

## 天线口面的平均亮温度<sup>1</sup>

李宗谦

(清华大学电子工程系 北京 100084)

**摘 要** 本文提出了天线口面平均亮度的概念,给出了天线终端接有匹配噪声源和非匹配噪声源时天线口面平均亮温度的表达式。该式表明,无耗天线口面的平均亮温度仅与三个因素有关:噪声源的噪声温度,噪声源的反射系数和天线的面积利用系数。

**关键词** 天线口面,亮温度,噪声温度,反射系数,面积利用系数

**中图分类号** TN820.1

### 1 引言

自由空间同时具有两方面的电磁特性:其一,电磁波可以无反射无散射无耗地传播;其二,由于自由空间是无耗的,因而无电磁热辐射。为了测量的需要,人们总是设法在实验室中模拟自由空间。但是,现在还没有找到一个非常有效的办法在同一实验室中同时模拟自由空间的这两方面的电磁特性。一个设计优良的微波暗室可以使电磁波的反射非常低,但是由于微波暗室所用的吸波材料接近黑体,具有很强的辐射本领,因而它是一种高辐射背景的实验室,它仅仅模拟了自由空间的无反射无散射特性,却完全破坏了自由空间的无电磁热辐射的特性。自 80 年代以来,文献 [1-3] 报道了用于模拟物体的微波辐射特性和进行毫米波终端制导仿真的低辐射背景实验室的概念和方法。低温辐射背景实验室是一种反射型的实验室,它由一个开有天窗的用导体做墙壁的房子构成。这种结构保证了较低的热辐射背景,但又破坏了自由空间的无反射无散射特性。补救的办法是仔细设计房子的尺寸形状以及天窗的尺寸形状和位置。为了模拟物体的微波辐射特性,我们在这种实验室引入了噪声天线阵。那么,如何描述天线本身的热辐射特性,应当引入甚么参量来描述天线本身的热辐射特性,这是一个尚未讨论过的问题。

正如自然界的其他物体一样,天线口面也有热噪声辐射,因此天线本身也是一个噪声辐射源,以下简称辐射源。对于任何的辐射源都可用平均亮温度  $T_B$  予以描述,当然,天线亦不例外。因此,无论从理论上还是从实用上,引入天线口面平均亮温度这一天线参量来描述天线本身的热辐射特性都是非常恰当的。在被动仿真实验室的设计中,天线口面平均亮温度这一参量起着重要作用。将物体的热辐射概念,辐射测量学和天线理论结合起来,便可巧妙地导出天线口面平均亮温度的表达式,得出简单明确有用的结果。

### 2 匹配噪声源的天线口面平均亮温度

当忽略天线的损耗时,天线辐射的热噪声主要来自天线终端所接的噪声源。若噪声源的噪声温度为  $T$ ,且反射系数  $\Gamma$  不等于零,称该噪声源为非匹配噪声源,如图 1 所示。当反射系数  $\Gamma$  等于零时,称该噪声源为匹配噪声源。我们首先讨论匹配噪声源的情况。现在的问题是:噪声源为匹配噪声源时,天线口面的平均亮温度等于什么?对于非匹配噪声源的情况将在本文后面予以说明。

<sup>1</sup> 1995-05-08 收到, 1996-01-29 定稿

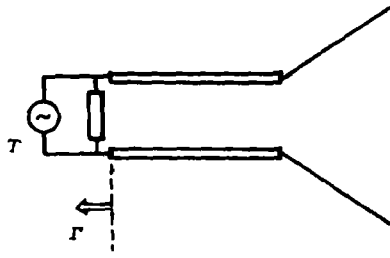


图 1

一般情况下, 若辐射源是无极化或随机偏振的, 那么辐射源的谱通量密度  $S_f$  为<sup>[4]</sup>

$$S_f = \iint_{4\pi} B_f(\theta_t, \varphi_t) F_n(\theta, \varphi) d\Omega, \quad (1)$$

其中  $B_f(\theta_t, \varphi_t)$  是辐射源的谱亮度,  $(\theta_t, \varphi_t)$  是以发射点为坐标原点的球坐标系;  $F_n(\theta, \varphi)$  是接收天线的归一化功率方向图,  $(\theta, \varphi)$  是以接收天线相位中心为坐标原点的球坐标系;  $d\Omega$  是微分立体角, 且  $d\Omega = \sin\theta d\theta d\varphi$ 。若辐射源对接收天线所张的立体角  $\Omega_S$  比较小, 且接收天线最大方向性对准辐射源, 则近似有  $F_n(\theta, \varphi) \approx 1$ , 于是辐射源的谱通量密度近似为

$$S_f \approx \bar{B}_f(\theta_t, \varphi_t) \Omega_S, \quad (2)$$

式中  $\bar{B}_f(\theta_t, \varphi_t)$  是辐射源在  $(\theta_t, \varphi_t)$  方向的平均谱亮度。

在本文中, 辐射源为具有偏振特性的天线, 与其相应的谱通量密度记作  $S_{f,\text{ant}}$ 。考虑到天线的偏振特性,  $S_{f,\text{ant}}$  应等于  $S_f/2$ 。  $S_{f,\text{ant}}$ ,  $S_f$  与辐射源天线发射的噪声功率  $P$  和辐射源天线增益  $G(\theta_t, \varphi_t)$  的关系为

$$S_{f,\text{ant}} \Delta f = S_f \Delta f / 2 = PG(\theta_t, \varphi_t) / (4\pi R^2), \quad (3)$$

式中  $\Delta f$  是频带宽度,  $R$  是辐射源天线与接收天线之间的距离。已知噪声功率  $P$  与噪声温度  $T$  的对应关系为

$$P = kT\Delta f, \quad (4)$$

式中  $k$  是波尔兹曼常数。将 (4) 式代入 (3) 式, 得

$$S_f = 2kTG(\theta_t, \varphi_t) / (4\pi R^2). \quad (5)$$

注意到平均谱亮度  $\bar{B}_f(\theta_t, \varphi_t)$  与亮温度  $T_B(\theta_t, \varphi_t)$  的关系为

$$\bar{B}_f(\theta_t, \varphi_t) = 2kT_B(\theta_t, \varphi_t) / \lambda^2, \quad (6)$$

式中  $\lambda$  是自由空间波长。将 (6) 式代入 (2) 式, 得

$$S_f \approx [2kT_B(\theta_t, \varphi_t) / \lambda^2] \Omega_S. \quad (7)$$

令 (5) 式和 (7) 式的右端相等, 得

$$T_B(\theta_t, \varphi_t) = [G(\theta_t, \varphi_t)\lambda^2/(4\pi R^2\Omega_S)]T. \quad (8)$$

当辐射源天线的最大增益方向对准接收天线时,  $G(\theta_t, \varphi_t)$  等于天线的最大增益  $G_0$ , 相应的  $T_B(\theta_t, \varphi_t)$  记作  $T_B$ 。注意到  $G_0$  与天线有效面积  $A_e$  之间有下列关系式<sup>[5]</sup>

$$G_0/A_e = 4\pi/\lambda^2. \quad (9)$$

那么 (8) 式还可以写作

$$T_B = [A_e/(R^2\Omega_S)]T. \quad (10)$$

事实上 ( $A_e/R^2$ ) 是辐射源天线的有效面积  $A_e$  对接收天线所张的立体角, 记作  $\Omega_e$ 。而  $\Omega_S$  是辐射源天线的几何口面  $A_S$  对接收天线所张的立体角,  $\Omega_S = A_S/R^2$ 。因此 (10) 式可以改写为

$$T_B = (\Omega_e/\Omega_S)T = (A_e/A_S)T. \quad (11)$$

事实上,  $A_e$  与  $A_S$  之比为天线口面的面积利用系数  $\gamma$ 。那么, 我们得到终端接匹配噪声源时天线口面平均亮温度的非常简洁的表达式为

$$T_B = \gamma T. \quad (12)$$

因为天线口面的面积利用系数  $\gamma$  小于 1, 故终端接匹配噪声源时天线口面平均亮温度亦小于噪声源的噪声温度  $T$ 。

### 3 非匹配噪声源时的天线口面平均亮温度

如果天线终端所接非匹配噪声源的反射系数的模为  $\Gamma$ , 噪声温度为  $T$ , 那么天线口面平均亮温度的表达式改为

$$T_B = \gamma T(1 - |\Gamma|^2). \quad (13)$$

这也是一个非常简洁的表达式, 而 (12) 式则是它的特例。(13) 式表明无耗天线口面的平均亮温度仅与三个因素有关: 噪声源的反射系数, 噪声源的噪声温度和天线的面积利用系数, 且小于天线终端所接非匹配噪声源的噪声温度。

### 参 考 文 献

- [1] Wismer K L, Witsmeier A J. A Terminal guidance simulator for evaluation of millimeter wave seekers. Proc. Military Microwaves Conference MM-80. London: Oct. 1980, 655-661.
- [2] 李宗谦, 王家璋. 研究物体微波发射特性的低温辐射背景实验室. 第一届全国电磁兼容学术会议论文集, 深圳: 1988, 210-212.
- [3] Sholes W J, Wilsdorf T T. Reflective chamber for hardware-in-the-loop simulation of active/passive millimeter wave sensors, SCSC'90, Calgary, Alberta, Canada: 1990, 987-992.
- [4] Ulaby Fawwaz T, Moore Richard K, Fung Alrian K. Microwave Remote Sensing, vol.1, London: Addison-Wesley Publishing Company, 1981, Chapter 4.

- [5] Balanis A. *Antenna Theory, Analysis and Design*. London: Harpen & Row Publishes, Inc. 1982, 61-63.

## AVERAGE BRIGHTNESS TEMPERATURE OF ANTENNA APERTURE

Li Zongqian

*(Electronic Engineering Department, Tsinghua University, Beijing 100084)*

**Abstract** This paper presents an idea for the average brightness temperature of antenna aperture and its expression for a lossless antenna with matched and unmatched noise sources. The expressions show that the average brightness temperature of antenna aperture relates with three factors: coefficient of useful area for antenna, noise temperature of noise sources and reflective coefficient of noise sources.

**Key words** Antenna aperture, Brightness temperature, Noise temperature, Reflective coefficient, Coefficient of useful area

李宗谦：男，1938年生，教授，从事专业：微波工程和微波遥感。