

文章编号: 1002-0268 (2008) 01-0033-05

土工织物加筋沥青面层抗裂性能 评价试验方法研究

薛忠军¹, 张肖宁², 王佳妮¹, 邹桂莲²

(1. 哈尔滨工业大学 交通科学与工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090;

2. 华南理工大学 道路工程研究所, 广东 广州 510641)

摘要: 为了能快速、准确地评价土工织物加筋沥青混凝土的抗裂性能, 提出了利用冲击韧性评价其抗裂性能的方法。利用冲击韧性试验评价织物加筋沥青混凝土小梁的抗冲击能力, 并利用沥青路面自动分析仪 (AAPA) 来模拟路面车辆荷载作用, 通过改进 AAPA 的模具来评价加筋沥青混凝土抗疲劳能力。利用该试验方法对多种土工织物加筋沥青混凝土进行了评价, 比选出了不同土工织物加筋沥青混凝土的抗裂能力。试验结果表明, 土工织物加筋沥青混凝土抗反射裂缝的能力明显高于没有加铺土工织物的纯沥青混凝土, 不同的土工织物具有不同的抗反射裂缝能力; 冲击韧性与 AAPA 疲劳寿命间有很好的相关性, 可以用冲击韧性的试验方法来快速评价土工织物加筋沥青混凝土的抗裂性能。

关键词: 道路工程; 沥青面层; 土工织物; 冲击韧性; AAPA

中图分类号: U416.217

文献标识码: A

Study on Experiment Method for Evaluating Crack Resistance of Geotextile Reinforcement Asphalt Surface Course

XUE Zhong-jun¹, ZHANG Xiao-ning², WANG Jia-ni¹, ZOU Gui-hian²

(1. School of Communications Science & Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin Heilongjiang 150090, China;

2. Road Engineering Research Institute of South China University of Technology, Guangzhou Guangdong 510641, China)

Abstract: A method using impact toughness was put forward to rapidly evaluate crack resistance of several geotextile reinforcement asphalt surface course. Impact toughness test was conducted to evaluate impact resistance of geotextile reinforcement asphalt concrete beam. The upgraded Automatic Asphalt Pavement Analyzer (AAPA), which can simulate the state of overlay under cyclic loadings, was applied to evaluate fatigue life of geotextile reinforcement asphalt concretes. The results show that different geotextile reinforcement asphalt concretes with different crack resistances and crack resistance of geotextile reinforcement asphalt concrete are better than that of neat asphalt concrete. There is good relativity between impact toughness and fatigue life of AAPA. The method can rapidly evaluate crack resistance of geotextile reinforcement asphalt concrete.

Key words: road engineering; asphalt surface course; geotextile; impact toughness; AAPA

土工合成材料应用于沥青路面面层结构形成织物加筋沥青面层, 可以提高面层的使用寿命^[1,2], 能明显改善加铺层底部的弯拉应力分布情况^[3,4], 土工织物可以减缓加铺层反射裂缝的产生^[5,6]。土工合成材料 (有无纺布、无纺布、土工格栅、玻璃纤维网等),

由于其优良的抗拉力学特性、批量生产、稳定的质量和现场简易的施工特点, 已被广泛应用于土木工程各个领域。为了验证土工织物、土工格栅抗反射裂缝的能力 (简称抗裂性能) 主要采用三类方法。第 1 类是提出土工织物、土工格栅延缓反射裂缝的各种机理

收稿日期: 2006-10-24

基金项目: 广州市科技攻关重点资助项目 (06A1311358)

作者简介: 薛忠军 (1974 -), 男, 吉林白山人, 博士后, 从事道路管理养护检测及道路材料研究。 (xuezhongjun @126. com)

与模型,通过试验确定模型中的物理参数,计算得出结论,包括有限元模型、当量薄膜模型、断裂损伤模型等,这些模型都建立在一定的假设条件下。众所周知,土工织物、土工格栅在路面中的实际受力状态是复杂的,影响因素众多,所以计算结果与路面的实际使用状况之间存在较大差异。第2类是室内模拟试验,此类方法与路面实际状态比较接近,试验周期短,但目前尚无成熟、简便的试验方法。第3类是修筑对比试验段,这类方法最具说服力,缺点是周期长、成本高,难以囊括多种路面结构形式。工程上选用土工布通常希望通过快速、简便、准确的试验方法就能比较出不同土工织物的性能^[7~9]。因此,有必要对室内评价方法进行深入的研究,以便能快速准确地评价土工织物的抗裂性能。

1 冲击韧性试验原理及试验方法

1.1 冲击试验原理

当荷载作用在材料上,材料会产生应力并导致应变。粘弹性材料试件中微小单元体的应力应变曲线在加荷与卸荷时将经历不同的路径并形成一条环状曲线,如图1所示。

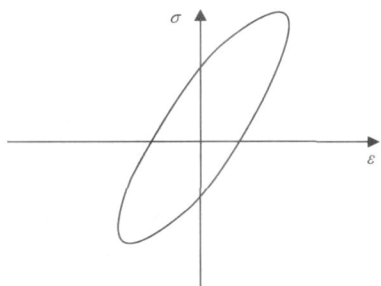


图1 滞后环线

Fig. 1 Retardation loop

这一环状曲线的面积通常代表每一加荷循环过程中总的能量积蓄,称之为滞后环线。在重复加荷过程中,以这一滞后环线面积代表的能量将全部或部分的转化成热能积蓄在材料内部,热能积蓄使得材料发热并引起材料塑性变形,发生疲劳破坏。可以认为,在一次循环加荷、卸荷过程中,材料贮存的能量越少,它抵抗疲劳破坏的能力越强。重复荷载下的疲劳寿命可以用方程(1)表示:

$$N_f = a(1/W_0)^b, \quad (1)$$

式中, N_f 为疲劳寿命; a 、 b 为材料系数; W_0 为初始加荷循环中积蓄的能量。

式(1)表明,在初始加载循环中,材料积蓄的能量越小,疲劳寿命越长。通过试验确定材料在初始

加荷循环中的滞后环线,然后与材料的疲劳寿命建立联系,这是目前材料疲劳性能研究的手段之一。相反,如果不测定每次加载循环积蓄的能量,而是测定材料在疲劳破坏前积蓄的总能量,则材料积蓄的总能量越大,疲劳寿命越长。

车轮荷载作用在混凝土路面接(裂)缝相应位置的时间非常短,60~65 km/h的行车速度相当于加载速率为10 Hz,作用力比较大,具有明显的冲击荷载的特征。因此,如果能够测定出沥青混凝土试件在冲击荷载作用下直至断裂的荷载变形曲线,那么,荷载变形曲线下的面积代表材料发生断裂所需要的能量,我们将冲击荷载作用下,荷载变形曲线所包围的面积称为冲击韧性,用 I 来表示,此时 $N_f = 1$,

$$I = G(W_0), \quad (2)$$

式中, I 为冲击韧性。

公式(2)表明,冲击韧性是初始加载循环中积蓄的能量函数,代表材料在冲击荷载作用下发生断裂前积蓄的能量,主要用于材料断裂产生新表面所需要的能量,冲击韧性值越大材料抵抗反射裂缝的能力越强。

1.2 试验方法

1.2.1 试件的制备

(1) 根据中华人民共和国行业标准《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTJ052-2000)关于沥青混合料试件制作方法(轮碾法)的规范要求,制作300 mm×300 mm×50 mm板块状试件;为减少试验误差,每组试件进行3个平行试件。

(2) 将成型好的试件利用实验室的双面锯切割机(芬兰)切割成250 mm×35 mm×35 mm的棱柱体试件,如图2所示。规范中规定:使用碾压成型的混合料试件切制的棱柱体试件,长度不小于公称最大集料粒径的4倍,宽度或厚度不小于公称最大粒径的1~1.5倍。本次试验采用的混合料公称最大粒径分别为19、26.5 mm,满足规范要求。

试件晾干后,再在相应数目的小梁下用普通热沥青粘油(0.7~1.2 kg/m²)粘贴聚酯玻纤布,粘层油的温度为140~180℃。加工好的试件在室温下冷却4 h。

土工布由于受自身特点的约束在实际应用当中必须铺平拉紧才能发挥出作用,本次试验改进了试件成型的方法,即在土工布的两侧悬挂一定的重物使其受到一定的拉力,令土工布更好地模拟实际工作状态,如图2所示;二是土工布铺在道路结构中是长条带状物,车轮作用下的土工布相对于整张土工布来说相当

于有侧向拉伸的作用。室内试验将土工布贴在小梁下面,其约束条件与土工布的实际工作状态相比已经发生了变化,实际工作中的土工布在纵向其长度与横断面相比近似为无限大,切成小梁后长度缩短减弱了约束,在瞬间冲击荷载的作用下,土工布与混合料有可能发生层间滑移。为了避免发生这种情况,试验设计了与以往不同的土工布粘贴方法,即土工布要比小梁长一些,在长出小梁部分的土工布上涂相同的热沥青,然后粘在小梁的两侧和梁上的一部分,如图2(b)所示,这样可以增加土工布的纵向约束。试验结果表明这种方法确实增加了纵向约束,提高了小梁的抗冲击能力。

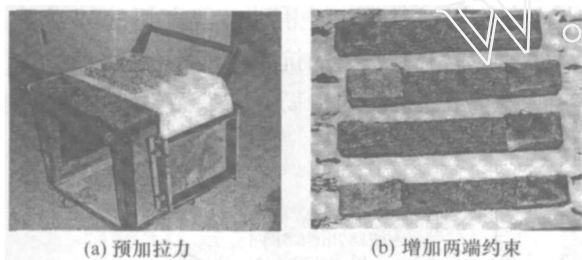


图2 土工布的贴法

Fig. 2 Method of pasting geotextile

本次试验采用 INSTRON 仪器有限公司生产的静压力机。该压力机能以恒定速率加载。

1.2.2 试验程序

(1) 将制作好的沥青混凝土棱柱体试件(小梁)放置于已达规定温度的恒温水槽中养护2~4 h。试件之间应有间隔,底部应垫起,距离容器底部不小于5 cm。

(2) 调整压力机,设定加载速率为500 mm/min,相当于加载速率为16 Hz,故可以模拟车辆荷载对路面的冲击作用。

(3) 将小梁从水浴中取出,做三点弯曲试验至试件断裂。需要注意的是整个过程须迅速完成,从恒温水浴中取出试件到试验结束不能超过1 min,尽量避免小梁从水浴中取出以后温度发生改变。

1.2.3 数据处理

典型的荷重-位移曲线如图3所示,阴影部分的面积代表冲击韧性。图3(a)表示材料加荷至最大荷载处突然断裂,这是典型的脆性断裂特征。图3(b)表明材料在最大荷载处并没有突然断裂,而是在逐渐卸载的情况下变形继续增加,然后断裂,表明材料发生流动变形,裂纹在加载状态下亚临界扩展引起局部区域卸载。冲击韧性值越大,说明沥青混合料耗散的能量越多,抵抗疲劳破坏的能力越强,即抵抗重

复荷载作用下所要引发的反射裂缝的能力越强。

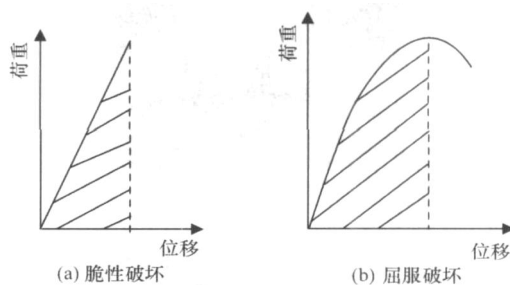


图3 冲击韧性曲线图

Fig. 3 Impact toughness curve

2 AAPA 验证

目前实验室内沥青混合料的小梁疲劳试验方法众多,其中,间接拉伸法、悬臂梁弯曲法和四点弯曲法应用的比较广泛。在国外也常用往返轮载试验。这类试验是针对沥青混合料与其他材料组合模拟的路面结构模型或梁式试件,采用小轮在模型或试件表面沿直线往返运动,模拟车轮运动状态对试件进行疲劳加载。由于其试验模式接近实际路面受力状态,因而受到人们的关注。美国战略公路研究计划(SHRP)研制开发的沥青路面分析仪(Automatic Asphalt Pavement Analyzer,简称AAPA)就是这样一种往返轮载试验装置。

AAPA 试验设备由加载系统、温度控制系统、水浴系统、操纵面板等部分组成,可用之进行疲劳试验和车辙试验(包括浸水车辙试验)。试验中设置成不同的环境温度,加载轮以恒定的压力在试件表面往返运动,通过计算机的数据采集系统,自动对试件表面的位移变形量定时进行采集,并绘出位移变形与运行次数的关系曲线。进行疲劳试验或车辙试验时,每组可以同时3个试件进行平行试验。试件的标准尺寸为300 mm × 125 mm × 75 mm。将成型后试件,放入AAPA设备配置的试模内,用垫块将试件两端稳定,然后将试模放入AAPA中平台上^[10]。在试验前对钢轮轮压进行标定并设置所要求的试验温度。开启数据采集系统,与主机连接,即可进行试验。华南理工大学道路工程研究所在原有试验方法的基础上,开发了水泥混凝土路面上加铺沥青面层抗反射裂缝能力的试验方法^[11],试验模型的示意如图4所示。

试验温度采用15℃,加载速率为60次/min,钢轮轮压123 kg。当在试验小轮重复加载过程中,相邻两次板中弯沉差值1 mm时,大致判定它已经发生疲劳破坏,同时结合试验观测,表面出现裂缝时认为

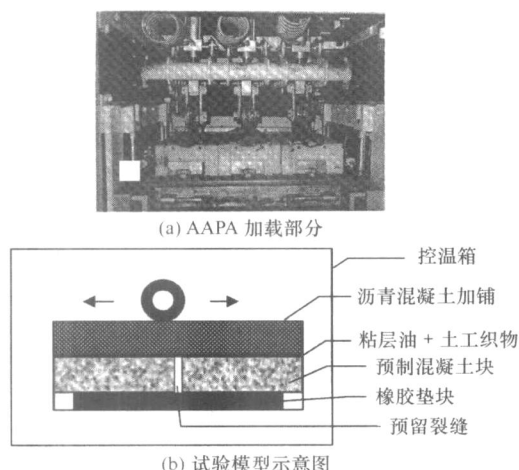


图 4 AAPA 设备及试验模型的示意图

Fig. 4 Sketch map of AAPA equipment test model

完全发生疲劳破坏, 试验结果以发生破坏时小轮重复加载的次数计。

3 试验设计

为使该试验方法具有广泛的适用性, 从试验采用的原材料到沥青混合料的类型进行了如下的试验设计, 见表 1。本研究采用了 2 种沥青混合料及 3 种具有代表性的常用土工织物。

表 1 土工织物加筋沥青混凝土类型

Tab. 1 Types of geotextile reinforcement asphalt concrete

加筋混合料 类型代号	加铺土工织物类型	沥青 种类	石料 种类	沥青用 量 / %
AC20 - TP	聚酯玻纤土工布 (TP)	泰普克 70 #	花岗岩	4.6
AC20 - PT	聚酯纤维土工布 (PT)	泰普克 70 #	花岗岩	4.6
AC20 - GS	玻璃格栅 (GS)	泰普克 70 #	花岗岩	4.6
AC20 - KB	未加土工布 (KB)	泰普克 70 #	花岗岩	4.6
SMA13 - TP	聚酯玻纤土工布 (TP)	泰普克 70 #	花岗岩	6.3
SMA13 - PT	聚酯纤维土工布 (PT)	泰普克 70 #	花岗岩	6.3
SMA13 - GS	玻璃格栅 (GS)	泰普克 70 #	花岗岩	6.3
SMA13 - KB	未加土工布 (KB)	泰普克 70 #	花岗岩	6.3

4 试验结果与分析

沥青混合料冲击韧性试验结果与 AAPA 测定的疲劳寿命如表 2 所示。

表 2 冲击韧性值与疲劳试验结果

Tab. 2 Impact toughness and fatigue test result

混合料种类	疲劳寿命/次	冲击韧性/(N·m)
AC20 - TP	164 144	1.34
AC20 - PT	91 139	1.25
AC20 - GS	40 400	0.72
AC20 - KB	10 750	0.35
SMA13 - TP	233 484	1.41
SMA13 - PT	186 380	1.36
SMA13 - GS	116 830	1.32
SMA13 - KB	15 002	0.57

试验结果表明, 加铺土工织物之后可以明显地改善沥青混合料的抗反射能力, 但是不同的土工织物增加的抗反射能力有所不同, 从表 2 中可以看出, 土工布优于格栅, 聚酯玻纤合成土工布优于单纯的聚酯纤维土工布, 对于 AC20 的沥青混合料在温度为 15℃, 疲劳寿命大小的排列顺序为: AC20 - TP > AC20 - PT > AC20 - GS > AC20 - KB; 对于 SMA13 来说冲击韧性大小的排列顺序为: SMA13 - TP > SMA13 - PT > SMA13 - GS > SMA13 - KB。这些结论与冲击韧性的试验结果完全一致。

为了进一步验证冲击韧性评价方法与反射裂缝抵抗能力之间的相关性, 将 15 种混合料冲击韧性值与疲劳试验数据对数回归, 得到二者之间的数学关系。为了对比加筋土工织物的抗裂性能, 又将文献 [12, 13] 的各种沥青混合料的冲击韧性与疲劳性能曲线同时列入, 如图 5 所示。

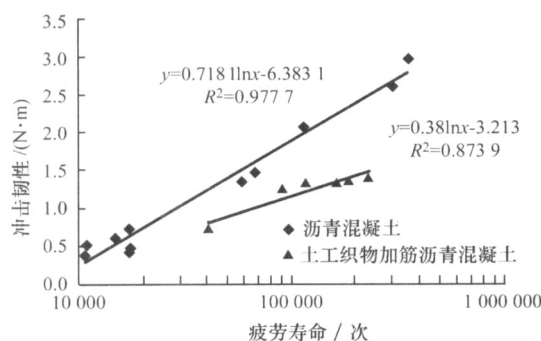


图 5 冲击韧性与疲劳寿命关系曲线

Fig. 5 Relation between impact toughness and figure life

从图 5 中可以看出, 沥青混凝土 12 个点的冲击韧性与疲劳寿命具有很好的相关性, 相关系数为 0.9777; 加铺土工织物之后的土工织物加筋沥青混凝土的冲击韧性和 AAPA 的疲劳寿命也有很好的相关性。对比图 5 中的 2 个试验系列可以看出, 对于同种混合料虽然冲击韧性提高值不是很明显, 但是疲劳寿命有了明显的提高。说明加铺土工织物后对反射裂缝的扩展具有一定的延缓作用。

5 结论

(1) 验证了沥青混凝土冲击韧性和 AAPA 的疲劳寿命之间有很好的相关性, 冲击韧性试验能快速评价沥青混凝土的抗反射裂缝能力。

(2) 冲击韧性试验是一种简单、快捷的评价土工织物加筋沥青混合料抵抗反射裂缝能力的试验方法, 冲击韧性与疲劳寿命之间具有很好的相关性, 可以用来评价土工织物加筋沥青混凝土这种复合结构的抵抗

反射裂缝的能力,为工程选择适当的土工织物提供了一种快速简便的评价方法。

(3) 从试验数据上看出,土工织物加筋沥青混凝土的抵抗反射裂缝能力明显高于没有加铺土工织物的纯沥青混凝土,沥青混凝土加铺土工织物后,其抵抗反射裂缝的能力有一个明显阶跃。

(4) 土工织物种类是影响土工织物加筋沥青层抗裂能力的重要影响因素之一,通过对同一种级配采用不同类型的土工织物进行加铺对比,发现不同的土工织物具有不同的抗反射裂缝能力。

参考文献:

References:

- [1] 黄岩,郭忠印,黄彭,等. 织物加筋沥青混凝土的疲劳性能[J]. 公路交通科技, 1999, 16 (4): 8-11.
HUANG Yan, GUO Zhong-yin, HUANG Peng, *et al.* The Fatigue Performance of Reinforced Asphalt Concrete with Geosynthetics [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 1999, 16 (4): 8-11.
- [2] AUSTIN R A, GILCHRIST A J T. Enhanced Performance of Asphalt Pavements Using Geocomposites [J]. Geotextiles and Geomembranes, 1996, 14 (3/4): 175-186.
- [3] 李淑明,许志鸿,蔡喜棉. 土工织物对复合式路面结构内力影响分析[J]. 中国公路学报, 2006, 19 (1): 28-31.
LI Shu-ming, XU Zhi-hong, CAI Xi-mian. Analysis of Impact of Geotextile on Stress of Composite Pavement Structure [J]. China Journal of Highway and Transport, 2006, 19 (1): 28-31.
- [4] 马庆雷,郑桂兰. 含土工合成材料防裂夹层的水泥混凝土路面沥青加铺层应力分析[J]. 公路交通科技, 2005, 22 (8): 20-23.
MA Qing-lei, ZHENG Gui-lan. Stress Analysis of Asphalt Overlay on Cement Concrete Pavement with Anti-cracking Interlayer Containing Geo-synthetics [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2005, 22 (8): 20-23.
- [5] 高翔,刘松玉. 公路土工合成材料测试中存在的问题与建议[J]. 公路交通科技, 2004, 21 (3): 26-29.
GAO Xiang, LIU Song-yu. Problems and Suggestions in the Test of Geosynthetics for Highway Engineering [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2004, 21 (3): 26-29.
- [6] 史保华,蔡良才,王声,等. APP改性油毡作为沥青道面防裂层铺贴宽度与防裂效果试验研究[J]. 中国公路学报, 2004, 16 (2): 5-9.
SHI Bao-hua, CAI Liang-cai, WANG Sheng, *et al.* Experimental Research on the Relationship Between Lay Width and Splitproof Effect About APP Modified Felt as Asphalt Pavement Split Proof Layer [J]. China Journal of Highway and Transport, 2004, 16 (2): 5-9.
- [7] GURUNG N. A Laboratory Study on the Tensile Response of Unbound Granular Base Road Pavement Model Using Geosynthetics [J]. Geotextiles and Geomembranes, 2003, 21 (2): 59-68.
- [8] NAREJO D B. Opening Size Recommendations for Separation Geotextiles Used in Pavements [J]. Geotextiles and Geomembranes, 2003, 21 (4): 257-264.
- [9] REZENDE L R, DE CARVALHO J C, PALMEIRA E M. The Use of Alternative and Improved Construction Materials and Geosynthetics in Pavements [M]. London: Elsevier, 2005: 767-790.
- [10] 周志刚,谢军,崔鹏. 加筋沥青混凝土梁式试件的APA弯曲疲劳试验研究[J]. 公路交通科技, 2005, 22 (3): 24-27.
ZHOU Zhi-gang, XIE Jun, CUI Peng. Analysis of the Reinforced Asphalt Concrete Beam Specimen with Repeated Bending Test by APA [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2005, 22 (3): 24-27.
- [11] 张肖宁,邹桂莲,贺志勇. 沥青混合料抵抗反射裂缝能力的评价方法研究[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2001, 29 (7): 88-91.
ZHANG Xiao-ning, ZOU Gui-lan, HE Zhi-yong. Investigation of Evaluating Method to the Ability of Resisting Reflective Cracking for Asphalt Mixture [J]. Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition), 2001, 29 (7): 88-91.
- [12] 邹桂莲. 旧PCC路面加铺沥青面层的材料组成设计、方法研究及应用[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2001: 45-50.
ZOU Gui-lan. Material Composing Design and Method Research and Application of Asphalt Overlay on Old Concrete Pavements [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2001: 45-50.
- [13] 邹桂莲,张肖宁,王绍怀. 应用冲击韧性评价沥青混合料抵抗反射裂缝能力的研究[J]. 公路, 2004 (10): 119-122.
ZOU Gui-lan, ZHANG Xiao-ning, WANG Shao-huai. A Study on Evaluating Ability for Resisting Reflective Cracking of Asphalt Mixture by Impact Ductility [J]. Highway, 2004 (10): 119-122.