

中国虚拟仪器的诞生、发展与诺贝尔情怀

应怀樵 刘进明 沈松 应明 杜峰 李毅民
(北京东方振动和噪声技术研究所, 北京, 100085)

摘要: 叙述了中国虚拟仪器的诞生、发展历程和 10 大世界性难题技术的突破, 指出了中国 VI 的发展方向与云智慧仪器, 文中还提及了中国虚拟仪器的诺贝尔奖情怀。

关键词: 虚拟仪器; 软件制造仪器; 振动; 噪声; 核试验; 地下铁道; 诺贝尔

Abstract: This paper describes the birth of Chinese virtual instruments, the development process and the top ten worldwide problem of technological breakthroughs, points out the Chinese development direction of the VI and cloud intelligence apparatus, also referred to within the text of the Chinese virtual instrument Nobel feelings.

Key Words: Virtual Instrument; Software Manufacturing Equipment; Vibration; Noise; Nuclear Testing; Underground Railway; Nobel

1 前言

1.1 中国虚拟仪器 (VI) 的诞生

第一, 应归功于“两弹一星”的战略决策与宏观管理, 原子弹、氢弹核爆炸作用下地下铁道振动、噪声和动力学测量分析的需要, 萌生了中国 VI 的创新构思; 第二, 应归功于改革开放政策与宏观管理, 允许民营科研的成立, 使得中国 VI 高科技研究在民营研究所完成; 第三, 应归功于清华大学、北京大学和浙江大学、中国科学院力学所与声学所, 以及中国铁道科学院的铁建所、机辆所等许多专家教授们的大力支持和帮助; 第四, 应归功于北京东方所整个团队和学生们从 1983 至 2011 年 28 年共同辛勤的工作与卓绝的努力; 第五, 应归功于东方所正确的管理, 北京东方所的企业文化——精神追求、道德情操、成功法则十八条: 第一部分, 精神追求——前九条成功法则; 第二部分, 道德情操——后九条思维管理法; 第三部分, 六条幸福法则。到目前为止, 北京东方所已聚集了 40 多位研究员、教授以及博士、硕士。

1.2 中国 VI 发展背景

中国 VI 创始人——应怀樵, 1941 年出生, 1959 年就读于浙江大学工程物理系理论物理

专业,崇敬爱因斯坦和玻尔;1962年因国家需要调整专业至数学力学系应用力学专业,崇敬冯·卡门和钱学森。应教授今年也刚好70周岁,从1994年1月14日脑出血,患过3次中风,4次心梗,“去过”7次阎王殿,但他仍然坚持不懈搞研究,到目前为止应教授已参与完成4个大课题:

(1) 1964年浙江大学毕业,分配到中国铁道科学院从事“高速铁路列车风洞的研究”(搞了一年),同年到清华大学工程力学系流体力学专业学习风洞测试技术。(2011年7月8日乘高铁从南京回北京,深感高兴,祖国伟大!)

(2) 1965年参加国防课题核试验防核武器防护工程——地下铁道核爆炸作用下振动、噪声与动力学分析的研究,涉及核爆炸和地下铁道,这项工作搞了15年(1965—1980年)。其中,提出核效应工程设计参数5个振动公式,完成CZ-S拾振器和CZ-F测振放大器的研究成果,填补了国内空白,1978年获3项全国科学大会奖。

(3) 1980—1983年参加了我国抗地震技术的工程抗震研究。

(4) 从1983年筹建中国振动技术咨询部,1985年成立北京东方所,并正式立题研究中国虚拟仪器——DASP虚拟仪器库和INV移动试验室,提出PC卡泰(卡泰仪器和东方科卡)及“把试验室拎着走”的目标,经过28年坚持不懈的努力,该目标现已完成。

1.3 与VI相关论文资料和刊物

应教授撰写过专著《振动测试与分析》(1979年)、《CZ测振仪器与测振技术》(1982年)与《波形和频谱分析与随机数据处理》(1983年),主编了《现代振动与噪声技术》文集共9卷(1997—2011年)等12本书和“倒熵谱”、“虚拟仪器”等150多篇论文与报告。

很多报刊都曾经登载过关于中国VI的文章。2011年3月3日《中国信息报》第4版《热点追踪》“中国虚拟仪器库DASP达到国际领先水平——记中国虚拟仪器创始人和奠基者应怀樵教授”;3月15日《科学时报》A3版《人物》“让INV系统走进每个试验室——记中国虚拟仪器之父应怀樵教授”;4月18日《香港文汇报》A45版《特刊》“让DASP虚拟仪器库运行在每个试验台上——访中国虚拟仪器之父应怀樵教授”;2011年6月《科技成果管理与研究》第6期第12、13页“潜心研发虚拟仪器、服务中国技术创新——虚拟仪器之父应怀樵教授”;7月1日香港《大公报》A28版“应怀樵:中国虚拟仪器之父的诺贝尔情怀”等。《科学中国人》2011年8月上期的创新之路:“科技创新造福祉,阳光洒满冲诺路——访中国虚拟仪器之父应怀樵教授”;凤凰网、人民网、中国新闻网的《中国名片》栏目:中国脊梁——“中国虚拟仪器之父的诺贝尔情怀——应怀樵教授”;凤凰网、央视网、中国新闻网、环球网、中国网的《领航中国》栏目:领航会客厅——“中国虚拟仪器之父应怀樵教授”等4个报刊、两个杂志和6大网站有关诺贝尔情怀的报道。

2 中国虚拟仪器诞生与发展历程

中国虚拟仪器(VI)科学研究之中,北京东方所针对虚拟仪器的核心技术和其他技术及一些国际性难点、拦路虎(如:频率、幅值、相位、阻尼、传递函数、倒熵谱、FFT/DFT、双核A/D精度、自动化模态分析、声压声强声功率测试等重点难点)自主创新112项新技术,其中有20多项达到国际领先,攻克10大世界性难题,并填补国内空白,特别是对“传递函数的测试及实时控制和反演关键技术”的成功突破,为提高虚拟仪器测量精度

和范围开辟了新途径。

2.1 中国虚拟仪器构想的萌生

1965年,应教授参与我国核爆炸防护工程研究,遇到地铁道床的下沉残余位移(0Hz)用硬件无法获得的难题,就萌生了虚拟仪器的大胆构想——“用数字算法和软件取代硬件”。应教授曾经用计算尺和手摇计算机进行试算,1970—1972年曾到中科院计算所进行光电传输纸带穿孔输入的数字计算机用BCY语言进行试算,但效果不太理想。

2.2 中国虚拟仪器核心概念的提出

1973年,应教授尝试用当年日本自动化工业展览会时买来的小型ECC555可用键盘输入的数字计算机及FORTRAN IV语言编程的软件数字积分取代传统硬件模拟积分的方法,解决了残余位移(0Hz)用硬件无法获得的难题,并于1979年获得成功,成为虚拟仪器的最早的成功范例。同年11月,国防科委在杭州召开的某会议上提出虚拟仪器的核心概念“软件制造仪器”、“用软硬件结合取代传统仪器”获得主持会议的中科院力学所所长郑哲敏院士、清华大学副校长张维院士、同济大学校长李国豪院士的赞扬和支持,比美国NI提出“软件是仪器”的概念早7年。

2.3 中国虚拟仪器的研发历程

(1) 1979年11月,具有该领域应用成果的国内首部专著《振动测试和分析》出版发行,中国VI应用实例如图1所示(注:此图为引自《现代振动与噪声技术》(第8卷)P27图4,航空工业出版社2010年8月。原图引自《振动测试和分析》1979年版P355图7-6)。图中波形①为实测核爆炸下铁道床加速度波形,②为数字积分计算获得的速度波形,③为两次数字积分+基线修正后得到的位移波形。运用数字算法(现称为软件)取代硬件所得到的结果,即虚拟仪器早期的成功研究。虚拟仪器的核心是软件制造仪器,这是软件取

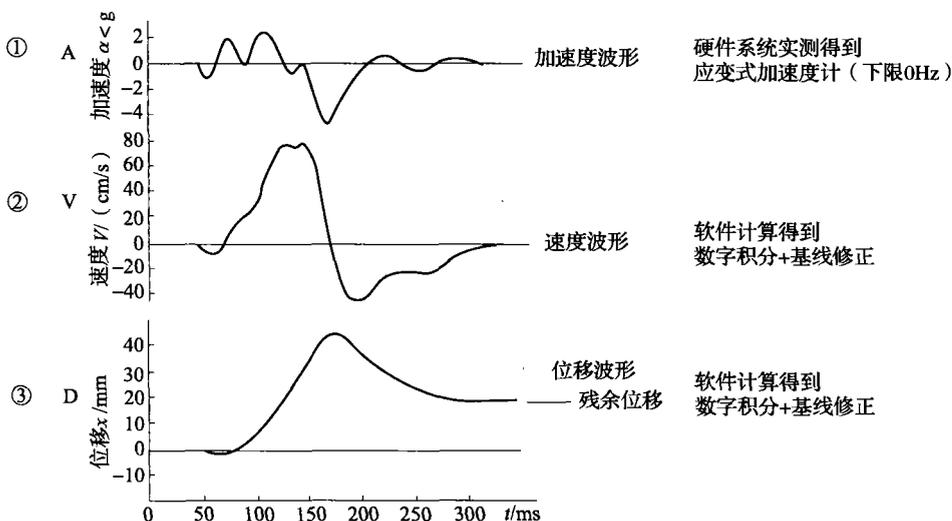


图1 北京铁道床核试验振动波形的实测 AVD 变换
(1973—1979年,用“软件制造仪器”的探索实践)

代硬件的早期研究的成功示例。

(2) 1982 年,《CZ 测振仪与测振技术》出版发行。

(3) 1983 年 5 月,具有中国虚拟仪器早期构思实例框图的《波形和频谱分析与随机数据处理》出版,中国 VI 应用实例如图 2 计算方案框图所示(注:此图为引自《波形和频谱分析与随机数据处理》1983 年版的 P307 图 6-27,同时可参考 P304-P313 中图 6-28,图 6-29,图 6-30 以及表 6-11)。

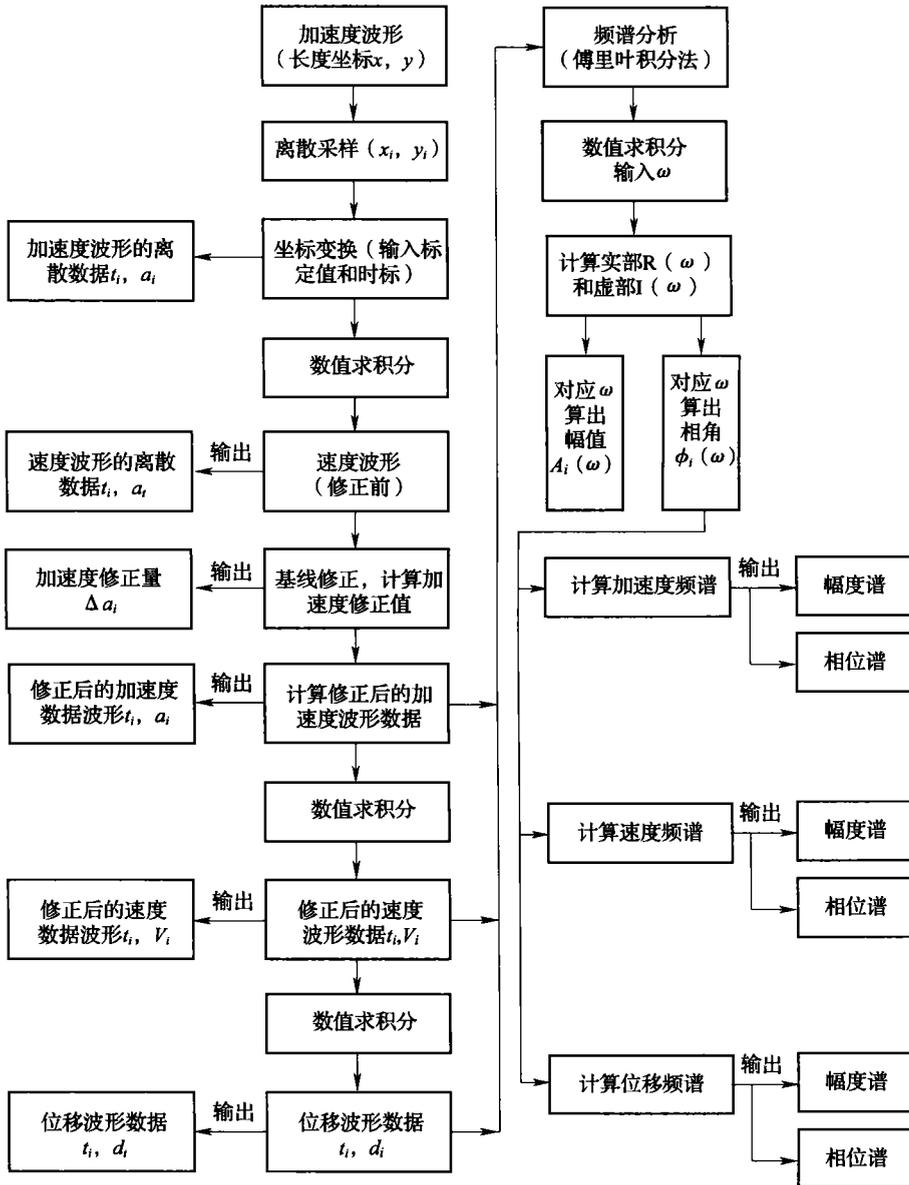


图 2 虚拟仪器的早期计算方案框图

引自 1983 年 5 月发表的《波形和频谱分析与随机数据处理》P307 图 6-27

(4) 1983 年 1 月,应教授下决心研发中国 VI-PC 卡泰,创建北京东方所的前身——中国振动技术咨询部,并正式立项研究虚拟仪器。

(5) 1985年,北京东方振动和噪声技术研究所正式成立,开始从事虚拟仪器库、移动试验室的研究,并正式立题“DASP虚拟仪器库——振动噪声、模态分析移动实验室技术”研究,提出PC卡泰、东方科卡和“把试验室拎着走”的目标。

(6) 1988年9月16日中国虚拟仪器应用于火箭激振杭州钱塘江大桥模态试验圆满成功(9月17日汉城奥运会开幕式当天的中央电视台新闻报道时,播出了这一试验成功新闻)。

(7) 1993年3月,中国虚拟仪器参加北京新技术展览会,并远赴加拿大参展,获表扬名单第一名。

(8) 1995年用于“长三捆”火箭全箭模态试验。

(9) 1996年用于神舟号载人飞船移动发射平台模态试验。

(10) 2004年用于航天员超重训练设备臂架系统模态分析。

(11) 2007年,在第二届全国虚拟仪器学术交流大会上,北京东方所的卓越贡献受到高度评价,北京东方所的应怀樵教授被誉为“中国虚拟仪器之父”。

3 十大国际领先水平的重大突破

3.1 基于平台式设计的虚拟仪器库技术

用软件制造仪器和用软硬件结合取代传统仪器(传统仪器主要用硬件构造;虚拟仪器是由软硬件结合,主要是软件构造),这一具有里程碑式划时代意义的新路线对仪器制造业和测试技术界产生巨大影响,北京东方所原创的虚拟仪器库DASP软件平台系统和INV移动实验室,达到我国在VI研发方面的最高水平。

3.2 变时基(VTB)传递函数(导纳)测量分析方法

此方法达到国际领先水平,并已获国家发明专利,完成神舟飞船750t移动发射平台、“长三捆”大型运载火箭、航天员超重训练机的模态试验等数十项国家重点项目,效果理想。

3.3 高精度频率、幅值、相位和阻尼测量技术

北京东方所(COINV)原创的高精度频率计和幅值计,克服了FFT频率步进制的限制和泄漏的影响,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,比国外常规方法提高精度100万倍,这是VI的拦路虎、世界性难题,达到国际领先,具有重大国际影响力。

传统方法与COINV方法对比:

表1 软件误差

方法 误差	传统方法 FFT	COINV 方法
幅值误差	矩形窗: $-36.3\% \sim 0$ 平顶窗: 1% 左右	小数点后十进制 12 到 14 位
频率误差	矩形窗: $0.5\Delta f \sim 0$ 平顶窗: $0.5\Delta f \sim 0$	小数点后十进制 12 到 14 位

表2 硬件误差

误差		NI	COINV
幅值误差	COINV 方法矫正前	1% 左右	1% 左右
	COINV 方法矫正后	1‰ ~ 0.1‰ (提高 10 ~ 100 倍)	1‰ ~ 0.1‰ (提高 10 ~ 100 倍)
频率误差	COINV 方法矫正前	十进制的 5 ~ 6 位	十进制的 5 ~ 6 位
	COINV 方法矫正后	十进制的 7 ~ 8 位 (提高 100 倍)	十进制的 7 ~ 8 位 (提高 100 倍)

3.4 超低频信号快速测量技术

北京东方所原创的超低频信号快速测量技术,对于超低频信号(0.1~0.00001Hz)的快速准确测定,这是世界性难题,达到国际领先水平。

3.5 倒熵谱分析方法

北京东方所原创倒熵熵、倒熵富、倒富熵等3种倒谱,达到倒谱分析的国际领先水平。

3.6 FFT/DFT 分析方法

北京东方所原创的FFT/DFT分析方法,是目前频谱细化的主要方法之一,达到国际领先水平。

3.7 振动全息 AVD (一入三出) 实时测试创新技术

北京东方所原创的全程微积分方法,实现AVD“一入三出”振动全息实时动态连续测量,这是世界性难题,达到国际领先水平。

3.8 自动化模态分析方法

通过此技术方法,一般人员通过简单操作即可获得专家级的模态分析结果。

3.9 双核 24 位变幅基 A/D 高精度超量程 160dB 数采仪技术

北京东方所原创的24位(双核)变幅基A/D高精度超量程160dB数采仪技术,是国内首创,并达到国际领先水平。

3.10 传递函数的测试及实时控制和反演关键技术

北京东方所提出由软件构成的在数采过程中实时快速精确测试幅频和相频曲线,为提高仪器测量精度和范围开辟了新途径,并通过YSL专门技术实时实现传递函数的控制和反演,已在DASP软件中取得成功应用,使得虚拟仪器的核心关键技术得到重大改善,极大地提高了虚拟仪器的性能,具有划时代的意义,这种技术是世界性难题,是国内首创,达到国际领先水平。

4 中国虚拟仪器的发展和展望

4.1 让 DASP 运行在每个试验台

中国虚拟仪器DASP(达世普)软件和INV移动试验室系统是与美国NI同步研发的,

具有 112 项创新技术, 其中 20 多项达到世界领先水平; 产品已累计销往 2000 多家用户, 经济效益超过 1 亿元; 根据我国 2007 年仪器产值估算, 前期阶段按软件取代硬件的 30% ~ 50% 计算, 将产生每年 600 多亿元到 1000 多亿元的巨大价值, 从长期预测看, 软件能代替硬件的 70% ~ 80%, 对促进技术变革和推动新兴产业形成与发展, 以及造福国计民生有着重大作用。

4.2 “云智慧仪器时代”的到来

随着“云计算”和“物联网”时代的来临, 2009 年, 北京东方所在桂林召开的全国第三次虚拟仪器学术大会上, 提出我国应尽快开展“云智慧仪器实验室”与“云智慧故障诊断中心”和“智慧仪器”相关方面的研究, 让“智慧仪器”早日到来; 并且北京东方所还提出: 云智慧仪器 = VI + 互联网 + 物联网 + 网络式高性能数采仪 + 智能传感器 + 云计算 + DASP 各种软件包。

5 中国虚拟仪器的现状和典型代表

——中国 VI = DASP VI 库 + INV 移动实验室

5.1 中国 VI 发展阶段

中国 VI 经过多年发展走过了 PC 插卡式、PC 并口式、PC1394 口式、USB 口式、CPCI 总线式和 PXI 总线式、LAN 以太网式、无线式、手持式、智慧仪器时代。

5.2 INV 系列硬件系统 (如图 3 所示)

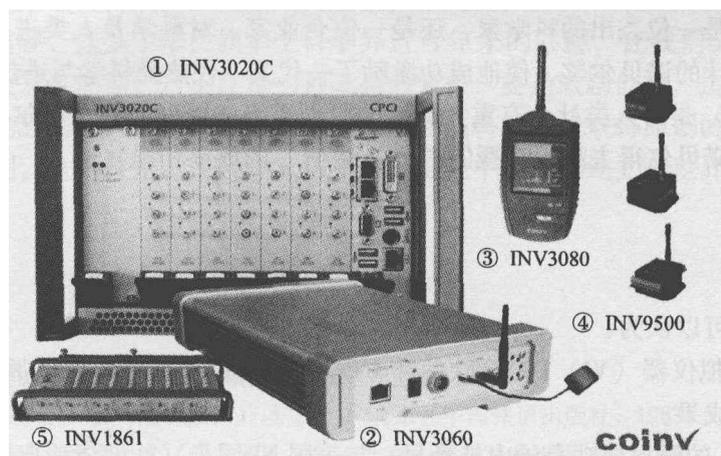


图 3 INV 硬件展示图

(1) INV3020C ——CPCI 总线方式数采仪 (北京东方所改进具有时间同步功能, 相当于 PXI);

(2) INV3060——LAN 以太网络式数采仪 (具有双核、ICP、内部闪存存储器、可达 16×1024 通道级联);

(3) INV3080——手持嵌入式 CPU (具有 DSP、FPGA、ARM 三个嵌入式芯片) 数采仪 (双核 24 位 AD, 触摸式液晶显示, 32GB 内存);

(4) INV9500——无线式数采仪 (可达 1 ~ 2km);

(5) INV1861——超薄、轻便、节能、高精、抗干扰应变仪。

5.3 目前最新软件

DASP (达世普) 数据采集和信号处理软件 (V10 版本) 主菜单界面如下。

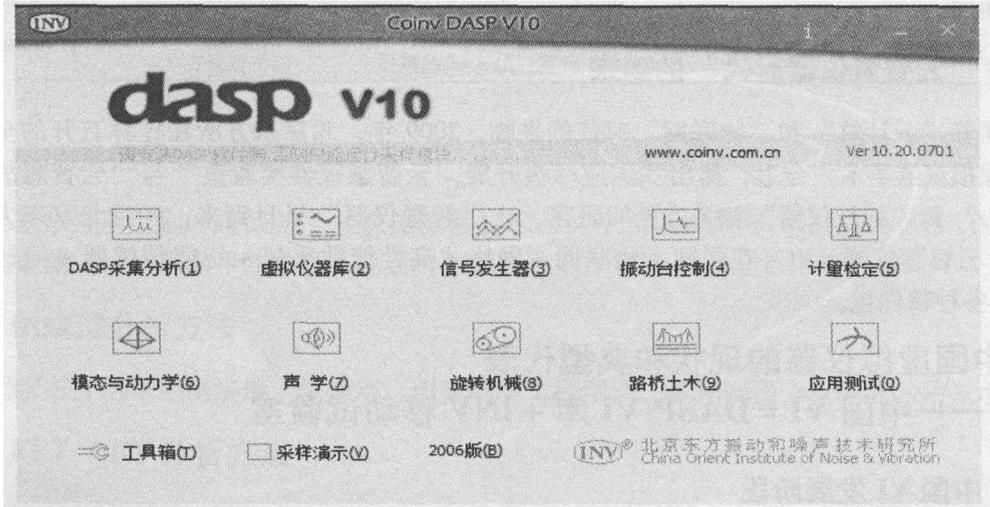


图4 DASP 虚拟仪器库的主菜单

6 追求诺贝尔奖的情怀

诺贝尔不仅是一位杰出的科学家，还是一位企业家，对科学及人类进步事业非常热爱，凭借巨额财富设计的诺贝尔奖，使他成功激励了一代又一代热爱科学与进步的杰出人物。中国虚拟仪器 (VI) 是对人类社会有重大贡献的原创成果，可以问鼎诺贝尔奖。中国 VI 的意义可与光纤之父诺贝尔得主高锟教授的“光纤通信”的成果相提并论。

7 结语

综上所述，可以认为：

(1) 中国虚拟仪器 (VI) DASP 软件和 INV 移动实验室是中华民族原创的，是自主知识产权的高科技成果。

(2) 中国 VI 的研发成功是国内外最早，与美国 NI 同步 (初期成功比美国 NI 早 7 年)。

(3) 中国 VI 的主要核心技术直到目前是国内外最好的，我国攻克了 VI 关键技术中的拦路虎 (频率、幅值、相位、阻尼等精度以及传递函数的实时测试和反演、实时 AVD、倒频谱、FFT/DFT 超低频高精度快速测量、双核 24 位 160dB 数采仪、自动化模态、声强、声压、声功率等)。有 10 项世界难题的创新和 20 多项国际领先技术。

(4) VI 的科学价值和经济价值非常重大，各种科学仪器与分析仪器主要由：①信号和数据采集，②分析和处理，③显示存储和输出及传输等三大部分构成，其中除第①部分需要必要的硬件构造外，后两大部分都可以用基于计算机与互联网技术的信号处理和分析及各种应用软件如 DASP, LABVIEW 来构造完成。目前 PC 机与互联网已经普及并深入家庭。因

此, VI 的应用前景极其广泛。VI 技术利用目前高性能的模块化数采与调理硬件, 结合 PC 技术的高效灵活的信号分析处理及各种应用软件来完成各种测试、测量和自动化的应用。虚拟仪器提供的各种功能满足我们多种测试分析项目的需要。虚拟仪器的核心是“软件制造仪器”、“软硬结合取代传统的仪器”。软件可以积聚人类的各种智慧。若全面推广, 将来发展到智慧仪器, 并成为机器人的核心技术, 应用大量的软件和嵌入式芯片发展人脑工程, 进行信号和信息处理, 是智慧机器人的基础。我国将产生大于 600 ~ 1000 亿元/年, 全世界将大于 10000 亿元/年的经济效益 (按取代 30% ~ 50% 计算, 预计将来可取代 70% ~ 80%)。VI 的产生使试验方法、试验技术有了重大革新, 大大节省了试验时间, 而且它的发展也改变了科学仪器的构成, 大大节省了材料、能源、运输, 实现绿色环保。VI 的发展极大地推动了生产力, 促进新兴产业的形成和造福国计民生。VI 的推广目前正处在井喷的前夕, 很快将会进入快速发展期。

(5) 中国 VI 是贡献非常重大的科研成果, 是中华民族继古代四大发明之后, 对人类有重大贡献和深远影响的现代发明之一。

(6) 因此, 中国 VI 具备了问鼎诺贝尔物理奖的必要条件。这么好的一个成果不拿诺贝尔奖太可惜了。

我们所做这一切的目标是为了让我国具有自主知识产权的科学仪器登上国际领奖台, 并改变国人使用外国仪器的习惯, 是希望让中国自主创新的信号处理与虚拟仪器技术走向国门, 达到世界普及。

正如诺贝尔奖的创立者曾经践行的, 科学精神与产业之路的生命熔铸将带给人类更加美好的未来! 我们的虚拟仪器是中美两国同步创造、将有可能问鼎诺贝尔物理学奖, 具有重大和深远世界意义的原创科技成果。问鼎诺贝尔奖, 中关村需要、北京需要、中国需要、中华民族需要、世界需要, 这是中华民族本土科学界近百年来的心愿, 让我们大家共同努力吧! 为中华民族的伟大复兴加油! 这不仅是一种崇高的荣誉, 更是激励创新, 造福人类的精神源泉, 伴随着中华民族的伟大复兴, 中国科学界理应在高科技领域取得原创的重大突破, 向诺贝尔物理学奖冲刺, 这不仅是一个科学家的荣誉, 更是中华民族屹立于世界民族之林的时代要求!

参 考 文 献

- [1] 应怀樵. 振动测试和分析 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 1979.
- [2] 应怀樵. 波形和频谱分析与随机数据处理 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 1983.
- [3] 应怀樵. 现代振动与噪声技术 (第 8 卷) [M]. 北京: 航空工业出版社, 2010.
- [4] 应怀樵. 科技展望——“大振动”与“微机卡泰”时代 [M] // 现代振动与噪声技术 (第 2 卷). 北京: 航空工业出版社, 2000.
- [5] 应怀樵. 卡泰仪器与虚拟仪器的现状和发展趋势 [J]. 国外电子测量技术, 2000, (4).
- [6] 秦树人. 虚拟仪器——测试仪器从硬件到软件 [J]. 振动测试与诊断, 2000, 20 (1): 1-6.
- [7] 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 [J]. 测控技术, 2000 (8).
- [8] JAMES T. 虚拟仪器的未来 [J]. 测控技术, 2002, 21 (9): 1-2.
- [9] 应怀樵. 虚拟仪器的过去、现在和将来 [J]. 中国信息导报, 2003, 419 (11).
- [10] 郭从良. 虚拟仪器技术展望 [C]. 第二届全国虚拟仪器学术交流大会, 北京, 2007.

- [11] 王书茂. 虚拟仪器技术在农业装备测控中的应用 [C]. 第二届全国虚拟仪器学术交流大会, 北京, 2007.
- [12] 钟燕宁. 虚拟仪器在测试测量上的应用 [C]. 第二届全国虚拟仪器学术交流大会, 北京, 2007.
- [13] 孙圣和. 虚拟仪器标准技术及开发环境 [C]. 第二届全国虚拟仪器学术交流大会, 北京, 2007.
- [14] 应怀樵, 刘进明, 沈松, 等. 虚拟仪器实时高精度频率、幅值、相位与失真度分析 [M] //现代振动与噪声技术 (第5卷). 北京: 航空工业出版社, 2007.
- [15] 应明, 杜峰, 应怀樵, 等. 双24位设计的双核数据采集仪 [M] //现代振动与噪声技术 (第5卷). 北京: 航空工业出版社, 2007.
- [16] 沈松, 应怀樵, 刘进明, 等. 数字化测试仪器的若干问题探讨 [M] //现代振动与噪声技术 (第5卷). 北京: 航空工业出版社, 2007.
- [17] 应怀樵, 沈松, 应明, 等. 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 [M] //现代振动与噪声技术 (第6卷). 北京: 航空工业出版社, 2008.
- [18] 应怀樵, 刘进明, 沈松, 等. 中国虚拟仪器的最新进展 [M] //现代振动与噪声技术 (第6卷). 北京: 航空工业出版社, 2008.
- [19] 应怀樵, 沈松, 刘进明, 等. 科学仪器与试验技术的新概念——数采DAQ、虚拟仪器VI和“实验室网络云时代” [J]. 仪器仪表学报 (增刊), 2009
- [20] 陈光福. 传感网——第三次信息革命 [J]. 仪器仪表学报 (增刊), 2009.
- [21] 陈尚松, 李智, 雷加, 等. 虚拟仪器回顾与展望 [J]. 仪器仪表学报 (增刊), 2009.
- [22] 陈庆全. 图形化系统设计与NI院校计划, [C]. 第十九届测控、计量、仪器仪表学术年会, 桂林, 2009.
- [23] 应怀樵. “云”智慧仪器与“云”智慧测试时代 [J]. 电子测量与仪器学报, 2010, 24 (6): 507-514.