

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2013.08.002

改性沥青混合料拌和及压实温度的确定方法

张争奇¹, 吴瑞环¹, 季社鹏²

(1. 长安大学 教育部特殊地区公路工程重点实验室, 陕西 西安 710064;

2. 西安同舟公路工程咨询有限公司, 陕西 西安 710064)

摘要:为研究改性沥青混合料最佳拌和及压实温度的确定方法, 根据工作性对沥青混合料压实效果的影响, 提出一种确定改性沥青混合料拌和及压实温度的新方法: 和易性试验法。通过改性沥青混合料和易性试验, 测定不同温度下沥青混合料的工作性(扭矩), 绘制沥青混合料工作性和温度的关系曲线。根据基质沥青混合料最优工作性时的扭矩值, 在改性沥青混合料的扭矩—温度曲线上, 确定改性沥青混合料的最佳拌和与压实温度。最后采用SGC成型试件方法验证压实温度的合理性。结果表明, 该法不仅考虑了沥青对压实效果的影响, 同时也考虑了矿料及其级配的影响, 采用和易性试验法确定的拌和及压实温度更为合理。

关键词: 道路工程, 最佳压实温度, 和易性试验法, 改性沥青混合料, 工作性

中图分类号: U416.217

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268(2013)08-0006-06

An Approach to Determine Mixing and Compaction Temperatures for Modified Asphalt Mixture

ZHANG Zheng-qi¹, WU Rui-huan¹, JI She-peng²

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

2. Xi'an Tongzhou Highway Engineering Consult Co., Ltd., Xi'an Shaanxi 710064, China)

Abstract: In order to determine the optimum mixing and compaction temperatures for modified asphalt mixture, considering the influence of workability on the compaction effect of asphalt mixture, a new method (workability test method) for determining the optimum mixing and compaction temperatures for modified asphalt mixture is proposed. Workability test is conducted on several modified asphalt mixtures to measure the workability (torque) of asphalt mixture at different temperatures, and workability-temperature curves of asphalt mixture are drawn. According to the torque at optimum workability of normal asphalt mixture, the optimum mixing and compaction temperatures of asphalt mixture are obtained on the torque-temperature curve of modified asphalt. Finally, the rationality of this method is verified by SGC molding test. The results show that this method not only considered the effect of asphalt on compaction, but also taken the influence of asphalt binder and aggregate gradation into account. The workability test method is more reasonable to determine the mixing and compaction temperatures of modified asphalt mixture.

Key words: road engineering; optimum compaction temperature; workability test method; modified asphalt mixture; workability

0 引言

改性沥青具有改善高、低温性能以及耐老化性

能等许多优点, 倍受广大公路工作者青睐, 并被大量使用。随着改性沥青应用规模的扩大, 如何合理地确定改性沥青混合料拌和与压实温度, 越来越受公

收稿日期: 2012-12-03

作者简介: 张争奇(1967-), 男, 陕西扶风人, 教授, 博士。(z_zhengqi@126.com)

路研究人员的关注^[1-3]。《公路沥青路面施工技术规范》规定:普通沥青混合料拌和与压实温度宜采用粘温曲线的等粘温度来确定,在粘温曲线上对应于粘度 $(0.17 \pm 0.02) \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 和 $(0.28 \pm 0.03) \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 时的温度作为沥青混合料的拌和与压实温度^[4]。但对于改性沥青,由于缺乏相关方面的研究,很多工程在改性沥青施工时,总是根据经验在普通沥青混合料施工温度的基础上提高 $10 \sim 20 \text{ }^\circ\text{C}$,没有根据改性沥青流变特性选择合适的温度^[5],不同改性沥青性质差异较大,采用相同的温度并不合理。此外,也有对改性沥青混合料拌和与压实温度的确定方法研究,但大多都是以改性沥青结合料的粘度为基础,并根据沥青剪切速率与粘度的变化来确定^[6],这些方法的合理性还有待验证,而最重要的是,仅以沥青结合料的粘度确定混合料的最佳拌和与压实温度,忽略矿料级配对混合料压实效果的影响,缺乏科学性。

工作性概念可用于反映沥青混合料在拌和、压实过程中的难易程度,工作性好的沥青混合料好拌和、易压实。混合料工作性与混合料的材料构成(沥青性质、矿料及其级配、沥青与矿料的相对比例)和温度有关^[7-8]。本文采用沥青混合料和易性实验仪,对混合料进行工作性试验,确定在各种温度、沥青种类、级配条件下沥青混合料的和易性程度,并以此表征沥青混合料的工作性。在沥青混合料拌和过程中,不同级配的混合料表现出不同的工作性^[9]。通过研究沥青混合料工作性与温度的关系曲线^[10],以同级配下基质沥青混合料的工作性为基础,确定改性沥青在某种温度下达到与基质沥青混合料相同的工作性,以此温度作为改性沥青混合料的拌和与压实温度。

1 沥青混合料和易性试验法

1.1 试验方法

工作性反映了沥青混合料施工压实阶段混合料摊铺、人工操作和压实时的难易程度,体现了沥青混合料可施工能力^[11]。沥青混合料的工作性取决于沥青粘度、矿料级配和温度,不同级配的混合料表现出不同的工作性。一般认为,沥青混合料在理想粘度(拌合时粘度 $(0.17 \pm 0.02) \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 和碾压时粘度 $(0.28 \pm 0.03) \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 下具有合适的工作性,可取得良好的拌和与压实效果。对于基质沥青,可采用粘温曲线的方法确定拌和与压实温度。但与基质沥青的牛顿特性不同,改性沥青具有明显的非牛顿

特性,改性沥青的粘度随剪变率变化而变化^[12],不能用粘温曲线的方法确定改性沥青的拌和与压实温度。针对这一问题,本文通过测试不同级配基质沥青混合料在最佳拌和压实温度下的工作性,并以此工作性作为该级配沥青混合料的最优工作性。在最优工作性条件下,沥青混合料具有最好的和易性,沥青结合料的润滑作用和与矿料的粘结作用达到合理匹配,最适合压实,并能取得良好的压实效果。因此,本文以不同级配下沥青混合料的最优工作性作为确定其最佳拌和与压实温度的指标。通过绘制改性沥青混合料的工作性-温度曲线,根据改性沥青混合料达到与同级配基质沥青混合料相同的工作性(即最优工作性)所对应的温度,确定出此级配下改性沥青混合料的最佳拌和与压实温度。

本研究采用和易性实验仪对沥青混合料的工作性进行试验,沥青混合料和易性实验仪是由美国沥青混合料工作性实验仪的基础上开发而来,如图1所示。本试验中,混合料的工作性通过试验测得的扭矩值来表征。为了减小搅拌速率对和易性试验结果的影响,本文在和易性试验中搅拌速率均采用 30 Hz 。



图1 沥青混合料和易性实验仪

Fig.1 Workability test instrument of asphalt mixture

1.2 试验步骤

采用和易性实验仪法确定改性沥青混合料的拌和与压实温度,试验步骤如下:

(1) 测量不同级配基质沥青在不同温度下的粘度。绘出粘温曲线,按照规范方法,根据粘温曲线确定基质沥青拌和与压实温度。其中,拌和温度 $T_{\text{拌和}}$ 对应的粘度为 $(0.17 \pm 0.02) \text{ Pa} \cdot \text{s}$,压实温度 $T_{\text{压实}}$ 对应的粘度为 $(0.28 \pm 0.03) \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 。

(2) 对于给定的混合料级配和基质沥青,采用混合料和易性实验仪,测定混合料在不同温度下的工作性(扭矩值),绘制混合料扭矩与温度的关系曲线,得出 $T_{\text{拌和}}$ 和 $T_{\text{压实}}$ 温度在工作性-温度曲线上所对应的工作性(扭矩值) N_1 和 N_2 。 N_1 和 N_2 即为不同级配沥青混合料的最优工作性。

(3) 采用相同级配的混合料类型, 改用 SBS 改性沥青, 同样用和易性实验仪测定 SBS 改性沥青混合料工作性与温度的关系, 绘制 SBS 改性沥青混合料扭矩与温度的关系曲线。

(4) 根据 SBS 改性沥青混合料的工作性与温度曲线, 找出对应于扭矩值 N_1 和 N_2 的温度 T_1 和 T_2 。那么, T_1 和 T_2 即为 SBS 改性沥青的拌和与压实温度。

2 试验安排

2.1 不同级配沥青混合料最优工作性的确定

按照以上步骤, 首先通过粘温曲线确定不同级配基质沥青的最佳拌和压实温度; 其次对基质沥青混合料进行和易性试验, 并绘制基质沥青混合料的工作性—温度曲线, 在该曲线上, 根据基质沥青最佳拌和压实温度查得该级配沥青混合料的最优工作性扭矩。

2.1.1 确定基质沥青的最佳拌和压实温度

采用壳牌 90# 基质沥青, 根据 Brookfield 粘度试验测定的基质沥青粘度, 绘制成粘温曲线如图 2 所示。

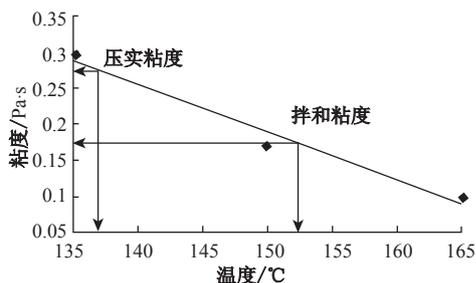


图 2 壳牌 90# 基质沥青粘温曲线

Fig. 2 Viscosity-temperature curve of Shell No. 90 matrix asphalt

根据 ASTM D2493 粘度与温度的关系曲线, 粘温曲线上沥青理想拌和与压实粘度所对应的温度作为沥青混合料的拌和与压实温度。按照规范, 对应于理想粘度 (拌和 (0.17 ± 0.02) Pa·s 和压实 (0.28 ± 0.03) Pa·s) 可以得出, 壳牌 90# 基质沥青的拌和温度为 153℃, 压实温度为 137℃。

2.1.2 基质沥青混合料和易性试验

沥青混合料和易性试验采用壳牌 90# 基质沥青。为避免较大粒径集料对试验扭矩值的影响, 混合料采用 AC13 和 SMA13 2 种级配。试验温度采用 5 个温度, 分别是 120、135、150、165、180℃。采用和易性实验仪, 测定混合料在不同温度下的工作性, 结果

见表 1。根据表 1 数据拟合曲线, 分别绘制 2 种级配混合料的扭矩—温度关系图, 如图 3、图 4 所示。

表 1 不同级配混合料扭矩值 (单位: N·m)

Tab. 1 Torque values of different graded bitumen mixtures (unit: N·m)

级配类型	不同温度下的扭矩值/(N·m)				
	120℃	135℃	150℃	165℃	180℃
AC-13	3.015	2.953	2.749	2.639	2.611
SMA-13	2.956	2.911	2.655	2.529	2.491

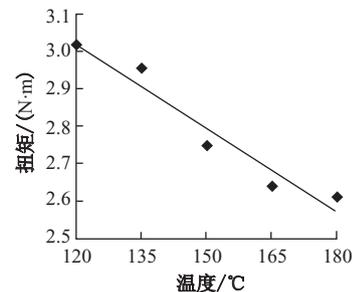


图 3 基质沥青 AC13 混合料的扭矩—温度关系图

Fig. 3 Torque-temperature curve of AC13 matrix asphalt mixture

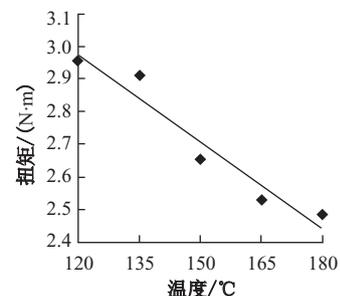


图 4 基质沥青 SMA13 混合料的扭矩—温度关系图

Fig. 4 Torque-temperature curve of SMA13 matrix asphalt mixture

通过对沥青混合料工作性数据和拟合曲线的对比, 150℃ 和 165℃ 的工作性数据偏离所拟合的曲线, 而基质沥青混合料的拌和温度为 153℃, 压实温度为 137℃。为了确定不同级配混合料的工作性, 减小拟合公式带来的误差, 153℃ 工作性的确定采用在 150~165℃ 范围内的插值法求得, 而 137℃ 工作性的确定采用在 120~135℃ 范围内的插值法求得。基质沥青的拌和温度为 153℃, 压实温度为 137℃, 对应图 3、图 4 中混合料扭矩—温度关系曲线上的扭矩值, 即 AC-13 和 SMA-13 2 种混合料的最优工作性, 结果如表 2 所示。

2.2 改性沥青混合料和易性试验

采用 SK90#SBS 改性沥青, 并采用与基质沥青同

表 2 不同级配混合料最优工作性

Tab. 2 Optimal workability of different graded bitumen mixtures

混合料类型	最优工作性/(N·m)	
	137 °C	153 °C
AC-13 级配混合料	2.926	2.727
SMA-13 级配混合料	2.877	2.630

样的级配 AC13 和 SMA13 2 种级配, 分别进行混合料和易性试验。经测试, 得到 SBS 改性沥青混合料在不同温度下工作性的测定结果, 如表 3 所示。以此绘制 2 种级配混合料的扭矩-温度关系图, 如图 5、图 6 所示。

表 3 不同温度下 SBS 改性沥青混合料的工作性

Tab. 3 Workability of SBS modified asphalt mixture at different temperatures

级配类型	不同温度下的工作性/(N·m)				
	120 °C	135 °C	150 °C	165 °C	180 °C
AC-13	3.205	3.015	2.918	2.685	2.602
SMA-13	3.112	2.956	2.886	2.676	2.501

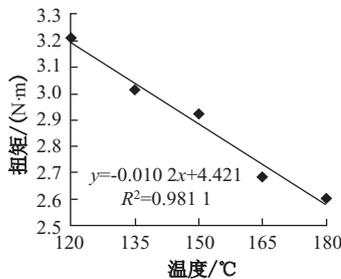


图 5 AC-13-SBS 混合料扭矩-温度关系图

Fig. 5 Torque-temperature curve of AC-13-SBS asphalt mixture

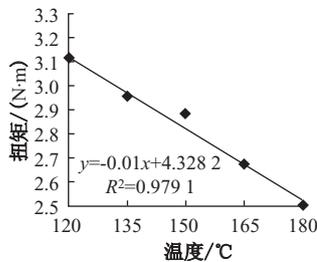


图 6 SMA-13-SBS 混合料扭矩-温度关系图

Fig. 6 Torque-temperature curve of SMA-13-SBS asphalt mixture

根据沥青混合料和易性实验仪, 测得 AC-13-SBS 混合料不同温度下的工作性 (见表 3), 拟合线性曲线见图 6, 得出工作性与温度之间的一元方程式为:

$$y = -0.01x + 4.421, \quad (1)$$

式中, y 为扭矩值; x 为温度。

根据表 2, 已知同级配的基质沥青混合料的最优工作性 (扭矩值), 利用式 (1) 可以计算出, SBS 改性沥青 AC-13 级配混合料的拌和温度为 169.4 °C, 压实温度为 149.5 °C。

根据沥青混合料和易性实验仪, 测得不同温度下 SMA-13-SBS 混合料的工作性 (见表 3), 拟合成线性曲线, 得出工作性与温度之间的一元方程式为:

$$y = -0.01x + 4.328, \quad (2)$$

式中, y 为扭矩值; x 为温度。

根据表 2, 已知 SMA 同级配混合料的最优工作性 (扭矩值), 利用式 (2) 可以计算出, SBS 改性沥青 AC-13 级配混合料的拌和温度为 169.8 °C, 压实温度为 145.1 °C。

综上分析, 根据混合料施工时达到最优工作性的要求, AC-13 混合料和 SMA-13 混合料的拌和温度均可采用 170 °C, 而压实温度 AC-13 混合料的可采用 150 °C, SMA-13 混合料为 145 °C。

3 验证压实温度

采用和易性试验法确定出 SBS 改性沥青的拌和压实温度是否合理还需验证, 本文采用 SGC 成型试件方法进行验证。旋转压实仪 (SGC) 如图 7 所示是由美国 SHRP 推出的, 此仪器是在固定压力、固定压实角和固定转速下通过揉搓作用成型沥青混合料的设备, 它制成的沥青混合料试件能够较好地符合实际工程中沥青混合料的成型方式, 能较好地模拟现场路面压实^[13]。采用旋转压实仪确定沥青混合料的最佳压实温度, 能够最大程度地与路面现场相同^[14]。



图 7 Troxler 4140 型旋转压实仪

Fig. 7 Troxler 4140 gyratory compactor

采用 SGC 成型试件, 得出在不同沥青、不同温

度下试件的体积指标数据, 然后确定出改性沥青混合料达到最大密实时的温度, 此温度即为沥青混合料最佳压实温度^[15]。将此温度与和易性试验法确定的最佳压实温度进行比较, 验证和易性试验法确定最佳压实温度是否合理。

SGC 成型试件采用同样的 AC-13 和 SMA-13 2 种混合料类型, 沥青分别采用壳牌基质 90# 沥青和 SBS 改性沥青, 成型温度为 120、135、150、165 °C 和 180 °C, 每个温度成型 3 个试件。通过成型试件, 测量其体积指标, 所得结果见表 4。绘制不同级配-沥青种类试件的密实曲线, 结果如图 8 所示。

表 4 不同混合料类型试件的毛体积密度

Tab. 4 Bulk densities of different mixture specimens

级配-沥青种类	不同温度下毛体积密度/(g·cm ⁻³)				
	120 °C	135 °C	150 °C	165 °C	180 °C
AC13-基质沥青	2.421	2.434	2.437	2.433	2.427
AC13-SBS 改性沥青	2.395	2.417	2.443	2.437	2.428
SMA13-基质沥青	2.455	2.464	2.463	2.460	2.459
SMA13-SBS 改性沥青	2.444	2.462	2.476	2.468	2.463

从图 8 (a)、(c) 可以看出, 采用基质沥青时, AC-13 混合料达到最佳密实的压实温度为 138 °C, SMA-13 混合料为 137 °C, 所得结果与采用粘温曲线所确定的压实温度基本相同; 从图 8 (b)、(d) 可以看出, 采用 SBS 改性沥青时, AC-13 混合料达到最佳密实的最佳压实温度为 152 °C, SMA-13 混合料为 147 °C。由此可见, 旋转压实密度-温度曲线所得结果与前述采用和易性试验法确定的压实温度 (AC-13 为 150 °C, SMA-13 为 145 °C) 相近, 二者相差 2 °C。对于沥青混合料的压实, 考虑到 2 °C 对于沥青路面实际压实影响很小, 因此可以忽略这种差异, 说明采用和易性确定改性沥青混合料的压实温度是合理的。

4 结论

不同级配的沥青混合料具有不同的工作性, 在不同工作性下沥青混合料取得的压实效果也是不同的。在最优的工作性条件下, 混合料具有最好的和易性, 沥青结合料的润滑作用和与矿料的粘结作用达到合理匹配, 最适合压实, 并能取得最好的压实效果。本文根据最优工作性与压实效果的关系, 提出了一种确定 SBS 改性沥青混合料最佳拌和与压实温度的新方法-和易性试验法。和易性试验法确定的 SBS 改性沥青混合料的压实温度与压实效果最佳时的压实温度相近, 符合实际工程生产时的施工温

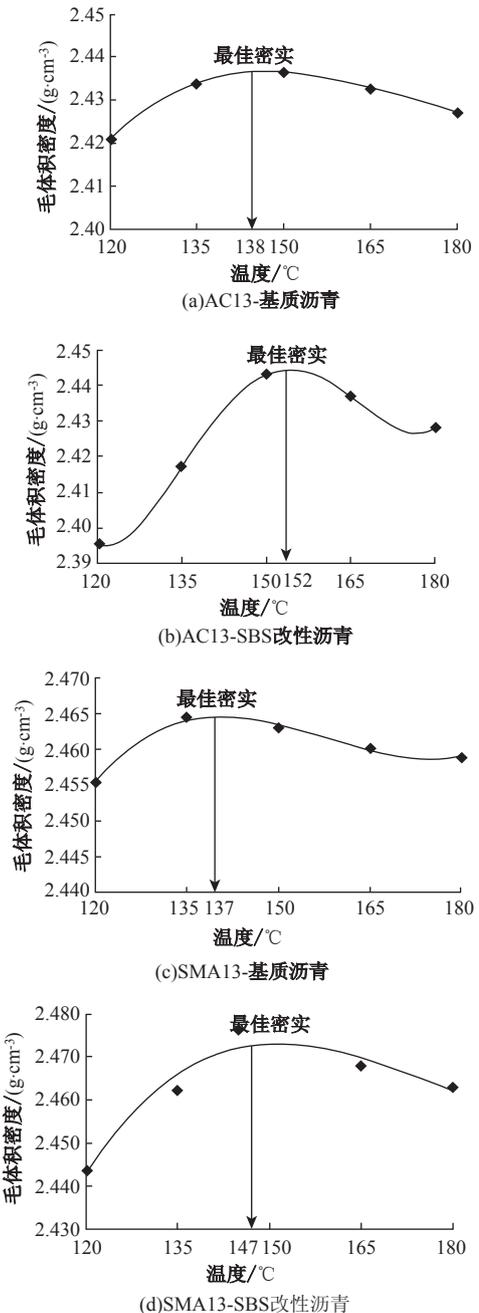


图 8 试件密实曲线

Fig. 8 Specimen compaction curves

度, 而且能反映出不同级配改性沥青混合料拌和与压实温度的差异。

参考文献:

References:

- [1] 王捷, 贾渝. 改性沥青混合料拌和与压实温度确定方法综述 [J]. 公路, 2002 (12): 99-103.
WANG Jie, JIA Yu. Summarization on Methods in Defining Mixing and Compaction Temperatures for Modified Asphalt Binders [J]. Highway, 2002 (12): 99-103.

- [2] SCHOLZ T V, BROWN S F. Rheological Characteristics of Bitumen in Contact with Mineral Aggregate [J]. Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, 1996, 65 (1): 357-377.
- [3] BROWN E R, HADDOCK J E, CRAWFORD C. Investigation of Stone Matrix Asphalt Mortars [J]. Transportation Research Record, 1996, 1530: 95-102.
- [4] 原健安, 祝志刚. 用系列粘度数据分析 SBS 改性沥青的结构特点 [J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2004, 24 (2): 7-13.
YUAN Jian-an, ZHU Zhi-gang. Microstructure of SBS Modified Asphalt Based on Viscosity Data [J]. Journal of Chang'an University: Nature Science Edition, 2004, 24 (2): 7-13.
- [5] 张肖宁. 沥青与沥青混合料的粘弹力学原理及应用 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2006.
ZHANG Xiao-ning. Viscoelastic Mechanics Theory of Asphalt and Asphalt Mixture and Application [M]. Beijing: China Communications Press, 2006.
- [6] 张争奇, 李宁利, 陈华鑫. 改性沥青混合料拌和与压实温度确定方法 [J]. 交通运输工程学报, 2007, 7 (2): 36-40.
ZHANG Zheng-qi, LI Ning-li, CHEN Hua-xin. Determining Method of Mixing and Compaction Temperatures for Modified Asphalt Mixture [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2007, 7 (2): 36-40.
- [7] 唐娴, 刘建超, 谢淑琴. 沥青混合料工作性路用性能的探索 [J]. 铁道建筑, 2007, 47 (9): 92-93.
TANG Xian, LIU Jian-chao, XIE Shu-qin. Exploring on Performance of Working and Adapting for Bituminous Mixture [J]. Railway Engineering, 2007, 47 (9): 92-93.
- [8] 陈华鑫. SBS 改性沥青路用性能与机理研究 [D]. 西安: 长安大学, 2006.
CHEN Hua-xin. Road Performance and Mechanism of SBS Modified Asphalt [D]. Xi'an: Chang'an University, 2006.
- [9] 沈金安. 论压实沥青混合料的密度、空隙率与压实度问题 [J]. 公路, 1996 (6): 29-41.
SHEN Jin-an. Discussion on Density, Air Voids and Compactness of Compacted Asphalt Mixture [J]. Highway, 1996 (6): 29-41.
- [10] 李宁利. 改性沥青混合料路用性能及施工温度特性研究 [D]. 西安: 长安大学, 2005.
LI Ning-li. Road Performance and Construction Temperature Characteristics of Modified Asphalt Mixture [D]. Xi'an: Chang'an University, 2005.
- [11] 汪海年, 郝培文. 热拌沥青混合料的工作性测试新方法 [J]. 中外公路, 2006, 26 (2): 194-196.
WANG Hai-nian, HAO Pei-wen. A New Method of Workability Test of Hot-mix Asphalt [J]. Journal of China & Foreign Highway, 2006, 26 (2): 194-196.
- [12] 陈华鑫, 卢军, 彭延, 等. 改性沥青的粘度特性和施工温度控制 [J]. 石油沥青, 2003, 17 (4): 43-46.
CHEN Hua-xin, LU Jun, PENG Yan, et al. Viscoelastic Performance and Construction Temperature of Modified Asphalt [J]. Petroleum Asphalt, 2003, 17 (4): 43-46.
- [13] 李宇峙, 杨瑞华, 邵腊庚, 等. 沥青混合料压实特性分析 [J]. 公路交通科技, 2005, 22 (3): 28-30.
LI Yu-zhi, YANG Rui-hua, SHAO La-geng, et al. Compactness Analysis of Asphalt Mixture [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2005, 22 (3): 28-30.
- [14] 袁迎捷, 胡长顺. 旋转压实原理与参数设置研究 [J]. 广西交通科技, 2003, 28 (2): 20-23.
YUAN Ying-jie, HU Chang-shun. A Study on the Principles of Gyrotory Compaction and Its Parameter Configuration [J]. Guangxi Communication Science & Technology, 2003, 28 (2): 20-23.
- [15] 张争奇, 袁迎捷, 王秉纲. 沥青混合料旋转压实密实曲线信息及其应用 [J]. 中国公路学报, 2005, 18 (3): 1-6.
ZHANG Zheng-qi, YUAN Ying-jie, WANG Bing-gang. Information of Gyrotory Compaction Densification Curve of Asphalt Mixture and Its Application [J]. China Journal of Highway and Transport, 2005, 18 (3): 1-6.