

文章编号: 0451-0712(2005)01-0164-05

中图分类号: U414.750.3

文献标识码: A

动稳定度数据处理方法研究

李德超

(河南省交通科学技术研究院 郑州市 450006)

摘要: 指出了轮辙试验动稳定度指标的不合理性, 论述了指标数据离散性的原因。通过对轮辙试验较为系统详细的论述以及试验论证, 提出用回归时间段内的动稳定度 DRS 或永久变形 R 来评价沥青混合料的高温稳定性更为合理。

关键词: 轮辙试验; 回归动稳定度; 回归时间; 永久变形

沥青混合料的高温稳定性(抗车辙能力)是各种沥青混合料设计应首要考虑的路用性能之一, 轮辙试验由于试验方法本身比较简单, 试验结果直观而且与实际沥青混凝土路面的车辙相关性好而得到广泛应用。

轮辙试验是一种模拟实际车轮荷载在路面上作用而形成车辙的工程试验方法。它是用负有一定荷载的轮子, 在规定的温度下对沥青混合料的板状试件同一轮迹上做一定时间的反复碾压, 形成辙槽, 以动稳定度 DS (或形变率 RD) 来评价沥青混合料抗车辙能力的一种试验方法, 也有许多学者建议用永久变形来表征混合料的抗车辙能力。理论上讲, 既然动稳定度与永久变形都是用来表征混合料高温稳定性的指标,

它们反映出来的沥青混合料高温性能指标应该有着良好的相关性。但是很多轮辙试验都发现, 两种沥青混合料的动稳定度相同时, 它们的永久变形却有着明显的差别甚至相互矛盾。即便是对于动稳定度指标, 不同的轮辙试验机所测得数值的可比性也值得探讨。国内外研究大多集中在车辙试验方法本身来评价高温抗车辙性能上, 很少有人对轮辙试验指标赖以得到数据的处理方式加以考虑。资料^[1]对车辙试验指标动稳定度与相对变形做了比较, 得出用相对变形来表征沥青混凝土的高温抗车辙性能更为合适。本研究从试验指标动稳定度数据处理方式入手, 对车辙试验的评价指标进行了较为系统细致的研究。

收稿日期: 2004-06-16

Optimization of Top Layer Gradation of Asphalt Concrete Pavements on Lin-Chang Expressway

LU Zheng-lan¹, SUN Li-jun¹, ZHU Meng-liang²

(1. The Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Changsha University of Science & Technology, Changsha 410076, China)

Abstract: The top layer of asphalt concrete pavements bears wheel function of loading directly, and moreover it withstands the influences of sunshine, temperature, air and rainwater, etc. year in year out. For this reason, the top layer of asphalt pavements must has comprehensive performance, but in China the existing various graded kinds of out-layer can't meet the request. On the basis of the gradations of AC16, AK16, SMA14 the gradation with comprehensive performance are presented and the corresponding verification carried out by tests.

Key words: asphalt concrete pavement; gradation; road performance

1 原材料及级配选择

结合料为台湾AH-70号沥青,基本技术指标如表1。

表1 台湾AH-70号沥青技术指标

指标	测量值	技术要求
针入度(25℃,100g,5s)/0.1mm	65	60~80
延度(15℃)/cm	>150	>100
软化点/℃	52	4~54
密度/(g/cm ³)	1.0319	实测

矿料选用广东产花岗岩,有关物理力学指标如表2。

表2 集料技术指标

检验项目	规范要求	检验值
压碎值/%	≤25	19
针片状颗粒含量/%	≤15	8.3
吸水率/%	≤2	0.6
洛杉矶磨耗值/%	≤30	24.6
粘附性/水煮法	≤4级	3级

注:该矿料为酸性集料,与沥青的粘附性不符合要求,为改善其粘附性,外加0.3%的AST-3型抗剥落剂。掺加后进行检验,粘附性达到5级。

为了更明晰地比较出不同指标对于表征抗辙能力水平,本研究采用具有显著抗辙性能的3种SMA级配和一种连续密级配,分别为SMA1、SMA2、SMA3以及AC-16。这4种矿料级配组成见表3。

4种级配的级配曲线如图1所示。

表3 试验用级配组成

筛孔/mm	通过率/%			
	AC-16	SMA1	SMA2	SMA3
19	100	100	100	100
16	97.5	100	95	90
13.2	82.5	85	75	64
9.5	68	65	55	44
4.75	52.5	28	25	22
2.36	41	24	19.5	15
1.18	29.5	22	18	14
0.6	22	18	15	12
0.3	16	15	12.5	10
0.15	14	14	10.5	7
0.075	6	12	9.5	7

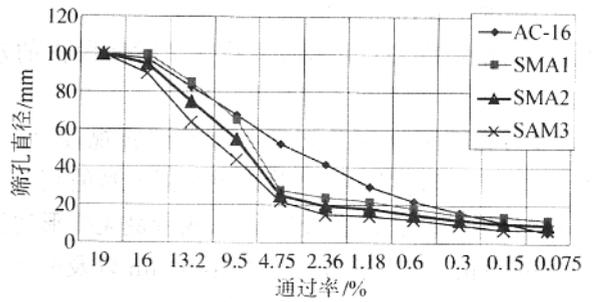


图1 试验用级配曲线

由表1及图1可以看出,SMA1、SMA2、SMA3级配的4.75mm筛孔的通过率是依次减少的,即粗集料(一般指>4.75mm的部分)是逐次增加的。SMA的组成中由于粗集料颗粒之间良好的嵌挤作用,沥青混合料产生了非常好的抵抗荷载变形的能力,即使在高温条件下(沥青玛蹄脂的粘度下降)对这种抵抗能力的影响也很小,因而有较强的高温抗车辙能力。所以SMA级配的混合料的高温稳定性要远好于AC,而在SMA级配的混合料中,对于相同的结合料种类和纤维用量情况下,其高温性能应该是随着粗集料的增加而逐趋增强的。这样,在试验前就对这4种级配就有了一个高温性能好坏的排序,即AC<SMA1<SMA2<SMA3,下面予以试验验证。另外,从级配曲线(图1)可以推测,SMA结构的3种级配的高温稳定性应该具有相当的差异性,合理的轮辙试验评价指标应该能反映出这种差异性。

稳定剂为选用美国产Loutus木质素纤维。

2 轮辙试验及评价指标分析

集料分档筛分按要求回配,进行马歇尔实验确定出各级配的最佳沥青用量,然后在相应的马歇尔击实温度下(对于AC,击实温度为140℃左右;对于SMA,击实温度保持150℃左右)成型车辙板。每种级配各成型3块板。在成型车辙板时力求同种级配车辙板之间成型条件(比如矿料分档筛分后再进行组配,成型温度、碾压次数及碾压轮压等严格控制)尽可能一致,以减小车辙板指标的成型误差。

车辙试验采用西安公路研究所的车辙试验仪,温度控制和其他条件均满足试验要求。试验荷重为700N,试验轮与试件接触压强为0.7MPa,试验温度为60℃,试件放入恒温室恒温5h,试样尺寸为300mm×300mm×50mm,试验轮行走速度为42次/min,行走距离为23mm±10mm。试验按《公路工程沥青与沥青混合料试验规程》(JTJ 052-

2000)中的 T0719—1993 执行。

2.1 动稳定度 DS 与车辙试验整个时间段内的永久变形

《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ 052—2000)规定用车辙试验来评判混合料的高温稳定性,轮辙试验通常进行 60 min 或者最大变形达到 25 mm 为止。然后根据荷载作用 45 min 以及 60 min 的永久变形来计算动稳定度 DS :

$$DS = \frac{(60 \text{ min} - 45 \text{ min}) \times 42 (\text{次}/\text{min})}{60 \text{ min 的永久变形} - 45 \text{ min 的永久变形}} \times \text{试件尺寸系数} \\ = \frac{630}{d_2 - d_1} \times c_1 \times c_2 \quad (1)$$

式中: c_1 为实验机类型修正系数,对于曲柄连杆驱动试件的变速行走方式为 1.0;链条驱动方式的为 0.8; c_2 为试件系数,标准试件为 1.0。

由公式(1)得到的动稳定度见表 4。

表 4 直接计算车辙板动稳定度及永久变形数据

级配	R_s mm	均值	变异系数 C_{VRs} %	DS 次/mm	均值	变异系数 C_{VDS} %
AC16	2.62	2.97	17.5	1 121	1 108	9.36
	2.73			998		
	3.57			1 204		
SMA1	2.05	1.99	23.0	1 986	1 992	6.16
	1.51			2 117		
	2.42			1 972		
SMA2	1.4	1.27	10.7	2 082	1 998	8.63
	1.27			1 800		
	1.13			2 113		
SMA3	1.21	1.45	15.6	5 100	4 283	18.7
	1.66			3 500		
	1.48			4 250		

注: R_s 为整个轮辙试验时间段内车辙板的永久变形; DS 为由公式(1)直接计算所得到的动稳定度; c_1, c_2 均为 1。

从表 4 可以看出,4 种级配中 SMA 级配的混合料的动稳定度显著大于 AC,而 SMA3 种级配动稳定度虽然有所差异,其高温稳定性的差异却并不显著(如 SMA1 与 SMA2 级配的动稳定度几乎相等)。而永久变形则更不能表征出 4 种混合料高温性能的好坏,甚至出现了高温性能倒置的情况。说明车辙试验整个时间段内的永久变形与动稳定度指标(由公式 1 计算)几乎没有相关性。同时,无论是对于动稳定度

指标,还是永久变形指标,3 块板的变异系数均较大,即数据的离散性较大。

车辙板的永久变形是以 mm 为单位的,车辙板在被 0.7 MPa 压力的橡胶轮胎压密 45 min 以后,剩余孔隙率已经很小,混合料变得比较密实,尤其对于 SMA 结构,压密后期,其骨架嵌挤能力也愈发变强(粗集料坚硬,压碎值合格的情况下),所以在最后 15 min,板的变形势必很小。另外,由上面公式可以看出变形的微小变化足可以引起动稳定度的大幅度变动。换言之,动稳定度的值对于板的变形十分“敏感”。正是这种“敏感”性才导致动稳定度数据测定的变异性很大。

对于同种级配永久变形的显著差异的主要原因在于试验开始阶段产生的很大变形,试验轮与试件的接触松紧度不同而致。很多学者指出如果在轮辙试验开始前先对试件进行一定次数的预压,用以消除试件表面可能存在的不紧密状态,然后再用永久变形来表征沥青混凝土的抗永久变形能力较为合适。但是实践证明如果对于开始的预压时间选择不当的话,永久变形指标仍然很难较好地反映出混合料的高温稳定性。

2.2 动稳定度 DRS 与回归时间段内的永久变形 R_t

其实,之所以用上面的公式来计算动稳定度,是假定最后 15 min 的车辙变形是随时间呈线性变化的,大量的车辙试验证明,这种假设在车辙试验的最后一段时间是成立的。若该变形直线的斜率为 k ,则上面公式可改写为:

$$DS = \frac{t_2 - t_1}{d_2 - d_1} \times 42 \times c = \frac{1}{k} \times 42 \times c_1 \times c_2 \quad (2)$$

可是由于动稳定度的大小与混合料的级配、集料以及结合料性质、板的成型方式(碾压温度、次数)等有关,所以不同的混合料的车辙板其随碾压时间的变形规律不尽相同;故仅做简单的线性化处理,而无视混合料之间的差异,统一选取最后 15 min 的变形量是不太合适的。另外,动稳定度愈大要求位移传感器的读数精度也越高,而一般位移传感器的读数精度为 $\pm 0.02 \text{ mm}$ 。动稳定度对于车辙板变形的“敏感”性对动稳定度的影响很大,动稳定度越大,其影响越大。如果 $DS = 800$, $\pm 0.02 \text{ mm}$ 精度的位移传感器对其影响可达 $\pm 2.5\%$,即测得的 DS 约在 780 ~ 820 之间;若 $DS = 6\ 300$,位移传感器的精度对动稳定度的影响可以大到 $17\% \sim 25\%$,即测得的 DS 可在 4 725 ~ 7 875 之间变化。

为了解决上述 DS 在评价混合料高温性能中存在的问题,本研究对轮辙试验数据处理做了进一步改进。将车辙板碾压变形的数据采集下来,然后对该数据进行数据分析,以一定的保证率选取车辙量随时间呈线性变化的最小时间点 t ,然后回归一个直线方程(回归直线方差 R 不小于 0.98),求得直线斜率 k 值,再由式(2)计算动稳定度,记做 DRS (dynamic stability of regression),即计算动稳定度所采取的 k 值有了一个数理统计的概念;与此同时可以得到回归时间段内(60 min)的永久变形,记做 R_t 。图2给出了 SMA2 级配回归分析处理试验数据。

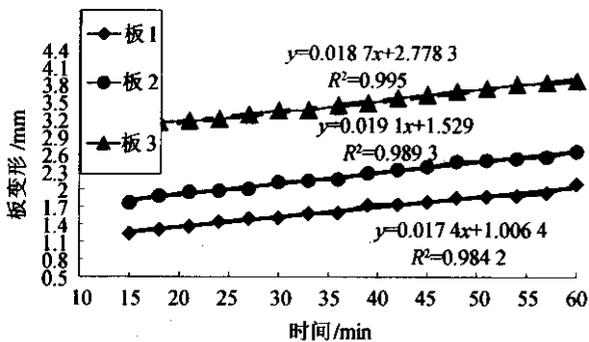


图2 车辙试验数据处理范例(SMA2)

由图2可得,对于板3(上线), $k_1=0.0187$,对于板2(中线) $k_2=0.0191$;对于板1(下线) $k_3=0.0174$;从而由式(2)可计算出 $DRS_1=2246$; $DRS_2=2201$; $DRS_3=2413$;故得该级配板的动稳定度为 $(DRS_1+DRS_2+DRS_3)/3=2286$;如此计算可得本研究所用级配的动稳定度,如表5。

表5 车辙板车辙试验数据

级配	R_t mm	均值	变异系数 $C_{V_{R_t}}$ %	DRS	均值	变异系数 $C_{V_{DRS}}$ %
				次/mm		
AC16	1.63	1.74	5.80	1 001	932	6.60
	1.75			912		
	1.83			883		
SMA1	1.48	1.39	5.57	1 233	1 271	2.84
	1.33			1 305		
	1.37			1 274		
SMA2	1.05	1.05	7.17	2 246	2 286	4.67
	1.12			2 201		
	0.97			2 413		
SMA3	0.61	0.57	6.33	3 704	3 889	4.49
	0.54			4 051		
	0.56			3 913		

由表5可以看出,4种级配的 DRS 不仅排序与前面分析的完全一致,而且其数据的离散性较之表2大大减小。还可以看出,SMA级配的混合料的动稳定度要显著大于AC,SMA3种级配动稳定度也有显著差异。也就是说, DRS 指标可以明晰地将这4种级配的抗车辙能力区分开来。

对于回归时间段内的永久变形 R_t ,为了便于比较,对动稳定度取倒数处理(即取 $1000/DRS$,乘以系数1000是为了统一有效数字数量级),如果该车辙板的动稳定度数值愈大,其倒数应该愈小,而其计算所用时间段内(或者回归时间段或者整个试验时间段)的车辙变形也应该愈小。图3给出了回归时间段内车辙板的永久变形量 R_t 和 $1000/DRS$ 与4种级配的变化关系。

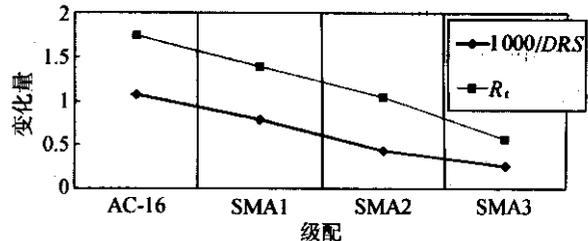


图3 DRS, R_t 随级配种类不同变化曲线

由图3可以看出,随混合料种类的变化, DRS 与回归时间段内(60 min)内的永久变形的变化趋势基本上是一致的;这从另外一方面表明本课题对车辙板数据做回归处理后求得的动稳定度指标 DRS 用来表征混合料的高温稳定性是可行的。判断一种试验方法(包括数据处理方式)的可行性与否取决于由该方法得到试验值的正确性与结果的稳定性两个方面。由上述试验分析可以看出,本研究介绍的车辙试验数据处理方法结果稳定(变异系数小)与实际相符,因而是可行的。

3 结语

(1) 本文通过对轮辙试验指标较为系统的分析,由于动稳定度的计算对于轮辙试验仪传感器的精度过于敏感,如果对车辙试验仪采集的数据不做任何处理,直接采用(最后15 min),利用公式(1)计算所得的动稳定度 DS ,将会致使数据离散性过大,数据与混合料高温稳定性、板的永久变形 R_t 相关性不理想。

(2) 对采集数据进行回归分析,选取车辙板线性

拟合较好的时间段(回归时间段)再计算动稳定度 DRS 或者车辙板永久变形 R_t , 这样用 DRS 或 R_t 来评价混合料的抗辙能力, 数据离散性小, 且与混合料的高温稳定性相关性强。

(3) 建议在轮辙试验机测试系统部分加装回归数据分析程序, 以便使车辙数据处理过程简化, 增强车辙指标的可信度。

参考文献:

[1] 王旭东, 何兆益. 沥青混凝土动稳定度和相对变形指标的研究[J]. 重庆交通学院学报, 2000, 19(3).
 [2] JTJ-2000, 公路工程沥青与沥青混合料试验规程[S].
 [3] 沙庆林. 高速公路沥青混合料早期破坏现象与预防[M]. 人民交通出版社, 2001.
 [4] 张登良, 李俊. 高等级道路沥青路面车辙研究[J]. 中国公路学报, 1995, 8(1).

A Study on Method Data Processing for Dynamic Stability

LI De-chao

(Henan Provincial Communication Scientific & Research Institute, Zhengzhou 450006, China)

Abstract: The irrationality of indexes of rut tests is pointed out and the reason for notable detracton of rut test data systematically analysed in this paper. On the basis of rut tests of four kinds of gradation whose high temperature stability is judged before test, DRS (dynamic stability of regression) or R_t (permanent deformation) are put forward, and that either of this two indexes to estimate high temperature stability of asphalt concrete is better is indicated. DRS or R_t is obtained from regression for the data of rut tests.

Key words: rut test; dynamic stability of regression; regression time; permanent deformation

· 书 讯 ·

《高速公路养护质量评定手册》

本书作者: 李华、潘玉利等。

随着我国高速公路建设事业的快速发展, 高速公路养护管理问题开始受到社会各界和广大人民群众的关注, 而且养护管理的任务也日益繁重。如何对已有高速公路的养护质量做出客观准确的评价, 既是高速公路养护工作实现制度化、规范化的需要, 也是加强行业管理和提高服务水平的需要。为此, 我们按照交通部制定的《高速公路养护质量检评方法》的要求, 根据国内外的一些研究成果及近几年的生产实践, 编写了《高速公路养护质量评定手册》这本书。

《高速公路养护质量评定手册》在借鉴国外先进经验和科研成果的基础上, 总结了我国十多年来高速公路养护管理的技术成果和做法, 系统地阐述了高速公路路基、路面、桥涵构造物、沿线设施的损坏类型及判定, 详细介绍了高速公路损坏的检测方法和养护质量评定方法, 并对高速公路养护管理系统, 以及养护质量评定的相关规定作了介绍, 具有一定的代表性和实用性。本书内容包括: 概述、高速公路损坏类型及判定、高速公路损坏检测方法、高速公路养护质量评定、高速公路养护管理系统、高速公路养护质量评定的相关规定、示例, 以及四个附录等, 全书共七章。本书为涉及高速公路养护管理工作专业人员的必备工具。

有需要购买《高速公路养护质量评定手册》的读者, 请与《公路》杂志社联系。本书定价: 40.00 元。如邮购请附加 15% 邮挂费。

《公路》杂志社联系方式如下:

地 址: 北京东四前炒面胡同 33 号 邮政编码: 100010

联系电话: (010) 65279988-1408(上午)、2202(下午、传真)

邮购收款单位: 《公路》杂志社 开户银行: 工商银行北京东四支行 账号: 046588-53