



2008-2009

仪器科学与技术 学科发展报告

Report on Advances in Instrumentation Science and Technology

中国科学技术协会 主编

中国仪器仪表学会 编著



中国科学技术出版社



2008-2009

仪器科学与技术 学科发展报告

REPORT ON ADVANCES IN INSTRUMENTATION SCIENCE AND TECHNOLOGY

中国科学技术协会 主编

中国仪器仪表学会 编著

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

2008—2009 仪器科学与技术学科发展报告/中国科学技术协会主编;
中国仪器仪表学会编著. —北京:中国科学技术出版社,2009.3

(中国科协学科发展研究系列报告)

ISBN 978-7-5046-4939-3

I. 2… II. ①中…②中… III. 仪器—科学研究—研究报告—
中国—2008—2009 IV. TH7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 018551 号

自 2006 年 4 月起本社图书封面均贴有防伪标志,未贴防伪标志的为盗版图书。

中国科学技术出版社出版

北京市海淀区中关村南大街 16 号 邮政编码:100081

电话:010-62103210 传真:010-62183872

<http://www.kjpbooks.com.cn>

科学普及出版社发行部发行

北京凯鑫彩色印刷有限公司印刷

*

开本:787 毫米×1092 毫米 1/16 印张:12.5 字数:300 千字

2009 年 3 月第 1 版 2009 年 3 月第 1 次印刷

印数:1—2000 册 定价:38.00 元

ISBN 978-7-5046-4939-3/TH·51

(凡购买本社的图书,如有缺页、倒页、
脱页者,本社发行部负责调换)

2008—2009
仪器科学与技术学科发展报告

REPORT ON ADVANCES IN INSTRUMENTATION SCIENCE AND TECHNOLOGY

首席科学家 金国藩

专 家 组

组 长 吴幼华

成 员	张钟华	张汉权	肖中汉	金钦汉	范世福
	王晓庆	戚康男	赵 建	张明远	任殿义
	徐开先	樊尚春	范 铠		

学 术 秘 书 肖中汉

序

当今世界,科技发展突飞猛进,创新创造日新月异,科技竞争在综合国力竞争中的地位更加突出。党的十七大将提高自主创新能力、建设创新型国家摆在了非常突出的位置,强调这是国家发展战略的核心,是提高综合国力的关键。学科创立、成长和发展,是科学技术创新发展的科学基础,是科学知识体系化的象征,是创新型国家建设的重要方面,是国家科技竞争力的标志。近年来,随着对“科学技术是第一生产力”认识的不断深化,我国科学技术呈现日益发展繁荣局面,战略需求引领学科快速发展,基础学科呈现较快发展态势,科技创新提升国家创新能力,成果应用促进国民经济建设,交流合作增添学科发展活力。集成学术资源,及时总结、报告自然科学相关学科的最新研究进展,对科技工作者及时了解和准确把握相关学科的发展动态,深入开展学科研究,推进学科交叉、渗透与融合,推动多学科协调发展,适应学科交叉的世界趋势,提升原始创新能力,建设创新型国家具有非常重要的意义。

中国科协自2006年开始启动学科发展研究及发布活动,圆满完成了两个年度的学科发展研究系列报告编辑出版工作。2008年又组织中国化学会等28个全国学会分别对化学、空间科学、地质学、地理学、地球物理学、昆虫学、心理学、环境科学技术、资源科学、实验动物学、机械工程、农业工程、仪器科学与技术、电子信息、航空科学技术、兵器科学技术、冶金工程技术、化学工程、土木工程、纺织科学技术、食品科学技术、农业科学、林业科学、水产学、中医学、中西医结合医学、药学和生物医学工程共28个学科的发展状况进行了研究,完成了中国科协学科发展研究系列报告(2008—2009)和《学科发展报告综合卷(2008—2009)》。

这套由29卷、800余万字构成的学科发展研究系列报告(2008—2009),回顾总结了所涉及学科近两年来国内外科学前沿发展情况、技术进步及应用情况,科技队伍建设与人才培养情况,以及学科发展平台建设情况。这些学科近两年产生了一批重要的科学与技术成果:以“嫦娥一号”探月卫星成功发射并圆满完成预定探测任务、“神舟七号”载人飞船成功发射为代表的一系列重大科技成果,表明我国的自主创新能力又有较大提高,在科研实践中培养、锻炼了一批

高层次科技领军人才,专业技术人才队伍规模不断壮大且结构更为合理,科技支撑条件逐步得到改善,学科发展的平台建设取得了显著的进步。该系列报告由相关学科领域的首席科学家牵头,集中了本学科广大专家学者的智慧和学术上的真知灼见,突出了学科发展研究的学术性。这是参与这些研究的有关全国学会和科学家、科技专家研究智慧的结晶,也是这些专家学者学术风范和科学责任的体现。

纵观国际国内形势,我国仍处于重要战略发展机遇期。科学技术事业从来没有像今天这样肩负着如此重大的社会使命,科学家也从来没有像今天这样肩负着如此重大的社会责任。增强自主创新能力,积极为勇攀科技高峰作出新贡献;普及科学技术,积极为提高全民族素质作出新贡献;加强决策咨询,积极为推进决策科学化、民主化作出新贡献;发扬优良传统,积极为社会主义核心价值体系建设作出新贡献,是党和国家对广大科技工作者的殷切希望。我由衷地希望中国科协及其所属全国学会坚持不懈地开展学科发展研究和发布活动,持之以恒地出版学科发展报告,不断提升中国科协和全国学会的学术建设能力,增强其在推动学科发展、促进自主创新中的作用。



2009年3月

前 言

中国仪器仪表学会于2008年6月接受中国科协的委托,正式立项开展2008年度仪器科学与技术学科进展研究的工作,并明确今后每两年开展一次学科进展研究的工作。中国科协对学科进展研究非常重视,提出了明确的要求:要求研究组成员应当包括一批学识渊博、经验丰富并熟悉学科和产业领域情况的专家学者,首席科学家应当由知名科学家担任;要求研究工作必须在年底前完成,要撰写出约15万字的学科进展研究报告。我会对完成这项任务也高度重视,成立了以金国藩院士任首席科学家的研究组,并决定分7个分学科专题开展研究,委聘了7个分学科研究组的负责人,他们都是各分学科领域的知名专家。这次开展研究的分学科专题不包括仪表材料分学科,其余的分学科专题与两年前的学科进展报告相同,基本保持了学科进展研究的延续性。

整个研究工作的进程是,8月和9月各分学科开展调查、收集资料;10月各分学科撰写该分学科进展研究报告,其间多次讨论修订,10月底完成了各分学科的学科进展研究报告;11月由我会专家委员会在各分学科进展报告的基础上撰写出学科进展的综合报告,该报告经金国藩院士审阅修订,作为讨论稿供专家讨论;12月中旬,在中国科协统一安排下学会召开仪器科学与技术学科发展讨论会,邀请了30多位院士、教授和专家,对学科进展综合报告展开详细讨论,特别是对进展项目逐一审定;12月下旬,研究组根据专家们的审定意见和建议,对学科进展综合报告和各分学科专题进展报告进行了最后的修订,完成了这份《仪器科学与技术学科发展报告(2008—2009)》。

这份报告主要包括综合报告、专题报告,约16万字。综合报告主要阐述了近两年来我国仪器科学与技术学科领域科技和产业发展取得的重大进展和科技成果。报告还介绍了仪器科学与技术学科的内涵和组成、学科领域科技和产业发展的特点及趋势、我国在该学科领域的基本状况及差距,最后对政府支持学科科技和产业发展提出了建议。这份报告既注意到学术性,又不失可读性,它对推动我国仪器仪表学科领域科技和产业的发展一定会发挥积极的作用。

许多专家为撰写学科进展报告作出了宝贵的贡献,在此表示衷心的感谢。特别要感谢金国藩院士、张钟华院士、金钦汉教授、范世福教授、王晓庆研究员、戚康男教授、赵建教授、张明远研究员、任殿义研究员、徐开先研究员、樊尚春教授、范铠研究员等各位专家,他们在完成这项研究任务中发挥了核心的作用。

由于研究任务重,时间紧,许多工作还欠仔细,报告内容虽经反复推敲,但疏漏难免,敬请学科和行业专家们指正。

中国仪器仪表学会

2008年12月

目 录

序	韩启德
前言	中国仪器仪表学会

综合报告

仪器科学与技术学科发展现状及进展	(3)
一、引言	(3)
二、仪器科学与技术学科的内涵和组成	(4)
三、近两年仪器科学与技术学科领域科技和产业发展的主要特点及趋势	(5)
四、近两年我国仪器科学与技术学科领域科技和产业发展的基本状况和差距 ...	(25)
五、近两年我国仪器科学与技术学科领域科技和产业主要进展	(27)
六、对我国仪器科学与技术学科主要领域科技和产业发展的建议	(49)
参考文献	(52)

专题报告

自动化仪表与控制系统	(57)
科学仪器	(73)
医疗仪器	(86)
电工计测技术及电工仪器仪表	(104)
电子测量与仪器技术领域	(121)
相关传感器学科	(135)
仪器仪表元器件	(153)

ABSTRACTS IN ENGLISH

Comprehensive Report

Advances in Instrumentation Science and Technology	(179)
--	-------

Reports on Special Topics

Automation Instruments and Systems	(182)
Scientific Instrumentation	(183)
Medical Instruments	(184)

Electromagnetic Measurement and Control Technology	
and Instrumentation	(184)
Electronic Measurement Technology and Instrument	(186)
Transducer	(187)
Apparatus Instruments and Elements	(188)

综合报告

仪器科学与技术学科发展现状及进展

一、引言

最初作为测量器具的仪器在促进科技和生产发展的同时,在现代科学技术和生产力的推动下,已成为完整的仪器科学与技术学科。作为测量和测试技术集中体现的仪器科学与技术学科,在当今我国国民经济和科学技术发展中的作用日益明显,仪器仪表是工业生产的“倍增器”、科学研究的“先行官”、军事上的“战斗力”、国民活动中的“物化法官”已广为人们所理解。

根据国际发展潮流和我国现状,仪器科学与技术学科主要组成包括:工业自动化测控技术及工业自动化仪表与系统;科学测试、分析技术及科学仪器;人体诊疗技术及医疗仪器;信息计测技术及电测仪器;专用检测技术及各类专用测量仪器;相关传感器、元器件、材料及技术。仪器科学与技术学科领域科技和产业发展的主要特点和发展趋势是:学科面对的产品种类和品种多样化;产品的稳定性、可靠性和适应性要求很高;产品的技术指标和功能不断提高;最先应用新的科学研究成果,高新技术大量采用;仪器及测控单元微型化、智能化,可独立使用,也可嵌入式使用和联网使用;仪器测控范围向立体化、全球化扩展,测控功能向系统化、网络化发展;便携式、手持式以至个性化仪器大量发展。

目前,我国仪器科学与技术学科从理论研究、计量基准、产品制造技术、新器件、新材料、新工艺的研究和应用等方面已日趋完善,并形成门类品种比较齐全、布局较为合理、具有相当技术基础和生产规模的仪器仪表产业体系。从产品的科技水平分析,目前绝大部分国产仪器产品的科技水平处于国际20世纪90年代中、后期的水平,中低档产品品种基本齐全,能够批量生产,且质量稳定;少数中高档产品已接近国际水平。在工程应用技术方面,已经能够承担一部分国家重大工程仪器仪表系统成套工程。但在高技术含量的自动化仪表及系统、科学测试仪器、传感器、元器件等产品的竞争上,国内仪器仪表行业还基本上处于相当被动的境地。可喜的是,随着我国经济持续稳定地快速增长和“企业要成为科技创新主体”的逐步完善,我国仪器仪表产业规模的增长速度连续4年每年超过20%,近期我国仪器科学与技术学科领域科技和产业发展在实现微型化、数字化、智能化、集成化和网络化等方面紧跟国际发展的步伐,加大具有自主知识产权部分的开发研制及产业化的力度,取得了显著的进展。特别是我国“嫦娥一号”卫星携带的8种探测仪器,不仅总体上达到了国际同类仪器的水平,而且在不少方面还有我国自己的特点和创新。这8种探测仪器是:月球表面三维影像探测任务的CCD相机和激光高度计、用于月表化学元素与物质成分及丰度探测任务的干涉成像光谱仪、 γ 射线谱仪、X射线谱仪、用于月壤厚度探测任务微波探测仪、用于地月空间环境

探测的太阳高能粒子探测器、两台低能离子探测器。这 8 种探测仪器的特点和创新点包括:实现首次对月球表面进行全月面三维立体照相,这对月球表面形貌、地质构造、撞击坑等的研究显然会有重大意义;所使用的伽马射线谱仪探测的分辨率和灵敏度比国际上以往月球探测中使用的同类仪器要高,所以有可能探测到更多的元素,通过一年的在轨飞行将可以探测到钾、铀、钍、钙等 14 种元素的含量和分布,用于月球科学研究和月球矿物资源调查,为月球的开发和资源利用奠定基础;实现首次探测全月球表面月壤的厚度,对月球表面风化历史和氦 3 资源展开调查研究等。

报告还对我国仪器科学与技术学科领域科技研究和产业发展方向以及相应政策措施提出建议。

二、仪器科学与技术学科的内涵和组成

(一) 仪器科学与技术学科的内涵

在现代化的国民经济活动中,仪器科学与技术学科涉及人类活动的各个方面,是高新技术的前沿技术,是信息获取的主要技术手段,是信息技术的关键和基础。仪器科学与技术学科是现代科技的重要学科之一,并与现代科学技术的许多学科有着紧密联系,它的整体发展水平是国家综合国力的重要标志之一。

现代高新技术发展与基础科学实验研究对仪器仪表的先进性依赖程度越来越高,先进的仪器设备既是知识创新和技术创新的前提,也是创新研究的主题内容之一和创新成就的重要体现形式。仪器仪表是工业生产的“倍增器”、科学研究的“先行官”、军事上的“战斗力”、国民活动中的“物化法官”已日益为人们所理解。近两年仪器仪表在我国许多重大工程项目(如探月工程)和社会突发事件(如四川汶川大地震、三聚氰胺毒牛奶事件)中发挥的作用更是有目共睹。特别是在举国提倡科技创新的今天,国家科技部、发改委、教育部和中国科协于 2008 年 4 月 28 日下发的国科发财[2008]197 号文件《关于加强创新方法工作的若干意见》中,强调了科学仪器作为创新工具的重要性,这为我国仪器仪表的发展创造了良好的环境。

(二) 仪器科学与技术学科的组成

目前,仪器科学与技术学科的主要组成相对稳定,其主要组成包括:

- (1) 工业自动化测控技术及工业自动化仪表与系统。
- (2) 科学测试、分析技术及科学仪器。
- (3) 人体诊疗技术及医疗仪器。
- (4) 信息计测技术及电测仪器(主要是电子测量仪器和电工测量仪器,包括仪表校验装置和计量基准)。
- (5) 专用检测技术及各类专用测量仪器。
- (6) 相关传感器、元器件、材料及技术。

三、近两年仪器科学与技术学科领域科技和产业发展的

主要特点及趋势

根据仪器科学与技术学科的内涵和组成,目前仪器科学与技术学科领域科技和产业发展的总体特点是:学科领域面对的产品种类和品种多样化;学科领域产品的稳定性、可靠性和适应性要求很高;技术指标和功能不断提高;最先应用新的科学研究成果,高新技术大量采用;仪器及测控单元微小型化、智能化日趋明显,要求仪器及测控单元可独立使用,也可嵌入式使用和联网使用;仪器测控范围向立体化、全球化扩展,测控功能向系统化、网络化发展;便携式、手持式以至个性化仪器大量发展。

学科领域科技发展的总体趋势是利用各学科最新科技成果,特别是结合材料、微电子、光电子、生物化学、信息处理等各学科及大规模集成电路、微纳加工、网络等各种新技术,在研发仪器仪表相关新型传感器、元器件和材料及技术基础上,开发新的微弱信号敏感、传感、检测、融合技术,物质原子、分子级检测技术,复杂组成样品的联用分析技术,生命科学的原位、在体、实时、在线、高灵敏度、高通量、高选择性检测技术,创建各类新型检测仪器仪表;结合系统论、控制论的发展,在开发工业自动化测控的在线分析和控制、原位分析和控制、高可靠性、高性能和高适用性等技术基础上,发展工业自动化仪表和控制系统;结合生命科学、人体科学的发展,在开发医疗诊治的健康状况监测、早期诊治、无损诊断、无创和低创直视诊疗、精确定位治疗技术基础上发展医疗仪器;同时跟踪新学科领域和各类应用领域的发展,开发各种专用、快速、自动化检测和计量技术及专用仪器仪表。

学科领域产业发展的总趋势是企业非常重视科技进步,尽量在新产品中采用各种高新技术及其形成的新型传感器、新型器件(特别是超大规模集成专用电路)及新材料,并采用计算机辅助设计(CAD)和计算机辅助制造(CAM)以缩短新产品开发周期。国际上仪器科技产品的发展趋势是微型化、数字化、智能化、集成化和网络化进一步向纵深发展,并在产品性能上向高精度、高可靠性、高环境适应性目标前进,在人机界面上更便于人的操作、使用,以及与人类生活、健康有关的各类仪器科技产品有望得到较大的发展并进入家庭,通过家庭、社区、医院联网将使保健、疾病诊治从医院向社区、家庭发展。

下面根据仪器科学与技术学科的组成,分别描述学科一些主要领域近两年科技和产业发展的主要趋势。

(一)近两年工业自动化测控技术及工业自动化仪表和控制系统领域科技和产业发展的主要趋势

1. 自动化仪表与企业的信息化

信息化是当前时代发展的趋势,自动化仪表技术包括了信息采集、信息处理及信息应用过程;“企业信息化”实际上是企业的信息集成和整合,它将面临所谓“信息爆炸”问题,即实际上获得的信息超过了处理和应用的能力,为此必须用自动化仪表和系统的信息模型“简化”、“规则”和“抽象”信息,以便最有效地利用信息。

建立信息模型的工作是自动化仪表领域的一项基础工作,也是统一信息表达的重要

手段;主要包括:①建立描述事物的规则;②按照规则对所涉及大量事物进行描述,建立模型库。

2. 自动化仪表工程项目全局信息和全生命周期信息的整合

全局和全生命周期的信息化整合实际上是实现自动化仪表系统的全面可互操作。可互操作性是分层次的,最基本的是过程控制级的互操作,即控制系统与现场仪表层面的可互操作;向上一层是控制系统维护与生产设备诊断信息的可互操作;再高一层是企业管理信息的可互操作。全局信息化整合至少要实现全局信息的可互操作。

不同层级实现可互操作的技术和方法是不完全一样的。在控制系统与现场仪表层主要技术是:功能块、EDDL(电子设备描述语言)、FDT/DTM(现场设备工具/设备类型管理器)、OPC UA(原 Ole for Process Control,过程控制用对象链接和嵌入;现 Openness, Productivity & Collaboration,开放、生产率和协作;Unified Architecture,统一架构)等。控制系统维护与生产设备诊断层的情况在后面介绍,企业管理层则部分借助于 MES(制造执行系统)技术。全局信息整合至少要使企业各层及各层之间的信息交换无障碍。

自动化系统工程项目从论证一直到建成投产运行、日后大修维护,整个过程的每个阶段会产生许多技术文件,各阶段的文件又有很强的关联,全生命周期信息整合就是要实现系统各生命阶段之间可互操作。

这样的信息化整合方案是由仪表的用户方提出的。仪表的用户企业由于贴近生产过程,贴近应用,一些用户组织对自动化仪表的应用提出许多要求,制定了一些团体标准。现在他们逐步地将这些团体标准转为国家标准、欧洲标准或国际标准,如 IEC 62424 过程控制工程的表示方法——对 P&I 图和 P&ID 工具与 PCE-CAE 工具之间数据交换的要求和 IEC 61987 的若干部分(P&I,管线工程与仪表装置;P&ID,管线工程和仪表装置系统图;PCE,过程控制工程;CAE,计算机辅助工程)。

自动化仪表工程项目全局、全生命周期的信息化整合是一个漫长的过程,近两年 IEC 62424 标准的出版、InTools 工具软件功能的扩充以及控制系统与现场仪表层各项可互操作标准的推出是发展中的一个重要标志点。

3. 功能安全

安全是一个非常广泛的主题,在自动化仪表领域近年主要关注功能安全方面。近两年功能安全的重要发展是:大量经过功能安全认证的仪表推向市场,这对仪表的市场有很大影响,因为功能安全仪表并不只是用在有安全要求的系统中,功能安全认证还起到仪表的可靠性半定量确认的作用,为了争取竞争中的有利地位,实际上几乎所有仪表制造商都会开展功能安全研究。

20 世纪的可靠性工程研究使仪表的光学、机械、电子部件的可靠性设计和处理有了获得公认的成熟框架。但是当前的仪表几乎都带微处理器,而嵌入式程序和计算机软件的可信性却还没有公认的、得到定量数据的方法。这里最容易使人困惑的是:我们都知道 Windows 操作系统的错误很多,而我们的大部分自动化仪表系统软件是运行在 Windows 环境下的,这样我们怎能相信自动化系统会有比 Windows 更好的可靠性呢?当前的功能安全研究和软件可靠性研究已经提供了添加底层程序、冗余、容错等处理方法,使我们能

够在不可靠的 Windows 上获得可靠的自动化系统。

在 IEC 61508 和 IEC 61511 里,对嵌入式程序和计算机软件的可靠性和安全性的评估提供了一些方法;另外,按不同方法评估的结果是否具有可比性也存在疑问。这对于广泛开展功能安全设计和评估是远远不够的,这方面的需求促使各方加大了嵌入式程序和计算机软件的可靠性的研究。从编程语言的角度看,IEC 61508-3 电气/电子/可编程电子安全相关系统的功能安全第三部分:软件要求对全可变语言(FVL,如 C、C++、汇编语言)在安全应用程序层次和嵌入式软件、固件、操作系统层次做了原则性的规范;而对有限可变语言(LVL,如 IEC 61131-3 的 PLCopen 组织安全扩展)在安全应用软件层次的规范,则在 IEC 62061 机械的安全;安全相关系统电气/电子/可编程电子控制系统的功能安全中描述。在这些 IEC 标准和 ISA 的对应标准 ISA 84 过程仪表安全系统的功能安全及相关技术报告中对此部分作了细化和补充,虽然离公认、统一解决方案尚有距离,但已足以使各企业开展功能安全的开发和设计了。

功能安全标准虽然已经出版,功能安全研究的范围还在深入和扩大。一方面是现场通信的功能安全问题研究,这些研究成果已经部分反映在一些现场总线系列的标准中;另一方面是电磁环境对功能安全的影响,这些研究成果开始在修订的过程控制仪表的电磁兼容性标准中体现。

4. 系统维护与仪表诊断

基于企业对安全和质量的要求,系统维护与仪表诊断受到用户、制造商和研究者各方的关注。系统维护与仪表诊断分为四个层次:生产流程的诊断、生产装备的诊断、自动化控制系统的诊断、现场仪表的诊断。

生产流程的诊断原则上不属于自动化仪表范畴,但是诊断信息的交换涉及自动化仪表系统。

针对生产装备的监控、诊断仪表系统是近两年推向市场的新产品,主要用于对某些典型生产装备(如旋转机械、流体管线)的监控和诊断。这些系统使用的检测手段包括振动测量、激光测量、红外热像、超声扫描以及普通的温度压力测量,将监测的信息通过统计分析、频谱分析、模式识别、数据挖掘等专家系统的分析,得出对设备的诊断。典型产品有 Emerson 公司的 CSI 机械设备状态管理系列。

自动化控制系统的诊断通常是控制系统中设备管理软件的一个模块或一种功能,负责控制系统自身以及现场仪表的实时诊断和预测性维护。现在各家自动化仪表跨国公司几乎都有自己的产品。自动化控制系统诊断产品的发展很快,功能和性能不断增强;现在生产装备的监控与自动化控制系统自身的诊断往往是在同一个平台上进行。为了改善这一层面的可互操作性,近年 Emerson 公司、Siemens 公司及 OPC 等几家承诺相互合作推进互操作技术的统一。

现场仪表的诊断难度较大,HART 基金会的《HART 诊断指南(草案)》将维护分为 3 级:要求维护(已经发生故障)、需要维护(仪表已超过维护周期)、建议维护(仪表到了维护周期)。而维护周期由智能仪表根据仪表的损耗情况或固定的时间确定。

国外近年在维护和诊断方面发表的论文和专利很多,反映该项内容在国外也正是热点,我国企业现在急起直追还为时不晚。