

隐形克星：全球反隐雷达四杰

张韶华

隐形战机用于实战始于美军 1989 年入侵巴拿马。之后的海湾战争中，美军的 F-117 隐形战机承担了打击伊拉克 40% 战略目标的任务。隐形战机对各国的防空能力构成了巨大挑战。为了对付隐形飞机，各国均下大力气研制反隐形雷达。时至今日，反隐形雷达已经有了明显进步，其中四款反隐形雷达极具代表性。

捷克：“维拉-E”出名最早

在反隐形技术的研究和应用领域，捷克泰拉斯公司拥有半个多世纪的经验，先后研制出四代被动探测模式的反隐形雷达，其中第二代“塔马拉”雷达曾在科索沃战争中帮助南联盟防空军发现美军 F-117 隐形战机。而泰拉斯公司下属的埃拉(ERA)子公司研制的第四代“维拉-E”反隐形雷达技术更是大幅超越“塔马拉”，一度被外界认为是世界上唯一的“隐形飞机克星”。

特点是自身不辐射电磁信号，而是借助外部信号源(如广播和移动通信信号等)进行探测。其原理好比要想在黑夜中看清物体，可借助月光和环境光，不必自带光源。由于不发射电磁波，被动探测雷达不易被敌方侦察系统发现，生存能力较强。此外，由于被动雷达省去昂贵的高功率发射机、收发开关和相关电子设备，使制造和维护费用大大减少。

隐形飞机虽然借助独特的外形设计和特殊的吸波材料，对传统厘

米波和 Ku 波段的主动雷达有很好的隐形效果，但面对被动探测的“维拉-E”雷达却没有太好效果。

“维拉-E”雷达分为固定型和机动型，其中机动型出现时间最晚、性能最先进。机动型“维拉-E”系统由 4 个分散部署的分站组成：其一是指挥控制中心，具有强大分析处理能力，通常部署在中央地带；其余 3 个信号接收站分布周边。系统展开后，分站间的距离超过 50 公里，以便确保每个空中目标都会被 2-3 个分站同时跟踪。指挥控制中心部署在集装箱式汽车内，可接收和分析来自信号接收站的数据，并拥有完整的通信系统和指挥系统。信号接收站使用重型汽车运载，需要时只需 3 个人就能在 1 小时内竖起天线(高约 17 米)，进入监视状态。

机动型“维拉-E”可探测和跟踪 200-300 个目标，最大对空探测距离达 450 公里。埃拉公司还研制了“维拉-ADSB”独立接收站，可全自动操作，探测距离 300 公里，可作为“维拉-E”系统的组成部分。

机动型“维拉-E”雷达对隐形飞机的威胁，令美国十分不安。虽然捷克加入北约后，捷军装备的“维拉-E”加入了北约防空体系，但美国仍担心捷克会向潜在对手出售“维拉-E”雷达，于是在 2006 年 10 月将埃拉公司收购，这才心安。



机动型“维拉-E”的战术显控台



机动型“维拉-E”反隐雷达信号接收站的被动接收天线竖起

俄罗斯：甚高频反隐形雷达

目前的隐形战机主要通过外形设计和吸波材料躲避厘米波和 Ku 波段雷达的探测，一旦遇到工作在其他波段的雷达则容易暴露。事实上，飞机外形的隐形特征必须大于雷达波长才能起到效果。要躲避工作频率较低的雷达探测，不仅飞机的外形尺寸需要变大，机体表面的吸波材料也需要更厚，这样会导致飞机的设计难以实现。这样一来，原先备受冷落的甚高频雷达(即米波雷达)重新受到重视。

在甚高频反隐形雷达研制上，俄罗斯表现得最为积极。实际上，俄罗斯对于甚高频雷达的兴趣从来就没有消失。在冷战结束后，俄罗斯军队仍然坚持装备苏联时期研制的甚高频雷达就是最明显的例子。而在

进入 21 世纪后，俄罗斯开始用最新的相控阵原理、数字化技术、全固态雷达技术、先进的计算机软件技术、杂波抑制技术、自适应信号处理技术等来研制新一代甚高频雷达。

目前，俄罗斯已经推出多款实用雷达，其中最先进的是“天空-M”机动型 RLM-M 甚高频有源相控阵反隐形雷达。该雷达由俄罗斯下诺夫哥罗德无线电技术装备研究所研制，采用更大的折叠式液压天线阵列，装载于 BAZ-690915 型 8x8 全地形卡车底盘上。RLM-M 雷达的有源相控阵天线阵面上有 168 个发/收单元(即 T/R 模块)，结合了和传统雷达一样的方位角和倾斜角机械转向，同时可以进行电子波束控制。此外，RLM-M 雷达还采用全数

字自适应信号处理技术、自适应旁瓣对消技术，具有很强的抗干扰能力。RLM-M 雷达的探测距离可达 500 公里(对 2 万米高度的目标)，角度测量精度与俄罗斯目前用作地空导弹跟踪雷达的 L 和 S 波段雷达相当，平均无故障时间 500 小时。

为了进一步提高对隐形飞机的探测能力，俄罗斯还推出全新概念的“天空-M”多频带反隐形雷达系统，包括甚高频的 RLM-M 雷达、L 波段的 RLM-D 雷达和 S 波段的 RLM-S 有源电扫相控阵雷达，它们通过 RLM-Ku 指挥控制系统组成一体化雷达系统。由此可见，“天空-M”多频带反隐形雷达系统采用的是综合探测原则，其中甚高频雷达探测出隐形飞机的正面反射信号，而 L 波段和 S 波段雷达负责隐形效果较差的敌机侧面信号，在 RLM-KU 指挥系统中间中则安装一个类似于美国海军协调作战能力(DED)能力的航迹融合系统，负责将系统内各雷达的探测信息汇总，绘制出准确的航迹。



L 波段 RLM-D 雷达的外贸版



俄罗斯外贸版 RLM-M 雷达的液压天线阵列



乌克兰：“铠甲”雷达异军突起

继捷克之后，乌克兰也开始研制被动探测雷达。2000 年，位于顿涅茨克的黄玉公司下辖的无线电设备特别设计局推出“铠甲”反隐形雷达。从时间上看，“铠甲”还比捷克的机动型“维拉-E”早了两年。

“铠甲”雷达的系统组成与机动型“维拉-E”相似，也是由于中央地带的指挥控制中心和 3 个周边信号接收站组成。部署时，站与站相距约 60 公里。每个信号接收站的设备都安装在一辆卡车上，卡车顶端充斥着垂直网状反射器、圆形碟状抛物面天线、周期对数天线和各种小通信天线，覆盖 0.1 到 18 吉赫兹频段，可接收和分析飞机战术导航、雷达高度计、多普勒雷达、火控雷达、通信和敌我识别系统发出的电磁信号，能同时跟踪 40 个目标，对飞机、直升机的探测和识别率为 90%。

“铠甲”雷达能探测纵深 600 公里、宽 150 公里范围内的情况，能够发现 800 公里以内的空中目标，是目前同类系统中捕捉目标最远的雷达系统。如果利用三角测量法，在理想的天气条件下可将探测距离进一步延伸至 1000 公里，远超捷克的机动型“维拉-E”。“铠甲”雷达还具有很强的目标识别能力。它备有多目标信号特征数据库，内存 300 余种无线电发射器的 500 余种信号特征。它的计算机处理系统可对 40 种不同目标信号的技术参数进行测量比对，并与数据库比较分析，使雷达能准确识别各种目标。不过，“铠甲”雷达的多目标跟踪能略逊于机动型“维拉-E”，只能同时跟踪 40 个目标。此外，“铠甲”雷达的定位精度也稍低于机动型“维拉-E”。

乌克兰共生产出 76 套“铠甲”雷达，其中 50 套出口到俄罗斯(部分充当 S-400 防空系统的无源传感器)和埃塞俄比亚；乌克兰军队装



“铠甲”反隐雷达的指挥控制车



“铠甲”反隐雷达的信号接收站

备 22 套，目前已升级为“铠甲-M”；另外 4 套出售给亚洲国家。美国曾要求乌克兰提供向亚洲国家销售“铠甲”雷达的相关资料，结果遭到乌方拒绝。乌方称，这涉及到两国军事秘密和商业秘密，乌克兰无论如何也不能将其泄露给第三方。



中国：反隐技术迎头赶上

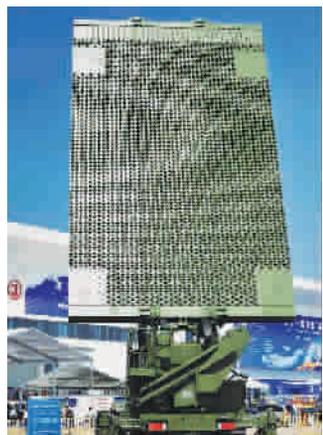
与捷克、乌克兰、俄罗斯等国相比，中国在反隐形雷达的研制方面起步要晚得多，但是追赶速度很快，而且种类繁多、技术先进，部分产品已经达到了世界领先水平。从公开信息来看，就包括 YLC20、DWL002 被动探测雷达，以及近几年公开展示的 JY-26、JY-27A、YLC-8B、SLC-7 型机动式大型有源相控阵预警雷达，其中 SLC-7 雷达是在 2016 年珠海航展上首次公开亮相。

SLC-7 雷达由中国南京电子技术研究所(中国电子科技集团公司第 14 研究所)研制，是一款全新的反隐形雷达。从外形看，SLC-7 机动式大型有源相控阵预警雷达是装在一辆 6x6 拖车上，拖车后面有巨大的电源系统。天线阵面上密布着发/收单元，并且还有敌我识别模块。

展板上有关 SLC-7 雷达的具体信息并不多，只有工作在 L 波段，采用多项成熟技术，作用距离远、测量精度高、抗干扰能力强，并兼具目标类型分辨和敌我识别能力等不多的几行字。但是仔细分析，还是可以看出更多细节。工作在 L 波段，说明 SLC-7 雷达属于米波雷达，这显然是针对探测隐形飞机量身打造的；相控阵体制意味着它具

有很强的多目标探测能力；巨大的天线阵面和电源系统意味着它的探测距离很远，有分析称其探测距离可能达到 500 公里；测量精度高意味着它能够实现多目标跟踪。至于没有说明的技术，可能还包括三坐标探测、全固态发射机、杂波抑制技术、自适应数字化信号处理技术等。

可以说，SLC-7 雷达完全解决了传统米波雷达存在的分辨率差、数据处理能力弱、探测精度低、不能测高、目标识别能力有限等缺点，是一款非常先进的反隐形雷达。



SLC-7 有源相控阵预警雷达