

小型辐射干扰测试实训平台的开发

张翠*, 李谋勋, 方劲

(深圳鹏城技师学院, 深圳 518000)

摘要: 在电磁兼容(EMC)测试中, 辐射测试占有重要的地位, 并具有显著的影响。结合企业相关工作岗位对EMC测试工程师的要求, 我们经过两轮授课梳理、研究、思考分析, 开发了一个小型经济的辐射干扰测试实训平台, 一方面避免了昂贵的暗室建设费用和场地的短缺问题, 另一方面又填补了辐射干扰测试教学方面的缺失, 为学生步入企业打好基础, 帮助他们能够更好地适应企业岗位需求。本文以开发一个小型经济的辐射干扰测试实训平台为目的, 主要从关键设备和系统设计及构建两部分说明其开发的过程, 以满足教学与科研需求, 还对实际工程应用具有指导价值。

关键词: 辐射干扰测试; 屏蔽箱; 双锥天线

Development of small radiation interference test training platform

ZHANG Cui*, LI Mou-Xun, FANG Jin

(Shenzhen Pengcheng Technician College, Shenzhen 518000, China)

ABSTRACT: In EMC (Electromagnetic Compatibility) testing, radiation testing occupies an important position and has significant influence. Based on the requirements of relevant job positions in enterprises for EMC test engineers, we conducted two rounds of lectures to sort out, research, and think and analyze, and developed a small and economical radiation disturbance test training platform. On the one hand, it avoids the high cost of dark room construction and the shortage of space, and on the other hand, it fills the gap in radiation interference testing teaching and helps students prepare for entering enterprises, helping them better adapt to the needs of enterprise job positions. This paper aims to develop a small and economical radiation interference test training platform, mainly explaining the development process from two aspects of key equipment and system design and construction to meet the needs of teaching and research, and also has guiding value for actual engineering applications.

KEY WORDS: radiated interference test; shielding box; biconical antenna

0 引言

辐射干扰, 也称为电磁干扰(EMI), 是指电子设备在运行过程中产生的电磁能量无意中传播到周围环境, 对其他电子设备的正常工作造成影响的现象。随着现代科技的发展, 电子设备的广泛应用使得辐射干扰问题日益突出^[1]。例如, 在通信领域, 过高的辐射干扰可能导致信号失真, 影响通信质量; 在医疗设备中, 电磁干扰可能干扰精密仪器的读数, 危及患者安全; 在航空、航天以及军事领域, 电磁兼容性更是关系到系统的稳定性和安全性。

辐射干扰不仅源于设备自身的电磁发射, 也可能由外部电磁环境引起^[2]。例如, 雷电、高压电力线路、无线电广播发射塔等都可能产生强烈的电磁辐射。因此, 建立一个有效的辐射

干扰测试实训平台对于评估和改善电子设备的电磁兼容性至关重要。

本研究的主要目标是开发一个小型的辐射干扰测试实训平台, 以满足日益增长的电磁兼容性(EMC)测试教学的需求, 具体目标包括: (1) 小型屏蔽箱能够提供提供一个低背景噪声的测试环境, 有效抑制外部电磁干扰, 确保测试结果的准确性^[3]; (2) 选择并集成高性能的双锥天线, 用于准确捕获和测量设备在不同频率下的辐射干扰水平, 实现宽频带覆盖; (3) 研究铁氧体在辐射测试中的最佳配置和应用, 以优化信号衰减和干扰抑制效果^[4]; (4) 选取合适的吸波材料, 减少反射并增强吸收, 进一步提高测试环境的均匀性和一致性; (5) 通过实际设备的测试案例, 验证实训平台的性能和实用性, 为教学提供可靠参考。

* 通信作者: 张翠, 硕士, 技师, 研究方向为电子检测。E-mail: 328833272@qq.com,

* Corresponding author: ZHANG Cui, Master, Technician, Shenzhen Pengcheng Technician College, Shenzhen 518000, China. E-mail: 328833272@qq.com

1 关键设备

1.1 屏蔽箱

屏蔽箱是辐射干扰测试实训平台的核心组成部分, 其主要功能在于提供一个低辐射环境, 以确保测试结果的准确性和可靠性^[5]。屏蔽箱采用高导电率和高磁导率的材料制成。在实训中, 屏蔽箱的应用体现在以下几个方面。(1) 隔离干扰: 屏蔽箱能够减少周围环境中无线电信号、雷达信号等对测试设备的影响, 保证测试条件的一致性和可重复性。(2) 安全防护: 对于高辐射设备的测试, 屏蔽箱可以保护操作人员免受不必要的电磁辐射伤害, 符合职业健康和标准。(3) 设备评估: 屏蔽箱为设备的辐射发射测量提供了封闭的测试环境, 有助于准确评估电子设备的电磁兼容性 (EMC) 性能, 确保其在实际应用中不会对其他设备产生干扰。在实训平台中, 屏蔽箱的设计和选择需要考虑到测试频率范围、屏蔽效能、箱体尺寸以及操作便捷性等因素, 以确保其在各种辐射干扰测试中的有效应用。

屏蔽箱外尺寸: 1000 mm×800 mm×800 mm; 屏蔽箱内尺寸: 970 mm×770 mm×770 mm。

1.2 双锥天线

双锥天线是一种常用的电磁辐射测量设备, 其工作原理基于电磁波的发射和接收。该天线由两个对称的锥形结构组成, 通常由金属材料制成, 以确保良好的导电性和反射性。

双锥天线的设计使其具有宽频响应特性, 这意味着它能够在多个频率范围内有效工作。天线的形状和尺寸是经过精确计算的, 以确保在特定频率范围内达到最佳的辐射和接收性能。双锥的几何结构使得天线在各个方向上的辐射模式相对均匀, 提供了一种近似全向的辐射特性, 这有利于全面评估设备的辐射情况^[6]。

在实际操作中, 双锥天线连接到测量接收机或频谱分析仪上, 用于接收和分析从测试环境中收集的电磁信号。通过分析这些信号, 可以确定设备产生的辐射干扰水平, 从而判断是否符合相关的电磁兼容 (EMC) 标准。

本平台中用到的小型双锥天线锥体全长 45 cm。

1.3 铁氧体

在辐射干扰测试中, 铁氧体扮演着至关重要的角色。在辐射干扰测试实训平台上, 铁氧体主要用于以下几个方面:

首先, 铁氧体作为衰减材料, 可以有效降低电磁场的强度; 其次, 铁氧体还可以用于制作阻抗匹配元件。在测试过程中, 设备与测试系统的阻抗匹配至关重要, 以确保信号的准确传输; 再者, 铁氧体在天线调谐中也起到关键作用。例如, 在双锥天线中, 铁氧体可以用来调整天线的工作频段, 使其能更好地接收或发射特定频率的电磁波, 从而确保辐射干扰测试的针对性和准确性。

综上所述, 铁氧体在辐射干扰测试实训平台中发挥着多方面的功能, 不仅提升了测试的准确性和可靠性, 还为优化测试环境和提升测试效率提供了有效的解决方案。

1.4 吸波材料

吸波材料是辐射干扰测试实训平台中不可或缺的组成部分, 其主要功能是吸收测试环境中多余的电磁能量, 减少反射, 以提供一个更为准确和可靠的测试环境。在选择吸波材料时, 应考虑以下因素。(1) 频率范围: 吸波材料的吸收特性与其物理结构和成分有关, 不同类型的材料适用于不同的频率范围。(2) 厚度与重量: 吸波材料的厚度直接影响其吸收效果, 但过厚可能会增加屏蔽箱的重量和成本。应找到一个平衡点, 保证足够的吸收性能同时兼顾经济性和实用性。(3) 温度稳定性: 由于测试过程中可能会产生大量热量, 因此吸波材料应具有良好

的热稳定性和耐高温性能, 以防止性能退化。(4) 耐用性与环保性: 考虑到长期使用和维护, 吸波材料应具备一定的耐用性, 不易老化、分解, 并尽可能选用环保材料, 减少对环境的影响。在实训平台上, 吸波材料常被应用于屏蔽箱的内壁, 形成均匀的吸收层, 以减少电磁波在箱内的多次反射, 提高测试的准确性。

2 系统设计与构建

2.1 平台架构设计

辐射干扰测试实训平台的架构设计是整个系统的基石, 它决定了测试流程的效率和准确性。本平台采用模块化设计, 主要包括以下五个核心组成部分。(1) 输入控制模块: 该模块包含一个用户友好的操作界面, 用于设定测试参数和选择测试程序。(2) 信号发生模块: 根据预设的测试条件, 产生不同频率和强度的电磁辐射源。(3) 测试设备模块: 包括屏蔽箱、双锥天线和铁氧体等硬件设备。(4) 数据采集与分析模块: 实时捕捉和记录测试过程中产生的数据。(5) 安全监控模块: 实施对平台运行状态的监控, 确保测试过程的安全性。每个模块之间通过标准化接口连接, 方便维护和升级, 确保了实训平台的长期有效性。

2.2 屏蔽箱设计与搭建

屏蔽箱的设计与搭建是辐射干扰测试实训平台的核心部分, 其主要目的是提供一个低辐射环境, 以准确测量设备的电磁辐射水平。在设计屏蔽箱时, 应考虑以下几个关键要素:

首先, 材料选择至关重要。通常采用铜或铝作为屏蔽箱的主要材质, 因为它们具有良好的导电性和屏蔽效能。箱体内部表面需进行镀银处理, 以减少电阻并提高屏蔽效果。此外, 箱体的所有接缝和开口都必须严格密封, 以防止电磁泄漏^[7]。其次, 屏蔽箱的尺寸应根据待测设备的大小和测试需求来确定, 需要确保设备在箱内能自由放置且不影响测试结果。接着, 屏蔽箱内应配备必要的接口和开口, 如电源插座、信号馈线入口等, 以便于连接设备。这些接口需经过特殊设计, 以降低对外部环境的辐射干扰。最后, 搭建完成后需进行屏蔽效能测试, 通常使用频谱分析仪测量箱内外的电磁场强度, 以验证屏蔽效果是否达到预期标准。

通过精心设计和搭建的屏蔽箱, 能够为辐射干扰测试提供一个可靠的环境, 确保测试数据的准确性和可靠性。

2.3 设备集成与调试

在辐射干扰测试实训平台的构建过程中, 设备集成与调试是至关重要的环节, 它直接影响到测试结果的准确性和平台的运行稳定性。首先, 屏蔽箱作为测试环境的核心部分, 其内部设备如双锥天线、铁氧体及吸波材料需精确安装并相互协调。双锥天线应放置在适当位置, 以保证其能全面捕捉到被测设备发出的电磁辐射。铁氧体材料用于改善天线的辐射特性, 需根据具体测试需求调整其位置和角度^[8]。接着, 将所有硬件设备 (如测试接收机等) 接入控制系统, 确保通信接口的兼容性。在调试阶段, 首先进行无负载运行, 检查各个设备是否正常启动并运行。然后, 逐步引入负载, 通过控制软件对设备进行一系列预设的测试场景模拟, 观察并记录系统的响应。在这一过程中, 要特别关注设备间的同步性, 以及数据采集和处理的准确性。如果发现异常, 如信号波动、数据异常等, 应及时定位问题源头并进行调整或修复。此外, 为了确保测试环境的电磁洁净度, 需要对屏蔽箱的密封性进行检查, 防止外部电磁干扰进入^[9]。同时, 调试过程中还要验证吸波材料的性能, 确保其能有效吸收多余的电磁能量, 减少反射并提高测试精度。通过精心的设备集成与调试, 辐射干扰测试实训平台将能够提供稳定、可靠的测试环境, 为后续的实训和研究提供坚实的基础。

2.4 典型设备测试实例

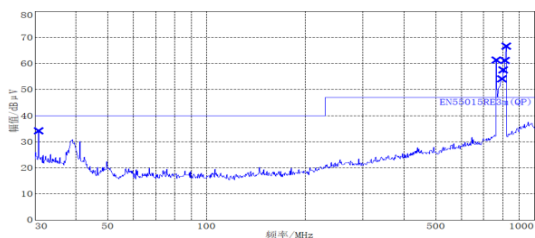
在辐射干扰测试实训平台中，本研究选取了多种典型电子设备进行测试以验证平台的性能和准确性。其中，智能手机和平板电脑作为现代生活中常见的无线通信设备，其辐射干扰水平对环境 and 用户健康的影响尤为关注。以下为两个设备的测试实例。

台灯测试：在测试过程中，按照 EN55015RE3m 标准进行操作，使用双锥天线在 30 MHz 至 1000 MHz 的频率范围内进行扫频。如图 1 所示分别为天线水平扫频。结果显示(如图 2 所示)，台灯在正常点亮的状态下产生了不同程度的辐射干扰，峰值超过限值。通过调整铁氧体材料的优化配置，以及调整天线与设备的距离，显著减少了辐射强度，使得测试结果满足 EMC (电磁兼容性) 要求，如图 3 所示。



图 1 天线水平扫频

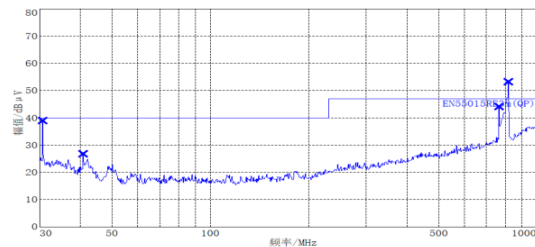
Fig.1 Horizontal frequency-sweeping of the antenna



(QP)	Freq(MHz)	Lev(dB μV)	Lim(dB μV)	Δ(Lev-Lim)	final test
	30.900	34.015	40.000	-5.985	
	768.000	61.170	47.000	14.170	
	798.000	53.990	47.000	6.990	
	806.000	57.410	47.000	10.410	
	815.000	60.950	47.000	13.950	
	821.000	66.470	47.000	19.470	

图 2 台灯工作状态辐射测试数据

Fig.2 Radiation test data of the desk lamp in working state



(QP)	Freq(MHz)	Lev(dB μV)	Lim(dB μV)	Δ(Lev-Lim)	final test
	30.700	38.945	40.000	-1.055	
	40.900	26.703	40.000	-13.297	
	768.000	44.070	47.000	-2.930	
	819.000	53.150	47.000	6.150	

图 3 调整优化后的台灯工作状态辐射测试数据

Fig.3 Radiation test data of the desk lamp in the working state after adjustment and optimization

这些测试实例不仅验证了实训平台的可靠性和有效性，也

为实际设备的辐射干扰控制提供了参考。通过对比不同设备的测试结果，可以进一步了解各类电子产品的辐射特性，为产品设计和改进提供依据。

3 讨论与结论

本研究聚焦于辐射骚扰测试实训平台的开发，旨在解决电子产品在使用过程中产生的电磁干扰问题，提高设备间的兼容性和稳定性。通过对辐射骚扰问题的深入剖析，我们认识到实训平台在教育、研发和质量控制中的不可或缺性。结合技术发展趋势，我们设定了明确的研究目标，成功开发了一套辐射骚扰测试实训平台，它不仅能满足教学与科研需求，还对实际应用具有指导价值。

在当前辐射骚扰测试实训平台的基础上，有几点建议以进一步提升其性能和实用性。

(1) 增强屏蔽箱的电磁密封性：对屏蔽箱的接缝和开口处进行特殊处理，如采用电磁密封条，以减少漏辐射，提升屏蔽效果。

(2) 建立远程监控和数据分析系统：利用云计算和大数据技术，实现远程监控测试过程，实时分析数据，提供快速反馈和决策支持^[10]。

(3) 考虑引入自动化测试系统：通过集成先进的传感器和控制软件，实现测试流程的自动化，减少人为操作误差，提高测试精度和效率。

通过这些发展方向的探索与改进，辐射骚扰测试实训平台将更好地服务于科研、教育以及工业生产领域，为电磁环境的和谐共存提供坚实的技术支撑。

参考文献

- [1] 郑军奇. 电子产品设计EMC风险评估[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- [2] 徐晔. 电子产品电磁兼容与防护技术应用研究[J]. 轻工科技, 2020, 36(06): 84-85, 79.
- [3] 侯雅茹. 数字电路的信号传输抗干扰技术分析[J]. 集成电路应用, 2023, 40(05): 26-27.
- [4] 杨继深. 电磁兼容(EMC)技术之产品研发及认证[M]. 电子工业出版社, 2014.
- [5] 罗燕红, 胡瑞杰, 周李渊, 等. 电波暗室场地性能参数计量方法分析[J]. 环境技术, 2023, 41(09): 85-87, 102.
- [6] KRAUSJ D, MARHEFKA RJ. 天线[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [7] 王曦. 新建医用EMC实验室解决方案[J]. 中国医疗器械杂志, 2018, 42(02): 107-110.
- [8] 张桂芬. 电子产品静电放电的测试[J]. 中国计量, 2008, (10): 75-77.
- [9] 鞠伟刚. 信息技术设备的电磁兼容测试[J]. 前卫, 2020, (15)142-144.
- [10] 徐晓昂. 民用电子电气设备的电磁兼容测试系统设计分析[J]. 电子技术与软件工程, 2021, (10): 224-225.

作者简介



张翠，硕士，技师，研究方向为电子检测。

李谋勋，副高级工程师，研究方向为电子检测。

方劲，高级技师，研究方向为电子检测。