

高粘度沥青性能评价指标与标准的试验

李立寒, 耿 韩, 孙艳娜, 孟庆楠

(同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 200092)

摘要: 在排水性沥青混合料中, 高粘度沥青性能的评价指标和技术要求备受关注. 基于沥青材料的常规试验、毛细管粘度试验和动态剪切流变试验, 以及排水性沥青混合料的车辙试验和肯塔堡飞散试验, 筛选能够体现混合料抗车辙性能和耐久性的沥青性能指标. 基于混合料的性能要求, 确定高粘度沥青性能指标的技术要求. 试验结果表明: 沥青材料 60℃ 零剪切粘度、软化点指标与混合料的动稳定度、飞散损失指标之间显著相关, 适宜作为高粘度改性沥青性能评价指标; 为保证排水性沥青混合料的动稳定度不低于 4 000 次/ mm^{-1} 、飞散损失不大于 15% 的要求, 沥青材料 60℃ 零剪切粘度不应低于 40 000 $\text{Pa} \cdot \text{s}$, 软化点不应低于 85℃.

关键词: 道路工程; 高粘度改性沥青; 评价指标与标准; 60℃ 零剪切粘度; 软化点

中图分类号: U 414

文献标识码: A

Viscosity Evaluating Indicators and Criteria of High-viscosity Modified Asphalt

LI Lihan, GENG Han, SUN Yanna, MENG Qingnan

(Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Evaluating indicators and criteria of high-viscosity modified asphalt are key factors that have significant influence on the performance of open-graded friction course. Tests for asphalt penetration and soften point, vacuum capillary viscometer test, dynamic shear rheological test, wheel tracking test and cantabro loss test are applied to select suitable indicators of asphalt binders for rutting resistance and durability evaluating of open-graded friction course. The test results and analysis show that zero shear viscosity at 60℃ and soften point are significantly related with dynamic stability and scattering loss obtained from wheel tracking test and cantabro loss test, and both indicators are suitable for evaluating the performance of high-viscosity modified asphalt

as a result. Besides, dynamic stability no less than 4 000 cycles per millimeter, and scattering loss no more than 15 percent are suggested as the criteria of open-graded friction course. Correspondingly, zero shear viscosity of asphalt binders at 60℃ should be no less than 40 000 $\text{Pa} \cdot \text{s}$, and soften point of asphalt binders should be higher than 85℃ to ensure the performance of asphalt mixture.

Key words: road engineering; high-viscosity modified asphalt; indicators and criteria; zero shear viscosity at 60℃; soften point

近年来, 排水性沥青混合料以其良好的排水、降噪、抗滑等路用性能, 在我国北京、上海、广东等多个省市的高等级公路和城市快速路上得以广泛应用. 为了保证排水性沥青混合料具有较好的高温抗车辙性能及耐久性能, 该类混合料需要采用高粘度沥青作为结合料, 这已成为共识. 1996 年日本规范规定用于排水性铺装的高粘度沥青^[1]应满足 60℃ 毛细管粘度高于 $2 \times 10^4 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 、软化点高于 80℃ 的要求, 而后日本各株式会社对排水性铺装用沥青的粘度要求提高至 $1 \times 10^5 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ ^[2], 2006 年日本规范取消了排水铺装用沥青 60℃ 毛细管粘度指标, 仅保留了软化点指标高于 80℃ 的要求^[3]. 在我国现行《公路沥青路面施工技术规范》中, 对排水性沥青混合料用沥青指标要求主要参照 96 年版日本规范, 将 60℃ 毛细管粘度与软化点作为沥青的主要评价指标^[4]. 近年来的排水性沥青路面工程实践表明, 60℃ 粘度大于 $2 \times 10^4 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 的沥青不一定能够满足行车道路沥青路面的使用要求. 为了使排水性沥青路面具有良好的耐久性能, 越来越多的工程项目要求使用 60℃ 毛细管粘度高于 $1 \times 10^5 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 沥青结合料, 我国的浦东路桥、中石化以及欧洲的壳牌、日本佐东奥等国内外沥青

收稿日期: 2009-09-26

基金项目: 住房和城乡建设部 2008 年科学技术资助项目(2008-R2-24)

作者简介: 李立寒(1957—), 女, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为道路工程材料. E-mail: lhli@tongji.edu.cn

供应商也可以生产毛细管粘度高于 $1 \times 10^5 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 的高粘度沥青. 然而, 笔者对高粘度改性沥青粘度特性的研究表明, 60°C 毛细管粘度对应的剪切速率与沥青在路面结构中所受的剪切速率相差较大, 尤其是对于粘度值超过 $5 \times 10^4 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 的高粘度改性沥青, 不能有效地表征高粘度沥青在排水性沥青路面中的粘结性能^[5].

总体来看, 目前对高粘度沥青的评价指标和技术要求不甚明确, 毛细管粘度指标测试条件存在局限性. 究竟采用什么指标评价高粘度改性沥青, 以及高粘度沥青应达到的粘度水平如何等问题, 尚需要进行系统研究. 为此, 本文选择不同粘度特征的沥青材料进行了常规试验、毛细管粘度试验以及动态剪切流变试验, 对多孔性沥青混合料(OGFC)进行了车辙试验以及肯塔堡飞散试验. 比较 60°C 零剪切粘度、毛细管粘度、软化点、针入度^[6]、车辙因子 $G^* \cdot (\sin \delta)^{-1}$ ^[7] 和改进车辙因子 $G^* \cdot (\sin \delta)^{-9}$ ^[8] 等指标评价高粘度改性沥青性能的有效性, 筛选与沥青混合料路用性能相关性最优的指标作为高粘度改性沥青的评价指

标. 利用统计学一元线性回归控制算法, 基于排水性混合料性能要求, 提出能够有效控制排水性沥青混合料性能的高粘度沥青指标的要求值.

1 试验方案与试验结果

1.1 原材料及试验混合料

选用 12 种粘度特性不同的沥青结合料, 其中 1#、2# 为 A-70 基质沥青, 3# 为苯乙烯-丁二烯嵌段共聚物(SBS)改性沥青, 4# 为高强度改性沥青, 5#~12# 为高粘度类改性沥青.

粗集料选用公称粒径为 $10 \sim 15 \text{ mm}$, $5 \sim 10 \text{ mm}$ 的辉绿岩, 细集料选用公称粒径为 $0 \sim 5 \text{ mm}$ 的石灰岩, 填料选用细磨石灰岩矿粉, 矿料各项指标均满足我国施工技术规范要求.

试验混合料采用 OGFC-13 型, 级配组成见表 1. 混合料设计空隙率 20%, 经配合比设计, 试验混合料的油石比为 4.3%.

表 1 试验混合料的级配组成

Tab.1 Gradation composition of open-graded friction course

筛孔尺寸/mm	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
通过百分率/%	100.0	94.4	70.0	22.6	15.2	10.9	8.6	6.1	4.8	4.0

1.2 试验方案

按照我国《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ 052—2000)^[9] 中规定的方法, 对沥青材料进行针入度 P_{en} 、软化点 $T_{R\&B}$ 及 60°C 毛细管粘度 η_c 试验.

按照参照美国各州道路工作者协会(AASHTO) T312—2008^[10] 中的方法, 进行沥青材料的动态剪切试验, 得到沥青的车辙因子 $G^* \cdot \sin \delta^{-1}$ 和改进车辙因子 $G^* \cdot (\sin \delta)^{-9}$.

进行沥青材料的剪切频率扫描试验, 试验剪切速率范围为 $1.25 \times 10^{-6} \sim 1250 \text{ s}^{-1}$, 试验温度为 60°C , 利用 Carreau 模型对试验结果进行拟合, 得到沥青的零剪切粘度 η_0 ^[5].

采用上文中确定的级配和各种沥青结合料, 按照规程^[9] 中规定的方法, 分别进行相应混合料的车辙试验和肯塔堡飞散试验, 测试混合料动稳定度(DS, 其量符号下文以 D_s 表示), 飞散损失 ΔS .

试验沥青编号和试验方案汇总见表 2.

表 2 试验方案汇总表

Tab.2 Table of the test scheme

编号	沥青	沥青检测指标	混合料检测指标
1	1#, 3#, 4#, 5#, 6#, 7#	$P_{en}, T_{R\&B}, \eta_c, \eta_0, G^* \cdot (\sin \delta)^{-1}, G^* \cdot (\sin \delta)^{-9}$	D_s
2	2#, 3#, 4#, 7#, 8#, 9#, 10#, 11#, 12#	$P_{en}, T_{R\&B}, \eta_c, \eta_0, G^* \cdot (\sin \delta)^{-1}, G^* \cdot (\sin \delta)^{-9}$	ΔS

1.3 试验结果与数据处理

将沥青材料指标的测试结果、混合料车辙试验和肯塔堡飞散试验的测试结果汇总于表 3. 如表 3 所示, 车辙试验对应的 6 种沥青的零剪切粘度覆盖了

低于 $1 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{s}$, $1 \times 10^3 \sim 1 \times 10^4 \text{ Pa} \cdot \text{s}$, $1 \times 10^4 \sim 2 \times 10^4 \text{ Pa} \cdot \text{s}$, $2 \times 10^4 \sim 3 \times 10^4 \text{ Pa} \cdot \text{s}$, $3 \times 10^4 \sim 4 \times 10^4 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 等 5 个范围, 飞散损失试验对应的 9 种沥青的零剪切粘度覆盖了低于 $1 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{s}$, $1 \times 10^3 \sim$

$1 \times 10^4 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 、 $1 \times 10^4 \sim 2 \times 10^4 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 、 $2 \times 10^4 \sim 3 \times 10^4 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 、 $3 \times 10^4 \sim 4 \times 10^4 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 、 $4 \times 10^4 \sim 5 \times 10^4 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 、 $>5 \times 10^4 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ 等 7 个范围。

分别采用线性函数、对数函数、幂函数和指数函数关系,对表 3 中沥青各性能指标与混合料动稳定度 D_S 、飞散损失 ΔS 之间的关系进行拟合,将其中

最优拟合函数形式、相关系数 R^2 、回归临界显著性水平 α_c ($\alpha_c = 0.05$, 表明该方程可以进行置信度 95% 以上的统计学预测与控制) 等拟合结果列于表 4。由表 4 可知,6 种沥青指标与混合料动稳定度 D_S 、飞散损失 ΔS 之间的最优拟合关系符合指数函数、幂函数和对数函数关系中的一种。

表 3 沥青及混合料评价指标试验结果

Tab.3 Test results of evaluating indicators of asphalt binders and asphalt mixtures

沥青编号	$P_{en}/0.1 \text{ mm}$	$T_{R\&B}/^\circ\text{C}$	$\eta_c/(\text{Pa} \cdot \text{s})$	$\eta_0/(\text{Pa} \cdot \text{s})$	$G^*/\sin \delta/\text{kPa}$	$G^* \cdot (\sin \delta)^{-9}/\text{kPa}$	$D_S/(\text{次} \cdot \text{mm}^{-1})$	$\Delta S/\%$
1#	59.1	46.0	222.6	184.1	1.90	1.92	283	
2#	56.4	46.8	326.0	268.5	2.61	2.65		36.0
3#	51.8	76.0	25 050.0	15 620.0	6.92	18.20	3 923	14.8
4#	25.6	66.8	7 225.0	8 827.0	18.79	38.66	5 132	21.9
5#	41.4	78.8	18 076.0	10 200.0	8.46	19.91	5 737	
6#	37.4	87.8	160 320.0	22 665.0	11.58	32.26	8 639	
7#	46.2	84.9	337 617.0	38 435.0	11.82	47.56	8 253	13.6
8#	52.3	75.1	11 538.0	12 090.0	6.66	10.67		15.6
9#	45.3	86.5	47 152.0	43 130.0	7.57	17.36		14.9
10#	61.6	82.5	198 066.0	49 360.0	5.95	18.49		10.2
11#	47.0	95.6	518 529.0	41 630.0	12.38	56.26		10.2
12#	51.0	85.1	91 072.0	73 880.0	10.42	42.46		10.9

表 4 沥青性能指标与混合料性能指标之间的拟合关系

Tab.4 Relation between asphalt binder indicators and asphalt mixture indicators

混合料指标	统计学参数	P_{en}	$T_{R\&B}$	η_c	η_0	$G^*/\sin \delta$	$G^* \cdot (\sin \delta)^{-9}$
D_S	R^2	0.433 ^①	0.920 ^③	0.897 ^②	0.954 ^③	0.830 ^③	0.943 ^③
	α	0.156	0.002	0.004	0.001	0.012	0.001
ΔS	R^2	0.058 ^③	0.932 ^②	0.874 ^③	0.940 ^②	0.301 ^②	0.579 ^②
	α	0.532	0	0	0	0.126	0.017

注:①表示回归方程符合指数形式;②表示回归方程符合对数形式;③表示回归方程符合幂函数形式。

2 基于 OGFC 混合料性能要求的高粘度沥青指标的确定

2.1 高粘度改性沥青性能评价指标的有效性分析

分析表 4 中拟合关系结果可见,沥青的软化点、60 °C 零剪切粘度和 60 °C 改进车辙因子指标与混合料动稳定度之间呈现较好的拟合关系,相关系数 R^2 依次为 0.920, 0.954 和 0.943, 置信度均不低于 99.8%。相对而言,沥青 60 °C 毛细管粘度和 60 °C 车辙因子与试验混合料的动稳定度之间的相关性略差,相关系数 R^2 为 0.897 和 0.830, 沥青的针入度与试验混合料的动稳定度的相关性最差, R^2 仅为 0.433, 临界置信度仅为 84.4%。其中 60 °C 改进车辙因子与动稳定度的相关程度优于车辙因子与动稳定度的相关程度,验证了 Shenoy 等人的研究成果^[8]。

由表 4 可知,沥青 60 °C 零剪切粘度、软化点与试验混合料的飞散损失指标之间呈现良好的拟合关系,回归式的相关系数 R^2 分别为 0.940 和 0.932, 临界置信度均为 100%。其次为沥青的毛细管粘度指标,与试验混合料飞散损失的回归关系的相关系数为 0.874, 仅次于前 2 个指标。而针入度、60 °C 车辙因子、60 °C 改进车辙因子与试验混合料飞散损失的相关性较差。

2.2 高粘度改性沥青性能评价指标的合理性分析

在评价高粘度改性沥青抗变形性能方面,60 °C 零剪切粘度、软化点、60 °C 毛细管粘度为沥青粘稠度的评价指标,根据库伦定律,沥青粘度的提高可以显著地增加沥青混合料的抗剪强度,进而增加混合料的抗车辙性能。在这 3 个指标中,由于 60 °C 零剪切粘度对应的剪切速率范围与沥青路面所受的剪切速率范围一致^[5], 可以较好地表征沥青结合料在路

面结构中的力学性能,因而与动稳定度相关性最好,而高粘度沥青 60 °C 毛细管粘度存在测试值与实际粘结性能不相符的现象^[5]. 60 °C 改进车辙因子的实质为正弦荷载作用下产生单位变形所需的应力,该指标存在正弦加载模式与实际使用间歇加载方式不相符以及加载应力过小和加载周期不足等缺陷^[11],因而与动稳定度的相关性低于 60 °C 零剪切粘度.

在评价高粘度沥青粘结性能方面,软化点、60 °C 零剪切粘度及 60 °C 毛细管粘度为粘稠度评价指标,使用粘度较高的沥青结合料,可以提高集料之间的粘结强度,减小集料的剥离散失,因而,粘稠度评价指标与排水性沥青混合料飞散损失之间存在良好相关性. 而车辙因子或改进车辙因子等指标主要反映混合料的抗变形能力,车辙因子或改进车辙因子较大的沥青弹性较强、模量较大,而粘性相对较小,抗飞散性能较差,故二者无法有效表征与粘结性能密切相关的混合料抗飞散性能.

综上所述,60 °C 零剪切粘度力学意义明确,可应用于材料性能研究与力学模型计算,适宜作为高粘度沥青性能的关键评价指标,而软化点试验设备普及率高、指标实用性强,适宜作为高粘度沥青施工质量控制指标.

3 基于 OGFC 混合料性能要求的高粘度沥青标准的确定

3.1 抗车辙及耐久性技术要求

我国现行规范(JTG F40—2004)中规定 OGFC 动稳定度要求为一般交通量路段不低于 1 500 次·mm⁻¹,重交通量路段不低于 3 000 次·mm⁻¹;飞散损失要求为不大于 20%^[4]. 而对改性沥青 SMA 混合料的动稳定度和飞散损失的要求分别为不低于 3 000 次·mm⁻¹和不大于 15%. 日本高速公路对日交通量大于 15 000 辆的重载交通路段 OGFC 混合料的动稳定度要求为 3 000~5 000 次·mm⁻¹,高于我国 OGFC 混合料标准.

笔者搜集了近年来上海地区排水性沥青路面混合料的性能数据:2008 年中环线排水性沥青路面用 OGFC-13 型混合料的动稳定度分别为 6 036 次·mm⁻¹和 4 174 次·mm⁻¹,2009 年浦东路桥铺筑张衡路试验段所用的 OGFC 混合料取样动稳定度为 5 915 次·mm⁻¹和 6 774 次·mm⁻¹. 在这两个工程中,所用 OGFC-13 混合料的飞散损失范围为

9.3%~13.2%. 这些数据表明,我国现行规范中对 OGFC 混合料动稳定度和飞散损失的要求较低,失去了控制 OGFC 混合料性能的实际意义. 此外,考虑到用于沥青路面表层 OGFC 混合料在使用过程中空隙率的保持度,需要提高 OGFC 混合料的抗压缩变形的能力,这个能力可以通过 OGFC 混合料的抗车辙变形能力来间接反映. 因此,从 OGFC 沥青表层抗车辙、抗空隙率衰变和耐久性的角度出发,对 OGFC 混合料性能的技术要求不应低于对改性沥青玛蹄脂碎石混合料(SMA)性能的技术要求.

综合考虑国内外规范及 OGFC 混合料在上海地区的应用情况,建议以动稳定度不小于 4 000 次·mm⁻¹、飞散损失不大于 15%作为 OGFC 混合料抗车辙性能、抗空隙率衰减和耐久性的控制标准.

3.2 高粘度改性沥青 60 °C 零剪切粘度技术要求

由表 4 知,60 °C 零剪切粘度与动稳定度的最优拟合符合幂函数形式,以关系式(1)的形式表征,回归相关系数平方为 0.954,回归数据点数为 6,回归残差平方和为 0.380,可以进行置信度 99.9%以上的统计学预测与控制. 关系式(2)为沥青 60 °C 零剪切粘度与试验混合料飞散损失的回归关系式,相关系数平方为 0.940,回归数据点数为 9,回归残差平方和为 32.184,可以进行置信度为 100%预测与控制.

$$\ln(D_s) = 0.657\ln(\eta_0) + 2.312 \quad (1)$$

式中: D_s 为 60 °C 动稳定度,次·mm⁻¹; η_0 为 60 °C 零剪切粘度,Pa·s.

$$\Delta S = -4.636\ln(\eta_0) + 61.589 \quad (2)$$

式中, ΔS 为混合料飞散损失,%.

根据统计学线性回归控制算法,由线性回归关系式及残差平方和等数据可以得到不同置信度下的控制回归关系式如下:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x \pm u_\alpha \sqrt{\frac{S_E}{n-2}} \quad (3)$$

式中: u_α 为标准正态分布的 α 分位点, α 为回归显著性水平,当显著性水平为 0.5 时, $u_{0.5} = 0$,显著性水平为 0.1 时, $u_{0.1} = 1.282$; β_0 为回归方程截距; β_1 为回归方程斜率, β_1 为正数时, u_α 前取负号, β_1 为负数时, u_α 前取正号; S_E 为残差平方和; n 为回归数据个数.

根据关系式(1),式(2),式(3),取显著性水平为 0.1,得到置信度 90%时 60 °C 零剪切粘度与动稳定度 D_s 及飞散损失 ΔS 的关系式分别如下:

$$\ln(D_s) = 0.657\ln(\eta_0) + 1.917 \quad (4)$$

$$\Delta S = -4.636\ln(\eta_0) + 64.337 \quad (5)$$

根据置信度 50% 及 90% 条件下沥青指标与混合料的指标关系式(1),式(2),式(4)和式(5),结合

混合料技术评价标准可以确定沥青技术标准,见图 1,相应沥青技术评价标准见表 5.

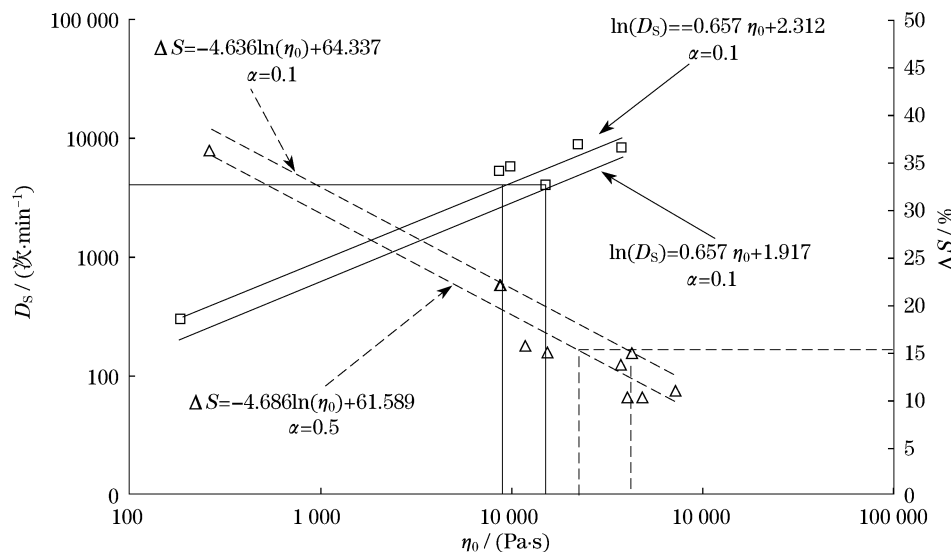


图 1 60 °C 零剪切粘度与动稳定度及飞散损失关系

Fig.1 Relation among dynamic stability, scattering loss and zero shear viscosity

由图 1 及表 5 可见,在任一置信度下,飞散损失 15% 对应的 60 °C 零剪切粘度均高于动稳定度 4 000 次·mm⁻¹ 对应的沥青技术指标,且所有测量点不超出置信度 90% 的关系曲线.为同时保证排水性沥青混合料的抗车辙性能以及耐久性能,应以 90% 置信度条件下,飞散损失 15% 对应的沥青技术指标值作为排水性沥青混合料沥青技术性能评价标准,即对于空隙率 20% 的 OGFC-13 混合料,沥青 60 °C 零剪切粘度不应低于 40 000 Pa·s(取整).

表 5 不同置信度下的 60 °C 零剪切粘度标准

Tab.5 Criteria of zero shear viscosity in different confidence at 60 °C

混合料技术要求	沥青评价指标	置信度	
		90%	50%
$D_s \geq 4\ 000$ 次·mm ⁻¹	$\eta_0 / (\text{Pa} \cdot \text{s})$	$\geq 16\ 420$	$\geq 9\ 002$
$\Delta S \leq 15\ %$	$\eta_0 / (\text{Pa} \cdot \text{s})$	$\geq 41\ 836$	$\geq 23\ 128$

3.3 高粘度改性沥青软化点技术要求

60 °C 零剪切粘度适宜作为表征高粘度沥青的抗变形性能以及粘结性能关键评价指标,但零剪切粘度需利用进口动态剪切流变仪进行测试,并且需要对试验人员进行培训,考虑到道路施工现场的实际情况,可以选择与沥青混合料性能相关性好,且相对容易测量的指标作为施工质量控制指标,在没有条件进行 60 °C 零剪切粘度测量时对高粘度改性沥青的质量进行控制.

根据表 4 中数据可知,软化点指标与沥青混合料动稳定度和飞散损失的相关性仅次于 60 °C 零剪切粘度.同时,软化点与 60 °C 零剪切粘度有着良好的相关性,回归相关系数平方为 0.934,临界置信度为 100%.

$$T_{\text{R&B}} = 24.865 \eta_0^{0.117} \quad (6)$$

式中: $T_{\text{R&B}}$ 试验沥青软化点, °C; η_0 为 60 °C 零剪切粘度, Pa·s.

将 60 °C 零剪切粘度 40 000 Pa·s 代入关系式(6),得到软化点为 85.9 °C,对软化点数值进行取整,得高粘度沥青软化点不应低于 85 °C.因此,在施工现场,在没有条件进行 60 °C 零剪切粘度测试的情况下,可以将软化点作为高粘度沥青性能的关键性评价指标,以保证高粘度沥青的质量.

4 结论

(1) 沥青材料的 60 °C 零剪切粘度、改进的车辙因子和软化点指标与混合料的动稳定度显著相关,可以有效地表征沥青混合料的高温抗车辙性能.沥青材料的 60 °C 零剪切粘度、软化点与混合料的飞散损失显著相关,可以有效地反映沥青混合料的耐久性.当沥青材料的 60 °C 零剪切粘度和软化点提高时,可以有效地提高 OGFC 混合料的抗车辙性能、空隙率保持度和耐久性.

(2) 综合考虑沥青混合料的耐久性和抗车辙性

能,以及两种性能与沥青材料性能指标之间的相关性,建议采用 60 °C 零剪切粘度作为高粘度沥青材料性能的关键评价指标,以软化点作为高粘度改性沥青的质量控制指标。

(3) 对于空隙率 20% 的 OGFC-13 型沥青混合料,为同时满足混合料动稳定度不小于 4 000 次·mm⁻¹、飞散损失不大于 15% 的技术要求,建议选用 60 °C 零剪切粘度不低于 40 000 Pa·s,软化点不低于 85 °C 的高粘度改性沥青。

参考文献:

- [1] 日本道路协会. 排水性铺装技术指针[S]. 东京:丸善株式会社,1996.
Japan Road Association. Technical manual of porous asphalt pavement[S]. Tokyo:Wan Shan Kabushiki Kaisha,1996.
- [2] 中西弘光,池善玉. 排水性路面铺装功能持续性的研究[J]. 广西交通科技,2002,27(4):7.
ZHONGXI Hongguang, CHI Shanyu. Study on improvement in durability of function for porous asphalt pavement[J]. Guangxi Communication Science and Technology,2002,27(4):7.
- [3] 日本道路协会. 铺装设计施工指针[S]. 东京:丸善株式会社,2006.
Japan Road Association. Manual of pavement design and construction[S]. Tokyo:Wan Shan Kabushiki Kaisha,2006.
- [4] 交通部公路科学研究所. 公路沥青路面施工技术规范 JTG F40—2004[S]. 北京:中华人民共和国交通部,2005.
Highway Scientific Research Institute of the Ministry of Transport of P R China. Technical specifications for construction of highway asphalt pavements JTG F40—2004 [S]. Beijing:Ministry of Transport of People's Republic of China,2005.
- [5] 李立寒,耿韩,孙艳娜. 高粘度沥青粘度评价方法与评价指标的研究[J]. 建筑材料学报,2010,13(3):352.
LI Lihan, GENG Han, SUN Yanna. Research on viscosity evaluating method and indicator of high-viscosity modified asphalt[J]. Journal of Building Materials,2010,13(3):352.
- [6] 陈佩茹,李立寒,刘焯宇. 沥青高温性能指标评价[J]. 石油沥青,2002,16(3):27.
CHEN Peiru, LI Lihan, LIU Zhaoyu. Evaluation of high temperature performance parameters of modified asphalt[J]. Petroleum Asphalt,2002,16(3):27.
- [7] Harrigan T, Leahy R B, Youtcheff J S. The Superpave mix design system manual of specifications, test methods, and practices[R]. Washington D C: Strategic Highway Research Program. National Research Council,1994.
- [8] Shenoy A. Refinement of the superpave specification parameter for performance grading of asphalt [J]. Journal of Transportation Engineering,2001(127):357.
- [9] 交通部公路科学研究所. 公路工程沥青及沥青混合料试验规程 JTG 052—2000[S]. 北京:中华人民共和国交通部,2000.
Highway Scientific Research Institute of the Ministry of Transport of P R China. Standard test methods of bitumen and bituminous mixtures for highway engineering JTG 052—2000 [S]. Beijing:Ministry of Transport of People's Republic of China,2000.
- [10] AASHTO. Standard specifications for transportation materials and methods of sampling and testing and AASHTO provisional standards[S]. Washington D C: American Association of State Highway and Transportation Officials,2008.
- [11] Bahia H U, Hanson D I, Zeng M, et al. Characterization of modified asphalt binders in superpave mix design [R]. Washington D C: Transportation Research Board,2001.
- CHEN Jianxun, LUO Yanbin. Changing rules temperature field for tunnel in cold area[J]. Journal of traffic and transportation engineering,2008,8(2):44.
- [13] 乜凤鸣. 寒冷地区铁路隧道气温状态[J]. 冰川冻土,1988,10(4):450.
NIE Fengming. Dynamic state of air temperature in railway tunnel in cold regions [J]. Journal of Glaciology and Geocryology,1988,10(4):450.
- [14] 孙文昊. 寒区特长公路隧道抗防冻对策研究[D]. 成都:西南交通大学土木工程学院,2005.
SUN Wenhao. Study on frost-resisting and anti-freezing strategies of extra-long highway tunnel in cold area [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University. School of Civil Engineering,2005.
- [15] Ilken Z, Gunerhan H. An investigation about the relation between the results of heat conduction problems with and without phase change [J]. Int Comm Heat Mass Transfer, 1996,23(6):899.

(上接第 1122 页)