

文章编号: 1005-0523(2015)06-0027-06

水泥混凝土路面预防性养护性能改善模型研究

陈富强¹, 陈富坚², 杨大田³, 黄 慧⁴

(1. 广西公路管理局, 广西 南宁 530028; 2. 桂林电子科技大学建筑与交通工程学院, 广西 桂林 541004;
3. 重庆交通大学, 重庆 400074; 4. 广西公路技工学校, 广西 南宁 530028)

摘要: 为研究水泥混凝土路面处于不同路况时实施某类养护对策的路面性能改善规律, 进而解决预防性养护行为效益难以量化等关键性问题, 基于 VISUAL BASIC 聚类分析方法以及依托工程的大量检测数据进行性能改善模型的构建, 研究结果表明: 表征路面养护行为瞬时性能改善程度的路面性能突变值具有较好的可预测性, 性能突变值与养护前的国际平整度之间普遍具有显著的线性相关性, 而养护前后国际平整度比值与养护前的国际平整度之间的相关性普遍相对较差, 研究结果可为水泥混凝土路面预防性养护时机的高效切入及养护成本效益分析提供重要的理论基础, 并具有重要的工程应用价值。

关键词: 道路工程; 水泥混凝土路面; 性能改善模型; 聚类分析; 性能突变值; 平整度比值

中图分类号: U416.2

文献标志码: A

DOI: 10.16749/j.cnki.jecjtu.2015.06.005

水泥混凝土路面由于其特有的结构特征, 使得其损坏特征、衰变规律、养护切入时机、养护效益评价分析等方面都与沥青路面有着较大的不同, 特别是预养护效益的量化方面更为错综复杂, 已经成为国际上预养护研究工作者一直在致力解决的关键性问题。国内外目前已有的相关研究成果表明: 以路面性能曲线下的面积代替养护效益的效益面积法不仅能较好地量化预养护效益, 而且也符合预养护理念和规律, 在工程实践中得到了较为广泛的应用^[1-4]。

然而, 基于效益面积法的量化模型, 其根本前提是需首先掌握各种预防性养护措施对路面性能瞬间提高值的预测和养护后路面性能衰变规律的预测。目前, 国际上对预防性养护措施(单项或组合措施)对路面性能改善预测方面曾进行过探索性研究。S.Labi 等^[5] 根据美国印第安纳州总长 5 000 英里的路段建立了裂缝填封(传统密封材料)、裂缝密封(废旧橡胶粉)、接缝/隆起部位打磨和薄层罩面等各种常用养护措施的改善效果的预估模型; Kathleen T. Hall 等^[6] 在 LTPP SPS-6 数据分析合同中对养护和维修措施的效益进行了研究; Joanna K. Ambroz 等^[7] 也对 LTPP SPS-6 试验路进行了初步评价和分析, 得到了不同维修措施实施后的 IRI 年增长率; 此外, 加州、伊利诺斯州、爱荷华州、南达科他州和印第安纳州等也在金刚石铣刨对性能改善方面进行了较为深入的研究。相比之下, 由于国内开展水泥混凝土路面预养护研究时间并不长, 而且主要集中于养护材料、养护工艺等研究方面, 再加上预养护的效益通常要在多年之后才能显现, 短期内难以对其进行评价等因素, 国内尚未大范围开展专门针对水泥混凝土路面性能改善方面的研究, 也尚未形成较为完整且成熟的研究成果^[8-9]。

主要依托交通部西部交通科技项目以及实体项目广西某高速公路工程, 基于 VISUAL BASIC 聚类分析方法进行模型的分析, 研究水泥混凝土路面预养护条件下的性能衰变规律, 定量地预测具体预防性养

收稿日期: 2015-06-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(71363012); 交通部西部交通建设科技项目(20073182201-9); 广西交通科技项目(20122636, 20152615)

作者简介: 陈富强(1978—), 男, 高级工程师, 博士, 主要研究方向为道路工程。

通讯作者: 陈富坚(1974—), 男, 副教授, 博士, 主要研究方向为道路工程与安全。

护措施的性能改善规律,包括路面性能瞬间提高值的预测和养护后路面性能衰变规律的预测,以期为水泥混凝土路面预防性养护时机的高效切入及养护成本效益分析提供必要的理论基础,具有重要的工程应用价值。

1 路面性能改善度量指标

1.1 表征路面性能改善的基本型式

在各种预养护(组合)措施中,有些措施的实施并不产生即时的性能改善,而只是使路面性能衰变速率得以缓和;有些措施会有一个即时的性能改善,但对衰变速率减缓并无贡献;有些措施则不但会获得一个即时的性能改善,还使路面的衰减速率得以缓和。总体上,实施预防性养护措施后其性能变化可表征为以下3种模式:①无突变,衰变速率减缓;②有突变且保持同样的衰变速率;③有突变同时衰变速率减缓。

1.2 预养护性能改善的度量指标

养护性能改善包括养护后路面使用性能的提高(下降型指标)或下降(上升型指标),可体现在两方面:一是在养护短时间内,路面使用性能提高;二是处治后路面衰减速率的下降。不同养护措施的性能改善通常可用路面性能突变值(PJ)、路面衰变速率的减缓值(DRR)或年均衰减率($AADR$)来表示^[5]。

1) 路面性能突变值。路面性能突变值是一种用于路面养护短期效益评价的数学指标,它提供了养护短期效益评价的最直接和最有效的方式。性能突变值

可以反映相应维护后路面性能曲线形状的改变,图1中的 MB 段表示性能突变值,即

$$PJ = P_b - P_m \quad (1)$$

2) 衰变减缓率(DRR)。随着时间或累计轴载的增长,路况会逐渐恶化。 DRR 的概念就是进行养护后,路况恶化曲线的斜率变得平缓。衰变减缓率是以图2中的 AM 和 MC 斜率差来计量的,即

$$DRR = S_n - S_0 = \frac{P_n - P_m}{t_n - t_m} - \frac{P_a - P_m}{t_m - t_a} \quad (2)$$

3) 年均衰减率($AADR$)。通常认为,采取某项预养护措施或某一系列措施之后,在短期内其逐年性能衰减速率变化可能并不明显,而且期间可能还会实施其他的预养护措施,因此,从这个层面考虑,预养护措施实施后一段时间内,其逐年性能衰减速率可认为保持一相同值。即

$$AADR = \frac{P_b - P_n}{t_n - t_b} \quad (3)$$

2 预养护性能改善模型分析

在模型构建中所用到的某高速公路依托工程数据具体参阅文献[8,10]。性能改善模型的分析过程分3步进行,首先对全体路段(此处每公里为一个路段)的总体情况进行初步分析,得到各相关指标间的总体相关关系,然后基于路段所采取的养护行为(类型)进行聚类分析,再对各聚类路段进行详细分析。限于篇幅,此处仅对性能突变值(PJ)进行探讨,性能减缓率(含 DRR , $AADR$)另撰文研究。

2.1 总体状况分析

养护维修前后路段的路面性能会发生变化,分析总体状况的目的是找出性能指标之间的相关规律,以确定出可以反映路面性能改善规律又适合工程地特点的指标,为下一步详细分析提供指标基础。路段中路面性能改善总体状况如图2至图6所示。

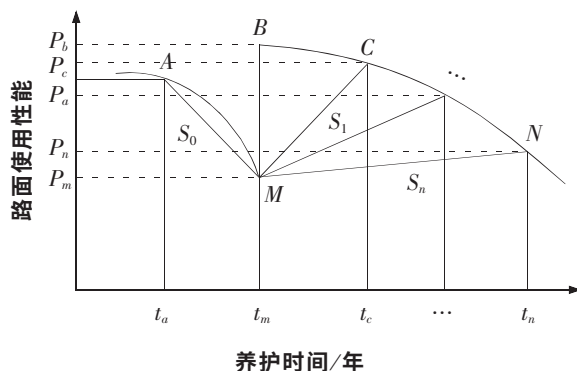
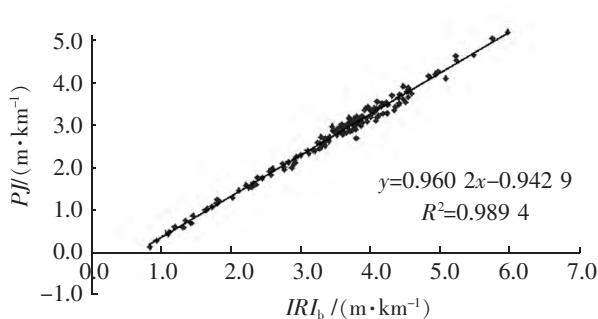
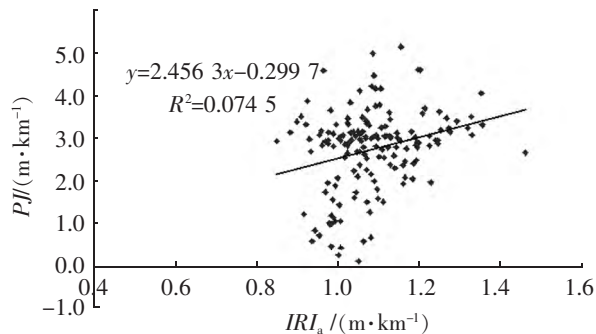
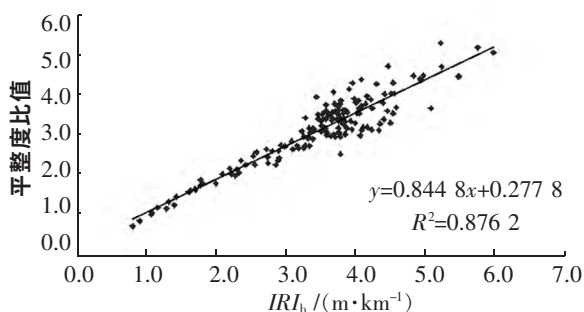
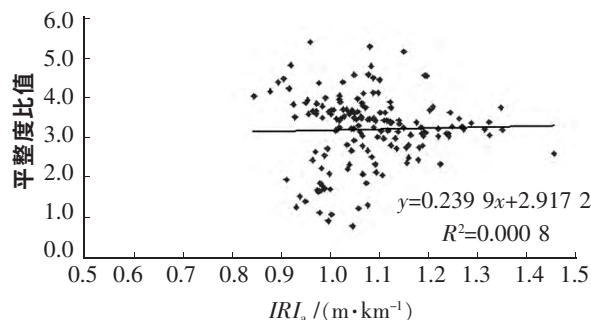


图1 路面性能改善度量指标示意图

Fig.1 Diagram of performance improvement indicators

图2 路面性能突变值(PJ)与养护前性能(IRI_b)关系图Fig.2 Relationship between PJ and IRI_b before maintenance图3 路面性能突变值(PJ)与养护后性能(IRI_a)关系图Fig.3 Total relationship between PJ and IRI_a after maintenance图4 路面平整度比值(λ)与养护前性能(IRI_b)关系图Fig.4 Relationship between λ and IRI_b before maintenance图5 路面平整度比值(λ)与养护后性能(IRI_a)关系图Fig.5 Relationship between λ and IRI_a after maintenance

由以上各关系图可以看出,路面性能突变值(PJ)、养护维修后的平整度 IRI_a 、养护维修前的平整度 IRI_b 以及养护维修前后平整度比值(λ)四者的关系总体表现为:① PJ 与 IRI_b 关系显著,而与 IRI_a 不存在明显相关性(图3,图4);② λ 与 IRI_b 之间存在明显的相关性,但与 IRI_a 之间未表现出明显的相关性(图5,图6);③ IRI_b 与 IRI_a 之间未存在明显的相关性(图7)。

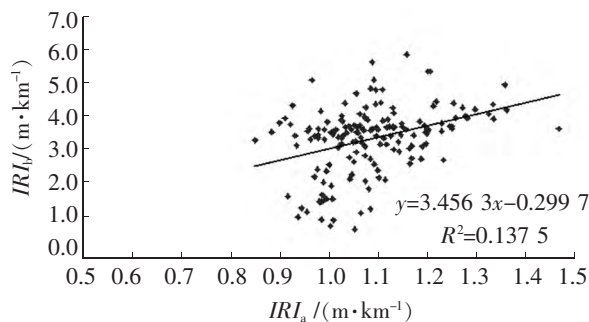
根据四者之间所表现出的显著关系情况,下面将专门针对路面性能突变值(PJ)与维修前的平整度 IRI_b 、养护维修前后平整度比值(λ)

与维修前 IRI_b 之间的关系展开详细的聚类分析,以获得不同养护策略下路面处于不同 IRI 状况时的路面性能改善模型。

2.2 路面性能改善聚类分析

2.2.1 聚类原则与方法

采用 VISUAL BASIC 编辑器对柳王路的数据进行聚类分析,首先针对各路段进行破碎板、裂缝、断角、错台、唧泥、填缝料损坏、坑洞病害的处理情况,根据这7种主要损坏的养护维修与否进行聚类分析,理论上可得到 $2^7=128$ 类(见表1),从依托工程的实际情况来看,共有31类(见表2)。然后根据数据透视表与透视图功能,分别对各聚类数据进行回归分析,得到各种养护维护对策下的路面性能改善程度,并据此得到不同平整度下采取各种养护措施的性能改善规律,为预防性养护时机的确定提供有力的基础。

图6 养护前性能(IRI_b)与养护后性能(IRI_a)关系图Fig.6 Relationship between IRI_b and IRI_a before maintenance

2.2.2 实际聚类分析路段

聚类分析中只对数据点多于 5 个的聚类进行线性回归分析。匹配条件的聚类分别为 7,11,15,31,67,71,74,75,79,103,111,127 共 12 个(见表 2)。

表 1 聚类分析的原则
Tab.1 Principles for cluster analysis

聚类	破碎板	裂缝	断角	错台	唧泥	填缝料	坑洞
0	×	×	×	×	×	×	×
1	√	×	×	×	×	×	×
2	×	√	×	×	×	×	×
3	√	√	×	×	×	×	×
4	×	×	√	×	×	×	×
5	√	×	√	×	×	×	×
6	×	√	√	×	×	×	×
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
127	√	√	√	√	√	√	√

注:√表示实施该项处理,×表示未实施。

2.2.3 聚类分析结果与分析

路面性能突变值的规律分析主要研究不同养护对策及对策组合下,不同路面状况下所引起的路面性能突变值以及养护前后 IRI 比值(λ)的变化规律。通过绘制它们之间的关系图并进行线性分析,就可以得到 12 种聚类分析路段中,其性能突变值、平整度比值与养护措施实施前的平整度之间的相关关系。分析结果表明,性能变值与养护前的 IRI 值之间普遍具有较好的线性相关性,而养护前后 IRI 的比值与养护前的 IRI 值之间的相关性普遍相对较差,部分聚类(如第 103 类、第 127 类)甚至不表现出显著的线性相关性。各聚类的性能突变值与养护前 IRI 值之间函数关系汇总结果以及各聚类的养护前后 IRI 比值(λ)与养护前 IRI 值之间函数关系汇总结果分别如表 2 和表 3 所示。

表 2 性能突变值模型汇总表
Tab.2 Performance mutation models for different measures

聚类号	性能改善模型 ($y=PJ, x=IRI_b$)	判定系数 (R^2)	样本数
7	$y = 0.882\ 1x - 0.639\ 3$	0.722 5	6
11	$y = 1.033\ 5x - 1.114\ 9$	0.998 0	7
15	$y = 1.024\ 7x - 1.113\ 5$	0.976 1	5
31	$y = 0.833\ 2x - 0.444\ 5$	0.990 3	5
67	$y = 0.958\ 8x - 0.899\ 4$	0.995 5	6
71	$y = 0.995\ 3x - 1.027\ 9$	0.934 7	9
74	$y = 0.910\ 1x - 0.862$	0.997 4	7
75	$y = 0.931\ 2x - 0.880\ 3$	0.991 9	30
79	$y = 0.978\ 7x - 1.009$	0.990 8	34
103	$y = 0.606\ x + 0.391\ 5$	0.751 2	8
111	$y = 0.975\ 2x - 1.014\ 8$	0.956 8	28
127	$y = 0.740\ 2x - 0.185\ 1$	0.303 1	7

表 3 IRI 比值(λ)模型汇总表
Tab.3 IRI ratio models for different measures

聚类号	性能改善模型 ($y=PJ,x=IRI_b$)	判定系数 (R^2)	样本数
7	$y = 0.548\ 0\ x + 1.421\ 7$	0.089 8	6
11	$y = 1.106\ 2x - 0.302\ 79$	0.984 9	7
15	$y = 1.105\ 97x - 0.401\ 8$	0.813 8	5
31	$y = 0.373\ 42x - 2.099\ 9$	0.629 6	5
67	$y = 0.902\ 48x + 0.200\ 4$	0.955 9	6
71	$y = 0.975\ 6x + 0.060\ 1$	0.499 8	9
74	$y = 0.770\ 01x + 0.329\ 4$	0.978 1	7
75	$y = 0.718\ 02x + 0.585\ 5$	0.891 9	30
79	$y = 0.866\ 0x + 0.203\ 1$	0.904 0	34
103	$y = 0.488\ 0x + 5.279\ 3$	0.123 2	8
111	$y = 0.840\ 0x + 0.256\ 8$	0.598 4	28
127	$y = 0.230\ 6x + 2.443\ 8$	0.004 7	7

可以看出,性能突变值和养护前后 IRI 比值均具有较好的可预测性,实际工程中可根据性能突变值与养护前 IRI 值之间的显著的相关关系式,得到路面处于不同 IRI 时实施某种养护对策所能带来的路面性能的改善值,即根据养护维修行为实施前的路况以及所采取的养护维修行为,可得出对应的路面突变值用于路面成本效益分析。同时,今后尚需进一步加强路面数据观测和采集,以不断增强模型的适用性,同时也为养护维修行为实施后路面性能衰减率的研究提供更加坚固的基础。

3 结语

- 1) 性能突变值与养护前的 IRI 值之间普遍具有较好的线性相关性,而养护前后 IRI 的比值与养护前的 IRI 值之间的相关性普遍相对较差。
- 2) 性能突变值具有较好的可预测性。实际工程中可根据所构建的性能突变值函数模型关系,以及养护维修行为实施前的路况和所采取的养护维修行为,得到路面处于不同 IRI 时实施某种养护对策所能带来的路面性能的改善值并用于路面成本效益分析,便于预防性养护时机的高效切入。
- 3) 路面性能突变值(PJ)、养护维修后的平整度 IRI_a 、养护维修前的平整度 IRI_b 以及养护维修前后平整度比值(λ) 四者相关分析表明, PJ 与 IRI_b 关系显著,而与 IRI_a 不存在明显相关性; λ 与 IRI_b 之间存在较为显著的相关性,但与 IRI_a 之间未表现出明显的相关性; IRI_b 与 IRI_a 之间未存在明显的相关性。据此明确了养护维修前的平整度 IRI_b 可作为路面性能改善模型建立的基本参数。

参考文献:

[1] PESHKIN D G,HOERNER T E,ZIMMERMAN K A.NCHRP 523:optimal timing of pavement maintenance treatments applications[R].Washington D C;Transportation Research Board,2004;3-15.

[2] KHER R K,Cook W D,Pars the Mtc model for program and financial planning in pavement rehabilitation[C]//North American Pavement Management Conference,Canada,1985:623-640.

[3] O'BRIEN L G. NCHRP synthesis of highway practice153:evolution and benefit of preventive manitenance strtegies[R]. Washing-ton D C;Transpor-tation Research Board,1989;115-120.

- [4] JOSEPH P. Report pav-92-04: crack sealing in flexible pavements: a life-cycle cost analysis [R]. Ontario: Research of Development Branch, Ministry of Transportation, 1992.
- [5] LABI S K SINHA. The effectiveness of maintenance and its impact on capital expenditures[R]. Indianapolis: Indiana Department of Transportation, 2003.
- [6] KATHLEEN T HALL, CARLOS E CORREA, AMY L SIMPSON. LTPP data analysis: effectiveness of maintenance and rehabilitation options[R]. Washington D C: Transportation Research Board, 2002.
- [7] FHWA-RD-01-169. Rehabilitation of jointed portland cement concrete pavements: SPS-6-Initial evaluation and analysis[EB/OL]. [2005-06-08]. http://www.fhwa.dot.gov/pavement/pub_listing.cfm?areas=Research.
- [8] 陈富强. 水泥混凝土路面预防性养护技术研究[D]. 上海: 同济大学, 2010.
- [9] 唐伯明, 姚祖康, 夏瑞莲, 等. 水泥混凝土路面长期结构性能监测评价[J]. 中国公路学报, 1996, 9(2): 20-27.
- [10] 陈富强, 谈至明. 水泥混凝土路面横向接缝错台模型与应用[J]. 同济大学学报, 2011, 39(1): 74-78.

Study on Preventive Maintenance Performance Improvement of Cement Concrete Pavement

Chen Fuqiang¹, Chen Fujian², Yang Datian³, Huang Hui⁴

(1. Guangxi Highway Administration, Nanning 530028; 2. College of Architecture and Traffic Engineering, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004; 3. Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074; 4. Guangxi Highway Technical School, Nanning 530028, China)

Abstract: To study pavement performance improvement of cement concrete pavement under different road conditions and various maintenance measures, and then to solve the key problems including quantizing cost-benefit of preventive maintenance performance, the paper establishes performance improvement model based on VISUAL BASIC clustering analysis method and large quantities of project data. Results have shown that pavement performance jump (PJ) has good predictability and has significant linear correlation with international roughness index before maintenance action (IRI_b). However, there is a relatively poor relationship between IRI ratio (λ) and IRI_b . The results can provide important theoretical basis for preventive maintenance timing and cost-benefit analysis, and it also has an important value in engineering applications.

Key words: road engineering; cement concrete pavement; performance improvement model; cluster analysis; performance jump; IRI ratio

(责任编辑 刘棉玲)