

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2015.09.005

水泥混凝土土工布隔离层剪切与排水性能研究

何璐¹, 田波¹, 权磊¹, 邓洪², 郑少鹏¹

(1. 交通运输部公路科学研究院, 北京 100088; 2. 肇庆俊富纤网材料有限公司, 广东 肇庆 526020)

摘要: 为了研究土工布作为隔离层时混凝土板与基层间的层间接触状态, 设计了室内顶推试验, 并对比乳化沥青隔离层的摩阻力-位移曲线和直接浇注的顶推试验结果, 得知土工布作为隔离层时能减小混凝土板与基层间的层间黏结, 使混凝土板与基层之间处于非黏结状态, 这样可以有效减小层间摩阻力, 降低温度应力。同时为了研究土工布作为隔离层时水泥混凝土路面的实际排水效果, 设计了模拟排水试验, 并对比沥青隔离层的试验排水效果, 得知土工布作为隔离层能有效排除基层上的水分, 并且水量越大, 排水效果越良好, 但需要对基层做一些防水措施, 以防垂直渗流对基层的破坏。

关键词: 道路工程; 土工布隔离层; 顶推试验; 模拟排水试验; 层间接触状态; 排水效果

中图分类号: U416.216

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268(2015)09-0026-06

Study on Performance of Shearing and Drainage of Geotextile Interlayer for Cement Concrete

HE Lu¹, TIAN Bo¹, QUAN Lei¹, DENG Hong², ZHENG Shao-peng¹

(1. Research Institute of Highway, Ministry of Transport, Beijing 100088 China;

2. Zhaoqing Junfu Fiber Network Material Co., Ltd., Zhaoqing Guangzhou 526020 China)

Abstract: To study the interface condition between concrete slab and base using geotextile as interlayer, we designed a series of push-out test, and then compared the friction-displacement curve of emulsified asphalt interlayer and the push-out test result of concrete cast directly on base. It is found that geotextile as interlayer can weaken the interface bond strength between concrete slab and base, make concrete slab and base in the state of non-bonding, it can reduce the frictional force at the interface and temperature stress effectively. To study the actual drainage effect of cement concrete pavement using geotextile as interlayer, we also designed a series of simulation drainage tests, and then compared the test drainage results of the asphalt interlayer. It is found that geotextile as interlayer can remove the water on base effectively, the more the water, the more effectively the water drainage effect, but it must take some water-proofing measures to protect base from vertical seepage.

Key words: road engineering; geotextile interlayer; push-out test; simulation drainage test; interface contact condition; drainage effect

0 引言

近年来, 我国水泥混凝土路面使用状况不佳, 使用寿命大大低于设计使用年限, 在一些重交通干道上水泥混凝土路面早期破损严重, 往往通车 2~5 a 左右

就产生板底脱空、错台和断裂等损坏。当前我国水泥混凝土路面大多采用半刚性基层材料, 该类基层抗冲刷能力较差, 受水侵蚀后容易引起板底脱空^[1-2]。调查表明, 特别在我国南方多雨地区, 水泥混凝土路面的破坏基本都是冲刷破坏^[3]。

收稿日期: 2014-06-26

作者简介: 何璐(1989-), 男, 重庆人, 硕士研究生。(he.lu2008@163.com)

在国外研究中,德国致力于结构内部排水的研究,尤其是混凝土板与密实的底基层间积水造成的损坏,建议采用稳定基层和土工布完全覆盖底基层,形成新的混凝土路面排水系统^[4]。美国采用排水基层,此类基层需要土工布加以保护,以防止路基细粒土侵入^[5-6]。近年来,我国将土工布材料应用于路基排水越来越普遍^[7],但是并没有对设置土工布作为隔离层的层间接触状态进行研究^[8],也没有一种试验方法能够模拟土工布作为隔离层时的实际排水效果。本文依托实际工程,通过顶推试验评价土工布隔离层的剪切破坏过程,通过室内模拟排水试验评价土工布隔离层的实际排水效果,以期对土工布在水泥混凝土路面中的应用有所指导。

1 试验原材料

试验所用水泥为北京产金隅 P. O42.5 水泥,安定性合格,细度为 $345 \text{ m}^2/\text{kg}$,各项技术指标符合要求^[9]。试验所用砂产地为内蒙古,细度模数为 2.8,表观密度为 $2\,600 \text{ kg}/\text{m}^3$,质量合格。试验用粗集料为石灰岩碎石,其针片状、含泥量及泥块含量符合要求,质量合格。试验用水为北京通州区饮用水,质量合格。试验用沥青为乳化沥青,固含量 61%,每平方米的喷涂量为 $0.6 \sim 0.8 \text{ kg}$ 。试验所用土工布为 $450 \text{ g}/\text{m}^2$,土工布性能指标如表 1 所示。

表 1 试验用土工布性能指标

Tab. 1 Geotextile performance indexes for test

断裂强力/($\text{kN} \cdot \text{m}^{-2}$)	断裂伸长率/%	CBR 顶破/ kN	撕破强力/ kN
17.6	62.90	4.8	1.8

2 土工布隔离层剪切试验

2.1 顶推试验

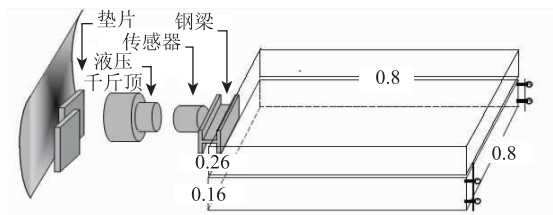
为了模拟水泥混凝土路面板与基层在温、湿度变化作用下发生相对运动的实际受力状况,从而深入研究水泥混凝土路面层间摩阻力的变化规律及影响因素,本文设计了顶推试验^[10],考察不设隔离层和设置隔离层材料对层间摩阻力的影响。

顶推试验是通过液压千斤顶对水泥混凝土路面板在水平方向上施加作用力,并用位移传感器记录路面板在该力作用下的移动情况,从而建立起层间摩阻力与路面板水平位移之间的关系,典型的顶推试验示意图如图 1 所示。加载过程为:面板与基层紧密结合,施加每一级荷载,由位移传感器读出轴向位移量,加载直到面板与基层接触界面完全破坏

后卸载。加载时加载速率为 $0.06 \text{ mm}/\text{s}$ 。



(a) 顶推试验过程



(b) 顶推试验简图

图 1 水平顶推试验 (单位: m)

Fig. 1 Horizontal push-out test (unit: m)

基层选用半刚性基层材料,尺寸为 $80 \text{ cm} \times 80 \text{ cm} \times 16 \text{ cm}$,路面板尺寸为 $80 \text{ cm} \times 80 \text{ cm} \times 26 \text{ cm}$,为了对比土工布作为隔离层的摩阻力状态,设计了层间设置乳化沥青和基层与面板间直接浇注两种对比方案进行试验。

2.2 层间摩阻力的定义及影响因素

在经典的物理学摩阻力模型中,摩阻力大小与受力物体的重量成线性关系,如图 2 所示,这种线性关系成立的前提是:第一,接触面不存在黏结作用;第二,接触面不能发生变形。和物理学中经典的摩阻力模型不同,水泥混凝土路面由于层间接触情况、材料组成复杂,通常认为其层间摩阻力由黏结力、承载力和剪切力组成,如图 3 所示。

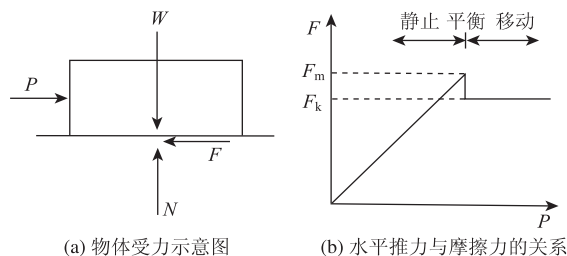


图 2 经典物理学摩阻力模型

Fig. 2 Classical physical friction model

影响水泥混凝土路面层间摩阻力的最主要因素是温、湿度的变化与界面粗糙程度。混凝土材料在硬化后具有不可塑性,温、湿度的季节性变化会使

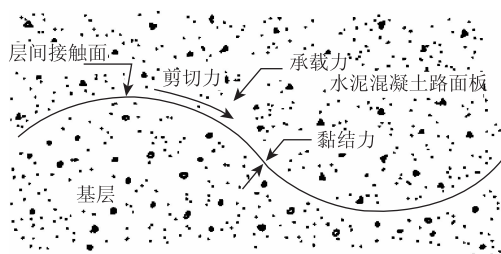


图3 水泥混凝土路面层间摩阻力组成

Fig. 3 Components of interlayer friction of cement concrete pavement

混凝土路面板在水平方向上发生收缩和拉伸变形，而温、湿度在板厚方向上的梯度变化会使路面板在竖直方向上发生翘曲变形，这两种变形均会破坏原有层间界面黏结特性与粗糙程度，影响路面层间摩阻力^[11]。

2.3 试验结果及分析

如前文所说，水泥混凝土路面的层间摩阻力不符合经典物理学模型，摩阻力由承载力、剪切力和黏结力3个部分组成。由图4试验结果可以看出，两种隔离层材料通过顶推试验得出的摩阻力-位移曲线比较类似，过程大致可分为3个阶段。第1阶段，层间摩阻力随着位移的增大而迅速增大，这时候3种力共同存在；第2阶段，层间摩阻力急速下降，层间滑动面破坏，黏结力消失；第3阶段，层间摩阻力趋于稳定，随着位移的增大，摩阻力基本不变，比较类似于经典物理学中的滑动摩擦^[4]。

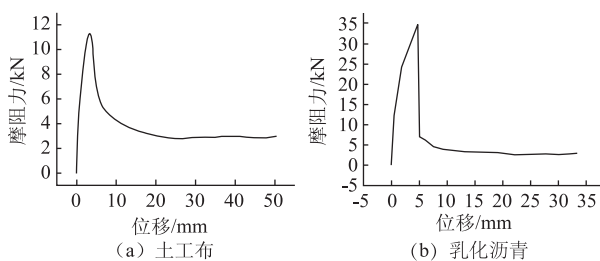


图4 不同隔离层的顶推摩阻力-位移曲线

Fig. 4 Friction-displacement curve of different interfaces from push-out test

基层和混凝土板间直接浇注也进行了顶推试验，但是没有得出摩阻力-位移曲线，因为面板与基层间层间摩阻力太大，仅靠液压千斤顶不能移动面板。这种直接浇注的形式，层间摩阻力较大，相应的温度应力也很大，不利于水泥混凝土路面，并且浇注时水泥浆会渗入基层一定深度内的空隙中，形成既

不同于基层也不同于面层的弱结合面，极易发生破坏，影响路面的可靠性。

由表2可知，设置土工布和乳化沥青作隔离层时都可以大大减小层间摩阻力，使混凝土板与基层间处于结合与滑动的中间地带，层间结合状态是影响混凝土温度翘曲应力的重要因素。所选试验材料中，层间设置土工布时，最大摩阻力系数和最大顶推力最小，都小于乳化沥青和直接浇注的形式，说明土工布作为隔离层可以大大减小混凝土板与基层间的层间黏结，使混凝土板与基层之间正常的工作状态是非黏结状态（可能是滑动状态，也可能是半连续半滑动状态）^[5]，这种状态可以有效降低混凝土板与基层间的温度翘曲应力。

表2 不同隔离层的顶推试验结果

Tab. 2 Push-out test result of different interfaces

隔离层	乳化沥青	土工布
最大顶推力/kN	34.73	11.41
最大摩阻力系数	8.87	2.92
破坏后摩阻力系数	0.87	0.85

当层间完全破坏时，乳化沥青和土工布作为隔离层时的滑动摩阻力系数大小几乎相同，说明第3阶段加载时，黏结力消失，混凝土板与基层间变得光滑，层间摩阻力趋于稳定。

3 土工布隔离层排水效果模拟

应用土工布作为隔离层排水的最关键技术问题是其横向排水效果的优劣，即土工布能否将面层渗透下来的水及时地排除，从而减少水对基层的冲刷破坏。

3.1 排水效果模拟试验

为了研究水泥混凝土路面路用土工布做隔离层的实际排水效果，在实验室内设计模拟排水试验，如图5所示。成型混凝土试件，在浇注混凝土面板时，把玻璃管插入混凝土面板直到接触基层的土工



图5 模拟排水试验

Fig. 5 Simulation drainage test

布,养护28 d后,进行试验。基层选用半刚性基层材料,尺寸为100 cm×100 cm×20 cm,路面板尺寸为60 cm×60 cm×26 cm。试验时记录初始的液面距离,水泥混凝土面层的高度及每间隔1 min液面距离混凝土面层的高度,即可得到每分钟的排水速率。

实际工程中,在水泥混凝土路面基层和面层之间应用土工布时,通常先在基层上铺筑一层沥青黏结层,可以防止土工布垂直渗透作用对基层造成水损坏^[12]。为了便于比较土工布的排水效果,设计了土工布+沥青黏结层和土工布两种层间结构进行比较,如图6所示。

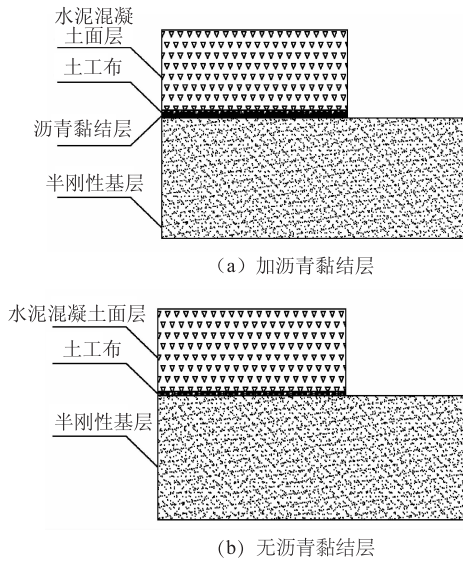


图6 路面结构模拟

Fig. 6 Simulation of pavement structure

3.2 试验结果及分析

(1) 不同水量条件下土工布排水效果

由于沥青黏结层为不透水材料,所以在该试验条件下,土工布的垂直渗透作用被阻碍,实际观测到的排水速率,可以近似看作是土工布的横向排水速率。对加铺沥青黏结层的试件进行模拟排水试验,得到数据如图7所示。

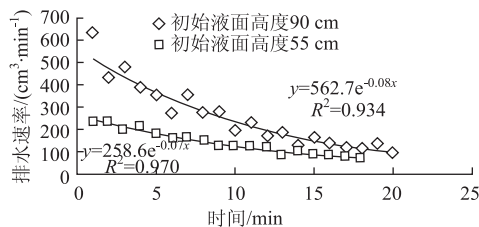


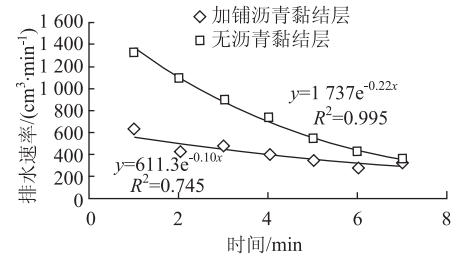
图7 不同用水量的土工布排水速率

Fig. 7 Geotextile drainage rate of different water consumption

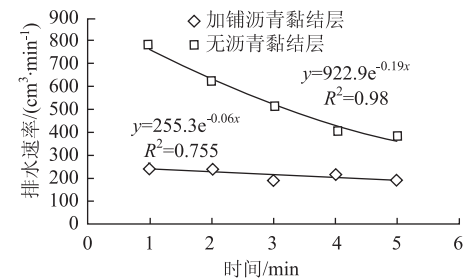
由图7可以看出,在初始用水量一定的情况下,水泥混凝土路面用土工布的排水速率随着时间的变化而不断减小。初始用水量大的情况下,土工布排水速率比较大,但是排水速率的数值差距随着时间的变化而不断缩小。由于随着排水时间的不断增大,试管内的水压力不断减小,导致土工布的排水速率不断减小,同时土工布随着时间的增大,逐渐处于饱水状态,排水速率不断降低。同样初始用水量比较大的条件下,从一开始试管内水压力就比较大,导致其排水速率要大于初始用水量较小的情况。因此在衡量水泥混凝土路面用土工布排水效果时,应结合特定地区、特定时间渗入土工布表面的水流量来考虑。在试验过程中,初始液面高度为90 cm的试件,土工布在20 min内总的排水量达到了5 144.37 cm³;初始液面高度为55 cm的试件,土工布在18 min内总的排水量达到了2 536.84 cm³。这说明土工布可以在较短的时间内有效地排除渗流到其表面上的路表水、内部多余的水分等。

(2) 不同层间接触状态条件下土工布排水效果

为了对比不同的层间接触状态下土工布排水效果有何差异,设计了水泥混凝土路面结构中不加沥青黏结层的试验,与加铺沥青黏结层的土工布排水试验进行了对比研究,见图8。



(a) 初始液面高度90 cm



(b) 初始液面高度55 cm

图8 不同隔离层的排水速率

Fig. 8 Drainage rates of different interfaces

由图8可以看出,两种初始液面高度条件下,加铺沥青黏结层的土工布排水速率均小于无沥青黏结层的土工布排水速率,同样的排水速率均随着时

间的不断增大,而逐渐减小。在加沥青黏结层的试件中,沥青黏结层阻碍了上层土工布的垂直渗透作用,而在不加沥青黏结层的试件中,半刚性基层直接与土工布接触,由于半刚性基层材料具有一定的吸水性,所以基层阻碍土工布垂直渗透作用的能力要小于沥青黏结层,而此时土工布排水就包括垂直渗透排水和横向排水两个部分,因此不加沥青黏结层的土工布排水速率要大于加沥青黏结层的排水速率。由试验结果计算可以得出,在5 min 范围内,初始液面高度为90 cm 的试件中土工布的垂直渗水总量达到了2 356.50 cm³,初始液面高度为55 cm 的试件中土工布的垂直渗水总量也达到了1 649.55 cm³,说明了基层的防水效果较差。为了防止基层受水的影响而发生损坏,在铺筑水泥混凝土路面时需对基层采取必要的防水排水措施,如果防排水措施处理不到位,则会在水侵蚀状态下造成基层开裂、坑陷、唧泥等损坏,严重时会影响路基的整体稳定性。其中加铺土工布即为有效的排水措施之一,同时铺设沥青黏结层是比较常用的基层防水措施。

(3) 垂直渗流对土工布排水效果的影响

水泥混凝土路面用土工布排水包括垂直渗透和横向排水,在基层上铺设不透水沥青黏结层时,土工布排水路径如图9(a)所示,以横向排水为主;当基层上无沥青黏结层时,土工布排水路径如图9(b)所示,垂直渗透和横向排水同时进行。

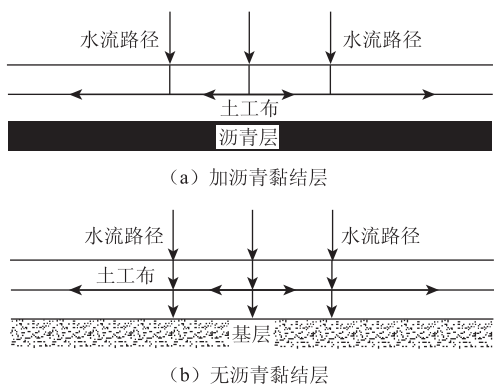


图9 土工布排水路径

Fig. 9 Geotextile drainage paths

土工布垂直渗透在一定程度上加速排水的同时,会对基层和土工布本身的横向排水造成一定的影响。为了了解土工布垂直渗透的过程,试验将加沥青黏结层状况下土工布排水近似看作横向排水,把不加沥青黏结层条件下土工布排水量与加沥青层条件下排水量之差,近似看作是土工布的垂直渗透,两者随时间的变化如图10所示。

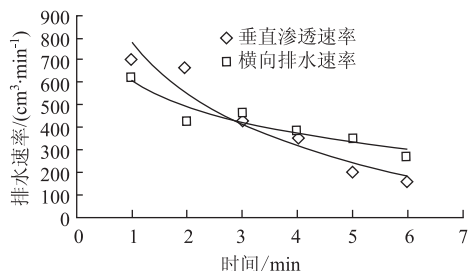


图10 土工布排水速率随时间的变化情况

Fig. 10 Geotextile drainage rate varying with time

由图10可以看出,垂直渗透速率和横向排水速率均随着时间的增大而减小,在前3 min内,垂直渗透速率大于横向排水速率,随后土工布以横向排水为主。在开始阶段由于重力和基层透水的原因,垂直渗透速率比较大,随着基层含水量的增大,透水性减小,积累在土工布中的水分以横向排水为主。

由图11可以看出,土工布的垂直渗透系数随着时间的增大而减小,最后趋于稳定,横向渗透系数随着时间的增大而波动较大。可以看出,如果基层防排水措施处理不当,则在较短的时间内基层就会达到较高的含水量,对基层的稳定性造成影响。因此,在铺筑基层时应做好防水排水措施,除在其上加铺不透水沥青层之外,还应采取必要的排水措施。铺设土工布作为基层排水措施时,应加强其横向排水能力,以尽快排出基层上面的积水,保证基层的稳定性,提高道路的行驶安全性能。

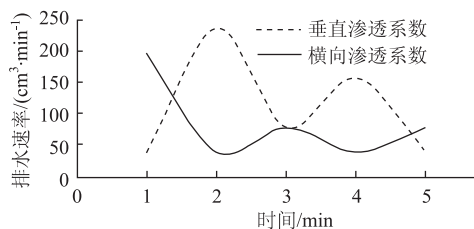


图11 土工布渗透系数随时间的变化情况

Fig. 11 Geotextile permeability coefficient varying with time

4 结论

(1) 顶推试验得出,直接浇注混凝土板在基层上时,层间摩阻力较大,将导致较大的温度应力。设置土工布或乳化沥青作为隔离层,可以降低混凝土路面层间摩阻力,有效改善层间接触状态。尤其是土工布作为隔离层时,可以大大减小混凝土板与基层间的层间黏结,使混凝土板与基层之间正常的工作状态是非黏结状态,这种状态可以大大降低混凝土板与基层间的温度翘曲应力。

(2) 模拟排水试验得出, 设置土工布作为隔离层排水, 能有效排除积累在基层上面的水分, 水量越大, 排水效果越好。土工布加铺沥青不透水层后, 一定程度上阻碍了垂直渗流, 排水速率减小, 但是垂直渗流会把水分快速排到基层造成水损坏, 所以加铺沥青层有利于防止基层受水的影响而发生损坏。土工布垂直渗透在一定程度上加速排水的同时, 会对基层和土工布本身的横向排水造成一定的影响, 刚开始垂直渗透速率大于横向排水速率, 随后土工布以横向排水为主。所以采取必要的防水排水措施情况下, 土工布可以有效地起到排水作用。

参考文献:

References:

- [1] 李连生. 沥青滑动封层在水泥混凝土路面结构层中的应用 [C] // 第3届鲁粤路桥机械论坛论文集. 北京: 中国公路学会, 2006: 53-56.
LI Lian-sheng. Application of Asphalt Slipping Seal Coating in Cement Concrete Pavement Structure [C] // Proceedings of the 3rd Session of Shandong-Guangdong Highway and Bridge Equipment Forum. Beijing: China Highway and Transportation Society, 2006: 53-56.
- [2] 任靖峰, 姚佳良. 水泥混凝土路面隔离层试验及长期性能观测研究 [J]. 中外公路, 2013, 33 (3): 47-49.
REN Jing-feng, YAO Jia-liang. Interface Test of Cement Concrete Pavement and Study on Long-term Observation for Performance [J]. Journal of China & Foreign Highway, 2013, 33 (3): 47-49.
- [3] 付智, 杨东来, 王成皿, 等. 防止水泥混凝土路面的水冲刷破坏 [J]. 公路, 2001, 6 (6): 67-70.
FU Zhi, YANG Dong-lai, WANG Cheng-min, et al. Prevent the Water Eroding Damages in Cement Concrete Pavements [J]. Highway, 2001, 6 (6): 67-70.
- [4] ZHANG J, LI V C. Influence of Supporting Base Characteristics on Shrinkage-induced Stresses in Concrete Pavements [J]. Journal of Transportation Engineering, 2002, 127 (6): 455-462.
- [5] LEE S W. Behavior of Concrete Slab under Frictional Drag [J]. KSCE Journal of Civil Engineering, 2001, 5 (2): 141-145.
- [6] WESEVICH, J W, MCCULLOUGH B F, BUMS N H. Stabilized Subbase Friction Study for Concrete Pavements, Research Report 459-1 [R]. Austin: The University of Texas, 1987.
- [7] 姚佳良, 袁剑波, 张起森, 等. 蜡制养护剂隔离机理与效果研究 [J]. 中国公路学报, 2009, 22 (6): 47-52.
YAO Jia-liang, YUAN Jian-bo, ZHANG Qi-sen, et al. Research on Mechanism of using Emulsion Wax Curing Agent as Separation Layer and Its Effectiveness [J]. China Journal of Highway and Transport, 2009, 22 (6): 47-52.
- [8] 姚佳良, 胡可奕, 袁剑波, 等. 不同隔离层水泥混凝土路面层间力学性能 [J]. 公路交通科技, 2012, 29 (2): 7-12, 28.
YAO Jia-liang, HU Ke-yi, YUAN Jian-bo, et al. Mechanical Performance of Interface between Cement Concrete Pavement and Lean Concrete Base Treated with Different Bond-breaking Layers [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2012, 29 (2): 7-12, 28.
- [9] JTG/T D32—2012, 公路土工合成材料应用技术规范 [S].
JTG/T D32—2012, Technical Specifications for Application of Geosynthetics in Highway [S].
- [10] 肖益民, 丁伯承. 水泥混凝土路面与基层接触状况的研究 [J]. 公路, 2000, 9 (9): 32-34.
XIAO Yi-min, DING Bo-cheng. Study on Interface Conditions of Cement Concrete Pavement and Base [J]. Highway, 2000, 9 (9): 32-34.
- [11] LI Si-li, TIAN Bo, NIU Kai-min, et al. Experimental Study on Characteristics of Base Friction for Concrete Pavement Structure in China [J]. Transportation Research Record, 2013, 2367: 107-112.
- [12] 林天干, 姚佳良, 于远征, 等. 土工布作水泥混凝土路面隔离层应用研究 [J]. 公路, 2012, 7 (7): 1-5.
LIN Tian-gan, YAO Jia-liang, YU Yuan-zheng, et al. Application Study on Geotextile as Bond-breaking Layer Between Concrete Pavement Slab and Lean Concrete Base [J]. Highway, 2012, 7 (7): 1-5.