

公路工程混凝土结构耐久性影响因素及提升策略

边继承 张海涛

驻马店市四通路桥工程有限公司 河南 驻马店 463000

摘要:公路工程混凝土结构的耐久性直接决定工程服役寿命与运营安全,是公路工程建设的核心关注点。本文结合公路工程施工与运营实际,阐述混凝土结构耐久性的定义、服役特点及危害,系统分析影响耐久性的内在(原材料、配合比、施工质量)与外在(环境侵蚀、交通荷载等)因素,指出当前耐久性提升工作中存在的设计、施工、养护及技术推广等问题,针对性提出基于内在因素、外在因素及全生命周期的协同提升策略,为公路工程混凝土结构耐久性提升提供实操参考,助力延长工程服役寿命、降低运营成本。

关键词:公路工程;混凝土结构;耐久性;影响因素;提升策略

引言:随着我国公路建设规模不断扩大,混凝土结构作为公路工程的核心组成部分,长期暴露在露天环境中,承受交通荷载与各类环境侵蚀,耐久性劣化问题日益突出,严重影响公路通行安全与使用寿命。当前,部分公路混凝土结构因耐久性不足,出现裂缝、钢筋锈蚀、表面剥落等问题,增加了维修成本与安全隐患。基于此,本文深入分析公路工程混凝土结构耐久性的影响因素,梳理提升工作中的突出问题,提出针对性解决策略,对推动公路工程高质量发展具有重要现实意义。

1 公路工程混凝土结构耐久性概述

1.1 混凝土结构耐久性的定义与核心内涵

混凝土结构耐久性是指公路工程中的混凝土构件,在长期服役过程中,抵抗自身材料老化、外界环境侵蚀及荷载作用,维持其设计功能和结构完整性的能力,是衡量公路工程使用寿命和安全性的核心指标之一。其核心内涵不仅包括混凝土本身的抗劣化能力,还涵盖结构在服役周期内,无需过度维修即可满足交通通行、承载能力等设计要求的综合性能,本质是混凝土材料、结构设计与外界环境相互作用下的长期稳定性体现,直接关系到公路工程的使用效益和运营安全。

1.2 公路工程中混凝土结构的服役特点

公路工程混凝土结构的服役环境和使用条件具有以下鲜明特殊性,区别于普通建筑混凝土。(1)长期暴露在露天环境中,直接承受温湿度交替、雨雪侵蚀、冻融循环等自然因素影响,尤其在严寒、沿海等特殊区域,环境对结构的侵蚀更为显著。(2)公路混凝土结构需持续承受交通荷载的反复作用,包括车辆的静载、动载及疲劳荷载,易导致混凝土表面磨损、裂缝产生,进而加剧耐久性劣化。(3)公路结构维修难度大、影响范围广,对混凝土耐久性的长效性提出了更高要求。

1.3 耐久性不足对公路工程的危害

混凝土结构耐久性不足会对公路工程造成多方面严重危害,直接影响工程质量和运营安全。轻度耐久性劣化会导致混凝土表面起砂、剥落、裂缝,影响结构外观和使用功能;中度劣化会降低混凝土强度和刚度,导致结构承载能力下降,影响交通通行的安全性和舒适性。严重时,会引发混凝土构件破损、钢筋锈蚀,甚至导致桥梁、路面等核心结构出现安全隐患,需投入大量资金进行维修、加固甚至拆除重建,不仅增加工程运营成本,还可能影响交通正常通行,造成不良的社会影响和经济损失^[1]。

2 公路工程混凝土结构耐久性的主要影响因素

2.1 公路工程混凝土结构耐久性的内在影响因素

内在影响因素是混凝土结构自身先天属性决定的耐久性基础,直接影响结构长期抗劣化能力,主要包括以下几方面:(1)原材料性能。水泥强度等级、矿物掺合料(粉煤灰、矿渣粉等)的质量及掺量,直接影响混凝土的密实度和抗侵蚀能力;骨料的强度、级配、洁净度的差异,会导致混凝土内部孔隙结构不同,孔隙率过高会降低抗渗性;外加剂的选型与掺量不合理,可能引发混凝土收缩开裂、离析等问题,削弱耐久性。(2)配合比设计。水胶比是核心影响指标,过大的水胶比会使混凝土内部孔隙增多,结构疏松,抗渗、抗冻性能下降;胶凝材料用量不足,无法形成足够的水化产物填充孔隙,影响结构致密性;砂率不合理会导致混凝土和易性差,浇筑后易产生蜂窝、麻面等缺陷,为外界侵蚀提供通道。(3)施工质量。搅拌环节中原材料计量偏差、搅拌不均匀,会导致混凝土质量不均;浇筑过程中振捣不密实,易产生内部孔隙和裂缝;养护不及时、养护周期不足,会使混凝土水化反应不充分,强度和密实度降低,表面易出现

干缩裂缝,大幅降低耐久性。

2.2 公路工程混凝土结构耐久性的外在影响因素

外在影响因素是混凝土结构服役过程中面临的外部作用,加速结构劣化,结合公路工程露天、承重的服役特点,主要包括以下几方面:(1)环境侵蚀因素。露天环境下,温湿度交替变化会导致混凝土热胀冷缩,长期反复易产生温度裂缝;雨雪侵蚀、冻融循环会破坏混凝土内部结构,尤其严寒地区,冻融作用会使混凝土表面剥落、强度下降;沿海或盐碱地区,氯离子、硫酸盐等有害物质会渗透到混凝土内部,腐蚀钢筋、破坏水泥石结构。(2)交通荷载因素。公路混凝土结构长期承受车辆静载、动载及疲劳荷载,反复荷载作用下,混凝土表面易出现磨损、起皮,进而产生微裂缝,裂缝扩展后会加速外界有害物质渗透,加剧耐久性劣化;重载车辆的冲击荷载,会进一步加剧结构损伤,缩短使用寿命。(3)其他外在因素。公路周边工业废气、粉尘等污染物,会与混凝土发生化学反应,导致混凝土碳化、风化;养护维修不及时,无法及时修补表面缺陷,会使侵蚀进一步深入;极端天气(暴雨、高温、暴雪)会短期内加剧结构损伤,影响耐久性^[2]。

3 公路工程混凝土结构耐久性提升中存在的问题

结合公路工程施工及运营实际,当前混凝土结构耐久性提升工作仍存在诸多突出问题,制约了结构服役寿命的延长,具体主要体现在以下几方面:(1)设计环节针对性不足。部分设计方案未结合公路所在区域的环境特点、交通荷载等级进行个性化设计,盲目套用通用规范,对严寒、沿海等侵蚀严重区域的耐久性设计考虑不充分,未针对性优化配合比、增设防护措施,导致结构先天抗劣化能力不足。(2)施工管控存在疏漏。施工过程中,部分施工单位为赶进度、降成本,存在原材料质量管控不严、配合比计量偏差、振捣不密实、养护不到位等问题,导致混凝土结构存在孔隙、裂缝等先天缺陷,为后续耐久性劣化埋下隐患,与耐久性提升要求脱节。(3)养护维修体系不完善。公路运营期间,多数路段缺乏常态化的耐久性监测机制,无法及时发现结构早期劣化迹象;且养护维修多为“事后补救”,缺乏预防性养护措施,小缺陷未及时处理,逐步发展为严重损伤,增加了耐久性提升的难度和成本。(4)技术应用与推广滞后。新型耐久性提升材料、施工工艺的应用范围有限,部分施工单位仍沿用传统技术,对阻锈剂、防腐涂层等新型防护技术掌握不足,且缺乏专业的技术指导,导致耐久性提升措施落实不到位、效果不佳^[3]。

4 公路工程混凝土结构耐久性的针对性提升策略

4.1 基于内在因素的混凝土结构耐久性提升策略

针对前文所述的原材料、配合比、施工质量等内在影响因素,从源头提升混凝土结构耐久性,聚焦核心施工技术要点,具体措施如下:(1)严格把控原材料质量。水泥选用强度等级符合设计要求、安定性合格的普通硅酸盐水泥或矿渣硅酸盐水泥,优先选用水化热较低的品种,避免因水化热过高产生温度裂缝;矿物掺合料选用细度达标、活性良好的粉煤灰、矿渣粉,掺量控制在规范允许范围内,严禁使用受潮、变质的掺合料;骨料选用强度高、级配良好、洁净度高的碎石或卵石,含泥量、泥块含量严格控制在规范限值内,必要时对骨料进行冲洗、筛分处理;外加剂选用与水泥相容性良好的高效减水剂、引气剂,掺量经试验确定,严禁随意增减,避免引发混凝土离析、收缩开裂等问题。(2)优化混凝土配合比设计。结合公路工程所在区域环境、交通荷载等级,科学确定水胶比,严寒、沿海等侵蚀严重区域,水胶比控制在0.45以下,提升混凝土密实度;合理增加胶凝材料用量,掺入适量矿物掺合料替代部分水泥,填充混凝土内部孔隙,改善孔隙结构;优化砂率,根据骨料级配调整砂率范围,确保混凝土和易性良好,避免因砂率过高或过低导致浇筑缺陷;必要时掺入适量阻锈剂,针对性提升混凝土抗钢筋锈蚀能力,适配不同服役环境需求。(3)强化施工全过程质量管控。搅拌环节采用自动计量设备,严格控制原材料计量偏差,搅拌时间不少于规范要求,确保搅拌均匀,避免出现离析、分层现象;浇筑前对模板、钢筋进行清理,检查模板密封性,浇筑过程中采用插入式振捣器分层振捣,振捣至混凝土表面泛浆、无气泡为止,严禁漏振、过振,防止产生内部孔隙和裂缝;浇筑完成后,及时覆盖保湿材料,根据环境温度调整养护方式,常温下养护周期不少于14天,高温、严寒天气采取遮阳、保温措施,确保混凝土水化反应充分,提升强度和密实度。(4)严控施工过程缺陷防控。施工过程中加强对混凝土坍落度的检测,每批次混凝土抽检不少于3次,确保坍落度符合设计要求;浇筑后及时进行表面抹压,消除表面浮浆、裂缝,减少表面缺陷;针对大体积混凝土结构,采取分层浇筑、设置冷却水管等措施,控制内外温差,避免产生温度裂缝;钢筋安装过程中,确保保护层厚度符合设计要求,避免钢筋外露,防止后期锈蚀^[4]。

4.2 基于外在因素的混凝土结构耐久性提升策略

结合公路工程露天服役、承受交通荷载、易受环境侵蚀的外在特点,针对性采取防护、管控措施,阻断外在因素对混凝土结构的侵蚀,聚焦施工技术要点,具体

措施如下：（1）落实针对性环境防护施工。严寒地区，混凝土浇筑前采取预热措施，避免骨料、水泥受冻，浇筑后及时覆盖保温被、搭设保温棚，延长保温养护时间，提升混凝土抗冻性能；沿海、盐碱地区，混凝土表面涂刷渗透型防腐涂层，涂层施工前清理表面浮尘、杂物，确保涂刷均匀、无漏涂，涂层厚度符合设计要求；同时在混凝土中掺入阻锈剂，双重防护钢筋锈蚀；工业污染区域，混凝土表面采用耐腐蚀性强的防护涂层，定期对涂层进行检查、修补，阻断污染物侵蚀。（2）优化荷载管控与结构防护施工。针对交通荷载影响，施工中严格控制混凝土结构浇筑质量，提升结构整体强度和抗疲劳能力；路面混凝土施工中，采用耐磨、抗滑面层材料，施工时确保面层平整、密实，减少车辆磨损；桥梁、涵洞等承重结构，施工中严格控制钢筋布置、混凝土浇筑质量，提升结构承载能力，避免重载车辆冲击造成损伤；同时在结构易磨损部位增设防护层，减少荷载对结构的直接损伤。（3）完善施工阶段防护与监测。施工过程中，对混凝土结构表面缺陷及时修补，发现裂缝、蜂窝、麻面等问题，采用环氧砂浆、聚合物砂浆等材料进行修补，避免缺陷扩大；在混凝土结构关键部位设置监测点，施工期间监测结构沉降、裂缝发展情况，及时采取防控措施；施工完成后，对结构表面进行清理、养护，确保防护措施落实到位，为后续运营期间的耐久性提升奠定基础。（4）规范施工后期防护衔接。施工完成后，及时清理结构表面的施工杂物、浮浆，对暴露在外的混凝土结构进行全面检查，补涂防护涂层、修补表面缺陷；针对公路路面、桥梁护栏等部位，施工中预留养护维修通道，便于后续常态化养护；同时完善施工技术档案，详细记录原材料质量、配合比、施工工艺等信息，为后续耐久性监测、养护维修提供依据，确保外在防护措施持续发挥作用^[9]。

4.3 基于全生命周期的耐久性协同提升策略

结合公路工程混凝土结构服役全流程，衔接施工与

运营阶段，补充前文未涉及的协同管控要点，具体措施如下：（1）建立施工与运营养护协同机制，施工单位向养护单位移交完整的技术档案，明确耐久性防护重点及维护要求，避免施工与养护脱节。（2）推行标准化施工与差异化防护结合模式，针对公路不同路段（路面、桥梁、涵洞）的服役特点，制定专属耐久性提升方案，避免同质化施工。（3）加强施工人员专业培训，重点讲解新型防护材料、施工工艺的操作要点，规范施工流程，减少人为操作失误对耐久性的影响。（4）建立耐久性提升效果验收机制，施工完成后，采用抗渗、抗冻等专项检测手段，验收合格后方可投入使用，确保提升措施落地见效，实现结构全生命周期耐久性管控。

结束语：公路工程混凝土结构耐久性提升是一项系统性、长期性工作，直接关系到公路工程的运营安全与使用寿命。本文通过分析混凝土结构耐久性的影响因素，梳理提升工作中的突出问题，提出了针对性、可操作的提升策略，涵盖内在优化、外在防护及全生命周期协同管控。在实际工程中，需结合公路所在区域环境、交通荷载等实际情况，灵活运用各类提升措施，强化设计、施工、养护各环节的协同管控。

参考文献：

- [1]刘大庆,魏娥,白通.公路工程混凝土耐久性影响因素与提升策略研究[J].时代汽车,2026(6):115-117.
- [2]姜锋.公路桥梁混凝土结构耐久性设计与优化[J].四川建筑,2026,46(1):59-60.
- [3]王鑫,郭武军.混凝土耐久性影响因素及提升措施研究[J].新材料·新装饰,2025,7(9):25-28.
- [4]张国民.公路工程施工中混凝土裂缝影响因素及优化措施探究[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2025(5):022-025.
- [5]汪洪菊.混凝土结构耐久性影响因素分析及控制措施[J].江西建材,2019(9):28-29.