

# 利用载噪比比较法测量天线 $G/T$ 值研究

侯长满<sup>1</sup>, 赵亭军<sup>2</sup>, 刘 丞<sup>2</sup>, 马荣祥<sup>2</sup>, 王 帅<sup>2</sup>

(1. 中国人民解放军 92493 部队 12 分队, 辽宁 葫芦岛 125000;

2. 北京航天科工世纪卫星科技有限公司, 北京 100176)

**摘要:** 天线系统的增益  $G$  与接收系统噪声温度  $T$  的比值称之为  $G/T$  值, 是信道各参数中十分重要的技术指标, 是衡量地面站灵敏度的质量指标,  $G/T$  值越高, 表明地面站检测来自卫星信号的能力越强; 利用频谱仪, 低噪声下变频器以及功分器对于天线系统的  $G/T$  值进行测试, 利用载噪比比较法对天线系统的  $G/T$  值进行测量, 介绍了该方法计算时的公式和原理, 通过标准喇叭的  $G/T$  值, 融合待测天线和标准增益喇叭分别目标卫星信标, 可获得各自的归一化载噪比, 得到最终的天线  $G/T$  值; 经过具体的测试实验, 得到了天线的  $G/T$  值, 实验证明, 该方法确实行之有效。

**关键词:** 载噪比比较法;  $G/T$  值; 标准增益

## Research on $G/T$ Value of Antenna by the Comparison of Carrier-to-noise Ratio

Hou Changman<sup>1</sup>, Zhao Tingjun<sup>2</sup>, Liu Cheng<sup>2</sup>, Ma RongXiang<sup>2</sup>, Wang Shuai<sup>2</sup>

(1. Chinese People's Liberation Army 92493 Unit 12, Huludao 125000, China;

2. Beijing Aerospace Science & Industry Century Satellite Hi-Tech Co., Ltd., Beijing 100176, China)

**Abstract:** The ratio of the gain  $G$  of the antenna system to the noise temperature  $T$  of the receiving system is called the  $G/T$  value. It is a very important technical indicator in the parameters of the channel. It is a quality indicator for measuring the sensitivity of the ground station. The higher the  $G/T$  value, the ground. The stronger the station's ability to detect signals from satellites. Using the spectrum analyzer, the low-noise downconverter and the power divider to test the  $G/T$  value of the antenna system, the  $G/T$  value of the antenna system is measured by the carrier-to-noise ratio comparison method, and the formula and calculation formula of the method are introduced. Principle, through the  $G/T$  value of the standard speaker, the target satellite beacon is integrated with the target antenna and the standard gain horn, and the respective normalized carrier-to-noise ratio can be obtained to obtain the final antenna  $G/T$  value. After specific test experiments, the  $G/T$  value of the antenna was obtained. The experiment proved that the method is effective.

**Keywords:** comparison of carrier-to-noise ratio;  $G/T$  value; standard gain

## 0 引言

近些年来, 无线电技术发展迅速, 有源阵列天线信号收发系统在很多领域应用广泛, 例如航天测控、卫星导航、数字移动通讯等领域。有源阵列天线的定义是由天线阵列中的每一个辐射单元或子阵通道与有源电路 (主要是 T/R 组件) 直接连接而组成的接收或者发射电磁波的系统, 对于任意有源单元, 可以作为辐射/接收单元来辐射/接收电磁信号, 也可以作为电路的一部分, 具有谐振、滤波、功率放大等作用。

$G/T$  值, 地球站品质因数, 定义是天线系统的增益  $G$  与接收系统噪声温度  $T$  的比值, 在信道各参数中, 是一个十分重要的技术指标<sup>[1]</sup>, 可以作为质量指标衡量地面站的灵敏度,  $G/T$  值越高, 意味着地面站检测来自卫星信号的能力越强。在研究中, 测量  $G/T$  值的方法主要有两种, 直

接法和间接法。射电天文法一般是直接法的代表<sup>[2-3]</sup>, 对于这种方法, “看得见、保精度、跟得上” 是李文缝为其总结的测量  $G/T$  值的三原则<sup>[4-5]</sup>。除此之外, 卫星载噪比法也属于直接法, 但其局限性同样明显, 主要体现在应准确已知各种增益修正因子还有卫星的等效各向同性辐射功率 EIRP (equivalent isotropic radiated power)。分别测量出天线的接受增益和系统噪声温度, 从而计算  $G/T$  值<sup>[6-8]</sup>是采用众多的间接法。对于无源天线系统, 间接法是适合的。但想测量有源天线, 很难测得天线系统噪声温度。对于天线固定不动, 或者射频信号输出为数字合成波束这些特别类型的天线, 无法用传统的测量增益方法实现测量。这两种方法测量起来比较复杂, 且测量的重复性差。针对这些问题, 陈辉等人利用卫星源测量有源天线<sup>[9-10]</sup>, 提出一种利用卫星源测量有源阵列天线  $G/T$  值的简便方法, 各类有源天线均可使用该方法, 并且这种方法也适用与无源天线以及固定和移动天线的测量。同时, 随着卫星通信技术的发展, 卫星的等效各向同性辐射功率 EIRP、地貌修正因子  $A$  和自由空间传播损耗  $L_p$  均可精确计算或测量, 利

收稿日期: 2019-05-15; 修回日期: 2019-06-24。

作者简介: 侯长满(1976-), 男, 辽宁兴城人, 大学本科, 工程师, 主要从事无线通信和卫星通信方向的研究。

用载噪比直接法测量  $G/T$  值简单、方便<sup>[11-12]</sup>。并且还具有如下特点:

- 1) 利用卫星源法直接测量  $G/T$  值, 满足远场测试条件;
- 2) 测量进行于天线工作条件下, 所以测出的  $G/T$  值为系统的工作  $G/T$  值;
- 3) 可使周边环境、位于地面的建筑物等引起的多重反射对测试结果的影响达到最小;
- 4) 可重复进行测量。

由此可见, 载噪比直接法测量有一定的优点, 所以许多方法是利用载噪比直接法来进行测量<sup>[3]</sup>。

综上所述, 载噪比直接法有所优势, 也有不足, 本文将列举介绍几种常规的测试方法, 并通过工程实施经验, 解决  $G/T$  值测试需求, 本文将介绍利用载噪比比较法尝试测量天线  $G/T$  值, 描述出测试步骤, 分析测试结果, 得出测试结论。

## 1 $G/T$ 值测试常规方法简介

本文介绍 3 个被用户普遍采用的  $G/T$  值测试方法, 分别是射电天文法, 信标塔法和卫星法。

### 1.1 射电源法

射电源法测量  $G/T$  值是利用宇宙射电原作为噪声功率源, 通过公式计算出  $Y$  因子, 在通过理论计算配合地球站已知参数, 计算出待测天线的  $G/T$  值, 该测试方法精密度高, 测试较为准确, 但是所需环境较为复杂。在工程实施中难以实现。

### 1.2 信标塔法

通过建立标准信标塔, 提供标准信号, 对被测天线进行测试, 信号塔上天线标准已知, 两站之间光学距离已知, 通过读取下行中频信号与噪声功率谱密度的比值, 就可通过计算得到待测天线的  $G/T$  值。该方法还需建立信标塔, 还需在测试地点附近有合适高度的山头, 故不适宜低成本工程实施。

### 1.3 卫星法

卫星法是指利用未调制的测试载波, 或卫星信标, 由频谱仪直接测量出下行单载波的载波功率和噪声功率比, 从而计算出地球站  $G/T$  值。但是该方法需要同步卫星的密切配合, 而且需发送载波获得稳定下行信号, 期间不可控因素较多, 测试精度不高, 协调困难, 工程上较少采用。

以上所描述的是几种常规的  $G/T$  值测量方法, 但上述方法对于测试的条件及仪器设备有较高的要求, 随着卫星通信行业的发展, 越来越多的天线设备生产厂家投入生产, 越来越多的卫星通信系统陆续搭建, 迫切需要一种可以在地面实施, 所需仪器设备简单, 操作方便, 成本低廉的测试方法来进行天线  $G/T$  的测试。我们借鉴了直接法测试  $G/T$  值的三原则即“看得见, 跟得上, 保精度”原则, 依据工程实施经验, 总结了“载噪比比较法”来进行  $G/T$  值的测定。

## 2 系统结构及原理

### 2.1 测试设备及仪器

- 1) 标准喇叭;
- 2) 频谱仪 (Agilent E4408B);
- 3) 低噪声下变频器 (LNB, 可使用天线内部自带的 LNB);
- 4) 功分器 (一端隔直, 一端通直);
- 5) 调制解调器 (给 LNB 供基准信号和工作电压);
- 6) 标准喇叭对星工装 (方位俯仰极化三轴可调可固定);
- 7) 标准负载。

### 2.2 测试系统连接关系

- 1) 系统连接关系如下:

测试过程中, 被测天线射频物理连接至 LNB, 应注意, 连接部分不应有任何泄露, LNB 铜轴连接至功分器, 功分器隔直端铜轴连接至频谱仪接收口, 功分器通直端连接至陪测调制解调器接收口, 应注意线缆的连接应符合工艺规程规定, 否则线缆移动会造成信号损耗, 影响测试结果。

测试  $Y$  因子过程中, 将标准喇叭安装到对星工装上, 将标准喇叭物理连接至 LNB, LNB 铜轴连接至功分器, 功分器隔直端铜轴连接至频谱仪接收口, 功分器通直端连接至陪测调制解调器接收口。连接要求同上。

- 2) 天线  $G/T$  值测试系统如图 1 所示。

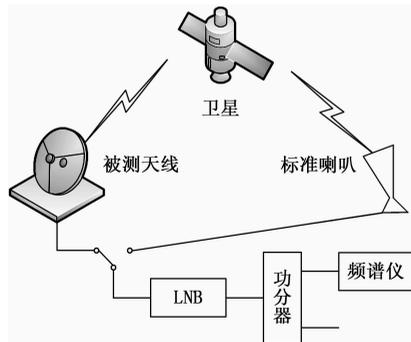


图 1 天线  $G/T$  值测试系统框图

### 2.3 测试原理

本方法采用载噪比较法测量  $G/T$  值, 基本原理如下: 标准喇叭的  $G/T$  值可用下式获得:

$$(G/T)_s = G_s - 10 \lg T_s \quad (11)$$

式中,  $G_s$  为标准喇叭的增益;  $T_s$  为喇叭的噪声。TS 计算方法如下:

$$T_s = (T_0 + T_{LNB}) / Y \quad (12)$$

式中,  $T_0$  表示环境温度 (K) 一即为现场温度;  $T_{LNB}$  表示 LNB 的噪声温度;  $Y$  表示标准增益喇叭的  $Y$  因子。  $T_{LNB}$  和  $Y$  分别通过如下计算获得:

$$T_{LNB} = (10^{NF/10} - 1) \times T_0 \quad (13)$$

$$Y = 10^{[(P_{负载} - P_{喇叭})/10]} \quad (14)$$

式中,  $P_{负载}$  和  $P_{喇叭}$  分别表示 LNB 连接匹配负载和喇叭的接

收电平,  $NF$  为噪声系数 (需要用噪声分析仪标定)。

待测天线和标准增益喇叭分别目标卫星信标, 可获得各自的归一化载噪比  $(C/N_0)_X$  和  $(C/N_0)_S$ 。

有上述数据后, 即可用下式计算被测天线的  $G/T$  值:

$$G/T = (G/T)_s + (C/N_0)_X - (C/N_0)_s \quad (15)$$

由此得出基于载噪比较法的  $G/T$  值测试方法。

### 3 测试步骤

测试步骤如下:

1) 选择晴天、微风、净空、空旷、周边环境较安静的情况下, 测试现场的环境温度  $T_0$ , 将天线 (带天线罩) 置于无遮挡的空旷水平地面上, 将待测天线的波导口连接至 LNB 输入端, LNB 输出端经功分器连接至频谱仪; 作为对比, 标准增益喇叭使用同一套 LNB、功分器、线缆及频谱仪; 频谱仪、功分器、LNB 等设备需经过标校, 设备性能稳定。

2) 启动调制解调器, 频谱仪, 功分器, LNB 等设备, 预热 3~5 分钟使测试设备能够正常工作 (不同设备的预热时间不同, 需依据工程经验进行确定);

3) 将 LNB 和频谱仪接对待测天线上, LNB 和待测天线为物理连接, 该连接需有经验的工程师进行安装, 保证信号不泄露, 通过 ACU 控制天线对准指定的目标卫星; 通过调整频谱仪, 使得信标显示在主窗口, marker 到信标峰值后, 调整 span 逐渐减小, 最终调整至 span 等于 0, 使得 marker 点始终保持在信标峰值, 开启持续扫描, 控制扫描速度, 观察频谱仪面板然后调整天线参数, 使得对星信标值最大, 然后恢复 span 值, 重复上述步骤多次, 再使用频谱仪观察卫星信标等参数, 确认信标频率, 电平不再有明显变化, 系统工作状态稳定;

4) 设置频谱仪参数: RBW 参数为 3 kHz, VBW 参数为 100 Hz, SPAN 参数为 50 kHz, AVG 参数为 100, 利用频谱仪记录接收信号的电平数据, 然后将天线方位角偏开卫星方位角  $10^\circ$  该角度为对星角度, 需经过水平仪测试后, 经计算转换为天线本身的水平角度, 记录此时的噪声基底电平线, 利用频谱仪读出此时的噪声谱密度  $N_0$ 。(噪声基底 Marker 位置统一为扫描中间点), 计算获得待测天线的归一化载噪比, 重复 5 次, 记录平均值;

5) 将 LNB 和频谱仪接到标准增益喇叭上, 通过调整标准喇叭对星工装来调整标准增益喇叭的方位、俯仰和极化, 使标准喇叭对准目标卫星, 在调整喇叭的位置的同时, 重复 d) 操作中频谱仪在对星时的操作步骤, 观察卫星信标电平值, 电平值最高且稳定时, 默认为喇叭对准卫星, 统计固定好对星工装, 利用频谱仪记录测试的电平数据, 然后将标准增益喇叭偏开卫星方向  $10^\circ$ , 记录此时的噪声基底电平线, 利用频谱仪读出此时的噪声谱密度  $N_0$ 。(噪声基底 Marker 位置统一为扫描中间点), 计算获得待测天线的归一化载噪比, 重复 5 次, 记录平均值 (频谱仪的设置同上);

6) 测试标准增益喇叭的 Y 因子: 在测试过程中, 需注

意喇叭口和匹配负载的朝向保持载噪比噪声基底测试的位置, 频谱仪参数设置: RBW 参数为 1 MHz, VBW 参数为 1 kHz, SPAN 参数为 0 kHz, AVG 参数为 100, 然后按照测试原理中的等式计算出标准增益喇叭的  $G/T$  值, 并根据比对法计算获得待测天线的  $G/T$  值;

7) 根据测试需求, 更换接收频率和极化方式, 重复第 3 步到第 6 步, 记录数据。

### 4 测试结果及分析

#### 4.1 测试结果

本试验测试产品为由我单位生产的 XX 型号 0.9 mKu 频段平板阵列动中通微信天线, 该产品在  $10^\circ$  仰角、清空、80 K/LNA 以及带罩测试的测试条件下, 产品仿真结果为 16.8 dB/K, 本测试最终测量结果为 15.5 dB/K, 十分接近仿真结果, 该测试结果相较于产品的仿真结果偏低。

#### 4.2 测试结果偏离原因分析

1) 仿真结果本身会有指标偏离;

2) 测试条件为工程条件, 不是实验室条件, 在测试的过程中, 收到多方因素影响, 测试结果相较理论值有些许偏离;

3) 在实施过程中, 线缆的转接, LNB 的更换安装, 都会造成测试结果的偏离, 可通过多次测试, 多频点测试来尽量避免工程误差。

#### 4.3 测试条件分析

该试验测量条件为工程条件, 选用的仪器设备频谱仪、低噪声下变频器、功分器、调制解调器等均为卫星通信测试过程中的常见设备, 其中, 设备中最可能影响到测试结果的, 有可能是调制解调器提供的参考信号不稳定, 导致 LNB 在测试过程中返回到频谱仪的参数产生波动, 对试验结果带来影响, 解决办法是在测试之前进行设备预热, 通过观察卫星对星信标值的频率以及电平变化, 来保证整套系统在测试过程中的稳定性。

其次, 在试验过程中, 环境的温度对试验的结果影响较大, 测试过程中一定要按照晴天、微风、净空、空旷、周边环境较安静的标准来选择测试位置, 这样可以使测试结果尽可能接近真实结果。

#### 4.4 测试结果分析:

通过比较法测量  $G/T$  值, 本实验的测试结果和仿真结果相比较为接近, 按照本测试方法测试出的结果相较仿真结果偏低, 经过多次测试, 在符合实验条件要求的情况下, 本测试方法所测得的试验结果, 和仿真结果的误差可以控制在 3 dB/K 以内, 满足工程测试要求, 可以用做系统链路计算过程中的参考。

#### 4.5 测试方法分析

该测试方法能够实现对于地球站  $G/T$  值得多次测量, 且测试结果基本可以满足工程上的应用, 但是测试所需环境需要使得环境噪声尽量低, 故测试的时间地点选择较为考究, 一般测试  $G/T$  值的地理位置与地球站开通位置不同,

(下转第 51 页)