结构沉降控制是防止裂缝的重要措施,地基处理不当或支护结构失稳导致结构不均匀沉降,引发附加应力造成裂缝,沉降速率过快则可能因混凝土抗拉强度不足而开裂。施工缝处理需细致入微,施工缝位置选择不当或处理不彻底导致新旧混凝土结合面粘结力减弱,成为裂缝产生的薄弱环节,接缝处未设置止水带或未进行凿毛处理均可能引发渗漏裂缝。这些因素相互交织,共同影响混凝土裂缝的产生与发展,需在施工过

程中予以全面考虑与有效控制。

3 地铁土建结构施工中混凝土裂缝的预防措施

3.1 施工前期预防准备

地铁土建结构施工前期,需从材料、方案及人员三方面入手,全面开展裂缝预防准备工作^[3]。材料进场检验与管控是首要环节,需对水泥、骨料、外加剂等原材料进行严格检测,确保质量符合设计要求,杜绝不合格材料进入施工现场。同时,建立材料追溯体系,对每一批次材料的使用情况进行详细记录,以便在出现问题时能够迅速追溯源头。施工方案优化与完善同样重要,需结合工程实际,对混凝土配合比、浇筑顺序、振捣方式等关键环节进行精细化设计,确保施工方案的科学性与可行性。施工人员技术交底则是保障施工方案有效实施的关键,需组织所有参与施工的人员进行技术培训,使其熟悉施工流程、掌握操作要点,并明确裂缝预防的重要性及具体措施。

3.2 施工过程预防管控

施工过程中的裂缝预防管控需贯穿材料搅拌、浇筑、环境应对及模板支撑等各个环节。材料搅拌与浇筑全过程管控要求严格控制搅拌时间、投料顺序及浇筑速度,确保混凝土均匀性及工作性能满足要求。同时,加强现场监督,及时发现并纠正违规操作行为,防止因搅拌不均或浇筑不当引发裂缝。环境变化的预判与应对需密切关注天气预报及现场环境条件,提前制定应对措施。如遇高温、大风或降雨等不利天气,需及时调整施工计划,采取遮阳、保湿或防雨等措施,减少环境因素对混凝土质量的影响。模板与支撑体系的质量管控则要求选用符合设计要求的模板材料,确保模板刚度及稳定性满足施工需要。同时,加强模板安装及拆除过程中的质量控制,防止因模板变形或支撑不稳引发裂缝。

3.3 后期养护预防强化

后期养护是混凝土裂缝预防的重要环节,需从养护周期、环境调整及效果巡查三方面强化管理。养护周期的规范执行要求严格按照设计要求及规范标准进行养护,普通混凝土养护周期不少于14天,大体积混凝土养护周期不少于28天,确保混凝土在硬化过程中保持适宜的湿度及温度条件。养护环境的动态调整则需根据现场实际情况及天气变化,及时调整养护措施。如遇干燥天气,环境相对湿度低于60%时,需增加喷水次数,每3~4小时喷水一次,或覆盖保湿材料;如遇寒冷天气,环境温度低于5℃时,则需采取保温措施,防止混凝土受冻。养护效果的实时巡查则要求安排专人负责养护工作,每6小时对混凝土表面进行一次检查,及时发现并处理裂缝等质量问题。通过全面、细致的后期养护管理,有效提升混

凝土抗裂性能,确保地铁土建结构施工质量。

4 地铁土建结构施工中混凝土裂缝的治理措施

4.1 表面裂缝治理

地铁土建结构中,表面裂缝虽不直接影响结构安全,但影响美观且可能成为有害物质侵入的通道,需及时治理^[4]。表面封闭处理是常用手段,通过选用与混凝土相容性好的密封材料,如环氧树脂类涂料,对裂缝进行细致涂刷,涂刷厚度控制在0.3~0.5mm,涂刷范围需超出裂缝边缘50mm以上。涂刷前需对裂缝区域进行彻底清洁,去除浮尘、油污等杂质,确保密封材料能有效渗透并附着于混凝土表面,形成连续的封闭层,阻止水分及化学物质渗入。表面修补操作则更注重细节与耐久性,先对裂缝进行扩缝处理,形成宽度5~10mm、深度3~5mm的规则V形或U形槽,以增加修补材料与混凝土的接触面积。随后,选用高强度、快硬性的修补砂浆进行填充,填充过程中需分层振捣密实,避免空鼓现象。修补完成后,进行表面压光处理,使修补区域与周围混凝土平滑过渡,恢复结构外观整体性。

4.2 深层裂缝治理

深层裂缝对结构性能影响较大,需采取更为专业的治理措施。灌浆修补工艺是处理深层裂缝的有效方法,通过高压注入设备,将低粘度、高强度的灌浆材料注入裂缝内部,灌浆压力控制在0.3~0.8MPa。灌浆材料在裂缝中扩散、渗透,填充空隙并固化,形成坚实的填充体,恢复结构整体性。实施灌浆前,需对裂缝进行详细探测,确定裂缝走向、宽度及深度,当裂缝宽度在0.1~0.5mm之间时,选用环氧类灌浆材料;裂缝宽度大于0.5mm时,选用水泥基灌浆材料,为灌浆材料选择及注浆参数设定提供依据。嵌缝封堵处理则适用于宽度较大且深度较浅的裂缝,先沿裂缝走向开凿深度10~15mm、宽度8~12mm的槽口,再将嵌缝材料如聚合物水泥砂浆或橡胶止水带嵌入槽内。嵌缝材料需具备良好的弹性与粘结性,以适应结构变形并防止裂缝再次扩展。嵌入过程中需确保材料填充密实,无气泡或空隙,形成有效的防水屏障。

4.3 贯穿裂缝治理

贯穿裂缝对结构安全构成严重威胁,需采取结构加固与修补相结合的综合治理措施。结构加固通过增设外部支撑、粘贴钢板或碳纤维布等方式,提升结构承载能力,分散裂缝处应力集中现象,粘贴钢板厚度选用3~5mm,碳纤维布粘贴层数控制在2~3层^[5]。加固设计需根据裂缝位置、结构受力特点及使用要求进行,确保加固效果可靠且不影响结构正常使用。修补工作则侧重于裂缝本身的封闭与防渗,采用高压灌浆技术,将具有良好粘结性与耐久性的化学灌浆材料注入裂缝,灌浆压力控制在0.5~1.0MPa,形成连续的防渗屏障。同时,对裂缝周边区域进行防水处理,涂抹防水涂料或铺设防水卷材,防水涂料涂刷厚度控制在1.5~2.0mm,增强结构整体防渗性能。治理过程中,需密切关注结构变形监测数据,每12小时监测一次变形情况,评估治理效果,并根据实际情况调整治理方案,确保结构安全与使用功能不受影响。

结束语

地铁土建结构施工中混凝土裂缝控制是一项系统工程,需从裂缝类型分析入手,全面考虑材料、工艺、环境等多方面影响因素。通过施工前期精心准备、过程严格管控以及后期细致养护,可有效预防裂缝产生。对于已出现的裂缝,依据类型与严重程度,采取针对性治理措施,能够恢复结构性能,保障地铁土建结构安全稳定。持续优化裂缝控制策略,有助于提升地铁建设整体水平,为城市交通发展提供坚实支撑。

参考文献

- [1]马世洲.地铁土建结构施工中的混凝土裂缝控制分析[J].装饰装修天地,2023(17):184-186.
- [2]慕踊前.城市地铁工程土建施工中的混凝土裂缝控制要点分析[J].大众标准化,2025(2):22-24.
- [3]刘慧,钟鸣.地铁土建工程施工混凝土裂缝控制探究[J].大众标准化,2023(9):85-87.
- [4]张岳.地铁土建工程施工混凝土裂缝控制探究[J].电脑爱好者(普及版)(电子刊),2021(7):1187-1188.
- [5]白中,徐凡.地铁土建工程施工混凝土裂缝控制探究[J].建筑工程技术与设计,2021(12):885.