

基于柔性电路的夜间巡检服制作与性能测试

王建雯, 邱莉*, 陈晓东, 张思婷, 毛龙妹

(内蒙古工业大学轻工与纺织学院, 内蒙古呼和浩特 010080)

摘要:为保障巡检工人夜间作业时的安全与效率,采用冷光片与反光材料配置光敏传感器,以柔性印刷电路连接制备柔性电路智能巡检服。通过丝网印刷技术,在涤棉平纹布上使用银包铜油墨和银油墨进行印刷电路的制备,将最优工艺制备的银包铜油墨印刷电路和银油墨印刷电路应用于巡检服中。选择色彩照度最高的蓝绿色冷光片作为发光源,制备出黑暗环境下可自动发光的、舒适度高的柔性电路智能巡检服,确保工人在巡检时的舒适性与安全性。研究表明:蓝绿色光照度最大且在人眼中的辨识度最高;随着电阻增加,冷光片发光效果减弱,当电阻在 $0 \sim 10 \Omega$ 之间时,冷光片发光效果最好。

关键词: 巡检服;柔性电路;导电性;舒适性

中图分类号: TS 873; TS 106 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-1928(2025)06-0491-07

Fabrication and Performance Test of a Night Patrol Suit Based on Flexible Circuit

WANG Jianwen, QIU Li*, CHEN Xiaodong, ZHANG Sitimg, MAO Longmei

(College of Light Industry and Textiles, Inner Mongolia University of Technology, Hohhot 010080, China)

Abstract: To ensure the safety and efficiency of inspection workers during nighttime operations, a flexible printed circuit-based smart inspection suit was developed. This suit integrates electroluminescent panels and reflective materials with light-sensitive sensors, interconnected via flexible printed circuits. Using screen printing technology, circuits were fabricated on polyester-cotton plain weave fabric with silver-coated copper ink and silver ink. The optimally manufactured circuits from these inks were incorporated into the suit. A blue-green electroluminescent panel, selected for its highest color illuminance, serves as the light source. This results in a flexible-circuit smart inspection suit that automatically illuminates in dark environments while maintaining high comfort, thereby ensuring the wearer's safety and comfort during inspections. The study shows that blue-green light provides the highest illuminance and the greatest recognition to the human eye. Moreover, as the resistance increases, the luminescent effect of the electroluminescent panel weakens, and the optimal luminous effect is achieved when the resistance is within the range of $0 - 10 \Omega$.

Key words: patrol uniforms, flexible circuits, electrical conductivity, comfort

巡检服通常配备夜光部件,如反光带^[1]、LED灯串和冷光片^[2],以提高工人在黑暗环境中的安全性。在制备柔性电路巡检服时,选择合适的柔性电路与发光部件至关重要。巡检服发光功能需依赖导线,而传统巡检服所用的导线存在缺陷,如穿着

不适、绝缘层破裂隐患、线路排布复杂及固定烦琐等。柔性印刷电路的核心优势在于其卓越的灵活性、耐用性与环境适应性。因此,研发柔性印刷电路是解决舒适性、安全性与工艺复杂性问题的有效途径^[3,4]。

柔性电路在智能服装领域广泛应用,例如,

收稿日期:2024-12-18; 修订日期:2025-08-27。

基金项目:内蒙古自治区自然科学基金项目(RZ2100001604);企业横向项目(RH2200002240)。

作者简介:王建雯(1999—),女,硕士研究生。

*通信作者:邱莉(1979—),女,副教授,硕士生导师。主要研究方向为纺织复合材料与纺织智能检测。

Email: qiuli@imut.edu.cn

2017 年 Google 与 Levi's 共同研发名为“Commuter”的智能夹克,通过柔性电路和导电纤维使袖口支持触摸手势控制(如接听电话、播放音乐等),具有良好的交互体验,适用于骑行者和日常通勤者^[5]。2013 年 Hexoskin 公司的智能背心内置柔性电路和传感器,可监测穿戴者的心率、呼吸及活动量等数据,主要用于运动训练、健康监测和医疗康复^[6]。2015 年 Athos 公司开发的智能运动服内嵌柔性电路和 EMG 传感器,可监测肌肉活动、心率及呼吸,协助健身爱好者运动训练^[7]。2019 年日本设计师 Kunihiko Morinaga 研发的“Anrealage”智能变色服装,利用柔性电路与电致变色材料,可根据环境或用户需求进行颜色变化,开创了智能服装在时尚领域的新应用^[8]。

柔性电子电路在智能服装领域市场潜力巨大,覆盖了健康监测、运动健身、医疗康复、军事防护等多个领域。随着柔性电子技术的发展与市场需求的增加,智能服装有望成为人们未来生活的重要组成部分,为用户提供更智能、便捷、健康的生活方式。文中采用反光材料,创新性地引入了低能耗冷光材料^[9],结合制备的柔性印刷电路,研制智能巡检服,无须手动操作,节约能源,以期对巡检人员提供更好的视觉体验,提升夜间巡检的便利性和安全性。

1 材料选择与服装设计方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料 银包铜、银,奔宇金属材料有限公司生产;防静电斜纹布、涤棉平纹布、高亮反光化纤布、黏合布衬、冷光片的规格和型号见表 1。

表 1 材料的规格和型号

Tab. 1 Model numbers and specifications

材料	规格/型号
防静电斜纹布	100% 涤纶, 16.67 tex + 33.33 tex × 33.33 tex
涤棉平纹布	$m(\text{棉}):m(\text{涤纶}) = 60:40, 12.9 \text{ tex} \times 12.9 \text{ tex}/133 \text{ 根}/\text{dm} \times 72 \text{ 根}/\text{dm}$
高亮反光化纤布	厚度 150 μm , 宽度 3 cm, 反光系数 $R' > 380 \text{ cd}/(\text{lx} \cdot \text{m}^2)$
黏合布衬	5.56 tex
冷光片	5 V, 0.007 ~ 0.01 W/cm ² , 蓝绿色

1.1.2 仪器 NS101 - M 丝印机,东莞瑞达机电设备有限公司制造;DL333204 得力照度计光照度计,山东省得世特机电有限责任公司制造;防静电斜纹布,江苏省吴江区桃源海润印染有限公司制造;涤

棉平纹布,江苏省吴江区桃源海润印染有限公司制造;高亮反光化纤布,浙江星华新材料集团股份有限公司制造;黏合布衬,滨州远科纺织品有限责任公司制造;冷光片,深圳市闪城科技有限公司制造。

1.2 方法

1.2.1 印刷电路测试 为探究巡检服的实际服用性能,文中通过厚度、线宽、导电颗粒含量的单因素实验来确定正交实验的水平范围,即厚度为 4, 5, 6 层;线宽为 0.7, 0.8, 0.9 cm;导电颗粒质量为 4.10, 4.25, 4.40 g。以涤棉平纹布为基底制备银包铜和银油墨,在丝印机上倒入油墨,用刮刀以 45°角印刷电路。随后选定厚度、线宽、导电颗粒质量进行 3 因素 3 水平正交实验,探究最佳条件组合,并对印刷电路进行测试和表征。

结果显示,在印刷层数为 6 层、线宽 0.9 cm、质量为 4.25 g 的银包铜、质量为 2.4 g 的银导电颗粒与 5.0 g 的透明胶浆工艺条件下,银包铜油墨印刷电路电阻为 1.2 Ω , 银油墨印刷电路电阻为 7.2 Ω 。其中,银包铜油墨水洗前后变化为 -0.2 Ω , 弯折前后变化为 0.7 Ω , 升温前后变化为 1.2 Ω ;银油墨水洗前后变化为 0.8 Ω , 弯折前后变化为 1.3 Ω , 升温前后变化为 1.9 Ω 。在升温、降温、弯折和水洗测试中银包铜油墨的电阻变化均小于银油墨电路,因此,银包铜油墨相较于银油墨展现出更优的导电性能,更适合用作柔性电路巡检服的印刷电路。

1.2.2 面料选择 巡检服面料选择防静电斜纹布,该面料具有防静电性能强、厚实、布纹细腻、布面光泽平整、耐用性好、色牢度高、手感好、舒适度高、易洗涤等特点^[10]。此外,其应用领域广泛,能满足特定工作环境的需求^[11]。里料选用涤棉平纹布,不仅能满足作为印刷电路基底的性能要求,同时具有卓越的透气性与吸湿性,保证穿着舒适性。高亮反光化纤布具有优异的反光性能,耐用且耐洗涤,使用寿命长,安全性能优良^[12]。因此,可作为反光材料使用。

冷光片的性能表现可以从色彩、照度、光通量、作用距离及环境适宜性等多方面进行综合评估。在黑暗环境中,为满足视觉效果最大化与低能耗需求,需确定最佳色彩与照度参数。文中对现有的 6 种 5 V 彩色冷光片进行照度测试,筛选出照度较高且视觉效果较好的冷光片,以获得优质视觉效果。采用照度计测量照度^[13],照度 E 的单位为勒克斯(lx)。

图 1 是测试相同规格、不同色彩的冷光片在 9 个不同部位的平均照度对照图。结果显示,蓝绿光

的照度最高,红光的照度最低,照度值从高到低依次为:蓝绿 > 绿 > 白 > 黄 > 蓝 > 红。此外,人眼对不同颜色的视觉敏感度存在差异,可见光光谱的颜色依次是红、橙、黄、绿、青、蓝、紫^[14]。人眼视觉对波长为 555 nm 附近的绿色区域最为敏感,而对光谱两端的红光和紫光区域敏感度较低^[15]。通电后观察,发现蓝绿色光的辨识度较高,综合视觉感知与照度测试的数据,选用蓝绿色冷光片作为夜间巡检服装的光源,以确保巡检工作的安全高效。

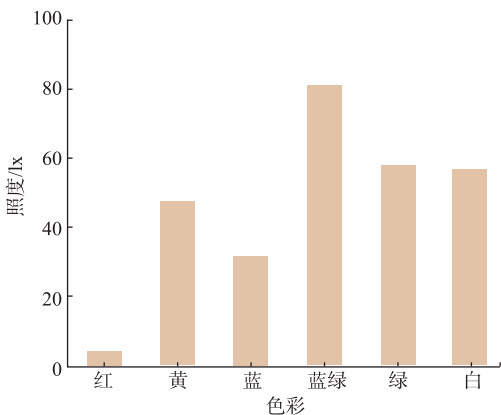


图1 色彩照度与波长

Fig.1 Color illuminance and wavelength

1.3 服装设计

1.3.1 服装款式设计 以女款体型 160/84A 为基础设计成衣。根据巡检服的功能需求,对服装款式进行设计。在服装前片采用“V”字反光材料,后片为“一字”反光材料,这样的设计不仅时尚独特,还增强了夜间可视性;立领、门襟、袖克夫的设计,具备了一定的防风效果;工装大口袋,可以方便巡检人员携带必要的巡检设备;服装款式设定为“H”型,可以增加服装内运动空间,增强工人着装的舒适性。综合以上设计元素,最终确定柔性电路智能巡检服的款式,具体如图2所示。

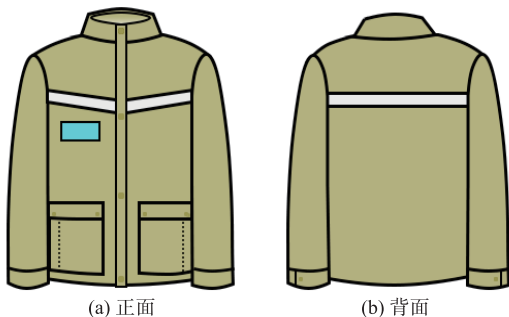


图2 柔性电路智能巡检服款式

Fig.2 Flexible intelligent night inspection warning suit

柔性电路智能巡检服的结构如图3所示。

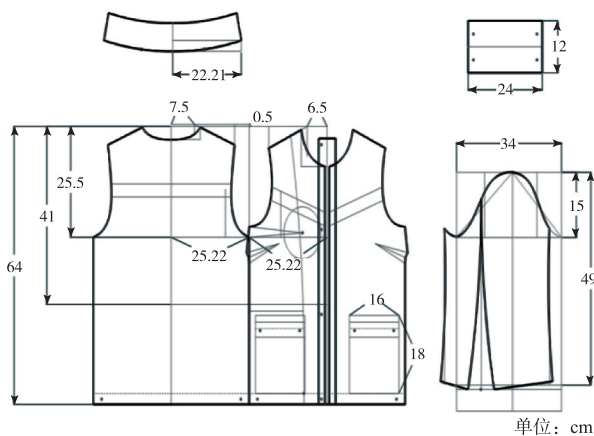


图3 柔性电路智能巡检服结构

Fig.3 Structure diagram of a flexible intelligent night inspection warning suit

1.3.2 服装电路设计 服装电路设计如图4所示。

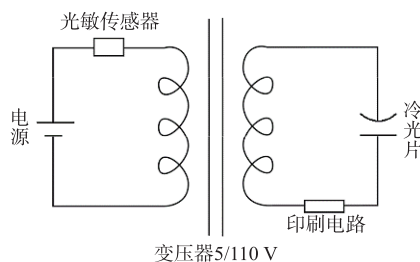
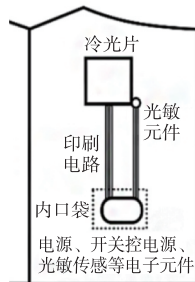


图4 电路设计

Fig.4 Circuit design diagram

由图4可知,光敏传感器模块为控制开关,印刷电路相当于串联在电路中的电阻。该电路包含电源、光敏传感器和冷光片逆变器等关键电子元件。光敏传感器作为控制开关,自带继电器,可通过电位器调节其灵敏度,通过调节电位器,可设定继电器启动阈值;此外,传感器具有智能调节功能,通电后继电器会自动微调其动作阈值。文中设定光线阈值为 1 lx。

1.3.3 线路布局设计 柔性电路智能巡检服的线路布局设计如图5所示。由图5可知,EL冷光片与其他电子元件之间通过柔性电路进行连接,将其他电子元件置于内口袋中,便于布线及后续维护。该元器件布局是当前较优的布局方案,具有较高的活动自由度,后续研究中可采用更灵活的集成方案。



(a) 元件平面布局

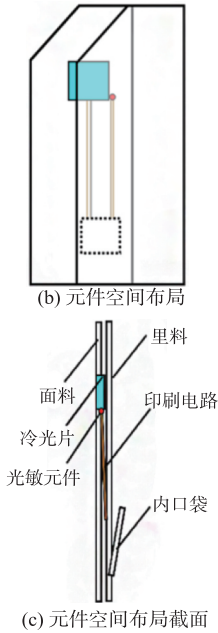


图 5 电子元件在服装中的线路布局

Fig. 5 Circuit layout of electronic components in clothing

2 智能巡检服的测试结果与评价

对于智能服装,其制备在完成裁剪、缝制与试衣调整后,还需对内置的电子元器件进行组装与运行测试,最后进行整烫定型。

2.1 元件运行测试

智能巡检服的元件布局以及运行测试如图 6 所示。参照图 6 对各电子元件进行基本组装,确认其可正常工作后,接入柔性印刷电路及电子组件,进行系统试运行,当光线充足、照度超过阈值时,冷光片不工作;反之,当光线不足、照度低于阈值时,冷光片则开始工作。

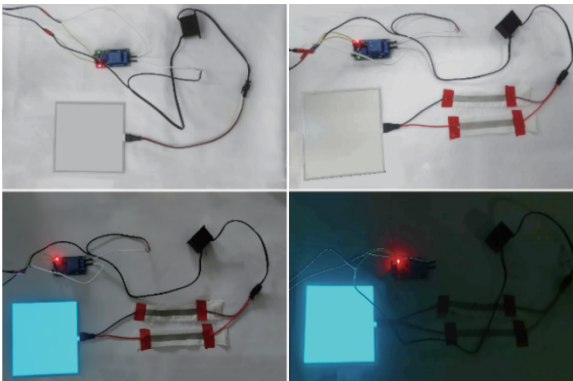


图 6 元件布局以及试运行

Fig. 6 Component layout and test run

2.2 客观性能测试

2.2.1 冷光片照度和电阻的关系 杨璇^[16]研究表明,在相同环境照度下,人眼感知亮度随冷光片亮度增加而增加。因此,探究冷光片与印刷电路的关

系,以照度为评价指标,进行冷光片可见性的应用测试。采用电阻箱模拟印刷电路,使用照度计测量平均照度,用万用表测量服装发光时的工作电压和电流,并计算其光通量。将冷光片连接在电阻箱两侧,测试其发光亮度。根据测试需求设置不同阻值,以模拟具有不同等效电阻冷光片的工作状态,探究印刷电路电阻对整体电路性能的影响,具体如图 7 所示。

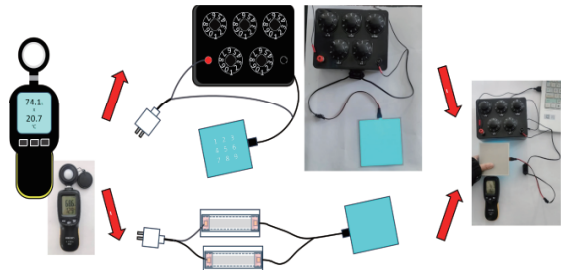


图 7 印刷电路应用性能测试

Fig. 7 Printed circuit application performance test

冷光片的导电特性通过照度与电阻的关系表征,具体结果如图 8 所示。在控制电压不变的条件下,增加电阻,冷光片的照度则减小,发光亮度降低,当电阻增加到某一特定值时,照度减小的速率会减缓。反之,减小电阻冷光片发光强度将以非线性方式升高。结果表明,当电阻在 0 ~ 10 Ω 时,冷光片照度处于 44.5 ~ 80 lx 之间,冷光片的照度视觉效果明显;当电阻高于 10 Ω 时,冷光片的照度低于 44.5 lx,两种情况下的冷光片均表现出良好的可见性,在形成的回路电路中,测得的初始照度为 77.4 lx。

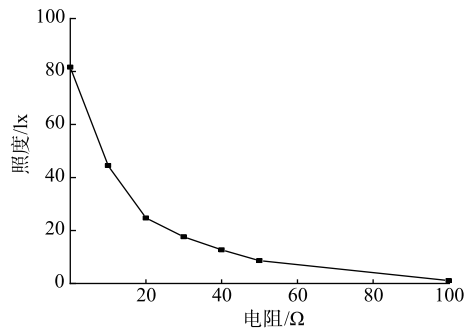


图 8 照度与电阻的关系

Fig. 8 Relationship between illuminance and resistance

2.2.2 冷光片光通量和电阻的关系 冷光片施加电阻对照度的影响见表 2。依照 GB/T 50034—2004 《建筑照明设计标准》^[17] 对光通量进行评价,用于衡量光源单位时间内发射的光能量。当电阻为 0 ~ 10 Ω 时,光通量处于 200 ~ 400 lm 范围内,通常不会对视力造成损害。因此,将电阻控制在 0 ~ 10 Ω

之间,可在保护视力的同时确保足够的可见性。

表2 冷光片施加电阻对照度的影响

Tab.2 Effect of resistance control applied to cold light sheets

电阻/ Ω	照度/lx	面积/ cm^2	光通量/lm
0	81.65	4.91	400.80
10	44.50	4.91	218.46
20	24.71	4.91	121.29
30	17.61	4.91	86.44
40	12.65	4.91	62.11
50	8.61	4.91	42.26

2.2.3 柔性电路智能巡检服性能测试

1) 导电稳定性测试。将智能巡检服浸泡在水中,测得水洗后的电阻变化为 0.2Ω ,揉搓弯折后为 0.7Ω ,升温后为 1.2Ω ,降温后为 1.4Ω ,表明其具有良好的导电性。考虑到服装的长期使用寿命,浸水和弯折均可能导致导电油墨脱落,从而引起性能衰减。在水洗实验中,重复洗涤 20 次的结果表明,在水洗 10 次以后服装的电阻变化增大,服用性能出现衰减。在弯折实验中,重复弯折 1 000 次的结果表明,在弯折 500 次以后的服装电阻值变化增大,服用性能出现衰减。

2) 环境适应性测试。柔性电路智能巡检服装的发光情况如图 9 所示。观察服装置于黑暗环境中能否自动亮起,在光线充足的环境中能否自动熄灭。图 9(a) 显示,在光线充足时巡检服不发光;图 9(b) 显示,在无持续光源照射的情况下巡检服冷光片发光;图 9(c) 显示,在有持续光源照射的情况下巡检服冷光片与反光材料均发光,具有良好的视觉效果。

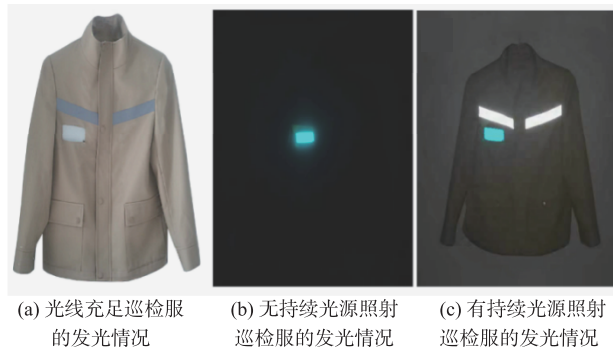


图9 巡检服装发光情况

Fig.9 Inspection uniform luminescence conditions

2.3 主观评价法及结果分析

CHELLAPPA S L 等^[18]提到眼睛对光的敏感度存在个体差异。此外,眼睛还受光照条件、观察时间以及个人视觉健康状况等多种因素影响。因此,

需要进行主观性能评估。

为研究冷光片与反光材料在不同光照条件与观察距离下视觉感知的主观差异,招募 5 名年龄为 26 岁、身高为 160 cm、体质量 50 kg 且视力正常的志愿者参与主观评价实验。

选定场地并调整光源,将冷光片和反光材料放置于不同距离处(0.5, 5, 10 m),重复实验 5 次以获取准确数据,整理分析数据后,比较可见度差异,全面了解材料发光与反光亮度表现。

为评估人体视觉系统对发光亮度的感知,采用五点量表记录被试者的视觉感受,以此作为总体评价的基础,评分分值见表 3。

表3 亮度等级打分分值

Tab.3 Brightness rating scores

亮度	分值
非常暗	-2
较暗	-1
适中	0
较亮	1
非常亮	2

1) 视觉感知测试。选 5 名视力正常、体型相近的志愿者评价冷光片、反光材料及冷光片与反光材料结合时的发光亮度,测试结果取平均值作为主观评价综合结果,得到表 4 ~ 表 6 数据。结果表明,由于光线传播受限,随着距离增加,视觉效果减弱。当有外界光源时,冷光片与反光材料的亮度相近,组合使用可提升效果;无外界光源时,冷光片保持亮度,反光材料不发光。组合使用冷光片和反光材料可获得最佳视觉效果,降低安全风险,达到预期设计效果。

表4 冷光片亮度的主观评价综合结果

Tab.4 Comprehensive results of subjective evaluation of the brightness of the cold light sheet

光源	距离/m		
	0.5	5	10
有持续光源	1.6	1.6	1.6
无持续光源	1.6	1.6	1.4

表5 反光材料亮度的主观评价综合结果

Tab.5 Comprehensive results of subjective evaluation of the brightness of reflective materials

光源	距离/m		
	0.5	5	10
有持续光源	1.4	1.4	1.2
无持续光源	-2.0	-2.0	-2.0

表 6 冷光片和反光材料亮度的主观评价综合结果

Tab. 6 Comprehensive results of subjective evaluation of brightness of cold light sheet and reflective material

光源	距离/m		
	0.5	5	10
有持续光源	2.0	2.0	1.8
无持续光源	1.8	1.6	1.4

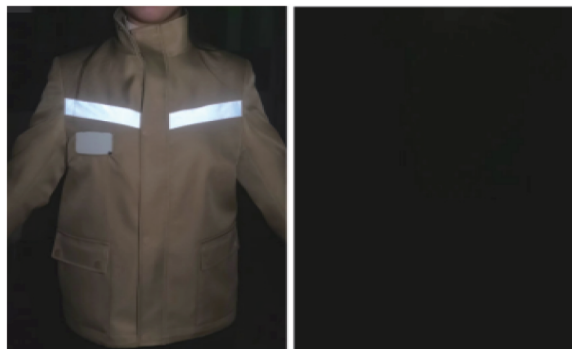
2) 舒适性测试。同样是以上 5 名志愿者, 进行舒适度调查, 采用五点量表, 从合体性、异物感、美观性 3 个维度进行评价, 结果见表 7。结果显示, 合体性、触感、美观性平均分分别是 4.20, 4.70, 4.66, 表明该智能服装具有良好的舒适性。

表 7 舒适性主观评价综合结果

Tab. 7 Comprehensive results of subjective evaluation of comfort

志愿者	合体性	触感	美观性
1	4.0	5.0	4.5
2	3.5	4.2	4.5
3	4.5	4.5	5.0
4	4.0	5.0	4.3
5	5.0	4.8	5.0

冷光片与反光材料的视觉对比实景效果如图 10 所示。



(a) 持续光源 0.5 m 反光

(b) 无持续光源 0.5 m 反光



(c) 持续光源 5 m 冷光和反光对比

(d) 无持续光源 5 m 冷光

图 10 发光面料和反光面料对比效果

Fig. 10 Comparison between luminous fabrics and reflective fabrics

综上, 在无光环境下冷光材料发光特性优于巡检服装的现用材料, 将冷光材料用于巡检服装, 可确保夜间工作人员在远距离或散射光下能被迅速识别, 从而降低安全事故风险。然而, 冷光片不具备反光特性, 在强光下, 效果逊于反光材料。为提升安全防护性能, 文中结合冷光与反光材料, 设计了兼具发光和反光功能的警示服装, 以提供全面高效的安全防护。

3 结语

为研究通电后人眼感知冷光片发光颜色的敏感效果以及冷光片/反光材料在不同光线和距离下对视觉感知差异的影响, 选取 5 位视力正常且体型相似的志愿者, 对发光材料以及智能巡检服的舒适性进行评价, 得到以下结论:

1) 视觉对冷光片颜色的敏感度与冷光片照度呈正相关。对比蓝绿、绿、白、黄、蓝、红 6 种颜色冷光片的照度值, 发现蓝绿色光照度最大且在人眼中的辨识度最高。

2) 冷光片照度与电阻呈非线性反比关系。通过导电测试, 电阻值越大, 照度越小, 电阻在 0 ~ 10 Ω 时, 冷光片照度在 44.5 ~ 80 lx 之间, 视觉效果最佳。

3) 冷光片与反光材料的发光效果与光源和距离相关。无光环境下冷光片发光效果最好; 有外界光源环境下, 反光材料与冷光片效果相近; 强光环境下, 反光材料的反光效果更好。因此两者组合使用警示效果更佳。

文中研究融合印刷技术与服装设计制造工艺, 开发了一种用于提升夜间巡检作业安全性的智能巡检服。该服装将冷光片与反光条通过柔性印刷电路进行集成, 并对其发光警示效果进行了测试, 验证了其在夜间的显著光反射与主动发光警示功能。然而, 目前所设计的智能巡检服仍存在一定的局限性: 柔性印刷电路部分不可拆卸, 且其导电性能会随服装水洗、折叠等日常使用而逐渐衰减, 说明该柔性电路系统仍有进一步改进的空间。未来研究可着重优化电路布局与材料选型, 以提升产品的耐用性与使用寿命。

参考文献:

[1] LIAO Y, ZHANG R, QIAN J. Printed electronics based on inorganic conductive nanomaterials and their applications in intelligent food packaging[J]. RSC Advance, 2019, 9(50): 29154-29172.
 [2] BEHDAD N. Low-profile frequency selective surface based device

- and methods of making the same: America, US20080115188 [P]. 2008-12-29.
- [3] 李建, 栾晓燕. 浅谈印刷电子技术的发展前景[J]. 智能印刷, 2023(3): 41-42.
LI Jian, LUAN Xiaoyan. On the development prospect of printing electronic technology [J]. Smart Printing, 2023(3): 41-42. (in Chinese)
- [4] 饶江, 何邦贵, 陈芳锐, 等. 印刷电子技术的研究综述[J]. 传感器与微系统, 2023, 42(5): 1-5, 11.
RAO Jiang, HE Banggui, CHEN Fangrui, et al. A review of the research on printing electronic technology [J]. Transducer and Microsystems Technologies, 2023, 42(5): 1-5, 11. (in Chinese)
- [5] 郑博. Google 和李维斯推出第 2 款智能夹克[J]. 计算机与网络, 2019, 45(19): 14.
ZHENG Bo. Google and Levi's launched the second smart jacket [J]. Computer and Network, 2019, 45(19): 14. (in Chinese)
- [6] VILLAR R, BELTRAME T, HUGHSON R L. Validation of the Hexoskin wearable vest during lying, sitting, standing, and walking activities[J]. Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism, 2015, 40(10): 1019-1024.
- [7] 刘成扬. 纤维基柔性智能可穿戴技术在智能运动服装上的应用[J]. 毛纺科技, 2020, 48(5): 66-70.
LIU Chengyang. Application of intelligent sportswear based on fiber-based flexible intelligent wearable technology [J]. Wool Textile Journal, 2020, 48(5): 66-70. (in Chinese)
- [8] 马春杰, 陈晴. 变色技术在智能服装中的应用研究进展[J]. 印染, 2025, 51(5): 75-83.
MA Chunjie, CHEN Qing. Research progress on the application of color-changing technology in smart clothing[J]. China Dyeing and Finishing, 2025, 51(5): 75-83. (in Chinese)
- [9] 谭传震. 一种具有应急功能的警示服, CN216059306U [P]. 2022-03-18.
- [10] 王航, 王冰心, 宁新, 等. 喷墨打印导电墨水及其智能电子纺织品研究进展[J]. 纺织学报, 2021, 42(6): 189-197.
WANG Hang, WANG Bingxin, NING Xin, et al. Research progress of inkjet printing of conductive ink and its intelligent electronic textiles [J]. Journal of Textile Research, 2021, 42(6): 189-197. (in Chinese)
- [11] 谭雅文, 杨文钰, 郑广泽. 新时代背景下迷彩作训服功能设计浅析[J]. 山东纺织科技, 2022, 63(5): 16-19.
TAN Yawen, YANG Wenyu, ZHENG Guangze. Design of camouflage training design in the background of new era [J]. Shandong Textile Science and Technology, 2022, 63(5): 16-19. (in Chinese)
- [12] 陈元鹏, 师文钊, 刘瑾姝, 等. 高亮反光织物用水性聚氨酯胶黏剂的应用性能[J]. 印染, 2024, 50(10): 48-54.
CHEN Yuanpeng, SHI Wenzhao, LIU Jin-shu, et al. Application properties of water-based polyurethane adhesive for high-brightness reflective fabrics [J]. China Dyeing and Finishing, 2024, 50(10): 48-54. (in Chinese)
- [13] 《光电测量 配光测试系统的性能要求和检测方法》等照明行业国家标准发布[J]. 中国照明电器, 2020(12): 26.
The performance requirements and detection methods of photoelectric measurement and light distribution test system and other national standards for lighting industry were issued [J]. China Light and Lighting, 2020(12): 26. (in Chinese)
- [14] 王晓燕, 胡昌夏, 冯伟, 等. 环卫警示服反光性能要求与测试分析[J]. 环境卫生工程, 2017, 25(6): 39-40.
WANG Xiaoyan, HU Changxia, FENG Wei, et al. Reflection performance requirements and test analysis of sanitation warning clothing [J]. Environmental Sanitation Engineering, 2017, 25(6): 39-40. (in Chinese)
- [15] 袁志磊, 刘萧, 陈珏成, 等. 高可视性服装的分类和检测评价[J]. 印染助剂, 2021, 38(3): 57-61, 64.
YUAN Zhilei, LIU Xiao, CHEN Juecheng, et al. Classification and testing evaluation of high visibility clothing [J]. Textile Auxiliaries, 2021, 38(3): 57-61, 64. (in Chinese)
- [16] 杨璇. EL 冷光技术应用于服装警示功能设计的研究[D]. 大连工业大学, 2014.
- [17] 中华人民共和国建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 建筑照明设计标准: GB/T 50034—2004 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.
- [18] CHELLAPPA S L. Individual differences in light sensitivity affect sleep and circadian rhythms [J]. Sleep, 2021, 44(2): 214.

(责任编辑:张雪)