

隐身材料的现状及发展趋势

白天¹ 王秀兰²

(1 海军驻北京地区特种导弹专业军事代表室,北京 100076)

(2 航天材料及工艺研究所,北京 100076)

文 摘 介绍了国外飞行器隐身材料的研究现状,其中重点介绍了雷达隐身材料和红外隐身材料。结合飞行器的隐身需求,提出了隐身材料的发展方向。

关键词 隐身技术,隐身材料,空间飞行器

中图分类号:TB3

DOI:10.3969/j.issn.1007-2330.2015.06.002

Status and Development Trend of Stealth Materials

BAI Tian¹ WANG Xiulan²

(1 Navy Stationed in Beijing Area of Special Professional Military Representative of the Missile Room, Beijing 100076)

(2 Aerospace Research Institute of Materials & Processing Technology, Beijing 100076)

Abstract The development status of the stealth materials of spaceaerocraft is introduced, including Radar and IR stealth materials, respectively. Based on the stealth demand of spaceaerocraft, the development trend of stealth materials is presented.

Key words Stealth technology, Stealth materials, Space aircraft

0 引言

隐身技术是在一定的探测环境中,通过缩减、控制目标的各种特征信号,降低其可探测性,使其难以被发现、跟踪、识别和攻击的综合性技术^[1]。实战表明,隐身技术能有效地提高武器装备的生存、突防能力和作战效能。因此,隐身技术已成为各军事强国的研究热点之一^[2]。

针对不同的探测手段,隐身技术可分为雷达隐身技术、红外隐身技术、可见光隐身技术、激光隐身技术、声隐身技术和磁隐身技术等。对于飞行器而言,重点是雷达隐身和红外隐身^[3]。

隐身技术主要包括外形技术、材料技术、电子干扰技术等,其中隐身材料是实现武器隐身的物质基础。飞行器使用隐身材料后,可在不改变目标外形、气动特性的前提下直接应用于飞机、导弹等目标,可大大减小飞行器的信号特征,降低其可探测性,从而提高其生存能力^[4]。因此,使用隐身材料是实现飞行器隐身化的重要技术途径之一。

本文主要介绍飞行器用隐身材料的研究现状及

发展趋势。

1 雷达隐身材料

雷达隐身材料主要是雷达吸波材料,通过有效地吸收入射雷达波从而使目标雷达散射截面(RCS)显著缩减,按使用形式可分为涂覆型吸波材料和结构型吸波材料。涂覆型吸波材料以覆盖形式施加于目标表面,包括吸波涂料、贴片、泡沫、薄膜等,在飞行器上应用较多的为涂料和贴片。结构型吸波材料是具有承载和吸波双重功能的复合材料^[5],主要包括层板结构型和夹芯结构型,其特点是不明显增加武器系统质量,且可以通过结构设计,实现所要求的吸波和承载性能,精确成型复杂形状的吸波-承载部件,吸波效果好,吸收频段宽。

国外常规化吸波涂料、吸波贴片已经形成系列化、商品化^[6],其中以Emerson Cuming公司的系列产品为典型代表。如ECCOSORB FGM系列宽频带吸收贴片材料的典型性能见表1;CR系列吸波涂层的衰减性能见表2。

表 1 FGM 系列宽带吸收贴片材料的典型性能

Tab. 1 Typical performance of the wide-band absorption for the FGM patch material series

贴片	吸波频段/GHz	平均反射率/dB	面密度/kg·m ²	体密度/kg·cm ³	% TML(with SS6M)	% CVCM(with SS6M)
FGM-40	4~10	-10	1.0	318	0.16	0.06
FGM-125	2~12	-12	2.2	200	0.31	0.10

表 2 CR 系列涂层衰减性能

Tab. 2 Attenuation properties of the CR series

涂层	absorbing coatings							dB/cm
	10 ⁻²	10 ⁻¹	1.0	3.0	8.6	10.0	18.0	
CR-110	0	0.01	0.09	0.26	2.0	2.2	2.6	
CR-112	0	0.02	0.16	0.59	4.9	5.6	10.1	
CR-114	0	0.04	0.57	2.2	10.8	13.2	24.9	
CR-116	0	0.09	1.3	5.0	21	32	57	
CR-117	0.03	0.27	2.8	11	46	56	119	
CR-124	0.03	0.48	6.5	20	63	67	149	

对于结构隐身材料,国外以玻璃纤维增强树脂基为基础的 RAM(雷达隐身材料)进行了深入的研究,该类材料主要以电吸收为主,如美国波音公司以电磁损耗吸收剂为主,采用注塑成型制备短切玻璃纤维增强环氧导弹壳体,用于 ASM-1 导弹、SRAM 短程攻击导弹。国外 8 mm 结构隐身材料的吸收效果如图 1^[7]所示。

近年来国外对碳纤维以及混杂纤维增强复合材料的微波特性也进行了研究,研究了纤维本身的电磁特性、纤维编织方式、材料成型工艺等对复合材料反射特性的影响,得到一些规律。洛克希德公司采用 PEEK 和异型截面碳纤维的三维编织技术制造飞机机翼和机身蒙皮。由透波材料、吸波材料和高反射特性碳纤维增强复合材料组成的吸波—承载复合结构已成功进入工程实用,在 F-117A、B-2、F-22 等飞机和舰船、坦克装甲车辆上得以使用^[8-9]。

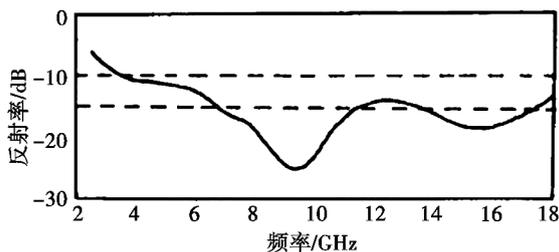


图 1 8 mm 结构复合材料的平板反射率曲线

Fig. 1 Flat reflectance curves for the structural composites of 8 mm thickness

国外在吸波结构材料设计、制备技术上取得了突破性的进展,已开始将有良好吸波性能的蜂窝状复合材料由飞机向坦克装甲车辆等装备推广。美国采用宇航材料工艺 <http://www.yhclgy.com> 2015 年 第 6 期

缠绕模压成型技术,制备 S 型玻璃纤维增强结构隐身材料,用于 M2A2 步兵战车的负重轮;法国和瑞典研制的“隐身演示验证车”在车体和炮塔上使用了大量的吸波结构材料;英国完成了整车使用复合材料和吸波结构材料的“先进复合材料演示验证车”研制。美、欧等国的舰船吸波结构材料技术已比较成熟,可在较宽频段内实现 10 dB 的吸收,最大吸收超过 30 dB。采用吸波结构制作的桅杆、炮塔、烟囱、直升机库门与封闭上层建筑外板已在实艇应用,取得了显著的成果。

国外吸波结构材料技术正向新机制、多功能、低成本、可维护性方面发展,已从玻璃纤维增强发展到碳纤维与混杂纤维增强,基体树脂从热固性发展到热塑性;应用部位从次承力结构件发展到主承力结构件,已初步解决了碳纤维反射特性的改进途径和承载结构方式,以及电性能和力学性能一体化设计问题。

2 红外隐身材料

随着光电技术的飞速发展,红外探测对飞行器的威胁越来越大,因此,红外隐身已成为飞行器隐身的重要组成部分。

红外隐身材料以降低目标表面红外辐射特征为目的,使得红外成像探测无法识别目标体。根据斯蒂芬-波尔兹曼定律^[10],可通过控制材料温度或发射率来消除目标与背景的辐射亮度差别以达到隐蔽目标的目的^[11]。对于飞行器来说,主要是红外低发射率材料。当前,设计人员对飞行器进行红外隐身设计使用的材料多采用涂敷和镀制专用低发射率涂料的方式对红外辐射强度进行控制。通过降低发射率来降低辐射强度,减少被发现、识别和跟踪的概率^[12]。

美、英等国早在 20 世纪 60 年代就开始了低发射率涂料的研究,80 年代初陆续披露了许多有关低发射率涂料的制备及理论研究成果。德、英、法、日、加、澳在这一时期均有反映这方面工作的信息出现,其中澳大利亚国防部材料研究室发表的一篇红外隐身涂料的研制报告引起了广泛关注。当时报道的典型红外低发射率涂料配方和性能见表 3,在顾及其他性能要求的条件下,有代表性的 ε 值约为 0.5(8~14 μm 波段)。80 年代后期以来,国外开始研究与雷达、可见光隐身兼容的红外隐身涂料,随着相关的材料进入工程应用,公开报道逐渐减少。

表 3 几种红外低发射率涂料配方与性能

Tab.3 Several coatings formulations and performance of the low infrared emissivity

配方 ^[13-16]	成分	发射率	其他
1 [#]	Al、Co、CoO、TiO ₂ 、有机硅醇酸树脂等	$\varepsilon=0.512$	灰色,可见光伪装及一般物理性能好
2 [#]	Al、ZnS、Sb ₂ S ₃ 、Al ₂ O ₃ 、有机颜料、有机硅醇酸树脂等	$\varepsilon=0.520$	蓝灰色,可见光伪装及一般物理性能好
3 [#]	Al、颜料、黄橄榄色醇酸漆	$\varepsilon=0.6$	橄榄色,一般物理性能好
4 [#]	Al、丁基橡胶/溶解的颜料	$\varepsilon=0.55$	绿色,颜色可调范围较大

3 隐身材料发展趋势

当前,武器装备的发展呈现出“精确化、隐身化、信息化”的特点,世界各军事强国均投入了大量财力物力发展隐身技术,从国内外当前研究热点来看,隐身材料有如下几个重点的发展方向。

3.1 实用化

为保障飞行器隐身性能,其所用隐身材料,特别是隐身涂层的施工、维护十分重要。如 B-2 隐身轰炸机早期所用隐身涂层,每次飞行后,都需要对其表面进行掉屑、划伤和腐蚀等检查,且在两次飞行之间必须对损坏的蒙皮进行修理,导致其每飞行小时至少需要 50 h 维护,维护效率低、成本高,大大影响了作战效能。因此美国在研发和提高隐身材料性能的同时^[17],对隐身材料的实用化也进行了大量研究,包括飞机用隐身涂层喷涂、修补、去除以及现场性能检测等工艺技术。美国专门制订计划重点解决涂层快速固化工艺、耐高温、维护性以及隐身性能无损评估等问题,研制的隐身涂料自动喷涂系统已投入使用。研发的涂层绿色去除工艺技术,如“麦粉晶”、“高压水射流”、“激光剥离”等,缩短了维修时间,避免对部件的腐蚀损伤^[18]。近年来,美国开发了一种由机器人喷涂的替代性高频材料(AHFM),用于替代 B-2 上原先为填补飞机外表面缺陷所使用的 3 000 多英尺吸波带(如维护口盖附近的吸波带),从而极大地简化了 B-2 的维护工作,使维护时间从数天减至数小时。

3.2 轻量化

降低质量可以增加飞行器射程和提高有效载荷,相对于其他武器装备而言,质量轻量化对于飞行器而言意义更为重大,因此轻质隐身材料一直是其发展的主题和重点。

3.3 多频谱

战场探测系统的多频段性对隐身材料提出了多频段兼容的要求。从 20 世纪 80 年代以来,国外就开展这方面的研究,并陆续取得了一些成果^[19]。据报道,F-117A 采用了一种加有改性碳分子的涂层,不仅可以吸波,还能抑制 3~5 μm 及 8~12 μm 红外波的辐射;美国已在其战略导弹弹头上采用了雷达/红外多频谱

隐身材料,用于弹头的中段和再入初期隐身;俄罗斯的“白杨-M”弹头采用了吸收雷达波和降低红外特征的材料,实现了雷达隐身与红外隐身一体化。

3.4 多功能

战场环境复杂多变,武器系统除面临探测威胁外,还可能面临各种高温、核等恶劣环境。因此,对单一隐身涂层提出了多功能的要求,如隐身-隔热、隐身-抗核加固、隐身-抗激光加固等^[20]。

国外的多功能材料研究始于 20 世纪 70 年代,如美国研究了隔热、隐身、抗核一体化的功能隔热材料,近年来的国际交流中也发现俄方在多功能隐身材料上开展了很多的研究工作,并已在弹头上得到应用。

3.5 智能化

智能隐身材料是新一代的隐身材料技术,具有感知、信息处理,自我指令并对环境信号作出最佳响应的功能,为实现武器系统的智能隐身提供了可能,具有重大的军事应用价值^[21]。智能隐身材料由于其在军事领域的重大应用潜力,各军事大国均不惜投入巨资对其进行大规模的研究开发。国外在电致变色、电致变发射率、动态自适应吸波材料(DARAM)等材料体系开发、材料的各项性能参数、机理研究和系统整合方面进行了深入的研究,取得了明显的进展^[22]。

3.6 耐高温

超声速巡航飞行器飞行过程中,弹体外表面热平衡温度达到 600℃ 以上,用于弹体外表面的隐身材料必须具有耐高温、隔热、隔热功能,因此研制耐高温隐身材料尤为重要和紧迫,也是后续飞行器隐身材料发展的主要方向之一^[23]。

4 结语

随着隐身性能的重要性逐步提高,武器装备已经向隐身化方向发展,隐身材料作为主要使用形式其研究将越来越受到重视;另外在后续武器装备发展过程中,对隐身材料的需求也将逐步提高,相应的隐身材料的设计、制备、评价测试等技术也将趋于完善,隐身材料也将向结构复杂化、功能集成化、工艺精细化方向发展。

(下转第 16 页)