

桥梁箱梁施工中裂缝控制技术分析

张志雷

山西省公路局晋城分局 山西 晋城 048000

摘要: 随着交通建设步伐加快,桥梁箱梁施工数量增多,裂缝问题愈发凸显。本文围绕桥梁箱梁施工中的裂缝控制技术展开深入探讨。首先对桥梁箱梁施工中裂缝控制进行概述,强调其重要性。接着详细剖析施工中常见的裂缝类型,包括塑性收缩裂缝、干缩裂缝、温度裂缝和荷载裂缝,并阐述各类裂缝的形成原因。在此基础上,重点研究分析裂缝控制的关键技术,涵盖材料性能优化、施工工艺改进、温度应力控制以及环境适应性设计等方面。旨在为桥梁箱梁施工提供全面、有效的裂缝控制方案,提升桥梁建设质量,保障桥梁结构的安全性与耐久性。

关键词: 桥梁箱梁; 裂缝控制; 技术分析

引言: 在交通基础设施建设蓬勃发展的当下,桥梁作为重要的交通枢纽,其建设质量备受关注。桥梁箱梁作为桥梁的关键承重结构,其施工质量直接影响桥梁的整体安全性能与使用寿命。然而,在箱梁施工过程中,裂缝问题屡见不鲜,不仅影响桥梁的美观,更会削弱结构的强度和刚度,降低桥梁的质量,给桥梁的安全运营带来严重威胁。裂缝的产生是多种因素共同作用的结果,涉及材料、施工工艺、环境条件等多个方面。因此,深入分析桥梁箱梁施工中的裂缝类型及成因,并探索有效的裂缝控制技术,具有重要的现实意义。

1 桥梁箱梁施工中裂缝控制的概述

桥梁箱梁作为现代桥梁工程中广泛采用的结构形式,其施工质量的优劣直接影响桥梁的整体性能与使用安全。裂缝控制是桥梁箱梁施工中的关键环节,对保障桥梁结构稳定性、耐久性起着决定性作用。在桥梁箱梁施工阶段,裂缝的产生是多种因素共同作用的结果。从材料层面看,混凝土原材料质量不佳、配合比设计不合理,会导致混凝土强度、抗裂性等性能指标不达标,进而引发裂缝。施工工艺方面,浇筑、振捣、养护等环节操作不当,如浇筑不连续、振捣不密实、养护不及时或养护方法错误,都可能使箱梁内部产生应力集中或收缩变形,形成裂缝。此外,温度变化产生的温度应力也不容忽视,昼夜温差、季节温差以及混凝土水化热等因素,会使箱梁产生温度变形,当变形受到约束时,就会产生温度裂缝。裂缝的出现不仅会降低箱梁的承载能力,影响桥梁的安全运营,还会加速钢筋锈蚀,缩短桥梁的使用寿命。因此,在桥梁箱梁施工过程中,必须高度重视裂缝控制工作,综合运用材料优化、工艺改进、温度应力控制等多种技术手段,有效预防和减少裂缝的产生,确保桥梁箱梁的施工质量与安全^[1]。

2 桥梁箱梁施工中产生的裂缝类型及形成原因

2.1 塑性收缩裂缝

如山西某公路大桥施工中,箱梁顶板在浇筑后4小时内出现塑性收缩裂缝。此类裂缝多因高温时段混凝土表层水分蒸发速率远超泌水补充能力,导致骨料下沉受阻。该桥顶板浇筑时气温 $>30^{\circ}\text{C}$,未及时覆盖保湿,表层水分蒸发速率达 $0.5\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,远超规范允许的 $\leq 0.3\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,在钢筋密集区形成沿主筋方向的细小龟裂,裂缝宽度 $0.1\text{--}0.3\text{mm}$ 。此类裂缝多呈网状分布,深度较浅,但暴露了施工期间保湿措施不足的问题。预防需控制水灰比 ≤ 0.45 ,采用二次振捣工艺消除泌水通道,并在浇筑后6小时内覆盖塑料薄膜保湿,避免阳光直射加速水分蒸发。

2.2 干缩裂缝

如山西某高架桥满堂支架现浇箱梁施工中,顶板在浇筑完成3天后出现干缩裂缝。此类裂缝源于混凝土硬化后表层收缩率(0.03%)远超内部(0.01%),在约束条件下产生拉应力。该桥顶板采用C50混凝土,养护期仅3天(规范要求 ≥ 7 天),表层干缩速率过快,导致横隔梁两侧出现宽度 $0.05\text{--}0.2\text{mm}$ 的网状裂缝,深度 $10\text{--}20\text{mm}$ 。此类裂缝多沿截面高度方向分布,暴露了养护不足的问题。防治需掺入聚丙烯纤维($0.9\text{kg}/\text{m}^3$)抑制收缩,采用喷淋养护系统保持湿度 $\geq 90\%$,并延长养护期至14天。例如,某大桥维修中通过注胶封闭裂缝后,增设2层碳纤维布($300\text{g}/\text{m}^2$)增强抗裂能力,有效控制了干缩裂缝扩展。

2.3 温度裂缝

如山西某大桥合拢后,跨中底板因水化热导致温度裂缝。该桥采用C50高强混凝土,内部温度峰值达 70°C ,而表层仅 25°C ,温差 45°C (规定内表温差 $\leq 25^{\circ}\text{C}$)引发拉应力超限。裂缝宽度 $0.3\text{--}0.8\text{mm}$,延伸长度超 3m ,暴露

了温控措施不足的问题。预防需埋设冷却水管控制内部温度 $\leq 70^{\circ}\text{C}$ ，拆模后立即覆盖岩棉被保温，并设置温度传感器实时监测。例如，某大桥通过优化配合比（掺30%粉煤灰）降低水化热，结合分层浇筑工艺，将温度裂缝减少60%。此外，山西地区昼夜温差大，施工期需加强混凝土表面保温，确保混凝土表面与大气温差 $\leq 20^{\circ}\text{C}$ ，避免温度梯度过大导致裂缝^[2]。

2.4 荷载裂缝

如山西某重载交通桥梁运营5年后，跨中底板出现U形荷载裂缝。原设计荷载标准为公路-I级，但实际超载车辆占比30%，导致跨中弯矩超设计值45%。裂缝宽度0.5-1.2mm，深度达钢筋保护层厚度，暴露了设计荷载与实际需求不匹配的问题。防治需强化设计阶段荷载组合验算（考虑1.4倍荷载冲击系数），并设置限载标识。此外，山西地区重载车辆多，需加强桥梁定期检测，及时发现并处理荷载裂缝，避免安全隐患。

3 桥梁箱梁施工中裂缝控制技术分析

3.1 材料性能优化技术分析

在桥梁箱梁施工中，材料性能优化是控制裂缝的核心关键技术，对保障箱梁结构安全与耐久意义重大。(1)水泥的合理选用：对于大体积箱梁混凝土，应优先选用低热水泥。通过对比使用普通水泥和低热水泥的箱梁段，发现使用低热水泥的箱梁段内部最高温度比使用普通水泥的降低了5-8 $^{\circ}\text{C}$ 。这是因为低热水泥的水化热较低，能有效降低混凝土内部温度，减少因内外温差过大引发的温度裂缝。同时，严格把控水泥的质量，对每批进场的水泥进行检验，确保其各项指标符合标准要求，避免了因水泥质量问题导致混凝土性能不佳，进而产生裂缝。(2)骨料的质量把控与级配优化：可选用质地坚硬、级配良好的骨料。对粗骨料的最大粒径进行了严格控制，使其不超过钢筋最小净距的3/4和构件截面最小尺寸的1/4。细骨料的细度模数宜控制在2.3-3.0之间，含泥量不超过2%。通过这样的级配优化，减少了混凝土内部孔隙，降低了收缩裂缝产生的机率。经检测，优化级配后的混凝土密实性提高了10%左右。(3)外加剂与掺合料的科学使用：可掺入适量的减水剂和粉煤灰。通过控制减水剂的掺量为水泥用量的0.5%-1.5%，能够减少用水量，提高混凝土强度，同时能够改善其工作性，降低其收缩裂缝风险。通过控制粉煤灰的掺量为水泥用量的20%-30%，能够改善混凝土内部结构，增强其密实度，抑制其裂缝发展。通过合理配比外加剂与掺合料，进一步提升了混凝土的综合性能，有效控制了箱梁裂缝。经试验对比，添加外加剂和掺合料后的混凝土抗裂性能提高了15%-

20%^[3]。

3.2 施工工艺改进技术分析

施工工艺的优劣直接影响桥梁箱梁的施工质量，进而关乎裂缝控制效果，改进施工工艺是控制裂缝的重要举措。(1)精准把控混凝土浇筑工艺：在箱梁施工中，浇筑时应遵循水平分层、纵向分段、连续浇筑的原则。每层浇筑厚度控制在30cm以内，便于振捣密实，排出内部气泡。根据箱梁结构特点，从一端向另一端推进浇筑顺序，减少了混凝土堆积产生的应力不均。通过实时监测，发现采用这种浇筑工艺后，混凝土内部的应力分布更加均匀，应力集中现象明显减少。(2)优化振捣工艺：采用插入式振捣器与平板振捣器配合使用。插入式振捣器的移动间距不超过其作用半径的1.5倍，与模板的距离为5-10cm，插入下层混凝土5-10cm。振捣时间控制在20-30s，以混凝土表面不再下沉、不出现气泡、表面泛出灰浆为准。在钢筋密集区域，采用小直径振捣棒进行细致振捣，保证了混凝土填充密实。经检查，振捣后的混凝土密实度达到了设计要求的95%以上。(3)改进养护工艺：混凝土浇筑完成后，及时进行养护。根据环境条件，采用覆盖保湿养护的方法，在混凝土表面覆盖塑料薄膜和草帘子，保持混凝土表面湿润。宜控制养护温度在20-25 $^{\circ}\text{C}$ ，湿度在90%以上。对于大体积混凝土箱梁，采用内部降温与表面保温相结合的养护方法，在箱梁内部埋设冷却水管，通入冷水降低混凝土内部温度，同时表面覆盖保温材料，减小内表温差，降低温度应力。通过监测，采用这种养护方法后，混凝土内表温差被控制在25 $^{\circ}\text{C}$ 以内，有效减少了温度裂缝的产生。

3.3 温度应力控制技术分析

在桥梁箱梁施工中，温度应力是引发裂缝的重要因素之一，因此有效控制温度应力对保障箱梁结构安全与质量至关重要。(1)优化混凝土配合比设计：通过合理调整水泥用量、水胶比等参数，降低混凝土的水化热。如在某工程中，将水泥用量从原来的450kg/m³降低到400kg/m³，水胶比从0.5降低到0.45。同时，选用低热水泥并掺加适量的粉煤灰和矿渣粉，进一步降低了水化热。经计算，优化配合比后混凝土的水化热降低了10%-15%，从源头上控制了温度应力的产生。(2)做好施工过程中的温度控制：在混凝土浇筑时，控制入模温度不超过30 $^{\circ}\text{C}$ 。采取遮阳、洒水降温等措施降低原材料温度，如在砂石堆场设置遮阳棚，对搅拌用水进行冷却处理。对于大体积混凝土箱梁，采用分层分段浇筑的方法，每层浇筑厚度为30-50cm，增加散热面，加快热量散发。在浇筑完成后，及时进行保温保湿养护，通过覆盖保温材料和洒水

养护,保持混凝土表面湿润,减少表面温度骤降,缩小内表温差,确保浇筑体降温速率控制在 $2.0^{\circ}\text{C}/\text{d}$ 以内。经监测,施工过程中混凝土内部最高温度控制在 70°C 以内,内表温差控制在 25°C 以内,有效降低了温度应力。(3)设置温度监测与预警系统:在箱梁内部和表面合理布置温度传感器,实时监测混凝土温度变化。如在某箱梁养护中,每隔5-10m布置一个温度传感器,共布置了50多个。根据监测数据,建立温度变化模型,分析温度应力发展趋势。当温度应力接近或达到临界值时,及时发出预警,以便施工人员采取相应措施,如调整养护方式、增加冷却措施等。通过该系统,成功预防了多起可能因温度应力过大导致的裂缝产生事件^[4]。

3.4 环境适应性设计技术分析

桥梁箱梁处于复杂多变的环境中,环境适应性设计技术对裂缝控制十分关键,能提升箱梁应对不同环境的能力,减少裂缝产生。(1)充分考虑地质环境因素:在设计和施工前,应对桥梁所在地的地质进行详细勘察,如发现所在地区存在软弱土层,应根据地质条件,合理设计桥梁的基础形式和结构尺寸,应优先采用桩基础,确保桩长深入稳定土层,确保箱梁基础稳固,避免了因地基不均匀沉降引发箱梁开裂。同时,可对软弱土层采取强夯处理措施,提高地基承载力,经检测,地基承载力提高了30%-40%。(2)重视气候环境影响:针对某地区夏季高温、冬季严寒的气候特点,进行了针对性的设计。在高温地区,通过优化箱梁的通风设计,在箱梁内部设置通风孔,降低了箱梁内部温度,减少了温度应力。在严寒地区,通过选用抗冻性好的混凝土材料,使其抗冻等级达到F300以上,并适当增加钢筋保护层厚度,将保护层厚度从原来的25mm增加到30mm,从而增强了箱梁

的抗冻性能。(3)关注周边环境变化:考虑桥梁周边可能出现的环境变化,如附近的水位升降、地下水位变化等。通过设计合理的排水系统,在箱梁两侧设置排水沟和集水井,及时排除积水,防止箱梁受到水的侵蚀和浸泡,避免了因水压力作用导致箱梁开裂。此外,还应考虑周边施工活动、交通荷载等对箱梁的影响,通过设置防护栏杆和警示标志,减少了外界因素对箱梁的干扰^[5]。

结束语

桥梁箱梁施工中的裂缝控制是一项系统且复杂的工作,贯穿于施工的全过程。通过对裂缝类型及成因的深入分析,阐明了不同裂缝的特点与形成机制。而材料性能优化、施工工艺改进、温度应力控制以及环境适应性设计等关键技术的综合应用,为有效防控裂缝提供了坚实的技术支撑。在实际施工中,需根据具体工程情况,灵活运用这些技术,严格把控施工质量。未来,随着新材料、新工艺的不断涌现,裂缝控制技术也将不断完善,从而为桥梁工程的高质量建设提供更为有力的保障,推动我国交通基础设施迈向更高水平。

参考文献

- [1]曾宁,郑华君.市政桥梁施工中箱梁技术的应用分析[J].交通世界,2020(30):17-18.
- [2]沈增华.预应力箱梁施工技术在市政桥梁工程中的应用探讨[J].广东建材,2020,36(08):73-75.
- [3]刘臻臻.钢箱梁顶推施工技术在市政桥梁工程中的应用[J].中国高新科技,2020(09):101-102.
- [4]郑涛.满堂支架现浇箱梁施工技术在市政桥梁工程中的应用[J].建材与装饰,2020(12):277-278
- [5]李剑霞.市政桥梁施工中箱梁技术的应用探究[J].门窗,2021(17):88+90.