

中修养护维修对策对沥青路面性能变化规律的影响研究^{*}

阳宏毅

(长沙理工大学, 湖南 长沙 410076)

摘要: 在荷载和自然环境的作用下,路面性能以一定的统计学规律衰变,衰变到一定程度时,需采取一定的养护措施改善和恢复路用性能。由于养护时机和措施具有较大的可变性,养护维修后路面性能变化呈现多样性。为预估养护维修对沥青路面性能的影响,预测养护维修措施后路面性能的发展变化规律,文中依据路面性能统计学原理,采用随机正态分布十一函数模拟各路段的发展变化及养护对策对路面性能的影响,在中修养护与性能变化之间建立一定的联系,为路面养护决策提供依据。

关键词: 工程管理;沥青路面;中修养护维修;路面性能;变化规律

中图分类号:U415.13

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2019)04-0160-04

1 路面性能衰变概述

在小修及日常保养条件下,沥青路面性能 PPI 的衰变通常呈一条平滑的曲线,根据对路面性能衰变性能的统计,较多的路面性能衰变呈一条 S 形曲线(见图 1)。同济大学孙立军教授提出的性能指标衰减方程为:

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

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路面性能指数的数值,一般为 100; t 为路龄; α 为路面寿命因子; β 为曲线形状因子。

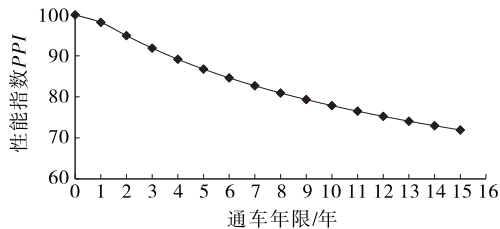
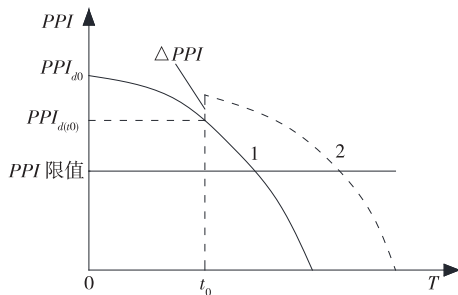


图 1 某路面使用性能的 S 形衰变曲线($\alpha=26.4, \beta=0.423$)

如图 1 所示,当 α 取 26.4、 β 取 0.423 时,性能指数在 15 年左右接近 70 分,达到二级及以下公路整体中修的水平。在实际道路运营中,不可能任由路面按该曲线进行衰变,按照 JTG H10-2009《公路养护技术规范》和 JTJ 073.2-2001《公路沥青路面养护技术规范》的相关要求,高速公路路面破损、平

整度及抗滑性能单公里评定为“中”及以下、车辙深度超过 15 mm 时应进行中修养护处治,提高路面性能。进行中修处治后,路面性能将在处治的某个时间点产生突变,性能指数 PPI 呈现断崖式提升,然后按新的衰变曲线进行发展(见图 2)。经过数次中修养护后,当路面性能总体低于一定水平或养护投入过大,继续采取中修养护措施成本较大,与大修相比效益较低时,需对路面进行大修改造。大修过后相当于路面进行下一次新的循环,其发展规律类似于新建道路。因此,仅分析中修养护对沥青路面性能变化规律的影响。



曲线 1 为小修保养条件下路面性能衰变曲线;
曲线 2 为中修状态下路面性能衰变曲线。

图 2 中修养护措施对路面性能的影响($\alpha=26.4, \beta=0.423$)

2 基于概率模型的路面性能衰变预测分析

式(1)反映的是路面整体性能的发展变化趋势,

^{*} 基金项目:湖南省自然科学基金项目(12JJ6038)

各路段(通常以车道公里为单位)的性能状况并不清楚。如果路基、路面的材料特性、施工质量等完全一致,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,即路面破损、平整度和车辙等性能处于完全相同的水平。但由于道路各路段的路基、材料、施工质量等的差异性,各路段性能发展远非完全一致,而是呈现一定的统计学规律。

各路段的路面性能概率型预测结果与真值往往有一定误差,但这种精度能满足路面养护的要求。概率型模型预估路面性能的状态分布,是对路面性能发展不确定性的一种补充,主要有残存曲线、马尔可夫和半马尔可夫模型,其中应用最广泛、最完善的是马尔可夫模型。

一个可能具有 m 种状态的系统,状态变化只发生在参数的离散值上,一般来说,系统将来处于状态 i 的概率与其全部历史有关,故应采用条件概率。由状态转移的无后效性和全概率公式得到马尔可夫的基本方程为:

$$a_i(n+1) = \sum_{j=1}^k a_j(n) p_{ji} \quad (i=1,2,\dots,k) \quad (2)$$

引入状态概率向量 $a(n)$ [见式(3)]和转移概率矩阵 P [见式(4)],则式(2)可表述为式(5)。

$$a(n) = \{a_1(n), a_2(n), \dots, a_k(n)\} \quad (3)$$

$$P = \{p_{ij}\}_{k \times k} \quad (4)$$

$$a(n+1) = a(n)P \quad (5)$$

综上,马尔可夫基本模型最基本的问题是构造状态 X_n 及求出转移矩阵 P 。路面性能分析主要是采用马尔可夫模型对路面状况指数、行驶质量指数、车辙深度指数、抗滑性能指数建立预测模型。该模型以年为时间单位,转移矩阵对应的时间单位为1年,这种假设也符合养护管理要求(路面养护计划一般是每年制定一次)。基于马尔可夫的路面性能预测模型为:

$$a(n+1) = \{a_1(n), a_2(n), a_3(n), a_4(n), a_5(n)\}P \quad (6)$$

采用概率型转移矩阵,可考虑自然衰变及养护维修条件下路面性能的衰变,能用矩阵形式较好地模拟路面性能的变化。但转移概率矩阵涉及的参数较多,且矩阵本身每年都有不同的发展变化,对于中修这种性能突变表述更复杂,一般道路养护管理单位难以达到这种技术水平。为简化分析,利用概率学原理,采用 Excel 中正态随机函数模拟概率分布,预测各路段在养护寿命期内性能的发展变化情况,

采用选择函数描述路面性能中修改善。

为掌握中修养护维修措施对路面性能影响的规律,从微观角度,采用概率统计的方法模拟单个路段(通常以1 km为单位)的发展变化规律。为便于运算,对马尔可夫方法进行简化,建立基于正态分布的路面性能衰变预测模型。

3 正态分布模拟中特征值的求解

正态分布函数中有均值和方差2个重要参数,要想进行正态函数模拟,需求出每年均值和方差的变化。每年的性能均值变化 D_n 可按式(1)求得,总的方差可根据相似路面结构的中长期性能统计求出。某年度性能衰减值 D_n 对应的方差 $\sigma(D_n)$ 按以下方法求解:设某技术状况在路面使用 n 年的衰减值 D_k ,其值为每年衰减值的和,即 $D_{kn} = D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + \dots + D_n$, $PPI_n = 100 - D_{kn}$,将每年的衰减值近似看作独立的随机变量,根据统计学原理,某年 D_k 对应的方差 $\sigma^2(D_{kn}) = \sigma^2(D_1) + \sigma^2(D_2) + \sigma^2(D_3) + \dots + \sigma^2(D_n)$ 。因 $\sigma^2(D_{k1}) = \sigma^2(D_1)$,采用回归分析法,得:

$$\sigma^2(D_n) = \sigma^2(D_{kn}) - \sigma^2(D_1) - \sigma^2(D_2) - \sigma^2(D_3) - \dots - \sigma^2(D_{n-1}) \quad (7)$$

计算出每年性能衰减值均值和方差后,采用 Excel 中的随机正态函数 NORMINV(v, mean, standard_dev)模拟每公里每年的路面性能值为:

$$PPI_n = PPI_{n-1} - \text{NORMINV}(\text{RAND}(), D_n, \sigma(D_n)) \quad (8)$$

式中: $\text{NORMINV}(\text{RAND}(), D_n, \sigma(D_n))$ 表示产生一个正态分布的随机数,该正态分布的均值为 D_n 、标准差为 $\sigma(D_n)$ 。

4 中修养护维修对策对路面性能的影响

4.1 中修养护时机的确定

采用式(8)可模拟在小修保养条件下每年各车道路路面性能自然衰变后的路况分布。根据 JTG H10—2009《公路养护技术规范》和 JTJ 073.2—2001《公路沥青路面养护技术规范》,高速公路路面损坏、平整度及抗滑性能评定为“中”及以下、车辙深度超过15 mm时应进行中修养护,即路面损坏、平整度及抗滑性能不得低于80分,车辙指标不得低于70分,低于这个标准则需进行中修处治。

实际上高速公路养护标准会高于 JTG H10—2009《公路养护技术规范》的最低标准,很多高速

公路在制定年度考核目标时要求破损、平整度为优,抗滑、车辙为良,即破损和平整度不得低于90分,抗滑和车辙不得低于80分,否则需采取中修措施。

4.2 中修养护方案的选择

以湖南省高速公路为例,目前主要养护措施有铣刨重铺、超薄磨耗层及就地热再生等。其中:铣刨重铺对路面性能的提升作用明显,可完全修补路面破损、车辙(铣刨后路面损坏状况指数和车辙深度指数恢复到100分),改善路面抗滑性能,提高平整度,铣刨重铺后路面性能衰变规律接近新建路面。超薄磨耗层对路面抗滑性能改善明显,对车辙也有一定改善作用,但对路面平整度改善有限。同时由于超薄磨耗层较薄,抗反射裂缝能力较弱,如原路面反射裂缝较多,则反射裂缝很快会发展出来,路面破损状况的衰减趋势会近似恢复到原路面的水平。就地热

再生对路面高温稳定性有一定改善作用,就地热再生后路面性能可得到明显改善,抗滑性能会因集料表面的拌和翻转而得到一定改善,平整度的改善程度则不明显。

路面中修处治后同样需根据统计数据推算不同性能指标的大致变化发展趋势。

4.3 中修养护后路面性能的变化规律

4.3.1 基于路面性能水平的中修养护时机

以路面破损为例,某条长100 km的高速公路沥青路面的性能衰变整体遵循图1所示发展规律,采用概率型正态分布即式(8)模拟每车道公里每年路面损坏状况指数 PCI 的发展变化趋势。当车道公里的 PCI 分别低于90、85、80时进行铣刨重铺中修,模拟分析其性能衰变曲线(铣刨后路面性能衰变参照新路),结果见表1和图3。由路面性能指标 PCI 养护阈值推算的各年度养护需求见表2。

表1 不同养护标准下路面损坏状况指数 PCI 的变化

通车年限/年	不同养护标准下的 PCI 值			通车年限/年	不同养护标准下的 PCI 值			通车年限/年	不同养护标准下的 PCI 值		
	$PCI=90$	$PCI=85$	$PCI=80$		$PCI=90$	$PCI=85$	$PCI=80$		$PCI=90$	$PCI=85$	$PCI=80$
0	100.0	100.0	100.0	6	98.1	87.1	84.5	12	96.8	88.8	91.0
1	98.1	98.1	98.1	7	95.8	92.2	83.4	13	95.6	89.1	89.7
2	95.0	95.0	95.0	8	92.9	95.4	84.4	14	94.5	90.4	88.7
3	91.9	91.9	91.9	9	91.0	95.0	87.5	15	93.2	93.0	87.0
4	89.4	89.2	89.2	10	93.7	93.1	90.2				
5	96.4	86.7	86.7	11	97.4	90.9	91.5				

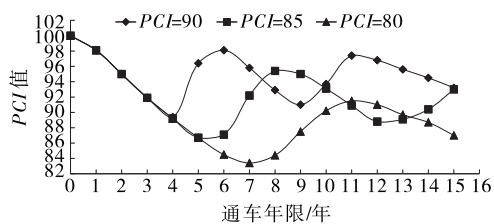


图3 不同中修养护维修标准下的路面性能变化曲线

4.3.2 不同中修养护维修措施下的性能变化规律

以80分为中修时限,分别采用铣刨重铺、超薄磨耗层进行处治,处治后路面性能的发展变化见表3和图4。

5 中修养护维修措施下路面性能衰变分析

由图4可知:以性能指标作为沥青路面中修养

表2 基于不同养护标准的路面养护需求

通车年限/年	不同养护标准下的养护需求/车道公里			通车年限/年	不同养护标准下的养护需求/车道公里			通车年限/年	不同养护标准下的养护需求/车道公里		
	$PCI=90$	$PCI=85$	$PCI=80$		$PCI=90$	$PCI=85$	$PCI=80$		$PCI=90$	$PCI=85$	$PCI=80$
0	0	0	0	6	26	14	0	12	10	3	9
1	0	0	0	7	4	37	3	13	5	14	5
2	0	0	0	8	1	28	13	14	4	19	6
3	0	0	0	9	5	11	21	15	5	25	2
4	2	0	0	10	38	5	18				
5	67	0	0	11	41	3	16				

表3 不同养护措施下路面损坏状况指数 PCI 的变化

通车年限/年	不同养护措施下的 PCI 值		通车年限/年	不同养护措施下的 PCI 值	
	铣刨重铺	超薄磨耗层		铣刨重铺	超薄磨耗层
0	100.0	100.0	8	84.4	84.0
1	98.1	98.1	9	87.5	86.0
2	95.0	95.0	10	90.2	86.4
3	91.9	91.9	11	91.5	86.6
4	89.2	89.2	12	91.0	84.8
5	86.7	86.7	13	89.7	84.4
6	84.5	84.5	14	88.7	85.2
7	83.4	83.4	15	87.0	83.7

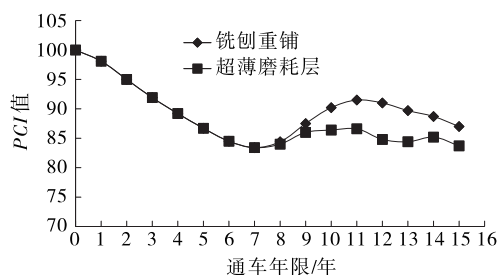


图4 不同中修养护措施下路面性能变化曲线

护决策依据时,路面性能在中修养护措施下呈现一种振荡波形,当路面性能接近养护维修的阈值时进行中修处治,性能出现一定反弹,然后下降,振幅呈现衰减趋势。其变化近似于受阻弹簧运动时的微分方程[见式(9)],实际状况比该微分方程描述的状态更复杂,且为欠阻尼情形($\beta < \omega_0$),即振幅随时间衰减,周期变长,振幅减少,最终振动停止。

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + 2\beta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0 \quad (9)$$

综上,路面性能变化可表述为:

$$x = e^{-nt} (C_1 \cos \omega_0 t + C_2 \sin \omega_0 t) \quad (10)$$

式中: x 为路面某项性能指数; t 为路龄; n 、 C_1 、 C_2 、 ω_0 为回归常数。

6 结语

通过对路面中长期性能基础数据的积累,利用正态随机分布函数模拟沥青路面每车道公里的发展变化,结合路面中修养护工程实践建立中修养护标准,可求得某一时段不同等级路面性能状况分布及性能整体发展变化趋势,并可求得某年度的养护需求。该模型简单易行,操作性强,便于推演,可为路面养护决策提供依据,并优化养护时机和措施,提高寿命周期的养护费用效益比。

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] 潘玉利.路面管理系统原理[M].北京:人民交通出版社,1998.
- [3] JTG/T H10—2009,公路养护技术规范[S].
- [4] 姚祖康.路面管理系统[M].北京:人民交通出版社,2001.
- [5] 孙立军.沥青路面结构行为理论[M].北京:人民交通出版社,1998.
- [6] 陈丽萍.高速公路沥青路面中修养护维修对策选择研究[J].公路与汽运,2016(6).
- [7] 朱欢,龙景彪,张凯.项目级高速公路路面养护维修路段选择方法研究[J].公路与汽运,2019(3).
- [8] 李勇.基于马尔可夫链的沥青路面大修时机预测[J].公路与汽运,2019(3).

收稿日期:2018-08-21

(上接第159页)

2014(12).

- [2] 李红,傅智.我国高速公路隧道水泥混凝土路面施工技术进步与创新[J].公路,2007(9).
- [3] Schumpeter J A.Capitalism, socialism and democracy[M].Capitalism and democracy:University of Notre Dame Press,1985.
- [4] Brockmann C,Brezinski H,Erbe A.Innovation in construction megaprojects[J].Journal of Construction Engineering & Management,2016,142(11).
- [5] Toole T M.Technological trajectories of construction innovation[J].Journal of Architectural Engineering,2001,7(4).

- [6] 李庆东.技术创新能力评价指标体系与评价方法研究[J].现代情报,2005(9).
- [7] 魏源.高速公路信息化建设管理体制及技术创新研究[J].电子技术与软件工程,2015(12).
- [8] 王春法.技术创新与企业的产生:兼论信息高速公路对世界经济的影响[J].世界经济,1997(12).
- [9] 柳顺,杜树新.基于数据包络分析的模糊综合评价方法[J].模糊系统与数学,2010,24(2).
- [10] 邵春燕.ANP在企业技术创新评价中的应用[J].技术经济与管理研究,2007(5).

收稿日期:2018-11-29