

# 高速公路沥青路面检测和养护决策优化研究

陈佳佳

江苏现代工程检测有限公司, 江苏 南京 210046

**[摘要]**高速公路属于我国交通基础设施里的重要组成部分,其路面的实际状况和交通安全以及运行效率之间存在着直接的关联。随着时间推移,高速公路的通车年限逐渐增长,沥青路面随之出现老化以及损坏方面的问题,而且这些问题变得越来越明显,这就急需科学且高效的检测以及养护方面的策略,通过这样的方式来延长路面的使用寿命,同时降低养护成本。全面且细致地探讨沥青路面检测技术以及养护措施给路面性能带来的影响,在此基础上还构建起了检测周期优化的模型,进而又提出了养护决策优化的相关方法,这对于提升高速公路沥青路面管理的科学性以及经济性是很有帮助的。

**[关键词]**高速公路; 沥青路面; 检测技术; 养护决策

DOI: 10.33142/sca.v8i6.16843

中图分类号: U418.6

文献标识码: A

## Research on Optimization of Inspection and Maintenance Decision for Asphalt Pavement on Highways

CHEN Jiajia

Jiangsu Modern Engineering Testing Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210046, China

**Abstract:** Highways are an important component of Chinese transportation infrastructure, and there is a direct correlation between the actual condition of their road surface, traffic safety, and operational efficiency. As time goes by, the service life of highways gradually increases, and problems such as aging and damage to asphalt pavements become increasingly apparent. This requires scientific and efficient detection and maintenance strategies to extend the service life of the pavement and reduce maintenance costs. A comprehensive and detailed exploration of the impact of asphalt pavement detection technology and maintenance measures on pavement performance was conducted. Based on this, a model for optimizing the detection cycle was also constructed, and relevant methods for optimizing maintenance decisions were proposed. This is very helpful for improving the scientific and economic management of asphalt pavement on highways.

**Keywords:** highway; asphalt pavement; testing technology; maintenance decision

### 引言

随着我国高速公路建设不断快速推进,路网规模也在持续不断地扩大,这使得路面养护以及管理工作所面临的压力有了明显增加,沥青路面作为主要铺装形式,长期运行中易受交通荷载与环境因素影响,产生裂缝、车辙等常见病害,影响行车安全与服务性能。因此,构建科学的检测体系和优化的养护决策机制,对提升路面耐久性和延长使用寿命具有重要意义。

### 1 高速公路沥青路面检测技术

#### 1.1 检测指标与设备

沥青路面性能评估依靠一系列关键技术指标,这些指标一方面可反映出路面当下的服务状态,另一方面还能为后续的养护管理工作给出科学依据。常见的检测指标包含平整度、车辙深度、结构强度、表面抗滑性能以及裂缝状况等等。其中,平整度主要是对路面纵向高差变化加以衡量,它会直接影响到车辆行驶时的舒适程度以及燃油经济状况;车辙深度可体现车辆反复荷载作用之下产生的永久变形程度,这关系着路面的结构稳定情况以及安全状况;结构强度所指的是路面抵抗交通荷载的能力,其是决定路面长期使用性能的关键核心参数;而表面抗滑性能会对雨

天或者高速行驶条件之下的行车安全产生直接影响;裂缝状况则能揭示出路面因老化或者应力集中而引发的结构性方面的问题。为了能全面且完整地获取上述各项性能指标,当下主要运用激光测距仪、落锤式弯沉仪、FWD(也就是落锤式弯沉测试设备)以及三维扫描系统等多种较为先进的检测设备。这些设备在达成高效且无损检测这一目标时还拥有不错的数据采集精度以及作业适应能力,能够针对高速公路大面积路段展开快速检测以及量化评估工作,进而为后续的路况诊断以及养护策略制定给予可靠的数据方面的有力支撑。

#### 1.2 检测方法与数据分析

检测的方法主要有连续检测以及抽样检测这两种不同的方式。连续检测往往要依靠车载系统来实施,这种方式比较适合在较短时间内获取长距离路面上的相关信息,它通常可应用于像平整度、车辙深度这类指标的检测当中;而抽样检测主要是用来针对局部结构强度还有材料性能展开分析的,在具体操作时往往会把现场取样和实验室测试相互结合起来去开展相关工作。就数据分析这块而言,需综合考虑时空分布呈现出的特征,借助统计分析手段、地理信息系统也就是GIS以及机器学习方面的算法,针

对检测所得到的数据来开展趋势方面的判断、病害的识别以及性能的预测等工作,进而为后续的养护决策给予相应的依据支持。

### 1.3 检测频率与抽样规模

合理的检测频次以及抽样规模对于保证数据具备代表性并把控检测成本来讲是极为重要的。通常情况下,像那些交通量颇为可观且所处环境条件比较恶劣的路段,需要适当地把检测频次调高一些,以此来确保能够尽早察觉到病害呈现出的趋势走向。抽样规模要综合考量路段的实际长度、路况的复杂程度还有预算方面的具体状况来加以确定。近些年来,有越来越多的相关研究开始运用贝叶斯分析、蒙特卡洛模拟这类方法,对检测点的布设情况以及检测周期的安排事宜展开优化操作,进而促使检测资源的使用效率得以提升。

### 1.4 检测数据质量控制与误差分析

在高速公路沥青路面检测期间,对数据质量加以控制以及开展误差分析,这无疑是确保检测结果具备准确性与可靠性极为重要的环节。检测设备本身所具有的精度状况、环境条件出现的各种变化情况,还有操作人员各自不同的技术水平等因素,都有可能引发误差产生,进而对数据的真实性以及代表性造成影响。所以,有必要构建起一套较为系统的质量控制体系,具体来讲,就是要做到检测仪器要定期进行校准,制定出标准化的操作流程,并且针对检测人员展开专业方面的培训。与此借助统计分析的相关方法来对所采集的数据实施误差评估以及异常值剔除等操作,如此一来便能够有效地去识别并且纠正测量过程当中存在的偏差,从而提升数据的实际有效性。唯有在切实保证检测数据质量的基础之上,才能够为后续开展的路面性能评估以及养护决策等相关事宜给予科学合理的依据,最终达成路面管理朝着精细化与智能化方向发展的目标。

## 2 高速公路沥青路面养护对路面性能的影响

### 2.1 日常性养护

日常性养护属于基础性举措,能够维持路面正常运转的功能,其中囊括清扫、清除路面上的杂物、把细小裂缝予以封闭以及对排水系统进行疏通等一系列工作。尽管这种养护所投入的资金不多,技术层面的含量也不高,然而它对于阻止早期病害不断蔓延、延缓结构性破坏有着不容忽视的重要意义。日常性养护可以有效地阻止水分渗入到结构层当中,减慢老化以及脱空现象出现的速度,进而于无形之中促使路面的整体寿命得以提升,服务水平也相应地得到了提高。

### 2.2 预防性养护

预防性养护属于在路面还未呈现出明显病害状况之前便着手实施的一种养护举措,其主要目的在于维系路面处于良好的状态,并且起到延缓其功能出现退化的作用。此类养护往往会采用诸如雾封层、稀浆封层以及微表处这

类表面处理技术,具备成本相对较低、效果显现较快以及施工操作起来较为方便等诸多优势。借助于在恰当的时间节点展开预防性的干预操作,是能够有效地将微裂缝予以封闭的,同时还能提升抗滑性能,进而使得路面性能衰退的速度得以减缓,如此一来便可以推迟大修的时机,最终达到降低全寿命周期成本的目的。

### 2.3 大中修养护

当路面出现较为严重的结构性损坏或者功能性病害情况时,就得开展大中修养护工作了,其中就包含了局部铣刨之后重新铺设、对基层予以加固以及更换结构层等一系列操作。这类养护工程往往工程量颇为可观,成本也不低,并且施工所花费的时间周期较长,不过它能够从根源之处让路面结构的完整性以及使用性能得以恢复。对于大中修具体何时实施的问题,需要综合路面检测得出的结果以及性能评估模型来做出科学合理的判断,如此才能防止出现因过早或者过迟实施而造成的资源无谓浪费或者使用方面存在风险的情况。

## 3 沥青路面检测周期优化模型

### 3.1 路面退化与检测周期分析

沥青路面于使用之时,会受到诸多因素的影响,像是车流荷载、气候变化、水损害、紫外线照射以及材料老化等等,这些因素相互作用,使得沥青路面呈现出逐步退化的情况。其退化的速度和初始建造的质量有着紧密的关联,同时也和所处的使用环境、交通等级以及日常养护的水平等诸多因素存在着高度的耦合关系。要想科学地掌握路面性能的演化规律,制定出合理的检测周期,那就得对路面的退化过程展开系统的建模以及定量的分析工作。凭借大量的历史检测数据以及实测性能指标,本文运用时间序列分析的方法来构建退化曲线模型,通过对典型性能指标(如平整度、车辙深度、结构强度等)在服役期间的变化趋势加以拟合,以此来捕捉其退化规律。在模型当中引入不同的工况参数,从而达成更具针对性的退化预测效果。借助对模型进行动态的修正以及滚动的校准操作,能够提升预测的精度,进而依据此合理地设定检测的时间节点,达成从传统的周期性检测方式向基于状态的动态检测策略转变的目的。这种方法一方面有助于提前识别潜在的病害风险,提升检测与养护资源配置的精准程度;另一方面还能有效地延缓路面结构性病害的发生,降低整个寿命周期内的维护成本,可为高速公路管理单位给予科学、高效且具有前瞻性的检测周期优化依据。

### 3.2 优化模型构建与求解

检测周期优化问题本质上属于多目标决策范畴,在成本把控、病害预警能力以及检测资源配置等方面需要达成最优平衡状态。要达成此目标,引入生命周期成本分析相关理论,同时结合模糊综合评价办法,构建起一个兼具经济性考量和技术性因素的多目标优化模型,并且运用在进

化计算领域广泛使用的遗传算法来加以求解,以此兼顾全局搜索的能力以及局部收敛的速度。在构建模型的过程中,起初依据历史检测所获取的数据以及路面退化的曲线情况,去分析检测周期给路面性能演化所带来的影响,接着对不同检测频率之下性能衰减值予以量化处理,同时也对其所引发的维护费用进行量化分析。在此基础之上,设定一套约束条件,像最低检测频率、可用的预算额度、人员和设备资源情况、检测时间窗口时长、数据精度以及完整性方面的要求等等,以此确保模型求解得出的结果具备实际可操作性。在模型目标函数的设计环节,一方面努力做到在保障路面结构功能以及服务性能能够得以维持的前提下,达成全寿命周期检测与维护成本的最小化目的;另一方面着力于尽可能延缓路面性能出现下降的情况,提升整个公路网运行的安全性以及服务水平<sup>[1]</sup>。遗传算法在该模型求解工作里主要负责参数优化以及策略筛选这两项任务,凭借种群初始化的操作、适应度函数的评估过程、选择环节、交叉操作以及变异操作等一系列步骤,一步步逼近最优检测周期配置方案,最后形成契合实际运营需求的科学合理、经济适用且高效能的检测周期优化路径。

### 3.3 模型验证与应用

为了证实所构建模型的实际有效性,特意选取某条高速公路的一段典型路段当作具体案例,并且运用实际检测所获取的数据来开展仿真分析相关工作。经过分析可以发现,经过优化之后的检测周期安排方式,相较于传统的依靠经验来安排的方法而言,明显具备更强的前瞻特性以及更高的经济价值,在充分保障路面性能能够处于可控制状态的基础之上,大幅度地将检测以及养护方面的总费用给降低了,这无疑说明该模型有着不错的实用价值,同时也具备十分可观的推广前景。

## 4 沥青路面养护决策优化研究

### 4.1 养护策略分类与选择

养护决策的关键点在于依据路面当下的技术状况、病害的具体类型、其发展走向以及实际使用需求,来科学且合理地挑选养护策略,以此达成路面性能维持同资源利用效率二者间的最优平衡状态。其中,日常性养护主要应用于常规的清洁保养、小范围的修补等操作方面,它适合于出现轻微病害的情况以及维持正常的运行状态;预防性养护把目光聚焦在延缓病害的发展进程上,在路面性能还处于可接受的状态时便及时采取干预措施,具备不错的经济性并且有较强的前瞻性;而大中修养护主要是针对存在结构性损坏或者功能性严重衰退的路面情况,有着颇为显著的恢复成效,不过其成本以及施工期间的影响相对来说也会比较大一些。在选择养护策略的过程当中,既要充分考量技术层面的可行性、经济方面的成本支出以及工程实施所花费的时间周期,同时也要兼顾交通受到干扰的程度、对环境产生的影响以及长期使用的绩效表现等诸多不同

维度的因素<sup>[2]</sup>。为了达成科学合理的决策目的,常常会借助层次分析法(AHP)来构建决策模型,通过把复杂的养护决策问题分解成目标层、准则层以及方案层这几个层级,给各个相关因素赋予相应的权重,并且开展综合性的评分工作,进而对各类方案的优缺点展开系统的评估,从而为实际工程当中养护策略的优化选择给予量化的依据以及决策方面的有力支撑,进一步促使养护工作的整体系统性以及精细化程度得以提升。

### 4.2 决策方法与优化算法

为了提升高速公路沥青路面养护决策的科学性、系统性以及执行效率,近些年来在决策支持系统当中大量引入了智能优化算法以及大数据分析技术,以此来助力管理者在存在多变量、多目标以及多约束条件的情况下做出最为优质的决策。常见的决策分析方法涵盖了多目标规划模型、模糊综合评判法、灰色系统理论、层次分析法(AHP)等等,这些方法可以把定量指标与定性因素相互结合起来,针对养护需求、优先级还有资源分配展开综合性的评估工作<sup>[3]</sup>。在算法方面,遗传算法、粒子群优化算法、蚁群算法、模拟退火等智能优化办法凭借着其颇为强大的全局搜索能力以及良好的鲁棒性,被广泛应用于养护策略的优化求解环节,在处理那些参数耦合程度较强、解空间较为复杂且解的不确定性相对较高的问题时,更是展现出了十分突出的优势。除此之外,基于大数据平台的分析方法也在不断发展之中,通过针对路面性能数据、交通负载情况、环境信息以及历史养护记录展开深度挖掘的操作,可以构建起动态的养护预测模型以及风险评估体系。在系统实现层面,能够搭建起一个集成数据采集功能、状态识别功能、性能评估功能、策略模拟功能以及优化推荐功能于一体的决策支持系统,将检测设备、地理信息系统(GIS)、传感器网络以及模型算法加以整合,从而实现从数据输入到策略输出的闭环管理流程。这一系统不但能够提升养护方案的适应性与前瞻性,而且还能提高整体道路资产管理的水平,推动高速公路养护从依靠经验主导朝着由数据驱动的科学转型方向发展。

### 4.3 养护效果评价与经济性分析

养护效果评价以及经济性分析在高速公路沥青路面养护决策优化当中属于极为关键的环节。当对不同养护措施施行之后路面对应性能所发生的各种变化展开科学且细致的评价时,便能够十分直观地将养护策略实际达成的效果及其持久程度给反映出来。与此把养护成本、使用寿命得以延长还有后续修复频率有所减少等一系列经济方面的诸多因素相互结合起来,进而开展综合的成本效益分析工作,以此来为养护方案的具体选择给予数量化的依据支撑。经济性分析并非仅仅着眼于直接的养护费用方面,而且还应当充分考虑到像交通延误得以减少以及车辆运行成本有所降低这类间接的经济效益情况。借助对养护效

果与经济性这两个层面展开的双重评估举措,就能够达成将有限的养护资源予以合理安排配置的目的,促使路面的使用效率得以提升,推动高速公路养护管理工作朝着更加科学化以及更为精细化的方向不断向前发展。

## 5 结语

我国高速公路已建成通车的年限在持续增加,这使得沥青路面的检测以及养护管理工作遭遇到了更为复杂且更为严峻的考验。从检测技术方面着手,全面且细致地分析了养护措施给路面性能所带来的影响,在此基础上还给出了检测周期优化的模型以及养护决策优化的方法。研究说明,科学且合理的检测安排以及养护策略,一方面能够助力于延长路面的使用寿命,另一方面也有助于降低维护方面的成本,除此之外,其对于提升道路服务的水平以及保障行车安全而言同样有着十分重要的意义。后续的研究

可以进一步把多源数据融合、智能传感以及人工智能技术结合起来,去探索更为智能、更为高效的公路养护管理模式,进而为智慧交通基础设施的建设给予技术层面的有力支撑。

## [参考文献]

- [1]任俊财.高速公路沥青路面检测和养护决策优化研究[D].天津:河北工业大学,2022.
- [2]高旋.公路沥青路面检测和养护决策优化研究[J].交通科技与管理,2023,4(10):72-74.
- [3]陈永昊.基于概率方法的高速公路沥青路面养护管理决策方法研究[D].天津:河北工业大学,2021.

作者简介:陈佳佳(1993.7—),毕业院校:国家开放大学,所学专业:土木工程,当前就职单位:江苏现代工程检测有限公司,职务:试验检测师,职称级别:中级职称。