

主被动微波遥感联合探测系统

张 瑞 生

(中国科学院大气物理所)

刘 煜 南

(中国船舶总公司系统工程部)

多年来,作为主动式遥感的雷达和应用于被动式遥感的微波辐射计早已成为气象微波遥感的重要手段。目前,用雷达与微波辐射计组成主被动微波遥感联合探测系统的科研与应用价值,已受到国内外气象科技人员的足够重视,并进行了各种试验。

例如:常规的气象雷达虽然可以探测云体的距离、角度等方面的数据,并且具有良好的距离分辨率和可以得到直观的图像显示等优点,但是它定量测量云体中的含水量时误差相当大。各种类型(零平衡式、非零平衡式、比较式、脉冲注入式等)的微波辐射计虽然可以定量测量云体中的含水量,但是因受它的探测原理所限制而具有距离分辨率很低的缺点。此外,在诸如判断云体中是否有冰雹等云雾物理研究方面,有人根据降水质点对不同波长电磁波的散射理论(如衰减系数的差异)采用了双波长雷达探测系统。虽然双波长雷达提高了对降水进行定量测量的精度,但是为了保证双波长雷达观测空间的一致性,要求两个波长的天线波瓣图和天线指向等要严格一致,这在技术上难度较大。为此,七十年代以来,苏联等先后提出了主被动遥感相结合的联合探测系统,它不但综合了雷达的距离分辨率与微波辐射计的定量测量的优点,而且为定量探测云中含水量和地面雨强分布提供了一种新的途径。

我国近年来改装和研制了双波长雷达/辐射计联合探测系统,在地面上进行了观测云雨的试验,其主要技术特点是:

1. 雷达与辐射计均分别采用3厘米与8毫米两个波长的四个基本探测单元组成主被动微波遥感联合探测系统。

2. 两个波段的四个基本探测单元共用一个天线反射体,并且其馈源采用正交喇叭辐射器(后馈)。

3. 两个波段的四个基本探测单元可连续进行一个一个地交替观测目标。这种双波长雷达/辐射计联合探测系统不但可用于对遥感原理、云雾物理和微波通信(微波在大气中的传播)方面的研究,而

且进一步展现出了研究与应用主被动微波遥感联合探测系统的未来前景。

1980年日本的无线电研究实验室(RRL)使用了X波段和K_a波段的双波段雨滴散射计/辐射计(Rain-scatterometer/Radiometer)联合探测系统,并且在地面上和飞机上进行了观测试验。这种微波雨滴散射计/辐射计联合探测系统采用了微处理机来控制两种遥感器的同步观测,可以同时使用两个频率上的观测数据来确定雨滴的区域分布及其降雨率,为实现飞机、宇航器等空中机载的新型气象探测和环境监视提供了技术条件。下面简要介绍一下这种雨滴散射计/辐射计联合探测系统的主要设备和数据分析技术,以此做为主被动微波遥感联合探测系统的实例,供读者参考。

一、微波雨滴散射计/辐射计

这种微波雨滴散射计/辐射计装在飞机上按时间均分方式进行飞行测量时,天线波束沿着飞机飞行的方向进行垂直扫描,其同步设计如图1所示。雨水散射计和辐射计都运转在同一个脉冲重复周期内,微波辐射计在雨水散射计的每个发射脉冲的反射回波之后运行,并且延续运转到下一个雨水散射计发射脉冲到来之前。用来自微处理机的信号控制铁氧体转换开关,去完成雨水散射计接收机与微波辐射计接收机的波导电路转换。

1. 雨滴散射计

为了沿着飞机航道获得三维的降雨图形,雨滴散射计采用了具有扫描波束和距离门的脉冲雷达技术,如图2所示。

因为当时国际无线电通信咨询委员会(CCIR)规定空中机载气象雷达的频率范围为9.975—10.025 GHz和34.4—34.5 GHz,所以本系统雨滴散射计在飞机上使用时其X波段与K_a波段的频率分别被选择为10 GHz和34.45 GHz。

雨滴散射计针对X波段和K_a波段配置了具有双波型的抛物面天线,并且为了保证雨滴的回波功

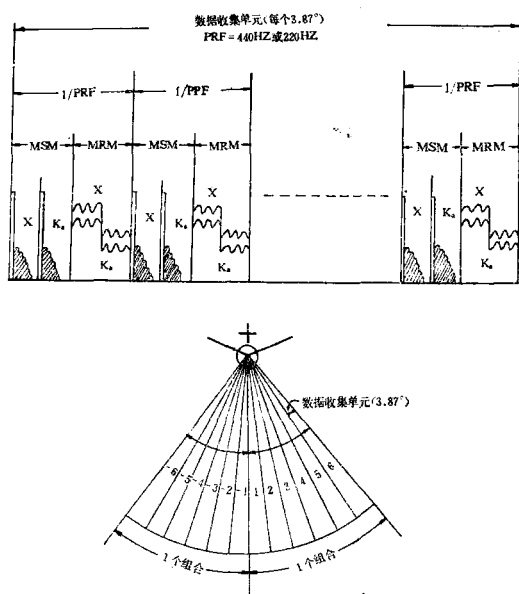


图 1

率比地面杂波功率大 10 dB, 本天线的旁瓣电平与主瓣电平之比为 -25 dB 以下。在同一个扫描轴上分别装置 X 波段和 K_a 波段的天线反射体和馈源, 不仅两个波段的的天线波束宽度一样, 而且可在探测方向上同时进行扫描。例如: 发射和接收均针对波束宽度和脉冲宽度所确定的同一个散射体积。发射和接收电磁波辐射的水平或垂直极化可以由控制台的指令信号进行选择。在飞行试验中进行数据收集时, 天线的扫描角度被飞机 (CESSNA 404) 机体限制在 $\pm 23.2^\circ$ 范围之内, 然而在地面观测时可扩大到 $\pm 77.4^\circ$ 。

雨滴散射计中除了磁控管之外, X 波段与 K_a 波段的发射机与接收机全部是固态化的设计。由于考虑体积小、重量轻和高峰值功率, 故发射管选用了脉冲工作方式的磁控管。用微处理机的定时信号通过调制器激励磁控管, 产生 X 波段和 K_a 波段的脉冲式辐射。X 波段输出的峰值功率为 20 KW, K_a 波段输出的峰值功率为 10 KW。为了保持平均功率是个常数, 在脉冲宽度为 0.5 微秒和 1 微秒时, 其脉

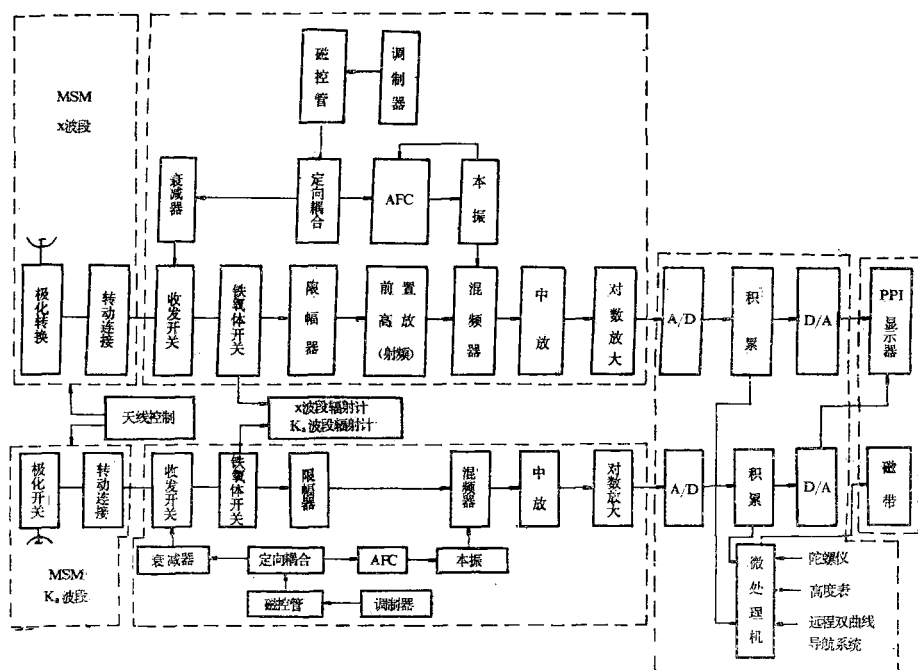


图 2

冲重复频率 (PRF) 分别为 440 Hz 和 220 Hz, 相应的脉冲积累数也分别为 32、64、128 和 16、32、64。X 波段的接收机使用了前置高放, 而 K_a 波段的接收机使用的是直接混频方式。接收机中使用了具有

80 dB 动态范围的运算放大器, 以便适应接收来自每小时有 1—100 毫米降雨率的散射功率。为了保证测量降雨率的准确度在 $\pm 20\%$ 以内, 要求接收机在 70 dB 以上的动态范围必须保持非线性度小于

±1 dB。在 A/D 转换之后,选择脉冲数目来积累接收功率并记录在磁带上。在 D/A 转换之后,可在 PPI 显示器上进行彩色显示。

2. 微波辐射计

本系统采用了迪克(Dicke)型零平衡式微波辐射计,用脉冲调制注入噪声的方法获得零平衡状态。为了把比较噪声源的噪声功率变成等于来自天线和注入噪声功率的总和,伺服放大器受向系统注入噪声的积分器电压控制。在零平衡状态时,同步检波器的输出电压为零。因此,天线温度的测量精度取决于接收机的带宽、噪声电平 and 增益起伏。

该微波辐射计用脉冲宽度调制的方法获得天线温度的动态范围为 50—400 K。因为两个波段的辐射计使用的波导、环行器和铁氧体开关分别与相应波段的雨水散射计连接,故接收机检测到的噪声功率已经受了较大的损失。为了考虑从天线与接收机之间的各种微波元件热损耗的影响中导出精确的天线温度,采取了铂电阻传感器监视有关元器件物理温度的措施。微波辐射计输出的数字化数据与雨水散射计的数据一起同时记录在磁带上。同样,在快速观测时,可在 PPI 显示器上对微波辐射计的观测结果进行彩色显示。

二、数据分析技术

在磁带上记录下来的 X 波段和 K_a 波段雨水散射计/辐射计的数据和其它附加数据,可用地面计算机进行处理和分析,其数据分析的软件由三个部分组成:

1. 预处理程序:预处理程序的功能是变换接收功率的数据和校正飞机运动起伏的未加工数据,利用陀螺仪的斜度、横度和偏航角来计算天线波束指向的确切方向。

2. 数据分析程序:数据分析程序的功能是求解雷达方程,并获得降雨率的分布。

3. 图解显示分析:图解显示分析是利用七种颜色在彩色图解显示器上画出雨区的降雨率图形。

雨滴散射计/辐射计的数据分析中,求解雷达方程可以只利用一个频率波段的数据,也可以同时利用两个频率波段的数据。Golahirsh 和 Katz (1974) 曾同时利用两个频率波段的数据导出了雨滴的区域分布,但是当接收回波中出现极大值时就不适用了。下面介绍只利用一个频率波段的数据通过求解雷达方程来计算降雨率的方法,此时的雷达方程是:

$$P_r = A \times \frac{Z}{r^2} \times 10^{-0.2 \int_0^r (K_R + K_o) dr} \quad (1)$$

式中 P_r = 接收功率

A = 与雷达参数有关的常数

r = 雷达与目标之间的距离

Z = 雷达反射因子

K_R = 降雨衰减系数

K_o = 大气衰减系数

常数 A 用下式来描述:

$$A = P_t \times \tau \times \left[\frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} \right]^2 \times C_z \quad (2)$$

式中 P_t = 发射功率

τ = 脉冲宽度

ϵ = 介质常数

$$C_z = \frac{\pi^2 C}{2^7 \lambda^2 L} \times F \times \int_0^\pi \sin \theta d\theta \int_0^{2\pi} 10^{-3} G^2(\theta, \phi) d\phi \quad (3)$$

其中 λ = 波长

C = 电磁波在大气中的传播速度

τ = 系统损耗

F = 雨水散射计数据与地面数据进行比较后的标称化因子

$G(\theta, \phi)$ = 由方位角 θ 和仰角 ϕ 所确定的指向上的天线增益

雷达反射因子 Z (mm^6/m^3) 与衰减系数 K_R (dB/km) 和降雨率 R (mm/hour) 的关系如下:

$$Z = B \times R^\beta \quad (4)$$

$$K_R = K_a \times R^\alpha \quad (5)$$

此处 B 和 β 是由雨滴大小分布给出的确定常数, α 也是常数。例如, Marshall 和 Paler (1948) 按平均计算方法导出了 $B=200, \beta=1.6$ 。

根据上述分析并求解方程(1),则得到降雨率 R 的表示式为

$$R = \frac{(r^2 \cdot P_r \cdot 10^{0.2 k_0 r})^{1/\beta}}{[(A \cdot B)^{\alpha/\beta} - \frac{0.2 \cdot K_a \cdot \alpha}{\beta \log e} \int_0^r (r^2 \cdot P_r \cdot 10^{0.2 k_0 r}) dr]^{1/\alpha}} \quad (6)$$

三、结 束 语

本文从雷达及微波辐射计在遥感探测应用中分别存在不足之处谈起,简述了双波长雷达和雷达/辐射计联合气象探测系统应用与发展的概况。通过介绍空中微波雨滴散射计/辐射计联合探测系统的设备及其数据分析技术,指出了主被动相结合的微波遥感联合气象探测系统的遥感原理与技术、数据分

析与应用都还需要继续研究。然而,全文在学术上试图强调主被动微波遥感联合探测系统在气象探测、环境监视及微波通信等方面,具有科研与应用的良好前景。

参 考 文 献

[1] Remote sensing of rainfall rates using airborne microwave Rain-scatterometer/Radiometer, H.

INOMATA, et. al., Radio research laboratories, Japan, 1981.

[2] 双波长雷达/辐射计联合探测系统(未发表),中国科学院大气物理所微波遥感组,1980。

[3] 几种新型的天气雷达系统,葛润生,气象,1983年第3期。

[4] 8毫米雷达和微波辐射计联合系统探测层状云中含水量分布的原理研究,忻妙新,林海,气象学报,第41卷第1期,1983,2。