

国内外排水沥青混合料试验方法对比

徐瑞刚¹, 林俊², 吕延², 李明亮³, 曹东伟³, 汪忠⁴

(1. 重庆交通大学 土木工程学院, 重庆市 400074; 2. 中国路桥工程有限责任公司; 3. 交通运输部公路科学研究院;
4. 中交一公局第三工程有限公司)

摘要: 排水沥青混合料的抗飞散性能、渗透性能以及析漏是组成混合料使用性以及功能性的重要部分。该文针对上述排水沥青混合料几个特殊的试验, 总结并分析了部分国家的相关试验方法, 对一些相关研究结论进行了综述。为更加合理可靠地评价排水沥青混合料的相关性能提供一定的参考。研究表明: 旋转压实成型更接近排水沥青混合料实际使用的状态, 而平板飞散试验比肯塔堡飞散更为合理, 网篮法作为析漏试验具备人为因素干扰较小的优点, 且试验结果更为合理。对于渗透试验, 各国采用的方法以及仪器不尽相同, 结果的可比性较差。

关键词: 排水沥青混合料; 飞散试验; 析漏试验; 渗透性能; 试验方法对比

近年来, 随着中国对路面服务性能需求的转变, 从之前的能够适应气候条件, 满足交通量、荷载等要求的基本行车需求, 逐步转变到追求更好的道路功能性, 不断有新型的功能性路面出现, 其中包括排水沥青路面。排水沥青路面指路面在压实成型后, 空隙率为 20% 左右, 沥青混合料内部空隙能够排除路表水的开级配沥青混合料。排水沥青路面相比密级配沥青路面, 雨水通过混合料内部空隙下渗进而通过横坡侧向排出, 避免了路面积水的产生, 有效消除水雾、水漂、水膜等干扰和影响行车安全的因素。

排水沥青路面使用单一粒径集料比例较大, 路表构造深度较大, 具有优异的抗滑特性, 但与此同时, 由于水可以自由地在混合料内部流通, 排水沥青混合料需具有良好的水稳定性; 又因排水沥青混合料粗集料含量较高, 沥青膜在行车过程中不断变薄, 容易导致路表面集料与集料之间失去黏结, 出现飞散、掉粒等病害, 因此对于抗飞散性能应具有较高要求; 析漏试验是为了在排水沥青混合料配合比设计过程中确定最佳沥青用量, 由于各国采用的方法不同, 为相关研究带来了不便; 排水沥青路面作为一种功能性路面, 渗透性能直观反映了排水沥青混合料排除路表水的能力。上述路面性能是影响排水沥青路面大面积推广的关键所在, 为改进中国国内排水沥青混合料应用技术, 很有必要对国内外排水沥青混合料试验方法进行对比分析。

1 试件成型方法对比

1.1 排水沥青混合料圆柱体试件

排水沥青混合料圆柱形试件成型方法主要有马歇尔击实法和旋转压实法两种。中国和日本规范中排水沥青混合料成型方法均采用马歇尔双面击实 50 次成型, 试件直径 101.6 mm, 高度 63.5 mm。美国使用 Superpave 的旋转压实仪 (SGC) 成型。法国采用可记录高度和剪应力的旋转压实仪 (PCG) 成型, 法国和美国旋转压实试验的压实角度存在差异 (表 1), 法国内部角小, 所以压实功小, 如果达到相同的压实度, 美国旋转压实次数比法国少。其他试验参数基本相同, 转速均为 (30 ± 0.5) r/min, 竖向压力均为 (0.6 ± 0.018) MPa, 试件直径为 (150 ± 0.1) mm。SGC 不能直接提供判定路面是否稳定所必须的应力和应变特征。与击

表 1 法国、美国旋转试验压实角度差异

标准	旋转压实角度/(°)	
	内部角	外部角
法国 PCG 试验 (EN 12697-31) (法标 NF P 98-252)	0.82 ± 0.02	1 ± 0.02
美国 SGC 试验 (AASHTO T312)	1.16 ± 0.02	

收稿日期: 2020-03-12

基金项目: 国家重点研发计划项目 (编号: 2016YFE0108200)

作者简介: 徐瑞刚, 男, 硕士研究生, E-mail: 674379691@qq.com

实法相比,SGC 和 PCG 等具有揉搓特性的压实法,更能接近实际施工过程中的压实状况,在旋转压实过程中还可以根据混合料的密实度变化情况来判断混合料的可压实性。此外,法国标准 EN 12697-31-2007 规定在试件成型前要经过 0.5~2 h 的短期老化,美国标准 AASHTO R30-02 规定的老化时间为 2 h,而中国则不考虑短期老化的影响。

矫芳芳针对排水沥青混合料马歇尔击实法以及美国旋转压实成型方法进行了研究,发现马歇尔双面击实 50 次和旋转压实 50 次得到试件的各项体积指标均相近,认为两种方法在 50 次(击实/压实)次数下有一定的对应关系。

1.2 排水沥青混合料板式试件

排水沥青混合料板式试件的成型采用轮辗成型,轮辗有钢性轮和充气轮两种,中国采用的是钢性轮辗,制作尺寸为 300 mm(长)×300 mm(宽)×(50~100) mm(厚)的试件,根据最大公称粒径来选用成型试模。

法国等采用欧洲标准的国家针对小型车辙试验采用的是钢轮碾压方式,大型和超大型车辙试验的试件采用充气轮胎碾压成型方式。试件的空隙率控制标准根据混合料类型、试件厚度来确定。

美国采用的汉堡车辙试验可以进行板式试件的成型,试件的成型控制采用空隙率控制指标。

不同国家采用的板式试件尺寸见表 2。

表 2 不同标准板式试件尺寸

标准	尺寸(长×宽)/(mm×mm)
中国(JTG 标准)	300×300
法国(EN 标准)	400×300
美国(AASHTO 标准)	320×260

2 抗飞散性能

排水沥青混合料表面构造深度较大、粗集料外露,在交通荷载的反复作用下,由于集料与沥青的黏结力不足而引起集料的脱落、掉粒、飞散,并成为坑槽的路面损坏,是排水沥青路面的典型病害之一。大多数的国家均采用肯塔堡飞散试验评价排水沥青混合料抵抗颗粒损失能力,试验采用圆柱体试件,将单个试件置于洛杉矶磨耗仪中,不加钢球以(30~33) r/min 速率旋转 300 转。飞散损失:

$$\Delta S = 100 \times (m_0 - m_1) / m_0 \tag{1}$$

式中: ΔS 为沥青混合料的飞散损失(%); m_0 为试验前试件的质量(g); m_1 为试验后试件的残留质量(g)。

耿韩、李立寒、孟庆楠等建议采用 20 ℃ 和 -18 ℃ 的飞散损失分别作为一般温度和冰冻条件下排水沥青混合料的抗松散性能评价指标。张宜洛等为了更好地评价不同沥青混合料的飞散损失差异,通过不同沥青种类以及不同级配沥青混合料进行改进飞散试验,结果表明:常温 20 ℃ 浸水、增加 10 个钢球、转数 300 转的试验条件能够减小结果的变异系数。

飞散试验虽然一定程度可以反映排水沥青混合料抵抗颗粒损失能力,但鉴于飞散试验的碰撞机理与实际路面磨耗作用存在较大差异,许多国家的学者开始采用模拟轮胎与路面的作用对排水沥青混合料抵抗飞散的能力进行评价与研究。荷兰和丹麦均开发了旋转表面磨耗试验(RSAT),试验温度为 20 ℃,通过一带实心轮胎的负载钢轮在平板试件来回行走,并且可以模拟车辆的剪切作用,采用 24 h 石料损失质量来表征飞散。

曹东伟等也进行了相关设备的开发与试验研究,为更好地评价大空隙沥青路面的抗飞散性能,相继开发了平板飞散设备(包括 TRD-I、TRD-II 设备以及大型飞散检测系统 TRD-III)。其中大型飞散检测系统可在不同压力、不同温度以及车轮不同转速和不同进给速度情况下进行飞散试验;许斌利用 TRD-I、TRD-II 设备进行了平板飞散试验,研究发现:高温会加速排水沥青混合料的飞散。常温条件下,飞散情况随着磨耗次数的增加,从缓慢增加到显著增加再到趋于稳定的特点。

3 析漏试验

增大沥青膜厚度能够有效改善排水沥青混合料路用性能以及抗老化性能,与此同时沥青用量的增加导致混合料在生产、储存、运输过程中沥青从集料表面流淌(析漏损失),通过析漏试验可对沥青用量进行控制,各国析漏试验方法不尽相同,主要有烧杯法、搪瓷盘法和网篮法 3 种。

(1) 烧杯法

烧杯法由德国研究所研究制定。取 1 000~1 100 g 拌和好的沥青混合料倒入 800 mL 的烧杯内,再将混合料和烧杯一起放入(170±2) ℃ 的烘箱内保温 1 h 后,将沥青混合料倒出,附着在烧杯上的沥青质量与初始混合料质量的比值即为析漏损失,许多国家将排水

沥青混合料析漏损失规定为不大于0.3%。此方法由于排水沥青混合料的厚度较大,黏附在烧杯壁的沥青量较少,使得试验结果偏小。

(2) 搪瓷盘法

日本排水性沥青混合料的设计方法中,以搪瓷盘法来确定最佳沥青用量,试验步骤与析漏损失计算方法与烧杯法相似。搪瓷盘法由于集料平铺在盘子表面,避免了烧杯法中混合料过厚的问题,但同时搪瓷盘法流失的沥青保留在盘子上,阻碍了后续结合料的流失,当将搪瓷盘翻转倒掉沥青混合料时,注意须去除附着在搪瓷盘上的碎石,而排水沥青混合料结合料的黏度较大,如不及时取出碎石,混合料将黏在盘底很难取出,而且不是所有粒径的碎石都需取出,其标准很难界定,由于受到人为因素干扰较大,试验结果可靠性差。

(3) 网篮法

美国 AASHTO T305-97 采用网篮法进行析漏试验,用以控制混合料在生产、运输等过程中自由沥青析出量,其原理和步骤与烧杯法和搪瓷盘法相似,不同的是沥青混合料不是直接放置在容器中,而是采用搪瓷盘或平底碗架住网篮以接收流淌的沥青,称取质量进行计算。网篮直径为(108±10.8) mm,高(165±16.5) mm,在距底部(25±2.5) mm 处有一个筛蓖,网篮与筛蓖的孔径均为 6.3 mm。由于孔径达数毫米,可能会使不仅是沥青结合料还包含部分沥青混合料通过网孔落入到碗(盘)中,使试验结果偏大。建议对于不同公称最大粒径的排水沥青混合料,适当调整网篮与筛蓖的孔径。比利时采用的网篮流淌试验,其过程为首先用 3.0 MPa 的压力将排水沥青混合料在 Duriez 模具中压实,然后将装有混合料的模具放到 180 ℃ 的烘箱中放置 7.5 h,使沥青从压实试样上流淌下来,计算损失沥青结合料占初始结合料重量百分比。

矫芳芳通过对比 3 种试验方法,发现网篮法相比于烧杯法试验结果的偏小以及搪瓷盘法试验结果的偏大更为合理,并且人为干扰因素更少。

4 渗透性能

4.1 室内渗透性测量方法

室内渗透性一般采用透水系数表征,单位为 cm/s 或 m/s。透水系数的测试方法可以分为常水头法和变水头法。变水头测试法中水头是时间的函数,不适于测量透水系数大的大空隙材料,主要是因为水头下降过快。此外,在测试过程中,水力梯度的变化范围很

大,达西定律的适用性存在疑问。因此大部分国家针对排水沥青混合料采用的室内渗透性测量方法均为常水头法。

中国《排水沥青路面设计与施工技术细则》(报批稿)中规定的测定方法主要参照日本《铺筑试验法便览》制定,采用常水头渗水试验。试验步骤为:① 成型马歇尔试件,冷却后不脱模,在其上增加一个套筒,套筒和试模之间应密封,不得透水;② 打开外部水源向套筒内供水,调节水阀大小,直至溢流孔保持常水位;③ 进水在常水压条件下向下渗透,渗透通过试件的水用量筒收集,测定 5 s 左右的透水量;④ 透水系数按照式(1)计算:

$$C_{rw}=L\times Q/[h\times A(t_2-t_1)]$$

(2)

式中: C_{rw} 为透水系数(cm/s); Q 为渗透经过试件的水量(cm^3); t_2 、 t_1 分别为测试的开始时间与结束时间(s); L 为试件的高度(cm); A 为试件的横截面面积(cm^2); h 为水头高度(cm)。

欧洲关于渗透性试验方法收录于 EN 12697-19,包含了水平透水系数以及垂直透水系数两种测试方法,透水系数装置示意图见图1。试验开始前,为排尽

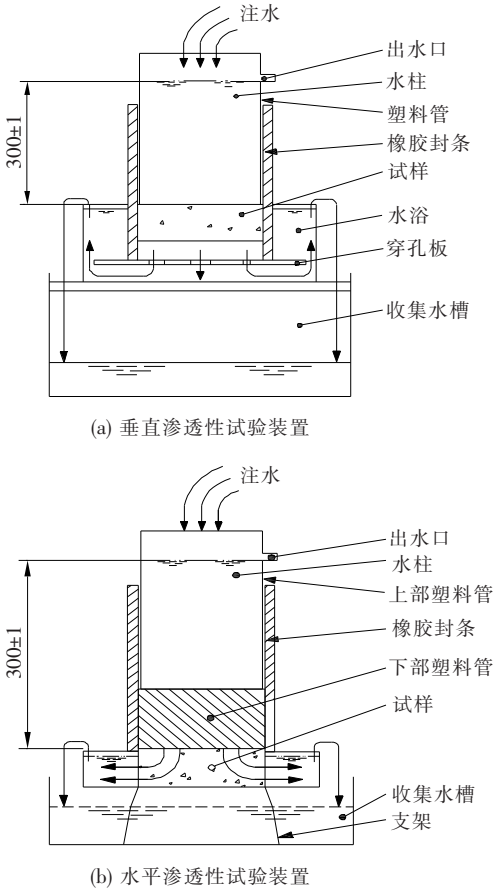


图1 欧洲透水系数装置示意图(单位:mm)

试件中间的空气,保持让水流流过试件约 10 min。通过测量每秒通过试件的水的体积,基于达西定律,垂直透水系数采用下式计算:

$$K_v = (4 \times Q_v \times l) / (h \times \pi D^2) \quad (3)$$

式中: K_v 为垂直透水系数(m/s); Q_v 为每秒垂直通过试件的水的体积(m^3/s); l 和 D 分别为试件的厚度和直径(m); h 为水柱的实际高度(m)。

水平透水系数采用下式计算:

$$K_h = (Q_h \times l) / (300 + 0.5l) \times (\pi \times D \times l) \quad (4)$$

式中: K_h 为水平透水系数(m/s); Q_h 为每秒水平通过试件的水的体积(m^3/s)。

在排水沥青路面设计中,垂直透水系数决定了雨水渗入路面的速度,水平透水系数决定了雨水横向排出的速度。该方法考虑了排水沥青路面碾压的方向性,水平透水系数与垂直透水系数存在差别,分别测量这两个系数有利于合理进行排水沥青路面的排水设计。

4.2 现场渗透性试验

现场渗水试验一定意义上多属于变水头试验,由于现场渗透性试验水流处于一种三维的流动状态并且流动得不稳定,无法与透水系数建立良好的相关性。现场渗透性的测量通常是一个经验指标,一般用渗水系数进行表征,单位多为 mL/s。下面介绍几种各国常用的渗水仪。

JTG E60—2008《公路路基路面现场测试规程》使用的渗水仪与日本《铺装试验法便览》大体相似。主要差别在于中国规范中盛水量筒的高度由日本的 342 mm 变为 315 mm,下部支撑结构的高度由 263 mm 变为 200 mm,也就是说测量时施加在路面上的水头比日本规范更大。西班牙进行现场渗透性测试采用一种经 LCS 设备改动后称为 Zarauz 的透水仪,测试过程水从特定高度落下,自由流入铺装表面,可以测定水渗入路面之前前进的最大径向距离,以及水在路表完全消失所需的总时间,有效模拟了雨水的作用。瑞士采用 Yverdon 透水仪测量现场渗透性,试验装置与路面之间的缝隙采用合成玛蹄脂制成的材料进行封闭,用 70~80 kg 的重物压住装置。试验首先变换水压力以消除基座中的气泡,然后在 10 s 内稳定住 170 mm 的水高,用带刻度的容器测量水流,取两次重复测量的算术平均值,单位为 L/min。丹麦采用了一种称为 Becker 管的较为简单的测试仪器,排水沥青路面上放置一直径为 140 mm 的透明管,封闭缝隙后向管中注水,记录 100 mL 水排到路面中所需要的时间,若时间超

过 75 s,则停止测量,路面被视为堵塞,结果取测点重复 3 次的平均值。美国得克萨斯透水仪使用内径为 152.4 mm 的圆柱体用于储存测量用水,透水仪的水量到吸液管顶部标志上方 25~50 mm,记录 4.63 L 水流出需要的时间来测得其渗透性。美国国家沥青技术中心(NCAT)开发了一种三层式现场透水仪,装置由三层阶梯式立管组成,采用变水头的方法。最小直径的立管位于顶部,最大直径的立管位于底部。这种透水仪能够适用于较宽的渗透性范围,对于渗透性较差的路面,水在小直径顶层立管中下落较慢,对于渗透性较好的路面,水平面将快速通过顶层,当水平面到达大直径立管时,水位下降速度变慢。

5 结 论

梳理了中国、美国、欧洲以及日本等国的排水沥青混合料试验方法,发现从混合料试件的成型到排水沥青混合料关键性能的试验方法均存在一定的差异。具体体现在以下几个方面:

(1) 在试件成型中旋转压实成型具有的揉搓特性,相比马歇尔击实成型更加接近路面实际压实情况。

(2) 飞散试验的碰撞机理与实际路面磨耗作用存在较大差异,平板飞散试验能够模拟轮胎对路表面的损坏作用,而且对于温度的控制也更为精确,相比肯塔堡飞散试验更为准确、合理。

(3) 对于析漏试验,网篮法相比于烧杯法以及搪瓷盘法具备人为因素干扰较小的优点,且试验结果更为合理。

(4) 渗透性试验由于不同国家采用的试验方法以及仪器的不同,导致控制指标无法统一。建议开发基于达西定律不同使用条件下的测试设备,以期得到较小误差的试验结果。

参考文献:

- [1] 陈华鑫,邢明亮,陈拴发. 排水沥青混合料设计方法综述[J]. 公路,2008(10).
- [2] 矫芳芳. 大孔隙沥青混合料试件成型方法对比研究[J]. 山东交通科技,2017(2).
- [3] 李小燕,韩超,安丰伟,等. 美国和法国旋转压实法对高模量混合料的影响比较研究[J]. 现代交通技术,2017(2).
- [4] 沈佳,王慧. 沥青混合料车辙试验方法的对比分析[J]. 山西交通科技,2012(4).
- [5] 耿韩,李立寒,孟庆楠. 大空隙率沥青混合料耐久性评价方法与指标[J]. 建筑材料学报,2011(6).

改良花岗岩残积土的路用性能试验研究

伍贤熙¹, 孔增增², 严为光³

(1. 江西省港航建设投资集团有限公司, 江西 南昌 330008; 2. 杭州交投建设工程有限公司;
3. 中国水利水电第八工程局有限公司科研设计院)

摘要:为了改善花岗岩残积土的路用性能,该文以江西省抚州地区典型花岗岩残积土为研究对象,首先测定其基本化学成分和物理性能,然后采用石灰和纤维两种方法对土样进行改良,并利用正交试验法通过界限含水率、击实性能和 CBR 强度等试验结果对改良效果进行评价。试验结果表明:土样的天然含水率远高于最佳含水率,两者差值为 12.5%,在进行花岗岩残积土路堤填筑施工时,应当采取一定的措施(如翻晒等方法)以降低其施工含水率;单轴压实和 CBR 试验结果表明,其中存在一个最佳的掺配比例,该试验土样的掺入量以 8% 的生石灰和 0.3% 的纤维为宜;在实际施工中,应当注意施工拌和时的水分变化和压实工序,确保石灰得到充分反应,从而加强改良土体的强度;现场试验段测试结果表明:采用该文改良方法得到的路基填料满足施工和设计要求,能应用于实际工程。

关键词:花岗岩残积土;路用性能;纤维改良;石灰改良;正交试验

随着中国经济建设的蓬勃发展,中国高速公路总里程已位居世界第一位,但由于中国地域辽阔,气候地质条件复杂,在路基工程中广泛存在的特殊土强度低且难以治理的工程问题制约了中国高速公路建设的进一步发展。花岗岩残积土在中国南方地区分布广泛,其特殊性表现为高液限、高孔隙比、卸荷崩解、遇水软化等特征,由于受湿热气候影响,花岗岩残积土修筑的路基结构易受扰动而发生强度衰减。由于花岗岩残积土的路用性能较差,一般不能直接应用于路基填筑,目前常用的特殊土路基处置方法有换填和改良等。

在花岗岩残积土路段对路基进行修筑,由于受山区道路线形限制,所需的土石方工程量较大,从经济和

环保等方面出发,对花岗岩残积土进行改良成为了实际工程的首选方法。胡焕校等针对粗细颗粒含量相近的花岗岩残积土进行了石灰改良,发现其最佳掺灰量为 5%~6%;杜伟飞等将聚丙烯纤维掺入到黄土中,研究发现适量的纤维能够改善基质土的力学性能,抑制裂缝发育。基于此,该文以江西省抚州地区典型花岗岩残积土为研究对象,首先测定其土样的基本化学成分和物理性能,然后采用掺入石灰和聚丙烯纤维两种方法对土样进行改良,并利用正交试验法通过界限含水率、击实性能和 CBR 强度等试验结果对改良效果进行评价,并最终确定最佳的改良掺量配比,为花岗岩残积土特殊路基施工与应用提供试验支撑。

- [6] 张宜洛,王涛,张轲.改进肯塔堡飞散试验沥青混合料松散性能研究[J].中外公路,2016(5).
- [7] Zhang Y. Extending the Lifespan of Porous Asphalt Concrete[D]. Delft University of Technology, 2015.
- [8] 许斌.排水沥青路面预防性养护技术研究[D].大连理工大学博士学位论文,2016.
- [9] 徐斌.排水性沥青路面理论与实践[M].北京:人民交通出版社,2011.
- [10] 交通运输部公路科学研究院.排水沥青路面设计与施工技术细则(报批稿)[Z],2017.
- [11] EN 12697-19:2012 Bituminous Mixtures—Test Meth-

- ods for Hot Mix Asphalt—Part 19: Permeability of Specimen[S].
- [12] 日本道路协会. Method for Measuring Surface Friction Properties《铺装试验法便览》[Z],1999.
- [13] 林志栋.国道高速公路排水性铺面材料设计影响因素及成效之研究[D].国立中央大学硕士学位论文,2005.
- [14] 日本道路协会.排水路面铺装技术指南[M].东京:丸善株式会社,1996.
- [15] 矫芳芳.排水沥青混合料性能影响因素研究[D].长安大学硕士学位论文,2010.