

文章编号:1671-8879(2006)02-0006-04

# 半刚性基层预锯缝及铺土工布的路面防裂措施

蒋应军<sup>1</sup>, 薛 航<sup>2</sup>, 薛 辉<sup>2</sup>, 陈忠达<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. 开封市公路管理局, 河南 开封 475000)

**摘 要:**针对半刚性基层容易产生收缩裂缝,并容易导致面层产生反射裂缝的缺点,提出了“半刚性基层预锯缝+土工布”防裂措施,并分析了影响预锯缝间距的因素。通过力学分析,推导了不开裂基层锯缝间距和带条土工布设计方法,并铺筑了试验路进行验证。结果表明,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;在基层预锯缝处铺设 60~100 cm 宽的土工布可以有效防止或延缓面层反射裂缝的产生。

**关键词:**道路工程; 沥青路面; 半刚性基层; 预锯缝; 土工布; 反射裂缝; 防裂

**中图分类号:**U416.1 **文献标识码:**A

## Preventing Cracks of Asphalt Pavement Based on Pre-cutting Crack and Paving Geotextile at Semi-rigid Type Base

JIANG Ying-jun<sup>1</sup>, XUE Hang<sup>2</sup>, XUE Hui<sup>2</sup>, CHEN Zhong-da<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China;

2. Highway Administration Bureau of Kaifeng City, Kaifeng 475000, Henan, China)

**Abstract:** The shrinkage cracks often occur in the semi-rigid base course of asphalt pavement, which usually cause the reflection cracks on asphalt pavement. This paper puts forward a measure to prevent the cracks, this method is to pre-cut crevices on the semi-rigid base course and to put geotextile on those crevices. The design method of the crevices and geotextile is studied with mechanics analysis, a test road is constructed to verify this design method. The results show that pre-cutting crevices can effectively reduce the cracking of semi-rigid base course, putting down geotextile with 60~100 cm width on the crevices can prevent the reflection cracks on asphalt pavement. 1 tab, 6 refs.

**Key words:** road engineering; asphalt pavement; semi-rigid type base; pre-cutting crack; geotextile; reflection crack; prevention against reflection cracking

## 0 引 言

半刚性基层在中国公路基层中应用较为广泛。然而半刚性材料由于呈现较大的脆性,在应用中容

易产生裂缝,而且在行车荷载反复作用下容易扩展到沥青面层,形成“反射裂缝”。反射裂缝的存在,不仅使道路行驶质量下降,而且破坏了路面的整体性和连续性。随着雨雪水的浸入,在行车荷载反复作

收稿日期:2005-01-20

基金项目:河南省交通科技项目

作者简介:蒋应军(1975-),男,浙江兰溪人,工学博士。

用下,基层承受着极大的动水压力冲刷作用而掏空基层,加速了沥青路面的破坏<sup>[1-3]</sup>。

为了减少半刚性基层沥青面层反射裂缝、龟裂、网裂、坑槽等病害,国内外工程实践中都在半刚性基层采用预锯缝措施的应用实例。德国 1986 年设计规范规定,当沥青面层厚度 $\leq 14$  cm 时,不管基层厚度多大,只要基层抗压强度 $\geq 12$  MPa,基层必须预锯缝处理。前苏联有关规范指出,为了减少裂缝的破坏作用,避免薄沥青面层下水泥稳定土基层产生不规则的裂缝反射到沥青面层上,建议基层每隔 8~12 m 做一假缝,缝深 6~8 cm,缝宽 10~12 mm;锯缝后立即用沥青马蹄脂填缝,并对沥青面层产生的规则且较整齐反射裂缝也采用沥青马蹄脂填缝。但这些规定主要是根据一定时间内的实际工程观测为依据,缺乏从路面力学分析锯缝合理间距的理论依据。本文在对基层裂缝产生机理分析基础上,提出了预锯缝合理间距的确定方法,并提出通过在预锯缝处铺设带条土工布,使预锯缝只“停留”在基层而不扩展到面层形成反射裂缝,并给出带条土工布设计方法。此项研究成果可供工程实践参考<sup>[4-6]</sup>。

## 1 预锯缝间距的确定

### 1.1 影响锯缝间距的因素

(1)温度收缩应力(温缩应力)。由于大气温度和太阳辐射的周期性变化,致使基层产生较大的年温差。年温差引起的温缩应力是影响基层锯缝间距的重要因素。

(2)温度翘曲应力。在气温差较大的情况下,基层顶部温差幅度很大,而底部温差幅度相对较小,在最高气温与最低气温两个不同时刻形成的最大变温场而产生较大的温度翘曲应力。翘曲应力对基层锯缝间距的确定不是主要因素。

(3)干缩应力。由于水泥的水化和水分的蒸发,基层发生干燥收缩变形,当这种变形受到约束时便产生干缩应力。干缩应力不是控制锯缝间距的主要因素。

(4)荷载应力。荷载应力对基层锯缝间距的影响不明显。但是考虑到温缩应力、干缩应力以及翘曲应力与荷载应力一起形成综合因素时,荷载应力对基层锯缝间距确定就有影响。

本文重点对温缩应力和荷载应力进行分析。

### 1.2 温缩应力的计算

为便于分析和求解,做以下几点假设。

(1)基层材料与面层材料是符合线弹性体假设

的均匀、连续、各向同性的材料。

(2)基层与面层界面的位移约束力符合 Goodman 假设,即简化成平均的摩擦力,新的研究成果表明宜用抗剪强度表征,即阻力与位移成正比

$$\tau(x) = -k\Delta\mu(x) \quad (1)$$

式中: $k$  为剪切应力系数,负号表示剪应力方向与位移  $\Delta\mu(x)$  方向相反,其值可通过 LLM 系统测得。

(3)基层与土基(或底基层)为光滑接触。

(4)面层、基层在水平方向为无限大;设半刚性基层锯缝间距为  $2l$ 、厚为  $h_c$ ,在基层中间昼夜温差或季节性温差  $\Delta T$  的作用下,水泥稳定碎石基层受面层约束产生胀缩。基层平均温度的变化可以近似地以基层中间的温度变化作为计算参数。

基层最大温度胀缩应力为

$$\sigma_{c\max} = E_c \left[ c_2 - \frac{C^2}{A^2} c_3 B - \alpha_c \Delta T \right] = E_c \alpha_c \Delta T \cdot \left[ c'_2 - \frac{C^2}{A^2} c'_3 B - 1 \right] = k_c E_c \alpha_c \Delta T \quad (2)$$

式中: $c'_3 = -\frac{l}{\text{sh}(Bl) + (C^2/A^2)Bl \text{ch}(Bl)}$ ;  $c'_2 = -\frac{c'_3}{l} \text{sh}(Bl)$ ;  $C^2 = \frac{k}{E_c h_c}$ ;  $A^2 = \frac{k}{E_a h_a}$ ;  $B^2 = C^2 + A^2$ ;  $\Delta T$  为基层中间的温度变化; $E_c$  为基层模量; $\alpha_c$  为基层温度收缩系数; $h_a$  为沥青面层厚度。

### 1.3 荷载应力计算

应用静力分析法,对沥青面层、带预锯缝的基层、底基层和土基承受的荷载应力进行分析研究。计算结果表明,荷载应力引起的基层拉应力大小随面层模量、基层模量及面层厚度的变化成线性变化;而基层厚度、基层锯缝间距等因素对基层拉应力变化不敏感。因此在确定基层锯缝间距时,荷载应力可以结合具体的面层模量、厚度和基层模量,当作定值考虑。

### 1.4 不开裂基层锯缝间距的确定

基层承受行车荷载疲劳应力  $\sigma_P$ 、翘曲疲劳应力  $\sigma_t$  和昼夜性或季节性的温缩疲劳应力  $\sigma_T$ ,最不利的部位是基层预锯缝板长边缘底部中点。

最大翘曲应力  $\sigma_{t\max}$  通常出现在 6~7 月份,特别是在连阴雨之后;而最大温缩应力  $\sigma_{T\max}$  则出现在严冬 1 月份深夜,两者出现的时间不同。另外出现  $\sigma_{t\max}$  的时候, $\sigma_T$  值往往很小,有时甚至可能出现压应力,因为此时基层板块平均温度有可能高于施工养护初期的板块平均温度,所以在计算  $\sigma_t$  时可以忽略  $\sigma_T$  的影响;同样在计算  $\sigma_T$  时可以忽略  $\sigma_t$  的影响。考虑到沥青面层的隔温效应导致基层温度梯度不

大,所以可不考虑翘曲应力的影响。

当不同龄期半刚性基层抗弯拉强度能够平衡相应龄期内  $\sigma_P$ 、 $\sigma_T$  或  $\sigma_l$  的综合作用时,基层预锯缝板块才能在设计使用年限内不开裂,应满足

$$f(t) \geq \sigma_P + \sigma_T = \sigma_l \tag{3}$$

式中: $\sigma_P$  可按有限元计算;在计算  $\sigma_P$ 、 $\sigma_T$  或  $\sigma_l$  时要适当考虑相应疲劳作用系数; $\sigma_l$  为综合应力,即  $\sigma_l = \sigma_P + \sigma_T$ 。

由荷载应力分析可知,作用在基层锯缝间距中部的汽车荷载引起的基层最大拉应力一般在 0.2 MPa 左右。考虑到荷载反复作用以及其他因素的影响(如模型误差、计算误差等),引入安全系数  $K$ ,本文考虑各时期的不同交通量,取  $K \geq 1.0 \sim 2.0$ ,即取荷载引起的基层拉应力为 0.4 MPa 对锯缝间距进行分析计算。

根据式(3)用试算法求预锯缝临界间距,逐步选择锯缝间距  $L_0$ ,直到较大的  $\sigma_l$  和  $f(t)$  相比,其差异在 97%~103% 范围内,才可以认为符合设计要求。表 1 给出了温度胀缩应力、荷载应力和锯缝间距计算结果,表 1 中  $E_a = 1\,600\text{ MPa}$ ;  $\alpha_a = 20 \times 10^{-6}\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\mu_a = 0.25$ ;  $h_a = 0.1\text{ m}$ ;  $E_c = 1\,400\text{ MPa}$ ;  $\alpha_c = 10 \times 10^{-6}\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\mu_c = 0.20$ ,  $h_c = 0.2\text{ m}$ ; 剪切应力系数  $K = 100$ 。

- 表 1 的计算结果表明:
- (1)在施工养护初期,如果半刚性基层的抗拉强度  $f(t)$  很低,则  $f(t)$  是控制  $L_0$  值的主要因素,  $f(t)$  和昼夜温差  $\Delta T$  都对  $L_0$  值的影响极为敏感。例如 3 d 龄期的  $f(t) = 0.102\text{ MPa}$ ,此时  $\Delta T$  若能在适当养护措施下保持在  $5\text{ }^\circ\text{C}$ ,那么  $L_0$  取值可不受限制;如果  $\Delta T = 9\text{ }^\circ\text{C}$ ,则  $L_0$  降至 16 m;若  $\Delta T = 10\text{ }^\circ\text{C}$ ,则  $L_0$  降至 10 m。由此可见初期养护措施的重要性。
- (2)在一般情况下,路面设计年限末期的  $L_0$  计算值往往成为控制性的因素,因为随着交通量的增加,荷载疲劳作用增大,由荷载引起的基层拉应力逐渐增加,从而不得不以缩短锯缝间距来抵消荷载应力的增长。另外,计算结果也表明,高温期施工的基层锯缝间距值小于低温期施工的锯缝间距。
- (3)其他条件相同的情况下,南方地区冬季最低气温高于北方地区,故前者的基层锯缝间距可以略大于后者;同时大气环境相对湿度也高于北方,所以干缩的影响就更小。
- (4)季节性温差如在  $50\text{ }^\circ\text{C}$  左右,锯缝间距就为 20~30 m;季节性温差如在  $40\text{ }^\circ\text{C}$  左右,锯缝间距就为 40~60 m。

表 1 温度胀缩应力、荷载应力和锯缝间距计算结果

龄期/ d	$f(t)/$ MPa	$\sigma_P/$ MPa	$L_0/$ m	温度收缩应力					
				$\Delta T_1/$ $^\circ\text{C}$	$\sigma_T/$ MPa	$\Delta T_2/$ $^\circ\text{C}$	$\sigma_T/$ MPa	$\Delta T_3/$ $^\circ\text{C}$	$\sigma_T/$ MPa
7	0.28	0	8	10	-0.093 5	9	-0.084 1	5	-0.046 7
			12		-0.107 6		-0.096 8		-0.053 9
			16		-0.114 6		-0.103 1		-0.057 3
			20		-0.119 0		-0.107 1		-0.059 5
			30		-0.125 3		-0.112 7		-0.062 6
28	0.61	0.2	8	10	-0.093 5	20	-0.186 9	30	-0.280 4
			12		-0.107 6		-0.215 2		-0.322 8
			16		-0.114 6		-0.229 2		-0.343 8
			20		-0.119 0		-0.238 0		-0.356 9
			30		-0.125 3		-0.250 5		-0.375 8
90	0.86	0.3	8	20	-0.186 9	30	-0.280 4	40	-0.373 8
			12		-0.215 2		-0.322 8		-0.430 4
			16		-0.229 2		-0.343 8		-0.458 4
			20		-0.238 0		-0.356 9		-0.475 9
			30		-0.250 5		-0.375 8		-0.501 0
180	1.01	0.4	8	30	-0.280 4	40	-0.373 8	50	-0.467 3
			12		-0.322 8		-0.430 4		-0.538 0
			16		-0.343 8		-0.458 4		-0.573 0
			20		-0.356 9		-0.475 9		-0.594 9
			30		-0.375 8		-0.501 0		-0.626 3

1.5 基层锯缝时间的确定

采用预锯缝基层及时锯缝,使基层有规则的断开,以释放基层内的温缩应力,是防止基层养生阶段开裂的最有效的措施。如锯缝太早,因强度不足,缝槽被锯缝机打成不规则的毛边;如锯缝太晚,基层在早期温变下裂缝已经形成,造成开裂。因此,提出合理的确定锯缝时机的方法就显得比较重要。

比较养生阶段基层强度与温缩应力的变化,当温缩应力大于基层抗拉强度时就有可能在养生阶段发生开裂,这是确定基层锯缝时机的依据。

2 带条土工布防裂设计

- (1)在土工织物延伸率  $\epsilon$  一定的情况下,其抗力与缝隙宽度成正比,因此在基层设置预锯缝,保证土工织物,从正常工作角度出发,预锯缝必须进行填缝处理。
- (2) $\epsilon$  越小,对抑制沥青面层产生反射裂缝效果越明显; $\epsilon$  越小,对土工织物的抗张拉性能要求就越高。根据力学分析,设计的土工织物延伸率宜取  $\epsilon = 10\% \sim 15\%$ 。
- (3)在保证土工织物抗拉强度满足要求的前提下, $\epsilon$  越小,其防裂效果越好。

(4)确定带条土工织物宽度应该综合考虑经济性和施工方便性。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不利因素共同作用下,不丧失其应有功效所必须具备的最小宽度为 $W_0$ 。如果带条土工织物所取宽度 $W$ 小于 $W_0$ ,那么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。 $W_0$ 的确定取决于在荷载与温缩应力共同作用下带条土工织物不与基层、面层相脱离。影响 $W_0$ 的因素有土工织物质量(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、当地的交通情况和气候条件等。因此 $W_0$ 取值应因地制宜,可通过铺设一些试验路加以确定。根据已有工程经验,建议带条土工织物最小宽度不小于80 cm,最好在100 cm左右。

### 3 试验段使用效果分析

河南省商临路的水泥稳定碎石基层于1999年8月底施工完毕,基层不锯缝。河南省郑永路于1996年9月底建成通车,在基层施工时按10、12、14、16、18、20 m进行了预锯缝,缝深6 cm,铺筑沥青面层前用沥青对预锯缝进行灌缝处理。河南省平原路于1999年5月底完成水泥稳定碎石基层的施工,在基层碾压成型后进行了横向切缝,缝距为20 m,同时进行灌缝,并采用30 cm的土工布封缝。土工布施工时先在基层横缝两侧洒粘层油,然后将土工布借助粘层油铺筑在横向裂缝上。

商临路经过4个冬天,平均开裂间距为12.4 m。郑永路经过7个冬天,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的产生,个别锯缝间距较短(如10、12 m)的基层锯缝处面层也没出现反射裂缝。平原路经过4个冬天,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。由此可以推测沥青面层裂缝为反射裂缝,其最大裂缝间距360 m,最小裂缝间距为20 m,一般裂缝间距在60~100 m间。在平原路反射裂缝处进行了钻芯取样,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。另外,芯样还表明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。

### 4 结 语

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;而基层预锯缝处铺设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,同时起到了防渗层的作用。由于“基层预锯缝+土工布”具有显著的防裂效果,因此在道路工程中将会得到广泛的应用。

#### 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.  
JIANG Ying-jun. The Prevention and Cure Measures of the Shrinkage Crack of the Cement Stable Crushed Stones Base Course[D]. Xi'an: Chang'an University, 2001.
- [2] 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 Geocel[J]. China Journal of Highway and Transport, 2004,17(4):7-10.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 熊有言. 使用土工合成材料防止基层反射裂缝[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 A-broad Highway, 1999,19(2):45-47.
- [6] 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 Old Cement Concrete Pavement strengthening Design[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 1999,12(1):27-29.