

文章编号: 1001-2486(2008)02-0028-05

日照条件下伪装网热红外迷彩研究*

曹义¹, 才鸿年^{1,2}, 程海峰¹, 郑文伟¹, 张朝阳¹

(1. 国防科技大学 航天与材料工程学院, 湖南 长沙 410073; 2. 兵器装备集团公司, 北京 100081)

摘要: 采用热像仪记录伪装网样品不同时段的热图, 分析了日照对伪装网热迷彩的影响。伪装网的热迷彩效果受装饰布太阳能吸收率影响非常大, 甚至可以抵消或超过发射率差值因素。实验采用的伪装网深绿装饰布太阳能吸收率较高, 热红外发射率比土黄装饰布低 0.11 以内时, 在日照下深绿斑块辐射温度与土黄斑块接近或超过土黄斑块; 深绿装饰布热红外发射率比土黄低 0.27 时, 可保证在夏季的强日照下深绿斑块辐射温度低于土黄斑块, 且有较大差值。

关键词: 热红外; 伪装网; 迷彩

中图分类号: TN976 文献标识码: A

Thermal IR Pattern of Camouflage Net in the Sunshine

CAO Yi¹, CAI Hong-nian^{1,2}, CHENG Hai-feng¹, ZHENG Wen-wei¹, ZHANG Chao-yang¹

(1. College of Aerospace and Material Engineering, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China;

2. China South Industries Group Corp., Beijing 100081, China)

Abstract: The thermal IR images of camouflage net were recorded at different time in a day. The influence of sunshine on IR pattern of the camouflage net was discussed. The solar energy absorptivity of the camouflage cloth of the nets influences the IR pattern under sunshine greatly, and the influence even exceeds that of thermal IR emissivity. The dark green cloth of camouflage net, whose thermal IR emissivity is lower than that of khaki cloth, absorbs more solar energy. When the emissivity difference between khaki cloth and dark green cloth is less than 0.11, the apparent temperature of dark green cloth may be equal to or higher than that of khaki cloth in the sunshine. When the emissivity difference between khaki cloth and dark green cloth reaches 0.27, the apparent temperature of dark green cloth is lower than that of khaki cloth in the burning summer sunlight.

Key words: thermal infrared; camouflage net; pattern

目前, 热红外成像侦察、制导技术在实战中的广泛应用^[1-5]使地面武器装备面临巨大威胁, 热红外伪装的重要性日益突出。

采用不同发射率的迷彩斑块实现光学与热红外兼容伪装是地面目标的重要伪装手段。不同发射率的迷彩斑块由于热辐射强度的差异在热图中呈现不同的亮度级别, 从而歪曲目标轮廓, 在斑驳的背景中降低目标的显著性。

迷彩斑块的发射率应保持一定的差值以形成热迷彩。陈小乙^[6]指出当高、中、低发射率表面伪装涂层的发射率分别为 0.9、0.7 和 0.5 时具有较好的通用性。王自荣^[7]等考虑了环境热辐射的影响, 推导四色红外迷彩斑块的发射率可依次为 0.9300、0.8459、0.7649、0.6872, 相应的斑块发射率最小差值应依次减小, 分别为 0.0841、0.0810、0.0777。邹南智^[8]等提出了一种确定伪装遮障材料红外发射率差值的方法。上述结论是假定目标表面各部分真实温度相等时得出的。但短波吸收与辐射散热能力的差异使得日照下目标迷彩斑块间真实温度存在较大的区别, 因此在热迷彩设计中应考虑日照的影响。

本文根据伪装网样品在日照下热迷彩测试结果, 分析了伪装网装饰布太阳能吸收率对热迷彩的影响, 讨论了伪装网热迷彩斑块的发射率取值问题。

* 收稿日期: 2007-10-17

基金项目: 国家部委基金资助项目

作者简介: 曹义(1978-), 男, 博士生。

1 实验

1.1 实验原材料及仪器

采用三色迷彩(土黄、中绿、深绿)的林地型伪装网样品,共两张,样网 A 尺寸为 1.5m × 2.0m,样网 B 为 0.5m × 0.5m。

采用德国 Infrac 红外热像仪记录热图。热像仪工作波段 7.5~ 14 μ m,分辨率 320 × 240 像素,测温范围 - 40~ 1000 °C,在 30 °C 温度时分辨率为 0.08 °C。

采用美国 ASD 公司 FieldSpec HH 便携式光谱仪测量样品的光谱反射率及太阳光谱辐照度。工作波段 350~ 1050nm。

1.2 实验过程

伪装网样品不同颜色装饰布 7.5~ 14 μ m 波段发射率采用热像仪测量,测试方法参照文献[9~ 10]。装饰布的光谱反射率及晴天的光谱辐照度采用 ASD 光谱仪测量。

样品的放置:测试在湖南省长沙市进行;样品置于大楼顶部,排除其他建筑物、树木阴影对样品日照的影响及其对样品热红外辐射强度的影响;样品绑在不锈钢架上,保持网面水平向上,使网面各部分日照情况相同。

测试时机选择:分别于 2007 年 1 月 31 日、7 月 30 日记录了样网的热图,两个时间分别位于冬季与夏季;测试时天气满足晴到少云,无风或微风的条件。测试期间部分时段的天气情况见表 1,数据来源于 www.t7online.com。

测试方法:在一天的不同时段记录伪装网面的热图,由热像仪附带分析软件读出热图中伪装网迷彩斑块的辐射温度,根据热辐射温差判别热迷彩效果。

表 1 测试期间的天气情况

Tab. 1 Weather condition while testing

Time	January 31, 2007			July 30, 2007		
	Air temperature (°C)	Weather	Beaufort wind scale	Air temperature (°C)	Weather	Beaufort wind scale
8 00	8.4	cloudless	1	30.6	partly cloudy	2
11 00	13.1	cloudless	2	35.0	partly cloudy	2
14 00	19.6	cloudless	1	37.5	partly cloudy	2

表 2 装饰布的热红外发射率

Tab. 2 Thermal IR emissivity of camouflage cloth

Date	Net sample A			Net sample B		
	Khaki	Dark green	Middle green	Khaki	Dark green	Middle green
January 31	0.94	0.83	0.67	-	-	-
July 30	0.94	0.84	0.72	0.94	0.67	0.63

2 结果与讨论

2.1 迷彩装饰布的基本性能

样网 A 所用三色装饰布的光谱反射率 $\rho(\lambda)$ 如图 1 所示,样网 B 与之差别不大。

测得阳光 350~ 1050nm 范围的光谱辐照度 $E(\lambda)$ 如图 2 所示,由于伪装网装饰布光学波段不透明,其光谱吸收率 $\alpha(\lambda) = 1 - \rho(\lambda)$,由公式(1)可求得三种装饰布在 350~ 1050nm 波长范围的太阳能吸收率

A 分别为深绿 76%, 土黄 71%, 中绿 69%。350~ 1050nm 波长范围的太阳辐射能量约占太阳总能量的 72%*, 此波段的太阳能吸收率对评估装饰布日照下的吸热能力具有一定的参考价值。

$$A = \frac{\int_{350}^{1050} [1 - \rho(\lambda)] E(\lambda) d\lambda}{\int_{350}^{1050} E(\lambda) d\lambda} \quad (1)$$

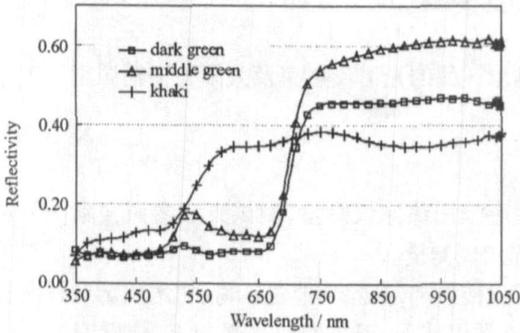


图 1 迷彩装饰布的光谱反射曲线
Fig.1 Reflectivity of camouflage cloth

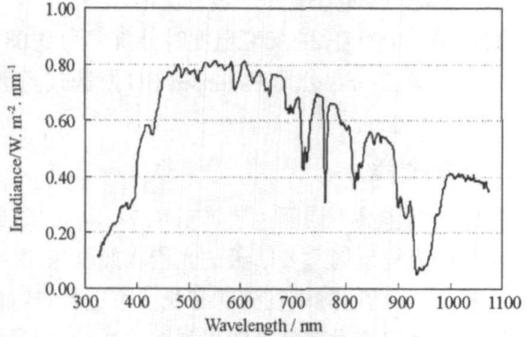


图 2 阳光的光谱辐照度
Fig.2 Spectral irradiance of sunshine

三色装饰布 7.5~ 14μm 的热红外波段发射率见表 2。由于室外测试样网 A 的装饰布受到了污染, 7 月 30 日测试时的热红外发射率高于 1 月 31 日。样网 A 斑块间热红外发射率差值大于 0.10, 且热红外发射率值土黄 > 深绿 > 中绿。

2.2 日照下伪装网热迷彩研究

样网 A 在 1 月 31 日四个不同时刻的热图如图 3 所示, 为了便于比较, 热图的温度跨度都设为 10℃。

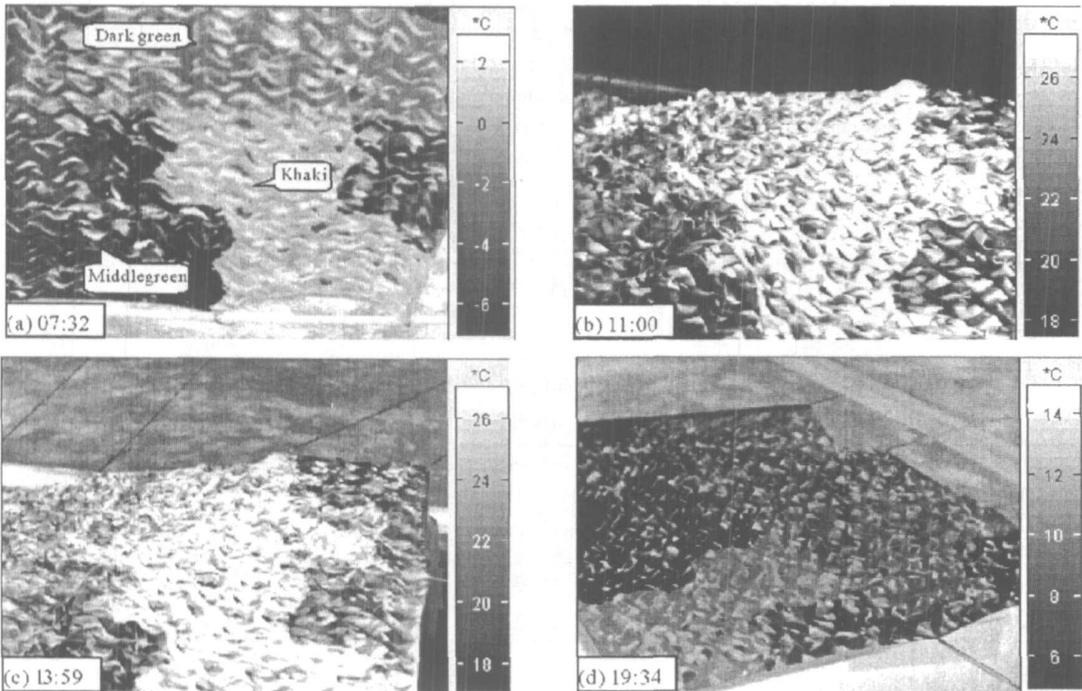


图 3 样网 A 不同时刻的热图(2007. 01. 31)

Fig.3 Thermal IR images of net sample A at different time (January 31, 2007)

* 太阳辐射能量光谱分布与 5900K 黑体接近, 到达地面的太阳辐射能量集中在 300~ 3000nm 的短波区, 根据黑体辐射的普朗克公式, 积分求得。

早晨阳光不强烈时,伪装网面三色迷彩明显,如图 3(a);在阳光比较强烈的中午,中绿色块辐射温度较低,颜色较暗,但土黄斑块与深绿斑块间的辐射温度差别不明显,如图 3(b)、(c)所示;下午随着阳光的减弱,伪装网面重新呈现明显的三色迷彩,如图 3(d)。可见日照对热迷彩具有非常大的影响。

采用热像仪附带软件读出热图中每个时刻三色迷彩斑块的平均辐射温度,计算土黄斑块与深绿斑块、深绿斑块与中绿斑块间的热辐射温差,结果如图 4 所示。图 4 中两条温差曲线有三个明显特征:(1)在日照较弱的早晨与傍晚,土黄-深绿,深绿-中绿间的热辐射温差都为 2°C 左右;(2)在日照较强的时段,土黄-深绿间热辐射温差小于 2°C ,甚至出现了负值,即发射率低的深绿斑块辐射温度高于发射率高的土黄斑块;(3)日照较强时段,深绿-中绿间热辐射温差均大于 2°C ,且极大值出现的时间对应土黄-深绿温差的极小值。

由图 4 可推断:(1)强日照下伪装网深绿斑块的真实温度高于土黄斑块,高的表面温度对辐射温度的影响抵消甚至超过了低发射率的影响,从而使二者在日照下的热辐射温差在 0°C 左右振荡,甚至出现较大的负值;(2)强日照下伪装网深绿斑块的真实温度高于中绿斑块,深绿斑块较高的热红外发射率对辐射温度的影响与之叠加,使得强日照下深绿-中绿斑块间的热辐射温差远大于弱光条件下的热辐射温差。

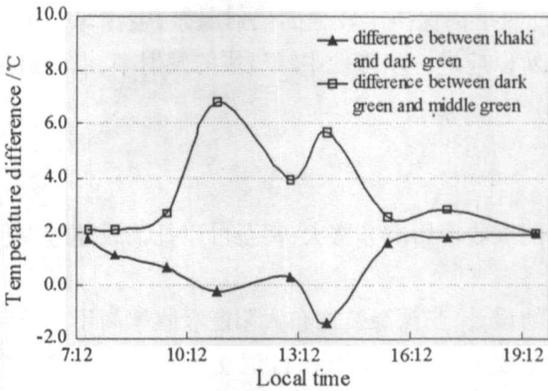


图 4 样网 A 不同时刻迷彩斑块间的热辐射温差(2007.01.31)

Fig. 4 Apparent temperature difference between camouflage cloth of sample A (January 31, 2007)

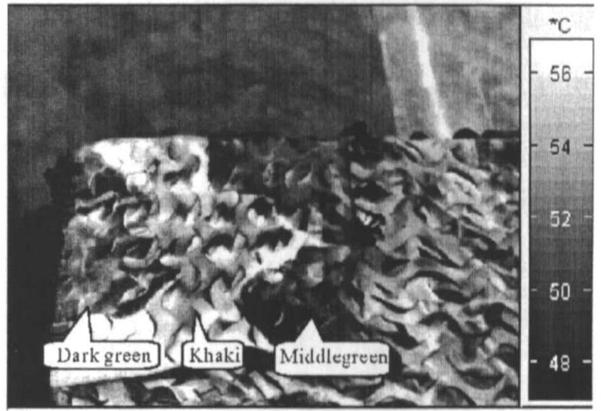


图 5 样网 B 日照下的热迷彩(2007.07.30 11:14)

Fig. 5 Thermal IR pattern of sample B under sunshine (July 30, 2007 11:14)

日照下深绿斑块的辐射温度接近或高于土黄斑块对伪装效果带来不利影响:一方面使伪装网热图亮度级别减少,降低其迷彩变形效果;另一方面背离了设计的初衷,由于日照下自然背景中绿色植被具有较低的辐射温度而裸露地表具有较高的辐射温度,所以迷彩伪装中往往把绿色斑块设计成低发射率,希望绿色斑块的辐射温度低于土色斑块。

在对流、传导散热条件一致的情况下,深绿斑块真实温度高于土黄斑块有两方面的原因:一是深绿斑块的太阳能吸收率高于土黄斑块;二是深绿斑块的热红外发射率低于土黄斑块,辐射散热能力较低。

2.3 伪装网日照下热迷彩的改进

为了解决土黄斑块与深绿斑块日照下热迷彩不明显的问题,可采用的解决方案主要有:(1)增加土黄斑块的太阳能吸收率或降低深绿斑块的太阳能吸收率,但光学波段伪装对色差与近红外反射率范围的严格要求难以实现;(2)采用相变材料加入深绿涂料中,在日照下相变吸热降低深绿斑块的真实温度,但由于相变材料的加入引起深绿装饰布发射率升高,且由于伪装网轻量化的要求使相变材料含量不能过多,在强日照下相变吸热控温的时间有限,所以相变材料的应用受限;(3)降低深绿装饰布的热红外发射率。

在保持光学伪装性能的前提下,降低深绿涂层的发射率,制备了样网 B。样网 B 土黄装饰布热红外发射率 0.94,深绿装饰布热红外发射率 0.67,二者差值达到了 0.27。

在 2007 年 7 月 30 日 10:00 至 23:00 间 10 个时间点记录了样网 A、样网 B 的热图。样网 B 在强日

照下保持了良好的三色热迷彩,如图5所示。

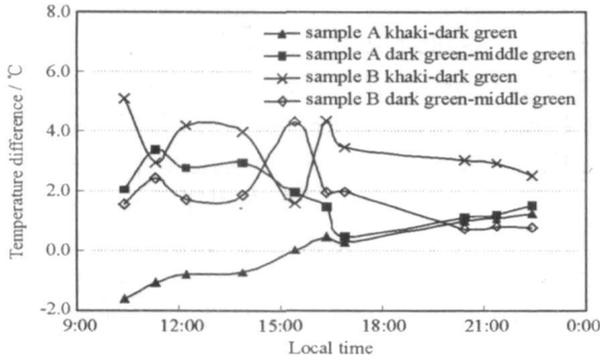


图6 不同时刻迷彩斑块间的热辐射温差(2007.07.30)

Fig. 6 Apparent temperature difference between camouflage cloth (July 30, 2007)

样网A的土黄斑块与深绿斑块的辐射温差在日照下仍不明显。样网在各时段斑块间的辐射温差见图6。样网A土黄斑块与深绿斑块间的温差在10:00至15:00之间均为负值,深绿与中绿斑块间辐射温差较大,与1月31日规律吻合。而样网B斑块间在日照下都保持了较大的辐射温差,但深绿与中绿斑块间发射率差值的减小导致二者夜间辐射温差减小,所以应进一步降低中绿斑块的发射率,以保持足够的辐射温差。

3 结论

(1) 伪装网在日照下的热迷彩效果受装饰布的太阳能吸收率影响非常大,甚至可以抵消或超过发射率差值因素。

(2) 对于土黄装饰布发射率高于深绿装饰布发射率的设计,当深绿装饰布太阳能吸收率高于土黄装饰布时,二者间的发射率差值应尽量大。本文中二者间的发射率差值小于0.11时土黄斑块在日照下的辐射温度接近或小于深绿斑块,差值为0.27时可保证在夏季的强日照下土黄斑块辐射温度高于深绿斑块,且有较大差值。

(3) 伪装网绿色斑块在日照下要保持较低的辐射温度,必须重视对其太阳能吸收率的控制。一方面尽量提高其近红外反射率,另一方面可使装饰布具有一定的透射率。

参考文献:

- [1] 袁洪, 马润庚. 从幼畜空地导弹看红外成像制导技术发展[J]. 飞航导弹, 2007(3): 6-8.
- [2] 王敏, 徐锦, 郭利松, 等. 红外成像制导技术[J]. 舰船电子工程, 2006, 26(6): 27-30, 36.
- [3] 赵秋艳. 美国成像侦察卫星的发展. 光机电信息, 2001(10): 15-23.
- [4] 付伟. 红外制导武器的现状及发展趋势[J]. 红外技术, 1999, 21(5): 8-13.
- [5] Foss C F. UK Armoured Vehicles Get Thermal Imaging[J]. Jane's Defence Weekly, 2005, 42(1): 11.
- [6] 陈小乙. 低发射率材料伪装效果及技术指标分析[J]. 工兵装备研究, 2003, 22(5): 10-14.
- [7] 王自荣, 孙晓泉. 涂层热红外迷彩隐身的条件分析[J]. 激光与红外, 2006, 36(4): 305-307.
- [8] 邹南智, 田启祥. 伪装遮障材料的红外发射率级差值计算[J]. 工兵装备研究, 2007, 26(2): 10-12.
- [9] 曹义, 程海峰, 郑文伟, 等. 基于红外热像仪的涂层波段发射率测量[J]. 红外技术, 2007, 29(6): 316-319.
- [10] ASTM E1933- R2005. Standard Test Methods for Measuring and Compensating for Emissivity Using Infrared Imaging Radiometers[S]. ASTM International, 2005.