

文章编号:1001-7372(2004)03-0006-04

无纺土工织物透水与反滤性能的试验研究

王 微¹, 丁志勇², 郭忠印³, 张海涛¹, 罗 强²

(1. 东北林业大学 土木工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150040; 2. 贵州省交通规划勘察设计研究院, 贵州 贵阳 550001; 3. 同济大学 道路与交通工程系, 上海 200092)

摘 要:为了评价目前中国有关土工织物测试规范中规定的试验方法的适用性,对无纺土工织物的透水与反滤性能进行了试验研究。研究采用正交试验等方法对无纺土工织物的物理和水力学性能参数进行了测试,通过统计分析,得出了其水力学参数之间的相关关系,分析了土类、织物厚度、水力梯度和渗透系数等因素对其反滤性能的影响,初步推荐了对公路土工织物进行分类的指标及数值和其满足滤层要求的设计标准。

关键词:道路工程;无纺土工织物;正交试验;透水与反滤性能;垂直渗透系数;梯度比

中图分类号:U414.1 **文献标志码:**A

Test research on penetrative and filtration properties of nonwoven geotextile

WANG Wei¹, DING Zhi-yong², GUO Zhong-yin³, ZHANG Hai-tao¹, LUO Qiang²

(1. School of Civil Engineering, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China;
2. Communications Planning and Prospecting Design Academy of Guizhou Province, Guiyang 550001, China;
3. Department of Road and Traffic Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: In order to evaluate the applicability of the test methods of geotextile which are prescribed in domestic test standards, authors conduct test researches on penetrative and filtration properties of nonwoven geotextile. By adopting orthogonal test method etc, authors test the parameters of physical and hydraulic properties of nonwoven geotextile. Through statistical analysis, authors arrive at interrelated relationships of the hydraulic parameters, analyze the influences of some factors on filtration properties, which include kinds of soil, thickness of fabric, hydraulic gradient and coefficient of permeability. Finally, authors preliminarily recommend the classified index and the numerical value of road geotextile, and also the design standard which meets with the requirement of the filtration lay.

Key words: road engineering; nonwoven geotextile; orthogonal test; penetrative and filtration property; vertical coefficient of permeability; gradient ratio

0 引 言

土工织物为透水性合成材料。在公路防排水系统中,土工织物占有重要的位置。如果土工织物

的性能达不到设计要求,将会使积滞在公路界内的水难以排出,加速产生许多路基路面及边坡等的病害,因而严重影响公路的使用功能,并有可能造成大规模路面水毁,中断交通。因此,充分研究土工织物

收稿日期:2003-08-02

基金项目:国家西部交通建设科技项目(2001 318 00030)

作者简介:王 微(1977-),女,黑龙江哈尔滨人,工学硕士研究生. E-mail:willie_weiwang@yahoo.com.cn

的水力学性能有着非常重要的意义。

土工织物按制作方法分为无纺土工织物和有纺土工织物。笔者是针对无纺土工织物进行透水与反滤性能的试验研究。试验研究的目的是评价目前中国有关土工织物的测试规范中规定的试验方法的适用性,在此基础上测定土工织物的性能参数。

1 试验材料

为了取得比较全面的无纺土工织物防排水性能的试验结果,从 4 个不同生产厂家取了 5 种具有代表性的无纺土工织物进行试验(包括热熔型土工织物和针刺型土工织物两大类),并分别以 1#、2#、3#、4#、5# 来表示 5 种无纺土工织物,其中热熔土工织物为 1#、2#、5#,针刺土工织物为 3#、4#。在进行透水性能试验之前,测定了土工织物的物理特性,如表 1 所示。

2 试验方法

目前中国有关土工织物的测试规范主要有以下 3 本:《中华人民共和国国家标准——土工合成材料》(GB/T 17630~17642-1998)、《公路土工合成材料试验规程》(JTJ/J 060-98)、《土工合成材料测试规程》(SL/T 235-1999)。笔者主要依据后两本规范中的试验方法进行研究。

2.1 透水性能试验方法^[1]

测定土工织物的透水性能采用垂直渗透仪。试验时,将饱和试样装入渗透仪,调节进水口和出水口的高度,造成上下游一定的水位差,在保持常水头的情况下,接取一定时间内的渗透水量并测记水温,最后计算出垂直渗透系数。

2.2 反滤性能试验方法^[2]

反滤性能试验采用梯度比试验方法。梯度比试验装置与土工试验的粗颗粒垂直渗透仪类似。仪器为一透明圆筒,壁上设有测压管,把被保护土样及织

物试样放入筒内,将常水头脱气水接通渗透仪。从渗流量及各测压管水位、各层水力梯度及渗透系数的变化情况,测定土工织物的梯度比值,来检验土工织物的透水性变化,进而判断其淤堵程度。

为了使梯度比试验更趋合理,在试验时做了以下几点改变:

- (1)为了消除垂直水流的冲击作用,在 10 cm 的土柱上方铺置了 3~5 cm 的玻璃珠。
- (2)在土柱和透明圆筒中间放置了一层不锈钢筛网,并根据不同种土的粒径大小选择不同的筛孔尺寸,以防止试验土被水冲入连接测压管的软管内。
- (3)用凡士林将试验装置的上下部分密封。
- (4)在铜丝网下方放置了起支撑土柱和织物试样作用的玻璃珠,但不宜太满,以免顶破织物试样。

3 透水性能试验分析

3.1 垂直渗透系数—水力梯度关系试验

20℃时垂直渗透系数—水力梯度关系试验结果如图 1 所示。

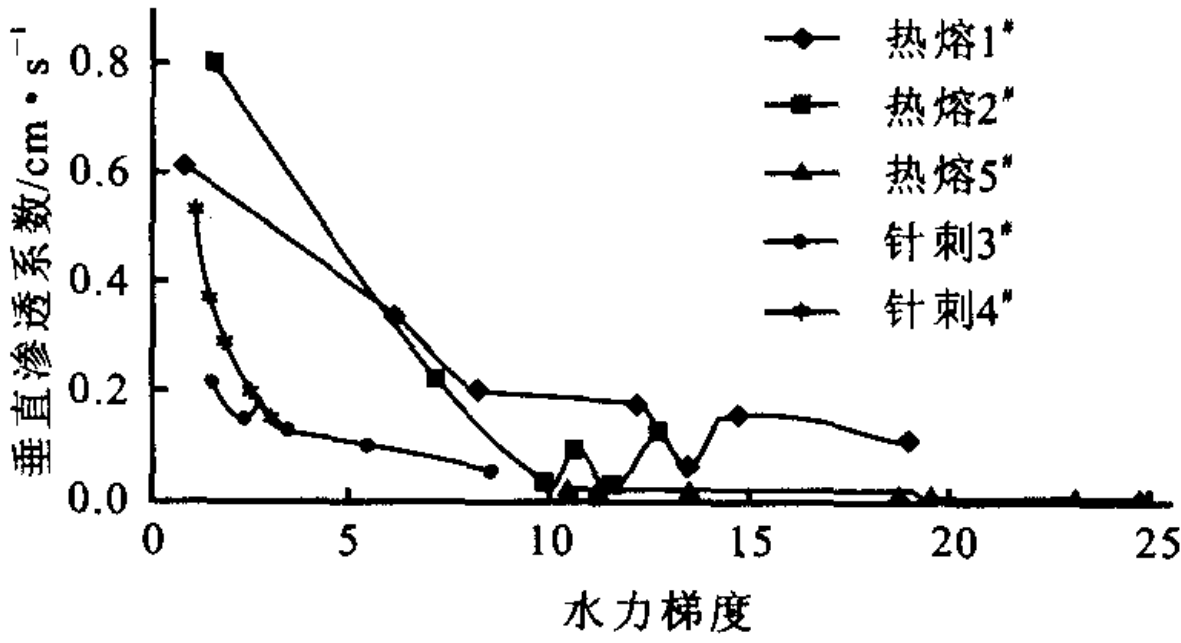


图 1 垂直渗透系数—水力梯度关系曲线

Fig. 1 Relation curves of vertical coefficient of permeability and hydraulic gradient

通过对图 1 进行分析可知:无纺土工织物的垂直渗透系数随着水力梯度的增大而减小。

3.2 透水性能参数试验结果与分析

3.2.1 试验结果

各项透水性能参数的试验结果如表 1 所示。

表 1 物理和透水性能参数试验结果

Tab. 1 Test result of parameters of physical and penetrative properties

织物型号		单位面积质量/ $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$	厚度/mm			孔隙率/%			垂直渗透系数/ $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$			等效孔径/mm
			2 kPa	20 kPa	200 kPa	2 kPa	20 kPa	200 kPa	1 层	2 层	3 层	
热熔	1#	100	0.396	0.340	0.297	72.2	67.7	63.0	0.244	0.326	0.274	0.296
	2#	150	0.62	0.55	0.50	73.4	70.0	67.0	0.212	0.180	0.179	0.247
	5#	302.83	0.67	0.55	0.53	54.0	44.0	41.9	0.012	0.022	0.040	0.185
针刺	3#	292.51	2.57	1.97	1.21	89.1	85.7	76.8	0.143	0.132	0.592	0.196
	4#	387.75	3.51	2.81	1.55	93.8	92.2	85.9	0.342	0.431	0.925	0.144

3.2.2 垂直渗透系数—织物铺置层数关系分析

针刺土工织物的垂直渗透系数随着织物试样铺置层数的增多而增大;随着织物试样铺置层数的增多,有的热熔土工织物的垂直渗透系数减小,有的增大,有的则先增大后减小,没有统一的变化规律。当单位面积质量为 300 g/m² 左右时,无论铺置几层织物试样,针刺土工织物的垂直渗透系数都远远大于热熔土工织物的垂直渗透系数。

3.2.3 透水性能参数之间的相关关系分析

(1)热熔土工织物的垂直渗透系数随着单位面积质量和厚度的增大而减小,随着等效孔径的增大而增大;当孔隙率增大时,其垂直渗透系数先增大后减小。

针刺土工织物的垂直渗透系数随着单位面积质量、厚度和孔隙率的增大而增大,随着等效孔径的增大而减小。

(2)无纺土工织物的等效孔径随着单位面积质量和厚度的增大而减小,其中等效孔径与单位面积质量近似呈线性关系,其回归公式为^[3]

$$y = -0.000\ 5x + 0.334\ 9 \quad (R^2 = 0.976\ 2) \quad (1)$$

针刺土工织物的等效孔径随着孔隙率的增大而减小;随着孔隙率的增大,热熔土工织物的等效孔径先增大后减小。

4 反滤性能试验分析

4.1 热熔土工织物淤堵试验结果及分析

4.1.1 正交试验设计^[4]

考虑到本次试验研究的目的,热熔土工织物的反滤试验采用了正交试验设计。试验所考虑的因素及其水平如表 2 所示。

表 2 因素及水平
Tab. 2 Factors and levels

水 平	因 素		
	土	孔径单位面积质量 /g · m ⁻²	水力梯度
1	贵州红粘土	100	1
2	内蒙风积砂	150	5
3	西北黄土	303	10

根据选定的因素及水平,采用 L₉(3³) 正交表,如表 3 所示。

4.1.2 试验结果及分析

根据选定的试验条件,得出以下 9 组结果,如表 4 所示,其中 v 、 K_s 、 K_{sg} 和 GR 分别为第 24 小时的水流渗透流速、土的渗透系数、系统渗透系数和系统梯

度比。

表 3 正交
Tab. 3 Orthogonal

试 验 号	因 素			试验条件
	土	孔径单位面积 质量/g · m ⁻²	水力 梯度	
1	1 (贵州红粘土)	1 (100)	1 (1)	粘/热 100/1
2	1 (贵州红粘土)	2 (150)	2 (5)	粘/热 150/5
3	1 (贵州红粘土)	3 (300)	3 (10)	粘/热 300/10
4	2 (内蒙风积砂)	1 (100)	2 (5)	砂/热 100/5
5	2 (内蒙风积砂)	2 (150)	3 (10)	砂/热 150/10
6	2 (内蒙风积砂)	3 (300)	1 (1)	砂/热 300/1
7	3 (西北黄土)	1 (100)	3 (10)	黄/热 100/10
8	3 (西北黄土)	2 (150)	1 (1)	黄/热 150/1
9	3 (西北黄土)	3 (300)	2 (5)	黄/热 300/5

表 4 热熔土工织物淤堵试验结果
Tab. 4 Test result of clogging test on melt geotextile

试验号	试验条件	$v/\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$	$K_s/\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$	$K_{sg}/\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$	GR
1	1-粘/热 100/1	0.002 3	0.002 1	0.002 5	0.571
2	2-粘/热 150/5	0.001 6	0.000 33	0.000 47	0.149
3	3-粘/热 300/10	0.012 6	0.000 98	0.000 91	1.238
4	4-砂/热 100/5	0.064 1	0.008 2	0.011 1	0.224
5	5-砂/热 150/10	0.062 6	0.004 8	0.005 4	0.659
6	6-砂/热 300/1	0.004 5	0.004 2	0.005 9	0.148
7	7-黄/热 100/10	0.108 7	0.024 7	0.031 5	0.358
8	8-黄/热 150/1	0.026 6	0.027 1	0.026 4	1.077
9	9-黄/热 300/5	0.029 3	0.012 6	0.004 9	0.619

试验结果表明:水流渗透流速、土的渗透系数和系统渗透系数总体上都随着观测时间延长而减小;在观测初期,有的系统梯度比值减小,有的则增大,但到观测后期,系统梯度比值总体上都在增大。

为了找出水流渗透流速、土的渗透系数、系统渗透系数和系统梯度比之间的关系,对 126 组试验数据进行回归分析后,可得到回归公式^[3]

$$GR = 0.595 + 1.486V + 110.196K_s - 99.158K_{sg} \quad (2)$$

4.2 针刺土工织物淤堵试验结果及分析

4.2.1 试验设计^[4]

针刺土工织物淤堵试验所考虑的因素及其水平如表 5 所示。

根据选定的因素及水平,采用如表 6 所示的试验设计表。

4.2.2 试验结果及分析

根据选定的试验条件,得出以下 6 组结果,如表 7 所示,其中 v 、 K_s 、 K_{sg} 和 GR 的含义同上。

试验结果表明:水流渗透流速、土的渗透系数和

系统渗透系数总体上都随着观测时间的延长而减小;而系统梯度比值则总体上随着观测时间的延长而增大。

为了找出水流渗透流速、土的渗透系数、系统渗透系数和系统梯度比之间的关系,对 84 组试验数据进行回归分析后,可得到回归公式^[3]

$$GR = 0.044 - 0.045V + 2\,222.839K_s - 1\,455.949K_{sg} \quad (3)$$

表 5 因素及水平
Tab. 5 Factors and levels

水 平	因 素		
	土	孔径单位面积质量 /g · m ⁻²	水力梯度
1	贵州红粘土	300	1
2		400	5
3			10

表 6 试验设计
Tab. 6 Test deisgn

试验号	因 素			试验条件
	土	孔径单位面积质量 /g · m ⁻²	水力 梯度	
10	贵州红粘土	1 (300)	1 (1)	粘/针 300/1
11	贵州红粘土	2 (400)	1 (1)	粘/针 400/1
12	贵州红粘土	1 (300)	2 (5)	粘/针 300/5
13	贵州红粘土	2 (400)	2 (5)	粘/针 400/5
14	贵州红粘土	1 (300)	3 (10)	粘/针 300/10
15	贵州红粘土	2 (400)	3 (10)	粘/针 400/10

表 7 针刺土工织物淤堵试验结果
Tab. 7 Test result of clogging test on
needle-punched geotextile

试验号	试验条件	v/cm · s ⁻¹	K _s /cm · s ⁻¹	K _{sg} /cm · s ⁻¹	GR
10	10-粘/针 300/1	0.000 50	0.000 62	0.000 93	0.066
11	11-粘/针 400/1	0.000 19	0.000 58	0.000 86	0.100
12	12-粘/针 300/5	0.000 21	2.66E-05	4.12E-05	0.004
13	13-粘/针 400/5	0.002 0	0.000 33	0.000 47	0.178
14	14-粘/针 300/10	0.002 4	0.000 29	0.000 43	0.133
15	15-粘/针 400/10	0.008 3	0.000 89	0.001 3	0.118

5 结 语

(1)无纺土工织物的垂直渗透系数随着水力梯度的增大而减小。

(2)热熔土工织物的垂直渗透系数随着单位面积质量和厚度的增大而减小,随着等效孔径的增大而增加;当孔隙率增大时,其垂直渗透系数先增大后

减小。针刺土工织物的垂直渗透系数随着单位面积质量、厚度和孔隙率的增大而增大,随着等效孔径的增大而减小。

(3)无纺土工织物的等效孔径随着单位面积质量和厚度的增大而减小,其中等效孔径与单位面积质量近似呈线性关系。针刺土工织物的等效孔径随着孔隙率的增大而减小;随着孔隙率的增大,热熔土工织物的等效孔径先增大后减小。

(4)在淤堵试验中,水流渗透流速、土的渗透系数和系统渗透系数总体上都随着观测时间的延长而减小。

在热熔土工织物的淤堵试验中,在观测初期,有的系统梯度比值减小,有的则增大,但到了观测后期,系统梯度比值总体上都在增大;在针刺土工织物的淤堵试验中,系统梯度比值则总体上随着观测时间的延长而增大。

(5)根据对无纺土工织物各水力学参数之间相关关系的分析可知:无纺土工织物的垂直渗透系数与其他水力学参数之间有着密切的关系。只要确定了织物的垂直渗透系数,其他参数的取值也就能够确定下来。在进行公路防排水设计时,土工织物的水力学性能是设计人员考虑的首要因素。所以建议在对织物进行分类时直接考虑其渗透性能,分类指标为垂直渗透系数,即在 2 kPa 的标准压力下,以垂直渗透系数为 0.20 cm/s 作为对土工合成防排水材料分类的标准值。并将垂直渗透系数大于 0.20 cm/s 的土工合成防排水材料称为高渗透性材料;反之称为低渗透性材料。

(6)根据本文试验结果,确定公路防排水系统的设计参数时将 GR≤2 作为织物能满足滤层要求的标准。因为本次试验研究发现:当 GR>2 时系统将产生一定程度的淤堵现象,而且渗透系数也会明显下降,将很难满足滤层的透水性要求。

参考文献:

[1] SL/T 235-1999,土工合成材料测试规程[S].
[2] JTJ/T 060-98,公路土工合成材料试验规程[S].
[3] 潘承毅,何迎辉.数理统计的原理与方法[M].上海:同济大学出版社,1992.
[4] 陈兆能,邱泽麟,余经洪.试验分析与设计[M].上海:上海交通大学出版社,1991.