

城市地铁工程土建施工中的混凝土裂缝控制要点分析

李章晨

合肥市轨道交通集团有限公司，安徽合肥，230000；

摘要：城市地铁工程混凝土结构裂缝问题日益突出，亟待破解。本文围绕城市地铁土建施工这一关键环节，系统剖析了地铁混凝土裂缝的成因机理及危害影响，总结归纳了从原材料选择、配合比设计、施工工艺控制、后期养护等方面预防控制裂缝的要点措施，针对性地提出了推广应用新材料、优化设计、改进施工、加强检测修补等创新性的裂缝治理对策建议。研究成果对指导城市地铁工程混凝土结构裂缝防控，提升工程建设品质具有重要参考价值。

关键词：城市地铁工程；混凝土裂缝；成因机理；危害影响；控制要点；创新对策

DOI：10.6979/3029-2727.24.07.010

随着城市轨道交通建设的快速发展，地铁工程混凝土裂缝问题日益频发，逐渐成为制约工程质量和耐久性的“顽疾”。近年来，国家大力推进新型城镇化和交通基础设施建设，城市地铁作为缓解城市交通压力的重要载体，其建设品质备受关注。为破解地铁混凝土裂缝这一工程难题，本文立足于地铁土建施工阶段，深入分析混凝土裂缝的形成原因和危害影响，总结控制要点，提出创新对策，以期在城市地铁工程高质量建设提供理论指导和实践参考。

1 城市地铁工程中混凝土裂缝形成的主要原因分析

城市地铁工程中，混凝土裂缝问题层出不穷，严重影响工程质量和耐久性。究其原因，既有材料、配合比等内在因素，也有施工、养护等外部诱因。针对这一质量通病，本文将从以下五个方面深入剖析混凝土裂缝的成因机理。

1.1 混凝土材料选择不当引起的裂缝

城市地铁工程对混凝土材料的品质要求极为严格，然而在实际施工中，往往存在着混凝土原材料选择不当的问题。例如，水泥品种与强度等级不符合设计要求，矿物掺合料和外加剂质量不达标，粗细骨料的石质、级配、含泥量等指标控制不严等，都可能导致混凝土内部结构不均匀、强度不足、收缩变形大，最终引发裂缝。此外，部分施工单位为降低成本，使用过期或变质的混凝土材料，也是诱发裂缝的重要原因之一。

1.2 配合比设计不合理导致裂缝产生

混凝土配合比设计的科学性与合理性，直接决定了混凝土性能。在城市地铁工程中，混凝土配合比设计不

合理，如水泥用量过大、水胶比过高、砂石比失调等，会导致混凝土和易性差、强度低、收缩变形大，极易产生裂缝。此外，掺合料和外加剂选用不当或掺量失衡，也会破坏混凝土内部结构，降低混凝土抗裂性能。配合比设计缺乏针对性地考虑施工工艺、环境条件等因素的影响，也可能导致裂缝发生。

1.3 施工工艺及操作不当诱发裂缝

城市地铁工程施工环境复杂，工期紧张，部分施工单位和人员往往存在偷工减料、违章操作等问题，这是导致混凝土裂缝频发的重要原因^[1]。例如，大体积混凝土施工中，混凝土拌合物温度控制不当、运输时间过长，浇筑时振捣不充分、分层厚度过大，或者施工缝处理不当、后浇带留设不合理等，都可能导致混凝土内外温差过大、初凝时间差异明显，引发温度裂缝和沉降裂缝。此外，模板支撑刚度不足、拆模时间不当等，也可能造成结构变形裂缝。

1.4 养护条件及方法控制不当引起的裂缝

混凝土浇筑完成后，科学有效的养护是保障其性能的关键，但在城市地铁施工中，混凝土养护环节往往存在薄弱环节。常见的问题包括：未能及时覆盖混凝土保湿，洒水不及时、不均匀，未严格控制养护用水和环境温度，养护时间不足等。这些问题可能会导致混凝土内外温差过大、水化热聚集、表面失水严重，最终引发温度裂缝和干缩裂缝。此外，冬季施工未采取有效的保温措施，或夏季高温施工缺乏降温手段，也易诱发裂缝。

1.5 其他因素诱发的裂缝

除上述主要原因外，城市地铁工程中还存在其他一些特殊因素诱发混凝土裂缝。例如，地下连续墙施工中，

槽壁坍塌引起新旧混凝土衔接面裂缝；混凝土输送管道堵塞，振动棒使用频率过高导致离析裂缝；施工荷载超出设计值，结构超载开裂；地下水渗漏引起钢筋锈蚀，混凝土受化学侵蚀开裂；地层或基坑变形，结构不均匀沉降诱发裂缝。此外，地铁施工往往穿越复杂地层，周围环境振动干扰大，施工扰动也可能引发裂缝。

2 混凝土裂缝对城市地铁工程的危害分析

混凝土裂缝是城市地铁工程面临的主要质量问题之一，其危害影响广泛而深远。①混凝土裂缝会直接危及地铁结构的安全性能。裂缝的存在破坏了混凝土结构的整体性和协同工作能力，使结构刚度和承载力降低。裂缝处应力集中，在反复荷载作用下，裂缝扩展贯通，可能诱发结构失稳。②混凝土裂缝降低了地铁工程建筑物的耐久性^[2]。裂缝为外界有害介质提供了侵入通道，水、氧、氯离子等穿过裂缝进入混凝土内部，引发钢筋锈蚀、混凝土碳化和冻融等一系列耐久性问题，大大缩短结构使用寿命。③裂缝的存在还会影响地铁工程的正常使用功能。渗漏水进入车站和隧道，积水于轨行区，可能加速轨道和车辆的老化，带来严重的行车安全隐患。④混凝土表面的裂缝也会影响建筑物的整体美观，暴露在公众视野中的车站外观品质受到破坏，损害城市地铁的社会形象。

3 城市地铁工程混凝土裂缝的控制要点

3.1 优选混凝土原材料，提高混凝土抗裂性

城市地铁工程对混凝土材料性能有着严苛要求，优选高品质原材料是提高混凝土抗裂性的前提。首先要科学筛选水泥品种与强度等级，针对地铁工程对混凝土强度、工作性、耐久性等特殊需求，优选低水化热、低收缩、抗渗性能优异的水泥品种，如中热硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥等。其次要优化粗细骨料的质量与级配，选用高强度、高耐磨的砾石和机制砂，控制骨料的颗粒形状、泥块含量和软弱颗粒含量，采用断级配或二元配减少胶凝材料用量，降低收缩变形。再者要选用高效外加剂改善混凝土性能，如减水剂可降低用水量、提高强度，缓凝剂可调节凝结时间、削峰填谷，膨胀剂可补偿收缩、抵消温差应力等。

3.2 优化混凝土配合比设计，提高混凝土抗裂能力

在城市地铁工程中，针对不同结构部位和施工工艺，优化混凝土配合比设计，对提高其抗裂能力至关重要。首先要合理降低水泥用量，选用高性能外加剂，在保证混凝土强度和工作性的前提下，最大限度降低水化热峰值温度，控制温度应力。其次要优化水胶比，在满足强度要求的情况下适当提高水胶比，既可改善混凝土和易

性，又能有效降低自收缩变形^[3]。再者要合理掺加外加剂与掺合料，采用复合掺合料如粉煤灰、矿粉等部分取代水泥，降低水化热；掺加缓凝型减水剂延缓水化进程、均衡温差应力；掺加膨胀剂补偿收缩、减少约束应力。优化配合比设计还应考虑施工工艺的特点，满足大体积混凝土温控和泵送施工的要求。

3.3 严格施工工艺控制，减少裂缝产生

城市地铁施工环境复杂多变，工期紧、强度高，严格控制施工工艺，规范操作行为，是减少混凝土裂缝产生的有效途径。大体积混凝土施工要合理组织，分层浇筑，控制浇筑速度，避免因集中浇筑导致水化热急剧聚集引起裂缝。振捣要分层分段进行，采用间歇式振捣，避免过度振捣引起离析、泌水。模板支撑体系要充分考虑混凝土侧压力、结构自重荷载，确保刚度和稳定性，防止模板变形导致裂缝。露天施工要加强混凝土温度与湿度控制，避免高温暴晒或极端天气下施工，必要时采用冰水降温。后浇带、施工缝等薄弱部位更要精心施工，采取可靠的防裂措施。此外，混凝土结构收缩变形是裂缝的主要诱因，应合理留设伸缩缝，释放约束应力。

3.4 加强施工过程养护，抑制裂缝发展

城市地铁混凝土结构自防水等级高，施工过程中的科学养护对于抑制裂缝发展、改善混凝土性能至关重要。浇筑完毕应及时采取保湿覆盖措施，一般在终凝后12h内开始洒水养护，连续养护时间不少于7d，避免表面失水导致塑性收缩裂缝。拆模时间要严格控制，不宜过早或过晚。拆除模板后应继续采取洒水、覆盖等养护措施，直至混凝土达到设计强度。为防止塑性收缩裂缝，宜在终凝前喷涂养护剂或覆盖塑料薄膜，但要注意与混凝土的相容性^[4]。养护用水温度应控制在比混凝土表面温度低5~10℃，养护环境温度应尽量与混凝土内部温差控制在15℃以内。通过加强养护，提高混凝土内外水分与温度场的均匀性，可有效抑制温度裂缝与干缩裂缝的产生。

4 城市地铁工程混凝土裂缝控制的创新对策及建议

4.1 推广应用抗裂防水新型混凝土材料

针对城市地铁工程混凝土裂缝问题，大力推广应用抗裂防水新型材料势在必行。一方面，可掺加超细矿物掺合料如微硅粉、超细粉煤灰等，填充混凝土孔隙，提高密实度，改善抗渗性；另一方面，可选用抗裂纤维如聚丙烯纤维、钢纤维等，阻止微裂纹扩展，增强混凝土韧性与抗裂性能。此外，添加新型减缩剂、膨胀剂等功能外加剂，可有效补偿收缩变形，释放温度约束应力。鉴于地下工程的特殊性，防水混凝土也应提上日程，通

过掺加防水剂、表面涂刷防水涂料等措施,可最大限度阻止外界水分侵入诱发裂缝。综合利用抗裂防水新材料,量身定制,多管齐下,是控制城市地铁混凝土裂缝的创新途径,值得大力推广应用。

4.2 优化混凝土配合比设计降低裂缝风险

城市地铁工程环境复杂多变,结构荷载形式多样,必须因地制宜优化混凝土配合比设计,才能最大程度降低裂缝风险。对于易发生温度裂缝的大体积混凝土,应采用低水化热配合比,通过降低水泥用量、选用中性或低热水泥等措施,控制内部温升,减小温度梯度;对于易发生收缩裂缝的薄壁构件,应采用低收缩配合比,适当掺加膨胀剂、增大石子用量,以补偿收缩变形;对于要求高强高性能的混凝土,应采用复合掺合料体系,利用矿物掺合料与水泥的互补效应,在改善力学性能的同时提升耐久性。优化配合比设计应立足工程实际,科学权衡强度、工作性、耐久性等性能,最终达到降低裂缝风险的目标。

4.3 改进混凝土浇筑施工工艺控制裂缝

城市地铁混凝土施工对温度、湿度等环境因素极为敏感,必须严格浇筑工艺,创新施工方法,有的放矢地控制裂缝。大体积混凝土施工应合理划分浇筑块体和浇筑层数,控制浇筑速度,避免水化热急剧聚集;采用间歇振捣,防止过度振捣引起离析、泌水;优化模板支撑系统,严防模板变形。侧墙施工应对称分层浇筑,控制层高,采用平板振捣器;顶板施工要结合钢筋排布划分浇筑次序,并合理留设施工缝^[5]。浇筑过程中应实时监测混凝土温度,避免温度应力超限。此外,后浇带、施工缝等薄弱部位更应精益施工,钢筋加密布置,采取可靠的防裂措施。

4.4 强化混凝土养护温控措施防止开裂

混凝土终凝前,应采取洒水、覆盖等保湿养护措施,一般持续不少于7天,必要时可延长至14天以上。夏季施工应搭设遮阳棚,在混凝土表面铺设草席、塑料薄膜等进行隔热,同时采取冷水养护,控制养护水温与环境温度的突变;冬季施工则应在混凝土初凝前采取保温措施,养护水温不宜低于5℃,并控制混凝土内外温差小于15℃。拆模后,应持续采取洒水覆盖等二次养护,

减少内外温差,防止裂缝产生。必要时,还可在终凝前喷涂养护剂,涂刷反射隔热涂料,从而降低表面温度,提高抗裂性。

4.5 加强裂缝检测监控及修补处理力度

面对城市地铁工程不可避免出现的混凝土裂缝,首先,要加强施工全过程的裂缝监测,采用人工巡视、自动化监测等多种手段,及时发现裂缝隐患。针对不同性质、不同程度的裂缝,要分类施策,对症下药。对于表面微小裂缝,可简单采用涂刷、喷涂等封闭处理;对于深层贯穿性裂缝,则应采用环氧树脂灌浆、聚合物砂浆填塞等专业修补措施;对于影响结构安全的严重裂缝,更应开展专项检测评估,视情采取锚固、粘贴、外包等加固措施。同时,还应建立完善的裂缝跟踪监测机制,利用光纤传感、数字图像相关等新技术,动态掌控裂缝发展演化规律,为工程安全运营提供可靠保障。

5 结束语

城市地铁工程混凝土裂缝治理是一项涉及材料、设计、施工、养护等多环节的系统工程,必须统筹兼顾,标本兼治。在新时代背景下推动城市轨道交通高质量发展,离不开对混凝土裂缝防控水平的全面提升。要深入贯彻新发展理念,以创新引领工程建设品质升级,着力破解制约行业发展的质量难题。完善规范标准,加大新技术、新材料、新工艺的研发和推广应用力度,强化裂缝问题的事前预防和事后处置,形成闭环管理,必将有力保障城市地铁工程建设质效,为新时代交通强国建设打下坚实基础。

参考文献

- [1] 鲍青林. 城市地铁工程土建施工中的混凝土裂缝控制要点分析[J]. 流体测量与控制, 2024, 5(02): 37-40.
- [2] 魏阳. 地铁工程混凝土裂缝控制技术探析[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2023, (22): 86-88.
- [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, (09): 85-87.
- [4] 牛亚昆. 地铁土建施工中的混凝土裂缝控制[J]. 建筑技术开发, 2022, 49(04): 149-151.
- [5] 卢淼. 关于地铁土建工程施工混凝土裂缝控制研究[J]. 居业, 2020, (05): 63-64.