

大学实验室电磁辐射安全研究*

张仲元 易 蔓 段墨馨 魏 慧 董续豪 魏 环

(华北理工大学理学院应用物理系 河北 唐山 063210)

(收稿日期:2019-05-05)

摘要:截至目前,对大学实验室电磁辐射安全性的研究与评估鲜有报道.本文主要介绍了利用我校电磁辐射与防护实验室的高、低频段电磁辐射测试仪,对电磁辐射源较为集中的电工电子实验室的电磁辐射情况进行了检测,以及依据国家电磁辐射防护标准对其做出安全性评估结果,同时,基于安全评估结果提出了针对大学实验室电磁辐射安全防护措施的建议.

关键词:电磁辐射 大学实验室 辐射与防护 电场强度

1 引言

电磁波将电磁场的能量以波的形式向空间传播的现象又称电磁辐射.电磁辐射可能引起装置、设备或系统性能降低,对有生命或无生命的物质产生损害作用,这种现象被称为电磁辐射污染^[1,2].由于人体的生命活动中包含着一系列的生物电活动,这些生物电对环境的电磁波非常敏感,因此,电磁辐射可以对人体造成影响和损害.根据流行病学的研究发现,不同频率和强度的电磁辐射会对人体造成不同程度的损害和影响,长期过量的电磁辐射还会对人体的生殖、神经和免疫等系统造成伤害,甚至成为心血管疾病、糖尿病、癌突变的主要诱因^[3,4].

目前,世界许多国家针对电磁辐射的安全性,在各自研究的基础上制定了相应的“国家防护标准”.我国现行的国家电磁辐射防护标准(包括“卫生标准”和“环保标准”),是由卫生部和国家环保局分别制订的,其中,卫生标准是以电磁辐射强度及其频段特性对人体可能引起潜在性不良影响的阈值为界,将环境电磁波容许辐射强度标准分为二级,超过二级标准地区,对人体可能带来有害影响.而环保标准采用了限值概念,并以 SAR(比吸收率)作为了基本安全限值^[5].

大学里的电工电子实验室与物理实验室中有许多电工电子仪器设备,如变压器、稳压电源、信号发生器、示波器等,这些仪器在工作状态下都是产生电磁辐射的污染源.大学实验室作为教学场所,仪器设备的摆放相对密集,教学人员人数较多,但是调研显示,截至目前,国内外关于电磁辐射安全性的研究主要集中在工业、商业办公场所、通信基站周边以及一般的家庭上面,尚未有关于大学实验室辐射安全性的评估报道.

因此,依据国家电磁辐射防护标准,对这类实验室电磁辐射的安全性进行检测与评估,为在实验室工作和学习的师生提供电磁辐射防护方面的科学建议,是十分必要的.

2 检测目标与检测方案

2.1 检测目标

华北理工大学作为综合性大学,其实验室的设置是能够反映出同类院校的共性的,对其研究所获得的结论能够适用于同类院校的大学实验室.

最初的检测计划是将华北理工大学的大学物理实验室和电工电子技术的两个实验室(包括模拟电子技术^[6]实验室和电工学实验室)选作电磁辐射的检测研究对象,但因电工电子技术的两个实验室中,

*“华北理工大学2018年度大学生创新创业训练计划”基金资助,项目编号:X2018257

作者简介:张仲元(1998-),男,在读本科生.

通讯作者:魏环(1963-),女,副教授,主要从事大学物理教学.

能够产生电磁辐射的仪器设备要比物理实验室的种类多、数量大、摆放密度大、各类仪器同时工作的频率也大,因此,我们最终将模拟电子技术实验室与电工学实验室作为了电磁辐射的重点检测与评估对象.

2.2 检测仪器

模拟电子技术实验室开设的15个实验项目所采用的信号均在1 kHz ~ 2 kHz的频率范围,电工学实验室使用的则是50 Hz工频三相交流电,均属于低频波段.我校应用物理专业的辐射与防护实验室为检测提供了高、低频段的电磁辐射测试仪,其中,型号为TES-92高频电磁辐射测试仪的检测范围为50 MHz ~ 3.5 GHz.我们使用高频测试仪对实验室内的电磁辐射进行了检测,检测结果表明,无论实验室内是否有实验正在进行,室内高频段电场强度的峰值基本不变,约为0.7 V/m,参照GB8702-2014《电磁环境控制限值》,这个数值低于国家给出的高频波段的电磁辐射安全限制,由此可知,实验室内所进行的学生实验没有造成新的、可观测到的高频辐射.基于这一检测结果,我们对上述两个实验室的检测全程使用的是LZT-1150型检测仪,该型号检测仪的检测范围是5 Hz ~ 400 kHz,能够满足检测的需求.对于低频电磁辐射,仪器采集的物理量为电场强度.

2.3 检测方案

模拟电子技术实验室中每一组实验台上均有示波器、信号发生器、模拟电子实验箱、交流数字毫伏表共4种类型的仪器,这4种仪器在实验中均同时启用,因此,我们确立了如下检测方案:

(1) 在全部实验仪器开启之前,对实验室内的背景电磁辐射情况进行检测评估,以排除外部电磁辐射对检测数据的影响.

(2) 所有检测数据均在实验室全部仪器进入工作状态一小时之后进行采集.理由是,此时由各类实验仪器产生的电磁辐射的空间分布能够趋于稳定,实验室内电磁辐射的空间浓度也能够达到最大.

(3) 对处于工作状态的每台仪器周围的电场分布情况进行测量,以了解它们各自的辐射特点;对在进行模拟实验的每张实验台,按不同方位、不同距离检测电磁辐射数据,即检测的空间范围包括实验人员正常操作范围,以给出对实验室电磁辐射安全的多维度(人机安全距离、仪器摆放密度、实验台之间的距离等)的科学评估.

2.4 电磁辐射的安全性评估标准

对大学实验室的电磁辐射进行安全性评估所依据的标准为GB8702-2014《电磁环境控制限值》^[7],如表1所示.

表1 公众曝露控制限值^[7]

频率范围	电场强度 $E/$ ($V \cdot m^{-1}$)	磁场强度 $H/$ ($A \cdot m^{-1}$)	磁感应强度 $B/$ μT	等效平面波功率密度 $S_{eq}/(W \cdot m^{-2})$
1 ~ 8 Hz	8 000	$32\ 000/f^2$	$40000/f^2$	—
8 ~ 25 Hz	8000	$4000/f$	$5000/f$	—
0.025 ~ 1.2 kHz	$200/f$	$4/f$	$5/f$	—
1.2 ~ 2.9 kHz	$200/f$	3.3	4.1	—
2.9 ~ 57 kHz	70	$10/f$	$12/f$	—
57 ~ 100 kHz	$4\ 000/f$	$10/f$	$12/f$	—
0.1 ~ 3 MHz	40	0.1	0.12	4
3 ~ 30 MHz	$67/f$	$0.17/f^{1/2}$	$0.21/f^{1/2}$	$12/f$
30 ~ 3 000 MHz	12	0.032	0.04	0.4
3 000 ~ 15 000 MHz	$0.22f^{1/2}$	$0.000\ 59f^{1/2}$	0.000 74	$f/7\ 500$
15 ~ 300 GHz	27	0.073	0.092	2

2.5 数据处理软件

使用 Origin 2018 64Bit 软件对检测数据进行分析处理.

3 检测数据与安全性评估

3.1 实验室环境的安全性评估

全部实验仪器启用之前,我们检测了实验室内的电磁辐射情况,在 5 Hz ~ 400 kHz 范围内检测数据为零,表明实验室的环境辐射污染可以忽略.

3.2 模拟电子技术实验室的辐射检测与安全性评估

利用模拟电子实验箱,能够完成 10 多种不同功能、不同目的的模拟电子技术实验.我们在对实验室进行电磁辐射检测时选择了共集电极放大电路作为实验样本,采用的输入信号为 1 kHz 的正弦交流信号.除模拟电子实验箱外,实验中还需使用信号发生器、示波器及交流数字毫伏表 3 类仪器,如图 1 所示.



图 1 模拟电子技术实验台上的仪器

3.2.1 3 类仪器的电磁辐射分布

信号发生器、示波器及交流数字毫伏表这 3 类仪器工作时均产生电磁辐射,电磁辐射测试仪测得上述 3 类仪器表面处的辐射值如表 2 所示.检测发现,场强最大值出现在仪器后方电源线处.仪器表面场强衰减至零的距离如表 3 所示.

参照 GB8702-2014 标准,这 3 类仪器表面处的辐射基本都超过了国家规定的安全限值(1 000 Hz, 200 V/m).与此同时,电场强度在空气中衰减迅速,距仪器表面 10 cm 处场强均已衰减为零,如表 3 所示.

表 2 3 类仪器表面的电场强度

实验仪器	RIGOL DG1032 信号发生器	LINE-T UT631 交流数字毫伏表	RIGOL DS2102A 示波器
数据名称	电场强度 / (V · m ⁻¹)	电场强度 / (V · m ⁻¹)	电场强度 / (V · m ⁻¹)
仪器前方面板处	497	0	172
仪器左侧表面	165	0	168
仪器右侧表面	238	0	242
仪器后方电源线处	684	1 625	660
仪器上方表面	0	0	0

表 3 电场强度衰减至零的表面距离

实验仪器	信号发生器	交流数字毫伏表	示波器
数据名称	表面距离 / cm	表面距离 / cm	表面距离 / cm
仪器前方面板处	2.5	0	4
仪器左侧表面	2	0	10
仪器右侧表面	2	0	10
仪器后方电源线处	2	3	8.5
仪器上方表面	0	0	0

3.2.2 模拟电子技术实验箱的电磁辐射分布

(1) 模拟电子实验箱的操作面板如图 2 所示,其中包括多种不同功能的电路区、元件区和电源区.图

3 为本次检测采用的共集电极放大电路实验的电路工作区和电源区位置示意图.实验箱面板上电场强度的最大值出现在电源区,数值为 1 029 V/m,图 4

描述了距实验箱面板上方 10 cm 处的电场强度分布情况.

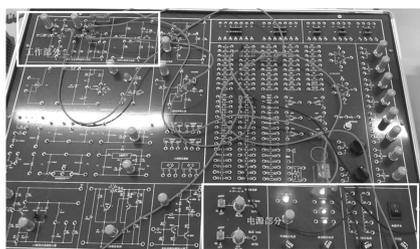


图2 实验箱面板

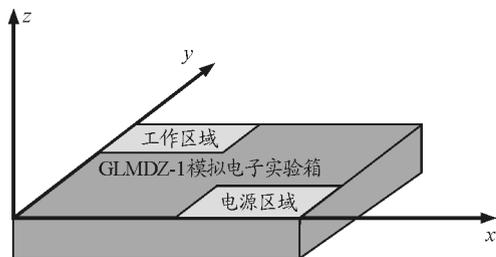


图3 共集电极放大电路工作区及电源区位置的示意图

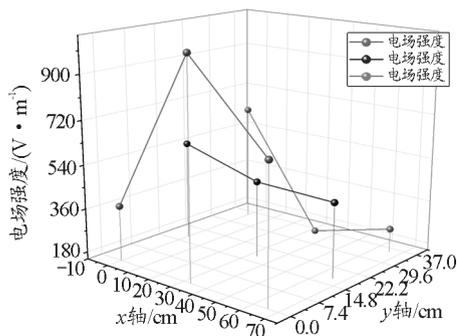


图4 实验箱面板上方 10 cm 处的电场强度分布曲线

(2) 表 4 和表 5 分别给出了操作面板电源区正上方以及电路工作区正上方的电场强度随距离衰减的检测数据,图 5 为电源区正上方的电场强度在空气中随距离衰减的曲线.可见,在电源区上方 10 cm 处,电场强度已经衰减至安全限值 200 V/m 以内.

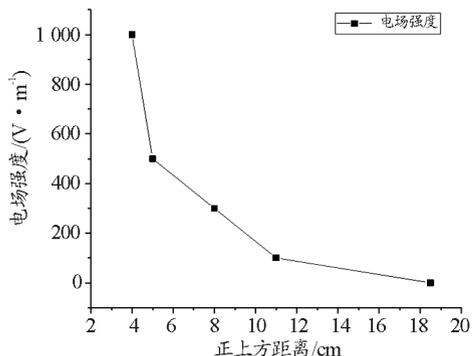


图5 电源区上方电场强度随距离衰减的曲线

表 4 电源区正上方电场强度衰减

电场强度 / ($V \cdot m^{-1}$)	电源区正上方距离 / cm
1 000	4
500	5
300	8
100	11
0	18.5

表 5 实验电路的工作区上方
电场强度随距离的衰减

电场强度 / ($V \cdot m^{-1}$)	工作区上方的距离 / cm
634	0
55	10
0	20

(3) 在共集电极放大电路中,实验箱前方表面处的场强最大值为 225 V/m,在 10 cm 处即衰减至 100 V/m. 距后方表面 10 cm 处场强为 232 V/m, 20 cm 处已衰减为零.

3.3 电工学实验室的电磁辐射检测与安全性评估

在电工学实验室中,我们选取了三相异步电动机的控制电路作为样本实验,电源电压为工频三相交流电.因控制电路面板上分布有很多连接导线,检测结果显示,导线附近电磁辐射最强,电场强度甚至能够达到 1 950 V/m.但是,由于 50 Hz 交流电场强度安全限值为 4 000 V/m,因此,由控制电路实验形成的电磁辐射均在安全限值范围内.

4 对大学实验室电磁辐射防护措施的建议

我们依据上述对大学实验室的电磁辐射安全性的评价结果,对大学实验室电磁辐射防护措施提出以下建议.

第一,电工学实验室中的电工电子实验台在工作状态下造成的电磁辐射强度较低,均在安全限值以内,无需采取特殊防护措施.

第二,模拟电子技术实验室内的电磁辐射主要集中在仪器表面和模拟电子实验箱的稳压电源和电路工作区,最大电场强度甚至超过安全限值的 5 倍,载流导线集中的地方辐射也很强.由于电磁辐射在

空气中衰减迅速,因此,建议实验者与仪器之间应保持 10 cm 的安全距离.

第三,对仪器摆放密度的建议:面对面放置的两张实验台上的仪器摆放距离必须大于 40 cm,这个距离可以确保彼此不会给对方实验操作者造成电磁辐射污染.

第四,信号在 1 kHz ~ 2 kHz 频率范围内的模拟电子技术实验不会造成可检测到的高频电磁污染,因此,实验室只需要对来自周围环境的高频电磁辐射加以防范.

5 结束语

本项目针对“大学实验室的电磁辐射安全状况”这一课题展开了调查研究.通过对华北理工大学的模拟电子技术实验室和电工学实验室的电磁辐射情况的检测与评估发现,在模拟电子技术实验室内,的确存在着超出国家电磁辐射安全限值的辐射污染区,为此,本文在对上述实验室的电磁辐射检测情况

给出具体描述的同时,也对如何有效防范实验室内的电磁辐射污染提出了相应的科学建议.本文给出的结论和建议适用于同类院校的实验室.

参考文献

- 1 梁灿彬,秦光戎,梁竹健.电磁学.北京:高等教育出版社,2012
- 2 张建宏.电磁辐射污染与电磁环境监测.电力学报,2007(01):152 ~ 154
- 3 张彦文,余争平.电磁辐射对神经行为和生物电的影响.环境与健康杂志,2003,20(5):102 ~ 103
- 4 姚智兵,蒋昊,吴婷,等.电磁辐射的危害及防护.中国社会医学杂志,2007,24(3):177 ~ 179
- 5 刘宝华,孔令丰,郭兴明.国内外现行电磁辐射防护标准介绍与比较.辐射防护,2008,28(1):51 ~ 56
- 6 童诗白,华成英.模拟电子技术基础.北京:高等教育出版社,2011
- 7 国家环境保护局.电磁环境控制限值:GB 8702-2014.北京:中国环境科学出版社,2014

Study on Electromagnetic Radiation Safety in University Laboratories

Zhang Zhongyuan Yi Man Duan Moxin Wei Hui Dong Xuhao Wei Huan

(College of Science, North China University of Science and Technology, Tangshan, Hebei 063210)

Abstract: There are few reports on the studies and evaluations of electromagnetic radiation safety in the university laboratories up to date. In this work, we report an assessment of electromagnetic radiation safety in the Electrical and Electronic Laboratory and Analog Electronics Technology Laboratory, where higher level of electromagnetic radiation is expected. The electromagnetic radiation was detected with both low-frequency and high-frequency electromagnetic radiation detectors available in our university, and the safety assessment based on the national standards was given. Suggestions on proper safety measures of electromagnetic radiation in the university laboratories are also provided referring to the assessment result.

Key words: electromagnetic radiation; university laboratory; radiation and protection; electric field intensity