第 35 卷第 4 期
2005 年 7 月

东南大学学报(自然科学版)
JOURNAL OF SOUTHEAST UNIVERSITY (Natural Science Edition)

Vol. 35 No. 4
July 2005

天线口径大小对混波室测试的影响

周 香 蒋全兴 王文进

(东南大学机械工程系,南京 210096)

摘要:为分析非零口径天线的局部平均作用对混波室测试的影响,以统计理论为基础,引入方差函数,从混波室空间相关函数出发,计算出方差函数随间隔长度变化的规律. 在实际混波室内 x 方向移动三坐标场探头,测量不同位置上的电场值,以此来模拟不同口径长度的合成缝隙天线,分析不同口径长度对方差函数和各向异性系数的影响. 理论和实验分析结果表明,随着天线口径长度增加,方向函数和各向异性系数减小,局部平均作用增强.

关键词:混波室;局部平均;方差函数;各向异性系数

中图分类号:TN06 **文献标识码**:A **文章编号**:1001 - 0505(2005)04-0538-03

Effect of antenna aperture on measurements in reverberation chamber

Zhou Xiang Jiang Quanxing Wang Wenjin

(Department of Mechanical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: The variance function based on statistical theory is introduced to analyze the effect of the antenna aperture on measurement in reverberation chamber. From the spacial correlation function in reverberation chamber, the rule of variance function with the change of interval length is obtained. The synthetic split antenna is simulated by moving the 3-axes E-field probe along the x-direction. The effect of the size of antenna aperture on variance function and anisotropy coefficient is analyzed by using that synthetic split antenna. The theoretical and experimental results indicate that variance function and anisotropy coefficient reduce with the length of antenna aperture.

Key words: reverberation chamber; local averaging; variance function; anisotropy coefficient

混波室的作用是提供统计均匀各向同性的电磁兼容测试环境[1]. 混波室校准和测试中一个重要的方面就是观察实际混波室与理想混波室的接近程度. 一般用标准大小的开口波导或者偶极子天线、喇叭天线、对数周期天线等天线作为场或功率传感器进行混波室性能测试和设备电磁兼容测试. 已发布实施的国内外电磁兼容标准中并没有说明发射或接收天线的大小问题,这似乎使得天线的大小在混波室测试中不重要. 实际上,非零口径的天线会引起随机场的局部平均效应,影响混波室中点态场性质的估计,特别是最大场强的估计. 从直观上来讲,旋转搅拌器改变了混波室场的边界条件,矢量场的波节和波腹位置发生改变. 对理想的混波室,可用理想的点探测器测量出场的最大值,该值只受混波室的品质因素限制. 而用实际的天线进行测量时,得到的场值只是实际的矢量场在天线"口径"上的空间积分,得到矢量场幅度和相位在口径上的一个局部平均值. 这种局部平均作用使搅拌器扫描数据光滑化. 抑制了空间中场强和功率密度的局部极值的大小及其出现概率. 当天线的口径尺寸大到与小室的尺寸相当时,其测量值是在很大面积或体积上的平均,这时改变搅拌器位置几乎对测量值没有影响. 显然,不同口径的天线得到不同的测试结果,掩盖了混波室的真实信息. 但对于理想的混波室,可用测量的局部平均值及其统计特性来估计场强的点值. 由于测试用天线口径的大小会影响混波室最大场强的估计值,因此,进行敏感度测量时,测试中用的天线口径大小与校准中的不一样时会低估或高估受试设备的性能. 因此在测试中必须考虑天线口径对测试的影响.

1 方差函数及各向异性系数

非零口径的天线或场探头等探测器会在线、面

收稿日期:2004-11-23.
基金项目:国家自然科学基金资助项目(50277007).
作者简介:周 香(1975—),女,博士生;蒋全兴(联系人),男,教授,博士生导师,qxjiang@seu.edu.cn.

或体上对测试场局部平均,本文仅分析在线上的(即一维的)局部平均作用.

1.1　方差函数

设混波室中场的随机过程为 $X(t)$,其自相关函数为 $\rho(t)$. 与理想点态测量相比,口径长度为 T 的天线对混波室测试数据的局部平均实际上就是以间隔长度 T 对点态测量值进行分段平均,即对 $X(t)$ 分段局部平均. 定义随机过程 $X(t)$ 与局部平均过程 $X_T(t)$ 的对应关系为

$$X_T(t) = \frac{1}{T}\int_{t-T/2}^{t+T/2} X(\tau)\,d\tau \tag{1}$$

分析式(1)可知,局部平均作用不影响随机过程的数学期望 $\mu(t)$,但降低了其标准差. 设 $X(t)$ 的标准差为 σ_X,$X_T(t)$ 的标准差为 σ_{XT}. 引入方差函数 $\gamma(T)$ 来量化方差的降低程度[2],即

$$\gamma(T) = \frac{\sigma_{XT}^2}{\sigma_X^2} = \frac{2}{T}\int_0^T\left(1-\frac{\tau}{T}\right)\rho(\tau)\,d\tau \tag{2}$$

$\rho(t)\to 1$ 时,$\gamma(T)\to 1$;对于各态历经过程,$T\to\infty$ 时,$\gamma(T)\to 0$. 总电场或磁场的相关函数为[3]

$$\rho(t) = sinc\,kt \tag{3}$$

式中,$sinc\,u = sin\,u/u$,$k = 2\pi/\lambda$ 为波数. 将式(3)代入式(2)得

$$\gamma(kT) = \frac{2S_i(kT)}{kT} + \frac{2(cos\,kT-1)}{(kT)^2} \tag{4}$$

式中,$S_i(x) = \int_0^x (sin\,u/u)\,du$. 当 $kT \ll 1$ 时,$\gamma(kT) = 1-(kT)^2/36+\cdots$;当 $kT \gg 1$ 时,$\gamma(kT)\approx 2S_i(kT)/(kT) = \pi/(kT)+\cdots$,同样得到 $T\to\infty$ 时,$\gamma(T)\to 0$. $\gamma(kT)$ 与 kT 的关系见图 1. 可以看出,随 kT 的增加,局部平均作用增强,$\gamma(kT)$ 减小,并趋于 0,即 σ_{XT} 趋于 0,这时改变搅拌器位置几乎对测量值没有影响.

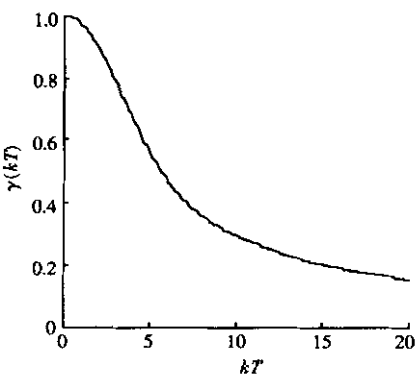

图 1　局部平均的方差函数

1.2　各向异性系数

一般可用统计拟合度测试方法定性地分析混波室性质,但拟合度测试只能定性地说明所测试的混波室是"好"还是"坏",场分量的统计量不能直接给出场极化均匀性(场各向同性)和空间均匀性(场均匀性). 场分量和总场的各向异性系数不需要计算各分量的电场或功率密度的统计分布,直接描述场的各向异性和均匀性. 是搅拌性能测试的一种定量的方法,而且是一种相对快速的估计搅拌器和混波室性能的方法. 电场分量和总场的各向异性系数 $\langle A_{\alpha\beta}\rangle$、$\langle A_{tot}\rangle$ 定义如下[4]:

$$\langle A_{\alpha\beta}\rangle = \left\langle \frac{|E_\alpha|^2/P_i - |E_\beta|^2/P_i}{|E_\alpha|^2/P_i + |E_\beta|^2/P_i} \right\rangle = \left\langle \frac{P_\alpha/P_i - P_\beta/P_i}{P_\alpha/P_i + P_\beta/P_i} \right\rangle \tag{5}$$

$$\langle A_{tot}\rangle = \left\langle \sqrt{\frac{A_{xy}^2 + A_{yz}^2 + A_{zx}^2}{3}} \right\rangle \tag{6}$$

式中,$|E_\alpha|$,$|E_\beta|$ 和 P_α,P_β 分别为给定搅拌器状态 τ 的电场和功率密度直角分量测试值;α 或 β 分别为分量的方向(x,y,z);P_i 为状态 τ 下混波室的净入射功率;$\langle\cdot\rangle$ 表示在搅拌器状态 τ 上的平均.

对于理想的混波室,当独立的搅拌器状态 τ 足够多时,$\langle A_{\alpha\beta}\rangle$ 和 $\langle A_{tot}\rangle$ 趋于 0. 由于非零口径的天线或探头的局部平均作用,分析场各向异性系数时要求用电小的天线或场探头进行测试.

2　测试结果

测试工作在自行设计的混波室(见图 2)中进行. 混波室的内部尺寸为 $x\times y\times z = 1.5\,m\times 1.38\,m\times 2.32\,m$,内部配有 2 个搅拌器. 顶部的搅拌器由 4 块折弯的铝板构成,侧面的搅拌器由 6 块相互倾斜的铝板构成. 步进电机带动搅拌器旋转,形成机械搅拌系统. 发射天线是专门设计的频率范围为 0.4 ~ 2 *GHz* 的小对数周期天线. 在 700 *MHz* 下,用三坐标场探头测量电场. 在 $z = 0.8\,m$,$y = 0.5\,m$ 的水平线上移动探头,每隔 3 *cm* 测量一次,共测量 16 个位置. 以此来模拟口径长度 T 在 3 ~ 48 *cm* 范围内变化的合成缝隙天线,对应的 kT 变化范围是 0.44 ~ 7.33. 在每个场探头位置上搅拌器每旋转 1.2° 测量一次,在 300 个测量位置中有 150 个是相互独立的. 分别分析 150 个独立位置的电场的 3 个方向(x,y 和 z)分量及总电场.

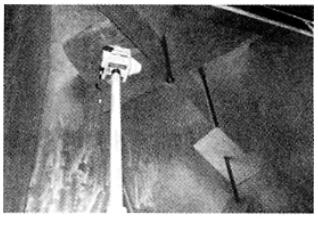

图 2　混波室(内部结构)

图3表示统计标准差系数 $\nu_\alpha(T)=\sigma_\alpha(T)/\mu_\alpha(T)$ ($\alpha=x,y,z,t$,其中,t表示总场参数)随T变化的曲线.图4为方差函数 $\gamma_\alpha(T)$ 随T的变化曲线.从图中可以看出,随T的增加,$\nu_\alpha(T)$ 和 $\gamma_\alpha(T)$ 减小,即方差减小,测量值向均值集中,出现极大值或极小值的概率减小.这是由于随口径长度增加,天线在更大范围内局部平均.因此天线的局部平均作用会低估混波室的最大场强.而用混波室进行敏感度测试时,关心的正是最大场强,从而会低估受试设备的性能.因此用非零口径的天线进

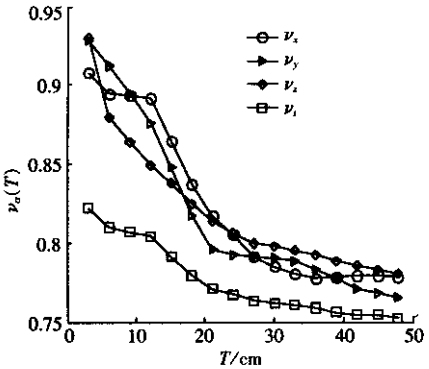

图3 局部平均的标准差系数测量值

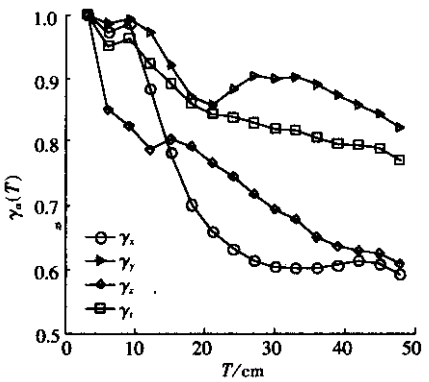

图4 局部平均的方差函数测量值

行混波室校准和测试时,要正确估计由此引起的平均效应.由式(4)得 $kT\to\infty$ 时,$\gamma(kT)\to 0$,由于受测试设备及混波室空间大小的限制,本文的测试频率f和口径长度T受一定限制,不能分析kT很大时的 $\gamma(kT)$ 情况.

图5反映了非零口径天线的局部平均作用对各向异性系数的影响.随T的增加,二维场和总场的各向异性系数的均值趋于0,即完全各向同性,这也是理想混波室的条件之一.这表明随T的增加,测得的混波室性质(各向同性)也变好.即同样的混波室,不同的T,得到不同结果.因此测试分析混波室的性质时,要考虑接收天线口径对测试结果的影响.可通过测试值对理想的点值进行重新定标来考虑天线或探头的局部平均对的 $\langle A_{\alpha\beta}\rangle$ 和 $\langle A_{tot}\rangle$ 的影响,即文献[5]中的反局部平均.

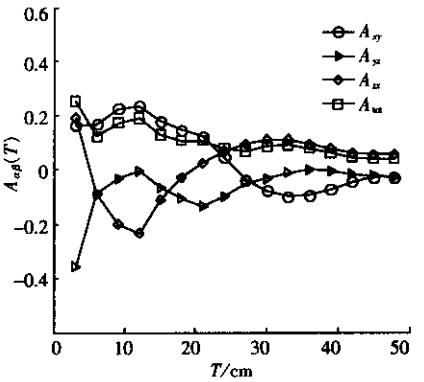

图5 局部平均的各向异性系数测量值

3 结 语

从方差函数和各向异性系数2个方面分析了非零口径天线的局部平均效应对混波室性能测试和受试设备测试的影响.从方差函数来考虑,随天线口径的增加,局部平均作用增强,$\gamma_\alpha(T)$ 减小,测量值向均值集中,预估的混波室最大场值变小,从而会低估进行敏感度测试的受试设备的性能.从各向异性系数上考虑,随局部平均作用的增强,各向异性系数均趋于0,混波室的性质"变好",可能会误判混波室性能.因此,在测试中要考虑局部平均效应对测试的影响,正确估计局部平均效应,可通过反局部平均弥补局部平均对测试的影响[5].由于混波室的局部平均效应,用混波室进行电缆的屏蔽效能测量时,得到的是电缆的平均屏蔽效能.

参考文献(References)

[1] Bäckström M, Lundén O, Kildal P-S. Reverberation chambers for EMC susceptibility and emission analyses [A]. In: *Review of Radio Science* 1999 — 2002 [C]. New York: IEEE Press, 2002. 429-452.

[2] Arnaut L R. Effect of local stir and spatial averaging on measurement and testing in mode-tuned and mode-stirred reverberation chambers [J]. *IEEE Trans on Electromagnetic Compatibility*, 2001, **43**(3): 305-325.

[3] Hill D A, Ladbury J M. Spatial-correlation functions of fields and energy density in a reverberation chamber [J]. *IEEE Trans on Electromagnetic Compatibility*, 2002, **44**(1): 95-101.

[4] International Electrotechnical Commission. IEC61000-4-21 Reverberation chamber test methods [S]. Chicago: International Electrotechnical Commission, 2002.

[5] Arnaut L R, West P D. Ensemble decimation factors for reverberation chambers stirrer data [R]. Middlesex: National physical Laboratory, 1999. 49-51.

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)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)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力和专注于微波、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)，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