

交通工程中道路机场与桥隧工程的耐久性提升策略研究

牛长瑞

山东省路桥集团有限公司 山东 济南 250014

摘要: 交通工程中道路、机场与桥隧工程是基础设施核心,其耐久性直接关系通行安全与服役寿命。当前三类工程普遍存在路面开裂、道面磨损、混凝土碳化等病害,受环境、设计、施工及运营维护等因素影响,易缩短服役年限、增加维护成本。本文结合工程实际,分析其耐久性现状与核心影响因素,从设计、施工、运维及新型材料应用维度,提出针对性提升策略,为同类工程耐久性优化提供理论参考与实践支撑。

关键词: 交通工程;道路机场;桥隧工程;耐久性;提升策略

引言:随着交通强国战略推进,道路、机场与桥隧工程建设规模持续扩大,其长期稳定服役是保障交通网络高效运行的关键。各类工程长期暴露于复杂自然环境与频繁荷载下,耐久性病害频发,既影响通行体验与安全,也造成巨大经济损失。提升工程耐久性是实现交通基础设施高质量发展、延长服役寿命的核心,因此系统研究其耐久性策略,对推动交通工程可持续发展具有重要现实意义。

1 交通工程中道路机场与桥隧工程耐久性现状及核心问题

1.1 道路工程耐久性现状及问题

(1) 路面耐久性问题:车辙、开裂、磨损、水损害等是路面最常见的耐久性病害。车辙多出现于重载交通集中路段,表现为路面局部下沉、轮迹明显,影响行车平顺性;开裂分为温缩裂缝和荷载裂缝,前者由温度变化引发,后者因车辆荷载反复作用导致,裂缝易进一步扩大引发路面破损;磨损主要源于车辆轮胎摩擦,长期使用会导致路面表层骨料脱落、平整度下降;水损害则表现为路面唧泥、松散、坑槽,雨水渗透会破坏路面结构层粘结力,加速路面老化^[1]。(2) 路基耐久性问题:沉降、冻融破坏、盐蚀老化等问题严重影响道路整体稳定性。路基沉降分为均匀沉降和不均匀沉降,后者会导致路面开裂、桥头跳车,影响通行安全;冻融破坏多发生在寒冷地区,水分冻融循环会使路基土体膨胀、收缩,导致路基松散、强度下降;盐蚀老化常见于沿海或盐碱地区,盐分侵蚀会破坏路基土体结构,降低路基承载力。

1.2 机场工程耐久性现状及问题

(1) 跑道耐久性问题:冲击磨损、高温老化、道面裂缝是跑道的主要病害特征。飞机起降时的巨大冲击力会造成跑道表面磨损、起砂,影响道面平整度;高温环境下,跑道面层材料易老化、软化,降低耐磨性;道面

裂缝多由温度应力和飞机荷载引发,若不及时处理,会导致雨水渗透,破坏跑道结构。(2) 滑行道与停机坪耐久性问题:重载碾压、化学腐蚀是导致其性能衰减的主要原因。飞机长期重载碾压会使道面出现沉陷、裂缝,影响通行安全;飞机尾气中的化学物质及地面维护所用化学试剂,会对道面材料产生腐蚀,导致道面表层剥落、强度下降,缩短使用寿命。

1.3 桥隧工程耐久性现状及问题

(1) 桥梁工程:混凝土碳化、钢筋锈蚀、支座老化、桥面破损是其核心耐久性问题。混凝土碳化会破坏钢筋表面钝化膜,引发钢筋锈蚀,导致混凝土开裂、剥落;支座老化会使桥梁受力不均,影响结构稳定性;桥面破损与道路路面病害类似,易引发桥梁结构连锁损坏。(2) 隧道工程:衬砌开裂、渗漏水、围岩变形、衬砌腐蚀是主要耐久性隐患。衬砌开裂会降低隧道承载能力,易引发围岩坍塌;渗漏水会腐蚀衬砌结构、软化围岩,加剧隧道损坏;围岩变形会挤压衬砌,导致衬砌破损,影响隧道正常使用。

1.4 耐久性问题的共性特征与危害

(1) 共性特征:交通工程耐久性问题均具有服役环境复杂、影响因素多元、病害具有蔓延性的特点。各类工程长期暴露在自然环境中,受温度、降水、地质等因素影响,同时叠加车辆、飞机等荷载作用,且一种病害出现后若不及时处理,会快速蔓延,引发连锁损坏。(2) 核心危害:这些耐久性问题会显著缩短工程服役年限,增加后期维护修缮成本;同时,病害会影响工程结构稳定性,威胁通行安全,严重时还会导致交通中断,影响整个交通网络的正常运行,造成不良社会影响和经济损失。

2 交通工程中道路机场与桥隧工程耐久性影响因素分析

2.1 环境因素影响分析

(1) 自然环境因素: 温度变化、降水、冻融循环、紫外线照射是影响工程耐久性的主要自然因素。温度骤变会使混凝土、沥青等材料产生热胀冷缩, 长期反复易引发开裂、翘曲; 降水渗透会冲刷路基、侵蚀衬砌, 加剧水损害并加速材料老化; 冻融循环主要危害寒冷地区工程, 水分冻融交替会导致结构松散、强度下降; 紫外线照射会加速沥青路面、桥梁支座等高分子材料老化, 使其变脆开裂, 缩短使用寿命。(2) 人为环境因素: 工业污染、车辆尾气、化学介质侵蚀会造成结构性耐久性损伤。工业废气、粉尘形成的酸性物质, 会腐蚀混凝土和钢材, 破坏结构保护层; 车辆尾气中的硫化物、氮氧化物会侵蚀路面和桥梁结构; 机场、沿海及化工园区周边工程, 易受机油、燃油、海水等介质侵蚀, 导致道面剥落、钢筋锈蚀, 降低耐久性^[2]。

2.2 设计因素影响分析

(1) 结构设计缺陷: 荷载预估不足、结构形式不合理、防渗排水设计不到位, 易引发耐久性问题。荷载预估不足会使结构长期承受超设计荷载, 加速疲劳损坏; 结构形式不合理易造成应力集中, 在薄弱部位产生裂缝; 防渗排水设计疏漏会导致雨水、地下水积聚, 加剧水损害和腐蚀, 引发路基沉降、隧道渗漏水等问题。(2) 材料选型不当: 混凝土、沥青、钢材等核心材料性能不满足耐久性要求, 会直接影响工程使用寿命。混凝土强度等级、抗渗性、抗冻性不足, 易出现碳化、开裂、冻融破坏; 沥青材料针入度、软化点等指标不达标, 会导致路面高温软化、低温开裂; 钢材耐腐蚀、抗疲劳性能不足, 会引发钢筋锈蚀、钢结构破损, 进而影响整个工程结构的稳定性。

2.3 施工因素影响分析

(1) 施工工艺不规范: 搅拌、浇筑、压实、养护等关键环节操作不当, 会留下质量隐患。混凝土搅拌配比失衡、振捣不密实, 会降低结构抗渗性和强度; 路面、道面压实度不足, 易出现沉陷、磨损; 混凝土养护不及时、方式不当, 会导致表面开裂; 隧道衬砌喷射工艺不规范, 会造成衬砌厚度不均, 引发渗漏水 and 开裂。(2) 施工质量管控缺失: 原材料检验不严、施工过程监测不到位、验收标准不严格, 会导致不合格工程投入使用。劣质材料进入施工环节直接降低工程质量; 施工监测疏漏无法及时发现隐患; 验收标准放宽, 会让存在缺陷的工程投入运营, 后期易出现耐久性问题且难以整改。

2.4 运营维护因素影响分析

(1) 维护不及时: 病害初期未及时处理, 会导致损伤快速扩大, 加剧耐久性衰减。交通工程服役过程中,

初期出现的微小裂缝、轻微磨损、少量渗漏水等病害, 若未及时开展修补, 会在荷载、环境等因素作用下不断蔓延, 如路面微小裂缝发展为坑槽, 桥梁钢筋轻微锈蚀发展为结构剥落, 最终大幅缩短工程服役年限^[3]。(2) 维护方式不合理: 维护工艺落后、材料选用不当, 会影响耐久性提升效果, 甚至加剧损伤。采用落后的维护工艺, 无法彻底解决病害根源, 如简单填补路面裂缝未处理内部水损害, 会导致裂缝再次出现; 维护材料与原结构材料不匹配, 如选用抗冻性不足的修补材料用于寒冷地区工程, 会导致修补部位快速损坏, 无法达到提升耐久性的目的。

3 交通工程中道路机场与桥隧工程耐久性提升策略

3.1 设计阶段耐久性提升策略

(1) 优化结构设计: 以工程服役环境为核心, 全面优化结构设计, 提升结构抗损伤能力。结合道路、机场、桥隧工程的不同服役场景, 精准预估交通荷载、自然环境等影响因素, 合理确定结构承载标准, 避免因荷载预估不足导致的结构疲劳损坏; 针对多雨、寒冷、沿海等特殊地区, 重点优化防渗排水设计, 设置完善的排水系统、防渗层和隔水构造, 减少雨水、地下水对结构的侵蚀, 降低水损害风险; 优化结构形式, 避免应力集中, 对桥梁支座、隧道衬砌转角等薄弱部位进行强化设计, 提升结构整体抗裂、抗变形能力, 从源头减少耐久性病害的产生。(2) 科学选型材料: 坚持“因地制宜、优质耐用”的原则, 科学选用高耐久性材料, 明确材料性能标准。道路工程优先选用改性沥青、高标号抗冻混凝土, 提升路面抗车辙、抗开裂、抗冻融能力; 桥隧工程选用高耐久性混凝土、耐腐蚀钢材, 搭配阻锈剂、掺合料等辅助材料, 延缓混凝土碳化和钢筋锈蚀; 机场工程选用抗冲击、抗高温、抗化学腐蚀的道面材料, 满足飞机重载碾压和复杂环境的使用需求; 同时, 制定明确的材料性能验收标准, 对材料的强度、抗渗性、抗冻性、耐腐蚀性等指标进行严格界定, 确保材料质量符合耐久性设计要求^[4]。

3.2 施工阶段耐久性提升策略

(1) 规范施工工艺: 针对搅拌、浇筑、压实、养护等关键施工环节, 优化工艺流程, 制定专项施工方案, 确保施工质量。混凝土施工中, 严格控制配比、搅拌时间和振捣工艺, 避免出现蜂窝、麻面、孔隙等质量缺陷, 提升混凝土密实度和抗渗性; 路面、机场道面施工中, 优化压实参数, 确保压实度达标, 减少后期沉陷、磨损问题; 混凝土养护阶段, 根据环境温度、湿度制定针对性养护方案, 保证养护时间和养护质量, 防止混凝

土表面开裂；隧道衬砌施工中，规范喷射、浇筑工艺，确保衬砌厚度均匀、表面平整，提升防渗、抗裂性能。

(2) 强化质量管控：建立全流程质量管控体系，从原材料检验到施工验收，层层把关、严格管控。建立原材料全流程检验机制，对进场的混凝土、沥青、钢材等原材料进行抽样检测，不合格材料严禁进场使用；加强施工过程监测，采用专业监测设备，对施工中的荷载、沉降、温度、振捣密实度等指标进行实时监测，及时发现并整改施工隐患；严格执行验收标准，分阶段开展施工验收，对隐蔽工程、关键工序进行重点验收，验收不合格的严禁进入下一工序，确保工程施工质量符合耐久性要求。

3.3 运营维护阶段耐久性提升策略

(1) 建立常态化监测体系：依托智能化技术，构建全方位、常态化的耐久性监测体系，实现病害早发现、早处理。推广应用无人机检测、雷达探测、传感器监测等智能化检测技术，对道路、机场、桥隧工程的结构状态、病害发展情况进行实时监测，建立监测数据台账，通过数据分析预判耐久性变化趋势；明确监测频次和监测重点，针对桥梁钢筋锈蚀、隧道渗漏水、路面开裂等高频病害，加大监测力度，确保及时发现微小病害，为后续维护提供数据支撑，避免病害进一步扩大^[5]。(2) 优化维护方案：结合工程病害类型、严重程度和服役环境，制定差异化维护策略，提升维护效果。针对不同类型的耐久性病害，采用对应的维护工艺和材料，如路面裂缝采用灌缝、贴缝技术，桥梁钢筋锈蚀采用除锈、防腐涂层处理，隧道渗漏水采用注浆、铺设防渗层修复；推广新型维护材料和工艺，替代传统落后的维护方式，提高维护的耐久性和长效性；建立维护档案，记录维护时间、维护方式、维护效果，根据维护反馈持续优化维护方案，降低后期维护成本，延长工程服役年限。

3.4 新型技术与材料应用策略

(1) 新型技术应用：积极推广各类新技术，为工程耐久性提升提供技术支撑。全面推广智能化监测技术，实现工程状态的实时监控和精准研判；应用碳纤维加固技术，对桥梁、隧道等结构进行加固处理，提升结

构承载能力和抗损伤能力，适用于老旧工程的升级改造；推广防腐涂层技术，对钢材、混凝土结构表面进行防腐处理，延缓腐蚀老化，尤其适用于沿海、工业污染等腐蚀严重地区的工程；此外，推广模块化施工、3D打印等新型施工技术，提升施工精度和效率，减少施工过程中的质量隐患。(2) 新型材料应用：普及高耐久性新型材料，替代传统材料，从根本上提升工程耐久性。推广高耐久性复合材料，其具有轻质、高强、耐腐蚀的特点，可广泛应用于桥隧结构、路面面层等部位；普及修复混凝土，利用材料自身的自修复功能，自动修复微小裂缝，减少病害蔓延，降低维护成本；推广抗腐蚀涂层材料、阻锈剂等辅助材料，提升钢材、混凝土的抗腐蚀能力；同时，加强新型材料的研发和应用试点，结合工程实际优化材料性能，推动新型材料在交通工程中的广泛应用，实现耐久性提升的长效化。

结束语

道路、机场与桥隧工程耐久性提升是一项系统性工程，需贯穿设计、施工、运营维护全生命周期。本文梳理的各类工程耐久性问题与影响因素，明确了优化方向，提出的针对性策略贴合工程实际，可有效缓解耐久性衰减问题。未来需持续加强新型技术与材料的研发应用，完善全流程管控体系，不断提升工程耐久性水平，为交通基础设施安全稳定运行、助力交通强国建设提供有力保障。

参考文献

- [1]刘波旺.交通工程中道路与桥梁连接处设计施工探析[J].工程建设与设计,2024,(8):203-205.
- [2]张海宁.桥隧工程施工技术管理与质量控制分析[J].汽车周刊,2025,(3):178-180.
- [3]张延冬.新型材料在道路、机场与桥隧工程中的应用与发展趋势[J].运输经理世界,2025,(12):151-153.
- [4]赵涵,王怀杰.道路桥隧工程施工中质量瑕疵与改进措施研究[J].中国品牌与防伪,2025,(4):238-240.
- [5]张洋.道路桥隧工程施工难点及改进措施[J].汽车画刊,2024,(10):239-241.