

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2015.01.09

微波暗室反射率电平自动校准 方法及测量不确定度

张恒萍, 朱传焕, 唐君

(中国船舶重工集团公司第七一研究所, 湖北 武汉 430064)

摘要: 通过开展 1~40 GHz 微波暗室性能自动校准技术研究, 研制了低反射 8 维度空间测试支架, 降低了测试装置微波干扰; 开发了基于 Labview 8.6 环境的测试系统控制软件, 实现信号调整和收发天线的相对运动; 本文就微波暗室自动校准系统静区反射率电平测量不确定度进行了分析和评定。

关键词: 微波暗室; 自动校准; 反射率电平; 不确定度

中图分类号: TB97; TM937

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2015)01-0038-04

Auto Calibration and Measurement Uncertainty of Quiet Zone Reflectivity Level of Microwave Anechoic Chambers

ZHANG Hengping, ZHU Chuanhuan, TANG Jun

(No. 701 Research Institute of China Shipbuilding Industry Corporation, Wuhan 430064, China)

Abstract: A 1~40 GHz auto-calibration technique was developed for microwave anechoic chambers, and an octuple space motion frame with low reflection was developed to reduce disturbing microwave signals. The control software of the test system is based on Labview 8.6 and it can realize signal modulation and antennas relative movement. Analysis and evaluation was made on the measurement uncertainty of the quiet zone reflectivity level in the microwave anechoic chamber.

Key words: microwave anechoic chamber; auto calibration; reflectivity level; uncertainty

0 引言

微波暗室是进行系统电磁兼容性性能测试、评估、验证的最基本设施, 其性能直接决定了微波暗室测试的频率范围、所能完成的项目和精度。随着国家高新工程和专项工程的开展, 国内建造了越来越多的高性能微波暗室, 所以对微波暗室开展性能校准已成为一项重要的工作。目前, 国内只有屏蔽效能一项性能指标的测试方法, 不能评价微波暗室的静区反射电平、静区内场均匀性、交叉极化特性、多路径损耗等指标, 而且人工测试对暗室内场环境干扰, 不能准确评价微波暗室性能。

近几年, 我们开展了对 1~40 GHz 频段的微波暗室性能自动校准系统研究, 由于参数较多, 本文仅重

点阐述微波暗室静区反射率电平自动校准方法及实现, 并分析了反射率电平测量不确定度。

1 反射率电平测试方法

在微波暗室的静区反射率电平的测量方法中, 目前国内外主要有空间驻波比法^[1-2]、探针探测法^[3]、天线波瓣图比较(APC)法^[3]、时域反射测量法^[4]等。空间驻波比法是一种分析测量空间电磁场驻波特性常用的方法, 理论成熟, 较易实现, 而其他几种方法均有实际操作上的限制, 效果不太稳定, 还处于试验阶段。

本文采用驻波比法校准反射率电平。根据空间电磁波传播理论, 在微波暗室内, 激励的直射波信号遇到吸波材料, 大部分信号被吸收, 部分反射波(含散射)信号与直射波信号在空间进行矢量合成形成驻波, 通过测量驻波的波峰和波谷、分析计算可以确定直射波和反射波的幅度比值, 从而得到静区反射率电平。

根据驻波曲线计算的反射率电平为

收稿日期: 2014-06-06; 修回日期: 2014-07-03

基金项目: 国家“十一五”技术基础科研项目(J082008B001)

作者简介: 张恒萍(1981-), 女, 工程师, 工学硕士, 长期从事电磁兼容计量工作。

$$\Gamma = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{\max} + E_{\min}} \tag{1}$$

式中： Γ 为静区反射电平，dB； $E_{\max}$ 为驻波的波峰，V/m； $E_{\min}$ 为驻波的波谷，V/m。

由于实际的天线具有方向性，为此必须对式(1)进行修正，天线位于 φ 角接收到的入射场比 $\varphi = 0^\circ$ 时的入射场低 A (dB)，所以在 φ 方向，驻波曲线极大值与极小值 dB 数之差为

$$\Delta_{ab} = \Delta_{\max - \min} = 20\lg\left[\frac{10^{\frac{A}{20}} + 10^{\frac{\Gamma}{20}}}{10^{\frac{A}{20}} - 10^{\frac{\Gamma}{20}}}\right] \tag{2}$$

若直射信号 E_d 大于反射信号 E_r ， A 就是接收天线的方向图电平 A_{dB} ，所以 $E_d > E_r$ 的情况下，由公式(1)和(2)推导出公式(3)，求出不同方向上的反射率电平。

在 φ 方向上的反射率电平为

$$\Gamma_\varphi = A_{dB} + 20\lg\left[\frac{10^{\frac{\Delta_{ab}}{20}} - 1}{10^{\frac{\Delta_{ab}}{20}} + 1}\right] \tag{3}$$

如果 $E_d < E_r$ ，则需按公式(4)计算反射率电平。

$$\Gamma_\varphi = A_{dB} + 20\lg\left[\frac{1 + 10^{\frac{\Delta_{ab}}{20}}}{1 - 10^{\frac{\Delta_{ab}}{20}}}\right] \tag{4}$$

2 自动校准系统的研制

2.1 系统构成

根据反射率电平校准原理，建立微波暗室自动校准系统，系统原理图如图 1 所示。该系统由 40 GHz 信号源、功放、标准喇叭天线、支架控制器、低反射支架、40 GHz 频谱仪及计算机远程控制软件组成。通过计算机软件控制实现发射信号大小的调整，收发天线正对位置 $\varphi = 0^\circ$ ，控制频谱仪读取接收信号完成一次测试，并且控制接收天线在水平面内转动相应角度 φ 再次读取一组数据，重复以上步骤采集所有待测角度场强数据并分析处理。研制的暗室内低反射测试支架照片如图 2 所示。

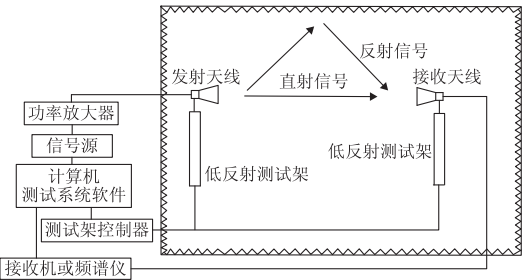


图 1 微波暗室自动校准系统原理图

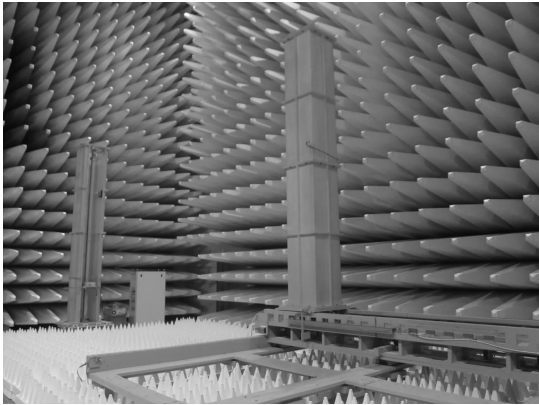


图 2 测试支架实物照片

2.2 自动控制的实现

本系统自动测控开发环境为 Labview 8.6，并使用 Motion 工具包完成电机运动控制，SCOPE 工具包完成对 PCI-5124 数字化仪进行操作，Serial 工具包实现 RS232，RS485 和局域网通信。软件通过对支架和收发天线的位置控制，进行收发信号的读取和数据处理，直观显示出反射率电平的数值。控制软件主界面如图 3 所示。



图 3 控制软件主界面

2.3 研制中问题及解决

由于性能较好的微波暗室的反射率电平一般都低于 $-40 \sim -60$ dB，产生的空间驻波的幅值约为 $0.1 \sim 0.01$ dB，因此采用方向性比较强的标准喇叭天线作为接收天线。测量直射信号时，将接收天线的主瓣对准发射天线，由副瓣接收的反射信号对直射信号的影响可忽略不计；测量反射信号时，将接收天线的主瓣对准反射信号，将副瓣对准直射信号，这样可以降低直射信号接收的幅度，增加反射信号接收的幅度，综合

效果可改善 20 ~ 30 dB 的分辨力, 测量的驻波曲线将比较明显, 便于计算。

由于校准频率范围覆盖 1 ~ 40 GHz, 传输电缆的衰减对接收信号准确度的影响较大, 本课题中选用低损耗电缆并尽量减小电缆长度, 同时对电缆衰减进行校准, 并对测试结果进行修正, 减小误差影响。

由于测量过程中应尽量减少对微波暗室内电磁场的扰动, 所以采用低反射高强度的 MC 尼龙材料作为支架材料, 对控制天线动作的电机适当使用吸波材料, 对支架底部铺设吸波材料, 通过 ANSYS 软件分析保证支架能够高稳定移动。

3 反射率电平不确定度分析

3.1 数学模型与不确定度来源

反射率电平的数学模型为公式(3)和公式(4)。在使用自动校准系统校准微波暗室性能的过程中, 影响测量准确度的因素很多, 其不确定度的主要来源有: ①收、发天线的副瓣特性引入的不确定度; ②测试支架、测试电缆和天线对场的扰动、散射引入的不确定度; ③频谱分析仪幅值线性引入的不确定度; ④转台控制器定位精度引入的不确定度; ⑤收发天线的位置和极化失配引入的不确定度; ⑥静区场均匀性引入的不确定度; ⑦电缆损耗平坦度引入的不确定度; ⑧信号源、功率放大器稳定度及系统噪声引入的不确定度。

3.2 不确定度分析

3.2.1 B 类标准不确定度

1) 收、发天线的副瓣特性引入的不确定度

副瓣主要接收反射和散射信号, 对驻波极大值和极小值的测量产生影响, 驻波幅值范围为 0.01 ~ 0.1 dB, 考虑最差的情况, 天线副瓣对 Δ_{ab} 的影响小于 ± 0.1 dB, 假设服从均匀分布, 则由收发天线的副瓣特性引入的标准不确定度为

$$u_{B1} = \frac{0.1 \text{ dB}}{\sqrt{3}} = 0.0577 \text{ dB}$$

2) 测试支架、测试电缆和天线对场的扰动、散射引入的不确定度

试验时将测试支架、测试电缆和天线布置尽量合理, 尽可能减少对静区场分布的影响, 但是影响是真实存在的, 根据经验得出该影响应小于 ± 0.5 dB, 服从正弦分布, 则由测试支架、测试电缆和天线对场的扰动和散射引入的标准不确定度为

$$u_{B2} = \frac{0.5 \text{ dB}}{\sqrt{3}} = 0.289 \text{ dB}$$

3) 频谱分析仪幅值线性引入的不确定度

由于反射率电平的测量值是某一频率下、接收天线在相同角度不同位置测得的相对数据, 所以频谱分析仪的对数刻度性能对测量结果产生影响, 频谱分析仪测量值的变化范围不超过 5 dB, 因此其最大允许误差为 ± 0.1 dB, 假设驻波的波峰与波谷测量值服从均匀分布, 则由频谱分析仪幅值线性引入的标准不确定度为

$$u_{B3} = \frac{0.1 \text{ dB}}{\sqrt{3}} = 0.0577 \text{ dB}$$

4) 转台控制器定位精度引入的不确定度

在测量反射率电平的过程中, 接收标准喇叭天线高度和角度控制的准确度对测量结果产生影响, 测试支架在垂直方向的位置由激光测距传感器确定, 系统配置的 INSIGHT-200 激光测距仪误差为 ± 1 mm, 则最大定位误差为 $1 \text{ mm}/6 \text{ m} = 0.016\% = 0.001 \text{ dB}$, 影响可忽略不计。

5) 收发天线的位置和极化失配引入的不确定度

测量时将收发支架安装在同一水平面上, 程序控制收发天线的水平移动, 所以收发天线的位置和极化失配引起的测量误差可以控制在 ± 0.2 dB, 假设服从反正弦分布, 则由收发天线的极化失配引入的不确定度为

$$u_{B5} = \frac{0.2 \text{ dB}}{\sqrt{2}} = 0.141 \text{ dB}$$

6) 静区场均匀性引入的不确定度

在一个驻波周期内, 静区内场的变化优于 ± 0.5 dB, 假设服从均匀分布, 则静区场均匀性引入的测量不确定度为

$$u_{B6} = \frac{0.5 \text{ dB}}{\sqrt{3}} = 0.289 \text{ dB}$$

7) 电缆损耗平坦度引入的不确定度

电缆损耗的平坦度为 ± 0.1 dB, 假设服从均匀分布, 所以引入的不确定度为

$$u_{B7} = \frac{0.1 \text{ dB}}{\sqrt{3}} = 0.0577 \text{ dB}$$

8) 信号源、功率放大器稳定度及系统噪声引入的不确定度

天线支架安装喇叭天线移动过程, 信号源、功率放大器发送信号产生极小漂移, 系统噪声对测量结果有较小影响, 所以假设此影响量为 ± 0.2 dB, 服从均匀分布, 所以引入的不确定度为

$$u_{B8} = \frac{0.2 \text{ dB}}{\sqrt{3}} = 0.115 \text{ dB}$$

(章苗红 报道)