

MP-3000A 微波辐射计的探测原理及误差分析

赵 玲, 马玉芬, 张广兴, 杨莲梅

(中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所, 新疆 乌鲁木齐 830002)

摘 要: MP-3000A 微波辐射计是一种新型 35 通道微波辐射计。相对于探空和 GPS 水汽探测, 它可以连续得到从地面到 10km 高度上高分辨率的温度、相对湿度和水汽廓线以及较低分辨率的液态水廓线。廓线从 0m~10km 共 58 个数据层, 利用探测区域的历史探空资料 and 神经网络算法正向模拟微波辐射量, 从而得出温湿廓线。本文介绍了 MP-3000A 微波辐射计的主要功能、工作原理和误差来源。

关键词: 微波辐射计; 功能; 原理; 误差

中图分类号: P412.4

文献标识码: B

文章编号: 1002-0799(2009)05-0054-04

The Principle and Error Analysis of Microwave Radiometer MP-3000A

ZHAO Ling, MA Yu-fen, ZHANG Guang-xing, YANG Lian-mei

(Institute of Desert Meteorology, CMA, Urumqi 830002, China)

Abstract: As a new type of microwave radiometer with 35 channels, the Microwave Radiometer MP-3000A is capable of protecting the profiles of temperature, relative humidity and water vapor with higher resolution and the liquid profile with lower resolution compared with sounding and ground-based GPS. The profile formed 58 retrieval layers from 0m till 10km. The water vapor density and temperature profile were detected by simulating the microwave radiometric quantity through utilizing the sounding historic data above the observing region and neuron network algorithm. This paper introduced the main function, the working principle as well as the error source of Microwave Radiometer MP-3000A.

Key words: Microwave Radiometer; function; principle; error

探空是测量大气温度、气压、风和水汽等廓线的最基本方法^[1-3]。但是在测量精度、费用以及时间连

续性等方面存在诸多局限性。地基遥感可以获得相对连续的观测数据。地基遥感有主动遥感与被动遥感, 它们各有其优点和缺点。主动遥感的仪器费用高而且需要看护, 被动遥感的仪器结构相对比较简单, 可以无人看守地观测。其中被动遥感观测温度和湿度的技术主要有: 微波辐射计和傅立叶转换红外发射谱仪器。傅立叶转换红外发射谱仪器能够获得无云情况下的温度和水汽廓线。而无人看守的地基微波辐射计可以获取到连续的温度、水汽等廓线^[4-7],

收稿日期: 2009-08-18

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金 (IDM200701、IDM200810)、新疆维吾尔自治区气象局气象科技研究课题 (200726、200912)、新疆气象局业务新技术项目 (YX200910) 共同资助。

作者简介: 赵玲 (1978-), 女, 助理研究员, 主要从事空中水资源和生态环境领域研究。E-mail: zhaoling@idm.cn

可用于天气预报、监测飞机结冰、决定飞行轨迹和声传播的密度廓线、卫星定位和 GPS 测量、估计和预测无线通讯连接的衰减以及水汽密度的测量等。同时,得到连续的大气垂直结构,对认识非常有价值。目前在新疆的气象业务和科研应用尚少。本文简单介绍 MP-3000A 微波辐射计的主要功能、工作原理、误差来源,以期为天气预报、乌鲁木齐市空气污染治理应用提供有益的参考。

1 仪器介绍

MP-3000A 微波辐射计是一种新型 35 通道微波辐射计。它可以连续得到从地面到 10km 高分辨率的温度、相对湿度和水汽廓线以及较低分辨率的液态水廓线。它采用的反演方法是神经网络方法,利用该地区探空的历史资料来正向模拟微波辐射量。

它包括两个频率段的子系统,温度廓线子系统和水汽廓线子系统。温度廓线子系统选择 51~59GHz 之间的 7 个频率氧气吸收带进行天空亮温观测,水汽廓线子系统选择 22~30GHz 之间的水汽吸收带进行天空亮温观测。MP-3000A 微波辐射计将两个射频子系统(RF)整合到一起,它们共享同一天线和天线定位系统,可以提供从 0 到 500m 高度上每 50m 一个间隔,500m 到 2km 高度上每 100m 一个间隔,2km 到 10km 每 250m 一个间隔的温度、相对湿度、水汽密度以及液态水的垂直廓线,每 2min 一个数据,并通过彩图、垂直廓线、二维图显示最近 72h 的历史数据。

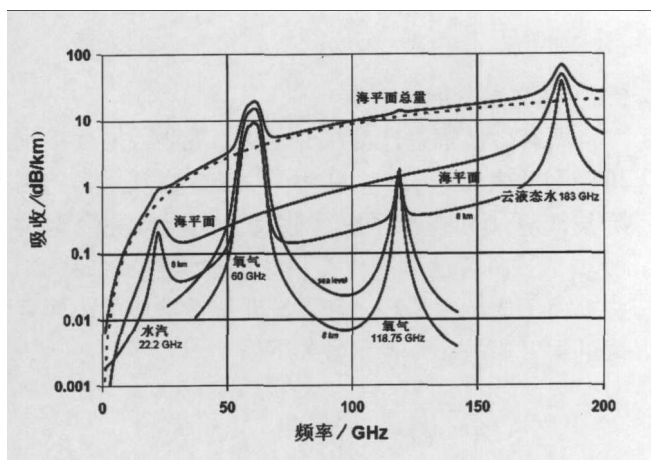
该仪器由辐射计专用软件操作,简称“操作代码”,它可以安装到任何电脑,即“控制电脑”。控制电脑可以直接通过 RS422 电缆和微波辐射计相连,或者通过使用远程 RS422 兼容串口服务器与局域网相连。操作码提供了单一的图形用户界面(GUI)来配合由用户定义的观测程序和自动的校准程序,实时观测和校准数据以表格形式输出。数据保存在电脑里可以通过局域网读出。

2 基本原理

微波廓线方法是利用大气在 22 至 200GHz 的频率带中的微波辐射进行测量的。图 1 是典型中纬度大气的几个不同海拔高度的大气吸收光谱。图 1 中显示了两个海拔高度和水汽密度的吸收光谱。22.2GHz 处和 183GHz 处的特征表现为一个水汽谐振带,即根据水汽分布的气压高度表现的压力加宽;

同理,60GHz 处的特征表现为大气氧气谐振的集合;而在此波段云液态水的发射光谱无谐振,并近似与频率的二次方成正比。

通过测量氧气在 60GHz 附近的辐射强度或亮度温度得出温度分布。谱线峰值中心位置由于不透明性很强,所有信号均仅仅来源于天线上方附近;在此峰值中心两侧的频率位置吸收减弱,辐射计则会“看”得远一些。从此峰值向谱线两侧下方扫描,仪器则可通过此方法获得高度信息。在任意高度上的氧气发射电磁波都与当地的温度和氧气密度分布成正比,因此可以得到温度剖面。

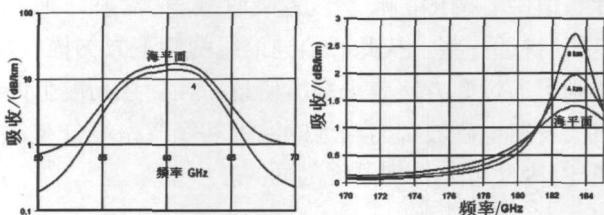


通过观测来自于水汽线压力增宽的辐射的强度和形状的信息,可以得到水汽廓线。22GHz 附近适合进行相对潮湿地区的地基廓线反演。较敏感的 183GHz 适合干环境的地基水汽廓线反演。水汽的发射物在高纬度地区显示为一个很窄的线条,而在低纬度地区显示较宽。发射强度与水蒸气密度和温度成正比。通过扫描光谱分布和数学反演观测数据,可以得到水汽廓线。

通过测量云液态水对各类不透明的大气光谱的贡献可以得出有限的云液态水廓线的分辨率。利用 MP-3000A 辐射计可以获取在 22 至 30GHz 和 51 至 59GHz 波段调谐带云液态水廓线信息。利用云幕测量仪或红外辐射仪反演出来的水汽和液态水廓线可以得出云底高度信息。

图 2 左图表明海平面上以 60GHz 为中心的氧气线聚集处附近的大气顶点吸收带和在 4km 处的大气信息。压力增宽使大量氧气带合并为统一的特征。在各海拔高度 183GHz 附近处水汽增宽带如图 2 右图所示。22GHz 水汽线展示了相似的压力增宽。通过微波辐射计测量得到地表相对湿度、温度和气压,同时用于计算廓线。此外,MP-3000A 的纵向红

外温度计可以证明云的存在与否,同时测量有云时的云底温度。在知道云底温度的情况下可以得出云底的水蒸气密度(饱和情况),再结合温度廓线,求出云底高度。这些物理量是计算出廓线的重要制约因素。



2.1 亮度温度传递函数

所有微波辐射计都从 level0 的观测数据(接收机探测器输出电压)中使用同一技术发展水平的国际技能算法和校准系统算法反演出天空亮度温度(T_{sky})。这种算法利用生产厂家的检测校准系数,来弥补由于周围常温环境和系统非线性造成的小而有限的误差影响。传递函数如下:

$$T_{sky} = \left(\frac{V_{sky}}{gain_sky} \right)^{1/\alpha} \cdot T_{rev_sky}$$

其中:

V_{sky} 利用噪声二极管关闭状态(即去除噪声时)来观测天空现象并输出到综合接收机;

$$天空观测增益 gain_sky = \left[\frac{V_{sky_nd}^{1/\alpha} - V_{sky}^{1/\alpha}}{T_{nd290} + TC} \right]^\alpha;$$

V_{sky_nd} 利用噪声二极管开启状态(包含噪声时)来观测天空现象并输出到综合接收机;

α 为非线性修正指数;

T_{nd290} 指在 T_{kBB} 等于 290K 时的噪声二极管温度;

$$TC = K_1 + K_2 \cdot T_{kBB} + K_3 \cdot T_{kBB}^2 + T_{kBB}^3;$$

$K_1 \sim K_3$ 为代理校准温度系数;

T_{kBB} 为黑体标定有效辐射温度;

天空观测时的接收机温度

$$T_{rev_sky} = T_{rev_bb} + dTdG \cdot (gain_sky - gain_bb);$$

利用周围黑体标定时的接收机温度

$$T_{rev_bb} = \left(\frac{V_{bb}}{gain_bb} \right)^{1/\alpha} - T_{kBB};$$

V_{bb} 指利用噪声二极管关闭状态(即去除噪声时)来观测标定周围黑体并输出到综合接收机;利用周围黑体标定时增益

$$gain_bb = \left(\frac{V_{bb_nd} - V_{bb}}{T_{nd290} + TC} \right)^\alpha;$$

$dTdG$ 指接收硬件的精确参数;

V_{bb_nd} 指利用噪声二极管开启状态(包含噪声时)来观测标定周围黑体并输出到综合接收机。

2.2 由观测资料得出廓线

微波辐射计共生成三类数据,第一类为电压值,第二类为各个通道的亮温值,第三类为神经网络反演得到的地面到 10km 的温度、湿度、水汽液态水廓线。神经网络是运用斯图加特神经网络模拟器(Stuttgart Neural Network Simulator)和探空廓线的历史资料得出的。标准后向传播(back-propagation)算法用于同化,标准前馈网络用于廓线的得出。廓线从 0 到 10km 共 58 个反演层。在约 7km 以上,大气中的水汽密度和温度接近气候平均值。

3 辐射计误差来源

太阳是一个温度为 6000K 的黑体辐射体。因此,在距太阳位置约 15°以内 K 和 V 波段观测资料(3~6°波束宽度)方向上应当避免观测,此时误差将增长到 60K。

神经网络反演运算法则有时由地点决定,在水汽和液态水廓线的反演上表现得尤为明显。对于观测点来说,反演系数应具有代表性。目前该仪器利用乌鲁木齐市探空站的历史资料训练神经网络算法,从数据同化的观点,一个探空站的数据,可较好代表 200km 的范围。

微波辐射仪天线罩上的液态水可导致亮温测值的偏高。因此用防水罩和鼓风机在内的液体隔离缓解(REM)系统减少降雨时隔水罩上聚积的液态水,使其持续正常的观测能力。

无线电频率干扰(RFI)可造成“尖峰信号”。虽然微波辐射计对无线电干扰起到保护作用,但强有力的发射机,尤其是在 10~1000MHz, 22~30GHz, 51 至 59GHz 之间将干扰微波辐射计接收机,可以用观测平均值来减少这种效应。不过较大的“尖峰信号”会对反演廓线的精确度造成影响。微波辐射仪应安装在被隔离或者远离强有力的无线电发射机的位置。

4 结语

MP-3000A 微波辐射计是一种新型 35 通道微波辐射计。它可以提供从 0 到 10km 的温度、相对湿度、水汽密度以及液态水的垂直廓线,每 2min 一个数据,并通过彩图、垂直廓线、二维图显示最近 72h 的历史数据。该仪器观测的温度、相对湿度、水汽廓

线可应用于天气预报、监测飞机结冰、决定飞行轨迹和声传播的密度廓线、卫星定位和 GPS 测量、估计和预测无线通讯连接的衰减以及水汽密度的测量等,也可进行空气污染的连续大气垂直结构观测和突发灾害天气的临近预报的大气三维结构探测。

微波辐射计的观测应避免在距太阳位置约 15° 以内 K 和 V 波段观测资料($3\sim 6^\circ$ 波束宽度)方向进行。如果不重新改神经网络反演系数,该仪器可在乌鲁木齐市 200km 范围内使用。微波辐射仪应安装在被隔离或者远离强有力的无线电发射机的位置。

参考文献:

- [1] 周秀骥.大气微波辐射及遥感原理[M].北京:科学出版社,1982.
- [2] 廖国男.大气辐射导论[M].北京:气象出版社,2004.
- [3] 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.
- [4] 林龙福,吕达仁,刘锦丽,等.不同侧边界条件下水平有限降水云的微波辐射模式研究[J].大气科学,1994,18(6):729-738.
- [5] 朱元竞,胡成达,甄进明,等.微波辐射计在人工影响天气研究中的应用[J].北京大学学报:自然科学版,1994,30(5):597-606.
- [6] 赵伯林,尹宏,李慧心,等.微波遥感大气层结的原理和实验[J].中国科学,1980(9):874-882.
- [7] 吕达仁,魏重,忻妙新,等.地基微波遥感大气水汽总量的普适性回归反演[J].大气科学,1993,17(6):721-731.

科技信息

乌鲁木齐大气成分观测站 API 指数处理系统投入应用

由乌鲁木齐沙漠气象研究所承担的乌鲁木齐大气成分观测站空气污染指数 API 处理系统于 2009 年 9 月 17 日开始投入应用。该系统可以自动完成大气成分观测数据的分析处理、API 指数的计算与传输,最后提供给气象台环境预报科,供参考及发布。直接提供的数据资料包括大气污染物 O_3 、 CO 、 NO_2 、 SO_2 及 PM_{10} 的小时、日平均浓度,日平均 API 数值以及首要污染物 API 指数等。该系统的完成不但可以保证业务正常需求,同时还可以减轻业务部门的工作负担。

乌鲁木齐大气成分观测站建设是中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所承担的 2008 年中央级

科学事业单位修缮购置专项“荒漠绿洲冰雪大气成分监测及实验室分析系统”重要组成部分。乌鲁木齐大气成分观测站位于自治区气象局业务楼楼顶,是新疆目前仪器设备及观测项目最齐备的大气成分观测站。该站具有世界上最精密、符合美国 EPA 认证的观测仪器。可在线实时观测的主要项目有:气象五参数、 O_3 、 CO_2 、 CO 、 NO 、 NO_2 、 NO_X 、 SO_2 、 CH_4 、 THC (总烃)、 NMH (非甲烷总烃)、黑碳、浊度等。

(刘新春)