



6.1 电磁散射测试原理

6.2 RCS测量基本概念

6.3 目标RCS测量方法

习题六



6.1 电磁散射测试原理

6.1.1 雷达截面测量目的

- 尽管电磁理论有其完整性，可以分析若干典型的散射机理，但理论并不是万能的；
- 虽然多种计算方法能够估算出目标的RCS性能，但每种算法都有各自的局限性；
- 数值程序估算精度也需要测量数据的验证。

1. RCS测量目的：

- 取得对目标基本散射现象的了解
- 取得目标的特征数据
- 检验系统的性能
- 建立目标特性数据库



2. RCS测量设备至少应包括以下5部分：

- 测试雷达：应能有发射和接收足够强度微波信号的能力
- 记录仪：能以模拟的或数字的方式存储信息
- 转台：能够承载和固定目标，并通过旋转而改变目标的姿态角
- 低噪声环境：如微波暗室和“隐蔽”式目标支撑结构等，使干扰信号对有用信号的影响最小
- 被测目标

根据室外和室内的不同特点，所使用的测量仪器有所不同，并可能用其他仪器和装置去改进和补充这五个基本单元



3. 高水平RCS 测量对测试系统的基本要求:

- (1) 所测RCS 值须与目标方位和距离相关联。
- (2) 有足够的记录速率反映细微信息。
- (3) 能测量所有的目标频段和极化方式。
- (4) 信噪比足够小，能测量所需的低RCS 目标。
- (5) 有足够的幅度动态范围。
- (6) 具备监控功能，可以实时判断测量数据的质量。
- (7) 能保存数据用于后续处理。



6.1.2 RCS测试原理

雷达方程

$$P_r = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4}$$

由雷达距离方程可知，当式中除 P_r 和 σ 外其它各项参数固定不变时，目标的雷达散射截面 σ 的值仅与接收功率 P_r 成正比。据此，我们可确立目标RCS的测量方法，得到RCS测量的表达式

$$\sigma = \sigma_0 \frac{P_r}{P_0}$$

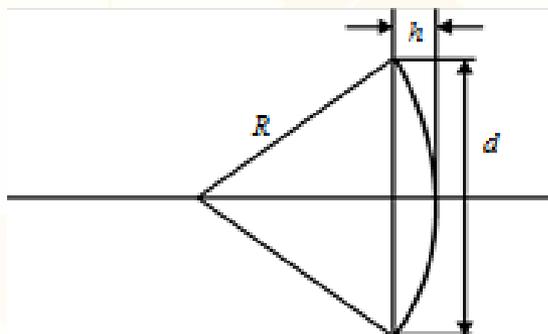
式中， σ_0 为标定目标(如标准的金属球或金属平板)的RCS值； P_0 为在相同条件下对标定目标进行测量时的接收功率。

用分贝表示为
$$\sigma = 10 \lg \frac{P_r}{P_0} + \sigma_0 = 20 \lg \frac{|E_r|}{|E_0|} + \sigma_0$$



6.2 RCS测量基本概念

6.2.1 远场测量条件



球面波前在目标口径面上的相位偏差

考察入射到与目标同宽度的口径上相位波前偏离均匀分布的情况：

$$h = R - \sqrt{R^2 - (d/2)^2}$$

$$h = R \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{d}{2R}\right)^2} \right]$$

假设 $d \ll 2R$ ，则有 $h \approx \frac{d^2}{8R}$

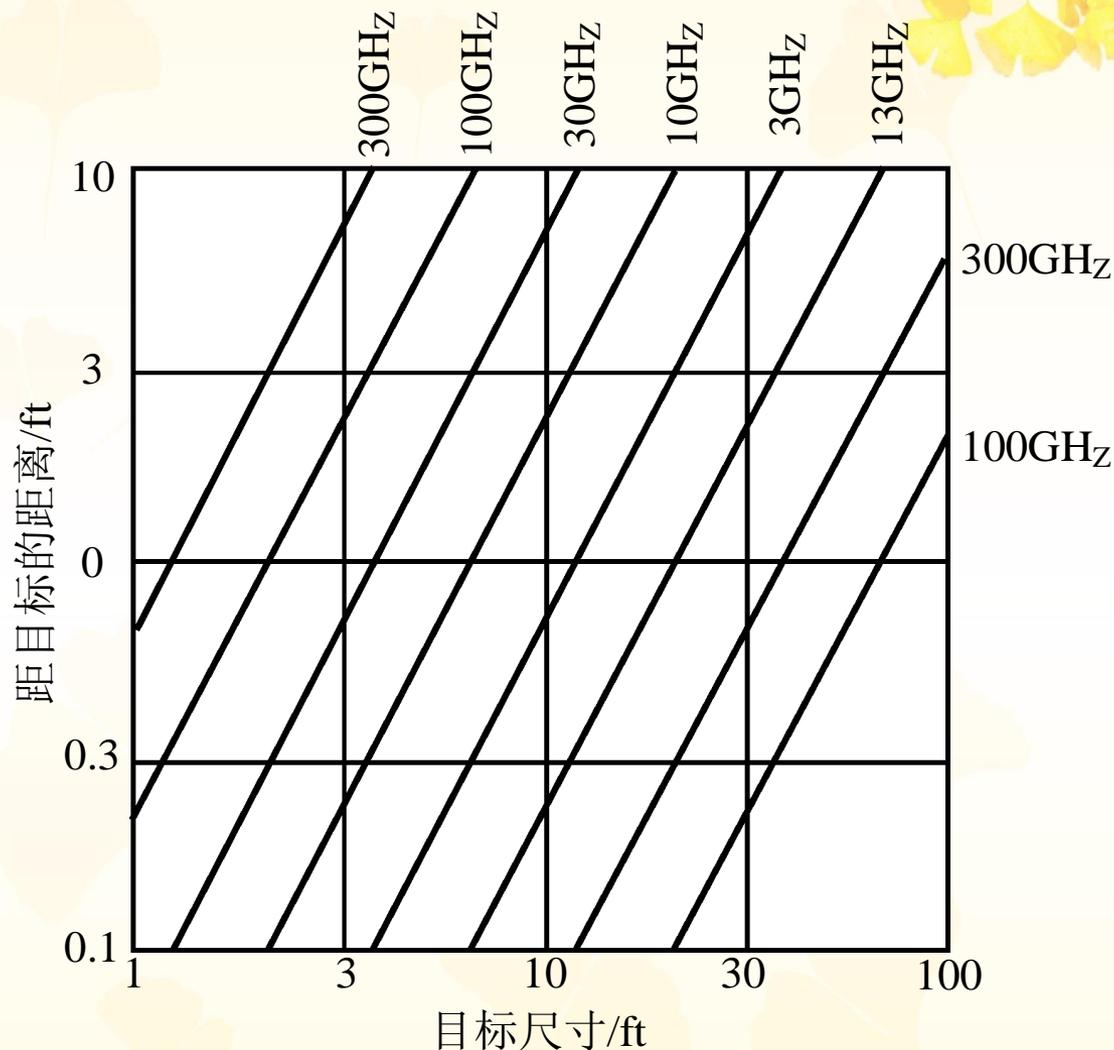
通常要求 $kh \leq \pi/8$ ，即 $h \leq \lambda/16$

由此得到：
$$R \geq 2 \frac{d^2}{\lambda}$$

其结果与曲面散射的等相位宽度及天线测量的远场条件相似。

第6章 电磁散射测量

- 对于低频而言，远场要求不难满足；但对高频，一般的测试雷达灵敏度和测试场地尺寸就难以满足远场要求。
- 有时为保证足够的接收信号强度，不得不选择较小的测量距离。减小测量距离的主要影响是入射场的横向相位偏差和轴向幅度衰减。

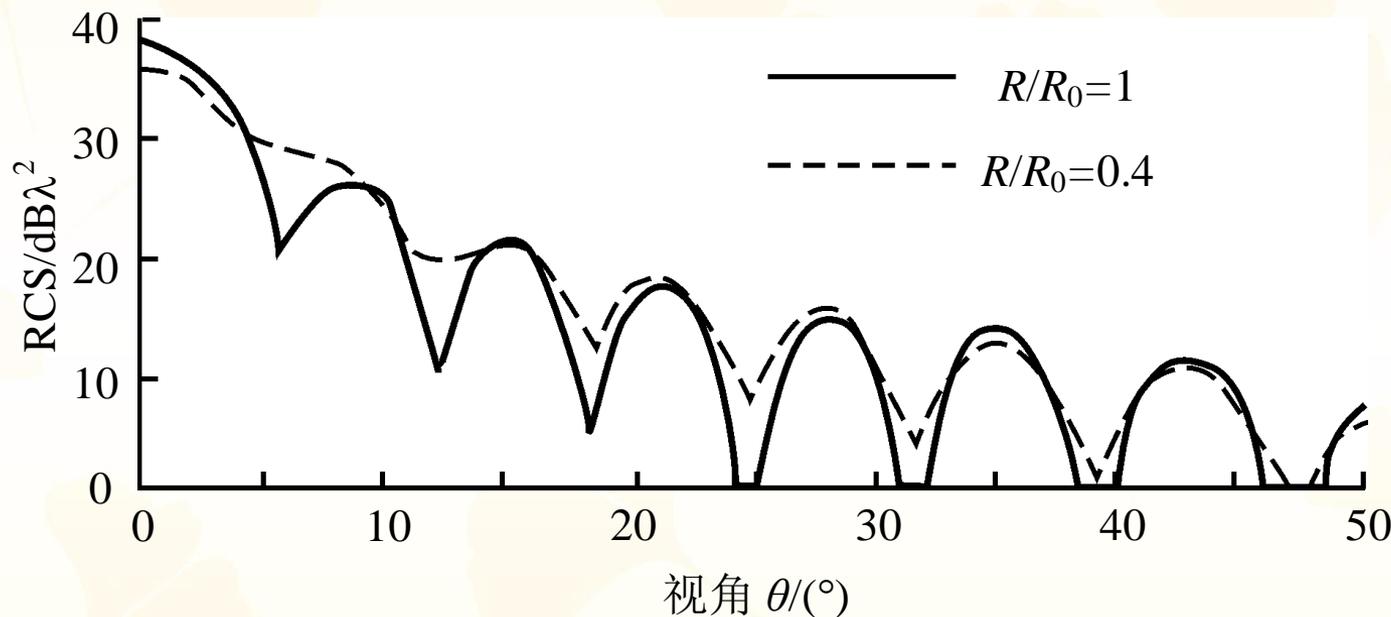


RCS测量的远场条件



第6章 电磁散射测量

对于很简单的目标，例如平板、圆柱体等，近场影响的主要特征表现为零点被充填和主副瓣电平变化。

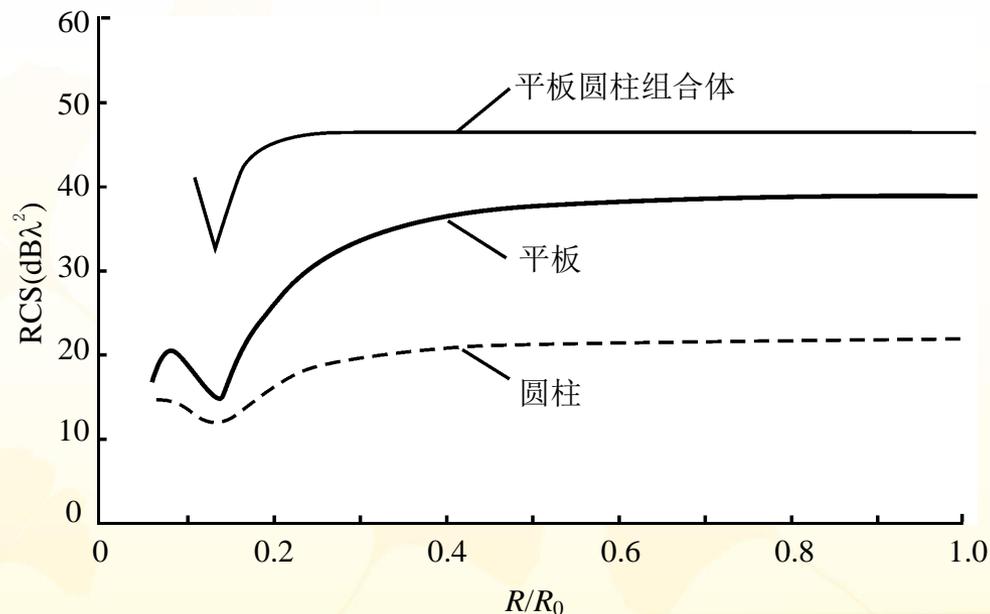


$5\lambda \times 5\lambda$ 平板的RCS分布



第6章 电磁散射测量

- 高频局部场原理：在高频时，目标各部分的散射能量几乎与其他部分的散射能量无关。
- 对于较为复杂的目标，组合目标不满足远场条件，而每个局部却可能满足远场条件；由于高频场局部性原理，各个局部的散射幅度的大小，以及散射图的主瓣、副瓣和零点等，对测试距离并不敏感。
- 该情况下，小于 R_0 的测试距离对RCS 测量的主要影响是散射方向图的波瓣和零点略有变化，但对被测目标的RCS 的主瓣峰值影响却较小。
- 对大型复合目标而言，往往可以在小于标准远场距离处进行测量。



6.2.2 电磁缩比测量

缩比模型测量是将目标几何尺寸按一定的比例因子缩小，并按相似率缩小雷达波长和材料参数，以实现在小尺度空间(通常是微波暗室)内的模拟测量，并据此反演实际尺寸目标的散射特性。

缩比测量是目标特性研究的主要手段之一，缩比测量的理论依据是电磁相似律，电磁相似律可以从经典电动力学的麦克斯韦方程组出发推导。

$$\nabla \times \mathbf{H} = \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} + \mathbf{J}$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho$$

矢量运算符($\nabla \times$ 和 $\nabla \cdot$)体现了上述各场量间的时间与空间耦合关系



对于各向同性介质，有如下本构关系

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{D} &= \varepsilon \mathbf{E} \\ \mathbf{B} &= \mu \mathbf{H} \\ \mathbf{J} &= \sigma \mathbf{E} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} \nabla \times \mathbf{E} &= -\mu \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} \\ \nabla \times \mathbf{H} &= \varepsilon \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \sigma \mathbf{E} \end{aligned}$$

要使缩比模型严格相似于全尺寸原型，它们间的场变换关系须使麦克斯韦方程从模型系统变换到原型系统，即两个系统中的电磁场均须满足麦克斯韦方程。

假设模型尺寸是原型尺寸的 l 倍(l 可以大于或小于1)，模型的部分均须与原型的相应部分同比例几何缩小或放大。

$$L' = lL \quad L = pL' \quad p = 1/l \quad \text{定义为缩比因子}$$

同时，时间也进行减缩

$$t' = Tt = \frac{1}{f}t \quad \frac{\partial}{\partial t'} = \frac{1}{T} \frac{\partial}{\partial t} = f \frac{\partial}{\partial t}$$

T 是模型系统时间与原型系统时间的比率。由于场的时间跨度与频率成反比，则 f 为模型频率与原型频率的比率。

有意义的缩比要求模型的电磁特性跟原型完全相同，只在量值上相差一个因子

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{E}' &= e\mathbf{E} \\ \mathbf{H}' &= h\mathbf{H} \end{aligned} \right\}$$

e 和 h 分别是模型系统中的电场和磁场与原型系统对应量的比率。



第6章 电磁散射测量

$$\left. \begin{aligned} \nabla' \times \mathbf{E}' &= \frac{1}{l} \nabla \times \mathbf{E}' = \frac{e}{l} \nabla \times \mathbf{E} = -\mu' \frac{\partial \mathbf{H}'}{\partial t'} \\ \nabla' \times \mathbf{H}' &= \frac{1}{l} \nabla \times \mathbf{H}' = \frac{h}{l} \nabla \times \mathbf{H} = \varepsilon' \frac{\partial \mathbf{E}'}{\partial t'} + \sigma' \mathbf{E}' \end{aligned} \right\} \longleftrightarrow \left. \begin{aligned} \nabla \times \mathbf{E} &= -\mu \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} \\ \nabla \times \mathbf{H} &= \varepsilon \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \sigma \mathbf{E} \end{aligned} \right\}$$

第一式乘以 l/e ，第二式乘以 l/h ，继续变换得到

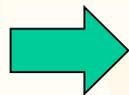
$$\left. \begin{aligned} \nabla \times \mathbf{E} &= -\frac{1}{e} \mu' \frac{\partial \mathbf{H}'}{\partial t'} = -\mu' l f \frac{h}{e} \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} \\ \nabla' \times \mathbf{H}' &= \frac{l}{h} \varepsilon' \frac{\partial \mathbf{E}'}{\partial t'} + \sigma' \mathbf{E}' = \varepsilon' l f \frac{e}{h} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \sigma' l \frac{e}{h} \mathbf{E} \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} \mu &= \mu' l f \frac{h}{e} \\ \varepsilon &= \varepsilon' l f \frac{e}{h} \\ \sigma &= \sigma' l \frac{e}{h} \end{aligned} \right\}$$

重新定义 ε 、 μ 和 σ 分别为模型系统与原型系统的介电常数、磁导率和电导率的比率

$$\left. \begin{aligned} \mu l f \frac{h}{e} &= 1 \\ \varepsilon l f \frac{e}{h} &= 1 \\ \sigma l \frac{e}{h} &= 1 \end{aligned} \right\}$$

$$\text{令 } \xi = \frac{e}{h}$$



$$\left. \begin{aligned} \mu l f &= \xi \\ \varepsilon l f \xi &= 1 \\ \sigma l \xi &= 1 \end{aligned} \right\}$$

上式包含6个变量3个非线性方程，求它们的完全解是一个复杂的过程，至今未有全面的报道。

可行的方法是，结合实际的缩比要求，进行特定条件下的讨论，得出 l 、 f 和 ξ 关于可選用介质物理特性 ε 、 μ 和 σ 的函数。



- 最为直接的限定条件是，要求缩比模型的电磁场与原模型完全相同，

$$e = 1; \quad h = 1$$

- 进一步限定模型缩比时介质的极化、磁化特性保持不变，即

$$\varepsilon = 1; \quad \mu = 1$$

$$\begin{array}{ccc} \rightarrow & \left\{ \begin{array}{l} \mu l f = 1 \\ \varepsilon l f = 1 \\ \sigma l = 1 \end{array} \right. & \rightarrow & \left\{ \begin{array}{l} l f = 1 \\ \sigma l = 1 \end{array} \right. \end{array}$$

- 只需令模型测试频率为原型频率的 $1/l$ (或 p)倍，便可使上式的第一式成立；
- 同时，对理想导体 $\sigma \rightarrow \infty$ ，对无耗介质 $\sigma \rightarrow 0$ ，第二式也成立。

因此，由理想导体或无耗介质组成的非色散无耗电磁系统，缩比测量只需进行简单的几何和频率缩比，这也是使用最早、应用最多的一种缩比方法。

第6章 电磁散射测量

非色散无耗电磁系统缩比率(缩比因子 p)

物理量	原型系统	模型系统
长度	l	l/p
时间	t	t/p
频率	f	$f p$
波长	λ	λ/p
传播常数	k	$k p$
电导率	σ	σp
介电常数	ε	ε
磁导率	μ	μ
本特阻抗	η	η
天线增益	g	g
散射截面	δ	δ/p^2



- 可见，电磁缩比测量的经典相似率是有前提的，不须考虑原型系统的极化损耗、磁化损耗和传导损耗，即要求原型系统是非色散无耗电磁系统。
- 当电磁系统存在损耗时，媒质特性可用复参数 $\tilde{\epsilon}_r$ 和 $\tilde{\mu}_r$ 来描述，它们都是频率的函数。所以，同一介质在缩比频率下的电参数并不一定等于原型频率下的电参数，这便与经典相似律相矛盾，即所谓的“经典相似律的不相容性”。
- 为了解决经典相似律中的不相容性问题，人们进行了大量研究，已有一些代表性的方法可供参考^[1,2]。

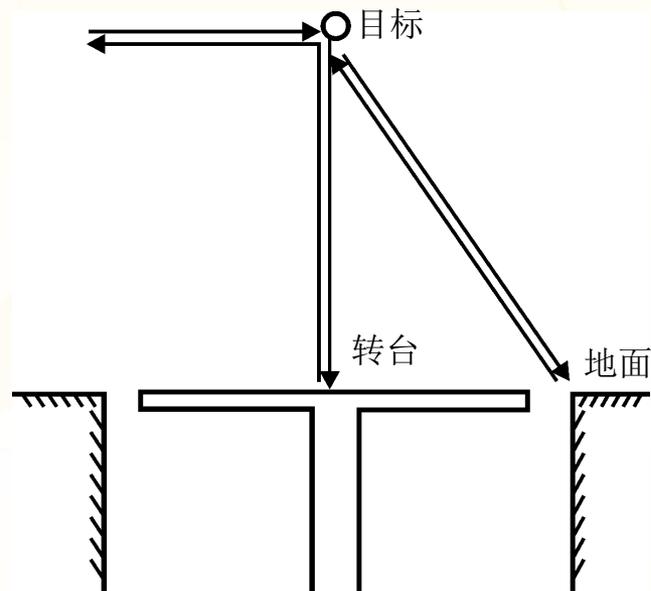
[1] 刘铁军, 张向阳. 有耗目标电磁散射缩比测量的相似律研究. 电子学报, 1992, 20(12): 12-19.

[2] 时振栋, 刘宏伟. 隐身目标雷达截面的缩比测量与反演计算. 电子科技大学学报, 1995, 24(7): 13-17.



6.2.3 目标与地面的干涉

- 目标与转台或地面之间可能存在相互作用和散射场干涉。
- 目标直接散射的回波与多重散射回波具有不同的路径长度，因此在目标主回波后可出现一系列回波“重影”。



- 为减小目标与地面干涉的多径影响，最方便的办法是用雷达吸收材料覆盖转台和目标附近的地面。
- 另一种方法是采用短的雷达脉冲宽度，采用距离门技术消除目标与地面多重散射的影响。



6.2.4 背景噪声的影响

- 目标回波信号幅度与 RCS 测试距离的四次方成反比，在满足远场条件时信号幅度往往是十分微弱的。
- 在进行 RCS 测试时一方面要求测试雷达系统有且够的灵敏度(决定于发射功率、天线增益、接收机灵敏度、测试频率等)，另一方还要求背景噪声电平足够低，才能有效地检测出目标自身的回波信号。
- 背景噪声电平如何量化？



第6章 电磁散射测量

假定目标产生的散射场和背景干扰引起的散射场与接收天线的极化方向一致

$$\mathbf{E}_m = \mathbf{E}_t + \mathbf{E}_b \exp(j\phi)$$

因为散射场的平方与目标RCS成正比，故由上式可得

$$\sqrt{\sigma_m} = \sqrt{\sigma_t} + \sqrt{\sigma_b} \exp(j\phi)$$

利用欧拉恒等式和余弦定理，可把上式变为

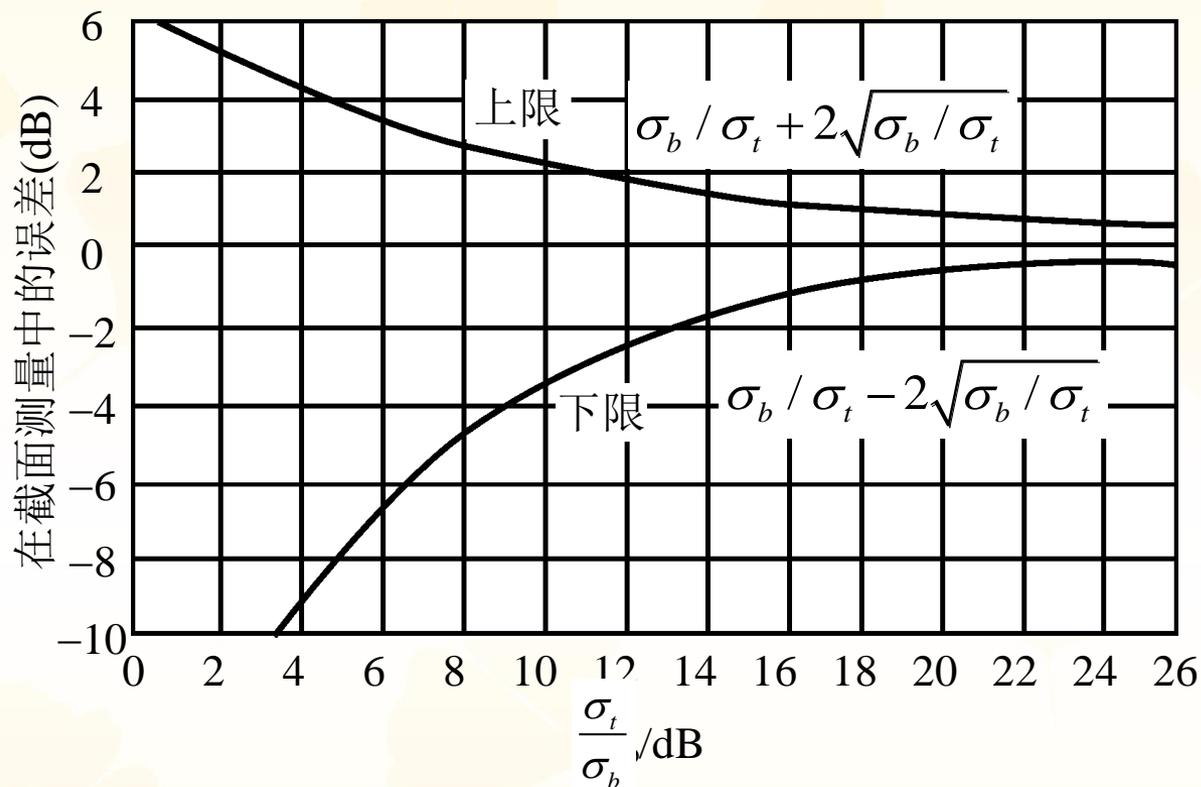
$$\sigma_m = \sigma_t + \sigma_b + 2\sqrt{\sigma_t \sigma_b} \cos \phi$$

由于 $\cos\phi$ 的变化范围为 ± 1 ，因此实测的目标雷达截面可在如下的范围内变化

$$\sigma_t + \sigma_b + 2\sqrt{\sigma_t \sigma_b} \geq \sigma_m \geq \sigma_t + \sigma_b - 2\sqrt{\sigma_t \sigma_b}$$

$$\text{相对误差: } \sigma_b / \sigma_t + 2\sqrt{\sigma_b / \sigma_t} \geq \frac{\sigma_m - \sigma_t}{\sigma_t} \geq \sigma_b / \sigma_t - 2\sqrt{\sigma_b / \sigma_t}$$

第6章 电磁散射测量



- 如果要求测量精度为 $\pm 3\text{dB}$ ，则背景噪声 σ_b 应比目标回波 σ_t 低 10dB ；如果测量精度为 $\pm 1\text{dB}$ ，则 σ_b 应比 σ_t 低 20dB ，可见要精确测量目标的雷达截面必须严格控制背景噪声电平。



- 背景噪声主要来源于地面、周围环境、目标支架等。
- RCS测量理想环境是微波暗室，必须在室外进行RCS测量时，可在反射地面铺设吸波材料或设置阻挡屏。
- 为了减小来自目标支架的背景噪声，可采用泡沫支架，或利用非金属线悬挂目标，支架形状可以做成菱形剖面或在金属支架上涂以吸波材料。
- 也可利用信号处理方法(如矢量场相减技术、距离门选通、有源及无源对消技术等)来降低背景噪声电平。



6.2.5 低散射背景技术

- 近年来，由于隐身武器系统和缩比测量的发展，人们对低RCS的测量给予了特殊的关注。
- 在低RCS测量中，背景反射电平是影响测量精度的关键因素。为了精确测量低RCS目标，必须尽可能地降低背景反射电平，这就是所谓的低散射背景技术。
- 低散射背景技术主要包括低散射目标支架技术、矢量场相减技术、软件距离门技术和硬件选通门技术。



1. 低散射目标支架技术

测量RCS一般采用3种方法支撑目标：

- 悬线吊挂：这种方法操作麻烦，误差较大，而且在测量大目标时悬线本身就要做得很粗，且受弹性变形的影响；
- 泡沫塑料支架：广泛用于目标RCS测量，优点在于其容易制造、价格低廉、对被测目标没有特殊要求等。但是，由于测量时目标与支架一起转动，支架的非圆对称造成支架回波的起伏；同时，安装目标后，支架的变形减小了背景抵消技术的效果；
- 金属支架：目前国内外有很多测试场均配置了一个或多个金属支架，其金属外壳呈橄榄形，并在其上覆盖吸波材料。



- 测量中，为了抵消金属支架产生的回波的影响，需先测出无目标时金属支架的回波；
- 为了模拟支架与目标的耦合，设计了专门的固定架，它可模拟目标的影响而自身的回波极小；
- 采用如下测量过程补偿金属支架背景回波：
 - 先测量有固定架时的金属支架的回波；
 - 然后取走固定架，放置目标，测量目标回波。

由于固定架模拟了目标的影响，放置前后金属支架固有的回波没有改变，提高了测量精度。



2. 矢量场相减技术

- 暗室的后墙、侧墙、目标支架等引起的反射回波通称为背景回波；
- 考虑在时间间隔不是很大的两次测量中目标环境基本是不变的，绝大多数回波稳定地重复出现；
- 矢量场相减技术：首先测量定标体的反射回波 \mathbf{E}_0 ，然后取走定标体测量空暗室的回波 \mathbf{E}_1 ，最后测量放置目标后的散射波 \mathbf{E}_t 则目标的RCS 为

$$\sigma_t = 20 \lg \frac{|\mathbf{E}_t - \mathbf{E}_1|}{|\mathbf{E}_0 - \mathbf{E}_1|} + \sigma_0$$

其中的背景回波是作为一个复数值从目标回波和定标体回波中被减去的，这是一个已被广为采用的RCS基本定标方法。



3. 软件距离门技术和硬件选通门技术

- 对扫频测量获得的RCS数据进行傅里叶变换可以得到散射源在纵向距离上的分布，使目标回波与背景回波在距离上分开，利用测量程序可以只录取目标区域的RCS数据，消除背景回波的干扰。
 - ①将频率域数据变换成时间域数据。
 - ②从时间域数据中消去不希望有的信号成分。
 - ③反变换成频率域数据。
- 硬件选通门技术只适用于时域RCS测量系统。时域系统发射机发射的是脉冲串，可以在接收机加时间选通门，仅当目标反射信号到达接收机时选通门打开，目标反射信号进入接收机；而与目标反射信号在时间上有差异的其他干扰信号到达时则关闭选通门。但是与目标回波同时到达的干扰信号对测量的影响仍然存在。



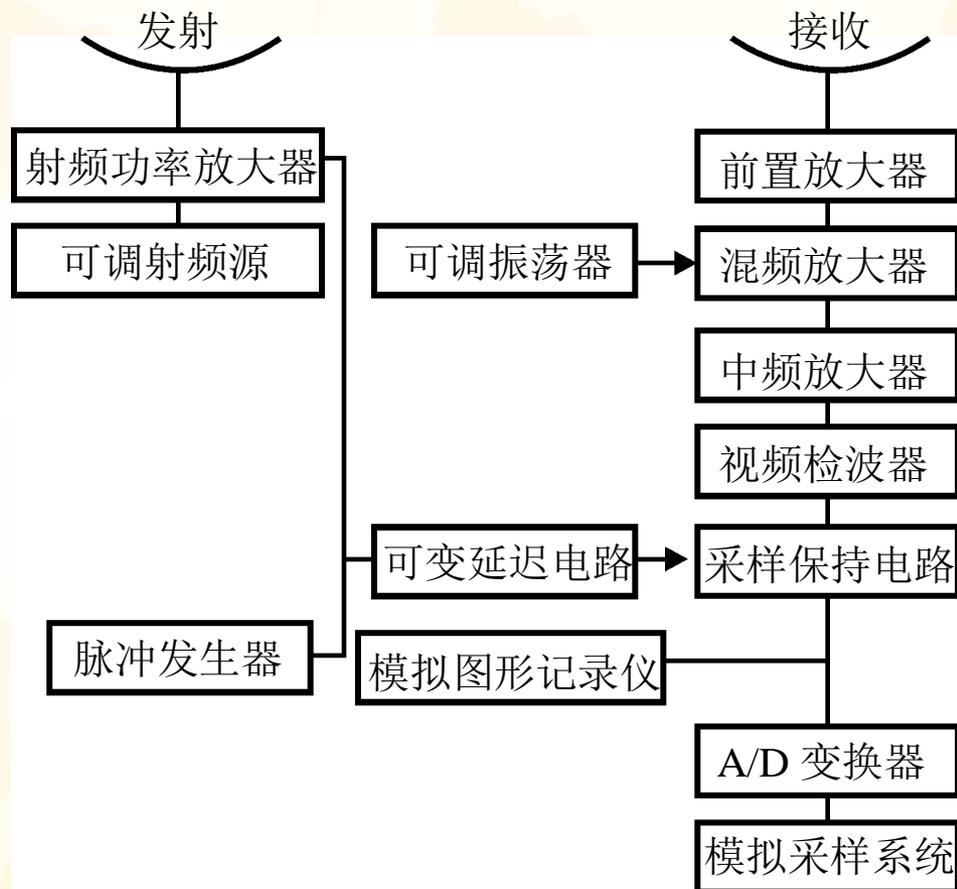
6.3 目标RCS测量方法

6.3.1 RCS 测量的分类

- 按照被测目标的状态：动态目标测量和静态目标测量
- 根据测试场地的不同：室外测量和室内测量
- 按照收发天线配置方式：单站测量和双站测量
- 根据发射信号的波形：连续波(长脉冲)测量和高分辨力(短脉冲)测量
- 按照回波信号处理方式：普通型测量(RCS幅度)和相干型(RCS幅相)测量



6.3.2 室外RCS 测量



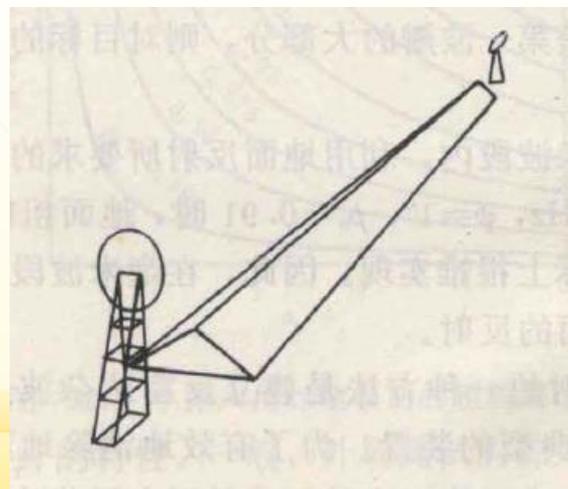
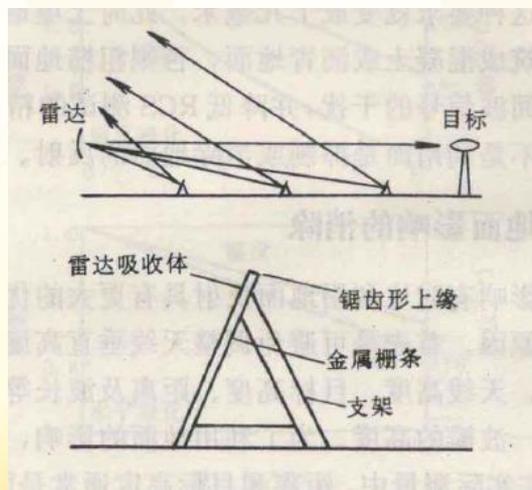
简单的RCS幅度测量雷达



室外RCS测量需要考虑的问题是地面的影响和天线方向图的影响。

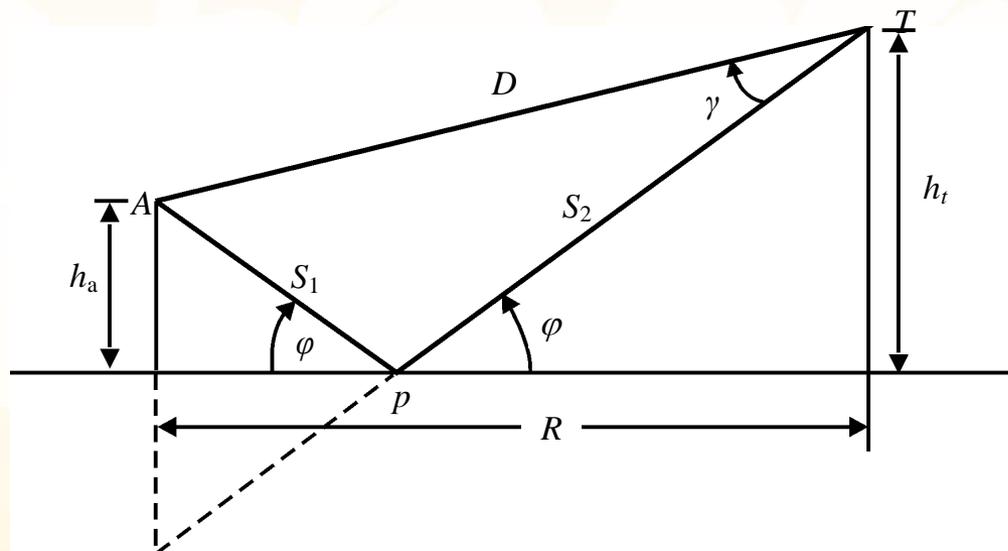
1. 地面的影响

- 天线和目标的架设高度总是有限的，地面反射对目标散射场会有影响。
- 最简单的处理方法是直接消除地面的影响：
 - 建立反雷达杂波干扰屏障
 - 在目标与雷达间建立一个三角形的护道
 - 采用距离门技术消除目标与地面多重散射的影响。



第6章 电磁散射测量

- 有时利用地面反射也是解决地面影响的一种方法
- 接收到的目标回波可以沿4条不同的路径传播：即直射路径ATA，“镜像”路径APTPA，双向路径ATPA和APTA。



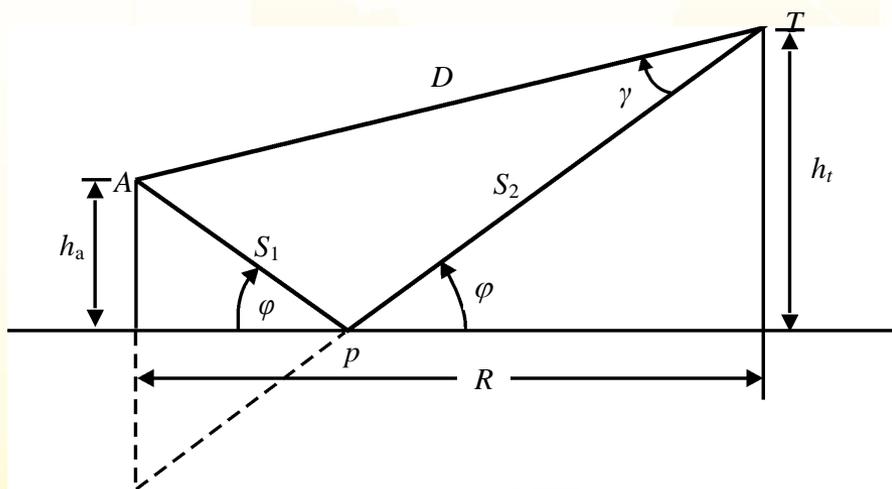
4条路径的散射场相位求和可得到目标RCS为

$$\mathbf{E}^s = \mathbf{E}_0 \{ \exp(j2kD) + 2p \exp(jk(D + I)) + p^2 \exp(j2kI) \}$$



$$\sqrt{\sigma} = \sqrt{\sigma_0} \left\{ \exp(j2kD) + 2p \exp[jk(D + I)] + p^2 \exp(j2kI) \right\}$$

- 第一项是目标在自由空间产生的回波，它和没有地面时测得的结果一样。
- 第二项称为双向回波，它仅涉及地面的单路反射电波，但因有两条传播路径，一路是另一路的逆回程，所以这项要乘以2。
- 第三项是镜像回波，由于该路径经两次地面反射，所以要乘以地面反射系数的平方。



上式取幅度后可得：

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} = |1 + p \exp[jk(I - D)]|^4$$

理想导电地面, $p = -1$

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} = \{2 \sin[k(I - D)/2]\}^4$$

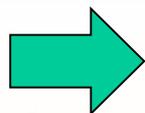


第6章 电磁散射测量

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} = \{2 \sin[k(I - D)/2]\}^4$$

上式表明，适当选择天线和目标高度使路程差($I-D$)为半波长的整数倍时，接收到的功率将比目标在自由空间时增大16倍(12dB)。

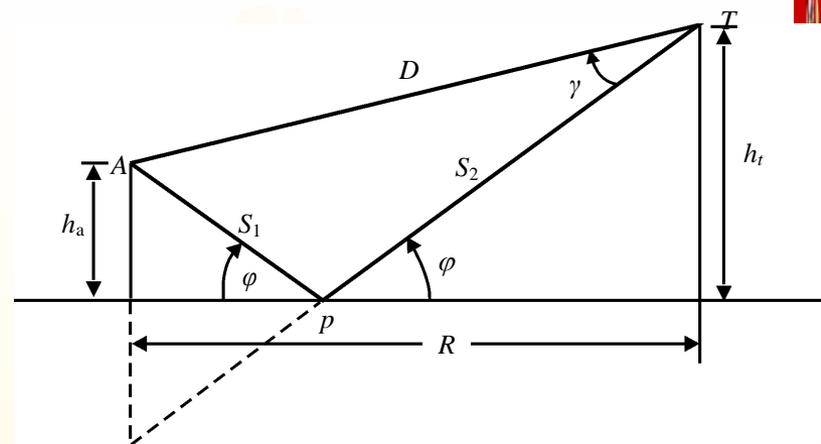
$$D = [(h_t - h_a)^2 + R^2]^{1/2} \approx R + \frac{(h_t - h_a)^2}{2R}$$
$$I = [(h_t + h_a)^2 + R^2]^{1/2} \approx R + \frac{(h_t + h_a)^2}{2R}$$



$$I - D \approx 2 \frac{h_a h_t}{R} = m \frac{\lambda}{2}$$

对第一个最大值($m = 1$)

$$h_a h_t = \frac{R\lambda}{4}$$



上式是利用地面影响的测试场普遍采用的经验公式。



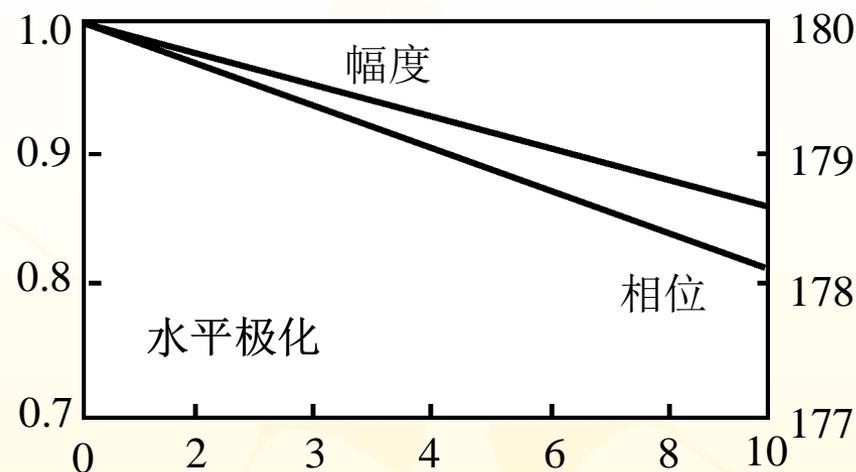
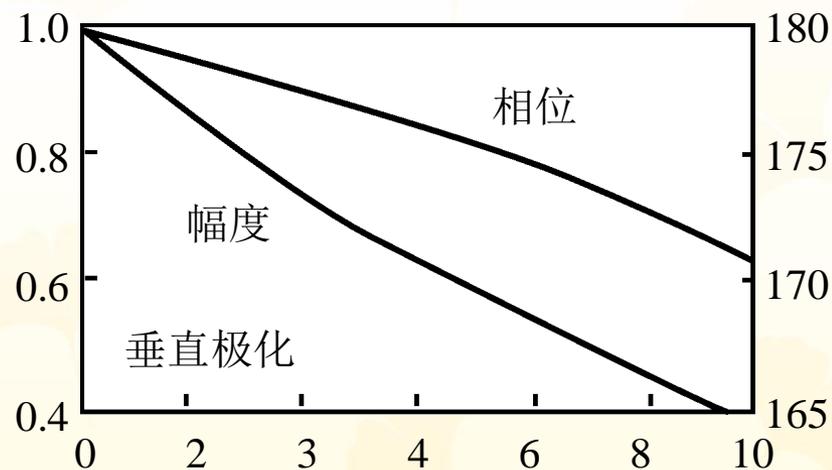
第6章 电磁散射测量

实际地面的反射系数与土壤的类型、温度和粗糙度有关。

■ 当忽略表面粗糙度是，菲涅尔反射系数为：

$$\Gamma_h = \frac{\sin \varphi - (\tilde{\epsilon}_r - \cos^2 \varphi)^{1/2}}{\sin \varphi + (\tilde{\epsilon}_r - \cos^2 \varphi)^{1/2}}$$

$$\Gamma_v = \frac{\tilde{\epsilon}_r \sin \varphi - (\tilde{\epsilon}_r - \cos^2 \varphi)^{1/2}}{\tilde{\epsilon}_r \sin \varphi + (\tilde{\epsilon}_r - \cos^2 \varphi)^{1/2}}$$



小掠入角下菲涅尔反射系数的振幅和相位 φ (°)



■ 粗糙表面向各方向散射能量，因而减小了在指定方向上的反射，它对反射系数的影响可表示为粗糙反射因子 p_s ，它与菲涅耳反射系数之积可表示为非理想导电粗糙表面的有效反射系数：

$$p = \Gamma p_s$$

p_s 值可由经验公式估算：

$$p_s = \exp[-2(k\sigma_h \sin \varphi)^2]$$

式中， σ_h 表示地表面高度变化的均方根值



实际应用时，消除地面影响比利用地面反射具有更大的优越性：

- 首先是可避免调整天线垂直高度的麻烦；
- 其次，利用地面反射不太适用于多频点测量，尤其是短脉冲(宽带)测量；
- 在毫米波段内，利用地面反射所要求的表面应十分平滑。



2. 天线方向图的影响

- 为保证系统有足够的灵敏度，天线越大(增益越高)越好；
- 但天线主波瓣太窄会使目标照射不均匀，因而天线尺寸应折衷选择；
- 实现RCS 精确测量的经验准则是：从目标中心到边缘之入射场振幅下降不大于0.5dB(约0.944倍)，由此可确定天线的主瓣宽度和天线口径尺寸。

假定天线口径场的照射函数为余弦分布

$$f(\varphi) = \frac{\cos\left(\frac{\pi W}{2}\right)}{1 - W^2} \quad W = 2 \frac{d}{\lambda} \sin \varphi$$

d 是天线的口径直径， φ 是偏离瞄准轴的角度。假定目标横向尺寸为 L ，雷达到目标的距离为 R ，则

$$\sin \varphi = \frac{L}{\sqrt{4R^2 + L^2}} \approx \frac{L}{2R} \quad R \gg L$$

令 $f=0.944$ ，得 $W=0.49438$

$$d = \frac{R\lambda W}{L}$$

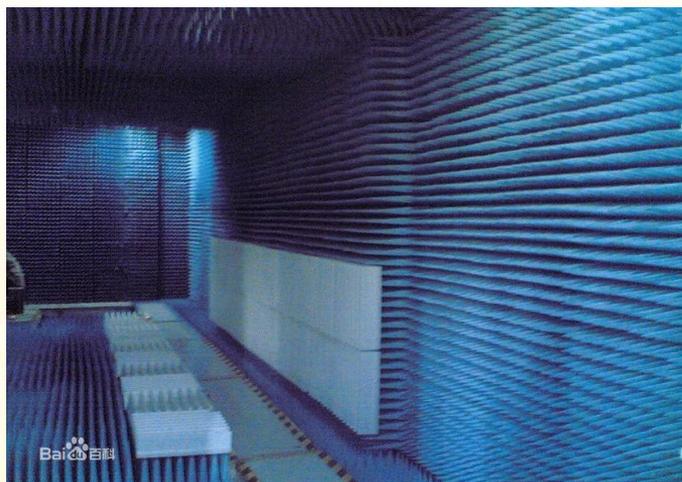
最大口径： $d = 0.49438 \frac{R\lambda}{L}$

6.3.3 室内RCS 测量

为了降低墙壁的反射，室内RCS测量必须在微波暗室中进行；

1. 微波暗室

微波暗室，亦称无回波室、吸波室、电波暗室。是采用吸波材料和金属屏蔽体组建的特殊房间,它提供人为空旷的“自由空间”条件。



典型的全电波暗室



典型的半电波暗室



电波暗室组成结构：

(一)屏蔽室：

屏蔽室由屏蔽壳体、屏蔽门、通风波导窗及各类电源滤波器等组成。根据用户要求，屏蔽壳体可采用焊接式或拼装式结构均可。

(二)吸波材料：

1、单层铁氧体片：工作频率范围30MHz~1000MHz。

2、锥形含碳海绵吸波材料：锥形含碳海绵吸波材料是由聚氨脂泡沫塑料在碳胶溶液中渗透而成，具有较好的阻燃特性。

(三)测试设备：

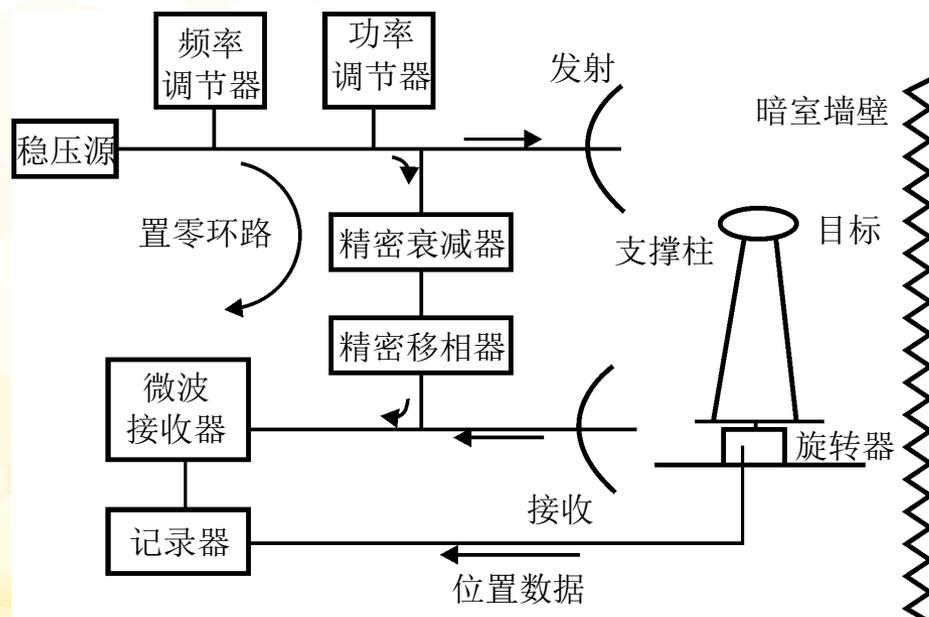
主要有信号传输板、转台、天线、监控系统等



第6章 电磁散射测量

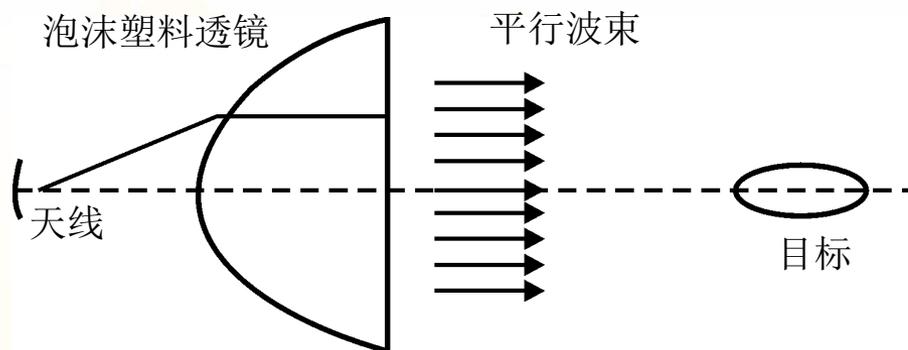
- 静区(目标区)大小和杂波电平是衡量测试场的两个关键指标;
- 由于微波暗室中测量距离有限,一般脉冲雷达不能使用,通常采用连续波雷达系统;
- 连续波雷达系统不能利用时间延迟来分离出目标信号和噪声信号,通常采用对消支路(又称为置零环路)来提高信噪比和测试精度。
- 受远程条件限制,普通微波暗室只能测试较小目标的RCS。

对消系统在没有目标的情况下进行置零。将没有目标时,通过接收天线进入接收机的信号全部为背景噪声。

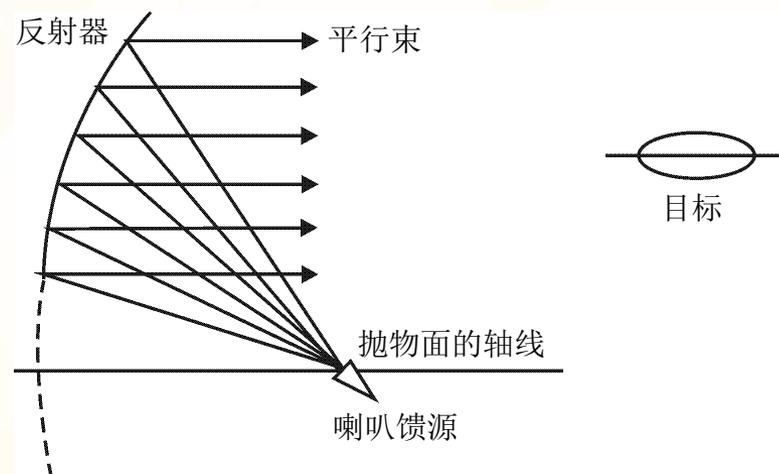


2. 紧缩场装置

- 为了增大室内可测目标的尺寸，可采用透镜或反射镜构造“紧缩场”装置，用它们来较直天线的辐射波束，在一定范围内将入射球面波变为平面波，可在只满足远场条件距离几分之一室内进行精确RCS测量。



使用微波透镜的紧缩场



采用偏置抛物面反射器的紧缩场

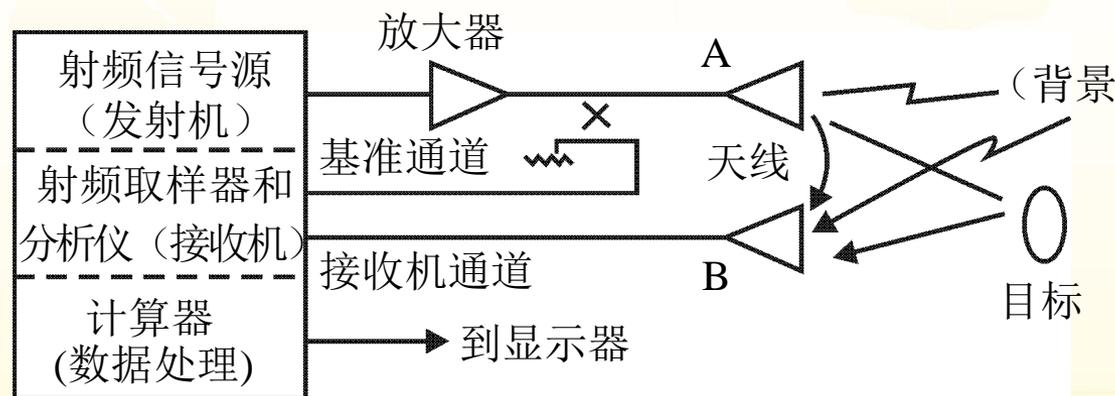
为了抑制反射器边缘的绕射作用，常将边缘作成锯齿状。



6.3.4 宽频带RCS 自动测量

- 利用自动网络分析仪可在宽频带范围内许多离散的频率的上迅速而准确地测量目标的散射特性，并能在给出测量数据之前修正系统误差。
- 计算机在测量系统中起着控制测量设备和处理测试数据的任务。
- 可以自动校准测量设备的频率特性，测量背景噪声和交叉融合，并分别测量定标球的散射信号 E_{bs} 和待测目标的散射信号 E_{ts}

$$\sigma_t = \left(\frac{E_{ts}}{E_{bs}} \right)^2 \sigma_s$$

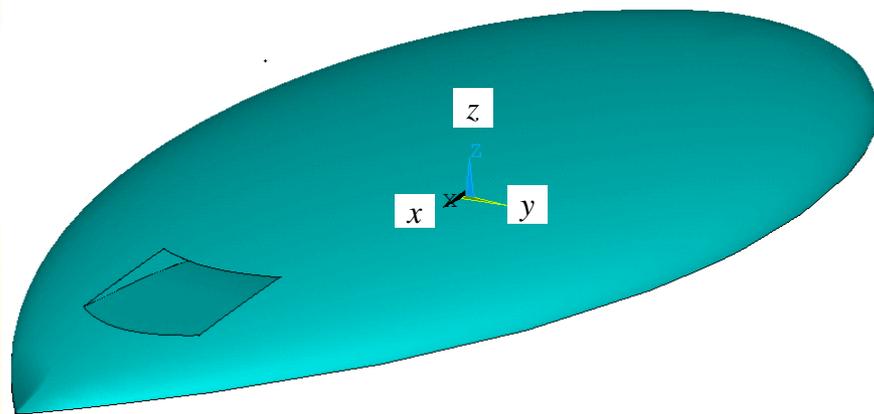


6.3.5 低散射平台一体化测量

- 系统设计时，我们很多时候很关心整机平台上某些部件的电磁散射特性；
- 如天线、进气道等总是工作于一定的载体平台之上，单独对各部件进行RCS测量没有太多的实际意义。
- 对天线系统或进气道的RCS进行实际测试时，我们通常引入一个具有低RCS的载体平台以模拟部件与飞行器的耦合散射，测试结果更接近于真实飞行器的散射。



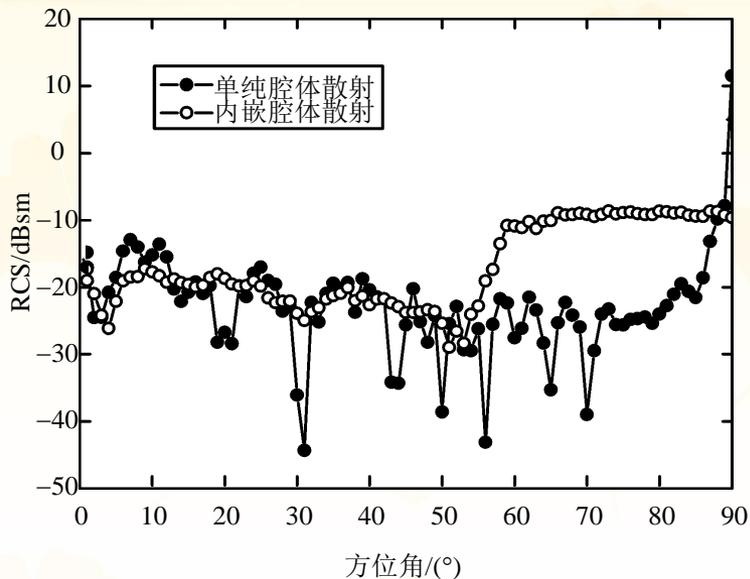
根据外形隐身设计原则，低散射平台通常具有偏平的下腹、尖锐的前端、融合的机身以及后掠的边缘，使得鼻锥方向后向散射最小。据此，我们可以选用半个NASA杏仁核模型作为进气道测试的载体平台，将进气道安置于等效载体平台之上，以测量实际情况下进气道对隐身飞行器散射特性的影响。



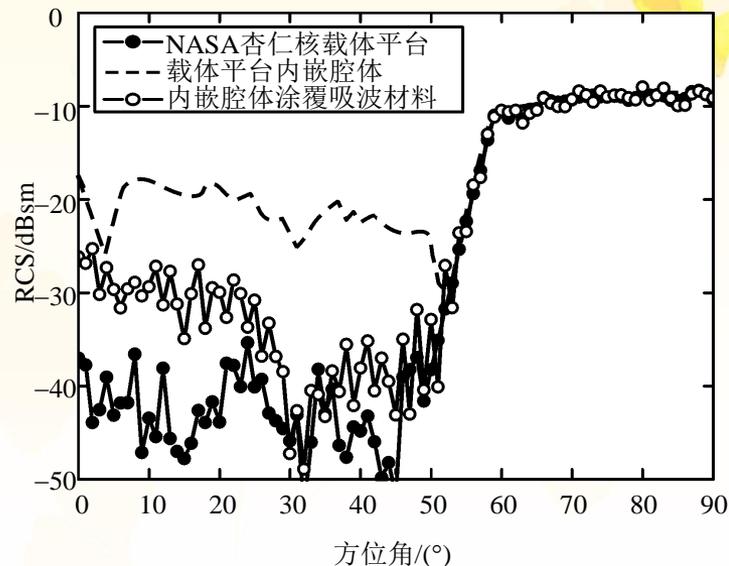
半个NASA杏仁核低散射载体上内嵌S形矩形腔示意图



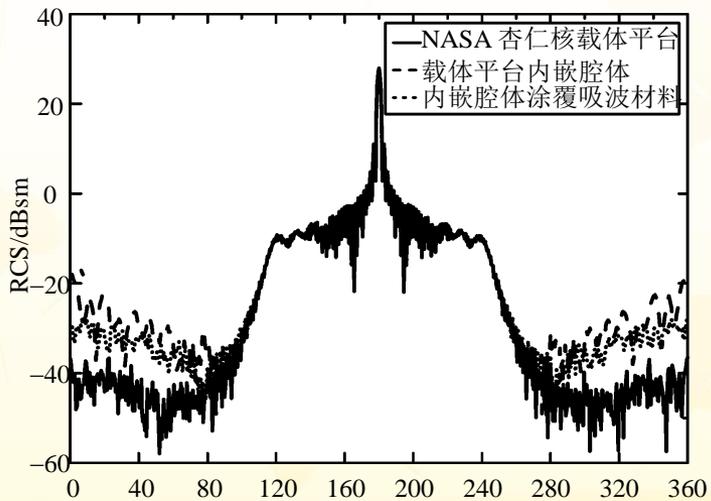
第6章 电磁散射测量



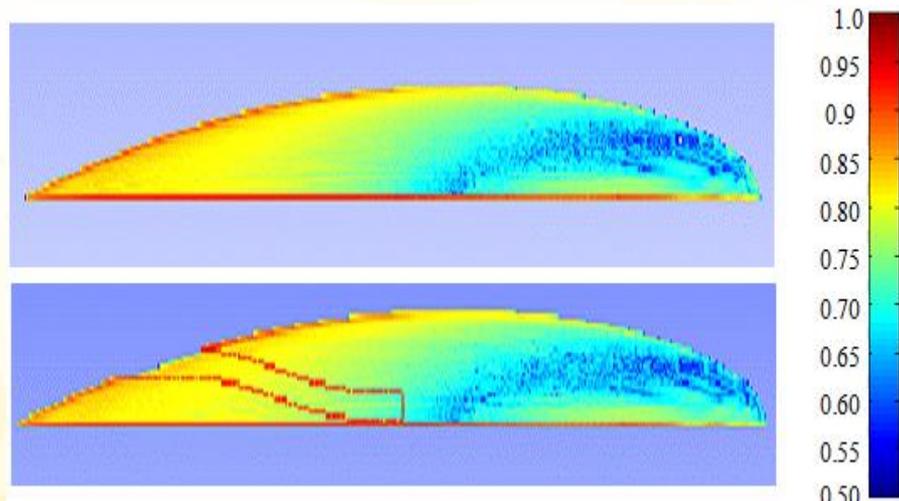
单纯腔体与内嵌腔体0~90°单站散射对比



载体平台上内嵌腔体0-90°单站散射



载体平台上内嵌腔体双站散射



相对散射大小伪彩图显示



习题六

1. RCS测量的远场条件是什么？并解释为什么对于某些复杂高频目标，当测试距离不满足远场条件时，仍然可以获得相当高精度的测试结果？

2. 对于某无耗媒质涂覆的金属目标，采用1: 10的缩小模型进行数值仿真时，计算频率应是多少？计算得到的散射截面和真实值是什么关系？

