

# 高温带电作业屏蔽服内胆织物优选及工效验证

李红彦<sup>1</sup>, 薛萧昱<sup>2</sup>, 张丹<sup>1</sup>, 王敏<sup>\*2</sup>, 高阳<sup>1</sup>

(1. 国网吉林省电力有限公司 电力科学研究院, 吉林 长春 130021; 2. 东华大学 服装与艺术设计学院, 上海 200051)

**摘要:**针对高温带电作业屏蔽服内胆织物筛选存在主观性和模糊性的问题, 引入熵权-秩和比法定量筛选最优织物, 以改善屏蔽服的热湿舒适性。选取6款导湿织物为研究对象, 采用熵权-秩和比法从导热性能、吸湿速干性能、接触瞬间凉感、动态水分管理等方面进行重要度排序与分档, 筛选出综合性能最优的织物用于屏蔽服内胆, 并通过工效学实验验证研究方法的有效性。结果表明, 2<sup>#</sup>涤丙双层单向导湿织物综合性能最优, 适合作为单导区织物。进一步研究发现, 增加内胆对屏蔽服整体活动工效性无显著影响; 现役屏蔽服在膝盖和臀部区域的活动工效性有待改进。研究结果验证了熵权-秩和比法在屏蔽服内胆织物优选中的可行性, 为后续高温带电作业屏蔽服的研发与优化提供了有效手段。

**关键词:** 高温环境; 带电作业屏蔽服; 织物优选; 工效实验; 熵权-秩和比法

**中图分类号:** TS 941.731 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-1928(2024)06-0500-07

## Optimization and Performance Validation of Inner Lining Fabric for High-Temperature Live-Working Shielding Suit

LI Hongyan<sup>1</sup>, XUE Xiaoyu<sup>2</sup>, ZHANG Dan<sup>1</sup>, WANG Min<sup>\*2</sup>, GAO Yang<sup>1</sup>

(1. Electric Power Research Institute, State Grid Jilin Electric Power Co., Ltd., Changchun 130021, China; 2. College of Fashion and Design, Donghua University, Shanghai 200051, China)

**Abstract:** In response to the subjectivity and ambiguity in selecting inner lining fabrics for high-temperature live-working shielding suits, the entropy weight-rank sum ratio method was introduced to quantitatively select the optimal fabric to improve the thermal and moisture comfort of shielding suits. Six moisture-conducting fabrics were chosen for analysis. Using the entropy weight-rank sum ratio method, fabrics were ranked and categorized based on thermal conductivity, moisture wicking, instant cool touch and dynamic moisture management capabilities. Fabric with the best comprehensive properties was selected for the shielding suit liner, and the effectiveness of the research method was verified by ergonomic experiments. The results indicate that the 2<sup>#</sup> polyester-polypropylene double-layer unidirectional moisture-conducting fabric performs best, making it suitable as a single-direction moisture-conducting fabric. Further investigation reveals that adding an inner liner has no significant impact on the overall ergonomic performance of the shielding suit. The ergonomic performance of current shielding suits in areas such as knee and hip requires improvement. These findings confirm the feasibility of the entropy weight-rank sum ratio method for optimizing inner lining fabrics in shielding suits, and provide a reference for further development and enhancement of high-temperature live-working shielding suits.

**Key words:** high-temperature environment, live-working shielding suit, fabric optimization, ergonomic experiment, entropy weight-rank sum ratio method

收稿日期: 2024-06-22; 修订日期: 2024-09-19。

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金项目(2232024G-08); 国网吉林省电力有限公司科技项目(2023-40)。

作者简介: 李红彦(1983—), 男, 高级工程师。主要研究方向为职业健康与职业防护。

\* 通信作者: 王敏(1984—), 女, 高级实验师, 硕士生导师。主要研究方向为服装舒适性与功能服装。

Email: minmin1202@dhue.edu.cn

带电作业屏蔽服亦称等电位均压服,通常由均匀导体材料与纤维材料构成,可在高压电场中使作业人员与屏蔽服共同形成等电位屏蔽,有效防止电场和电磁波危害<sup>[1-2]</sup>。在超高压或特高压交直流输电线路的带电作业中,作业人员需穿戴屏蔽服,以屏蔽强电场。屏蔽服与人体形成了封闭环境,在高温环境下可能因衣内积聚大量热量和水分导致体温调节障碍,诱发热疲劳、中暑及热应激,增加事故风险<sup>[3-4]</sup>。尽管现役屏蔽服满足安全标准,但其热湿舒适性和活动工效性仍有较大的改进空间。因此,可以通过织物优选提升现役屏蔽服的性能,以提高带电作业效率,保障作业人员的生命安全。然而,织物优选是一个涉及多准则的复杂决策问题,多个目标间往往存在冲突,较难找到一种全部指标均达到最优的织物。

目前,织物材料的选择常依赖于专家个人经验,这种基于实践经验的主观排序会受到专家知识水平和个人喜好的限制,存在一定的主观偏见。织物材料的优选本质上是一个多目标决策过程,但当前客观的科学定量研究仍然不足。尽管层次分析法<sup>[5-6]</sup>、比率分析<sup>[7]</sup>、平均解距离<sup>[8]</sup>、优劣解距离法<sup>[9-10]</sup>、灰色关联分析<sup>[11]</sup>、灰色聚类分析<sup>[12]</sup>、灰色优劣解距离法<sup>[13]</sup>、模糊综合评价<sup>[14-16]</sup>等方法在近几年陆续被提出,但这些方法或过于主观,或计算过程复杂且评价结果单一。熵权法是一种客观的赋权方法,该方法根据评价指标的变异程度和信息熵值对权重进行修正。秩和比法具有计算简便、无量纲要求、综合评估效果良好等优点,能在一定程度上消除主观偏见,使评价更具客观性和实用性,已被广泛应用于资源评估和综合评价领域<sup>[17-18]</sup>。基于此,可以将熵权法与秩和比法结合,定量筛选最优织物,以保证评价的客观性。

目前,未有采用熵权-秩和比法进行高温带电作业屏蔽服内胆织物优选的相关研究。鉴于该方法在其他领域<sup>[19-21]</sup>已证实有效,文中选取 6 种针织织物,通过熵权-秩和比法确定织物的优选顺序及分档情况,并通过真人着装实验与现役屏蔽服进行对比,验证该方法的可行性,以期为高温带电作业屏蔽服及相关行业工作服的研发提供参考。

# 1 材料与方法

## 1.1 材料

选取 6 款织物作为试样,包括 4 款双层单向导湿织物(1<sup>#</sup>~4<sup>#</sup>)和 2 款单层速干织物(5<sup>#</sup>,6<sup>#</sup>),具体

结构参数见表 1。试样 1<sup>#</sup>,3<sup>#</sup>,4<sup>#</sup>由泉州森利纺织品贸易有限公司提供,试样 2<sup>#</sup>,5<sup>#</sup>,6<sup>#</sup>由福州福盟新材料科技有限公司提供。

表 1 试样基本结构参数  
Tab. 1 Basic structural parameters of the samples

编号	纤维成分	组织结构	面密度/ (g/m <sup>2</sup> )
1 <sup>#</sup>	$m(\text{锦纶}):m(\text{氨纶})=87:13$	纬编双面 鸟眼组织	190
2 <sup>#</sup>	$m[\text{涤纶}(\text{Coolmax}^{\circledR})]:m(\text{涤纶}):m(\text{丙纶})=62.5:12.5:25$	纬编罗纹 提花组织	160
3 <sup>#</sup>	$m(\text{涤纶}):m(\text{丙纶})=59:41$	纬编双面 鸟眼组织	150
4 <sup>#</sup>	$m(\text{涤纶}):m(\text{丙纶})=1:1$	纬编罗纹 提花组织	180
5 <sup>#</sup>	涤纶(Coolmax <sup>®</sup> )	纬编珠地 组织	149
6 <sup>#</sup>	涤纶(Coolmax <sup>®</sup> )	纬编鸟眼 组织	123

表 1 中,试样 1<sup>#</sup>由锦纶和氨纶组成,这两种纤维导热系数高,具有明显的接触凉感,有助于调节体温,且氨纶能够提升织物整体的舒适性和贴合度<sup>[22]</sup>。试样 2<sup>#</sup>~4<sup>#</sup>均由涤纶和丙纶组成,其中 2<sup>#</sup>的外层使用 Coolmax<sup>®</sup> 纤维,3<sup>#</sup>和 4<sup>#</sup>则采用普通涤纶纤维。这些纤维具有优异的结构稳定性和机械强度,尤其是试样 2<sup>#</sup>外层使用的Coolmax<sup>®</sup> 纤维,已经被证实具有优越的速干性能,适合用于户外运动服装和高强度活动服装<sup>[23-24]</sup>。作为对照,试样 5<sup>#</sup>和 6<sup>#</sup>均为 Coolmax<sup>®</sup> 纤维单层纬编针织物,具有良好的吸湿速干性,但不具备单向导湿功能。

## 1.2 织物性能测试方法

将试样置于 GB/T 6529—2008《纺织品 调湿和实验用标准大气》<sup>[25]</sup>规定的环境中[相对湿度 65%±4%,温度(20±2)℃]测试织物的热湿舒适性和触感舒适性。所有试样在测试前均需调湿至少 24 h。具体测试方法如下:

1)依据 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》<sup>[26]</sup>测试试样热阻。

2)依据 GB/T 21655. 1—2023《纺织品 吸湿速干性的评定 第 1 部分:单项组合试验法》<sup>[27]</sup>测试试样吸水性能。

3)依据 GB/T 21655. 2—2019《纺织品 吸湿速干性的评定 第 2 部分:动态水分传递法》<sup>[28]</sup>测试试样动态水分管理能力。

4)依据 GB/T 35263—2017《纺织品 接触瞬间

凉感性能的检测 and 评价》<sup>[29]</sup> 测试试样凉感。

1.3 研究方法

文中选取吸水率、滴水扩散时间、水分干燥速率、芯吸高度、单向传递指数、接触凉感系数和热阻 7 项指标,使用秩和比法评估 6 款单向导湿织物的性能。热阻按从小到大顺序确定优先级,其他 6 项指标则按从大到小排序。文中采用熵权-秩和比法对织物性能进行综合评价,具体步骤为:①采集评价指标数据,构建原始数据矩阵,并对数据进行归一化处理,消除量纲影响;②根据评价指标的变异程度计算信息熵,确定各指标的权重,客观反映其重要性;③基于归一化数据和指标权重计算每种织

物的综合得分,排序得到秩和比值;④以秩和比值作为评价指标秩次的平均值,反映织物的综合性能,值越大,织物性能越优。熵权-秩和比法的详细计算过程参考文献[19-21]。

2 结果与分析

在计算秩和比前,采用熵权法根据数据信息熵确定吸水率、滴水扩散时间、水分干燥速率、芯吸高度、单向传递指数、接触凉感系数、热阻 7 项评价指标的权重,以消除主观偏差,提高结果的客观性和准确性。6 款织物 7 项指标的测试结果及权重见表 2。

表 2 各项指标的测试结果及权重

Tab.2 Test results and weights of the indicators

试样	洗涤阶段	吸水率/%	滴水扩散 时间/s	水分干燥 速率/(g/h)	芯吸高 度/mm	单向传 递指数	接触凉感系数/ [J/(cm <sup>2</sup> ·s)]	热阻/ (K/W)
1 <sup>#</sup>	前	109	7.97	0.389	123	818.4	0.27	0.008 2
	后	95	>60	0.281	63	913.7		
2 <sup>#</sup>	前	295	0.16	0.383	203	248.8	0.15	0.016 0
	后	273	0.27	0.316	196	382.2		
3 <sup>#</sup>	前	247	0.88	0.292	193	499.2	0.15	0.015 7
	后	216	2.56	0.293	177	597.3		
4 <sup>#</sup>	前	265	0.31	0.340	190	518.4	0.14	0.016 9
	后	187	0.54	0.293	213	774.8		
5 <sup>#</sup>	前	256	0.27	0.353	183	341.7	0.16	0.016 1
	后	315	1.79	0.291	165	296.6		
6 <sup>#</sup>	前	291	>60	0.351	5	673.4	0.18	0.017 7
	后	199	>60	0.284	26	548.9		
权重/%	前	4.894	4.758	5.611	5.101	8.248	17.289	14.130
	后	6.163	10.503	10.911	7.135	5.257		

由表 2 可以看出,接触凉感系数、水分干燥速率和滴水扩散时间的权重较高,对评价结果影响显著;热阻的权重居中;吸水率、芯吸高度和单向传递指数的权重较低。计算每个指标的秩,将高优指标按升序排列,低优指标按降序排列。将各评价对象的秩与权重相乘后求和,再除以对象总数  $n$  (文中  $n=6$ ),得到每个对象的秩和比。按秩和比值从小到大排序,并计算累计频率,转换为概率单位 (Probit)。各试样的相关数据见表 3。

根据表 3,构建一元线性回归方程:

$$P=0.07+0.095R。$$

式中: $P$  为 Probit 值, $R$  为秩和比。

对模型进行显著性检验,得到  $F$  检验的  $p$  值为 0.030,显著性水平低于 0.05,表明模型具有显著性。决定系数( $R^2$ )为 0.73,表明模型具有较好的拟

合度;方差膨胀系数(VIF)小于 10,无多重共线性问题,证明研究中秩和比模型构建是合理的。

表 3 各试样的秩和比及 Probit 值

Tab.3 Rank sum ratio and Probit value of each sample

编号	秩和比	频数	平均秩次	Probit 值
6 <sup>#</sup>	0.368	1	1	4.033
3 <sup>#</sup>	0.572	1	2	4.569
4 <sup>#</sup>	0.586	1	3	5.000
5 <sup>#</sup>	0.588	1	4	5.431
1 <sup>#</sup>	0.658	1	5	5.967
2 <sup>#</sup>	0.668	1	6	6.732

按百分位数值和 Probit 值将 6 款织物分为 4 个等级,结果见表 4。由表 4 可以看出,试样 2<sup>#</sup>位于第 1 档,说明其综合性能最佳。因此,选择试样 2<sup>#</sup>作为高温带电作业屏蔽服内胆的单向导湿织物。

表 4 各试样分档数及临界值标准

Tab.4 Classification number and critical value standard of each sample

等级	百分位临界值	Probit 临界值	秩和比临界值	试样编号
第 1 档(极好)	>93.92	>6.5	>0.689	2 <sup>#</sup>
第 2 档(良好)	[50.00,93.92]	[5.0,6.5]	[0.546,0.689]	1 <sup>#</sup> , 5 <sup>#</sup>
第 3 档(合格)	[6.68,50.00)	[3.5,5.0)	[0.403,0.546)	3 <sup>#</sup> , 4 <sup>#</sup> , 6 <sup>#</sup>
第 4 档(较差)	<6.68	<3.5	<0.403	

3 工效性验证

在高温带电作业中,不适宜的屏蔽服会限制作业人员的活动<sup>[30]</sup>,增加其暴露时间,甚至可能危及生命。因此,保证屏蔽服的活动工效性是内胆设计的基本前提。将试样 2<sup>#</sup>作为原材料,结合高温屏蔽服需求分析的结果以及人体热生理特征的相关理论,采用分区设计手段,设计了一种包含吸水区和单导区的新型高温带电作业屏蔽服内胆,并保持屏蔽服与阻燃衣的材料结构不变。

3.1 实验服装

实验准备了 2 套服装,①实验组:新型屏蔽服,即在现役带电作业屏蔽服中增加新型内胆;②对照组:不含内胆的现役带电作业屏蔽服。对照组服装包括屏蔽服和阻燃衣外套,总热阻为 0.200 4 K/W;内搭包括男士平角内裤、阻燃内衣以及薄袜子。实验组的内胆为紧身款式,上装为无袖背心,下装为五分短裤,具体如图 1 所示。由图 1 可以看出,内胆采用分区设计,根据人体热生理特征划分为两类区域:①吸水区,主要使用吸水织物;②单导区,主要使用单向导湿织物。通过人因工效实验,比较穿着内胆前后的关节活动度、作业速度、束缚感及灵活度,评估新型屏蔽服的活动工效性,并验证熵权-秩和比法的有效性。

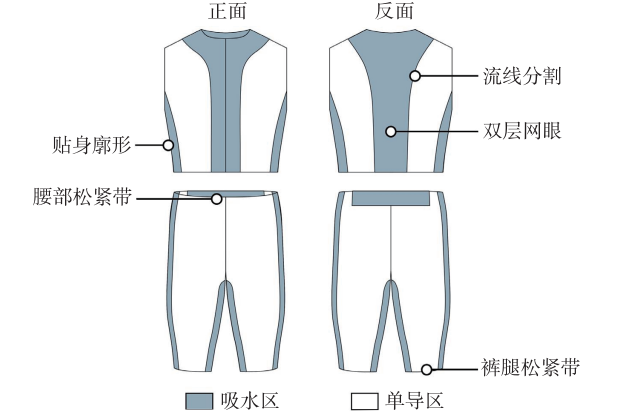


图 1 新型屏蔽服内胆设计

Fig.1 Design of new shielding suit inner liner

3.2 受试者

随机选择 12 名来自东华大学的健康成年男性

参与实验,受试者年龄为(23 ± 2)岁,身高为(175 ± 2.5)cm,体质量为(65 ± 5)kg。受试者均为在上海常住 1 年以上的健康个体,无心血管疾病、代谢性疾病或其他可能影响实验结果的健康问题。为保证实验的准确性,受试者在实验前 12 h 禁止摄入含咖啡因的食品,并确保实验前一晚至少有 8 h 的充足睡眠。同时,实验前受试者静坐 15 min 以达到热平衡。

3.3 实验流程

在高压作业环境下,保障带电作业人员的人身安全是屏蔽服最重要的作用。如果屏蔽服的整体活动工效性较差,会阻碍作业进程,延长作业人员的暴露时间,甚至存在高处坠落的风险。因此,在研制新型高温带电作业屏蔽服时,首先要验证方案的活动功效性,以确保带电作业的安全开展。文中采用视觉模拟评分法对新型屏蔽服和现役屏蔽服的工效性进行评价,评价指标包括关节活动度、模拟走线时间和主观灵活度,评分从 - 3 (极不便) ~ 3 (极便捷)。

实验时长大约为 60 min,包括以下步骤:①测量关节活动度并填写问卷(约 10 min);②按指示完成复合动作并记录感受(约 10 min);③进行爬塔—穿绝缘子—走线模拟作业(约 5 min);④在(35 ± 0.5)℃、65% ± 5% 相对湿度环境中以 6 km/h 的速度快走,并在开始和结束时填写问卷(约 30 min);⑤重复步骤③模拟作业(约 5 min)。

采用 IBM SPSS Statistics 26 软件进行数据分析,正态分布数据使用单因素方差分析,非正态数据采用非参数检验,置信区间设为 95%,显著性水平为 0.05。

3.4 工效性分析

3.4.1 人体关节活动度

图 2 展示了受试者穿着内胆前后的最大关节活动度。由图 2 可以看出,肩部下伸和腰部前屈时,不含内胆的带电作业屏蔽服关节活动度略小;而进行肩部上伸、双肩外展等其他肩部动作时,加入内胆前后的关节活动度均无显著性变化( $p < 0.05$ )。此外,在躯干侧屈、髋部侧展和膝盖后屈时,不含内胆的带电作业屏蔽服关节活动度更大。单因素方差

分析显示,内胆穿着前后关节活动度差异不显著( $p>0.05$ ),表明内胆对关节活动无显著影响。究其原因,内胆上下装为无袖和五分裤,未完全覆盖肩关节和膝关节,且采用弹性良好的针织织物,即使覆盖臀部、背部和腰部等皮肤拉伸率高的部位,也不会阻碍关节活动。

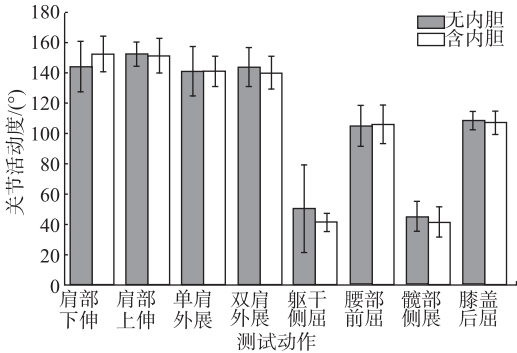


图 2 穿着内胆前后的关节活动度

Fig. 2 Joint range of motions before and after wearing the inner liner

**3.4.2 作业完成时长** 文中通过模拟指定动作时长评估 2 组服装的作业效率,完成动作时间越短,效率越高,结果如图 3 所示。由图 3 可以看出,穿着内胆时完成动作的时间均短于未穿内胆时。单因素方差分析显示,穿着内胆前后完成相同动作的时间无显著差异( $p>0.05$ ),表明内胆不影响作业效率。在第 2 次完成爬塔、穿绝缘子等动作时,完成动作

时间略短于第 1 次,可能是由于熟练度提高以及经历了 30 min 快走後肌肉充血,力量和反应速度增强。

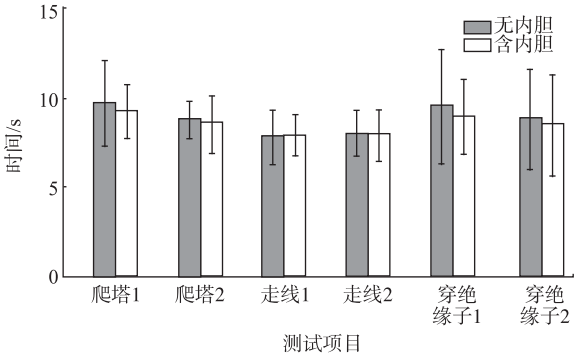


图 3 穿着内胆前后完成指定动作的耗时

Fig. 3 Consumed time for completing specified actions before and after wearing the inner liner

**3.4.3 主观活动舒适感** 图 4 为受试者穿着内胆前后的主观灵活度评分。由图 4 可以看出,局部和整体灵活度评分接近。单因素方差分析表明,穿着内胆前后的灵活度评分无显著差异( $p>0.05$ ),表明内胆对屏蔽服灵活度无影响。整体而言,受试者在行走、手臂前伸和弯腰等动作中的灵活度评分较高,其他动作的评分略低,但仍在适中范围内,表明现役屏蔽服基本满足活动工效性需求。然而,在行走、跑步、攀爬、下蹲、趴伏和走线过程中,膝盖、臀部的灵活度评分较低,说明这些部位的活动工效性不足。

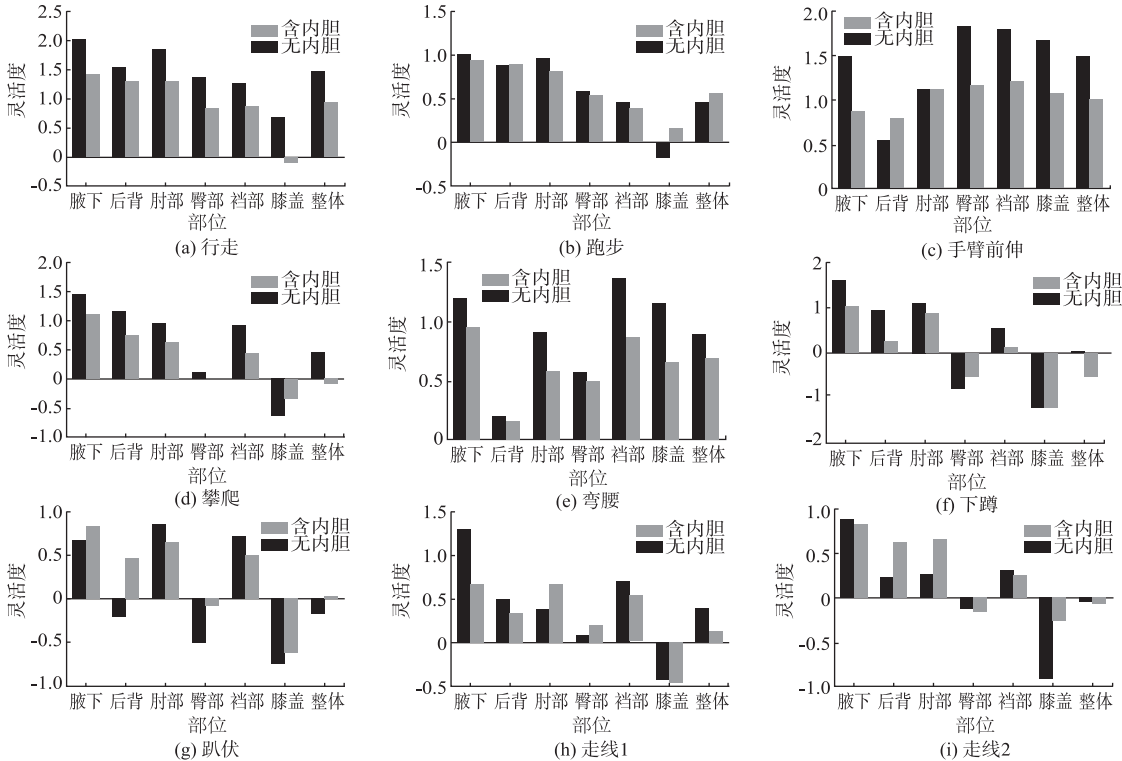


图 4 完成指定动作的灵活度评分

Fig. 4 Flexibility scores for completing specified actions



综上所述,穿着内胆对屏蔽服的活动工效性无显著影响;现役屏蔽服在膝盖和臀部的活动工效性有待改进。

## 4 结 语

文中针对高温带电作业屏蔽服内胆织物选择的主观性和模糊性问题,提出了基于熵权-秩和比法的内胆织物优选策略,得出以下结论:

1)通过测试6种预选针织物的导热性能、吸湿速干性能、接触瞬间凉感及动态水分管理能力,结合熵权-秩和比法模型得出的综合评价结果,发现涤丙双层单向导湿织物(试样2<sup>#</sup>)的综合性能最佳,适合作为新型屏蔽服的单导区织物。

2)熵权法与秩和比法能够相互补充,两种方法结合既避免主观因素的影响,又能准确反映织物特性,为高温带电作业屏蔽服内胆织物的优选提供了参考依据。

3)工效学实验表明,新型屏蔽服内胆对活动工效性的限制无显著影响( $p>0.05$ )。穿着新型内胆后,受试者腰部及肩部部分动作的关节活动度略有提高,其余关节活动度略有下降,且完成作业时间减少,显示出较好的实用性。

文中提出了内胆织物优选方法并设计了新型屏蔽服内胆,有助于提升高温带电作业屏蔽服的性能,同时为作业人员提供更舒适的防护装备,具有一定的应用价值。但文中研究在织物数量及评价指标选择上存在一定局限,未来应进一步细化指标,拓展织物种类,并结合人体热生理与运动生理学原理,系统监测高温作业条件下的关键生理参数(如皮肤温度、心率、出汗量等),优化屏蔽服设计,为高温作业人员提供更全面的防护设备。

### 参考文献:

[1] SU Y, WANG X C, LI Y P, et al. Analysis of the conductivity property of live working shielding clothing [J]. Journal of Industrial Textiles, 2018, 48 (3): 643-659.

[2] WANG X C, ZHANG J, HANG G G, et al. Influencing factors of shielding effectiveness test of electromagnetic shielding clothing [J]. Journal of Industrial Textiles, 2022, 52: 1-23.

[3] 李稳,顾苏,毛盾,等.基于人体体征的作业人员安全预警系统[J].中国安全科学学报,2019,29(9):167-172.

LI Wen, GU Su, MAO Dun, et al. Safety early warning system for live working considering body signs[J]. China

Safety Science Journal, 2019, 29 (9): 167-172. (in Chinese)

[4] 谢鹏,秦威南,吕鹏飞,等.屏蔽服冷却系统对人体表面温度影响的研究[J].中国安全生产科学技术,2020,16(11):159-165.

XIE Peng, QIN Weinan, LYU Pengfei, et al. Research on influence of cooling system in shielding clothing on surface temperature of human body[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2020, 16 (11): 159-165. (in Chinese)

[5] SARICAM C, ERDURLU N. Evaluation of regenerated bamboo, polyester and cotton knitted fabrics for summer clothing [J]. Fibres and Textiles in Eastern Europe, 2018, 26(4): 82-89.

[6] MITRA A, MAJUMDAR A, GHOSH A, et al. Selection of handloom fabrics for summer clothing using multi-criteria decision making techniques [J]. Journal of Natural Fibers, 2015, 12(1): 61-71.

[7] MITRA A. Application of multi-objective optimization on the basis of ratio analysis (MOORA) for selection of cotton fabrics for optimal thermal comfort [J]. Research Journal of Textile and Apparel, 2022, 26(2): 187-203.

[8] MITRA A. Selection of cotton fabrics using EDAS method [J]. Journal of Natural Fibers, 2022, 19 (7): 2706-2718.

[9] CHAKRABORTY S, CHATTERJEE P. A developed meta-model for selection of cotton fabrics using design of experiments and TOPSIS method [J]. Journal of the Institution of Engineers (India): Series E, 2017, 98(2): 79-90.

[10] YE J, CHEN T Y. Selection of cotton fabrics using Pythagorean fuzzy TOPSIS approach [J]. Journal of Natural Fibers, 2022, 19(14): 9085-9100.

[11] 李慧,宋晓霞.吸湿排汗针织面料设计及热湿舒适性评价[J].服装学报,2022,7(3):196-201.

LI Hui, SONG Xiaoxia. Design of moisture-wicking fabric and thermal and moisture comfort evaluation [J]. Journal of Clothing Research, 2022, 7(3): 196-201. (in Chinese)

[12] 姚芳芹,方丽英.运动服用针织面料热湿舒适性能评价[J].服装学报,2022,7(2):101-107.

YAO Fangqin, FANG Liying. Evaluation of thermal and heat-moisture comfort performance of knit sportswear fabric [J]. Journal of Clothing Research, 2022, 7(2): 101-107. (in Chinese)

[13] BHATIA D, SINHA S K. Selection of handloom fabrics based on thermo-physiological characteristics using multi-attributes decision making algorithm [J]. Journal of Natural Fibers, 2022, 19(13): 6015-6030.

[14] 王永荣,左凯悦,朱雨桦.聚酰亚胺针织物热湿舒适性研究[J].针织工业,2022(7):21-26.

WANG Yongrong, ZUO Kaiyue, ZHU Yuhua. Study on the thermal-moist comfort property of polyimide knitted fabric[J]. Knitting Industries, 2022 (7): 21-26. (in Chinese)

[15] 张建新, 黄钢, 胡旭东. 基于光谱成像技术的织物光泽模糊综合评价[J]. 纺织学报, 2021, 42(6): 106-113.

ZHANG Jianxin, HUANG Gang, HU Xudong. Fuzzy comprehensive evaluation of fabric gloss based on spectral imaging technology[J]. Journal of Textile Research, 2021, 42(6): 106-113. (in Chinese)

[16] 楚鑫鑫, 肖红, 范杰. 织物凉感等级的主客观评价及确定[J]. 纺织学报, 2019, 40(2): 105-113.

CHU Xinxin, XIAO Hong, FAN Jie. Using fuzzy comprehensive evaluation method to classify fabrics for coolness level[J]. Journal of Textile Research, 2019, 40(2): 105-113. (in Chinese)

[17] WANG Y, JIANG Y T, ZHU G X. Spatio-temporal evaluation of multi-scale cultivated land system resilience in black soil region from 2000 to 2019: a case study of Liaoning Province, Northeast China [J]. Chinese Geographical Science, 2024, 34(1): 168-180.

[18] 郑通, 张立杰. 中国服装行业上市企业数字化转型评价[J]. 丝绸, 2023, 60(9): 1-7.

ZHENG Tong, ZHANG Lijie. Evaluation on digital transformation of listed enterprises in China's clothing industry [J]. Journal of Silk, 2023, 60(9): 1-7. (in Chinese)

[19] PAN J J, REN S, HUANG X X, et al. Evaluation of policy effectiveness by mathematical modeling for the opioid crisis with spatial study and trend analysis[J]. Healthcare, 2021, 9(5): 585.

[20] XU Y, YANG L, ZHANG C, et al. Comprehensive evaluation of water ecological environment in watersheds: a case study of the Yangtze River Economic Belt, China [J]. Environmental Science and Pollution Research International, 2023, 30(11): 30727-30740.

[21] LU H L, ZHU C X, CAO X, et al. The sustainability evaluation of masks based on the integrated rank sum ratio and entropy weight method[J]. Sustainability, 2022, 14(9): 5706.

[22] LIU X J, SU X Z, SONG J, et al. Research on properties of modified nylon blend yarn and fabric[J]. International Journal of Clothing Science and Technology, 2019, 32(3): 322-337.

[23] HOUSHYAR S, PADHYE R, NAYAK R. Effect of moisture-wicking materials on the physical and thermo-physiological comfort properties of firefighters' protective clothing[J]. Fibers and Polymers, 2017, 18(2): 383-389.

[24] KIM H A. Water/moisture vapor permeabilities and thermal wear comfort of the Coolmax® /bamboo/tencel included PET and PP composite yarns and their woven fabrics[J]. The Journal of the Textile Institute, 2021, 112(12): 1940-1953.

[25] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 纺织品 调湿和实验用标准大气: GB/T 6529—2008 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.

[26] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 纺织品 生理舒适性 稳态条件下热阻和湿阻的测定: GB/T 11048—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.

[27] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 纺织品 吸湿速干性的评定 第1部分: 单项组合试验法: GB/T 21655. 1—2023 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2023.

[28] 国家市场监督管理总局, 中国国家标准化管理委员会. 纺织品 吸湿速干性的评定 第2部分: 动态水分传递法: GB/T 21655. 2—2019[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.

[29] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 纺织品 接触瞬间凉感性能的检测和评价: GB/T 35263—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.

[30] 刘亚琼, 李楠, 李雯, 等. 服装结构设计对电磁屏蔽效能的影响[J]. 现代纺织技术, 2022, 30(4): 193-199.

LIU Yaqiong, LI Nan, LI Wen, et al. Influence of clothing structure design on electromagnetic shielding effectiveness[J]. Advanced Textile Technology, 2022, 30(4): 193-199. (in Chinese)

(责任编辑: 沈天琦)