

电磁波隐身技术的研究

摘要

隐形技术（stealth technology）俗称隐身技术，精确的术语应该是“低可探测技术”（low-observable technology）。即通过研究利用各种不同的技术手段来改变己方目标的可探测性信息特征，最大程度地降低被对方探测系统发现的概率，使己方目标以及己方的武器装备不被敌方的探测系统发现和探测到。本文从电磁波的隐身技术的发展历程、原理、电磁波隐身材料以及反隐身技术等方面进行阐述，并对未来隐身技术做出了总结和展望。

关键词： 隐身技术 武器装备 雷达吸波材料 隐身材料

Abstract

Stealth technology (stealth technology) commonly known as stealth technology, precise terminology should be (low-observable technology). That is ,through research methods using a variety of different techniques to change one's own target detectability information features ,is the other side to minimize the probability of detection systems that make one's own goals and not be one's enemy weapons detection system to detect and detected .This wave of stealth technology from the development process, principles, electromagnetic and anti-stealth technology, stealth materials and other aspects described, and stealth technology for the future and make a summary and outlook.

目 录

摘要..... I

Abstract..... II

目录..... III

第一章 隐身技术与隐身武器装备的发展历程..... 1

 1.1 隐身技术及其历史背景 1.....

 1.2 隐身技术的发展历程..... 2

 1.3 隐身武器装备..... 4

第二章 隐身技术..... 9

 2.1 隐身技术概述..... 9

 2.2 隐身技术的工作原理..... 10

 2.3 隐身技术的几种情形..... 10

第三章 隐身材料..... 13

 3.1 隐身材料概述..... 13

 3.2 吸波材料的综合要求和分类..... 14

 3.3 吸波材料介绍..... 15

 3.4 隐身材料与未来发展..... 19

第四章 发展与应用..... 21

 4.1 隐身无人机的发展..... 21

 4.2 新的隐身机理..... 23

第五章 反隐身技术..... 26

 5.1 反隐身技术的机理..... 26

 5.2 现代反隐身技术..... 27

第六章 总结与展望..... 29

参考文献..... 30

致谢..... 31

第一章 隐身技术与隐身武器装备的发展历程

1.1 隐身技术及其历史背景

现代无线电技术和雷达探测系统的迅速发展，极大地提高了战争中的搜索、跟踪目标的能力，传统的作战武器所受到的威胁愈来愈严重。隐身技术作为提高武器系统生存、突防以及纵深打击能力的有效手段，已经成为集陆、海、空、天、电、磁六维一体的立体化现代战争中最为重要、最为有效的突防战术技术手段，并受到世界各国的高度重视。

隐身技术(又称目标特征信号控制技术)是通过控制武器系统的信号特征，使其难以被发现、识别和跟踪打击的技术^[1]。它是针对探测技术而言的，在兵器研制过程中设法降低其可探测性，使之不易被敌方发现、跟踪和攻击的专门技术。简言之，隐身就是使敌方的各种探测系统(如雷达等)发现不了我方的飞机，无法实施拦截和攻击。早在第二次世界大战期间，美国便开始使用隐身技术以减少飞机被敌方雷达发现的概率。当前电磁波隐身的研究重点是雷达隐身技术和红外隐身技术。

由于在未来战争中，雷达仍将是探测目标的最可靠手段，因此隐身技术研究以目标的雷达特征信号控制为重点，同时展开红外、声、视频等其它特征信号控制的研究工作，最后向多功能、高性能的隐身方向发展。

本世纪 30 年代，随着无线电技术特别是雷达的问世，最早的隐身材料也出现了，如荷兰科学家研制的雷达用吸波材料，以及日本人开发的铁氧体材料-硅钢片。

50 年代，为既能获取情报又能隐蔽飞行，美军在 V-2 高空侦察机和 PLV-7 低空侦察机上涂了吸波材料。以后美军又在 SR-1 型 黑鸟 侦察机上采用了更先进的隐身吸波涂层，使其反雷达探测性能有了很大提高。在越南战争中，美军还使用过一种采用了红外特征减弱措施的武装直升机，大幅度降低了苏制 SA-7 红外制导地空导弹的命中率。

50—60 年代，在走过一段利用各种单一技术实现隐身的道路之后，人们开始考虑综合利用多种技术，同时对可见光、红外、电磁、激光等实现全面隐身的问题。60 年代中期，美国空军首当其冲，率先推行隐身技术研究计划。70 年代中期以后，美、苏、日、英、法等国为开发先进的隐身技术，投入了大量的人力、物力和财力。1976 年，美国的 CDIK 型隐身战斗机试飞成功。1980 年，美国国防部宣布，它对隐身飞机的研制已取得重大突破。到了 80 年代，美国的多种隐身

作战飞机已开始装备部队，并在局部战争中发挥了巨大作用。

隐身技术的军事意义异常重大，以至各国都在不遗余力地发展它。美国国防部在 1990—2000 年的高技术发展计划中，已把发展隐身技术放在了异常突出的优先位置，在过去 10 多年的时间里，它竟投入 300 多亿美元用以发展新型隐身侦察机、新一代隐身巡航导弹和隐身卫星。俄罗斯亦不甘落后，目前也在 **TY-95H** 战略轰炸机、“海盗旗”战略轰炸机、米格-29、米格-31、苏-27 歼击机等作战飞机上，使用了隐身材料。采用了多项隐身技术。日本也正在研制 **TV** 隐身无人机、**F-1** 隐身战斗机；英、德、意正在联合开发隐身“欧洲战斗机”；英、法、德、意、荷五国正在联合研制 **ACA** 隐身战斗机；以色列、印度、瑞典等国在隐身技术装备的发展上，也取得长足的进步。

1.2 隐身技术的发展历程

纵观隐身技术及隐身武器装备的发展历程，可以把它分成 3 个发展阶段：

1) 起步阶段（20 世纪 70 年代以前）：

隐身技术发端于视觉隐身。第一次世界大战时期，德国、法国均开始在覆盖飞机的蒙皮上喷涂伪装色。在第二次世界大战中，为了对付目视探测威胁和刚刚发展起来的雷达、声纳探测威胁，通过降低武器的目标特征信号进行隐蔽进攻的概念已经逐渐形成，并且在飞机、潜艇等武器中开始应用。

二次世界大战后，地面发射和空中发射的防御性导弹迅速发展起来，导弹与雷达火控系统的结合极大地提高了防空系统的作战效能。1960 年，美国 **U-2** 高空侦察机被苏联的 **SA-2** 防空导弹击落后，美国开始重视侦察机和巡航导弹的雷达目标特征信号控制技术研究，先后研制了 **SR-71** “黑鸟”高空侦察机、**AGM-28B** “猎犬”空对地巡航导弹等具有一定隐身性能的武器，为美国隐身技术的发展奠定了基础。

SR-71 是美国洛克希德公司为美国中央情报局研制的高空、高速侦察机，可以在 27 千米高空以 3 马赫的速度飞行。**SR-71** 采用了双三角机翼、平底机身的翼身融合隐身外形，飞机表面涂有能吸收雷达波和红外线的磁性吸波材料。因此 **SR-71** 具有一定的雷达隐身性能和红外隐身性能。（**SR-71** “黑鸟”高空侦察机为美国隐身技术的发展奠定了基础。）

AGM-28B “猎犬”导弹是罗克韦尔公司研制的战略/战术空地巡航导弹，最大飞行速度 2 马赫，射程 960 千米。它采用鸭式气动布局，进气道唇口采用了雷达吸波结构。

2) 发展阶段（20 世纪 70～80 年代）：

美国是现代隐身技术发展的先驱。经历了越南战争和中东战争之后，美国对武器生存能力的重要性有了基于实战的理解。到了 70 年代中期，美国的隐身技术进入了正规的发展时期。1980 年 8 月，当时美国国防部负责研究与工程的副部长佩里在首次公开披露美国的隐身计划时，对这一时期的发展特点做了如下总结：“多年以来我们尤其重视发展使雷达看不见飞机的那种技术。60 年代初，我们将这样一种技术运用到了一些侦察机上，70 年代又运用到当时正在研制的‘战斧’巡航导弹和 ALCM 射巡航导弹上。到 1977 年夏，这一技术的效能已有较大提高，可广泛用于各种飞机，包括有人驾驶飞机。”

从 70 年代初开始，美国国防高级研究计划局（DARPA）组织和领导了一系列的隐身技术预先研究计划和先进技术演示验证计划，研究成果直接应用于创新性的隐身武器设计中。同一时期，欧洲国家如德国、英国和法国也开始进行隐身技术研究，制订并执行了隐身技术的发展计划，为欧洲先进军事国家隐身技术的发展奠定了基础。

1973 年，为了验证隐身战斗机的技术可行性，由 DARPA 领导，美国洛克希德公司执行了“海弗兰”（HaveBlue）计划。该计划的研究目标是研制 5 架实验型隐身战术（XST）技术验证机，用以演示隐身飞机的可行性。计划要求用雷达吸波材料作机体蒙皮，使其在前视后向扇区内雷达截面（RCS）最小，同时采用一种冷却发动机的噪声控制技术。第一架 XST 验证机于 1977 年进行试飞。在试验期间，使用缴获的苏联雷达和导弹系统来观测，证明这种飞机确实具有难以被发现的低可探测性。鉴于“海弗兰”计划取得的良好成果，美国政府大幅度提高了隐身技术的研究经费预算，1980 年的研究经费是 1977 年的研究经费的 100 倍。

70 年代末，DARPA 还针对 90 年代苏联将要部署的新型防空系统，进行了一系列巡航导弹突防效能的评估研究。基于这些研究的成果，1979 年～1982 年由 DARPA 领导，通用动力公司、洛克希德公司等执行了“水鸭黎明”（TealDawn）计划。该计划研究巡航导弹的突防技术，主要包括巡航导弹隐身外形技术、雷达吸波材料技术和先进推进技术。通过该计划，美国掌握了先进巡航导弹（ACM）的设计技术，这些技术后来被用于设计 AGM-129 隐身巡航导弹。

德国从 70 年代开始进行隐身技术研究，执行了“萤火虫”计划。该计划的主要目标是研制一种可配备中程导弹的“萤火虫”隐身截击机。该飞机采用多面体隐身外形，与同一时期美国研制的 F-117 隐身战斗机具有相同的隐身原理。在 X 波段，其头部方向的 RCS 可比常规飞机低 20～30 分贝。

3) 成熟阶段（20 世纪 90 年代至今）：

在 1989 年海湾战争中, F-117A 通过优异的隐身特性发挥了巨大的作战效能, 这刺激了各国竞相开展隐身技术研究和隐身武器研制。整个 90 年代, 隐身技术突飞猛进地发展了起来, 武器装备隐身化热潮兴起并不断加温, 高隐身性能逐渐成为现代武器装备最引人注目的亮点之一, 军事发达国家的隐身技术发展已进入成熟阶段。在这一阶段, 比较有代表性的隐身武器包括新一代隐身战斗机、新一代隐身巡航导弹、安静型潜艇、隐身坦克、隐身直升机、隐身无人机、隐身工事及帐篷等。

1.3 隐身武器装备

1.3.1 隐身导弹

美国在 60 年代针对侦察机和巡航导弹开展的隐身技术研究以及 70 年代以后执行的预先研究计划的成果, 被迅速应用到各种巡航导弹的设计中, 如 AGM-86B 空射巡航导弹、BGM-109“战斧”巡航导弹和 80 年代研制的更为先进的 AGM-129 巡航导弹等。

AGM-86B 是美国空射巡航导弹 (ALCM 计划的产物, 由美国波音公司研制。它采用不规则的扁锥体隐身弹体外形及背负式进气道, 具有较好的隐身性能, RCS 在 0.1 米² 左右。

BGM-109“战斧”巡航导弹由美国通用动力公司研制, 弹体表面广泛使用雷达吸波材料, 采用低红外辐射的涡轮风扇发动机。90 年代以来该导弹在多次战争中发挥了巨大的作用。

AGM-129 是美国先进巡航导弹 (ACM 计划的产物, 由美国通用动力公司于 1984 年开始研制, 1991 年装备部队。它采用光滑大曲率半径流线型弹体、腹部埋入式进气道、前掠式折叠中单翼、隐身外形布局, 广泛使用雷达吸波材料, 其 RCS 只有 0.01~0.05 米²。

1.3.2 隐身潜艇

在各种武器系统中, 潜艇受到的声频探测威胁最为严重, 因此潜艇的声频信号控制是潜艇隐身技术的重点研究内容。研制低噪声安静型潜艇, 成为提高国家战略威慑力和海军常规作战能力的重要手段。冷战时期, 美国和前苏联一直非常重视声隐身技术在潜艇上的应用。

美国“洛杉矶”级核潜艇于 1976 年建成服役, 水下排水量 6930 吨, 水下航速 35 节。该级潜艇在追求高航速的同时, 十分注重降低噪声, 广泛采用了各种减振、降噪措施, 例如它放弃使用核动力装置最大的噪声源——主循环泵, 而采用

了具有自然循环冷却能力的 S6WR 反应堆，对减噪齿轮箱和辅机采用减振、隔振技术，精心设计指挥台围壳和艇体线型以减小水动力噪声。潜艇的辐射噪声已下降到 110~120 分贝左右。

1.3.3 隐身飞机

“海弗兰”计划所取得的研究成果，使得美国军方决定在 XST 技术验证机的基础上研制一种隐身战斗机，这就是后来的 F-117A “夜鹰”隐身战斗机。该飞机由美国洛克希德公司研制生产，1981 年首次试飞成功，1983 年 10 月开始服役。F-117A 采用了奇特的多面体外形，机身表面由许多对称的平面组成，这使得鼻锥方向俯仰 $\pm 30^\circ$ 范围内没有后向雷达散射回波，而在水平面内则使不可避免的反射集中在少数几个狭窄的方位角区域内。飞机的整个蒙皮及某些机内部件均涂覆了铁氧体雷达吸波材料，翼梁、翼肋、大梁和垂尾等部件用吸波纤维复合材料制成。由于采用上述技术，F-117A 的 RCS 仅有 $0.025 \sim 0.1 \text{ m}^2$ 。（“海弗兰”计划中的实验型隐身战术（XST 技术验证机。）

1977 年，美国政府认为正在研制的 B-1 战略轰炸机无法有效突破前苏联在 90 年代的防空体系，因此中止了 B-1 研制计划；同样受“海弗兰”计划所取得成果的鼓舞，他们认为可以全力发展隐身轰炸机计划。1981 年诺斯罗普公司开始研制 B-2 隐身战略轰炸机，该机于 1989 年首次试飞，并于 1999 年在科索沃战争中首次使用。B-2 最为显著的隐身特点是采用了“飞翼”形总体外形布局，并把大部分部件安排在“飞翼”内；在进气道设计方面考虑到下方雷达探测的威胁，采用背负式 S 形进气道；大量使用雷达吸波涂料和蜂窝夹芯吸波结构材料；同时减小机身表面各种缝隙和不连续性。采取上述隐身措施之后，B-2 的 RCS 可低达 0.1 m^2 ，是 B-52 轰炸机的 $1/1000$ 、B-1 轰炸机的 $1/100$ 。

美国 F-22 “猛禽”战斗机由美国洛克希德公司研制，将是世界上第一种投入使用的第四代战斗机，原型机于 1990 年首次试飞，第一架生产型机于 1997 年首次试飞，第一架作战型 F-22 将于 2003 年交付使用。它采用先进的隐身/气动一体化外形技术、吸波材料技术和推力矢量技术，实现了隐身和高机动性的统一，其 RCS 达到 0.1 m^2 ，并且红外辐射强度较小。

JSF 联合攻击战斗机是美国正在研制的主战战斗机，要求保持其隐身性能所需要的外场工作量和费用比前一代隐身飞机减小 90%。该飞机由美国洛克希德公司 X-35 方案和波音公司 X-32 方案竞争，2001 年 10 月份美国政府宣布 X-35 方案获胜。预计 F-35 战斗机将于 2007 年形成战斗力。

S-37 “金雕”战斗机是俄罗斯新一代先进战斗机的技术验证机，采取涂覆雷达吸波材料、尾翼向内倾斜、内部武器吊舱、隐身进气道和二元矢量喷管等隐身技术，具有非常高的隐身性能和机动性能。

隐身导弹

AGM-158联合空地防区外导弹（JASSM）是美国海空军提出研制的一种远程空地导弹。目前由麦道公司和洛克希德·马丁公司竞争研制。该导弹要求具备雷达隐身性能，但是不会像全方位隐身那么苛刻。

AGM-154联合防区外发射武器（JSOW）是美国德州仪器公司为美国海、空军研制的采用卫星/惯性复合制导方式的近程滑翔武器，属于一种低成本、低技术风险的防区外发射武器。1992 年开始研制，1998 年开始生产。在科索沃战争中首次使用。该导弹采用方形隐身外形，大量使用雷达吸波材料。

法国“风暴前兆”隐身导弹，2000 年 12 月首次发射成功，采用隐身外形技术，大量使用雷达吸波材料，隐身性能良好。

法国“阿帕奇”隐身巡航导弹（APTGD）是一种高精度、远程、隐身常规空对地巡航导弹。采用矩形截面导弹弹体、V形尾翼、尖棱锥头部、可向后折叠的大展弦比、上弹翼的外形设计方案，RCS在 0.1 米² 以下。（采用矩形截面、尖棱锥头部隐身外形的法国“风暴阴影”隐身导弹。）

1.3.4 隐身潜艇

潜艇声隐身技术发展到现在 90 年代已经比较成熟，美国最新型的“海狼”级核潜艇和俄罗斯最新型的“阿库拉”级核潜艇的噪声水平均已低于三级海洋背景噪声。30 年以来，美国、俄罗斯的潜艇噪声的声级分别下降了 40、30 多分贝。

美国“海狼”级核潜艇是美国海军为在 21 世纪接替现役的“洛杉矶”级核潜艇而建造的新型核潜艇，首艇于 1996 年 8 月服役。该艇采用了最先进的声隐身技术，其中包括：全电力推进装置；先进的喷水推进装置，其噪声仅为“洛杉矶”改进型潜艇的 1/10；光滑的外形设计，降低了阻力和水动力噪声；艇体广泛使用了吸声瓦、隔声瓦、阻尼瓦等多种消声瓦。由于采取了这些措施，该艇的辐射噪声据称达到 100~120 分贝左右，低于三级海洋背景噪声。（美国最新型的“海狼”级核潜艇的噪声水平已低于三级海洋背景噪声。）

俄罗斯“阿库拉”（又名“鲨鱼”）级核潜艇是俄海军在役的最先进攻击型核潜艇，它主要采用的隐身措施有：外形采用水滴线型，降低了流体噪声；采用新研制的 7 叶大侧斜螺旋桨，有效地降低了螺旋桨噪声；艇上机械设备大量采用了隔振效果良好的浮筏技术，极大降低了机械震动的噪声；壳体外部敷设消声瓦，

能有效吸收外部声纳探测声波能量和艇壳振动的辐射能量。这些隐身措施的采用使该艇的噪声降低到 ~ 120 分贝，低于三级海洋背景噪声。

1.3.5

水面舰艇由于其形体巨大、结构复杂，雷达和红外目标特征都很明显，受反舰导弹的威胁很大。为提高水面舰艇的生存能力，在现代水面舰艇的设计中，借鉴飞行器隐身技术的经验进行隐身设计已成为一种发展趋势。早在 1983 年，美国 DARPA 就与美国海军合作开展了“海影”号隐身试验艇计划，由洛克希德公司设计制造。该艇在 1985 年开始进行试验，取得的成果首先应用到当时正在建造的“阿利伯克”级“宙斯盾”驱逐舰上。这是水面舰艇隐身技术的开端。进入 90 年代以后，法国、英国、瑞典、挪威等国均开展了隐身水面舰艇的研究建造工作。比较有代表性的是法国“拉斐特”级护卫舰和瑞典“维斯比”级隐身护卫舰。

法国“拉斐特”级护卫舰舰长 124.2 米、排水量 3600 吨。首舰于 1994 年下水，是世界上首先列装的隐身轻型护卫舰。该舰外形简单，主舰体、上层建筑、桅杆和烟囱都采用平面结构，并有一定程度的倾斜。所有的武器和设备都尽可能降低高度，或隐蔽在舰体和上层建筑内，舰炮的炮塔遮蔽采用了平面结构，舰载三坐标雷达采用了隐身外形设计。估计该舰的 RCS 小于 1000 m^2 ，仅相当于一艘 500 吨级巡逻艇的 RCS。此外还采取了红外、声、磁等方面的隐身措施。（法国“拉斐特”级护卫舰采用了隐身外形。）

瑞典“维斯比”级护卫舰是一艘全隐身水面舰艇，采取了雷达、红外、水声、空气噪声、磁等方面的隐身措施。舰体采用大倾斜面外壁，炮塔侧面倾斜，并且各种设备（如救生、武器、抛锚等）完全隐藏在甲板底下；采用频率选择表面控制火控雷达天线的散射，并安装了专门设计的低 RCS 高频天线以及低截获率导航雷达。

1.3.6 隐身战车

美国的 M1A2 德国的“豹 2”、法国的“勒克莱尔”、俄罗斯的 T-72 和 T-80 等是冷战后期开始装备的第三代主战坦克。海湾战争以后，这些主战坦克均进行了隐身改造。

美国 M1A2 坦克的负重轮采用了吸波玻璃纤维环氧复合材料，车身使用了隐身迷彩，并在降低坦克红外辐射和噪声方面采取了许多技术措施。

此外，美国已经研制出一种由高强度 型玻璃纤维加固聚脂膜压而成的隐身复合材料，具有雷达、红外、可见光、声等隐身效果，可用于制造坦克车体或炮塔外壳。

1.3.7

美国 RAH-66“科曼奇”隐身武装直升机是集武装侦察、对地攻击和空战为一体的多用途直升机，是世界上第一种隐身直升机。在雷达隐身、红外隐身和声隐身方面采取了许多技术措施。据报道，RAH-66的 RCS是 AH-64“阿帕奇”的 1/400，红外特征是后者的 1/4。2003 年前将制造出 6 架预生产型样机。

1.3.8 隐身无人机

“全球鹰”隐身无人侦察机，起飞总重 11.6 吨、作战半径 5500 千米、飞行高度 19.8 千米、有效载荷 861 千克、续航时间 24 小时，背负式进气道。据报道其 RCS约 0.01 米²，已于 1998 年实现首飞，2001 年完成了跨越太平洋的长距离飞行。

“攻击星” 2025 无人攻击机具有 F-117A 的许多隐身特性，装载 360 千克设备时空中不加油航程为 1290 千米，执行攻击、侦察及电子战任务，最基本的任务是摧毁面空导弹基地。

1.3.9 隐身工事及帐篷

海湾战争结束以后，美国陆军航天与战略防御司令部研制了低雷达反射掩体，它采用表面涂覆雷达吸波材料的铝或复合材料作为架构，并能快速方便地组成外形复杂的隐身工事，使雷达回波峰值降低 20 分贝。

美国陆军已设计出一种隐身帐篷，这种帐篷不易被雷达发现，并可保护人员不受导弹碎片的攻击，且对核、生、化有防护作用。新帐篷为棱锥台形状，顶部和墙面采用凯夫拉材料，可减小帐篷的后向雷达截面。

隐身技术

隐身技术概述

隐身技术是指在一定探测环境中控制、降低各种武器装备的特征信号，使其在一定范围内难以被发现、识别和攻击的技术。由于隐身技术能极大地提高武器的生存能力和作战效果，受到许多国家的高度重视，成为现代军事技术研究的关键技术。

在第一次世界大战之前，人们探测目标靠的是眼睛和可见光设备。探测能力依赖于目标的尺寸、色彩、光泽及其与背景的对比度。伪装术是这一时期出现的一种反目视探测技术，也可说是早期最简单的隐身术。伪装术有天然伪装和人为伪装两种，天然伪装主要利用地形、地物、气象等自然条件进行伪装；人工伪装主要是迷彩、烟幕、灯光、音响等设置遮障，构筑假目标、假工事、假阵地等进行伪装。

以军用航空来说，人们为了减小飞机的可探测性，在飞机上使用迷彩涂料，即在漆料中调以颜料，用色彩和表面花纹，使飞机反射光线的强度和色彩与背景相同。例如，为了不使地面的敌人仰视看清飞机，在飞机底部涂成较淡的蓝灰色，且无光泽，使飞机与天空背景的色彩、色泽相近。为了使上方敌机俯视看不清下方飞机，在飞机的上表面涂上灰绿和灰棕色斑点，使飞机与地面背景的色彩、色泽相近。飞机的不同部分可能形成对比，增加了被探测的可能性。为了抵消它，涂料颜色可以变化，使暗的地方变成浅色。实际上，伪装术在自然界也常可见到，例如活动在冰天雪地中全身白毛的北极熊；趴在树上形似嫩枝的杆状昆虫；游动在草丛中的青蛇；随时改变保护色的变色龙；飞舞在花圃中的彩蝶等。不过，这些都是出自动物本能的伪装术。

第二次世界大战期间，美、英、德等国家就对隐身技术进行了大量的探索，并于 70 年代将其研究的成果逐渐用于工程。特别是在海湾战争中，人们亲眼目睹了隐身技术的巨大魅力，因此，隐身技术的研究已成为未来战争中各国关注的焦点。

隐身的实现有两种途径：一种是采用对材料合理的设计，一种是通过涂覆隐身材料。两者的目的都是尽可能地使飞机、导弹、坦克、舰艇等其它目标反射能量减小，从而使外来雷达探测距离缩短（一般的雷达对隐身飞机的探测距离是对普通目标的四分之一），相应地缩短了“硬杀伤”进攻武器进行拦截所需要的追踪、制导的反应时间，从而造成对方攻击上的困难。由于海面上存在着杂波，波浪数

量多，长度为毫米级，因此使干扰箔条云在各个方向都具有足够大的反射能力。若诱饵反射能量比目标的大，硬杀伤”进攻武器就对准诱饵攻击，真正目标便趁机逃之夭夭。可见，隐身技术可以大大地提高现代武器装备自身生存的概率。

目前，各国军队针对不同武器的各种形体结构和搜索、攻击武器的工作原理，相应地采取了多种隐身措施，来减小电、磁、热、声等特性的辐射，并越来越显示出良好的隐身效果。为加强防御和攻击，在当前的舰船上或其他各武器装备中，除设有各种多功能武器之外，还配有各式各样担负不同任务的电子设备。

隐身技术的主要就是反雷达探测。雷达是一种利用无线电波发现目标并测定其他位置的装置。雷达的问世，使人类的探测技术和能力跨上了新的台阶；同时也向反探测技术提出了新的挑战。人们为了提高目标反雷达探测能力，不懈地奋斗了几十年，终于探索到一条新的隐身途径。与早期的隐身术——伪装术相比，今天的隐身技术已起了根本变化，有了质的飞跃。下面从反雷达探测和反红外（热）探测两个方面简单介绍隐身技术的一些工作原理与隐身性能。

1)反雷达探测

开始隐身技术的一项主要工作是提高反雷达探测的能力，也就是提高目标在雷达探测下的隐身性能，通常用目标的雷达散射界面（RCS）表示。

所谓目标的雷达散射截面是指：目标被雷达发射的电磁波散射中时，其反射电磁波能量的程度。雷达散射截面的大小，反映了目标反射电磁波能量的强弱；其越小，雷达就越不易探测到目标。

2)反红外(热)探测

开始隐身技术的另一项重要工作是提高反红外(热)探测的能力，也就是减小目标的红外（热）信号特征。发动机的尾喷管是红外探测器的主要红外（热）源，因此，减小红外（热）信号特征，主要是要减小发动机尾喷管或排气口的红外（热）辐射。

2.3 隐身往术的几种情形

2.3.1 可见光控制

在实际作战中，即使具有优越隐身能力的兵器，如 F117 战斗轰炸机、B-2 战略轰炸机等也只敢夜间出动。因此，视频(可见光)控制也是隐身问题的一个关键。实现武器和作战平台在白天能自由行动是各国军界梦寐以求的目标。

可见光控制是通过减小目标与背景间的亮度、色度和运动的对比特征，达到对目标视觉信号进行控制的技术。传统的手段是采用迷彩伪装。我们经常看到的“迷彩服”就是一种典型的迷彩伪装方法，还有一种就是在飞机的特殊部位安装特殊的灯具，而使飞机达到在远距离目视难以发现的效果，该技术源于第二次世界大战时期发明的灯具隐身技术。

但是，现代的隐身设计专家已不再满足通过飞机上的涂色深浅或装设几盏灯来实现光学隐身的目的。现在使用的一些新颖独特的隐身材料和方法包括：

1) 薄荧光板

装上这种荧光板的飞机，在晴朗的天空背景下几乎看不到，除非它产生尾流。

2) 发光的聚合物薄板

这种薄板在充电时可发光并改变颜色，如在不同的电压下会发出蓝色、灰色、白色的光，必要时甚至可以变换深浅不同的色调，始终保持与天空一致的颜色。美军目前试验的蒙皮是用能够吸收雷达波的电磁传导性聚苯胺茎复合物材料制造。不充电时，它透光，并能改变亮度和颜色。其隐身机理是利用装在飞机各个侧面上的光敏接收器，随时测出天空与地面间亮度的差异；然后指令飞机适时调节蒙皮的亮度和色调，以使其与上方的天空或下方的地面相匹配。此外，上述蒙皮还能使照射的雷达波发生散射，致使对方雷达的探测距离缩短一半。

3) 闪烁蒙皮

通过一种能使可见光谱和红外光谱的强度发生闪烁的特殊涂料，在瞬间改变飞机的图像和红外辐射强度。来干扰对方的红外制导导弹。通常，对付老式热寻的导弹采用诱饵弹即可。而要对付有光学传感器的导弹并非易事，因它能够区分飞机和诱饵弹的形状，而闪烁皮可通过使飞机图像和红外辐射变形和减弱，让对方光学和红外制导导弹失灵。但该蒙皮目还存在不少难题，如需解决经久耐用的问题以及能与现有雷达和红外技术兼容等。然而，随学隐身技术日益受到重视和光学隐身材料方法的广泛使用，这些难题终会被克服，其发展也会显跳出更为奇特的效果。

2.3.2

红外隐身技术是隐身技术的重要内容之一。随着红外探测技术，尤其是红外成像技术的飞速发展，使得各种具有高探测精度、高分辨率的红外探测和遥感设备不断涌现出来。常规的红外对抗措施越来越不能满足现代战争的需要，寻求发展新的先进有效的红外隐身技术已成为提高作战武器系统生存和突防能力的当务之急。

红外隐身技术其重要性仅次于雷达隐身技术。它主要通过改变目标的红外辐射波段、降低目标的红外辐射强度、调节目标红外辐射的传输过程等办法，以隐蔽目标的红外辐射特征信息。

武器系统的红外特征信号主要由发动机尾喷管、武器系统表面及相关设备的红外辐射产生。红外探测系统通过探测目标与其所处背景之间的温差而探测和跟踪目标，其中尤以探测、跟踪目标尾喷管的红外辐射为主，其次是武器系统表面由于气动加热、阳光辐射或地球辐射的反射作用引起的红外辐射。

因此，红外隐身技术研究的重点是尾喷管的红外特征信号抑制，其主要途径有非常规喷管外形技术、隔热与屏蔽技术、混合/冷却技术、改变燃烧效果等。例如，美国的 F-22 战斗机通过矢量可调管壁来降低其二元矢量喷管所产生的红外辐射；战斧巡航导弹采用涡轮风扇发动机使其红外辐射得到大幅度抑制；科曼奇 RAH-66 隐身直升机的一体化条带式红外抑制器则采用波瓣混合并结合大宽高比等等。此外，通过结合使用吸热、红外迷彩材料来控制第二类红外信号可使武器系统的红外特征信号得到很好的抑制。

2.3.3

新一代隐身武器应具有低声特征信号的隐身特点，以用来对抗性能和种类日趋完善的防御探测系统。飞行器作为主要武器系统之一，它的噪声主要由螺旋桨/旋翼的旋转和涡流噪声，发动机进气、排气、燃烧的噪声，机体空气动力尾流噪声以及涡流噪声等声源组成。尤其是直升机，因为其飞行高度在 50m 左右。为了避免被侦测到，同时也避免声触发地雷和导弹的打击，降低噪声是极为重要的。另外对低空无人机和潜艇来说也存在同样的问题。

用于抑制可探测噪声级的常用声响特征信号减缩方法是降低噪声级和改变噪声特性，具体是指降低声响频率范围内声功率；修改噪声的频谱特性(幅值和频率)以增加噪声通过大气、大气-水界面和海水时的噪声衰减；对噪声采取遮挡和吸收措施。

第三章 隐身材料

现代社会离不开电，电荷的周围产生电场，电荷的流动产生磁场，两者合称电磁场，电磁场以电磁波的形式传递电磁能量。经科学研究证实：只有使用吸波材料才能实现吸收电磁波，使电磁波消失，转化为其它形式的能量。吸波材料是能吸收投射到它表面的电磁波能量、并通过材料的损耗转变成热能的一类材料。在工程应用上除吸波材料在较宽频带内对电磁波具有高的吸收率外，尚要求材料重量轻、耐温、耐湿、抗腐蚀等性能。早在二次世界大战其间，美、英、德等国出于各自的军事目的，针对雷达电子侦察和反侦察，开始对电磁波吸收材料进行了大量探索工作。当时的 **Jauman** 吸波材料为电阻型和电介质型，厚达 7.62 厘米，至今仍被生产和使用着。美国于六十年代开始把吸波材料，即“隐形”飞机技术，应用于空军的 F-14、F-15 和 F-18 等几种战斗机上，八十年代美国政府投资 25 亿美元从事这一课题研究。随着海湾战争 F-117 隐形飞机成功的轰动效应，世界各国投巨资加大对吸波材料研究的力度。

3.1 隐身材料概述

用于隐身目的的材料称为隐身材料。由于隐身技术能极大地提高武器的生存能力和作战效果，受到许多国家的高度重视，成为现代军事技术研究的关键技术。目前雷达在各种探测器中仍占主导地位，因此雷达波隐身材料是隐身技术中最主要和发展最快的隐身材料。雷达波隐身材料的基本性能要求是吸收雷达波，所以这种材料又称雷达吸波材料。我们所指的吸波材料也就是雷达波吸收材料（简称为 **RAM**）。

吸波材料的研究始于第二次世界大战期间，起源在德国，发展在美国并扩展到英、法、俄罗斯及日本等发达国家。经过半个世纪的发展，成绩斐然。第二次世界大战时，德国人曾用活性碳粉末充填天然橡胶片来包覆潜艇，以降低被对方雷达发现的可能性。这可以说是最早的 **RAM**，美国早期研制了一种称为防辐射涂料 (**HARP**) 布，是用橡胶或塑料填充导电的鳞片状铝粉、铜粉或铁磁材料制成。这些早期的材料主要通过增加厚度来提高吸波性能，一般较重，用于舰船和陆地武装设备。从 50 年代起。美国等开展了较为系统的飞机隐身技术研究，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 F-117A 隐形攻击机、B-2 战略轰炸机以及 F-22 先进战术隐身战斗机均采用了不同类型的隐身材料。其它大国也都投入大量人力物力研制吸波材料，已发展出不少新型的雷达吸波材料和吸波结构。

高度的军事敏感性和技术保密性使当前高性能的 RAM 研究和应用情况笼罩在迷雾之中，但各科技机构的努力主要集中在以下两个方面：全新的吸收机理和吸收剂；计算科学的迅速发展和应用。

总之，应运而生的 RAM 必将在这场世界性攻关研究中不断取得发展，并对今后的隐身反隐身技术的竞争产生深刻的影响。

3.2 吸波材料的综合要求和分类

3.2.1 隐身技术对吸波材料的基本要求

一、材料的化学稳定性应有较宽的温度范围。

二、足够宽的工作频带中要求材料与空气有良好的匹配，使空气与材料界面间的总反射很小，这就要求材料有较好的频率特性。再通过合理的设计，充分利用材料的性能。

三、要求吸波涂层材料的面密度小、质量轻，其中对隐身飞行器尤为关键。

四、有高的力学性能及良好的环境适应性和理化性能，就是要求材料具有粘结强度高，耐一定温度和不同环境变化的要求。

3.2.2 隐身材料的分类

由于吸波材料种类繁多，吸波机理也不尽相同，目前有多种分类方法。主要有以下几种：

1) 涂敷型和结构型

按材料成型工艺和承载能力可分为涂敷型和结构型。涂敷型吸波材料是将吸收剂与粘结剂混合后涂敷于目标表面形成吸波涂层；而结构型吸波材料，则通常是将吸收剂分散在由特种纤维（如石英纤维、玻璃纤维等）增强的结构材料中所形成的结构复合材料，它具有承载和吸收雷达波双重功能。

2) 吸波型和干涉型

按吸波原理分有吸波型和干涉型两大类。前者主要是材料本身对雷达波损耗吸收；后者则利用吸波层表面反射波和底层反射波的振幅相等、相位相反进行干涉相消。其中对于吸收型吸波材料按材料损耗机理可分为电阻型、电介质型和磁介质型。碳化硅纤维、导电高聚物、石墨等属于电阻型吸波材料，电磁能主要衰减在材料电阻上；钛酸钡之类属于电介质型吸波材料，其机理为介电极化弛豫损耗；磁介质吸波材料的机理主要归结为磁滞损耗和铁磁共振损耗。这类材料有铁氧体、多晶铁纤维等。

3) 传统型和新型

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/776035230023010232>