

DOI: 10.13475/j.fzxb.20200503605

防羽面料孔径及分布特征与透气性和防钻绒性的关系

董甜甜, 王蕾, 高卫东

(生态纺织教育部重点实验室(江南大学), 江苏 无锡 214122)

摘要 为开发优质防羽面料, 探明孔径及其分布特征对防羽面料性能的影响机制, 借助多功能孔径测定仪、透气量仪和防钻绒性能测试仪获取 10 种不同规格防羽面料的孔径、透气率和钻绒根数, 分析了孔径及其分布特征与透气性和防钻绒性之间的关系。结果表明: 防羽面料的孔径分布符合正态分布的规律, 且孔径均值和标准差的相关系数为 0.99; 在原料和组织结构相同的情况下, 防羽面料透气率随着孔径均值的减小而减小; 钻绒根数与孔径均值拟合方程的判定系数为 0.94, 当孔径均值小于 $8\ \mu\text{m}$ 时, 面料的钻绒根数低于 23 根; 提出采用透钻比(透气率和钻绒根数的比值)综合评价防羽面料的防钻绒性和透气性发现, 透钻比与孔径变异系数呈显著负相关, 即孔径变异系数越小, 透钻比越大, 面料的综合性能越好。

关键词 防羽面料; 孔径分布; 透气性; 防钻绒性; 透钻比

中图分类号: TS 101.91 文献标志码: A

Relations of pore size and distribution characteristics of down-proof fabric with breathability and anti-drilling property

DONG Tiantian, WANG Lei, GAO Weidong

(Key Laboratory of Eco-Textiles(Jiangnan University), Ministry of Education, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

Abstract In order to develop high-quality down-proof fabrics, and explore the impact mechanism of pore size and distribution characteristics on down-proof fabric, the pore size, permeability and down-proof performance of 10 types of different down-proof fabrics were tested by capillary flow porometer, permeability meter and anti-drilling property tester. The relations between the pore size and distribution characteristics and the breathability and anti-drilling property of the down-proof fabrics were analyzed. The results show that the pore size distribution follows well the normal distribution, and the correlation coefficient between the mean aperture and standard deviation is 0.99. For the down-proof fabrics with the same material and structure, the permeability decreases when the mean pore size gets smaller. The determination coefficient of the fitting equation between the number of pile bored and the mean pore size is 0.94. When the mean pore size is less than $8\ \mu\text{m}$, the number of drill down penetrating fabric is less than 23. The breathability to drilling ratio (the ratio of permeability and the number of drilled down) is proposed to evaluate comprehensive the anti-drilling property and breathability. It is found that the less the pore size variation coefficient is, the larger the breathability to drilling ratio becomes, and the better comprehensive performance the fabrics have.

Keywords down-proof fabric; pore size distribution; breathability; anti-drilling property; breathability to drilling ratio

收稿日期: 2020-05-18 修回日期: 2020-09-05

基金项目: 生态纺织教育部重点实验室资助项目(JUSRP52007A)

第一作者: 董甜甜(1993—), 女, 硕士生。主要研究方向为孔隙特征对防羽布防钻绒性和透气性的影响。

通信作者: 高卫东(1959—), 男, 教授, 博士。主要研究方向为新型纺织技术。E-mail: gaowd3@163.com。

防羽面料是指纱线线密度较小而织物经纬密度较大的薄型织物^[1],防钻绒性和透气性是评价其性能的重要指标。目前主要通过织物组织结构等参数研究防羽面料的透气和防钻绒性能^[2-3]。织物的组织结构决定了织物的孔隙结构,而孔隙大小及其分布对织物的透气、透湿、防钻绒等性能有直接影响^[4-5]。狄剑锋等^[6]采用质量分级法,研究了5种棉和棉/涤纶机织物的毛细孔径分布与其组织结构及组分的关系;于磊等^[7]通过孔径分布研究了高密织物的防水透湿性能发现,小孔对透湿性起主导作用,大孔对织物的防水影响明显;张文娟等^[8]研究发现毛织物的体积孔隙率、表面孔隙率和平均孔径与湿阻呈非线性关系;Aisha等^[9]发现平纹棉织物的孔径大部分呈矩形,孔的大小分布不均,当保持纱线线密度不变,改变织物的密度时,棉织物的透气性随孔径的增大而增大;李小倩等^[10]使用压汞法测得

织物的孔隙率发现,透气率与孔隙率呈正相关。但通过孔隙特征对防羽面料透气和防钻绒性能的研究较少。

本文采用美国 PMI 公司的 CFP-1100A 型多功能孔径仪对防羽面料的孔隙分布进行测试,通过分析防羽面料的孔径分布规律,得出面料的孔径分布与透气性和防钻绒性之间的关系,进而提出一种透气性和防钻绒性的综合评价方法。

1 实验部分

1.1 试样选择

实验面料采用江苏金太阳纺织科技股份有限公司和罗莱生活科技股份有限公司提供的 10 种防羽面料,原料分为纯棉、涤/棉交织织物,组织为平纹和五上三下经缎纹,面料的规格参数如表 1 所示。

表 1 面料规格参数

Tab.1 Structural specifications of fabric samples

面料编号	原料		试样组织	线密度/tex		织物密度/(根·(10 cm) ⁻¹)		总紧度/%
	经纱	纬纱		经纱	纬纱	经向	纬向	
1#	棉	涤纶	经缎纹	7.3	5.6	906	630	96.0
2#	棉	涤纶	经缎纹	7.3	5.6	953	768	98.6
3#	棉	涤纶	平纹	14.6	11.8	571	319	88.7
4#	棉	涤纶	平纹	14.6	5.6	571	610	91.4
5#	棉	涤纶	平纹	9.7	8.2	551	512	84.0
6#	棉	棉	经缎纹	4.9	4.9	1 035	933	97.1
7#	棉	棉	经缎纹	5.8	8.1	906	709	94.8
8#	棉	棉	经缎纹	5.8	8.1	906	728	95.2
9#	棉	棉	经缎纹	5.8	8.1	906	748	95.6
10#	棉	棉	平纹	9.7	8.1	551	571	85.0

1.2 实验方法

1.2.1 孔径测量

采用美国 PMI 公司的 CFP-1100A 型多功能孔径仪测量面料的孔径特征值。在距离每种面料布边大于 10 cm 的位置上均匀选取 9 块试样,每个试样的尺寸为 4 cm×4 cm,取样示意图如图 1 所示。取样后将试样放在酒精溶液中,待完全浸润后,放入多功能孔径分析仪器内进行测试。

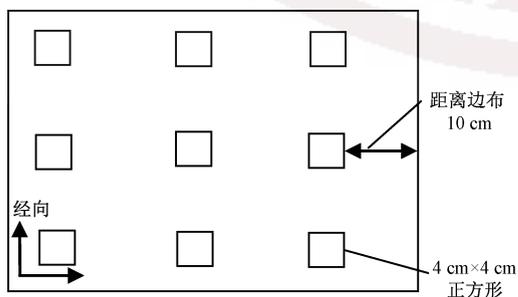


图 1 取样示意图

Fig.1 Sampling diagram

通过测量试样受到的瞬时压力和流经试样孔隙的液体流量,可获得压力-流量的变化曲线。根据 ASTM F316—2003《用起泡点和气孔平均流量法测定膜过滤器孔隙尺寸特点的标准试验方法》计算孔径分布,计算公式为

$$D = 4\gamma\cos\theta/P$$

式中: D 为孔径值, μm ; γ 为液体表面张力, mN/m ; θ 为液体接触角, $(^\circ)$; P 为压差, Pa 。

1.2.2 透气性测试

选用宁波纺织仪器厂生产的 YG461E-III 型全自动透气量仪,按照 GB/T 5453—1997《纺织品 织物透气性的测定》测试面料的透气性。每种面料在距离布边大于 10 cm 的位置上均匀选取 10 块试样(直径为 10 cm 的圆形)。将试样夹持在试样圆台(面积为 20 cm²)上,设定试样两侧的压降为 100 Pa,记录空气通过试样气流的流量,依据下式计算透气率。

$$Q = \frac{167q_v}{A}$$

式中: Q 为透气率, mm/s; q_v 为平均气流量, dm^3/min ; A 为试样面积, cm^2 ; 167 为换算系数。

1.2.3 防钻绒性测试

用大荣纺织仪器有限公司的 YG(B) 819D 型织物防钻绒性能测试仪, 按照 GB/T 12705.2—2009《纺织品 织物防钻绒性试验方法 第 2 部分: 转箱法》测试面料的防钻绒性能。

将面料制成 $42\text{ cm} \times 41\text{ cm}$ 的试样袋, 袋内装一定质量的羽绒(本文实验采用含绒量为 90% 的白鸭绒); 然后将试样袋放在装有硬质橡胶球的实验机回转箱内, 通过将橡胶球转至一定高度, 冲击箱内的试样, 模拟羽绒制品在服用过程中受到的各种挤压、揉搓、碰撞等作用。设定回转箱正反转 1 000 次,

以正反 2 次转动钻出面料的羽绒根数之和评定织物的防钻绒性能。

根据 GB/T 14272—2011《羽绒服装》规定, 与绒直接接触织物的防钻绒性要求分别为优等品 ≤ 5 根, 一等品 ≤ 15 根, 合格品 ≤ 50 根进行分析。

2 结果与分析

2.1 织物孔径分布分析

根据多功能孔径仪测得的 10 种面料的孔径大小的分布频率, 利用克隆巴赫 α 系数^[11] 信度衡量每种面料 9 块试样的测量结果, 得到 10 种面料的信度系数均在 0.6 以上, 证明数据稳定性较高, 因此, 采用 9 次测量数据的平均值表示面料的孔径分布特征, 选取部分试样的测试结果如图 2 所示。

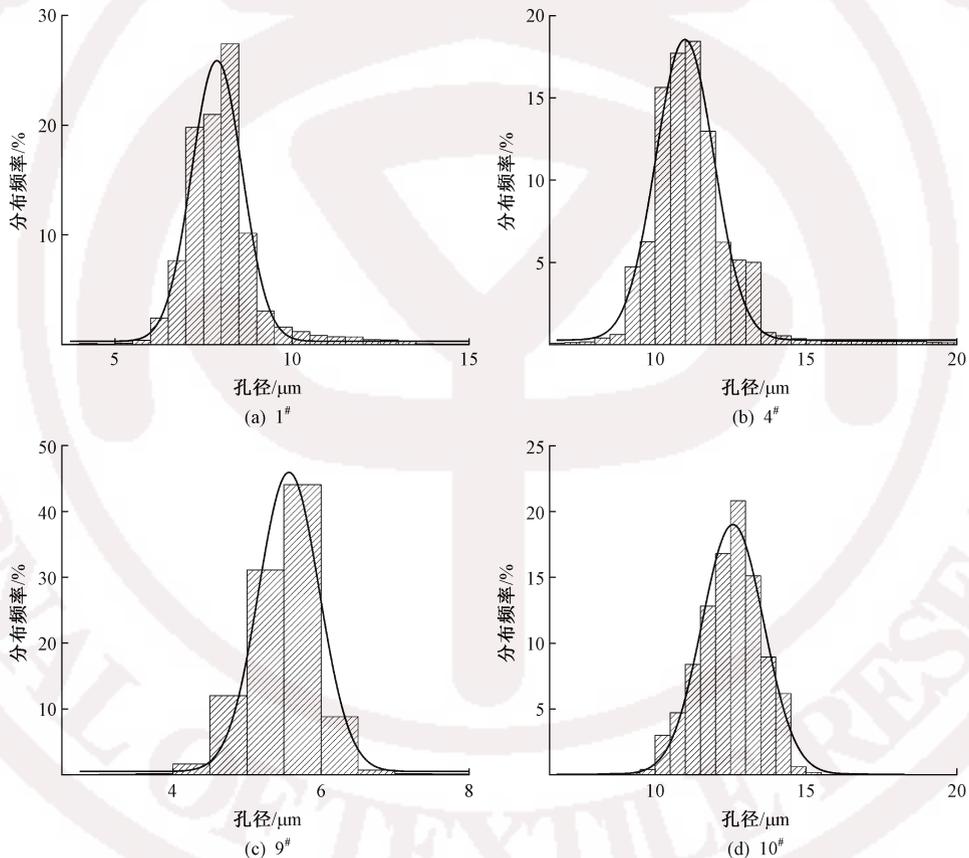


图 2 防羽面料孔径分布图

Fig.2 Pore size distribution of down-proof fabric

以正态分布函数对 10 种面料的孔径分布数据进行拟合, 拟合结果如表 2 所示。可知: 方程的判定系数 R^2 均在 0.75 以上; 3# 面料的孔径均值最小, 标准差也较小, 即孔径值均匀度较高; 而 10# 面料的孔径均值最大, 标准差也较大, 即孔径分布的均匀度较低。分析还发现, 孔径分布的均值与标准差之间的相关系数为 0.99, 说明防羽面料孔径均值越大, 孔

径值分布越离散。由于本文的面料密度和纱线线密度为织物织造时的规格参数, 经后整理后这些参数会发生一定的变化, 因而在此不讨论规格参数对面料性能的影响。

2.2 孔径分布与透气性的关系

10 种防羽面料透气性和相应孔径均值关系如表 3 所示。可知: 在原料和组织结构相同的情况下,

表 2 防羽面料孔径分布正态分布拟合方程参数

Tab.2 Parameters of fitting equation for normal distribution of pore size distribution of

down-proof fabric

面料编号	孔径均值/ μm	标准差/ μm	R^2
1#	7.9	6.5	0.95
2#	5.1	3.3	0.87
3#	4.3	3.7	0.91
4#	11.0	9.5	0.97
5#	11.9	11.0	0.75
6#	5.2	3.5	0.99
7#	10.2	8.3	0.97
8#	8.5	7.3	0.93
9#	5.4	3.8	0.97
10#	12.3	10.5	0.98

随着孔径均值的减小,面料透气率也减小;涤纶/棉经缎纹交织面料 2# 小于 1#,涤纶/棉交织平纹面料 3# 最小,4# 和 5# 相近,纯棉缎纹面料 7#、8#、9#、6# 依次减小。由于空气主要从面料纱线间及纱线内纤维间的孔隙通过,原料不同使得纱线内纤维间的孔隙大小不同,而织物组织影响了孔径分布情况,因此,面料的透气性不仅受孔径均值影响,还受到原料和组织的影响。

表 3 防羽面料透气性和孔径均值的关系

Tab.3 Relationship between breathability and mean pore size of down-proof fabric

面料编号	孔径均值/ μm	透气率/ $(\text{mm}\cdot\text{s}^{-1})$
1#	7.9	12.8
2#	5.1	11.8
3#	4.3	5.4
4#	11.0	10.0
5#	11.9	9.9
6#	5.2	10.4
7#	10.2	18.0
8#	8.5	16.3
9#	5.4	13.9
10#	12.3	19.3

2.3 孔径分布与防钻绒性的关系

10 种防羽面料钻绒根数和相应孔径均值关系如表 4 所示。可发现,孔径均值与钻绒根数呈正相关,面料组织和原料对钻绒根数的影响较小。以孔径均值(x)为自变量,钻绒根数(y)为因变量,经非线性回归拟合,可得到拟合方程为

$$y = (1.37 \times 10^{-3})x^{4.07} + 10.97$$

方程的判定系数 R^2 为 0.94,二者的关系曲线如图 3 所示。可看出,钻绒根数随着孔径均值的增大而增大。当孔径均值小于 $8 \mu\text{m}$ 时,钻绒根数较小且增长趋势比较平缓,这是由于一般绒枝的直径在 $7.5 \sim 30 \mu\text{m}$ 之间,绒小枝的平均直径约为 $6.7 \mu\text{m}$ ^[12],此时孔径均值小于一般羽绒的直径,因

表 4 防羽面料防钻绒性和孔径均值的关系

Tab.4 Relationship between anti-drilling and mean pore size of down-proof fabric

面料编号	孔径均值/ μm	钻绒根数
1#	7.9	22
2#	5.1	15
3#	4.3	9
4#	11.0	35
5#	11.9	42
6#	5.2	10
7#	10.2	23
8#	8.5	21
9#	5.4	11
10#	12.3	50

此,可有效阻止羽绒的钻出。当孔径均值大于 $8 \mu\text{m}$ 时,钻绒根数随着孔径均值增大呈现快速上升趋势。当孔径均值超过 $12.5 \mu\text{m}$ 后,面料的钻绒根数将超出防钻绒性要求的最低标准(50 根)。

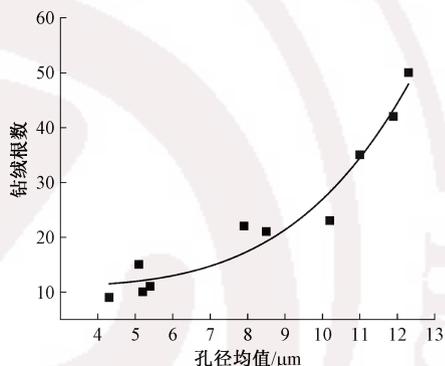


图 3 孔径均值与钻绒根数的关系曲线

Fig.3 Relationship between mean pore size and number of drilled piles

2.4 孔径分布与透钻比的关系

通过上文透气性和防钻绒性的分析结果,提出采用变异系数表征防羽面料孔径分布的均匀度(c_v),其计算公式为

$$c_v = \frac{\sigma}{\mu}$$

式中, μ 和 σ 分别为孔径正态分布拟合方程的均值和标准差, μm 。

一般来说,面料的透气性越好,其防钻绒效果越好^[2],为综合衡量面料的防钻绒性和透气性能,定义透气率和钻绒根数的比值为透钻比,进一步探索孔径分布特征与防羽面料性能的关系。透钻比数值越大,表明面料的透气和防钻绒性能越好。10 种防羽面料孔径的变异系数和透钻比结果见表 5。

由表 5 可知,孔径的变异系数和透钻比呈现显著负相关关系($r = -0.78$),即随着孔径变异程度的减小,透钻比增大,对应面料的透气性和防钻绒性的综合性能越好。例如,9# 面料的孔径变异系数比 10#

表 5 防羽面料孔径变异系数和透钻比结果

Tab.5 Coefficient of pore size variation and through drilling ratio results of down-proof fabric

面料编号	变异系数	透钻比
1 [#]	0.819	0.582
2 [#]	0.637	0.787
3 [#]	0.860	0.600
4 [#]	0.865	0.286
5 [#]	0.925	0.236
6 [#]	0.681	1.040
7 [#]	0.813	0.783
8 [#]	0.856	0.776
9 [#]	0.694	1.264
10 [#]	0.856	0.386

面料小 0.162, 即 9[#]比 10[#]面料孔径分布更均匀;在透气性和防钻绒性方面,9[#]与 10[#]面料相比,透气率从 13.9 mm/s 增加到 19.3 mm/s,钻绒根数由 11 根增加到 50 根,透气率增加的幅度显著小于钻绒根数增加幅度,9[#]比 10[#]面料的透钻比大 0.878,因此,9[#]面料的透气性和防钻绒性的综合性能优于 10[#]面料。孔径分布均匀性由原料、纺纱方式、织造工艺和后整理等多方面因素决定,影响了面料透气和防钻绒性。

3 结 论

1) 通过 CFP-1100A 型多功能孔径仪可测得面料的孔径信息,防羽面料的孔径分布呈正态分布规律,且防羽面料的孔径均值与标准差呈显著正相关。

2) 对于本文所选的试样,防羽面料透气率在原料和组织相同的情况下,随着孔径均值的减小,透气率也随之减小。孔径均值与钻绒根数呈显著正相关,当孔径均值大于 8 μm 时,面料的钻绒根数显著上升,防钻绒效果变差。

3) 定义透气率和钻绒根数的比值为透钻比,提出以透钻比综合衡量面料的防钻绒性和透气性。分析发现透钻比与孔径分布变异系数显著负相关,变异系数越小,孔径分布均匀度越高,面料的防钻绒性和透气性越好。

FZXB

参考文献:

[1] 蔡永东,马顺彬.超细高密涤纶防羽布的生产工艺探讨[J].纺织导报,2016(12):44-45.
CAI Yongdong, MA Shunbin. An approach to the production process of superfine high-density down-proof[J]. China Textile Leader, 2016(12):44-45.

[2] 曹爱玲,童兰英,胡敏,等.纺织面料透气性与防钻绒性的相关研究[J].上海纺织科技,2010,38(7):38-47.
CAO Ailing, TONG Lanying, HU Min, et al. Research on the breathability and anti-drilling of textile fabrics[J]. Shanghai Textile Science & Technology,

2010, 38(7):38-47.

[3] 叶谋锦,冯岚清,陈文娥,等.羽绒服装防钻绒工艺研究[J].上海纺织科技,2016,44(12):13-16.
YE Moujin, FENG Lanqing, CHEN Wen'e, et al. Research on anti-drilling technology of down clothing[J]. Shanghai Textile Science & Technology, 2016, 44(12):13-16.

[4] WANG Hongjie, WANG Wenyu, WANG He. Pore size effect on one-way water-transport cotton fabrics [J]. Applied Surface Science, 2018, 455(15):924-930.

[5] 金江昌,吴志斌.羽绒服面料的防钻绒性与结构关系探讨[J].上海纺织科技,2000,28(2):50-52.
JIN Jiangchang, WU Zhibin. Discussion on the relationship between the anti-drilling property and structure of down jacket fabric [J]. Shanghai Textile Science & Technology, 2000, 28(2):50-52.

[6] 狄剑锋,杜文琴,齐宏进.织物毛细孔径分布与其组织结构及组分的关系[J].纺织学报,2010,31(4):50-54.
DI Jianfeng, DU Wenqin, QI Hongjin. Relationship between capillary size distribution, textile weave and fiber content in woven fabrics [J]. Journal of Textile Research, 2010, 31(4):50-54.

[7] 于磊,蔡东照,黄机质.基于孔径分布图的高密织物防水透湿性能[J].纺织学报,2014,35(12):69-72.
YU Lei, CAI Dongzhao, HUANG Jizhi. Study on waterproofness and moisture permeability of densely woven fabric based on pore size distribution [J]. Journal of Textile Research, 2014, 35(12):69-72.

[8] 张文娟,纪峰,张瑞云,等.毛织物孔隙特征与透湿性关系[J].纺织学报,2019,40(1):67-72.
ZHANG Wenjuan, JI Feng, ZHANG Ruiyun, et al. Study on relationship between capillary characteristics and moisture permeability of wool fabrics [J]. Journal of Textile Research, 2019, 40(1):67-72.

[9] AISHA Rehman, MADEHA Jabbar, MUHAMMAD Umair, et al. A study on the interdependence of fabric pore size and its mechanical and comfort properties [J]. Journal of Natural Fibers, 2019, 16(6):795-805.

[10] 李小倩,刘让同,耿长军,等.织物的孔隙特征与透气透湿性研究[J].棉纺织技术,2019,47(11):17-20.
LI Xiaoqian, LIU Rangtong, GENG Changjun, et al. Study on fabric feature and air permeability & moisture penetrability [J]. Cotton Textile Technology, 2019, 47(11):17-20.

[11] CEM Kocak, EROL Egrioglu, UFUK Yolcu, et al. Computing cronbach alpha reliability coefficient for fuzzy survey data [J]. American Journal of Intelligent Systems, 2014, 4(5):204-213.

[12] 付贤文,高晶.鹅、鸭绒纤维形态结构差异及对保暖性能的影响[J].纺织学报,2011,32(12):10-14.
FU Xianwen, GAO Jing. Difference of morphological structures between goose down fiber and duck down fiber and their effect on thermal retaining property [J]. Journal of Textile Research, 2011, 32(12):10-14.