

某型舰 EMC 设计研究工作的回顾与思考*

齐 平

周开基 赵 刚

(中国舰船研究院型号工程部 北京 100085) (电磁兼容性国防科技重点实验室 武昌 430064)

摘要

本文从 EMC 设计研究、EMC 工程管理方面回顾了某舰的 EMC 实践,并结合我国舰船 EMC 与国外的差距,提出了如何提高我国舰船 EMC 的建议。

关键词 电磁兼容性(EMC) 设计研究 工程管理

1 引言

本文介绍的某型舰,是迄今我国海军现代化程度最高的水面舰艇。它装备了众多电子设备,技术上的先进性也堪称我国海军之最。诸多情况表明,该型舰有良好的战技性能,在电磁兼容性上也达到了良好的水平。可以说,它标志我国水面舰艇电磁兼容性(EMC)水平上了一个新的台阶。

2 某型舰 EMC 设计研究工作

我国第一代自行设计的水面舰艇,由于研制中没有系统、全面地进行 EMC 设计,首舰暴露出严重的电磁干扰问题。作为我国第二代自行设计的某型水面舰艇,其论证、立项始于八十年代初期,当时对日趋严重的 EMC 工作已开始得到重视,但该舰 EMC 如何搞?需做哪些工作,我们一直在探索中。回顾十多年来我们在该舰中的 EMC 设计研究工作,主要有以下几个方面:

2.1 抓住全舰 EMC 的关键——进行船模试验优化天线布置

为了解决通信天线最佳布置,该型首舰、2 号舰均进行了缩尺船模试验,通过多方案多付天线的方向图、输入阻抗、天线耦合度的测试,实现了天线布置的相对优化,实船试验证明,经过船模试验确定的通信天线布置方案,没有产生通信系统内的不兼容问题。

2.2 短波天线大功率发射是全舰电磁辐射危害的重点——及早进行预测

某舰短波宽带发射天线采用桅杆天线形式,将桅杆作为天线辐射系统的组成部分。由于天线辐射功率大,导弹离天线很近,从舰总体来看,需要在技术设计阶段就预估出天线的近场分布,以判定是否对导弹电引爆装置构成威胁。我们采用了两种预测方法,一种是线栅模型矩量法,一种是船模法。在前者中我们将天线(含桅杆)共分为 198 小段构成的线栅模型,计算出的近场分布与船模法测试数据接近,桅杆天线近场预测数据与实船测试结果一致,最大差值小于规定值。

2.3 提高数字信号传输系统的抗干扰性能

* 收稿日期:1998 年 7 月 5 日

——首次研制单点接地系统

某舰作战系统诸多传感器及系统的控制、指挥单元都是以数字信号传至指控系统计算机,传输线路延伸100米以上,低电平数字信号如何不受地电位变化的影响从一开始受到总师的重视,经过试验,某舰首次研制了舰载作战系统数字信号接地系统,确保了低电平数字信号有独立的接地装置,不受舰上地电位变化的干扰,大大降低了误码率。该舰研制的数字信号接地系统后来应用到其他多型新研制的舰艇上。

2.4 机——舰 EMC 问题不可忽视

某舰装有直升机,对飞机上舰带来的EMC问题我们在两个方面采取了措施。一是机——舰电子设备的EMC,对直升机着舰时机上和舰上需同时工作的电子设备是否存在EMI进行了数模预测分析,一是研制直升机着舰时的快速接地装置,用于机上设备的安全接地和静电放电。

2.5 反复试验,确保灵敏接收机抗射频烧毁

某舰电子战的侦察接收机是一台高灵敏度宽频带接收机,由于总体的需要,它与对空搜索雷达均放置在前桅顶部,为了解决好大功率的搜索雷达的发射功率不致烧毁接收机的混频器件,在总体方案初步确定后就进行实验室模拟试验,发现在该布置下接收机输入端的能量超过混频器的毁损电平,经过多方案试验,在采取了挡板措施后解决了接收机的抗射频烧毁问题。同时挡板也不致对侦察接收机的测向精度产生不允许的影响。

2.6 确保关键舱室的 EMC——研制预测分析软件

通过“八五”预研课题《系统内EMI数模预测与分析研究》,对系统内五种主要干扰耦合途径:线间耦合、场——线耦合(差模、共模)、共地阻抗耦合、共电网阻抗耦合、机柜泄漏,完成了建模和编程,在某舰中,针对121台装舰设备EMC检测中出现的超标情况,研制了关键舱室EMC预测软件,以设备EMC检测数据为计算的输入数据,定量预测

与分析了检测中超标项目对系统EMC的影响,此软件也可在一定范围内完成标准剪裁的功能。

2.7 全面分析,找出技术难点——落实科研课题和攻关项目

某型首舰开展了七项EMC科研课题研究,2号舰开展了四项EMC科研课题研究,这些课题均已圆满完成,对某舰EMC的提高起到了很好的作用。另外,由于首舰卫通和海虎雷达不能兼容工作,由总师办牵头组织技术攻关,通过收发两端采取电磁干扰抑制措施后圆满解决。2号舰沿用此成果,卫通和雷达实现了兼容工作,这项成果也应用到其他舰艇。

2.8 重视系统 EMC——创造条件进行系统 EMC 检测

国军标GJB1389《系统电磁兼容性要求》是92年颁布的,由于没有关于具体测试方法的配套标准及相应的测试设备,船总部门至今未正式实施。国外经验表明:满足设备级EMC标准的设备组成系统后仍可能出现EMC问题。因此,贯彻系统EMC标准是同样重要的。某舰除对121台套设备按GJB151检测外,在作战系统、通信系统陆上联调时,在总师办的安排下进行了系统EMC摸底试验,使这两个重要系统在装舰前作到心中有数,也为以后在舰船上贯彻GJB1389积累了经验。

3 某舰 EMC 工程管理工作

3.1 组织落实,建立电磁兼容管理体系

在84年该舰开始技术设计时,就任命了电磁兼容系统主任设计师,各系统和设备研制单位设立了专职或兼职的电磁兼容主管设计师,总师办公室也有专人分管电磁兼容。建立这种从总体到设备的电磁兼容管理体系极大地促进了全舰电磁兼容各项措施的贯彻与落实,是一种十分有成效的作法,因此,以后的海军各型舰艇研制也都沿用这一作法。

3.2 明确内容, 编制全舰电磁兼容性设计要求

84 年由该舰总师亲自主持, 由电磁兼容性正副主任设计师执笔, 编制了《某舰电磁兼容性要求》, 它包括的内容与国外惯称的“电磁兼容大纲”的内容相同。此《要求》在征求各系统、设备研制单位的意见并修改后, 上报领导机关批准, 然后下发至各设备研制单位, 作为全舰电磁兼容性统一规定的基本文件。在舰艇研制阶段编制全舰艇统一的电磁兼容要求的作法在我国海军中尚属首次, 事实证明这样作是十分必要的, 后来其他舰艇研制也都采用这种作法。

3.3 加大力度, 落实国军标 GJB151/152—86 的贯彻

我国编制的国军标 GJB151/152—86《军用设备、分系统的电磁发射和电磁敏感性要求/测试方法》在 86 年颁布后, 由于测试设备尚不齐备, 设备研制之初该标准尚未颁布, 所以某首舰只是按 GJB151/152 对部分设备作了摸底测试。从 92 年开始, 为对该型舰上舰设备 EMC 情况作全面的摸底, 我们与电子部四所、海军规范室一起, 对上舰 121 台(套)设备严格按照 GJB151/152 进行检测, 针对不同设备分别作 4~13 个项目的测试。测试结果表明: RE01 项超标台数、RE02 项超标台数、CE02 项超标台数、CE01 项超标台数、其余项目超标均有一定比例。设备研制单位针对检测中的超标项目采取措施, 改进其电磁兼容性。

3.4 抓培训, 提高工程技术人员的 EMC 意识与能力

为配合开展 121 台设备的电磁兼容检测, 由总师办组织, 92 年在上海、北京、南京、武汉举办了四期学习班, 由海军规范室、电子部 4 所和船总 701 所从事 EMC 检测的专家担任授课老师。另外, 造船工程学会电子技术学委员会 EMC 学组在 91~97 年间的各次学术交流会上, 也都结合该舰及其他型号舰艇的 EMC 问题进行研讨。这些活动增强了各

个系统、设备研制单位设计人员的 EMC 意识和能力, 对某舰 EMC 的提高发挥了很好的作用。

4 我国舰船 EMC 与国外的差距

从我国海军第一代自行设计的水面舰艇在 70 年代初研制成功, 到第二代自行设计的水面舰艇问世, 20 多年来我国舰船 EMC 经历了从无到有的发展过程, 增加了电子战、综合通信、卫通、GPS、直升机、对空导弹等现代化装备, 由单机单控发展为以指控系统为中心的全舰现代化的作战系统, 从 EMC 角度来看, 舰的电磁环境更加复杂恶劣, 天线更密集, 高灵敏度接收机数量更多, 但经过两年来的使用, 运行正常, 没有出现 EMI 问题, 这充分说明了我国舰船 EMC 水平在这 20 多年中有了质的飞跃, 与国外先进水平的差距正逐步缩小。总体上看, 我国舰船 EMC 技术已步入世界先进国家的行列, 但与最先进的国家相比仍有较大差距, 这可从以下六个方面来看。

4.1 总体和系统 EMC 预测与分析

舰船研制周期长, 因此 EMC 的预测更为必要。我国舰船 EMC 预测技术在 80 年代初起步, 比美国要晚 10 多年。目前我们已在舰船电磁环境预测、天线布置性能预测、系统内和系统间 EMI 预测、频谱管理与利用等方面建立了大量的模型并编制了软件, 10 年前我们就开始利用这些软件来预测和分析舰船 EMC 的各种问题, 并通过实船试验不断修正和完善, 目前的问题是预测的精度还不能完全满足工程应用的需要, 这也是与国外先进水平的主要差距所在。据资料报道, 美海军用于舰船外部通信系统设计的 NEC 矩量法、散射、反射的软件已达到实用的水平, 满足工程上的精度要求。

4.2 电磁兼容数据库

进行系统 EMC 预测与分析, 其输入的

原始数据数量很大,所以国外在开发 EMC 预测分析软件的同时,也投入大量人力物力建立 EMC 数据库。数据库所存数据的准确度直接影响预测分析的精度。美国在 20 多年前就建立了三军通用的 EMC 数据库,我国至今尚未建立通用的 EMC 数据库,我国舰船 EMC 预测分析目前采用实船测试数据、设备检测数据、标准规范界限值作为计算的原始输入数据,由于没有建立数据库,影响预测分析的时间和精度。

4.3 电磁脉冲防护

国军标 GJB151A—97 去年颁布执行,首次列入电子设备防止电磁脉冲危害的两项试验(RS105 和 CS116),由于检测设备国内无产品,需进口,目前各工业部门尚未贯彻此标准,美军标 MIL—STD—461C 在 86 年就列入此项目,有关民标也列入此项目。全舰电磁脉冲加固的标准我国尚未制定,更未开展全舰电磁脉冲模拟试验。美国八十年代已开展全舰电磁脉冲模拟试验,舰船设计中贯彻了电磁脉冲加固工艺措施。

4.4 EMC 工艺

EMC 工艺直接影响舰船 EMI 的控制,国军标对接地、搭接、电缆敷设、屏蔽等都作了详细的规定,船厂在实施这些工艺时也经历了由不重视到逐步重视的过程。在电子设备的 EMI 控制方面,由于国产材料(如导电密封衬垫、导电填料等)缺乏,进口材料昂贵,因此设备的 EMC 工艺有待加强和落实,这是 EMC 的基础工作,应引起重视,增加投入。美国 Technology Forecasters 公司在 1997 年就 EMI 金属屏蔽装置和材料的市场需求进行了调查研究,据发表的报告,估计全世界电子工业用于查找和解决 EMI 问题的总开支约 140 亿美元,占电子工业总收入的 1.5%。美国在 EMI 控制材料上的市场销售额在 5 亿美元以上,年增长率约 10%。我国目前还远达不到这个水平。实际上 EMC 的投入在效费比上一般来说是较高的,尤其是设计阶段的投入效费比更高。

4.5 贯彻 EMC 标准

舰船 EMC 必须在设备和系统两个层次上把好关,在设备层次上从九十年代初,我国海军舰艇已贯彻 GJB151。此标准等效采用美军标 MIL—STD—461B。从文献^[7]可知,作为美国海军 90 年代的最新水面舰艇,并被列为美海军 2000 年后跨世纪的驱逐舰主力的 DDG51 级驱逐舰,在贯彻 MIL—STD—461《军用电子设备、分系统的电磁兼容性要求》中的情况与某型舰在贯彻国军标 GJB151(等效采用 MIL—STD—461)中的情况是十分相似的。DDG51 舰对 153 种电子、电气设备检测 EMC 的结果,几乎有 50% 的设备不同程度上超标。也就是说,美国海军在 80 年代末所遇到的问题几乎和我们前几年遇到的一样。在系统层次上,国军标 GJB1389《系统电磁兼容性要求》中对电引爆武器规定了 20dB 的安全裕度,对重要的设备规定了 6dB 的安全裕度要求,但目前并未严格贯彻实施,也就是说在系统层次上我们与国外还存在一定差距。

4.6 EMC 新概念、新原理、新方法的探索性研究

我国 EMC 技术起步比国外晚 20 多年,加之投入强度也小得多,尽管 20 年来我国 EMC 技术发展很快,但总的看来,我们与国外先进水平的差距还很大,最大的还是在理论研究方面,这方面我们的基础研究还不够深透,不够扎实,不够系统。因此在一些具体工程应用上我们可以较快跟上国外的先进技术,但很少能提出我们自己的解决工程实际的新概念、新原理、新方法。

5 对提高我国舰船 EMC 的思考与建议

5.1 加强总体和系统 EMC 的预测研究

我国舰船 EMC 预测研究已开展近 20 年,目前需要的是:加大人力、物力投入,提高预测精度,使之真正成为满足工程实用的工

具。

5.2 天线布置模型试验是提高舰船 EMC 的重要手段

经过 20 年的实践,701 所在船模法优化天线布置方面积累了丰富的经验,但天线模拟试验场使用年代已久,需要维修。从技术方面,需要加强模型试验数据的综合分析研究,摸清舰总体和通信系统战技指标与模型试验参数的内在联系。

5.3 EMC 仿真技术是未来舰船 EMC 设计的高效方式

面临即将到来的 21 世纪,世界上先进国家在舰艇设计上的一个新的特点是计算机仿真。美国 21 世纪水面舰艇的预想方案 SC—21,其概念设计就是以仿真为基础的模拟全寿期的设计,在计算机里进行全寿期仿真,多方案比较,选出最佳方案。舰船 EMC 仿真设计是全舰仿真设计的一个重要组成部分。我国十多年来在舰船 EMC 计算机预测的研究上已取得了很大进展,实际上已为舰船 EMC 仿真设计的研究打下了良好的基础。

5.4 对新研制上舰的电子设备进行 EMC 检测是非常必要的

控制设备的 EMC 性能是实现全舰良好的 EMC 的基础,因此今后要继续贯彻 GJB151—86,在条件成熟时贯彻 GJB151A—97,对检测中发现的超标项目要坚持整改,不要将问题带到系统中。

5.5 重视电引爆武备安全性检测

因射频辐射在电引爆武备中产生的感应电流导致的误引爆的事故在国外多次发生,据文献^[6]报道,美国航天部门在 64~87 年因火工品失效而引起的事故多达 84 起。因此,国外对电引爆武备安全性能制订了多项标准,我国也在 80 年代制订了类似的标准,但是在标准的贯彻上还有待加强。一些部门对电引爆武备附近的射频辐射场的控制是给予了充分重视,但武备在此电磁环境下是否具备 GJB786《预防电磁场对军械危害的一般要求》中的 20dB 安全裕度要求,并未实行检

测。这主要是因为进行这种检测技术上难度较大。兵器部 213 所及国内一些单位 10 多年来开展了这方面的测试技术研究。701 所十多年来也一直进行这方面的研究,从目前的进展来看,可望在“九五”期间完成样机。

5.6 舰船 EMC 管理系统势在必行

舰船频谱管理系统在美、俄等国海军舰艇上已作为成熟的技术手段发挥了很大的作用。我所和船总的一些单位也一直在开展这方面的研究,但到目前为止尚未形成一型装备设备。最近海军已立项研制此管理系统,它包括硬件和软件的研制。作为单艘舰船的电磁兼容管理系统只解决了本舰的频谱管理问题,对于编队、大战区的 C³I 系统同样也是迫切需要装备频谱管理系统。

5.7 立即着手建立舰船 EMC 数据库

从我国第一代到第二代自行设计的舰艇大量的实船测试数据,九十年代以来贯彻 GJB151 检测的数百台上舰电子设备的测试报告,我们已积累了丰富的舰船电磁环境、设备 EMC、系统 EMC 的测试数据,这些数据对今后进一步提高舰总体和系统 EMC 预测分析的精度、对舰船 EMC 管理系统的运行都是十分必要的。目前,当务之急是建立舰船 EMC 数据库,以便将所积累的宝贵的测试数据充分利用起来。

5.8 充分重视 EMC 基础性研究,探索 EMC 的新概念、新原理、新方法

为了适应下世纪我国新一代舰船的研制需要,尽快缩短我国与国外的差距,首先就要在舰船 EMC 基础研究上下大力气,探索 EMC 的新概念、新原理、新方法。在 EMC 各个领域从机理上研究透彻,才能在工程应用上避免照搬国外的标准和作法,才能摆脱总是跟国外走的状态。比如关于系统 EMC,国军标 GJB1389—92 是 92 年等效采用美军标 MIL—STD—6051D,后来美军标又发展为 MIL—STD—1818,我们的国军标还未来得及跟上,现在美军标又出现 MIL—STD—464(97 年发布),作了大的改动。跟踪国外先

进技术是一条多快好省的路,但不等于我们可以偷懒,可以少开展基础研究。

5.9 设计师系统是舰船 EMC 工程的组织保障

型号工程设立 EMC 主任设计师,各设备研制单位设 EMC 主管设计师的作法从组织上落实了 EMC 人力投入,某舰的实践证明了这种作法的必要性,今后可进一步完善,在工程总师办领导下,在研制全过程中充分发挥作用。

5.10 制定型号工程 EMC 设计要求是一种好的措施

某舰采用这一作法效果很好,今后继续这一作法是必要的。需要注意的是在采用标准和规范时,要根据本工程的实际需要进行合理的剪裁,避免全部照搬标准带来的过设计或欠设计。

5.11 进一步增强 EMC 意识,落实 EMC 的投入

回顾某舰 EMC 的实践,充分说明了 EMC 意识的重要性,我国三军中海军是较早认识到 EMC 的重要性的,我国第一代自行设计的水面舰艇暴露的诸多 EMC 问题使海军、船总和七院下决心筹建 EMC 实验室,这是在 1973 年,当时国内各工业部门可能还未认识到 EMC 的严重性,因此 701 所 EMC 实验室也是在国内较早建立的 EMC 实验室之一。20 年后,也是由于海军、船总的重视,支持该室上升为国防科技重点实验室。在本文第二节列举的某舰各项 EMC 工作也都是海军、船总、七院的大力支持的结果。以后船总

又对 701 所 EMC 室投入了大量的建设经费。船总、七院的行政和技术指挥线对 EMC 十分重视,七院下属的研究所中,除 701 所外,还有 7 个所已配备了 EMC 测试仪表,建造了屏蔽室,形成了 EMC 专业队伍。应该说,通过该舰及其他舰艇研制,七院各所设计人员的 EMC 意识普遍增强,这对提高装舰设备 EMC 是最有力的保证。随着电子技术的不断发展,舰船 EMC 愈来愈复杂,因此总体和设备设计人员还要不断提高 EMC 设计水平,在测试设备的更新完善、研究课题上还需要落实必要的经费投入。

参考文献

- [1] 于瀛 “21 世纪海军舰艇的新特征”
《现代舰船》1998 年第 4 期
- [2] “某首舰电磁兼容课题研究报告” 1992
年 《内部资料》
- [3] “某首舰 EMC 系泊、航行试验报告”
《内部资料》
- [4] “某号舰 EMC 系泊、航行试验报告”
《内部资料》
- [5] “Market Assessment and Strategic Options for Metal EMI/RFI Shielding Devices”, Technology Forecasters, Inc. 1997
- [6] 李锦荣《电火工品电磁敏感性测试技术研究》
- [7] “DDG51 级舰上电子设备电磁干扰合格鉴定” 《美国海军 DDG51 级宙斯盾防空导弹驱逐舰资料集》 第 5 分册
- [8] 依·劳·洁尔《舰船电磁兼容性》1992
年,701 所译

知识经济——当前世界经济的最新特点和发展趋势

- 知识在现代经济中是比原材料、资本、劳动力、汇率更重要的经济因素与首要财富;
- 知识经济使无形资产受到高度重视,高技术产业迅猛发展,传统产业的高技术成分日

益增加;

- 教育领先乃立国之举,“终身教育是知识经济的成功之本”。

射 频 和 天 线 设 计 培 训 课 程 推 荐

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，致力并专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；我们于 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。

易迪拓培训推荐课程列表：<http://www.edatop.com/peixun/tuijian/>



射频工程师养成培训课程套装

该套装精选了射频专业基础培训课程、射频仿真设计培训课程和射频电路测量培训课程三个类别共 30 门视频培训课程和 3 本图书教材；旨在引领学员全面学习一个射频工程师需要熟悉、理解和掌握的专业知识和研发设计能力。通过套装的学习，能够让学员完全达到和胜任一个合格的射频工程师的要求…

课程网址：<http://www.edatop.com/peixun/rfe/110.html>

手机天线设计培训视频课程

该套课程全面讲授了当前手机天线相关设计技术，内容涵盖了早期的外置螺旋手机天线设计，最常用的几种手机内置天线类型——如 monopole 天线、PIFA 天线、Loop 天线和 FICA 天线的设计，以及当前高端智能手机中较常用的金属边框和全金属外壳手机天线的设计，通过该套课程的学习，可以帮助您快速、全面、系统地学习、了解和掌握各种类型的手机天线设计，以及天线及其匹配电路的设计和调试…

课程网址：<http://www.edatop.com/peixun/antenna/133.html>



WiFi 和蓝牙天线设计培训课程

该套课程是李明洋老师应邀给惠普 (HP) 公司工程师讲授的 3 天员工内训课程录像，课程内容是李明洋老师十多年工作经验积累和总结，主要讲解了 WiFi 天线设计、HFSS 天线设计软件的使用，匹配电路设计调试、矢量网络分析仪的使用操作、WiFi 射频电路和 PCB Layout 知识，以及 EMC 问题的分析解决思路等内容。对于正在从事射频设计和天线设计领域工作的您，绝对值得拥有和学习！…

课程网址：<http://www.edatop.com/peixun/antenna/134.html>

CST 学习培训课程套装

该培训套装由易迪拓培训联合微波 EDA 网共同推出，是最全面、系统、专业的 CST 微波工作室培训课程套装，所有课程都由经验丰富的专家授课，视频教学，可以帮助您从零开始，全面系统地学习 CST 微波工作的各项功能及其在微波射频、天线设计等领域的设计应用。且购买该套装，还可超值赠送 3 个月免费学习答疑…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/24.html>



HFSS 学习培训课程套装

该套课程套装包含了本站全部 HFSS 培训课程，是迄今国内最全面、最专业的 HFSS 培训教程套装，可以帮助您从零开始，全面深入学习 HFSS 的各项功能和在多个方面的工程应用。购买套装，更可超值赠送 3 个月免费学习答疑，随时解答您学习过程中遇到的棘手问题，让您的 HFSS 学习更加轻松顺畅…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/11.html>

ADS 学习培训课程套装

该套装是迄今国内最全面、最权威的 ADS 培训教程，共包含 10 门 ADS 学习培训课程。课程是由具有多年 ADS 使用经验的微波射频与通信系统设计领域资深专家讲解，并多结合设计实例，由浅入深、详细而又全面地讲解了 ADS 在微波射频电路设计、通信系统设计和电磁仿真设计方面的内容。能让您在最短的时间内学会使用 ADS，迅速提升个人技术能力，把 ADS 真正应用到实际研发工作中去，成为 ADS 设计专家…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/ads/13.html>



我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验，
- ※ 一直致力并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
- ※ 经验丰富的一线资深工程师讲授，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>