

文章编号:1671-8879(2007)04-0018-05

## 土工织物在道路工程防裂中的应用

蒋应军<sup>1,2</sup>, 戴经梁<sup>1</sup>

(1. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064;

2. 东南大学 交通学院, 江苏 南京 210096)

**摘 要:**针对半刚性基层容易产生收缩裂缝的缺点,运用张紧的薄膜效应原理,分析了基层预锯缝处铺设的土工织物防裂夹层受力特性,研究了土工织物的防裂原理,并提出了带条土工织物防裂夹层的设计方法。在此基础上,对土工织物材料的技术要求、防裂夹层施工工艺进行了分析,并铺筑试验路进行了验证。结果表明,在半刚性基层预锯缝处合理地铺设一定宽度的土工织物,可以有效地延缓沥青面层反射裂缝的产生,并能阻止水渗入基层而减少唧泥破坏,从而可以大幅度提高沥青路面的耐久性。

**关键词:**道路工程;半刚性基层;沥青路面;预锯缝;土工织物;防裂

**中图分类号:**U416.217

**文献标志码:**A

### Application of geotextile in preventing reflection cracks in asphalt pavement

JIANG Ying-jun<sup>1,2</sup>, DAI Jing-liang<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. School of Transportation, Southeast University, Nanjing 210096, Jiangsu, China)

**Abstract:** The shrinking cracks often occur in the semi-rigid base course. This paper studied the prevention mechanism of geotextile against the reflection cracks in asphalt pavement and its design methods, analyzed the technique request of the geotextile materials and the construction technics, constructed a test road to validate the theoretical results. The results indicate that pre-cutting cracks in base course and putting geotextile on the cracks can greatly lighten or stay the reflection crack's producing in asphalt pavement on semi-rigid base course, and increase the durability of asphalt pavement. 1 tab, 4 figs, 10 refs.

**Key words:** road engineering; semi-rigid base course; asphalt pavement; pre-cutting crack; geotextile; prevention of reflection cracks

## 0 引 言

半刚性基层以其优良的工程性能和显著的经济效益在中国公路建设中得到广泛应用,然而,大量的

应用发现,半刚性基层具有较大的脆性,易产生裂缝,并扩展到沥青面层形成“反射裂缝”。鉴于此,中国不少科研、设计及施工单位对基层和面层防裂展开了研究,取得了一定的效果,其中基层预切缝是众

收稿日期:2006-07-10

基金项目:河南省交通科技项目(2004P221)

作者简介:蒋应军(1975-),男,浙江兰溪人,长安大学副教授,东南大学博士后,E-mail:jyj@gl.chd.edu.cn。



多防裂措施中效果较明显、施工单位应用较广的一种措施<sup>[1-8]</sup>。

然而基层锯缝后,锯缝虽有弹性填料填充,但从防水和受力方面来分析,依然是路面的最薄弱环节;另外,基层被切割后分成了许多小块,有损于整体性能。为了弥补这方面不足,可以在锯缝基层上铺设一定宽度的土工织物,起防渗层和隔离层的作用。前者可以在基层面层开裂的情况下防止水分进入基层,要达到这一目的,必须对施工工艺作出合理的设计和严格要求;后者是应用张紧的薄膜效应原理。由于土工织物在基层的预留缝处分隔了基层和沥青面层,因而可延缓面层反射裂缝的产生;另外在基层预留缝缝隙处,土工织物的延伸起到了吸收由轮载产生的应力集中作用,防止裂缝向上传播,从而减少了反射裂缝的产生<sup>[9-10]</sup>。

本文就带条土工织物防裂原理进行了研究,并提出带条土工织物防裂夹层的设计方法及对土工织物材料的技术要求,在此基础上提出了对土工织物防裂夹层的施工工艺和要求。

## 1 土工织物防裂夹层受力分析

### 1.1 基本假设

(1) 土工织物为各向同性的均匀材料。

(2) 铺设在预留缝间的土工织物在均匀的微小的压力  $p$  作用下,可以近似的认为其受张紧的薄膜效应的作用,且为平面应变问题,此时薄膜上各点将产生微小的挠度  $z$ 。

(3) 缝隙宽度为  $2b$ 。

(4) 土工织物因下陷变成的曲线为圆弧线,由此可知,土工织物最大垂度发生在  $x = b$  处,其挠度值为  $f$ 。

### 1.2 计算模型

力学计算模型如图1所示。

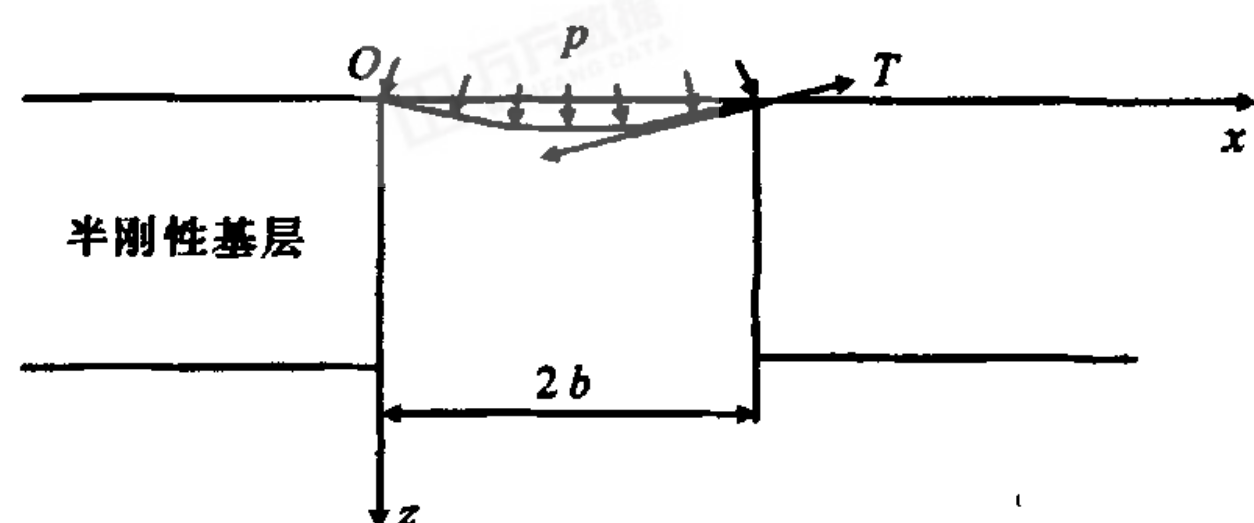


图1 力学计算模型

### 1.3 力学分析

设土工织物单位宽度内的张力为  $T$ ,考虑土工织物中边长为  $dx$  和  $dy$  的单元体的平衡。由图2可见,在  $AD$  边上的张力为  $Tdy$ ,在  $z$  轴上的投影为

$-Tdy \frac{\partial z}{\partial x}$ ;在  $BC$  边上的张力也是  $Tdy$ ,在  $z$  轴上的

投影为  $Tdy(\frac{\partial z}{\partial x} + \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} dx)$ 。单元体  $ABCD$  受总压力为  $pdx dy$ 。

于是由平衡条件有  $\sum z_i = 0$ ,有

$$-Tdy \frac{\partial z}{\partial x} + Tdy(\frac{\partial z}{\partial x} + \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} dx) + pdx dy = 0$$

整理后得

$$\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} = -\frac{p}{T} \quad (1)$$

由此微分方程可解得通解为

$$z = a_1 + a_2 x + a_3 x^2 \quad (2)$$

式中: $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$  均为系数。

同时,由图1可知边界条件为: $x = 0$  时, $z = 0$ ;  
 $x = 2b$  时, $z = 0$ ; $x = b$  时, $z = f$ 。

将以上边界条件代入式(1)、式(2)可解得

$$T = pb^2/2f \quad (3)$$

式中: $T$  为缝隙上土工织物所受的张力(kN/m);  
 $p$  为作用于土工织物上的压力(MPa); $2b$  为缝隙宽度; $f$  为缝隙处土工织物在荷载作用应力下产生的挠度(mm)。

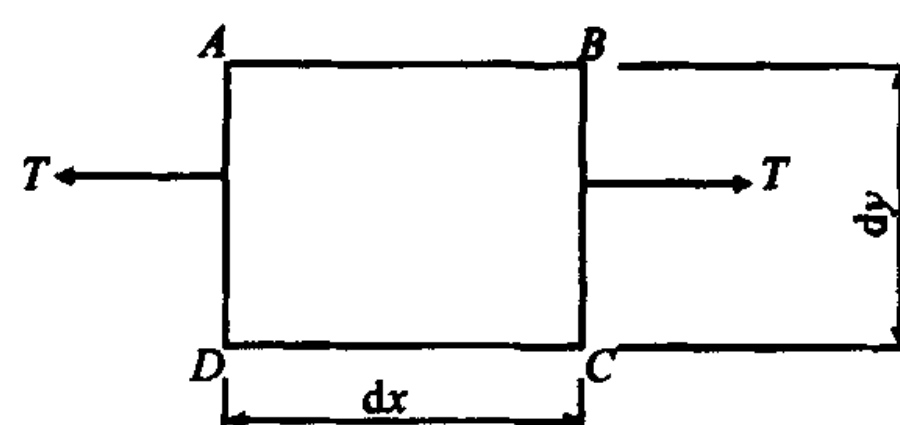


图2 土工织物计算单元体

### 1.4 挠度与织物延伸率的关系

根据圆曲线性质、缝隙宽度  $2b$  和织物延伸率  $\epsilon$  的定义,不难得到土工织物的延伸率与土工织物的垂度、缝隙之间的关系。

圆曲线半径  $r$

$$(r-f)^2 + b^2 = r^2 \Rightarrow r = \frac{f^2 + b^2}{2f}$$

织物延伸率  $\epsilon$

$f \leq b$  时

$$\epsilon = \frac{r \arcsin(b/r) - b}{b} \Rightarrow 1 + \epsilon = \frac{r}{b} \arcsin \frac{b}{r}$$

$f > b$  时

$$\epsilon = \frac{r(\pi - \arcsin(b/r)) - b}{b} \Rightarrow 1 + \epsilon = \frac{r}{b} (\pi - \arcsin \frac{b}{r})$$

将圆曲线半径  $r$  代入织物延伸率  $\epsilon$  可得

$$f \leq b \text{ 时, } 1 + \epsilon = \frac{f^2 + b^2}{2fb} \arcsin \frac{2fb}{f^2 + b^2}$$

$$f > b \text{ 时, } 1 + \epsilon = \frac{f^2 + b^2}{2fb} (\pi - \arcsin \frac{2fb}{f^2 + b^2})$$



因  $f$  的数值随织物延伸率  $\epsilon$  而变化,利用式(3)可得  $\epsilon \sim f/b$  之间的数值关系。挠度  $f$  可以绘制成图(图 3)。

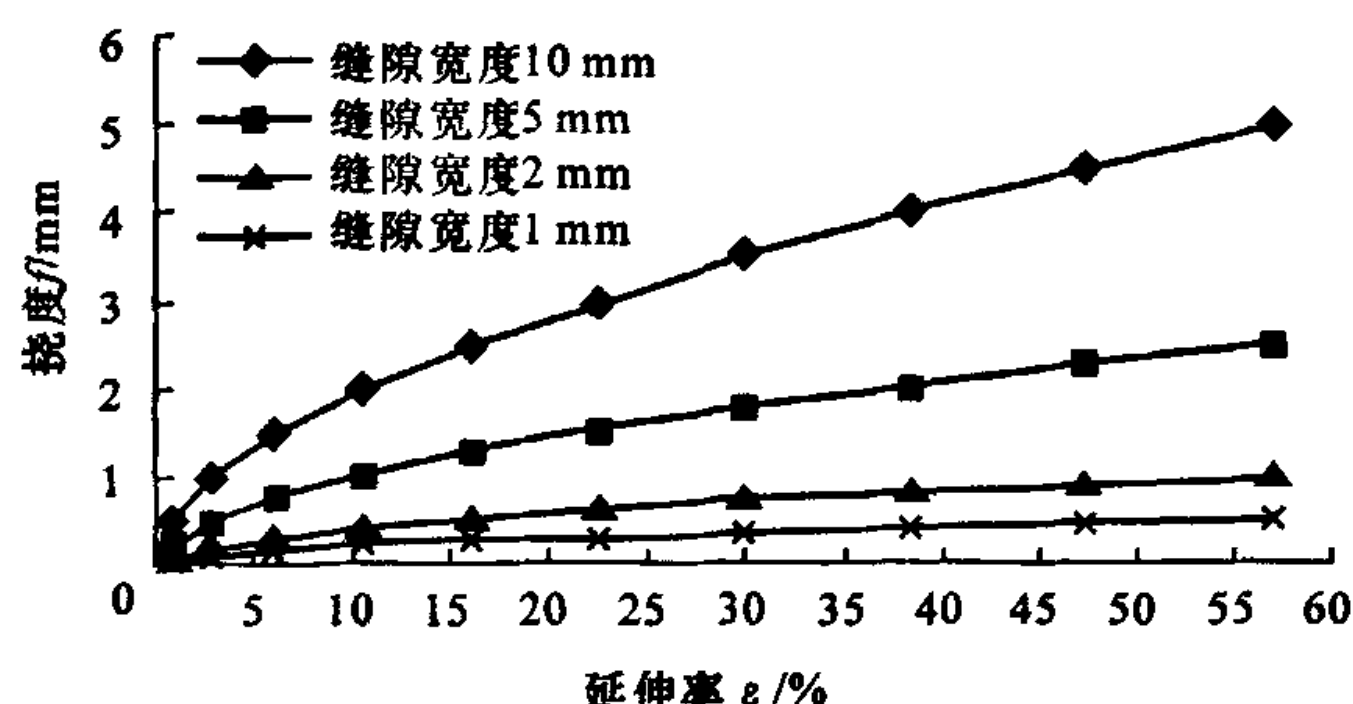


图 3 挠度与延伸率的关系

图 3 中曲线回归结果见表 1。

表 1 挠度与延伸率的关系回归公式

缝隙宽度 $2b/\text{mm}$	回归公式 $f = a\epsilon^c$		
	$a$	$c$	$R^2$
1	0.060 6	0.516 6	0.999 7
2	0.121 3		
5	0.303 2		
10	0.606 3		

由表 1 可知,4 条曲线经回归得出同样形式的方程,且系数之间为倍数关系,因而可以得出挠度与延伸率之间的回归公式为

$$f = 0.060\ 63L\epsilon^{0.516\ 6}, \quad R^2 = 0.999\ 7$$

式中:  $L$  为缝隙宽度  $2b(\text{mm})$ 。

因此,土工织物在缝隙上的张拉应力公式可以简化为

$$T = \frac{pb^2}{2f} = \frac{pb}{0.242\ 6\epsilon^{0.516\ 6}} \quad (4)$$

### 1.5 计算结果分析

BZZ-100 轮载下路表轮压为 0.7 MPa,经过面层应力的扩散作用,作用在基层土工织物上轮载应力已小于 0.7 MPa,其具体值与面层厚度有关。面层越厚,作用土工织物上的应力就越小。沥青面层厚度一般为 5~15 cm,本文算例分析暂取作用于土工织物上的应力为 0.65 MPa,分别计算缝隙宽度在 1、2、5、10 mm 的土工织物张拉抗力,其结果如图 4 所示。

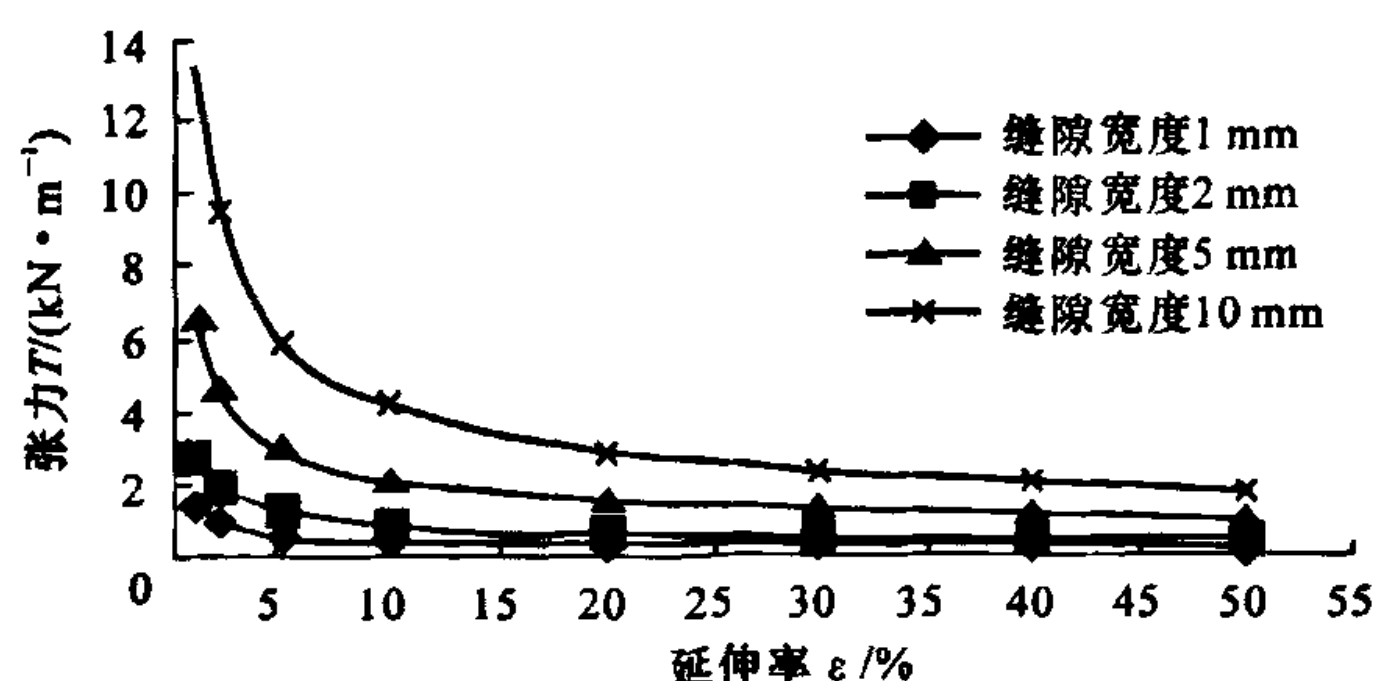


图 4 土工织物张力与延伸率的关系

由图 4 结果可以得到如下结论:

(1)在土工织物延伸率一定的情况下,其张力与缝隙宽度成正比。因此,如果基层设置预留缝,从保证土工织物能正常工作角度出发,预留缝必须进行填缝处理。

(2)延伸率  $\epsilon$  越小,对抑制沥青面层反射裂缝也就越明显(如  $\epsilon = 0$ ,也就是裂缝处的沥青面层在荷载作用下不发生挠度,那么此处也就不会存在应力集中,也就不可能发生反射裂缝)。但  $\epsilon$  越小,对土工织物的抗张拉性能要求也就越高。从图 4 可以看出织物延伸率在 10%~15% 附近,曲线急剧变化,从此向右曲线明显变缓,而在它的左侧坡度则急剧加大。根据上述曲线规律,设计的土工织物延伸率的合理取值应为 10%~15%。

(3)在保证抗拉强度满足要求的前提下,土工织物延伸率  $\epsilon$  越小其防裂效果越好。

## 2 带条土工织物设计

带条土工织物宽度的确定应该综合考虑经济性和施工方便性的原则。铺设在基层预留缝上的带条土工织物,在荷载与温度应力及其他一些因素最不利组合作用下,不丧失其应有功效所必备的最小宽度称为带条土工织物临界宽度  $L_0$ 。如果带条土工织物所取宽度  $L$  小于该临界宽度  $L_0$ ,则土工织物可能由于不能平衡荷载及温度综合作用下的变形而失效。在荷载与温度应力作用下,  $L_0$  的确定取决于带条土工织物不与基层、面层相脱离。也就是说,带条土工织物在粘层油提供的粘结力与沥青面层提供的重力产生一定摩阻力的综合作用下,能足以平衡外力作用而又能保证带条土工织物完好性及与基层面层的整体性。因此,影响  $L_0$  的因素有:土工织物质质量(如抗拉强度、良好的胶油吸附性等)、粘层油的粘结性、沥青面层的厚度及当地的交通情况和气候条件等。因此  $L_0$  取值应该因地制宜,可通过铺设一些试验路加以确定。根据施工经验,建议带条土工织物最小宽度不宜小于 60 cm,最好在 100 cm 左右。

## 3 土工织物技术要求

(1)防裂耐热性。热拌沥青混合料温度高达 150℃ 左右,要求土工织物在该温度下不仅不能熔化或软化,且能保持正常的工作。

(2)柔韧性。土工织物柔韧性用韧性与表面硬度两项特性来反映。韧性反映织物吸收冲击能量的能力,与温度、变形速度有关,常温下可以近似地认



为抗冲击强度(韧性)是材料的抗拉强度与延伸率的乘积。表面硬度表示抵抗压入物压陷能力的大小,即反映土工织物受局部荷载时的抗力。表面硬度可采用道路工程的 CBR 顶破试验测定,其技术指标的顶破强力为

$$R = kpF\Delta/d$$

式中: $R$  为土工织物设计顶破强力(N); $p$  为施加的荷载压力,取(0.6~0.65)MPa; $\Delta$  为模拟施工现场粒料顶破织物的变形数值(m); $d$  为 CBR 仪压柱的直径( $\Phi 50$  mm, 截面积 19.6 cm<sup>2</sup>), 计算单位  $d = 0.05$  m; $F$  为 CBR 仪压柱的截面积, 计算单位  $F = 0.001\ 96$  m<sup>2</sup>;  $k$  为安全系数, 一般取 2。

由此计算, 土工织物的设计顶破强力  $R$  应在 2 kN 以上。

(3) 吸附性。带条土工织物必须与基层粘结成整体时, 才能起到防渗和防裂作用。正常的施工步骤是先在开裂的基层或基层预留缝上均匀喷洒沥青粘层油, 再铺筑织物夹层, 然后在其上热铺沥青面层。故要求织物有良好的吸附能力, 在粘层油的作用下, 能很好的吸附在基层与面层间。

(4) 均匀性。土工织物由于制造工艺的原因, 机织织物纵向比横向的强力大得多, 无纺布则横向大于纵向。施工表明, 织物纵横向强力趋于一致, 才能保证其受力的均匀性。因此认为, 机织土工织物纵横向强力比不应大于 1.5; 无纺布纵横向强力比不应大于 1.2。

(5) 强度。织物的抗拉强度应满足式(4)要求。取缝宽 1 cm, 织物挠度 10%~15%,  $T = 3 \sim 4$  kN/m, 安全系数取 2, 则要求织物抗拉强度应大于 300~400 N/5 cm, 并具有抗刺破和抗胀破等强度要求。

(6) 耐久性。土工织物在路面使用年限内应保持正常的工作状态, 其耐久性包括抗磨损性、抗紫外线、抗化学和微生物侵蚀稳定性以及温度稳定性。除抗磨损性外, 其余均属老化问题。埋在面层下的织物, 其老化速度比暴露在空气中缓慢得多。因此只要在储存、运输和施工过程中注意保护, 如避免日光长时间的暴晒和高温, 织物不会在设计寿命期限内因老化而失效。

(7) 厚度。为了防止铺设土工织物后造成沥青面层不良负效应(沥青面层剥离破坏), 应对土工织物的厚度进行限制。据试验分析, 旧水泥混凝土加设沥青面层防反射开裂, 土工织物厚度要求小于 2.0 mm<sup>[4]</sup>。所以, 建议铺设在基层预留缝处的带条土工织物其厚度宜小于 2.0 mm。

## 4 工艺要求

(1) 清理基层。土工织物的使用效果与基层的处理情况密切相关, 在铺设前必须将基层上可能影响基层与土工织物结合的物质如封层料、污物、油脂彻底清除干净, 并将基层上的尖锐的部分予以铲除, 以免刺穿土工织物。

(2) 锯缝处理。用高压空气清除预留缝内的杂物, 采用沥青混合料(沥青及石粉混合料)填充。

(3) 喷洒沥青粘层。由于乳化沥青粘性好, 渗透性强, 可渗透水泥稳定碎石基层, 能与带条土工织物起到良好的粘结作用, 所以采用阳离子乳化沥青作为沥青粘层。施工时在乳化沥青温度不高于 70 ℃ 时进行喷洒, 喷洒量 (2~3) mL/m<sup>2</sup>, 也可以人工涂抹均匀, 喷洒沥青的纵横向范围要比土工织物各多出 5~10 cm。

(4) 铺设土工织物。要求平整无折皱, 在铺洒沥青粘层油后及时将带条土工织物对称铺设在基层预留缝上, 且在土工织物两端用铁钉固定。

(5) 沥青混合料摊铺、碾压。按热拌沥青混合料正常施工方法进行。

## 5 试验结果

### 5.1 修建试验路

(1) 观测基层预锯缝的反射率。基层分别按间距 10、12、14、16、18、20 m 6 种情况进行预锯缝处理, 铺筑沥青面层前对锯缝只进行填缝处理。试验路段选择在郑州—永安路商丘段。

(2) 土工织物的防裂效果。结合预锯缝措施, 基层按每隔 20 m 进行预锯缝, 对预锯缝进行填缝处理完毕后, 在其上铺设 60 cm 宽的带条土工布, 试验路段选择在平原路上, 采用法国布特雷丝土工布。

### 5.2 观测试验路

(1) 郑州—永安路试验段。郑州—永安路经过 5 个冬天后, 调查发现面层只在基层预锯缝处产生了反射裂缝, 其他路段均未发现裂缝, 也就是说基层按试验路确定的锯缝间距进行预锯缝时基层没有发生二次开裂现象。另外还有个别锯缝间距较短(如 10 m、12 m), 基层锯缝处面层也没出现反射裂缝。

(2) 平原路试验段。对经过 3 个冬天的平原路全长裂缝情况进行随机抽查。调查发现: 沥青面层产生的裂缝比较规则、整齐, 裂缝间距一般为 20 m 的倍数, 由此可推测, 沥青面层裂缝为反射裂缝, 其最大裂缝间距为 360 m, 最小裂缝间距为 20 m, 一般



裂缝间距为 60~100 m。

(3)在平原路试验段上进行了部分钻芯取样,发现施工时粘在基层切缝两侧的土工布有一侧已经与基层脱开了,从而使面层产生了反射裂缝。同时还发现,土工布对防止水分进入基层、消除水分对基层造成冲刷破坏起到了积极的作用。

## 6 结 语

(1)通过力学分析,提出了土工织物的防裂原理和带条土工织物防裂夹层的设计方法,结合试验路研究,提出了土工织物材料的技术要求及土工织物防裂夹层施工工艺和要求。

(2)通过理论分析和试验路研究表明,基层预锯缝可以延长基层开裂间距,从而减少了半刚性基层沥青路面的开裂率;基层预锯缝处铺设 60~100 cm 宽的土工布可以有效地防止或延缓面层反射裂缝的产生,同时土工布起到了防渗层的作用。

(3)“基层预锯缝+土工布”防裂效果显著,在道路工程中有广泛的应用前景。

### 参考文献:

### References:

- [1] 蒋应军. 水泥稳定碎石基层收缩裂缝防治研究[D]. 西安:长安大学,2001.
- [2] 刘晓曦,王硕太. 机场混凝土道面封缝材料疲劳性能[J]. 交通运输工程学报,2006,6(1):44-47.  
LIU Xiao-xi, WANG Shuo-tai. Joint sealant fatigue property of airport concrete pavement[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2006,6(1): 44-47.
- [3] 熊有言. 使用土工合成材料防止基层裂缝反射[J]. 国外公路,1999,19(2):45-47.  
XIONG You-yan. Application of geotextile preventing reflection cracks in semi-rigid base[J]. Journal of Abroad Highway,1999,19(2):45-47.
- [4] 方 帆. 土工布在旧水泥混凝土路面补强设计中的应用[J]. 公路交通科技,1999,12(1):27-29.  
FANG Fan. Application of geotextile in reinforcement of old cement concrete pavement[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development,1999,12(1):27-29.
- [5] Gaoclou H, Marchand J P, Mouraditis A. Analysis of cracking in pavements and the computation of the time of reflection [J]. Bulletin de Liaison de Laboratoires des Ponts et Chaussees, 1983, 125: 24-31.
- [6] 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 Geo-textile on stress of composite pavement structure[J]. China Journal of Highway and Transport,2006,19(1):28-31.
- [7] 蒋应军,薛 航,薛 辉,等. 半刚性基层预锯缝及铺土工布的路面防裂措施[J]. 长安大学学报:自然科学版,2006,26(2):6-9.  
JIANG Ying-jun, XUE Hang, XUE Hui, et al. Preventing cracks of asphalt pavement based on pre-cutting crack and paving geotextile at semi-rigid type base[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition,2006,26(2):6-9.
- [8] 王宏畅,黄小明,傅 智. 半刚性基层表面裂缝影响因素[J]. 交通运输工程学报,2005,5(2):38-41.  
WANG Hong-chang, HUANG Xiao-ming, FU Zhi. Influence factors on surface crack of semi-rigid base course[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering,2005,5(2):38-41.
- [9] 谢永利,俞永华,杨晓华. 土工格室在处治路基不均匀沉降中的应用研究[J]. 中国公路学报,2004,17(4): 7-10.  
XIE Yong-li, YU Yong-hua, YANG Xiao-hua. Application study of treating differential settlement of subgrade with geocell[J]. China Journal of Highway and Transport,2004,17(4):7-10.
- [10] 郑南翔,吴传海. 二灰碎石力学性能影响因素的灰色理论分析[J]. 长安大学学报:自然科学版,2004,24(5):20-23.  
ZHENG Nan-xiang, WU Chuan-hai. Mechanics performance for lime fly-ash broken stone mixture by gray theory[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition,2004,24(5):20-23.