

双极化位相法测量半空间介质介电常数¹

陈志雨 周冬青

(中国科学院电子学研究所 北京 100080)

摘 要 在实验中试用了一种空间波测量无限大半空间介质复介电常数的方法: 用一个喇叭同时发射垂直极化波和平行极化波, 另一个喇叭交替接收两个极化波的前向散射的振幅和相位。实验在 X 波段进行, 目标介电常数可在任意范围, 结果与金属板定标法符合较好。该方法在微波遥感中将有较大实用价值。

关键词 双极化, 位相法, 半空间介质, 介电常数, X 波段, 镜向反射

中图分类号 TM934.3

1 引言

无限大半空间介质的复介电常数是微波遥感理论中极为基础的物理量。潮湿土壤、海水等, 都是无限大半空间介质, 且其介电常数都具有比较大的虚部。如何用不取样且简便的方法测出其真实的介电常数值一直是遥感工作者致力解决的问题。不取样测量半空间介质介电常数的方法有开端同轴线法和空间波法。但前者照顾的范围比较小, 较难反映较大面积的总体效果, 因而我们更感兴趣于空间波法。由于 X 波段是微波遥感中的重要波段, 我们的实验也选取在这个波段进行。

80 年代以来, 国内有科研单位用只测量反射信号幅度的方法做过这项工作^[1,2]。只测量反射信号的幅度来反演介电常数, 比起同时测量幅度和相位的方法, 除需取两个不同的入射角, 从而增加了测试工作量和设备的要求外, 也增加了反演公式和方法的复杂性, 这点还很容易导致结果的不稳定。本实验则采取同时测量幅度和相位的方法, 这时反演公式将变得非常简单, 有望克服上述缺点。但由于位相是较难测准的一个物理量, 成功与否还有待实践检验。第一步, 我们试验了金属板定标法^[3], 在此基础上, 为增强实用性, 又试验了双极化法, 测量结果相互符合得较好。实践证明这种方法是可行的, 将在实地测量中有重要价值。

2 实验系统

为方便在实验室内实验和对照起见, 加工了一块大介质板样品来模拟无限大半空间介质。介质板以石蜡, 石墨, 石膏混合物作材料, 重量比为石蜡: 石墨: 石膏 = 2.38 : 1 : 1.8, 板厚为 10 cm, 它是经波导长试样法反复对各种配方的样品介电常数的测试结合平面波衰减系数的计算决定的, 可模拟“无限厚”介质, 即使电磁波在介质一个来回的路程上全部衰减完。图 1 为发收几何示意图, 其中 $\sqrt{h^2 + L^2} = 1.6m$ 。在 $\theta_0 = 30^\circ$ 时算得的 Fresnel 椭圆周线结果如表 1 所示 (其中 a 和 b 分别为半长轴和半短轴):

表 1

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$a(\text{cm})$	17.8	25.2	30.9	35.7	39.9	43.7	47.2	50.4	53.5	56.4	59.2
$b(\text{cm})$	15.5	21.9	26.9	31.1	34.8	38.2	41.3	44.2	46.9	49.5	52.0

¹ 1997-05-21 收到, 1998-04-20 定稿
国家自然科学基金资助项目

式中 $R'_{\parallel}, R'_{\perp}$ 为局部 Fresnel 反射系数,

$$\theta' = \arctan \frac{\sqrt{x^2 + y^2 + L^2 - 2Lx}}{h}, \quad \alpha = \arcsin \frac{y}{\sqrt{x^2 + y^2 + L^2 - 2Lx}} \quad (6)$$

(3) 式构成了本实验方法和误差分析的基础。本系统的样品面积为 $1.35\text{m} \times 1.05\text{m}$, 略大于 $\theta_0 = 30^\circ$ 时的 10 个 Fresnel 带面积, 用以模拟“无限大”平面。

测试系统框图如图 2 所示。其中信号源为 HP8671B, 接收机为 Atlanda 1780 微波相幅接收机, 其幅度精度 0.1dB, 相位精度 0.1° 。钢架支撑喇叭的钢臂长度为 1.6m, 对水平面倾角每 5° 可调, 角锥喇叭波束 3dB 半宽的实测值为 9° (E 面或 H 面), 其方向有两个转动自由度。

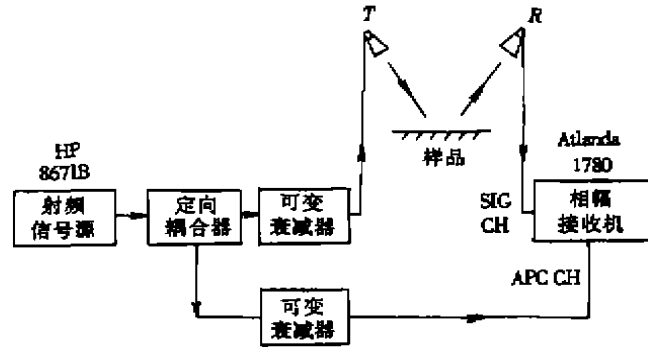


图 2 测试系统框图

3 实验方法及结果

在 (3) 式所示的 Kirchhoff 积分中, 若取所有的 $\theta' \approx \theta_0$ 则平行极化和垂直极化波的镜向反射电场分别有 $E_{\parallel} \propto -2R_{\parallel} \cos \theta_0$ 和 $E_{\perp} \propto -2R_{\perp} \cos \theta_0$ 。这说明系统不变, 仅接收极化变化时, 反射场之比可近似为 Fresnel 反射系数之比, 这就是应用此双极化法的基础。

在发射喇叭同时发出等幅同位相的垂直极化波和平行极化波时, 设测得对两种不同极化波的镜向反射电场强度振幅比为 $|E_{\parallel}/E_{\perp}|$, 位相之差为 $\phi_{\parallel} - \phi_{\perp}$, 则有

$$R_{\parallel}/R_{\perp} \approx |E_{\parallel}/E_{\perp}| e^{j(\phi_{\parallel} - \phi_{\perp})}, \quad (7)$$

以上 R_{\parallel}, R_{\perp} 分别代表平行极化波和垂直极化波的 Fresnel 反射系数。设 $R_{\parallel}/R_{\perp} = A$, 由 Fresnel 反射系数的具体公式即可反推介电常数。结果为

$$\epsilon_r = \frac{\sin^4 \theta_0 (1 - A)^2}{\cos^2 \theta_0 (1 + A)^2} + \sin^2 \theta_0. \quad (8)$$

测量中的几个关键措施为:

(1) 倾斜喇叭发射。以这种方式同时发射相同振幅的平行极化波和垂直极化波, 既可保证两种极化波照射到样品上有相同的方向性函数, 又可避免发射喇叭机械移动引起测量误差。所以实测时, 发射喇叭是不转动的, 而接收喇叭则交替转动 90° 以接收不同极化波。(2) 入射角的合理选取。由于 $|\phi_{\parallel} - \phi_{\perp}|$ 随 θ_0 的增大而增大, 因而较大的 θ_0 对提高测量精度有利。本实验取 $\theta_0 = 60^\circ$ 。(3) 由于喇叭两种极化的相位中心不一致, 测量 $\phi_{\parallel} - \phi_{\perp}$ 需预先对系统进行校

准, 校准用金属板进行, 由于金属板对两种极化波的 Fresnel 反射系数均为 -1 , 具体对金属板测出的两种极化波的位相差即为系统的相位修正量, 经核定本系统该相位修正量为 173.7° .

表 2 列出在频率为 9.969 GHz 及 60° 入射角下的两次实验结果:

表 2

次数	测量结果		反演结果	
	$ E_{\parallel}/E_{\perp} $	$\phi_{\parallel} - \phi_{\perp}$	ϵ'_r	ϵ''_r
1	0.361	189.2°	10.35	2.60
2	0.345	189.3°	9.71	2.30
平均			10.03	2.45

与金属板定标法对同一样品测量结果的比较见表 3.

表 3

测试方法	入射角	测试结果	
		ϵ'_r	ϵ''_r
双极化法	60°	10.03	2.45
平行极化金属板比较法	60°	9.67	1.70
平行极化金属板比较法	15°	10.71	2.54

金属板定标法用 15° 入射角的结果应比 60° 的好^[3], 表中数据说明两种测试方式的结果是基本吻合的.

4 讨论

此方法金属板只用于系统的校准, 而在校准后的测量中无需再用, 故对实际的野外测量极为方便. 本方法测试和反演方法简单, 重复性和稳定性都比较好. 对样品的介电常数的范围也没有什么限制. 此实验装置在机械上加以改造即可成为专用的车载散射计.

此方法的方法误差来源于以 Fresnel 反射系数之比近似代替真实反射场之比, 在 60° 入射角时经用 Kirchhoff 公式 ((3) 式) 对实验模型的计算结果与用 Fresnel 公式 ((7) 式) 计算结果比较, 由此引起的相对误差为: 幅度比约 3%, 位相差约 7%, 由此导致介电常数虚部的误差在 10% 以内, 实部的误差约 4%. 本实验另一个主要的误差来源来自于实验装置机械上的精度. 从测量结果看, 本实验 ϵ'_r 的最大相对误差估计为 10%, ϵ''_r 的最大相对误差估计为 15%.

一般地说, 用位相法测量介电常数的难度是较高的, 它不但需要有精确的可测位相的仪器, 而且实验中诸多因素都很容易引起位相的变化. 所幸的是, 由 (8) 式结合实际测量数据的分析表明, 介电常数的实部对测试场位相的变化并不敏感, 测试场位相的变化主要影响介电常数的虚部而且仅产生同量级的相对误差, 因而本实验的反演结果是相当稳定的, 这一特点在实用中非常重要.

参 考 文 献

- [1] 黄扬, 扬习荣, 耿淮滨. 土壤含水量及其微波反射特性关系的研究. 环境遥感, 1986, 1(2): 101-106.
- [2] 张俊荣. 微波遥感典型地物介电常数实地测量. 量化遥感技术, 国家高技术信息获取与处理技术专家组, 1995.
- [3] 陈志雨, 李安素, 周东青. 空间波法与长试样法测量介电常数的结果与对照. 遥感学报, 1997, 1(1): 40-45.
- [4] Ruck, et al. Radar Cross Section Handbook. New York: Plenum, 1997.

DUAL POLARIZATION AND PHASE METHOD TO DETECT PERMITTIVITIES IN HALF SPACE

Cheng Zhiyu Zhou Dongqing

(Institute of Electronics, Academia Sinica, Beijing 100080)

Abstract A method using space waves to detect the permittivities of media in half space is performed in the laboratory: transmitting a wave with both parallel and perpendicular polarizations simultaneously by a horn and receiving the amplitudes and phases of the specular reflected waves with each polarization respectively. The experiment is performed in X frequency band. The permittivities of target can be in any range. The results agree with that by the metal-scaling method. This method is of value in practical use.

Key words Dual polarization, Phase method, Half space medium, Permittivities, X frequency range, Specular reflection

陈志雨, 男, 1945年生, 研究员, 长期从事电波传播方面的研究工作.

周冬青, 男, 1968年生, 实验员.