

文章编号: 1001 - 9014(2008)02 - 0143 - 04

数字增益自动补偿微波辐射计环境温度变化修正方法

栾卉¹, 赵凯²

(1. 吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 吉林 长春 130061;

2. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130012)

摘要: 数字增益自动补偿微波辐射计通过测量参考基准源相应的输出量的变化进行增益补偿, 保证整机的稳定. 在高灵敏度的需求下, 为了克服控温电流波动对接收机的影响, 采用了与机箱环境温度相同的匹配负载作为参考源, 因此参考源输出的噪声温度会随着机箱温度升高而变化, 导致测量误差, 需要采取环境温度变化修正方法消除此测量误差量, 以保持系统的稳定. 同时介绍了数字增益自动补偿微波辐射计基本原理、环境温度变化修正原理及方法, 并对补偿后辐射计的稳定性进行了长期稳定性测量, 实现了对大气特性的有效探测.

关键词: 数字增益自动补偿; 微波辐射计; 环境温度; 修正方法

中图分类号: TP732.1 **文献标识码:** A

CORRECTION TECHNIQUE OF ENVIRONMENTAL TEMPERATURE CHANGE FOR DIGITAL AUTO GAIN COMPENSATIVE MICROWAVE RADIOMETER

LUAN Hui¹, ZHAO Kai²

(1. College of Instrumentation & Electrical Engineering JLU in University, Changchun 130061, China;

2. Northeast Institute of Geography and Agroecology, CAS, Changchun 130012, China)

Abstract: By measuring the output variation of reference source, the digital auto-gain compensative microwave radiometer (DAGCMR) can compensate the gain fluctuation to keep system's stability. Under the high sensitivity requirement, match load having the same temperature as cabinet was used as a reference source to overcome the influence of control temperature current. Hence, noise temperature from reference source output varied with cabinet temperature, which resulted in measurement error. To eliminate this measurement error and keep system's stability, correction technique for environment temperature change was needed. The fundament of DAGCMR, the temperature correction principle and technique were presented. In addition, long-time stability measurement for compensated radiometer was carried out. Effective detection was proved for atmospheric sounding and observing.

Key words: digital auto gain compensative; microwave radiometer; environment temperature; correction technique

引言

微波辐射计的最小可检测信号由系统噪声的不确定性和系统增益的不确定性共同决定, 而系统增益起主要作用^[1]. 为了减小增益波动的影响, 提高最小可检测信号性能而相继出现的 Dicke 型微波辐射计、双参考温度自动增益控制微波辐射计都使用了恒温参考源. 数字增益自动补偿微波辐射计^[2]能很好地实现增益补偿, 起到稳定系统增益的作用, 从而达到提高微波辐射计性能的目的. 由于卫星在太

空中受到的干扰因素太多, 星载微波辐射计需要进行发射后在轨定标^[3,4]. 机载及地基微波辐射计处于温度变化的环境中, 机箱温度会随环境温度而发生变化. 在高灵敏度的需求下, 为了避免控温装置电流切换引起的脉冲扰动, 且在夏日太阳照射下机箱环境温度难以控制, 数字增益自动补偿型微波辐射计没有采用恒温源和控温方案, 而采用与机箱具有相同温度的匹配负载作为参考源. 因此当辐射计长时间处于一个温度变化的环境中, 当机箱温度随着环境温度发生变化时, 辐射计参考源的噪声温度也

收稿日期: 2007 - 02 - 01, 修回日期: 2007 - 09 - 07

基金项目: 国家 863 基金 (AA630308) 资助项目

作者简介: 栾卉 (1979-), 女, 吉林白山人, 吉林大学仪器科学与电气工程学院教师, 主要研究领域为微波辐射计应用电磁探测理论.

Received date: 2007 - 02 - 01, revised date: 2007 - 09 - 07

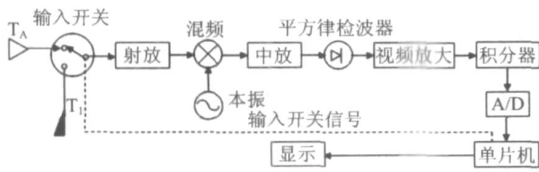


图 1 数字增益自动补偿微波辐射计系统框图
Fig 1 System diagram of DAGCMR

会随着机箱温度的变化而改变,辐射计输出数据会随环境温度变化而变化,导致测量误差.因此需要采取环境温度变化修正方法保持系统的稳定.

1 数字增益自动补偿微波辐射计

1.1 数字增益自动补偿微波辐射计的基本原理

数字增益自动补偿微波辐射计是将一个基准微波源信号通过微波辐射计系统,在输出端检测出系统增益的变化量,用专门设计的单片机系统,按此变化量去修正所接收目标的辐射量,达到系统增益不变的目的.数字增益自动补偿微波辐射计的系统框图如图 1 所示.

当系统增益稳定为 G_S 时,基准源 T_1 及天线与接收机相连时所对应的微波辐射计输出电压分别为

$$V_1 = G_S (T_1 + T_{REC}) \quad (1)$$

$$V_A = G_S (T_A + T_{REC}) \quad (2)$$

式中 T_{REC} 为有效本机噪声温度, T_A 为天线输出噪声温度, G_S 为系统增益.

当系统增益变化为 G_S 时,基准源 T_1 及天线与接收机相连接所对应的微波辐射计输出电压分别为

$$V_1 = G_S (T_1 + T_{REC}) \quad (3)$$

$$V_A = G_S (T_A + T_{REC}) \quad (4)$$

利用基准源 T_1 通过系统后的输出电压检测系统增益的变化,对系统增益变化时天线输入所对应的输出电压进行补偿,其补偿式为

$$V_A = \frac{V_1}{V_1} V_A \quad (5)$$

如果 $V_1 > V_1$, 说明系统增益变大, V_1/V_1 将小于 1. 用它乘以因系统增益变大而升高的 V_A , 达到系统增益补偿的目的, 反之亦然. 将式 (1)、式 (3) 及式 (4) 代入式 (5), 可得补偿后的电压值 V_A 为

$$V_A = G_S (T_A + T_{REC}) \quad (6)$$

比较式 (6) 和式 (2) 可知, 无论系统增益如何变化, 经过补偿后系统的增益始终保持不变, 从而达到稳定系统增益的目的^[5].

1.2 数字增益自动补偿微波辐射计环境温度变化修正原理

如前所述当系统增益稳定为 G_S 时, 基准源 T_1 及天线与接收机相连时所对应的微波辐射计输出电压分别由式 (1) 和式 (2) 表示. 式 (1) 写成 G_S 表示式为

$$G_S = \frac{V_1}{T_1 + T_{REC}} \quad (7)$$

当参考源温度发生变化而系统增益不变时, 基准源 T_1 与接收机相连接所对应的微波辐射计输出电压为

$$V_1 = G_S (T_1 + T_{REC}) \quad (8)$$

写成 G_S 表示式为

$$G_S = \frac{V_1}{T_1 + T_{REC}} \quad (9)$$

比较式 (9) 和式 (7) 可以看出 G_S 值发生变化, 我们记变化后的 G_S 为 G_S

$$G_S = \frac{V_1}{T_1 + T_{REC}} \quad (10)$$

则天线与接收机相对应的输出电压变为

$$V_A = G_S (T_A + T_{REC}) \quad (11)$$

由以上分析可知参考源温度的变化将导致系统增益的补偿. 从而造成输出数据与真实数据的偏差, 因此需要对测量数据进行温度修正^[6].

1.3 数字增益自动补偿微波辐射计环境温度变化修正方法

数字增益自动补偿微波辐射计实时测量机箱和参考源的物理温度, 数据记录文件中记录有辐射计匹配负载的电压值, 在数据记录文件中显示为 T_1 , T_2 的数列. 利用匹配负载与温度测量数据的对应关系, 求出修正后 $T-V$ 方程. 具体修正步骤如下:

(1) 找出温度探测数据 T 与辐射计匹配负载温度 T_1 , T_2 值相对应的稳定的数据点 V_{T0} 与 V_{T12} , 其中 V_{T12} 是 V_{T1} 和 V_{T2} 的均值, 利用所找出的数据进行拟和, 得出 V_{T0} 与 V_{T12} 的函数关系式 $V_{T0} = f(V_{T12})$.

(2) 将 (1) 中 V_{T0} 与 V_{T12} 的关系式代入 V_{T0} 与 T_0 的关系式 $T_0 = f(V_{T0})$ 中, 可以导出 T_{12} 与 V_{T12} 的关系式 $T_{12} = f(V_{T12})$.

(3) 利用 $T_{12} = f(V_{T12})$ 式计算 T , 利用定标方程将 T 转换为 V .

(4) 将 V 添加到辐射计测量数据 v 中得到修正后天线数码值 v , 代入定标方程得到修正后亮度温度值 T .

2 辐射计测量实验

2006年 6月 30日在东北地理所办公楼顶楼进行了辐射计测量及温度测量实验.

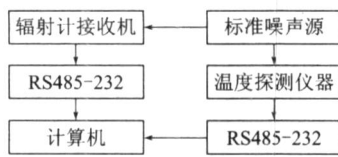


图2 辐射计测量实验仪器连接框图

Fig.2 Connection diagram for receiver measurement experiment

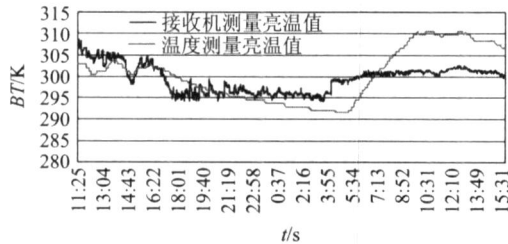


图3 辐射计原始数据与温度探测数据的比较

Fig.3 Comparison of receiver brightness temperature and temperature meter's

实验开始时间为 2006年 6月 30日 11:23h, 结束时间为 2006年 7月 1日 15:40h

2.1 实验仪器

23.8GHz数字增益自动补偿微波辐射计一台, 计算机一台, 数据线一根, 1.25cm热冷标准噪声源一台, 电源线两根, RS485-232转换器一个, 实验仪器连接框图见图 2

2.2 实验步骤

- (1) 按照图 2连接实验仪器。
- (2) 将温度探测器探头深入标准噪声源中。
- (3) 打开程序, 开始接收数据。

2.3 数据处理

2.3.1 数据预处理

由于实验进行的时间较长, 数据量较大, 所以对每一分钟获得的数据量进行了处理, 相加后求平均值作为该分钟的测量值。本实验应用的是两点法定标得到的定标方程:

$$T_B = -151.5156 + 0.1307 \times V_{out} \quad (12)$$

温度探测所得数值, 由回归方程计算得出, 两个方程的计算结果单位都是 K

$$T = 348.90744 - 0.05526 \times V_{out} - 0.00000419976 \times V_{out}^2 \quad (13)$$

由处理过的数据进行作图得到图 3所示。

2.3.2 温度修正

根据前述温度修正方法对数据进行修正处理, 得到修正后天线数码值修正方程为

$$V_{ANT} = T_{ANT} + 7.65111 \times T \quad (14)$$

将式 (14)代入定标方程得到修正后亮度温度

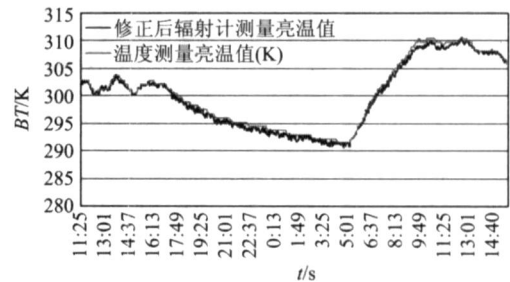


图4 经过修正过的辐射计亮温值与温度测量值的比较

Fig.4 Comparison between corrected revised brightness temperature of receiver and temperature meter's

值, 作图得到图 4所示。

图 4显示的是经过式 (14)修正过的辐射计亮温值。图中两条直线的标准差 $sd = 0.44$, 可以看出修正后的辐射计亮温值与温度测量值有很好的吻合, 这说明了经过修正后的数据有很好的准确性。

因为在自动增益补偿的过程中应用的是比例算法, 对参考源要求不是很高。经计算分析温度测量误差对修正方法影响不大, 能够达到辐射计灵敏度即可, 辐射计灵敏度一般情况下在 0.2k左右。

3 地基双频段微波辐射计大气探测实现

2006年 8月中科院东北地理与农业生态研究所为内蒙古气象局人工影响天气办公室生产了两套地基双频段 (23.8GHz, 31.65GHz)大气探测微波辐射计。其中 A型采用抛物面卡氏天线, 波束宽度为 1.2° ; B型采用角锥喇叭天线, 波束宽度 5° 。

2006年 8月中下旬在呼和浩特市内蒙古自治区人工增雨基地, 位于东经 $111^\circ 9'$ 北纬 $40^\circ 8'$ 进行了晴空观测实验。K1代表 A型辐射计的 23.8GHz通道; Ka1代表 A型辐射计的 31.65GHz通道; K2代表 B型辐射计的 23.8GHz通道; Ka2代表 B型辐射计的 31.65GHz通道。

在实验期间, 根据大气微波辐射传输方程, 结合本场气象探空数据, 进行了晴空大气扫角整体定标, 并修正了天线副瓣对辐射测量的影响量, 辐射计的灵敏度优于 0.12K

2006年 8月 21日进行了晴空大气观测试验。环境温度变化数据及修正后数据如图 5所示, 图 5中 $t_{12\text{cm}}$ 是参考源亮温值, t_{cm} 是天线亮温值, $re\text{-}t_{\text{cm}}$ 是温度修正后亮温值。

从图 5中可以看出参考源的噪声温度及未修正的天线温度随环境温度的变化而变化, 在典型点的温度变化趋势相同。在晴天如果认为水汽是均匀的, 则在一个昼夜期间目标恒定。修正后的天线温度由

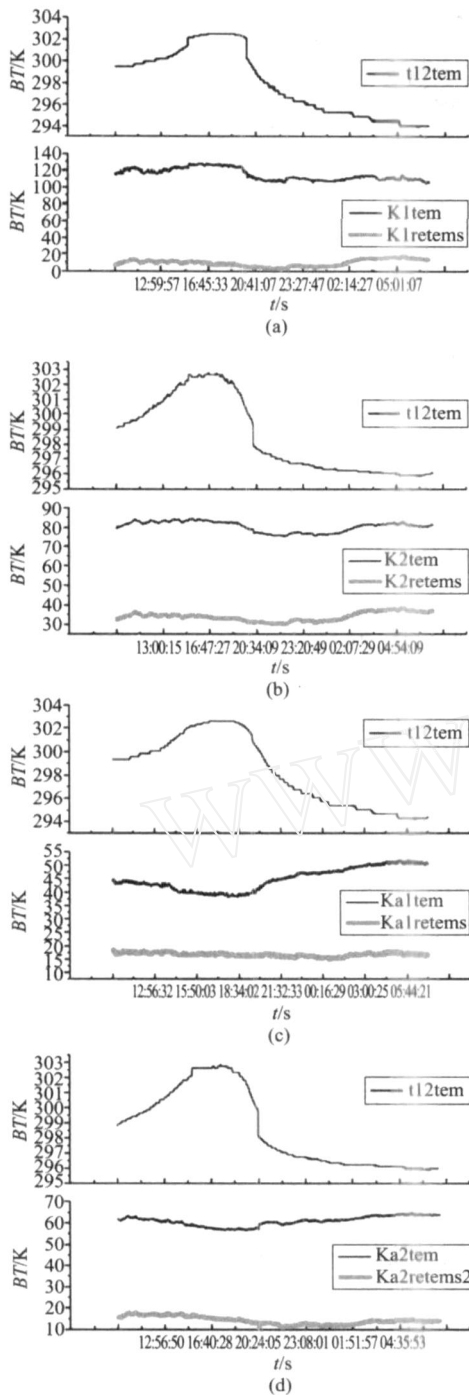


图 5 地基微波辐射计亮温修正前后比较 (a) A型辐射计 K波段修正前后比较 (b) A型辐射计 Ka波段修正前后比较 (c) B型辐射计 K波段修正前后比较 (d) B型辐射计 Ka波段修正前后比较

Fig 5 Comparison of brightness temperature and revised brightness temperature of ground based radiometer (a) comparison between brightness temperature and corrected brightness temperature of K Band type A radiometer (b) comparison between brightness temperature and corrected brightness temperature of Ka Band type A radiometer (c) comparison between brightness temperature and corrected brightness temperature of K Band type B radiometer (d) comparison between brightness temperature and corrected revised brightness temperature of Ka Band type B radiometer

于实际的水汽影响,所以曲线有些起伏,但不随环境温度变化而变化,达到温度修正的目的.图 5(a)中 K1tem 的标准差 $sd = 6.63$, K1retems 的标准差 $sd = 3.63$; (b)中 K2tem 的标准差 $sd = 2.68$, K2retems 的标准差 $sd = 2.21$; (c)中 Ka1tem 的标准差 $sd = 4.45$, Ka1retems 的标准差 $sd = 1.02$; (d)中 Ka2tem 的标准差 $sd = 2.24$ 的标准差 $sd = 1.80$.可以看出修正后的曲线方差较未修正的有所减小.由于在晴天条件下水汽在不同的时间仍有变化,23.8GHz对水汽敏感,所以其方差大于 31.65 GHz通道(对云液水敏感,晴天情况下云液水总量为零)的方差.

4 结语

经实验证明按照文中所介绍的方法修正后的大气探测数据能够符合真实数据,能够有效地显示大气水分的变化,预测降水.今后可以进一步分析数字增益自动补偿微波辐射计的温度特性,推导出温度变化修正的公式,公式中系数通过实验统计得出,在后续测量的数据处理中可以直接应用.由于没有采用控温设备所以数字增益自动补偿微波辐射计有成本低、结构简单、稳定可靠和易于操作等特点.

REFERENCES

- [1] PENG Shu-Sheng, LI Xing-Guo Study on the calibration method of 8mm measuring radiometer[J]. *J. Infrared Millim. Waves* (彭树生, 李兴国. 8mm测量辐射计定标方法的研究. *红外与毫米波学报*), 1997, 16(4): 280—284.
- [2] ZHANG Jun-Rong, ZHAO Kai Digital auto gain compensative microwave radiometer[P]. (张俊荣, 赵凯. 数字增益补偿微波辐射计. 专利号: 96220486.2).
- [3] RONG Zhi-Guo, ZHANG Yu Xiang, WANG Yu-Hua, et al Calibration method for water vapor channel of scanning-radiometer carried by FY-2B satellite[J]. *J. Infrared Millim. Waves* (戎志国, 张玉香, 王玉花, 等. 风云二号 B 星载扫描辐射计水汽通道定标方法. *红外与毫米波学报*), 2005, 24(5): 357—365.
- [4] TONG Jin-Jun, QU Kang-Mu, LI Xiao-Wen New method of in-flight absolute calibration for thermal infrared channels of satellite sensors[J]. *J. Infrared Millim. Waves* (童进军, 邱康睦, 李小文. 一种卫星遥感仪器热红外通道在轨绝对辐射定标新方法. *红外与毫米波学报*), 2005, 24(4): 277—280.
- [5] LI Jijing Design and analysis of new type microwave radiometer[D]. Institute of Electronics, CAS, Beijing (李靖. 新型微波辐射计设计与研制. 博士论文, 中国科学院电子学研究所), 1997, 7.
- [6] LUAN Hui, ZHAO Kai Error analysis and accuracy validation of two-point calibration for microwave radiometer receiver[J]. *J. Infrared Millim. Waves* (栾卉, 赵凯. 微波辐射计接收机两点定标法误差分析及准确性验证. *红外与毫米波学报*), 2007, 26(4): 289—292.