

文章编号:1671-8879(2006)01-0008-04

沥青材料的感温性分析

陈华鑫¹, 李宁利², 张争奇¹, 王秉纲¹

(1. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 西安 710064; 2. 西北工业大学 材料学院, 西安 710072)

摘要:在分析现有沥青感温性指标的基础上, 讨论了针入度指数的局限性, 认为采用粘温指数[VTS]能够合理表征沥青在路面服务温度内的感温性。并建立了针入度和粘度的换算关系, 通过3种沥青实例计算了其[VTS], 再分析了计算模型的局限性和改性措施。结果表明, 通过采用动态剪切流变仪或针入度试验结果换算出沥青粘度, 来求算[VTS]是可行的。

关键词:道路工程; 沥青; 感温性; 粘温指数; 针入度; 动态剪切流变仪; 复数粘度; 分析评价
中图分类号:U414.75 **文献标识码:**A

Temperature Susceptibility Analysis of Asphalt Binders

CHEN Hua-xin¹, LI Ning-li², ZHANG Zheng-qi¹, WANG Bing-gang¹

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, China; 2. School of Material Science and Engineering, Northwestern Polytechnic University, Xi'an 710072, China)

Abstract: Based on the discussion of the existing asphalt temperature susceptibilities, the limitations of Penetration Index [PI] were discussed and the Viscosity-Temperature Susceptibility [VTS] was shown to be suitable to describe the asphalt temperature susceptibility of the service pavement temperature span. Then the relationship between penetration and viscosity was set up. According to the test results of three kinds of asphalts, their [VTS] were exemplified, and the computing model limitation and its improvement were analyzed. The results show that it is reasonable to get the [VTS] with the DSR and penetration test results. 2 tabs, 2 figs, 7 refs.

Key words: road engineering; asphalt; temperature susceptibility; Viscosity-Temperature Susceptibility[VTS]; penetration; Dynamic Shear Rheometer(DSR); complex viscosity; analytical evaluation

0 引言

目前国内外沥青标准与沥青路面实际路用性能相关性很差, 很难对沥青尤其是改性沥青进行有效评价。美国 SHRP 计划的性能分级标准虽有所进步, 但在实际使用中仍然难以与道路的实际性能相匹配, 目前国内外对此也是褒贬不一。中国“八五”

国家重点科技攻关中, 在参考国内外研究成果后, 试图以沥青的温度敏感性作为表征沥青的根本性质。在比较了[PI]、[PVN]、[VTS]、[CI]等沥青感温性指标后, 选择了针入度指数[PI]作为中国沥青温度敏感性评价指标, 并将其作为改性沥青和道路石油沥青技术要求的核心指标。但文献[1-5]对[PI]指数研究后认为, 针入度是一个经验型指标, 试验测试

收稿日期: 2005-01-04

作者简介: 陈华鑫(1973-), 男, 安徽太湖人, 讲师, 工学博士研究生。

中人为干扰大,试验精度的微小变化将导致 $[PI]$ 值发生较大改变;即使满足相关系数大于0.997的要求,也难以保证其准确性,因为相关系数与样本容量 N 密切相关, N 越大,相关系数就越小。如果测点数过少,即使回归系数大于0.997,采用直线回归也未必有意义;若测点数过多,有些温度下针入度试验难以实现,又增大了试验工作量,使得所需沥青增加。为此,本文提出采用粘温指数 $[VTS]$ 表征沥青在路面服务温度内的感温性,试验结果表明合理可行。

1 粘温指数

粘温指数 $[VTS]$ 可以评价沥青或进行沥青分级,其值可按式计算^[6-7]

$$[VTS] = \frac{\lg[\lg(\eta_{T_2}) - \lg(\eta_{T_1})]}{\lg(T_2) - \lg(T_1)} \quad (1)$$

式中: T_1, T_2 分别为2个沥青粘度的测试温度; η_{T_1}, η_{T_2} 分别为 T_1, T_2 温度下的粘度值。

$[VTS]$ 值越小,沥青的温度敏感性也越强,但是粘度值的测定又受到低温条件的限制,研究中发现沥青在其玻璃化转变温度(低温下限)时,粘度值有一上限值,如果想通过 $[VTS]$ 和 A 值来计算低温粘度值,应注意到这一上限限制,并按下式计算

$$\lg[\lg(\eta)] = \begin{cases} < 1.0945 \rightarrow \lg(\lg(\eta)) = \\ & A + [VTS]\lg(T) \\ \geq 1.0945 \rightarrow \lg(\lg(\eta)) = \\ & 1.0945 \end{cases} \quad (2)$$

式中: η 为粘度($\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$) 10^{-3} ; T 为试验温度($^{\circ}\text{R}$,绝对华氏度); A 为粘-温关系曲线(回归直线 $\lg(\lg(\eta)) - \lg(T)$)的截距; $[VTS]$ 为粘-温关系曲线的斜率(图1)。

因低温粘度测试困难,一般可以通过测试低温和中温下的针入度值,并换算为沥青的粘度值,结合高温下的粘度值,计算得到 $[VTS]$ 即可。

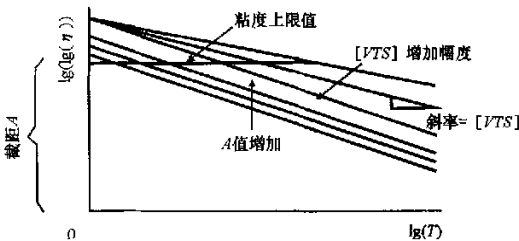


图1 粘温指数 $[VTS]$ 与截距 A 的相互关系图

2 针入度和粘度的换算关系

为得到某一温度的针入度对应的粘度值,通过

某种模型转换,得出针入度与粘度间的换算关系,根据牛顿液体的粘度定义,可由式(3)计算粘度

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} = \frac{\tau}{dy/dt} \quad (3)$$

式中: η 为粘度($\text{Pa} \cdot \text{s}$); τ 为剪应力(Pa); $\dot{\gamma}$ 为剪变率(s^{-1}); dy 为剪应变增量(rad); dt 为时间增量(s)。

如图2所示,针入度试验是以一定质量的标准针在规定时间内,刺入到沥青中的深度来表征沥青在试验温度下的软硬程度的,实际上这就是沥青的条件粘度。因此

$$dy = \arctan\left(\frac{dx}{\lambda}\right) \approx \frac{dx}{\lambda} \quad (4)$$

将式(4)代入式(3)可得

$$\eta = \frac{\lambda \lambda \frac{dx}{dt}}{dx} \quad (5)$$

式中: λ 为剪切区厚度(m);其他符号含义同前。

又由图2可知

$$m_n g = x \pi \delta \tau \quad (6)$$

式中: m_n 为标准针的质量(kg); g 为重力加速度; x 为针入度值(m); δ 为标准针直径(m)。

则粘度值可改写为

$$\eta = \frac{m_n g \lambda \frac{dx}{dt}}{x \delta \pi dx} \quad (7)$$

对式(7)进行积分处理

$$\int_0^{t_f} dt = \int_0^{x_f} \frac{\eta \delta \pi}{m_n g \lambda} x dx \quad (8)$$

积分后的结果为

$$t_f = \frac{\eta \delta \pi x_f^2}{2 m_n g \lambda} \quad (9)$$

对上式进行改写可得粘度值

$$\eta = \frac{2 \lambda m_n g t_f}{\delta \pi x_f^2} \quad (10)$$

式中: t_f 为某温度下针入度测试时间(s)。

对剪切区厚度 λ , Heukelom^[6]对50种沥青的

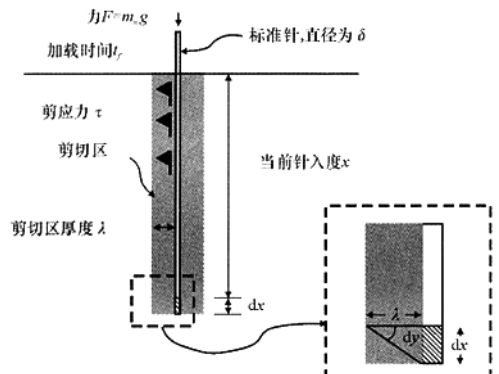


图2 针入度试验受力变形示意图

粘度测试值与预测值之间的关系进行回归,得出

$$\lambda = e^{0.173 \ln \eta - 7.917} \quad (11)$$

将式(11)代入式(10)后可求出某温度下沥青的粘度与针入度之间的换算公式为

$$\eta = \exp\left(\frac{\ln(2m_n g t_f / \delta \pi x_f^2) - 7.917}{0.827}\right) \quad (12)$$

一般试验温度为 15℃、25℃和 30℃, $t_f = 5$ s, $m_n = 0.1$ kg, $\delta = 0.001$ m。故上式可简化为

$$\eta = \exp\left(\frac{\ln(3121.553645x_f^2) - 7.917}{0.827}\right) \quad (13)$$

式中: x_f 为某温度下的针入度值(m),只要测出 x_f ,代入式(13),便可求出该温度下的粘度值。

3 粘温指数的计算方法

试验中选择了两种基质沥青和一种改性沥青,其针入度和粘度值如表 1 所示。根据不同温度下针入度、粘度值,通过 $\lg(\lg(\eta)) - \lg(T)$ 直线回归,就可以计算出粘温指数[VTS]和截距 A(表 2)。从上面 3 种沥青计算结果看,浙江镇海沥青温度敏感性比新疆克拉玛依的大,通过 SBS 改性后,感温性有

所下降,这与预期效果相一致,而且回归后相关系数均大于 0.997,表明结果是可靠的。

4 存在问题

(1)通过针入度来预测该温度下的粘度值时,模型中假定粘度是针入度的函数,因此任何引起针入度测试的因素,都会引起粘度值的不确定性。正如前所述,针入度是一经验型指标,人为干扰大,因此由该模型计算结果仍然可靠性不高。

(2)在模型推导过程中,假定了一个剪切区厚度 λ ,其值的确定是通过有限种沥青回归后,由 Heukelom 公式回归得到的,对不同沥青、不同温度、不同标准针直径,该值都会有所差异,尽管对计算结果影响不会太大,但这一厚度是由有限沥青样本提供的,可靠性不强。

(3)模型中实际上假定了针入度试验中的剪切速率是匀速递减的,沥青在试验温度下是牛顿液体,而实际试验中却不是这样的,因此由该模型预测的粘度与实测粘度之间会产生一定的差异,这也会对 [VTS] 计算结果产生影响。

表 1 不同沥青的针入度和粘度值

沥青类型	15℃		25℃		30℃		60℃	135℃	150℃
	针入度/ 10 ⁻⁴ m	计算粘度/ (Pa·s)	针入度/ 10 ⁻⁴ m	计算粘度/ (Pa·s)	针入度/ 10 ⁻⁴ m	计算粘度/ (Pa·s)	粘度/ (Pa·s)	粘度/ (Pa·s)	粘度/ (Pa·s)
镇海	18	5 076 706.767	58	299 687.873	121	50 622.289	156.330	0.343	0.177
克拉玛依	25	2 293 812.310	71	183 764.658	112	61 026.768	339.660	0.658	0.289
镇海 3% SBS	16	6 749 759.521	52	390 265.336	76	155 878.501	341.587	0.768	0.448

表 2 3 种沥青的粘温指数[VTS]和截距 A

温度/℃		15	25	30	60	135	150	
华氏温度/°F		59	77	86	140	275	302	
绝对华氏温度/°R		518.67	536.67	545.67	599.67	734.67	761.67	
lg(°R)		2.715	2.730	2.737	2.778	2.866	2.882	
粘度值	镇海	粘度 η /(Pa·s ⁻¹)	5 076 706.767	299 687.873	50 622.289	156.330	0.343	0.177
		lg(lg(η))	0.987 0	0.928 2	0.886 7	0.715 5	0.404 0	0.352
		粘温关系回归	[VTS]=-3.787 8, A=11.26, ρ =0.997 9					
	克拉玛依	粘度 η /(Pa·s ⁻¹)	2 293 812.310	183 764.658	61 026.768	339.660	0.658	0.289
		lg(lg(η))	0.971 3	0.917 2	0.891 3	0.742 8	0.449 9	0.391
		粘温关系回归	[VTS]=-3.451 6, A=10.339, ρ =0.999 7					
	镇海改性	粘度 η /(Pa·s ⁻¹)	6 749 759.521	390 265.336	155 878.501	341.587	0.768	0.448
		lg(lg(η))	0.992 5	0.934 1	0.913 4	0.743	0.460 2	0.423 5
		粘温关系回归	[VTS]=-3.430 8, A=10.299, ρ =0.997 1					

(4)在模型回归中, $\lg(\lg(\eta)) - \lg(T)$ 呈线性关系,而对结构化沥青(如添加某种化学物质或进行氧化处理等)或聚合物改性沥青,这种关系是否合适应该通过相关性分析判定,否则计算出的[VTS]也失去了实际意义。

5 改进方法

(1)鉴于针入度试验麻烦、测定值准确性差的缺陷和低温粘度的测定又比较困难的特点,可以通过动态剪切流变仪测试出沥青的复数模量 G^* ,通过复数模量 G^* 与复数粘度 η^* 之间的关系,可以计算出不同温度下的动力粘度值。

$$\eta^* = \frac{G^*}{\omega} \quad (14)$$

式中: η^* 为动力粘度(MPa); G^* 为复数模量(MPa); ω 为动态剪切试验时采用的试验频率(rad·s⁻¹)。由路面服务温度范围内不同温度下的动力粘度计算出粘温指数[VTS]来评价沥青的感温性。

(2)在路面服务温度范围内,通过动态剪切流变仪DSR测试出复数模量 G^* 和相位角 δ 后,绘制出复数模量 G^* 和相位角 δ 或 G^*/δ 随温度变化的关系曲线,也可以评价沥青的感温特性。

通过动态剪切试验,可以实现试验结果的精确化,可以方便测出各种温度下的流变学指标,由此确定出粘温指数[VTS]或描绘出流变学指标(G^* 、 δ 或 G^*/δ)随温度变化的关系曲线,这比[PI]、[PVN]、[CI]等指标更能反应沥青实际性能特点。

6 结 语

(1)对基质沥青可以简单的采用低温、中温时的针入度和高温时的粘度来计算粘温指数[VTS],反映沥青的感温性,综合反映沥青由低温到高温的温度域内的温度敏感性,扩大了针入度指数的温度表征范围,更能反映沥青的实际使用情况。

(2)鉴于改性沥青多用于比较重要的场合,希望有较精确的感温性的结果,为此采用动态剪切流变仪测试复数模量 G^* 、相位角 δ 或 G^*/δ 随温度变化的关系曲线,或由复数模量 G^* 推算出复数粘度 η^* 来计算粘温指数[VTS],以表征其温度敏感性更合适。

(3)由于动态剪切流变仪尚未普及,采用针入度和粘度之间的换算关系,结合高温粘度来计算路面服务温度范围内的[VTS],来表征基质沥青的感温性不失为一种有效的过渡方法。有条件时,尽可能

采用动态剪切流变仪试验,最后得出粘温指数[VTS],这更加符合沥青的实际工作情形。

参考文献:

References:

- [1] 陈佩茹,刘焰宇.关于沥青感温性指标的讨论[J]. 交通运输工程学报,2002,2(2):22-26.
CHEN Pei-ru, LIU Zhao-yu. On Indices of Temperature Susceptibility of Asphalt[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2002,2(2):22-26.
- [2] 赵可,李海鹏.改性沥青感温性评价指标的讨论[J]. 中国公路学报,2000,13(4):1-7.
ZHAO Ke, LI Hai-cong. Discussion of the Temperature Susceptibility Indexes of Modified Asphalt[J]. China Journal of Highway and Transport, 2000, 13(4):1-7.
- [3] 谭忆秋,姜丽伟,褚浩然,等.三个温度针入度评价沥青材料感温性的敏感性分析[J]. 东北公路,2001,24(4):42-43.
TAN Yi-qiu, JIANG Li-wei, CHU Hao-ran, et al. Analysis to Evaluate Temperature Response and Sensibility of Asphalt Material with Three Temperature Penetrations[J]. Northeast Highway, 2001, 24(4):42-43.
- [4] 赵可,卢永贵,魏如喜. SMA 高温稳定性研究[J]. 中国公路学报,2004,17(2):11-17.
ZHAO Ke, LU Yong-gui, WEI Ru-xi. Research on High Temperature Properties of SMA[J]. China Journal of Highway and Transport, 2004,17(2):11-17.
- [5] 张争奇,赵战利,张卫平. 矿料级配对接沥青混合料低温性能的影响[J]. 长安大学学报:自然科学版,2005,25(2):1-5.
ZHANG Zheng-qi, ZHAO Zhan-li, ZHANG Wei-ping. Effect of Aggregate Gradation on Performance of Asphalt Mix at Low Temperature[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2005, 25(1):1-5.
- [6] Heukelom W. An Improved Method of Characterizing Asphaltic Bitumens with the Aid of Their Mechanical Properties[J]. J Assoc Asphalt Paving Technol, 1973,42:67-98.
- [7] Robert O R, ASCE M, Robert L L, et al. Method to Predict Temperature Susceptibility of an Asphalt Binder[J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2002, 52:246-252.