

文章编号:1002-0640(2003)06-0001-04

## 隐身飞机的战术技术特点分析与防御对策

王狂飙

(中国兵器科学研究院,北京 100089)

**摘要:**以F-117A和B-2两种现装备的隐身飞机为例,介绍了以减少雷达反射面积为主要手段的隐身技术。结合实际战例,分析了隐身飞机的战术技术与作战使用特点。对无源雷达、双基/多基雷达、米波雷达以及利用广播电视信号的“沉默哨兵”雷达等探测隐身飞机的雷达技术进行了综述。总结了对抗隐身技术的途径与方法,提出了雷达、光电相结合探测,导弹与高炮配合打击的对抗隐身飞机的对策。

**关键词:**隐身技术;反隐身飞机;防御对策

**中图分类号:**F926.44

**文献标识码:**A

## The Technical & Tactical Analysis of Stealth Aircraft and the Countermeasure of Its Defense

WANG Kuang-biao

(China Research & Development Academy of Machinery Equipment, Beijing 100089, China)

**Abstract:** The stealth technologies, that mainly consist of reduction of the radar cross section (RCS) are introduced with the example of the only two in service stealth aircrafts F-117A and B-2. This paper conducts analysis of the technical and tactical characteristics and the way of operational application of stealth aircraft. This paper also gives a summary of the radar technologies of anti-stealth aircraft such as passive radar, double/multi-base radar, meter-wave radar, and the silent sentry radar, which, by the way of the broadcasting wave to detect target together with the summary, of others technical ways of defense stealth aircraft. In the end, it presents the countermeasures of defense stealth aircraft with both radar and photo-electronics for detection, and surface to air missiles and anti-aircraft gun to attack.

**Key words:** stealthy technology, anti-stealth aircraft, defense countermeasure

### 1 隐身飞机的技术特点

所谓隐身飞机,是指通过一定的隐身技术手段,如改变外形与气动布局设计、采用雷达波吸收材料等,使得电磁(雷达、红外)特性、音响特性与目视特征显著减弱的飞机。采用隐身技术的目的,是使飞机在突防时不易被敌方发现,从而增强攻击的突然性,提高飞机的生存力与作战效果。目前,世界上投入使用的隐身飞机只有两种,分别是美国的F-117A战斗轰炸机和B-2战略轰炸机。它们在隐身技术方面各有特色。

#### 1.1 F-117A 战斗轰炸机的隐身技术

F-117A 是美国洛克希德公司研制的一种单座亚音速隐身战斗轰炸机,是典型的采用外形隐身技术的第一代隐身飞机。为了达到隐身的目的,F-117A 采用了独特的外形设计,机翼和全动蝶形尾翼均采用菱形翼剖面,飞机的外形由许多折面组成,这些折面与铅垂面的夹角大于 $30^\circ$ ,以便把雷达波上下偏转出去。F-117A 机身表面和转折处的设计,使得雷达反射波集中水平面内的几个窄波束。这样,就能使两个波束之间的“微弱信号”与背景噪声难以区别,这种很窄的波束使敌方雷达不能得到足够的连续回波信号,从而难以确定是一个实在目标还是一种瞬变噪声。F-117A 的发动机进气口和机身边缘与机翼前缘平行,尾喷口边缘与机翼外侧后缘平行,机身边缘与发动机短舱边缘平行,这样可尽力避免

收稿日期:2002-07-02

修回日期:2002-12-09

**作者简介:**王狂飙(1968-),男,吉林长春人,博士。主要研究方向:战术导弹与制导兵器总体设计与制导控制系统设计。



波束直接向前反射。机上所有的开门与检测窗口都具有锯齿形的前后缘以反射雷达波。机身表面涂敷有雷达波吸收材料(RAM)。据估计,F-117A 的雷达截面为  $10\text{cm} \sim 100\text{cm}^2$ 。

### 1.2 B-2 战略轰炸机的隐身技术

B-2 是美国诺斯罗普—格鲁曼公司研制的一种隐身战略轰炸机。B-2 采用飞翼布局,前缘平直,后掠角为  $33^\circ$ ,双 W 形的后缘有 8 个操纵面(6 个升降副翼和 2 个阻流方向舵)。这种独特的气动布局,既有升力系数大的特点,又可满足操纵性及隐身特性的要求。除飞翼布局外,飞机还大量采用石墨/碳纤维及其它先进的复合材料、蜂窝状雷达波吸收结构(RAS)、雷达波吸收材料涂层、锯齿状雷达散射结构,以进一步减少雷达截面。据估计,在正常的探测距离下,翼展 52m 的 B-2 的雷达截面大约与一只小鸟相当。另外,B-2 还采取了一系列红外和可见光隐身措施,将尾喷口置于机身上部,采用无加力涡扇发动机。在燃料中添加特殊物质以减少尾迹等<sup>[2]</sup>。

从上面两种隐身飞机所采用的隐身技术可以看出,要实现飞行器的隐身,不能只依靠某一单项技术,而需要综合运用多项技术。由于目前对飞机的远距离探测手段主要是雷达,因而提高隐身飞机的隐身性能,也是主要从减少对雷达波的反射截面积考虑的,同时也考虑抑制红外辐射、音响与可视性等。按照目前的观点,只有雷达截面积小于  $0.1\text{m}^2$  的飞机才被认为是隐身飞机。

## 2 隐身飞机的战术运用与特点

### 2.1 隐身飞机作战使用回顾

**巴拿马战争** 1989 年 12 月 20 日凌晨,6 架 F-117A 组成 3 个双机编队,从美国本土内华达州的基地起飞,长途奔袭数千公里,用激光制导炸弹对巴拿马城西边的军用机场和兵营进行了猛烈的轰炸,打响了美国入侵巴拿马的第一枪。这也是隐身飞机首次投入实战,引起了世界的广泛关注。

**海湾战争** 1991 年 1 月 17 日凌晨,一架 F-117A 向位于巴格达市内的伊拉克防空指挥中心投下了激光制导炸弹,揭开了“沙漠风暴”作战的序幕。据美国国防部报告称,海湾战争期间,美军将其全部 59 架 F-117A 中的 42 架部署到了海湾战区,F-117A 出动的架次仅占海湾战争期间总轰炸架次的 2%,却轰炸了目标清单中的 40% 的战略目标。F-117A 共出动约 1300 架次,投弹 2000 多吨,飞行 6900 小时,无一损失。在整个战争期间,F-117A 投下的精确制导炸弹有 80% 都命中了目标<sup>[1]</sup>。海湾战

争中 F-117A 的大量成功运用,使得隐身飞机达到了近乎被神化的地步。

**科索沃战争** 在 1999 年 3 月 24 日开始的以美国为首的北约对南联盟的野蛮轰炸中,美国不但出动了 F-117A,而且,派出了 B-2 隐身战略轰炸机首次参战。先后有 6 架 B-2 投入作战,参加空袭 50 多架次,攻击的目标约占全部打击目标的 1/3。其中,中国驻南联盟大使馆,就是被 B-2 发射的 6 枚 JDAM 导弹摧毁的。所有参战 B-2,都是由美国本土的怀特曼空军基地起飞,经空中加油飞抵南联盟作战,往返航程 1 万多公里。而 F-117A 却没有像海湾战争中那样幸运,3 月 27 日,一架编号为 AF82-806 的 F-117A 在据贝尔格莱德以西 60km 的地方被南防空部队击落,打破了隐身飞机不可战胜的神话。

### 2.2 隐身飞机的战术特点

从上面几场战争中隐身飞机的运用,可以发现隐身飞机在作战使用中的如下特点:

① 隐身技术与精确打击能力相结合,可在敌地面防空系统做出反应之前飞抵目标,识别并进行精确轰炸,可大大增强袭击的突然性,对敌人造成物质和心理上的打击与压力。由于隐身和精确轰炸合二为一,因此只需出动少量飞机就可以完成大量任务。

② 由于具备隐身功能,隐身飞机作战时不需要非隐身飞机所必须的全程护航和压制敌方防空火力(SEAD)。这就可以腾出更多的飞机攻击其它目标,从而使一次攻击所覆盖的目标面积大大扩大。从攻击一个目标所需的全部力量来看,隐身飞机减少了暴露在敌火力威胁下的飞行员的人数,降低了总出动架次,并减少了对弹药、人员、燃料和后勤保障的需求量。

③ 为了加强空袭的突然性和充分发挥隐身特性,隐身飞机一般都是选择夜间单机或双机编队遂行作战任务。

④ 与巡航导弹一样,隐身飞机是作战开始时的首选空袭武器,进行战略轰炸,重点打击指挥中心、防空系统、通讯枢纽、雷达站、军用机场等战略目标,为后续常规飞机空袭扫清障碍。

⑤ 大量使用精确制导兵器与防区外发射兵器。目前,F-117A 的标准装备是两枚 900kg 激光制导炸弹,或“哈姆”反辐射导弹等,今后将主要装备卫星制导的联合直接攻击弹药(JDAM);B-2 具有 18 吨的载弹能力,可携带 AGM-129 先进空射巡航导弹和常规炸弹,今后标准装备是 16 枚 JDAM,也可携带联合防区外发射武器(JSOW)或联合空对面防区外发射导弹(JASSM)等。



⑥ 隐身飞机一般采用高-低-高的作战剖面。具有先进的自主定位、导航功能,可长途奔袭。在飞行中尽量不发射无线电波,不使用雷达,最大限度满足隐身要求。

⑦ 隐身飞机数量较少、成本高昂,使用维护保养复杂,主要用于战略轰炸和特种轰炸,一般不会用于执行近距支援、火力突袭、战场遮断等战术航空兵的任务。

### 3 反隐身技术综述

通过上述分析,可以看出隐身飞机的确是一种非常具有威胁的空中目标,对传统的防空作战提出了严峻的挑战。但是,隐身飞机并不是真的看不见,只不过比常规飞机来讲更难发现、可发现距离较近、反应时间较短罢了。从目前隐身飞机的飞行特性与品质,如速度、高度、机动性等,在现代作战飞机中并不是很高的,只要被及时发现,现役的许多防空武器都可以将其击落。F-117A 在南联盟被击落就是一个例子。因此,如何及早发现隐身飞机就成了防御、对抗隐身飞机的关键。

自 F-117A 在南联盟被击落后,国内外研究如何对抗隐身技术的研究成果很多,下面简述如下:

**捷克“塔马拉”雷达** 一直有消息说南联盟是利用捷克生产的“塔马拉”(Tamara)雷达发现 F-117A 的。在此之后,国际上也谣传着伊拉克在积极寻求购买这种雷达的消息。“塔马拉”是一种多基被动无源探测雷达,本身不发射无线电波,而是靠捕获目标发射的电波发现目标的。一套“塔马拉”雷达系统包括一个中心控制站和相距 10km~35km 的两个侧面控制站,在中心控制站设有监测和评估控制中心。当隐身飞机使用雷达进行航向校准和目标搜索的一瞬间,由 3 个控制站的接收器同时捕捉信号,并经监测与评估控制中心进行计算分析,确定目标的位置。据“塔马拉”雷达的设计者佩赫介绍,“塔马拉”可以同时探测方圆 500km 以内的 70 个目标,对于隐身飞机,“塔马拉”能够发现它们,但目前还不能准确测定其位置。

**双基/多基雷达** 无论隐身飞机如何仔细设计,它仍然向敌方的探测雷达方向反射一定的雷达波。在飞行中,飞行员使用雷达告警装置监视敌方雷达,当飞机被敌方雷达锁定时,飞行员一般通过改变飞行方向与姿态使雷达回波最小。但是,在他转弯和爬升的过程中,飞机会向各个方向产生短促的强回波,就像一个镜面的球向各方面反射光线一样。有经验的雷达操作员可以捕获这个信号,探测并跟踪飞机。

捕获这些信号的一个有效途径就是采用将发射机与接收机分离的双基或多基雷达。像熟知的收发分置雷达(Bistatic),通过高速计算机处理,可以将各基地分散的数据,综合成隐身飞机的飞行路径,并以足够的精度预测出其飞行轨迹。

**米波雷达** 现代雷达为了提高定位与测量精度,主要工作波段是厘米波。所以隐身飞机目前主要的隐身波段也是厘米波段。研究显示,使用米波雷达对隐身飞机具有较强的探测能力。当飞机上的某一部件的几何尺度与雷达波波长相当时,如尾翼、垂尾等,这些部件就会像一根天线一样吸收并再次发射电波,特别是当这些部件的尺寸与波长的一半相当时,该部件就会满足二分之一波长谐振条件,强烈地吸收并反射雷达波,使得目标在雷达上显示得比它的实际尺寸大许多。而米波雷达的波长正好与隐身飞机各部件的尺度相当。因此,一位美国海军的官员说:“我们突然惊醒地发现现代电子战对雷达改变的需求原来早在科学家一开始制造雷达时就完成了。”据美军的研究报告称,世界上还有许多前苏联和中国制造的老式米波雷达在工作,虽然它们庞大笨重,不易隐蔽,而且精度只有 50m,不足以制导导弹和指挥高炮射击,但是,这些雷达如果通过高速计算机加以增强改进,仍将会对隐身飞机造成很大的威胁,而且米波雷达的信号不易被干扰。有消息说,通过对 F-117A 残骸的分析,发现前苏联的几种米波雷达的波段恰好与其相匹配。

**利用广播电视信号的“沉默哨兵”雷达** 最新的探测隐身飞机的方法是利用周围的电磁波和电磁噪声。经过 15 年的研究,洛克希德-马丁公司公布了他们研制的“沉默哨兵”(Silent Sentry)雷达系统的技术细节。“沉默哨兵”雷达没有传统雷达的发射机,而是用民用的广播电台和电视台代替。当隐身飞机在混杂着各种波长的广播、电视电波的“汤锅”中飞行时,将产生各种各样的反射方式。“沉默哨兵”雷达使用传统的无线电接收机和高速并行处理机,在“汤锅”中详细地捕捞需要的反射。根据反射信号的入射角、时延和多普勒频移等,“沉默哨兵”雷达可以在电子标图板上给出目标的准确的三坐标定位。在目前的试验中,洛克希德-马丁公司使用了只有 3m 直径天线的“沉默哨兵”雷达成功地跟踪了 19km 外的小于 10m<sup>2</sup> 的目标,另外,该系统还可分辨出固定目标如建筑物和无线电发射塔,以及通过多普勒频移识别出直升机等。

**预警飞机与预警气球(飞艇)** 隐身飞机对雷达波的隐身特性是有方向性的。要做到对所有方向的



雷达波的隐身是困难的,所以,一般隐身飞机对于敌方雷达探测方向,隐身效果最好。而对于其它方向,则要差一些,甚至反射较强。因此,通过安装在预警飞机或高空系留气球上的雷达,从上向下探测,可以取得较好的探测效果。如果将预警机、系留气球与地面雷达配合使用,从不同的方向共同探测,将大大提高对隐身飞机的捕获概率。

上个世纪 90 年代初,美国对其 E-3“望楼”预警机的 AN/APY 雷达进行了改进,使其对隐身飞机的探测能力提高了 10 倍。1998 年公布的《美国陆军防空反导总体发展规划》提出了发展三军联合飞艇计划。该计划是要发展一种安装在系留气球上的下视警戒与火控系统,用于探测来袭的隐身飞机与巡航导弹。与预警飞机相比,空中飞艇一次留空时间可达 30 天,可对更大的空域连续监视,而且采购成本与使用成本远低于预警飞机。特别适用于反隐身飞机的要地防空作战。

**光电探测(热成像)** 目前,及早发现隐身飞机主要依靠雷达。根据隐身飞机主要都是夜间活动的特点,采用光电探测手段,如第二代或第三代热像仪,进行近距离探测,也是一种重要的手段。虽然,隐身飞机也充分考虑了红外隐身问题,但是,物体的红外辐射,只能减低,而不能取消。目前装备的热像仪,对于天空这种较好的背景,和隐身飞机这样的几何尺度的飞行器,在 20km 左右距离发现并跟踪是有把握的。

**无人机** 无人机是新世纪武器发展的一个重要方向。用无人机探测隐身飞机的原理与预警飞机和系留气球是一样的。所不同的是,由于无人机的采购成本较低、布署容易,可以在多架长航时高空无人机上安装雷达与光电(热成像)探测装置,进行空中预警巡逻,通过无线网络和数据链,对广大空域进行不间断监视。

**超视距雷达** 超视距雷达的工作原理是雷达直接向电离层发射电磁波,该电波经电离层反射返回地面,照射到遥远的地域与海域,在这一区域的目标产生的反射沿原路返回到电离层,再经电离层反射回雷达接收机,使雷达探测到目标。隐身飞机主要抑制的是对雷达波的前向散射,而超视距雷达主要接收的是目标的侧向和后向散射,所以超视距雷达可以有效地探测到隐身飞机。

**改造传统雷达** 传统防空雷达要想探测隐身飞机,可以从以下几个方面着手:①增大发射机功率;②增大天线尺寸;③提高接收信号处理计算机能力。

## 4 防御隐身飞机的对策

从前面的分析可以看出,对于隐身飞机,只要能够及时发现、稳定跟踪,就可以将其击落。从隐身飞机的战术使用上分析,对隐身飞机的防御作战主要属于要地防空的范畴。对于隐身飞机的防御,可采用下述对策:

### 4.1 采用多种技术手段,及早发现来袭的隐身飞机

在重点防御区域与防御方向,采用多种探测手段,如多波段雷达、双基/多基雷达、预警机、系留气球、无人机、光电探测仪等共同探测,甚至可以包括大量使用热像仪的人工观察哨;通过具有数传功能的通讯网络,建立完整的战区与战场空情图与态势分析,对目标进行统一的识别、分类、危险评估并制定防御策略。例如,美国在本土防空中,就应用了远程三坐标警戒雷达、低空补盲雷达、二坐标雷达、后向散射超视距雷达、海岸警戒雷达和预警机、空中飞艇、无人机、预警卫星等多种探测手段。

### 4.2 对付隐身飞机可采用的武器

就隐身飞机的飞行目标特性而言,当今装备的防空导弹与小口径高炮,均可将其击落。由于其目标的隐身特性,使得武器系统只能在近距离发现目标,因此,一般的地面防空系统很难与其对抗。目前,号称具有反隐身飞机能力的防空武器系统主要有:美国的“爱国者”导弹系统,俄罗斯的 S-300PMU 防空导弹系统以及“潘泽尔”弹炮一体防空系统等<sup>[3]</sup>。上个世纪 90 年代初,美国根据海湾战争的经验,对“爱国者”导弹的 AN/MPQ-53 多功能雷达进行了改进,使其对隐身飞机的攻击能力大大加强。俄罗斯的 S-300 地空导弹从设计开始,就考虑了反隐身飞机的能力。有报道说俄罗斯在分析了 F-117A 飞机的残骸后,改进了 S-300 地空导弹,其改进型 S-300PMU 可以在 100km 的距离上锁定并击落隐身飞机。与爱国者和 S-300 这两种中远程、中高空防空导弹不同,俄罗斯的“潘泽尔”弹炮一体防空武器系统是一种中低空、近程防空系统。它结合了地空导弹和小口径高炮的优点,采用雷达和光电复合跟踪瞄准,特别是它上面装载的 12 枚无线电指令制导、最大速度超过 3 倍音速高速导弹,射程达 20km,对近程中低空目标具有极大的杀伤力。

随着防区外发射武器逐步成为隐身飞机的标准武器装备,在反隐身飞机的要地防空作战中,应相应采取地空导弹与小口径高炮配合使用、多层设防,雷达、光电多种火控手段相结合,并使防区前移的策略,以保障防御效果。

(下转第 9 页)



### 2.4.2 结论

\* 从仿真结果看,对于装备近程(10km)防空导弹的舰艇组成的水面舰艇编队,对导弹防御火力协同时舰舰间距不应大于 30cab。对飞机防御火力协同时,舰舰间距不应大于 32cab。综合考虑为不应大于 30cab。

\* 对于装备中近程(20km~25km)防空导弹的舰艇组成的水面舰艇编队,对导弹防御火力协同时舰舰间距不应大于 60cab。协同能力最强是在 30cab~35cab 左右。

\* 在由携带中近程与近程防空导弹的舰艇组成的混合编队中两种舰艇应均匀交叉配置,舰舰间距为 30cab 左右。均匀交叉配置可形成两次杀伤区,实现分层抗击。

### 2.5 编队舰舰间距论证综合结论

\* 携带近程防空导弹的舰艇编队舰舰间距为 25cab~30cab;

\* 携带中近程防空导弹的舰艇编队舰舰间距为 30cab~60cab;

\* 携带近程、中近程防空导弹的舰舰混合编队舰舰间距为 25cab~35cab,且编队中两种舰艇应均匀交叉配置。

## 3 编队防空队形配置方法

根据现役装备情况论证结果综合考虑,在现代条件下,新型驱护舰编队防空队形的配置应根据战

场情况灵活设置。

(1)基本防空队形为舰舰间距 25cab~30cab 的向敌方位队;

(2)在由携带中近程与近程防空导弹的舰艇组成的混合编队中两种舰艇应均匀交叉配置;

(3)如果明确空袭类型属于飞机带炸弹攻击,应配置成传统的防空队形,即组成人字队、菱形队或双纵队,舰舰间距为 25cab~30cab;

(4)如果不能明确空袭类型属于飞机带炸弹攻击,一律配置成防导队形,即舰舰间距为 25cab~30cab 的向敌方位队;

(5)如果目标是单方向攻击,应尽可能使目标的来袭方向与编队的队列垂直<sup>[2]</sup>;

(6)如果目标是多方向攻击,应尽量避免任一目标的来袭方向处于我编队的队列线上<sup>[2]</sup>;

(7)队形只是一种外在的形式,组成队形是为了充分发扬编队的火力,机动要贯穿于防御作战的始终。通过正确的兵力机动形成密切的火力协同,达成有效的对空防御。

### 参考文献:

- [1] 顾欣,等译.海军水面舰艇战术[M].北京:海军出版社,2001.
- [2] 沈志河,等.关于水面舰艇编队防空队形的研究[J].大连舰艇学院学报,1996(3).

(上接第 1 页)

另外,在防御隐身飞机的作战中,歼击航空兵也可发挥积极作用。除了按照战区防空指挥系统的指挥进行空中截击作战外,还可以组织空中战斗巡逻(CAP),在隐身飞机可能的来袭方向与重点目标区域,前向部署,进行不间断的空中战斗巡逻。利用机载雷达和前视红外系统搜索来袭的隐身飞机。

### 4.3 其它防御手段

① 目前,隐身飞机的使用维护保障要求很高。F-117A 没有参加对塔利班的军事行动,很大程度上是阿富汗周边国家不能提供隐身飞机所需的必要的保障条件。而 B-2 战略轰炸机则更为娇贵,目前所有的 B-2 都是部署在美国本土密苏里州的怀特曼空军基地的恒温机库内,目前尚不具备海外部署能力。必要时,以远程弹道导弹突袭隐身飞机基地,不失为釜底抽薪的一个彻底解决的办法。

② 隐身飞机在长途奔袭中,为了隐形的需要,

尽量不采用雷达导航,而是较多采用惯性导航与卫星导航。今后,隐身飞机也将主要装备卫星制导的 JDAM 联合直接攻击弹药,以提高防区外发射能力、降低载机危险和提高命中精度。干扰、迷茫甚至摧毁敌方的卫星在技术上是完全可行的。

③ 对于 F-117A 目前大量使用的激光半主动制导航空炸弹,可以采用激光对抗手段干扰其照射波束,甚至使激光导引头致盲。也可以利用烟雾等进行掩蔽、保护。

### 参考文献:

- [1] 军事科学院外国军事研究部.美国国防部报告——海湾战争[M].北京:军事科学出版社,1991.
- [2] 卢成文.简明世界飞机手册[M].北京:航空工业出版社,1991.
- [3] 《俄罗斯新兵器手册》编辑部.俄罗斯新兵器手册[M].北京:兵器工业出版社,1998.