

防近红外侦察伪装涂料技术研究*

費逸偉, 黃之杰, 劉 芳, 李華強, 賀 偉

(空军后勤学院四系, 江苏 徐州 221000)

摘要: 论述了防近红外侦察伪装涂料的技术原理, 研究了一些适用于防近红外侦察伪装涂料颜料的红外性能, 并探讨了一些国内外研制的防近红外侦察伪装涂料的配方。

关键词: 伪装涂料; 防近红外侦察

中图分类号: TN219 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-8891(2003)01-88-05

引言

近红外侦察是指利用波长为 $0.76 \sim 1.5 \mu\text{m}$ 近红外辐射的各种特性进行侦察的方法。在现代战争中, 随着红外侦察器材的发展与完善, 红外侦察对于伪装目标的威胁越来越大。目前, 大多数发达国家的军队均不同程度地装备了各种红外侦察器材, 像增强器、星光镜、红外夜视仪、夜视镜等多种装置均已投入军事应用。随着红外侦察威胁的提高, 各种防红外侦察的手段日趋重要。美、英、日等国家均开始了防红外侦察方法研究, 其中尤以防红外侦察伪装涂料的研究最为重要。本文简要介绍了防近红外侦察伪装原理, 研究了适用于防近红外侦察伪装涂料的颜填料的性质, 并探讨了一些国家已经研制成功的防近红外侦察伪装涂料的配方。

1 防近红外侦察伪装原理

红外光, 特别是近红外光波, 许多特点与可见光相似, 但是它比可见光穿透能力强, 可以在夜间和薄雾下观察和照相, 发现目标, 这样就增加了伪装的困难。红外线分为近红外、中红外、远红外和极远红外四种, 其波长分别为 $0.75 \sim 3 \mu\text{m}$, $3 \sim 6 \mu\text{m}$, $6 \sim 15 \mu\text{m}$, $15 \sim 1000 \mu\text{m}$ 。防红外侦察主要是指防近红外侦察。

在通常情况下, 防红外侦察的伪装是叶绿素伪装, 要求防红外伪装涂料在可见光和近红外的范围内, 与天然叶绿素有近似或相同的反射程度。红外线是没有颜色的色彩差异, 它发现目标的依据是其与背景的亮度差别。在近红外波段, 天然植物的光谱反射系数很高, 即亮度很大, 而一般绿色颜料的光谱反射系数很低, 如果用单一绿色颜料代替植物绿色, 目标很容易被

发现。因此, 近红外涂料伪装, 主要任务是设法减少或消除目标与背景间的亮度差别。

防红外伪装涂料要有极低的红外线吸收率、高温稳定性和导热性。它还要求表面组织结构与背景协调, 尽量避免镜面反射, 一般为无光或平光涂料, 漆膜光泽最好在 10% 以下。

随着科学技术的发展, 红外探测水平也不断提高, 目前常用的红外探测方法有: 红外夜视仪, 人眼观察的红色滤光镜, 红外摄影。这几种红外探测方法相对敏感的光谱区为: 人眼, $0.4 \sim 0.6 \mu\text{m}$; 眼睛+红色滤光镜, $0.64 \sim 0.85 \mu\text{m}$; 红外摄影, $0.78 \sim 0.95 \mu\text{m}$; 红外夜视仪, $0.82 \sim 1.25 \mu\text{m}$ 。防红外伪装涂料必须在上述各个光谱区间内具有与绿色植物近似或相同的反射程度和极低的红外线吸收率^[1]。

在某一地区使用的防红外线伪装涂料, 必须具有该地区的各种不同植物的平均光谱反射曲线, 即该地区标准叶绿素曲线。一般说来标准叶绿素曲线具有图 1 的基本特征^[1]。

但是, 由于颜料自身性能限制, 调制出与背景完全接近的伪装颜色是困难的, 一般有一个规定限度内的伪装色的允许偏差。在美国空军飞机用丙烯酸—硝化纤维素伪装涂料的军用规格中, 草绿色伪装涂料光谱反射曲线要求落在图 2 两条曲线所围的阴影内。调配和选择的伪装涂料其红外反射区处在规定的允许偏差范围内就可以使用^[2]。

2 防近红外侦察伪装涂料颜料的选择

颜料是影响涂层的可见光性能和近红外性能的最主要因素。近红外波段颜料的选择主要是依靠其在近红外波段的散射、反射、吸收和透射性能。因此, 对于多

* 收稿日期: 2002-04-04

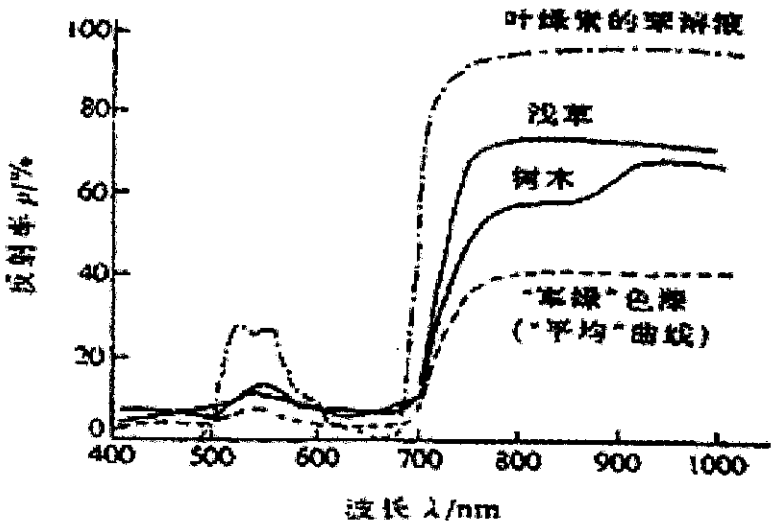


图 1 不同植物的光谱反射特性曲线和“平均”曲线
Fig. 1 Spectral reflectance of different plants

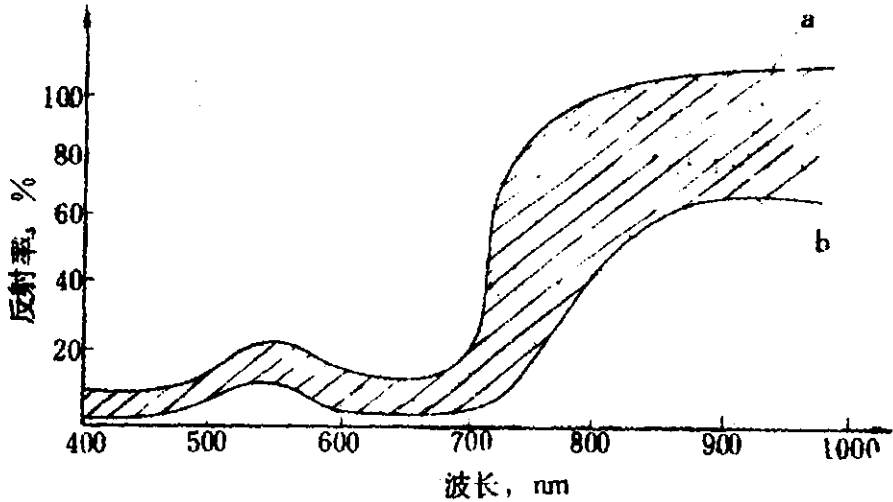


图 2 草绿色伪装涂料光谱反射曲线最大允许偏差
Fig. 2 Most allowed windage of diffuse reflectance curve for grass green camouflage paint

种颜料在近红外波段光学性能的了解就显得至关重要。表 1 列举了几种常用的颜填料在近红外波段的散射性能,具体数据如表 1 中所示^[3]。

从表 1 中我们可以看出上述几种颜料的红外性能。0.2 μm 的 TiO_2 是高反射率材料; Fe_2O_3 黑与深褐色的 Fe_2O_3 都是全吸收材料;硅不定形,重晶石、滑石粉等都是透明材料; Cr_2O_3 、 Fe_2O_3 红、 Fe_2O_3 黄、浅褐色的 Fe_2O_3 则属于半反射半吸收材料;10 μm 的 TiO_2 是半反射半透明材料。

在涂料工业中,最重要的白色颜料就是 TiO_2 。 TiO_2 的折光率高(金红石型 TiO_2 的折光率 $n=2.80$),光散射

的能力比其他白色颜料都强,在着色涂料中使用,具有极好的遮盖率(特别是金红石型 TiO_2)。许多 TiO_2 晶体看上去是透明的,如金红石型 TiO_2 ,其 6 mm 厚的样品在 1~5 μm 波谱范围内的透过率超过 75%,但工业上颜料的超细微粒却具有很高的不透明性(遮盖力)^[4]。图 3 所示为 TiO_2 粒径与其反射性能的关系。

从图中可以看出, TiO_2 粒子直径为 0.25 μm 时,颜料的反射能力最大,遮盖力最强。 TiO_2 粒子直径大于或小于 0.25 μm 时反射性能都会下降。一般而言,粒径为 0.2 μm 左右的 TiO_2 ,其反射区间在 400~1700 nm,这种类型的 TiO_2 常用于可见光波段反射性

能要求比较高的地方。当 TiO_2 的粒径增加到 $10\ \mu\text{m}$ 左右时,它的最佳反射区间为 $800\sim 2300\ \text{nm}$,但是在可见光波段 $400\sim 800\ \text{nm}$ 区间内,它的反射性能很差。因此,这种粒径的 TiO_2 通常用于需要在近红外波段具有较高反射能力的涂层中,它对涂层在可见光波段的反射性能没有明显的影响。

表 1 各种颜料涂层在白背景和黑背景上的近红外反射常数
Table 1 Diffuse reflectance values (in per cent) of paint films applied over white (R_w) and black (R_b) backgrounds

颜料	R_w	R_b	CR_{IR}
重晶石	99	1	1
Cr_2O_3	45	44	11
白碳黑	73	9	12
Fe_2O_3 红	33	33	100
Fe_2O_3 黄	56	56	100
Fe_2O_3 黑	0	0	100
Fe_2O_3 , 浅褐色	16	16	100
Fe_2O_3 , 深褐色	0	0	100
滑石粉	96	1	1
硅不定形, $25\ \mu\text{m}$	95	1	1
硅不定形, $22\ \mu\text{m}$	96	2	2
硅不定形, $16\ \mu\text{m}$	99	2	2
TiO_2 , $0.2\ \mu\text{m}$	100	93	93
TiO_2 , $10\ \mu\text{m}$	91	40	44
白背景	99		
黑背景		1	

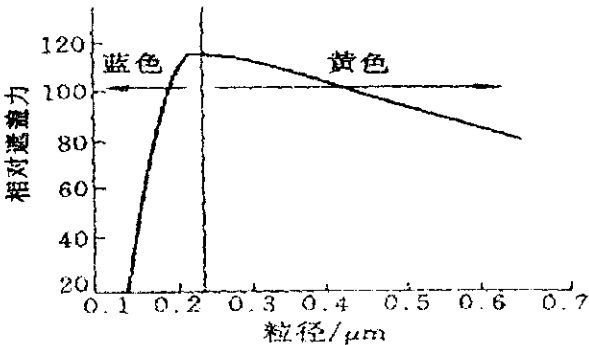


图 3 钛白粉颜料粒径与遮盖力的关系

Fig. 3 Relation for diameter of titanium and covering property

氧化铬是绿色的,并且拥有与叶绿素相似的光谱反射性能,是早期防近红外侦察伪装涂料的理想颜料。氧化铬绿的化学成分是 Cr_2O_3 ,其外观颜色由浅绿到深绿,密度为 $5.09\sim 5.4\ \text{g}/\text{cm}^3$,吸油值为 $12\%\sim 14\%$,是单一成分的绿色颜料。不同与黄蓝复配的绿色颜料,氧化铬绿的色光在绿色颜料中不算鲜艳,遮盖力和着色力一般不如其他绿色颜料。氧化铬绿的反射曲线虽与绿色植物相类似,但是在近红外区 $670\sim 750\ \text{nm}$ 反射率不能急剧升高,单独使用不能满足伪装要求。因此人们通常在颜料体系中添加钛白粉、尖晶石等填料或将 ZnO 添加到 Cr-CO-TiO_2 体系中以使颜料在 $670\sim 750\ \text{nm}$ 区间的反射率陡度上升,并且使绿峰转向更高的波长处,以补偿伪装涂料在黑色金属和黑色木材表面上的反射率的降低^[5]。

氧化铁系颜料(氧化铁黑除外)同氧化铬类似,都是在近红外波段中等强度的吸收体。它们通常是很有价值的半透明颜料,但只有在近红外涂层中添加足够的量才会获得所要求的视觉透明。然而大量使用这些颜料也会导致热红外波段过度的吸收。

还有一些颜料在可见光波段吸收,但在近红外波段透明,当我们需要近红外反射性能时就可以把它们当作良好的复合颜料。也就是说,这些颜料可以用来调节涂层的可见光性能而不会影响涂料的近红外性能。酞菁蓝、酞菁绿等颜料常用做此种用途。

常用的一些体质颜料如重晶石、不定形硅土和硅藻土、云母粉、滑石粉等都是透明的,它们在整个可见光和近红外波段都没有反射性能。这些颜料常用于需要近红外波段透明的场合,而且它们也不会干涉其它颜料的光学性能^[6]。

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显著地提高涂料在近红外波段的发射性能,而不会影响其涂料在可见光波段的颜色。然而,当涂料在近红外和热红外波段需要较低的反射性能时,为获得这种较低的反射性能所使用的炭黑的量就会足以影响涂料在可见光波段的光学性能。

3 近红外绿色伪装涂料配方示例研究

防近红外伪装涂料,要具有极低的红外吸收率、高温稳定性和导热性。近红外涂料模拟天然叶绿素,仅是伪装的一方面,涂料还应在红外波段具有高度的反射,使这种伪装涂料不论在红外或全色照片中均难以区别,适用于叶绿素伪装。红外伪装涂料配制的关键是颜料的选择与配合。按红外反射曲线,颜料分为 E、

O、L 三类,O 类颜料的反射曲线与叶绿素更加接近,是叶绿素伪装的最佳颜料^[7]。

ZnO、CoO、Cr²O₃、TiO₂ 及其复合物所组成的绿色颜料,红外反射曲线与叶绿素接近。将 ZnO 加到 Cr-Co-TiO₂ 体系中制得的青绿色颜料,与叶绿素具有几乎相同的可见光与红外光的反射率。具体的颜料配方重量百分比如表 2 所示。

将 Cr₂O₃、CoO、Sb₂O₃ 煅烧 1 h,所制成的颜料也

具有天然叶绿素特性。此外,锌酸钴绿也是很好的防红外伪装涂料,采用此种颜料的涂料与叶绿素具有相当的反射曲线,在波长 1.0~1.1 μm 处具有最大的反射值。还有研究人员提出以茚四酸二酰亚胺类黑色化合物与其它颜料混合,这类颜料混合物在 450~1100 nm 范围内具有良好的散射反射性,其颜料配方示例如表 3 所示^[5]。

表 2 颜料配方示例(重量比%)
Table 2 Composition of some coating pigments (Weight %)

组分	配方-1	配方-2	配方-3	配方-4	配方-5
TiO ₂	41			35	
Cr ₂ O ₃	16	60-65			
CoO	36	20-25	45	15	45
ZnO	7			15	
Al ₂ O ₃		15	55		55
NiO				35	
色彩	绿	绿	青	绿	青

表 3 颜料配方示例(重量比%)
Table 3 Composition of some coating pigments (Weight %)

组分	配方-1	配方-2	配方-3
N,N-双(2-氨基乙基) 茚四酸二酰亚胺	5.70	5.50	5.53
二氧化钛	12.20	13.67	4.61
铬黄 500LSU	18.30	18.35	18.43
氧化铬绿 SU	40.65	44.04	46.08
氧化铁黄 214501	22.35	17.97	19.82
氧化铁红 N135	0.80	1.38	4.15
氧化铁黑 N74			1.38
色彩	亮绿	绿-棕	深绿

美军曾研制成功一种耐机油、耐燃料、用于飞机上的可剥性伪装涂料—B44,该涂料以聚丙烯酸酯为基料,以 Cr₂O₃、TiO₂、滑石粉等为颜料和填料而制得。详细配方见表 4^[8]。

据报道国内曾生产以过氯乙烯树脂、醇酸树脂为基料,以氧化铬、中铬黄、氧化铁红、二氧化钛、炭黑及碳酸钡等为颜料,经专门加工处理而成的防近红外伪装涂料,该品种系列具有良好的机械性能和耐化学药品性能、施工容易,干性好,在室温下 2 h 就可以达到
万方数据

实干程度。在一允许的波动范围内,其近红外光谱的反射率与叶绿素相当^[9]。

在实际的研究过程中我们应该注意,由于原料来源的变化,往往会引起涂料光谱反射率的变化。在可见光区域内,一定的色泽有其固定的反射曲线,只要色泽达到要求,那么在可见光区域内的光谱反射曲线也一定符合要求。可见光区域反射曲线相同,并不等于红外区域反射曲线相同,必须通过红外反射率测定仪

测定,如果测得的反射率高于规定的幅度范围,则可用炭黑浆调配,直到符合要求为止,反之则减少炭黑浆的用量或改变配方。

此外,作为防近红外伪装涂料的粘结剂(漆基),常用的树脂有过氯乙烯树脂、硝化纤维素树脂、醇酸树

脂、苯乙烯改性及氨基改性树脂等,现在正在研究采用符合色度、伪装、耐化学性和机械性能要求的聚氨酯树脂系统。可以预计,选用聚氨酯等新型树脂为成膜物,科学地组合与筛选乃至研制新型颜料是近期防近红外侦察伪装涂料的发展方向。

表 4 B44 美国可剥性伪装涂料配方(重量%)
Table 4 Composition of American camouflage coating (Weight %)

原 料	编号及颜色			
	I	Ⅱ (中绿)	Ⅲ (灰色)	Ⅳ (绿色)
聚丙烯酸酯	50	50	59.6	40
二氧化钛	9	10	14	
铁黄	10	4.5		
铁红	2			
氧化铬绿	4	14.25		
硅胶	8.33	8.33		7.0
滑石粉	16.67	16.67	15	18
炭黑		0.5	1.7	
酞蓝		0.25		0.7
Sb ₂ S ₃				5.5

参 考 文 献

[1] Gilligan, J. E. ,STAR,14, 1803,N76-23584,1976.

[2] G. B. 1 152 431 (1969).

[3] Robet F. Brady,Lindsay V. Wake,Principles and formulations for organic coatings with tailored infrared properties. *Progress in Organic Coatings*[J],1992. 20:1~25.

[4] 武利民,李丹,游波. 现代涂料配方设计[M]. 北京:化学工业出版社,2000. 3.

[5] 黄永勤,范春山,郭新章. 防近红外侦察的伪装涂料研究现状与展望[J]. 红外技术,1995. 17(4).

[6] 周方桥. 红外光学材料[M]. 武汉:华中理工大学出版社,1994.

[7] Photography by infrared its principles and applications by Walter Clarr John Wily Esons Inc. New York(1964).

[8] 上海市染料涂料研究所,涂料工业[J],1978. 58(1).

[9] 上海开林造漆厂,712 防近红外侦察涂料和 317 耐海水腐蚀底漆扩大实验总结,1979.

作者简介: 费逸伟,1961 年 5 月生,男,汉族,江苏无锡人,工学博士,教授,博导,现主要从事航空油料应用与机场油库伪装的教学与科研工作。

Technology Study for organic coatings with near-infrared camouflage

FEI Yi -wei,HUANG Zhi-jie,LIU Fang,LI Huang-qiang,HE Wei
(Air Force logistics college, Department of Aviation Oil Plants,Xuzhou,221000,China)

Abstract: This paper discussed the principles for organic coatings with near-infrared camouflage,studied the performances of pigments used for these and introduced some directions for producing the near-infraed coatings.

Key words: camouflage coatings, defending near-infrared surveillance