

开展学术交流 推动试验与测试、预测与故障诊断技术的发展

为进一步推进自动化测试、先进总线技术及故障诊断技术在航天、航空、兵器、船舶、核工业、电子及国防军事装备和工业领域的发展和应用,中国计算机自动测量与控制技术协会、国防科技工业自动化测试技术研究应用中心、北京航天测控技术有限公司、中国安捷伦科技有限公司、高速交通工具智能诊断与健康管



中国计算机自动测量与控制技术协会副理事长、哈尔滨工业大学电气工程及自动化学院院长
彭喜元教授作大会总结

理北京市重点实验室、《计算机测量与控制》杂志社联合举办“2013年第二十二届测试与故障诊断技术研讨会”。会议宗旨是跟踪和探讨国内外测试技术的新理论、新发展、新成果、新应用,提升自动化测控技术、试验技术的能力建设,促进军工试验与测试技术的发展和

创新。本届论坛以先进的测试、诊断与故障预测技术为研讨主题,多位报告专家内容丰富,报告精彩,提出了技术路线、观点和建议,有些技术观点具有导向性和前瞻性,使与会代表收获了知识,开阔了视野。专家报告总结如下:

随着装备探测反探测、隐身反隐身、识别反识别技术的对抗发展,目标电磁散射特性研究始终是一个热点,得到越来越多的关注。航天科工二院207所科技委主任肖志河研究员介绍了目标电磁特性试验测试体系和测试方法,综合评述了电磁散射测量技术的研究进展,提出了低散射诊断试验测试技术途径,分析展望了未来发展趋势,一是向多波段、多极化、更宽的带宽方向发展。由于在很多高性能测试场中测试系统的频谱范围已经十分宽阔,相应的电磁散射特性测试技术必然会向更多的波段,更宽的带宽发展。目前散射特性测试已经覆盖了0.1GHz-2000GHz的频带范围;二是外场场地大型化,单站向双站和多站测试发展。由于低可探技术的发展,武器系统已经不再是全金属或者以金属为主的外表了。战斗飞机的结构材料已经采用了大量的结构性复合材料,既能降低可探性,又可以减轻装备重量。为了得到其雷达特征信息,必然需要测试外场场地向大型化,向双站和多站测试发展;三是室内测试系统、近场扫描测试系统日益先进、完善。室内测试系统的不断完善和改进,测试频段日益丰富,测量精度不断提高,对各类目标的适应性逐渐增强。基于近远场传递关系的近场扫描测试极大的提高了测试的操作性,能更好的满足大型、新型装备的现场、实时评估测试需要;四是测试技术向规范化方向发展。长期的发展使之形成了统一标准的测试规范文件和测试场地的认证系统,有利于测试技术的规范化,也有利于目标特



报告专家:航天科工二院207所研究员、科技委主任
肖志河

征数据的交流和应用,推动测试技术的发展。这对于我们进一步开展目标电磁散射特性测试具有一定的指导作用。

虚拟实验技术是贯穿军工产品全生命周期的核心技术之一,是目前舰船红外隐身试验测试领域研究的重点。“十一五”期间,我国开展了舰船红外隐身虚拟试验技术的研究工作,开发了舰船红外虚拟实验平台,可实现舰船红外特征数据的产生、获取、分析和评价。该技术弥补了实船实验的不足,在设计阶段就可以进行性能试验和评价工作,发现和改正设计缺陷。目前,舰船红外隐身虚拟试验技术的理念和方法已经得到应用,并取得了一些重要的应用成果。



报告专家:中国船舶工业系统工程研究院隐身系统研究所研究员、副所长徐杲

中国船舶工业系统工程研究院隐身系统研究所副所长徐杲研究员结合国外最新技术发展的趋势,提出了以虚拟试验技术为核心的舰船红外隐身虚拟试验体系结构,促进我国舰船红外隐身虚拟试验朝着规范化、集成化和体系化的方向发展,该体系的建立不仅可实现舰船自身特征的虚拟试验,还能够实现对战场环境下不同对抗措施的作战效能进行获取和评价。最后从应用与技术结合的角度提出了进一步深化舰船红外隐身虚拟实验验证技术研究的建议。



报告专家：第二炮兵工程大学博士、讲师易昭湘



报告专家：航天测控技术有限公司高级工程师、
部门经理潘国庆



报告专家：航天科工六院601所研究员、所长蒲建军



报告专家：中航工业发展研究中心
研究员张宝珍

软硬件故障诊断是一个极需拓展的领域，由于现有的诊断方法只针对软件故障或硬件故障，不适合于软件与硬件相互作用的复杂故障，建立新的软硬件故障诊断理论和方法很有必要。第二炮兵工程大学易昭湘博士介绍了软硬件故障的基本概念，系统的阐述了软件故障诊断方法，总结了故障诊断的研究进展，指出了软硬件故障诊断极需解决的关键问题，一是缺少通用的软硬件故障建模和分析方法。尽管许多学者已经研究了软件故障和硬件故障存在的相互影响，提出了一些数学模型，但都是以特定的故障为分析目标，通用性不强。这个问题也直接导致了软硬件故障诊断的研究仅限于模块级；二是如何分析软硬件故障机理。对于软硬件故障而言，其故障机理是指软硬件故障的产生和传播过程；三是如何开发出软硬件故障检测工具。尽管已经形成测试、状态监控、代码分析等各种软硬件故障检测方法，但是如何将这方法集成于统一的框架和系统中是一个值得深入探讨的问题。此外，如何将硬件测试和软件测试进行同步，以及硬件监控数据和软件测试数据的匹配也需要深入研究；四是如何实现软硬件故障的定位。现有的故障诊断方法局限于模块级，定位精度极其有限，因此需要研究模块级以下的软硬件交互模型，在此基础上实现软硬件故障的精确定位。对于我们开展软硬件故障诊断提供了思路。

测试性验证与量化评估是一门新兴的科学，国外在20世纪70年代已开展研究，并用于第三代武器装备，它是一项为产品设计定型而进行的验证试验工作。航天测控技术有限公司潘国庆高级工程师论述了测试性验证与量化评估工作的军事需求，给出了测试性验证评估内容、方法以及整个业务过程的工程体系，并分析了关键要求，介绍了基于故障注入方式的测试性验证与量化评估一体化平台和应用，指出了不足和改进思路，在装备设计、研制、生产和使用等各个环节，均存在用于测试性验证试验设计与评估的有用信息。构建基于全寿命周期数据的测试性验证试验优化设计与综合评估的技术框架，研究测试性验证与综合评估的系统解决方案，在实际工程应用中，研究相应理论支持，高效利用这些代价昂贵的试验信息，使在装备投入使用较短的时间内，能对装备的测试性设计水平有一个正确的认识，针对研制阶段、定型阶段和使用阶段的三个过程，做到“分段试验、全面考核、综合评估”。对于我们深入开展测试性验证评估具有借鉴作用。

航天科工六院601所所长蒲建军研究员针对固体火箭发动机试验现场推力测量系统的动态校准问题，开展了发动机动态推力模拟与测试技术研究。基于小容腔快速充压技术，采用转盘控制法与电磁开关法相结合的策略，设计开发了固体火箭发动机推力模拟系统，实现了发动机输出推力曲线的模拟，解决了发动机试验现场推力测量系统动态激励的技术难题。利用该技术可实现推力曲线整体模拟输出，通过测试分析表明，输出推力曲线重复性好，模拟程度高。

该技术填补了国内技术空白，在固体火箭发动机试验校准领域具有重要的应用价值，对于提升固体火箭发动机试验技术水平具有重要意义。同时，该技术在低频力传感器、加速度传感器校准、机械部件动态特性分析等领域具有良好的应用前景。

在信息化条件下的高技术战争是体系与体系的对抗，多兵种联合是体系作战的表现。在这种情况下，战场环境变得越来越复杂，武器系统间的相互作用及它们的影响变得越来越难以分割。对信息技术密集的军工复杂大系统（SoS）（亦称武器装备体系）的评估与试验的难度逐渐增加，许多跨平台交互和相关性要求使得传统武器试验与评



报告专家：安捷伦科技公司高级应用工程师、博士董斌



报告专家：中国飞行试验研究院研究员、副总工程师
杨廷梧



报告专家：航天测控技术有限公司高级工程师、
部门经理文博武



报告专家：中国兵器工业59所试验站高级工程师、站长
陈知华

价方式与战场需求的矛盾日益突出，需要新的试验与评价思路和方法途径来反映工作在网络化环境下的复杂大系统的真实性。近年来，美国国防工业界研究提出了复杂大系统的系统工程波模型，为军工复杂大系统在整个寿命周期的系统工程过程中如何开展试验与评价活动提供了一种新思路。中航工业发展研究中心张宝珍研究员介绍了国外军工复杂大系统的内涵、特点，分析了复杂大系统试验与评价面临的挑战，重点研究了美国国防工业协会近年来提出的一种开展复杂大系统试验与评价活动的新思路—系统工程波模型。

安捷伦科技有限公司高级应用工程师董斌博士系统的介绍了阵列相参宽带测试方案有源相控阵雷达、卫星通讯和第五代天线通讯领域的应用，分析了传统以单台信号源、频谱仪或网络仪构建的单入单出测试系统无法满足测试需求，需要组建并行实现多路发射和多路接收的测试系统，根据军工电子发展需求，提出了阵列相参宽度测试方案，以PXI、AXI模拟化平台构建，具有相位测量精度高、通道数多、分析带宽高、体积小，速度快的特点，具有很好的应用价值。

现代飞机越来越复杂，随着航空电子总线在现代军机和民机中的普遍应用，在飞行试验中需要采集和记录的测试参数越来越多。其中航空电子总线数据成为机载采集和记录的主要数据来源，如传统的1553B总线、ARINC总线，与新型航空电子全双工交换以太网（AFDX）、高速光纤通道（FC-AE）、IEEE1394B、C等航空电子总线，以及多路高速高清视频图像流的采集与记录。这些高速率总线与视频数据需要进行100%的采集与记录，这对于传统的以PCM架构为基础的测试系统来说是无法实现的。目前的解决方法是分别研制针对各种总线的专用采集器，但这种方案带来了成本高、使用复杂、通用性差等诸多问题。因此，必须研究新的通用型机载采集与记录系统，以满足飞行试验高速宽带数据通用采集与记录的要求。

为了解决这种特殊需求问题，中国飞行试验研究院副总工程师杨廷梧研究员做了一些新的探讨：重点探讨了物理层与链路层设计、分布时钟设计、多流参数同步采集的实现、多流参数异步采集的实现几个关键技术问题。

通过对国外欧美等国家飞行试验遥测技术发展趋势研究，结合我国飞行试验遥测机载网络化采集记录系统，以满足飞行试验海量参数采集与记录的需要，提出了体系架构以及实现的几个关键技术，目前还处于概念设计阶段，还需要进一步深入开展研究。

健康评估技术是装备故障预测与健康管理的核心（PHM）的核心技术之一。航天测控技术有限公司文博武高级工程师深入分析了国内外健康评估技术的研究现状和发展趋势，在综合国内外研究成果以及本单位研究应用成果的基础上，提出了五层结构的健康评估总体技术框架，分析并提出了健康评估技术应用研究流程及核心环节，并以导弹武器装备以及航天器为典型应用案例，重点介绍了本单位在装备健康评估技术应用研究情况，对于我们深入开展导弹健康状态评估具有重要的参考价值。

目标特性是武器装备最重要的信息之一，国内外对这一技术高度重视，中国兵器工业59所试验站站长陈知华高级工程师在报告中分析了雷达和红外的探测和打击手段，并介绍了针对这两个频段的目标特性测试采用的方法，以获取反目标特性测试数据为依据，构建了目标特性综合隐身效能评估体系，可针对不同目标在不同作战环境下的隐

身效能进行评估,从而为地面武器装备作战效能评估提供支撑。并提出了几方面的发展建议。一是大力建设适应各种武器装备不同需求的测试场地;二是发展针对隐身目标测试的专业测试设备;三是加强测试数据的处理算法研究,特别是隐身效能评估的研究;四是建立测试、评价标准,统一不同测试场地数据;五是开展多波段、动静态结合的隐身测试技术及隐身效能评估方法,以应对快速发展的多模探测技术。



报告专家:中电集团南京14所研究员杜舒明



报告专家:北京理工大学教授宋萍



报告专家:兵器工业203所工程师宋岩峰

随着雷达数字电路的高速化和智能化给数字电路的测试和故障诊断带来了严峻的挑战,传统的数字电路测试方法已不能满足雷达高速电路测试需求。数字电路的测试方法已从基于信号测试转变为基于信息测试。中电集团南京14所杜舒明研究员针对高速数字电路进行测试需求分析,介绍了基于CPCI总线和VPX总线两种高速电路模块的测试系统设计方案,高速信号完整性的测试方法,提出了基于嵌入式测试和边界扫描测试相结合的高速数字电路故障隔离方法,较好的满足了高速数字电路测试的需求。

靶场网络化测试技术能够加快对武器装备的综合、自动、远程测试与故障诊断能力。随着各种新型智能武器及军事装备的研发,国外各军事强国在靶场试验中已引入武器系统评估试验测量的网络化综合测试系统。北京理工大学宋萍教授重点介绍了国外靶场网络化测试技术的发展动态,分析了靶场网络化测试的关键技术,并提出了发展建议。一是在建设数字化网络化靶场的同时,研制符合新型武器要求和靶场测试环境的通用型测试系统;二是将新型通信网络技术,如4G网络、蓝牙、WIFI等技术运用到靶场通信系统中,加大数据传输速度和网络多媒体功能;三是加强靶场网络通信安全,使其能够有效预防网络攻击,保证通信的可靠性;四是加强武器装备一体化测试技术,使其能够对试验场网络内所有测试节点的协同工作进行评估;五是加强靶场复杂电磁干扰环境下的测试能力,使其能够对武器系统在复杂电磁干扰环境下的工作性能进行检测。

在反坦克导弹、航空火箭和末敏弹药等小型战术武器系统的研制和定型试验中,存在着许多瞬态现象和过程,常规的高速摄影(摄像)系统很难有效记录这些瞬态现象和过程,无法满足武器系统的高精度测试要求。兵器工业203所宋岩峰工程师在报告中分别介绍了各个系统的工作原理、特点及性能指标等,分析了各自的优缺点,并给出了实际试验获取的图片。通过试验验证,这三种瞬态(超)高速激光摄影系统有效可靠,能够较好地满足小型战术武器系统的测试瞬态要求。

在闭幕式上中国计算机自动测量与控制技术协会副理事长、哈尔滨工程大学电气工程及自动化学院彭喜元教授做了大会总结,他说:

“来自全国各地从事试验、测试、预测与健康管理和故障诊断技术的专家、教授和科技工作者又一次相聚在一起,交流学术思想、增进交流科研成果,探讨未来发展,对进一步思考、研究和探讨专业技术的

发展具有重要意义,对于落实“十二五”国防科技工业试验测试技术发展规划,开展相关课题立项、研发具有帮助和引领作用。”

“本届研讨会的另一个收获就是结交了一批同行和新朋友,希望代表们会后相互学习,交流信息,促进共同发展。同时,把了解学到的知识理念运用到实际工作中去。”

本届研讨会录用会议论文102篇,这些论文基本反应了一年来在预测与健康管理和试验与测试技术、故障诊断技术领域里的成果和应用,论文质量普遍较好。对于宣传成果、沟通信息、探索合作和未来发展起到了积极推动作用。

通过学术研讨,为进一步提升试验与测试、故障预测与健康管理和健康管理技术在我国普及、发展和应用做出了积极的贡献。(苟永明)