

抗剪强度达到最大值。

2) 作图法:以主应力 σ 为横坐标,剪应力 τ 为纵坐标,在横坐标轴上以 $(\sigma_{1\max i} + \sigma_{3i})/2$ 点为圆心,以 $(\sigma_{1\max i} - \sigma_{3i})/2$ 为半径,绘制不同围压下的莫尔圆,作各莫尔圆的包络线,包络线的倾角为内摩擦角 φ ,包络线在纵坐标上的截距为黏结力 c ,如图 T 0718-3 所示。

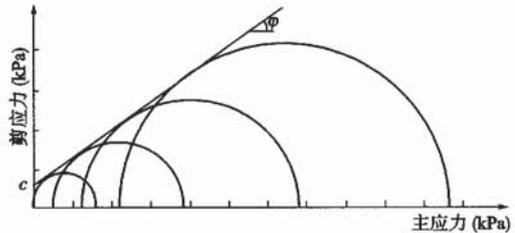


图 T 0718-3 确定抗剪强度参数的莫尔包络线示意图

4.5 按式(T 0718-9)计算抗剪强度 τ_i 。

$$\tau_i = c + \sigma \tan \varphi \quad (\text{T 0718-9})$$

式中: τ_i ——沥青混合料的抗剪强度(kPa);

σ ——主应力值(kPa),可根据路面的实际荷载情况确定。

5 报告

报告应包括试件成型方法、试件高度和试件密度,三轴压缩试验温度,施加围压的级数和压力值,各级围压的剪切破坏极限值 $\sigma_{1\max i}$,抗剪强度参数 c 、 φ 。

T 0719—2011 沥青混合料车辙试验

众多研究表明,动稳定度能较好地反映沥青路面在高温季节抵抗形成车辙的能力。我国在“七五”国家科技攻关研究课题中对此进行了研究,并提出以此作为沥青混合料配合比设计的检验手段。因此,在1993年的规程修订时增加了车辙试验的方法,该试验法是参照日本道路协会铺装试验法便览3-7-3等制定的。2000年参考了相关课题的研究成果并结合我国车辙机的实际应用情况进行了修订。

沥青混合料的车辙试验是试件在规定温度及荷载条件下,测定试验轮往返行走所形成的车辙变形速率,以每产生1mm变形的行走次数即动稳定度表示。它源于英国 TRRL,现在已成为欧洲、日本、澳大利亚等世界大多数国家的通用试验。

车辙试验是沥青混合料性能检验中最重要的指标。车辙大小除受混合料自身影响外,与荷载、温度、时间(含车速)的关系也很大。根据2002年 NCAT 试验路的观测,车辙发生在路面连续7d的平均最高气温在28℃以上的日子里,我国绝大部分地区夏季高温季节气温在此温度以上,所以有可能发生车辙。如果还有超载车重载交通的同时作用,尤其是连续上坡的慢速路段,很可能在短短的几天里产生很大的车辙,而且经常发生在中面层或下面层。中面层虽然温度会略低于表面层,但剪应力比表面层更大,所以对动稳定度的要求不能降低。同样下面层(或基层)的动稳定度也一样重要,所以本次修订对集料公称最大粒径大于或等于26.5mm的级配也作了规定。同时考虑到气候条件和重载车等情况,提出根据需要可以提高压强和试验温度。因此,我们在进行车辙试验时应按照试验规程的要求进行。

1 目的与适用范围

1.1 本方法适用于测定沥青混合料的高温抗车辙能力,供沥青混合料配合比设计时的高温稳定性检验使用,也可用于现场沥青混合料的高温稳定性检验。

1.2 车辙试验的温度与轮压(试验轮与试件的接触压强)可根据有关规定和需要选用,非经注明,试验温度为60℃,轮压为0.7MPa。根据需要,如在寒冷地区也可采用45℃,在高温条件下试验温度可采用70℃等,对重载交通的轮压可增加至1.4MPa,但应在报告中注明。计算动稳定度的时间原则上为试验开始后45~60min之间。

车辙试验的温度应能反映夏季高温的路面温度。本试验法依照我国绝大多数地区的温度条件,试

验温度为 $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ，但是实际试验中，可以根据工程所处的地理位置、气候条件选择 70°C 或其他温度进行试验。同样对试验轮与试样的接触压强也可以根据交通量大小、重载车情况及路段的地理地貌位置选择压强大小进行配合比的检验，接触压强具体选择多大根据需要确定。

1.3 本方法适用于按 T 0703 用轮碾成型机碾压成型的长 300mm、宽 300mm、厚 50~100mm 的板块状试件。根据工程需要也可采用其他尺寸的试件。本方法也适用于现场切割板块状试件，切割试件的尺寸根据现场面层的实际情况由试验确定。

2 仪器与材料技术要求

车辙试验方法和设备对试验结果有很大的影响。国际上车辙试验机的类型很多，如美国车辙试验方法就有两个，分别为汉堡车辙仪和 APA 路面分析仪，两者各有差异，即使同一种方法，各规范差异也很大；欧洲车辙试验方法就更多，统一的欧盟标准就有特大型（轮胎宽度为 11cm）、大型（轮胎宽度为 8cm，相当于法国 LPC 设备）和小型车辙仪（轮胎宽度为 5cm，相当于英国车辙仪），其中小型车辙仪又有 A 型和 B 型，而且欧盟各国还有自己的方法，很难统一。值得注意的是，欧洲标准前言部分指出不要采用钢轮车辙仪，这相当于排除了汉堡车辙仪，因为汉堡车辙仪采用钢轮而不是无花纹的橡胶轮胎。钢轮试验时会导致集料颗粒破碎，影响测试结果，同样的理念在美国也有。我国和欧盟、法国、英国、日本、澳大利亚采用的车辙仪均采用无花纹实心橡胶轮胎，相比较而言试验条件更加接近实际荷载状况，其原理都基本相当，这些与美国常用的汉堡车辙仪采用钢轮和 APA 分析仪采用橡胶管的试验条件差异较大。以上试验设备、方法各有各的特点，作为研究使用都还可以，但荷载、温度等试验条件不同，试验结果也不一样。我国的车辙试验是在温度 60°C 、荷载 0.7MPa、速率 42 次/min 标准条件下试验的，工程发生车辙的实际条件（荷载、温度、车速）与此并不对应，除了沥青混合料自身的因素外，温度、荷载、速度对高温性能的影响是主要因素，而这些因素是目前室内车辙试验所解决不了的。而不同的温度、荷载、车速与标准条件之间不存在固定的换算模式，不同沥青品种、不同混合料的换算公式相差较大，个别研究得到的换算关系并没有通用性。

2.1 车辙试验机：如图 T 0719-1 所示。它主要由下列部分组成：

2.1.1 试件台：可牢固地安装两种宽度（300mm 及 150mm）规定尺寸试件的试模。

2.1.2 试验轮：橡胶制的实心轮胎，外径 200mm，轮宽 50mm，橡胶层厚 15mm。橡胶硬度（国际标准硬度） 20°C 时为 84 ± 4 ， 60°C 时为 78 ± 2 。试验轮行走距离为 $230\text{mm} \pm 10\text{mm}$ ，往返碾压速度为 $42 \text{ 次}/\text{min} \pm 1 \text{ 次}/\text{min}$ （21 次往返/min）。采用曲柄连杆驱动加载轮往返运行方式。

注：轮胎橡胶硬度应注意检验，不符合要求者应及时更换。

我国的车辙试验机多采用曲柄连杆驱动方式，链式驱动方式的车辙机目前基本不用。为此本方法统一采用曲柄连杆驱动方式。

2.1.3 加载装置：通常情况下试验轮与试件的接触压强在 60°C 时为 $0.7\text{MPa} \pm 0.05\text{MPa}$ ，施加的总荷载为 780N 左右，根据需要可以调整接触压强大小。

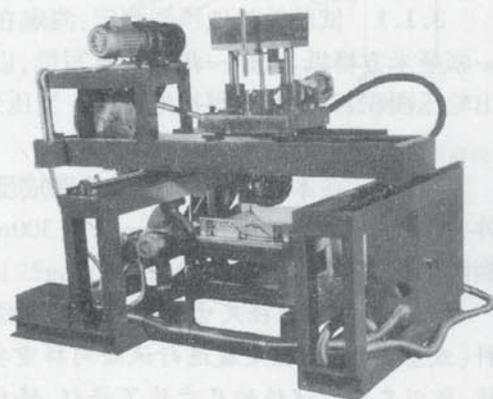


图 T 0719-1 车辙试验机

2.1.4 试模:钢板制成,由底板及侧板组成,试模内侧尺寸宜采用长为300mm,宽为300mm,厚为50~100mm,也可根据需要对厚度进行调整。

2.1.5 试件变形测量装置:自动采集车辙变形并记录曲线的装置,通常用位移传感器LVDT或非接触位移计。位移测量范围0~130mm,精度 ± 0.01 mm。

2.1.6 温度检测装置:自动检测并记录试件表面及恒温室内温度的温度传感器,精度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。温度应能自动连续记录。

2.2 恒温室:恒温室应具有足够的空间。车辙试验机必须整机安放在恒温室内,装有加热器、气流循环装置及装有自动温度控制设备,同时恒温室还应有至少能保温3块试件并进行试验的条件。保持恒温室温度 $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ (试件内部温度 $60^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$),根据需要也可采用其他试验温度。

本方法强调对试件保温所用的恒温室必须具有足够的空间,车辙试验机必须整机安放在恒温室内,包括本次试验所有试件的养生都应在恒温室中进行,要求恒温室必须具备一定的空间用来养生试件。同时恒温室必须装有加热器、气流循环装置,使试件内部温度均匀和试验温度准确,在整个试验工程中都要要求温度通过气流循环装置保持恒定,直至试验结束,以确保试验数据准确。恒温室可以采用保温材料砌筑。目前市场上生产的车辙试验机大多数没有试件养生的地方,是将试件放在另外的烘箱中养生,有的试验机根本没有气流循环装置,仅将试件部位保温,空气不回流。这些仪器是不合适的,很难保证试件内部的温度均匀恒定为 $60^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。通过比较试验发现,对空气不回流,在烘箱中养生的试件,动稳定度要比在有气流循环装置中的试件几乎高一倍,因此这种检验结果是不可信的。

2.3 台秤:称量15kg,感量不大于5g。

3 方法与步骤

3.1 准备工作

3.1.1 试验轮接地压强测定:测定在 60°C 时进行,在试验台上放置一块50mm厚的钢板,其上铺一张毫米方格纸,上铺一张新的复写纸,以规定的700N荷载后试验轮静压复写纸,即可在方格纸上得出轮压面积,并由此求得接地压强。当压强不符合 $0.7\text{MPa} \pm 0.05\text{MPa}$ 时,荷载应予适当调整。

3.1.2 按本规程T 0703用轮碾成型法制作车辙试验试块。在试验室或工地制备成型的车辙试件,板块状试件尺寸为长300mm×宽300mm×厚50~100mm(厚度根据需要确定)。也可从路面切割得到需要尺寸的试件。

由于目前大粒径尺寸混合料应用比较多,尤其是沥青稳定碎石的应用越来越多,因此对下面层混合料(或基层)的动稳定度进行试验同样重要,而原方法中标准试件尺寸对中、下面层的沥青混合料不合适,所以本次对试件的尺寸作了修订,修订后的试件尺寸为长300mm×宽300mm×厚50mm~100mm(试验室制作)的板块状试件。根据工程需要也可采用其他尺寸的试件。对现场切割试件的尺寸根据面层的实际情况确定,考虑到现在路面的厚度变化较大,切割试件的尺寸如果大了,放不进试模里,试件尺寸小了在试验过程中试件会不稳定。因此,建议现场切割试件尺寸可以采用长300mm(允许误差-10mm)、宽300mm(允许误差-10mm),厚度采用实际层厚度。要求切割试件放入试模必须是固定的,如果有晃动可以在缝隙中填充水泥浆等使其固定。现场切割试件的建议尺寸是否合适要通过试验确定。

成型制作的车辙试验试块毛体积密度应是马歇尔标准密实度的 $100\% \pm 1\%$ 。

3.1.3 当直接在拌和厂取拌和好的沥青混合料样品制作车辙试验试件检验生产配合比设计或混合料生产质量时,必须将混合料装入保温桶中,在温度下降至成型温度之前迅速送达试验室制作试件。如果温度稍有不足,可放在烘箱中稍事加热(时间不超过 30min)后成型,但不得将混合料放冷却后二次加热重塑制作试件。重塑制件的试验结果仅供参考,不得用于评定配合比设计检验是否合格的标准。

车辙试验方法作为沥青混合料配合比设计高温稳定性检验指标,试验时有一点很重要,即试件必须是新拌混合料配制的,在现场取样时必须在尚未冷却时即制模,不允许将混合料冷却后再二次加热重塑制作。据“八五”攻关课题研究,重塑制作的动稳定度可能高出 2 倍甚至好几倍,数据没有意义,不能作为评价沥青混合料配合比设计合格与否的依据。

3.1.4 如需要,将试件脱模按本规程规定的方法测定密度及空隙率等各项物理指标。

3.1.5 试件成型后,连同试模一起在常温条件下放置的时间不得少于 12h。对聚合物改性沥青混合料,放置的时间以 48h 为宜,使聚合物改性沥青充分固化后方可进行车辙试验,室温放置时间不得长于一周。

3.2 试验步骤

3.2.1 将试件连同试模一起,置于已达到试验温度 $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 的恒温室中,保温不少于 5h,也不得超过 12h。在试件的试验轮不行走的部位上,粘贴一个热电偶温度计(也可在试件制作时预先将热电偶导线埋入试件一角),控制试件温度稳定在 $60^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

3.2.2 将试件连同试模移置于轮辙试验机的试验台上,试验轮在试件的中央部位,其行走方向须与试件碾压或行车方向一致。开动车辙变形自动记录仪,然后启动试验机,使试验轮往返行走,时间约 1h,或最大变形达到 25mm 时为止。试验时,记录仪自动记录变形曲线(图 T 0719-2)及试件温度。

注:对试验变形较小的试件,也可对一块试件在两侧 1/3 位置上进行两次试验,然后取平均值。

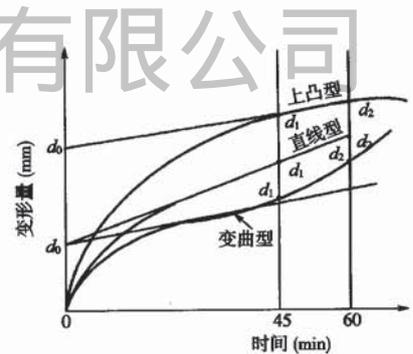


图 T 0719-2 车辙试验自动记录的变形曲线

4 计算

4.1 从图 T 0719-2 上读取 45min(t_1)及 60min(t_2)时的车辙变形 d_1 及 d_2 ,准确至 0.01mm。

当变形过大,在未到 60min 变形已达 25mm 时,则以达到 25mm(d_2)的时间为 t_2 ,将其前 15min 为 t_1 ,此时的变形量为 d_1 。

4.2 沥青混合料试件的动稳定度按式(T 0719-1)计算。

$$DS = \frac{(t_2 - t_1) \times N}{d_2 - d_1} \times C_1 \times C_2 \quad (\text{T 0719-1})$$

式中:DS——沥青混合料的动稳定度(次/mm);

d_1 ——对应于时间 t_1 的变形量(mm);

d_2 ——对应于时间 t_2 的变形量(mm);

C_1 ——试验机类型系数,曲柄连杆驱动加载轮往返运行方式为 1.0;

C_2 ——试件系数,试验室制备宽 300mm 的试件为 1.0;

N ——试验轮往返碾压速度,通常为 42 次/min。

对车辙试验的评定指标,有的单位认为可以采用车辙深度代替目前规范中动稳定度,主要依据是美国 APA 试验、汉堡车辙仪采用了车辙深度(总变形)或者变形率,而不是采用动稳定度指标,实际情况并非如此。目前,各规范中车辙试验评价沥青混合料的指标主要采用三种:变形斜率(或蠕变斜率、动稳定度)、变形率(总变形量除以总厚度)和总变形量,各规范规定各有差异。如 AASHTO T 324—04 对于汉堡车辙试验规定运行 20 000 次,测量总变形量,并计算蠕变斜率(creep slope)、剥落斜率(stripping slope),甚至剥落变形拐点(SIP)。该方法是采用浸水条件,其中总变形量、剥落斜率和剥落变形拐点是用来评价沥青混合料的抗水损坏性能的,只有蠕变斜率用来评价沥青混合料的高温抗车辙性能。美国 Asphalt Pavement Technology 对汉堡车辙试验指出:“很多单位采用蠕变斜率来评价沥青混合料车辙敏感性,即变形的倒数(次/mm),采用蠕变斜率而不是变形量来评价沥青混合料的抗车辙性能,原因在于蠕变阶段和变形阶段很难判断,不同混合料差异很大,有时候即使车辙达到 20~30mm 也不会出现剥落变形点;剥落变形点和剥落变形斜率是较好的评价混合料抗水损坏参数,而总变形量,由于采用钢轮会使颗粒破碎进而产生变形,会对总变形产生较大影响;总之,汉堡车辙试验方法只是检验沥青混合料配合比设计,还无法与现场的沥青混合料抗车辙性能相比”。科罗拉多州规定汉堡试验的剥落变形点小于 10 000,10 000 次变形小于 4mm 和 20 000 次变形小于 10mm,这些都是评价沥青混合料高温条件抗水损坏能力的指标,而非评价其抗高温车辙变形能力。对于 APA 试验,AASHTO TP 63—07 中规定主要测定 8 000 次的最大变形。值得注意的是,APA 总变形量不包括初始运行 25 次变形量,这就导致最后测量的变形量与试件的实际变形量存在较大的差异。美国一些州对于 APA 试验实际应用也各有差别,有的采用总变形量,也有的采用变形斜率来评价沥青混合料的车辙性能。

澳大利亚试验方法中采用两个指标——总变形、变形斜率(10 000 和 4 000 次变形量差除以 6,单位 mm/10³ 次),并在试验方法附录中指出,采用变形斜率来评价高温车辙比总变形量更加合理。而日本和我国一致,采用动稳定度。

欧盟标准,车辙试验主要有 3 个指标:变形斜率 WTS(单位为 mm/10³ 次)、总变形量和变形率 PRD(单位为%),并规定各国根据自己的情况选择其中指标,如法国习惯采用总变形率,而英国习惯采用变形斜率和总变形量。

以上所说变形斜率或者蠕变速率实际上就是我国所说的动稳定度,是同一个概念,计算方法也一致,只是计算所取的点或者时间有差异。由以上情况可见,各国的车辙试验方法均有差异,一般认为变形斜率是最为可靠、最为常用的指标,因此我国的车辙试验不采用总变形,而采用动稳定度指标。

5 报告

5.1 同一沥青混合料或同一路段路面,至少平行试验 3 个试件。当 3 个试件动稳定度变异系数不大于 20% 时,取其平均值作为试验结果;变异系数大于 20% 时应分析原因,并追加试验。如计算动稳定度值大于 6 000 次/mm,记作: >6 000 次/mm。

变异系数的计算示例:

允许的变异系数 C_v 的计算方法如下:

$$C_v = \frac{S}{\bar{x}} \quad (\text{T 0719a})$$

式中: \bar{x} ——算术平均值;

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

S ——标准差。

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

允许的变异系数 C_v 与规定的试验数量 n 相对应。

n 是用下式算得的：

$$n = [t_{1-\alpha/2} C_v |e|]^2 \quad (\text{T 0719b})$$

式中： $t_{1-\alpha/2}$ —— t 分布表中的分位值；

$|e|$ ——允许误差，在此取 10%。

正态分布表中相同概率(或 α)的 $Z_{1-\alpha/2}$ 的值，代入式中计算得 n 后，再加 2 或 3 即为所要的试验数量。在此用 90% 概率(即 $\alpha=0.10$)， $Z_{1-\alpha/2}=1.645$ 。

如果试验结果的 C_v 超过本条的规定，则应按实际的 C_v 值用上式重新计算应做的试验数量，以保证试验结果的精度，并增补所缺的试件数。

车辙试验是沥青混合料配合比设计必须检验的指标，即使配合比设计检验达到了规范指标，路面也不可能就不发生车辙等损坏了。配合比设计“检验”指标主要是反映不同沥青结合料和混合料级配类型，在配合比设计合理的情况下它可能达到的水平，是检验配合比及最佳油石比设计是否合理的指标。但路面发生车辙更重要的是受施工质量与均匀性、路面结构组合、气温、荷载及车速等的影响，所以我们应该辩证地认识这些指标的重要性，应按规范的要求进行配合比设计的检验。

5.2 试验报告应注明试验温度、试验轮接地压强、试件密度、空隙率及试件制作方法等。

本试验记录格式可参照表 T 0719a。

表 T 0719a 沥青混合料车辙试验记录表

试样编号	试件尺寸 (mm)			试件毛体积密度 (g/cm ³)	试件空隙率 (%)	试件系数 C_2	时间 t_1, t_2 (min)	变形量 d_1, d_2 (mm)	试件动稳定度测值 (次/min) $DS = \frac{(t_2 - t_1) \times N}{d_2 - d_1} \times C_1 \times C_2$	动稳定度 (次/min)
	长	宽	高							
							45			
							60			
							45			
							60			
							45			
							60			

6 允许误差

重复性试验动稳定度变异系数不大于 20%。

T 0720—1993 沥青混合料线收缩系数试验

沥青混合料的线收缩系数是沥青路面温度应力计算必不可少的参数，它与沥青路面的温度收缩开裂密切相关。但是国际上尚未见有统一的沥青或沥青混合料的收缩系数试验方法，国内各研究单位自行研制的不少试验仪器及测定方法均不相同。本试验法是参照“七五”国家科技攻关期内研制的试验仪器及试验方法制定的，以便使国内的仪器和方法尽可能统一。

仪表法是采用千分表测量试件的收缩变形，将室内成型的梁式试件放置在收缩仪上，在收缩仪的两端安置千分表，当温度变化时，试件的整体收缩会引起千分表触头移动，并使得千分表产生读数。通过千分表数值的变化测定试件的收缩变形值。

沥青混合料的平均线收缩系数是规定尺寸的棱柱体试件在规定的温度区间，以规定速率降温时的