

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2012.01.005

不同纹理水泥混凝土路面降噪与抗滑特性

刘英, 田波, 牛开民

(交通运输部公路科学研究院, 北京 100088)

摘要: 采用新型隔离风噪的路面-轮胎噪声测试方法和横向摩擦力系数测定车对不同纹理构造的路面进行噪声和抗滑性能测试, 分析了不同纹理构造路面的抗滑降噪机理。结果证明通过对噪声测试设备的改进, 可以有效的排除外界噪声的干扰, 保证噪声试验数据的准确性。此外, 通过改善水泥混凝土路面常用纹理, 可以达到降低路面噪声且提高路面抗滑能力的目的。多孔水泥混凝土路面、露石水泥混凝土路面和纵向刻槽路面噪声值与沥青路面相当, 并且具有良好的抗滑性能。

关键词: 道路工程; 水泥混凝土路面; 抗滑降噪; 路面轮胎噪声; 表面纹理

中图分类号: U416.2.01

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268(2012)01-0028-06

Skid-resistance and Denoising Properties of Cement Concrete Pavement with Different Surface Texture

LIU Ying, TIAN Bo, NIU Kaimin

(Research Institute of Highway, Ministry of Transport, Beijing 10088, China)

Abstract: By using an improved road/tyre noise test method with windscreen and lateral skid-resistance test vehicle, we tested the noise and skid-resistance property of different pavement surface texture, and also analysed the skid-resistance and denoising mechanism of different surface texture. It proved that (1) we can effectively exclude the interference of outside noise, and ensure the accuracy of noise test data by improving noise test equipment; (2) we can reduce road/tyre noise of cement concrete pavement and increase skid-resistance property by improving conventional surface texture; (3) the noise values of porous cement concrete pavement, exposed aggregate cement concrete pavement and longitudinal grooved pavement are equivalent to that of asphalt pavement, and they has good skid-resistance property.

Key words: road engineering; cement concrete pavement; skid-resistance and denoising; road/tyre noise; surface texture

0 前言

随着公路等级的提高, 交通量的增大以及车速的加快, 水泥混凝土路面的抗滑和噪音问题日益突出。目前, 水泥混凝土路面最常见的表面构造是拉毛和刻槽。拉毛在混凝土初凝前, 用粗麻布、扫帚、塑料焊条等在混凝土表面形成纹理构造, 深度在1.5~3 mm, 其中拉槽主要以横向为主。拉毛法成本

费用较低, 形成的纹理构造具有一定的抗滑性能, 有一定的降噪效果; 但表面构造耐久性较差, 行车2~3 a后逐渐消失。刻槽是混凝土在硬化后采用刻槽机制作的表面构造, 一般间距15~20 mm, 槽宽2 mm, 深3~4 mm。横向刻槽路面雨天排水效率高, 但在制动或驱动过程中易造成车辆侧滑, 同时车辆在横向刻槽路面上行驶产生噪音偏大。

目前, 国外对路面-轮胎噪声的测试方法主要

收稿日期: 2011-08-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(10704029)

作者简介: 刘英(1978-), 男, 河北唐山人, 硕士, 副研究员。(y.liu@rioh.cn)

有整车远场测试法 (路边噪音统计 SPB)、整车近场测试法、拖车近场测试法和室内试验测试法等。降低噪音的研究主要集中在两个方面, 一方面是通过科技创新有效降低噪声的产生, 另外一方面是设立隔音墙隔断噪声的传播。对于路面抗滑研究, 英国、美国、德国等国家先后进行了与汽车有关的公路上水漂研究, 主要涉及降雨特性 (降雨强度和降雨时间)、汽车特性 (汽车重量、轮胎特性)、路表特性 (宏观构造、横坡、纵坡以及排水径流长度等) 以及路面-轮胎相互作用等。

国内外实践证明, 通过改变传统路表构造可以达到增强路面抗滑性能以及降低路面噪声的效果^[1-6]。

1 路面噪声测试方法

1.1 改进的噪声测试设备

对于近胎测试法来讲, 在高速条件下评价路面-轮胎噪声水平时, 常常受到风噪与道路上其他车辆噪声等测试车辆自身外部条件的影响, 所得出的试验数据离散性很大, 不能真实正确的反映高速条件下路面-轮胎噪声水平。

为消除外部因素影响, 准确的进行近胎条件试验测试, 必须对测试设备进行改进, 如图 1 所示。改进的噪音测定仪, 增加了联接车辆轮眉的固定装置、隔音罩以及防撞毛刷。轮眉固定装置, 其曲率与测试车辆的轮眉曲率一致, 用螺栓使隔音装置紧密的与车体连接在一起。隔音罩包括前置、后置、侧置 3 块, 3 块隔音罩采用螺栓紧密相连, 隔音罩由刚度较大的轻质材料制成, 内壁置吸音材料 (吸音棉), 能很好的吸收装置内的反射噪声, 避免反射噪声对测试结果的影响。在侧置与后置隔音罩上设有传声器固定装置, 前置与后置隔音罩的上顶面与测试车辆的底盘一致。防撞毛刷粘附隔音罩底部, 防止车辆在高速条件下因路面平整度差而损坏隔音装置, 毛刷的高度不能过大也不能过小, 高度过大会影响隔音的效果, 过低起不到安全防护的效果, 规定防撞毛刷的高度为 5 cm。

在侧置隔音罩与后置隔音罩的传声器固定装置上安装好传声器, 通过轮眉固定装置使前置、后置与侧置 3 块隔音罩与车体轮眉紧密相连, 从而使得轮胎的侧面与后面形成相对封闭的空间, 最大限度的降低车体外部噪声与车体发动机噪声的影响值, 真实准确的测试出试验结果^[7-8]。

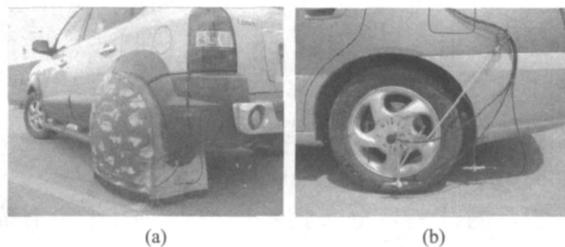


图 1 改进前、后的噪声测试法

Fig. 1 Noise measuring methods before and after improvement

1.2 噪声测试条件

为保证测试试验的稳定与连续, 整个试验过程中统一采用测试车辆为北京现代途胜 2.7 款越野车, 并采用同一种轮胎 (见图 2); 采用德国 Mueller BBM PAK Mobile MKII 噪声与振动测量分析系统对采集的数据进行实时动态的时域与频域 (1/3 倍频程) 对比分析。



图 2 测试用轮胎

Fig. 2 Tire of testing

考虑测试路段直线段距离以及行车安全, 测试车速控制在 50、70、90 km/h, 分别测试轮侧和轮后噪声, 如图 3 所示。

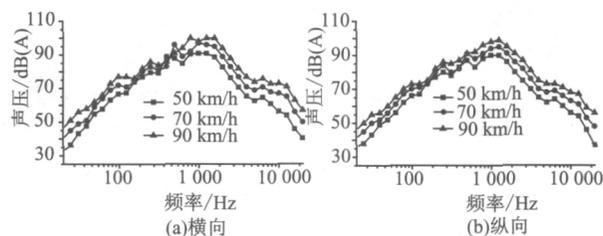


图 3 等间距刻槽路面噪声数据

Fig. 3 Noise data of grooving with same spacing

由测试结果发现, 在 50 km/h 和 70 km/h 车速时, 不同纹理路面噪声值差别很小, 很难区分并分析。并且, 低车速时受外界干扰声源影响特别明显, 例如汽车鸣笛或其他建筑声源等。而车速高时, 路

面/轮胎噪声占绝对主体,其他干扰噪声通过 A 级权处理后不会对测试结果产生影响。同时,考虑到车速大于 100 km/h 后,汽车本身颠簸产生较大干扰噪声,以及行车安全,最终选定以 90 km/h 车速做为标准测试车速。

由于测试路段分布在不同省份,为减小温度、湿度、风速等环境因素对测试结果的影响,选取不同的时间段进行试验,保证温度 17 ~ 20 °C,湿度 40% ~ 50%。

2 不同路面纹理上路面 - 轮胎噪声特性分析

噪声测试共选取了 11 种不同纹理的路段,包括沥青路面和水泥路面。其中水泥路面包括刻槽路段、拉毛路段、喷砂打毛路段、多孔路段、露石路段等,具体纹理构造见表 1,不同纹理路面噪声数据见图 4。

表 1 噪声测试路段情况表

Tab. 1 Different noise testing sections

编号	路表纹理构造	几何描述或物理描述
1	等间距横向刻槽	矩形槽,槽宽 3 mm,槽深 4 mm,间隔 25 mm
2	等间距纵向刻槽	矩形槽,槽宽 3 mm,槽深 4 mm,间隔 25 mm
3	等间距斜向刻槽	矩形槽,槽宽 3 mm,槽深 4 mm,间隔 25 mm,倾角 1:6
4	喷砂打毛	构造深度 0.57 mm
5	毛刷处理	构造深度 0.24 mm
6	等间距拉毛	梯形槽,槽宽 3 mm,槽深 3 mm,间隔 20 mm
7	变间距拉毛	梯形槽,槽宽 3 mm,槽深 3 mm,间距: 32/19/22/25/35/22/22/22/22/25/35/13/38/32/19/22/25 mm
8	单层结构多孔水泥混凝土路面	孔隙率 17%
9	双层结构多孔水泥混凝土路面	下层空隙率 24%,上层空隙率 17%
10	水泥混凝土露石路面	构造深度 1.0 mm
11	普通沥青路	AC13 普通沥青混凝土路面

由数据可以看出,轮侧噪声都比轮后噪声小,主要是轮侧隔音罩排除了外界其他车辆干扰噪声以及气流产生的噪声,而轮后受到气流、车辆以及排气管等声源的影响,导致噪声明显偏大,因此应以轮侧数据进行对比分析。

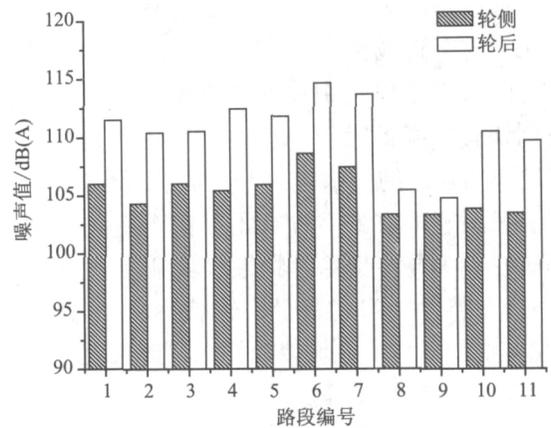


图 4 不同纹理路面噪声数据

Fig. 4 Pavement noise data of different surface texture

总体噪声值排序为: 沥青路 < 多孔路、露石路 < 喷砂打毛路段、刻槽路段 < 拉毛路段; 其中刻槽路段: 纵向刻槽、斜向刻槽 < 横向刻槽; 拉毛路段: 变间距拉毛 < 等间距拉毛。

2.1 多孔水泥混凝土路面、露石水泥混凝土路面与沥青路面间噪音水平的比较

在所有测试路段中,多孔水泥混凝土路面、露石水泥混凝土路面与沥青路面的噪声值是最低的,以车速 90 km/h 下轮侧噪声为准,3 种路面的噪声 1/3 倍频图和噪声值见图 5、图 6。

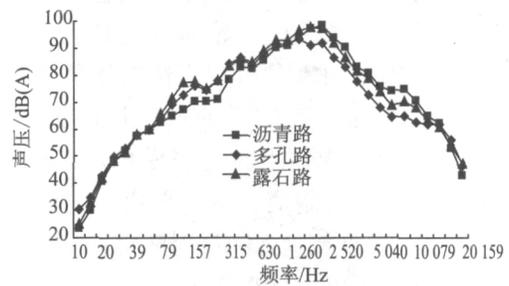


图 5 多孔路、露石路与沥青路面的噪声频谱曲线

Fig. 5 Noise spectrum curves of porous cement concrete exposed aggregate cement concrete and asphalt pavements

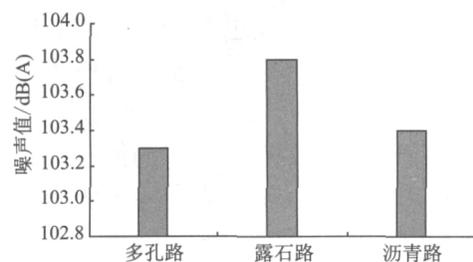


图 6 多孔路、露石路与沥青路面噪声值

Fig. 6 Noise data of porous cement concrete, exposed aggregate cement concrete and asphalt pavements

多孔水泥混凝土路面、露石水泥混凝土路面与沥青路面噪声值相差无几, 可见大孔隙水泥混凝土路面在吸声效果上是可以和沥青路面相媲美的, 但要保证孔隙结构的耐久性。露石水泥混凝土之所以能够降低噪声, 原因就在于粗集料外露, 这种凹凸的路面, 有效降低了空气泵吸和轮胎振动产生的噪声, 有利于声波在空隙中自行消散。

频谱结果表明, 多孔水泥混凝土路和水泥混凝土露石路的噪声频率分布主要 250 ~ 1 600 Hz 范围内, 在低频 400 Hz 以下时, 其噪声值高于沥青路面的噪声值。普通沥青路面的噪声频率范围主要集中在 630 ~ 1 600 Hz 范围内, 在 800 Hz 处现峰值。从 800 Hz 起, 其高频部分的噪声值明显高于多孔路和露石路的噪声值。人的感觉和声音的频率有关, 研究表明人的感觉在 500 Hz 到 1 000 Hz 之间变化不明显。而当声音低于 500 Hz 以下, 人耳变得不敏感; 相反 1 000 ~ 4 000 Hz 之间时, 人耳对声音极为敏感。由此可以看出, 相对普通沥青路面, 多孔路和露石路也能够较好的吸收高频部分噪声。

2.2 水泥混凝土刻槽路面与沥青路面噪声水平比较

刻槽路的噪声频率分布主要 200 ~ 1 600 Hz 范围内, 在低频 600 Hz 以下时, 其噪声值高于沥青路面的噪声值。普通沥青路面的噪声频率范围主要集中在 630 ~ 1 600 Hz 范围内, 在 800 Hz 处现峰值如图 7、图 8 所示。

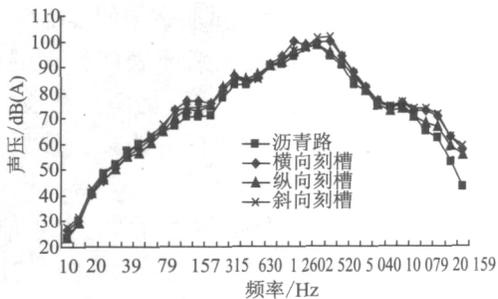


图 7 刻槽路段与沥青路面的噪声频谱曲线
Fig. 7 Noise spectrum curves of grooved section and asphalt pavement

对于刻槽路段, 纵向刻槽路段噪声值明显低于普通横向刻槽路段, 主要是两方面原因: (1) 纵向刻槽减弱路面 - 轮胎噪声的空气泵吸效应^[7]。由于纵向刻槽起到了加大构造深度的作用, 使轮胎与路面接触瞬间, 轮胎花纹沟槽与路面之间的空气能够顺着纵向槽、斜向槽顺利的排走, 不会形成封闭空间, 从而减弱了空气泵吸作用, 降低了路面噪音。(2) 纵向刻槽可以降低轮胎的振动噪声。车辆在纵

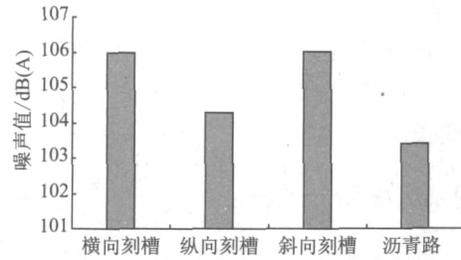


图 8 刻槽路段与沥青路面的噪声值
Fig. 8 Noise data of grooved section and asphalt pavement

向刻槽路面上行驶时, 轮胎与路面的接触实际是轮胎面与纵向槽净间距的接触, 轮胎滚动过程中对路面的撞击面积减少, 相应的轮胎冲击振动噪声降低。在合适的槽宽范围内, 轮胎嵌入刻槽内一定深度, 轮胎滚动方向与刻槽方向一致, 并且是连续接触, 不存在轮胎与路面之间的规律性重复撞击作用, 相应的轮胎振动噪声也较小^[9-10]。

2.3 水泥混凝土拉毛路段与沥青路面噪声比较

本次水泥混凝土路面拉毛路段采用等间距和变间距横向拉毛, 噪声频谱曲线和噪声值见图 9、图 10。

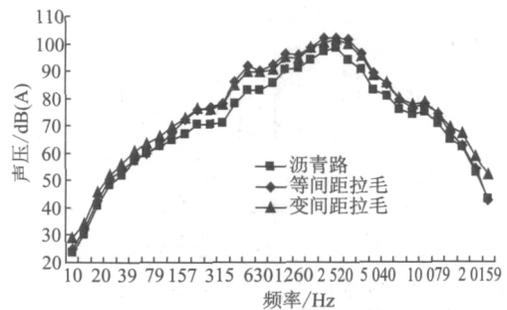


图 9 拉毛路段与沥青路面噪声频谱曲线
Fig. 9 Noise spectrum curves of rough section and asphalt pavement

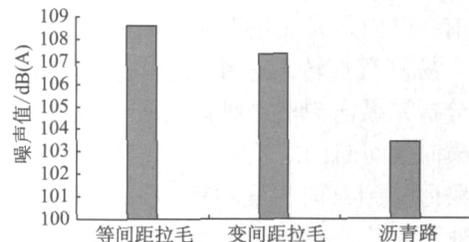


图 10 拉毛路段与沥青路面噪声值
Fig. 10 Noise data of rough section and asphalt pavement

对于拉毛路段, 变间距路段噪声值明显低于等间距路段。此方法就是把槽的间距设置为不同, 并

作适当排列, 这样在特定的频率下集中的音能量被分散成宽频带的音, 有效地减少相同频率声波的叠加, 从而变化成平滑, 使人的耳朵不易感觉得到, 达到降低噪声的目的。

3 不同纹理路面抗滑特性

通过以上路面噪声的研究表明, 改变路表纹理构造可以达到降低路面-轮胎噪声的目的, 但前提是确保行车安全。为此, 应对不同纹理路面的抗滑特性进行研究, 找出既降噪又抗滑的最佳纹理路面。

道路的使用安全主要取决于路面的抗滑能力, 路面具有适当的抗滑能力能够保证路面与车轮间有良好的附着力以及行驶的车辆具有较短的制动距离, 随着路面抗滑能力的改善, 可以大幅降低事故率。横向力摩擦系数是评价路面抗滑特性的最重要指标, 为测试水泥混凝土路面抗滑能力, 采用横向力摩擦系数测试车 (SCRIM 测试系统) 对 8 种不同路表纹理的路面进行了测试, 测试结果见图 11。

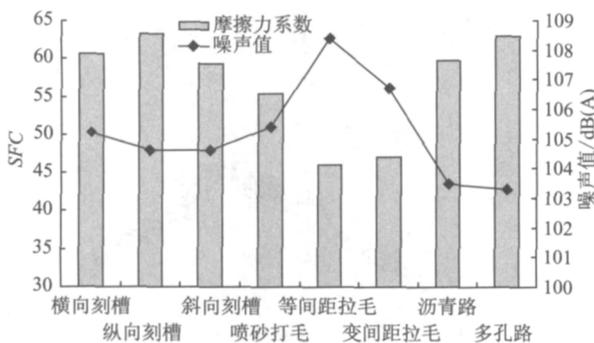


图 11 不同路表纹理路面横向力摩擦系数和噪声测试结果

Fig. 11 Test result of lateral friction coefficients and noise data of different surface texture

根据试验结果, 横向摩擦力由大到小排序为: 多孔路、纵向刻槽 > 横向刻槽、斜向刻槽 > 沥青路 > 喷砂打毛 > 等间距拉毛、变间距拉毛。

目前, 国内最常用的是横向刻槽方式, 认为纵向刻槽容易侧滑打转, 这种观点其实是错误的。从机理上分析, 纵向刻槽在纵向 (行车方向) 是连续的, 而横向是间断的。轮胎上作用有纵向力时, 纵向刻槽路面受到方向相反的较小水平力, 轮胎胎面的切向变形很小, 轮胎上作用横向力时, 路面上的纵向刻槽相当于若干个小悬臂梁, 随之产生较大的横向反作用力, 阻止轮胎侧向滑移。因此, 当轮胎上同时作用纵向力和横向力时, 轮胎与纵向刻槽路面间的摩擦将主要偏向于横向, 即纵向刻槽有较好的横向防滑能力。并且, 连续的路面纵向刻槽可形

成微型纵向排水系统, 可起到辅助路面排水系统迅速排干路面积水的作用, 在长陡坡路段效果尤其显著^[1]。

在某些情况下 (紧急刹车制动), 纵向刻槽路面还存在犁沟效应, 由此产生的摩擦力, 能够缩短制动距离, 保障行车安全。犁沟效应是金属摩擦学中的一种现象, 是指硬金属的粗糙峰嵌入软金属后, 在滑动中推挤软金属, 使之塑性流动并犁出一条沟槽, 该过程中产生一定的阻力。

与纵向刻槽相反, 横向刻槽在横向上是连续的, 纵向上是按一定距离 (槽间距) 间断分布的。轮胎在横向刻槽路面上滚动时, 出现轮胎与横向刻槽的周期性重复碰撞, 由此产生的轮胎橡胶变形能量损失转化为摩擦力的一部分。同时, 当轮胎上同时作用有纵向力和横向力时, 轮胎和路面间的摩擦力方向将主要偏向于纵向, 即横向刻槽有较好的纵向防滑能力。同时, 由于路拱横坡度的存在, 横向刻槽可很好的辅助路面排水。

对于斜向刻槽而言, 轮胎在横向力和纵向力共同作用下, 其路表面的横向和纵向反作用力都会产生, 在弯道路段上应用效果较好, 一般路段应用时容易出现车辆侧滑现象。

4 结论

(1) 通过对噪声测试设备的改进, 可以有效的排除外界噪声的干扰, 保证试验数据的准确性。

(2) 通过对水泥混凝土路面表面纹理的改善, 可以有效的降低路面噪声, 特别是多孔路段、露石路段、纵向刻槽路段和喷砂打毛路段, 效果显著, 噪声值基本与沥青路面相当。

(3) 纵向刻槽有很好的抗滑性能, 能够有效的防止雨天车辆侧滑, 还能起到辅助路面排水的作用。

(4) 综合考虑降噪和抗滑性能, 多孔水泥混凝土路面、露石水泥混凝土路和纵向刻槽路面优于其他纹理路面。

参考文献:

References:

- [1] 牛开民, 田波, 刘英, 等. 低噪音水泥混凝土路面研究 [R]. 北京: 交通运输部公路科学研究院, 2007.
NIU Kaimin, TIAN Bo, LIU Ying, et al. Research on Quiet Portland Cement Concrete Pavement [R]. Beijing: Research Institute of Highway, Ministry of Transport, 2007.

- [2] 郭知涛,赵江涛,李扬. 水泥砼路面表面纹理技术 [J]. 公路与汽运, 2008 (5): 102-104.
GUO Zhitao, ZHAO Jiangtao, LI Yang. Surface Texture Technology of Cement Concrete Pavement [J]. Highways and Automotive Applications, 2008 (5): 102-104.
- [3] SANDBERG U, EJSMONT J. Texturing of Cement Concrete Pavements to Reduce Traffic Noise Emission [C] // 77th Annual Meeting. Washington, D. C.: Transportation Research Board, 1998.
- [4] KARAMIHAS S M, CABLE J K. Developing Smooth, Quiet, Safe Portland Cement Concrete Pavements [R]. Washington, D. C.: Federal Highway Administration, 2004: 12-16.
- [5] Parsons Brinckerhoff Quade & Douglas, Inc. Roadway Pavement Grinding Noise Study [R]. [S. l.]: Utah Department of Transportation, 2000: 21-26.
- [6] Belgian Road Research Center. Traffic noises and road surfaces: State of the art [R]. Brussels: Belgian Road Research Center, 2000: 30-37.
- [7] 刘益辉,孙保奎. 减噪路面的降噪机理及其结构 [J]. 交通环保, 2005, 26 (3): 53-55.
LIU Yihui, SUN Baokui. Theory of Reducing Noise Pavement and Its Structure [J]. Environmental Protection In Transportation, 2005, 26 (3): 53-55.
- [8] JTG D40—2002, 公路水泥混凝土路面设计规范 [S]. JTG D40—2002, Specifications of Cement Concrete Pavement Design for Highway [S].
- [9] 冯立南,刘靖. 水泥混凝土路面的刻槽防滑技术 [J]. 中国市政工程, 1999 (2): 16-19.
FENG Linan, LIU Jing. Anti-skid Grooving on Cement Concrete Pavements [J]. China Municipal Engineering, 1999 (2): 16-19.
- [10] 郭知涛,韩森. 水泥混凝土路面纵向纹理技术 [J]. 华东公路, 2009 (1): 3-6.
GUO Zhitao, HAN Seng. Longitudinal Texture Technology of Cement Concrete Pavement [J]. East China Highway, 2009 (1): 3-6.
- [11] KUEMMEL, D A. Impacts Related to Pavement Texture Selection, WisDOT Report WI/SPR-06-96 [R]. Madison, WI: Wisconsin DOT, 1997: 34-39.

(上接第27页)

- [9] 张云国,吴智敏,张小云,等. 自密实轻骨料混凝土抗离析性控制与试验方法 [J]. 大连理工大学学报, 2010, 50 (2): 234-238.
ZHANG Yunguo, WU Zhimin, ZHANG Xiaoyun, et al. Segregation Resistance Control and Test Methods for Self-compacting Lightweight Concrete [J]. Journal of Dalian University of Technology, 2010, 50 (2): 234-238.
- [10] 余海浪. 路面材料离析标准研究 [D]. 西安: 长安大学, 2007.
YU Hailang. Research on Pavement Material's Segregation Standard [D]. Xi'an: Chang'an University, 2007.
- [11] 包秀宁,张肖宁. 颗粒材料离析性的评价方法 [J]. 华南理工大学学报: 自然科学版, 2010, 38 (3): 31-36.
BAO Xiuning, ZHANG Xiaoning. Segregability Evaluation of Granular Pavement Materials [J]. Journal of South China University of Technology: Natural Science Edition, 2010, 38 (3): 31-36.
- [12] 冯乃谦. 高性能混凝土 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1996.
FENG Naiqian. High Performance Concrete [M]. Beijing: China Building Industry Press, 1996.
- [13] 丛卓红,郑南翔. 沥青混合料级配优化设计 [J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2007, 27 (3): 15-19.
CONG Zhuohong, ZHENG Nanxiang. Optimization of HMA's Gradation Design [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2007, 27 (3): 15-19.
- [14] 朱梦良,张起森,陈强. 沥青玛蹄脂碎石混合料的集料级配优化 [J]. 中国公路学报, 2001, 14 (2): 1-5.
ZHU Mengliang, ZHANG Qisen, CHEN Qiang. Optimizations of Aggregate Gradation for Stone Mastic Asphalt Mixture [J]. China Journal of Highway and Transport, 2001, 14 (2): 1-5.
- [15] 傅智. 新拌混凝土振动结构粘度研究 [J]. 公路交通科技, 1996, 13 (3): 1-9.
FU Zhi. Research on the Vibrated Structure Viscosity of Freshly Mixed Concrete [J]. Journal of Highway and Transportation Research Development, 1996, 13 (3): 1-9.