

# 基于路面性能衰变规律的路面养护需求分析<sup>\*</sup>

阳宏毅

(长沙理工大学, 湖南 长沙 410004)

**摘要:** 通过对路面中长期性能的统计分析,路面性能衰变遵循一定的统计学规律;通过对路面性能中长期均值和方差的回归分析,列出其变化曲线,估算路面性能宏观(整体技术状况)与微观(各公里路段)的联系,预测寿命周期内路面性能变化规律,按照路面养护技术规范的规定建立性能变化与养护需求之间的联系,为路面养护需求分析提供依据。

**关键词:** 公路;路面;性能衰变;养护需求

中图分类号:U415.2

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2017)02-0190-03

## 1 路面性能指标统计分析

路面性能指标的发展变化纷繁复杂,但实际上遵循一定的数理统计规律。根据大量路面性能指标统计分析,其性能指标通常呈正态分布或对数正态

分布。以一条运行 5 年、长度为 218 km、未进行中修的线路为例,按车道公里为点对路面破损、平整度、车辙及抗滑性能进行统计,并采用科尔莫哥洛夫假设进行检验,统计及检验结果见表 1。

由表 1 可知:路面性能指标一般满足  $N(\mu, \sigma)$

表 1 某高速公路路面性能统计

技术指标	样本平均值	标准差	变异系数	正态检验值	临界检验值	是否符合正态分布
破损状况指数 <i>PCI</i>	93.57	1.98	0.021 1	0.065 3	0.091 9	符合
行驶质量指数 <i>RQI</i>	93.19	0.96	0.010 0	0.068 4	0.091 9	符合
车辙深度指数 <i>RDI</i>	92.18	4.62	0.054 0	0.082 5	0.091 9	符合
抗滑性能指数 <i>SRI</i>	92.49	1.46	0.015 0	0.074 3	0.091 9	符合

正态分布,其中  $\mu$  代表整体均值的分布,  $\sigma$  代表性能离散程度的方差。正是由于性能指标遵循一定的统计学分布规律,才使合理预测路段性能指标的分布成为可能。

## 2 路面性能指标的均值分析

路面性能的衰变通常呈一条平滑的曲线,有图 1 所示 4 种衰变曲线。其中:曲线 a 为凸形曲线。这种性能衰变模式显示了路面承载能力同其功能性能之间良好的相关性。路面使用前期,由于路面耐用性较强,能有效抵御行车荷载、环境因素侵蚀等,性能衰减缓慢。但随着时间的推移和行车荷载作用次数的增加,路面逐渐产生疲劳和裂缝、变形等损坏,降低了路面结构能力,在荷载和环境的综合作用下路面损坏速率逐渐加剧。这种状态下路面前期养

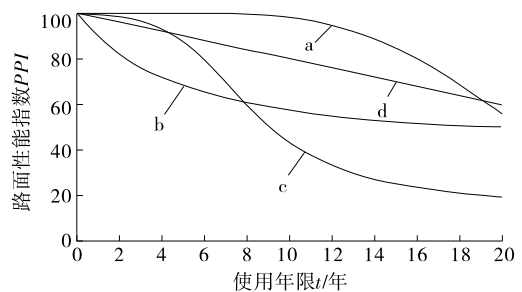


图 1 路面使用性能的典型衰变模式

护需求较低。曲线 b 为凹形曲线。路面使用初期,其使用性能下降很快,而后缓慢,说明路面施工质量存在一定缺陷,路面投入使用后很快出现损坏,而损坏的出现会大大降低路面的服务能力。养护部门不得不投入较多资金进行路面维护,但又难以整体上提升路面的服务水平,使道路在较长时间内以较低的水平提供服务。这是需极力避免的情况。曲线

<sup>\*</sup> 基金项目:湖南省自然科学基金项目(12JJ6038)

c 为反 S 形曲线。路面使用初期,由于其结构抗力较强,损坏较少,服务能力衰变较慢;随着荷载作用年限的增加,损坏速度有所增加;而到了使用后期,路面损坏又趋于平缓。曲线 d 描述的是路面投入营运后其性能随着使用年限的增加近似直线下降,说明路面早期损坏后缺乏必要的养护维修措施。

根据路面使用性能衰变曲线的不同采用不同的衰变方程进行回归,常用方程有双曲线方程、指数方程等,其中同济大学孙立军教授提出的指数方程(对应图 1 中曲线 c)应用较广,其表达式如下:

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

式中:  $PPI$  为路面性能指数;  $PPI_0$  为道面新建或最近一次大中修后某路面性能指数的数值,一般为 100;  $t$  为路面使用年限;  $\alpha$  为路面寿命因子;  $\beta$  为曲线形状因子。

根据回归分析得到的参数可预测某一时刻路面性能的整体(宏观平均值)分布情况。但作为路面养护者,有时更关注的是低于某一性能指标的路段长度(微观分布,通常以公里为单位)。如根据 JTG H10—2009《公路养护技术规范》,当高速公路或一级公路某一路段(通常为 1 km)路面的平整度破损状况评定等级处于中及中以下时需进行中修养护,为确定养护需求,需掌握平整度处于中及中以下路段的长度。因此,在进行路面中长期养护需求预测时,不仅需预测路面整体性能的衰变曲线,还需预测各路段的概率分布情况。而路面性能指标的方差是决定各路段性能指标分布形状的决定因素,有必要对方差变化规律进行分析。

### 3 路面性能指标方差的发展

如果路基、路面的材料特性及施工质量等因素完全一致,在相同环境和相同荷载作用下,理论上路面性能将呈现完全一致的发展趋势,即某项路面性能指标的方差为零。实际上影响路面性能的各种因素不可能完全一致,各路段路面性能的发展存在一定的变异性。根据养护经验及对路面长期性能的统计分析,路面性能指标的方差呈 S 形发展变化:在使用初期,路面性能指标总体较均匀,方差较小;路面使用到一定时期,性能衰减较快,方差也呈快速发展趋势;在路面使用中后期,路面性能指标较低,但方差的变化规律减缓。表 2 和图 2 为某高速公路未进行中修路段路面车辙深度指数  $RDI$  的方差统计及

分布情况。

表 2 某高速公路未中修路段各年度车辙深度指数

$RDI$  的方差统计

使用年限/年	$RDI$ 的方差	使用年限/年	$RDI$ 的方差
0	0.00	8	10.78
1	0.47	9	12.69
2	1.28	10	13.83
3	1.79	11	14.45
4	2.58	12	14.99
5	4.62	13	15.25
6	6.68	14	15.89
7	8.43	15	16.47

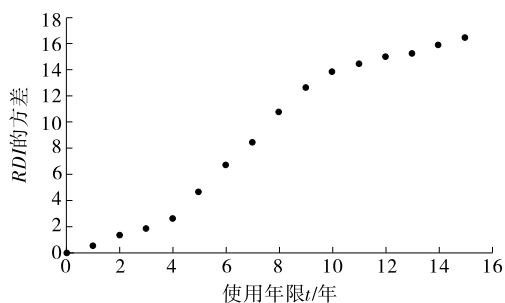


图 2 某高速公路车辙深度指数  $RDI$  的方差分布

从图 2 来看,随着使用年限的增加,车辙深度指数  $RDI$  的方差近似呈 S 形增长。这从路面性能的变化特性较好理解,在路面使用前期,路面性能较稳定,性能衰减较慢,离散性自然较小;随着使用年限的增加,路面性能衰减加快,性能指标的离散性呈加速增长趋势。

大多数路面性能指标衰减的离散性(方差)可用 Logistic 函数来表征,即:

$$\sigma = \frac{K}{1 + \exp(c - dY)} \quad (2)$$

式中:  $\sigma$  为路面性能指标的方差;  $Y$  为路面使用年限;  $K$ 、 $c$ 、 $d$  为回归参数。

### 4 养护需求分析及实际工程应用

通过大量路面中长期性能统计数据归纳路面性能指标的变化趋势,掌握服从正态分布的路面性能  $X(\mu, \sigma)$  中核心参数  $(\mu, \sigma)$  的中长期发展规律,便可按下式推算在某一时期路面技术状况  $P$  小于养护技术规定的大中修养护阈值  $x$  的概率为:

$$P(X \leq x) = \Phi\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right) \quad (3)$$

通过查正态分布表可求得低于大中修养护极限值的概率,用概率乘以路段的里程即可得到需进行大中修的路段长度。

下面以一条运行 5 年、处于预防性养护阶段的沥青路面为例对上述方法进行说明。该道路行车道长度为 218 车道公里,通过对路面车辙性能的回归

分析,推算路面车辙在寿命服务周期(15 年)的均值及方差发展变化趋势,以  $RDI$  低于 70(车辙深度为 15 mm)作为中修阈值,推算未采取维修措施时全线总中修养护需求,假定每年都及时对车辙病害进行中修处治,预估其各年的养护需求(车道公里)。预估结果见表 3。

表 3 某高速公路各年度车辙养护需求预估

使用年 限/年	$RDI$		$RDI$ 低 于 70 的 概率	总养护 需求/车 道公里	年度养护 需求/车 道公里	使用年 限/年	$RDI$		$RDI$ 低 于 70 的 概率	总养护 需求/车 道公里	年度养护 需求/车 道公里
	均值	方差					均值	方差			
0	100.00	0.00	0.000 0	0.00	0.00	8	88.11	10.78	0.050 0	10.14	7.96
1	95.61	0.47	0.000 0	0.00	0.00	9	86.38	12.69	0.100 0	21.47	11.34
2	94.92	1.28	0.000 0	0.00	0.00	10	84.44	13.83	0.149 2	32.53	11.05
3	94.13	1.79	0.000 0	0.00	0.00	11	82.26	14.45	0.200 0	43.60	11.07
4	93.22	2.58	0.000 0	0.00	0.00	12	79.84	14.99	0.250 0	54.50	10.90
5	92.18	4.62	0.000 0	0.00	0.00	13	77.16	15.25	0.320 0	69.76	15.26
6	91.00	6.68	0.000 0	0.00	0.00	14	74.22	15.89	0.390 0	85.02	15.26
7	89.65	8.43	0.010 0	2.18	2.18	15	71.01	16.47	0.480 0	104.64	19.62

## 5 结语

通过回归分析,可知路面性能指标的微观(以公里为单位)分布大多服从一定的统计规律(以正态分布居多),通过对其均值和方差的回归分析,可估算其在寿命周期中的发展规律。利用统计学原理可求出性能指标低于一定阈值的概率,从而计算出各年度的养护需求,为养护单位编制中长期养护维修规划提供依据。

该方法是假定寿命周期内路面只需进行 1 次中修处治。而实际上某些路段在寿命周期内会有 2 次或以上的中修养护需求,需进一步开展养护维修对路面性能发展变化规律的分析研究,以更准确地反

映路面养护需求。

## 参考文献:

- [1] 盛骤,谢式千,潘承毅.概率论与数理统计[M].北京:高等教育出版社,2000.
- [2] 杨伟军.服役结构可靠度理论及其应用[M].长沙:中南工业大学出版社,1999.
- [3] JTG H10—2009,公路养护技术规范[S].
- [4] 郭大进,沙爱民.沥青路面施工质量过程控制技术[M].北京:人民交通出版社,2011.
- [5] 孙立军.沥青路面结构行为理论[M].上海:人民交通出版社,1998.

收稿日期:2016—11—20

# 《中外公路》2017 年征订通知

《中外公路》(原《国外公路》)属全国中文核心期刊、RCCSE 中国核心学术期刊、首届(2006 年)中国高校特色科技期刊、中国高校技术类优秀期刊、中国科技核心期刊、湖南省十佳科技期刊,“桥梁工程与隧道工程”栏目荣获首届(2008 年)湖南省优秀栏目,2009 年获全国高校科技期刊优秀编辑质量奖,并多次被评为交通部、湖南省优秀期刊。

每册定价 15.00 元,全年 6 期共 90.00 元。邮发代号:42—63。读者也可通过邮局或银行汇款至杂志社直接订阅。

地址:长沙理工大学云塘校区 58 号信箱 邮编:410004

户名:长沙理工大学

帐号:18—051401040000158

收款单位:《中外公路》杂志社

开户行:长沙市农行高云支行