

# 沥青路面使用性能评价及预测模型分析

何卫东<sup>1</sup>, 焦一<sup>2</sup>, 冯晓<sup>2</sup>, 张淑雅<sup>2</sup>, 裴鑫雨<sup>2</sup>

(1. 中建四局 第一建设工程有限公司, 广东 广州 510000; 2. 重庆交通大学 土木工程学院, 重庆 400074)

**摘要:** 沥青路面使用性能评价和预测对养护决策和费用利用具有重要意义。文中对现阶段沥青路面使用性能评价方法进行分析, 包括路表功能性指标、路面结构承载力评价指标等, 结合评价原理、评价手段对裂缝、车辙、平整度、弯沉等的评价方法提出改进建议; 最后对沥青路面使用性能预测模型进行简要分析。

**关键词:** 工程管理; 沥青路面; 路面使用性能; 预测模型

**中图分类号:** U415.2

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1671-2668(2022)01-0151-04

沥青路面使用性能评价和预测是网级路面管理系统的重要组成部分, 也是有效提升管理科学性的基础。路面性能评价是通过检测系统将采集到的路况详细资料进行评价和分级的过程, 通过多方面的属性来表征路面所处状态, 如平整度、抗滑度等。路面使用性能评价模型最先于美国建立, 并成为后来 AASHTO 的重要组成部分, 被世界上很多国家引用和借鉴。著名的评价模型还有日本从管理者角度提出的 MCI 模型。中国学者根据自动化检测设备及现有数据理论, 提出了灰色理论模型、回归模型、主成分分析、神经网络、模糊数学等评价方法。如谢峰在模糊数学和神经网络的基础上提出了模糊神经网络路面使用性能综合评价方法, 该方法新增了储存和处理模块, 更有利于反映真实路况; 潘怀兵运用主成分分析法与灰色聚类决策评价方法, 借助 MATLAB 数学工具说明了单项指标对综合评价的影响程度, 提高了评价的科学性; 胡霞光等利用遗传算法对 BP 网络进行改进, 建立了路面使用性能评价 GANN 模型, 加速了模型的收敛, 使模型的实用性与可操作性得到提高。综合国内外研究现状, 路面使用性能预测较成熟的方法主要有以实测数据为基础的回归模型法、以模糊数学为代表的系统分析法、基于灰色理论的评价方法等, 此外, 遗传算法、神经网络的运用也逐步得到加强。

## 1 沥青路面使用性能评价指标及体系

### 1.1 路面性能评价现状分析

《公路技术状况评定标准》采用路面结构强度指数 PSSI、路面行驶质量指数 RQI、路面抗滑性能指数 SRI、路面破损状况指数 PCI 4 个单项指标和综

合评价指标 MQI 对公路技术状况进行综合评定。工程应用中发现根据规范得出的部分路段指标数据较好, 但实际路况较差。如绝大部分高速公路的路面结构强度指数较高, 在大多数路况检测中检测结果接近 100, 但实际上路况并不好。可见, 根据单纯的评价指标并不能详尽、客观地描述路面所处真实状态, 已越来越不能满足当下公路管养的需求, 尤其是对于精细化管理, 这些评价指标并不能提供管养的准确信息, 存在一定局限性。

### 1.2 路表功能性指标

#### 1.2.1 平整度评价

路面是提供车辆安全、舒适行驶的建造物, 路表功能性越好, 行车舒适性和安全性越高。这与路面平整度密切相关, 平整度是路面性能评价的重要元素。国际平整度指数 IRI 是目前评价路面平整度的通用标准, 可用连续平整度仪测试的路面平整度标准差来换算。中国采用 IRI 进行路面平整度评价已有 10 多年, 并通过大量实测数据对比试验建立了 IRI 与平整度标准差  $\sigma$  的相关关系[见式(1)], 两者相关度较高。但  $\sigma$  评价过程较简单, 存在一定缺陷。因此, 在选用 IRI 进行路面平整度评价时需进行局部路段加强。根据目前的检测方法, 可附加另一种检测波, 通过波形变化的累积或幅度来表征局部路段的路面性能。如利用加权能量谱密度的方法反映局部路段的平整度状况; 也可利用  $\sigma$  与 IRI 的相关性及互补性来综合评价路面平整度。

$$\sigma = 0.592 \sqrt{6IRI} + 0.013, r = 0.987 \quad (1)$$

#### 1.2.2 车辙评价

据统计, 超过 60% 的沥青路面病害由车辙引起, 与其他病害形式相比, 车辙病害的危害性也更

大。因此,在进行公路技术状况评定时以车辙深度指数  $RDI$  [见式(2)] 为指标对车辙进行单独评价。

$$RDI = \begin{cases} 100 - a_0 RD, & RD \leq RD_a \\ 60 - a_1 (RD - RD_a), & RD_a < RD \leq RD_b \\ 0, & RD > RD_b \end{cases} \quad (2)$$

式中:  $RD$  为车辙深度;  $RD_a$ 、 $RD_b$  为车辙深度参数;  $a_0$ 、 $a_1$  为模型参数。

将深度为 10~15 mm 的车辙定义为轻度车辙,在等级划分上以 20 mm 作为车辙评价指标转折点将车辙指标划分为轻、重的等级不够精细,且对深度在 10 mm 以下的车辙未作定义。可考虑路面不致积水的最大车辙深度,利用合适的算法模型对车辙槽的几何特征进行描述,对车辙深度进行等级划分,改进车辙状况综合评价指标。如采用等腰三角形来简化车辙槽模型,通过连线中央标高及外侧边缘的标高组成三角形,以三角形高作为临界车辙高度,结合目前车辙深度等级划分标准,将车辙深度划分为轻、中、重,细化目前的分级标准,将 0~9 mm 划分为轻度车辙,9~15 mm 划分为中度车辙,大于 15 mm 划分为重度车辙。此外,在车辙深度指数模型中,可适当考虑驾驶人员的主观评价,将人的主观评价与客观数据相结合。如在客观数据得出  $RDI \geq 90$ ,而主观评价为无路面积水、无车辙因素引起的不舒适感、车辙深度小于 9 mm 时,可综合评定为优。

车辙深度并不能完全反映车辙对行车安全的影响,如图 1 所示,车轮作用在车辙槽侧壁上时,不仅车辆受到颠簸的影响,还受到侧向作用力的影响,导致在相同的车辙槽下出现不同的体验,侧壁倾角、摩擦系数、槽的曲率等均会改变行车的侧向阻力。如图 2 所示,将车辙槽模型进行简化,将车辙深度细化为槽的第一高度  $RD_1$  与第二高度  $RD_2$ ,代替之前利用平均高度来计算。 $RD_1$  表示最大槽深,评价车辙的严重程度; $RD_2$  表示积水深度。槽的宽度也可划分为  $W_1$ 、 $W_2$ 、 $W_3$ , $W_2$  表示可能积水的最大宽度,研究表明车辙槽最大水平宽度可达 1 m。 $\alpha$ 、 $\beta$  表示槽的侧壁倾角,倾角越大,车轮作用受到的横向作用力越大,过大的倾角会增加爆胎的风险,需对最大容许倾角进行限定。根据相关研究,高等级公路沥青路面车辙槽的侧壁倾角容许值为 6.8%,车辙槽的平均曲率半径可综合描述槽的整体特征,表达式为  $\rho = 180/\pi \times d/(\alpha + \beta)$  ( $d$  为  $W_1$  宽度下的弧长)。利用上述简化模型可改变车辙指数模型的表达形式,使

其表示为  $f(RD_1, RD_2, W_1, W_2, W_3, \rho)$  的函数,从而增强路面使用性能的安全性。但这样改善后会显著增加检测过程和后期分析工作量,还需足够详细的数据支持,对检测设备的要求也较高。随着检测设备和数据模型的优化,这些都会得到解决,上述指标将逐步用来衡量车辙状况。

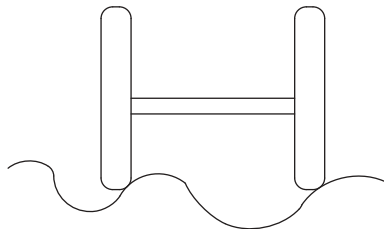


图1 车轮作用于车辙槽侧壁示意图

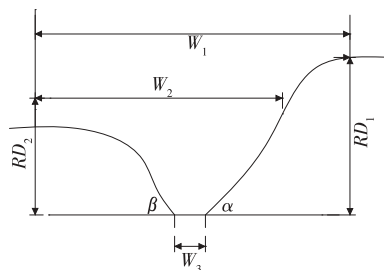


图2 车辙槽简化模型

### 1.2.3 路表抗滑性能评价

路面的安全性能主要通过路表抗滑性能来表征,道路环境、路表粗糙度、行车速度及路面潮湿状况等都会影响路面的抗滑性能。构造深度  $TD$ 、摆值  $BPN$ 、横向力系数  $SFC$  是常用抗滑性能评价指标,获取方式主要有传统接触式方法和非接触式方法。接触式方法简单直观,但费人力、物力较多,误差大;非接触式方法精度高,但设备昂贵。

$TD$  通过铺砂法、排水法、数字灰度图像、激光测量等获得,它只反映低速行驶时路面构造,车速大于 50 km/h 时其参考意义较小,实际中较少采用。

通过摆式仪所得  $BPN$  较难实现自动化,而且它反映的是潮湿状态下路表抗滑能力,是路表的微观构造,实际测量中还需进行标准温度换算;中低等级道路状况变化较多,检测速度下降严重,而在高等级公路上,因其自动化水平低会导致  $BPN$  数据难以获得。因此,需对  $BPN$  方法进行改进,利用更先进的方法进行潮湿状态下路表抗滑能力评价。可改进多功能检测车,增加独立设置的摩擦小轮和喷水装置,通过输出轮子的摩擦力测定路面在潮湿状态下的抗滑能力。此外, $BPN$  是在潮湿状态下测定

的,路面的水分会在路表和轮子之间形成一层水膜,车速越快,水膜的影响越大,轮子产生滑移的可能性越大。传统的摆式仪是在固定下滑力即一定速度下测定 *BPN*,而通过多功能检测车可在不同速度下得到摩擦值,数据具有动态性,以摩擦值代替摆值具有可行性。

较高速下路表抗滑性用横向力系数 *SFC* 表征,同样采用检测车测定,通过设置一个特定的夹角获得横向滑动摩阻力,也是通过喷水使路面保持一定厚度的水膜。*SFC* 的测定方法能最真实地反映路面行车状态,通过控制车速和摩擦装置的角度能准确得到特定条件下路面的抗滑性能。

上述方法都是基于固定速度下的路表摩擦值得到抗滑性能,对于连续变化的情形,有时获取动态下摩擦系数更重要。目前已开发了动态摩擦系数测试仪,利用该仪器可测定某一速度区间的制动距离,通过制动距离来表征滑动性能随速度连续变化的情况,评价路面的抗滑性能,更直观地反映路面抗滑性能对交通安全的影响。

### 1.3 路面结构承载力评价指标

路面结构承载力通常采用路面弯沉来表征,以 *FWD* 弯沉盆作为评价指标。*FWD* 测定的弯沉值是整个路面结构对荷载的综合响应,而沥青路面结构是一个多层体系,每个结构层的材料性质和模量各不相同,所测单点弯沉值是一个综合响应,不能真实反映路面的结构状况;多层体系中包含的大量数据没有得到有效利用,造成数据浪费;利用这些数据进行模量反算时,会出现模量差异、反算模型收敛结果不一致等问题。虽然存在上述不足,但作为无损检测技术的路面结构承载力评价指标,大量工程实践证明该方法优势明显,大多数研究都是利用该方法进行模量反算及对弯沉盆数据进行挖掘。弯沉盆数据量丰富,对于各结构层现状和发展趋势具有重要参考价值。

## 2 沥青路面使用性能预测模型

### 2.1 路面使用性能预测模型

在完成路面使用性能评价的基础上,依据现有数据建立合适的模型进行使用性能预测。路面使用性能的影响因素较多,使用前期受环境、材料及荷载的影响较大,后期还会受养护水平的影响,包括绿化、排水等。路面性能预测模型依据经验法、力学法主要分为确定型和概率型,近年还出现了动态模型

及仿生模型。不同的预测方法都是基于不同场合得到的合理模型,在特定条件下具有较好的参考价值,但都具有局限性。如以大量实测数据为基础的回归法,虽然简单,操作性强,但受地域限制,数据获取需浪费大量人力、物力;从大量数据中找出潜在联系的灰色系统理论法,对样本的要求高,由于影响沥青路面性能的因素复杂多变,取样较困难,且本身具有不确定性,中长期预测效果不佳,加上多因素之间存在干扰,在反映系统的规律性上波动较大,预测结果的反馈性不足。现有预测模型中,灰色系统理论与回归模型是主流,其他综合性、补充性预测模型基本以这2种方法为基础进行充实和改进。

### 2.2 路面车辙性能预测模型

灰色系统理论主要针对无经验、数据少的不确定问题,聚类分析是将具有共同特征的元素进行归类,综合这2种方法可将测定的众多车辙数据样本先按照聚类分析方法进行归类,选择代表值或建立聚类集,再建立连续聚类集之间的灰关联模型对车辙性能进行预测。该方法可集中各自的优势,简化计算,通过数据归类找出其中的规律。但由于每种方法本身的不确定性,2种方法集中后会将不确定性放大,预测的路面性能不确定性高,且预测结果会集中于一个集合之中。

将灰色系统理论与支持向量机回归方法相结合进行车辙性能预测,不仅精度好,适合长时间预测,而且可综合考虑多因素。

采用多元回归的方法,变量选择是关键,除累积当量轴载作用次数外,路面结构材料性能等也会对回归模型的准确性产生影响。大量研究表明,在合理的变量下回归预测模型的准确性较高。利用回归模型进行预测时,建议按照影响因素进行排序,根据主要影响程度选择1~3个变量进行回归分析,以增加预测结果的拟合性。

### 2.3 路面使用性能预测模型讨论

目前大多采用经验回归方法进行路面使用性能预测,仅选择少量数据进行回归分析。一方面受数据样本的限制,以前对公路的留样数据偏少;另一方面很多公路的前期养护仅按经验进行,多次不同程度的养护后路面结构早已发生变化,导致后期回归分析存在不确定性。可探索基于现状的因素影响性能模型,不通过建立路面性能回归,而是建立外部环境对性能影响模型,通过多因素的组合来预测。这种方法受地域限制小,可获得较多样本进行前期模型

构建,使用时只需改变环境因子即可进行计算。

文献[6]通过修正传统 GM(1,1)中的发展灰度与内生成控制灰度参数,提出无偏 GM(1,1)模型;通过消除原始数据中异常值的影响,提出滑动 GM(1,1)模型;通过遗传算法(GA)优化后的 BP 神经网络对传统、无偏与滑动 GM(1,1)模型进行组合,得到了兼顾灰色理论、遗传算法和 BP 神经网络优点的 GA—灰色神经网络组合预测模型。应用实例表明,该组合模型的预测精度较高,误差较小。但目前的研究基本集中于模型优化、算法组合及数据参数更正,对使用性能和影响因素的发展变化关系的预测模型较鲜见。可利用该 GA—灰色神经网络组合预测模型建立荷载、温度、水分等单因素预测模型,然后通过不同因素场的耦合构建总的预测模型,在某地区进行沥青路面性能预测时,只要改变环境因子,修改到预测时间段即可得到预测值。

通过影响因素分析更易了解沥青路面的变化,对沥青路面出现的破坏状况与使用性能变化建立有效联系,对养护方案制订、养护技术应用、病害处理的指导性更强。

### 3 结语

沥青路面使用性能的影响因素较多,在路面服

务期限产生的各种病害均会对路面使用性能造成影响,因而使用性能评价指标繁多。而且实际中多种病害都是联系在一起的,性能评价中不能完全地脱离开进行单一评价,各评价方法也不能完全反映路面的使用性能情况。

### 参考文献:

- [1] 易辉.高速公路沥青路面使用性能评价及预测研究[D].西安:长安大学,2014.
- [2] 谢峰.基于 BP 神经网络的高速公路路面性能预测[J].公路交通科技,2015,11(9):73—75.
- [3] 潘怀兵.基于主成分分析法的沥青路面使用性能评价[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2010,29(6):888—890.
- [4] 胡霞光,王秉纲.两种基于遗传算法的路面性能综合评价方法[J].长安大学学报(自然科学版),2002,22(2):6—9.
- [5] 汤晴,吴大鸿.沥青路面使用性能及其预测研究[J].公路工程,2015,40(5):217—219+249.
- [6] 陈仕周,李山,熊峰,等.基于 GA—灰色神经网络的沥青路面使用性能预测[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2019,38(2):44—50.

收稿日期:2021—05—16

\*\*\*\*\*

(上接第 141 页)

学版),2020,47(3):89—96.

- [10] 朱志辉,王力东,龚威,等.多种垂向轮轨关系的对比及改进的车—线—桥系统迭代模型的建立[J].中南大学学报(自然科学版),2017,48(6):1585—1593.

- [11] 李岩,吴志文,蔡明,等.一种随机车流与桥梁耦合振动的分析方法[J].哈尔滨工业大学学报,2018,50(3):46—52.

收稿日期:2021—04—21

\*\*\*\*\*

(上接第 146 页)

力学行为的理论分析[J].中国公路学报,2020,33(4):89—98.

- [5] 武松,汤华,罗红星,等.浅埋软岩公路隧道超前管棚支护机制与工程应用研究[J].岩石力学与工程学报,2019,38(增刊 1):3080—3091.
- [6] 何雄刚,毕冉.全风化花岗岩隧道连续超前中管棚支护力学性能数值分析[J].公路工程,2019,44(3):216—221+252.
- [7] 朱涵,赵春安,赵博.基于变基床系数的管棚变形机制研究[J].西安建筑科技大学学报(自然科学版),2018,50(5):617—624.
- [8] 董敏,董明星,阳军生.下穿既有高速公路下隧道施工双层管棚对土层加固作用有限元数值分析[J].公路工

程,2014,39(3):284—289.

- [9] 李力.粉细砂地层大跨浅埋隧道注浆管棚数值分析[J].隧道建设,2008,28(6):656—659.
- [10] 阳军生,张戈.浅埋暗挖隧道管棚变形监测及受力机制分析[J].岩石力学与工程学报,2007,26(6):1258—1264.
- [11] 伍振志,傅志锋,王静,等.浅埋松软地层开挖中管棚注浆法的加固机理及效果分析[J].岩石力学与工程学报,2005,24(6):1026—1029.
- [12] 招商局重庆交通科研设计院有限公司.公路隧道设计规范 第二册 交通工程与附属设置:JTG D70/2—2014[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2014.

收稿日期:2020—11—24