

DOI: 10.11779/CJGE2016S1020

双向不等轴拉应变对有纺织物开孔面积率的影响

赵文芳¹, 唐晓武¹, 白彬²

(1. 滨海和城市岩土工程研究中心(浙江大学), 浙江 杭州 310058; 2. 佛山市顺德区碧桂园物业发展有限公司, 广东 佛山 528000)

摘要:土工织物应用于防水、反滤、保温、隔离等方面, 土工织物的开孔面积率是反映土工织物性能的重要参数, 前人对此已有研究, 主要集中在单轴拉伸和等双轴拉伸试验。通过双向不等轴拉伸试验, 运用白彬推导的公式, 采用图像法测试土工织物在双向拉应变下的开孔面积率 POA (Percent Open Area) 的变化, 分析理论值与试验值之间的偏差并加以修正, 提出“投影泊松比”的概念, 同时探究投影泊松比对开孔面积率的影响。

关键词:土工织物; 开孔面积率; 双向不等轴拉应变; 图像法; 投影泊松比

中图分类号: TU411

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2016)S1-0109-05

作者简介: 赵文芳(1993-), 女, 博士研究生, 主要从事环境土工合成材料的科研。E-mail: zwfzju@163.com。

Effect of unsymmetrically biaxial tension on percent open area of geotextiles

ZHAO Wen-fang¹, TANG Xiao-wu¹, BAI Bin²

(1. Research Center of Coastal and Urban Geotechnical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China; 2. Shunde Foshan

Country Garden Property Development Co., Ltd., Foshan 528000, China)

Abstract: Geotextiles are widely used in people's living and project construction, mainly for water proof, filtration, heat preservation, isolation and many other aspects. The percent open area is one of the most important parameters which reflect the performance of geotextiles. The change laws of the percent open area in unsymmetrically biaxial tension tests are explored through the imagine analysis, and the results are more applicable than those of the uniaxial tension tests and symmetrically biaxial tension tests by the previous researchers. The difference between the theoretical and experimental values is compared, and the idea of "Projective Poissons ratio" is proposed.

Key words: geotextile; percent open area; unsymmetrically biaxial tension test; imagine analysis; projective Poisson's ratio

0 引言

有纺织物作为反滤、防渗、保温、排水等重要材料, 在工程中应用非常广泛。唐琳^[1]开展了单轴拉应变对有纺土工织物特征孔径及开孔面积率影响的研究并得出了如图1所示 POA 与单向拉应变之间的规律, 白彬^[2]针对双轴拉应变对于有纺土工织物开孔面积率以及特征孔径的影响进行了研究, 提出了同种土工织物下开孔面积率随着拉应变增加而变化的规律。

鉴于非等双轴拉伸比单向拉伸以及双向等轴拉伸在实际工程中有着更为广泛的应用, 本文将白彬^[2]的公式应用于实验数据处理, 比较非等双轴拉伸试验下不同有纺织物之间开孔面积率的关系, 针对实验值和理论值不相符, 提出“投影泊松比”的概念, 以求建立更加完善的预测公式。

1 试验设备

本试验双轴拉伸仪设计拉伸量程 0~2 kN, 精度 5 N。试验过程中双轴拉伸速度均设为 10 mm/min, 试

验温度为 $20 \pm 2^\circ\text{C}$, 相对湿度为 $65 \pm 3\%$ 。经纬向同时进行拉伸试验, 只是应变值设定不同。试验仪器及图像采集设备如图2、3所示, 图2中为三脚架固定的单反相机架设在双轴拉伸仪上进行图像采集。

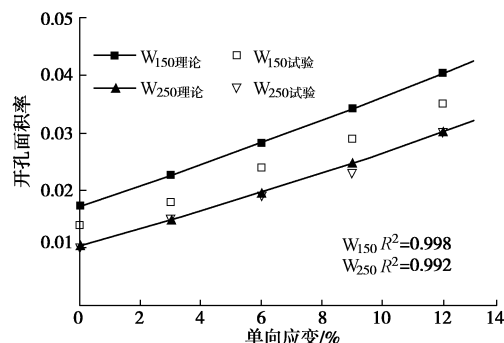


图1 单向拉应变中开孔面积率理论值与试验值

Fig. 1 Theoretical and experimental values of POA in uniaxial tension tests

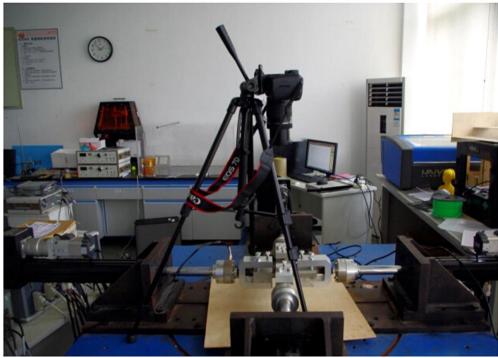


图 2 双轴拉伸仪侧视图
Fig. 2 Lateral view of biaxial tension tester

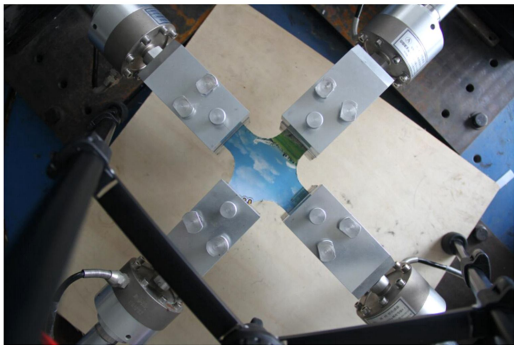


图 3 双轴拉伸仪俯视图
Fig. 3 Planform of biaxial tension tester

2 试验材料和方法

2.1 试验材料

试验样本是从山东肥城取得的 3 种聚丙烯条膜有纺织物，其单位面积质量近似值分别为 120，150，250 g/m²，由其质量将 3 种材料分别命名为 W₁₂₀，W₁₅₀，W₂₅₀。3 种土工织物的物理力学参数详见表 1，3 种织物密度均为 900 kg/m³。

表 1 有纺织物物理力学性质

Table 1 Physical and mechanical properties of geotextiles			
名称	W ₁₂₀	W ₁₅₀	W ₂₅₀
织物厚度 <i>T</i> /mm	0.25	0.27	0.58
单位面积质量 <i>μ</i> /(g·m ²)	125.5	159.4	245.5
双轴拉伸经向 强度/(kN·m ⁻¹)	20.5	31.8	54.1
双轴拉伸纬向 强度/(kN·m ⁻¹)	15.5	21.3	34.4
条膜宽度 <i>a</i> /mm	1.920	2.060	2.120
织物条膜厚度 <i>t</i> /mm	0.089	0.102	0.152

对于所选取的如图 4 所示的试验样本，将其剪成

圆角型过渡的十字试件，为防止织物与夹具间摩擦力过小从而产生滑动，采用 vhb 双面胶将 abs 板固定在夹持区防滑。夹具夹持处织物宽 100 mm，进深 60 mm，受拉部分织物为 180 mm×180 mm，中间正方形受拉区域有 100 mm×100 mm，便于图像采集。

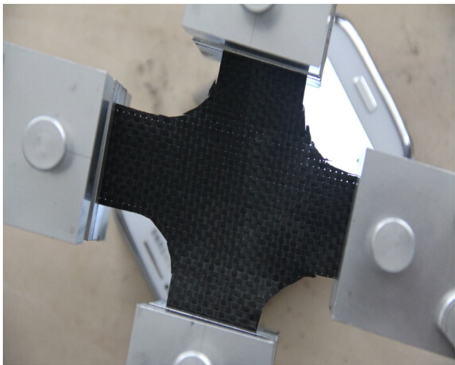


图 4 双轴拉伸试样
Fig. 4 Specimen of biaxial tension tests

2.2 试验过程

每一次非等双轴拉伸试验中，将试验样本分别置于夹具中，适当张紧样本使其不发生扭曲，表面平整，同时保证样本应变为 0，不宜过度夹紧张拉。

在拉伸过程中，调整好样本，在其双向拉伸速率一定的情况下，时刻注意观察样本经向、纬向各自的拉应变，对于 3 组非等双轴拉伸试验，针对 3 种不同的有纺土工织物分别进行 3 组拉应变实验，其纬向、经向拉应变比值分别为 1：2，1：3 和 1：4。为表述方便，本文采用纬向应变值来代表拉应变值。即在 1：2 试验中，当提出拉应变为 4%时，意味着本组纬向、经向拉应变比值为 4%：8%，同理，1：3 和 1：4 组的试验中，纬向、经向拉应变比值分别为 4%：12%和 4%：16%，拉应变组应变值如表 2 所示。

表 2 不同纬、经向拉伸应变组拉应变值

Table 2 Values of tension in different tension groups		
1：2 组 (纬向：经向)	1：3 组 (纬向：经向)	1：4 组 (纬向：经向)
0%	0%	0%
2%：4%	1%：3%	1%：4%
4%：8%	2%：6%	2%：8%
6%：12%	3%：9%	3%：12%
8%：16%	4%：12%	4%：16%
10%：20%	5%：15%	5%：20%
12%：24%	6%：18%	6%：24%
14%：28%	7%：21%	7%：28%

2.3 数字图像法处理

参考文献[1]，数字图像法进行处理即将所采集到

的彩色图像信息经过读取后进行数字化处理, 将真彩图像转为灰度图像, 通过 Matlab 的 `rgb2gray` 程序实现, 并转为二值图像, 最后经过降噪处理后通过程序统计黑、白像素即 0 和 1 的个数, 计算出双轴拉应变下织物开孔面积率等。从中发现, 随着拉应变增大, 孔径的开孔面积逐渐增大, 见图 5。

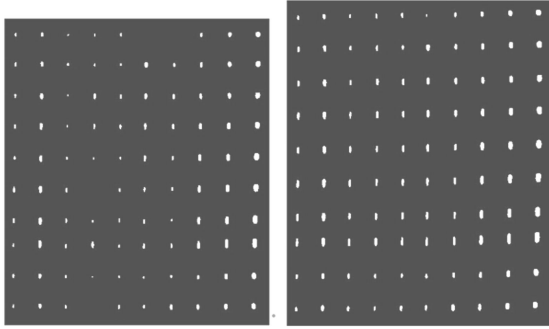


图 5 拉应变为 0% 和纬、经向应变为 7% : 21%

Fig. 5 0% and 7% : 21% for ratio of tension strains

3 POA^{bi} 开孔面积率

3.1 计算模式

开孔面积率 POA (percent of open area) 指的是开孔面积与总面积的比值。

有纺织物是由经向、纬向条膜相互垂直组成。对于每一个单元, 都由一条经向条膜, 一条纬向条膜以及其与相邻条膜交织而成的孔组成。图中 P, Q, R, S 为经、纬条膜轴线的交叉点, 取轴线交点组成的矩形 PQRS 为结构单元, 双轴拉伸下结构单元尺寸变化情况如图 6。

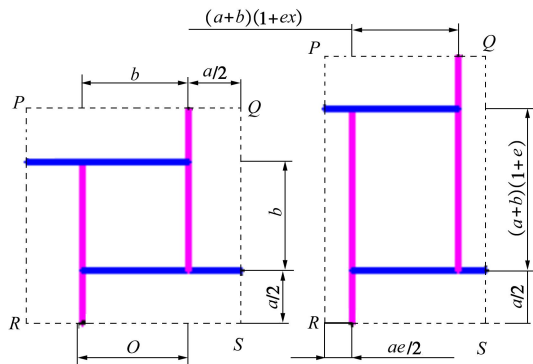


图 6 双轴拉伸下结构单元尺寸变化^[2]

Fig. 6 Change of size of constitutional unit in biaxial tension tests

图 6 中, a 是条膜宽度 (m), t 是条膜厚度 (m), T 是织物厚度 (m), ρ 是条膜密度 (kg/m^3), 以上参数均可通过试验直接测量。 μ 是有纺织物单位面积质量 (g/m^2), 其可通过以上参数进行表达。图中 b 是初始状态时孔径结构的边长 (m), 该参数是模型中的等

效参数不方便直接测量, 但可通过其他物理参数 a, t, ρ, μ 等进行间接表达, 在后文中 b 均采用表达式代替参与运算。

白彬^[2]推导出双轴拉伸情况下有纺土工织物开孔面积率 POA 的表达式为

$$\text{POA}^{bi} = \frac{A_0^\varepsilon}{A_s^\varepsilon} = \frac{\left\{ 2t\rho(1+\varepsilon) - \mu[1-n+n(1+\varepsilon)]^{-\frac{1}{2}} \right\}}{2t\rho(1+\varepsilon)} \cdot \frac{\left\{ 2t\rho(1+n\varepsilon) - \mu(1+\varepsilon)^{-\frac{1}{2}} \right\}}{2t\rho(1+n\varepsilon)} \quad (1)$$

对于经纬向应变比值固定的情况, 即经、纬向应变 $\varepsilon_y = n\varepsilon, \varepsilon_x = \varepsilon$, 其中 n 为经向应变与纬向应变之比即其倍数。则非等双轴拉应变下 POA^{bi} 可表达为应变 ε 的函数:

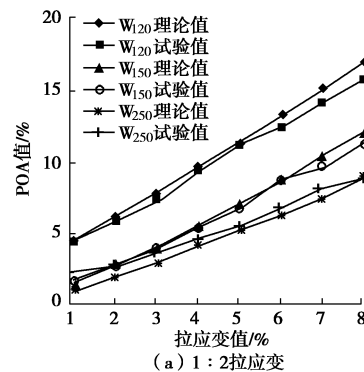
$$\text{POA}^{bi} = \frac{A_0^\varepsilon}{A_s^\varepsilon} = \frac{[(b+a)(1+\varepsilon_x) - a(1-\alpha v\varepsilon_y)]}{(b+a)(1+\varepsilon_x)} \cdot \frac{[(b+a)(1+\varepsilon_y) - a(1-\beta v\varepsilon_x)]}{(b+a)(1+\varepsilon_y)} \quad (2)$$

式中, t 为织物条膜厚度 (m), ρ 为条膜密度 (kg/m^3), μ 为织物单位面积质量 (g/m^2), 均为可以实测的物理参数。

3.2 开孔面积率变化

从图 7 可以看出, 相同经纬向拉应变比值下, 三种织物的试验值平均增长速率都比理论值小, 且基本接近于线性关系。对于 W_{120} 和 W_{150} 织物, 开孔面积率均随非等双轴拉应变的增大而增大, 理论值与试验值的变化规律基本一致, 然而对于 W_{250} 织物, 理论 POA 值均显著大于试验值。

鉴于 W_{250} 条膜厚度大于 W_{120} 和 W_{150} , 则条膜在拉伸过程中先变扁平, 宽度增加, 然后才发生颈缩。可假设, 尽管材料泊松比一定, 但材料在变形过程中其投影方向的横向变形与纵向变形的比值一直改变, 其产生一个形状泊松比, 与材料在拉伸过程中的变形规律有关, 应给予修正。



(a) 1 : 2 拉应变

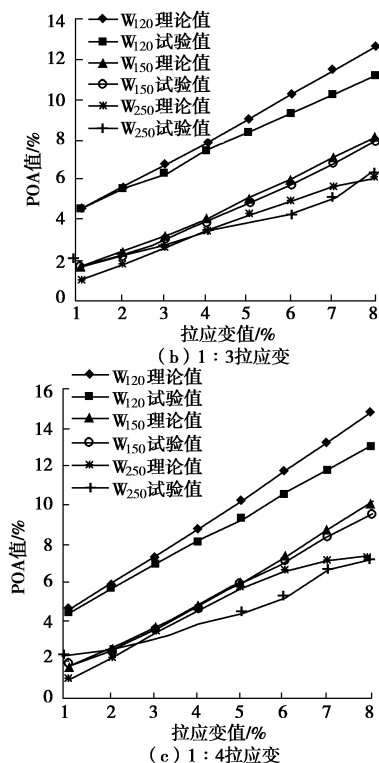
图7 拉应变下开孔面积率理论与试验变化^[2]

Fig. 7 Change of theoretical and experimental values of POA with increasing tension

4 投影泊松比修正

4.1 定义

W_{250} 的理论与实验结果有着较大偏差。根据下式, 材料的泊松比只与拉应变值有关, 即有

$$\nu = \frac{1}{\varepsilon} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1+\varepsilon}} \right) \quad (3)$$

然而, 在实际的拉伸中, 土工织物在三维空间中受拉。其中侧投影方向, 厚度会随着拉应变的增加而变小, 符合一般规律; 而在正投影中, 对于较厚织物发现以下现象:

(1) 纬向条膜随着拉应变增加, 厚度减少, 正投影方向上宽度增加, 增加速率变小。

(2) 经向条膜拉伸长度大于纬向条膜, 随着拉应变增加, 厚度减小, 正投影方向上宽度减少, 减少速率变大。

根据上述假设, “投影泊松比”指的是非等双轴拉伸试验中对泊松比在经纬向各乘以不同修正系数得出的新投影意义上的泊松比, 即在开孔面积率的式(1)中分别将原泊松比乘以各自方向上的修正系数后得到投影泊松比, 从而得出新的开孔面积率公式, 此公式使得开孔面积率的理论值与试验值更加吻合。

实验中 W_{120} 与 W_{150} 有纺织物条膜较薄, 拉伸时颈缩阶段占主要因素, 而 W_{250} 条膜较厚, 拉伸时先扩张再颈缩的事实较明显。

4.2 开孔面积率的投影泊松比修正

根据式(2), 假设经纬向拉应变比值为 n , 则纬向拉应变比值为 ε , 经向拉应变比值为 $n\varepsilon$ 。假设 ε_y 的投影泊松比修正系数为 α , ε_x 的投影泊松比修正系数为 β 。

当纬向经向拉应变比值为 n , 开孔面积率公式为

$$POA^{bi} = \frac{A_0^\varepsilon}{A_s^\varepsilon} = \frac{[(b+a)(1+\varepsilon_x) - a(1-\nu\varepsilon_y)]}{(b+a)(1+\varepsilon_x)} \cdot \frac{[(b+a)(1+\varepsilon_y) - a(1-\nu\varepsilon_x)]}{(b+a)(1+\varepsilon_y)} \quad (4)$$

式中,

$$\alpha = 4 + 16(n-1)\varepsilon \quad (5)$$

$$\beta = -4 - (n^2 + 25n - 52)\varepsilon \quad (6)$$

经过投影泊松比修正的开孔面积率理论与试验变化曲线如图8。

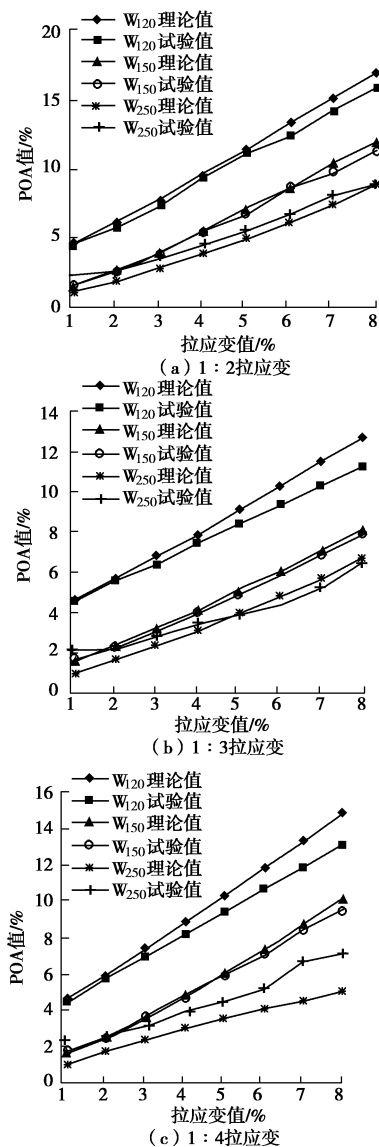


图8 拉应变对 POA 变化理论修正值与试验值

Fig. 8 Change of theoretical and experimental values of POA with tension after correction

对非等双轴拉应变开孔面积率理论与试验变化曲线进行修正后, POA (开孔面积率) 基本随着拉应变的增加而呈线性增长, 且随着有纺织物单位面积质量增加, 开孔面积率会变小。

在同一拉应变比值状态下, 不同的土工织物修正后的 POA 曲线斜率分别保持基本一致, 呈线性规律增长。

通过实验发现, 随着纬向条膜拉应变值增加, W_{120} 和 W_{150} 理论值和试验值的斜率变化基本相同, W_{250} 的斜率减小, 即 POA 值变化的区间趋于减小。这是由于随着土工织物厚度逐渐增加, 其颈缩现象越明显, 条膜之间孔隙减小得越快, 渗透的越慢, 反滤性能降低得也越快。经引入“投影泊松比”进行修正后, W_{250} 理论值与试验值的斜率趋于相同, 这使得我们对于土工织物的颈缩速率有了直观的认识, 从而方便对土工织物的反滤性能下降的速率进行直观了解以及进一步探究, 在实际工程中有着重要的意义。

5 结 论

本课题集中研究了非等双轴拉应变对有纺土工织物开孔面积率变化规律的影响。得出了如下结论:

(1) 当有纺土工织物质量较轻、条膜形状比较轻薄时, 前人总结的开孔面积率 POA 理论值与试验值基本一致。当纬向、经向拉应变比值相同时, 随着拉应变的增加, 开孔面积率 POA 基本呈线性规律增加。当有纺土工织物质量较重、条膜形状比较厚重时, 白彬^[2]提出的开孔面积率 POA 理论值与试验值会有较大误差, 斜率不一致。此时需引入“投影泊松比”对于现有公式进行修正。经过修正以后, 增加了工程实际应用中对于 POA 值预测的准确性, 又因 POA 值是土工

织物反滤性能的指标之一, 从而使得土工织物反滤性能与实际工程状况更加相互适应。

(2) 根据纬向条膜随拉应变增加正投影方向宽度增加这一现象, 提出“投影泊松比”的概念, 并对现有公式进行修正, 得到结果与实测值更加接近。修正后的 W_{250} 织物的理论值和试验值间的差距增大,

(3) 当土工织物比较厚重时, 对于 W_{250} , 引入投影泊松比修正系数后, 其开孔面积率随着拉应变的增加而基本呈线性规律增加, 且理论值与试验值误差较小, 在允许范围之内。

参考文献:

- [1] 唐 琳. 拉应变对土工织物孔径特征及反滤性能影响的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2014. (TANG Lin. Pore size characteristic and filtration properties of geotextiles subjected to tensile strains[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2014. (in Chinese))
- [2] 白 彬. 双轴拉应变对土工织物孔径特征及反滤性能影响的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2015. (BAI Bin. Pore size characteristics and filtration properties of geotextile subjected to biaxial tensile strains[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2015. (in Chinese))
- [3] ASTM D4751. Standard test method for determining the apparent opening size of a geotextile[S]. USA: ASTM international. PA 2004.
- [4] WU C S, HONG Yung-shan, WANG Ruei-hung. The influence of uniaxial tensile strain on the pore size and filtration characteristics of geotextiles[J]. Geotextiles and Geomembranes 2008, 26(2): 250 - 262.

(本文责编 胡海霞)