

铁路桥梁大体积混凝土结构防裂分析

陈 诚

西成铁路客运专线陕西有限责任公司 陕西 西安 710000

摘 要：铁路桥梁大体积混凝土结构防裂是工程建设中的重要环节。由于水泥水化热等因素，大体积混凝土易产生温度梯度和应力集中，从而导致开裂。为确保结构安全和耐久性，需从原材料选择、配合比设计、施工工艺及温控措施等多方面入手，采取综合防裂策略。通过选用低水化热水泥、优化骨料级配、添加适宜掺合料及外加剂，并严格控制施工工艺和温度变化，可有效减少裂缝产生，提高工程质量。这些措施对于铁路桥梁的长期安全运营至关重要。

关键词：铁路桥梁；大体积混凝土；结构防裂

引言：铁路桥梁作为支撑国家交通命脉的关键工程，其大体积混凝土结构的稳定性与耐久性直接关乎交通安全与经济发展。然而，大体积混凝土因其特殊的物理特性，易在复杂环境条件下产生裂缝，对桥梁的承载能力和使用寿命构成严重威胁。本文深入分析铁路桥梁大体积混凝土裂缝的成因，从材料科学、结构设计、施工工艺及温控技术等多维度探讨防裂策略，旨在提出一套科学、系统的防裂措施，以提升铁路桥梁的建造质量与安全性能，为交通运输事业的蓬勃发展贡献力量。

1 大体积混凝土裂缝概述

1.1 裂缝定义与分类

大体积混凝土，作为现代土木工程中不可或缺的一部分，广泛应用于铁路桥梁、高层建筑、大型水利设施等领域。然而，由于其特有的体积庞大、水泥水化热高等特点，裂缝问题成为了制约其性能发挥和长期耐久性的关键因素。大体积混凝土裂缝，简而言之，是指混凝土结构体在内外因素作用下产生的不连续、开裂现象，这些裂缝可能贯穿整个截面，也可能仅在表面或内部局部出现。根据裂缝的不同特征，可以对其进行多角度的分类。（1）从裂缝的宽度来看，可以将其分为微裂缝、细裂缝、中裂缝和宽裂缝。微裂缝宽度极小，通常小于0.05mm，肉眼难以察觉，但会对混凝土的渗透性产生影响；细裂缝宽度在0.05mm至0.2mm之间，可通过放大镜等工具进行观察；中裂缝宽度介于0.2mm至0.5mm，对结构性能已产生一定影响；而宽裂缝宽度大于0.5mm，往往对结构安全构成直接威胁。（2）从裂缝的长度和深度来看，可分为表面裂缝、深层裂缝和贯穿裂缝。表面裂缝仅局限于混凝土表面，对结构整体性影响较小，但可能影响美观性和耐久性；深层裂缝则深入到混凝土内部一定深度，可能影响结构的力学性能和耐久性；贯穿裂缝则完全贯穿混凝土截面，对结构的整体性和承载能力构

成严重威胁。（3）根据裂缝在结构中的位置，还可以分为梁板裂缝、柱体裂缝、基础裂缝等。这些裂缝不仅影响结构的美观性，更重要的是对结构的安全性、稳定性和耐久性产生深远影响。

1.2 裂缝的危害性

大体积混凝土裂缝对铁路桥梁结构的影响和危害是多方面的，具体表现在以下几个方面：（1）裂缝对结构安全构成直接威胁。裂缝作为混凝土结构的薄弱环节，容易成为应力集中的区域，导致裂缝进一步扩大和发展。在极端荷载或不利环境因素作用下，裂缝可能成为结构破坏的起点，进而引发整个结构的垮塌或失效。这不仅会造成巨大的经济损失，还会对人民群众的生命安全构成严重威胁。（2）裂缝对结构的耐久性产生不利影响。裂缝的存在会加速水分、氧气、二氧化碳等有害物质的侵入，导致钢筋锈蚀、混凝土碳化等耐久性问题。这些问题会进一步削弱结构的力学性能，缩短结构的使用寿命。同时，裂缝还会增加结构维护的难度和成本，给后期的运营管理带来诸多不便^[1]。（3）裂缝对结构的使用功能造成影响。对于铁路桥梁而言，裂缝可能导致桥面不平整、车辆行驶舒适度下降等问题。在极端情况下，裂缝还可能导致桥面渗水、漏风等问题，严重影响桥梁的通行能力和服务质量。（4）裂缝还会对结构的美观性造成负面影响。在视觉上，裂缝破坏了混凝土结构的整体性和协调性，影响了建筑物的美观效果。这对于追求高品质、高标准的现代工程项目而言，显然是不可接受的。因此，针对大体积混凝土裂缝问题，必须采取有效的预防和控制措施，从材料选择、设计优化、施工控制等多个方面入手，确保

2 铁路桥梁大体积混凝土裂缝形成原因分析

2.1 自身原因

（1）水泥水化热。水泥水化热是导致大体积混凝土

内部温度升高的主要因素。在混凝土浇筑后,水泥与水发生化学反应,释放出大量热能。由于混凝土导热性能差,且大体积混凝土体积庞大,热量难以迅速散发到外界环境中,导致混凝土内部温度急剧上升,与外部形成显著温差。这种温差效应使得混凝土内部产生热应力,当热应力超过混凝土的抗拉强度时,就会引发温度裂缝。此外,温度梯度还会引起混凝土的非均匀变形,进一步加剧裂缝的产生和发展。(2)收缩变形。混凝土在硬化过程中会经历多种收缩变形,包括干燥收缩、塑性收缩和自身收缩等。干燥收缩是指混凝土在失水过程中产生的体积缩小现象。当混凝土表面水分蒸发速度过快时,会形成较大的收缩应力,若得不到内部混凝土的约束,就会产生表面裂缝。塑性收缩发生在混凝土初凝前后,此时混凝土强度较低,若遇到高温、大风等不利条件,混凝土表面水分迅速蒸发,体积急剧收缩,从而产生塑性裂缝。自身收缩则是由于水泥水化过程中固相体积减小而引发的收缩,它不受外界条件影响,但会在一定程度上加剧混凝土的收缩变形。(3)原材料与配合比。原材料的质量和配合比也是影响大体积混凝土裂缝形成的重要因素。水泥的品种、强度等级和用量直接影响水化热的多少和混凝土的收缩性能。骨料(砂、石)的级配、粒径和含泥量会影响混凝土的密实度和工作性。水灰比是影响混凝土强度和耐久性的关键因素,水灰比过大会导致混凝土强度降低、干缩变形增大。此外,掺合料(如粉煤灰、矿粉等)和外加剂(如减水剂、缓凝剂等)的使用也会在一定程度上改变混凝土的性能,从而影响裂缝的形成^[2]。

2.2 外部原因

(1)施工条件。施工条件对大体积混凝土裂缝的形成具有重要影响。施工环境中的温度、湿度、风速等气候因素会直接影响混凝土的硬化过程和性能表现。例如,在高温环境下施工,混凝土的水化热效应会更加显著,内外温差增大,容易引发温度裂缝。同时,高温还会加速混凝土表面水分的蒸发速度,增加干燥收缩的风险。此外,施工工艺的选择和执行也是影响裂缝形成的关键因素。浇筑方法、振捣方式、养护措施等都会对混凝土的密实性、均匀性和性能产生影响。(2)人为因素。人为因素在裂缝的预防与控制中扮演着重要角色。施工人员的技术水平直接影响施工质量的好坏。技术水平高的施工人员能够熟练掌握施工工艺要点,减少人为操作失误,从而降低裂缝产生的风险。施工组织管理水平也是影响裂缝预防与控制的重要因素。科学合理的施工组织设计能够合理安排施工顺序和进度计划,减少因

施工不当而导致的裂缝问题。同时,建立完善的质量控制体系能够及时发现并纠正施工过程中的质量问题,确保混凝土的施工质量和性能满足设计要求。然而,在实际工程中,由于施工人员技术水平参差不齐、施工组织管理水平不高、质量控制体系不完善等问题时有发生,导致裂缝问题难以得到有效控制。

3 铁路桥梁大体积混凝土结构防裂措施

3.1 材料选择与优化

(1)选择低水化热水泥。水泥是水化热的主要来源,因此选择低水化热水泥是减少大体积混凝土内部温升、降低温度裂缝风险的有效手段。矿渣水泥、火山灰水泥等低水化热品种由于水化反应较为平缓,放热量较少,且后期强度发展稳定,特别适用于大体积混凝土结构。通过选用这类水泥,可以在一定程度上控制混凝土的内部温升,减小因温差引起的热应力,从而降低温度裂缝的发生概率。(2)优质骨料与掺合料。骨料是混凝土的重要组成部分,其质量和级配对混凝土的力学性能和耐久性有着重要影响。选用级配良好的粗骨料和中粗砂,可以提高混凝土的密实度和抗渗性,减少因干缩和温度变化引起的裂缝。此外,适量掺入粉煤灰、矿粉等掺合料,不仅可以替代部分水泥,降低水化热,还能改善混凝土的工作性和后期性能。粉煤灰等掺合料中的活性成分还能与水泥水化产物发生二次水化反应,进一步细化混凝土内部的孔隙结构,提高混凝土的抗裂性^[3]。(3)外加剂使用。外加剂在混凝土中的应用越来越广泛,其种类繁多,功能各异。在防止大体积混凝土裂缝方面,减水剂和缓凝剂发挥着重要作用。减水剂能够显著降低混凝土的水灰比,提高混凝土的强度和密实性,同时减少收缩变形。缓凝剂则能够延缓水泥的水化速度,使混凝土在较长时间内保持塑性状态,便于施工和振捣,减少因塑性收缩引起的裂缝。此外,引气剂、膨胀剂等外加剂也能在一定程度上改善混凝土的抗裂性能。

3.2 施工过程控制

(1)混凝土拌制与运输。混凝土拌制过程中应严格控制原材料的计量精度和拌合时间,确保拌合物均匀一致。同时,应注意控制拌合物的温度,避免在高温时段进行拌制作业,必要时可采取加冰、冷水搅拌等措施降低拌合物温度。在运输过程中,应采取必要的保温隔热措施,防止拌合物温度过快上升或下降,造成混凝土性能变化。此外,还应避免混凝土在运输过程中出现离析、灰浆流失等现象,确保混凝土的质量。(2)浇筑与振捣。大体积混凝土的浇筑应采用分层浇筑、分段推进的方式进行,每层厚度不宜过大,以便于散热和振捣。

在浇筑过程中,应严格控制浇筑速度,避免产生过大的浇筑冲击力。同时,应采用机械振捣器进行充分振捣,以提高混凝土的密实度和均匀性。振捣时应遵循“快插慢拔、均匀振捣”的原则,避免漏振或过振导致的混凝土内部缺陷。此外,还应注意观察混凝土表面的气泡和浮浆情况,及时调整振捣方式和时间。(3)养护与拆模。养护是防止大体积混凝土裂缝的关键环节之一。养护期间应保持混凝土表面湿润,避免阳光直射和风吹雨淋。养护时间应根据混凝土的强度等级、环境条件等因素确定,一般不少于14天。在养护过程中,应定期检查混凝土表面的温度和湿度变化,及时调整养护措施。拆模时间应根据混凝土的强度发展情况和温度变化来确定,过早拆模可能会导致混凝土表面开裂。因此,在拆模前应进行必要的强度试验和温度测量,确保混凝土已达到足够的强度并控制好内外温差^[4]。

3.3 设计与技术措施

(1)合理设计结构形式。在铁路桥梁大体积混凝土结构的设计中,合理的结构形式是预防裂缝产生的关键。首先,应尽量减少不必要的棱角和突变截面,因为这些区域往往是应力集中的地方,容易产生裂缝。通过优化结构布局,采用流线型或圆滑过渡的设计,可以有效分散应力,降低裂缝风险。其次,优化钢筋配置也是提高结构整体抗裂性的重要手段。在关键部位如底部、转角处和孔洞周围,应适当增加钢筋的数量和密度,以增强混凝土的抗裂能力。同时,采用合理的钢筋排列方式,如双向配筋、加强层间连接等,可以提高结构的整体刚度和稳定性,减少裂缝的产生和发展。(2)埋设冷却水管。针对大体积混凝土内部温升较高的问题,可以在结构中埋设冷却水管进行循环水冷却。冷却水管应根据结构尺寸和形状合理布置,确保水流能够覆盖整个需要降温的区域。在混凝土浇筑前,先将冷却水管固定在预定位置,并检查其密封性和水流通道是否畅通。在混凝土浇筑后,立即启动冷却系统,通过循环水带走混

土内部的热量,降低内部温度,控制内外温差在合理范围内,从而防止温度裂缝的产生。(3)监测与预警。为了及时发现并处理大体积混凝土结构中的裂缝问题,应设置完善的监测与预警系统。首先,在混凝土浇筑过程中和养护期间,应定期测量混凝土内部的温度和应力状态,以了解混凝土的实时性能变化。可以通过设置温度传感器和应力应变监测装置来实现这一目的。这些数据可以实时传输到监测中心进行分析处理,一旦发现异常情况立即发出预警信号。其次,在结构运营阶段也应持续进行监测。通过定期检查混凝土表面的裂缝情况、测量结构的变形和应力分布等指标来评估结构的健康状况。一旦发现裂缝或其他潜在问题应及时采取措施进行处理和修复,防止问题扩大化影响结构的安全性和耐久性。

结束语

本文通过对铁路桥梁大体积混凝土结构防裂的深入分析,明确了裂缝成因的多样性及复杂性,并系统阐述了从材料选择、设计优化、施工控制到后期监测与维护的全面防裂策略。这些措施不仅有助于提高铁路桥梁的承载能力和耐久性,更是确保结构安全、延长使用寿命的关键。未来,随着材料科学、施工技术的不断进步,铁路桥梁大体积混凝土结构的防裂技术将更加成熟,为构建更加安全、高效的交通网络奠定坚实基础。我们期待通过持续的研究与实践,推动防裂技术的创新发展,为交通运输事业贡献更多智慧与力量。

参考文献

- [1]李荣荣,朱久权.大体积混凝土的温控防裂技术[J].广东建材,2020,(05):36-37.
- [2]张小江.大体积混凝土施工温度裂缝防控[J].工程建设与设计,2019,(16):164-165.
- [3]先杰.大体积混凝土温控分析及防裂技术措施[J].珠江水运,2021,(14):104-105.
- [4]熊良贵.大体积混凝土温控防裂措施在道桥工程中的应用[J].黑龙江交通科技,2020,(09):112-113.