

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2014.08.000

沥青混合料中矿粉用量、细度和密度指标的控制

纪伦¹, 李云良¹, 孙维刚², 郭猛¹, 袁鹏宇³

(1. 哈尔滨工业大学 交通科学与工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090; 2. 龙建路桥股份有限公司, 黑龙江 哈尔滨 150009; 3. 中建中东有限公司, 阿联酋 迪拜 63932)

摘要: 在沥青混合料的组成材料中, 矿粉的品质及其变异性的研究对于分析混合材料性能和组成材料的交互作用能力是极其重要。通过试验研究分析和说明了矿粉对混合料性能的影响。分析粉胶比、细度、用量及密度对混合料性能和组成的影响, 提出了基于沥青混合料性能保证的矿粉品质参数的控制标准; 提出粉胶比的控制范围, 以及矿粉用量的容许控制范围; 明确了矿粉0.075 mm通过率需要设立控制上限和下限, 以往的单边控制存在一定的缺陷; 提出了矿粉密度的容许变化范围。

关键词: 道路工程; 沥青混合料; 试验研究; 矿粉; 矿粉指标; 控制范围

中图分类号: U414

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268(2014)08-0025-05

Controlling Dosage, Fineness and Density Index of Mineral Filler in Asphalt Mixture

Ji Lun¹, Li Yun-liang¹, Sun Wei-gang², Guo Meng¹, Yuan Peng-yu³

(1. School of Transportation Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin Heilongjiang 150090, China;
2. Longjian Road & Bridge Co., Ltd., Harbin Heilongjiang 150009, China;
3. Zhongjian Middle East Co., Ltd., Dubai 63932, United Arab Emirates)

Abstract: Study on the quality of mineral filler and its variability is very important for analyzing the performance of asphalt mixture and the interaction ability among different compositions. The effect of mineral filler on performance of asphalt mixture is studied and explained, the effects of filler-asphalt ratio, fineness, content and filler on performance and composition of asphalt mixture are analysed, and the control criteria of filler quality parameters based on performance guarantee of asphalt mixture is proposed. The control range of filler-asphalt ratio and the admissible control range of fillers are proposed. It is determined that the passing rate of 0.075 mm size should be controlled with both maximum limit and minimum limit due to previous unilateral control has certain defects. The admissible changing range of density of filler is recommended.

Key words: road engineering; asphalt mixture; experimental research; mineral filler; index of mineral filler; controlling range

0 引言

矿粉在沥青混合料中扮演着重要的角色^[1-6]。矿粉细度对于质量来说, 是一项重要的指标。现行沥青路面施工技术规范对矿粉细度的要求是比较宽的, 矿粉的0.075 mm颗粒通过率一般在75%~95%

之间。监测发现, 施工中矿粉0.075 mm通过率的极差超过20%, 变异性系数可达近10%, 以设计用量6%为例, 拌和站计量影响的矿粉用量极差近1.4%。此外, 虽然经过了拌和站的除尘, 但细集料中仍有相当数量的小于0.075 mm颗粒进入到沥青混合料中, 数量可达到2.0%。矿粉细度和用量的变化大,

收稿日期: 2013-11-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(51078114); 高等学校博士学科点专项科研项目(20102302120058)

作者简介: 纪伦(1973-), 男, 黑龙江召东人, 副教授. (jilun@hit.edu.cn)

对混合料性能有着明显的影响^[7-10]。

在施工过程中,矿粉的数量是以质量为单位计量的,矿粉的密度变化会影响矿粉在混合料中的相对数量,矿粉在矿料比表面积组成中占有极大比例,矿粉数量和细度直接影响矿粉的比表面积,因而矿粉的密度变化必然对混合料的性能产生影响。

可见,分析矿粉指标变异对沥青混合料性能的影响,对于完善矿粉质量指标控制体系,提高沥青混合料现场质量控制技术水平具有积极意义。

表 1 不同粉胶比的混合料试验结果

Tab.1 Test result of asphalt mixture with different filler-asphalt ratios

编号	C3-1	C3-2	C3-3	C3-4	C3-5	C3-6	C3-7	C3-8
沥青用量/%	5.6	5.3	5.1	4.9	4.7	4.5	4.0	3.0
粉胶比/%	0.87	0.92	0.96	1.00	1.04	1.09	1.23	1.66
马歇尔稳定度/kN	7.6	8.7	9.4	9.1	8.5	7.6	7.2	5.6
动稳定度/(次·mm ⁻¹)	2 471	2 451	2 824	3 247	3 333	3 424	3 088	2 172
60 min 车辙深度/mm	12.792	10.031	7.577	6.539	4.422	4.526	4.103	3.652
冻融劈裂强度/MPa	1.201	1.073	0.987	0.923	0.873	0.802	0.619	0.417
冻融劈裂强度比/%	98.1	94.5	88.7	90.2	88.7	91.2	74.4	59.8

1.2 粉胶比对沥青混合料抗车辙性能的影响

图 1 和图 2 分析了粉胶比与动稳定度、车辙深度的关系。

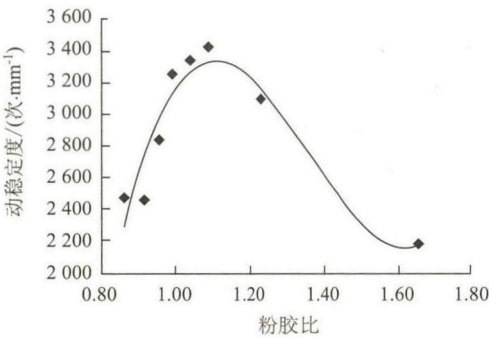


图 1 粉胶比与动稳定度关系

Fig.1 Relationship between filler-asphalt ratio and dynamic stability

可见,动稳定度随着粉胶比的增大先增加后减小,在粉胶比 1.1 时,达到极大值;若取动稳定度大于 2 600 次/mm 作为控制标准,则粉胶比要求在 0.89~1.40 之间。

60 min (作用 2 520 次) 的车辙深度与粉胶比关系分析结果如图 2 所示。从分析可见,粉胶比较小时,随着粉胶比的增大,车辙深度减小,二者基本呈现线性变化关系;当粉胶比达到 1.05 时,曲线出现拐点,车辙深度不再随着粉胶比的增加而变化,

1 矿粉相对用量的变化对混合料性能的影响规律

1.1 试验和试验结果

本研究试验采用高温稳定性车辙试验和冻融劈裂试验,项目配合比设计的最佳沥青用量为 4.9%。试验是在保证混合料矿料级配一定的条件下,通过改变沥青用量的方式,调整粉胶比。试验采用的矿粉 0.3 mm、0.15 mm 的通过率为 100% 和 93.5%,0.075 mm 通过率为 80.2%。表 1 列出不同粉胶比的 AC-16 混合料性能试验结果。

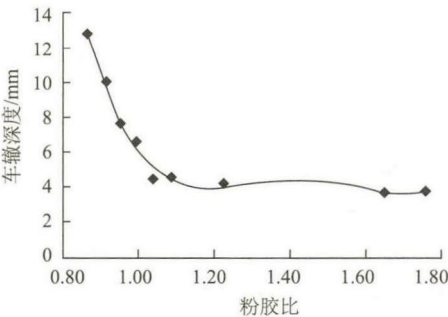


图 2 粉胶比与车辙深度关系

Fig.2 Relationship between filler-asphalt ratio and rutting depth

趋于稳定。取 60 min (作用 2 520 次) 车辙深度不大于 7 mm 为控制指标,粉胶比要求大于 0.98。

可见考虑高温稳定性,粉胶比控制范围宜为 1.00~1.40 之间。

可知,粉胶比较小时,自由沥青相对丰富,沥青填充矿料间隙,润滑作用显著,车辙变形大,抗车辙能力弱;而当粉胶比达到一定程度时,沥青数量相对不足,不足以提供形成结构沥青的需要,沥青不足以填充矿料间隙,矿料间的黏结作用减小,抗车辙能力弱。

1.3 粉胶比对混合料冻融劈裂性能的影响

采用冻融劈裂试验分析粉胶比变化与材料抗水损害的关系。粉胶比与冻融劈裂试验指标关系分析

如图 3、图 4 所示。

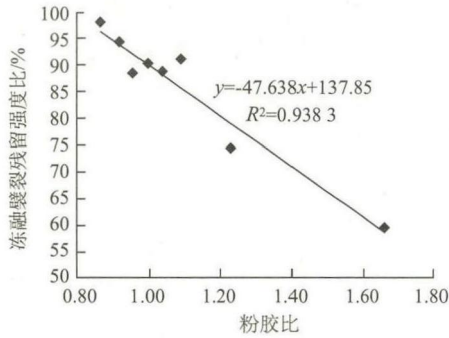


图 3 粉胶比与冻融劈裂强度比关系

Fig. 3 Relationship between filler-asphalt ratio and freeze-thaw splitting strength ratio

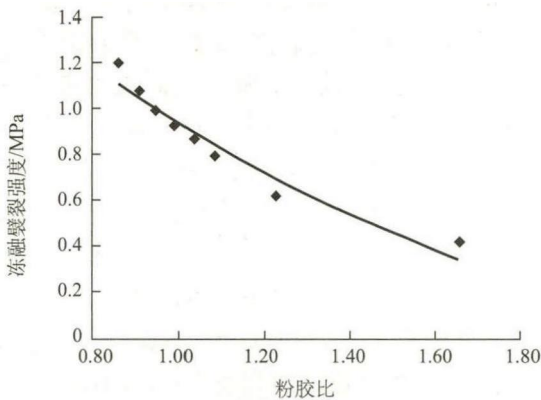


图 4 粉胶比与冻融劈裂强度关系

Fig. 4 Relationship between filler-asphalt ratio and freeze \ thaw splitting strength

可见, 粉胶比与冻融劈裂残留强度比接近线性关系, 随着粉胶比的增大, 材料的抗冻性降低。若冻融劈裂残留强度比控制标准取不小于 85%, 可见, 粉胶比要求不得大于 1.12。

此外, 材料强度的绝对数值是表征材料抗冻能力抵抗内部冻胀作用的根本, 考虑冻融劈裂强度的绝对值, 取其标准为不小于 0.8 MPa, 可知, 粉胶比不得大于 1.12, 即, 综合分析抗水损害要求的粉胶比不宜大于 1.12。

可知, 随着粉胶比的增大, 沥青胶浆的延性降低, 沥青的润滑作用减小, 矿料之间的黏结作用减弱, 冻融作用下混合料材料的内部结构损伤增大, 冻融劈裂强度比降低。

1.4 粉胶比对沥青混合料马歇尔指标的影响

图 5、图 6 列出了粉胶比与马歇尔稳定度指标的关系。

可知, 马歇尔稳定度随着粉胶比的增大, 先增加, 后减小, 其变化趋势规律与车辙动稳定度类似。

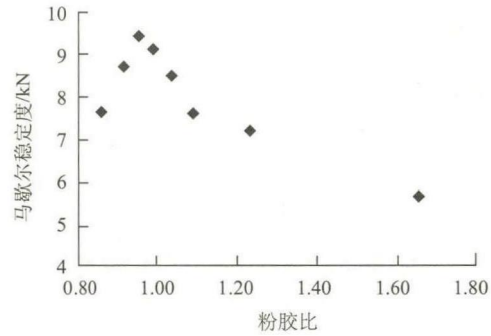


图 5 粉胶比与马歇尔稳定度关系

Fig. 5 Relationship between filler-asphalt ratio and Marshall stability

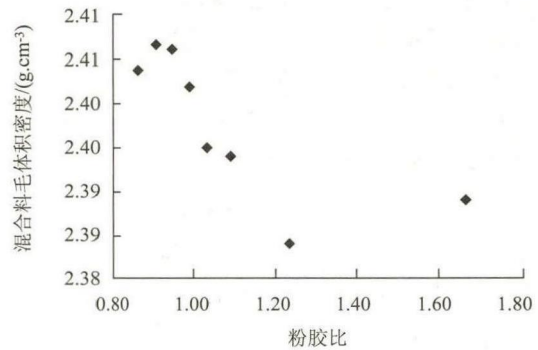


图 6 粉胶比与沥青混合料毛体积密度关系

Fig. 6 Relationship between filler-asphalt ratio and bulk volume density of asphalt mixture

但, 分析可见, 在该试验条件下, 动稳定度和马歇尔稳定度不是完全一致的。例如, 最大值存在差别, 动稳定度的最大值出现在粉胶比为 1.1 时, 而马歇尔稳定度最大值出现在粉胶比为 0.96 时。如取满足马歇尔稳定度指标要求为大于 8.0 kN, 则粉胶比的适宜范围可由图 5 分析得出, 满足要求的粉胶比为 0.88 ~ 1.07。

而粉胶比对于施工压实特性的影响体现在混合料试件的毛体积密度变化上。图 6 分析了二者关系。

可见, 沥青的润滑作用在最初的阶段 (粉胶比 < 1.0 时) 表现显著; 之后, 随着粉胶比的增大, 润滑作用降低, 压实变得困难。而压实困难的拐点大致在粉胶比为 1.2 时。

1.5 小结

综上分析可知, 基于沥青混合料性能要求的粉胶比范围为 0.91 ~ 1.06; 在小于 0.075 mm 颗粒含量相对稳定时, 此时对应的沥青用量控制范围宜为 4.7% ~ 5.2%; 而类似的条件下, 矿粉细度的变化造成粉胶比的改变, 亦可参照此结果进行调整和优化, 以保证混合料的性能。

2 矿粉细度对沥青混合料性能的影响

2.1 试验和试验结果

试验中, 选用上述级配, 配制同一料源不同细

度的矿粉 (矿粉中 0.075 mm 颗粒通过率分别为 75%, 85%, 95%), 添加正常的矿粉计量 7%, 制作沥青混合料马歇尔试件, 测定其稳定度、流值等技术指标, 试验结果见表 2。

表 2 矿粉细度影响的混合料性能试验结果

Tab. 2 Test result of mixture performance affected by mineral powder fineness

编号	试件室内 孔隙率 V_v /%	矿料间隙率 VMA /%	饱和度 VFA /%	稳定度 MS/kN	流值 FL / (0.01 mm)	动稳定度 D_s / (次·mm ⁻¹)	总变形量 (60 min)/mm	备注
1	3.3	15.4	78.6	15.58	31.9	2 620	4.71	$P_{0.075} = 75\%$
2	3.2	15.3	79.1	16.27	33.8	3 150	4.58	$P_{0.075} = 85\%$
3	2.7	14.9	81.9	14.88	37.2	1 170	5.83	$P_{0.075} = 95\%$

2.2 矿粉细度对马歇尔试验结果的影响

从表 2 试验数据可得出如下规律: 随着矿粉细度的增大, 沥青混合料稳定度先增加, 后减小; 随着矿粉细度的增大, 沥青混合料马歇尔试件流值增大, 沥青混合料试件孔隙率减小。

2.3 矿粉细度对高温稳定性的影响

从表 2 试验数据可得出如下规律: 随着矿粉细度的增大, 沥青混合料动稳定度先增加, 后减小; 极差高达 1 980 次/mm, 动稳定度降低高达 63%; 随着矿粉细度的增大, 沥青混合料马歇尔试件流值增大, 沥青混合料试件孔隙率减小。

对比文献 [1] 的试验结果, 该研究中采用不同细度矿粉进行车辙试验结果, 试验采用矿粉 0.075 mm 通过率分别为 75%, 80%, 90%, 对比分析如图 7 所示。对比研究发现, 矿粉细度增加时, 在一定范围内有助于提高沥青混合料的高温稳定性; 但当增加到一定程度, 随着细度的增加高温稳定性可能会降低, 这与矿粉比表面积增大, 造成结构沥青不足, 界面交互作用能力降低有关。

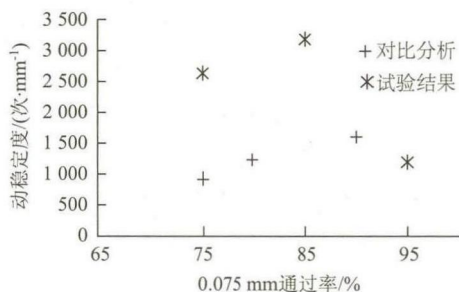


图 7 矿粉通过率与动稳定度关系

Fig. 7 Relationship between passing rate of 0.075 mm mineral powder and dynamic stability

二者的结论均表明矿粉 0.075 mm 通过率对动稳定度有显著影响。在掺配剂量不同时, 矿粉细度及组成成分所决定的界面交互作用, 在高温条件下表

现出来的特性决定了混合料的高温稳定性。

因此, 对于高温稳定性的保证, 特别是高温地区, 以车辙为主要病害的区域, 严格控制矿粉 0.075 mm 的通过率是很必要的。而更为重要的是, 0.075 mm 通过率并不是一定是越大越好, 这一点与以往的经验存在差异, 而具体的项目需要进行试验验证和分析, 提出对应的控制标准, 这一点是我们在施工中必须重视的。

2.4 矿粉的 0.075 mm 的通过率控制

从上述分析可知, 当混合料级配组成中矿粉的含量达到 7% 时, 沥青用量分别为 4.0%, 4.5%, 5.0% 时, 分析矿粉 0.075 mm 通过率与粉胶比关系结果见表 3 和图 7, 比较分析如图 8 所示。

表 3 矿粉 0.075 mm 通过率与粉胶比关系

Tab. 3 Relationship between passing rate of 0.075 mm mineral powder and filler-asphalt ratio

矿粉 0.075 mm 筛 的通过率/%	合成级配 0.075 mm 通过率/%	不同沥青用量 (%) 粉胶比		
		4.0	4.5	5.0
75	5.25	1.26	1.11	1.00
80	5.6	1.34	1.19	1.06
85	5.95	1.43	1.26	1.13
90	6.3	1.51	1.34	1.20

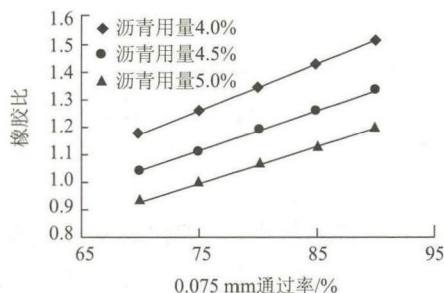


图 8 矿粉 0.075 mm 通过率与粉胶比关系

Fig. 8 Relationship between passing rate of 0.075 mm mineral powder and filler-asphalt ratio

可见,在沥青用量在 4.0% ~ 5.0% 时,矿粉 0.075 mm 通过率与粉胶比表现为线性关系,平均斜率为 0.015。依据混合料性能(图 7)可见,当粉胶比由 1.30 变化到 1.20(实际上为 1.19)时,即变化 0.1,试验的动稳定度变化约 50%,对比分析的动稳定度变化了 15%,若以对动稳定度产生的影响程度为控制指标,可见,施工中需要控制矿粉 0.075 mm 通过率,根据研究分析结果认为矿粉 0.075 mm 通过率宜控制不得小于或大于目标配合比设计时的 5%。

综合上述分析可见,矿粉的 0.075 mm 通过率大时,比表面积大,与沥青混和后形成自由沥青的能力强,与沥青的交互作用强,但是当其作为混合料的组成成分,大的变异,作为不稳定因素,势必影响混合料的性能。

3 矿粉密度变化对混合料的影响分析

密度变化一直是被忽视的变异因素,密度变化造成混合料中矿粉相对数量变化。由于同为以质量为基础的分析,所以该变化体现在级配组成中,尚不显著;但对于混合料的结构,或胶浆的组成、沥青膜的厚度来说,会产生相当的影响。

采用同一级配和粗、细集料不变,假设矿粉的密度变化,进行比表面积和沥青膜厚度分析。表 4 列出了矿粉密度变化从 2.50 ~ 2.75 g/cm³ 对计算比表面积系数、沥青膜厚度的影响情况。

表 4 矿粉密度变化对计算结果的影响

Tab. 4 Effect of mineral powder density variation on computation

项目	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]	5 [#]
矿粉密度/(g·cm ⁻³)	2.50	2.60	2.65	2.70	2.75
集料比表面总和 SA/(m ² ·kg ⁻¹)	6.92	6.83	6.79	6.75	6.71
沥青膜厚度/μm	7.77	7.87	7.91	7.96	8.01

矿粉密度变化对沥青膜厚度的影响如下图 9 所示。

可见,矿粉的比表面积占总比表面积的 30% 左右。矿粉密度变化 0.1 g/cm³, 沥青膜厚度变化近 0.1 μm。相关文献中提出容许的膜厚度控制范围不超过 0.5 μm, 可见,密度的 0.1 g/cm³ 变化,其影响较大,达到控制范围的 20%。

4 结论

矿粉是沥青混合料的重要组成部分,其细度、用量和密度对沥青混合料性能有较大影响,施工中

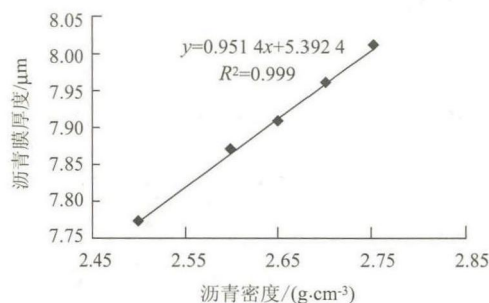


图 9 矿粉密度变化对沥青膜厚度的影响

Fig. 9 Effect of mineral powder density variation on asphalt membrane thickness

应加以控制。

矿粉的 0.075 mm 通过率和粉胶比与混合料性能关系显著,在具体工程,运用对比分析的方法可确定不同的通过率、粉胶比与性能的关系,确定矿粉的允许波动范围及粉胶比范围。

细集料中小于 0.075 mm 颗粒含量及矿粉细度的变化造成矿粉用量的波动,应该在施工中予以掌握和控制。

矿粉细度对沥青混合料的高温稳定性影响非常大。对于高温炎热地区,控制矿粉 0.075 mm 通过率对于保证沥青路面的抗车辙性能是很必要的。

建议矿粉的 0.075 mm 通过率应该控制在目标配合比设计时测定值(+5%)的范围内;建议矿粉的密度容许波动范围为(+0.1) g/cm³,而对于超过该范围的矿粉应分别存放和使用。

参考文献:

References:

- [1] 王民,朱梦良,王英俊,等. 水泥代替矿粉对沥青混合料性能的影响分析[J]. 重庆建筑大学学报, 2008, 29(6): 121-125.
WANG Min, ZHU Meng-liang, WANG Ying-jun, et al. Effect of Substitution of Mineral Powder by Cement on Asphalt Mixture Performance [J]. Journal of Chongqing Jianzhu University, 2008, 29(6): 121-125.
- [2] 王毅,沈强南,董汉方,等. 矿粉和回收粉对沥青混合料性能的影响研究[J]. 浙江交通职业技术学院学报, 2008, 8(4): 15-17.
WANG Yi, SHEN Qiang-nan, DONG Han-fang, et al. Influence Study of Mineral Power and Recovery Powder on the Performance of Asphalt Mixture [J]. Journal of Zhejiang Institute of Communications, 2008, 8(4): 15-17.

(下转第 52 页)

- [6] 刘黎萍, 孙立军. 沥青路面全寿命结构设计方法概述 [J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2003, 31 (9): 1044 - 1048.
LIU Li-ping, SUN Li-jun. Performance-based Structural Design Method on Whole Life Asphalt Pavement [J]. Journal of Tongji University: Natural Science Edition, 2003, 31 (9): 1044 - 1048.
- [7] 董建军, 陈光, 陆彦, 等. 工程项目全寿命周期费用结构体系研究 [J]. 土木工程学报, 2010, 43 (2): 139 - 142.
DONG Jian-jun, CHEN Guang, LU Yan, et al. A Study on Project Life-cycle Cost Structure System [J]. China Civil Engineering Journal, 2010, 43 (2): 139 - 142.
- [8] 桑辰, 仲艳, 许刚, 等. 多年冻土区沥青路面寿命周期费用分析 [J]. 南京工业大学学报, 2007, 29 (2): 91 - 94.
SANG Chen, ZHONG Yan, XU Gang, et al. Analysis of Life Cycle Cost for Asphalt Pavement in Permafrost Zone [J]. Journal of Nanjing University of Technology, 2007, 29 (2): 91 - 94.
- [9] 刘景艳. 节能型人居工程全寿命周期费用的研究 [D]. 济南: 山东建筑大学, 2008.
LIU Jing-yan. Research on Life-cycle Cost of Energy-saving Residential Buildings [D]. Jinan: Shandong Jianzhu University, 2008.
- [10] JTG D30—2004, 公路路基设计规范 [S].
JTG D30—2004, Specifications for Design of Highway Subgrades [S].
- [11] 聂鹏, 曲向进, 刘奉侨, 等. 沈大高速公路改扩建工程路基加宽容许工后不均匀沉降指标研究 [J]. 公路交通科技, 2005, 22 (11): 18 - 20, 53.
NIE Peng, QU Xiang-jin, LIU Feng-qiao, et al. Allowable Differential Settlement for Widened Roadbed in Shen-Da Expressway Reconstruction [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2005, 22 (11): 18 - 20, 53.

(上接第29页)

- [3] 樊向阳. 锰渣矿粉沥青混合料抗老化性能研究 [J]. 山西建筑, 2013, 39 (35): 138 - 139.
FAN Xiang-yang. Study on Anti-aging Performance of Manganese Ore Slag Asphalt Mixture [J]. Shanxi Architecture, 2013, 39 (35): 138 - 139.
- [4] 李平, 芦军, 张争奇, 等. 沥青混合料用矿粉性能指标研究 [J]. 中国公路学报, 2008, 21 (4): 6 - 11.
LI Ping, LU Jun, ZHANG Zheng-qi, et al. Research on Performance Index of Mineral Filler Used in Asphalt Mixture [J]. China Journal of Highway and Transport, 2008, 21 (4): 6 - 11.
- [5] 李平, 张争奇, 王秉纲. 路用沥青混合料中矿粉亚甲蓝试验 [J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2007, 27 (3): 5 - 8.
LI Ping, ZHANG Zhen-qi, WANG Bing-gang. Methylene Blue Test of Mineral Power in Road Asphalt Mixture [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2007, 27 (3): 5 - 8.
- [6] 刘伟. 粉煤灰替代矿粉作填料的沥青混合料水稳性研究 [J]. 交通标准化, 2012 (4): 82 - 84.
LIU Wei. Research on Water Stability of Asphalt Mixture with Powder Replaced by Fly Ash [J]. Transportation Standardization, 2012 (4): 82 - 84.
- [7] 邵显智, 谭忆秋, 孙立军. 几种矿粉指标与沥青胶浆的关联分析 [J]. 公路交通科技, 2005, 22 (2): 10 - 13.
SHAO Xian-zhi, TAN Yi-qiu, SUN Li-jun. Analysis on the Relationship between Several Indexes of Mineral Filler and Asphalt Mortar [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2005, 22 (2): 10 - 13.
- [8] TAN Yi-qiu, GUO Meng. Using Surface Free Energy Method to Study the Cohesion and Adhesion of Asphalt Mastic [J]. Construction and Building Materials, 2013, 47: 254 - 260.
- [9] TAN Yi-qiu, GUO Meng. Study on the Phase Behavior of Asphalt Mastic [J]. Construction and Building Materials, 2013, 47: 311 - 317.
- [10] CHEN X L, SUN Y S, HAN Y X, et al. The Research on the Performance of Asphalt Mastics Modified by Mineral Fillers [J]. Advanced Materials Research, 2011, 158: 287 - 297.