

# 虚拟仪器技术实现导弹天线罩 高温介电参数测量

董士伟 张浩斌 许家栋 郭陈江 韦高

**摘要** 研究了导弹天线罩高温介电参数测量的要求，在此基础上介绍了采用虚拟仪器技术的导弹天线罩高温介电参数测量系统的硬件组成；虚拟仪器软件包括三个部分，讨论了用 Visual Basic 开发的测量应用软件，详细分析了它的各个模块。

**主题词** 导弹天线罩 虚拟  
仪器 高温介电参数

## 引言

天线罩是一种保护辐射或接收系统免受自然环境不利因素影响的罩壳，广泛应用于飞机、卫星、舰船等的天线系统，它除应满足结构强度、空气动力特征、重量、防雨蚀等方面的要求外，同时还要求对天线的电气性能影响尽可能小。天线罩的电气性能是衡量天线罩质量的关键因素之一，经常用功率传输系数、瞄准误差及瞄准误差斜率加以描述。

在雷达制导的导弹中，天线罩是制导回路的重要部件，导弹天线罩的功率传输系数影响导弹的作用距离，瞄准误差和瞄准误差斜率影响导弹的命中率和高空

稳定性。在形状、材料、壁厚、极化方式已经确定的情况下，导弹天线罩的功率传输系数、瞄准误差及瞄准误差斜率主要受相对介电常数  $\epsilon/\epsilon_0$  和损耗角正切  $\operatorname{tg}\delta$  等介电参数的影响。本文基于虚拟仪器的思想，提出了导弹天线罩高温介电参数测量方案，并开发了测量软件。

## 1 测量说明

现代导弹飞行的速度很高，常常在  $3Ma$  以上，高速飞行的导弹天线罩与大气摩擦，会产生很高的温度。资料显示：导弹天线罩飞行速度为  $3Ma$  时温度可达  $450^\circ\text{C}$ ，飞行速度为  $5Ma$  时温度可达  $1150^\circ\text{C}$ <sup>[1]</sup>。当温度发生变化时，导弹天线罩介电参数将随之变化，从而导致天线罩电气性能的改变<sup>[2]</sup>。导弹的作战性能对天线罩电气性能提出的要求极为严格，比如飞行速度为  $3Ma$  的导弹，在  $0\sim500^\circ\text{C}$  温度范围内，导弹天线罩相对介电常数变化不超过  $10\%$ ，而损耗角正切变化不超过  $0.01$ <sup>[1]</sup>。导弹天线罩高温介电

参数测量的目的就是检验其是否满足这些要求。

美、法等国很重视导弹天线罩高温介电参数的测量，都拥有完备的测量系统，而国内在这一领域尚处于起步阶段，在这种背景下，我们采用自行研制开发的测量系统第一次在高温条件下实现了天线罩电气性能的测试。

就我们所研究的导弹天线罩，测量是在  $14\sim15.2\text{GHz}$  波段上进行的，介电参数存在以下经验公式：

$$\epsilon/\epsilon_0 = \frac{2.55 \times r^2}{\epsilon_0} \quad (1)$$

$$\operatorname{tg}\delta = 0.002 \times \frac{R_a}{R_b} \quad (2)$$

其中  $\epsilon_0$  是自由空间介电常数， $r$  是常温下空测、高温下标准件和天线罩介质的功率反射曲线谷点频率的函数， $R_a$  和  $R_b$  都是常温下空测、高温下标准件和天线罩介质的平均反射功率的函数。

在不同波段，导弹天线罩介电参数都有着类似的经验公式，可见，导弹天线罩高温介电参数测量最终可以归结为功率反射曲线的测量。

本文 2001-10-09 收到，作者董士伟系西北工业大学电子工程系博士生，其余作者均系该校教师

飞航导弹 2002 年第 4 期

在实战中，导弹天线罩高温状态发生在天线罩工作时间内，对空空导弹，这段时间约为 20s 到 100s，测量也应该在这段时间内完成，这就要求测试过程尽量规范。另外为了提高测量精度，并考虑保密的需要，测量在无回波微波暗室里进行的。这些条件的限制使得传统测量手段捉襟见肘，为此我们采用虚拟仪器的思想，构建了导弹天线罩高温介电参数测量系统，用 Visual Basic 6.0 开发了测量应用软件。

虚拟仪器是 80 年代后期提出的一种全新的仪器仪表概念，是对传统仪器概念的重大突破。与传统仪器相比，虚拟仪器具有很高的灵活性，用户可以通过编制软件来定义它的功能，用计算机实现信号的采集与控制、信号的分析与处理、结果的表达与输出。图 1 示出了虚拟仪器的系统组成框图，其中软件是虚拟仪器系统的核心，正如美国 NI(National Instruments)公司提出的口号：“软件就是仪器。”

## 2 测量系统硬件配置

图 2 描述了测量系统硬件构成。计算机通过数据采集卡对天线罩温度进行测量，通过 GP-IB

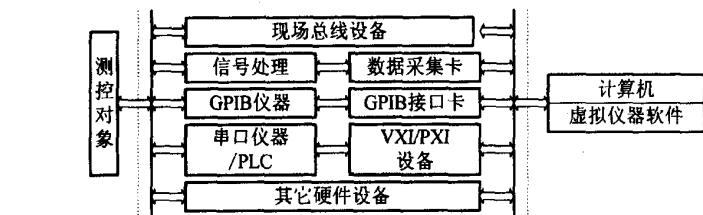


图 1 虚拟仪器系统框图

接口卡控制 GP-IB 仪器，对导弹天线罩功率反射曲线进行测量。

导波系统由波导、定向耦合器、波导同轴转换器及同轴线等组成，反射波和入射波通过导波系统连到 GP-IB 仪器的测量端口，两端口相比并选择对数显示模式，就得到功率反射曲线。

温度传感器引线连到温度测量端子板。温度传感器将温度转化为  $-5V \sim +5V$  的电压信号，由数据采集卡进行 A/D 转换，由应用软件实现 D/A 转换后与温度一电压校准数据比较确定温度值。

系统采用的 GP-IB 仪器是 IFR 公司的 6204B 微波测量仪，测量频率范围是  $10MHz \sim 46GHz$ ，可同时显示两个测量窗口，兼容 SCIP(Standard Commands for Programmable Instruments) 指令集；GP-IB 接口卡是 NI 公司的 PCI-GPIB 卡；数据采

集卡是 EVOCA 公司的 PCL-711B 多功能数采卡，提供 8 个 12 位模拟输入单端通道，最高信号采集频率为  $25kHz$ ；微波加热装置是自行研制的设备。

## 3 测量系统软件

虚拟仪器的软件结构包括应用软件、驱动软件和接口软件三部分。驱动软件用于驱动仪器、接口卡及数据采集卡；接口软件为硬件及其驱动软件提供传递信息的软件底层；应用软件用于实现用户提出的测量、控制要求<sup>[3]</sup>。驱动软件和接口软件都由仪器、接口卡及数据采集卡生产商提供。应用软件开发环境主要有两类，一类是图形化软件开发平台，如 NI 公司的 LabVIEW 及 HP 公司的 VEE；另一类是高级语言，如 Visual C++、Visual Basic 等。我们采用了第二类开发环境，用 Visual Basic

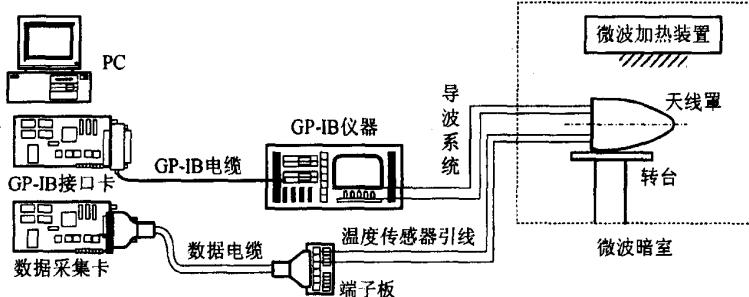


图 2 导弹天线罩高温介电参数测量系统硬件组成

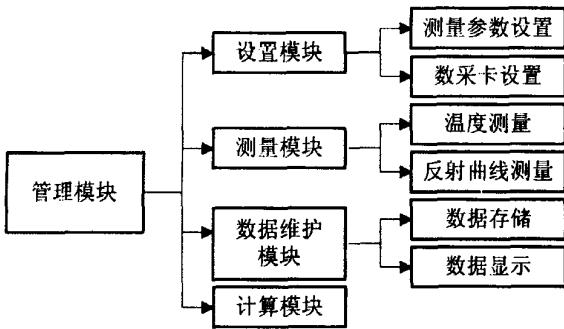


图 3 测量应用软件结构

6.0 开发了测量应用软件, 软件结构如图 3 所示。为了引入 GPIB 动态链接库(DLL), 软件中包含了用 Visual Basic 编写的 NI-488.2 语言接口。

### 3.1 设置模块

设置模块的功能是完成测量参数和数据采集卡参数的设置。测量参数主要包括测量的起始频率和待测温度点个数; 数据采集卡参数包括卡号、基址、增益和通道, 其中基址由 PCL-711B 多功能数据采集卡基址设置开关状态决定, 通道由温度传感器到端子板的连接情况决定。设置功能通过对图 4 所示的软面板操作得以实现。

### 3.2 测量模块

测量模块是应用软件的关键组成部分, 实现温度测量和功率反射曲线测量。测量流程图如图 5 所示。其中初始化指确定测量系统硬件连接正确并使仪器处于准备状态, 系统校正还包括仪器测量前的校零。常温测量的目的是为高温测量提供参考基准。常温测量结束后, 打开微波加热装置, 就可以进行高温测量了。调整微波功率, 可以获得不同的测量温度。

在测量温度之前应该首先判断温度是否已经稳定, 如果在一段时间内(如 0.5s)内连续采集到的数据变化甚微, 就说明温度

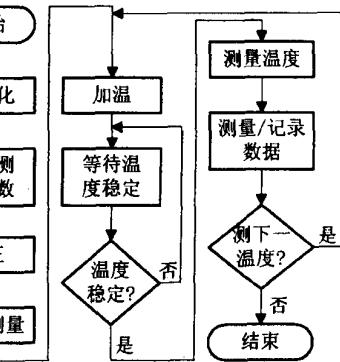


图 5 测量流程图

已经稳定了。有三种判断方案: 1) 对采集到的数字信号直接判断; 2) 先对数字信号进行 D/A 变换, 再对电压模拟信号判断; 3) 对数字信号进行 D/A 变换并换算成温度, 再进行判断。虽然后两种方案更加直观, 判断条件更为简单, 但都需要先进行数字信号处理, 会占用一定的时间, 所以我们采用第一种方案, 以利于减短测量时间。

温度稳定以后就可以进行测量了。为了消除偶然因素的影响, 减小测量误差, 应该采取多次测量取平均的方法。下面两条语句设置了平均模式并取平均点数为 16:

```
Call ilwrt(6204B%, “;SCAL:  
AVER ON”,13)
```

:

```
Call ilwrt(6204B%, “;SCAL:  
AVER :NUMB 16”,18)
```

这时屏幕上显示随时间波动的反射曲线, 先把曲线保持住, 然后就可以存贮测量结果, 进而进行计算。

### 3.3 其它模块

应用软件还包括数据维护模块和计算模块。数据维护模块可

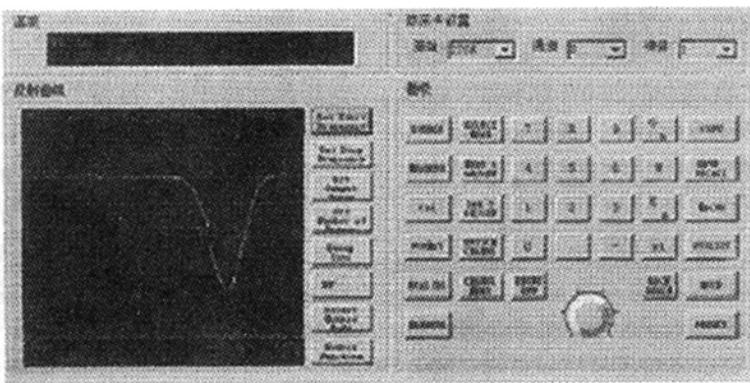


图 4 用户软面板

以实现测量数据的显示及打印等。显示部分除了显示反射曲线，还可以显示温度—介电常数和损耗、功率—温度及温度校准等曲线；打印部分包括数据文件和图形的打印。计算模块根据(1)、(2)两式由测量数据计算导弹天线罩高温下的介电参数，并完成其它计算工作。

#### 4 结束语

导弹天线罩高温介电参数测量是评价导弹总体性能的重要环

(上接第 45 页)

+20% 的差别，作为  $E_s$  成为 -4.8%，而且在图 1 所示的临界压力也可能有读出误差，10% 的读出误差在图中可显示出  $E_s$  减少 16%。用药条测量的燃速与无喷管火箭发动机内燃速不同时对  $E_s$  的影响更大，高 10% 的燃速评价误差等于  $E_s$  减少 31%。另外压 力指数也产生很大影响。

#### 3 结束语

1) 一般说引用基于理论响

节，用本文建立的测量系统对高温下的天线罩介电参数进行了测量，操作简易可靠，测量数据准确，结果令人满意。因为采用了虚拟仪器技术，保证了测量的安全性，测量过程十分规范，每条曲线测量时间只需要 2~3s，完全满足导弹天线罩高温介电参数测量对时间的严格要求。

#### 参考文献

- 1 G. A. E. Crone, A. W. Rudeg, G. N. Taylor. Design and performance

of airborne radomes; a review, IEE PROC., Vol. 128, Pt. F, No. 7, December 1981, pp451~464.

2 Weckesser, L. B., Radome aerodynamic heating effects on boresight error, Proceedings of 15th symposium on electromagnetic windows. Georgia Institute of Technology, 1980, pp97~101

3 周泓, 汪乐宇, 陈祥献. 虚拟仪器系统软件结构的设计. 计算机自动测量与控制. 2000. 3(1). pp21~24

应函数的  $L^*$  振荡理论时，无喷管火箭发动机在压力下降时产生低频不稳定燃烧可用燃烧稳定图来预测。

2) 给定典型推进剂燃烧特征量时，频率 40Hz~160Hz 的全状态振荡，用  $L^*$  80cm~30cm 无喷管火箭发动机可望实现。

3) 用无喷管火箭发动机对已知燃速压力特性和温度灵敏度的推进剂进行燃烧试验，可以利用测量振荡开始条件和振荡频

率，从燃烧稳定图推定响应函数。而且可在理论上求出燃烧表面温度和表面反应活化能等。

4) 利用本研究提出的实验方法，用定常状态的燃速和压力指数虽可评价无喷管火箭发动机内的燃速特性，但其评价误差对表面活化能等的推定有很大影响。

王永寿

## 战斧导弹签订合同

美国科学应用国际公司将接受 671 万美元对现有 N00019-01-C-0044 合同进行修改，该费 用用于战斧导弹全弹计划、战术战斧导弹计划和部分战斧武器系统的系统工程、生产、生产后和计划支持服务。该项工作将在马里兰州的 Patuxent River(71%)、

弗吉尼亚州的 Crystal City(21%)、加州的圣地亚哥(7%) 和缅因州的 Androscoggin(1%) 完成，预期于 2002 年 12 月完成。

用另一项对现有 N00019-99-C-0049 合同追加的 759 万美元的费用，洛马管理与数据系统公司将开始战术战斧武器系统的

两阶段试验计划。该项工作将分别在宾夕法尼亚州的 Valley Forge(77%)、弗吉尼亚州的 Dahlgren(12%)、新泽西州的 Cherny(7%) 和加州圣地亚哥(4%) 完成，预期 2004 年 5 月全部结束。

张纯学

## 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>