

文章编号:1671-8879(2008)01-0026-06

中国公路沥青路面水损害气候影响分区方案

苗英豪^{1,2}, 王秉纲², 李 超², 戈普塔²

(1. 北京工业大学 交通研究中心, 北京 100022;

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)

摘 要: 为了了解中国气候条件对沥青路面水损害的影响情况, 对沥青路面水损害研究成果进行了回顾与分析, 认为影响沥青路面水损害的主要气候因素为: 降水、高温以及冻融循环过程。降水与高温过程组合以及降水与冻融循环过程组合是影响沥青路面水损害的两个主要气候过程。针对这两个主要气候过程, 构建了降水气温指数和降水冰冻指数, 用于评价上述气候过程对沥青路面水损害的影响。分析结果表明: 利用降水气温指数和降水冰冻指数划分中国公路沥青路面水损害气候影响分区是合理可行的; 根据各个气候指数的工程意义和等概率原则, 确定了分区界限, 拟定了包含 14 个区的分区方案。

关键词: 道路工程; 气候分区; 沥青路面; 水损害

中图分类号: U416.2 **文献标志码:** A

Climate zoning for moisture damage of asphalt pavements in China

MIAO Ying-hao^{1,2}, WANG Bing-gang², LI Chao², GUPTA Pramod Kumar²

(1. Research Center of Transportation, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China;

2. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education,
Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: The specific climate zoning for moisture damage of asphalt pavements in China provides a reference for test choice and moisture damage mitigation practice. Through analysis, the precipitation, high temperature and freeze-thaw are recognized as related climatic factors. And high temperature with rainfall and freeze-thaw with precipitation are the major climatic processes affecting moisture damage. Rain-temperature index and precipitation-freezing index are constructed to respectively indicate the influence of the two climatic processes. It is properly to divide China climatic zoning for moisture damage of asphalt pavements by these indices. According to boundaries of regions, which are formed with engineering meanings of those indices or equal probability principle, China climatic zoning for moisture damage of asphalt pavements is carried out, which includes 14 regions. 3 tabs, 6 figs, 12 refs.

Key words: road engineering; climatic zoning; asphalt pavement; moisture damage

0 引 言

水损害是公路沥青路面常见病害之一, 与之相

关的早期剥落、坑槽和车辙等病害严重影响着路面的服务水平和使用寿命。针对这些病害, 研究人员提出了各种试验方法, 用于评估沥青及沥青混合料

收稿日期: 2007-02-26

基金项目: 国家西部交通建设科技项目(200331881236)

作者简介: 苗英豪(1975-), 男, 河北辛集人, 北京工业大学讲师, 长安大学博士, E-mail: miaoyinghao@163.com.

的水稳定性,如水煮试验、冻融循环台架试验和 Lottman 间接拉伸试验等^[1]。由于不同地区间气候条件存在很大差异,而各种试验方法考虑的环境因素又都比较简单,因而难以将试验结果与路用性能建立起明确的关系^[2]。为此,本文利用自然区划的方法,研究气候条件对沥青路面水损害的影响,找出主要的影响因素,构建气候影响评价指标,并在此基础上制定公路沥青路面水损害气候影响分区方案。

1 气候影响因素及评价指标

1.1 气候因素

关于沥青路面水损害机理、评价方法以及处治对策的研究,可以追溯到 20 世纪 20 年代^[3-5]。研究表明,沥青路面中水的存在是水损害发生的必要条件,随时间变化的温度具有加剧水损害发生和发展的作用。路面中水的来源主要有大气降水^[6]、毛细水等,在路基及排水设施设计合理的情况下,毛细水很难到达沥青面层,因此大气降水是沥青面层中水的主要来源。温度的变化以高温过程和冻融循环过程的影响最为明显,这可从不同试验方法考虑的温度环境条件中得到印证^[7-8]。因此,影响沥青路面水损害的气候因素主要有大气降水、高温及冻融循环过程。

1.2 评价指标

关于气候对沥青路面水损害影响的评价问题,国内外有过相关研究。1997 年,沈金安在制定道路沥青及沥青混合料的气候分区时,采用了累年 7 月平均最高气温、累年极端最低气温和累年年平均降雨量 3 个指标来综合评价气候对沥青及沥青混合料的影响^[9]。2000 年,孙长新等在研究广东省沥青路面气候影响分区时,构建了湿热系数(累年年降雨量与累年 7 月平均气温的比值),用以评价气候对沥青路面水稳定性和高温稳定性的影响^[10]。2000 年 Harvey J 等构建了降雨-温度指数(日降雨量与日平均气温的乘积)^[11],用以评价高温过程对沥青路面水损害的影响。这些指标适应各自的研究目的。然而用这些指标来评价中国全国范围内气候对沥青路面水损害的影响,并不合适。

由前述分析可以发现,降水与高温过程的组合以及降水与冻融循环过程的组合是影响沥青路面水损害的两个主要气候过程。为此,本文分别构建了降雨-气温指数(PATI)和降雨-冰冻指数(PFI),用于评价上述两个气候过程对沥青路面水损害的影响,其计算公式为

$$I_{PATI} = \sum_{i=1}^n T_i R_i \quad (1)$$

式中: I_{PATI} 为降雨-气温指数值($\text{mm} \cdot ^\circ\text{C}$); n 为一年的天数; T_i 为气温值(日平均气温大于 0°C 时为日平均气温值,否则为 0°C); R_i 为日降雨量(mm)。

$$I_{PFI} = I_{FI} P \quad (2)$$

式中: I_{PFI} 为降雨-冰冻指数值($\text{mm} \cdot ^\circ\text{C}$); I_{FI} 为冰冻指数值, $I_{FI} = \sum_{i=1}^{n'} |T_i| (^\circ\text{C})$; n' 为前一年秋天日平均气温低于 0°C 的第一天至第二年春天日平均气温低于 0°C 的最后一天之间的天数; P 为上述 n' 天中的累计降雨量(mm)。

2 气候评价指标的分布特征

本文所使用的气候资料均来自国家气象信息中心气象资料室,包括 1971~2000 年间 700 多个站点的日平均气温和降雨量的记录。图 1 给出了各计算指标的站点分布情况。利用这些数据首先计算了各个站点的降雨-气温指数和冰冻指数的累年平均值,发现冰冻指数为 30°C 等值线,基本与中国地理界公认的冰冻分界线——秦岭淮河线^[12]吻合,因此采用该线作为冰冻发生与否的分界线。降雨-冰冻指数累年平均值的计算只考虑冰冻指数大于 30°C 的地区。

利用普通 Kriging 插值方法,借助于地理信息系统平台 ArcGIS[®] 9.0,分别绘制了降雨-气温指数和降雨-冰冻指数的等值线,如图 2、图 3 所示。图 4、图 5 分别给出了对应的交叉验证结果。由图 2 可以看出,在全国范围内降雨-气温指数的变化非常大($196 \sim 71\,720 \text{ mm} \cdot ^\circ\text{C}$),极大值出现在温暖潮湿的华南地区,极小值出现在干旱的西北地区,并且从西北到东南逐渐增大。由图 3 可以看出,各地降雨-冰冻指数的差异也非常大($0 \sim 246\,177 \text{ mm} \cdot ^\circ\text{C}$),除青藏高原东部地区外,降雨-冰冻指数的分布由南至北逐渐增大,东北北部、新疆北部以及青藏高原东部地区降雨-冰冻指数较大,极小值则出现在干旱的新疆南部和青藏高原的西部地区。

3 气候分区

3.1 气候分区原则

当气候指标的取值具有明确的工程意义时,依据其工程意义制定分区界限;当气候指标的取值工程意义不确切时,采用等概率原则确定分区界限。本研究,冰冻指数用于区分是否发生冰冻,降雨-气温指数和降雨-冰冻指数分别用于评价降水与高温

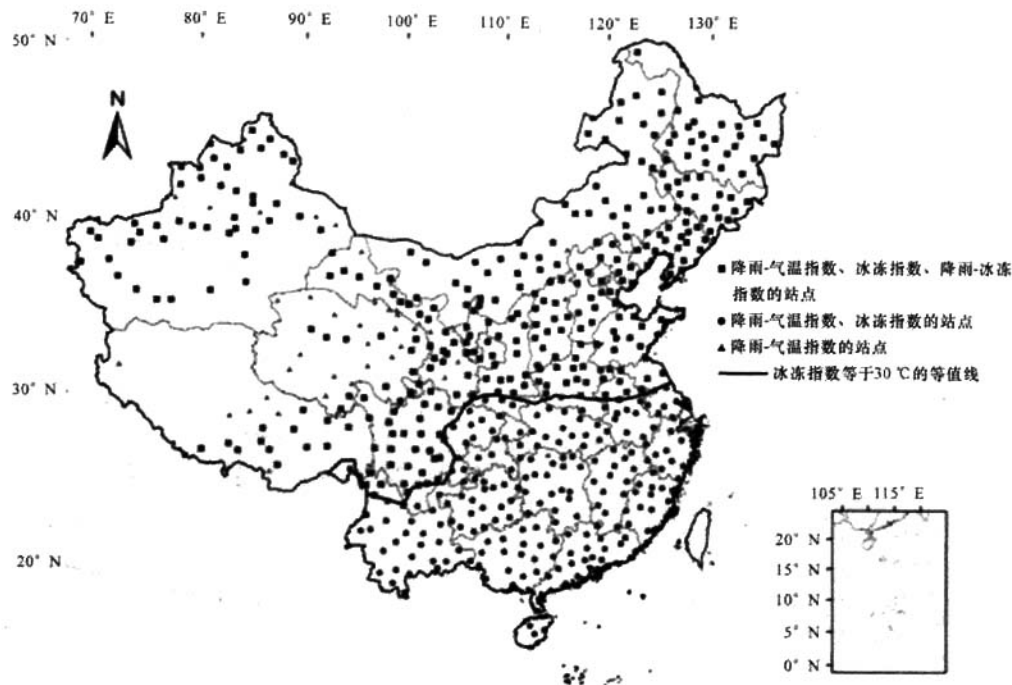


图1 各计算指标的站点分布

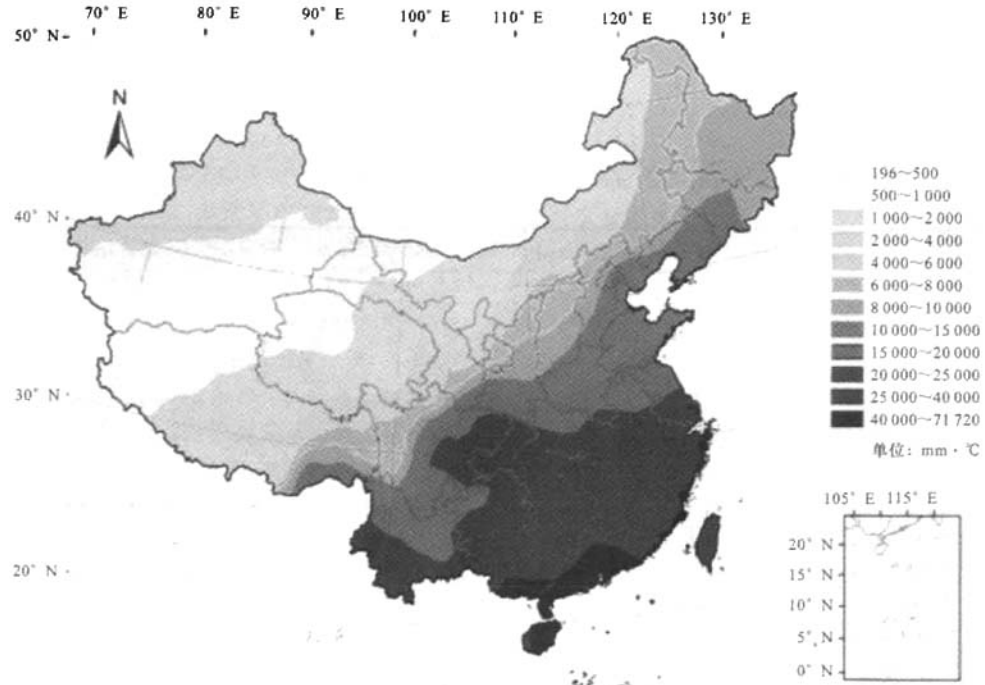


图2 降雨-气温指数的等值线

过程组合以及降水与冻融循环过程组合对沥青路面水损害的影响。其中,冰冻指数为 30 ℃等值线,明确区分出冰冻与不冰冻的区域。因此,将冰冻指数为 30 ℃等值线作为分区的相关界限。降雨-气温指

数和降雨-冰冻指数值的工程意义并不十分确切,因此采用等概率原则制定相应的分区界限。

3.2 气候分区方法

由于降雨-气温指数和降雨-冰冻指数所反映气

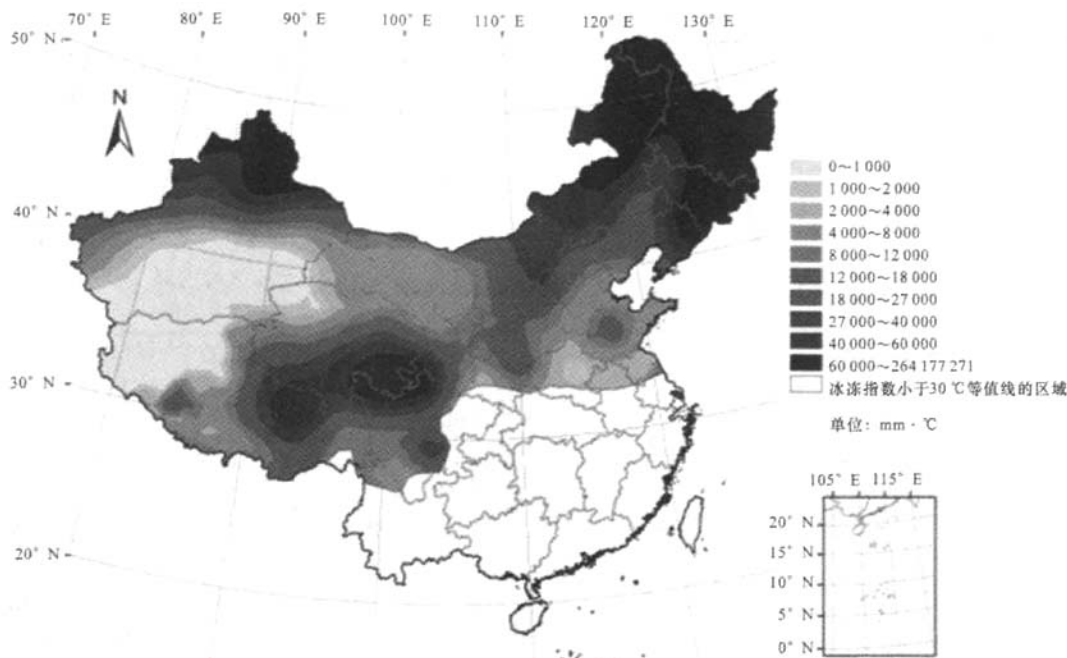


图 3 降雨-冰冻指数的等值线

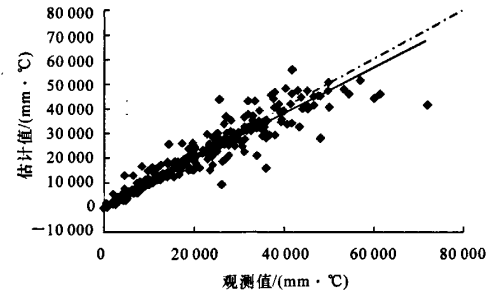


图 4 降雨-气温指数的普通 Kriging 插值交叉验证结果

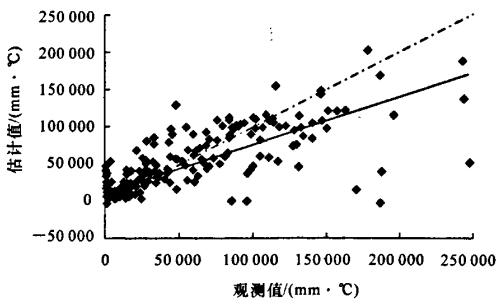


图 5 降雨-冰冻指数的普通 Kriging 插值交叉验证结果

候过程的不同,很难将两个指数统一起来,为此予以分别考虑。首先依据概率原则,将降雨-气温指数划分为 5 个等级,将降雨-冰冻指数划分为 3 个等级,如表 1、表 2 所示。然后通过叠置分析,制定出中国公路沥青路面水损害气候影响分区方案,并依据其他一些地理特征对该分区的界限进行局部调整。

表 1 降雨-气温指数等级划分

等级	I	II	III	IV	V
降雨-气温指数/(mm·°C)	0~4 000	4 000~8 000	8 000~15 000	15 000~25 000	>25 000
影响程度	几乎没有	轻微	中等	严重	极严重

表 2 降雨-冰冻指数等级划分

等级	I	II	III
降雨-冰冻指数/(mm·°C)	0~4 000	4 000~27 000	>27 000
影响程度	轻微	严重	极严重

3.3 气候分区方案

图 6 给出了中国公路沥青路面水损害气候影响分区方案图,共分为 14 个区。表 3 列出了各分区中降雨-气温指数和降雨-冰冻指数的范围。区名中含 I 的区,不受冻融循环的影响;区名中含 III 的区,几乎不受降水与高温过程组合的影响;区名中含 II 的区,既受降水与高温过程组合的影响,又受降水与冻融循环过程组合的影响。

(1)区名中含I的区。降水与高温过程组合的影响从IA区的极严重逐渐变化到IB区的严重,除了可能出现冰冻的局部山区外,其他地区均不必考虑降水与冻融循环过程组合对沥青路面水损害的影响。

(2)区名中含II的区。需同时考虑降水与高温过程组合以及降水与冻融循环过程组合对沥青路面水损害的影响,根据降雨-气温指数和降雨-冰冻指数大小的区别,可以区分不同分区中降水与高温过

表 3 各区中降雨-气温指数和降雨-冰冻指数的取值范围

区名	降雨-气温指数/(mm·℃)	降雨-冰冻指数/(mm·℃)
I A	>25 000	没有影响
I B	15 000~25 000	局部山区有轻微至中等程度的影响
II A	8 000~15 000, 东南局部地区 >15 000	>27 000
II B	4 000~8 000	>27 000
II C	8 000~15 000	4 000~27 000, 南部局部地区 <4 000
II D	4 000~8 000	4 000~27 000
II E	15 000~20 000, 西北部分地区 10 000~15 000	<4 000, 东北部分地区 4 000~8 000
II F	8 000~15 000	4 000~27 000
II G	4 000~8 000, 东南局部地区 >8 000	>27 000
II H	4 000~8 000	4 000~27 000
III A	<4 000	>27 000
III B	<4 000	4 000~27 000
III C	<4 000	>27 000
III D	<4 000	<4 000

程组合以及降水与冻融循环过程组合对沥青路面水损害影响的程度。另外,由于 II F 区、II G 区和 II H 区中气候垂直分异非常明显,因此这 3 个区还需要对当地的具体高程情况加以考虑。

(3)区名中含Ⅲ的区。降水与冻融循环过程组

合是影响该区沥青路面水损害的主要过程,降水与高温过程组合的影响非常轻微,可以不予考虑。在 III D 区中,降雨-气温指数和降雨-冰冻指数均非常小,表明该区气候对沥青路面水损害几乎没有影响。

4 结 语

(1)通过对沥青路面水损害研究的回顾与分析,提出了影响沥青路面水损害的主要气候过程:降水与高温过程组合以及降水与冻融循环过程组合。

(2)构造了降雨-气温指数(PATI)和降雨-冰冻指数(PFI),分别评价上述两个气候过程对沥青路面水损害的影响。研究表明,这两个指数可以反映中国沥青路面水损害的气候影响特征。

(3)根据冰冻指数的工程意义和等概率原则,确定了降雨-气温指数和降雨-冰冻指数的分区界限,并据此进行叠置分析。

(4)拟定了中国公路沥青路面水损害气候影响分区方案,为了解中国气候对沥青路面水损害的影响提供了参考。

(5)由于气象站点分布的不均匀性,使得部分地区的指数插值误差比较大,特别是青藏高原和新疆的部分地区,站点稀少,使得分区与实际情况存在较大差异。因此,还应创造条件,对该分区进行充实完善,提高其适用性。

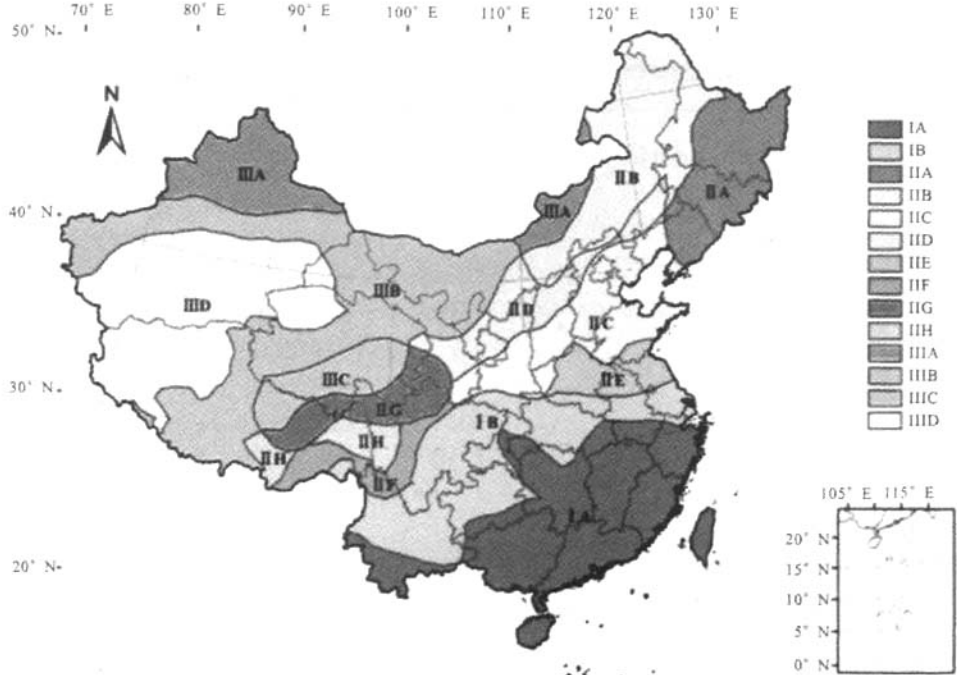


图 6 中国公路沥青路面水损害的气候影响分区方案

参考文献:

References:

- [1] Pan C, White T D. Evaluation of stripping for asphalt concrete mixtures using accelerated testing methods[J]. Transportation Research Record, 1998, 1630:98-105.
- [2] Epps J A, Sebaaly P E, Penaranda J, et al. Compatibility of a test for moisture-induced damage with superpave volumetric mix design [R]. Washington D C; National Research Council, 2000.
- [3] Bahia H, Ahmad S. Evaluation and correlation of lab and field tensile strength ratio (TSR) procedures and values in assessing the stripping potential of asphalt mixes [R]. Wisconsin; Wisconsin Department of Transportation, 1999.
- [4] 马明国,管 频,李志强,等.基于遥感与GIS的甘肃省公路工程困难指数计算[J].中国公路学报,2007,20(2):45-50.
MA Ming-guo, GUAN Pin, LI Zhi-qiang, et al. Calculation of difficulty index of highway engineering in Gansu province based on remote sensing and GIS [J]. China Journal of Highway and Transport, 2007, 20(2):45-50.
- [5] 李 芳,李 斌,陈 建.中国公路盐渍土的分区方案[J].长安大学学报:自然科学版,2006,26(6):12-15.
LI Fang, LI Bin, CHEN Jian. Highway-related dividing scheme of salty soil[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2006, 26(6):12-15.
- [6] 高 英,曹荣吉,刘朝晖,等.高速公路沥青路面渗水性能[J].交通运输工程学报,2003,3(3):12-16.
GAO Ying, CAO Rong-ji, LIU Zhao-hui, et al. Permeability of asphalt pavement at expressway[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2003, 3(3):12-16.
- [7] Terrel R L, Al-Swailmi S. Water sensitivity of asphalt-aggregate mixes; test selection[R]. Washington D C; National Research Council, 1994.
- [8] Scholz T V, Terrel R L, Bea J, et al. Water sensitivity: binder validation [R]. Washington D C; National Research Council, SHRP-A-402, 1994.
- [9] 沈金安.道路沥青及沥青混合料的气候分区及关键性技术指标[J].中国公路学报,1997,10(1):1-9.
SHEN Jin-an. Climatic zoning for road asphalt and asphalt mixture and the key technical index[J]. China Journal of Highway and Transport, 1997, 10(1):1-9.
- [10] 孙长新,赵毅强,叶燕呼,等.广东省公路沥青路面气候影响分区[J].西安公路交通大学学报,2000,20(1):16-19.
SUN Chang-xin, ZHAO Yi-qiang, YE Yan-hu, et al. Regionalizing for asphalt pavement in Guangdong Province according to the climate influence[J]. Journal of Xi'an Highway University, 2000, 20(1):16-19.
- [11] Harvey J, Chong A, Roesler J. Climate regions for mechanistic - empirical pavement design in California and expected effects on performance[R]. California; University of California at Berkeley, 2000.
- [12] 交通部公路规划设计院.公路自然区划标准[M].北京:人民交通出版社,1986.
- (上接第20页)
- WANG Tie-hang, LI Ning, XIE Ding-yi. Gravitational potential, matrix suction and thermal potential of unsaturated loess soil [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2004, 26(5):715-718.
- [3] 刘巍然,高江平.压实黄土路基中水分迁移的数值模拟[J].长安大学学报:自然科学版,2006,26(4):5-7.
LIU Wei-ran, GAO Jiang-ping. Numerical modelling on water migration in loess subgrade[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2006, 26(4):5-7.
- [4] 毛雪松,李 宁,王秉纲,等.考虑相变作用的冻土路基应力与变形分析模型[J].交通运输工程学报,2007,7(1):58-62.
MAO Xue-song, LI Ning, WANG Bing-gang, et al. Analysis model of stress and deformation of permafrost subgrade with phase changing[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2007, 7(1):58-62.
- [5] 王铁行.多年冻土地区路基冻胀变形分析[J].中国公路学报,2005,18(2):1-5.
WANG Tie-hang. Analysis of frost heave on subgrade in permafrost region [J]. China Journal of Highway and Transport, 2005, 18(2):1-5.
- [6] Sally A S, Susan R B. Moisture migration during freeze and thaw of unsaturated soils; modeling and large scale experiments[J]. Cold Regions Science and Technology, 1997, 25(2):33-45.
- [7] 中国科学院兰州冰川冻土研究所.冻土的温度水分应力及其相互作用[M].兰州:兰州大学出版社,1989.
- [8] 徐学祖,王家澄,张立新.冻土物理学[M].北京:科学出版社,2001.
- [9] 胡长顺,何子文,窦明健,等.青藏公路纵向裂缝成因及处治对策研究总报告[R].西安:长安大学,2003.