

高速公路桥梁耐久性评估与维护策略研究

蔡以铭

博亿建设有限公司 四川成都

【摘要】在高速公路网络蓬勃发展之际，桥梁作为关键节点，其耐久性问题备受瞩目。本研究聚焦于此，全面考量环境侵蚀、车辆荷载、材料老化等多方面因素，运用先进检测技术收集数据，借由科学模型量化评估。进而制定涵盖日常养护、病害修复、加固改造的维护策略，致力于增强桥梁耐久性，延长服役期限，保障交通流畅，降低运维成本，为桥梁管养提供有力支撑。

【关键词】高速公路桥梁；耐久性评估；维护策略；环境因素；结构安全

【收稿日期】2024 年 12 月 12 日 **【出刊日期】**2025 年 1 月 29 日 **【DOI】**10.12208/j.ace.202500030

Study on durability assessment and maintenance strategy of highway bridges

Yiming Cai

Boyi Construction Co.,Ltd, Chengdu, Sichuan

【Abstract】 Amid the thriving development of highway networks, the durability of bridges as critical nodes has garnered significant attention. This study focuses on this issue, comprehensively considering multiple factors such as environmental erosion, vehicle loads, and material aging. Advanced testing technologies are employed to collect data, and scientific models are used for quantitative assessment. Consequently, maintenance strategies that cover daily care, disease repair, and reinforcement are formulated. The aim is to enhance bridge durability, extend service life, ensure smooth traffic flow, reduce operation and maintenance costs, and provide strong support for bridge management.

【Keywords】 Highway bridge; Durability assessment; Maintenance strategy; Environmental factors; Structural safety

引言

当今社会，高速公路宛如经济动脉，桥梁则是其上的关键枢纽。伴随交通流量与日俱增、服役年限逐步拉长，桥梁长期承受车辆重压与自然环境的双重“考验”。雨水冲刷、化学腐蚀令混凝土剥落、钢筋锈蚀；超载车辆频繁驶过，加剧结构疲劳损伤。这些问题不仅威胁行车安全，引发交通拥堵，还大幅增加维修成本，阻碍区域经济交流。深入探究桥梁耐久性，精心规划维护策略，已然成为保障交通持续顺畅、推动社会稳健发展的迫切需求，对维系高速公路的生命线作用意义非凡。

1 剖析耐久性影响要素

自然环境对高速公路桥梁的影响是长期且复杂

的。以温度为例，在四季分明的地区，温度的周期性变化十分显著。夏季，桥梁结构长时间暴露在高温环境中，混凝土内部的水分迅速蒸发，导致材料的体积收缩。而到了冬季，低温又使混凝土收缩加剧，这种热胀冷缩的循环作用在混凝土内部产生了复杂的应力。在高寒地区，冬季气温可低至零下数十度，桥梁混凝土受冷收缩明显。开春气温回升时，混凝土内部的应力集中部位就容易出现裂缝^[1]。夏季高温时，不仅混凝土会因温度升高而加速内部水分蒸发，其内部的水泥水化产物也会因高温而发生物理化学变化，导致材料性能逐渐退变。水泥石的结晶结构可能会因高温而变得疏松，从而降低混凝土的强度和耐久性。

湿度因素同样不可小觑。在高湿环境下,水汽会在混凝土的孔隙间不断穿梭。混凝土是一种多孔材料,内部存在大量的毛细孔隙。当外界湿度较高时,水汽会通过这些孔隙进入混凝土内部,并与水泥水化产物发生反应。在南方湿润地区,年平均相对湿度常常超过70%,部分地区甚至更高^[2]。长期处于这种高湿环境下,混凝土中的水泥水化产物会逐渐被溶解和侵蚀,导致混凝土的强度降低。高湿度还会加速钢筋锈蚀的进程,因为钢筋表面的钝化膜在潮湿环境下更容易被破坏。

化学侵蚀对桥梁耐久性的威胁也不容忽视。在工业区域周边,桥梁常常受到酸雨和废气的侵蚀。酸雨的pH值通常小于5.6,其中含有大量的酸性成分,如硫酸、硝酸等。这些酸性物质会与混凝土中的胶凝物质发生化学反应,逐渐溶解混凝土中的氢氧化钙等成分,导致混凝土的强度降低。酸性物质还会侵蚀钢筋表面的钝化膜,使钢筋失去保护,从而加速钢筋的锈蚀。在一些钢铁厂附近的桥梁,由于长期受到含有二氧化硫等酸性废气的侵蚀,混凝土表面出现了明显的腐蚀痕迹,钢筋锈蚀问题也较为严重。

2 善用耐久性检测手段

外观检查是桥梁耐久性检测的基础环节,如同医生对人体进行体表诊断。养护人员需要严格依循规范流程,定期对桥梁的各个部位进行细致巡查。在检查混凝土表面时,要仔细查看是否存在裂缝,裂缝的形态、宽度和深度都需要详细记录。发丝般的细纹可能是混凝土早期收缩产生的,而宽深裂缝则可能暗示着结构受力出现了严重问题。还要检查混凝土表面是否有剥落、蜂窝麻面等瑕疵。剥落现象可能是由于混凝土内部的钢筋锈蚀膨胀导致的,而蜂窝麻面则可能是混凝土浇筑过程中振捣不密实造成的^[3]。在对某座桥梁进行外观检查时,养护人员发现梁体底面沿纵向出现了细微裂缝,且裂缝有逐渐变宽的趋势。经过进一步观察和分析,初步判断可能是由于桥梁长期承受重载车辆的作用,导致结构受力出现异常。

无损检测技术在桥梁耐久性检测中发挥着重要作用,恰似为桥梁安装了“透视眼”。超声检测是一种常用的无损检测方法,专业仪器向混凝土发射超声波,超声波在混凝土介质中传播。当遇到内部空洞、疏松区域等缺陷时,超声波的传播速度会骤降,振幅也会锐减。检测人员可以根据这些变化精准定

位隐患之处。这种方法能够高效地对大面积的混凝土结构进行筛查,快速锁定问题区间。在对某大型桥梁的箱梁进行超声检测时,通过对超声波传播数据的分析,准确发现了箱梁内部存在的一处较大空洞,为后续的修复工作提供了重要依据^[4]。回弹法也是一种广泛应用的无损检测手段,它凭借回弹仪轻击混凝土表面,依据回弹能量的折损情况来推算混凝土的抗压强度。这种方法操作简便,检测人员可以迅速了解混凝土质量的概貌,判断不同部位的混凝土强度是否达标。测中的“深度活检”,虽然会对结构造成微小创伤,但获取的信息精准度极高。钻芯取样是局部破损检测的常用方法之一,从桥梁的关键部位钻取圆柱状芯样。通过对芯样的检测,可以直观地了解混凝土内部的强度、密实度等情况。可以查看骨料的分布是否均匀,水泥浆与骨料的粘结是否紧密。还能精准判断钢筋的锈蚀状态。在对某座桥梁的桥墩进行钻芯取样检测时,通过对芯样的切片分析,发现部分区域的钢筋已经出现了严重锈蚀,混凝土的密实度也明显下降。拔出法也是局部破损检测的一种手段,通过拔出预埋在混凝土中的锚固件,测定拔出力的大小,进而推算混凝土的粘结强度。

3 构建耐久性评估体系

构建科学合理的评估体系是精准把握桥梁健康状况的核心环节。层次分析法在这一过程中扮演着重要角色,其核心在于将影响桥梁耐久性的众多繁杂因素进行分层梳理。在目标层,明确聚焦于桥梁耐久性评估这一终极目标。准则层则将影响因素细分为材料性能、结构状况、环境作用等关键板块。材料性能板块涵盖了混凝土强度、钢筋质量等因素;结构状况板块包括桥梁的裂缝情况、变形程度等;环境作用板块则涉及温度、湿度、化学侵蚀等环境因素^[5]。指标层进一步将这些因素拆解细化,像混凝土强度的具体数值、钢筋锈蚀率的百分比、裂缝宽度的测量值等都逐一列出。专家凭借深厚的专业经验,结合大量的实际检测数据进行分析,构建判断矩阵。在判断矩阵中,细致比较各因素之间的相对重要性,通过科学的计算方法精准量化各因素的权重。

模糊综合评价法在桥梁耐久性评估中也发挥着重要作用。由于桥梁耐久性评估中充斥着大量模糊、不确定的信息,模糊综合评价法巧妙地将检测数据进行模糊化处理。为各指标量身定制隶属函数,通过隶

属函数将定性判断与定量检测有机融合。对于混凝土的实测强度,根据其数值对照相应的隶属度,判断其处于强、中、弱不同等级的概率分布。综合考量各指标的模糊评价成果,依照之前通过层次分析法确定的权重分配“规则”,对各指标的评价结果进行加权计算。最终敲定桥梁的耐久性等级,将其划分为优、良、中、差四个等级^[6]。这样可以清晰地呈现桥梁的健康全貌,为后续为维护决策提供精准导航。在实际应用中,通过对多座桥梁运用该评估体系进行“体检”,所得结果与后续维修加固的实际情形高度契合。

4 落实维护策略优化举措

日常精细养护是守护桥梁的第一道防线,对保障桥梁的耐久性至关重要。养护团队需定期组织清扫工作,将桥梁表面积尘、杂物彻底清扫干净。桥梁表面积累的灰尘和杂物在雨天容易形成积水,积水会加速混凝土的侵蚀。灰尘中的酸性物质与雨水混合后,会对混凝土表面产生腐蚀作用。及时清扫能够有效避免积水积尘成为侵蚀桥梁的帮凶。精心维护排水系统也是日常养护的重要内容。养护人员需要逐一清理疏通排水管道和进水口,确保在雨天时雨水能迅速顺利地排出,减少因积水对桥梁结构造成的水害。

针对性病害修复是桥梁修复工作中的关键环节,如同医生手中的“手术刀”,能够精准治疗桥梁的病害。当面对微小裂缝时,通常采用表面封闭战术。精选环氧树脂等优质材料,将裂缝严密封闭^[7]。环氧树脂具有良好的粘结性能和耐腐蚀性,能够有效地阻拦水汽、侵蚀物通过裂缝进入混凝土内部,防止裂缝进一步扩展。对于中度裂缝,则需动用压力灌浆手段。对裂缝进行清理,然后通过压力设备将高强修补浆体注入裂缝中。高强修补浆体能够填充裂缝,将裂缝两侧的混凝土紧密地连接在一起,重塑结构的整体性。在实际操作中,要根据裂缝的宽度和深度选择合适的灌浆压力和浆体配合比。针对钢筋锈蚀这一“顽疾”,首先采用机械除锈的方法,将钢筋表面的铁锈清除干净。均匀涂刷阻锈剂,阻锈剂能够在钢筋表面形成一层保护膜,抑制钢筋的锈蚀。对于锈蚀严重的“病灶”,则需要果断地局部替换钢筋,确保结构的承载能力不受影响。

加固改造堪称提升桥梁承载能力的“大力丸”,能够有效延长桥梁的使用寿命。体外预应力技术在桥梁加固改造中应用广泛,在梁体外部巧妙增设钢

束。通过张拉钢束,精准施加预应力,改变桥梁的受力格局,显著增强桥梁的抗弯、抗剪潜能。这种方法常用于对旧桥进行“强身健体”,挖掘桥梁的承载余量。在对某座服役多年的桥梁进行加固改造时,采用体外预应力技术,在梁体底部增设了预应力钢束^[8]。经过加固后,桥梁的承载能力得到了大幅提升,能够满足日益增长的交通需求。粘贴碳纤维复合材料也是一种得力的加固手段,根据结构的受力特性,将碳纤维复合材料粘贴于关键部位。

结语

展望明日,科技发展将为高速公路桥梁耐久性保障开辟全新天地。新型智能材料有望大显身手,如遇损能自我修复的混凝土,感知结构异常的智能传感材料,全方位捍卫桥梁健康。监测技术将借助卫星遥感、5G物联网实现桥梁状态实时远程掌控,数据即时分析处理。维护策略将深度融合大数据与人工智能,提前精准预测病害走势,定制最优维护方案,确保桥梁在未来复杂交通浪潮中稳健如初,承载社会发展希望,畅行经济腾飞之路。

参考文献

- [1] 沙金.振动测试技术在公路桥梁耐久性评估中的应用[J].时代汽车,2025,(04):157-159.
- [2] 蔡有兴.桥梁养护中材料性能改进与应用技术研究[J].交通科技与管理,2024,5(23):179-181.
- [3] 李忠,李涛,崔凤坤,等.寒冷地区冰冻海域混凝土桥梁耐久性现场检测及评估[J].公路,2024,69(05):414-418.
- [4] 姚杰,邬晓光,张彦飞,等.基于 AHP 和未确知测度理论的旧桥耐久性评估[J].内蒙古公路与运输,2024,(02):20-26.
- [5] 杨刚.城市桥梁耐久性评估与维护策略[J].中国高新技术,2024,(07):42-44.
- [6] 杨炯.基于原位测试的现役铁路混凝土桥梁耐久性评估[J].铁道勘察,2024,50(01):124-130.
- [7] 张彦飞,姚杰,刘冉,等.基于正态云模型的混凝土桥梁耐久性评估[J].四川建材,2023,49(11):174-177.
- [8] 尤建男.桥梁设计中的安全性和耐久性分析[J].运输经理世界,2023,(20):111-113.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS