

多目标决策视角下的高速公路桥梁桥面板养护技术

付雄峥

湖北交投襄阳高速公路运营管理有限公司 湖北襄阳 441106

DOI: 10.32629/ems.v8i7.21123

[摘要] 高速公路桥梁桥面板长期超负荷运行、养护管理不足或病害处置不及时都可能使桥面板逐渐出现裂缝、渗水、混凝土剥落、钢筋锈蚀、铺装层破损等问题,增加桥梁运营风险和后期维修成本。只有基于多目标决策视角合理应用高速公路桥梁桥面板养护技术,从全寿命周期管理角度出发,才能较好地完成桥面板养护工作,降低桥面板使用时出现问题的风险。本文分析多目标决策视角下高速公路桥梁桥面板养护价值、养护难点和技术应用情况,期望提高桥面板养护质量与管理效率,给保障高速公路桥梁安全稳定运行提供参考。

[关键词] 多目标决策;高速公路;桥梁桥面板;养护技术

引言

多目标决策方法强调在多个评价目标之间协调权衡,纳入桥面板养护安全、经济、技术、管理和环境因素统一分析,给养护方案优选提供更加科学的依据。从多目标决策视角研究高速公路桥梁桥面板养护技术,有助提高桥面板病害处置的针对性和有效性,也有助于推动桥梁养护管理由经验型、被动型向科学化、精细化和主动预防型转变。

1多目标决策视角下的高速公路桥梁桥面板养护价值

桥面板养护工作中,养护人员需考虑结构安全、维修成本等多方面因素,单纯依靠经验判断养护方案易有偏差。引入多目标决策方法统一评价检测结果、病害程度等,能让养护人员掌握桥面板情况和养护需求,更好选择养护方案。同一类病害有多种处治方式,综合比较可选出更符合桥梁实际和运营需求的方案。高速公路桥梁多,不同桥梁环境、荷载和病害程度差异大,养护资金和施工力量需统筹安排。多目标决策视角下,管理单位能判断病害轻重缓急,优先将养护资源用于风险高、影响大、修复效益明显的部位,提高资金使用效率,减少后续管理压力^[1]。

2多目标决策视角下的高速公路桥梁桥面板养护难点

2.1 桥面板状态评估难度较大

桥面板位于桥梁上部,车辆荷载经桥面铺装层传至桥面板,再传至梁体和支座等。因直接参与荷载传递且长期暴露,桥面板损伤具多因素耦合特征。常见病害有表面裂缝、横向裂缝等,不同病害外观相似,但成因和对结构性能影响程度差异大,养护判断难。

部分桥面板裂缝初期仅表层细微开裂,短时间对桥面外观和行车舒适性影响不明显,但雨水和氯离子会经裂缝使钢

筋锈蚀,导致混凝土开裂和保护层剥落,降低桥面板耐久性。一些病害发生在铺装层、防水层或桥面板内部,人工目测难以及时发现,如桥面铺装层下方脱空表面可能暂时完整,车辆反复作用后脱空区域扩大,易形成坑槽等^[2]。

传统人工巡检能发现表面病害,但对内部损伤、钢筋锈蚀程度和铺装层脱空情况识别能力有限。无损检测技术可提升病害识别精度,但不同检测方法适用范围有别。如地质雷达适用于识别脱空等,红外热成像对温度差异敏感,超声检测可判断混凝土内部质量,钢筋锈蚀检测需结合专项手段^[3]。若检测方法选择不当或检测数据缺乏印证,可能使病害判断偏差,影响养护方案制定。

2.2 养护方案优选难度较高

桥面板养护需考虑结构安全、维修成本等多因素,因不同目标重点不同,决策易取舍困难。如某些修复加固方案能改善结构性能、延长服役寿命,但施工工序多、成本高、交通组织要求高;部分快速修补技术施工便捷、开放交通时间短,适合交通压力大的高速路段,但耐久性和稳定性受施工环境等限制。同一类病害在不同桥梁、不同位置和阶段适用的养护技术不同,以裂缝病害为例,细微裂缝一般封闭或防水处治,裂缝明显时需进一步分析情况,处治措施轻重不当会有问题。高速公路桥面板维修需占用车道,部分工程要封闭交通或分阶段施工,施工时间过长影响通行和运营,过短影响维修质量。交通流量大的路段,养护方案需与交通导改等措施协调,若只关注技术可行性、忽视交通条件,易出现施工效率低等问题。

3多目标决策视角下的高速公路桥梁桥面板养护技术应用

3.1 桥面板状态检测与病害识别技术

依据《公路桥涵养护规范》(JTG 5120-2021), 高速公路桥梁养护检查等级通常不低于Ⅱ级, 3类桥梁需提高一级检查, 4类桥梁加固维修前按Ⅰ级检查。桥面板检测纳入各类检查, 依检查类别确定检测内容、频率和成果要求。

经常检查以抵近检查为主, Ⅱ级养护检查等级的高速公路桥梁每两个月至少检查1次, 特殊时期和路段适当提高频率。经常检查时重点记录桥面铺装、伸缩缝、防排水系统和桥面板外露病害, 检查相应部件是否有破损、堵塞等情况。

Ⅱ级、Ⅲ级桥梁定期检查周期不超3年, Ⅰ级不超1年。桥面板定期检查在日常和经常检查基础上进一步核查相关部件状态, 检查人员现场校核数据、记录缺损、绘制病害图、判断原因并提养护建议。

桥面板检测与《公路桥梁技术状况评定标准》(JTG/T H21-2011)中桥面系构件评定指标衔接, 沥青混凝土桥面铺装重点检测变形等情况, 水泥混凝土桥面铺装重点检测磨光等情况, 防排水系统重点检查排水不畅等情况。

现场检测尽量人工巡检和高清影像采集相结合, 检测人员沿行车方向逐段检查桥面铺装层、伸缩缝附近、排水口周边和护栏根部位置, 记录裂缝、坑槽、松散、渗水、露筋、混凝土剥落等情况。检测裂缝时使用裂缝宽度仪或裂缝观测尺测量裂缝宽度, 记录裂缝长度、走向、密集程度和是否贯通。若条件允许可利用车载高清摄像系统或无人机航拍设备获取桥面图像, 再使用图像识别软件提取裂缝位置和破损面积, 提高病害记录完整性^[4]。

人工目测难以判断的内部缺陷需结合无损检测技术复核, 先使用地质雷达沿桥面纵向和横向布设测线, 测线间距依据桥面宽度和病害疑似程度确定。检测时雷达天线沿车道中心线、轮迹带和裂缝集中区域移动, 采集铺装层与桥面板之间的反射信号, 用于识别层间脱空、积水异常和混凝土内部缺陷。当地质雷达图像发现明显反射异常、波形紊乱或局部信号衰减时将该位置标记为重点核查区域。

完成现场检测后, 技术人员按照《公路桥梁技术状况评定标准》(JTG/T H21-2011)桥面系构件评定要求整理桥面铺装、防排水系统、伸缩缝装置及相关构件的病害资料, 给出桥面板病害图和技术状态评价表, 病害图上需标注好裂缝、脱空、渗水、剥落、钢筋锈蚀风险区和铺装破损范围, 并对应好现场照片、检测编号和检测数据。病害较轻的区域作为预防性养护对象; 脱空、渗水和裂缝扩展风险的区域列为重点维修对象; 钢筋锈蚀明显、混凝土剥落严重或承载性能可

能受影响的区域需做好结构复核或专项加固设计。

3.2 基于多指标评价的桥面板养护决策技术

技术人员初步检测完成桥面板后需把桥跨、车道、板块或病害区域作为基本评价单元, 编号记录裂缝、渗水、脱空、剥落、钢筋锈蚀和铺装破损等检测结果。每个评价单元至少包含病害位置、病害类型、病害面积、裂缝宽度、裂缝长度、脱空范围、渗水等级、钢筋锈蚀风险、现场照片和检测时间等信息。如裂缝病害记录最大裂缝宽度、平均裂缝宽度和裂缝密度; 铺装破损记录破损面积及占评价单元面积的比例; 脱空病害记录脱空面积、脱空深度判断结果及雷达异常位置。

桥面板养护决策时需设置结构安全、病害程度、耐久风险、施工影响、养护成本和预期效果六类指标, 各指标使用百分制评分, 分值越高表示状态越好或方案越优。桥面板病害状态评价时使用以下分级标准: 裂缝宽度小于0.15mm记90-100分, 0.15-0.30mm记70-89分, 0.30-0.50mm记50-69分, 大于0.50mm记50分以下; 裂缝密度小于0.5m/m²记90-100分, 0.5-1.5m/m²记70-89分, 1.5-3.0m/m²记50-69分, 大于3.0m/m²记50分以下; 铺装破损面积率小于2%记90-100分, 2%-5%记70-89分, 5%-10%记50-69分, 大于10%记50分以下; 脱空面积率小于1%记90-100分, 1%-3%记70-89分, 3%-8%记50-69分, 大于8%记50分以下; 渗水病害按无明显渗水、局部潮湿、连续渗水、伴锈蚀或剥落四级评分, 分别对应90-100分、70-89分、50-69分和50分以下。

一般高速公路桥面板养护评价结构安全权重0.30, 病害程度权重设置0.25, 耐久风险权重设置0.20, 施工影响权重设置0.10, 养护成本权重设置0.10, 预期效果权重设置0.05。若桥梁位于重载交通路段, 结构安全和耐久风险权重可适当提高; 若桥梁位于交通流量较大的枢纽或主线瓶颈路段, 施工影响权重可提高至0.15左右。

最后管理人员使用加权评分法, 给各指标评分与对应权重相乘后求和, 计算公式: 综合得分 $S = \text{结构安全评分} \times 0.30 + \text{病害程度评分} \times 0.25 + \text{耐久风险评分} \times 0.20 + \text{施工影响评分} \times 0.10 + \text{养护成本评分} \times 0.10 + \text{预期效果评分} \times 0.05$ 。依据综合得分划分养护等级: $S \geq 85$ 分时, 桥面板状态较好, 只需要日常养护和跟踪观测; $70 \leq S < 85$ 分时, 说明有轻中度病害, 采取预防性养护措施; $55 \leq S < 70$ 分时病害已影响耐久性或使用功能, 必须专项维修; $S < 55$ 分时桥面板病害较重, 管理人员需做好结构复核, 并采取修复加固或局部更换等措施^[5]。

3.3 桥面板预防性养护技术

预防性养护前养护人员需参考检测结果确定处治范围,综合评价得分70—85分之间的桥面板区域需优先作为预防性养护对象;裂缝宽度小于0.30mm、裂缝尚未贯通、未发现明显钢筋锈蚀和混凝土剥落的区域需做裂缝封闭和表面防水处理;铺装层破损面积率小于5%、脱空面积率小于3%的区域需做好局部修补和层间黏结恢复工作;桥面排水不畅、伸缩缝附近有潮湿痕迹或轻微渗水的区域需同步做好排水系统修复和防水薄弱部位处治工作。如裂缝宽度超过0.30mm,或连续渗水、露筋、混凝土剥落,需转入专项维修评价,不宜简单使用预防性养护措施^[6]。

养护施工前施工人员先使用高压空气、钢丝刷或吸尘设备清除裂缝内灰尘、碎屑和潮湿杂质,宽度小于0.15mm的细微裂缝使用低黏度渗透型封闭材料表面封闭;宽度0.15—0.30mm之间的裂缝需开槽灌缝处理,开槽宽度宜保持8—15mm,深度宜保持10—20mm,给密封材料提供足够嵌入深度。灌缝材料应填充饱满,表面略高于原桥面或与桥面基本平顺,避免形成积水槽。施工完成后检查是否有漏灌、气泡、脱粘和表面开裂现象,封闭区域需待材料达到规定强度后开放交通。

桥面板渗水风险较高、裂缝较细且铺装层整体状况较好的区域需防水处理,施工时先清扫桥面,清除浮浆、油污、泥砂和松散颗粒,必要时抛丸或打磨提高表面粗糙度。防水涂层分层涂刷,涂层厚度结合材料要求控制,一般需成膜连续、无针孔、无起鼓和无明显堆积情况,伸缩缝、排水口、护栏根部和桥面横坡低洼部位需加强处理,增设附加防水层或局部密封材料,防止雨水从薄弱部位进入桥面板内部。

轻微铺装破损区域按病害边界外扩一定范围切割,切割边缘保持整齐,清除松散铺装层和粉尘后施工人员检查基层或桥面板是否有脱空、潮湿和裂缝情况,如果基层完好,先涂刷黏层材料后摊铺修补料,并压实处理。修补区域应与原桥面平顺衔接,平整度偏差宜3mm以内,若局部发现层间黏结不足,需黏结恢复再修补面层。

预防性养护完成后裂缝封闭和表面防水区域6个月内第一次复检,重点检查封闭材料是否脱落、裂缝是否重新张开、渗水是否消除;交通荷载较大或环境侵蚀较强的路段复检周期缩短至3个月。复检发现裂缝宽度继续增大、渗水范围扩大或铺装层再次破损重新评估病害,并选择专项维修或加固处治。

3.4 桥面板修复性养护技术

桥面板裂缝病害按裂缝宽度、深度、渗水情况和发展状

态分级处理:宽度小于0.15mm的细微裂缝,用低黏度环氧树脂等材料表面封闭,封闭宽度覆盖裂缝两侧各20—30mm;宽度0.15—0.30mm的裂缝,开槽灌缝,槽宽8—15mm、深10—20mm,灌缝材料填充饱满;宽度0.30—0.50mm且有渗水风险的裂缝,压力注浆处理,注浆嘴间距200—300mm,压力0.2—0.5MPa;宽度大于0.50mm等严重裂缝,先做结构复核,必要时联合处治。铺装层与桥面板之间的脱空病害,根据脱空范围处理:脱空面积率3%—8%且铺装层未明显破坏时,钻孔压浆,注浆孔间距0.8—1.2m、孔径10—20mm,注浆前清理孔内,压力0.1—0.3MPa,完成后封闭孔口并验证;脱空面积率大于8%或有沉陷等情况,铣刨旧铺装层重新处理。此外,局部承载能力不足或结构裂缝明显的桥面板,用粘贴碳纤维布补强,施工前打磨混凝土表面;损伤范围大或整体刚度不足的部位,用钢筋混凝土叠合层补强,原桥面板凿毛并设置连接筋。

结论:

总而言之,高速公路桥梁桥面板长期承压,且容易受到周边环境因素影响,容易出现开裂、破损情况,如果不及时做好养护工作,容易影响高速公路使用寿命,并可能增加交通风险,多目标决策视角下,管理人员更需要结合高速公路养护情况、交通状态、不良风险情况制定好养护措施,有针对性地完成高速公路养护工作。

[参考文献]

- [1]李旺旺. 交通荷载下高速公路桥梁长期性能演变与养护对策研究[J]. 运输经理世界, 2025, (32): 126—128.
- [2]慕林虎. 公路建设养护过程中低碳环保材料的应用[J]. 知识经济, 2025, (32): 154—157.
- [3]王晓燕. 公路桥梁养护中的病害检查及防治措施分析[J]. 运输经理世界, 2025, (21): 121—123.
- [4]梅泳迪. 高速公路桥梁养护与维修加固处理方法[J]. 交通科技与管理, 2025, 6(08): 74—76.
- [5]陈榜庭. 高速公路桥梁养护技术研究[J]. 运输经理世界, 2024, (20): 129—131.
- [6]孙泓. 高速公路桥梁段的道路养护与管理问题研究[J]. 汽车周刊, 2023, (12): 61—63.
- [7]高利明. 高速公路桥梁段的养护与管理问题研究[J]. 运输经理世界, 2025, (3): 143—145.
- [8]赵全满, 刘朝晖, 姚向发, 等. 基于层次分析法的高速公路沥青路面预防性养护决策模型[J]. 公路, 2023, 68(9): 381—387.