

文章编号:1671-8879(2006)05-0026-04

# 土工格栅加筋半刚性基层材料的抗弯拉强度试验

王亚玲, 周玉利

(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)

**摘要:**针对半刚性基层易开裂的缺点,提出了在半刚性基层材料下加铺土工格栅的防裂措施。利用 MTS810 材料试验机,采用三分点加载方式,进行了土工格栅加筋半刚性基层材料的抗弯拉强度及弯拉模量的力学性能的室内模型试验研究,并铺筑了试验路进行验证。结果表明:土工格栅的加入扩散了半刚性基层底面的弯拉应力,有效延缓了荷载型裂缝的发生,提高了路面的承载能力;可使半刚性基层的临界应变值提高 18%,改善了半刚性基层的变形能力,特别对延缓半刚性基层的温缩裂缝尤为有利。

**关键词:**道路工程;半刚性基层;土工格栅;加筋;弯拉

中图分类号:U414.18 文献标识码:A

## Anti-flexural-tensile strength test of semi-rigid type base course materials reinforced by geogrid

WANG Ya-ling, ZHOU Yu-li

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

**Abstract:** The cracks often occure in the semi-rigid base course of asphalt pavement, so this paper puts forward a measure to prevent the cracks, this method is to put geogrid under semi-rigid base course. An experiment is carried out with one-third loading method, the mechanical performance of the strength and the modulus of flexural-tensile of geogrid reinforcement semi-rigid type base course materials is studied through MTS810 test equipment, a test road is constructed to verify the design method. The results show that the application of geogrid can sprend the flexural-tensile stress of the bottom of semi-rigid subgrade, the asphalt pavement bearing capacity is increased, the loading cracks is effectively prevented, the critical strain can be increaseed 18%, the deformation of semi-rigid type base is improved, it is also good in preventing the thermal cracks of the semi-rigid subgrade. 4 tabs, 5 figs, 7 refs.

**Key words:** road engineering; semi-rigid base course; geogrid; reinforcement; flexural-tensile

## 0 引言

半刚性基层沥青路面具有良好的力学性能和行

车舒适性,因而得到广泛应用,成为现代高等级公路路面的主要类型。中国早期修建的公路,多为二级公路,随着服役时间的增加,汽车荷载和环境因素的

收稿日期:2005-09-23

基金项目:河南省交通科技项目(200521601)

作者简介:王亚玲(1966-),女,安徽颍上人,副教授,硕士。

综合作用,尤其是超载、超重车辆增多,致使许多道路出现严重的路面病害,其主要原因是 对老路面的病害处理不够彻底。在此基础上对旧路进行翻修、改造并较好地保证路面的使用性能已成为一个技术难点。因此,探讨切实有效的技术措施防止或延缓半刚性基层开裂,延长半刚性基层沥青路面使用寿命,具有很重要的现实意义。为了解决这些问题,国外已经有许多工程采用加筋技术来提高路面的性能,国内也正在积极进行这方面的研究工作<sup>[1-5]</sup>。本文通过室内试验,进行了加铺土工格栅半刚性基层

材料梁的抗弯拉强度试验,探究土工格栅加筋半刚性基层材料的力学性能,并论证其对半刚性基层材料的抗弯拉强度及弯拉模量的影响。

## 1 土工格栅的性能指标

土工格栅 (geogrid) 是聚合物材料经过定向拉伸形成的具有开孔网格、较高强度的平面网状材料。本文选用了郑州华瑞塑胶有限公司生产的 SN280 土工格栅,在长安大学材料力学实验室进行了试验,为理论计算提供了力学参考。其力学参数见表 1。

表 1 土工格栅力学参数

指 标		$P_f$ 的均值/N	标准差/N	变异系数	拉直值/N	抗拉强度/( $\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$ )	刚度/( $\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$ )	刚度模量/MPa
横向宽条拉伸	$F(2\%)$	222.13	27.65	12.45	225.60	1 691.70	84 587.40	325.00
	$F(5\%)$	424.23	49.04	11.56	429.80	3 224.20	64 484.20	252.00
	$F_{\max}$	1 194.50	29.46	2.47	1 195.20	8 964.20	—	—
纵向宽条拉伸	$F(2\%)$	341.70	27.82	8.14	341.70	2 092.91	104 645.00	524.00
	$F(5\%)$	594.66	51.31	8.63	594.66	3 642.29	72 845.80	364.00
	$F_{\max}$	1 374.50	101.00	7.35	1 374.50	8 418.80	—	—
横向窄条拉伸	$F(2\%)$	41.64	9.67	1.54	41.79	1 253.62	62 680.90	241.00
	$F(5\%)$	84.85	14.76	17.39	87.42	2 622.50	52 450.00	202.00
	$F_{\max}$	469.00	82.85	17.67	483.64	14 509.00	—	—
纵向窄条拉伸	$F(2\%)$	50.69	12.57	24.81	53.81	1 318.26	65 912.80	330.00
	$F(5\%)$	107.43	26.29	24.47	113.86	2 789.55	55 791.10	279.00
	$F_{\max}$	500.38	146.32	29.24	543.16	13 307.50	—	—
单根拉伸试验	$F(2\%)$	50.40	8.21	16.28	51.74	2 276.38	113 819.10	438.00
	$F(5\%)$	101.70	13.39	17.24	104.01	4 576.38	91 527.50	405.00
	$F_{\max}$	184.38	23.38	12.68	187.34	8 242.93	—	—

## 2 原材料及最大含水量、最大干密度

### 2.1 原材料

#### 2.1.1 水泥

水泥采用陕西耀县水泥厂生产的秦岭牌 325<sup>#</sup> 普通硅酸盐水泥。检验结果见表 2。

表 2 水泥技术性能指标

指 标	筛余量/%	初凝时间/min	终凝时间/min	3 d 强度/MPa	
				抗压	抗折
测定值	0.74	189	266	353	42

#### 2.1.2 碎石的级配

按《公路工程集料试验规程》(JTJ058-94),“路面基层及底基层用集料规格”要求,结合土工格栅的孔径等物理参数,进行了级配调整,碎石级配见表 3。

表 3 碎石级配

项目	通过下列筛孔(mm)的质量百分率							
粒径/mm	31.50	26.50	19.00	9.50	4.75	2.36	0.60	0.075
通过范围/%	100	90~100	72~89	47~67	29~49	17~35	8~22	0~7
通过率/%	100.0	95.0	80.5	57.0	39.0	26.0	15.0	3.5

考虑到混合料与土工格栅材料的粘结性能,同时参考《公路路面基层施工技术规范》(JTJ034 - 2000)的规定,取水泥用量为 5%。

### 2.2 最佳含水量、最大干密度

本次试验按照《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTJ057-94)中有关规定进行,采用重型击实标准,试验得出混合料最佳含水量与最大干密度曲线(图 1)。最后确定出最佳含水量为 5.5%,最大干密度为 2.34 g/cm<sup>3</sup>。

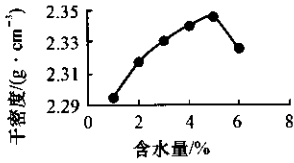


图1 混合料干密度-含水量曲线

3 试验结果与分析

3.1 试验结果

利用 MTS810 材料试验机,对 14 d 的水泥稳定碎石梁进行弯拉试验,采用三点加载方式,其中土工格栅置于梁的底面,支距为 300 mm ,纯弯曲段为 100 mm,排除了剪力的影响,保证梁式试件底面有一段弯矩相等的均匀受拉区。对加格栅与未加格栅各 5 根梁进行平行试验,如图 2 所示。

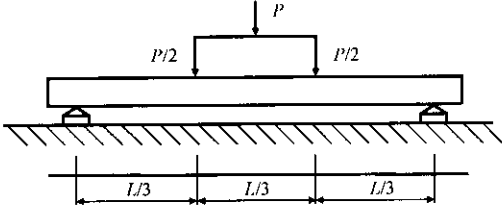


图2 抗弯拉强度试验示意图

在弯曲试验过程中,随着荷载的不断增加,在梁的纯弯矩段不断出现裂缝,随着裂缝扩展,挠度的增长较开裂前快,没有加格栅的梁裂缝扩展很快,在 20~85 s 内就贯穿了整个界面,随即梁失去承载能力,表现为脆性破坏。加格栅的梁裂缝也出现在梁跨中受拉区的底面,但裂缝出现的时间会延迟5~8 s,且裂缝扩展速度较缓慢,梁仍能承受一段时间荷载,在 30~100 s 时裂缝最终贯穿整个界面,失去承载能力。

3.1.1 抗弯拉强度、破坏应变、抗弯拉模量计算

(1)梁试件的抗弯拉强度  $R_w$  为

$$R_w = \sigma_{\max} = \frac{PL}{bh^2} = 0.000\ 3P \tag{1}$$

式中: $R_w$  为抗弯拉强度; $\sigma_{\max}$  为跨中截面应力; $P$  为试件破坏时最大压力; $L$  为跨径(300 mm); $h$ 、 $b$  分别为试件高度、宽度(100 mm)。

(2)跨中弯拉应变  $\epsilon_B$  为

$$\epsilon_B = \frac{4hd_B}{L^2} = \frac{9hd_{1/3}}{2L^2} \tag{2}$$

式中: $\epsilon_B$  为跨中弯拉应变; $d_B$  为跨中挠度; $d_{1/3}$  为加力点处的挠度。

(3)抗弯拉模量。由水泥混凝土抗折弹性模量,经材料力学换算得三点加载施力点挠度抗弯拉回弹模量  $E$  为

$$E = \frac{23PL^3}{1\ 458Jf_{1/3}} \tag{3}$$

式中: $E$  为抗弯拉弹性模量(MPa); $J$  为试件断面转动惯量,  $J = \frac{bh^3}{12}$  (mm<sup>4</sup>); $f_{1/3}$  为跨径 1/3 处的挠度。

3.1.2 试验结果

对 5 个加格栅与未加格栅水稳碎石梁进行弯曲拉伸试验,数据整理见表 4。

表4 水稳碎石基层材料力学参数统计

项目	$R_w$ /MPa	$\epsilon_B/10^{-3}$	$S_B$ /MPa	$E$ /MPa	$C_v/\%$
无格栅	0.79	2.83	259	221	7.1
有格栅	0.84	3.45	216	178	5.4

注: $S_B$  为弯曲劲度模量; $C_v$  为变差系数。

3.2 结果分析

3.2.1 抗弯拉强度、破坏应变、抗弯拉模量

从表 4 可以看出:①未加格栅水稳碎石基层材料的抗弯拉强度为 0.79 MPa;加格栅的水稳碎石基层材料抗弯拉强度为 0.84 MPa,抗弯拉强度提高了 6%~8%。由此肯定了土工格栅对半刚性基层的增强作用,说明土工格栅的加入扩散了半刚性基层底面的弯拉应力,提高了路面的承载能力,能延缓荷载型裂缝的发生。②加格栅与未加格栅的临界应变值  $\epsilon_B$  显示,格栅的加入使半刚性基层的临界应变值提高了 18%。可见,土工格栅的加入可以增加半刚性基层材料的临界应变,改善了半刚性基层的变形能力,对延缓半刚性基层的温缩裂缝尤为有利。③土工格栅的加入使半刚性基层材料的抗弯拉模量降低了 19.5%,表明半刚性基层材料的回弹模量越小,半刚性层底面拉应力越小,所以半刚性基层底面加铺土工格栅能减小基层底面的弯拉应力,从而有效地防止半刚性基层的开裂。

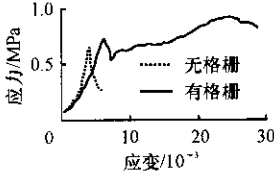


图3 无格栅与有格栅应力-应变曲线

3.2.2 应力-应变曲线

由图 3 的应力-应变曲线可见:

(1)加载初期未达到抗弯拉强度前,加格栅与未加格栅半刚性基层材料的应力应变接近直线变化,未加格栅的梁应力增长较加格栅的快。这是因为土工格栅网格与周围的基层材料通过“咬合”、“嵌挤”相互作用抵消了一部分拉应力,所以应变比未加格

栅的增长缓慢。

(2)应力达到半刚性材料的极限拉应力后,未加格栅的梁应力迅速下降,失去承载能力;而加格栅的梁在达到半刚性基层材料的极限拉应力时梁底面出现裂缝,应力瞬间下降,随即由格栅承受拉应力。随着荷载的增加,土工格栅的应力应变不断增加,呈线形增长,当增加到格栅的抗拉强度后土工格栅的个别肋出现颈缩,梁的挠度急剧增加,裂缝向上扩展,但格栅的应力还在不断地增加。

(3)加格栅半刚性基层材料在出现裂缝及裂缝的扩展阶段,由于格栅的存在,应力会继续增长,使半刚性基层材料表现出一定的延性,使基层在出现裂缝的初期不会很快失去承载能力,更能很好地适应不均匀沉降及温度变化情况。

### 3.2.3 弯曲加载过程分析

为了进一步搞清土工格栅对水稳碎石基层的加筋作用,绘制了  $\sigma \sim t$ 、 $\epsilon \sim t$  曲线图(图4、图5)。

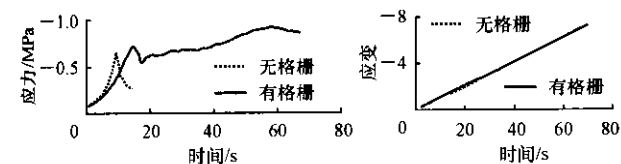


图4 应力-时间曲线图

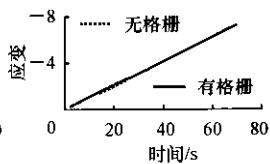


图5 应变-时间曲线图

由图4、图5可以看出:

(1)土工格栅的加入不但提高了半刚性基层的破坏应力,且达到最大应力的时间比未加格栅的延长了近1倍。依此推算,加入土工格栅可以成倍地延长半刚性基层沥青路面荷载破坏的时间。

(2)由图5可见,格栅的加入延长了半刚性基层材料达到破坏应变的时间,没有加格栅的半刚性基层材料在很短时间内达到破坏应变属于脆性破坏。而加格栅半刚性基层材料破坏应变较未加格栅的大,时间延迟,使半刚性基层材料由脆性破坏向延性破坏过渡,延长了路面使用寿命。

## 4 结 语

(1)土工格栅对半刚性基层具有增强作用,土工格栅的加入扩散了半刚性基层底面的弯拉应力,提高了路面的承载能力,能延缓荷载型裂缝的发生。

(2)土工格栅的加入可以增加半刚性基层材料的临界应变,改善了半刚性基层的变形能力,对延缓半刚性基层的温缩裂缝尤为有利。

(3)由于土工格栅的存在,使半刚性基层材料由脆性破坏向延性破坏过渡,延长了路面使用寿命。半刚性基层具有一定的延性,可以使基层在出现裂

缝的后期不会很快失去承载能力,能更好地适应不均匀沉降及温度变化。

### 参考文献:

### References:

- [1] 王亚玲,张尚昆,颜祖兴,等. 土工格栅加筋水泥稳定碎石材料的疲劳试验[J]. 长安大学学报:自然科学版,2006,26(2):18-21.  
WANG Ya-ling, ZHANG Shang-kun, YAN Zu-xing, et al. Fatigue test of cement stabilization macadam in geogrid[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2006, 26(2): 18-21.
- [2] 谢永利,俞永华,杨晓华. 土工格栅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.
- [3] 王亚玲,孙建民,周玉利. 土工格栅在旧路改建中的应用[J]. 公路交通科技,2005,22(3):67-69.  
WANG Ya-ling, SUN Jian-min, ZHOU Yu-li. Application on geogrid in reconstruction of pavement[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2005, 22(3): 67-69.
- [4] 余巍伟,胡毅夫,谢正文. 土工格栅在旧路改造中的应用[J]. 西部探矿工程,2005,(12):238-240.  
YU Wei-wei, Hu Yi-fu, XIE ZHeng-wen. Application on geogrid in reconstruction of pavement[J]. West-China Exploration Engineering, 2005, (12), 238-240.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] JTJ058-94. 公路工程集料试验规程[S].  
JTJ058-94. Test specification for aggregate in highway engineering[S].