

混凝土桥梁裂缝控制策略分析

孙睿杰

(安徽交检交通发展研究中心有限责任公司, 安徽 合肥 230000)

摘要 为提升混凝土桥梁的耐久性, 本文对其裂缝控制策略展开了研究, 通过对材料、施工、环境和载荷等多方面因素进行成因分析, 包括水泥与骨料质量、施工工艺、温度湿度变化、超载等因素, 提出了选用优质原材料、优化混凝土配合比、提高施工工艺标准、增强环境适应性以及合理分配载荷等一系列控制策略。结果表明, 实施这些控制策略能有效减少混凝土桥梁裂缝的产生, 从而提高桥梁结构的安全性和耐久性, 对保障混凝土桥梁的长期稳定运行具有重要意义。

关键词 混凝土桥梁; 裂缝控制; 材料控制; 施工控制; 环境控制

中图分类号: U445.57

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.08.028

0 引言

混凝土桥梁作为现代交通基础设施的关键组成部分, 在交通网络中承担着重要的运输功能。然而, 混凝土桥梁在服役过程中常出现裂缝问题, 这不仅影响桥梁的外观, 更对其结构安全和耐久性构成严重威胁。裂缝的产生会导致钢筋锈蚀、混凝土强度降低, 进而缩短桥梁的使用寿命, 增加维护成本, 甚至可能引发安全事故。因此, 深入研究混凝土桥梁裂缝的成因并制定有效的控制策略具有重要的现实意义, 这有助于保障桥梁的安全稳定运行, 延长其使用寿命, 为交通事业的持续发展提供坚实的支撑。

1 混凝土桥梁裂缝的成因分析

1.1 材料因素

1.1.1 水泥与骨料的质量

水泥作为混凝土的胶凝材料, 其质量对混凝土的性能有直接的影响。如果水泥稳定度不够, 混凝土在硬化过程中体积变化不均匀, 容易出现应力集中而产生裂缝。比如, 水泥中游离氧化钙、氧化镁含量过高, 水化反应滞后, 在混凝土硬化后继续发生体积膨胀, 使混凝土结构开裂。骨料是混凝土的骨架, 粗骨料强度不高, 针片状颗粒过多都会导致混凝土强度下降, 抗裂性能下降。细骨料中含泥量过大, 会吸附水泥浆中的水分, 影响水泥的水化反应, 降低水泥一骨料之间的粘结强度, 导致混凝土在受力时沿骨料与水泥浆界面产生裂缝。

1.1.2 混凝土的配合比

水灰比是影响混凝土性能的重要因素之一。当水灰比过大时, 混凝土内部过量水分蒸发后, 会产生大

量的孔隙, 从而使混凝土的密实度、强度下降, 收缩变形增大, 容易出现干缩裂缝。同时, 水泥用量过大, 既提高了混凝土造价, 又加大了水泥水化热, 引起了混凝土内部温度的升高, 导致温度裂缝的产生。此外, 外加剂的种类和掺量使用不当也会影响混凝土性能^[1]。例如, 减水剂掺量过多, 可能导致混凝土离析、泌水, 降低其均匀性和稳定性, 从而引发裂缝; 膨胀剂掺量不足, 则无法有效补偿混凝土的收缩, 难以起到控制裂缝的作用。

1.2 施工因素

1.2.1 施工工艺与操作不当

混凝土浇筑时, 如果振捣不当, 会导致混凝土内部出现蜂窝、孔洞等缺陷, 而这些缺陷在随后的受力和外界环境的共同作用下很容易形成裂纹。另外, 模板拼接不严密, 导致漏浆, 会使混凝土局部强度降低, 也容易产生裂缝。在混凝土抹面时, 若时间掌握不当, 过早抹面会扰动混凝土内部结构, 过晚则无法消除表面泌水和塑性收缩裂缝。此外, 钢筋的制作和安装不符合要求, 如钢筋间距过大、保护层厚度不足, 会削弱混凝土对钢筋的握裹力, 使钢筋与混凝土协同工作能力下降, 导致混凝土在受力时开裂。

1.2.2 温度应力与收缩应力

混凝土在硬化过程中, 水泥水化会释放大热量, 使混凝土内部温度迅速升高。当内部温度与表面温度差超过一定范围时, 就会产生温度应力。由于混凝土表面散热快, 收缩变形大, 而内部散热慢, 变形小, 这种不均匀的变形会在混凝土内部产生拉应力, 当拉应力超过混凝土的抗拉强度时, 就会出现温度裂缝。混凝土硬化后, 随着水分的逐渐散失, 会产生收缩变形。

如果收缩受到约束,如受到基础、相邻结构物的约束,就会在混凝土内部产生收缩应力,进而引发收缩裂缝。早期收缩裂缝多为表面裂缝,后期收缩裂缝可能贯穿整个混凝土结构,严重影响结构的耐久性。

1.3 环境因素

1.3.1 温度与湿度变化

在昼夜温差较大的地区,混凝土桥梁结构在白天受热膨胀,夜晚冷却收缩,反复的温度变化使混凝土内部产生交变应力。长期作用下,混凝土的微观结构逐渐损伤,当损伤积累到一定程度,就会产生裂缝。而且,温度的骤变也会使混凝土表面与内部产生较大的温度梯度,引发温度裂缝。湿度变化同样对混凝土桥梁有显著影响。当环境湿度降低时,混凝土内部水分向外迁移,导致混凝土收缩。若收缩不均匀,就会产生收缩裂缝。例如,在干燥的环境中,混凝土表面水分散失快收缩大,而内部水分散失慢,收缩小,从而在表面产生裂缝。

1.3.2 气候与环境腐蚀

在海洋环境中,混凝土桥梁长期受到海水的浸泡和冲刷,海水中的氯离子会渗透到混凝土内部,腐蚀钢筋,使钢筋体积膨胀,挤压周围混凝土,导致混凝土开裂。在酸雨地区,酸性物质会与混凝土中的碱性成分发生化学反应,降低混凝土的强度和粘结力,加速裂缝的产生和发展^[2]。此外,冻融循环也是导致混凝土桥梁裂缝的重要因素。在寒冷地区,混凝土内部的水分在低温下结冰体积膨胀,对混凝土内部结构产生挤压作用。当温度升高,冰融化成水体积减小,混凝土内部又会形成空隙。经过多次冻融循环,混凝土内部结构逐渐破坏,最终产生裂缝。

1.4 载荷因素

1.4.1 超载与不均匀荷载

随着交通量的不断增加,部分混凝土桥梁可能会承受超过设计荷载的作用。当桥梁长期处于超载状态时,混凝土内部的应力会超过其设计强度,导致混凝土开裂。例如,一些大型货车违规超载行驶,会使桥梁承受的压力大幅增加,加速桥梁结构的损坏。不均匀荷载同样会对混凝土桥梁产生不利影响。比如,在桥梁施工过程中,由于各部分施工进度不一致,导致结构受力不均匀;或者在使用过程中,桥梁一侧承受的车辆荷载明显大于另一侧,这些情况都会使混凝土桥梁产生附加应力从而引发裂缝。

1.4.2 震动与冲击

在靠近工厂、铁路等区域的混凝土桥梁,会受到机器设备运转、火车行驶等产生的震动和冲击作用。

这些动态荷载的频率和幅值不断变化,会使混凝土桥梁结构产生疲劳应力。当疲劳应力积累到一定程度,混凝土内部的微观裂缝会逐渐扩展、连通,最终形成宏观裂缝。此外,地震、爆炸等偶然事件产生的强烈冲击,会使混凝土桥梁瞬间承受巨大的能量,超过其结构的承载能力,导致桥梁结构严重破坏产生大量裂缝甚至倒塌。

2 混凝土桥梁裂缝的控制策略

2.1 材料控制策略

2.1.1 选用优质原材料

选用优质水泥是关键,应严格把控水泥的各项指标,确保其安定性合格,将游离氧化钙、氧化镁等含量控制在标准范围内。通过正规渠道采购水泥,选择信誉良好的生产厂家,在水泥进场时进行严格的抽样检测,检测项目包括强度、凝结时间、安定性等,只有各项指标均符合要求的水泥才能用于混凝土生产。对于骨料,粗骨料要选用强度高、针片状颗粒含量少的品种,以保证混凝土的骨架支撑作用。细骨料则需严格控制含泥量,避免因含泥量过高影响水泥与骨料的粘结力。同时,定期对骨料的各项性能指标进行检测,如粗细程度、颗粒级配等,确保其质量稳定。

2.1.2 优化混凝土配合比

精准确定水灰比,根据工程实际需求和混凝土性能要求,通过试验确定最佳水灰比,在保证混凝土工作性能的前提下,尽量降低水灰比,减少混凝土内部孔隙,提高密实度和强度,降低收缩变形。合理控制水泥用量,在满足混凝土强度和耐久性要求的基础上,避免水泥用量过多。可通过掺加适量的矿物掺合料,如粉煤灰、矿渣粉等,替代部分水泥,不仅能降低成本,还能减少水化热,改善混凝土的工作性能和耐久性^[3]。此外,根据混凝土的使用环境和性能要求,正确选择外加剂的种类和掺量。例如,在干燥环境中,可适当增加保水剂的掺量,减少混凝土水分散失;在大体积混凝土中,可使用缓凝剂延缓水泥水化速度,降低水化热峰值。同时,通过试验确定外加剂的最佳掺量,避免因掺量不当影响混凝土性能。

2.2 施工控制策略

2.2.1 提高施工工艺标准

在混凝土浇筑过程中,严格按照施工规范进行振捣。采用合适的振捣设备和振捣方法,确保混凝土振捣密实,避免出现蜂窝、孔洞等缺陷。振捣时间要适当,既不能过短导致振捣不密实,也不能过长引起混凝土离析。模板安装要牢固,拼接严密,防止漏浆。在模

板安装完成后,进行严格的检查验收,确保模板的尺寸、平整度、垂直度等符合设计要求。同时,在混凝土浇筑过程中,安排专人对模板进行巡查,及时发现并处理漏浆等问题。在混凝土抹面时,掌握好抹面时间。根据混凝土的凝结时间和现场气温等条件,在混凝土初凝前进行抹面,既能消除表面泌水和塑性收缩裂缝,又不会扰动混凝土内部结构。此外,钢筋的制作和安装要符合设计和规范要求,保证钢筋间距均匀、保护层厚度准确,增强钢筋与混凝土的协同工作能力。

2.2.2 控制施工环境因素

关注施工期间的温度和湿度条件。在高温天气下,可采取对原材料降温、对混凝土输送管道进行遮阳降温等措施,降低混凝土的入模温度,减少温度应力。在低温天气下,采取保温措施,如对原材料加热、对混凝土结构覆盖保温材料等,防止混凝土受冻。控制混凝土浇筑和养护期间的湿度。在干燥环境中,增加洒水养护次数,保持混凝土表面湿润,减少水分散失,降低收缩应力。同时,合理安排施工进度,避免在恶劣天气条件下进行混凝土施工,如暴雨、大风等天气。

2.3 环境控制策略

2.3.1 增强环境适应性

对于处于昼夜温差较大地区的混凝土桥梁,可采用隔热材料对桥梁结构进行包裹,减少温度变化对混凝土的影响。例如,在桥梁表面铺设隔热涂层,降低混凝土表面的温度变化幅度,减小温度应力。在设计阶段,充分考虑环境因素对混凝土桥梁的影响,合理选择混凝土的强度等级和耐久性指标^[4]。对于处于干湿循环环境的桥梁,提高混凝土的抗渗性和抗侵蚀性,通过优化混凝土配合比、掺加抗渗剂等措施增强混凝土的抗渗性能。

2.3.2 设置保护措施抵抗腐蚀

在海洋环境中,对混凝土桥梁采取防腐蚀措施。如使用高性能混凝土,提高混凝土的密实度,减少氯离子的渗透。在混凝土表面涂刷防腐涂层,形成一道隔离屏障,阻止氯离子等侵蚀介质与混凝土接触。对钢筋进行防腐处理,如采用环氧涂层钢筋,提高钢筋的耐腐蚀性能。在酸雨地区,同样对混凝土表面进行防护处理,可采用耐酸涂层。同时,定期对桥梁进行检测,及时发现和处理因腐蚀导致的裂缝等问题,对腐蚀严重的部位进行修复和加固。

2.4 载荷控制策略

2.4.1 合理分配载荷

在桥梁设计阶段,充分考虑未来交通量的增长和

车辆荷载的变化,合理确定桥梁的设计荷载等级。在桥梁使用过程中,加强交通管理,限制超载车辆通行。通过设置限重标志、加强执法检查等措施,确保桥梁承受的荷载在设计范围内。对于不均匀荷载问题,在施工过程中,合理安排施工顺序,使桥梁结构均匀受力^[5]。在桥梁使用过程中,对桥梁两侧的车辆通行进行合理引导,避免车辆集中在一侧行驶,减少不均匀荷载对桥梁的影响。

2.4.2 定期检测和维护

建立完善的桥梁检测制度,定期对混凝土桥梁进行全面检测,包括外观检查、结构性能检测等。通过无损检测技术,如超声检测、雷达检测等,及时发现混凝土内部的缺陷和裂缝。对检测数据进行分析评估,根据桥梁的实际状况制定相应的维护措施。对于出现裂缝的部位,根据裂缝的宽度、深度和发展趋势等情况采取不同的修复方法。对于宽度较小的裂缝,可采用表面封闭法进行修复;对于宽度较大的裂缝,可采用压力灌浆法进行修补。同时,定期对桥梁的结构进行加固,提高桥梁的承载能力和耐久性。

3 结束语

混凝土桥梁裂缝问题是由材料、施工、环境和载荷等多因素共同作用的结果。材料质量不佳、配合比不合理,施工工艺不达标、环境因素恶劣以及载荷异常都会导致裂缝产生,威胁桥梁结构安全与耐久性。针对这些问题所提出的控制策略,从材料选用与配合比优化,到施工工艺与环境把控,再到环境适应性提升和防腐蚀措施,以及合理的载荷分配和定期检测维护,形成了一套较为完整的体系。通过实施这些策略,能有效降低裂缝产生的概率,提高混凝土桥梁的安全性和耐久性,保障桥梁在整个服役期内稳定运行,对交通基础设施的可持续发展具有重要意义。

参考文献:

- [1] 宋振浩,马振忠,陈衡,等.大跨径预应力混凝土桥梁裂缝控制技术[J].黑龙江交通科技,2024,47(12):90-93.
- [2] 康星.公路桥梁施工中混凝土裂缝的成因与控制措施[J].交通世界,2024(31):141-143.
- [3] 何娜.高速公路桥梁施工中的混凝土裂缝控制[J].交通世界,2024(30):102-104.
- [4] 晏勇.道路桥梁工程结构混凝土裂缝成因与防治措施[J].交通企业管理,2024,39(03):91-94.
- [5] 薛川.桥梁结构中现浇箱梁混凝土裂缝的控制[J].城市建设理论研究:电子版,2024(09):151-153.