

# 行波管“冷参数”测试技术的研究

郭高凤<sup>1</sup>, 李恩<sup>1</sup>, 张其劭<sup>1</sup>, 李宏福<sup>2</sup>

(1. 电子科技大学电子工程学院 成都 610054; 2. 电子科技大学物理电子学院 成都 610054)

**【摘要】**针对因螺旋线行波管慢波线的结构特殊, 导致其管内输能机构和切断衰减器的反射系数不易测量的问题, 提出了利用多点法对输能机构和切断衰减器的反射系数进行测量的方法, 并讨论了测试中所用探针反射系数的测试技术。该方法具有无损伤、测试方便等优点, 也可用于其他类似特殊结构反射系数的测量。

**关键词** 行波管; 冷参数; 反射系数; 微波测量

**中图分类号** TN124 **文献标识码** A

## A Study on Measurement of “Cold Test Parameters” of TWT

GUO Gao-feng<sup>1</sup>, LI En<sup>1</sup>, ZHANG Qi-shao<sup>1</sup>, LI Hong-fu<sup>2</sup>

(1. School of Electronic Engineering, UEST of China Chengdu 610054; 2. School of Physical Electronics, UEST of China Chengdu 610054)

**Abstract** A new application of multi-point method is presented in this paper, which is for the measurement of “cold test parameters”, the reflection coefficients at the output termination and attenuator of helix Traveling Wave Tube (TWT). The measurement method of the reflection coefficient of the probe used in the measurement of “cold test parameters” is also discussed. The method is nondestructive and easy, and can also be used in other measurements of the reflection coefficients of device which has similar special structure.

**Key words** TWT; cold test parameter; reflection coefficient; microwave measurement

行波管管内的不连续性主要位于输能机构和切断衰减器处, 微波信号会在这两个不连续性之间多次反射, 最后直接影响到行波管的工作频带、增益的平坦度、稳定性<sup>[1~4]</sup>。因此, 非常有必要来对这两处不连续性的反射系数进行测量, 以检测其与慢波线的匹配程度。在本文中, 称行波管的这两个反射系数为“冷参数”。由于行波管输能结构的特殊性, 尚未有文献对其反射系数的测量进行报道。对于切断衰减器, 可用介质杆微扰法和纳米脉冲雷达法进行测量<sup>[5,6]</sup>。对于介质杆微扰法, 需在慢波线上打孔, 对慢波线造成了破坏。介质杆的头部的匹配程度未知, 且无法测量, 给测试带来了很大的误差。而脉冲雷达法的测试装置复杂, 使用不便。本文主要讨论应用多态法对螺旋线行波管输能机构和切断衰减器反射系数的进行测量。

## 1 “冷参数”测量原理

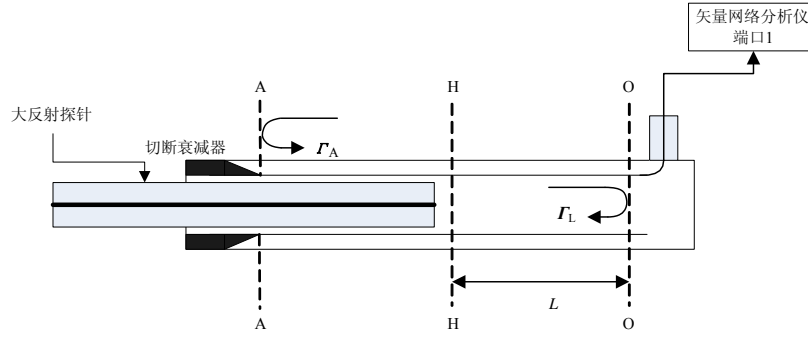
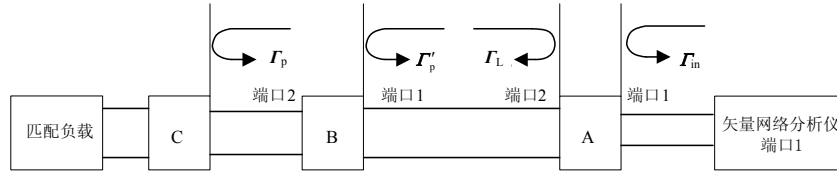
由于行波管输入输出部分的结构相似, 在此仅讨论行波管输出段输能结构的反射系数。其测试装置如图1所示。 $\Gamma_L$ 是从螺旋线向输能机构看去的反射系数,  $\Gamma_A$ 是从螺旋线向切断衰减器看去的反射系数。大反射探针用来测量 $\Gamma_L$ 和 $\Gamma_A$ 。当探针的另一端匹配负载时, 线HH左边的部分可以看作一个大反射负载, 其反射系数为 $\Gamma_p$ 。矢量网络分析仪的端口1连接到行波管输能机构的输出端口。

### 1.1 $\Gamma_L$ 的测量

图1的等效网络串如图2所示。线OO的右边即输能装置等效为双端口网络A, 其散射参数为 $S_O$ , 且

收稿日期: 2004-05-11

作者简介: 郭高凤(1975-), 女, 硕士, 讲师, 主要从事微波技术和微波测试系统方面的研究。

图1 行波管输能机构反射系数 $\Gamma_L$ 的测试装置图2  $\Gamma_L$  测试装置的等效网络串

$$S_O = \begin{bmatrix} S_{110} & S_{120} \\ S_{210} & S_{220} \end{bmatrix}$$

当A的端口1接匹配负载时， $S_{220}$ 即是行波管输能机构的反射系数 $\Gamma_L$ 。

线HH和OO之间的螺旋线等效于一个双端口网络B，其散射参数为 $S_h$ 。设螺旋线的传播系数为 $\gamma_h = \alpha_h + j\beta_h$ 。螺旋线的长度 $L$ 认为足够短，这样可认为 $\alpha_h$ 等于零。螺旋线的两个端口匹配得很好，因此， $S_h$ 为：

$$S_h = \begin{bmatrix} 0 & e^{-j\beta_h L} \\ e^{-j\beta_h L} & 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

线HH左边等效为一个双口网络C与匹配负载的串联，其反射系数为 $\Gamma_p$ 。 $\Gamma_p$ 和 $S_h$ 级联后的反射参数为：

$$\Gamma'_p = \Gamma_p \cdot e^{-j2\beta_h L} \quad (2)$$

当A的端口2连接到一个反射系数为 $\Gamma'_p$ 的负载上时，在A的端口1测到的反射系数为 $\Gamma_{in}$ <sup>[7]</sup>。

$$\Gamma_{in} = S_{110} + \frac{S_{120} \cdot S_{210} \cdot \Gamma'_p}{1 - \Gamma_L \cdot \Gamma'_p} \quad (3)$$

在方程(3)中的未知数分别为 $S_{110}$ ， $S_{210}$ ， $S_{120}$ 和 $\Gamma_L$ 。

本文利用多态法对 $\Gamma_L$ 进行测量。将探针沿螺旋线的轴线移动，螺旋线部分的长度在变，即反射系数 $\Gamma'_p$ 的相角在变。沿轴移动探针三次，螺旋线的长度分别为 $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ ， $\Gamma'_p$ 也变为 $\Gamma'_{p1}$ 、 $\Gamma'_{p2}$ 、 $\Gamma'_{p3}$ ，即：

$$\Gamma'_{p1} = \Gamma_p \cdot e^{-j2\beta_h L_1}, \quad \Gamma'_{p2} = \Gamma_p \cdot e^{-j2\beta_h L_2}, \quad \Gamma'_{p3} = \Gamma_p \cdot e^{-j2\beta_h L_3}$$

这样，本文可得到类似方程(3)的三个不同的方程：

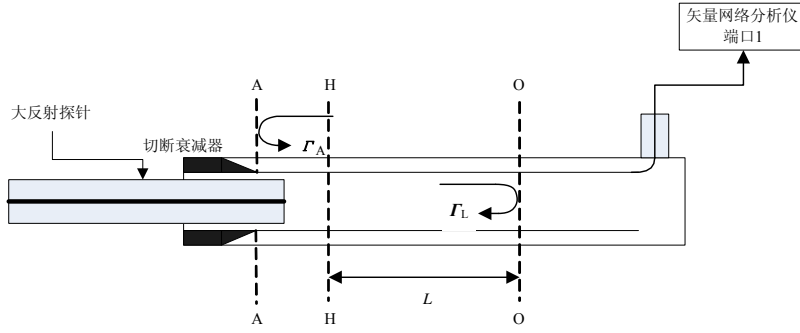
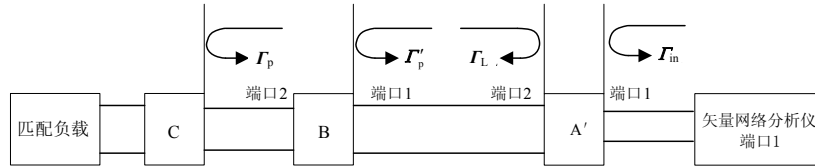
$$\Gamma_{in1} = S_{110} + \frac{S_{120} \cdot S_{210} \cdot \Gamma'_{p1}}{1 - \Gamma_L \cdot \Gamma'_{p1}} \quad \Gamma_{in2} = S_{110} + \frac{S_{120} \cdot S_{210} \cdot \Gamma'_{p2}}{1 - \Gamma_L \cdot \Gamma'_{p2}} \quad \Gamma_{in3} = S_{110} + \frac{S_{120} \cdot S_{210} \cdot \Gamma'_{p3}}{1 - \Gamma_L \cdot \Gamma'_{p3}} \quad (4)$$

对三个方程联立求解，可得 $S_{110}$ ， $S_{210}$ ， $S_{120}$ 和 $\Gamma_L$ 的值。 $L_1$ ， $L_2$ ， $L_3$ 可通过精密步进电机的程控移动获得。关于 $\Gamma_p$ 的测量将在后面讨论。 $\beta_h$ 可通过谐振法或其他方法获得<sup>[8,9]</sup>，其测量将不在本文讨论。

## 1.2 $\Gamma_A$ 的测量

行波管管内切断衰减器处的反射系数 $\Gamma_A$ 的测量与 $\Gamma_L$ 的测量类似。

移动探针到线AA的附近，如图3所示，即可测量 $\Gamma_A$ 。图3的等效网络串如图4所示。

图3 切断衰减器处反射系数 $\Gamma_A$ 的测量装置图4  $\Gamma_A$ 测量装置的等效网络串

网络A'与在 $\Gamma_L$ 的测量中的A不同,包括了部分螺旋线以保证螺旋线的长度足够短,这样, $\alpha_h$ 可近似认为等于零。移动探针三次,即可得到方程(5),联立求解这三个方程,即可得到 $S_{110}$ ,  $S_{210}$ ,  $S_{120}$ 和 $S_{220}$ 的值。然后,移去探针,再次测量,得到 $\Gamma'_{in}$ 和方程(6)。在这次测量中,切断衰减器是负载。通过方程(6)可求解出 $\Gamma_A$ 的值。其中 $\Gamma'_{p1} = \Gamma_p \cdot e^{-j2\beta_h L_1}$ ,  $\Gamma'_{p2} = \Gamma_p \cdot e^{-j2\beta_h L_2}$ ,  $\Gamma'_{p3} = \Gamma_p \cdot e^{-j2\beta_h L_3}$ 。

$$\Gamma'_{in1} = S_{110'} + \frac{S_{120'} \cdot S_{210'} \cdot \Gamma'_{p1}}{1 - S_{220'} \cdot \Gamma'_{p1}} \quad \Gamma'_{in2} = S_{110'} + \frac{S_{120'} \cdot S_{210'} \cdot \Gamma'_{p2}}{1 - S_{220'} \cdot \Gamma'_{p2}} \quad \Gamma'_{in3} = S_{110'} + \frac{S_{120'} \cdot S_{210'} \cdot \Gamma'_{p3}}{1 - S_{220'} \cdot \Gamma'_{p3}} \quad (5)$$

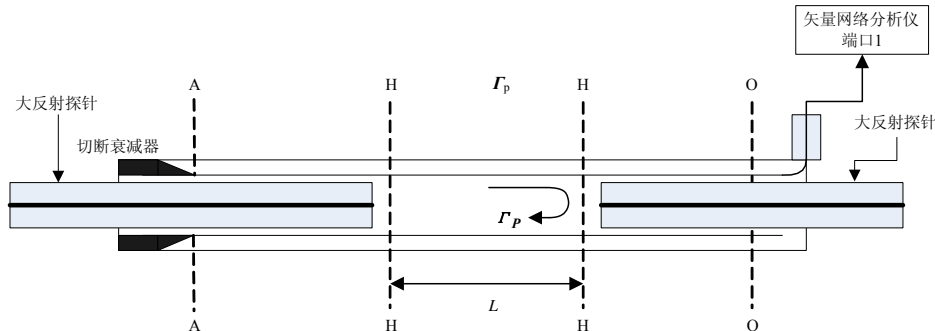
$$\Gamma'_{in} = S_{110'} + \frac{S_{120'} \cdot S_{210'} \cdot \Gamma_A}{1 - S_{220'} \cdot \Gamma_A} \quad (6)$$

## 2 探针反射系数的测量原理

测量探针的反射系数时,采用两根相同的探针进行,其测量装置如图5所示。其等效网络如图6所示。在图6中:

$$\Gamma'_p = \Gamma_p \cdot e^{-j2\beta_h L} \quad (7)$$

$L$ 是两个探针之间的螺旋线的长度。C为线HH左右两边部分的等效网络,C的散射参数为 $S_{11P}$ ,  $S_{12P}$ ,  $S_{21P}$ ,  $S_{22P}$ 且 $\Gamma_p = S_{22P}$ 。因此,有:

图5 探针的反射系数 $\Gamma_p$ 的测量装置

$$\Gamma_{in} = S_{11P} + \frac{S_{12P} \cdot S_{21P} \cdot \Gamma_p \cdot e^{-j2\beta_n L}}{1 - \Gamma_p \cdot \Gamma_p \cdot e^{-j2\beta_n L}} \quad (8)$$

若移动探针三次, 可得到类似方程(8)的三个方程, 即可求解出 $S_{11P}$ ,  $S_{12P}S_{21P}$ , 和 $\Gamma_p$ 的值。

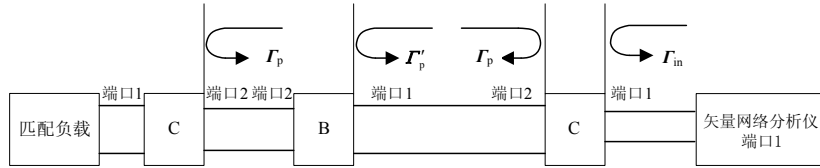


图6  $\Gamma_p$ 测量装置的等效网络串s

### 3 结 论

行波管输能机构和切断衰减器反射系数的大小严重影响着行波管的质量和成品率, 通过多态法对行波管输能机构和切断衰减器的反射系数进行测量, 可实现行波管生产工艺过程中的无损在线检测, 对于提高行波管的质量和成品率具有一定的意义。

### 参 考 文 献

- [1] Wallander S O. Reflexions and gain ripple in TWTs[J]. IEEE Trans. ED, 1972, 19: 655-660
- [2] Srivastava V, Joshi S N, Carter R G. Stability analysis of a TWT against the reflected signals using a large signal model[C]. 2000 2nd International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology Proceedings, 2000. 80-83
- [3] Goebel D M, Keller J G, Menninger W L, et al. Gain stability of traveling wave tubes[J]. IEEE Trans. ED, 1999, 46: 2 235-2 244
- [4] 刘盛纲. 微波电子学导论[M]. 北京: 国防工业出版社, 1985
- [5] Belohoubek E. VSWR measurement of attenuators for helix-type traveling-wave tubes[J]. IEEE Trans. ED, 1964, 11: 442-445
- [6] Melroy D O, Closson H T. Measurement of internal reflections in traveling-wave tubes using millimicrosecond pulse radar[P]. 1959 Wescon Convention Record, 1959: 71-76
- [7] 汤世贤. 微波测量[M]. 北京: 国防工业出版社, 1991
- [8] Horsley A W, Pearson A. Measurement of dispersion and interaction impedance characteristics of slow wave structures by resonance method[J]. IEEE Trans. ED, 1962, 13: 962-969
- [9] Rao S J, Ghosh S, Jain P K, et al. Nonresonant perturbation measurements on dispersion and interaction impedance characteristics of helical slow wave structures[J]. IEEE Trans-MTT, 1997, 45(9): 1 585-1 593

编 辑 徐安玉