

# 疝气修补网片的工艺参数对其力学性能的影响

邵洪<sup>1</sup>, 刘鹏碧<sup>1</sup>, 蒋金华<sup>1,2</sup>, 陈南梁<sup>1,2</sup>

(1. 东华大学 纺织学院, 上海 201620;

2. 产业用纺织品教育部工程研究中心, 上海 201620)

**摘要:**以进口医用级聚丙烯单丝为原料,在机号为12 针/25.4 mm的拉舍尔经编机上通过改变牵拉密度,编织出菱形网眼、圆形网眼和六角形网眼结构的疝气修补网片各5种试样,并给出了织物的结构参数。对上述15种织物分别进行纵横向拉伸和顶破试验,结果表明:机上牵拉密度与网片孔隙率呈线性关系;牵拉密度与网片拉伸强力呈二次函数关系;牵拉密度与网片顶破强力也呈线性关系;在编织原料、整经工艺、牵拉密度、定形工艺等外部条件一致时,圆形网孔网片的力学性能较为优异,表现在顶破性能较大,拉伸各向同性较好。

**关键词:**疝气修补网片;经编织物;牵拉密度;孔隙率;拉伸性能;顶破性能

中图分类号:TS 184.3

文献标志码:B

文章编号:1000-4033(2015)12-0018-04

## Effect of Technological Parameters of Hernia Repair Mesh on Mechanical Properties

Shao Hong<sup>1</sup>, Liu Pengbi<sup>1</sup>, Jiang Jinhua<sup>1,2</sup>, Chen Nanliang<sup>1,2</sup>

(1.College of Textiles, Donghua University, Shanghai 201620, China;

2.Engineering Research Center of Technical Textiles, Ministry of Education, Shanghai 201620, China)

**Abstract:**The paper introduces the structure parameters of five kinds of sample nets for each kind of diamond, round and hexagonal hernia developed on raschel machines with the gauge of 12 G, by using the imported medical grade PP monofilament as raw materials and changing the traction density. The results of the longitudinal and transverse tensile test and the bursting test of these fabric show that: the drawing-off density has a linear relationship with the porosity, a quadratic function with the tensile strength, and a linear relationship with the bursting strength. When the external conditions such as raw materials, warping process, drawing-off density, setting process are consistent, the mechanical properties of round mesh is excellent, which has larger bursting properties and good tensile isotropic.

**Key words:**Hernia Repair Mesh; Warp Knitted Fabric; Drawing-off Density; Porosity; Tensile Property; Bursting Property

目前,国内外对于疝气修补网片(以下简称补片)的研究多数集中于临床应用性能和物理性能,较少涉及补片设计与生产的研究<sup>[1]</sup>。从纺织工艺角度来讲,织物原料、

结构参数及其后整理工艺对补片的物理性能和生物性能有着重要的决定作用<sup>[2]</sup>。对补片的生产与设计进行研究,有助于根据补片的不同用途从源头对其性能进行有针

对性的设计,进而为补片的生产提供参考,提高生产设计水平。本文从补片编织过程中的牵拉密度工艺参数方面,对补片的各项性能加以探讨。

**基金项目:**国家自然科学基金项目(11472077);中央高校基本科研业务费专项资金项目(2232015D3-01);上海市科学技术委员会上海市自然科学基金项目(13ZR1400500);大学生创新性实验项目(201410255024 和 201510255118);东华大学硕士研究生创新资助项目(EG2015003)。

**作者简介:**邵洪(1990—),男,硕士研究生。主要从事医用纺织品的研发。

**通讯作者:**陈南梁(1962—),男,教授,博士生导师。E-mail:nlch@dhu.edu.cn。

## 1 研究现状与构想

补片性能的一个重要表征参数就是其网孔大小。网孔大小对于补片的克质量和刚柔性有较大影响<sup>[3]</sup>,补片孔径大小在编织过程中可以通过调节生产工艺参数来控制,如机上牵拉密度等<sup>[4]</sup>。补片破裂首先是编织纱线发生断裂,然后是织物组织解体。纱线的断裂取决于纱线本身的强度和纱线强度的利用率<sup>[5-7]</sup>。在原料和其他工艺参数相同的情况下,研究牵拉密度与补片各项性能是否有线性或非线性关系。

## 2 试验部分

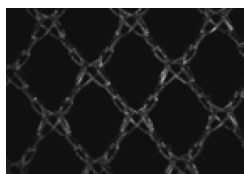
### 2.1 试样材料

本文采用菱形网眼、圆形网眼和六角形网眼结构的补片为试样,它们都是双梳栉 1 穿 1 空的变化经缎组织<sup>[8-9]</sup>,其线圈结构如图 1 所示。原料为进口医用级聚丙烯单丝,在机号为 12 针/25.4 mm 的润源拉舍尔经编机上编织,通过改变机上牵拉密度,每种结构编织出 5 种不同纵密的织物,并在 TOOTEN 小型面料拉幅定形机(上海唐音服装机械制造厂生产)上以 140 ℃温度定形 10 min,3 种织物具有相同的定形工艺。这 15 块织物的工艺参数见表 1。

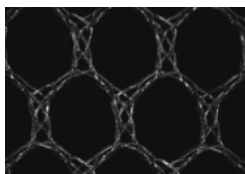
菱形网孔织物和六角形网孔织物都是双梳对称结构,两把梳栉的送经量在理论上应该一致。而在实际生产中工人是根据送经时纱线的松紧程度来调节送经量的,纱线太紧容易断线,纱线太松织物两侧容易脱散,所以送经量具有一定的误差性。

### 2.2 试验仪器和方法

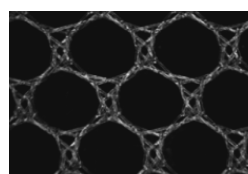
本文主要针对不同生产工艺参数的补片进行纵横向拉伸和顶破试验。拉伸试验参照标准 GB/T 3923.1—1997《纺织品 织物拉伸性



(a)菱形网孔织物



(b)圆形网孔织物



(c)六角形网孔织物

图 1 织物的线圈结构图

表 1 网孔织物编号和结构参数

| 织物编号           | 上机牵拉密度/(横列·cm <sup>-1</sup> ) | GB1 送经量/[mm·(480 横列) <sup>-1</sup> ] | GB2 送经量/[mm·(480 横列) <sup>-1</sup> ] | 纵密/[横列·(5 cm) <sup>-1</sup> ] | 横密/[纵行·(5 cm) <sup>-1</sup> ] | 孔径/(mm×mm) |
|----------------|-------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------|
| D <sub>1</sub> | 8                             | 2 570                                | 2 495                                | 45                            | 40                            | 3.0×6.0    |
| D <sub>2</sub> | 9                             | 2 385                                | 2 335                                | 48                            | 40                            | 3.0×5.8    |
| D <sub>3</sub> | 10                            | 2 250                                | 2 190                                | 50                            | 40                            | 3.0×4.9    |
| D <sub>4</sub> | 11                            | 2 130                                | 2 110                                | 55                            | 42                            | 2.9×4.1    |
| D <sub>5</sub> | 12                            | 2 010                                | 2 030                                | 56                            | 42                            | 2.8×3.9    |
| R <sub>1</sub> | 8                             | 2 730                                | 2 700                                | 45                            | 40                            | 3.1×4.8    |
| R <sub>2</sub> | 9                             | 2 660                                | 2 620                                | 48                            | 40                            | 3.1×4.5    |
| R <sub>3</sub> | 10                            | 2 585                                | 2 530                                | 50                            | 40                            | 3.1×3.9    |
| R <sub>4</sub> | 11                            | 2 520                                | 2 500                                | 50                            | 45                            | 3.0×3.8    |
| R <sub>5</sub> | 12                            | 2 410                                | 2 430                                | 52                            | 45                            | 3.0×3.1    |
| H <sub>1</sub> | 8                             | 2 630                                | 2 570                                | 44                            | 40                            | 3.2×6.5    |
| H <sub>2</sub> | 9                             | 2 500                                | 2 480                                | 45                            | 40                            | 3.1×5.8    |
| H <sub>3</sub> | 10                            | 2 300                                | 2 350                                | 48                            | 40                            | 3.2×5.0    |
| H <sub>4</sub> | 11                            | 2 219                                | 2 285                                | 50                            | 40                            | 3.1×4.2    |
| H <sub>5</sub> | 12                            | 2 155                                | 2 200                                | 50                            | 40                            | 3.0×4.0    |

注:D 表示菱形网孔织物;H 表示圆形网孔织物;R 表示六角形网孔织物。

能第 1 部分:断裂强力和断裂伸长率的测定 条样法》,并采用 HD026N+ 电子织物强力仪进行测试,试样尺寸为 250 mm×50 mm,夹持距离 200 mm,拉伸速度 100 mm/min,预加张力 2 N,纵、横向试样各测试 5 块。顶破试验参照标准 GB/T 19976—2005《纺织品 顶破强力的测定 钢球法》,采用 HD026N+ 电子织物强力仪进行测试,试样是直径为 6 mm 的圆形,试验机升降速度为 100 mm/min,隔距 400 mm,每块试样测试 5 次。

本文采用计算机图像处理方法计算网片孔隙率。首先用 Nikon ECLIPSE E200 显微镜对尺寸为 100 mm×100 mm 的试样进行拍照,接着将所拍试样照片导入 Mat-

lab R2007b 计算最佳阈值,然后利用 Photoshop CS4 将照片进行灰度处理使之变成灰白二色图,最后在直方图界面中读出相应像素点数,黑色像素点数与总像素点数比值即为网片孔隙率。

## 3 结果与讨论

将试样自由松弛 3 天,分别进行拉伸和顶破试验,测试结果见表 2。

### 3.1 牵拉密度对网孔织物孔隙率的影响

图 2 为牵拉密度与网孔织物孔隙率之间的关系。从图 2 中很明显能看出,3 种网孔织物孔隙率都随牵拉密度的增大而减小,随着机上牵拉密度的增大,网孔织物在编织时受到的纵向拉力增加,从而使编织网孔变小;同时也可以发现网

表 2 织物拉伸和顶破试验的测试结果

| 织物编号           | 孔隙率/% | 横向强力/N | 纵向强力/N | 顶破强力/N |
|----------------|-------|--------|--------|--------|
| D <sub>1</sub> | 75.98 | 71.32  | 286.50 | 196.68 |
| D <sub>2</sub> | 75.38 | 75.40  | 242.90 | 210.65 |
| D <sub>3</sub> | 73.80 | 100.54 | 241.90 | 233.16 |
| D <sub>4</sub> | 70.84 | 100.90 | 225.50 | 253.99 |
| D <sub>5</sub> | 70.10 | 100.50 | 240.70 | 275.22 |
| R <sub>1</sub> | 75.06 | 114.50 | 222.50 | 232.12 |
| R <sub>2</sub> | 73.58 | 114.66 | 200.50 | 245.96 |
| R <sub>3</sub> | 71.98 | 161.58 | 197.70 | 245.41 |
| R <sub>4</sub> | 70.78 | 173.20 | 191.98 | 262.57 |
| R <sub>5</sub> | 71.24 | 169.12 | 202.88 | 271.48 |
| H <sub>1</sub> | 77.04 | 76.88  | 253.40 | 216.04 |
| H <sub>2</sub> | 76.20 | 76.88  | 253.40 | 220.66 |
| H <sub>3</sub> | 74.90 | 110.04 | 270.34 | 245.63 |
| H <sub>4</sub> | 73.92 | 120.46 | 263.10 | 264.33 |
| H <sub>5</sub> | 72.30 | 156.86 | 252.98 | 264.11 |

注: D 表示菱形网孔织物; H 表示圆形网孔织物; R 表示六角形网孔织物。

孔孔径横向长度变化不大, 纵向长度变化明显, 相应的孔隙率减小; 3 种网孔结构中, 六角形网孔孔隙率最大, 圆形网孔孔隙率最小, 不过 3 种结构的差别不明显, 总体孔隙率较大。从图 2 中还能看出, 牵拉密度与孔隙率呈近似线性关系, 经过分析计算并拟合, 得到了 3 条曲线的拟合方程。

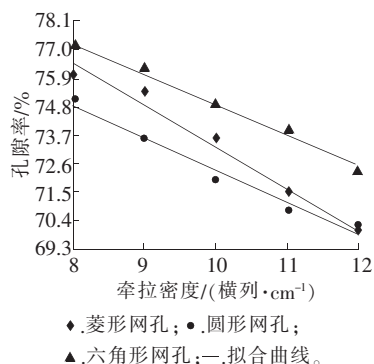


图 2 牵拉密度与网孔织物孔隙率之间的关系

牵拉密度与菱形网孔织物、圆形网孔织物、六角形网孔织物的孔隙率关系方程式分别见式(1)、式(2)、式(3), 其中  $R$  表示相关系数,  $R^2$  表示线性拟合度, 下同:

$$y = -1.63x + 89.52$$

$$(R^2 = 0.931\ 03) \quad (1)$$

$$y = -1.176x + 86.632$$

$$(R^2 = 0.985\ 1) \quad (2)$$

$$y = -1.244x + 84.768$$

$$(R^2 = 0.963\ 7) \quad (3)$$

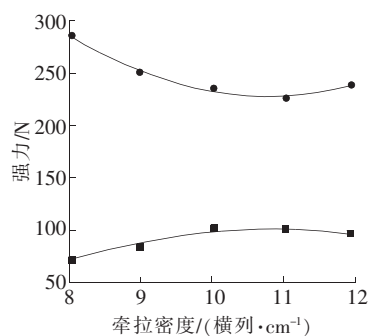
### 3.2 牵拉密度对网孔织物力学性能的影响

#### 3.2.1 拉伸性能

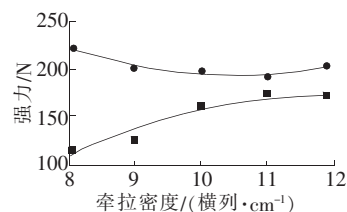
图 3 分别为菱形网孔、圆形网孔、六角形网孔织物牵拉密度与其纵横向强力之间的关系。由图 3 可以看出, 3 种结构的纵向强力始终都比横向强力大, 而且纵横向强力都与牵拉密度呈二次函数的关系, 纵向强力的函数曲线是凹函数, 横向强力的函数曲线是凸函数, 说明在某一牵拉密度时, 网片的各向同性最好<sup>[10]</sup>。对比发现, 圆形网孔补片纵横向拉伸强力最接近, 各向同性最好。

图 4 是相同密度下 3 种不同结构补片拉伸性能的比较。从图 4 中可以看出, 六角形网孔织物补片拉伸强力多数大于菱形网孔织物。

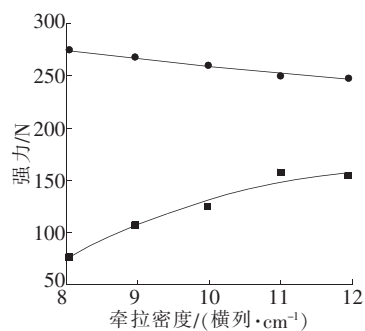
牵拉密度与菱形网孔织物纵、横向强力关系方程式分别见式(4)、



(a) 菱形网孔织物



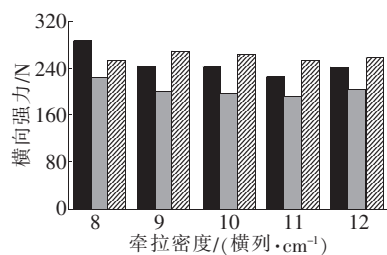
(b) 圆形网孔织物



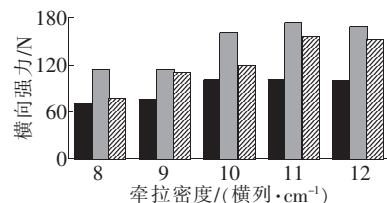
(c) 六角形网孔织物

■, 横向强力; ●, 纵向强力; —, 拟合曲线。

图 3 牵拉密度与 3 种试样纵、横向强力之间的关系



(a) 纵向



(b) 横向

■, 菱形网孔; ▒, 圆形网孔; ▨, 六角形网孔。

图 4 牵拉密度与网孔织物纵、横向强力之间的关系

式(5):

$$y=7.56x^2-162.98x+105.92$$

$$(R^2=0.977\ 37)$$

$$y=-3.76x^2+81.73x-343.26$$

$$(R^2=0.924\ 89)$$

牵拉密度与圆形网孔织物纵、横向强力关系方程式分别见式(6)、式(7):

$$y=5.07x^2-106.27x+748.00$$

$$(R^2=0.983\ 24)$$

$$y=-5.57x^2+130.14x-588.26$$

$$(R^2=0.915\ 86)$$

牵拉密度与六角形网孔织物纵、横向强力关系方程式分别见式(8)、式(9):

$$y=0.47x^2-16.37x+352.98$$

$$(R^2=0.956\ 95)$$

$$y=-3.81x^2+96.524x-453.22$$

$$(R^2=0.944\ 05)$$

3.2.2 牵拉密度对网孔织物顶破性能的影响

图 5 是牵拉密度与 3 种不同结构织物顶破强力的关系曲线。由图 5 可知,牵拉密度越大,3 种结构织物顶破强力越大,并呈线性关系,这主要是因为,在编织过程中,牵拉密度增加,线圈长度减小,网孔随之变小,在顶破过程中单位面积受力的纱线数量增加,顶破强力随之增加。从图 6 还可以看出,在牵拉密度较小的情况下,3 种织物的顶破强力相差明显,其中圆形网孔织物的顶破强力较大;随着牵拉密度增加,3 种结构顶破强力差异减小,直至近似;说明单位面积网孔密度对顶破强力的影响较大。

牵拉密度与菱形网孔织物顶破强力关系方程式见式(10):

$$y=19.98x+34.01$$

$$(R^2=0.993\ 2)$$

牵拉密度与圆形网孔织物顶破强力关系方程式见式(11):

$$y=9.53x+156.6$$

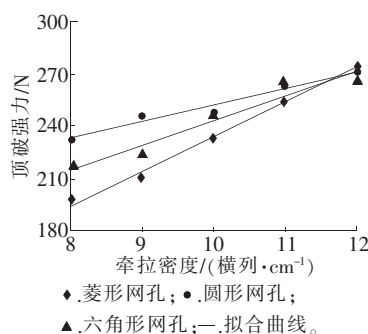


图 5 牵拉密度与网孔织物顶破强力之间的关系

$$(R^2=0.956\ 98)$$

牵拉密度与六角形网孔织物顶破强力关系方程式见式(12):

$$y=14.14x+101.72$$

$$(R^2=0.926\ 72)$$

#### 4 结论

4.1 通过试验发现,生产编织过程中机上牵拉密度对补片孔径大小和孔隙率有直接影响,牵拉密度越大,孔隙率越大,并呈线性关系,这符合经编网眼织物的一般规律。

4.2 牵拉密度与补片拉伸强力呈二次函数关系。在所测的 3 种结构中,织物纵向强力都大于横向强力,并在牵拉密度为 11 横列/cm 左右时,纵横向强力最为接近。

4.3 牵拉密度与补片顶破强力呈线性关系。随着牵拉密度增加,补片顶破强力增大,至牵拉密度为 12 横列/cm 时,菱形网孔、圆形网孔、六角形网孔的顶破强力近似,此时 3 种结构织物网孔大小相差不大。由于顶破试验中弹子直径为 20 mm,在顶破试验中如果受力点是网孔,则相同网孔大小的补片顶破强力近似。后续可以换较大直径的弹子继续研究。

4.4 在编织原料、整经工艺、牵拉密度、定形工艺等外部条件一致时,圆形网孔补片的力学性能较为优异,表现在顶破性能较大,拉伸各向同性好。其中菱形网孔和六角形网孔织物的组织结构都是对称

垫纱,圆形网孔织物为非对称垫纱,本研究中,非对称垫纱织物力学性能要优于对称垫纱织物。

#### 参考文献

- [1]陈刚,姜涛.疝补片的外科应用[J].中国组织工程研究与临床康复,2009,13(34):6785-6788.
- [2]赵帅权,李倩雯.医用经编疝修补网片的设计与生产[J].产业用纺织品,2014(7):33-38.
- [3]MCDERMOTT M K, ISAYEVA I S, THOMAS T M. Characterization of the structure and properties of authentic and counterfeit polypropylene surgical meshes[J]. Hernia,2006(10):131-142.
- [4]姜慧霞,郭兴峰.外科疝修补网及其材料[J].产业用纺织品,2008(4):36-38.
- [5]BRINGMAN S, WOLLERT S, OSTERBERG J, et al. Three-year results of a randomized clinical trial of lightweight or standard polypropylene mesh in lichtenstein repair of primary inguinal hernia[J]. British Journal of Surgery, 2006,93(9):1056-1059.
- [6]SAJID M S,LEAVER C, BAIG M K, et al. Systematic review and meta-analysis of the use of lightweight versus heavyweight mesh in open inguinal hernia repair[J].British Journal of Surgery, 2012, 99(1):29-37.
- [7]POUSSIER M,DENEVE E, BLANC P, et al. A review of available prosthetic material for abdominal wall repair [J]. Journal of Visceral Surgery,2013,150(1):52-59.
- [8]刘晓明,陈南梁,冯勋伟.经编网格织物工艺参数对强力的影响[J].针织工业,2007(6):20-22.
- [9]肖伟发,张磊,蒋金华.经编网眼工艺参数对力学性能的影响[J].产业用纺织品,2013(12):17-20.
- [10]龙海如.针织学[M].北京:中国纺织出版社,2008.

收稿日期 2015 年 6 月 1 日