

“云”智慧仪器与“云”智慧测试时代

——数采 DAQ、虚拟仪器 VI 和“实验室网络云时代”

应怀樵

(北京东方振动和噪声技术研究所 北京 100085)

摘要: 本文简要探讨了数采 DAQ 和虚拟仪器 VI、互联网、物联网(传感网)及“云计算”的发展历程与前景,并指出了数采和虚拟仪器的未来发展趋势与互联网、物联网相互促进的关系,随着互联网和云计算时代的到来,数采和虚拟仪器必将进入“实验室网络云时代”,实现云智慧仪器,云式智慧测试时代很快就会到来。文内还指出了 DASP 软件的八项世界性的创新技术,其中包括①软件频率精度比常规 FFT 方法提高 100 万倍,硬件频率精度提高 100 倍,②还实现了超低频的快速测量,只需测 1/4 到 1/10 周期就能精确的确定频率和幅值,③实现了“一入三出”AVD 振动全息测量。期望能尽快推广应用。

关键词: 数采;虚拟仪器;云时代;智慧仪器

“Cloud” Intelligence Instrument and “Cloud” Intelligence Testing Era

—— DAQ, VI and the "network cloud era of the lab "

Ying Huaiqiao

(China Orient Institute of Noise and Vibration Beijing 100085)

Abstract: This paper discussed the development process of DAQ,VI,Internet, the Internet of things (sensor network) and cloud computing. pointed out that with the coming of Internet and cloud computing era, the future development of DAQ , VI,Internet and The Internet of things.DAQ and VI will enter the "network cloud era of the lab ", in the near future, cloud-style intelligence test times will come in the near future. This paper also pointed out the nine important application of innovative technologies in DASP software, including ①software frequency accuracy increase 1million times than the conventional FFT method, hardware frequency accuracy is improved 100-1000 times, ② also achieve fast measurement of ultra-low frequency, can be accurately determined frequency and amplitude just through measure 1 / 4 to 1 / 10 cycles, ③ to achieve the "one input three output" AVD holographic vibration measurement. Hope to promote the application as soon as possible.

Key Words:DAQ;VI;Cloud Era; Intelligence Instrument

1.引言

科学仪器与试验技术走过了模拟式、数字式、智能式三个阶段,从上个世纪八十年代(1983~1986)起,开始出现了第四代仪器,虚拟仪器 VI 时代。虚拟仪器 VI 以数采 DAQ 和 DASP(数据采集与信号处理)软件技术和 PC 机为载体,经过 20 多年发展,目前已经取得了重要进展,VI 已逐渐取代上述三类仪器。从上个世纪六十年代(1964~1969)实验室用“火车拉着走”到上个世纪九十年代(1993 年 INV306 到北美展出)再到现在基本实现了“实验室拎着走”。随着上网小笔记本时代的到来,以及高性能 DAQ 数据采集仪的发展,目前已全面实现了真正的“把实验室拎着走”。

然而,随着互联网的迅速发展,“云计算”和物联网(传感网)的时代开始来临,不久的将来将实现“实验室网上走”,实验室的“云时代”,云智慧测试仪器及云式智慧测试时代就要到来了。VI 仪器框图如图 1 所示:

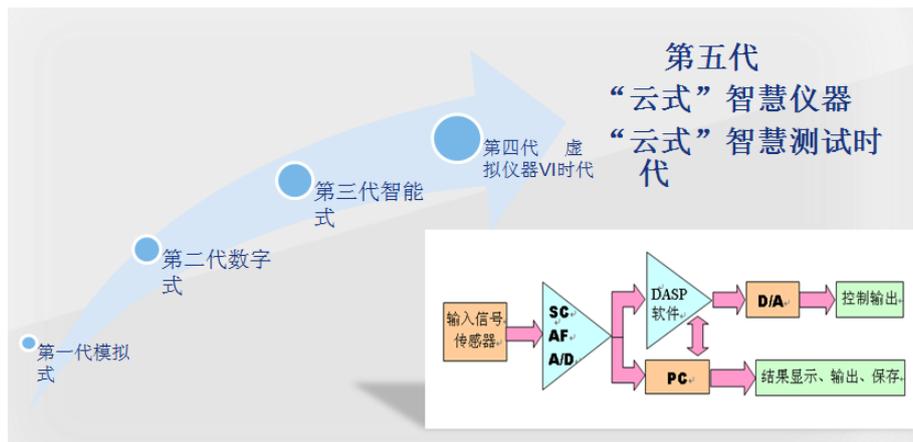


图1 测试仪器的发展和虚拟仪器信号采集处理过程框图

2.高性能数采 DAQ 的研发成功

VI的核心硬件是数据采集器DAQ，目前高性能DAQ如COINV的INV3018C及3018E双核变幅基24位数采仪(如图2所示)，INV-CPCI采集系统(如图3所示)，INV-CPCI高性能数据采集系统为24位A/D(120dB)，双核24位(160dB)相当于31位A/D，这些采集仪都含有高性能的信号调理和高性能的抗混滤波器，滤波陡度已达到-300dB/OCT。国内外的趋势是研发高性能数采及调理一体化的装置。双核和CPCI总线仪器。如图2和图3所示：



图2 INV-3018E 双核 24 位数采仪



图3 INV-CPCI24 位数据采集系统

3.数据采集与信号处理(DASP)、VI库软件技术的快速发展

COINV发展至今，以DASP软件的虚拟仪器库为核心，自主创新，已经取得100多项创新技术，例如变时基、变频基、变幅基、倒熵谱、精熵谱等等。特别是近期以来的VI库软件技术的九项重大突破，如高精度频率计(12-14位十进制)，幅值计(12-14位十进制)……，下面所述的九大世界性难点的技术突破，解决了不少世界性的困难，使虚拟仪器和动态测试分析仪器的性能从国内外一般的低精度的低档测量仪器跃入了高端高精度测量仪器的行列。并增加了许多以前运用常规仪器没有的功能，这是我国对VI技术的重大突出贡献，为国家争得了荣誉。使虚拟仪器VI的前景更加深远和光明。

作者及其团队研制的这一技术已经包含一百多项信号处理新技术，其中二十多项国内首创、国际领先的重大创新成果和重大技术突破。其中包括九项世界性难题的突破如下：

1、基于平台式设计的虚拟仪器库技术，东方所课题组研究开发的DASP虚拟仪器库系统是我国开发最早的虚拟仪器库系统。作者早在1979年就原创性的提出虚拟仪器的核心概念——“软件制造仪器”，这是科学仪器的新概念，是革命性的技术创新，能节省大量硬件、材料，节省人力物力，实现节能减排低碳，还能实现一些硬件实现不了的功能(如超低频和0Hz的积分器)，对科学研究和国民经济有深远影响。1965-1979年，作者在核爆炸地下铁道国防试验中，对振动绝对位移进行测量，通过软件的数字积分和基线修正，取代硬件的模拟积分，测得了0Hz的残余位移，这是“软件制造仪器”这一重要

思想的第一次成功应用（参阅《振动测试和分析》一书 P355 图 7-6），如图 4 所示。1985 年提出“把试验室拎着走”的目标，研制成功中国第一台虚拟仪器，并应用于 1988 年 9 月 16 日杭州钱塘江大桥的火箭激励模态试验取得成功（中央电视台 9 月 17 日新闻联播报道），1993 年随北京新技术展览会到加拿大多伦多展出，获得表扬名单第一名，是功能最完善，技术水平最高，且完全具有自主知识产权的一套虚拟仪器系统，代表了我国在虚拟仪器研发方面的最高水平。

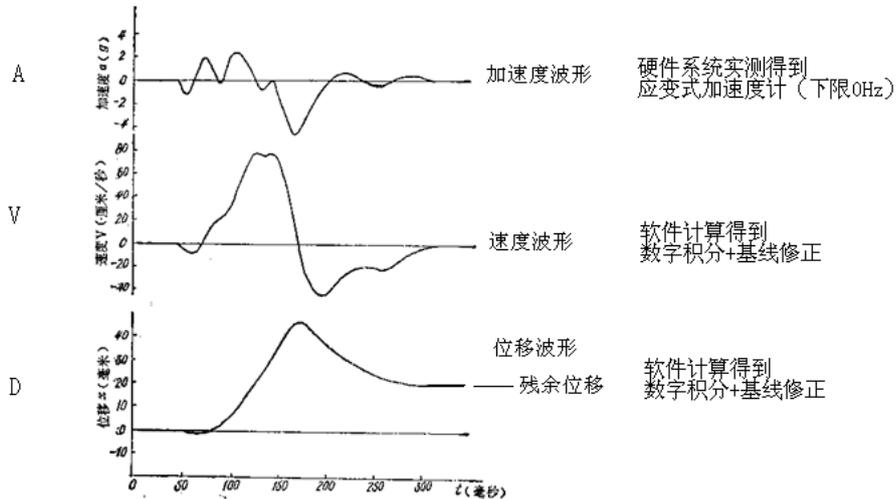


图 4 北京地铁道床核试验振动波形的实测 AVD 变换（1973 年-1979 年，用“软件制造仪器”的探索实践）

虚拟仪器库的思路是设计一个信号测量平台的平台软件和多个仪器功能软件，平台软件负责底层的工作，协调各虚拟仪器软件的性能要求，统一控制硬件资源，完成多个通道的数据采集和数据预处理。在平台软件上可以同时运行多个仪器软件，每个软件共享平台软件采集的信号和预处理结果，并分别完成各自的仪器功能。

2、变时基 (VTB) 传递函数 (导纳) 测量分析方法，变时基技术相对于国内外传统的等时基方法，显著提高瞬态激励测试结果的精度与稳定性，目前，此项技术结合弹性聚能锤，成功解决了大型低频结构锤击模态试验问题，达到国际领先水平，已获国家发明专利。已完成神舟飞船 750 吨移动发射平台模态试验，长 3 捆大型运载火箭模态试验，乌海黄河大桥模态试验，航天员超重训练机模态试验等数十项国家重点项目，取得了非常好的效果。

3、高精度频率、幅值、相位和阻尼测量技术，这是一项国际性难题，是 FFT 方法和虚拟仪器界的拦路虎。该技术突破已使虚拟仪器从一般低精度仪器进入高端科学仪器的行列，具有重大的国际价值，这是值得中国人自豪的创新。

东方所原创的高精度频率计和幅值计方法，在不考虑硬件采集误差的情况下，1024 点数据软件本身的频率与幅值均可达到十进制 12-14 位数字测量精度，已经相当于并可同时替代高端频率计和电压表等硬件设备，目前已经在中国计量院等单位推广使用。而国外如 NI、LMS 和 B&K 等仪器由于使用常规方法，只能达到 5-7 位十进制数字精度，比国内外常规 FFT 方法提高精度 100 万倍，如图 5 (a) 所示，其中图 5 (b) 为东方所的高精度多功能仪，采用了东方所独创的 YLS 时频法，图 5 (c) 为常规 FFT 分析测量结果。从图 5 (b) 和 5 (c) 比较可以看出，对标准信号频率 1234.5678901234Hz 进行测量，图 5 (b) 测得的值几乎是一样的，而图 5 (c) 的常规 FFT 算法，测得的结果为 1230.4688Hz，在第四位就不准确了，两者比较频率提高精度达 10 位（十进制），提高精度 100 万倍。这是采样频率 10KHz 的测量结果，采样点数为 1024 点。而单从硬件看也能提高精度 100 倍，通过 DASP 的硬件校准软件模块，能把国内外仪器的硬件频率精度从 10 进制 5-6 位提高到 7-8 位，这是国际领先的惊人突破。

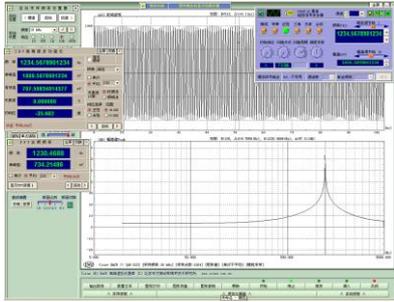


图 5 (a) 高精度幅值频率测量



图 5 (b) 东方所高精度多功能仪

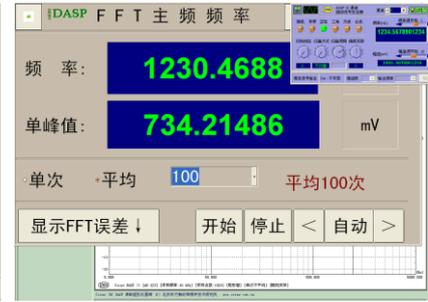


图 5 (c) 普通 FFT 频率计

4、超低频信号快速测量技术，对于超低频信号（0.1Hz~0.00001Hz）的准确测定，尤其对于频率未知的情况，常规测量需要非常长的时间才可以完成。而东方所的方法，则可以实现仅仅测量 1/4 甚至更少周期（1/10 到 1/100 周期）的信号即可获取准确的频率、幅值等参数，使得超低频信号得到快速测量，填补国内外空白。对于 100 秒周期的低频信号测试，仅需 2~3 分钟即可同时得到频率、幅值、失真度、相位和传感器标定灵敏度等参数，比起类似的美国 HP35670 仪器，时间缩短 20 多倍，并且后者还不具备多种参数同时测量的功能，这也是有重大科技和经济价值的国际领先的技术。

5、倒熵谱分析方法，倒谱分析是频谱的再次谱分析，总共具有三种倒熵谱形式，包括：倒富熵(CFE)、倒熵富(CEF)、倒熵熵(CEE)。

通过实际使用，采用倒熵谱分析方法，可大大提高频率分辨率，特别是对短时间序列具有更好的效果，比国外提出的 LPC 法可靠，已得到国内外专家肯定，达到倒谱分析的国际领先水平。

6、FFT/FT 分析方法，FFT 变换虽然大大提高了运算速度，但是频率分辨率受到了一定的限制。对于有限长信号，FFT/FT 则可以进行无限细化。可得到主要频率成分精度很高的频率、幅值和相位。是目前频谱细化的主要方法之一。

7、振动全息 AVD “一入三出”实时测试分析创新技术，长期以来国内外对连续实时数据的微积分一直没有解决办法。

作者课题组创新提出了全程微积分方法。该方法尤其适合于连续采集的时间序列，充分考虑全程波形的特征，有效避免传统微积分的缺陷，使得在长时间连续信号采集过程中，创新虚拟通道技术，可实时得到一二次微积分后的准确波形，实现 AVD “一入三出”振动全息实时动态连续测量，如图 6 所示。此为简支梁在冲击力作用下，用 ICP 加速度计测冲击加速度 A，涡流传感器测梁跨中相对位移，用 AVD 一次积分求速度，二次积分求位移 D 的真实波形。

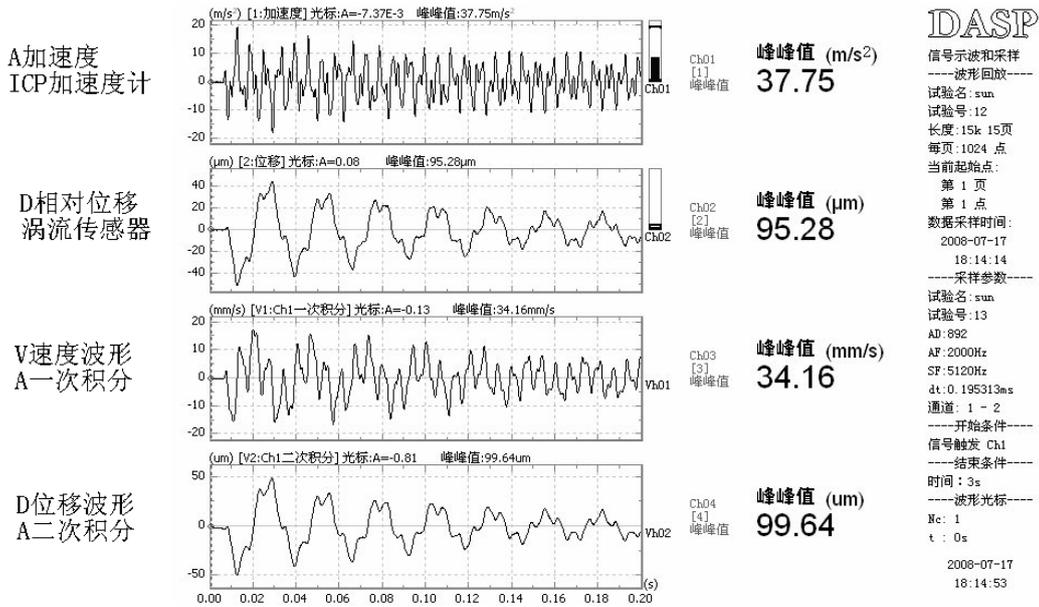


图6 AVD“一入三出”振动全息实时动态连续测量

图中可以看出 AVD“一入三出”测到的位移数值是 $99.64\ \mu\text{m}$ ，而涡流传感器测到的是 $95.28\ \mu\text{m}$ ，两者相差 $4.36\ \mu\text{m}$ ，相对误差为 $(99.64-95.28)/99.64=4.38\%<5\%$ ，两者波形几乎一样。

8、自动化模态分析方法，模态试验和分析由于包含较多的技术内容，通常操作比较复杂，需要操作人员具有相当丰富的理论知识和工程经验，才可以获取较为准确的结果，但是通过自动化模态分析手段，一般工程人员通过简单操作即可获得专家级的模态分析结果。

9、24 位“双核”变幅基 A/D 高精度超量程 160dB 数采仪专门技术。24 位双核采集仪具有 160dB 的超宽量程范围，既保证大信号不会出现过载而导致试验失败，又可同时保证微弱信号不会因为欠载而导致信噪比不足。因此不用考虑仪器档位问题，更适合具有特殊要求的高难度试验。

除上述九项外，还有许多创新点，如波形畸变反演软件，桥梁动挠度测量分析等等，特别是①硬件频率高精度校准技术②频响函数的幅值阵列校准技术，这些都对虚拟仪器的性能指标提高有特别意义和推广价值，标志着 COINV 信号处理和我国的 VI 技术日趋走向成熟，并做出了特殊贡献。

COINV 的 DASP 软件系统含 50 多种仪器，且在库平台下能同时工作。特别是能同时做出幅频、相频、失真度数据和曲线。局域网和无线测试系统也研发成功，这些 VI 技术的新发展，将为未来的虚拟仪器网络时代打好基础。

4.互联网 Internet 和“云计算”技术的发展

虚拟仪器的载体主要是 PC 机，因此也可叫 PC 卡泰，PC 机已经普及，城市里的人几乎家家户户都可以买的起，目前市场上笔记本 PC 回归正常发展道路，价廉轻巧的上网笔记本（如图 7 所示）已经出现，带有网络接口的便携式仪器（如图 8 所示）也已大量出现，它可连接 64×1024 个各种传感器，达到 65536 个传感器的局域传感网。它们使 VI 有了更加便捷的工具，可以实现真正的“拎着走”。

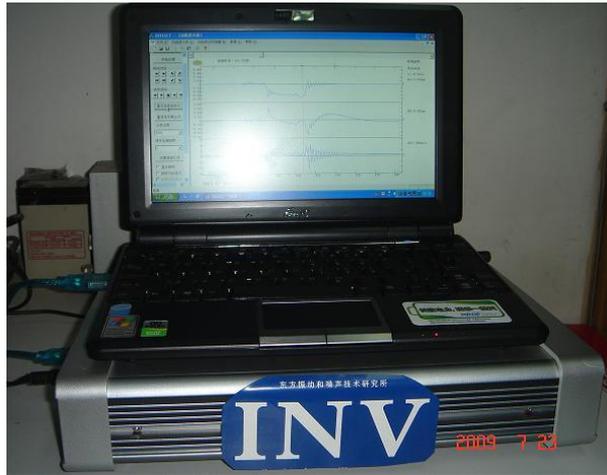


图 7 便携小巧的上网笔记本和 3018C 数采仪



图 8 带有网络接口的便携式仪器 INV-6260N

然而，目前 IT 行业即将面临巨大变革——“云计算”的时代即将到来，只需要一台能上网的终端设备，无需安装大量的程序和软件，用户可以通过互联网就能实现处理文档、存储资料、分析计算，通过电子邮件或 U 盘与他人分享信息，以及其他目前能在电脑上使用的各种功能，这些都是“云计算”时代计算机用户能享受到的服务。专家认为：“云计算”技术的出现使得用户可以直接通过网络获取全面的计算能力，这一模式将会给 IT 业和 VI 业带来巨大的变革。

“云计算”一词用来描述一个系统平台或者一种类型的应用程序，任何一个用户通过合适的互联网，接入设备，以及一个标准的浏览器，都能访问“云计算”应用程序。“云计算”的核心，是基于庞大硬件平台下互联网应用和服务，硬件平台、应用程序服务位于“云端”。谷歌甚至强调未来几乎所有的软件都可以搬上互联网、以服务取代软件。就像用电不需要家家安装发电机而可以从电力公司购买一样，“云计算”是一种变革。它可由 IBM、戴尔和谷歌这样的专业公司搭建计算机运算存储中心。用户通过一根网线、借助浏览器，就可以方便的访问，把“云”作为资料存储和应用计算分析服务中心。

谷歌想把自己变成全球计算机，目前已推出了云计算产品“谷歌 APPS 软件包”，基本上是微软 Office 软件的简化版，只是无需像 Office 那样安装，只要接入互联网，就能使用此功能。戴尔还申请把“云计算”作为自己的注册商标，并发布了一款名为 Latitude on 的新产品，它允许用户在不启动 Windows 的情况下使用电子邮件、网络浏览、个人信息管理以及文档浏览等功能，使得用户无需启动操作系统的情况下仍然可以进行基本的的应用，从而延长了笔记本电脑的电池使用时间。

5、物联网（传感网）的发展

1969 年互联网第一封电子邮件在美国发送成功，1994 年是中国互联网元年，时至今日，网络已经渗透进人们生活的方方面面，但现在互联网已经“不堪重负”，专家预测 2010 年原有的 IPV4 地址

将耗尽，为此，国际互联网标准化组织（IETE）在 1997 年提出了 IPV6 这一协议。将使得 IP 地址容量达到 3.4×10^{38} 。未来社会，互联网将是一个基本要素，它将为社会经济，科技教育甚至对国际政治都将起到决定性影响。IPV6 的核心路由器，我国已经攻克掌握，中国可以依靠自己的力量抢占互联网技术的制高点。

1999 年物联网提出、指出了新方向。物联网（The Internet of things）的定义是通过射频识别（RFID）、红外感应器、全球定位系统，激光扫描器等信息传感设备，按约定的协议把任何物品与互联网连接起来，以实现智能化识别、定位、跟踪和管理的一种网络。2010 年两会开始聚焦“物联网”，而且两会上也开始采用物联网技术，物联网已步入十年黄金发展期。我国传感网发展计划 2010-2015 实现物体互联，2015-2020，物体半智能化，2020 物体全智能化，其意义是实现物理空间与数字空间的无缝连接，2035 年传感网络终端将达数千亿个，2050 年，物联网将在生活中无处不在。

中国的互联网建设者们正努力创造未来，中国的 VI 业建设者也将创造新的未来。高性能数采、高性能多功能的 DASP，VI 软件库，实现试验室拎着走（1983~1993），2009 年 11 月桂林全国虚拟仪器大会上，作者提出试验室网络云时代——“云式”智慧测试和“云式”智慧仪器，从 2010 年后相当长的时间内实现，但不久的将来会进入快速发展期。可以说“云”智慧仪器=VI+互联网+物联网（传感网）+网络式高性能数采仪+智能传感器+云计算，“云式”智慧测试时代正向我们大步走来！

6. 结语和展望

上世纪六十年代，试验室用火车拉着走，作者 1973 年开始自行尝试用数字计算机的软件数字积分取代传统硬件模拟积分的方法解决上述难题，1979 年获得成功，这是虚拟仪器的最早成功范例。同年，在杭州召开国防科工委的 7911 会议（保密）上，作者原创提出虚拟仪器的核心概念——“软件制造仪器”，这和七年后美国 NI 公司“软件是仪器”的概念不谋而合。1985 年，作者又提出“把试验室拎着走”的目标，正式立项“DASP 虚拟仪器库——振动噪声、模态分析移动试验室技术”的研究，到了九十年代，到加拿大展出，试验室实现了拎着走，二十一世纪初叶，数采 DAQ 和虚拟仪器 VI 即将进入“试验室网上走的云时代”，我国的科技工作者应早作准备。虚拟仪器 VI 的核心是软件技术和高性能的 DAQ 及智能传感器，随着互联网和物联网的发展，人们只要带一个数采仪和上网笔记本及必要的传感器就进入了试验室云式智慧测试时代，就可以进行各种试验分析的时代将来临，“智慧地球”被美国人认为是振兴经济、建立全球竞争优势的关键战略，“云式”智慧仪器必将是虚拟仪器发展的将来目标，是一起发展的一个里程碑，让我们为此做好准备吧。

参考文献

- [1]应怀樵 编著 振动测试和分析 中国铁道出版社 1979.11
- [2]应怀樵 编著 波形和频谱分析与随机数据处理 中国铁道出版社 1985.5
- [3] 应怀樵 科技展望---“大振动”与“微机卡泰”时代 现代振动与噪声技术（第 2 卷） 航空工业出版社 2000
- [4] 应怀樵 卡泰仪器与虚拟仪器的现状和发展趋势 国外电子测量技术 2000.4
- [5] 应怀樵 “虚拟仪器”（VI）与计算机测试分析仪器（CATAI）在动态测试领域的发展和应，用，《测控技术》2000.8 期。
- [6] 应怀樵 “虚拟仪器”（VI）与计算机测试分析仪器（CATAI）在动态测试领域的发展和应，用，《中国科技成果》，2000 年 10 月专刊，庆祝东方振动和噪声技术研究所成立十五周年专辑。
- [7] 应怀樵. 虚拟仪器的过去、现在和将来 中国信息导报 2003， No.11.总 419 期
- [8] 应怀樵 刘进明 沈松 李毅民. 虚拟仪器实时高精度频率、幅值、相位与失真度分析 现代振动与噪声技术（第 5 卷） 航空工业出版社 2007， 517-520

- [9] 应明 杜峰 应怀樵 沈松. 双 24 位设计的双核数据采集仪 现代振动与噪声技术 (第 5 卷) 航空工业出版社 2007, 52-56
- [10] 沈松 应怀樵 刘进明 应明. 数字化测试仪器的若干问题探讨 现代振动与噪声技术 (第 5 卷) 航空工业出版社 2007, 77-81
- [11] 应怀樵 沈松 应明 杜峰 刘进明 李毅民. 变幅基多核 24 位 A/D 通过 FPGA 实现高精度、超量程模数转换及数采仪 现代振动与噪声技术 (第 6 卷) 航空工业出版社 2008
- [120] 应怀樵 刘进明 沈松 应明 李毅民. 中国虚拟仪器的最新进展 现代振动与噪声技术 (第 6 卷) 航空工业出版社 2008
- [13] 应怀樵 沈松 刘进明 应明 杜峰. 科学仪器与试验技术的新概念——数采 DAQ、虚拟仪器 VI 和“试验室网络云时代”. 《仪器仪表学报》增刊. 2009
- [14] 陈光祜 传感网——第三次信息革命. 《仪器仪表学报》增刊. 2009
- [15] 陈尚松 李智 雷加 郭庆. 虚拟仪器回顾与展望. 《仪器仪表学报》增刊. 2009
- [16] 陈庆全. 图形化系统设计与 NI 院校计划. 2009