

文章编号:1671-8879(2015)02-0019-07

水泥路面病害-成因关系链及数字化编码

武贤慧¹, 沙爱民², 张娟³

(1. 长安大学 建筑工程学院, 陕西 西安 710061; 2. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064; 3. 中交第一公路勘察设计研究院有限公司, 陕西 西安 710075)

摘要:针对水泥路面的破损状态、破损程度及其成因之间关联关系的复杂性,在对水泥路面破损分类和分级调整的基础上,采用具有水平标签的树状层次结构图建立了三者之间的逻辑、层次关系链;对病害-成因关系链图中不同水平标签对应的指标进行统计分析并赋以数字化编码。研究表明:具有水平标签的树状层次结构图可以将水泥路面的各种病害及其成因之间的复杂关系直观地加以表达;病害-成因关系链的建立可以显著提高工程实际中水泥路面检测、统计和成因判定的效率;所构建的数字化编码体系,便于通过计算机快速记录、识别以及统计病害,为进一步建立水泥路面综合性信息数据库提供了数据支持。

关键词:道路工程;水泥路面;破损类型;破损成因;水平树状层次结构图;编码

中图分类号:U416.216

文献标志码:A

Chain and digital coding of distress and cause of cement concrete pavement

WU Xian-hui¹, SHA Ai-min², ZHANG Juan³

(1. School of Civil Engineering, Chang'an University, Xi'an 710061, Shaanxi, China;

2. Key Laboratory of Special Area Highway Engineering of the Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 3. CCCC First Highway Consultants Co. Ltd., Xi'an 710075, Shaanxi, China)

Abstract: Aimed at the complex correlation of distress state, degree and cause of cement concrete pavement, the logic and hierarchy chains of the three were established by form of tree diagrams with horizontal label based on the adjustment to the distress classification and grading. The corresponding indexes of different horizontal label in the chains of distresses and their causes were counted and marked by digital coding. The results show that the complex relationships of various distresses and their causes can be expressed visually by the tree diagrams with horizontal label. The chain of distress and cause could improve the efficiency of detection, statistics and cause judgment of cement concrete pavement in road engineering. The digital coding system facilitates the recording, recognition and statistics of the distresses by computer, and further provides data support for building the comprehensive database of cement concrete pavement. 3 tabs, 3 figs, 15 refs.

Key words: road engineering; cement concrete pavement; distress type; distress cause; tree diagrams with horizontal label; coding

收稿日期:2014-06-20

基金项目:交通运输部西部交通建设科技项目(2011 318 490 750)

作者简介:武贤慧(1973-),女,山西交城人,副教授,工学博士,E-mail:wuxianhui2005@126.com。

0 引 言

由于反复承受车轮荷载的作用以及自然因素的侵蚀,水泥混凝土路面在使用过程中会出现各种各样的破损,导致其使用功能和服务质量降低。在路面性能预测模型的基础上,采取科学的路面维修和养护方案是延长道路使用寿命,提高行驶质量和服务水平的有效保障。而这一工作必须基于对路面破损状况大量持续的调查,以及对调查数据的存储、分析和处理。

国外对水泥混凝土的破损状况较早地展开了研究。20 世纪 80 年代美国联邦公路管理局的路面修复指南中系统地介绍了水泥混凝土路面的修复、回收和基层处治、防止反射裂缝等内容^[1]。1986 年英国运输部和水泥及混凝土协会共同出版了《水泥混凝土路面养护与维修手册》,介绍了水泥混凝土路面损坏的种类、原因及养护维修方法、修复工艺、养护材料、维修设备等内容。1987 年,美国战略公路研究计划(SHRP)项目开始了对路面性能的测试——长寿命路面性能项目(LTPP)。该项目历经 20 年,由美国公路机构及其他 15 个国家收集、测试了 1 000 多条道路断面的路面破损程度、气候、交通流量以及荷载资料,形成了路面破损鉴定指南。指南中对沥青路面、有接缝的普通水泥混凝土路面及连续配筋水泥混凝土路面的破损状况进行分类、分级,并对每种情况进行了标记、描述和说明,对于路面调查数据收集的规范化、合理化起到了重要作用^[2]。此后,各项针对路面破损预测模型的试验验证和理论研究随之展开^[3-6]。在破损原因方面,加利福尼亚州针对该州的交通和气候条件,对刚性路面破损的敏感性因素进行了调查分析统计,以验证美国国家高速公路和交通运输协会(AASHTO)公路设计指南在该州的适用性^[7]。

中国水泥混凝土路面破损的调查研究主要依据《公路混凝土路面养护技术规范》(JTJ 073. 1—2001)、《公路养护技术规范》(JTG H10—2009)和《水泥混凝土路面破损调查方法》(T0975—95)^[8-10]。这些规范或标准中对各类病害都只有相应的描述,对各种破损发生的成因仅有宏观解释,缺乏细致深入的剖析。目前中国对水泥路面病害的研究主要针对一种或几种病害展开相应调查研究^[11-13],缺乏系统性。2008 年,长安大学对路面破损状况标准图谱进行了研究,建立了水泥混凝土路面破损分类、分级标准图谱,为水泥路面检测提供了实用、方便的工程

语言^[14-15],但如何将病害的描述与其成因联系起来,并进行现场数据、信息的快速分析和处理,仍需进一步研究。

为此,本文采用具有水平标签的树状层次结构图形成水泥路面病害-成因关系链,将水泥路面的破损状态、程度以及成因之间错综复杂的关系以图表的形式直观地表达出来,并对各项指标进行数字化编码,使得水泥路面破损的检测、判定和统计更为便捷,还可以此为基础建立水泥路面综合性信息数据库,为维修养护提供决策依据。

1 水泥路面破损分类与分级

1.1 破损分类

国内外通常将水泥路面的破损按照 2 种方法进行分类:①按结构性或非结构性损坏分类;②按照损坏形式分类。结构性损坏包括严重裂缝(断板)、沉陷、错台、碎裂、拱起等,非结构性损坏包括轻微裂缝、露骨、麻面、剥落、磨光、接缝材料损坏、坑洞等。如有的地区水泥路面维修与养护将破损分为结构性损坏(裂缝、接缝损坏)、功能性损坏(粗糙度、磨光、噪音、表面缺陷)和永久性损坏(碱集料反应裂纹、D 裂缝)3 种^[15];按照损坏形式可将破损分为裂缝类、变形类、接缝类、表面损坏类几种,中国现行《公路混凝土路面养护技术规范》(JTJ 073. 1—2001)即按这种方法进行分类。

由于目前水泥路面检测以现行规范为依据,故本文与规范基本保持一致,并对规范分类进行了微调(表 1)。考虑到起皮与纹裂、网裂有时并不同时出现,而且形态和成因各不相同,将二者视为 2 种病害;在表层类破损中增加了磨光这一破损类型,是考虑到路面抗滑性能下降经常发生,应引起重视;将修补损坏单列为其他破损,因为水泥路面维修改建时常加铺沥青罩面,其二次损坏比较复杂,不同于其他几类破损。

表 1 水泥路面破损分类

Tab. 1 Distress classification of cement concrete pavement

破损分类	破损名称
断裂类破损	横向(斜向)裂缝、纵向裂缝、角隅断裂、交叉裂缝和破碎板
接缝类破损	板底脱空与唧泥、错台、拱起、填缝料损坏、接缝碎裂、接缝张开
面层表层类破损	起皮与剥落、磨光、露骨、坑洞、坑槽、纹裂、网裂、粗集料冻融裂纹、碱集料反应裂纹
竖向位移类破损	沉陷、胀起
其他破损	修补损坏

1.2 破损分级

《公路混凝土路面养护技术规范》(JTJ 073.1—2001)中对各类破损进行了分级,本文基于大量的调查数据,在此基础上进行了调整,见表 2。规范中横向裂缝、纵向裂缝、角隅断裂分级时,对“缝隙边缘中等碎裂、严重碎裂”没有量化,会导致检测判断时误差较大,经过分析比较并参考美国长寿命路面性能项目中的路面破损鉴定指南的界定,将缝隙边缘碎

裂宽度 75 mm 作为边缘中等碎裂和严重碎裂的分界值;规范中轻度填缝料损坏的描述为“整个路段接缝填料情况良好,仅有少量出现损坏”,“少量”如何把握不得而知,经过很多路段的分析比较,发现损坏长度不超过接缝长度的 10% 可以代表大多路段的接缝状况轻度损坏,故而以 10% 的损坏长度为分界来界定轻度与中度破坏,按照规范中的 30% 界定中度与重度破坏。

表 2 破损分级与规范的不同之处

Tab. 2 Differences of distress classification in this paper and the existing specification

破损类型	破损等级	规范分级	本文分级		
横向(斜向)裂缝、纵向裂缝、角隅断裂	轻	缝隙边缘无碎裂或错台的细裂缝,缝隙宽度小于 3 mm;或者填封良好、边缘无碎裂或错台的裂缝	裂缝宽度小于 3 mm 或填封良好,裂缝边缘无碎裂或错台		
	中	缝隙边缘中等碎裂或错台小于 10 mm 的裂缝,且缝隙宽度小于 15 mm	裂缝宽度 3~15 mm,裂缝边缘碎裂宽度小于 75 mm 或错台小于 10 mm		
	重	缝隙边缘严重碎裂或错台大于 10 mm,且缝隙宽度大于 15 mm	裂缝宽度大于 15 mm,裂缝边缘碎裂宽度大于 75 mm 或错台大于 10 mm		
填缝料损坏	轻	整个路段接缝填料情况良好,仅有少量出现损坏	整个路段接缝填料情况良好,损坏长度不超过接缝长度的 10%		
	中	整个路段填缝料情况尚可,1/3 以下的接缝长度存在损坏,水和硬质材料易挤入	损坏长度达到接缝长度的 10%~30%,水和硬质材料易挤入		
	重	接缝填缝料情况很差,1/3 以上接缝长度出现损坏,水和硬质材料能自由渗入或挤入,填缝料需立即更换	损坏长度达到接缝长度的 30% 以上,水和硬质材料易挤入能自由渗入或挤入,填缝料需立即更换		
纹裂、网裂和起皮	轻	板的大部分面积出现纹裂和网裂,但表面状况良好,无起皮	纹裂、网裂		不分级
	中	板出现起皮,面积小于等于混凝土面积的 10%	起皮	轻度	起皮面积小于等于混凝土面积的 10%
	重	板出现起皮,面积大于混凝土面积的 10%		重度	起皮面积大于混凝土面积的 10%
磨光	无		不分级		

2 水泥路面病害-成因关系链的构建

导致路面破损的成因复杂多变,破损的发生可以由单一原因引起,也可能是多种原因的综合结果,有时难以对某种破坏原因做出准确的判断,但可以通过现场调查和水泥路面对环境及荷载的响应做出判断。检测人员进行检测时,如果仅仅量测破损形态、破损指标并统计破损信息,而不判别和统计破损成因,则不能对导致路面破损的主要成因做出客观的判断,也不能为后续的专项研究提供方向,还会造成数据资源的浪费和缺失。

实践证明,水泥路面的破损状态、破损程度以及破损成因之间存在一定的关联性,时至今日,现有的实测数据和文献资料为建立这种关系链提供了可

能。基于水泥路面破损分类和分级以及标准图谱,分析整理掌握的实测和文献资料,即可以梳理各类破损现象与水泥路面的材料、结构、荷载、环境、施工、养护等方面的关系,建立水泥路面破损状态、破损程度、破损成因之间的关系链。这种关系链不仅可以进行普通的水泥路面检测,还可以判别和统计破损成因,找出导致病害的主要影响因素,为以后的路面设计与施工的改进提供依据。而在病害-成因关系链的基础上,对水泥混凝土路面损坏类型和成因进行数字化编码,利用数字表达病害类型和成因信息,通过计算机快速记录、识别以及统计,最终建立包含各类破损信息指标、破损程度判别、破损成因分析、破损统计数据综合性数据库,可以使得水泥路面的调查与统计更为全面和客观,从而为路面维

修养护提供决策依据。

3 病害-成因关系链树状水平层次结构图及编码

3.1 树状水平层次结构图的建立

水泥路面的破损类型有 22 种,每种类型一般对应应有 3 种破损程度,破损成因更是复杂多变。为了明确地体现破损状态、破损程度以及破损成因之间的关系,理清它们之间的逻辑关系和层次关系。本文选择树状图来形成病害-成因关系链。

树状图实际上是数据结构或层次结构的图形表

达形式。对于不同的破损类型,描述其破损状态的指标不尽相同,这些指标应当被清楚的标明,为此,本文采用了具有水平标签的树状层次结构。这种结构以水平递进和按层分组的方式显示层次关系,强调标题或级别文本,级别文本的第 1 行显示在该层次结构开始处,第 2 行和级别文本的后续行都显示在高矩形的顶部。水平标签的内容总体上按照破损状态、破损程度、破损成因确定,见图 1。针对个别破损类型,增加了接缝类型,接缝功能,发生时间等内容。

按照水平标签内容,对每类破损逐一进行细化

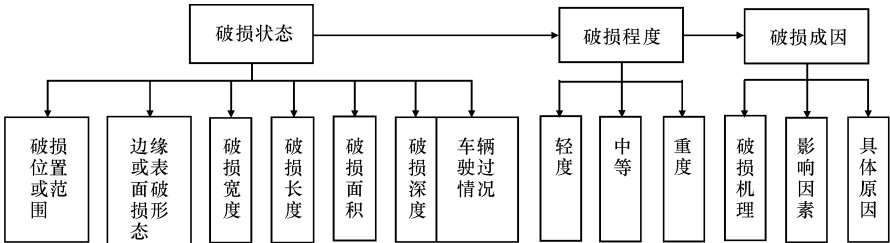


图 1 树状图水平标签内容

Fig. 1 Contents of tree diagram diagrams with horizontal label

指标的确定,在此基础上判定破损程度,分为重度、中度、轻度和不分级几种。根据破损程度,结合破损发生时间、破损发生的结构层,得出破损成因。考虑到破损成因较多,将其细分为破损机理、影响因素、具体原因 3 种层次水平,以便查询。破损机理是在现有文献资料和实测资料的基础上,经过总结提炼形成的;破损影响因素基本囊括了水泥路面破损的所有原因,包括面板因素(材料因素、配合比设计因素、施工因素、设计因素)、基层或底基层因素(设计因素、施工因素)、路基因素(设计因素、施工因素)、环境因素、荷载因素、水的影响、养护因素、维修因素;为了使一般检测人员能够快速判断破损形成的原因,对各种影响因素下的具体原因进行了细化,简洁易懂。据此做出了 22 种病害的病害-成因关系链图,由于关系链图很多,下面仅列出其中的横向裂缝的病害-成因水平层次结构图(下页图 2)。

3.2 树状水平层次结构图的编码

为了给数据库提供简洁、高效的建库资料,在水平层次关系链图的基础上,对各类病害的每项指标进行了编码,编码采用两位数依次为 00,01,02,...。各类水平标签对应的编码个数见表 3。

每种病害均在水平层次结构图的基础上进行编码,下页图 3 为其中的接缝类病害中板底脱空与唧泥的树状编码图,原图为一个连续的水平层次结构

表 3 各类破损编码统计

Tab. 3 Coding statistics of various distress

水平标签	编码个数/个
病害名称	22
破损位置或范围	12
边缘或表面破损形态	31
破损宽度	4
破损长度	4
破损面积	3
车辆驶过情况	6
接缝类型	3
接缝功能	4
破损程度	4
发生时间	3
破损结构层及深度	25
破损机理	41
破损影响因素	13
破损具体原因	77
总计/个	15 252

图,为清楚地表示其内容,将其分解为两部分。其他类型破损的编码图类似。技术人员只需输入相应的编码,即可得到病害信息,非常方便。

4 结 语

(1)在对水泥路面破损调研、分析和总结的基础上,对现行《公路混凝土路面养护技术规范》

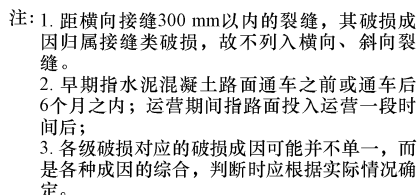


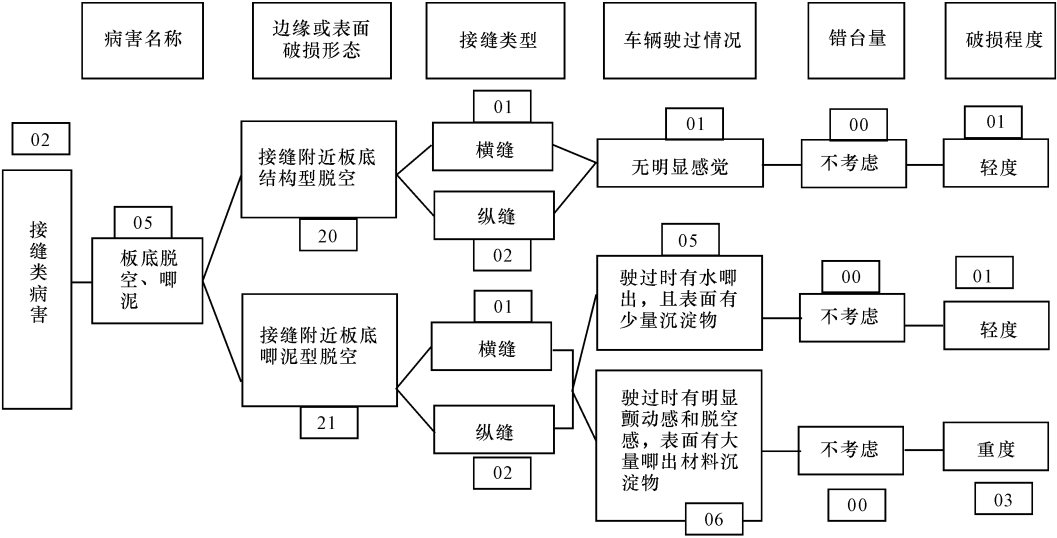
Fig. 2 Horizontal tree diagram of distress and causes for transverse cracking

计 15 个指标 252 个编码,便于通过计算机快速记录、识别以及统计,为建立综合性数据库提供了基础。

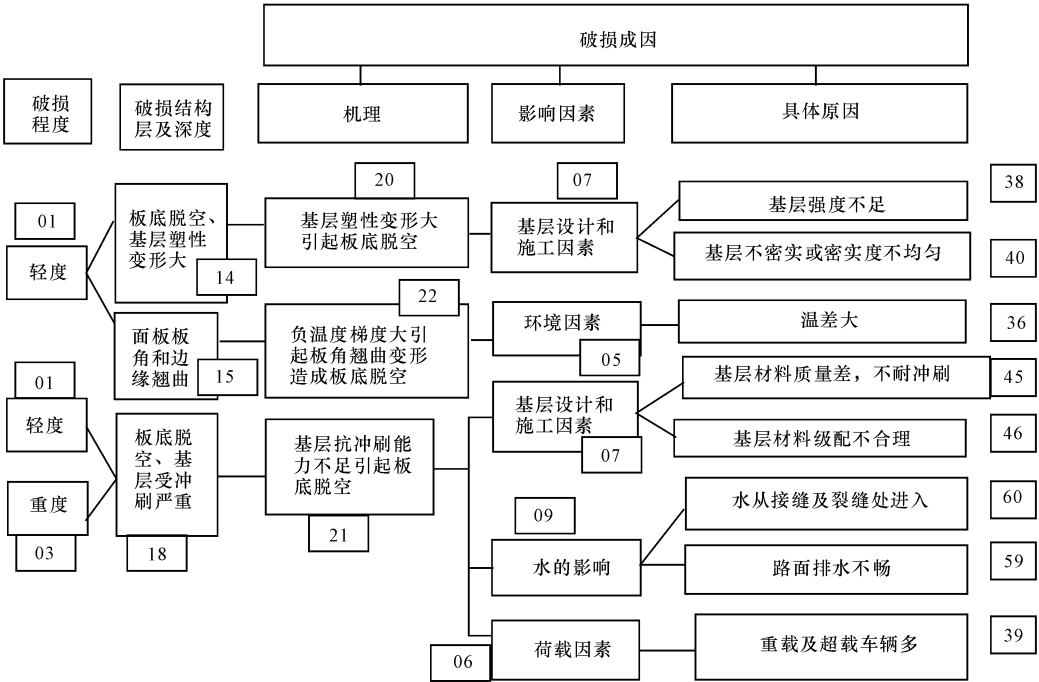
参考文献:
References

- [1] Koop D E, Anderson J E. Repair of concrete pavement joints[R]. Washington DC; Federal Highway Administration, 1980.
- [2] Miller J S, Bellinger W Y. Distress identification manual for the long-term pavement performance [R]. Washington DC; Federal Highway Administration, 2003.
- [3] Buch N, Barnhart V, Kowli R. Precast concrete slabs as full-depth repairs; Michigan experience[J]. Transportation Research Record, 2003, 1823(1): 55-63.
- [4] Lane B, Kazmierowski P. Precast concrete slab repair

(4)对水泥混凝土路面损坏类型和成因进行了数字化编码,利用数字表达病害类型和成因信息,共



(a) 破损程度判断



(b) 破损成因判断

注: 00, 01, 02, ..., 60为各个水平标鉴下的编码号。

图 3 板底脱空与唧泥病害编码

Fig. 3 Coding of void beneath slab and pumping

methods[J]. Concrete International, 2006, 28 (11) : 29-35.

[5] Chummuneerat S, Jitsangiam P, Nikraz H. Performances of hydrated cement treated crushed rock base for western australian roads[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering: English Edition, 2014, 1 (6): 432-438.

[6] Hall K T, Connor J M, Darter M I, et al. Expert sys- tem for concrete pavement evaluation and rehabilita- tion[J]. Transportation Research Record, 1988, 1207 (2): 21-29.

[7] Kannekanti V, Harvey J. Sensitivity analysis of 2002 design guide rigid pavement distress prediction mod- els[J]. Transportation Research Record, 2006, 1947 (3): 91-100.

[8] JTJ 073.1—2001, 公路混凝土水泥路面养护技术规

- 范[S].
- JTG 073.1—2001, Technical specifications of cement concrete pavement maintenance for highway[S]. (in Chinese)
- [9] JTG H10—2009, 公路养护技术规范[S].
- JTG H10—2009, Technical specifications of pavement maintenance for highway[S]. (in Chinese)
- [10] T0975—95, 水泥混凝土路面破损调查方法[S].
- T0975—95, The investigation method of cement concrete pavement distress[S]. (in Chinese)
- [11] 吕惠卿, 张湘伟, 张荣辉. 水泥混凝土路面断裂破坏研究[J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版, 2010, 29(1): 55-57.
- LU Hui-qing, ZHANG Xiang-wei, ZHANG Rong-hui. Crack damage of cement concrete pavement[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University: Natural Science, 2010, 29(1): 55-57. (in Chinese)
- [12] 吴国雄, 姚令侃, 易志坚. 水泥混凝土路面早期裂缝的形成机理[J]. 西南交通大学学报, 2003, 38(3): 304-308.
- WU Guo-xiong, YAO Ling-kan, YI Zhi-jian. Research on forming mechanism of inchoate cracks in cement concrete pavement[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2003, 38(3): 304-308. (in Chinese)
- [13] 薛忠军, 王佳妮, 张肖宁, 等. 动荷载作用下板底脱空对水泥板弯沉的影响[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2009, 41(4): 37-41.
- XUE Zhong-jun, WANG Jia-ni, ZHANG Xiao-ning, et al. Influence of slab void on cement concrete pavement deformation under dynamic loading [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2009, 41(4): 37-41. (in Chinese)
- [14] 任 艳. 路面破损状况的标准图谱研究[D]. 西安: 长安大学, 2008.
- REN Yan. Technology study on standard atlas of pavement distress[D]. Xi'an: Chang'an University, 2008. (in Chinese)
- [15] Cement Concrete and Aggregates. Concrete pavement maintenance/repair[R]. Sydney: Cement Concrete and Aggregates Australia, 2009.
- ulation of pavement discontinuities and dynamic load response[J]. Transportation Research Record, 1994, 1448(2): 100-106.
- [13] Cui X Z, Jin Q, Shang Q S, et al. Numerical simulation of dynamic pore pressure in asphalt pavement[J]. Journal of Southeast University: English Edition, 2009, 5(1): 63-66.
- [14] Huang Y H. Pavement analysis and design [M]. Delhi: Pearson Education, 1993.
- [15] 徐 皓, 倪富健, 刘清泉, 等. 排水性沥青混合料渗透系数测试研究[J]. 中国公路学报, 2004, 17(3): 1-5.
- XU Hao, NI Fu-jian, LIU Qing-quan, et al. Research on hydraulic conductivity of porous asphalt mixture [J]. China Journal of Highway and Transport, 2004, 17(3): 1-5. (in Chinese)
- [16] 祁文洋, 任瑞波, 李美玲. 饱和沥青路面内孔隙水压力研究[J]. 山东理工大学学报: 自然科学版, 2011, 5(3): 63-66.
- QI Wen-yang, REN Rui-bo, LI Mei-ling. Research on pore pressure within saturated asphalt pavement[J]. Journal of Shandong University of Technology: Natural Science Edition, 2011, 5(3): 63-66. (in Chinese)
- [17] 李明国, 申爱琴, 臧芝树, 等. 空隙率对沥青混凝土路面透水性影响及施工中的控制[J]. 公路, 2010, 6(6): 192-196.
- LI Ming-guo, SHEN Ai-qin, ZANG Zhi-shu, et al. Effect on porosity permeability and construction control of asphalt pavement [J]. Highway, 2010, 6(6): 192-196. (in Chinese)
- (上接第18页)
- 2008, 39(5): 1100-1104.
- ZHOU Chang-hong, CHEN Jing-yun, WANG Zhe, et al. Dynamic numerical method of pore water pressure and Its influence parameters for asphalt pavement[J]. Journal of Central South University: Science and Technology, 2008, 39(5): 1100-1104. (in Chinese)
- [9] 彭永恒, 任瑞波, 宋凤立, 等. 轴对称条件下层状弹性体超孔隙水压力的求解[J]. 工程力学, 2004, 8(4): 204-208.
- PENG Yong-heng, REN Rui-bo, SONG Feng-li, et al. An axisymmetric solution of multi-layered elastic body super-pressure in small opening water[J]. Engineering Mechanics, 2004, 8(4): 204-208. (in Chinese)
- [10] 王德强. 湿热地区桥面铺装动水行为及材料组成设计优化研究[D]. 西安: 长安大学, 2011.
- WANG De-qiang. Hydrodynamic behavior & material optimization research of bridge deck pavement in moist heat areas[D]. Xi'an: Chang'an University, 2011. (in Chinese)
- [11] 傅搏峰, 周志刚, 陈晓鸿, 等. 沥青路面水损害疲劳破坏过程的数值模拟分析[J]. 郑州大学学报: 工学版, 2006, 27(1): 51-58.
- FU Bo-feng, ZHOU Zhi-gang, CHEN Xiao-hong, et al. The numerical simulation analysis of asphalt pavement moisture damage fatigue failure process [J]. Journal of Zhengzhou University: Engineering Science, 2006, 27(1): 51-58. (in Chinese)
- [12] Uddin W, Zhang D M, Fernandez F. Finite element sim-