

DOI:10.20035/j.issn.1671-2668.2023.02.015

四川省普通国省干线公路路面性能预测系统^{*}

许伟强, 唐堂

(四川华腾公路试验检测有限责任公司, 四川 成都 611730)

摘要: 通过对四川省普通国省干线公路自然区划、交通量、路面结构的分级, 标定日常养护路段路面性能(路面损坏状况指数 I_{PCI} 、路面行驶质量指数 I_{RQI})4 种衰变模式的模型参数; 对于修复养护路段, 统计分析完工后首次路面性能检测的路面使用性能指数 I_{PQI} 为 97.2; 采用 Python 语言开发四川省普通国省干线公路路面使用性能预测系统, 并通过全网实际检测数据验证衰变模型和预测系统的准确性。

关键词: 公路; 普通国省干线公路; 路面性能; 衰变模型; 日常养护; 修复养护

中图分类号: U418.6

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2023)02-0068-05

深入认识现有路面使用性能的衰变规律对于养护工程科学决策、不同养护设计方案的效益费用计算具有重要意义。本文结合四川省普通国省干线公路年度路面技术状况检测评定项目, 调查研究日常养护、修复养护路段路面性能衰变规律和衰变模型, 开发路面性能预测软件, 为全省普通国省干线公路养护管理提供有力支撑。

1 路面养护类型

根据新旧公路养护技术规范^[1-3], 目前中国公路养护类型由小修保养、中修工程、大修工程、改建工程调整为日常养护和养护工程(预防性养护、修复养护、专项养护和应急养护), 各技术规范中的养护类型见表 1。

表 1 不同规范中养护类型对应表

JTG H10—2009 中的养护类型		JTG 5142—2019 和 JTG 5421—2018 中的养护类型	
小修保养	维护保养	日常养护: 日常巡查、保养和维修	功能性修复: 恢复路面原有技术状况
	修补轻微损坏		
中修工程: 恢复原有技术状况	修复养护	结构性修复: 恢复路面功能且不低于原路面结构承载能力	
大修工程: 全面恢复原有技术标准			

2 日常养护路段

日常养护路段路面使用性能衰变模型研究的基本思路: 以四川省普通国省干线公路为研究对象, 按照路面结构类型、交通情况等影响因素进行分类, 采用分析—标定法建立路面性能与相关影响因素之间的回归关系。

2.1 衰变模式分析

通过对多年路面技术状况检测评定数据的统计分析, 得到图 1~4 所示四川省普通国省干线公路路面性能典型衰变模式^[4]。根据路况衰变模式分别建立路面使用性能指数 I_{PPI} (路面损坏状况指数 I_{PCI} 或路面行驶质量指数 I_{RQI}) 随时间 y 的衰变方程(见表 2)。

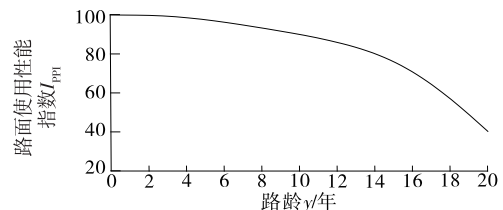


图 1 先慢后快型路况衰变模式

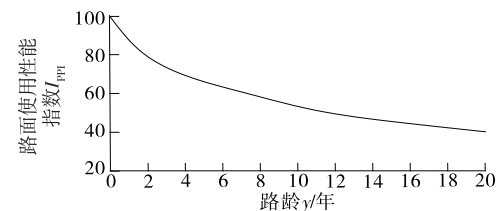


图 2 先快后慢型路况衰变模式

* 基金项目: 四川省公路科技项目(2012-05)

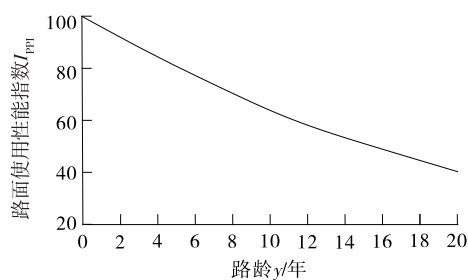


图3 路面衰变规律近似为直线的路况衰变模式

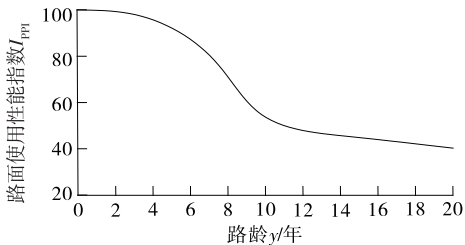


图4 早期衰减缓慢,然后变快,后期加强养护衰减变慢的路况衰变模式

表2 路面使用性能衰变模型、影响因素及迭代公式

衰变模式	拟合曲线	衰变方程	参数取值范围	参数影响因子
先慢后快型	凸形曲线	$I_{\text{PPI}}^2 = I_{\text{PPI0}}^2 \cdot (1 - y^2 / \alpha^2)$	$\alpha \in (10, 2.5)$	$\alpha = a \cdot h^b \cdot C_{\text{AADT}}^c$
先快后慢型	凹形曲线	$I_{\text{PPI}} = I_{\text{PPI0}} \cdot e^{-\alpha \cdot y}$	$\alpha \in (0.06, 0.22)$	$\alpha = a \cdot h^b \cdot C_{\text{AADT}}^c$
路面衰变规律近似为直线	直线	$I_{\text{PPI}} = I_{\text{PPI0}} - \alpha \cdot y$	$\alpha \in (2.5, 9)$	$\alpha = a \cdot h^b \cdot C_{\text{AADT}}^c$
早期衰减缓慢,然后变快,后期加强养护衰减变慢	反S形曲线	$I_{\text{PPI}} = I_{\text{PPI0}} \{1 - \exp[-(\alpha/y)^\beta]\}$	$\alpha \in (7, 9)$ $\beta \in (1, 2.3)$	$\alpha = a_1 \cdot h^{b_1} \cdot C_{\text{AADT}}^{c_1}$ $\beta = a_2 \cdot h^{b_2} \cdot C_{\text{AADT}}^{c_2}$

注: I_{PPI0} 为初始路面使用性能指数; α 、 β 、 a 、 b 、 c 为回归系数; h 为路面面层厚度(cm); C_{AADT} 为年平均日交通量(pcu/d)。

衰变方程中参数 α 、 β 确定 I_{PCI} 或 I_{RQI} 的衰变过程,所有影响路面使用性能的因素都将影响 α 和 β 的取值。本文从影响路面使用性能的外部因素(交通量)和内部因素(路面结构)入手,经反复分析比较,采用表2所示公式迭代求解。

2.2 模型参数分级

根据“四川省普通国省干线公路路线基本情况明细表”,结合现场调查资料,按照以自然气候因素

为主导的自然区划^[5]对交通量和路面结构等影响因素^[6]进行分级,将四川省普通国省干线公路划分为507段,共计16 159.481 km。

2.2.1 自然区划分级

按照各自然区划的气候环境差异、公路里程、公路等级及面层厚度分布,将6个二级自然区和1个二级自然副区合并为四类区划(I类、II类、III类、IV类),四类区划与自然区划、市州的对应关系见表3。

表3 四类区划与自然区划、市州的对应关系

区划	自然区划名称	市州
I类	V1:秦巴山地湿润区; V2:四川盆地中湿区; V3:三西、贵州山地过湿区	成都、广元、巴中、达州、绵阳、德阳、南充、广安、遂宁、资阳、内江、自贡、泸州、宜宾、眉山
II类	V2a:雅安、乐山过湿副区	雅安、乐山
III类	V4:川、滇、黔高原干湿交替区	凉山、攀枝花
IV类	VII3:河源山原草甸区; VII5:川藏高山峡谷区	甘孜、阿坝

2.2.2 面层厚度分级

四川省普通国省干线公路沥青路面面层厚度分布区间为3~16 cm,水泥路面面板厚度分布区间为20~30 cm(见图5)。沥青路面面层厚度分级的原则是每个分级区间内的数据量足够多,并能覆盖四类区划(见表4)。考虑到水泥混凝土路面在每类区划中里程较小,路段数量较少,且呈不连续分布,将每类区划内所有水泥混凝土路面面板厚度均划分为一个级别(见表5)。

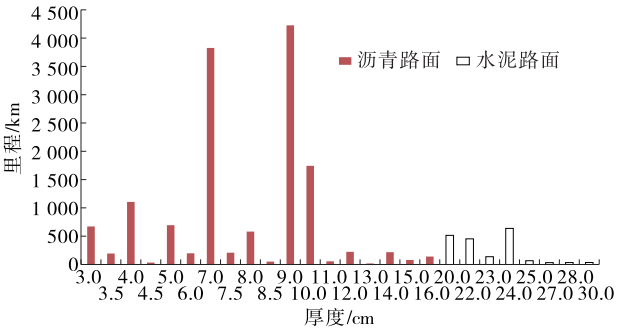


图5 面层(面板)厚度分布

表4 沥青路面面层厚度分级

区划	厚度类型	面层厚度 h/cm	厚度分级
I类	薄	$3 \leq h < 5$	1级
	中	$5 \leq h < 8$	2级
	厚	$h \geq 8$	3级
II类	薄	$3 \leq h < 8$	1级
	厚	$h \geq 8$	2级
III类	薄	$3 \leq h < 5$	1级
	中	$5 \leq h < 8$	2级
	厚	$h \geq 8$	3级
IV类	薄	$3 \leq h < 5$	1级
	中	$5 \leq h < 8$	2级
	厚	$h \geq 8$	3级

表5 水泥路面面板厚度分布及分级

区划	水泥路面 里程/km	路段数 量/条	面板厚度/cm	厚度分级
I类	932.672	79	20、22~25、27、30	1级:含所有厚度
II类	430.688	27	20、22~24、28、30	1级:含所有厚度
III类	406.095	32	20、22、24、25	1级:含所有厚度
IV类	124.334	6	20、24、30	1级:含所有厚度

2.2.3 基层类型分级

在四川省普通国省干线公路基层类型中,柔性基层里程仅占总里程的0.7%,刚性基层占3.4%,两者占比较小,半刚性基层占总里程的95.9%,故将沥青路面和水泥路面的基层类型统一按照半刚性基层进行研究。

2.2.4 交通量分级

四川省普通国省干线公路共设置443个交通量观测站,根据四川省交通运输厅《路段平均日交通量报表》,机动车当量数 C_{AADT} 采用现行收费车型的划分标准进行换算^[7]。通过分类汇总,结合交通量在四类区划中的里程分布,将交通量分为A~D四级(见表6)。

表6 交通量分级

交通量分级	$C_{\text{AADT}}/(\text{pcu} \cdot \text{d}^{-1})$	数据数量/条	里程/km
A级	0~3 500	139	5 840.482
B级	>3 500~7 000	145	4 159.934
C级	>7 000~10 500	70	1 952.922
D级	>10 500	89	2 088.138

2.3 模型参数标定

根据《公路技术状况评定标准》^[8-9]和2010—2020年四川省普通国省干线公路路面技术状况检

测评定项目中 I_{PCI} 和 I_{RQI} 数据,对以上各影响因素按照参数分级,采用专业函数软件Origin进行回归分析,以相关系数和 p 值两项指标分别表征回归方程的拟合优度和显著性。

3 修复养护路段

通过分析四川省普通国省干线公路2013—2016年修复养护项目的实施情况,对148个修复养护项目历年路面使用性能(I_{PQI})检测值进行统计,研究养护完工后首次路面检测 I_{PQI} 值。

148个样本 I_{PQI} 数据中最大值为98.8,最小值为96.0,极差为2.8,均值 \bar{X} 为97.2,呈现一个波峰、中间高两头低、两边较对称的形态(见图6)。

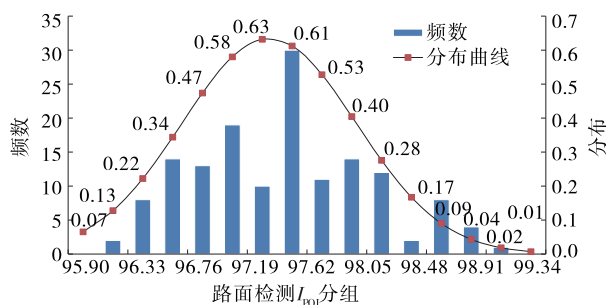


图6 2013—2016年养护项目完工后首次路面检测 I_{PQI} 分布直方图

通过计算样本的偏度和峰度值来检验样本是否来自正态分布(又称 u 分布)总体。取显著性水平 $\alpha=0.1$,假设样本数据来自正态分布总体。经计算,样本中心矩 $B_2=0.3934$, $B_3=0.0718$, $B_4=0.3654$,样本偏度和峰度的观察值分别为 $b_s=0.2908$ 、 $b_k=2.3614$,得 $|u_1|=1.4740 < Z_{0.025}=1.96$, $|u_2|=1.5627 < Z_{0.025}=1.96$,接受上述假设,认为样本数据来自正态分布总体。

根据最大似然估计法,正态分布总体均值 μ 的最大似然估计量 $\hat{\mu}=\bar{X}=97.2$,修复养护路段完工后首次检测的 I_{PQI} 值定为正态分布均值97.2,之后各年的路面使用性能衰变规律同日常养护路段。

4 系统开发

4.1 功能需求

四川省普通国省干线公路路面使用性能预测系统主要具有数据展示和搜索、衰变计算、参数设置3种功能^[10]。

(1) 数据展示和搜索。用户上传“xx年度公路路线基本情况明细表”和“xx年度四川省普通国省

- [1] 浙江省公路管理局.公路养护技术规范:JTG H10—2009[S].北京:人民交通出版社,2009.
- [2] 交通运输部公路科学研究院.公路沥青路面养护技术规范:JTG 5142—2019[S].北京:人民交通出版社股份

有限公司,2019.

- [3] 交通运输部公路科学研究院.公路沥青路面养护设计规范:JTG 5421—2018[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2018.
- [4] 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.
- [5] 交通部公路规划设计院.公路自然区划标准:JTJ 003—1986[S].北京:中国标准出版社,1986.
- [6] 荣建国,王浩仰.路网级沥青路面使用性能衰变模型的标定[J].交通科学与工程,2019,35(4):22—27.
- [7] 中华人民共和国交通运输部办公厅.关于调整公路交通情况调查车型分类及折算系数的通知:厅规划字[2010]205号[A].北京:中华人民共和国交通运输部办公厅,2010.

- [8] 交通运输部公路科学研究院.公路技术状况评定标准:JTG H20—2007[S].北京:人民交通出版社,2007.
- [9] 交通运输部公路科学研究院.公路技术状况评定标准:JTG 5210—2018[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2018.
- [10] 甘梁刚,毛立举,林茂森.江西省公路养护科学决策管理系统的构建及应用[C]//中国公路养护与管理分会.2014全国公路养护技术学术年会论文集(路面卷).北京:人民交通出版社股份有限公司,2014:138—141.

收稿日期:2022—03—31

(上接第 48 页)

(3) 综合考虑沥青混合料的性能,采用累积损伤理论设计,得到 4 cm SBS 改性沥青 SMA—13+10 cm 高模量沥青混合料 EME14+10 cm 高模量沥青混合料 EME14+20 cm 70# 道路石油沥青 ATB—25+20 cm 级配碎石的沥青路面结构,该结构的永久变形主要集中于上部,符合长寿命沥青路面的理念。

参考文献:

- [1] 吕正龙.长寿命半刚性基层沥青路面的设计分析[J].建材装饰,2020(20):43—45.

- [2] 杨永顺,韦金城,高雪池,等.永久性沥青路面设计方法研究[R].济南:山东省交通厅公路局,2008.
- [3] NEWCOMB D E, WILLIS R, TIMM D H. Perpetual asphalt pavements: A synthesis [R]. The National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2010.
- [4] 沈金安.国外沥青路面设计方法总汇[M].北京:人民交通出版社,2004.
- [5] 王伟力,唐中华,孔令云,等.隧道半刚性基层沥青路面沥青层疲劳开裂分析[J].长沙理工大学学报(自然科学版),2020,17(2):39—45.

收稿日期:2022—04—06

(上接第 52 页)

- [2] 张金生,马丽莉,陈奕辛.高粘沥青与沥青混合料性能对比研究[J].四川水泥,2020(2):313—314.
- [3] 朱振祥,田隽,王冻,等.高粘弹改性沥青 SMA—5 超薄磨耗层路用性能研究[J].山东交通科技,2019(5):71—73.
- [4] 张海涛,李尚涛.增塑 SBS 沥青与基质沥青老化耐久性的对比研究[J].公路工程,2019,44(6):213—216+239.
- [5] 王卫雷,马柱,李大为,等.胶粉掺量对橡胶改性沥青低温性能的影响[J].城市道桥与防洪,2021(6):278—281.
- [6] 豆怀兵,陈拴发,祝斯月,等.高粘改性沥青胶浆粘弹特性研究[J].武汉理工大学学报,2014,36(4):53—57.
- [7] 黄卫东,高杰,郝庚任,等.高粘 SBS 改性沥青的流变性能与化学特性研究[J].建筑材料学报,2021,24(5):1024—1031+1038.

- [8] 熊梦日,王辉.预处理废胶粉复合改性沥青制备工艺探讨[J].公路与汽运,2022(1):51—53.
- [9] 交通运输部公路科学研究院.公路工程沥青及沥青混合料试验规程:JTG E20—2011[S].北京:人民交通出版社,2011.
- [10] 王律明.掺加不同纤维高粘弹沥青力学性能影响分析[J].山西建筑,2015,41(17):82—83.
- [11] 时敬涛,袁野,张生泉,等.高粘助剂对高粘高弹沥青性能的影响规律研究[J].石油沥青,2019,33(5):7—11.
- [12] 靳可.SBS/废胶粉复合高粘度改性沥青的制备及性能研究[D].长沙:长沙理工大学,2020.
- [13] 王辉,周争辉,詹诗浩,等.废胶粉/SBS 复合改性沥青混合料 CR/SHMA—13 的级配研究[J].长沙理工大学学报(自然科学版),2021,18(3):1—7.

收稿日期:2022—03—22