

毫米波 RCS 测量中的大气 衰减修正方法初探

张德保

(秦皇岛市 91404 部队)

摘要 本文结合实际,讨论了在外场动态条件下,毫米波雷达散射截面(RCS)测量中的大气衰减问题,重点分析了试验区域的毫米波大气衰减系数的测量、回归处理和建立数学模型的方法。在此基础上,对毫米波 RCS 测量中的大气衰减实时修正方法进行了论述。

关键词 毫米波 雷达散射特性 大气衰减 回归分析

1. 引言

目前,目标雷达散射特性测量已成为热门研究课题,随着电子战武器频率覆盖范围的扩展,毫米波目标特性测量在军事领域中具有很高的应用价值。由于在毫米波段存在着许多明显区别于厘米波段的特性,这些特性对外场毫米波 RCS 测量精度和可靠性有着直接的影响。研究在外场动态条件下,进行毫米波大气衰减的修正方法是提高毫米波 RCS 测量精度的关键。

2. 大气衰减系数的确定方法

在毫米波频段,大气衰减严重,而且具有很大的不确定性。据有关资料介绍,在八毫米波段,典型条件下,每公里的单程大气衰减值达到 0.12dB,对应于 10km 的测量距离,其双程大气衰减达到 2.4dB,接近于衰减了一半。而且这种衰减与气象环境条件密切相关,不同的气象环境条件下的毫米波大气衰减变化很大。如果不能准确获得测量时刻,测量路径上的毫米波大气衰减量,并对其进行准确的修正的话,就会给毫米波 RCS 测量带来很大的误差。要对 RCS 测量中的毫米波大气衰减进行准确的修正,消除大气衰减对测量精度影响的关键就是得到测量时刻在信号传播路径上大气对毫米波的衰减量。下面结合实际,对其进行讨论分析。

我们测量的区域大多数在海面上,且测量为大致水平方向。在这种情况下,毫米波大气衰减系数在传播路径上具有一致性,即整个测量信号传播路径上,毫米波大气衰减系数是相同的,所以只需测出海平面上的毫米波大气衰减系数,被测量目标的距离,就可获得整个试验测量路径上的毫米波大气衰减量。

据有关文献介绍,在海面上毫米波大气衰减系数可以用下式表达:

$$\alpha(f) = a + b\rho - cT \quad (\text{dBkm}^{-1}) \quad (1)$$

式中: $\alpha(f)$ 为海平面上的大气衰减系数(dB/km)

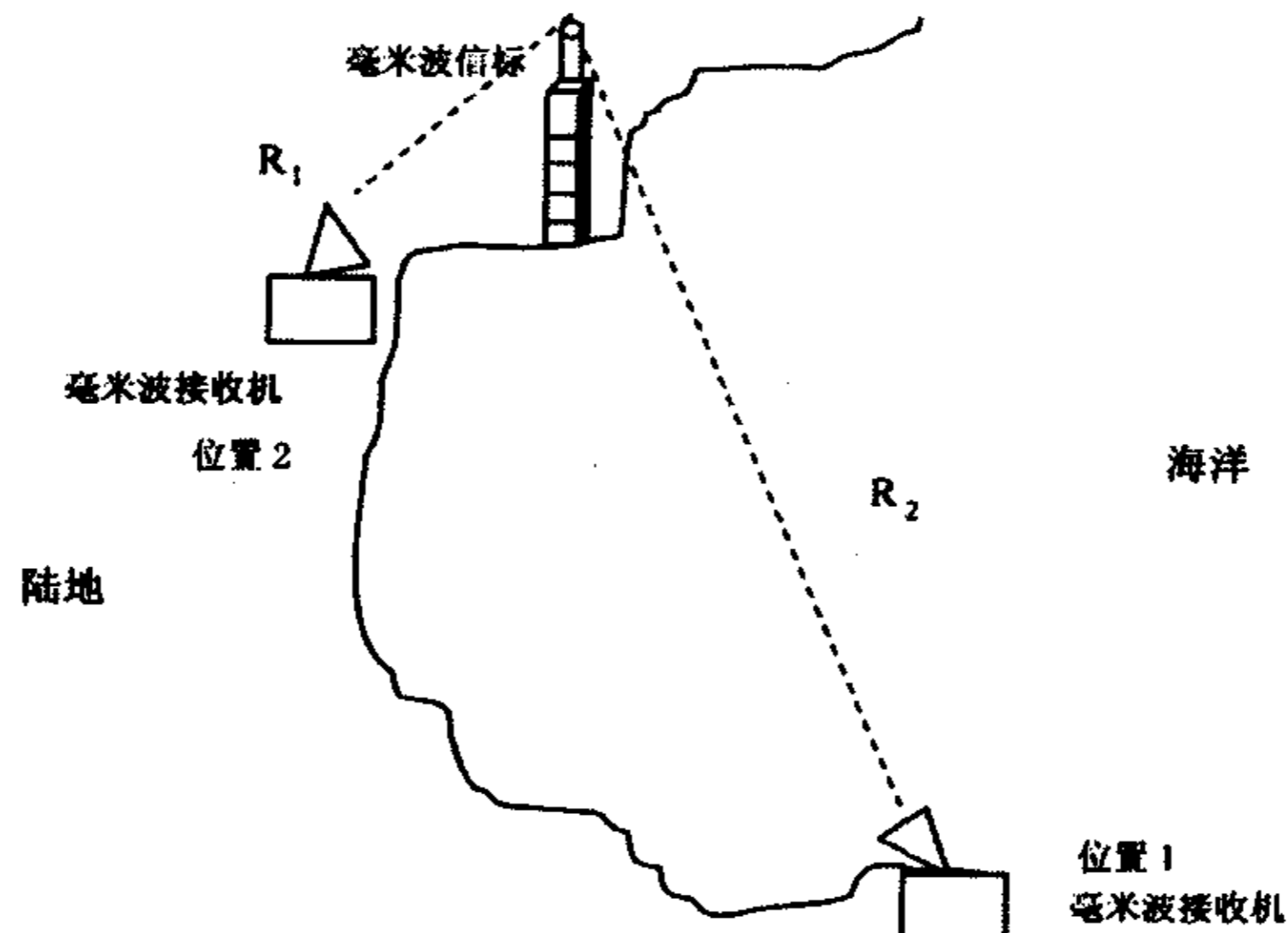
ρ 为地面水蒸气浓度(g/m^3)

T 为温度($^{\circ}\text{C}$)

a 、 b 、 c 为从多重回归分析导出的经验系数,随工作频率和环境条件的变化而变化。

2.1 毫米波大气衰减系数的测量

如下图所示,在我们工作的 35GHz 频率,采用高稳定度的毫米波信标,将其固定在海边一高的建筑物上(如海边未制导塔顶),在海边的另一处用高精度的接收测量设备对毫米波信标辐射的信号功率进行测量,同时测量附近区域的温度和水蒸汽浓度。根据信标发射功率、发射天线参数、接收天线参数、接收机参数、信标与接收机间的距离等就可计算出单位距离上的毫米波大气衰减量,即大气衰减系数。如果发射信标、发射天线、接收天线及接收机参数无法确定,则可以采用相对法进行测量。首先在位置 1 处放置接收机,并测得信标的功率。然后在位置 2 处,用接收机再次测量其辐射功率,得到两处接收机测量功率的差值,按照距离方程扣除因距离变化而引起的接收功率变化后,与两位置相对应的距离差相比,即可得到毫米波大气衰减系数。在相对法测量时,为了保证达到要求的测量精度,要求毫米波信标和接收机天线准确对准,在保证测量接收机灵敏度和测量范围的前提下,要尽量增大两信标位置的距离差,使测得的接收功率差值远大于接收机的精度。通过较长时间在各种不同的气象条件下的多次测量,可得到试验区域的毫米波大气衰减系数与气象参数相对应的数据组。



毫米波大气衰减系数测量示意图

2.2 回归分析

首先,我们将上述测量结果作为分析的样条,采用线性回归分析的基本方法来分析:

在上面的测量中,我们在不同 ρ 和 T 条件下对毫米波大气衰减系数 $f(i)$ ($i = 1, 2, \dots, m$) 进行独立等精度测量,得到观测数据 y_i ($i = 1, 2, \dots, m$):

$$\begin{cases} y_i = f(i) + e_i & (i, j = 1, 2, \dots, m) \\ Ee_i = 0 & Ee_i e_j = \sigma^2 \delta_{ij} \end{cases} \quad (2)$$

我们的目的是估计出 $f(i)$ 。因为在海平面上,总衰减与水蒸气浓度和温度的统计关系可通过多重回归分析的方法决定,对于指定的频率,大气衰减可用下面的表达式表示:

$$\alpha(f) = a + b\rho - cT \quad (\text{dBkm}^{-1})$$

式中, $\alpha(f)$ 为海平面上的大气衰减系数(dB/km)

ρ 为地面水蒸气浓度(g/m^3)

T 为温度($^{\circ}\text{C}$)

所以,记:

$$\beta = (a, b, -c)^T$$

$$Y = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m)^T$$

$$e = (e_1, e_2, \dots, e_m)^T$$

$$X = \begin{bmatrix} 1 & \rho_1 & T_1 \\ 1 & \rho_2 & T_2 \\ \dots & \dots & \dots \\ 1 & \rho_m & T_m \end{bmatrix}$$

$$\text{于是上式可改写为: } Y = X\beta + e \quad e \sim (0, \sigma^2 I) \quad (3)$$

用最小二乘法寻找 $\hat{\beta}$, 使:

$$\|Y - X\hat{\beta}\|^2 = \min_{\hat{\beta}} \|Y - X\beta\|^2 \quad (4)$$

$$\text{上式的解为: } \hat{\beta} = (X^T X)^{-1} X^T Y = (\hat{a}, \hat{b}, \hat{c})$$

$\hat{\beta}$ 称为回归系数 β 的 LS(最小二乘估计)。这样,就可得到毫米波大气衰减系数的估计:

$$\alpha(\hat{\rho}, T) = \hat{a} + \hat{b}\rho - \hat{c}T \quad (5)$$

通过上面的计算,即可得到试验海区的毫米波大气衰减系数的计算模型,在进行毫米波 RCS 测量时,只要测量当时的大气温度和湿度,就可获得水蒸气浓度,代入上面的公式,即可计算出测量时的毫米波大气衰减系数 α 。将该系数代入 RCS 计算模型中,进行实时修正,最终消除大气衰减对毫米波 RCS 测量精度的影响。由于该计算模型是由试验海区的实测数据经统计分析得到的,因而,获得的结果精度高,适用于测量使用。

3. 实时修正

在进行毫米波 RCS 测量时,我们采用的是标准比测法,首先用一个 RCS 已知且各向同性的标准目标对测量系统进行标校,然后再对被测目标进行测量。测量的基本原理是雷达方程,其计算 RCS 的方程式为:

$$\sigma'_t = \frac{P_n P_u R_t^4}{P_r P_u R_s^4} \times \sigma_s \times 10^{0.2\alpha(R_t - R_s)} \quad (6)$$

式中: P_n 为标准球的回波功率

R_s 为标准球的距离

P_u 为校准时发射机输出功率

σ_s 为标准球的 RCS

P_r 为被测目标回波功率

R_t 为被测目标距离

α 为测量时大气衰减系数

P_u 为测量时发射功率

上式中的 $10^{0.2\alpha(R_t-R_s)}$ 项为毫米波大气衰减修正项。通过上面的分析可见,在对测量区域,在不同气象条件下的大气衰减系数进行大量测量的基础上,然后采用线性回归分析方法,建立起该区域的毫米波大气衰减系数计算模型。在测量时,根据当时现场测得的地面水蒸气浓度(g/m^3)和温度($^{\circ}\text{C}$)代入计算模型(5)就可获得该测量时的毫米波大气衰减系数。将计算出的大气衰减系数代入测量系统中的 RCS 计算模型(6),就可完成对大气衰减的实时修正。

参考文献

1. K.J.巴顿 J.C.威尔茨编:《毫米波系统》
2. 李振山编:《测量误差与数据处理》
3. D.C施莱赫著:《信息时代的电子战》
4. 王金奎编:《毫米波 RCS 测量雷达》

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/>