

# 微波遥感中的散射特性研究\*

赵立平

(湖南省遥感中心)

1986年11月16日收稿

## 摘 要

微波遥感中的电波传播主要研究物体的辐射亮温和散射系数的空间分布及时间变化规律,建立地物特征与传播参数的关系。五年来我们利用X波段散射测量系统合理选择目标的独立样品数,使数据测量精度在2db内。并收集了典型地物的数据,其中包括水面、道路、机场等光滑表面;小麦、水稻、草场、树林等混合介质的随机表面层;房屋、岩石等复杂组合表面。根据实验结果分析得出了有意义的定量关系;开展了散射系数与土壤湿度和表面粗糙度相关性的研究;同时利用电磁散射理论分析方法求解了粗糙界面的散射系数及其功率谱密度,并与实验结果作了比较。

## 一、前 言

在微波遥感中电磁波传播研究的主要内容是根据测量分析物体的辐射亮温及散射系数特性及空间分布、时间变化的规律,建立地物特性与传播参数之间的关系。这不仅对雷达总体设计及雷达图像的分析具有应用研究的实际意义,而且对开展电磁波与粗糙界面和随机介质相互作用的研究,获取各种地物的理论模式具有深刻的理论意义。

## 二、波谱特性与散射

通常利用散射计研究沿入射方向返回的信号,称后向散射。其特性不仅与入射电磁波的频率、入射方向、极化方式有关,而且还与目标的种类、几何特征、物理特征和电磁特征有关。为了定量描述和研究地物散射特征,定义单位照射面积上的散射截面为后向散射系数。通过实验测量获取不同地物目标散射系数与入射电磁波特性的相关关系,其中包括各种目标的散射系数随入射波频率、入射角、极化方式的变化;特定频率和极化方式下不同目标散射系数随入射角的变化及特定入射角条件下不同目标散射系数的特性。从而掌握各种目标回波的平均量级、变化规律及特征信息。千差万别的地物和复杂多变的环境及辽阔的感测范围会给散射测量带来极大的困难,因此选择有代表性的地区,取典型的目标,在特定的环境下收集数据是适宜的方法。

\* 该研究工作主要由中国电波传播研究所七室707工程组承担,当时作者在此所是主持者和主要参加者。文中引用了尹贵庆、李桂奎、李元青、孙利国、吉健康等人的成果,谨向各位同志表示感谢。

### 三、研究内容及进展

我们的地物散射研究从 1980 年开始,根据我国的实际情况,收集了典型地物的数据,为正在发展中的应用遥感提供可靠的资料。

#### 1. 散射计系统和精度

五年来我们逐步完善了一套散射测量系统,包括传感器、控制器、校准监视器、数据显示器、微处理机、遥感车六部分。如图 1 所示,一对收、发天线安装在遥感车支撑臂的顶端,由电缆与控制器相连,校准监视器可使系统调整到正常工作状态,微处理机按预先编排的程序控制天线的俯仰、方位变化,选择对应的调制频率,并将收集到的目标回波经过处理、计算得到的散射系数数值打印输出。

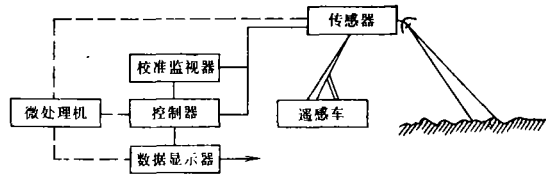


图 1 散射测量系统方框图

Fig. 1 Block Diagram of Scattering Measurement System

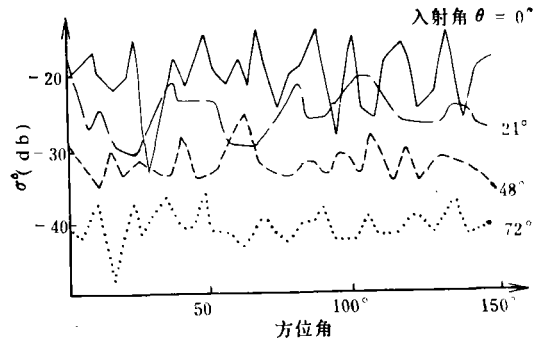


图 2 散射系数随方位的衰落曲线

Fig. 2 Fading Curve of Scattering Coefficients with Azimuth

散射计工作在 X 波段,采用调频连续波体制。这是与我国目前使用的机载图像雷达的工作波段一致的。利用熟知的雷达方程导出的公式计算散射系数  $\sigma^0$ 。在给定天线高度及波束宽度时,可得各入射角时相应的极化方式的照射面积。如果发射功率和接收功率是经过精确定标测量的,则散射系数的测量计算值的精度小于 2 db。

#### 2. 数据采集方案及测量精度

散射计每次获取的数据是地面目标后向散射回波的平均值,由于地面分布目标可看成许多小散射单元服从特定分布的集合体,所以回波为一随机变量,依空间和时间呈衰落变化。图 2 是在草地上测量到的散射系数随方位的衰落曲线。

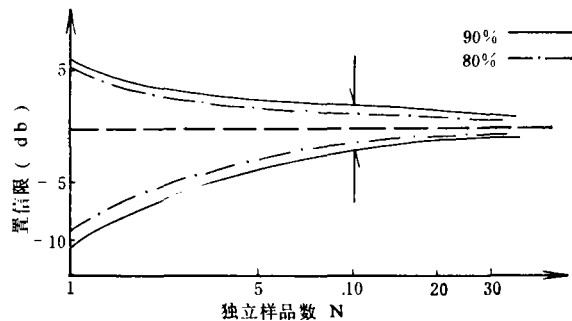


图 3 置信区间与独立样品数的关系

Fig. 3 Correlation of Credible Range with Independent Samples

散射回波的相关性取决于地面目标的固有特征及散射计设备的性能,为达到预定的测量精度必须获取足够数量的独立样品进行平均,根据各入射角的照射单元内一次测量所提供的独立样品来确定所应测量的次数。分析表明: 每一个等效独立散射体的合成回波电压的幅度服从瑞利分布,相位服

从  $(0-2\pi)$  内均匀分布。具有平方律检波特性的接收机检波电压则服从指数分布, 对于  $N$  个样品的平均值则服从  $n = 2N$  自由度的  $\chi^2$  分布。图 3 绘出了给定置信概率的置信限与独立样品数的关系。这一结果不仅有理论依据, 而且得到了实验证实。

### 3. 各种地物测量及结果

广泛地收集地物散射系数数据是波谱研究的重要内容, 五年来我们精选出近四十种地物目标进行测量, 得到了一批不同极化方式后向散射系数  $\sigma^\circ$  随入射角变化的曲线。按照我国平原、海域区段的特征可划分为五类。第一类: 包括平静水面、机场坪、道路, 属光滑表面。第二类: 包括耕地、沙滩、河床、矿山坪、海浪等, 属粗糙表面。第三类: 包括种植小麦、水稻、棉花、蔬菜等农作物的农田、草原、灌木丛, 属混合介质的随机表面层。第四类: 包括树林、果园等, 与第三类表面相似, 但介质与空气的体积比较小。第五类: 包括城市、居民区、岩石

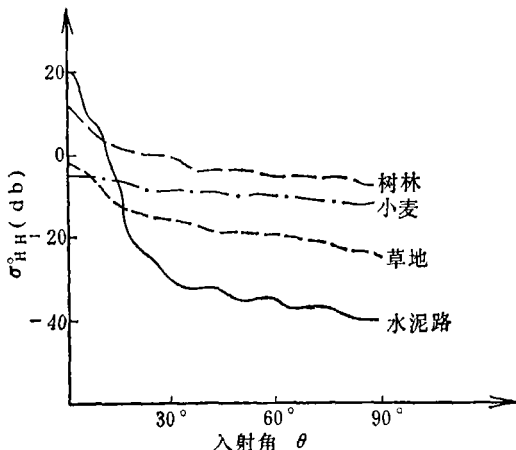


图 4 各种地物的散射特征

Fig. 4 Scattering Characteristic of Various Ground Objects

裸露层等属含有反射表面的组合表面。图 4 表示了各类地物散射特性的变化范围。综合分析这些变化有以下几个明显的特点: (1) 近似垂直入射时光滑表面的  $\sigma^\circ$  远大于粗糙表面的值, 而近似切向入射时则相反。(2) 近似光滑表面的  $\sigma^\circ$  有达 50 db 的取值宽度, 而一般粗糙表面只有 20—30 db, 植被仅 5—10 db。(3) 去极化效应以植被最显著, 与粗糙表面类似, 交叉极化散射系数比同极化散射系数低约 5—10 db, 而光滑表面两者相差 10—15 db。(4) 入射角在  $6^\circ-10^\circ$  范围, 所有特性曲线交聚一起, 呈现出与表面粗糙度无关的现象。

图 5 为小麦不同生长季节  $\sigma_{HH}^\circ$  的取值。图 6 为小麦生长旺盛时与水稻、棉花、草场

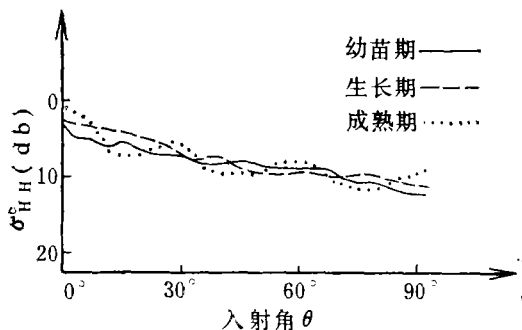


图 5 不同生长季节散射特征比较

Fig. 5 Comparison of Scattering Characteristic in Various Growing Seasons

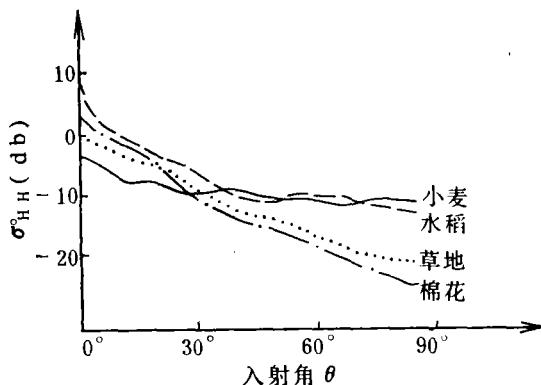


图 6 四种农作物比较

Fig. 6 Comparison of Scattering Characteristic of Four Crops

的比较。可以看出：小麦在 X 波段的散射系数随入射角的变化平滑，基本上与麦高无关。 $\sigma_{HH}^0$  与  $\sigma_{VV}^0$  均值为 -15 db,  $\sigma_{HV}^0$  与  $\sigma_{VH}^0$  为 -20—-22 db。这一特征既不同于水稻在近似垂直入射时散射系数大幅度增加的特点，也不同于棉田、草地等植被在近似切向入射时散射系数明显减少的特点。从历次实验结果中选取两种入射角时各类农作物的  $\sigma_{HH}^0$  绘于图 7，可作为判别分类的依据。图 8 为风速  $V = 3.5$  米/秒测到的  $\sigma_{HH}^0$  随入射角的关系；图 9 是不同风速下测得的侧风向散射特征。利用大量的实验结果寻求海面  $\sigma^0$  与雷达参数、当地风速、有效波高的关系。

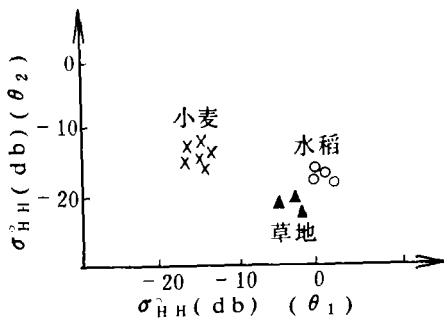


图 7 农作物分类图

Fig. 7 Classification Diagram of Crops

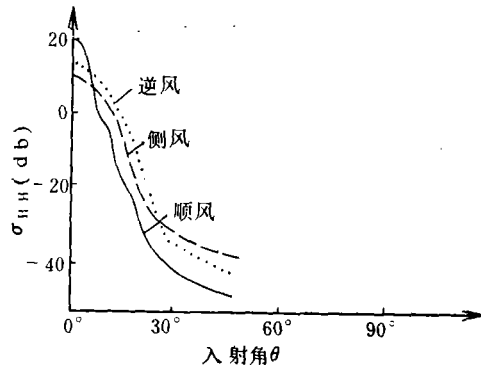


图 8 不同风向的散射结果

Fig. 8 Scattering Characteristic of Various Wind Direction

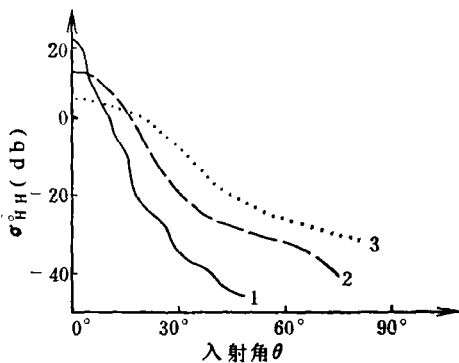


图 9 散射系数与风速的关系

Fig. 9 Correlation of Scattering Coefficients with Wind Speed

风速  $V = 3.4$  米/秒 ——①  
 5.7 米/秒 ----②  
 10.1 米/秒 .....③

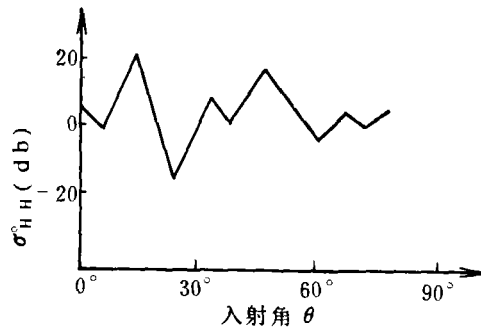


图 10 房屋群的散射特性

Fig. 10 Scattering Characteristic of Houses in Clusters

第五类地物的散射系数随入射角呈起伏变化，图 10 是房屋集中区收集的数据，雷达图像上呈黑白分明的点群。这些丰富的实测资料已定性地观察到电磁波与地物相互作用的各种表现，并得到初步的定量结果。

### 4. 土壤湿度及表面粗糙度的影响<sup>1,2)</sup>

探查裸露土壤的特性对农业、水利、环保研究有十分重要的意义。我们通过对耕地的探测得出：土壤湿度越大， $\sigma^\circ$  随入射角的变化规律越接近光滑表面；反之越接近粗糙表面。对光滑表面在近似垂直入射时，湿度对散射系数影响大，对粗糙表面在中等入射角时，湿度对散射系数影响大。从图 11 可看出散射系数随湿度的关系，并且存在某一角度  $\theta_0$ ，此时散射系数对湿度不敏感。且  $\theta_0$  随粗糙度而异。分析大量数据，统计出入射角为  $6^\circ$  时的线性关系见图 12。

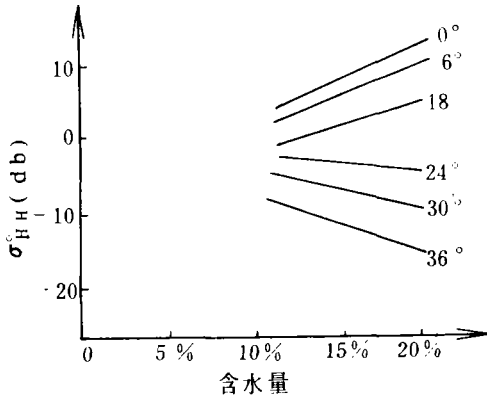


图 11  $\sigma^\circ$  与土壤湿度的关系

Fig. 11 Correlation of  $\sigma^\circ$  with Soil Moisture

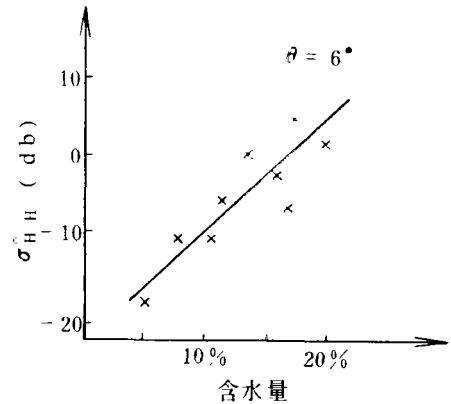


图 12 实验数据的统计结果

Fig. 12 Statistic Results of Measurement Data

### 5. 电磁散射模型

地物散射归结为电磁波与介质的相互作用，运用电磁理论求解回波特性已成为目前散射研究的重要内容，我们利用离散方法求解了麦田的平均雷达截面<sup>[1]</sup>，图 13 给出了理论计算值与实测值的比较曲线。为了研究植被土壤、雪层土壤、油膜海水这一类自然表

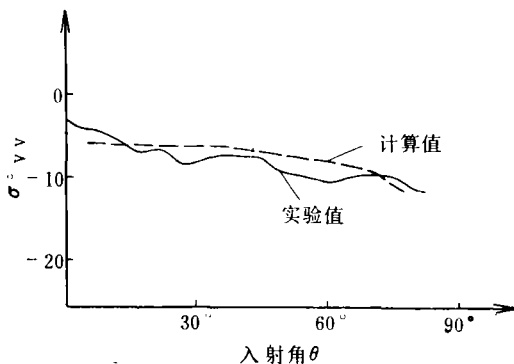


图 13 小麦散射特征

Fig. 13 Scattering Characteristic of Wheat

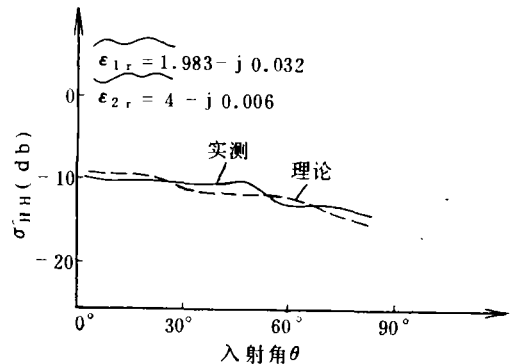


图 14 雪地散射特征

Fig. 14 Scattering Characteristic of Snow Ground

1) 尹贵庆等，土壤湿度对散射系数的影响，中国电波传播研究所技术报告。  
 2) 李桂奎等，裸露土壤后向散射特性测试结果与初步分析，中国电波传播研究所技术报告。

面,采用全波法给出了双层粗糙界面的散射系数表达式<sup>1)</sup>。图 14 绘出雪层的散射。考虑到风场中植物的摆动,利用“重正则法”求解散射功率谱密度<sup>2)</sup>,图 15 为实测谱和计算谱的比较。

散射特性的理论研究促进了遥感的广泛应用,由于求解方法的局限性和地物的复杂性,要达到理论与实际的完满统一仍需做大量工作,尤其要加强逆散射研究,以提高图像解译的准确性和可靠性。

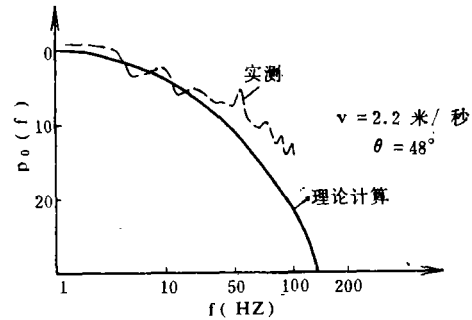


图 15 散射功率谱密度

Fig. 15 Power Spectral Density of Scattering Coefficients

### 参 考 文 献

- [1] 李元青等,细长叶植被的归一化雷达截面,电波与天线,(3),1983年。

## The Research on the Scattering Characteristic in the Microwave Remote Sensing

Zhao Liping

(Remote Sensing Centre of Hunan Province)

### Abstract

The research of the radiowave propagation of microwave in remote sensing is mainly on the rules of space distribution and time variance of the brightness temperature and scattering coefficient of the ground objects, and the correlation of the property of the ground objects with the propagation parameters is set up. For the past five years, through reasonable selecting of the number of independent samples by using X-band scatterometer system, we have made the precision of the measurement below 2db. The data of the typical ground objects, which are characteristic of the Chinese topographic features, are extensively collected. These ground objects include waters, roads and airfields with the smooth surface; the farmland, sands and seawave with the rough surface; wheat, rice, grassland and woods with the random surface in the mixed medium; houses, rock and hills with the complex mixed surface. The analysis has some to the important quantitative correlation on the base of experimental results. The research on the relation of the scattering coefficient with the soil moisture and its roughness has been made, and the valuable conclusion has been reached. At the same time, the scattering coefficient and its power spectral density are resolved by using the analysis method about the electromagnetic scattering theory, and these have been compared with the measurement results significantly.

1) 孙立国等,双层粗糙界面的电磁散射,1984年研究生论文,中国电波传播研究所。

2) 告健康等,植被后向散射起伏谱,1985年研究生论文,中国电波传播研究所。