

缝制参数对芳纶电子织物性能的影响

顾琳燕, 唐虹, 高强, 张士兵, 孙进, 陆岁岁

(南通大学 纺织服装学院, 江苏 南通 226019)

摘要: 为了既满足人体热湿舒适性又达到传输电信号的要求, 研制出适用于消防服用的电子织物。采用芳纶双罗纹织物为电子织物基布, 以镀银导电缝纫线代替导电铜线, 以针迹长度、针迹宽度、面线张力为因素, 采用正交试验制备电子织物。利用可拓灰局势决策方法建立了电子织物导电性与热湿舒适性多项指标的局势、对策、效果测度和权重, 确定最优缝制参数为面线张力 0.1 N, 针迹宽度 3 mm, 针迹长度 3.5 mm, 为智能消防服的研制提供理论依据。

关键词: 芳纶; 导电织物; 导电性; 舒适性; 可拓灰局势决策

中图分类号: TS101.923

文献标识码: B

文章编号: 1001-2044(2019)01-0009-03

Effect of sewing parameters on properties of kevlar electronic fabric

GU Linyan, TANG Hong, GAO Qiang, ZHANG Shibing, SUN Jin, LU Suisui

(School of Textile and Clothing, Nantong University, Nantong 226019, China)

Abstract: In order to meet the requirements of human thermal comfort and transmission of electrical signals, an electronic fabric for firefighting is developed. The aramid double rib knitted fabric is used as the base cloth and the conductive sewing thread instead of the conductive copper wire. The preparation of electric fabric is carried out by orthogonal experiments with three factors of stitch length, stitch width and surface tension. Based on extension grey decision making method, the situation, countermeasure, effect measure and weight of multiple indexes of electrical fabric electrical conductivity and thermal moisture comfort are established, and the optimal sewing parameters are determined as: upper thread tension is 0.1 N, stitch width is 3 mm, and stitch length is 3.5 mm, which can provide theoretical basis for the development of intelligent fire fighting suit.

Key words: aromatic polyamide fiber; electric conductive fabric; electric conductivity; comfortability; grey situation decision making

DOI:10.16549/j.cnki.issn.1001-2044.2019.01.003

近年来,智能可穿戴消防服已经成为国内外研究的热点。芳纶具有高强、抗撕裂、耐磨、耐高温及阻燃等特点,成为当今智能消防服面料的首选^[1-2]。然而,消防作业时的环境恶劣,造成了消防服高温高湿的微气候,严重影响了消防员的战斗力。消防服的智能设计实现了消防服与电子元器件的柔性联接,在采集人体生理信号和服装微气候参数的同时,满足了服装的热湿舒适性与运动灵活性的要求^[3-4]。

在研制智能消防服时,为最大限度地发挥芳纶织物的特性,同时满足信号采集与传输的目的,电子织物应具有电信号的稳定性与服用的热湿舒适性。采用镀银导电缝纫线代替传统金属线,以芳纶织物为基布缝制柔性电子织物,并连接传感器与信号输出终端,实现对服装内部微气候的实时监测,以便指挥人员掌握现场消防人员的生理状态,提高作业安全性和作战能力。

1 芳纶电子织物研制

1.1 试验材料准备

收稿日期: 2018-01-02

基金项目: 江苏省高等学校自然科学研究重大项目(17KJA540001)

作者简介: 顾琳燕(1992—),女,江苏南通人,硕士研究生,主要从事功能性纺织品与服装舒适性的研究。

通信作者: 唐虹。E-mail: tang.h@ntu.edu.cn。

基布为常熟市宝沣特种纤维有限公司生产的对位芳纶针织布,双罗纹组织结构,织物面密度 250 g/m²,纵横密度均为 72 行/5 cm。镀银导电缝纫线以尼龙 6 为基体,线密度为 7.7 tex,4 股捻线,含银量 17%,具有导电、抗菌、抗静电、防辐射等性能。

1.2 正交试验设计

采用 NV35P 型全自动电子缝纫机, J05 线迹,“Z”形缝制,以增加缝制线迹的拉伸性。变化缝制参数的针长、针宽、面线张力 3 个因子,设计三因素三水平 L₉(3³) 正交表,见表 1。分别按间隔 1 cm 沿织物经纬向连续缝制多条平行线迹,制备 9 个芳纶电子织物试验样本。

表 1 正交试验因素水平表

水平	A 面线张力/N	B 针宽/mm	C 针长/mm
1	0.1	3	1.5
2	0.2	5	2.5
3	0.3	7	3.5

2 性能测试与分析

2.1 性能测试

芳纶电子织物的导电性、导湿性、透气性、保温性测试分别按照 JIS K0130—1995《导电性测量方法的通用规则》、FZ/T 01071—1999《纺织品 毛细效应试验方

法》、GB/T 5453—1997《纺织品 织物透气性的测定》、GB/T 11048—2008《纺织品 生理舒适性稳态条件下热阻和湿阻的测定》，在温度 20℃、相对湿度 65%的恒温恒湿环境下进行。测试仪器分别为 UT61E 型自动量程数字万用表、YG871L 型毛细管效应测定仪、YG(B) 461E 型织物透气性测定仪、YG606N 型织物保温测试仪。为了避免人为因素导致的系统误差，采用“随机化”的方法来安排试验顺序^[5]，试样导电性与热湿性能测试结果见表 2。

表 2 试样导电性与热湿性能测试结果

项目	试验组合	电阻率 / (Ω · m)	芯吸高度 / cm	透气率 / (mm · s ⁻¹)	传热系数 / [w · (m ⁻² · k ⁻¹)]
1	A ₁ B ₁ C ₁	122.5	13.2	1 268.3	18.386 5
2	A ₁ B ₂ C ₂	126.7	13.9	1 181.6	18.791 5
3	A ₁ B ₃ C ₃	126.0	13.3	1 069.2	18.450 0
4	A ₂ B ₁ C ₂	108.5	12.8	1 271.2	18.459 5
5	A ₂ B ₂ C ₃	110.0	13.2	1 188.0	18.259 5
6	A ₂ B ₃ C ₁	198.5	12.8	1 083.4	19.031 5
7	A ₃ B ₁ C ₃	100.1	11.9	1 287.9	18.540 0
8	A ₃ B ₂ C ₁	150.8	12.0	1 272.6	17.794 0
9	A ₃ B ₃ C ₂	140.5	12.3	1 123.3	17.419 0

由表 2 可知，面线张力越大，芯吸高度越小；针迹宽度越大，织物透气率越低；保温性受缝制参数影响不大。

2.2 正交试验分析

对表 2 的试验结果进行极差分析， k_1 、 k_2 、 k_3 分别表示在该因素上取三水平时所得试验结果的算术平均值，得到分析结果见表 3。

表 3 正交试验极差分析表

项目		A	B	C
电阻率 / (Ω · m)	k_1	125.1	110.4	157.3
	k_2	139.0	129.2	125.2
	k_3	130.5	155.0	112.0
	R	13.90	44.60	45.20
芯吸高度 / cm	k_1	13.41	12.66	12.69
	k_2	12.97	13.04	12.98
	k_3	12.07	12.75	12.78
	R	1.34	0.39	0.29
透气率 / (mm · s ⁻¹)	k_1	1 173.03	1 275.79	1 208.08
	k_2	1 180.87	1 214.05	1 192.04
	k_3	1 227.92	1 091.98	1 181.71
	R	54.89	183.81	26.37
传热系数 / [w · (m ⁻² · k ⁻¹)]	k_1	18.54	18.46	18.40
	k_2	18.58	18.28	18.22
	k_3	17.92	18.30	18.42
	R	0.67	0.18	0.20

由表 3 可知，导电性最优需要采用最小项，其对应的因子水平为 A₁B₁C₃；热湿舒适性最优需要采用均值最大项，导湿性、透气性、保温性单指标对应的最优因子水平分别为 A₁B₂C₂、A₃B₁C₁、A₂B₁C₃。从极差来看，极差越大表明该因子对试验结果的影响越大，影响导电性的因子主次顺序依次为 C、B、A；影响导湿性的因子主次顺序依次为 A、B、C；影响透气性的因子主次顺序依次为 B、A、C；影响保温性的因子主次顺序是 A、C、B。

按以上 4 种单指标最优缝制参数进行补充样品制作，并完成性能测试，试验结果见表 4。

表 4 4 种单指标最优缝制工艺样本性能测试

项目	缝制参数组合	电阻率 / (Ω · m)	芯吸高度 / cm	透气率 / (mm · s ⁻¹)	传热系数 / [w · (m ⁻² · k ⁻¹)]
10	A ₁ B ₁ C ₃	106.2	13.4	1 216.0	18.26
11	A ₁ B ₂ C ₂	143.1	13.7	1 159.2	18.03
12	A ₃ B ₁ C ₁	160.7	11.9	1 230.7	17.27
13	A ₂ B ₁ C ₃	107.2	11.4	1 209.8	19.14

从表 4 可知，通过正交试验设计研制试验样本可以弥补试验最佳样本数量不足的缺陷，但单指标最优缝制工艺样本的性能并不能同时实现各指标都处于最佳状态。

3 可拓灰局势决策分析

可拓学是以形式化的模型，探讨事物拓展的可能性以及开拓创新的规律与方法，并用于解决矛盾问题的学科^[6]。为实现电子织物导电性与热湿舒适性的双重目标，本文引入处理信息不完全问题的灰度分析与解决矛盾和不相容问题的可拓学相结合的可拓灰局势决策分析法^[7-8]，分析出电子织物的最优缝制参数。这种方法易于操作，避免了传统方法的偶然性、随机性和主观性。

3.1 构建局势物元和对策物元

可拓学以物元、事元和关系元表示信息^[9]，将测试数据转化为物元， N_i 表示对策物元， i 为试验次数； M_j 表示目标事件， j 为试验指标数，建立 4 对策 4 维复合物元，见式 (1)。

$$R_{4,4} = \begin{bmatrix} N_1 & N_2 & N_3 & N_4 \\ M_1 & 106.2 & 143.1 & 160.7 & 107.2 \\ M_2 & 13.4 & 13.7 & 11.9 & 11.4 \\ M_3 & 1216.0 & 1159.2 & 1230.7 & 1209.8 \\ M_4 & 18.26 & 18.03 & 17.27 & 19.14 \end{bmatrix} \quad (1)$$

3.2 确定目标正负极，求效果测度物元

效果测度 ξ_{ij} 是对策中某个目标满足局势中对应

目标要求的程度^[10],具有正负之分。

正极性指标为 $\xi_{ij} = v_{ij} / \max_j(v_{ij})$, 负极性指标为 $\xi_{ij} = v_{ij} / \min_j(v_{ij}) / v_{ij}$ 。芳纶电子织物芯吸高度、传热系数和透气率为正极性指标,导电性为负极性指标,根据正负极指标公式计算求得效果测度复合物元矩阵见式(2)。

$$R_{\xi} = \begin{bmatrix} N_1 & N_2 & N_3 & N_4 \\ M_1 & 1.000\ 00 & 0.742\ 14 & 0.660\ 86 & 0.990\ 67 \\ M_2 & 0.978\ 10 & 1.000\ 00 & 0.868\ 61 & 0.832\ 12 \\ M_3 & 0.988\ 06 & 0.941\ 90 & 1.000\ 00 & 0.983\ 02 \\ M_4 & 0.954\ 02 & 0.942\ 01 & 0.902\ 30 & 1.000\ 00 \end{bmatrix} \quad (2)$$

3.3 建立权重物元,求统一测度物元

在多指标综合评判中,权重物元的确定应兼顾导电性和热湿舒适性的双重要求,变异系数 V_j 见式(3):

$$V_j = \frac{\sigma_j}{\bar{X}_j} (j=1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

式中: V_j ——第 j 项指标的变异系数;

σ_j ——第 j 项指标的标准差;

\bar{X}_j ——第 j 项指标的平均数

再根据式(4)对导电性、导湿性、透气性、传热系数4项指标进行权重计算,分别为0.571、0.243、0.071、0.115。

$$W_j = \frac{V_j}{\sum_{j=1}^n V_j} \quad (4)$$

然后采用加权求和法求得统一测度物元, $k_1 = 0.988\ 542$, $k_2 = 0.843\ 842$, $k_3 = 0.763\ 187$, $k_4 = 0.952\ 672$ 。

3.4 求满意局势物元

由最大统一测度法求满意局势物元 $k_{\text{满意}}$, 见式(5):

$$k_{\text{满意}} = \max_i(k_i) \quad (5)$$

根据式(4), $k_{\text{满意}} = k_1$, 即当面线张力为0.1 N, 针迹宽度为3 mm, 针迹长度为3.5 mm时, 芳纶电子织物的性能最优。

4 结 语

(1) 缝制法研制的芳纶电子织物具有良好的导电

性和热湿舒适性,能同时满足电信号的采集与传输以及人体穿着舒适性要求。

(2) 利用极差分析发现,缝制参数对织物导电性能的影响主次顺序为:针迹长度影响最大,针迹宽度次之,面线张力影响最小。对织物导湿性的影响主次顺序为:面线张力影响最大,针迹宽度次之,针迹长度影响最小。对织物透气性的影响主次顺序为:针迹宽度影响最大,面线张力次之,针迹长度影响最小。对织物保温性的影响主次顺序为:面线张力影响最大,针迹长度次之,针迹宽度影响最小。

(3) 采用可拓灰局势决策建立电子织物导电性及热湿舒适性多指标的局势、对策、效果测度和权重,得到最佳缝制参数,即面线张力0.1 N,针迹宽度3 mm,针迹长度3.5 mm。



参考文献:

- [1] BUTLER B W, COHEN J D. Firefighter safety zones: A theoretical model based on radiative heating[J]. International Journal of Wildland Fire, 1998, 8(2): 73-77.
- [2] SUN G, YOO H S, ZHANG X S, et al. Radiant protective and transport properties of fabrics used by wildland firefighters[J]. Textile research journal, 2000, 70(7): 567-575.
- [3] HOLMÉR I. Protective clothing in hot environment [J]. Industrial Health, 2006, 44(10): 404-413.
- [4] SONG G, BARKER R L, HAMOUDA H, et al. Modeling the thermal protective performance of heat resistant garments in flash fire exposures[J]. Textile Research Journal, 2004, 74(12): 1033-1040.
- [5] 黄晨, 许云辉, 何银地, 等. 正交分析法在棉织物整理工艺中的应用研究[J]. 纺织学报, 2004(3): 52-54.
- [6] CAI W, YANG C, WANG G. A new cross discipline-extenics[J]. Science Foundation in China, 2005, 13(1): 55-61.
- [7] 邓聚龙. 灰预测与灰决策(修订版)[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002.
- [8] 蔡文, 杨春燕, 林伟初. 可拓工程方法[M]. 北京: 科学出版社, 1997.
- [9] 蔡文, 杨春燕, 陈文伟, 等. 可拓集与可拓数据挖掘[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [10] 王永林, 王东云, 宋百平. 可拓灰局势决策在织物舒适性评价中的应用[J]. 中原工学院学报, 2010, 21(4): 1-3.

欢迎订阅《上海纺织科技》杂志!

邮发代号: 4-397

编辑部电话: (021) 55211341 电子邮件: shfzkjtg@126.com