

# 风云三号气象卫星微波温度计(MWTS)

陈文新,迟吉东,李延明,李浩

(西安空间无线电技术研究所,西安 710000)

**[摘要]** 微波温度计是一个多通道的被动微波辐射计,用于风云三号气象卫星,风云三号工作在太阳同步轨道。本文描述了微波温度计的功能和性能,微波温度计系统由天线子系统、接收子系统、信号处理和控制子系统、定标子系统和扫描伺服子系统组成,微波温度计的4个接收通道的中心频率分别为50.30 GHz、53.596 GHz、54.94 GHz和57.29 GHz,用于探测大气垂直温度分布。

**[关键词]** 气象卫星;微波辐射计;系统设计

**[中图分类号]** P414.5 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2013)07-0088-04

## 1 前言

星载微波辐射计已发展成为观测大气与地球表面的重要遥感手段,微波温度计(MWTS)所获得的大气垂直温度分布参数是实现中、长期数值天气预报,提高天气预报准确性的重要参数。57.29 GHz附近、118.75 GHz附近和424.77 GHz附近是大气中O<sub>2</sub>的吸收峰,通过测量大气在这些频段内的不同频率的辐射特性,就可以反演出大气垂直温度分布,试验表明57.29 GHz附近是测量大气垂直温度分布的最佳频段<sup>[1]</sup>。

微波温度计是我国新一代极轨气象卫星风云三号卫星研制的重要有效载荷,工作在50~60 GHz,具有工作在50.30 GHz、53.596 GHz、54.94 GHz和57.29 GHz的4个接收通道。微波温度计使用1副

天线接收4个通道的信号,天线波束垂直于飞行轨迹进行360°的圆周扫描,可以获得2 000多千米的观测幅宽,每个扫描周期除进行对地观测外,还进行热源观测和宇宙冷空观测,实现在轨端到端的两点定标。微波温度计采用全功率型辐射计体制,采取超外差的接收方式。

## 2 功能和性能特性

微波温度计的通道参数如表1所示。微波温度计的主要性能特性为:工作频率:50~60 GHz;通道数:4个;对地扫描张角:±48.3°;对地观测:15点每条扫描线;扫描步进角:6.9°;星下点水平分辨率:60 km;星上定标黑体:2个(暖黑体、外层冷空间);扫描周期:16.0 s;频率稳定性:优于 $1 \times 10^{-4}$ 。

表1 微波温度计通道参数

Table 1 MTWS channel characteristics

中心频率 /GHz	带宽 /MHz	灵敏度 /K	主波束效率 /%	动态范围 /K	定标精度 /K
50.30	180	0.55	90	3~340	1.2
53.596	170×2	0.4	90	3~340	1.2
54.94	400	0.4	90	3~340	1.2
57.29	330	0.4	90	3~340	1.2

**[收稿日期]** 2013-04-15

**[作者简介]** 陈文新(1969—),男,湖南株洲市人,研究员,主要研究方向为星载微波遥感器设计与应用;E-mail:hy2504@sohu.com

### 3 技术方案

微波温度计是一个全功率型辐射计系统,采用周期定标来提高绝对测量精度,在每个扫描周期,天线对宇宙冷空间(大约3 K)和热定标源(大约300 K)观测一次,采用的是天线口面的端到端的定标方式,来获得最佳的在轨定标精度。微波温度计的技术方案总结如下。

1)辐射计类型,采用全功率型方案,相比迪克型方案,全功率型系统简单,测温灵敏度提高一倍<sup>[2]</sup>,同时采用周期定标有效降低了系统增益变化对测量性能的影响。

2)天线形式,受星载条件的限制,采用多频共用天线来减小仪器的体积、质量和功耗。采取了偏置馈源设计和反射面赋形技术来保证得到足够高的天线主波束效率和通道间的隔离度,降低天线旁瓣的电平,提高测量精度。

3)扫描方式,采用机械360°连续扫描方式实现对地大幅宽的观测,通过合理选择来选择润滑膜系,传动部件的材料,优化工艺流程保证了扫描机构的空间环境适应性和高可靠、长寿命的问题。

4)接收方式,采用超外差接收方式,通过降低第一级微波部件的噪声系数,降低接收通道整体噪声系数,来获得高的测温灵敏度。采取多种措施控制接收机通道的增益变化,获得高的增益稳定度。

5)定标方式,采用端到端的两点口面定标,确定系统输出电压与天线视在温度的关系,以实现系统的定量测量。

### 4 组成及工作原理

微波温度计由天线子系统、接收子系统、信号处理和控制系统、定标子系统、扫描伺服子系统5个部分组成。

#### 4.1 天线子系统

微波温度计的天线采用90°偏置抛物面反射器和带馈电系统的圆锥喇叭作馈源的实现形式,偏置抛物面反射器可以避免馈源的孔径阻挡,降低反射器对馈源的反射而引起的旁瓣电平的上升和天线驻波特性的恶化,以减小馈线损耗,抑制旁瓣,提高主波束效率;圆锥喇叭具有方向图旋转轴对称,因此控制反射器绕馈源喇叭的轴线旋转,可以实现天线波束的360°圆周扫描。天线结构示意图如图1所示。

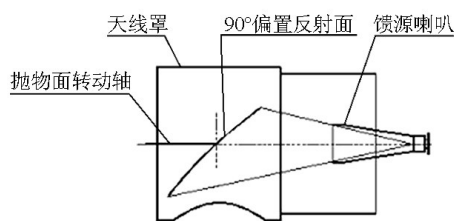


图1 天线结构示意图

Fig.1 Antenna subsystem diagram

天线的馈源采用小张角波纹圆锥喇叭作馈源的实现形式。圆锥波纹喇叭具有旁瓣电平低、交叉极化小的优良辐射特性,有利于实现高的主波束效率。

天线罩可以在定标观测期间保证定标源、天线反射面和馈源之间的最佳耦合,并减小对地观测期间卫星表面的杂散电磁辐射的影响。天线罩分成活动和静止两部分,活动天线罩与天线反射面一起旋转,静止天线罩与天线馈源固定在一起,达到降低转动转矩的目的。

#### 4.2 接收子系统

全功率型辐射计系统可以获得最高的理论灵敏度,微波温度计所有的测量通道都采用全功率型、超外差接收形式,实现射频到中频的变换。每个接收通道都由隔离器、混频器、本振、中频放大器、带通滤波器、检波电路、视频放大电路组成。混频器前的隔离器可以减小本振通过混频的泄漏,从而减小通过天线反射回接收机的本振泄漏信号,保证接收机的性能。混频器采用平衡式混频器,很好地抑制了本振引入的调幅噪声,采用GaAs梁式引线封装二极管悬置带线实现方法,降低了噪声系数,提高了可靠性,减小了体积质量。中频滤波器提供了大于40 dB的带外抑制,检波电路实现高线性度平方律检波,检波线性度优于0.999 9。在中频放大电路和视频放大电路中,采取温度补偿与自动控制相结合的方式,每个通道的增益和补偿可以独立控制,适应宇宙冷空(约3 K)和目标(最大340 K)的动态范围,以及适应环境温度50 °C的变化和寿命期内±4 dB增益变化的影响,通过调整和控制使接收子系统的输出可以满足A/D转换器±5 V的输入要求。

微波温度计的本振采用了反射式腔稳Gunn振荡器的形式,由Gunn二极管配合外围部件构成,直接输出50~60 GHz的振荡信号,输出功率大于15 dBm,频率稳定性优于 $1 \times 10^{-4}$ 。

### 4.3 信号处理和控制子系统

信号处理和控制子系统的主要功能是实现接收子系统获得的模拟信号进行处理,对遥感数据进行格式编排,并响应遥控指令和产生遥测数据。

信号处理和控制子系统采用数字技术实现传统的模拟积分器功能,并根据对热定标源和宇宙冷空观测的结果,计算保持接收子系统输出稳定所需的通道增益和补偿控制参数,通过D/A转换器提供给各接收通道,使得接收子系统的增益保持不变,而且输出稳定并在设定的范围内。

信号处理和控制子系统每周期向卫星提供一组遥感数据和遥测参数,遥感数据包括对地观测数据、定标观测数据,接收子系统增益和补偿参数,微波温度计各部分的温度数据,进间码和观测角度等与数据处理有关的信息。

### 4.4 定标子系统

定标子系统由定标源源体与定标源控制器组成,定标源控制器完成对定标源源体的温度测量和控制。

定标源源体是由尖劈阵组成,其上涂敷高衰减损耗微波吸收材料,依靠微波吸收材料与尖劈几何形状的共同作用达到定标源高吸收率的要求。定标源黑体外有圆筒状屏蔽罩,该屏蔽罩与天线屏蔽罩之间紧密配合,以消除来自空间环境和卫星主体的杂散辐射。屏蔽罩采用轻质金属,并且保证表面光洁度很高,以降低屏蔽罩对辐射黑体的杂散辐射影响。屏蔽罩与黑体之间采用多孔绝热材料进行隔热,屏蔽罩外表面采用真空多层绝热结构。

热辐射源物理温度的控制采用电子薄膜加热器实现。为了提高物理温度测量精度,采用一组铂电阻温度计进行测量。4个铂电阻(PRT)分别放在黑体内尖劈的中心尖底、中心尖顶、边缘尖底、边缘尖顶,根据4个测温点的实际测量值以及黑体内的热传导系数、热量分布和温度梯度计算得到黑体的物理温度。定标源源体的结构示意图如图2所示。

### 4.5 扫描伺服子系统

微波温度计采用机械扫描方式,垂直于飞行轨迹进行圆周步进扫描,扫描周期为16 s,采取步进驻留的运行方式,每个扫描周期天线波束在15个地球观测点、一个冷空观测点和一个热定标源观测点驻留720 ms。天线从起始扫描位置(位置0)开始,每次步进 $6.9^\circ$ ,依次扫过位置0,位置1,位置2, ..., 位置14,共得到15个对地观测点,微波温度计的对地

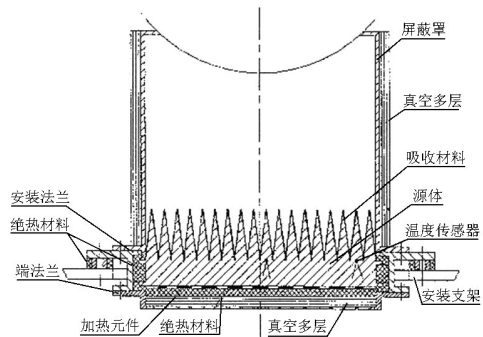


图2 定标源源体示意图

Fig.2 Calibration target diagram

扫描图如图3所示。由于受卫星对地面安装的限制,微波温度计的冷空观测角与星下点的夹角为 $72.9^\circ$ 。为了缩短扫描周期,扫描机构在各驻留点之间采取“加速-恒速-减速”的控制方式。

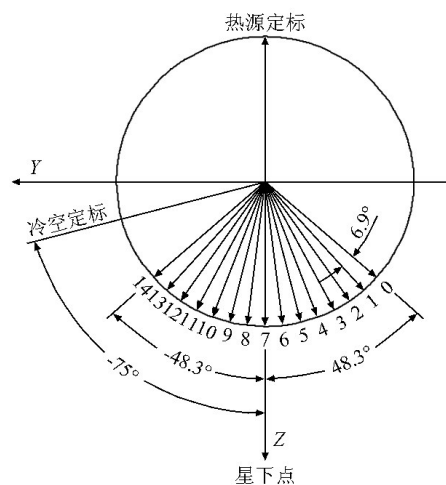


图3 微波温度计对地扫描图

Fig.3 Scan pattern of MTWS

扫描伺服子系统由扫描机构和伺服控制器组成,扫描机构采用齿轮传动方式,步进电机带动小齿轮转动,扫描机构的轴承采用固体滑润。

## 5 发射前真空定标测试

发射前真空定标测试的目的是针对影响定标精度的仪器参数进行测量,如微波温度计的TV曲线等,是微波温度计研制过程中的必不可少的重要环节。

微波温度计的真空定标试验中用冷定标源模拟宇宙冷空,用变温源模拟观测目标,冷定标源的温度设定在95 K左右,变温源从95 K变化到320 K,

共设置了18个测试点,分别为320 K、305 K、290 K、270 K、255 K、240 K、225 K、210 K、190 K、175 K、160 K、145 K、130 K、115 K、105 K和95 K,热定标源设定在295 K。微波温度计的工作温度分别设定为0 °C、10 °C、20 °C和30 °C。

真空定标测试过程中,每条扫描线的遥感数据包中同步记录了冷源和变温源的温度数据,在每个测试点的测试过程中测量约200条扫描线,提取连续的100条扫描线的数据进行处理。每条扫描线利用冷源和热源的溫度数据和观测数据,采用两点定标的方法计算得到一个变温源的观测溫度。

通过真空定标测试,微波温度计在不同溫度下的线性度均优于0.999 95,定标误差曲线如图4和图5所示。

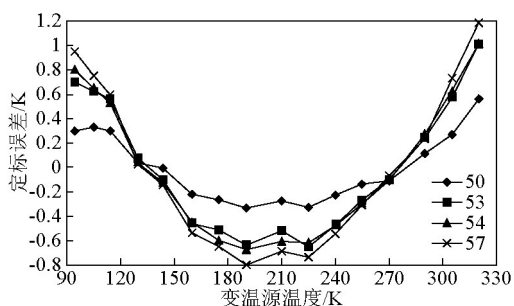


图4 10 °C时,4个通道的定标误差曲线

Fig.4 Calibration error curve of four channels at 10 °C

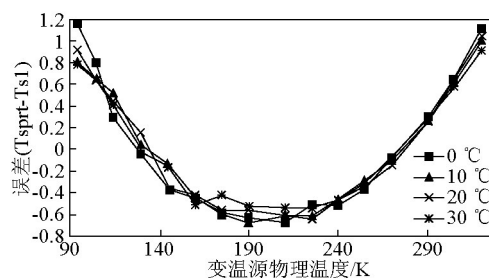


图5 不同工作溫度下,54 GHz通道的误差曲线

Fig.5 Calibration error curve of 54 GHz channel at different temperatures

## 6 结语

微波温度计所获取的大气垂直溫度分布资料已进入业务化运行,在数值天气預报系统中发挥了很大的作用,提高了数值天气預报系统的时效性,为提高我国天气預报的准确性做出了贡献,同时微波温度计获取的数据在欧洲数值天气預报系统中也得到长期应用,取得了应用效果。

## 参考文献

- [1] 陈洪滨. 利用高频微波被动遥感探测大气[J]. 遥感技术与应用, 1999,14(2):49-54.
- [2] 乌拉比 F T, 穆尔 R K. 微波遥感(第一卷,微波遥感基础和辐射测量学)[M]. 侯世昌,等译. 北京:科学出版社,1988.

# Microwave temperature sounding (MWTS) for FY-3 meteorology satellite

Chen Wenxin, Chi Jidong, Li Yanming, Li Hao  
(Xi'an Institute of Space Radio Technology, Xi'an 710000, China)

**[Abstract]** The microwave temperature sounding (MWTS) is a multi-channel passive microwave radiometer. It is designed for Chinese meteorology satellite (FY-3), which is in a circular sun synchronous orbit. As an introduction, this paper describes the operational and functional parameters of MWTS. The system consists of antenna subsystem, receive subsystem, signal processing and control subsystem, calibration subsystem, mechanical scanning subsystem, etc. The MWTS consists of four channels with channels center at 50.30 GHz, 53.596 GHz, 54.94 GHz and 57.29 GHz. It can provide a vertical temperature profile of the atmosphere.

**[Key words]** meteorology satellite; microwave radiometer; system design