

文章编号: 1001-893X(2010)08-0151-05

镜像对称结构对多馈源混响室场性能的影响^{*}

刘小强, 魏光辉, 范丽思, 崔耀中

(军械工程学院 静电与电磁防护研究所, 石家庄 050003)

摘 要:为解决混响室大体积与场性能高要求之间的矛盾,提出了一种基于镜像原理的多馈源混响室的设计思想,从原理上分析了镜像多馈源混响室的可行性和有效性,并通过仿真计算研究了镜像双馈源混响室的场性能。结果表明,在输入功率一定时,两个单混响室系统组合成镜像双馈源混响室后,在工作区域的场均匀性性能不下降的基础上,不但可用于电磁兼容测试的工作区域体积大幅度增大,而且测试区域的电场强度也得到了提高。同时,对镜像多馈源混响室进行了进一步的扩展分析,得出了组成镜像多馈源混响室的单混响室系统数量的理论表达式。

关键词:电磁兼容测试;混响室;镜像原理;多馈源;场强;场均匀性

中图分类号:TN011;O441 **文献标识码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1001-893x.2010.08.032

Effects of Mirror Structure on Field Performance of Multi-feed Reverberation Chamber

LIU Xiao-qiang, WEI Guang-hui, FAN Li-si, CUI Yao-zhong

(Electrostatic and Electromagnetic Protection Institute,
Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

Abstract: In order to solve the conflict between large volume and high field performance of reverberation chamber, a design thought of multi-feed reverberation chamber based on mirror theory is put forward. Feasibility and validity of multi-feed reverberation chamber is analysed in theory, and the field performance of dual-feed is simulated. The results show that under a certain power input, not only the testing volume for electromagnetic compatibility (EMC) test of the dual-feed reverberation chamber increases remarkably after two single reverberation chamber systems are combined, but the field strength of the working volume is also improved, with no declining of the field uniformity. At the same time, further expansion analysis is made for mirror multi-feed reverberation chamber, and the theoretical expression of the number of single reverberation chamber that can be used to combine multi-feed reverberation chamber is obtained.

Key words: EMC test; reverberation chamber; mirror theory; multi-feed; field strength; field uniformity

1 引言

自 1968 年 Dr. Mendes 提出将混响室作为电磁兼容测试场地后,人们对混响室的理论、技术及应用研究不断增多^[1-2]。2003 年,混响室测试标准 IEC

-61000-4-21 的颁布标志着混响室从研究开始走向应用^[3]。

目前,系统级电磁环境效应试验研究急需大型的测试空间,这就需要扩展混响室体积,但随着混响室体积的增大,测试区域的场强也随之下降^[4]。为满足测试空间高场强、良好场均匀性的要求,就需要

^{*} 收稿日期:2010-04-07;修回日期:2010-05-19

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60671045)

Foundation Item: The National Natural Science Foundation of China(No.60671045)

给发射天线馈入高功率,但一方面大型功率放大器的成本很高,另一方面国内功率放大器的放大倍数有限,因此很难通过在一部天线上馈入高功率来解决混响室大体积与场性能高要求之间的矛盾。为此,本文基于镜像原理提出一种由多个单混响室系统组合镜像多馈源混响室的设计思想,即通过多个小型功率放大器合成的方法来解决大型混响室大功率问题。

2 镜像多馈源混响室原理分析

镜像多馈源混响室是由多个结构完全对称的单混响室系统组合而成。所谓镜像即指组成多馈源混响室的单混响室系统在结构上完全对称,多馈源混响室关于公共面两侧结构上完全镜像对称。在此以两个结构上完全对称的单混响室系统组合成一个镜像双馈源混响室为例,对镜像多馈源混响室的原理进行分析,如图 1 所示。

当两个结构完全对称的单混响室系统结合后,两混响室之间有一公共面,如图 1(b)所示,整个系统可用的测试区域为测试区域 1 和测试区域 2 之和,此时仅仅是两个单混响室在数量上的叠加。将两单混响室系统之间的公共面去除,得到了一个镜像双馈源混响室,如图 1(c)所示,去除公共面后,多出了一块可用于电磁兼容测试的区域 3,此时可用的测试区域就为测试区域 1、测试区域 2 和测试区域 3 之和。因此,当两个单混响室系统根据镜像原理组合成镜像双馈源混响室后,可用于电磁兼容测试的工作区域体积得到了大幅度提高。

另一方面,对于以上两个单混响室系统,其内部电磁能量的损耗主要在于混响室的 6 个壁面和搅拌器。当单混响室系统依据镜像原理组合后,两个单混响室的公共面就被除去,这样就减少了两个公共面的损耗,因而在相同的输入功率下,由于损耗减小,混响室内产生的场强也随之得到提高。

对于一个大型混响室系统,除测试区域的体积和电场强度外,另一个关键指标就是电场的均匀性。当两个单混响室系统组合成镜像双馈源混响室后,混响室的体积也随之增大 1 倍。混响室体积越大,其内部容纳的电磁模数也越多,其内部电磁场分布也就越均匀。另外,由于组成镜像双馈源混响室的两个单混响室系统结构上完全对称,因此混响室系统内的电磁波经墙体或搅拌器反射的情况应该完全对称,最后镜像混响室内稳定的电磁场分布也应该完全对称。由以上分析可知,当两个结构完全对称的单混响室系统组合成镜像双馈源混响室后,其内部场的均匀性较单馈源混响室系统应当不会下降。

3 镜像多馈源混响室场性能研究

为考察镜像多馈源混响室场性能,以镜像双馈源混响室为例,利用矩量法建立了其电磁仿真模型,从场均匀性和电场强度大小两个方面详细研究了镜像双馈源混响室的场性能。

单混响室尺寸为 $10.5\text{ m} \times 8\text{ m} \times 4.3\text{ m}$,设置双搅拌器,主搅拌器横向放置,副搅拌器垂直放置,采用单馈源激励,工作区域体积为 32.2 m^3 ,结构同图 1(a)。两单混响室镜像组合后,镜像双馈源混响室的尺寸为 $10.5\text{ m} \times 16\text{ m} \times 4.3\text{ m}$,混响室结构完全镜像对称,工作区域体积大幅度增加,达到 92 m^3 ,结构同图 1(c)。

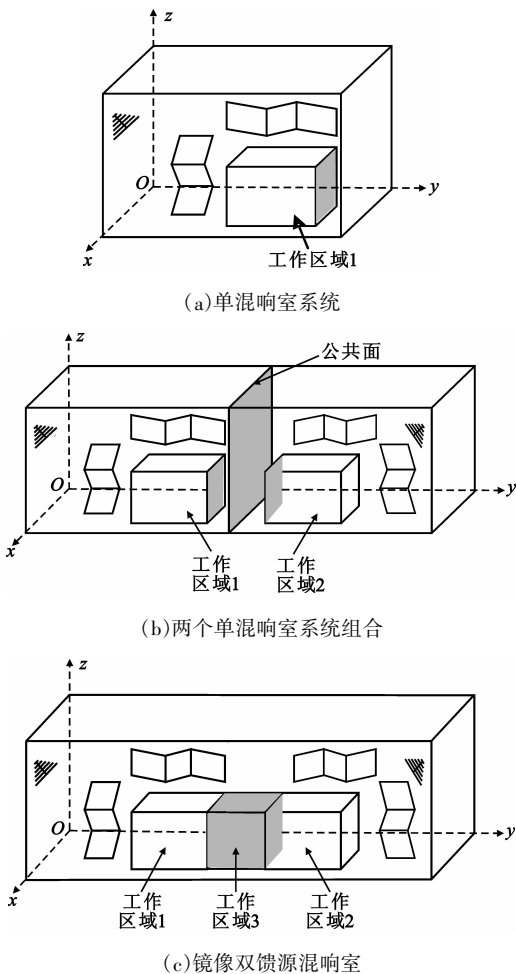


图 1 两个单混响室系统组合镜像双馈源混响室系统示意图
Fig.1 Sketch of mirror dual - feed reverberation chamber assembled by two single reverberation chamber systems

图 2 为工作频率在 100 MHz 下, 搅拌器在起始位置(0°)时, 镜像双馈源混响室工作区域 $z = 1$ 平面和 $z = 3.3$ 平面的电场分布云图。由图 2 可以看出, 同前面原理分析结果一样, 镜像双馈源混响室工作区域的电场分布完全镜像对称。

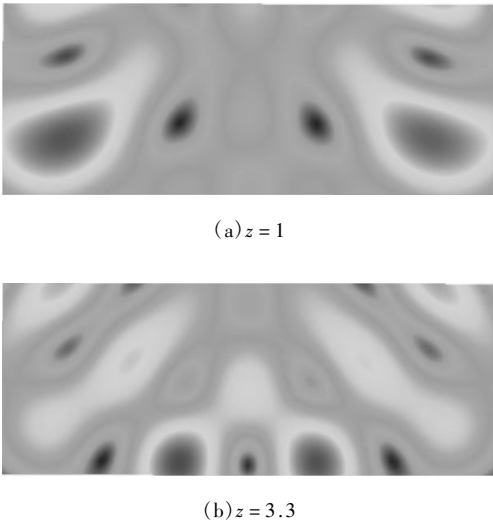


图 2 镜像双馈源混响室工作区域电场分布云图
Fig.2 Field distribution nephogram of the working volume of mirror dual-feed reverberation chamber

图 3 比较了单混响室工作区域和镜像双馈源混响室相同工作区域(即工作区域 1)内 5 043 个点的电场强度各分量值的大小。从图 3 可以看出, 单混响室系统组合成镜像双馈源混响室后, 工作区域电场强度 X 分量的变化不大, 但从 Y 分量上看, 镜像双馈源混响室相同工作区域的电场强度明显比单馈源混响室的要大; 从 Z 分量上看, 镜像双馈源混响室的电场强度分布比单馈源混响室更加均匀。因此, 单混响室系统组合成镜像双馈源混响室系统后, 电场强度在 Y 分量上体现了场强的增强, 而在 Z 分量上体现了场均匀性的提高。

图 4 是单混响室和镜像双馈源混响室相同工作区域, 以及镜像双馈源混响室整个工作区域电场强度各分量平均值的比较, 与对图 3 的分析结果一致, 相同工作区域时, 单混响室与镜像双馈源混响室的电场强度平均值 X 、 Z 分量基本相同, 而镜像双馈源混响室的电场强度 Y 分量和总体平均场强显著提高。另外, 从图 4 还可以看出, 镜像双馈源混响室整个工作区域的电场强度各分量平均值与工作区域 1 的电场强度各分量平均值基本相同, 尤其总体平均场强一致性非常理想。

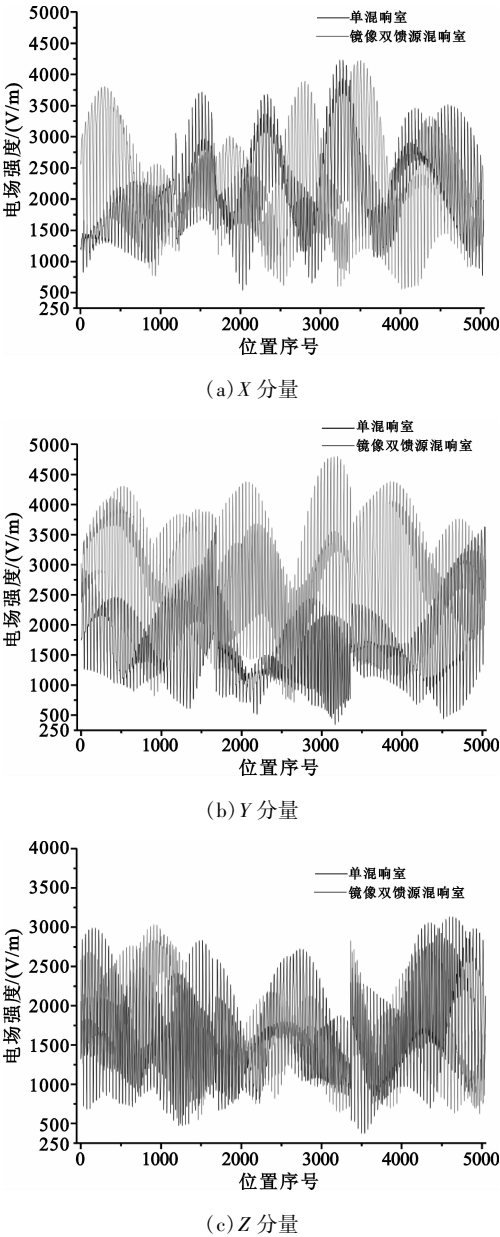


图 3 工作区域 1 电场强度比较
Fig.3 Field strength comparison of working volume 1

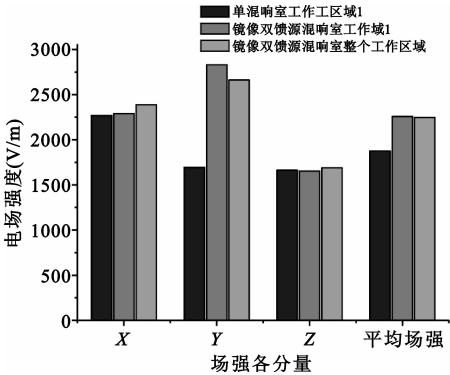


Fig.4 Average field strength comparison of the working volume

表 1 是单混响室和镜像双馈源混响室相同工作区域,以及镜像双馈源混响室整个工作区域电场强度标准偏差的比较。有关混响室场强标准偏差的计算方法具体参见标准 IEC61000-4-21,场强标准偏差越小则表明场均匀性越好^[5-6]。从表 1 的电场强度标准偏差数据可以看出,组成镜像双馈源混响室后,相同工作区域部分场均匀性有所提高,且镜像双馈源混响室整个工作区域的场均匀性也没有下降。

表 1 工作区域的电场强度的标准偏差				
Table 1 Field deviation of the working volume 单位: dB				
工作区域	σ_x	σ_y	σ_z	σ_{24}
单混响室工作区域 1	2.52	2.69	2.55	2.79
镜像双馈源混响室工作区域 1	2.45	2.13	2.28	2.75
镜像双馈源混响室整个工作区域	2.56	2.41	2.46	2.81

因此,仿真实验的数据结果证实了前面的理论分析,即利用两个单混响室系统依据镜像原理组合成镜像双馈源混响室后,不但可用于电磁兼容测试的工作区域体积大幅度增大,而且测试区域的电场强度也得到了提高,同时工作区域的场均匀性不会下降,这样就通过在两个发射天线同时馈入相同功率即两个小功放合成的方法解决了大混响室大功率的问题。

4 镜像多馈源混响室扩展分析

根据镜像多馈源混响室的组成原理可知,组成镜像多馈源混响室的单混响室系统不一定是单馈源混响室,也可以是双馈源混响室或多馈源混响室,甚至也可以是镜像多馈源混响室,只要求组成镜像多馈源混响室的单混响室系统在结构和设置上完全的镜像对称。因此,可以将所有的镜像多馈源混响室均理解成由两个单混响室系统组成,而组成镜像多馈源混响室的单混响室系统也可以是一个镜像多馈源混响室,如此无限下分,结构上存在可能性。

又由仿真实验结果可知,当两个单混响室系统组成镜像多馈源混响室后,工作区域的电场强度和场均匀性都不会下降。那么,当两个镜像双馈源混响室组成镜像四馈源混响室后,其工作区域的电场强度和场均匀性也应当不会下降;两个镜像四馈源混响室又可组合成一个镜像八馈源混响室,如此无限叠加,工作区域的电场强度和场均匀性依然满足测试要求是存在可能性的。

因此,对一个结构固定的单混响室系统而言,如

果用其组成镜像多馈源混响室,其数量上可以是 2 个,也可以是 4 个,或更多,且可以推测组成镜像多馈源混响室的单混响室系统数量 M 满足以下关系:

$$M = 2^n$$

式中, n 为非零正整数。

另一方面,理论上由单混响室系统组合镜像多馈源混响室的方法可以是通过在 x 、 y 或 z (混响室长、宽、高)3 个方向的任一方向上将单混响室系统根据镜像原理进行组合,但具体的组合方式应当综合考虑场性能、实际场地情况和电磁兼容测试对象等因素。图 5 是由单混响室系统组合镜像多馈源混响室可预见、能实现的几个实例示意图。

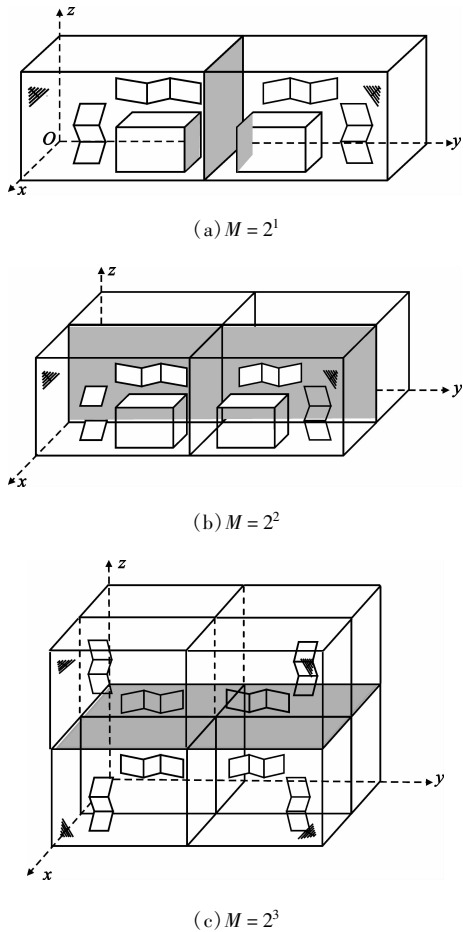


图 5 镜像多馈源混响室组合方法示意图
Fig.5 Sketch of assembly methods of mirror multi-feed reverberation chamber

5 结 论

目前,我国在混响室尤其是大型混响室的设计技术研究方面尚属起步,已建设的混响室设备大多属于国外中小型商业产品,而系统级电磁环境效应

试验研究急需大型的测试空间,混响室大体积与场性能高要求之间的矛盾是亟待解决的问题。

本文基于镜像原理提出了一种镜像多馈源混响室的设计思想,研究结果表明在输入功率一定时,利用两个单混响室系统依据镜像原理组合成镜像双馈源混响室后,在工作区域的场均匀性能不下降的基础上,不但可用于电磁兼容测试的工作区域体积大幅度增大,而且测试区域的电场强度也得到了提高。这样就通过在两个发射天线同时馈入相同功率即两个小功放合成的方法解决了大混响室大功率的问题。在下一步的研究工作中,应当进一步深入探索镜像多馈源混响室内部结构优化设计和工程设计,以获得更优的测试环境并为系统级电磁试验用大型镜像混响室的开发奠定基础。

参考文献:

[1] 袁智勇,何金良,曾嵘,等.电磁兼容试验中的混响室技术[J].高电压技术,2005,31(3):56-58.
YUAN Zhi-yong, HE Jin-liang, ZENG Rong, et al. Technology of the reverberation chamber for EMC test[J]. High Voltage Engineering, 2005, 31(3): 56-58. (in Chinese)

[2] Per-Simon Kildal, Kent Rosengren. Correlation and Capacity of MIMO Systems and Mutual Coupling, Radiation Efficiency, and Diversity Gain of Their Antennas: Simulations and Measurements in a Reverberation Chamber[J]. IEEE Commu-

nications Magazine, 2004, 42(12): 104-112.

[3] 李尔平,高捷.应用新型混响室技术进行电磁辐射和干扰检测[J].安全与电磁兼容,2004(5):28-30.
LI Er-ping, GAO Jie. Emission and immunity tests and measurements by using the advanced reverberation chamber technique[J]. Safety & EMC, 2004(5): 28-30. (in Chinese)

[4] Luk R Arnaut. Statistics of the Quality Factor of a Rectangular Reverberation Chamber[J]. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 2003, 45(1): 61-76.

[5] IEC61000-4-21, Electromagnetic compability (EMC) - Part 4-21: Testing and measurement techniques - Reverberation Chamber Test Methods[S].

[6] 刘小强,魏光辉,潘晓东.材料磁导率对混响室场性能影响的仿真分析[J].高电压技术,2009,35(8):1986-1989.
LIU Xiao-qiang, WEI Guang-hui, PAN Xiao-dong. Simulation and Analysis of Field Performance in Reverberation Chamber with Materials of Different Permeability[J]. High Voltage Engineering, 2009, 35(8): 1986-1989. (in Chinese)

作者简介:

刘小强(1982-),男,福建建阳人,博士研究生,主要从事电磁场环境模拟技术研究。

LIU Xiao-qiang was born in Jianyang, Fujian Province, in 1982. He is currently working toward the Ph. D. degree. His research concerns electromagnetic environment simulation.

Email: liuxq1982@126.com