

# 微波辐射计天线旁瓣对绝对测温误差的影响

朱雅琳 欧祥荣

(西安空间无线电技术研究所微波遥感研究室, 西安 710000)

**摘要** 微波辐射计是通过接收被观测场景辐射的微波能量来探测目标特性的。应用两点定标法将辐射计的输出电平转换成天线视在温度, 该温度是天线主瓣贡献的有效视在温度和旁瓣贡献的有效视在温度之和。辐射测量遥感的目的是确定辐射计输出电压与主瓣贡献的有效视在温度的关系。因此必须对天线旁瓣的贡献加以考虑, 否则将给辐射计的绝对测温精度带来很大的误差。

**主题词** 微波辐射计 天线旁瓣 天线温度 绝对测温误差

## 1 前言

微波辐射计是一种被动式微波遥感设备, 是通过接收被观测场景辐射的微波能量来探测目标特性的。辐射计的天线主波束指向地面时, 天线接收地面来的电磁辐射、地面散射和大气辐射等辐射流量, 引起天线视在温度的变化。对辐射计进行温度绝对定标后, 可确定天线视在温度, 该温度值包含了辐射体和传播介质的一些物理信息。

应用两点定标法将辐射计的输出电平转换成天线视在温度, 该温度是天线主瓣贡献的有效视在温度和旁瓣贡献的有效视在温度之和。辐射测量遥感的目的是确定辐射计输出电压与主瓣贡献的有效视在温度的关系。因此必须对天线旁瓣的贡献加以考虑, 否则将给辐射计的绝对测温精度带来很大的误差。

## 2 天线旁瓣对绝对测温误差的影响

微波辐射计的绝对测温误差来自三个方面:

天线旁瓣产生的误差

随机误差

定标误差

这三项误差是相互独立的, 因此总的测温误差是这三种误差的均方根值。

### 2.1 天线旁瓣产生的误差

辐射计的天线接收的信号是天线主瓣接收的信号和天线旁瓣接收信号之和。天线温度  $T_A$  可表示为:

$$T_A = \eta_M \overline{T_{ML}} + (1 - \eta_M) \overline{T_{SL}} \quad (1)$$

式中:  $\eta_M$  天线的主波束效率

$\overline{T_{ML}}$  主瓣贡献的有效视在温度

$\overline{T_{SL}}$  旁瓣贡献的有效视在温度

辐射测量遥感的目的是确定辐射计输出电压  $V_{out}$  与  $\overline{T_{ML}}$  的关系。因此要对  $\overline{T_{SL}}$  进行估算, 以去除天线旁瓣的影响, 得到观测目标的亮温度。 $\overline{T_{SL}}$  根据天线方向图进行估算。如图 1 所示。极轨卫星天线波束刚离开地球边缘的角度为  $61^\circ$ , 地球温度为  $200K \sim 350K$ ,

估算时取其平均温度 275K，冷空温度 3K，天线波束宽度 6°。则：

$$\bar{T}_{sl} \approx \frac{58^\circ \times 3K + 116^\circ \times 275K}{174^\circ} = 184K \quad (2)$$

上式是对旁瓣视在温度的粗略估算，实际  $\bar{T}_{sl}$  值可能在很宽的范围内变化，很难确切知道，所以当旁瓣很大时，引入的误差是很大的。为了使来自  $\bar{T}_{sl}$  的误差最小，要使天线的主波束效率尽可能接近 1。

图 1 天线旁瓣视在温度示意图

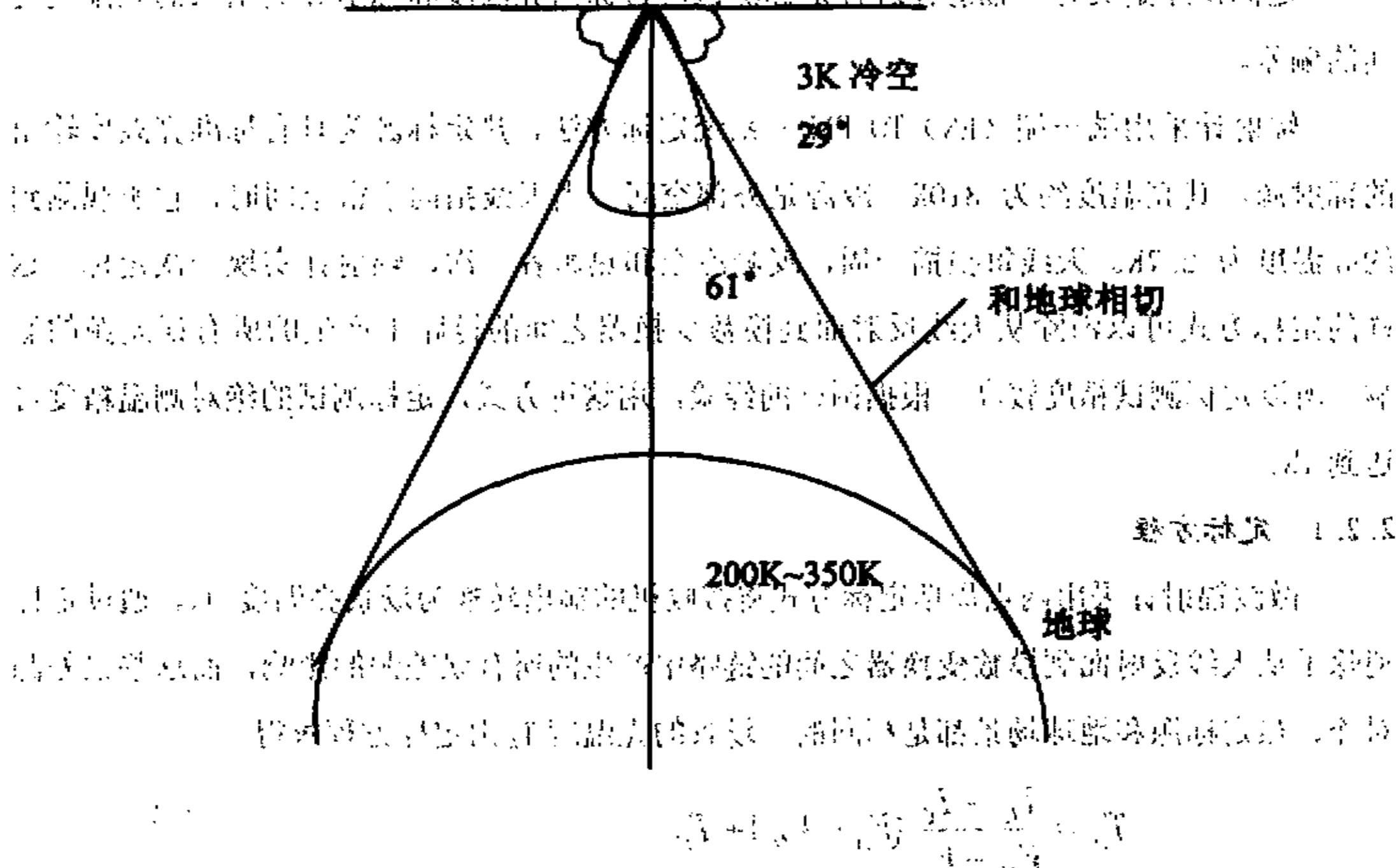


图 1 天线旁瓣视在温度示意图

由于在对热定标源测量时的  $T_{sl}$  和其它测量状态时的  $T_{sl}$  不同，所以（1）式中的第二项无法通过定标消除误差。 $T_{sl}$  的不确定性是造成误差的来源。 $T_{sl}$  的不确定性主要来源于天线旁瓣指向性参数的不确定性和天线波束效率的不确定度。对于旁瓣视在温度来说，由于：

#### 天空温度的不确定性

#### 地球温度的不确定性

旁瓣指向性参数的不确定性主要由天线指向精度和指向稳定性决定。对于旁瓣视在温度来说，

$T_{sl}$  的不确定值约为  $\pm 5K$ ， $\eta_M$  为 0.95，则旁瓣产生的测温误差约为  $\pm 0.25K$ ， $\eta_M$  为 80%，测温误差约为  $\pm 1K$ 。若要减小由旁瓣产生的测温误差，必须提高天线的主波束效率。另外天线主波束效率  $\eta_M$  的不确定性也会影响测温精度，只有当  $\eta_M$  的测量精度很高时（如优于  $-40dB$ ），这项误差才能消除。

表 1 列出了不同主波束效率时由于天线旁瓣产生的测温误差。

表1 天线旁瓣产生的测温误差

$\eta_{M,0}$	$T_{SL}$	$T_{SL}$ 不确定值 $\Delta T_{SL} \times 10^3$	测量误差 $\times 10^3$
95%	180K	$\pm 5K$	$\pm 0.25K$
90%	180K	$\pm 5K$	$\pm 0.5K$
85%	180K	$\pm 5K$	$\pm 0.75K$
80%	180K	$\pm 5K$	$\pm 1K$

## 2.2 天线旁瓣对定标误差的影响

定标误差定义为：辐射计进行定标测试时目标的亮温度和辐射计测出来的亮温度之间的偏差。

辐射计采用端一端 (END TO END) 系统定标方法。热定标源为具有标准亮温度输出的辐射源，其亮温度约为 310K。冷源是外部空间，当天线指向宇宙空间时，它所观测到的亮温度为 2.7K。天线每扫描一周，观测冷空和热源各一次，辐射计实现一次定标。这样的定标方式可以消除从天线反射面到模数变换器之间的链路中产生的所有误差源的影响，所以定标测试精度较高。根据国外的经验，用这种方式，定标测试的绝对测温精度可达到 1K。

### 2.2.1 定标方程

微波辐射计采用两点周期定标方式将接收机的输出转换为场景亮温度  $T_A$ 。通过定标消除了从天线反射面到模数变换器之间的链路中产生的所有误差源的影响，而这些误差源对冷、热定标源和地球场景都是相同的。场景的亮温度  $T_A$  由定标方程求得

$$T_A = \frac{T_H - T_C}{V_H - V_C} (V_A - V_H) + T_H \quad (3)$$

其中  $V_H$ 、 $V_C$ 、 $V_A$  分别为高温定标状态时、低温定标状态时、测量状态时，接收机的输出电压。 $T_H$ 、 $T_C$ 、 $T_A$  为对准高温定标源、低温定标源和场景测量时的天线温度。

从定标方程可以看出， $T_A$  的定标测量误差的来源主要是对热辐射定标源及冷空温度测量的不确定性。如何控制热辐射定标源和冷空的测量精度对辐射计的测量精度至关重要。

### 2.2.2 天线旁瓣对热定标源观测误差的影响

天线观测热定标源时，天线旁瓣接收的信号主要来自天线罩内表面、定标源屏蔽罩内表面和辐射黑体，它们的温度可以准确知道，天线旁瓣接收的能量也可以准确估算，因此天线旁瓣对热定标源观测误差的影响可以修正掉。

### 2.2.3 天线旁瓣对冷空定标观测误差的影响

对冷空定标时，目标在天线的远场而不是近场。因此当观测冷空时，天线方向图是非常相关的参数：旁瓣要低，必须避免来自卫星本体和地球的额外辐射。这些源的任何一

一个恒定的温度输入都将导致偏差。如果这个偏差已知，就可将其修正。在轨时在其整个寿命期，卫星本体的外表面将受到大的温度变化的影响，发射率将随着时间而变化。地球将是一个近似一致的热源。

天线旁瓣对冷空定标观测误差的影响主要是：天线的部分旁瓣接收到地球的辐射和卫星本体的辐射，且冷空的辐射也随不同的冷空星体而变化。表 2 给出了天线旁瓣对冷空定标观测误差的影响。

表 2 天线旁瓣对冷空定标观测误差的影响

来源	误差
卫星星体	估计 0.5% 天线方向图照在卫星星体上 卫星星体温度不确定度 $\pm 10K$
地球	估计 0.5% 天线方向图照在地球上 地球温度不确定度 $\pm 5K$
冷空	冷空的不确定性
转景	$\pm 2K$

因此天线的主波束效率不能太低，天线的测量精度也要很高；否则将严重影响绝对定标测量精度。

#### 2.2.4 定标测量误差的评估

对热定标源和冷空观测的不确定性，造成对地球目标测量的不确定性。对地球目标观测的不确定性按下式评估：

$$\Delta T_A = \sqrt{\left(\frac{V_A - V_C}{V_H - V_C} \Delta T_H\right)^2 + \left(\frac{V_H - V_A}{V_H - V_C} \Delta T_C\right)^2} \quad (4)$$

由于对冷空观测的不确定性较大，所以被测场景的亮温度越低，则测量的误差也越大。

#### 参考文献

- [1] J. E. Charlton, M. L. Jarrett and A. R. L. Tatnall, "Assessment of the calibration errors on AMSU-B", SPIE vol. 1935, pp160~168.
- [2] F. T. 乌拉比, R. K. 穆尔, 冯健超, 微波遥感(第一卷)。

## 如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…

---



### HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

---

### CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>

---



### 13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



## 关于易迪拓培训:

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com))，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

## 我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

## 联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>