

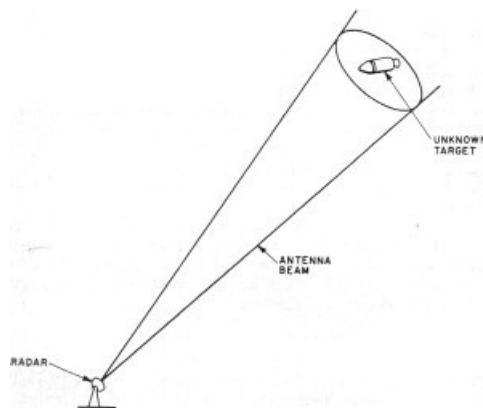
【空军】【海军】雷达与隐身技术之间的矛盾关系（上）

2014-08-05 20:16:00

原文网址：<http://blog.udn.com/MengyuanWang/108908624>

我曾在前文《一架F22战机完胜中共空军？》里简单提到了现代隐身飞机与反隐身雷达之间的发展竞赛，在本文我将补充一些细节。

一般讨论雷达对飞机的探测，用的单位是截面积（ σ ）。以Su-27为例，报章杂志上常称其正面的雷达截面积为5平方公尺，这是什么意思呢？在下面的简单示意图里，我们可以看出雷达的波束是锥状的，这个锥形的截面通常是圆形，而这圆形截面的大小（ C ）会与距离（ r ）的平方成正比，也就是 $C=s \times r^2$ ，这里的 s 是锥形顶端的三维空间角。如果我们做以下的两个假设：1）雷达波的功率（ P ）平均分配在这圆形截面上；2）目标拦截了一部分（ σ/C ）雷达波并将之向四面八方均匀散射，那么反射波的总功率就是 $P \times \sigma/C$ ，而既然四面八方的圆周总面积是 $4\pi r^2$ ，则雷达接收天线（假设其有效面积Effective Area= A ）将收到其中的 $A/4\pi r^2$ ，所以雷达收到的反射波功率是两者的乘积，即 $P \times \sigma \times A / (4\pi r^2 C) = P \times \sigma \times A / (4\pi \times s \times r^4)$ 。所以雷达的探测能力与发射功率 P 成正比，与波束宽度 s 成反比，与雷达接收灵敏度 A 成正比，与距离的四次方成反比，而与 σ 成正比。这里的 σ 就是一般所谓的雷达截面积。



既然雷达截面积 σ 并不是真正的截面积，只是代表雷达波被散射回原方向的一个等效变数，那么不同的形状就会造成不同的 σ 。可是原本雷达截面积只能用测量飞机模型对雷达波的反射来决定，对设计师来讲，要如何减低 σ 这个问题是千头万绪，无从着手。但是在1964年，一个默默无闻的苏联数学家Pyotr Ufimtsev向一个很不重要的大学的内部学术期刊Journal of Moscow Institute of Radio Engineering投了一篇论文，叫《Method of Edge Waves in The Physical Theory of Diffraction》（《如何计算边界波的绕射》），给出了从飞机表面形状来计算雷达截面积的方程式。苏联的保密审查员有外国的月亮比较圆的偏见，以为本国的基础研究成果没什么了不起的，就让那篇论文发表了，而且还可以寄到美国。十年后，洛克希德（Lockheed）的一名工程师在图书馆里偶然翻到这篇论文，认出它是稀世珍宝，由此开发出了世界第一架隐身飞机，也就是F117。



因为40年前的电脑还很原始，F117的设计师们不能探索太多不同的形状（连曲面都不能算，只好用平面拼出一个好似刀削斧切出的形状），所以只好专注在隐身性能上，结果气动效率很低，超音速是不可能的了，只能做为攻击机（Ground Attack Aircraft）使用。到了1980年代，美国的隐身技术进步了，才做出隐身和气动性能兼顾的B2轰炸机；到了1990年代，才做出世界第一架超音速隐身飞机，也就是F22。





B2和F22都号称将雷达截面积降低了四个数量级，也就是雷达截面积降到了类似其大小的非隐身军机的万分之一，所以敌方雷达对它们的探测距离就应该缩减为十分之一（因为雷达的探测能力与 σ 成正比，而与距离的四次方成反比）。以台湾的F16装备的AN/APG-66雷达为例，其对战斗机的最大探测距离为140公里，如果降到十分之一，也就是14公里，那么F22自然可以轻易地在80公里外发射AIM-120中程空对空飞弹将它擊落，自己则轻松掉头飞走。

可是隐身技术真有这么神吗？苹果每一代的iPhone都号称比前一代快三到四倍，你相信吗？其实新的iPhone在几百个测试里只要有一个加快了三四倍，苹果就会高高兴兴地用这个数据，那怕用户的实际经验是只快了30%。要是所有的测试都快不到三倍也不要紧，苹果把作业系统稍改一下，让旧的iPhone慢下去，三倍的比率自然就出来了。隐身技术也有点像iPhone：有些人认为所谓的四个数量级是作弊吹牛出来的（这涉及高度机密的技术资料，结论无法确定）；就算没有夸大，这个数据的确是只有在最理想的条件下才可能达成。

有哪些条件呢？雷达波并不是只有一种，做为电磁波，其最重要的特征就是有不同的频率（ f ）；由于电磁波在空气中的速度基本上等同于真空光速（ $c=3\times 10^8$ 公尺/秒），其波长（ λ ）便自然与频率成反比，即 $c=f\times\lambda$ 。一般来说，军用雷达波依频率/波长分为以下几个波段（UHF在雷达行业里的定义和通讯用的略有不同）：

波段	频率	波长
HF	0.003-0.03 GHz	10-100公尺
VHF	0.03-0.3 GHz	1-10公尺
UHF	0.3-1 GHz	30-100 公分
L Band	1-2 GHz	15-30 公分
S Band	2-4 GHz	7.5-15 公分
C Band	4-8 GHz	3.75-7.5公分
X Band	8-12 GHz	2.5-3.75 公分
Ku Band	12-18 GHz	1.7-2.5 公分

最早的对空雷达是1936年英国的AMES（Air Ministry Experimental Station，空军部实验站）Type 1，用的是25MHz/12公尺的HF（High Frequency，高频）波段。但是雷达设计师们马

上就开始研究频率更高的雷达，到二次大战初期，绝大部分的雷达已经改用VHF（Very High Frequency，甚高频）波段；这主要是因为收发天线的尺寸都必须与半波长类似，波长越小，天线也可以做得越小（这对动辄有上千单元的现代阵列天线尤其重要）。因为电视广播用的也是VHF，台湾人应该对其天线很熟悉，它是鱼骨形，学名叫“八木天线”（Yagi Antenna），因为它是在1926年由东京帝国大学的两名教授八木秀次和宇田太郎所发明的。日本人也相信外国的月亮比较圆，所以根本不知道这发明有多重要；到1928年，八木教授在美国的学术会议给了演说，八木天线立刻传遍英美。日本军方要到1942年攻下了新加坡，才第一次看到这种天线，在雷达的说明书里读到Yagi Antenna，不明就里，还特别把被俘的英军雷达技师从战俘营里找了出来询问，这才知道Yagi是“八木”的英文翻译。

【待续】

4 条留言

进击的Vk7201

2017-08-09 00:00:00

非常感谢您的这几篇科普。请教一下，当一艘军舰与对方的隐身飞机对抗时，就算警戒雷达能发现隐身飞机，但也无法引导防空导弹攻击是吗？

“

无法直接引导。VHF警戒雷达的波长太大、波束太宽，对位置和高度的测量，都有很大的不确定性。

防空驱逐舰（如052D）的主阵列用的是S波段，反隐身能力相对弱得多。不过它的波束窄、功率高、增益大，而且一旦警戒雷达指出可疑的目标，可以集中功率搜索那个方向，所以仍然可以在相当的距离外探测到隐身目标。

在现阶段的武器竞赛，200公里是一个理想的拦截半径。052D的346A雷达应该有能力在这个距离探测到并且攻击F-35。F-22的雷达截面又小了一个数量级，所以探测距离缩短为0.1的四次方根 ≈ 0.6 倍，亦即120公里左右。如果把AESA的单元数加倍，亦即把雷达直径从4.5米增加到6米，那么就足以抵消F-22的隐身优势，把探测距离又推到200公里以上。

对B-2和B-21这样的大型飞翼，VHF和S波段都无能为力。必须依赖陆基的HF阵列天波雷达做预警，但是这种雷达误差更大，而且杂讯很多。

进击的Vk7201

2017-08-09 00:00:00

感谢详细解答！这么说来，如果大型飞翼飞机用来攻击驱逐舰，后者几乎没有还手的能力了。

看到一段材料：* Unlike most RWRs which can only give azimuth data, the F-22 has the most advanced passive radar/RWR (ALR-94) which can provide both azimuth & elevation data accurately, and thus, track enemy aircraft passively. It can also cue its active radar (APG-77) into a confined narrow beam ($2^\circ \times 2^\circ$) and the APG-77 can get all the necessary data for a firing solution using a single beam.

* Under certain cases, the F-22's RWR (ALR-94) may provide almost all the necessary information to launch AIM-120D – virtually making it an anti-radiation missile!

* 我有个疑问，按照理论上讲，发出雷达波的一方需要接受到反射的回波才能定位目标，而被侦测方只需要接收到探测波就可以定位辐射源，那岂不是后者总是能在辐射源定位它之前定位辐射源吗（因为回波强度肯定远低于探测波）（如果双方电子水平相当）现实中情况是这样吗？另外，如果己方有多架飞机接受到了同一个辐射源的探测波，通过交换数据就可以大大提高对辐射源的定位精度（三角定位原理）现实中有这种应用吗？

“

美军刚研发完成的隐身LRASM（长程反舰飞弹），目前由B-1发射，但是将来必然是准备装备B-21隐身飞翼轰炸机，正是专门设计来克制共军的新锐防空舰。

被动探测一般无法测距，也就不能用在火控上（除非使用反辐射飞弹，但是一般战机的雷达可以开开关关，运动速度又快，不适合用反辐射飞弹攻击）。

多架飞机用被动探测的讯号，综合起来对敌机定位，理论上是可行的，实际上有个大问题：新式的AESA雷达，波束很窄很灵活，几乎没有副瓣，也就不会同时让多个目标接收到信号。当然用被动接收来吊打老一代的对手，还是有价值的。

进击的Vk7201

2017-08-10 00:00:00

关于最后一点，对战斗机比较困难，但是对于预警机或者一直开着警戒雷达的舰艇来说应该有威胁吧。如果能在400km外定位辐射源的话。

另外有个关于f22被动探测能力的资料分享给您，似乎是说可以确定三维坐标<http://www.f-16.net/forum/viewtopic.php?t=9268>

“

对付预警机当然可以。我想J-20的AESA一定有这个功能。

那是一篇F-22的公关文章，所以故意说得模棱两可，基本上是美国式忽悠。

OVL

2017-08-10 00:00:00

七公好久不见了~

// 美军刚研发完成的隐身LRASM（长程反舰飞弹），目前由B-1发射，但是将来必然是准备装备B-21隐身飞翼轰炸机，正是专门设计来克制共军的新锐防空舰。//

能否请七公谈谈中共针对这样的状况有无反制的方法呢？谢谢！

“

舰载预警机探测飞翼轰炸机有困难，但是探测LRASM这种尺寸（宽度刚好近似VHF/UHF的波长）的目标，不论它外形怎么修，还是可以看得到的。然后负责巡逻的歼击机赶过去，若是能找到轰炸机最好，否则就用空空导弹打下LRASM。这并不难，因为LRASM是亚音速的。

如果没有巡逻的战机在附近，那么就只好通报防空舰，让他们准备用上近防系统了。这些系统都是全自动的，但是有心理准备还是好些。

LRASM的射程极长，远在预警机探测距离之外。美国人宁可选择飞得慢的，也要打得远，就是为了避免轰炸机被拦截。别忘了，这些美军的隐身轰炸机比共军的防空驱逐舰还贵。

这并不代表只靠隐身轰炸机就可以完虐航母舰队，因为他们还是需要实时的侦察定位，才能在600多公里（射程是机密，这是我的估计）外发射LRASM。所以双方都会想办法先打掉对方的侦察卫星、无人机、预警机等等，最终还是整个体系的对抗。

