

# 双模态微波遥感器的研制

张德海 张俊荣 张升伟 赵 凯

(中国科学院长春地理研究所微波遥感室 长春 130021)

**摘 要** 散射计和辐射计是微波遥感信息获取的重要遥感器。文中提出了利用公共高频通道将散射计与辐射计组合成散射-辐射计的设计思想,作者根据该思想研制成功了 X 波段散射-辐射计。文中给出了该散射-辐射计的工作原理、工作时序及性能指标。通过野外测量实验证明,利用该思想研制散射-辐射计是可行的。

**关键词** 散射-辐射计, 散射计, 辐射计

## 1 引 言

微波遥感以其全天候、全天时的工作特点,受到了人们的普遍重视并得到了很大发展。微波遥感的目的是从大量的微波遥感信息中提取出有关被测目标的特征参量,从而对微波遥感信息进行解译、判读和反演。被测目标的微波遥感信息包括主动遥感信息与被动遥感信息两大类,它们分别给出目标的不同特性的信息。因此,将主、被动遥感测量联合起来,同时获取同一目标的散射与辐射信息,对正确反演目标具有重要意义。

在以往的微波遥感中,若要同时得到目标的散射与辐射特性,则需用散射计和辐射计同时测量,实验中两套天线要同时对准同一目标,难度较大。因此,一些国家先后研制并使用了将散射计与辐射计组合在一起的新型微波遥感器——散射-辐射计。其中较典型的应用是曾装载于美国 1973 年发射的天空实验室卫星上测量海风的风速与风向,利用辐射计测量大气的有效衰减,从而得出云区和小雨区的风速与风向<sup>[1]</sup>。在中国,由于遥感研究起步较晚,尚没有关于散射-辐射计的研究报道。

本文提出了一种利用公共天线及高频通道将散射计与辐射计合成的设计思想,并根据该思想研制出了一台陆基 X 波段散射-辐射计。由于研制的目的是为了证明该设计的合理性,因此散射与辐射通道均选用了简单的散射计和辐射计形式,它们分别是简单连续波散射计<sup>[2]</sup>和数字增益补偿微波辐射

计<sup>[3]</sup>。用该散射-辐射计进行的野外测试实验结果表明,该仪器各模态均能正常工作并且没有互相影响。

## 2 设计思想

典型的微波散射计由发射机、天线、接收机 3 部分组成,工作时发射机发射较强的窄带信号,接收机接收由目标散射的回波,将两者相比较,确定目标的散射系数,辐射计由天线和接收机两部分组成,接收机接收目标自身的辐射信号,从而确定目标的辐射亮度温度或辐射率。为了提高辐射测量灵敏度,辐射计的带宽要做得很宽。

可见,散射计与辐射计的共同特点就是都具有天线及超外差接收机部分。若利用同一接收天线,同时接收散射与辐射信号,再经过同一低噪声前端(包括场放、本振、混频和前中),将信号放大并变换到中频,在中频利用中放及滤波器将散射与辐射信号分开,分别进行处理,则既可以实现同时获得同一地域的散射、辐射信息,又减少了元器件的数量(主要是高频部件)从而降低了成本,达到了散射、辐射复合测量的目的。

若设发射机发射频率为  $f_i$ ,接收机本振频率为  $f_1$ ,则接收到的散射信号变换到中频后的频率为:

$$f_s = f_1 - f_i \quad (1)$$

将辐射计的中放及滤波器带宽设计在小于  $f_s$  之处,将散射计的中放及滤波器设计成中心频率为  $f_s$  并具有足够用的窄带,则由前端出来的混合信号经过

辐射计与散射计的中放和滤波器以后,可以将各自的信号提取出来,分别进行处理。

### 3 工作原理

根据上述设计思想设计的散射-辐射计如图 1。图中,信号源、隔离器、定向耦合器与发射天线构成了散射计的发射机部分。定向耦合器将发射信号的一小部分通过衰减器耦合到接收机中,以进行散射计的内定标。同时将衰减器恒温作为辐射计接收机

的定标源。

接收天线将接收到的散射、辐射信号经前端进行放大与混频,将它们变成中频信号。该中频信号经功分器分成两路,一路经散射通道的中放、滤波后,提取出散射信号,再经过散射通道的检波、直流放大和积分,将散射信号变成直流信号。另一路经辐射通道的中放、滤波后,提取出辐射信号,再经过辐射通道的检波、直流放大和积分,将辐射信号变成直流信号。最终将得到的模拟直流散射与辐射信号经 A/D 转换由单片机进行处理。

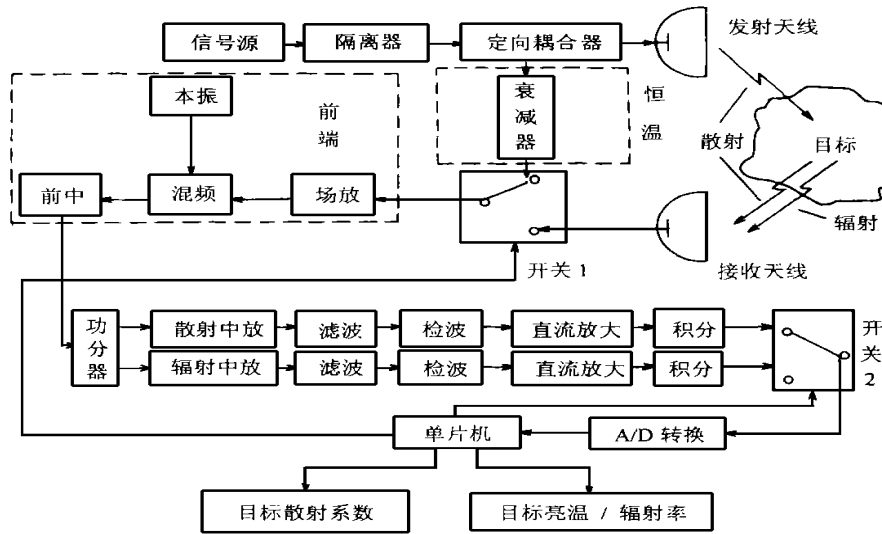


图 1 散射-辐射计工作原理框图

Fig. 1 The block diagram of a scattero-radiometer

实际应用中,通过适当调节发射功率的强弱,一方面可以避免由于散射回波太强引起的接收机前端或中放的饱和,另一方面可以避免由于辐射通道的中放和滤波器对带外的抑制能力有限造成的强散射信号对辐射测量的影响。从而保证了散射-辐射计在实验要求的动态范围内正常工作。

简单连续波散射计天线间的泄漏会对测量产生一定的影响。由于陆基测量要求天线靠得很近,造成天线间的泄漏也相对较大。实验中,通过选用窄波束天线并且在天线间加上金属屏蔽网,使天线间的隔离度可以达到 80dB。

### 4 工作过程

该散射-辐射计的工作过程主要由开关控制,开关 1、2 的时序如图 2。开始工作时,首先将开关 1 指向衰减器,将开关 2 指向散射通道,采集散射计的内

定标数据并储存,然后将开关 2 指向辐射通道,采集并储存恒温槽的辐射数据。在完成两个通道的定标数据采集后,将开关 1 指向天线,开关 2 指向散射通道,接收散射信号,由计算机将接收信号与定标信号结合处理,然后将天线 2 指向辐射通道,采集目标的辐射信号并进行计算机处理。待数据处理完成后,即完成了一个测量周期,开关重复开始时的工作状态,继续测量。

### 5 性能指标及实验结果

根据上述设计思想和工作原理研制了 9.6GHz 散射-辐射计。其中散射通道采用简单连续波散射计,辐射通道采用数字增益补偿微波辐射计,其性能指标如表 1。对辐射通道进行的灵敏度测试结果如图 3,可以看到,该通道能够分辨小于 0.39K 的亮度

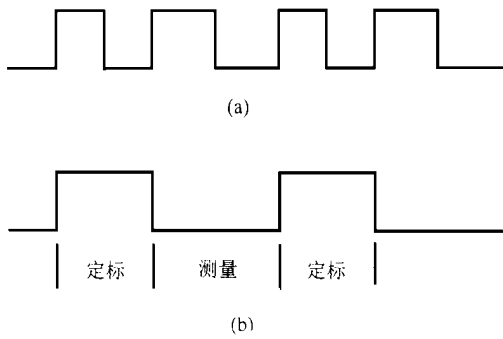


图 2 开关的工作时序

(a) 开关 2 的工作时序; (b) 开关 1 的工作时序

Fig. 2 The timing program of Switches

表 1 9.6GHz 散射-辐射计特性

Table 1 The characteristics of 9.6GHz scattero-radiometer

频 率		9.6GHz
发射机功率		100mW
接收机 前端	中频带宽	400MHz
	系统噪声	262.6K
	最小检测信号功率	<-60dBm
散射	线性度	>0.998
通道	中频带宽	50MHz
	积分时间	1.0s
	中频带宽	120MHz
辐射	线性度	>0.999
通道	最小检测信号	0.33K
	动态范围	0-350K

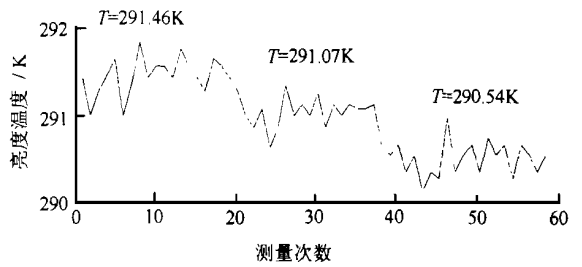


图 3 辐射通道灵敏度测试曲线

Fig. 3 The sensitivity test curve of radiation channel

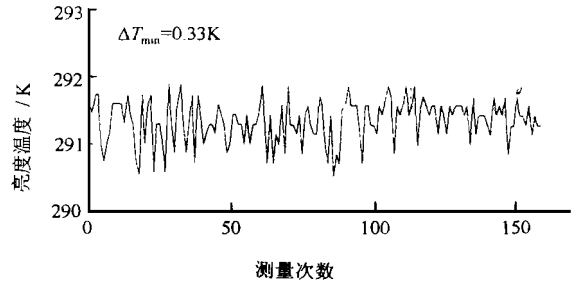


图 4 辐射通道稳定性测量曲线

Fig. 4 The stability test curve of radiation channel

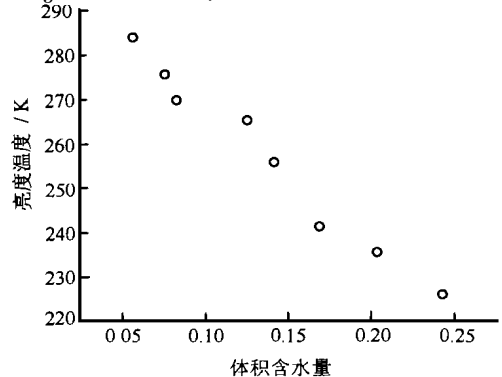


图 5 土壤的亮度温度随含水量的变化

Fig. 5 Brightness temperature versus volumetric moisture of soil

温度。图 4 为辐射通道的稳定性测试曲线,其测量结果的均方根值为 0.33K,表明辐射通道的实际最小可检测信号为 0.33K<sup>[4]</sup>。

利用该散射-辐射计对土壤的相对后向散射系数和亮度温度随含水量的变化进行了测量。土壤类型是东北地区典型的农田土壤——草甸黑土。实验采取垂直于田垄照射,观测角为 50°。图 5、图 6 分别为同一区域辐射、散射的测量结果。可以看到,随着含水量的增加,该土壤的相对后向散射系数不断增大,而亮度温度不断减小。土壤的这种相对后向散射系数和亮度温度随含水量的变化关系与国外研究成果取得了较好的一致性<sup>[5,6]</sup>。

## 6 结 论

微波遥感信息包括主动遥感信息和被动遥感信息,能够同时获得同一目标的两种信息,对正确反

演目标有很大价值。利用散射-辐射计可以同时测量同一目标的后向散射系数与辐射亮度温度,与使用一台散射计和一台辐射计能够达到同样的效果。由于散射-辐射计在体积、重量、操作上都优于使用两台仪器,因而大大降低了实验难度;又由于采用了公共的高频通道及天线,降低了仪器的制造成本。

对根据文中设计思想研制的散射-辐射计的实验测试表明,该仪器保持了散射计和辐射计各自的性能,并且各通道之间不互相干扰。这说明利用该思想研制散射-辐射计是可行的。

虽然文中给出的工作原理框图只是针对连续波式散射计及数字增益补偿微波辐射计,但由于超外差接收机是各种散射计与辐射计接收机的基本形式,因而对图 1 稍加改进既可适用于其它形式的散

射计与辐射计的复合。

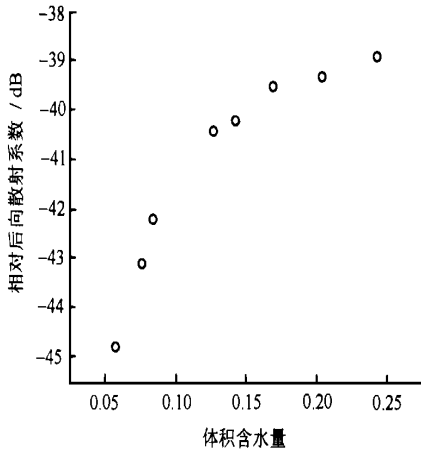


图 6 土壤的相对后向散射系数随含水量的变化

Fig. 6 Relative backscattering coefficients versus volumetric moisture of soil

### 参 考 文 献 (References)

- 1 Moore R. K. *et al.*, Simultaneous active and passive microwave response of the Earth: The skylab radscat experiment. Proc. 9th Intl. Symp. on Remote Sensing of Environment. Ann Arbor, Michigan, 1974, 189-217.

- 2 Ulaby F. T. *et al.* Microwave remote sensing, Vol. II, Radar remote sensing and surface scattering and emission theory. Addison-Wesley Publishing Company, 1982.
- 3 Zhang Junrong, Zhao Kai. Digital gain compensation microwave radiometer. Patent Number: ZL 96 2 20486. 2. (In Chinese) [张俊荣, 赵凯. 数字增益补偿微波辐射计. 专利号: ZL 96 2 20486. 2.]
- 4 Zhang Junrong. Development of null balance microwave radiometer. Symposium on Changchun Jingyuetan Remote Sensing Test Site. Science Press, 1988, 18-31. (In Chinese) [张俊荣. 零平衡微波辐射计研制. 长春净月潭遥感实验场文集, 北京: 科学出版社, 1988; 18-31.]
- 5 Jackson T. J. *et al.*, Soil moisture and rainfall estimation over a semi-arid environment with the ESTAR microwave radiometer. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 1993, **31**: 836-841.
- 6 Ulaby F. T. *et al.* Microwave remote sensing. Vol. III. From theory to applications. Artech House Inc., 1985.

### 作 者 简 介

张德海,男,1968年10月出生。1991年毕业于吉林大学电子科学系,获理学学士学位。1994年毕业于中国科学院长春地理研究所地图学与遥感专业,获理学硕士学位。现在该所攻读博士学位,主要从事微波遥感理论及微波遥感器研制方面的工作。

## The Development of a Double-Mode Microwave Sensor

ZHANG De-Hai ZHANG Jun-Rong ZHANG Sheng-Wei ZHAO Kai

(Changchun Institute of Geography, CAS, Changchun 130021, China)

**Abstract** Microwave remote sensing information includes active and passive microwave remote sensing information. Under some conditions, they usually show different characteristics of the same object. So acquiring active and passive microwave remote sensing information simultaneously is very important to interpretation, decision and inversion of microwave remote sensing.

Scatterometer and radiometer are important sensors for microwave remote sensing information acquisition. A scatterometer composed of a scatterometer and a radiometer can measure backscattering coefficient and brightness temperature of the same object simultaneously and it is superior in size, weight and operation.

In the paper, the design idea of a scatterometer-radiometer is put forward. In the idea, a public antenna and a public high frequency channel are used to receive scattering and radiation signals at the same time. Then, the signals are separated by filters in intermediate frequency and processed respectively. An X band scatterometer-radiometer is developed according to the idea. A simple continuous wave scatterometer and a digital gain compensation microwave radiometer are adopted in the scattering and radiation mode respectively. The fundamental diagram and the timing program of the scatterometer-radiometer are introduced. The performance of the receiver has been tested and the results are given. Scattering and radiation characteristics of soil versus water content have been measured with the scatterometer-radiometer. The results have been compared with the analogous results achieved aboard and the trends are the same. It shows that each mode of the scatterometer-radiometer can work in sequence and they don't disturb each other. It proves that it is feasible to develop a scatterometer-radiometer according to the idea.

**Key words** Scatterometer-radiometer, Scatterometer, Radiometer