

织物用水性多波段伪装印花涂料的研究与应用

唐继海¹, 郑红川², 杨骐¹, 石浩¹, 冉洪武¹, 李希¹

(1.西南技术工程研究所, 重庆 400039; 2.重庆嘉陵华光光电科技有限公司, 重庆 400700)

摘要: **目的** 制备水性多波段伪装印花涂料及可见光/近红外/热红外多波段伪装织物。**方法** 将印花粘合剂、增稠剂、红外低发射率颜料、近红外高反射颜料、着色颜料、分散剂等制备成水性多波段伪装印花涂料。采用圆网涂料印花工艺, 将水性可见光/近红外/热红外多波段伪装印花涂料印染在涤棉混纺织物上, 得到了四色可见光/近红外/热红外多波段伪装印花织物。通过环境扫描电镜、分光式测色仪、分光光度计、双波段发射率测量仪、红外热像仪等测试手段对印花织物的形貌、伪装性能、理化性能进行了表征。**结果** 印花涂层均匀附着在涤棉混纺织物纤维表面, 印花织物的可见光迷彩颜色与环境背景相似, 近红外光谱反射特性在 0.4~1.2 μm 范围内与背景基本上实现了同色同谱, 在红外成像下形成有效梯度分割, 且与背景有较好的融合效果。**结论** 制备的印花涤棉混纺织物具有可见光/近红外/热红外兼容伪装性能, 各项性能指标达到了实用要求。

关键词: 织物; 水性印花涂料; 多波段伪装; 圆网印花

中图分类号: TQ637 文献标识码: A 文章编号: 1001-3660(2016)06-0161-06

DOI: 10.16490/j.cnki.issn.1001-3660.2016.06.024

Research and Application of Waterborne Multichannel Camouflage Printing Coating for Fabrics

TANG Ji-hai¹, ZHENG Hong-chuan², YANG Qi¹, SHI Hao¹, RAN Hong-wu¹, LI Xi¹

(1.Southwest Technology and Engineering Research Institute, Chongqing 400039, China;

2.Chongqing Jialing Huaguang Photoelectricity Tech. Co., Ltd, Chongqing 400700, China)

ABSTRACT: **Objective** To prepare waterborne multichannel camouflage printing coating for fabrics and multichannel camouflage fabrics at visible light, near infrared and hot infrared spectrum. **Methods** Waterborne multichannel camouflage printing coating was prepared using printing adhesive, thickener, low IR emissivity pigment, high near infrared reflective pigment, coloring pigment and dispersant. The multichannel camouflage fabrics at visible light, near infrared and hot infrared spectrum were obtained in the following way: Waterborne multichannel camouflage printing coating effective at visible light, near infrared and hot infrared spectrum was dyed on the polyester-cotton blended fabrics using rotary screen printing. The micro-morphology, camouflage performance and physicochemical properties of the multichannel camouflage fabrics were systematically investigated using scanning electron microscopy (SEM), color difference meter, multispectral spectrophotometer, infrared emissivity tester and infrared imaging system. **Results** When the fabric surface was coated with the textile printing

收稿日期: 2016-01-17; 修订日期: 2016-05-21

Received: 2016-01-17; Revised: 2016-05-21

基金项目: 国家自然科学基金委员会-中国工程物理研究院联合基金项目 (U1230129)

Fund: Supported by NSAF(U1230129)

作者简介: 唐继海 (1981—), 男, 博士, 工程师, 研究方向为隐身材料的研发与应用。

Biography: TANG Ji-hai(1981—), Male, Ph. D., Engineer, Research focus: research and application of stealth materials.

coating, the colors of visible light camouflage were similar with c environment, and the reflectance of near infrared (0.4~1.2 μm) was basically the same as the background, and the IR thermal image was segmented and fused with the background. **Conclusion** The multichannel camouflage fabrics was effective at visible light, near infrared and hot infrared spectrum. The physicochemical properties of the multichannel camouflage fabrics met the requirements of practical application.

KEY WORDS: fabrics; waterborne printing coating; multichannel camouflage; rotary screen printing

随着各种先进侦察系统及精确打击武器系统的相继问世及各种高技术手段的综合应用,地面武器装备及固定军事实施面临红外导弹预警卫星、超高分辨率光学侦察卫星、高空无人侦察机、空间轨道飞行器等侦察装备的全天候、全天时、多频谱的侦察威胁。伪装帐篷、伪装服、伪装器材等织物类伪装器材具有使用方便、工艺稳定、易于批量生产、可实现多频谱伪装功能等优点,应用于军事装备与设施,可改变形体特征,显著降低与背景的红外、可见光等目标特性差异,是提高其战场生存能力、充分发挥作战效能的有效技术手段,世界各国均将伪装器材研制作作为装备伪装防护领域重点研究的方向^[1-3]。

现役的印染织物类伪装材料,如篷布、伪装服等,隐身性能方面只具有可见光、近红外隐身性能,不具备热红外隐身性能;或只具备热红外隐身性能,而不具备可见光、近红外隐身^[4-7]。为了降低伪装织物的可探测性和被打击概率,纺织品类伪装材料必须向可见光、近红外、红外兼容隐身的方向发展。在织物类迷彩实现形式上,一般采用圆网印花的方式在织物表面进行迷彩印染。目前采用较多的方式有染料印染和涂料印染两种。然而,要实现红外伪装,通常要使用到高反射低吸收功能的红外低发射率颜料,此类颜料多为片状金属粉,从原理上来说并不适用于染料印染方式^[8-9]。基于这个原因,本文采用涂料印花工艺,将印花粘合剂、增稠剂、红外低发射率颜料、近红外高反射颜料、着色颜料、分散剂等配制成印花涂料,通过圆网印花工艺在涤棉混纺织物上制备了可见光/近红外/热红外兼容伪装印花织物,并对印花织物的伪装性能和各项理化性能进行了表征。

1 实验

1.1 水性多波段伪装印花涂料的制备

根据林地型背景需要,将印花粘合剂、红外低

发射率颜料、近红外高反射颜料、着色颜料、分散剂等按一定配比搅拌均匀,配制成符合多波段伪装要求的绿色 1、绿色 2、土色 1、土色 2 四色印花涂料,其中红外低发射率颜料按一定梯度添加,从而使四色印花涂层发射率形成一定的梯度,最后加入增稠剂,调节印花涂料的黏度为 80~90 dPa·s。

1.2 多波段伪装织物的制备

采用圆网涂料印花工艺,在圆网印花机上将四色印花涂料印染在涤棉混纺织物上。具体印花工艺步骤如下:基布缝头→水洗/溢流(除油)→湿布定型→圆网印花(烘干温度 90 $^{\circ}\text{C}$)→焙烘(160~180 $^{\circ}\text{C}$, 2 min)→验布。圆网印花后织物外观如图 1 所示。

圆网印花刮刀或磁棒压力参数设置要适中,过低的压力易导致印花涂层漏印,过高的压力易导致印花涂层过厚,影响印花质量。焙烘温度不宜超过 180 $^{\circ}\text{C}$,否则会破坏印花涂层,影响印花涂层色牢度。

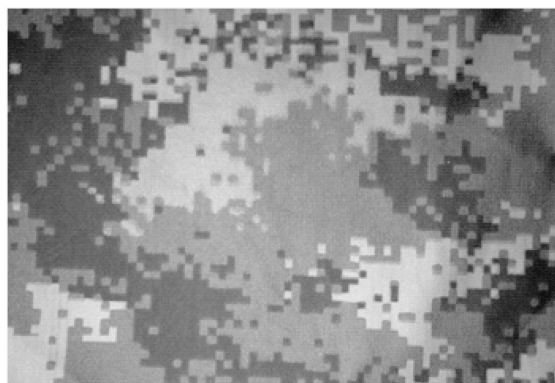


图 1 印花后织物外观

Fig.1 The appearance of fabrics after coated with textile printing

1.3 测试与表征

织物涂层的微观形貌采用 Quanta 200 型环境扫描电镜(荷兰,FEI 仪器公司)进行表征。织物涂层的可见光色差采用 CM-2600d 分光式测色仪(日本,柯尼卡美能达)进行表征。织物涂层的近

红外反射率光谱曲线采用 λ 950UV/Vis/NIR 分光光度计（美国，PE 仪器公司）进行表征。织物涂层的红外性能采用 IR913A 红外热像仪（武汉高德公司）在典型背景环境中测试热红外图像进行表征。其他织物涂层理化性能采用相关国家标准进行表征。

2 结果与讨论

2.1 印花涂层微观形貌分析

为了研究涂层表面的微观形貌，本文对涤棉混纺织物圆网印花前后进行了环境扫描电镜分析，

结果见图 2。从图 2a 可以看出，在 100 倍放大倍数下，涂料印花前涤棉混纺织物表面纤维呈经纬向有序排列，纤维表面光滑且无任何杂质，经纬向纤维交错处有微孔。从图 2b 可以看出，在 100 倍放大倍数下，涂料印花后涤棉混纺织物纤维表面已被一层均匀连续的涂层所覆盖，不再有任何纤维裸露，经纬向纤维交错处的微孔也被涂层覆盖。从图 2c 可以看出，在 5000 倍放大倍数下，涂层中高反射、低吸收功能的无机片状金属颜料均匀分布其中，正是由于这些片状金属颜料的存在，增加了涂层对热红外光谱的反射，降低了涂层的红外发射率^[10-11]。

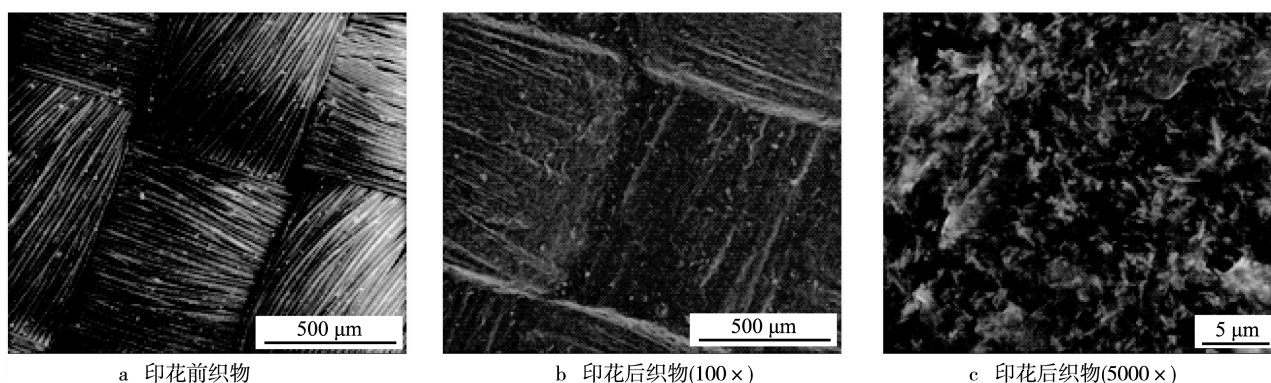


图 2 涤棉混纺织物圆网印花前后的微观形貌图

Fig.2 SEM of fabric: a)uncoated fabric, b) coated fabric(100 ×), c) coated fabric(5000 ×)

2.2 伪装性能

2.2.1 可见光波段伪装

伪装织物在可见光波段（0.38~0.78 μm ）实现伪装的条件是，迷彩颜色与环境背景相似，置于背景中后目标难以与背景区分。在可见光条件下，本文设计了四种印花迷彩斑块，分别为深绿色、浅绿色、褐土色、黄土色，其中，深绿色、浅绿色用来模拟绿色植被和灌木，褐土色、黄土色用来模拟裸露地表的土壤和砂石。为了研究印花后织物的可见光伪装性能，将印花后涤棉混纺织物置于具有绿色植被、裸露地表的林地型区域，并在 300 m 距离下对目标织物实施了可见光成像，如图 3 所示。从图 3 可以看出，印花后涤棉混纺织物的可见光颜色、迷彩斑块分布与背景极其相似，在远距离下难以与背景区分开，具有较好的融合效果。而且探测距离越远，印花后涤棉混纺织物与林地型背景越难以区

分，即印花后涤棉混纺织物被探测概率越小。表 1 为涤棉混纺织物印花后各色斑 CIE1976L*a*b*匀色空间坐标值，从表 1 中可以看出，四色颜色色差均满足环境背景使用要求。可见，印花后涤棉混纺织物在可见光波段实现了伪装。



图 3 300 m 可见光成像图

Fig.3 The visible light imaging under the condition of 300 m

表 1 迷彩印花后涤棉混纺织物迷彩颜色色差
Tab.1 The color difference of polyester-cotton blended fabrics coated with the multichannel camouflage printing coating

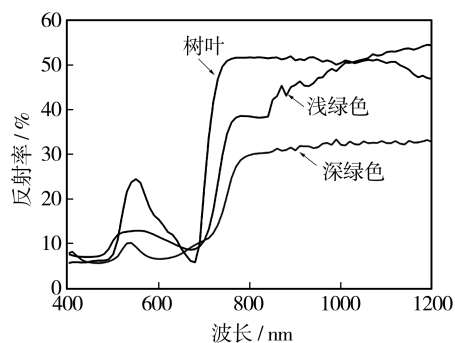
迷彩颜色	L^*	a^*	b^*
深绿色	31.69	-3.02	6.89
浅绿色	41.37	-5.92	16.49
褐土色	49.91	7.03	17.67
黄土色	53.79	9.09	20.46

2.2.2 近红外波段伪装

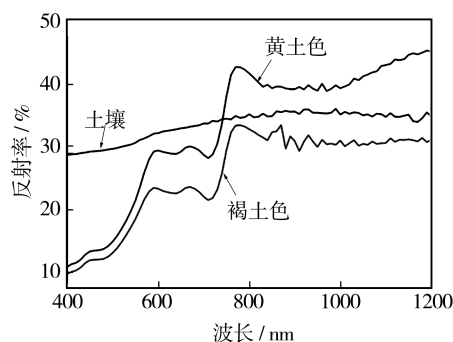
伪装织物在近红外波段 ($0.4\sim 1.2\ \mu\text{m}$) 伪装的条件是,与植物、土壤等环境背景光谱反射特性实现同色同谱。图 4 为深绿色、浅绿色、褐土色、黄土色的近红外光谱反射曲线分别与树叶、土壤的特征反射光谱的对比。从图 4a 可以看出,树叶在 $0.40\sim 0.70\ \mu\text{m}$ 波段的光谱反射率比较低,其中,在 $0.55\ \mu\text{m}$ 处具有典型叶绿素的绿色反射峰;在 $0.70\sim 0.78\ \mu\text{m}$ 波段光谱反射率急剧上升,且谱带位置与斜率基本一致;在 $0.78\sim 1.20\ \mu\text{m}$ 波段,光谱反射率维持在较高的位置。深绿色和浅绿色在 $0.55\ \mu\text{m}$ 出现了绿色反射峰,在 $0.70\sim 0.78\ \mu\text{m}$ 波段光谱反射率急剧上升,在 $0.78\sim 1.20\ \mu\text{m}$ 波段光谱反射率维持在较高的位置,与树叶的近红外光谱反射特性趋势较一致。其中,深绿色的近红外特征光谱反射曲线与树叶的反射特性曲线较吻合;而浅绿色的近红外特征光谱反射曲线与树叶的反射特性曲线略有差异,这是因为浅绿色中含有高反射低吸收功能的无机金属颜料,在 $1.2\ \mu\text{m}$ 以后波段的反射率略高^[12-13]。从图 4b 可以看出,土壤与树叶的近红外特征反射曲线明显不同,在 $0.55\ \mu\text{m}$ 不再出现绿色反射峰,在 $0.70\sim 0.78\ \mu\text{m}$ 波段光谱反射率不再是急剧上升的趋势。而印花后织物表面褐土色和黄土色斑块的近红外光谱反射曲线与土壤的反射特性曲线较吻合。可见,印花后涤棉混纺织物四种迷彩斑块特征光谱反射率基本满足近红外伪装的要求。

2.2.3 热红外波段伪装

林地型背景中的树木、灌木、草地、土壤、砂石等,由于红外辐射能量的差异,在红外热像仪下呈明暗相间的斑块分割。红外发射率是材料表面单位面积的辐射能力和同一温度相同条件下黑体的辐射能力之比。伪装织物在热红外波段($8\sim 14\ \mu\text{m}$) 实现伪装的条件是,各迷彩颜色红外发射率形成一



a 深绿色和浅绿色



b 褐土色和黄土色

图 4 印花后涤棉混纺织物迷彩斑块的近红外光谱反射曲线
Fig. 4 Near-infrared spectral reflectance curves of polyester-cotton blended fabrics: a) dark green and light green, b) brown earth and yellow earth

定的梯度,从而在热红外成像仪下形成热红外斑块分割,达到与背景有效融合的效果^[14-16]。为了检验印花后涤棉混纺织物的红外伪装实际效果,将伪装织物置于植被、土壤并存的背景中。采用 IR913A 红外热像仪,对伪装织物进行可见光和红外对比拍摄,拍摄距离为 $20\ \text{m}$,环境温度为 $30\ ^\circ\text{C}$ 。图 5 为印花后涤棉混纺织物在环境背景中的可见光和红外热像图。从图 5a 可以看出,可见光图下印花后涤棉混纺织物和采用具有可见光/近红外功能的迷彩涂料喷涂的涂层样板被放置在植被背景下,它们的可见光迷彩斑块颜色能较好地模拟周围环境颜色,达到了较好的可见光伪装效果。从图 5b 可以看出,无红外伪装效果的普通迷彩样板在红外成像下没有红外分割效果,且红外斑块亮度比四周环境高,红外轮廓、形状特征明显,没有红外伪装性能。相比之下,可见光/近红外/热红外兼容伪装印花织物在红外成像下形成有效梯度分割,且与背景较好融合,起到了很好的红外伪装效果。这是因为,四种印花涂层斑块中含有不同含量的高反射、低吸收功能的无机片状金属颜料,能够不同程度地降低印花涂层的红外发射率,并使涂层间发射率形成一

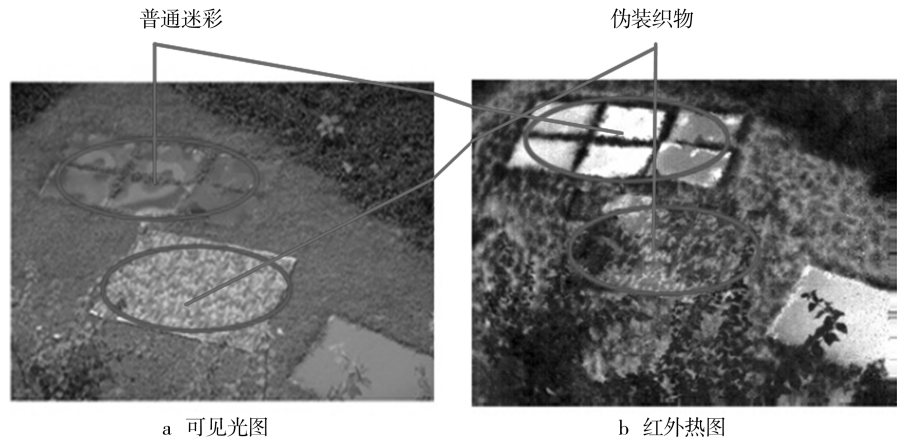


图 5 伪装织物和普通迷彩样板的可见光和红外热图对比

Fig. 5 The visible light imaging and infrared imaging of the multichannel camouflage fabrics and camouflage plate: a) the visible light imaging, b) the infrared imaging

定梯度，从而不同程度地抑制自身的红外辐射，达到热红外斑块分割分割的效果。

2.3 理化性能测试

印花织物各项理化性能测试结果见表 2。由表 2 可知，印花织物断裂强力、撕破强力较普通织物

高，印花涂层摩擦色牢度、日晒色牢度较好，达到了实际应用的要求。由于多波段伪装印花涂料中采用的颜料多属无机颜料，能够有效解决织物涂层老化变色问题，提高织物耐光老化能力，人工气候老化达到 800 h，预计户外使用寿命能达到 3 年左右^[17-18]。

表 2 伪装织物理化性能测试结果

Tab.2 The physicochemical properties of the multichannel camouflage fabrics

序号	项目	检测标准	检测结果
1	断裂强力	GB/T 3923.1	1500 N
2	撕破强力	GB/T 3917.3	140 N
3	摩擦色牢度	GB/T 3920	干摩擦色牢度 4 级，湿摩擦色牢度 3 级
4	日晒色牢度	GB/T 8427	5 级
5	人工气候老化	GB/T 1865	800 h 后涂层无粉化、开裂，变色等级 1 级

3 结论

- 1) 将印花粘合剂、增稠剂、红外低发射率颜料、近红外高反射颜料、着色颜料、分散剂等按一定比例，可配制成可见光/近红外/热红外兼容伪装印花涂料。
- 2) 由于含有高反射、低吸收功能的无机金属颜料，导致浅绿色的近红外特征光谱反射曲线与树叶的反射特性曲线略有差异，在 1.2 μm 以后波段的反射率略高。
- 3) 多波段伪装印花涂料中采用无机颜料，能

够有效解决织物涂层老化变色问题，提高织物耐光老化能力。

参考文献

[1] 王可众, 王潮霞. Al/ZnS 涂层织物的红外发射性能[J]. 精细化工, 2013, 30(8): 944—947.
WANG Ke-zhong, WANG Chao-xia. Emittance Investigation of Al/ZnS Coating on Fabric [J]. Fine Chemicals, 2013, 30(8): 944—947.

[2] 邢宏龙, 马研, 何亮, 等. 聚异戊二烯/丙烯腈基织物涂层在 8~14 μm 波段的红外低发射率[J]. 红外与激光工程, 2011, 40(12): 2349—2353.
XING Hong-long, MA Yan, HE Liang, et al. Low Infrared Emissivity Fabric Coating with P (IP-co-AN) Adhesive at

- Spectral Range of 8~14 μm [J]. Infrared and Laser Engineering, 2011, 40(12): 2349—2353.
- [3] 张晓艺, 安振涛, 闫军, 等. 电磁屏蔽织物材料研究进展[J]. 包装工程, 2014, 35(3): 102—106.
ZHANG Xiao-yi, AN Zhen-tao, YAN Jun, et al. Research Progress of Electromagnetism Shielding Fabric[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(3): 102—106.
- [4] 张梅, 崔占臣, 蔡红莉, 等. 织物用热红外透明粘合剂的研究[J]. 天津工业大学学报, 2003, 22(4): 44—48.
ZHANG Mei, CUI Zhan-chen, CAI Hong-li, et al. Study of Thermal Infrared Transparent Binders for Fabrics[J]. Journal of Tianjin Polytechnic University, 2003, 22(4): 44—48.
- [5] 赵雅飞, 张华, 周永凯, 等. 大麻/棉迷彩印花织物的开发[J]. 纺织科技进展, 2008(6): 36—38.
ZHAO Ya-fei, ZHANG Hua, ZHOU Yong-kai, et al. Development of Camouflage Painting Fabric of Hemp/Cotton [J]. Progress in Textile Science & Technology, 2008(6): 36—38.
- [6] 夏德慧. 锦纶织物的近红外迷彩伪装印花用染料研究[J]. 丝绸, 2014, 51(7): 16—20.
XIA De-hui. Research on Near-infrared Camouflage Dye for Nylon Fabrics[J]. Journal of Silk, 2014, 51(7): 16—20.
- [7] 郝立才, 肖红, 刘卫. 织物热红外伪装性能测试评价技术现状[J]. 红外技术, 2013, 35(8): 512—517.
HAO Li-cai, XIAO Hong, LIU Wei. Review on Evaluating Methods of Thermal Infrared Camouflage Performance of Textiles[J]. Infrared Technology, 2013, 35(8): 512—517.
- [8] 刘玉田. 防红外探测的涂覆织物伪装[J]. 特种橡胶制品, 2002, 23(5): 34—36.
LIU Yu-tian. Coated Fabric Camouflage Against IR Detection[J]. Special Purpose Rubber Products, 2002, 23(5): 34—36.
- [9] YU H J, XU G Y, SHEN X M, et al. Effects of Size, Shape and Floatage of Cu Particles on the Low Infrared Emissivity Coatings[J]. Progress in Organic Coatings, 2009, 66(2): 161—166.
- [10] 余艳娥, 曹沛沛, 胡平. 荒漠型防红外迷彩面料印花[J]. 印染, 2011(17): 22—25.
YU Yan-e, CAO Pei-pe, HU Ping. Printing Process of Desert-style Camouflage Fabric with Infrared Protection[J]. Dyeing and Finishing, 2011(17): 22—25.
- [11] 徐共荣, 俞萧, 周岚, 等. 低发射率涂料的研制及其在涤/棉混纺织物热红外伪装中的应用[J]. 丝绸, 2014, 51(2): 1—5.
XU Gong-rong, YU Xiao, ZHOU Lan, et al. Preparation of Low-emissivity Coating and Its Application in Thermal Infrared Camouflage of Polyester/Cotton Blended Fabrics[J]. Journal of Silk, 2014, 51(2): 1—5.
- [12] 武丽芳, 贾景文, 武生春, 等. 防红外迷彩印花[J]. 印染, 2004(24): 16—19.
WU Li-fang, JIA Jin-wen, WU Sheng-chun, et al. Camouflage Printing with Infrared Resistance[J]. Dyeing and Finishing, 2004, 24: 16—19.
- [13] 张辉, 张建春. 热红外伪装技术与人体伪装[J]. 上海纺织科技, 2003, 31(2): 48—50.
ZHANG Hui, ZHANG Jian-chun. The Research and Practice of Infrared Camouflage Fabric[J]. Shanghai Textile Science & Technology, 2003, 31(2): 48—50.
- [14] 张梅, 崔占臣, 蔡红莉, 等. 织物用热红外伪装涂料在 8~14 μm 波段红外发射率的研究[J]. 天津工业大学学报, 2002, 21(2): 33—36.
ZHANG Mei, CUI Zhan-chen, CAI Hong-li, et al. Study on Infrared Emissivity of Thermal Camouflage Coating in 8~14 μm for Fabrics [J]. Journal of Tianjin Polytechnic University, 2002, 21(2): 33—36.
- [15] 张凯, 马艳, 范敬辉, 等. 低发射率红外隐身涂料研究进展[J]. 化学推进剂与高分子材料, 2008, 6(1): 21—25.
ZHANG Kai, MA Yan, FAN Jing-hui, et al. Research Advances in Low Infrared Emissivity Camouflage Coatings[J]. Chemical Propellants and Polymeric Materials, 2008, 6(1): 21—25.
- [16] 王自荣, 孙晓泉. 红外伪装涂层的热图像研究[J]. 表面技术, 2004, 33(6): 65—66.
WANG Zi-rong, SUN Xiao-quan. Study on Thermal Image of Infrared Camouflage Coating[J]. Surface Technology, 2004, 33(6): 65—66.
- [17] 文璟, 王黎, 郭年华. 航空涂层材料大气暴露试验评价[J]. 合成材料老化与应用, 2014, 43(4): 32—35.
WEN Jing, WANG Li, GUO Nian-hua. Study on Natural Weathering Test of Aircraft Coating Materials[J]. Synthetic Materials Aging and Application, 2014, 43(4): 32—35.
- [18] 周蓉, 俞建勇, 王学利, 等. 有色涤纶在帐篷面料上的应用[J]. 产业用纺织品, 2013(6): 28—31.
ZHOU Rong, YU Jian-yong, WANG Xue-li, et al. Coloured Polyester Filament for Tent Fabric[J]. Technical Textiles, 2013(6): 28—31.