

文章编号: 1007-4619 (2002)06-0496-05

# X 波段 VV 极化地面杂波测量研究

周 平<sup>1</sup>, 陈军文<sup>1</sup>, 姚京萍<sup>1</sup>, 王长林<sup>2</sup>

(1. 目标与环境电磁散射辐射国防科技重点实验室, 北京 100854;

2. 中国科学院 遥感应用研究所, 北京 100101)

**摘 要:** 对 X 波段、VV 极化的外场地杂波试验进行了总结, 包括测量系统、原理、测试内容, 并提供了后向散射系数测量结果和分析。测量地形包括干草地、裸露土壤和绿麦地。

**关键词:** 地杂波; 雷达方程; 后向散射系数

**中图分类号:** TP722.6 **文献标识码:** A

## 1 引 言

地面及其覆盖物的雷达后向散射系数是其固有的物理特征, 在遥感应用中可用于地物分类、植被分布监测、作物面积产量评估等研究, 而在军事侦察、目标跟踪、雷达制导应用中, 它又是估计信噪比、设计杂波抑制电路的一个重要依据。散射测量试验能提供较为真实可靠的数据, 是开展后向散射研究的一个重要和不可少的手段。

2001年11月10日至22日, 我们在北京云岗地区选择有代表性的干草地、绿麦地、裸土等进行了垂直极化测量, 扫描频率为9—12GHz, 扫描带宽为3GHz。该次试验利用3.1m高的工程车作为设备平台, 收发系统安装在车内, 天线架设在车顶上, 可以实现擦地角5°—35°范围的测量。

测试系统组成见图1。测试系统可以进行频率为2—20GHz、极化为HH、HV、VH、VV的目标和环境电磁散射特性测量。本次测量中, 发射信号源HP83624B产生9—12GHz扫频连续波信号, 能量用矩形宽波束喇叭天线辐射到空间; 本振源HP83621B产生与发射信号差20MHz的本振信号。从发射机耦合过来的部分射频信号与本振信号混频, 下变频得到20MHz的参考中频信号。接收天线接收从地物散射回来的能量, 回波信号与本振信号混频下变

频得到测试中频信号。接收机HP8530A完成对两路中频信号的接收、视频转换、模数转换、数据校正、补偿和显示。

系统不能直接测量按距离分开的时域回波信号, 它首先在频域测量各点回波信号的频率响应, 然后利用数学方法—傅里叶变换, 转换到时域, 得到各点回波的幅度和相位。频域测量时噪声电平按 $10\log N$  ( $N$ 为频率点数)降低, 例如当 $N=800$ 时, 噪声电平可以降低29dB。噪声电平降低可以有效提高系统的动态范围, 提高系统性能。

## 2 测量的基本原理

### 2.1 天线瞄准

可以用激光瞄准器, 调节天线主波束中心线对准照射区域中心。首先在天线口径平面的中心摆放一个平面反射镜, 激光源放在照射区域中心处。激光源产生散度小的激光束, 照射到反射镜上, 调整天线方向, 使反射线回到光源位置。经过这样调节后, 可以近似认为天线已经对准。收、发天线按相同方法调节。

### 2.2 照射面积的计算

系统为连续波体制, 单个天线的照射面积以3dB宽度波束与地面相交的区域来计算。计算 $\sigma^0$ 的照射

收稿日期: 2002-05-01; 修订日期: 2002-06-01

基金项目: 国家自然科学基金重点项目“新型成像雷达对地观测机理及地物识别技术”(49989001)资助。

作者简介: 周平(1969—), 男, 1992年于武汉大学空间物理系获得天线与电波传播专业学士学位。1999年于航天科工集团获得电磁场与微波专业硕士学位。现正攻读飞行器制导与识别技术专业博士学位。主要从事电磁散射特性计算、测量与仿真、数字信号处理等研究。

面积是发射与接收天线的公共照射区域。在试验设计时,为了简化面积的计算方法,双天线的波束选择一宽一窄的形式,保证宽波束照射区域完全包括窄波束

束照射区,而且,在公共区宽波束的增益变化较小,可以视为常数(图 2 描述了双天线的照射关系)。因此,公共照射面积完全由窄波束天线的波束确定。

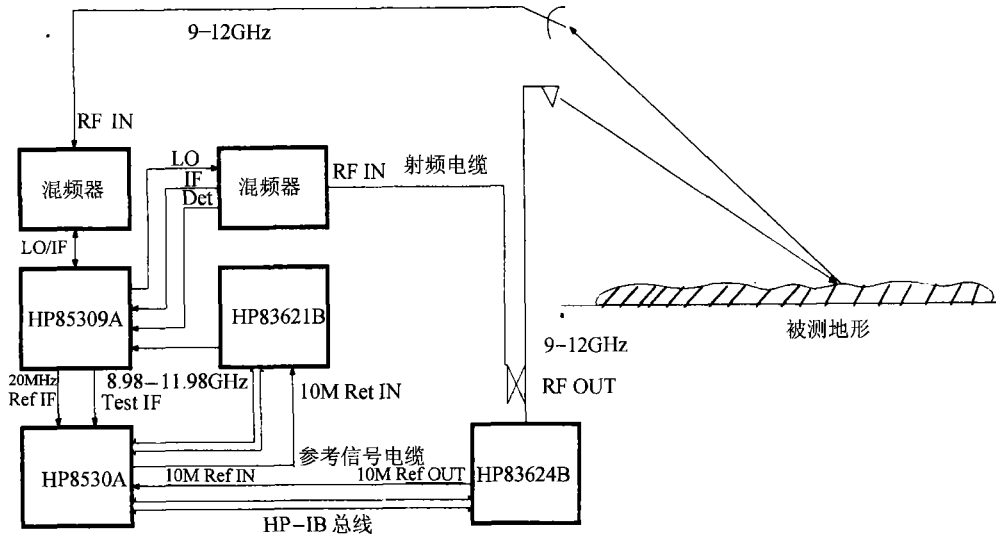


图 1 测试系统组成  
Fig. 1 Description of the measurement system

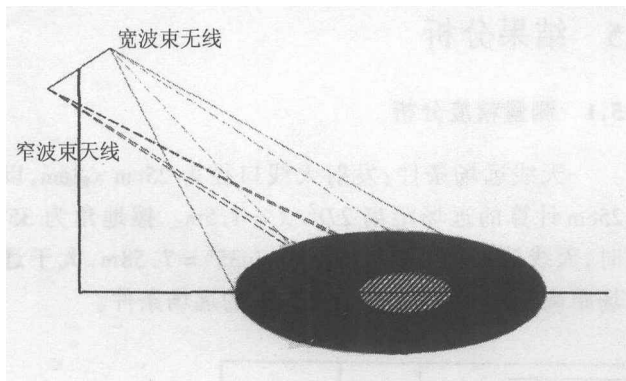


图 2 双天线的波束位置关系  
Fig. 2 Wave beams of two antennas

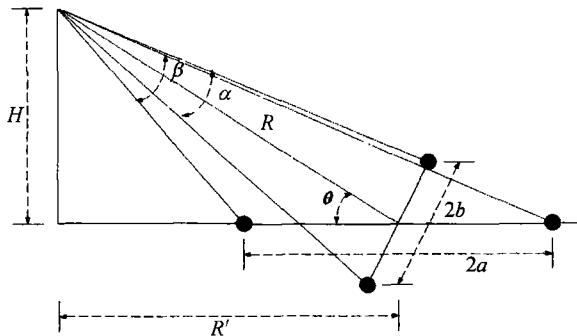


图 3 照射面积的几何  
Fig. 3 Geometry of illuminated area

照射区域为一椭圆,面积  $A$  按图 3 所示进行计算。 $\alpha$ 、 $\beta$  分别表示窄波束天线的水平波束宽度和垂直波束宽度,  $\theta$  是入射线的擦地角,  $H$ 、 $R'$ 、 $R$  分别表示天线高度、天线至目标的地面距离、天线至目标的斜距,椭圆长轴和短轴用  $2a$ 、 $2b$  表示。 $\alpha$  较小时,

$$2b \approx R\alpha \quad (1)$$

长轴表达式为

$$2a = H/\text{tg}(\theta - \beta/2) - H/\text{tg}(\theta + \beta/2) \quad (2)$$

椭圆面积

$$A = \pi ab \quad (3)$$

### 2.3 后向散射系数 $\sigma^0$ 的测量

地面定量散射系数测量包含两个独立过程:(1)

已知散射截面的标准体的回波功率测量;(2)地面散射回波功率测量。利用两次测量结果和雷达方程,可以用数学方法计算地面后向散射系数。

地面回波功率的雷达方程为,

$$P_r = \frac{P_t \lambda^2}{(4\pi)^3} \int \frac{G_t(\theta) G_r(\theta) \sigma^0(\theta)}{R_t^2(\theta) R_r^2(\theta)} dA \quad (4)$$

其中,  $P_t$ 、 $P_r$  分别为发射和接收功率,  $\lambda$  为雷达工作波长,  $\theta$  为擦地角,  $G_t$ 、 $G_r$  分别为发射和接收天线增益,  $R_t$ 、 $R_r$  分别为发射、接收天线到地面的距离。后向测量时,发射天线与接收天线之间的距离远小于天线到目标的测试距离,因此  $R_t \approx R_r = R$ 。在波束较窄时,式(4)积分项中各参数可以认为是常数,因此,

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2 \sigma^0 A}{(4\pi)^3 R^4} \quad (5)$$

类似,标准体的回波功率表示为,

$$P_{r0} = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2 \sigma_0}{(4\pi)^3 R_0^4} \quad (6)$$

由(5)、(6)式可得,

$$\sigma^0 = \frac{P_r \sigma_0 R^4}{P_{r0} A R_0^4} \quad (7)$$

根据测量值  $P_r$ 、 $P_{r0}$ ,以及几何关系确定的  $R$ 、 $R_0$ 、 $A$ ,可以由(7)式计算得到散射系数  $\sigma^0$ 。式中  $\sigma_0$  是标准体的理论散射截面,  $P_{r0}$  表示标准体的回波功率,  $R_0$  表示天线到标准体的距离。

如果波束较宽时,则必须用(4)、(6)式,同样假定  $\sigma_0$  在积分区域不变。这样(7)中将包含积分项。

### 3 测试内容

#### 3.1 主要技术指标

发射功率:20dBmW;

中心频率:10.5GHz( $\lambda = 2.8\text{cm}$ );

带宽:3GHz;

极化:VV;

发射天线:宽波束矩形喇叭天线,水平波束宽度  $7.7^\circ$ ,垂直波束宽度  $11^\circ$ ;

接收天线:抛物面天线,  $D = 61\text{cm}$ ,波束宽度  $3.2^\circ$ ;

擦地角:  $5^\circ - 35^\circ$ 。

#### 3.2 测试地区

试验在北京云岗地区进行,选择的四块区域包括未翻过的干草地、翻过的干草地、绿麦地、翻过的土壤四种类型。测试区域分布见图4。地貌描述见表1。2#、3#测量时入射电磁波垂直于犁沟方向;4#测量时入射电磁波平行于犁沟方向。

### 4 测量结果

对四种地类和植被的试验数据处理后得到的后向散射系数测试结果见图5—9。由于受外场试验实际的测试环境的限制,不同组的擦地角范围不一样。虽然,1#的测试角度范围很小,测量的点数也少,但这几个角度具有一定的代表性,因此,测量结果也列入本文中,可供比较。图中散射系数值为平均值,是对相同条件下5次测量结果的平均。

### 5 结果分析

#### 5.1 测量精度分析

天线远场条件:发射天线口径为  $25\text{cm} \times 8\text{cm}$ ,以  $25\text{cm}$  计算的远场距离  $2D^2/\lambda = 4.5\text{m}$ 。擦地角为  $35^\circ$  时,天线到地面距离为  $4.35/\sin 35^\circ = 7.58\text{m}$ ,大于远场距离,因此测试足够满足天线的远场条件。

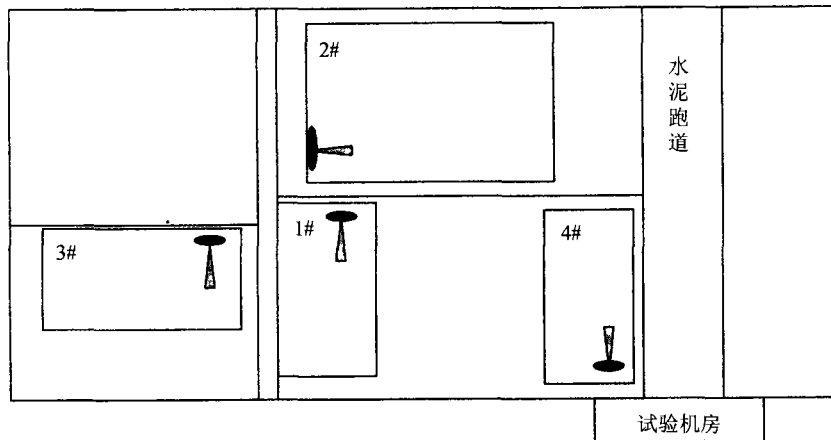


图 4 测试区域分布图

Fig.4 Distribution of fields under measurement

表 1 测试区域描述

Table 1 Description of fields under measurement

测试区域编号	区域主要成分	简单描述	测试时间
1 #	干草地	主要为矮草, 草高 6—12cm。草很干枯, 密集。	2001-11-21 10:00—11:00
2 # (翻耕前)	干草地	草高 80—100cm。主要为干枯的秸秆。	2001-11-21 14:00—16:00
2 # (翻耕后)	干草地	刚翻耕的土壤, 翻倒的秸秆和干草或在土壤表面, 或部分埋在土壤中, 表面起伏大。	2001-11-22 13:00—14:00
3 #	绿麦地	平均高度 50mm, 条播有间隔, 平均间隔 15cm。	2001-11-22 9:00—11:00
4 #	土壤	刚翻耕过, 无草, 较平坦	2001-11-22 14:20—16:00

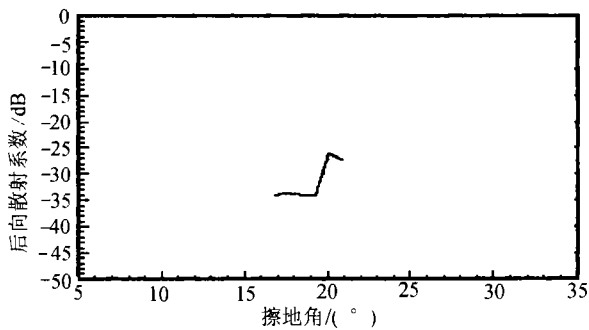


图 5 1# 未翻过的干草地  
Fig.5 The 1st dry grass land untilled

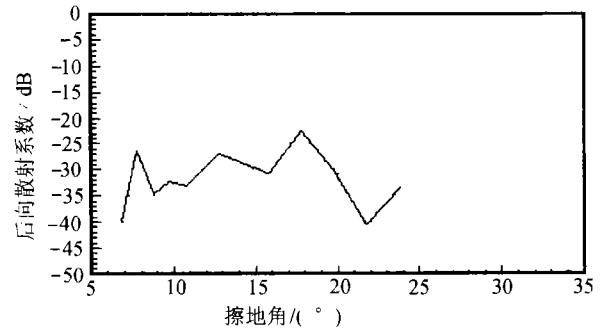


图 8 3# 的绿麦地  
Fig.8 The 3rd green wheat land

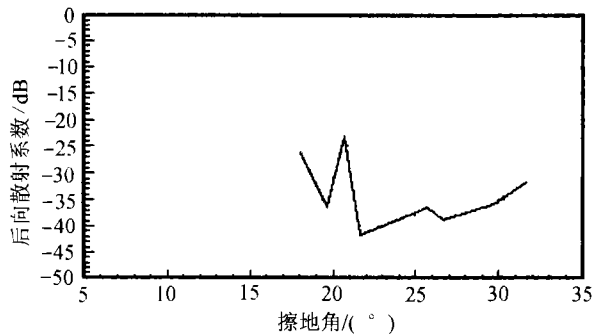


图 6 2# 未翻过的干草地  
Fig.6 The 2nd dry grass land untilled

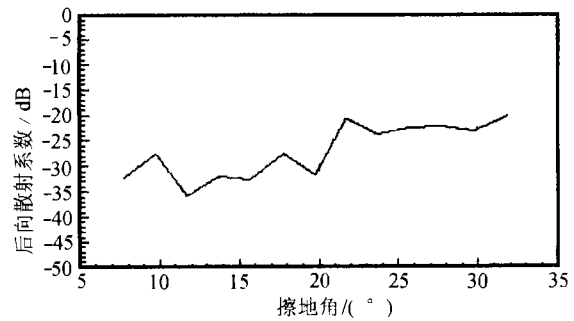


图 9 4# 翻过的土壤  
Fig.9 The 4th soil tilled

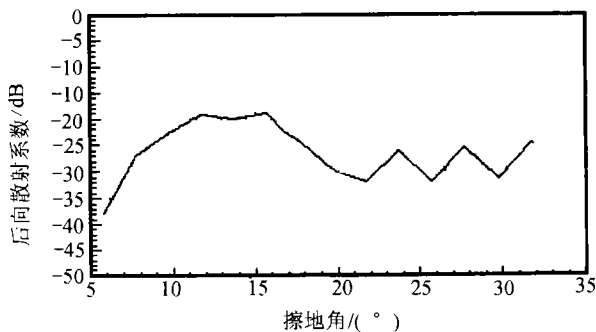


图 7 2# 翻过的干草地  
Fig.7 The 2nd dry grass land tilled

噪声电平: 接收机噪声在  $-80\text{dB}$  以下, 测量得到的杂波电平在  $-55\text{dB}$  以上, 两者之间至少有  $25\text{dB}$  的差距, 因此接收机内部噪声对杂波测量的精度影响很小。

### 5.2 后向散射系数分析

(1) 具有周期性结构地形的后向散射系数

绿麦地和翻耕后的土地具有随机起伏的表面特征和周期变化的表面特征, 周期起伏是由分割土地的犁沟形成, 这些沟的宽度、深度和间距差不多相等。当雷达波束照射方向垂直于犁沟时, 周期起伏对散射的影响较大, 尤其在擦地角较大时, 波束照射面积较

小,地面散射系数受地形特征影响很明显,也表现出周期性。比如 2# 耕后干草地在擦地角  $22^{\circ}$ — $32^{\circ}$  之间有两个半周期(图 7),每个周期代表的地面距离平均为 1.5m;绿麦地在擦地角  $16^{\circ}$ — $24^{\circ}$  之间有将近一个周期(图 8),代表的地面距离为 5.4m。这是因为犁沟对电磁波的角反射器效应或遮挡效应造成。在距离较远和电磁波平行犁沟入射时,地表随机起伏对散射起主要作用,这可以从图 7、图 8 的小擦地角区域和图 9(平行入射情况)看出。

### (2) 后向散射系数比较

对几种类型地表和植被的测量基本是在散射系数随擦地角变化的平稳区内,所取的擦地角范围不一样,可以对每组中所有角度的散射系数求总的平均散射系数,然后进行比较。表 2 列出了五次测量结果的整体平均值。2# (耕后)和 4# 的散射系数较大,比另外三组大 3.9—6.5dB,这是因为新耕后的土壤粗糙度较大、表层含水量高。2# (耕后)由于比 4# 更粗糙,因此散射也更大。

表 2 平均散射系数比较

Table 2 Comparison of average backscattering coefficients

地面类型	1#	2# (耕前)	2# (耕后)	3#	4#
平均 $\sigma^0$ /dB	-31	-33.8	-26.3	-31.9	-27.1

### 5.3 后向散射系数的范围

在擦地角  $5^{\circ}$ — $35^{\circ}$  范围内,本次试验测试的几种

地形的平均散射系数基本在  $-40$ dB— $-20$ dB 之间。

## 6 结 论

地面后向散射系数是关于雷达参数、测试几何参数、地面参数等的复杂函数,地面粗糙度、相关长度、含水量等都是影响后向散射的重要因素。本文初步研究了几种地貌的后向散射强度,在擦地角  $5^{\circ}$ — $35^{\circ}$  范围内,平均散射系数基本在  $-40$ dB— $-20$ dB 之间;翻耕后的土壤由于比较粗糙、表层含水量较高,后向散射也较强。本文也初步研究了简单地形结构,如周期结构,对地面后向散射强度的影响,可以认为,在沿地表周期变化的方向,当地面周期变化的尺度与雷达照射区域的尺寸相当时,散射系数随擦地角的变化也有周期性;随着照射区域扩大,周期特征减弱,地表的随机变化特征对散射的影响加强。这次试验形成了可靠、有效的室外测量方法,为室内面目标散射特征研究积累了经验。

### 参 考 文 献 (References)

- [1] Fawwaz T Ulaby, Tahera E Van, Jack R East. Millimeter-wave bistatic scattering from ground and vegetation targets [J]. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 1998, 26(3): 229—243.
- [2] J C Daley, Willie T Davis, James R Duncan, Michael B Laing. NRL terrain clutter study-phase II [R], AD679568, 1968.
- [3] F T Ulady, R K Moore, A K Fung. *Microwave Remote Sensing, Volume II, Radar Remote Sensing and Surface Scattering and Emission Theory* [M], Addison-Welsley Publishing Company, 1982.

## Research on X-Band VV Polarization Land Clutter Measurement

ZHOU Ping<sup>1</sup>, CHEN Jun-wen<sup>1</sup>, YAO Jing-ping<sup>1</sup>, WANG Chang-lin<sup>2</sup>

(1. National Defence Key Laboratory of Target and Environment Electromagnetic Scattering and Radiation, Beijing 100854, China;

2. Institute of Remote Sensing Applications, CAS, Beijing 100101, China)

**Abstract:** The experiment of land clutter measurement, which was implemented at X-band, VV polarization in an out-field, is summarized. This paper includes the description of microwave measurement system, measurement principle and measurement contents. The results and analysis of backscattering coefficients are provided. The measured terrain consists of dry lawn fields, exposed soil, green wheat fields.

**Key words:** land clutter; radar equation; backscattering coefficient