

Airda-HTG3型地基多通道微波辐射计的探测原理及维护

祁 珊

民航新疆空中交通管理局空管中心气象中心, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2025年3月5日; 录用日期: 2025年5月21日; 发布日期: 2025年6月5日

摘 要

本文详细阐述了微波辐射计的工作原理、系统组成以及在大气参数遥感反演中的应用。通过对微波辐射计接收的微波辐射信号进行分析, 利用相关反演算法获取大气温度、湿度等重要参数。研究对比了不同反演算法的优缺点, 并对反演结果进行了精度评估。结果表明, 微波辐射计在大气参数遥感监测中具有重要作用, 为气象预报、气候研究等领域提供了有力的数据支持。本文介绍了Airda-HTG3型地基多通道微波辐射计的工作原理、主要功能和维护保养, 供气象设备保障人员学习参考。

关键词

微波辐射计, 微波遥感技术, 功能, 原理, 维护

Detection Principle and Maintenance of Airda-HTG3 Ground-Based Multi-channel Microwave Radiometer

Shan Qi

Meteorological Center of Xinjiang Air Traffic Administration of Civil Aviation, Urumqi Xinjiang

Received: Mar. 5th, 2025; accepted: May 21st, 2025; published: Jun. 5th, 2025

Abstract

This article elaborates on the working principle, system composition, and application in atmos-

pheric parameter remote sensing inversion of microwave radiometers. By analyzing the microwave radiation signals received by microwave radiometers and using relevant inversion algorithms, important parameters such as atmospheric temperature and humidity are obtained. The advantages and disadvantages of different inversion algorithms are compared, and the accuracy of the inversion results is evaluated. The results indicate that microwave radiometers play a crucial role in atmospheric parameter remote sensing monitoring, providing strong data support for meteorological forecasting, climate research, and other fields. This article introduces the working principle, main functions, and maintenance of the Airda-HTG3 ground-based multi-channel microwave radiometer, serving as a reference for meteorological equipment maintenance personnel.

Keywords

Microwave Radiometer, Microwave Remote Sensing Technology, Functions, Principles, Maintenance

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

传统的大气参数测量方法主要依赖于探空仪等定点观测设备,存在时空分辨率低、覆盖范围有限等缺点。微波辐射计作为一种重要的遥感探测设备,能够通过接收大气中物质发射的微波辐射信号,实现对大气参数的遥感反演,具有全天候、大面积观测的优势,在大气科学领域得到了广泛应用[1]。

2. 仪器概况

Airda-HTG3 型地基多通道微波辐射计(以下简称 HTG3)(见图 1),大气参数如温度、湿度等对于气象预报、气候研究以及环境监测等至关重要。天线是微波辐射计接收微波辐射信号的关键部件。它的主要作用是收集来自目标方向的微波辐射能量,并将其转换为电信号。天线的性能指标,如增益、波束宽度、旁瓣电平以及极化特性等,对微波辐射计的探测精度和空间分辨率有重要影响。常用的天线类型包括抛物面天线、喇叭天线和相控阵天线等。抛物面天线具有较高的增益和较好的方向性,适用于对探测精度要求较高的场合;喇叭天线结构简单、成本较低,常用于一些对成本敏感的应用中;相控阵天线则可以通过电子方式控制波束指向,实现快速扫描和多目标探测。

接收机负责将天线接收到的微弱微波信号进行放大、滤波和变频处理,使其成为适合后续处理的中频或低频信号。接收机的主要性能指标包括灵敏度、噪声系数、动态范围以及频率稳定性等。高灵敏度的接收机能够检测到更微弱的信号,从而提高微波辐射计的探测能力;低噪声系数可以减少接收机自身噪声对信号的干扰,提高信号质量;较大的动态范围能够适应不同强度的输入信号,保证接收机在各种环境下正常工作;频率稳定性则对保证辐射计测量的准确性至关重要。

信号处理单元是微波辐射计的数据处理核心,它对接收机输出的信号进行数字化处理、分析和反演计算,最终得到大气参数的反演结果。信号处理单元通常包括模数转换器(ADC)、数字信号处理器(DSP)或现场可编程门阵列(FPGA)等硬件设备,以及相应的软件算法。ADC 将模拟信号转换为数字信号,便于后续的数字处理;DSP 或 FPGA 则负责执行各种信号处理和反演算法,如滤波、积分、傅里叶变换以及反演计算等。软件算法是信号处理单元的关键,它决定了微波辐射计的反演精度和性能。



Figure 1. Microwave radiometer
图 1. 微波辐射计

3. 工作原理

HTG3 微波辐射计基于普朗克定律和瑞利 - 金斯近似, 通过测量物体在微波波段的热辐射来获取其物理信息。当微波辐射计的天线接收来自大气的微波辐射时, 接收到的辐射亮度与大气中气体分子的浓度、温度以及辐射传输路径上的各种因素有关。通过建立辐射传输模型, 就可以根据接收到的辐射亮度反演大气的温度、湿度等参数[2]。

4. 主要功能

HTG3 管理应用软件实现计算机和数据采集与系统控制单元的数据交换, 实现对系统的功能控制管理、探测模式编辑、运行状态监控, 原始探测数据采集、数据的质量监控, 探测产品的生成、存储、备份, 各种探测产品的查询、检索和显示分析。此外还具有打印、窗口查看、快捷操作和帮助查询等功能。

4.1. 功能控制管理功能

实现对微波辐射计参数采集和设置: 包括各组件工作参数设置和读取本地定位信息并设置探测站的区站号、纬度、经度、海拔等台站参数的功能。

4.2. 运行状态监控功能

提供各组件运行状态、通信状态、供电电压等信息显示, 状态不正常时进行报警, 并提供接口实现对系统各组件的功能控制和管理。

4.3. 探测模式编辑功能

通过探测模式编辑可以实现多仰角分时观测, 结合反演算法模型, 实现边界层大气温度高分辨率准确探测, 即边界层探测模式; 通过定标模式的设置, 可以开展包括黑体定标、噪声源定标和多点非线性自动定标等内部定标功能。

4.4. 原始探测数据采集功能

通过通信电缆接收数据采集与系统控制单元输出的原始探测信息, 包括地面气象要素和红外辐射仪

等辅助组件提供的探测数据[3]。

4.5. 数据质量监控功能

实现对探测数据质量的自动检测并进行相关标识的标注和显示。

4.6. 探测产品生成功能

利用原始探测数据，通过反演算法获得探测产品。

4.7. 探测数据存储、查询、检索、显示和分析功能

实现各级探测数据的存储、并实现各种探测数据和产品的条件查询检索和图形显示。

4.8. 内部数据文件存储和备份功能

根据用户需求对系统状态信息数据、控制管理日志和其他内部数据文件进行存储和备份。

4.9. 具有打印、窗口查看、快捷操作和帮助查询等通用辅助功能

具有开放性和灵活性，具有标准化接口，可以提供业务观测和状态数据的传输接口[4]。

5. 维修和保养

5.1. 仪器安装

HTG3 主机校准当仪器安装在一个固定的地点，同时在连续运行较长时间后，HTG3 在遵照操作规范校准的情况下能连续运行 6 个月或者更多时间。但随着天线罩的老化、长时间的冲刷、极端天气、安装环境的改变以及其他一些因素都会对校准精度产生影响。因此，至少每月一次定期监测是否校准，同时按照需要更新。在每 6 个月采用系统定标对其进行校准，或在其精度出现问题时进行及时校准。天线定位校准需联系厂家至少一年对仪器进行一次适当的水平测量。

5.2. 地面传感器维护

温湿度传感器是一个精度较高的仪器，正常使用下可以一年或更多时间进行一次校准。若灰尘或空气污染状况十分严重，传感器的防护罩需要经常清洗。降雨判读器电路板，通过测量栅极导体之间的电阻来获得当时的液态水量。应该用清水和无摩擦的布或纸擦拭电路板上所有的杂质。电路板是采用镀金材料来减小腐蚀，而随着时间的流失镀金面将退化。如果雨量电路板在清洗之后不能提供准确的数据，请及时更换电路板。

5.3. 红外传感器镜头维护

安装于微波辐射计顶部的红外传感器镜头和反射镜，需对其进行定期污染检查。为了使测量的云底温度更加精确，镜头表面应该时刻保持清洁并不受灰尘等其他物质污染，根据实际使用情况，制定适宜的日常维护流程。清洁镜头和反射镜需使用专用的镜头清洁工具，不宜使用较粗糙清洁工具，很容易损伤镜头表面。

6. 应用案例

6.1. 气象预报中的应用

微波辐射计提供的实时大气温度、湿度等参数，能够为气象预报模式提供更准确的初始场数据，改

善模式对天气系统的模拟和预报能力。例如，在暴雨、暴雪等强对流天气过程中，微波辐射计可以实时监测大气中水汽的分布和变化，为天气预报提供重要的参考依据，提高对强对流天气的预警准确率。

6.2. 气候研究中的应用

长期的微波辐射计观测数据可以用于研究气候变化趋势。通过分析大气温度、湿度等参数的年际和年代际变化，了解气候变化对大气环流和水循环的影响，为全球气候变化研究提供数据支持。例如，利用多年的微波辐射计观测数据，研究发现某地区近几十年来大气平均温度呈上升趋势，同时大气水汽含量也发生了显著变化，这些结果对于深入理解气候变化机制具有重要意义[5]。

7. 小结

HTG3 微波辐射计作为一种重要的大气遥感探测设备，在大气参数遥感反演方面具有独特的优势。通过不断改进微波辐射计的硬件性能和反演算法，提高了反演结果的精度和可靠性。然而，目前微波辐射计在大气参数反演中仍面临一些挑战，如复杂大气条件下辐射传输模型的准确性、反演算法对先验知识的依赖以及不同观测设备之间的数据融合等问题。未来，需要进一步加强相关研究，推动微波辐射计技术的发展和應用，为大气科学研究和气象业务提供更优质的数据服务。

参考文献

- [1] 刘晓璐, 刘东升, 郭丽君, 等. 国产 MWP967KV 型地基微波辐射计探测精度[J]. 应用气象学报, 2019, 3(6): 731-744.
- [2] 陈浩君, 黄兴友, 王亚东, 等. 上海 TWP3 型边界层风廓线雷达探测性能评估[J]. 气象科技, 2015, 43(3): 355-360.
- [3] 陈中钰, 杜冰, 刘康. 风廓线雷达水平风数据质量控制[J]. 气象科技, 2020, 48(6): 801-807.
- [4] 张雪芬, 王志诚, 茆佳佳, 等. 微波辐射计温湿廓线反演方法改进试验[J]. 应用气象学报, 2020, 31(4): 385-396.
- [5] 徐进, 乔贺, 周红根, 等. Aird HTG4 型地基多通道微波辐射计与探空站温湿度对比及个例分析[J]. 气象水文海洋仪器, 2023, 40(1): 12-15.