

永州市高速公路沥青路面使用性能预测研究

杨雨晴, 胡庆国

(长沙理工大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410114)

摘要: 通过对实际路况数据进行整理与分析, 确定湖南永州市高速公路沥青路面性能预测指标为路面破损状况指数 *PCI* 和车辙深度指数 *RDI*, 采用经验回归法建立永州市高速公路沥青路面使用性能预测模型, 并以道贺(道州—贺州)高速公路为例验证模型的有效性, 为永州市及类似高速公路养护维修决策提供参考。

关键词: 工程管理; 高速公路; 沥青路面; 使用性能; 经验回归法

中图分类号: U415.12

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2021)06-0168-04

湖南永州市高速公路通车时间大多在 10 年之内, 路面均出现了裂缝、修补、坑槽和车辙等病害, 加之交通量逐年增加, 路面需承受的荷载增大。养护管理部门若不能及时依据路面实际检测数据进行科学的养护决策, 则会迎来繁重的养护任务, 甚至造成养护资金浪费。路面使用性能预测是运用数学工具分析路面性能实测数据, 建立路面使用性能与影响因素之间的关系表达式预测未来各项路面使用性能, 科学判断路面状况, 确定路面养护需求和预防性养护时段及方案。当前已对路面使用性能预测进行了大量研究, 如江红采用多元线性回归模型建立了沥青路面性能发展模型; 王静采用回归分析法分别构建了甘肃省高速公路沥青路面破损状况指数和车辙深度指数预测模型, 根据甘肃省高速公路性能指标大中修触发值确定路面大中修时机; Aleli Osorio-Lird 等基于现场收集的数据, 运用马尔科夫链和蒙特卡罗模拟研究了路面损坏随时间变化的概率; Kelvin C. P. W. 等运用灰色理论法建立了平整度预测模型; Hossain M I 等采用人工神经网络法, 从气候和交通量等使用性能影响因素出发对路面平整度指数进行了预测; 武建民运用时间序列分析法的 ARIMA 模型对路面使用性能进行预测, 该模型能通过逐渐淘汰预测期远端样本并植入预测期近端数据来提高预测精度。建立地区性高速公路路面性能预测模型, 应结合路面实测路况的衰变规律选择科学的预测模型。该文通过对湖南永州高速公路实测数据的整理和分析, 采用分析误差结果较小的经验回归法建立永州市高速公路路面性能预测模型预测公路路面使用性能指标, 为预防性养护维修决策提供科学依据。

1 预测指标选取

路面性能预测大多采用《公路技术状况评定标准》提出的沥青路面性能评价体系中评价指标, 主要包括综合指标 *PQI* 和单项指标(路面破损状况指数 *PCI*、抗滑能力指数 *SRI*、行驶质量指数 *RQI*、车辙深度指数 *RDI*、结构强度 *PSSI*)。考虑到综合指标由各分项指标加权求得, 当某个指标值很低、其他指标值很高时, 得到的综合指标有可能是一个很高的值, 从而会得出错误的预防性养护结论。因此, 只研究单项指标实际衰变规律, 分析沥青路面是否存在某项性能方面的养护需求, 从而选择合适的性能预测指标来反映路面使用品质, 为确定养护维修方案提供关键性控制指标。

为确定适合永州市高速公路的预测指标, 以道贺(道州—贺州)高速公路 2015—2020 年路面使用性能数据为依据, 对单项指标分别进行分析。

表 1 2015—2020 年道贺高速公路沥青路面使用性能统计

年份	<i>PSSI</i>	<i>PCI</i>	<i>RQI</i>	<i>SRI</i>	<i>RDI</i>
2015	—	99.8	95.71	—	96.0
2016	99.82	99.6	95.60	97.28	95.2
2017	98.15	99.2	95.56	97.09	93.4
2018	—	98.3	95.49	96.87	91.1
2019	97.09	96.4	95.38	96.42	88.1
2020	96.85	94.2	95.36	95.56	85.8

(1) *PSSI* 是路面实施预防性养护的前提, 只有路面结构强度在良好以上时, 才能采取预防性养护措施。一般 *PSSI* 衰减速度较慢, 当路面受汽车荷载等外界因素严重影响而出现裂缝、变形等破坏时, *PSSI* 才会加速下降。根据道贺高速公路路况

数据,路面结构强度均为优,表明各路段强度满足要求且衰减速度较慢,不需对路面结构强度进行预测。

(2) *PCI* 从病害类型、损坏程度和范围上分析路况的好坏。随着路面通车时间的增加,*PCI* 衰减速率呈先缓慢后加快的趋势。根据现场调研,道贺高速公路沥青路面已出现裂缝、修补、坑槽、龟裂等病害。路面实施预防性养护旨在维修路面各类损坏,延缓路面性能衰减程度。因此,应将 *PCI* 作为道贺高速公路路面使用性能预测指标之一。

(3) *RQI* 用于评价路面能否为车辆提供舒适、安全和经济的行驶环境。根据表 1,道贺高速公路 2015—2020 年 *RQI* 值衰减变化缓慢,指标值在 95 左右,均为优,没有路面平整度方面的养护需求。

(4) *SRI* 指轮胎设备沿路表滑动时产生的摩擦阻力大小,是衡量路面安全性能的重要指标。道贺高速公路 *SRI* 值每年均为优,路面抗滑性能较好,目前没有抗滑性能方面的养护需求。

(5) *RDI* 表征路面出现车辙现象的严重程度。随着公路养护技术的发展,养护管理部门越来越看重车辙对路面性能的影响,将车辙作为重点养护对象。根据道贺高速公路路况数据,*RDI* 是单项指标中衰减最快的性能指标,2020 年车辙深度指数已衰减到良,应采取预防性养护措施。

同时,对宁道(宁远—道县)、郴宁(郴州—宁远)高速沥青路面单项指标进行分析,结合养护工作人员的建议,其路面使用性能指标情况与道贺高速公路相同。因此,选择反映路面破损状况的 *PCI* 和衰减较快的 *RDI* 作为永州市高速公路沥青路面使用性能预测指标。

2 预测模型构建

2.1 预测方法评析

目前,路面使用性能预测模型主要分为确定型模型、概率型模型和其他模型,其优缺点见表 2。

表 2 高速公路沥青路面性能预测模型比较

模型形式	预测模型	概念	优点	缺点
确定型模型	力学预测模型	采用黏弹性或弹性理论,通过结构分析得到路面在荷载作用下的应力、应变或位移方程	成熟的理论计算基础	计算量较大;变异性较大,无法准确预测路面的使用性能
	力学—经验预测模型	确定路面物理量,建立路面各反应量与路面性能参数衰变速率之间的关系式	预测性能较好,有良好的外推性	计算模型较复杂,计算工作量大
	经验回归模型	基于历年路面状况数据,采用回归分析法建立预测模型	模型操作简单方便;考虑性能影响因素较全面	精度取决于收集数据的准确性和建模人员对参数的理解;可移植性差
概率型模型	马尔可夫模型	研究某一属性从一种状态到另一种状态的概率,从而建立性能预测模型	联系实际,具有无后效性;需要的数据少;准确性高	状态转移矩阵确定较主观;没有预测路面状况指标直接
其他模型	灰色模型	从部分数据已知、部分数据未知的路面性能数据中寻找某种规律建立性能预测模型	针对数据量少的事物预测,短期预测精度较高	受不确定因素的干扰,长期预测精度较低
	神经网络模型	通过模拟人脑思维把大量神经元连接成一个复杂的网络,利用已知样本对网络进行训练,利用存储的网络信息对未知样本进行训练	良好的适用性和较强的容错能力;能同时处理定量、定性问题	迭代次数多,算法收敛速度非常慢;计算较复杂;样本维数增加会使网络性能变差

由表 2 可知:每种预测方法都有其适用性和局限性。1) 力学法和力学—经验法通过分析路面结构在荷载或环境因素作用下的反应建立预测模型,有较强的理论依据和外推性。但模型计算量大,与路面管理收集数据不一致,故较少应用这类方法进行路面性能预测。2) 经验回归法能完美避开复杂

的路面结构分析,依据历史数据进行回归分析,操作简单、易理解且较容易考虑各类路面使用性能影响因素。但其精度取决于数据收集的准确性及数据的多少。3) 马尔可夫模型能确定各种路面使用性能从一种状态转移到另一种状态的概率,具有无后效性等特点。但模型假设状态转移概率不随时间变

化,不符合路面使用性能衰变特点,且预测结果不够直接,仍需进一步计算。4)灰色理论法能较好地解决数据量小的性能预测,短期预测精度较高。但其计算复杂,远期预测较差,容易受外界因素干扰。5)神经网络的容错能力较强。但当训练方式相互矛盾时,收敛速度非常慢。可见,没有任何一个模型完全适用于路面使用性能预测,超过了其使用范围,模型就会失去意义。

模型的准确性主要依赖于积累的路面使用性能数据是否准确、充分。根据现场调研收集的历年路况检测数据,以1 km为单位对永州高速公路2015—2020年路况数据进行整理,选择逐年下降的路况数据作为建立预测模型的原始数据,原始数据较科学、可靠。因此,采用应用较广泛、计算简单的经验回归法对永州市高速公路沥青路面进行性能预测。

2.2 模型建立

采用经验回归法构建沥青路面性能预测模型。目前,常用的回归预测方法主要有幂函数、指数函数、S形曲线及多项式预测曲线。根据永州市高速公路实际路况数据和相关文献研究成果,确定采用文献[9]中路面使用性能标准衰变方程[见式(1)]。该模型能准确地反映路面性能衰变过程且具有良好的单调性,方程参数具有明确的意义,不同参数组合能代表路面性能不同的衰变过程。

$$PPI = PPI_0 \left\{ 1 - \exp \left[- \left(\frac{\alpha}{y} \right)^\beta \right] \right\} \quad (1)$$

式中: PPI 为 PCI 、 RQI 或其综合; PPI_0 为初始使用性能指数; y 为使用年数; α 、 β 为模型参数。

2.3 模型运用及验证

运用上述预测模型进行路面性能预测时需将实际检测数据换算成对应的路龄。步骤如下:

(1)将已知路面性能指标值代入预测模型,求得 y_0 。

(2)将 $y_0 + i$ 代入预测模型,求得第 i 年的性能

能指标预测值。

(3)对第 i 年路面性能指标进行相对误差计算,阈值为5%。

3 实例分析

根据2015—2020年永州市道贺高速公路路面使用性能检测数据(见表3)对路面破损状况指数 PCI 和车辙深度指数 RDI 进行预测。

表3 道贺高速公路2015—2020年路面性能指标值

年份	PCI	RDI	年份	PCI	RDI
2015	99.8	96	2018	98.3	91.1
2016	99.6	95.2	2019	96.4	88.1
2017	99.2	93.4	2020	94.2	85.8

3.1 PCI 的预测

以2015—2020年路况数据建立道贺高速公路 PCI 衰变方程模型和预测曲线[见式(2)和图1],并运用K23+000—K31+000段路况数据对 PCI 预测模型精度进行验证,结果见表4。

$$PCI = 99.8 \left\{ 1 - \exp \left[- \left(\frac{19.88}{y} \right)^{0.884} \right] \right\} \quad (2)$$

$$R^2 = 0.998$$

式中: y 为自2015年的路面使用年数。

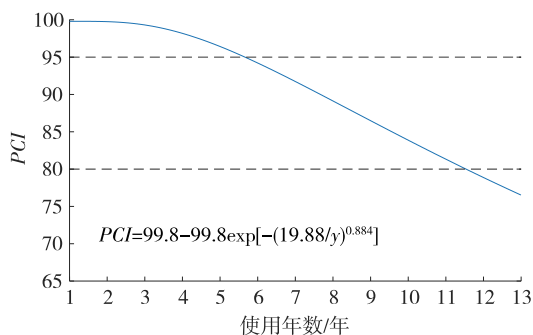


图1 道贺高速公路 PCI 预测曲线

由图1可知:道贺高速公路 PCI 衰减速率呈先缓慢后加快的趋势。使用年数为5~6年时, PCI

表4 道贺高速公路K23+000—K31+000段 PCI 预测结果

里程桩号	2019年 PCI 原始值	换算路龄/年	2020年 PCI 预测值	2020年 PCI 原始值	相对误差/%
K23+000—K24+000	96.8	4.81	94.7	95.4	0.78
K24+000—K25+000	97.4	4.43	95.5	93.5	2.17
K25+000—K26+000	95.7	5.36	93.4	91.8	1.70
K26+000—K27+000	97.6	4.37	95.7	96.2	0.57
K27+000—K28+000	97.6	4.41	95.6	94.7	0.90
K28+000—K29+000	95.4	5.49	93.0	93.4	0.39
K29+000—K30+000	95.2	5.57	92.8	90.4	2.67
K30+000—K31+000	96.4	5.02	94.2	93.1	1.16

下降到 95 左右,若不对损坏路面采取预防性养护措施,让其在自然状况下正常衰减,则在 11~12 年 *PCI* 将降至中及中以下。根据《公路沥青路面养护技术规范》,此时已不适合实施预防性养护,应采取中修罩面措施。按 *PCI* 标准衰变方程计算,道贺高速公路在[5.58, 11.47]时段实施裂缝填缝、微表处或稀浆封层等预防性养护措施,能及时改善路面状况,减少后续养护资金。

由表 4 可知:*PCI* 使用性能标准衰减方程预测精度较高,相对误差均小于 5%,能较好地拟合道贺高速公路 *PCI* 衰减规律和分析路面养护需求。

3.2 *RDI* 的预测

以 2015—2020 年路况数据建立道贺高速公路 *RDI* 衰变方程模型和预测曲线[见式(3)和图 2],并

运用 K23+000—K31+000 段路况数据对 *RDI* 预测模型精度进行验证,结果见表 5。

$$RDI = 96.0 \left\{ 1 - \exp \left[- \left(\frac{18.97}{y} \right)^{0.697} \right] \right\} \quad R^2 = 0.999 \quad (3)$$

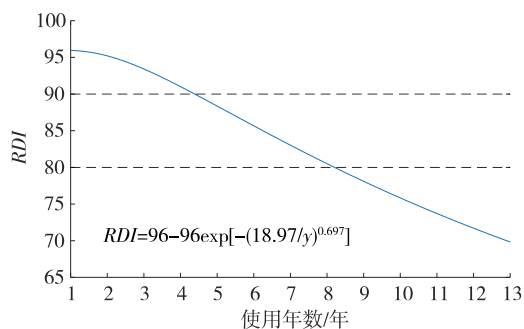


图 2 道贺高速公路 *RDI* 衰变曲线

表 5 道贺高速公路 K23+000—K31+000 段 *RDI* 预测结果

里程桩号	2019 年 <i>RDI</i> 原始值	换算路龄/年	2020 年 <i>RDI</i> 预测值	2020 年 <i>RDI</i> 原始值	相对误差/%
K23+000—K24+000	89.3	4.67	86.6	86.8	0.27
K24+000—K25+000	88.1	5.10	85.4	86.2	0.92
K25+000—K26+000	87.5	5.33	84.8	85.8	1.17
K26+000—K27+000	90.5	4.17	87.9	88.4	0.55
K27+000—K28+000	89.5	4.59	86.8	87.9	1.26
K28+000—K29+000	88.7	4.88	86.0	87.3	1.48
K29+000—K30+000	87.2	5.44	84.5	86.0	1.72
K30+000—K31+000	89.8	4.49	87.0	88.2	1.31

由图 2 可知:道贺高速公路沥青路面 *RDI* 衰减速率较快,使用年数为 4~5 年时,*RDI* 值为 90 左右,如果不采取适当的预防性养护措施,在使用年数为 8~9 年时将降至中的评价等级,此时应对路面采取中修罩面措施。按 *RDI* 标准衰变方程计算,道贺高速公路应在[4.39, 8.22]时段实施微表处、薄层罩面等预防性养护措施。

由表 5 可知:运用 *RDI* 路面性能标准衰减方程对道贺高速公路进行预测,预测值和实际值相差不大,最大误差为 1.72%,均小于 5%。

4 结论

(1) 分析永州高速公路沥青路面使用性能实际路况数据,选择 *PCI* 和 *RDI* 作为永州高速公路沥青路面使用性能预测指标,为确定养护维修方案提供关键性控制指标。

(2) 采用经验回归法构建道贺高速公路 *PCI*、*RDI* 预测模型,预测结果表明该模型基本符合永州市高速公路沥青路面使用性能衰变规律,满足预测

精度要求。

参考文献:

- [1] 王孝雄,张剑.辽宁省某高速性能预测[J].福建质量管理,2020(5):291.
- [2] 江红.基于等效面积法的沥青路面预防性养护措施效果评价[J].交通节能与环保,2020,16(2):104—108.
- [3] 王静.甘肃省高速公路沥青路面使用性能评价与预测决策研究[D].兰州:兰州交通大学,2018.
- [4] ALELI Osorio-Lird, ALONDRA Chamorro, CARLOS Videla, et al. Application of Markov chains and Monte Carlo simulations for developing pavement performance models for urban network management [J]. Structure and Infrastructure Engineering, 2018, 14(9): 1169—1181.
- [5] KELVIN C P W, LI Qiang, KEVIN D Hall, et al. Experimentation with gray theory for pavement smoothness prediction [J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2007, 1990: 3—13.

(下转第 176 页)

质量控制的主体即人相关,命名为组织管理因素。

X_1 、 X_3 、 X_2 、 X_{18} 和 X_7 在第二个主因子 F_2 上具有较高的载荷,包括新技术的专项方案不完善、原材料性能及配合比设计不合理、摊铺和碾压设备的操作与使用、施工质量技术交底不完善、工序交接不合理,说明第二个主因子基本反映施工技术,故命名为施工技术因素。

X_4 、 X_8 、 X_5 在第3个主因子 F_3 上具有较高的载荷,包括项目质量管理人员分配不足、对劳务班组管理不到位、质量管理机制运行不畅,是由质量管理所引起,将其命名为质量管理因素。

X_{16} 、 X_{17} 和 X_{15} 在第4个主因子 F_4 上具有较高的载荷,包括不可抗力突发因素、恶劣的气候和自然条件、复杂的施工环境,主要由自然环境及突发意外所引起,将其命名为环境及意外因素。

X_6 在第5个主因子 F_5 上具有较高的载荷,说明第5个主因子主要反映施工设施的布局,将其命名为施工设施因素。

4 结语

该文基于因子分析法对路面施工过程质量问题影响因素进行分析及评价。依据项目实际情况,采用文献查阅法及专家访谈法确定路面施工过程质量问题影响因素,最终确定18个质量问题影响因素指标。对质量问题影响因素进行主成分提取,归类为5个质量问题影响因子,并根据其综合得分大小进行排名,分值越高的质量问题因素应在施工过程中着重管理。分析结果表明,路面施工过程中的质量问题主要集中在施工技术方面,施工单位在路面施工中应着重加强自身技术水平和人员素质建设,制定并完善质量控制体系,并采取提高质量标准

的措施;对于其他影响因素,按照分值的排名,依次做好质量管理与控制,从而提升工程质量。

参考文献:

- [1] 沙庆林.高速公路沥青路面早期破坏现象及预防[M].北京:人民交通出版社,2001:79—113.
- [2] 徐士磊.宁杭公路工程项目质量管理和控制研究[D].大连:大连海事大学,2016.
- [3] 杜大星.G公路集团质量管理存在的问题及优化改进[D].南宁:广西大学,2019.
- [4] 李林林.长临高速公路全面质量控制与管理研究[D].西安:长安大学,2017.
- [5] 王世涛.G204公路莱阳改建段项目质量评价体系研究[D].青岛:青岛大学,2018.
- [6] GORSUCH R L.Exploratory factor analysis:its role in item analysis[J].Journal of Personality Assessment, 1997,68(3):532—560.
- [7] BONETT D G, WRIGHT T A.Cronbach's alpha reliability: interval estimation, hypothesis testing, and sample size planning[J].Journal of Organizational Behavior, 2015,36(1):3—15.
- [8] 殷辉,张砚,李道芳.我国区域物流节点城市发展的统计评价分析[J].现代管理科学,2011(3):43—45.
- [9] 王俊月.基于数据挖掘的卢传坚教授治疗寻常型银屑病外洗方药物配伍规律研究[D].广州:广州中医药大学,2019.
- [10] JAVED A.Face recognition based on principal component analysis[J].International Journal of Image, Graphics and Signal Processing (IJIGSP), 2013,5(2):38.
- [11] 张翠娟,冯学军,盛敏.因子分析开发步骤及R语言程序代码实现[J].安庆师范学院学报(自然科学版), 2013,19(2):28—31.

收稿日期:2021-01-18

(上接第171页)

- [6] HOSSAIN M I, GOPISETTI L S P, MIAH M S. Prediction of international roughness index of flexible pavements from climate and traffic data using artificial neural network modeling[C]//Airfield and Highway Pavements: International Conference on Highway Pavements and Airfield Technology, 2017:256—267.
- [7] 武建民,刘大彬,李福聪,等.基于时间序列分析法的沥青路面使用性能预测[J].长安大学学报(自然科学版), 2015,35(3):1—7.
- [8] 杨博,侯明业,毛海臻,等.基于参数自跟踪的沥青路面

使用性能预测研究[J].武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2020,44(6):90—93.

- [9] 孙立军,刘喜平.路面使用性能的标准衰变方程[J].同济大学学报(自然科学版), 1995,23(5):512—518.
- [10] 上海市公路管理处.公路沥青路面养护技术规范:JTJ 073.2—2001[S].北京:人民交通出版社,2001.
- [11] 杜二鹏,马松林,景海民.基于灰色系统理论的沥青路面使用性能预测[J].同济大学学报(自然科学版), 2010,38(8):1161—1164.

收稿日期:2021-03-26