

无源雷达：隐形飞机未来的克星

《国防时报》

阿伦德·威斯特（美国海军陆战队中校）

步入 21 世纪后，随着隐形飞机的不断发展，世界各国都在积极寻找对抗隐身技术的各种方法，无源雷达以其特殊的优势而受到广泛关注。就技术运用而言，无源雷达是一种使用临时发射机的接收系统，不但具有较高的成本效益，而且能整合网内的接收机，探测、跟踪与锁定有人与无人隐形系统，并为防空武器系统提供目标指引。就战术运用而言，无源雷达系统不发射无线电能量，能够很好地伪装于城市和农村两种地形之中，这使得敌人难以对其进行定位和锁定。这些技战术优势使得无源雷达在反隐形的竞争中迅速脱颖而出。

隐形飞机曾保持优势

战争中雷达延伸了人类的观察范围，飞机则扩展了人类的打击距离，二者在“消灭敌人、保护自己”的战争准则下此消彼长。而无源雷达并不是什么新生事物，它的历史几乎与雷达技术本身一样悠久。

飞机与雷达之间这种尚算平衡的对抗态势，最终却被一只奇形怪状的“蝙蝠”打破了。上世纪 70 年代，洛一马公司“臭鼬工厂”研制的 F-117 隐形战斗机于 1983 年正式服役，在此后的历次实战中，隐形飞机始终保持着压倒性优势。隐形技术已经越来越多地成为美国军队最重要的优势之一，乃至美国空中优势战略的核心所在。

隐形的主要技术途径

无论是飞机还是舰船，要达到在探测器面前的“隐身”效果，需要采取各种技术手段降低信号特征，使平台难以被定位和攻击。以飞机的隐形技术为例，其信号特征通常分为有源和无源两类。要设计一架成功的隐形飞机，就需要采取多种技术措施控制飞机红外信号强度，同时也要尽量减小雷达反射面。

隐形技术的瓶颈在于如何降低武器平台的无源信号特征。事实上，目前减小目标雷达有效反射面的途径主要有二：一是机身修形，二是喷涂吸波材料。相对而言，机身修形是目前最重要的一种方法，也就是通过重新设计机体的气动外形，使照射在飞机上的雷达波很难被原路反射回去。但需要注意的是，机身修形主要针对的是传统的接收机与发射机合一的雷达装置，对于收发分置的雷达结构则效果不佳。同时也应看到，为达到隐形效果而进行的气动外形修形，是以降低飞机的空气动力学性能为代价的，这实际上纯属无奈之举。

因此在隐身飞机的未来发展上，独辟蹊径的等离子隐身系统将有更广阔的发展前景。其基本原理是在飞机的表面或周围形成一种特殊的等离子云团，敌方探测雷达辐射的电磁波照射到环绕飞机的等离子云团后，主要会产生两种现象。首先，一部分电磁波被等离子云团吸

收，自身能量会大大衰减。其次，等离子云团能使电磁波产生绕射，不产生反射，这将极大地减少反射的电磁波信号，使雷达难以发现隐蔽的等离子云团中的飞机。这种隐身方式最大的优点在于，可在完全不修改气动外形的前提下，达到同样的隐身效果。不过，这种技术目前还面临几大瓶颈，如加载等离子发生器会使飞行器的载重增大；飞行器的尾气喷口很难隐身等。

无源雷达独特的反隐形优势

就反隐身能力而言，传统雷达易被电子战和其他空投武器发现和攻击；红外 / 光电 / 毫米波的监视能力有限，而且被动接收系统也难以提供跟踪信息。

而无源雷达则具有特殊的优势，一是隐蔽性强；二是可全天候工作；三是具有中长距离监视能力；四是在探测、跟踪和锁定隐身飞机方面潜力巨大。正是基于这些优势，无源雷达有望成为强有力的一种反隐身手段。具体而言，无源雷达有以下一些特点：

无源雷达可利用外部辐射源探测目标。调频和调谐无线电、电视、数字音频 / 视频广播和蜂窝电话网络等的信号波都有可能被无源雷达所利用。目前，无源雷达通常使用 3 个以上的发射机和接收机配置“多基站”系统。

无源雷达可综合运用多种手段定位和跟踪目标。首先，雷达通过测量发射机直射信号与目标反射信号接收过程中形成的时间差，确定收发分置的范围（通常呈椭圆形）。而后，雷达利用接收机到目标的轴线与椭圆形收发分置范围形成的交叉点，估算目标的大致位置。雷达接着进一步测量以确定目标的方位和速度。最后，雷达通过定期更新信息跟踪目标。

无源雷达可利用先进的信号处理技术，整合来自多个接收机的数据，消除信号干扰，从微弱的回波和杂波中区分出真实的目标，进而实现对目标的跟踪。数字处理技术、廉价的先进硬件系统以及增强监视能力的需求，促使无源雷达技术不断取得新进展。据说计算机处理速度每隔 18 个月就会提高一倍，这让配套的雷达软件能得到及时改进。

目前基于上述技术的一些无源雷达系统已经面世或正在研制之中，如洛一马公司的“寂静哨兵”系统、罗克庄园研究有限公司的“蜂窝雷达”、泰勒斯·雷声的“本土警戒者”，以及法国、瑞典、中国和俄罗斯等国的此类系统。

某些商用信号波束比其他波形更适合充当无源雷达的照射源。就反隐身能力而言，最重要的波形频率在 3~450 兆赫兹之间，波长介于厘米至米之间，能增大雷达的有效反射截面，并可与飞机产生共振。而且由这种共振所产生的雷达有效反射截面，很大程度上与机身形状无关。简言之，使用这种波谱的雷达天生就具有反隐身能力。

无源雷达不仅具有探测、定位和跟踪功能，还可进行目标识别。目前正在研发的方向是

对目标进行成像。此外，如果成功实现了目标跟踪和识别，无源雷达就能为地对空和空中武器系统提供目标指引，使捕捉目标成为可能。对于指令制导模式的地对空导弹，无源雷达也可借助数据链提供弹道中段制导。

对无源雷达还缺乏有效的反制措施

鉴于无源雷达技术出色的反隐形能力，美国未来的对手会越来越多地依靠无源雷达，或是与有源雷达配合使用，以对抗美国的隐身优势。无源雷达价格相对便宜，隐蔽性强，很适于隐蔽出击。而且美国未来最可能的对手对其商业传媒严加控制，届时只需对广播参数稍加优化，即可供无源雷达使用。

美国的潜在对手还会构建甚高频和超高频多基站无源雷达接收机网络，并结合城市地形将它们混杂在各种立体建筑物中。对于没有开通媒体广播的偏远地区，对手可能会广泛散布可一次性使用的低成本发射机，承担起监视区域内的雷达照射功能。对手也可将无源雷达与其他传感器配合使用，实现快速高效的指挥与控制，还有可能研发或采购发射信号可探测性很低的地对空导弹，以及中高空无人驾驶飞行器，阻止美国飞机在这样的高度自由飞行。

要对抗无源雷达将很困难。对手使用无源雷达时的具体征兆很难掌握，即便对这种威胁预先有所了解，也只不过能对其整体性能形成笼统的认识。己方空军的飞机很可能在几乎没有任何威胁告警指示的情况下，便被地对空火力击落。由于缺乏无线电频率的电子情报，对无源雷达接收机进行定位会面临很大难度；而利用间接手段（如人力情报、地面监视、计算机网络战和节点分析等）收集零散信息也是一项很艰巨的任务。

若无法发现指挥控制节点和接收机，也可重点摧毁可疑的发射机，如调频无线电台、电视以及高清电视网络等，但是考虑到它们所处的位置，以及可能造成的附带毁伤，摧毁这些目标有可能导致不利于己的战略后果，在城市区域此类问题尤为突出。

在战术层面上，己方部队可采用应急反应防御措施对抗地对空导弹发射和突然攻击，利用电子攻击、远射武器、定向能或其他手段迅速展开反击。但是，这种方法不仅需要耗费大量时间和资源，而且很可能无法夺取中低空的制空权。在技术层面上，采用电子战手段有可能会使无源雷达暂时失效，如远距离噪声干扰就可达成这种目的，但由于雷达接收机的位置不明，干扰机需要大范围发射信号，这不可避免地会减弱干扰信号的密度。此外，同样也因雷达接收机的位置不明，对无源雷达进行欺骗干扰恐怕也很难行得通。

对抗无源雷达的其他手段还包括特种作战和计算机网络攻击等。不过，实战终将表明，在有限战争中要想定位无源雷达系统实在太难了，甚至连导弹系统恐怕都比无源雷达更容易发现。而且届时对手很可能会大量部署被动防空系统，美国军队恐怕要费尽九牛二虎之力才

有可能对其予以定位和打击。发展新一代隐形飞机不失为可行之策，但提高隐形效果的努力迟早会走向物极必反的地步。随着反隐形技术越来越先进，美国保持隐形优势将变得越来越困难，付出的代价也会越来越昂贵。

无源雷达对美军未来的影响

无源雷达将对未来美国的军事力量产生多方面的影响。隐身性能仍将是美国战术军用飞机的主要特征，特别是对目前已部署的武器系统仍是一种防御手段。鉴于利用传统雷达引导的防空导弹和防空高炮仍在发展，这类威胁短期内还不可能消失。

由于采用了收发分置和使用反隐身波形，无源雷达的性能在不断增强，基本的隐身技术对于无源雷达的隐形效果较以往也将大打折扣。潜在对手的作战人员将越来越多地使用无源雷达和武器系统探测、捕获、跟踪和锁定空中隐身平台。在与这些系统对抗时，单靠隐形技术本身恐怕将难以对有人驾驶飞机、无人飞行器和导弹提供有效的防护。

隐身和反隐身之间的较量将持续上演，未来在与拥有无源雷达的对手对抗时，恐怕只有付出巨大的代价才能获得空中优势。

为了确保美国未来的地位，美国军事决策者必须认识到，美国的潜在对手正在大力推动无源雷达技术的发展。无源雷达将在未来的冲突中发挥重要作用，有可能会改变传统的防空方式，因此美国武装力量的传统思维模式也需适时而变。如果对此缺乏清醒的认识和应对措施，则美国在隐形技术上的巨额投资有可能都会打水漂。