

装甲车辆红外隐身技术的发展趋势*

吴行¹, 郭巍¹, 郑振忠²

(1. 装甲兵工程学院 科研部, 北京 100072; 2. 装甲兵装备技术研究所 第二研究室, 北京 100072)

摘要: 简述了装甲车辆红外隐身的机理, 分析了装甲车辆红外隐身的基本措施, 综述了国内外装甲车辆红外隐身技术的研究现状, 概括了新型红外隐身材料的发展, 指出装甲车辆红外隐身技术的发展趋势是研制多功能涂料、发展复合型隐身材料、开发新型智能隐身系统、加强多种隐身技术的综合。

关键词: 装甲车辆; 红外; 隐身技术; 发展趋势

中图分类号: TJ811; TJ765.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9289(2011)01-0006-06

Development Tendency of Infrared Stealth Technology on Armor Vehicle

WU Hang¹, GUO Wei¹, ZHENG Zhen-zhong²

(1. Department of Science Research, Academy of Armored Forces Engineering, Beijing 100072; 2. 2nd Department, Institute of Armored Forces Equipment and Technology, Beijing 100072)

Abstract: The present study on infrared stealth technology of tank and armor vehicle was involved and the mechanism of infrared stealth was introduced. The basic way of the stealth technology was discussed, the development of new infrared stealth materials was summarized, pointed out that the development trend of Armored vehicles infrared stealth technology was to develop multi-functional coatings, to develop composite materials, to develop smart stealth system and to strengthen the comprehensive variety of stealth technology.

Key words: armor vehicle; infrared; stealth; development tendency

0 引言

随着军事科学技术的迅速发展, 现代红外侦察、瞄准技术已达到相当高的水平。光电成像卫星可获得分辨率为0.1 m的可见光图像和红外图像, 并可在全暗的条件下拍摄地面目标, 特别适于监视坦克、装甲车辆、机动式弹道导弹的动向。精确制导武器的大量使用, 使杀伤手段向“发现即命中”方向发展。不被发现成为生存第一要素, 要提高军事目标的生存能力, 就要降低被探测和发现的概率。各国使用的精确制导武器中, 红外(含热寻的)制导占了60%, 使各种军事目标和武器装备的安全受到严重威胁。因此, 以降低装备红外特征和削弱敌方红外探测效能为宗旨的红外特征抑制技术, 受到了世界各国军事科学家们的高度重视, 并迅速发展。

装甲车辆是机械化部队的主要装备, 在未来高科技战争中具有举足轻重的作用。随着红外探测技术, 尤其是红外成像技术的飞速发展, 装甲车辆红外辐射特征抑制技术研究已经成为热点之一^[1-3]。文中对装甲车辆红外隐身主要技术进行了综合评述, 介绍了新型隐身材料, 并探讨了装甲车辆红外隐身技术的发展趋势。

1 装甲车辆红外隐身技术的发展

红外线(0.78~1 000 μm)与物体温度密切相关, 具有波长长, 穿透大气烟雾的能力强, 能揭示常规伪装的特点, 在军事上倍受关注。大气的红外窗口为1~2.7 μm 、3~5 μm 、8~14 μm , 大部分探测器工作波长都集中在这3个波段内, 其中, 红外制导用的探测器工作波段在3~5 μm , 热成像系统的工作波段则扩展到8~14 μm ^[4]。

装甲车辆红外隐身技术就是对装甲车辆进行

收稿日期: 2010-12-30; 修回日期: 2011-01-05

基金项目: *军队十一五预研计划项目(代号略)

作者简介: 吴行(1962—), 男(汉), 四川成都人, 教授, 博导。

处理,设法减少或消除装甲车辆与背景之间的亮度差别或温度差别,使装甲车辆与背景的红外线特征相适应。

由于红外隐身技术主要是对目标在3~5 μm及8~14 μm的红外波段特征信号进行控制,有效对抗中远红外侦察装备对目标的探测和识别能力。从红外物理学可知,物体红外辐射能量由斯蒂芬-玻尔兹曼定律^[5]决定:

$$W=\varepsilon\sigma T^4 \quad (1)$$

式(1)中: W 为物体的辐射发射量, σ 为玻尔兹曼常数, ε 为物体的比辐射率, T 为物体的绝对温度。可见目标辐射能力的高低取决于目标的温度、最大辐射波长和目标的发射率等3个主要参数。因此,目标的红外隐身可以采取以下4个基本措施: ①改变目标的表面发射率; ②降低目标的红外辐射强度,即通常所说的热抑制技术; ③调节红外辐射的传播途径(包括光谱转换技术); ④合理设计装甲车辆结构。

1.1 低红外辐射薄膜材料

低辐射薄膜材料通过改变目标表面红外发射率来达到红外隐身目的,其研究重点是半导体掺杂膜、金属薄膜、塑料光学薄膜、金属颗粒高分子材料复合膜、碳膜与氮化硼膜。这些薄膜均有可能达到极低发射率,同时也可通过控制材料载流子密度等参数来制得不同发射率的薄膜。这种低发射率薄膜可制成热红外迷彩膜,也可用做散热红外隐身膜和透气隐蔽材料。美国防部材料研究所研制半导体膜 $\varepsilon<0.05$,类金刚石碳膜 $\varepsilon=0.1\sim 0.2$;英国RSRE在铝薄板上镀一层1 μm的碳,形成硬如金刚石的涂层(DHC)达到极小的发射率。两层染色聚乙烯中间放一层铝薄片,叠压后发射率为0.2。电致变色材料CPs由于具备红外发射率和红外反射率变化大的特点,且具有分子结构可设计、制造成本低、发射红外频谱宽、加工成型工艺方便等优点^[6],而得到广泛应用。常用的CPs电致变色材料有聚乙炔(PA)、聚对苯撑(PPP)、聚对苯撑乙烯(PPV)、聚苯胺(PAn)、聚噻吩(PTh)等^[7-8]。美国军方已将CPs电致变色材料成功应用于红外制导导弹的红外发射干扰器中;美国空军将CPs电致变色材料作为热敏红外控制器件应用在微型间谍通讯卫星(NASA ST5 Microsatellite)上^[9];美国陆军将CPs(PEDT/PPS)电致变色材料应用在士兵服装上,在夜间不能被敌方探测发现^[10];

同时,根据舰船、坦克、车辆在不同环境下的伪装要求而采用CPs(PAn/PDPA)电致变色材料,使武器装备表面涂层既呈现不同的可见光迷彩伪装颜色,也可利用红外发射率不同而达到夜间和白天都能实现红外隐身的目的^[11]。张笑梅等^[12]以纤维增强树脂基复合材料为基底采用直流磁控溅射法制备了低红外发射率ITO膜复合材料,获得发射率为0.42的红外隐身材料。

1.2 红外隐身涂料技术

红外隐身涂料综合利用降低目标表面红外发射率和光谱转换技术及以热抑制技术来达到装甲车辆红外隐身目的。红外隐身涂料可以改变装甲车辆各部分红外辐射的相对值和相对位置,改变车辆易被红外成像系统所识别的特定红外图像特征,从而使敌方难以识别。红外隐身涂料还具有隔断车辆的红外辐射能力,在大气窗口波段内,具有低的红外比辐射率和红外镜面反射率。另外,使用采用在3~5 μm和8~14 μm波段这两个大气窗口发射率低,而在这两个波段外的中远红外上有高发射率的涂料,能够使所保护车辆的红外辐射落在大气窗口以外而被大气吸收和散射掉,达到红外隐身效果。

涂料型红外隐身材料一般由粘合剂和填料两部分组成。填料和粘合剂是影响红外隐身性能的主要因素。填料通常有金属填料^[13-15]、着色填料^[16]、半导体填料^[17,18]。粘合剂是红外隐身涂料的基本组成部分,分为有机和无机两大类。其中有机粘合剂多为聚烯烃类,橡胶类(丁基橡胶和硅橡胶)以及其它聚合物(如醇酸树脂、丙烯酸树脂、环氧树脂和聚氨酯等)。红外隐身涂料可分为两大类:一类是吸收型,通过涂料本身(如使用能进行相变的钒、镍等氧化物或能发生可逆光化反应的涂料)或某些结构和工艺技术,使吸收的能量在涂层内部不断消耗或转换而不引起明显的温升,减少物体热辐射;另一类涂料是转换型,在吸收红外线能量后放出来的红外辐射向长波转移,使之处于红外探测系统的工作波段以外,最终达到隐身的目的。Gerd Hugo研制的Al/丁基橡胶/溶解的颜料涂料兼容可见光涂料,具有低的热红外发射率($\varepsilon_{8\sim 14\mu\text{m}}=0.55$)同时具有较好的可见光兼容性。在中远红外波段,采用ZnO等低发射率涂层可弥补目标与环境的温度差。英国《简氏防务》2009年2月23日报道,Intermat公司研制开发了反热红外涂层,用于红外隐身,降低探测

距离。法国《防务宇航》2009年1月16日报道：纳米动力(Nano Dynamics)公司宣布开展制造拥有理想尺寸和形状、便于制造先进红外对抗器件材料的计划。有机硅醇酸树脂红外隐身涂料，其2~15 μm波段的红外发射率最低可达0.5^[19]。美国海军部研制蓝灰色低红外发射率涂料，涂层在3~5 μm、8~14 μm和2~15 μm波段的红外发射率分别为0.463、0.520和0.512，太阳吸收率(波段0.3~1.8 μm)为0.684^[20]。美军还应用直径为70 μm的片状铝(质量分数为38%)，掺杂到无机磷酸盐黏合剂中制备红外隐身涂料，其发射率在10.6 μm频谱区为0.18^[21]。宋兴华等^[22]以SnCl₄·5H₂O和SbCl₃为原料，采用共沉淀法成功制得了颜色为蓝灰色且颜色可调的红外低发射率ATO半导体粉末，其涂层在8~14 μm波段的平均发射率仅为0.73。王自荣等^[16]从掺杂含量、黏合剂选择和用量3方面对ITO涂料在8~14 μm波段的红外发射率进行过系统研究。研究发现，ITO涂料的发射率最低，可达0.624，且颜色可调，是一类很好的红外隐身涂料。

1.3 合理结构设计

红外隐身结构技术主要采用隔热、降温、目标热惯量控制等技术手段，来显著降低目标的表面温度和红外辐射强度，减小目标与背景红外辐射特征差异，是实现目标的红外隐身最有效的途径之一。

发动机特别是排气系统的高温辐射是装甲车辆在远红外波段的主要暴露特征。如果不加处理排气口温度可超过600 K，发动机外壳的温度可达500~600 K。故装甲车辆红外特征控制的重点在于发动机和排气口的防护。最直接的方法就是改进发动机本身，或者采取有效的冷却措施。美国新一代主战坦克的动力装置曾考虑用燃气轮机以保持相对较低的金属部件温度，而且烟雾少、噪声小，从而抑制坦克的红外特征。自90年代初，美国又试用了绝热复合柴油机，可以较大地降低坦克的热红外辐射。另外，采用新型的雾化喷嘴，改善燃料的雾化状态提高发动机的燃烧效率和燃油的燃尽率，一方面提高了发动机功率，另一方面降低了排气中的碳粒浓度等对红外辐射贡献大的成分，降低排气红外辐射。在燃料中加入可提高燃烧效率的添加剂，使排气的红外频谱大部分处于大气窗口之外，改变排出气体的红外频谱分布，避开探测器的响应频谱。在排气管上附加挡板以改变红外辐射方向，降

低发动机排气温度。英国GKN防务系统公司设计的“武士”2000装甲车辆，其废气排放系统设在车辆尾部，且装有消音器，炽热的发动机废气在进入消音器之前，先被吸入的外界凉空气冷却，然后才经消音器排出车外。瑞典赫格隆公司制造的CV90步兵战车将排气管设置在前部，利用冷却发动机的空气冷却排气，从而降低动力舱的表面温度。英国《简氏防务周刊》报道：法国Giat公司曾以AMX-30主战坦克(MBT)为基础开发并制造出了隐身原型样车。法国武器装备总署(DGA)已向Giat公司授予一项合同，开发研制“勒克莱尔”(Leclerc)主战坦克的隐身型，并将对其进行全面测试^[23]。

由于装甲车辆行动装置中的橡胶元件滞后生热高、导热性差，升高了行动装置温度，使其称为一个重要的热辐射源。为了减少橡胶元件的红外辐射，越来越多的车辆开始安装一种活动的附加裙边，以遮挡装甲裙板遮挡不到的轮胎或履带、负重轮。但附加裙边离地越近，在起伏地形下就越容易损坏。因此不可能低到完全遮挡住负重轮的程度。目前正大力开发一种新型低生热高导热橡胶材料，来降低橡胶元件的生热、提高导热率。美国军方已经将一种碳纤维/橡胶复合材料用于制造负重轮缓冲垫的研究^[24]。

此外，炮管具有明显的外观特征，在射击时出现强烈闪光和升温，很容易被发现。例如，某装甲车火炮射击后最高温度可达673 K。海湾战争中伊拉克部分坦克的被摧毁就是从美军发现其坦克炮管开始的。目前有些国家研制了风冷炮管套筒产生对流致冷，使炮管尽快地、大幅度地散热。

2 新型红外隐身材料

2.1 纳米隐身材料

随着对纳米材料的研究不断深入，证明纳米材料具有极好的吸波特性和较低的红外发射率，因而引起研究人员的极大兴趣。美、法、德、日、俄等国家把纳米材料作为新一代隐身材料进行探索和研究。以醋酸镉Cd(AC)₂·2H₂O、醋酸锌Zn(AC)₂·2H₂O、硫化钠Na₂S·2H₂O为原料，用化学均匀沉淀法制备了纳米级半导体CdZnS粉体颜料，在8~14 μm波段的平均红外发射率为0.70~0.81^[25]。鞠剑峰等^[26]以原位聚合法制备的纳米TiO₂/PANI复合材料，具有较好的红外消光性能，且纳米粒子的粒径越小，复

合材料的导电性能越好, 其红外隐身效果越好。Shan Y^[27]等通过表面化学包覆改性和胶原接枝改性等方法处理纳米材料, 都取得了较好的结果。通过表面化学包覆, 铁氧体粉末的红外发射率由原来的0.89降低到0.65; 通过胶原接枝PMMA共聚物颗粒与氧化铜纳米粒子复合, 8~14 μm 的红外发射率由原本单组分的0.851降到0.576。

2.2 红外隐身柔性材料

这种材料是指以织物为中心开发的各种红外隐身材料, 常常以高性能纤维织物为基础。它具有很多优点, 高性能纤维织物可以有效降低目标红外辐射能量, 具备红外隐身性能; 能够随目标的变化产生相应的形变如折叠和弯曲, 适用于作战人员以及各种武器装备和军事目标; 可以承受一定的伸长和较大的张力。德国Pusch Gunter研制隐身网, 在雷达波段、可见光隐身及红外波段(0.4~2.5 μm , 3~5 μm , 8~14 μm)产生逼近环境(树木)的辐射。美国已研究厘米波、毫米波兼容可见光、近红外、热红外多频谱隐身伪装网^[18]。

2.3 智能型隐身材料

智能型隐身材料是一种具有感知功能、信息处理功能、自我指令并对信号作出最佳响应功能的材料。例如电路模拟隐身材料, 该技术是在合适的基底材料上涂敷导电的薄窄条网络、十字形或更复杂的几何图形, 或在复合材料内部埋入导电高分子材料形成电阻网络, 实现阻抗匹配及损耗, 从而实现对外围环境红外特征的模拟。吕相银等^[28]将TEC附着于目标材料表面, 利用热电制冷技术实现对目标表面辐射温度的实时控制, 将目标温度从34 $^{\circ}\text{C}$ 降低至26 $^{\circ}\text{C}$ 。张升康等^[29], 采用TEC与光学伪装材料相结合控制目标表面红外辐射与环境的红外辐射特性信号相近, 验证了将TEC用于红外隐身的可行性。王宏鹏^[30]设计并研制了针对不同具体应用条件的多种智能温控复合材料系统, 考察了控制算法、工作电流、周边环境、TEC热端散热方式等因素对系统温控效果的影响。

2.4 微胶囊相变隐身材料

将内装有相变材料的微胶囊埋置在泡沫状物质中、分散在织物中或是与胶粘剂混合后用在军事目标上, 微胶囊相变材料就可以通过吸收目标放出的热量, 降低其热红外辐射强度^[31]。Mckinney等^[32]

将不同熔点的微胶囊相变材料加入到可见光迷彩涂料中并涂覆于坦克等武器装备上, 在坦克的不同发热部位涂覆含有不同熔点微胶囊相变材料的迷彩涂料, 这样在红外热像图上就会显示杂乱的红外颜色特征, 与坦克真实的红外热像图产生很大的差异, 从而实现了可见光和红外的双重一体化伪装效果。Bryant等^[33]将包含调温蓄热微胶囊的整理液, 通过使用转移涂层技术, 将微胶囊转移到不同的织物上。经过整理的织物既保持了其原有风格, 又具有调温蓄热的功能。孙文艳等^[34]以聚酰胺为囊壁材料, 正十四烷、正十八烷、石蜡为囊芯制备了3种不同相变温度的微胶囊相变材料隐身涂料, 经过测试目标车辆隐身性能明显提高。吴文健等^[35]将微胶囊相变隐身材料应用于红外热成像假目标的研究。测试了热模块的红外热成像示假效果和涂层的热红外遮蔽的效果, 说明微胶囊相变隐身材料既能够有效模拟真目标的红外热特性, 也能有效地遮蔽目标的红外特征, 具有红外隐真示假的双重功能。

2.5 其它新型材料

手征材料、导电高聚物材料、多晶铁纤维吸收剂等。所谓的手征是指一个物体不论是通过平移或旋转都不能与其镜像重合的性质。手征材料能够减少入射电磁波的反射并能够吸收电磁波。现在研究的手征吸波材料是在基体中掺杂手征结构物质形成的手征复合材料。将导电高聚物与无机磁损耗物质或超微粒子复合, 可望发展成为一种新型的轻质宽频带微波吸收材料。欧洲伽玛公司研制出一种新型的雷达吸波涂层, 系采用多晶铁纤维作为吸收剂。这是一种轻质的磁性雷达吸收剂, 可在很宽的频带内实现高吸收效果, 且重量减轻40%~60%, 克服了大多数磁性吸收剂所存在的过重的缺点。

3 装甲车辆红外隐身技术的发展分析

由于高技术战争中光电侦察和制导手段的多样性, 单一针对某种侦察手段的隐身已达不到战术要求, 因此综合运用各种技术手段, 研究和发​​展能够同时对抗可见光、红外、激光、雷达侦察的综合隐身技术是未来隐身技术发展的主要方向。

(1) 研制多功能涂料。目前, 美、德等国正在积极研制多波段隐身材料, 其研制水平已达到可见光、红外、雷达和毫米波4波段兼容。这种多频谱隐身涂料能同时减小装甲车辆被可见光、近红外、

远红外和雷达探测器发现的距离和概率。美国在多波段隐身涂料技术研究领域已取得重大进展,所开发的隐身涂料可以吸收雷达、红外、毫米波,涂到被保护装备上之后,最终形成的涂层仅使装备厚度增加几个毫微米,适用于任何材料和结构。德国发明了一种可用于可见、红外、微波和毫米波频区伪装的含半导体材料的低红外发射率涂层,控制发射率的红外层的 $\epsilon=0.2$ ^[36]。

(2) 发展复合型隐身材料。复合型隐身材料由多层不同功能的隐身材料叠加而成,一般表面为多功能隐身涂层,下层为雷达吸波材料等,如 Harold A^[37]巧妙设计了一种3层材料:基材表面加上一层具有红外高反射特征的材料,最外面又涂上一层红外高透射材料。当基材表面温度高于环境温度时,基材向外辐射的大部分红外线经过中间高反射层反射回去,只有很少部分辐射透过最外面的高透射层,使得红外探测器接收到的信号很少。英国“热屏蔽森林”红外隐身材料^[38],将两片着色的聚乙烯层压在金属铝层的上下两面,形成“不甚清晰”的双层结构。由于聚乙烯的透明性、铝的高反射性,使得这种涂层的红外发射率只有0.2。

(3) 开发新型智能隐身系统。综合传统隐身设备(如热烟雾、水雾)和新型智能隐身材料开发智能的隐身系统,使装甲车辆具有能够提起预测评估自身状态(如温度场)、感知外界环境以及敌方威胁、自动处理信息、自动下达指令作出相应的响应的能力。如车辆可根据状态(冷静态、热静态、动态)、风速、太阳辐射等参数,预测评估未来数小时的温度场变化提前作出温度响应。

(4) 加强多种隐身技术综合。在装甲车辆设计初期结合结构隐身技术,综合运用多功能涂料、复合型隐身材料、以及专门的隐身设备等系统的设计装甲车辆的整体隐身性能,并将隐身指标列为一项重要的战技指标。

4 结 语

红外隐身技术的发展正向宽频段、全方位、多功能迈进。现代战场上还有雷达、红外、可见光、毫米波、激光、声波等多种探测系统,所以,红外隐身技术也必须相应地与雷达、可见光、毫米波、激光等隐身技术兼容。总之,随着军事科技的不断发展,红外隐身技术也必将以快速发展来适应战场变化,将来也会有更多新型的红外隐身技术问世。

参考文献:

- [1] 徐根兴,姚连兴,仇维礼,等. 目标与环境的光学特征 [M]. 北京: 宇航出版社, 1995.
- [2] 韩玉阁,李强,宣益民. 装甲车辆热特征试验研究 [J]. 弹道学报, 2002, 14(1): 63-68.
- [3] 曹伟国,吴春杏,纪功. 两栖装甲装备车内环境的测试与分析 [J]. 装甲兵工程学院学报, 2004, 18(4): 22-24.
- [4] 康青. 红外隐身机理与应用 [J]. 红外技术, 1996, 18(1): 5-27.
- [5] 胡丽萍,王智慧,满红,等. 坦克装甲车辆红外隐身技术的发展 [J]. 光机电信息, 2009, 26(8): 17-20.
- [6] 方鲲,毛卫民,吴其晔,等. 导电高分子电致变色材料及其在飞行器和军事伪装中的应用 [J]. 宇航材料工艺, 2004, (2): 21-25.
- [7] Chandrasekhar P. Conducting polymers, fundamentals and applications: a practical approach [M]. Kluwer, Dor drecht, The Netherlands: Springer, 1999.
- [8] Skotheim T A, Elsenbaumer R L, Reynold J R. Hand book of conducting polymers [M]. New York: Marcel Dekker, 1998.
- [9] Chandrasekhar P, Zay B J, Bircer G C, et al. Largeswitchable electrochromism in the visible through far-infrared in conducting polymer devices [J]. Advanced Functional Material, 2002, 12(2): 95-99.
- [10] Chandrasekhar P, Birur G C, Stevens P, et al. Farinfrared electrochromism in unique conducting polymer systems [J]. Synthetic Metals, 2001, 119(13): 293-294.
- [11] Meskers S C J, van Duren J K J, Janssen R A J. Thermally induced transient absorption of light by poly (3,4-ethene-dioxythiophene): poly(styrene sulfonic acid) (PE-DOT: PSS) film: a way to prob charge carrier thermalization processes [J]. Advanced Functional Material, 2003, 13(10): 805-810.
- [12] 张笑梅,乔冬平,鲁先孝. 以复合材料为基底的ITO薄膜红外隐身特性研究 [J]. 材料开发与应用, 2010, 8(4): 24-28.
- [13] 李新华,陈雷,孟晓雄,等. 国外涂料型红外隐身材料研究现状和发展方向分析 [J]. 红外技术, 1994, 16(1): 5-11.
- [14] 王自荣,孙晓泉. 铝粉涂层的红外发射率研究 [J]. 功能材料, 2004, 35(增刊): 338-340.
- [15] 杨毅,刘永峙,李凤生,等. 纳米氧化亚镍包覆铝复合

- 粒子的制备 [J]. 化工学报, 2005, 56(11): 2 228-2 232.
- [16] 王自荣, 余大斌, 孙晓泉. 红外隐身涂料颜料发射率研究 [J]. 上海航天, 2000, (1): 24-26.
- [17] 酆江涛, 姜卫陵, 赵云峰. 红外隐身涂料的研究进展 [J]. 宇航材料工艺, 2000(5): 15-18.
- [18] 宋兴华, 於定华, 马新胜, 等. 涂料型红外隐身材料研究进展 [J]. 红外技术, 2004, 26(2): 9-12.
- [19] Bell B. Federation of societies for coatings technology: USA, PA 1605132 [P]. 1980.
- [20] Chesonis G, Harris D. Low emissivity camouflage coating [R]. AD-A310642, 1995.
- [21] Pine D J. Self assembly of low emissivity materials [R]. AD-A386035, 2000.
- [22] 宋兴华, 於定华, 马新胜, 等. 红外低发射率 ATO 粉末的制备及其特性研究 [J]. 红外技术, 2003, 25(6): 49-53.
- [23] 党芬, 王敏芳, 汪银辉. 武器装备中的红外隐身技术 [J]. 红外技术, 2006, (1): 50-53.
- [24] 郭巍, 郑振忠, 吴行. 履带装甲车辆行动部分红外特征抑制技术的研究进展 [J]. 隐身技术, 2010, 32(3): 52-55.
- [25] 徐国跃, 王函, 翁履谦, 等. 纳米硫化物半导体颜料的制备及其红外发射率研究 [J]. 南京航空航天大学学报, 2005, 37(1): 125-129.
- [26] 鞠剑峰, 李澄俊, 徐铭. 纳米 TiO₂/PANI 复合材料的红外消光性能 [J]. 火工品, 2005, (2): 10-12.
- [27] Shan Y, Zhou Y M, Cao Y, et al. Preparation and infrared emissivity study of collageng PMMA/In₂O₃ nano composite [J]. Materials Letters, 2004, 58(10): 1655-1660.
- [28] 吕相银, 凌永顺, 李玉波, 等. 地面机动目标的红外伪装技术探讨 [J]. 激光与红外, 2006, 36(9): 893-896.
- [29] 张升康, 陈重, 冯来, 等. 表面控温红外智能隐身材料系统研制 [J]. 表面技术, 2004, 33(1): 63-64.
- [30] 王宏鹏. 表面自适应变温材料系统研究 [D]. 北京: 北京航空航天大学, 2007.
- [31] 李晓霞, 张胜虎, 凌永顺, 等. 新型热红外伪装体系 [J]. 红外技术, 2002, 24(1): 42-46.
- [32] Mckinncy R A, Bryant Y G, Colvin D P. Method of redncing infrared vlcwability of objects: US, 6373058 [P]. 2002-04-16.
- [33] 胡传力. 隐身涂层技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 181.
- [34] 孙文艳, 吕绪良, 郑玉辉, 等. 微胶囊相变材料制备及其在红外隐身涂料中的应用 [J]. 解放军理工大学学报自然科学版, 2009, 10(2): 156-159.
- [35] 孙浩, 吴文健. 石蜡微胶囊化及其红外伪装隐身性能研究 [J]. 光电技术应用, 2005, 20(3): 41-44.
- [36] Szczyrbowski J. New low emissivity coating based on Twinmag sputtered TiO₂ and Si₃N₄ layers [J]. Thin Solid Films, 1999, 351: 254-259.
- [37] Harold A. Camouflagematerial: UK, Pat GB2360569A [P]. 2001.
- [38] 黄芸, 沐磊, 张其土. 红外低辐射率涂料的研究进展与发展趋势 [J]. 材料科学与工程学报, 2008, 26(5): 820-823.

作者地址: 北京市丰台区杜家坎21号 100072

装甲兵工程学院 科研部

Tel: (010) 6671 7621 E-mail: hang7wu@sina.com

• 学术动态 •

2011 再制造国际论坛 4 月在杭州召开

受国家发改委和国家工程院指导, 由中国再制造技术重点实验室、德国拜罗伊特大学和欧洲汽车零部件再制造协会共同主办, 中国机械工程学会再制造工程分会、中国汽车工业协会汽车零部件再制造分会承办的“2011 再制造国际论坛”将于 2011 年 4 月 19~21 日在浙江杭州召开。论坛主题是“交流国际再制造研究及产业进展, 有机融合国内外再制造产业模式, 促进中国再制造产业发展。”论坛主席由中国再制造技术重点实验室主任徐滨士院士担任。

国家发改委、工程院领导及国内外再制造领域著名学者、企业家将参加本次论坛。论坛旨在搭建再制造国际交流平台, 探讨再制造在中国面临的机遇与挑战, 分析交流国际再制造研究及产业进展, 更好地融合国外再制造产业模式, 加强科研院所和企业在该领域的交流与合作, 更好的促进中国再制造产业的发展。论坛将就再制造在中国和全球的发展、市场前景、销售物流、政策法规和技术融合等方面的问题做深入探讨。

联系人: 史佩京: 133 6610 6235

郭伟玲: 134 8868 6221

邮 箱: RemanufactureForum@163.com