

红外隐身材料的现状与展望

谢国华 吴瑞彬 吴伶芝

(航天材料及工艺研究所 北京 100076)

张佐光

(北京航空航天大学 北京 100083)

文 摘 综述了国内外红外隐身材料的发展历程,重点介绍了构成红外隐身材料的填料、树脂的研究现状以及近年来开始重点研究的红外兼容型多频谱隐身材料,并且指出了红外隐身材料的发展方向。

关键词 红外隐身材料,多频谱隐身材料,涂层

Status and Development of Study on Infrared Stealthy Materials

Xie Guohua Wu Ruibin Wu Lingzhi

(Aerospace Research Institute of Materials and Processing Technology Beijing 100076)

Zhang Zuoguang

(Beijing University of Aeronautics and Aerospace Beijing 100083)

Abstract Development of infrared stealthy materials overseas is summarized in this paper ,and more emphasis is given on research of filler and resin of the infrared stealthy materials and the compatible infrared multi-spectral stealthy materials lately studied. In addition ,the development of infrared stealthy materials is presented.

Key words Infrared stealthy materials ,Multi spectral stealthy materials ,Coating

1 引言

随着现代军事探测技术和制导技术的发展,隐身技术越来越显出其重要性。90年代初的海湾战争和不久前结束的科索沃战争表明,武器装备的隐身技术是现代战争中提高生存能力和进攻能力至关重要的手段。据报道,海湾战争中美国应用 F—117A 隐身战斗机发动 1 270 架次空袭任务,摧毁了巴格达 95%的军事目标,而自身无一架次伤亡,而 B—2 隐身轰炸机从美国本土长途奔袭到南联盟执行任务,未受丝毫威胁。美国空军决策者们认为,隐身技术是海湾战争和科索沃战争最突出的军用高技术之一。

红外探测技术由于其自身的特点及优势,已被

广泛应用于目标探测、识别、瞄准和制导诸多方面,已对导弹武器、飞机、坦克等军事目标和地面设施构成严重威胁。为了反红外探测,与之相匹配的红外隐身技术引起了世界各强国的高度重视,世界各国投入了大量的人力、物力进行研究。本文系统地综述了国外红外隐身技术的发展历程,重点介绍了国外近年来的最新发展,并且指出了红外隐身技术未来的发展方向。

2 红外低辐射材料

用于热隐身材料应具有以下基本特征:具有符合要求的热红外发射率或较强的控温能力;具有合理的表面结构;具有较低的太阳能吸收率;能与其它频段的隐身要求兼容^[1],为此进行了多种红外低辐

收稿日期:2000-10-24;修回日期:2001-05-17

谢国华,1966年出生,高级工程师,主要从事红外隐身材料的研究工作

宇航材料工艺 2001年 第4期

— 5 —

射材料的研究。国外研究最多的是涂料型红外隐身材料,其次是薄膜材料。

低辐射薄膜材料研究重点是半导体掺杂膜、金属薄膜、塑料光学薄膜、复合膜、碳膜与氮化硼膜。这些薄膜均有可能达到极低辐射率,同时也可通过控制材料载流子密度等参数来制得不同辐射率的薄膜。这种低辐射率薄膜可制成热红外迷彩膜,也可用作散热红外隐蔽膜和透气红外隐蔽材料。涂料型红外隐身材料由于使用方便,在不改变现有装备的形状、结构等情况下,赋予武器装备各种伪装隐身功能,已越来越受到各国材料科学家们的广泛重视。美国国防部规定,所有武器装备在出厂前都必须涂敷有伪装迷彩涂层。涂层的辐射率受其组成填料、粘合剂种类和性能的影响和制约。

2.1 填料的选择

填料是影响涂料红外性能的最重要因素之一,大部分无机填料在热红外波段有明显的宽吸收频谱。例如,碳酸盐在 $7\ \mu\text{m}$ 吸收最强,硅酸盐在大约 $9\ \mu\text{m}$ 、氧化物在 $9\ \mu\text{m} \sim 30\ \mu\text{m}$ 之间有吸收峰。有机填料由于其复杂的 C—N—O 结构,如酞菁蓝及酞菁绿等都在热红外频段有明显尖锐的吸收频谱,但主要在 $6\ \mu\text{m} \sim 11\ \mu\text{m}$ 之间。因此涂层的红外特性受所用填料的影响,具有强烈的光谱选择性^[2]。金属粒子尤其是金属片状粒子是热红外隐身涂料的首选填料,它们在热红外频段吸收少,在整个波段散射和反射很大。显然金属粒子的高反射性有利于降低发射率,但不利于雷达和可见光的抑制作用。

半导体填料是一种新型的掺杂填料。从理论上

讲,通过适当选择载流子密度 N 、载流子迁移率 μ 和载流子碰撞频率 ν_0 等参数,可以使掺杂半导体在红外波段有较低的发射率,在微波和毫米波段具有较高的吸收率。掺锡氧化铟填料,可以通过调整 SnO_2 和 In_2O_3 的含量来控制涂层的表面红外辐射率^[3]。

体质填料是涂料的常用重要组分之一,为了保证涂料的红外低辐射性能,要求体质填料除了具有良好的涂料工艺性能外,还必须具有高度的热红外透明性。

目前在中远红外波段采用的红外透明体质填料有锆盐、多晶锆、氟化镁 (MgF_2)、人工蓝宝石和氮化铝等,特别是多晶氟化镁,被认为是综合性能比较好的透明材料。氟化镁多晶填料有很高的红外透过率,其红外透过率的理论值约为 95%,但实际上红外透过率在 90% 左右。为了达到红外增透的目的,通常在氟化镁填料上包覆一层类金刚石 (DLC) 薄膜,包覆 DLC 薄膜后,氟化镁的红外透过率可以增加 3%~5%。氟化镁的耐环境性能较差,48 h 的耐盐雾和潮湿试验后,表面即出现黄斑,严重地影响材料性能,类金刚石薄膜则具有优良的理化性能、耐腐蚀、耐盐雾、耐潮湿,因此能对氟化镁材料起到极好的保护作用。

$8\ \mu\text{m} \sim 14\ \mu\text{m}$ 长波红外透明填料有很多种,包括:硫化锌 (ZnS)、硒化锌 (ZnSe)、硫化铟钙 (CaIn_2S_4)、砷化镓 (GaAs)、磷化镓 (GaP) 和锗 (Ge) 等,表 1 列出了几种红外透明填料的性能。

表 1 几种红外透明填料的性能

Tab. 1 Performance of some infrared transparent materials

| 填料 | 晶体结构 | 光谱范围/ μm | 峰值透 过率/% | 透过性能 | | 吸收系数/ cm^{-1} | | | 密度/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ | 维氏 硬度 | 膨胀系数 $/\text{K}^{-1}(23^\circ\text{C})$ | 比热容/ $\text{J}\cdot(\text{g}\cdot\text{K})^{-1}$ | 热导率/ $\text{W}\cdot(\text{m}\cdot\text{K})^{-1}$ | 熔点 / |
|---------------------------|------|---------------------|-------------|------|------|------------------------|--------------------|------------------|--------------------------------------|----------|--|---|---|---------|
| | | | | 200 | >200 | 8 μm | 10.6 μm | 12 μm | | | | | | |
| ZnS | 闪锌矿 | 0.6~14 | 72 | 透 | 透 | 0.1 | 0.3 | 0.4 | 4.08 | 230 | 6.8 | 0.468 | 0.17 | 1 830 |
| ZnSe | - | 0.5~22 | 74 | - | - | - | 0.5 | - | 5.27 | 105 | 7.1 | 0.339 | 0.18 | 1 520 |
| CaIn_2S_4 | - | - | 70 | - | - | - | - | 0.5 | - | 570 | 14.8 | - | 0.017 | - |
| GaAs | 闪锌矿 | 0.9~12 | 55 | 透 | 不透 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | 5.317 | 700 | 5.73 | 0.345 | 0.53 | 1 238 |
| GaP | 闪锌矿 | 0.6~11 | 60 | 透 | - | 0.09 | 0.44 | 1.44 | 4.13 | 845 | 5.3 | 0.435 | 0.97 | 1 467 |
| Ge | 闪锌矿 | 1.8~12 | 46 | 失透 | 失透 | - | - | - | 5.325 | 850 | 6.0 | 0.31 | 0.6 | 937 |

硫化锌在 3 μm ~ 12 μm 范围,平均透过率大于 70%,无吸收峰,表面包覆 DLC 薄膜,可进一步提高透过率,最大透过率可达 90%,采取特殊措施,最大红外透过率达 95.8%^[4]

2.2 粘合剂的选择

红外涂层用树脂有两个基本要求:首先必须保护好填料,并在涂层的整个使用期保持它们的红外特性不变;其次,树脂必须在所选光谱范围红外透明。根据美国涂料技术协会的研究结果,可以从有机化合物连接键和基团来大致判断其红外吸收能力。大多数树脂在近红外区并无强烈吸收,但在热红外区由于其官能团的分子振动,如波段位于 3.3 μm (碳氢伸缩振动)、5.7 μm (羰基伸缩振动)、7.0 μm (碳氢变形振动)、8.0 μm (碳氢伸缩振动),有强烈的吸收。实际上不适宜作低辐射率涂料粘合剂的有硅醇酸树脂、硅橡胶、聚苯乙烯。文献[5]列出了有机树脂的红外吸收光谱。选用不适合这些官能团的树

脂可以减少热红外频段的强烈吸收。氟碳树脂在太阳辐射波段几乎透明,在热红外波段仅有微弱的吸收,并且具有优异的环境稳定性,非常适合于单纯特定波段的红外涂层。二甲基硅酮树脂具有较低的红外发射率值,已应用于低发射率涂层。无机硅酸盐低聚物可形成只含有硅氧键的聚合物,除位于 9 μm 处外发射率都很低。热红外透明性比较好的树脂还有烯烃类树脂和氯丁橡胶、异丁烯橡胶等。

树脂的吸收率还可通过加入填料而降低,这些填料通过控制散射率和粒子半径可将树脂吸收波段的辐射光有效地散射掉,这项技术在热红外频段有很大的优越性。

2.3 红外隐身涂料

用于光学迷彩的伪装涂料,国外多采用磁漆、油漆、干性矿物涂料、各种溶剂和颜料作原料调制而成,由它们制成的迷彩涂层一般都具有可见光、近红外性能。

表 2 几种隐身涂料的配方与性能

Tab.2 Compounding formula and performance of some stealthy coatings

| 研制者 | 基本配方/ % (质量分数) | 热隐身性能 | 其它性能 |
|----------------------------|--|--|--------------------------|
| R. F. Supcoe (1981 年) | Al 粉(10~20), Co(2~15), CoO(2~5), TiO ₂ (7~23), 有机硅醇酸树脂(65~75),其它 | 2 μm ~15 μm :0.511 3 μm ~14 μm :0.512 A ₀ :3 μm ~18 μm :0.623 | 灰色,可见光伪装好, 一般物理性能好 |
| R. F. Supcoe (1982 年) | Al 粉(10~20), ZnS(5~9), Sb ₂ S(8~14), Al ₂ O ₃ (3~7), 有机硅醇酸树脂(40~60), 有机颜料(1.3~1.8),其它 | 2 μm ~15 μm :0.512 3 μm ~14 μm :0.520 A ₀ :3 μm ~18 μm :0.684 | 蓝灰色,可见光伪装及 一般物理性能好 |
| G. Tschulena 等 (1981 年) | Al 箔片(10~20, 10 μm), 商业无色聚氨酯漆、碳黑 | TI _R :0.5 | 灰色(RAL7000), 一般物理性能好 |
| G. Tschulena 等 (1981 年) | Al 箔片(10~20, 50 μm), 黄橄榄色醇酸漆,颜料(PAL6015) | TI _R :0.6 | 橄榄色(RAL6014), 一般物理性能好 |
| Gerd Hugo (1986 年) | Al(5), 丁基橡胶/溶解的颜料 | 3 μm ~9 μm :0.45 3 μm ~14 μm :0.55 | 绿色,颜色可调范围大 |
| R.L. Calvert (1984 年) | Al 箔片(5, 70 μm), 醇酸树脂 | 10. μm :0.16 | - |
| R.L. Calvert (1981 年) | Al 箔片(30, 70 μm), 无机磷酸盐粘合剂 | 10. μm :0.25 | - |
| R.L. Calvert (1984 年) | Al 箔片(38, 70 μm), 无机磷酸盐粘合剂 | 10. μm :0.18 | - |

近年来发展起来的变色龙伪装涂料可以有效地防止空中和地面的彩色照相和电视侦探。美国研究的异色异构色素——光变色性色素、热变色性色素和化学变色性色素是最有希望制成“变色龙”式伪装材料。异色异构色素是可逆光变色性色素,是双硫腺的金属络合物,特别是二价汞的络合物。这种聚合物可使尼龙染色,染色后的尼龙随入射光的强度、环境温度和湿度而在橙、灰、兰色之间变色。

据称硒卡巴腓金属络合物具有更快的光变色和热变色速度,色差更加明显,对光的稳定性更好,是一种极好的变色龙涂料。

随着热红外成像技术的不断发展,用于热伪装的具有低辐射率的彩色涂料正在加紧研究。据报道,由环状结构的橡胶、异丁烯橡胶、聚乙烯、乙烯和醋酸乙烯共聚物、氮化聚丙烯等热透明粘合剂和金属颜料制成的低辐射涂料在 $3\mu\text{m} \sim 5\mu\text{m}$ 、 $8\mu\text{m} \sim 14\mu\text{m}$ 两个大气窗口的辐射率大约在 0.6 左右。

综述 20 多年来国外红外隐身涂料的研究情况,共经历了四个研究阶段,研究了二代产品,其有代表性的涂料配方和性能可归纳成表 2^[6-8]。Al(5),丁基橡胶/溶解的颜料涂料为目前国外性能最好的热红外兼容可见光涂料。它是第四阶段研究的第二代产品,具有低的热红外比发射率 $_{8\mu\text{m} \sim 14\mu\text{m}} = 0.55$ 和较好的可见光兼容性能。

3 红外兼容型多频谱隐身材料

从 50 年代起,美国开展隐身技术研究,经过 20 多年的发展,70 年代开始研制隐身飞机,80 年代隐身飞机装备部队并投入使用。现已装备的 F117A 隐身轰炸机,B-2 战略轰炸机以及新问世的 F-22 先进战术隐身战斗机均采用了不同类型的隐身材料。从国外资料来看,最成熟的技术仍主要是雷达隐身材料和可见光伪装材料。1979 年,由美、英、德、荷兰、丹麦等国参加的北约 TIREX 计划开始实施,该计划考察了隐身材料以及各种固定目标的隐身效果并建立了数据库。此后,美国和西德又共同实施了 MEFISO 计划,并在 TIREX 计划的基础上进行了更深入的研究^[9]。

国外单波段和双波段隐身技术在型号上的应用有两个方面:一是以隐身技术为总体设计的主要目标,综合应用外形和结构设计技术,辅之以诱饵、烟幕、假目标等手段,如 F-117 战斗机,先进巡航导弹

(ACM)、“海影”隐身战舰等;另一种结合方式是用隐身技术对现有武器型号进行改造,例如美国和西班牙均曾用在座舱上镀一层金黄色薄膜的方法减少 F-16 战斗机的雷达散射截面,美国也有用材料技术改进 F-117 的计划。

早期隐身技术应用对象主要是飞机,其次是导弹,目前已扩展至水面舰艇。主要隐身方式有:安装被动防御系统^[10]、改变目标外形、使用低噪声发动机以及采用可见光/近红外伪装材料和吸波材料、减少目标的特征信号^[11]。由于采用涂层不需改变目标的结构和外形,是国外研究最多的一类隐身材料。

多频谱隐身材料的研制是隐身工程的重点和难点,现代探测系统的多频谱性决定隐身材料必须在一定程度上满足多频谱兼容的要求。事实上,在工程应用上,往往宁愿采用那些单谱段隐身性能并不突出但却宽频有效的材料,而不选用某些单谱段隐身性能十分优异却损害其他谱段隐身性能的产品。从文献来看,以热红外隐身为主要功能的隐身材料的兼容方式大体分三种:可见光/近红外与热红外兼容;热红外与雷达兼容以及可见光/近红外/热红外/雷达多谱段兼容;进行这些材料研制的有关报道已持续了 10 多年,但对第一种材料的报道主要分布于 1985 年以前(约占总报道的 2/3);对后两种材料的报道主要分布于 1985 年以后,这反映出与雷达波兼容,特别是可见光/近红外/热红外与雷达波的多谱段兼容是近年来隐身材料研究发展的趋势。

目前国内外兼容雷达隐身的热红外隐身材料主要有以下几种。

(1) 涂敷型多波段隐身材料

这种材料体系由热红外隐身面层加雷达波隐身底层构成。一般面层含有在 $3\mu\text{m} \sim 5\mu\text{m}$ 和 $8\mu\text{m} \sim 14\mu\text{m}$ 波长范围内具有低发射率的颜料。底层由碳化硼、导电石墨、导电聚酚醛等雷达吸收剂(75%~85%), Sb_2O_3 阻燃剂(6%~8%)和橡胶粘合剂(7%~18%)组成^[12]。为了保证复合涂层的雷达隐身性能,必须调整好每层的电磁参数,以达到材料体系最佳阻抗匹配。此外,由于采用了碳化硼,该材料还具有防热中子的功能。这种涂敷型材料多用于直接涂在活动目标(飞机、车辆)表面。

(2) 薄膜型多波段伪装材料

在材料结构上与涂敷型多波段隐身材料相似,宇航材料工艺 2001 年 第 4 期

但组成为更复杂的七层膜^[13]。这种复合膜外层具有频率选择性,即在红外波段具有高反射,在雷达波段具有高透射,它们提供与背景协调的红外辐射,同时透过微波辐射。以下依次为雷达吸收层、增强织物的热屏蔽层,该材料第三层是带网格图案的导电溅射薄膜或金属网格,这网格图案一般为正方形或长方形图案。其中网格的长边大于寻的导弹制导波长的 $\frac{1}{2}$,而小于最大雷达探测波长的 $\frac{1}{2}$,而且金属膜之间涂有聚乙烯膜以防止膜层间电导通^[14]。金属网格薄膜的材料可以是 Au、Ag、Al、Pd、Ni/Cr 等金属,也可以是导电的铟锡氧化物,该层膜可以反射 2 μm 以上的红外辐射,并有选择地透过、吸收和反射其他谱段的电磁波,而这些选择作用取决于网格大小。使用时将其做成叶片附在伪装网上,用来保护停放的飞机和指挥中心等。

(3) 宽波段能量吸收伪装毯

伪装毯底层为支撑层,中间层是金属反射膜,表面为聚乙烯材料。聚乙烯层中植有镀金属的纤维弯成的小圈。材料对雷达波的吸收性能由小圈的大小决定,小圈的疏密、高低还决定材料表面可见光反射,聚乙烯层中并含有雷达波吸收剂^[15,16]。这种材料一般较厚(约 2.5 mm 左右),可覆盖在被保护的军事设备上,也可用于制造多波段假目标^[17]。

(4) 掺杂半导体材料

由于金属颜料的缺点,近年来关于掺杂半导体颜料进行了大量的研究,这种掺杂半导体可作为涂料体系中的非着色颜料,经过适当选配半导体载流子浓度,可使材料同时具有多波段隐身效果。根据半导体连续光谱理论,可见和红外波在半导体中的传播特性与等离子频率 ω_p 密切相关^[18]。等离子频率及其相应的等离子波长由下式表示:

$$\omega_p = \sqrt{\frac{N^2 e^2}{\epsilon_0 m}} \quad \text{或} \quad \lambda_p = \frac{2\pi c}{\omega_p} = \frac{2\pi c}{e} \left(\frac{m_0}{N}\right)^{\frac{1}{2}}$$

其中 m 为电子的有效质量, ϵ_0 为真空介电常数, N 为载流子浓度, e 为电子电荷, c 为真空光速。当入射光的频率 $\omega > \omega_p$ 时,半导体具有电介质的特性,有很高的透过率,很低的反射率和吸收率。当入射光的频率 $\omega < \omega_p$ 时,半导体具有金属的特性,有很高的反射率。而半导体的 ω_p 主要取决于它的载流子浓度 N 。载流子浓度可以通过掺杂进行控制。

宇航材料工艺 2001 年 第 4 期

当 $N = 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ 时, $\omega_p \approx 1 \mu\text{m}$, 掺杂半导体对可见光将有很高的透过率,对中远红外具有高的反射率。因此这种材料不仅可以满足中远红外的隐身的要求,而且还满足了可见光隐身的要求,即低的反射率和低的太阳能吸收系数。

半导体材料对电磁光波的反射特性,根据 Hagen-Rubens 理论由下式决定:

$$R = 1 - \sqrt{\frac{8\sigma_0}{\omega}}$$

其中 ω 为入射电磁波的频率, σ_0 为半导体的直流电导率,它由下式决定:

$$\sigma_0 = \frac{Ne^2}{m}$$

其中 τ 为载流子的平均自由时间。保持 $N = 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ 不变, $\tau = 2 \times 10^{-19} \text{ s}$ 时,对 $\lambda = 8 \text{ mm}$ 的毫米波反射率均为 0.45,进一步降低 τ 值还可以降低对雷达波的反射,因此掺杂半导体还具有兼容雷达波和毫米波隐身性能。

(5) 纳米材料

纳米材料因其具有极好的吸波特性,同时具有宽频带、兼容好、质量小和厚度薄等特点。美、俄、法、德、日等国都把纳米材料作为新一代隐身材料加以研究和探索。金属、金属氧化物和某些非金属材料的纳米级超细粉在细化过程中处于表面的原子数越来越多,增大了纳米材料的活性。在微波的辐射下,原子和电子活动加剧,促使磁化,使电子能转化为热能,从而增加了对电磁波的吸收,同时金属的高反射性能使材料具有良好的红外辐射性能。美国研制出的“超黑粉”纳米材料,对雷达波吸收率达 99%。法国研制出一种宽频隐身涂层,这种涂层由粘合剂和纳米级微填充材料组成。这种由多层薄膜叠合而成的结构具有很好的磁导率和红外辐射率,在较宽的频带内有效。目前世界军事发达国家正在研究覆盖可见光、红外、厘米波和毫米波等波段隐身的纳米复合材料^[19]。纳米薄膜或纳米多层膜材料具有优异的电磁性能和辐射性能,其 μ 超高频到微波频段可在 1 位、2 位、3 位数可调,制成纳米(单层、多层膜)结构的纳米粉(球状、片状、针状),用作多波段隐身材料的填充料。

4 结束语

随着现代军事侦察和制导技术的不断发展,隐

身材料总的趋势是朝着向多频谱兼容隐身性能方向发展,单波段隐身材料已很难获得广泛应用。目前国外研究的热红外兼容多频谱隐身材料有:涂敷型多波段隐身材料、薄膜型多频谱隐身材料、宽波段能量吸收伪装毯、掺杂半导体材料和纳米材料,其中涂敷型隐身材料和纳米材料是近期国内外研究的热点和难点。

参考文献

- 1 李新华等. 国外涂料型红外隐身材料研制现状和发展方向分析. 红外技术, 1994;16(1):5
- 2 Wake L V, Brady R F. Formulating infrared coatings for defence applications, AD-A267555, 1990:156~163
- 3 王自荣等. ITO 涂料在 8~14 μm 波段红外发射率的研究. 红外技术, 1999;21(1):41
- 4 Zhang G, Guo L J, Liu I Z et al. Application of diamond-like carbon film as protection and antireflection coatings of ZnS elements. Optical Engineering, 1994;33(4):1330~1333
- 5 Blue Bell. An infrared spectroscopy atlas for the coatings industry. Federation of Societies for Coatings Technology. PA 1605132, 1980
- 6 Supcoe R F, Melvin Greenberg. Formulations of coatings having low emissivity in 2~15 μ range. USP 4289677, 1982
- 7 Supcoe R F. Blue grey low emitting coating. USP 4311623, 1984

- 8 Calvert R L, Gagliardi J A, McLachlan A D. Surface coatings having low emissivity in TIR. USP 4598378, 1984
- 9 Gaden C L. Thermal camouflage of fixed installations. Project TIREX, AD-A117097, 1982
- 10 Fabriksver F. Camouflage for military objects. EP18956, 1980
- 11 Greenstreet P G. Energy absorbing coatings and their use in camouflage. GB 2192756, 1988:63
- 12 Boehne H. Coated Object. DE 3507889, 1986:79
- 13 Lawis C F. Materials keep a low profile. Materials Engineering, 1988;6:31
- 14 Gunter, Pusch. Broad band camouflage screen having a frequency dependent radar attenuation. EP 0198283, 1986
- 15 Nielsen W G. Mat for multispectral camouflage of objects and permanent constructions. USP 4287243, 1981
- 16 Birch J. Camouflage mat with pile of tufted strands. USP 4649602, 1987
- 17 Jorgen Birch. Broad spectrum camouflage mat. USP 4659602, 1987
- 18 Bach W. Materialien ear multispectralen tarnung imvisuellen. IR- and Micro/Millimeterwellen Bereich. DE 3606691, 1987
- 19 Weyermuller. Microwave absorbent coating of composite material-formed form binder and chippings of ultra-thin multilayer sandwich of magnetic and insulating material. EP 448426, 1991

金属表面新型涂料

本成果研制的钢铁构件防锈涂料为水性涂料。油性涂料防锈机理属遮盖型,防锈效果不理想,现场操作不便,劳动条件恶劣,污染环境,而水性涂料防锈效果好,涂覆容易,节省工料,无污染。因此,水性涂料的应用推广迅速,应用量已占涂料总应用量的 30% 以上。

本成果为乳胶漆水性涂料。它采用多元合成树脂共聚乳液为基料,以水做分散介质,加入各种防锈添加剂和助剂,依据化学转化机理配制而成。它可直接涂覆于带锈的钢铁表面,将铁锈转化为稳定的络合物附着于钢铁表面,形成连续致密的保护性封闭层,达到防锈目的。它附着力强,其防锈、防水、耐热性能优于其它漆类。

该涂料无毒无味,无污染;可直接在带锈工件表面涂覆,无需喷砂、去锈、磷化、纯化工序;不需有机溶剂,工具可用清水洗,节省工料 30% 以上;涂覆面积大,干燥时间短;涂层不渗色、不脱落;可与各类漆配套使用;防锈效果好。

本成果可用于船舶、石化、车辆、锅炉、机械、桥梁、钢窗、建筑、水利及航空、航天、兵器等行业的钢铁构件的防锈保护。水泥构件上使用效果也较好。经济效益、社会效益良好。

· 李连清 ·