

基于公路技术状况评定的路面病害分布指标研究

房进鑫¹ 王健¹ 张振东¹ 张肖²

1 山东高速交建集团济南养护科技有限公司, 山东省济南市, 250000;

2 山东高速交通建设集团有限公司, 山东省济南市, 250000;

摘要: 公路技术状况评定是量化评估公路设施完好程度与服务水平的核心手段, 其中路面病害分布密集度作为反映病害空间聚集程度与发展态势的关键参数, 对养护决策的科学性具有决定性作用。路面病害类型复杂, 涵盖裂缝、坑槽等多种形式, 其形成受材料性能、环境变化与荷载作用等多因素影响。现行评定体系以平整度、破损率等为基础指标, 通过标准化流程开展评估, 但对病害空间分布特征的量化分析不足。病害分布密集度指标构建遵循全面性与可操作性原则, 借助统计学方法与 GIS 技术, 深度剖析病害时空演变规律, 实现对公路病害高发区域的精准识别。

关键词: 公路技术状况; 路面病害; 分布指标; 病害分布密集度

DOI: 10.69979/3029-2727.25.05.001

公路作为交通运输的重要基础设施, 其技术状况直接影响通行安全与运输效率。随着交通流量持续增长及服役年限增加, 导致路面病害频发, 传统经验式养护已难以满足精细化管理需求。公路技术状况评定通过量化评估掌握路面状态, 而深入研究路面病害分布指标, 是精准识别病害规律、优化养护策略的关键。本文基于公路技术状况评定, 系统分析路面病害类型与成因, 构建科学的病害分布指标体系, 并提出优化措施, 旨在为公路养护管理提供理论依据与实践指导。

1 公路技术状况评定的概念

公路技术状况评定是运用科学方法和标准, 对公路路基、路面、桥涵等设施的技术性能与服务水平进行量化评估的过程, 旨在为养护决策、资金分配和公路规划提供依据。其中路表功能指标是评定路面状况的核心内容, 常见的路面损坏状况指数 (PCI) 通过统计路面破损面积与类型评估路面结构完整性; 路面行驶质量指数 (RQI) 则基于平整度检测, 来反映路面行车舒适性。在公路技术状况评定中, 车辙病害指车辆反复碾压致使路面结构层永久性横向变形, 呈现沿行车方向的带状凹槽。其成因涵盖高温下沥青混合料抗剪强度下降、基层承载力不足, 以及重载交通频繁等因素, 车辙不仅影响行车舒适性与安全性, 还加速路面老化, 是公路养护需重点监测与治理的病害类型。

传统的路面状况指数 (PCI) 仅关注破损面积, 难以全面评估病害对路面行驶功能的影响。裂缝类病害中, 横向裂缝易因温度变化或路基沉降产生, 在行车荷载下

加速路面结构破坏; 纵向裂缝多源于基层开裂, 会使车辆轮胎陷入, 威胁行车安全; 网状裂缝由材料老化形成, 降低路面强度且易造成雨水下渗。此外, 坑槽、拥包等病害虽面积占比可能不高, 但集中分布在车道中央时, 会严重影响车辆通行安全, 而 PCI 无法考量病害空间分布特征, 易低估其实际危害。

为此需引入路面病害分布密集度概念, 即单位路段长度或面积内病害的数量。该指标通过智能检测设备获取病害空间位置信息, 结合 GIS 技术计算得出, 将其纳入路表功能指标体系后, 可与 PCI、RQI 形成互补。当 PCI 数值相近时, 裂缝类病害分布密集度对路面服务水平评价影响显著。例如: 在某路段中, 虽然两处区域 PCI 值相同, 但一处裂缝零星分布, 另一处裂缝呈网状密集聚集, 后者不仅加剧路面渗水风险, 更易导致应力集中, 加速路面结构损坏。车辆行驶时, 密集裂缝区域会产生剧烈颠簸, 大幅降低驾乘舒适性与安全性。因此, 结合病害分布密集度分析, 能更精准识别高风险路段, 助力养护决策资源优先投入, 提升公路养护的科学性与实效性。

2 公路路面病害类型与成因分析

公路路面病害呈现多样化特征, 不同类型病害对道路功能的影响存在显著差异。裂缝致使路面平顺性下降, 车辆通行时产生颠簸, 同时为雨水渗透创造条件, 加速路面结构层的破坏进程; 车辙改变路面形态, 干扰车辆正常行驶轨迹, 加剧轮胎磨损, 进而弱化路面承载性能; 坑槽的存在会引发车辆强烈震动, 带来爆胎隐患, 破坏

路面结构的完整性；沉陷形成的路面凹陷则直接威胁行车安全与驾乘舒适性。基于病害分布密集度分析，可通过空间分布特征初步推断病害成因，例如高温区域裂缝集中出现、重载交通路段车辙高发等。借助这一分析，能够有效识别道路养护高风险区域，实现养护资源的合理调配，显著提升养护决策的科学性与实施效率。

从分布状态来看，病害在不同路段呈现差异化特征，弯道、路口等车辆频繁制动与转向区域病害分布密集度高。发展状态上，病害若不及时处理，会从局部向周边扩散，降低路面平整度与承载能力，所以针对病害分布密集度进行分析十分必要，它能直观反映病害高发区域，帮助养护部门优先调配资源，提升治理效率。其优越性在于可结合成因分析，预判病害发展趋势，提前采取预防措施；实用性则体现在为路面养护规划、资金分配提供数据支撑，保障道路行驶功能，降低交通事故风险，延长路面使用寿命。

3 公路技术状况评定体系

3.1 评定指标与标准

公路技术状况评定指标体系需在传统指标基础上，纳入路面病害分布密集度这一关键参数。传统评定指标涵盖路面破损率（DR）、行驶质量指数（RQI）、车辙深度指数（RDI）等，虽能反映路面状况，但未充分考虑病害分布特征。引入路面病害分布密集度，即单位面积或单位路段内病害数量，可更精准量化病害空间分布。例如：在城市主干道某路段，若仅统计破损面积，难以反映病害集中连片的危害，而结合分布密集度，能直观体现病害聚集程度。评定标准方面则需根据公路等级、交通流量等因素，制定差异化的病害分布密集度阈值。对于高速公路等交通繁忙路段，应设定更严格的密集度标准；乡村公路则可适当放宽，并将病害分布密集度与传统指标结合，构建综合评定标准。如当路面破损率与病害分布密集度同时超标时，直接判定路面损坏状态等级下降，为科学评估公路技术状况提供更全面的依据。

3.2 评定方法与流程

公路技术状况评定体系的精准化升级，关键在于搭建病害分布与诱因的对应关系模型，此模型深度融合多源路面检测数据，借助数据挖掘算法与人工智能技术，系统剖析裂缝、车辙、坑槽等病害的空间分布模式，将其与材料特性、环境因素及交通负荷等影响变量建立量化关联。

实际研究表明，沥青路面在高温气候与重载车流叠

加区域，车辙病害呈显著聚集特征，这与材料高温流变性能及超载应力作用密切相关；而在降水充沛路段，网状裂缝高发态势则主要归因于路基排水系统效能不足。通过持续积累并优化上述映射关系，可构建完备的病害成因知识库，为实时监测路面技术状态演变、预测病害发展轨迹提供可靠依据，从而赋能公路养护部门制定更具前瞻性与针对性的养护策略，显著提升养护决策的科学性与实施效率。

4 路面病害分布指标构建

4.1 病害分布特征分析

路面病害分布具有显著的时空异质性特征。在空间上，不同路段因地形、交通流量、车辆荷载等差异，病害分布呈现不均衡性，如急弯、陡坡路段因车辆频繁制动转向，裂缝、坑槽等病害分布密集度较高；重载车辆集中通行的路段，车辙、沉陷问题更为突出。在时间维度上，病害随季节变化明显，雨季时路面易出现坑槽、唧泥等水损坏，冬季低温则可能加剧裂缝扩展。通过深入分析病害分布特征，结合病害分布密集度概念，可清晰识别病害高发区域与薄弱路段，有助于养护部门优先规划资源，对病害密集路段进行重点监测与预防性养护，降低病害进一步恶化风险，提升公路整体服务水平。

4.2 指标构建方法与技术

指标构建采用多技术融合的方式，结合地理信息系统（GIS）、大数据分析及智能检测技术。利用智能检测车、无人机搭载的高清摄像头与激光雷达，快速获取路面图像与三维数据，通过图像识别算法自动提取病害类型、位置、尺寸等信息，进而计算病害分布密集度。GIS技术用于空间分析，将病害数据与公路基础信息整合，直观展示病害分布格局。基于大数据分析，建立病害分布与交通流量、气候条件、路面结构等因素的关联模型，预测病害发展趋势。

病害分布密集度概念的引入，使养护决策方案制定更具针对性。通过量化病害密集程度，可将公路划分为不同养护优先级区域，对高密度区域优先安排大修或中修工程，对低密度区域采取预防性养护措施，同时结合病害分布特征与预测模型，优化养护资源分配，合理安排资金、人力与设备，实现养护成本最小化与效益最大化，显著提升养护决策的科学性与有效性。

5 基于公路技术状况评定的路面病害分布指标优化措施

5.1 数据层面优化措施

在数据采集环节,应采用多源融合的方式提升数据质量,整合智能检测车、无人机、车载移动测量系统等设备,获取高分辨率的路面图像、三维点云数据以及定位信息,确保病害位置、类型、尺寸等数据的完整性与准确性。例如:利用激光雷达与高清摄像头协同作业,既能精确测量坑槽深度,又能识别裂缝走向,为病害分布密集度计算提供可靠数据。

数据处理方面应引入人工智能算法进行深度挖掘,通过卷积神经网络(CNN)自动识别和分类病害,减少人工判读误差,或者运用时空数据分析模型,结合历史数据预测病害发展趋势,为动态调整分布指标提供依据。在数据存储上,搭建云存储平台,建立标准化的数据格式与数据库结构,实现不同来源数据的统一管理 with 高效调用,便于后续分析与共享。

5.2 指标体系优化措施

当前公路技术状况评定的路面指标体系存在结构单一、权重固化等问题,难以全面反映病害分布特征。优化指标体系首先需调整结构,将病害分布密集度作为核心指标纳入体系,与传统的路面损坏状况指数(PCI)、行驶质量指数(RQI)等形成“特征-分布-性能”三位一体的评价架构。例如,PCI衡量病害严重程度,RQI体现行驶舒适性,病害分布密集度则聚焦病害空间聚集效应,三者协同互补,更精准地评估路面整体状态。

其次,优化指标权重分配。采用层次分析法(AHP)结合熵权法,基于不同公路等级、交通流量、地域气候等条件,动态调整各指标权重。在重载交通频繁的路段,提高车辙深度指数(RDI)与病害分布密集度的权重;在山区多雨地区,侧重考虑路面抗滑性能指数(SRI)与病害分布密集度的权重,确保指标体系贴合实际需求。

为实现公路路面病害评估体系的迭代升级,创新引入病害分布离散度与关联指数等衍生指标具有重要意义。在离散度测算方面,可借助空间统计学原理,结合地理信息系统(GIS)的空间插值技术,对病害点位数数据进行精细化处理,从而准确度量各路段病害的空间离散程度。高离散度路段通常显示病害分布零散,可能与局部微环境变化密切相关;而低离散度区域则表征病害聚集性强,属于养护管理的重点对象。

对于病害关联指数构建,需依托海量历史检测数据,运用数据挖掘算法深入剖析裂缝、车辙、坑槽等病害类型间的共生规律。例如在湿润气候区,网状裂缝与坑槽

的伴生现象较为普遍,此类分析有助于揭示病害发展的潜在关联机制。将这些新型指标与平整度、破损率等传统参数有机整合,通过层次分析模型或机器学习算法科学确定权重配比,进而构建动态化的路面病害评估体系。该体系不仅能够精准反映路面当前技术状态,还可基于历史数据推演病害演变趋势,为养护决策提供更为精确的量化支撑,切实增强公路技术状况评定的科学性与实践价值。

5.3 应用与反馈优化措施

在指标的应用推广方面,需结合实际养护场景制定差异化实施方案。针对高速公路、国省干道、农村公路等不同类型道路,开发适配的指标计算与分析工具,降低操作门槛,确保养护人员能够快速掌握和使用,并且通过举办技术培训与案例分享会,展示优化后的指标体系在实际项目中的应用效果,增强行业认可度与接受度。

建立完善的反馈机制是优化指标体系的重要保障。设立多渠道数据反馈平台,鼓励养护人员、科研人员及社会公众上报指标应用过程中发现的问题,如计算偏差、参数不合理等情况。定期收集实际养护工程中的数据,对比指标预测结果与实际病害发展状况,形成量化的反馈数据。

6 结语

基于公路技术状况评定开展路面病害分布指标研究,对提升公路养护管理水平意义重大,通过系统梳理评定体系,剖析病害成因与分布特征,构建的指标体系实现了病害规律的量化表达。从数据采集、指标体系构建到应用反馈的优化措施,进一步增强了指标的科学性与实用性。未来需持续完善指标动态更新机制,结合智能检测技术深化研究,推动公路养护向精准化、智能化迈进,为交通运输安全与可持续发展筑牢保障。

参考文献

- [1] 吴琳婕. 低等级农村公路路面技术状况简易评定方法探究[J]. 福建建材, 2024, (12): 42-45.
- [2] 彭昆. 农村公路路面技术状况评定与养护研究[J]. 山西建筑, 2024, 50(15): 139-142.
- [3] 胡杨. 川南地区农村公路技术状况现状评价与发展预测研究[D]. 成都理工大学, 2023.
- [4] 刘帅. 高速公路沥青路面使用性能评价及预防性养护对策研究[D]. 石家庄铁道大学, 2023.