

微波遥感典型地物介电常数实地测量¹

张俊荣 张德海 王丽巍 赵 有 张升伟 郭 伟

(中国科学院长春地理所微波遥感室 长春 130021)

摘 要 在微波遥感定量化研究中, 要求对遥感目标的介电特性有较准确的了解。为此采用自由空间法在野外实地测量典型目标的介电常数。给出了基本原理, 定标方法及在 X 波段对黑土, 草地, 和冰所测的介电常数。分析比较了测量结果。

关键词 微波遥感, 介电常数, 自由空间法, 实地测量

中图分类号 TM934.3

1 引言

微波遥感是通过电磁波与遥感目标和背景的相互作用, 从接收到的散射、辐射及其有关参量, 经解译、判读或反演, 获得遥感目标的性质和状态。在遥感定量化研究中, 不论是解译、判读, 还是反演, 都要求得到趋近于真实值的结果。对遥感目标不论建立什么样的数学物理模型, 使用那种理论, 采取何种计算方法, 都要求知道准确的遥感目标的介电特性, 否则一切都无法进行。当前使用的典型遥感目标的介电常数大部分是在实验室中测定的, 如用传输线法, 谐振腔法^[1,2], 反射法^[3]等。为了满足测量条件, 要把介质从实地取回, 进行加工处理, 这势必会造成测量与真实值之间很难估计的偏差。为了满足获得适于遥感需要的较准确介电常数, 研究介电常数的实地检测法具有重要意义。

本文介绍的自由空间法是一种介电常数的实地检测法。用该方法测量介电常数时, 可以将测量仪器拿到被测物所在位置进行无破坏的实地测量, 可获得最接近微波遥感目标的真实介电常数。

2 原理

微波遥感的典型目标, 如土壤, 砂地, 岩石, 水体, 冰, 雪, 各类作物, 各类草地, 森林等, 当其表面统计粗糙度小于所使用的波长时可用菲涅尔反射系数描述其介电常数与观测角间的关系:

$$R_{\parallel} = (\cos \theta - \sqrt{\epsilon_r - \sin^2 \theta}) / (\cos \theta + \sqrt{\epsilon_r - \sin^2 \theta}), \quad (1)$$

$$R_{\perp} = (\epsilon_r \cos \theta - \sqrt{\epsilon_r - \sin^2 \theta}) / (\epsilon_r \cos \theta + \sqrt{\epsilon_r - \sin^2 \theta}), \quad (2)$$

其中 ϵ_r 为目标物的相对介电常数, 且 $\epsilon_r = \epsilon_r' - j\epsilon_r''$, θ 为入射角, R_{\parallel} 为水平极化反射系数, R_{\perp} 垂直极化反射系数。

对典型地物介电常数满足 $|-j\epsilon_r'' / (\epsilon_r' - \sin^2 \theta)| < 1$, 令 $P = \sqrt{\epsilon_r' - \sin^2 \theta}$, (1)、(2) 式可变为

$$|R_{\parallel}|^2 = [(\cos \theta - P)^2 + \epsilon_r''^2 / (4P^2)] / [(\cos \theta + P)^2 + \epsilon_r''^2 / (4P^2)], \quad (3)$$

$$|R_{\perp}|^2 = \frac{(\epsilon_r' \cos \theta - P)^2 + \epsilon_r''^2 [1 / (2P) - \cos \theta]^2}{(\epsilon_r' \cos \theta + P)^2 + \epsilon_r''^2 [1 / (2P) + \cos \theta]^2}. \quad (4)$$

¹ 1995-09-15 收到, 1996-06-11 定稿
国家自然科学基金资助项目

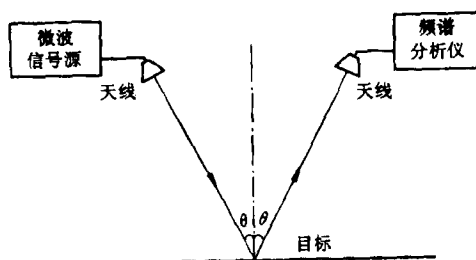


图 1 自由空间法介电常数测量仪器布置图

从 (3)、(4) 式中可以看出, 被测目标的介电常数 ϵ_r 与反射系数 $|R_{\parallel}|$, $|R_{\perp}|$, 观测角 θ 有关, 只要测得以上参数, 就可计算出介电常数。

3 定标

实地测量仪器布置如图 1 所示。发射源使用标准信号源, 如 Hp8350B, XB9A 等, 接收用 Hp8592B 频谱分析仪。角锥喇叭天线, 每个天线都装在小型天线转台上, 用 10 位光电码盘指示天线的观测角度, 精度为 0.35° 。

标准板定标 用 $2 \times 2\text{m}^2$, 厚 3mm 的光滑铝板作标准板, 它的反射系数为 1。在频谱分析仪上测得目标的反射功率 W_c ; 保持发射功率和其他状态不变, 把被测目标物上放上定标板, 频谱仪读出定标板的反射功率 W_0 , 则 $W_c/W_0 = |R_{\parallel}|^2$ 或 $|R_{\perp}|^2$ 。

比率定标法 对同一目标物在两个相差 1° 到 3° 的观测角下测量, 用它们所得反射功率之比计算介电常数。记 W_{in} 为在 i 极化第 n 次角度下接收的反射功率, 则有

$$\frac{W_{\parallel 1}}{W_{\parallel 2}} = \frac{[(\cos \theta_1 - P_1)^2 + \epsilon_r''^2 / (4P_1^2)^2] / [(\cos \theta_1 + P_1)^2 + \epsilon_r''^2 / (4P_1^2)^2]}{[(\cos \theta_2 - P_2)^2 + \epsilon_r''^2 / (4P_2^2)^2] / [(\cos \theta_2 + P_2)^2 + \epsilon_r''^2 / (4P_2^2)^2]}, \quad (5)$$

$$\frac{W_{\perp 1}}{W_{\perp 2}} = \frac{\{[\epsilon_r' \cos \theta_1 - P_1]^2 + \epsilon_r''^2 [1 / (2P_1) - \cos \theta_1]^2\} / \{[\epsilon_r' \cos \theta_1 + P_1]^2 + [1 / (2P_1) - \cos \theta_1]^2\}}{\{[\epsilon_r' \cos \theta_2 - P_2]^2 + \epsilon_r''^2 [1 / (2P_2) - \cos \theta_2]^2\} / \{[\epsilon_r' \cos \theta_2 + P_2]^2 + [1 / (2P_2) - \cos \theta_2]^2\}}, \quad (6)$$

其中 $P_1 = \sqrt{\epsilon_r' - \sin^2 \theta_1}$, $P_2 = \sqrt{\epsilon_r' + \sin^2 \theta_2}$, 要精确变角度的操作和指示。

4 几种典型目标物的实地测量

4.1 土壤 在长春净月潭遥感实验场吉林农业大学实验田, 对新翻农田土壤测量了介电常数。土壤类型属于长春净月潭遥感实验场的三种典型土壤之一的黑土, 测量频率为 10GHz, 环境温度 26°C 。将测得的反射系数和入射角代入 (3) 式, (4) 式, 在计算机上用迭代算法, 得到黑土不同含水量和介电常数的数值示于图 2。从图中看出土的介电常数随着含水量的增加呈非线性增长, 说明含水量对土壤的介电常数是敏感的。土壤的这种介电常数随含水量的变化关系与国外研究结果取得了较好的一致性^[4]。土壤是由干土、空气、结合水和自由水组成。按混合模型公式湿土的介电常数等于各组份所占体积百分比与其介电常数乘积之和^[5,6], 曲线形状反映由于水的增加, 各组分的变化关系。

4.2 野草 对田边野草丛测量了介电常数。野草重量含水量为 189%, 草丛密度约为 $11000 \text{株} / \text{m}^2$, 平均株高约为 0.55m, 草丛下土壤含水量约 11.4%, 环境温度为 24°C 。测得草丛的介电常数是 $1.053 + j0.079$ 。

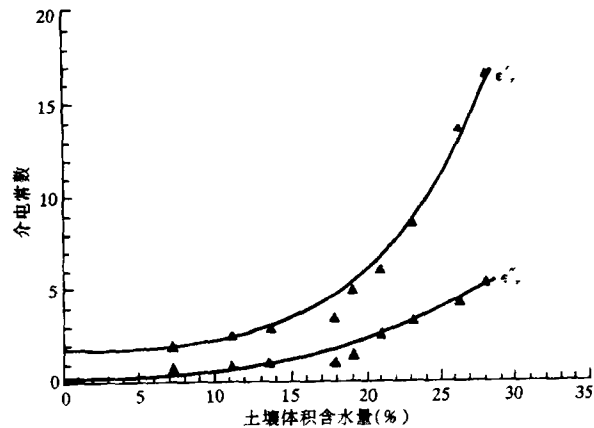


图 2 黑土的介电常数随含水量变化曲线

4.3 冰 在长春净月潭湖面上测量湖冰的介电常数。使用频率仍为 10GHz，环境温度 -5°C 。湖冰厚度 81cm，密度 $0.835\text{g}/\text{cm}^3$ 。用比率定标法进行的定标测量。将测量数据代入 (5), (6) 式中，在计算机上运用迭代算法，得到的结果列于表 1。

表 1 冰的介电常数

极化方式	水平极化		垂直极化	
	ϵ'_r	ϵ''_r	ϵ'_r	ϵ''_r
冰	2.967	0.008	2.967	0.007

测得的冰的介电常数的实部略低于早期研究者测得结果的平均值 3.15，约低 5%，虚部与早期测量结果很接近^[7]。所研究目标的环境条件不同和测量次数不够多是造成偏低的原因。

5 结 语

自由空间法测量介电常数是利用菲涅尔反射定律进行的，要求所使用波长短于被测目标的粗糙度，在粗糙度大时会影响精度，这时应引入粗糙度修正量。由于观测角的加大，粗糙度表现减小，所以利用加大观测角以提高粗糙表面物的测量精度。从实际对土壤，草丛，冰的测量结果看是很好的。这种测量是直接测量遥感实物的实地状态的介电常数，所以获得更接近遥感中实际对象的介电常数，这是人们最关心的问题。这是一种很有实用价值的测量方法。

参 考 文 献

- [1] Staebell K F. In video permittivity measurement of materials at microwave frequencies using open-ended coaxial line prob: Experimental Technique and results. *IEEE Trans. on MTT*, 1990, MTT-38(3): 337-339.
- [2] Bernard P A. Measuring dielectric constant using microstrip ring resonator. *IEEE Trans. on MTT*, 1991, MTT-39(3): 592-595.
- [3] 李英. 微波、毫米波传感器与非电量检测, 北京: 电子工业出版社, 1991, 5 章, 6 章.
- [4] Hallikainen M T, Vlahy F T, et al. Microwave dielectric behavior of wet soil—Part I: Empirical model and experimented observations. *IEEE Trans. on GE*, 1985, GE-23(1): 25-34.
- [5] 张俊荣, 张德海, 王丽巍. 微波遥感中的介电常数. *遥感技术与应用*, 1994, 9(2): 30-34.
- [6] 张俊荣, 王丽巍, 张德海. 植被和土壤的微波介电常数. *遥感技术与应用*, 1995, 10(3): 40-50.
- [7] Ulaby F T, Moore R K, Fung A K. *Microwave Remote Sensing*, Vol. 3, Dedham, MA: Artech, 1986, 2026-2028.

IN SITU MEASUREMENT OF TYPICAL OBJECTS'
PERMITTIVITIES IN MICROWAVE REMOTE SENSING

Zhang Junrong Zhang Dehai Wang Liwei Zhao You Zhang Shengwei Guo Wei

(*Changchun Institute of Geography, Academia Sinica, Changchun 130021*)

Abstract In microwave remote sensing quantitative study, it needs to know dielectric properties of remote sensing objects precisely. The free-space method was used to in situ measure typical objects' permittivities in the fields for obtaining precise data of fitting for remote sensing real objects. The basis and calibration method of free-space method were given. The permittivities of black soil, meadow, and ice with the method were presented. The results were analysed.

Key words Microwave remote sensing, Permittivity, Free-space method, In situ measurement

张俊荣: 男, 1934 年生, 研究员, 博士生导师, 从事微弱信号检测, 雷达, 通讯, 微波遥感器研制, 微波遥感理论研究.

张德海: 男, 1968 年生, 博士, 从事微波遥感理论研究.

王丽巍: 女, 1970 年生, 硕士, 从事微波遥感理论研究.