

# 美军电磁环境效应(E3)实验室建设浅析

李超, 汤仕平, 万海军, 张勇

(海军装备研究院, 上海 200235)

**摘要:** 对美军E3实验室建设情况进行了介绍,重点对美国海军航空作战中心及美国海军水面作战中心达格伦分部的E3实验室建设进行了介绍和剖析,对美军E3实验室试验设施进行了总结,分析了美军E3实验室建设的特点,有利于深刻认识美军E3实验室建设的发展状况,对我国E3实验室建设有一定的启示作用。

**关键词:** E3; 电磁兼容; 实验室建设

**中图分类号:** E96      **文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-9242(2011)06-0076-04

## Analysis of US Electromagnetic Environmental Effects (E3) Laboratory Construction

LI Chao, TANG Shi-ping, WAN Hai-jun, ZHANG Yong

(Naval Academe of Armament, Shanghai 200235, China)

**Abstract:** The US E3 laboratory construction was introduced. E3 laboratory construction in the Naval Air Warfare Center and Naval Surface Warfare Center Dahlgren Division was focused. Laboratory testing facilities in the US military E3 laboratory were summarized and the characteristics of US military E3 laboratory construction were analyzed. The purpose was to get more understanding of US military E3 laboratory and provide reference for E3 laboratory construction in China.

**Key words:** E3; electromagnetic compatibility; laboratory construction

电磁环境效应(E3)是电磁环境对系统、设备、装置的运行能力的影响<sup>[1]</sup>,涵盖了所有的电磁学科,包括电磁兼容性、电磁干扰、电磁易损性、电磁脉冲、电子对抗、电磁辐射对武器装备和易挥发物质的危害以及雷电和沉积静电效应等自然效应。美军着重加强系统级电磁环境效应要求的试验能力建设,其E3实验室建设水平居于世界领先地位<sup>[2]</sup>。

美军拥有多个E3实验室,开展设备级、系统级

电磁兼容性研究和试验评估。其中大型电磁兼容实验室拥有对系统级电磁环境效应进行研究、开发测试和评估的能力,可开展对系统内电磁兼容性、系统间电磁兼容性、雷电效应、电磁脉冲效应、电磁易损性、静电荷控制、电磁辐射危害等效应的试验评估<sup>[3-5]</sup>。美国军方至少建有20个大型电磁环境效应实验场,包括陆军7个、海军8个、空军5个,其中6个实验场(海军有4个)具有全部电磁环境效应试

收稿日期: 2011-10-19

作者简介: 李超(1984—),男,湖南湘潭人,硕士,助理工程师,主要研究方向为电磁兼容、电磁环境效应。

验能力<sup>[6-7]</sup>。美国海军航空作战中心和海上作战中心具备完成所有电磁环境效应要素试验、评估的设施和能力,其E3实验室建设具有典型代表性,分别介绍如下。

## 1 美国海军航空作战中心

美国海军航空作战中心在美国马里兰州帕图克森特河旁建立了具备完成 MIL-STD-464A 要求的试验设施,组成一个试验设施群如图 1 所示。主要从事 E3 研究、开发、试验和评估工作,包括 E3 工程分析、试验计划与实施、电磁干扰故障诊断、推荐切实可行的解决方法以及研究与改进试验技术等。其规模最大的电波暗室体积为:55 m × 55 m × 18 m,可容纳波音 707 型飞机进行整机试验;混响室的测试频率为 20 Hz ~ 40 GHz,产生的辐射场强高达 1 000 V/m;实验室开阔,利用可移动的电磁辐射设施,功率放大器包括可移动的 200 W 行波管放大器、1 ~ 34.8 GHz 磁控管发射机,能产生满足外部电磁环境要求的高强度射频辐射场,频率覆盖通信、雷达频段,并具备用于监测火工品感应电流的感应探头及光电转换器,除能对飞机、导弹等进行电磁环境模拟外,还能进行电磁易损性分析,确认武器系统在整个任务周期的安全性、可靠性。此外还能完成飞机等系统的雷电、静电、电磁脉冲模拟试验及信息泄露的测试等。其大型系统综合实验室,可为飞机等系统开展 E3 试验提供空战射频环境及 E3 评估手段。图 2 为飞机系统的试验情况,图 3 为飞机全机在电波暗室中进行测试,图 4 为对飞机进行电磁脉冲试验。

## 2 海军海上作战中心达尔格伦分部

海军海上作战中心达尔格伦分部(NSWCDD)是为海军水面舰艇提供 E3 研究、发展、测试和评估的首席实验室,它能提供专业知识和领导机构以保证海军及其联合作战系统暴露于电磁环境的安全性、可靠性和作战性能。NSWCDD 进行多元化程序使用一个系统的工程方法,以达到打击群、平台/系统、子系统/设备的电磁兼容性。NSWCDD 能承担 E3 所有方面的研究,包括开发新的技术和分析工具、需求定



图 1 美国海军航空作战中心 E3 实验设施群

Fig. 1 The E3 experimental facilities group of Naval Air Warfare Center



图 2 美国海军航空作战中心 E3 实验室飞机系统试验

Fig. 2 The E3 test laboratory of aircraft system of Naval Air Warfare Center



图 3 全机电波暗室测试设施

Fig. 3 Anechoic chamber test facilities of all mechatronics

义、平台和系统采集的支持、性能测试与验证的证明、频谱管理、舰队要求、电磁干扰缓解、解决舰队电磁干扰问题。NSWCDD 能够进行船上和岸上电磁辐射对军械危害的测试,船上电磁辐射对人员危害的测试和电磁干扰测试,船上全面的电磁兼容性测试以及系统和船舶测试和验证证明。NSWCDD 进行 E3 评估的设施讨论如下。



图4 飞机电磁脉冲试验

Fig. 4 Electromagnetic pulse test of aircraft

## 2.1 接地平板

NSWCDD 保持各种接地平板提供模拟的船舶甲板环境进行高功率电磁易损性测试和电磁辐射对军械危害的测试。发射机提供充分的功率和频率以模拟电磁环境的任务,也可在客户所在地产生。支持仪器提供完善的设施,最先进的遥测数据的收集和还原能力。NSWCDD 有 2 个独特的接地平面设施,能够评估海军及联合战术武器电引爆装置(EIDs)、飞机/子系统/设备电磁环境的效能。能够测试飞机、导弹、枪架及火力控制系统,以评估其在友好或敌对行动电磁环境中的性能,也可以评估确定其在操作服务中的使用。这些地面设施提供一个模拟的船舶、气象、飞行甲板环境,以进行高功率电磁易损性测试和电磁辐射对军械的危害的测试。发射器提供的功率和频率能模拟各种任务的电磁环境。如果敏感性发生,入口点、阈值的敏感性和解决方案就会被确定。这些设施提供完成电磁评估范围广泛的服务条件,移动雷达、无线电发报机和适合天线的特别发射器在接地平板边缘的周围模拟船舶 EME。该发射设备工作在 2 ~ 35 000 MHz 频率范围内,功率从 15 kW 的水平连续波到 3 MW 的脉冲功率。测试也可以使用全方位功率和频率的拖车设备在客户设施模拟任务 EME。

此外,在 NSWCDD 的电磁易损性实验室,提供遥测采集,数据减少和接地平板、电波暗室、混响室分析。考虑到无电磁干扰的数据集合,个体测试站点通过先进的光纤数据链连接到实验室。

## 2.2 电波暗室

这一设施,尺寸为 18.28 m × 8.53 m × 8.23 m,为

大部分系统进行高功率的电磁易损性测试和评估提供了一个可控制、自由反射的环境。电波暗室是一个屏蔽室,导弹和其他测试项目沉浸在一个模拟运行的(敌对和友好)EME 中。它提供了一个完整的威胁程度的测试房间,能够在预期的从 150 ~ 60 000 MHz 的 EME 下评估电子和武器系统。

## 2.3 混响室

混响室为系统敏感性和屏蔽效能的测试提供专业化的混响条件。NSWCDD 开发的混响室提供了一种节省时间和成本的方式,用屏蔽室来评估大型设备的性能,在这个屏蔽室中可以安全地产生高场强,用于在模拟“现实世界中”,近场电磁环境下进行 E3 的测试。混响室是用来进行外壳、平面材料、垫圈、电缆组件(包括相关的连接电缆和其他屏蔽材料)的屏蔽有效性的测试、耦合测试、辐射发射测试、HERO 测量、系统、子系统和组件的电磁易损性测试。在这个设施中,放大器将 100 ~ 18 000 MHz 的扫描或分立连续波信号传送到混响室。来自接地平板的大功率谐振腔和磁电管能够放置在毗邻建筑物,功率可以进入到混响室。

## 2.4 海军军械瞬态电磁模拟器

此模拟器创建了一个类似地球表面高空核爆炸产生的电磁脉冲环境。该设施提供了一个具有威胁能力的 HEMP 来评估对电磁脉冲有生存能力要求的海军武器和其他系统的敏感性,验证系统的电磁兼容性,并进行电磁脉冲加固评估。该设施具备模拟 HEMP 和 50 kV/m 峰值电场的的能力,可满足 MIL-STD-461 和 464 非机密的电磁脉冲威胁,并能满足 MIL-STD-2169 的主要要求。该设施也可以通过高达 200 kV/m 场强的测试来提供开发或设计的支持和设计验证。

## 2.5 电磁耦合分析工具包

NSWCDD 提供计算电磁方面的业务,能够进行岸上和舰载系统的复杂电磁分析。电磁建模工具包用于模拟任意工作在 2 MHz ~ 300 GHz 的无线电和光学频率范围的岸基和舰基天线。

这些工具包还用于预测电磁耦合、电磁干扰、“源”与“受害者”天线系统之间的兼容性和预测电磁

功率密度集,为评估人员、弹药和燃料的辐射危害提供支持。NSWCDD为水面舰艇频谱管理开发了水上电磁频谱工作计划,该工具包用于开发频率分配以实现电磁兼容。

### 2.6 直流磁场产生设施

直流磁场试验设施的目的是评估 MIL-STD - 1399,它模拟船上消磁/退磁环境。可产生一个20奥斯特,变化率为20奥斯特/秒的测试环境。

## 3 美军E3实验室建设的特点及启示

通过对2个具有代表性E3实验室的介绍,初步分析了美军E3实验室建设,它具有以下特点:

1) 美军的E3实验室一般具备航母及舰载机等复杂武器系统平台的测试、评估和验证能力;

2) 美军的E3实验室建设都是配套成系统的综合性实验室,试验设施规模大、配套完整、综合性强,E3试验只是很多试验环节中的一项;

3) 美军E3实验室试验能力强,能充分模拟仿真作战环境,这为美军充分实现装备战斗力提供了保障。

4) 美军E3实验室建设注重交通便利(NSWC的E3实验室就在一座大桥附近)、居住舒适、人文教育(学校、图书馆等配套设施完善)等方面;

5) 美军E3实验室在其建设之前、使用之中、扩展之前都需要进行环境影响评估,其中包括了自身辐射对环境的影响、气候对其实验室的影响、对生物的影响等,并根据环境影响评估报告划分了其各实

验场地区域。

结合我国实际情况及需求,美军E3实验室建设特点对我国相关实验室建设的启示如下:

1) 实验室必须具备系统级测试、评估和验证的能力,因此实验室建设必须配套成系统,保证综合实验能力强;

2) 实验室建设选址要注重交通便利性、居住舒适性、人文教育性等方面;

3) 实验室建设应考虑环境影响评估。

### 参考文献:

[1] 刘尚合,武占成,张希军. 电磁环境效应及其发展趋势[J]. 国防科技,2008, 29(1):1—6.

[2] MIL-HDBK-237D, Electromagnetic Environmental Effects [S].

[3] DoDD 3222.3, Defense (DoD) Joint Electromagnetic Environmental Effects (E3) Program[S].

[4] MEMO E, Policy on Operational Test and Evaluation of Electromagnetic Environmental Effects and Spectrum Management[S].

[5] NAVAIR INST 2450.2, Electromagnetic Environmental Effects (E3) Control Within The Naval Air Systems Command [S].

[6] OPNAVINST 2400.20F, Electromagnetic Environmental Effects (E3) and Spectrum Supportability Policy and Procedures[S].

[7] MIL-HDBK-235, Electromagnetic (Radiated) Environment Considerations for Design and Procurement of Electrical and Electronic Equipment, Subsystems and Systems[S].

(上接第37页)

差,必须采取平均加速系数以减小误差,而贝瑟洛特法通过对不同温度点下的数据进行最小二乘拟合,可以较好地降低误差,结果更为可靠。推荐贝瑟洛特法作为固体云爆剂的贮存寿命预测方法,若使用单一加速温度对该型固体云爆剂进行贮存寿命预估时,推荐采用75℃。

### 参考文献:

[1] 何中其,侯建华,朱长江,等. 长期贮存后导爆管的性能

检测与分析[J]. 爆破器材,2005,34(3):10—12.

[2] 肖忠良,胡双启,吴晓青,等. 火炸药的安全与环保技术[M]. 北京:北京理工大学出版社,2006.

[3] 刘子如. 含能材料热分析[M]. 北京:国防工业出版社,2008.

[4] WJ/Z 222—1988,火药安全贮存寿命预测试验-热加速老化法[S].

[5] GJB 736.8—1990,火工品试验方法 71℃试验法[S].