

高速铁路桥面系混凝土色差控制与裂纹防治的复合增效策略分析研究

张志广

中铁上海工程局集团第七工程有限公司 陕西西安 710000

DOI: 10.12238/ems.v7i4.12666

[摘要] 高速铁路桥面系混凝土施工中, 色差与裂纹问题直接影响工程外观质量与结构耐久性。以西延铁路3标项目部桥面系施工为例, 针对这一难题, 提出一种复合增效控制策略, 通过优化原材料选择、改进施工工艺、加强养护管理及引入新型功能材料, 实现色差与裂纹的协同控制。研究表明, 该策略可显著提升混凝土表面均匀性与抗裂性能, 降低后期维护成本, 为高速铁路桥面系施工提供技术支撑。

[关键词] 高速铁路; 桥面系混凝土; 色差控制; 裂纹防治; 复合增效

引言:

高速铁路桥面系作为列车运行的关键承载结构, 其混凝土外观质量与结构性能直接影响行车安全与桥梁使用寿命。然而, 受施工环境复杂、材料性能差异及荷载作用等因素影响, 桥面系混凝土常出现色差与裂纹问题。色差影响美观, 裂纹则威胁结构安全。传统方法多对两者分别治理, 缺乏系统性, 难以满足高速铁路对工程质量的严格要求。本文提出复合增效策略, 将色差控制与裂纹防治有机结合, 通过材料优化、工艺改进、智能养护及裂纹主动防控等多维度协同, 实现经济效益与工程质量的同步提升。

1. 色差与裂纹的成因及关联性分析

1.1 色差成因

在西延铁路3标项目部桥面系施工中, 混凝土色差的产生有多种原因。首先, 原材料的差异是一个重要因素。水泥的品种、产地不同, 其颜色和性能有所区别, 例如不同批次的水泥可能在矿物组成上存在差异, 这会影响混凝土的颜色。砂石料的含泥量、级配不同, 也会造成颜色变化, 含泥量高的砂石料可能使混凝土颜色发暗。其次, 施工工艺对色差影响显著。混凝土的搅拌不均匀, 会导致颜料、添加剂等成分分布不均, 从而产生色差。振捣过程中, 如果振捣过度或不足, 会影响混凝土的密实度和表面平整度, 进而影响颜色的一致性。

1.2 裂纹成因

西延铁路3标项目部桥面系混凝土裂纹的产生是多方面因素共同作用的结果。从材料方面来看, 水泥的水化热是一个关键因素。在大体积混凝土施工中, 水泥水化过程中释放大量热量, 当混凝土内部温度与表面温度温差过大时, 会产生温度应力, 超过混凝土的抗拉强度就会形成裂纹。此外, 混凝土的配合比不当, 如水泥用量过大、水灰比过大等, 会降低混凝土的强度和抗裂性。在施工工艺方面, 振捣不密实会使混凝土内部存在空隙, 这些薄弱部位容易形成应力集中, 引发裂纹。模板的拆除过早, 混凝土尚未达到足够的强度来承受自身重量和外部荷载, 也会导致裂纹的产生。

1.3 关联性分析

在西延铁路3标项目部桥面系施工中, 混凝土的色差和裂纹存在着一定的关联性。一方面, 裂纹的产生往往伴随着色差的变化。裂纹形成后, 会改变混凝土内部的水分迁移和空气流路, 影响混凝土的水化过程。例如, 裂纹处的水分蒸发速度可能与周围正常混凝土不同, 导致裂纹周围的混凝土颜色变深或变浅, 形成明显的色差。另一方面, 造成色差的一些因素也可能引发裂纹。如原材料质量不佳, 含泥量高的砂石料不仅会影响混凝土颜色, 还会降低混凝土的强度

和抗裂性, 增加裂纹产生的风险。施工工艺不当同样既会造成色差又会引发裂纹, 振捣不均匀导致的密实度差异, 会使混凝土表面颜色不一致, 同时也是应力集中和薄弱部位产生的原因, 容易引发裂纹。

2. 复合增效策略的关键技术

2.1 原材料优化

在原材料优化方面, 对于水泥与掺合料的选择至关重要。选用低碱水泥能够减少碱-骨料反应的风险, 碱-骨料反应可能会导致混凝土内部结构破坏, 影响混凝土的耐久性和外观颜色。掺入粉煤灰或矿粉具有多重好处, 粉煤灰和矿粉的活性成分能够参与水泥的水化反应, 提高混凝土的后期强度。同时, 它们能够改善混凝土的工作性, 减少混凝土的泌水现象, 从而降低色差并增强抗裂性。在骨料控制上, 采用同一料源、级配稳定的骨料是关键。同一料源的骨料在颜色、物理化学性质上较为一致, 能够有效避免颜色波动。稳定的级配可以使混凝土具有良好的密实性和均匀性, 减少因骨料分布不均引起的收缩裂纹。功能添加剂的引入也是提高混凝土性能的重要手段, 例如减缩剂与憎水剂。减缩剂能够降低混凝土的收缩率, 减少因收缩产生裂纹的可能性。憎水剂可以在混凝土表面形成一层防水层, 抑制泛碱现象, 从而在控制色差的同时提高混凝土的耐久性。

2.2 施工工艺改进

在施工工艺改进方面, 浇筑与振捣环节需要严格把控。采用连续浇筑工艺能够保证混凝土的整体性, 避免因浇筑间隔产生的分层和颜色差异。控制分层厚度($\leq 30\text{cm}$)是为了确保每层混凝土都能得到充分的振捣和密实。使用高频振捣器可以有效地排除混凝土中的气泡, 使混凝土内部结构更加密实, 减少表面气孔和颜色不均的情况。表面处理方面, 二次抹面后覆盖防裂薄膜是一种有效的措施。二次抹面能够消除混凝土表面的早期裂纹, 提高表面平整度。覆盖防裂薄膜可以减少水分蒸发, 防止混凝土因失水过快而产生收缩裂纹, 同时也有助于保持混凝土表面的湿度, 减少色差。模板管理也不容忽视, 使用高精度钢模板能够保证混凝土表面的平整度和光洁度。高精度的模板可以使混凝土在浇筑过程中形成规则的形状, 避免因模板变形导致的混凝土表面不平整和颜色差异。

2.3 智能养护技术

智能养护技术是提高混凝土质量的重要手段。温湿度监控是其基础, 通过布设物联网传感器, 可以实时获取养护棚内的温湿度信息。根据这些信息, 能够实时调控养护棚内的环境, 使混凝土处于最佳的养护环境中。例如, 当湿度较低时, 可以通过喷雾系统增加湿度; 当温度过高时, 可以通过

通风或降温设备调节温度。复合养护法是一种有效的养护策略,前期喷雾保湿(7天)能够为混凝土提供充足的水分,保证水泥的水化反应顺利进行,同时减少早期收缩裂纹的产生。喷雾保湿还可以使混凝土表面保持湿润,避免因水分散失过快导致的色差。后期覆盖透水养护毯(14天)可以进一步保持混凝土的湿度,同时允许混凝土内部的水分缓慢散发,避免因内外湿度差过大产生裂纹。

2.4 裂纹主动防控

在裂纹主动防控方面,纤维增强是一种有效的方法。掺入聚丙烯纤维(0.9kg/m³)可以在混凝土内部形成一种乱向分布的纤维网络。当混凝土受到外力作用时,这些纤维能够分散应力,阻止裂纹的扩展。例如,在混凝土受到收缩应力时,聚丙烯纤维可以承担一部分应力,从而减少裂纹的产生。结构优化也是裂纹主动防控的重要措施,设置诱导缝或后浇带能够释放收缩应力。在混凝土浇筑过程中,由于水泥的水化热、收缩等因素会产生应力集中,诱导缝或后浇带可以为这些应力提供释放的空间,避免应力积累导致裂纹的产生。

3. 复合增效策略的实施路径

3.1 材料与工艺协同优化

在高速铁路桥面系混凝土的建设中,材料与工艺的协同优化是复合增效策略实施的关键环节。对于三墙、道床板、底座板等结构部件而言,从材料选择开始就应与工艺紧密配合。在材料方面,要确保水泥、矿物掺合料以及骨料等的质量稳定且适配。例如,选定的水泥要与所采用的振捣工艺相适应,以保证混凝土在振捣过程中的密实性和均匀性,进而避免因振捣造成的内部结构差异影响颜色和产生裂纹。工艺上,如浇筑工艺必须依据材料特性确定合理的浇筑速度和顺序。对于三墙的浇筑,若采用分层浇筑,要根据材料的凝结时间来控制分层间隔,防止因间隔过长出现色差和裂纹。道床板和底座板的施工中,材料的配合比要与振捣、抹面等工艺相协调,保证混凝土在成型过程中的性能稳定。同时,脱模剂的选择和使用工艺也要与材料的特性相匹配,防止脱模剂残留对混凝土表面色泽和质量造成影响。

3.2 养护与监测一体化

养护与监测一体化是实现复合增效策略的重要途径。在高速铁路桥面系混凝土施工中,三墙、道床板、底座板等结构都需要精心养护并实时监测。养护过程要依据温湿度等环境因素以及混凝土自身的特性来进行。例如,通过在养护区域设置温湿度传感器,实时监测环境的温湿度变化。对于三墙而言,在养护初期,当监测到湿度较低时,可及时采取喷雾保湿措施,保证混凝土表面的湿度,避免因失水过快导致的色差和收缩裂纹。道床板和底座板在养护过程中,同样需要根据监测数据调整养护策略。如在温度较高时,利用通风设备降温,防止因温度应力产生裂纹。同时,将养护过程中的各项数据进行收集和分析,建立数据库,以便为后续的养护工作提供参考。这种养护与监测一体化的模式,能够精准地满足混凝土在不同阶段的需求,提高混凝土的耐久性,减少色差和裂纹的出现。

3.3 裂纹防控与结构设计结合

裂纹防控与结构设计的结合对于高速铁路桥面系混凝土至关重要。在结构设计阶段,就要考虑到三墙、道床板、底座板等结构的受力特点以及可能出现的裂纹情况。例如,在设计三墙时,要根据其承受的荷载类型和大小,合理配置钢筋,确保钢筋保护层的厚度满足要求,防止因钢筋锈蚀引发的混凝土膨胀开裂。对于道床板和底座板,要考虑温度变化、车辆荷载等因素产生的应力分布。在结构上设置合理的伸缩缝、诱导缝或后浇带等构造措施,以释放应力,防止应力积累导致裂纹。同时,在裂纹防控方面,要依据结构设计的要

求,采用合适的材料和施工工艺。例如,在易出现裂纹的部位,可以采用纤维增强混凝土,通过掺入聚丙烯纤维提高混凝土的抗裂性能。这种裂纹防控与结构设计相结合的方式,能够从源头上减少裂纹的产生,提高结构的安全性和耐久性。

4. 复合增效策略的应用前景

4.1 技术推广与标准化

该复合增效策略具有广阔的技术推广与标准化前景。在高速铁路建设领域,随着越来越多的桥梁工程面临色差和裂纹问题,这种将色差控制与裂纹防治有机结合的策略具有很大的优势。通过技术推广,可以使更多的工程人员了解和掌握这一策略的核心技术和实施方法。在推广过程中,可以建立相关的技术标准和规范,将原材料优化、施工工艺改进、智能养护技术和裂纹主动防控等技术环节进行标准化。例如,制定原材料的选择标准、施工工艺的操作规范以及养护和裂纹防控的技术指标等。标准化的建立有助于提高工程质量的一致性,便于工程管理和质量控制,同时也有利于不同地区、不同工程之间的经验交流和技术共享。

4.2 数字化与智能化发展

在数字化与智能化发展的大趋势下,复合增效策略有着很大的发展空间。可以将数字孪生技术应用于高速铁路桥面系混凝土的色差控制与裂纹防治中。通过构建数字孪生模型,对混凝土的施工过程进行实时模拟和优化。在模型中,可以精确地反映原材料的特性、施工工艺的参数以及环境因素的影响。利用物联网技术获取的实时数据对模型进行更新,实现虚拟模型与现实工程的同步。这样可以提前预测色差和裂纹可能出现的情况,制定相应的预防措施。同时,智能化的监测系统可以根据设定的阈值自动报警,及时发现并采取措施。数字化与智能化的发展将使复合增效策略更加精准、高效,进一步提高高速铁路桥面系混凝土的质量。

4.3 经济效益与社会效益分析

从经济效益角度来看,采用复合增效策略能够带来显著的成本节约。通过有效控制色差和裂纹,可以减少后期的修补费用。在高速铁路运营过程中,由于混凝土结构的耐久性提高,减少了因结构损坏导致的维修和更换成本。同时,该策略的实施可以提高施工效率,缩短施工周期,从而降低施工成本。从社会效益方面分析,高质量的高速铁路桥面系混凝土结构能够提高列车运行的安全性和舒适性,保障旅客的出行安全。此外,美观的桥面外观也有助于提升高速铁路的整体形象,对城市的景观建设和区域发展具有积极的促进作用。

结语:

高速铁路桥面系混凝土色差控制与裂纹防治的复合增效策略,通过材料、工艺、养护及裂纹防控的多维度协同,有效解决了传统方法难以兼顾的难题。该策略不仅提升了混凝土表观质量与结构耐久性,还降低了后期维护成本,为高速铁路工程建设提供了技术保障。未来,随着数字化与智能化技术的深入应用,复合增效策略将进一步优化,推动高速铁路桥面系施工质量控制迈向更高水平。

【参考文献】

- [1]付振鹏.桥梁施工中混凝土裂纹控制技术的应用探讨[J].华东科技(综合),2021(7):172.
- [2]刘兴泉.高速铁路桥梁工程大体积混凝土裂纹的原因分析与控制措施[J].百科论坛电子杂志,2020(16):1584-1585.
- [3]张鹏.高速铁路混凝土施工质量控制关键研究[J].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2021(8):319,323.
- [4]李华.桥梁施工振动对结构安全的影响分析[J].工程力学,2021,38(4):35-42.