

伪装隔热封套材料研究

段志强¹, 易建政¹, 滕利才²

(1. 军械工程学院, 石家庄 050003; 2. 中国人民解放军 76173 部队, 乐昌 512200)

摘要: 提出了通过共混改性技术使普通 PVC 封套材料具有伪装隔热性能的方法。分析了 PVC 封套材料的伪装隔热改性机理, 提出了伪装隔热封套材料的设计方案和加工工艺, 测试了材料的光谱反射性能和热反射性能。

关键词: 封套材料; 伪装; 隔热; 共混改性; 光谱反射曲线

中图分类号: TB484; TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)05-0059-03

Study of Camouflage and Heat-shielding Envelop Material

DUAN Zhi-qiang¹, YI Jian-zheng¹, TENG Li-cai²

(1. Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China; 2. Unit 76173 of PLA, Lechang 512200, China)

Abstract: A modification method to provide ordinary PVC envelop material with camouflage and heat-shielding performance was put forward. The modification mechanism of the PVC envelop material was analyzed. The design proposal and processing technique of camouflage and heat-shielding PVC envelop material were put forward. The infrared reflectivity and heat reflection properties of the material samples were tested.

Key words: envelop material; camouflage; heat-shielding; blend modification; spectral reflection curve

我军目前常用的聚氯乙烯(PVC)压延封套材料已能有效解决装备物资的防潮封存问题^[1-2], 但仍存在易于吸热的缺陷, 易使封存装备处于较高的环境温度中, 影响装备的可靠性。同时高温还会使封套与自然背景产生较大的温差, 导致封套易于被敌方红外及热成像仪等侦查器材探测。吸热量大会加速封套材料的老化。笔者在 PVC 防潮封套材料的基础上, 提出了伪装隔热封套材料的设计方案, 测试结果表明材料在保持良好防潮性能的同时, 具有良好的伪装隔热功能, 并能有效延长封套材料的使用寿命。

1 伪装隔热改性机理分析

PVC 封套材料以高强涤纶工业丝织物为骨架材料, 并在表面压延聚氯乙烯(PVC)制成。该类封套材料通常为军绿色, 厚度一般在 0.5~1.2 mm 左右, 不具备隔热性能, 易于吸收太阳辐射能而升温。笔者在海南某地的测试结果表明, 其表面温度可高达 65℃

左右。

提高封套材料的热反射性能是解决封套材料防热问题行之有效的方法。封套材料的伪装隔热改性需要注意 2 个问题: 一是因到达地球表面的太阳辐射能主要分布在可见光波段和红外波段, 故需要提高封套材料对这 2 个波段的反射率; 二是要满足军用材料的一般伪装要求, 使其在可见光和近红外波段具有一定的伪装功能, 即光谱反射曲线落在图 1 两条曲线所围的阴影内^[3-4]。

普通军绿色 PVC 封套材料在可见光和近红外波段的光谱反射曲线近乎于直线状, 仅为 11% 左右, 与上述要求相差甚远。若能通过调配方, 在满足上述光谱反射曲线要求的前提下提高其在各个波段的反射率, 就能同时解决上述隔热、伪装的问题。

目前, 对隔热伪装材料的研究, 主要集中在伪装涂料领域, 其基本要求是涂料要与背景同谱同色, 其基本方法为^[3,5-7]: 以能够模拟天然叶绿素红外反射曲线的颜料为主, 采用多种颜料组分组合的方法, 配

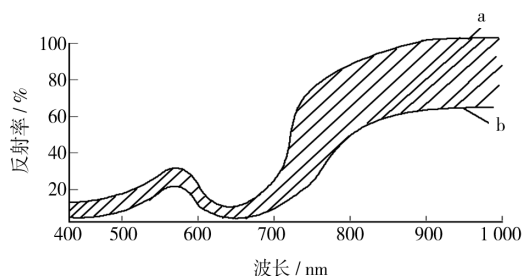


图1 草绿色伪装涂料光谱反射曲线最大允许偏差

Fig. 1 Maximum allowed deviation of spectral reflection curve of grass green camouflage paint

制出隔热伪装涂料。用于模拟天然叶绿素红外光谱反射曲线的颜料主要有氧化铬绿、锌铬钴绿等,此外还有将 ZnO_2 加到 Cr-Co-TiO_2 体系中的青绿色颜料;将 $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{-CoO-Sb}_2\text{O}_3$ 煅烧得到的复合体;将 $\text{Cr}_2\text{O}_3(1\text{ mol})\text{CoO}(2\text{ mol})\text{TiO}_2(5\text{ mol})\text{ZnO}(0.7\text{ mol})$ 在 $105\text{ }^\circ\text{C}$ 燃烧 1 h 制成的粘软深绿色颜料^[7] 等等。

按照上述原理能够制备出抗可见光和近红外侦查的伪装隔热涂料。由于封套材料采用压延工艺制成,以 PVC 为主体材料,与涂料在配方、工艺等方面有较大的差别,因此上述方法不适用于封套材料的研制。按照此原理研制隔热封套材料,发现存在颜料分散性差、粘辊等现象,无法进行正常的生产。

分析上述伪装隔热基本原理可以发现,用于模拟天然叶绿素红外反射曲线的颜料大多为金属氧化物或金属氧化物的复合体。基于此,笔者提出了如下伪装隔热封套材料改性原理:使用多种反射率不同的金属氧化物,组合调配封套材料的光谱反射曲线,使其与天然叶绿素红外反射曲线相似;在调色体系中使用可以有效反射红外线的新型黑色颜料取代传统的碳黑颜料,以保证封套材料满足同色同谱的要求。

2 材料设计

按照上述伪装隔热原理和封套材料的设计要求,设计了一种由 5 层材料复合而成的隔热伪装封套材料:中间层以高强低缩聚酯纤维织物作为基布,基布两面由聚氨酯粘结剂粘接伪装隔热功能层,其结构见图 2。

伪装隔热层的设计是伪装隔热封套材料设计的

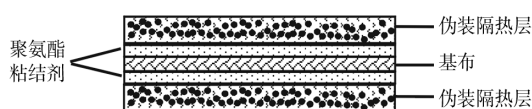


图2 伪装隔热封套材料的结构

Fig. 2 structure of the camouflage and heat-shielding envelop material

关键。

2.1 伪装隔热层的基本组成

按照 PVC 压延材料配方设计的基本要求及隔热伪装改性的要求,伪装隔热封套材料的主要组分包括:树脂、增塑剂、浆料、助剂、改性剂、稳定剂等,其质量比为 $100:(60\sim70):(5\sim8):(4.5\sim5.5):(24\sim26):(2\sim3)$ 。

树脂为 PVC 三型树脂;增塑剂包括 DOP(邻苯二甲酸二辛酯)、DOS(癸二酸二辛酯)等;助剂包括抗氧化剂 264(2,6-二叔丁基-4-甲基苯酚)、ESO(环氧大豆油)中的至少一种;改性剂为纳米碳酸钙;稳定剂为钙锌复合稳定剂。

2.2 浆料设计

浆料是提供伪装隔热功能的主要组分,由红外反射材料、颜料、分散剂和增塑剂组成,其质量比为 $(1\sim2):(0.5\sim1):(0.01\sim0.015):1$ 。

红外反射材料由多种经过纳米二氧化钛包覆的金属氧化物组成,金属氧化物包括氧化铬、氧化钼、氧化铁等。它们在可见光和近红外波段具有不同的反射率,通过调配比例,可以理想模拟天然叶绿素的红外反射曲线。

颜料也是保证材料伪装隔热性能的一个重要因素。普通军绿色 PVC 压延封套材料配色体系中,通常使用炭黑作为黑色颜料。炭黑在近红外和热红外波段都具有强烈的吸收性能,添加很少量的炭黑就会使材料的反射率严重下降,因此,设计了如下调色方案:颜料由由酞菁黄、酞菁绿、镉红、黑色颜料组成,质量比为 $10:6:7:3$ 。其中黑色颜料采用德国巴斯夫公司的 Paliogen® Black L 0086,它的红外反射率可高达 45%,而酞菁黄、酞菁绿则在近红外波段近乎于透明,因此该颜料体系不仅使封套材料符合绿色的颜色要求,而且对材料的红外反射性能影响较小。

分散剂为 EMS(脂肪酸甲酯磺酸钠);增塑剂同样为 DOP(邻苯二甲酸二辛酯)、DOS(癸二酸二辛

酯)等。将分散剂、增塑剂与红外反射材料和颜料预混均匀,有利于提高浆料在 PVC 中的分散性和相容性,防止出现色点、色斑和结块、析出现象的发生。

3 材料的制备

伪装隔热封套材料也是采用压延工艺制备,与普通 PVC 压延封套材料的制备过程相比,只是在浆料制备过程有所区别。具体制备步骤如下。

3.1 浆料制备

将红外反射材料、颜料、分散剂和增塑剂按配方要求取料并投入到万能搅拌机中,充分混合并经过筛处理后,在三辊研磨机中研磨至细度值 $75\ \mu\text{m}$ 以下备用。

3.2 压延

(1)基布上胶:在基布的两面刮涂聚氨酯粘结剂,并进行预固化处理;(2)原料混合:根据配方取料,依次加入到高速混合机中,高速混合 $5\sim 10\ \text{min}$,使各种物料均匀混合;(3)原料密炼:将混合好的原料在密炼机上混料塑化,使混合物料成溶胶状态;(4)压延复合:将塑化均匀的溶胶态混合物料在四辊压延机上压延成厚度适宜的薄膜,并通过贴合辊将压延薄膜贴合在基布的一侧;(5)冷却定型:通过冷却辊冷却后卷取成卷;(6)双面复合:重复步骤(4)和(5),在基布的另一侧贴合压延薄膜。

4 材料性能

4.1 光谱反射性能

将所制的隔热伪装封套材料使用 Lambda9 紫外分光光度计进行测量,其反射曲线见图 3。

由试验结果可以看出,该材料的光谱反射特性与绿色植被相似,基本达到了设计目标:在 $400\sim 500\ \text{nm}$ 波段的反射率为 $8.7\%\sim 15\%$,在 $580\ \text{nm}$ 处出现波峰,反射率为 15.2% ;在 $680\ \text{nm}$ 处出现波谷,反射率为 13.7% ;在 $680\sim 800\ \text{nm}$ 波段反射率迅速由 13.7% 升高至 34% ;在 $800\sim 1200\ \text{nm}$ 波段反射率保持在 $34\%\sim 51\%$ 之间。

4.2 热反射性能

热反射性能测试结果表明^[8]:伪装隔热封套材料的热反射率为 30.1% ,远大于普通封套材料的 9.6% 。测试结果还表明,在环境温度为 $34\ ^\circ\text{C}$ 的情况

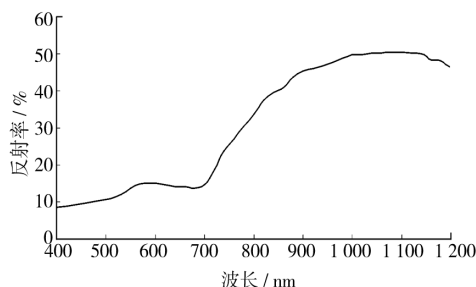


图3 伪装隔热封套材料光谱反射曲线

Fig. 3 Spectral reflection curve of the camouflage and heat-shielding envelop material

下,其表面温度比普通封套材料低 $6\ ^\circ\text{C}$,并且环境温度越高,表面温度的差距越大。

5 结语

伪装隔热封套材料具有与天然叶绿素相似的光谱反射曲线,在具有一定伪装功能的同时还可有效反射红外波段带来的热量,降低封套材料的表面温度及封套内的温度,有利于封套在野战条件下的使用。表面温度的降低还能减缓封套材料的老化速度,延长封套材料的使用寿命。

参考文献:

- [1] 宣兆龙,易建政,段志强.野战装备封存封套材料研究[J].包装工程,2006,27(1):53-54.
XUAN Zhao-long, YI Jian-zheng, DUAN Zhi-qiang. Study of Envelope Materials Used to Seal up Field Equipment[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(1): 53-54.
- [2] 宣兆龙,易建政,段志强,等.野战装备集合封存技术研究[J].包装工程,2003,24(2):53-55.
XUAN Zhao-long, YI Jian-zheng, DUAN Zhi-qiang, et al. The Research on Technology of Sealing up for Keeping Field Armaments[J]. Packaging Engineering, 2003, 24(2): 53-55.
- [3] 费逸伟,黄之杰,刘芳,等.防近红外侦察伪装涂料技术研究[J].红外技术,2003,25(1):88-92.
FEI Yi-wei, HUANG Zhi-jie, LIU Fang, et al. Technology Study for Organic Coatings with Near-infrared Camouflage[J]. Infrared Technology, 2003, 25(1): 88-92.
- [4] 李晓光,胡江华,张品,等.降温涂料在红外隐身中的应用[J].红外,2007,28(6):29-32.

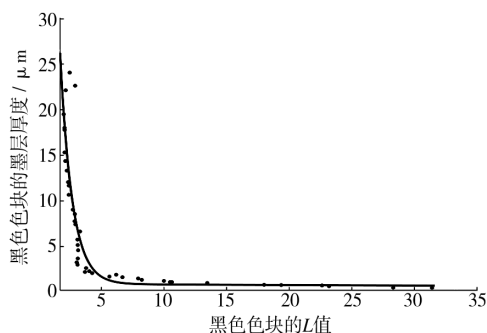


图2 黑墨的厚度 D 与 L 的关系

Fig. 2 Relationship between black ink thickness and L values

印所能印刷出的墨层厚度。从计算结果也可看出,模型的线性相关性非常明显,除了个别特殊点外,基本上都可以由公式得出,因此该模型是相当可靠的。

3 结语

墨层厚度可以直观地表现墨量的多少,通过测量单色色块的 Lab 值可以计算出单色的墨层厚度,这对于颜色复制和墨量控制有很重要的意义。多元线形回归方法简单易操作,可以方便地找出各种纸张与油墨组合下各单色墨层厚度与 Lab 值之间的关系,为印刷在线检测墨层厚度提供了一种简单有效的方法。

参考文献:

- [1] 马千里,唐万有,徐敏. 基于神经网络的印刷墨量在线检测研究[J]. 包装工程,2011,32(19):101-104.
MA Qian-li, TANG Wan-you, XU Min. Research of Ink Quantity On-line Detection Based on Neural Network

(上接第 61 页)

- LI Xiao-guang, HU Jiang-hua, ZHANG Pin, et al. Application of Temperature Reduction Paint in Infrared Stealth[J]. Infrared, 2007, 28(6):29-32.
- [5] 孙元宝,邱贞慧,费逸伟,等. 红外伪装降温涂料的设计原理[J]. 现代涂料与涂装,2003(5):5-7.
SUN Yuan-bao, QIU Zhen-hui, FEI Yi-wei, et al. Design Principles of Temperature Reduction IR Camouflage Paint [J]. Modern Paint and Finishing, 2003(5):5-7.
- [6] 李劲松,王海荣,张海信,等. 防红外丙烯酸伪装涂料的研制[J]. 中国涂料,2002(2):29-30.
LI Jin-song, WANG Hai-rong, ZHANG Hai-xin, et al. The Development of a Camouflage Acrylic Coatings A-

[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(19):101-104.

- [2] 武吉梅,武秋敏. 印刷墨层厚度的一致性仿真分析[J]. 包装工程,2006,27(3):62-64.
WU Ji-mei, WU Qiu-min. Research on Consistency of Ink Film Thickness of the Offset Printing[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(3):62-64.
- [3] 赵霖. 基于多元线性回归模型的预测分析决策系统的研究与实现[D]. 上海:上海大学,2007.
ZHAO Lin. The Implementation of Predictive Analysis and Decision System Based on Multiple Linear Regression Model[D]. Shanghai:Shanghai University, 2007.
- [4] 李茂斌,张海燕. 墨层厚度与实地密度关系数学建模[J]. 包装工程,2007,28(10):121-122.
LI Mao-bin, ZHANG Hai-yan. Modeling of the Relationship between Ink Thickness and Solid Density[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(10):121-122.
- [5] 胡成发. 印刷色彩与色度学[M]. 北京:印刷工业出版社,1993.
HU Cheng-fa. The Color and Colorimetry of Printing [M]. Beijing: The Press of Printing Industry, 1993.
- [6] HERSCH R D, BRICHON M. Deducing Ink Thickness Variations By a Spectral Prediction Model[J]. Color Research and Application, 2009(20):432-442.
- [7] 唐燕武. 线性回归模型参数估计的几种方法[J]. 安庆师范学院学报(自然科学版), 2004, 30(4):93-95.
TANG Yan-wu. Several Methods on Estimation in Linear Models[J]. Journal of Anqing Teachers College(Natural Science Edition), 2004, 10(4):74-76.
- [8] MIRMETHDI Majid, PETROU Maria. Segmentation of Color Textures[C]. IEEE Transaction Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(2):142-157.

gain Infra-red Ray[J]. China Paint, 2002(2):29-30.

- [7] 康青. 红外隐身机理与应用[J]. 红外技术, 1996, 18(1):25-27.
KANG Qing. On Mechanism and Application of Infrared Camouflage[J]. Infrared Technology, 1996, 18(1):25-27.
- [8] 梁波,易建政,段志强. 封套材料热反射率试验研究[J]. 塑料, 2009, 38(2):25-26.
LIANG Bo, YI Jian-zheng, DUAN Zhi-qiang. Heat Reflectivity Test of Envelope Material[J]. Plastics, 2009, 38(2):25-26