

TN/95 RCS 测量场背景电平对目标 RCS 测量的影响

朱志浩

北京 142 信箱 207 分箱 100854

雷达散射截面测量

目标雷达散射截面测量

摘要 目标 RCS 测量时,背景电平会影响测量精度。尤其在测量隐身目标 RCS 时,背景电平引入误差会加剧。微波暗室虽能人为地减少背景电平,把背景电平控制在一个较小的水平上。但在目标模型 RCS 换算成全尺寸目标 RCS 时,全尺寸目标的最小可测 RCS 不因微波暗室的低背景电平,也即不因目标模型的低最小可测 RCS 而呈现低的最小可测 RCS。尤其在大缩比测量时,更能凸现这种情况。微波暗室的 RCS 测量普遍采用连续波调零法体制。但在测量强前向散射弱后向散射这类目标时,用这种方法测量的目标 RCS 会发生严重失真,应当采用在硬件研制上有相当难度的脉冲选通测量法体制。

1 引言

RCS 测量的精度取决于测试设备的好坏和测试环境的优劣。测试设备误差源与测试环境误差源是相互独立的。如果仅是发射机、接收机、数据处理系统等测量设备精度很高,而作为环境误差源的背景电平也很高,则测量结果照样引入很大的误差。这就是为什么一个优良的 RCS 测量场要化费大量的人力和物力来尽量减少背景电平的原因所在。

2 背景电平引入测量误差的一般概念

背景电平由背景杂波贡献。背景电平作为评价一个 RCS 测量场好坏的重要参数,预先测出,单位为 m^2 , 或 dBsm 。

在 RCS 测量时,因背景杂波远大于接收系统内部噪声,因此不以信噪比、而以信杂比为前提来确定接收系统灵敏度,即最小可测 RCS。假定目标 RCS 的真值为 σ_T , 测量值为 σ , RCS 测量场的背景电平为 σ_B , 则由背景电平引起的 RCS 测量值相对误差限由 (1) 式给出^[1]。

$$\frac{\sigma_B}{\sigma_T} + \sqrt{\frac{\sigma_B}{\sigma_T}} \geq \frac{\sigma}{\sigma_T} - 1 \geq \frac{\sigma_B}{\sigma_T} - \sqrt{\frac{\sigma_B}{\sigma_T}} \quad (1)$$

与 (1) 式对应的误差关系图如图 1 所示^[1]。由 (1) 式知,背景电平引入的测量误差是动态误差,RCS 测量值大、背景电平引入误差就小,而 RCS 测量值小,则背景电平引入误差就大。这种情况对隐身目标 RCS 的测量极为

不利。

在实际运用时,即由 RCS 测量值求背景电平的引入误差时,把此 RCS 测量值当作真值求出信杂比 (σ_T/σ_B),再由 (1) 式或图 1 求出给定信杂比下的背景电平引入误差。表 1 给出几个常用误差限数据。

表 1 由背景电平引入的 RCS 测量误差限举例

信杂比 (dB)	(σ_B/σ_T)	最大正误差		最大负误差	
		dB	%	dB	%
0	1	3	100		
10	0.10	2.3	73	-3.2	-53
15	0.03	1.4	39	-1.7	-33
20	0.01	0.83	21	-0.92	-19
25	0.003	0.47	12	-0.49	-11
30	0.001	0.27	6	-0.27	-6

最小可测 RCS 是 RCS 测量场的另外一个重要指标。有时,把 RCS 测量场的背景电平作为该测量场的最小可测 RCS (此时的信杂比为 1)。这是偏面的,因为,该最小可测 RCS 存在着 3dB 的背景电平引入误差。实际上,不以信杂比为前提条件的最小可测 RCS 是没有意义的。

目前,优良的室外全尺寸目标 RCS 测量场的背景电平仅有 -40dBsm 。应当说,这个背景电平对于一个室外 RCS 测量场来说,是比较小的。但要保证一定信杂比这个前提条件,则最小可测 RCS 就不那么小了。表 2 是背景电平为

-40dBsm 的 RCS 测量场, 在几种信杂比条件下 的最小可测 RCS 值。

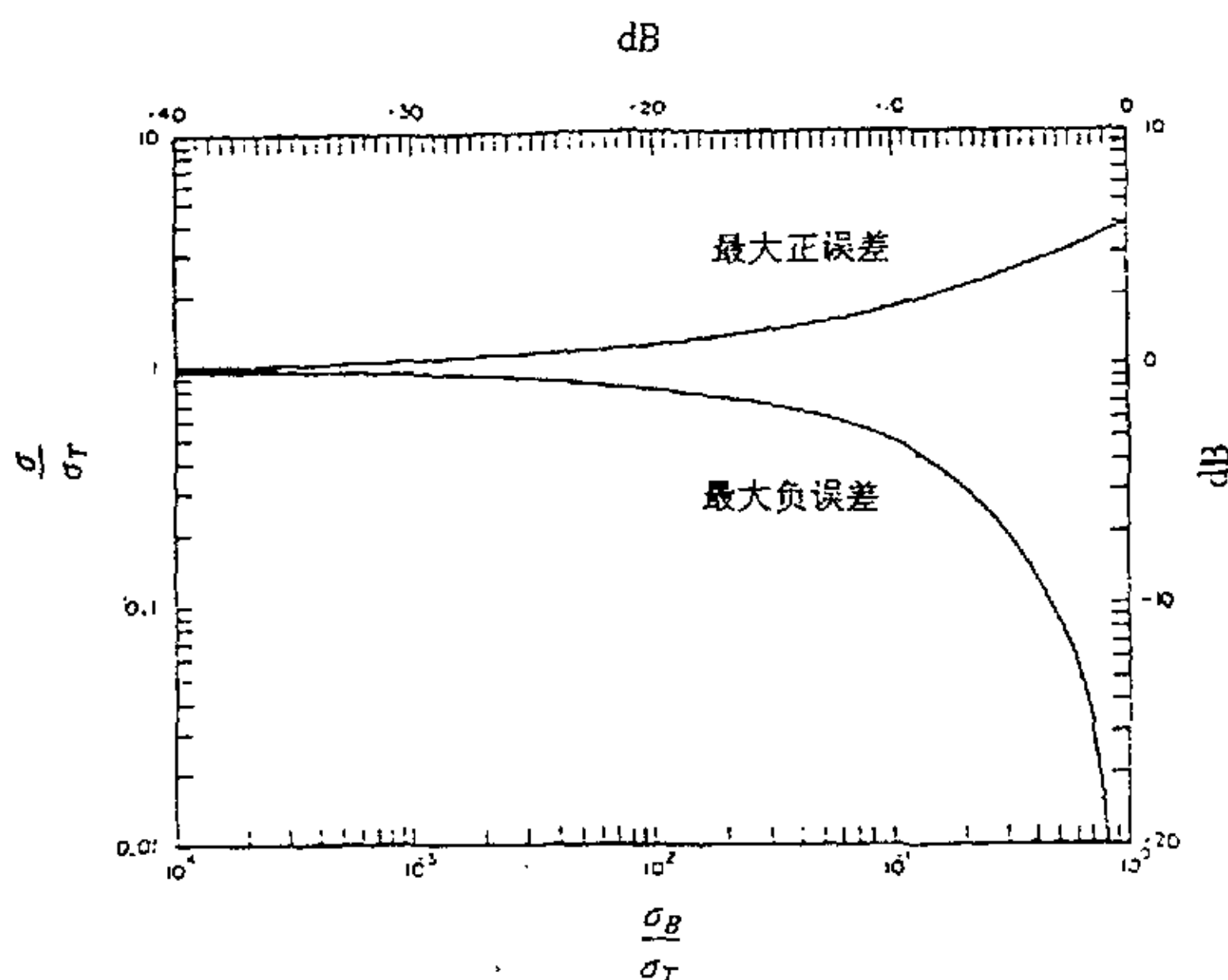


图1 由背景电平引入的 RCS 测量误差限

由表 2 知, 要保证 25dB 信杂比这个前提条件, 即要保证背景电平引入误差小于 ± 0.5 dB, 背景电平为 -40dBsm 的 RCS 测量场的最少可测 RCS 为 0.03 米²。这个最小可测 RCS 指标不能胜任隐身目标 RCS 的测量任务。这是因为, 隐身目标 RCS 在许多方位上都小于 0.03 米²。例如美国隐身轰炸机 F-117A 在迎机头方向上的 RCS 仅有 0.001 ~ 0.01 米²[2]。

表 2 几种信杂比条件下的最小可测 RCS 值
(RCS 测量场的背景电平为 -40dBsm)

信杂比(dB)	0	10	15	20	25	30
最小可测 RCS (dBsm)	-40	-30	-25	-20	-15	-10
最小可测 RCS (米 ²)	0.0001	0.001	0.003	0.01	0.03	0.1

3 缩比模型 RCS 测量对背景电平的特殊要求

假定全尺寸理想导体目标的 RCS 为 $\sigma_{全}$, 缩小 S 倍后的缩比模型 RCS 为 $\sigma_{缩}$ 。根据理想导体目标的缩比原理知:

$$\sigma_{全} = \sigma_{缩} \cdot S^2 \quad (2)$$

通过 (2) 式可得由缩比模型 RCS 数据换算来的全尺寸目标的最小可测 RCS $\sigma'_{全min}$ 。由 (3) 式给出,

$$\sigma'_{全min} = \sigma'_{缩min} \cdot S^2 \quad (3)$$

$\sigma'_{缩min}$ 为缩比模型的最小可测 RCS。假定用 dBsm 单位表示的 $\sigma'_{全min}$ 和 $\sigma'_{缩min}$ 为 $\sigma_{全min}$ 和 $\sigma_{缩min}$, 则 (3) 式变为:

$$\sigma_{全min} = \sigma_{缩min} + 20\lg S \quad (4)$$

假定 $\sigma_{缩min}$ 为信杂比 20dB 条件下的 -40dBsm, 则可以求出 $\sigma_{全min}$ 与 S 之间依赖关系, 如图 2 所示。

从 (4) 式知, 由缩比模型测量的 RCS 换算到全尺寸目标的 RCS 时, 最小可测 RCS 上升了 $20\lg S$, 尤其在大缩比测量时, 这个矛盾更为突出。例如, 由缩小 40 倍的模型 RCS 推算全尺寸重型轰炸机 RCS 时, 该重型轰炸机的最小可测 RCS 仅为 -8dBsm, 灵敏度如此低的 RCS 数据无法进行逼真的目标 RCS 建模和仿真。这就是为什么, 在紧凑场中尽量建造大尺寸抛物面反射体、尽量抑制抛物面反射体边缘绕射, 以达到小缩比、甚至不缩比地在暗室中测量目标 RCS 的原因所在。

4 RCS 连续波调零测量法对微波暗室背景电平的特殊要求

背景电平影响 RCS 测量精度的程度由图 1 所示。应当说, 背景电平对 RCS 测量精度的影响是令人讨厌的。随着 RCS 测量技术的发展,

我们发现,用连续波调零法测量强前向散射弱后向散射型目标(如锥球目标,图3示)RCS时,除了产生刚才所述的背景误差外,还使目标的RCS图形产生严重畸变^{[3],[4]},如图4所示(方位角零度方向为锥球旋转轴方向)。与脉冲选通法测量结果比较,连续波调零法测量结果严重失真。产生失真的机理是:“调零”是在未放目标时进行的。当放上锥球一类目标时,由于目标的强前向散射性能,就把发射能量“聚束”到暗室后墙。此时照射在后墙上的能量要大于“调零”时没有“聚束”地照射在后墙上的能量。这样就破坏了原先的“调零”状态,没有“调零”完的剩余背景电平与目标的后向

散射电平一块反馈给接收系统。虽然剩余背景电平不大,但是能对锥球一类目标的后向散射电平起到了干扰作用,造成了如图4所示的RCS图形严重失真的情况。这种情况不是耸人听闻。

用作天线通带外隐身的锥形金属天线罩就是这样一类强前向散射弱后向散射型目标。在美国,就是一般目标的连续波调零法RCS测量也是每5~10分钟重调一次调零支路的平衡状态^[5],尽量减少背景电平对测量精度的影响。锥球一类目标的RCS测量,或是采用脉冲选通法、或是采用矢量相减法来减少背景电平的作用,提高测量精度。

5 参考文献

- 1 George T. Ruck, "Radar Cross Section Handbook" Vol. 2, 1970.
- 2 [英] D. 理查森著, 魏志祥等译, 《现代隐身飞机》, 科学出版社, 1991.
- 3 Brian M. Kent, et al. "The AFWAL Compact Range Experience", from "Measurement, Processing and Analysis of Radar Target Signatures" Vol. 2, 1985. 9.
- 4 George R. Simpson, "Comparison of Background Characteristics of an RCS Measurement Range Using A CW - nulling Technique and a Pulse - gating Technique" AD - A 163 965, 1986. 2.
- 5 David G. Mazus, "Design Methodology of an Automated Scattering Measurement Facility" AD - A 163 896, 1986. 2.

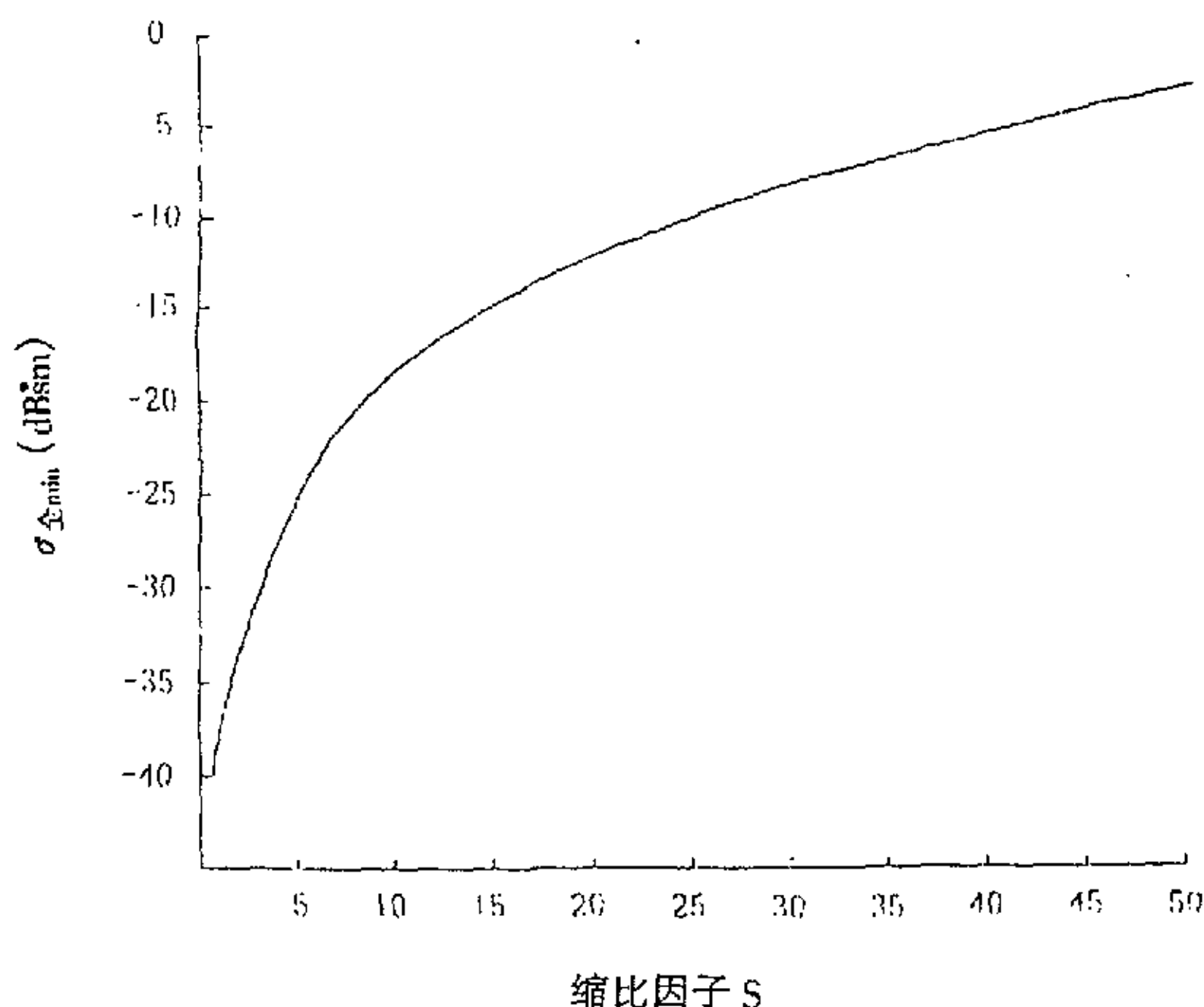


图2 由缩比模型 RCS 推算的全尺寸目标的最小可测 RCS 与缩比因子 S 的关系图
(缩比模型 RCS 测量场最小可测 RCS 为 -40dBsm)

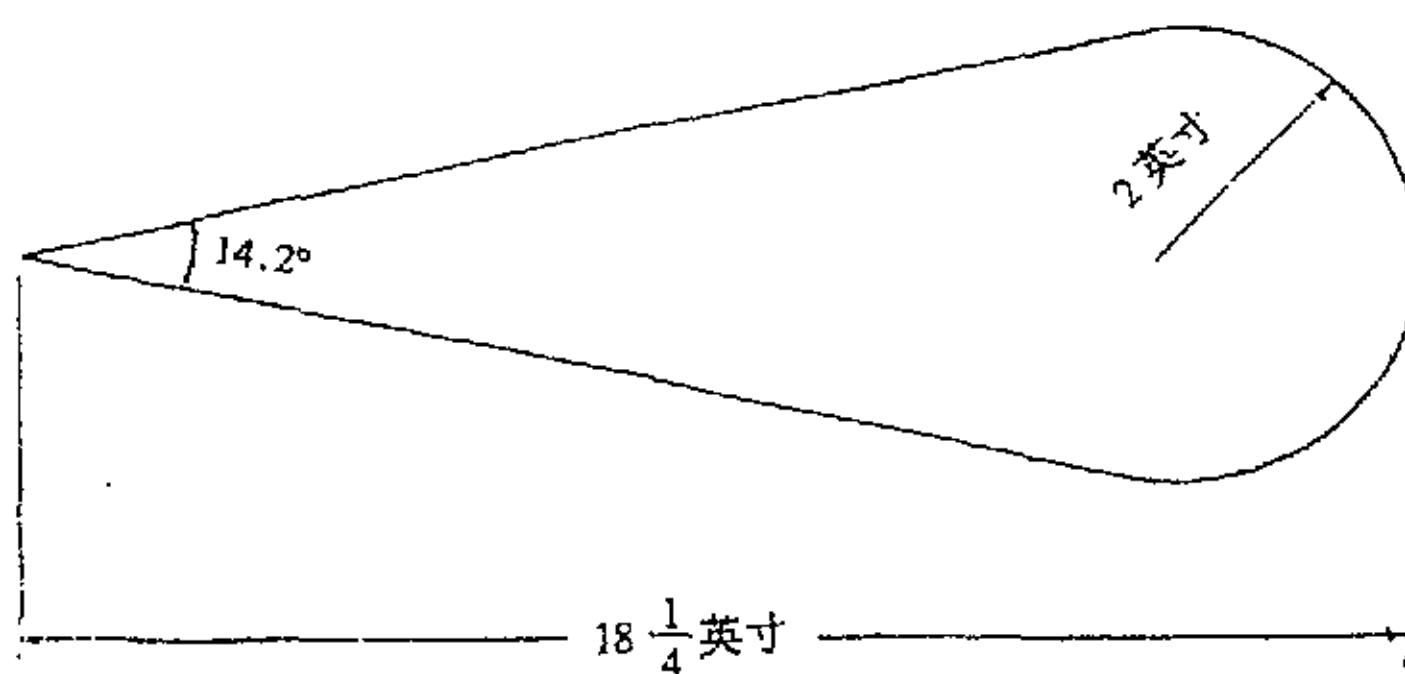
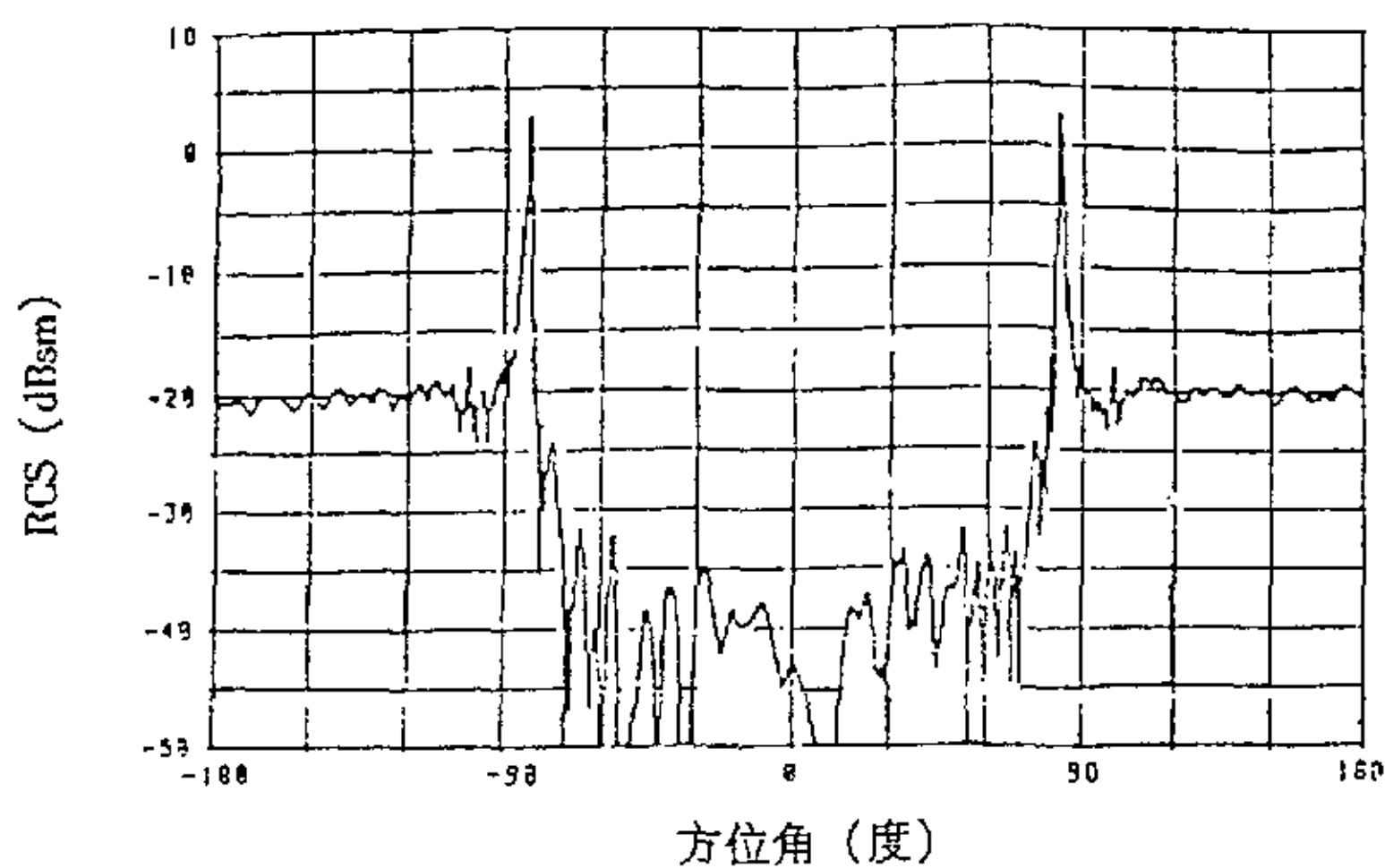
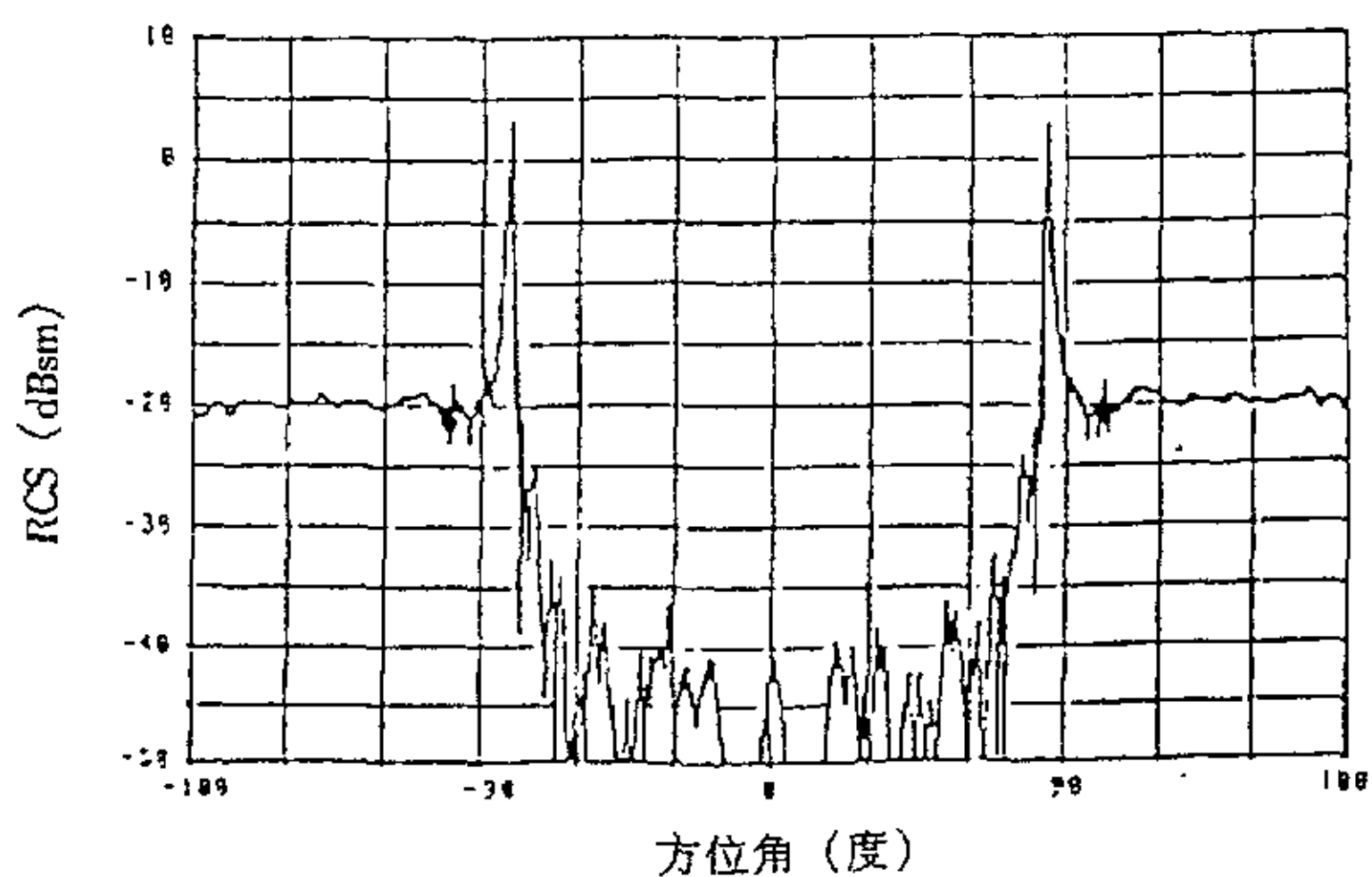


图3 锥球目标尺寸图 (锥长 $18 \frac{1}{4}$ 英寸、锥角 14.2° , 球半径 2 英寸)



(a) 连续波调零法测量结果



(b) 脉冲选通法测量结果

图4 图3示锥球目标 RCS 测量结果 ($f=18\text{GHz}$, 水平极化)

雷达散射截面 (RCS) 分析培训课程

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立, 致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养, 是国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地。客户遍布中兴通讯、研通高频、国人通信等多家国内知名公司, 以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

雷达散射截面 (Radar Cross Section, 简称 RCS) 是雷达隐身技术中最关键的概念, 也是电磁理论研究的重要课题, 使用 HFSS 软件可以很方便的分析计算各种目标物体的 RCS。

由易迪拓培训推出的《HFSS 雷达散射截面分析培训课程套装》是从零讲起, 系统地向您讲授如何使用 HFSS 软件进行雷达散射截面分析的全过程。该套视频课程由专家讲授, 边操作边讲解, 直观易学。

HFSS 雷达散射截面分析培训课程套装



套装包含两门视频培训课程, 其中: 《两周学会 HFSS》培训课程是作为 HFSS 的入门培训课程, 帮助您在最短的时间内迅速熟悉、掌握 HFSS 的实际操作和工程应用; 《HFSS 雷达散射截面(RCS)分析》培训课程是专门讲授如何使用 HFSS 来分析计算雷达散射截面, 包括雷达散射截面、单站 RCS、双站 RCS 等的定义, 实例讲解使用 HFSS 分析单站 RCS、双站 RCS 和宽频 RCS 的相关设置和实际操作等。视频课程, 专家讲授, 从零讲起, 直观易学...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/130.html>

更多培训课程:

- **HFSS 培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/>

- **CST 培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/>

- **天线设计培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/>