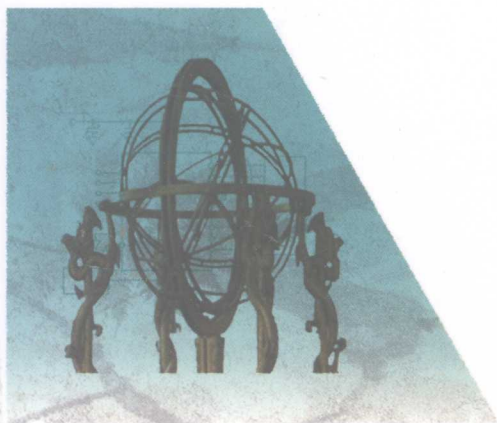


-- *Cekong zhuan ye gailun*

# 测控专业概论

● 徐宏飞 编著



 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



# 测控专业概论

徐宏飞 编著



机械工业出版社

测控技术与仪器专业属仪器科学与技术学科领域,是研究信息的获取和预处理,以及对相关要素进行控制的理论与技术;是电子、光学、精密机械、计算机技术与信息技术多学科互相渗透而形成的一门高新技术密集型综合学科。本书较为详细地介绍了测控技术与仪器专业的历史、现状和发展方向;测控专业在大学本科阶段的培养目标、培养模式、知识结构、能力结构与素质要求,课程体系与相关课程的教学内容;测控专业在钢铁、冶金、制造业、能源、化工、环保、航空、航天、国防、大众生活等领域的应用;测控专业学习和就业的建议。

本书编写的目的主要是针对大学一年级新生迫切需要了解测控技术与仪器专业,提高对专业的兴趣,了解专业知识结构,掌握合适的学习方法,尽早进入专业领域,为学生提供一个集中学习和了解专业、扩展视野的平台。

本书也可供从事自动化、机电一体化、电子信息工程和电气工程与自动化等行业员工,以及相关专业的高校师生参考,还可以作为关心测控技术与仪表行业读者的科普读物。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

测控专业概论/徐宏飞编著. —北京:机械工业出版社, 2009. 9  
ISBN 978-7-111-27623-4

I. 测... II. 徐... III. 高等学校—测量系统: 控制系统—专业—概论 IV. TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 117773 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 张俊红 责任编辑: 朱 林

版式设计: 张世琴 责任校对: 张玉琴

封面设计: 赵颖喆 责任印制: 邓 博

北京中兴印刷有限公司印刷

2009 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 16.25 印张 · 399 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-27623-4

定价: 38.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379764

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

测控技术与仪器专业属仪器科学与技术学科领域，是研究信息的获取和预处理，以及对相关要素进行控制的理论与技术；是电子、光学、精密机械、计算机技术与信息技术多学科互相渗透而形成的一门高新技术密集型综合学科。它作为信息的源头技术和核心高新技术之一，是一个国家科学技术发展水平的重要标志，是信息技术中的关键技术，广泛用于制造业、能源、环保、航空、航天、国防工业以及科学研究等部门，是对物质世界的信息进行测量与控制的技术基础，是观察、测量、计算、记录和控制自然现象与生产过程的工具。现代仪器仪表的发展水平，是国家科技水平和综合国力的重要体现，仪器仪表制造水平反映出国家的文明程度。

对于广大意欲进入大学深造的高中毕业生和刚跨入大学校门的新生而言，选择自己有兴趣的专业，了解专业的内涵，对确定今后人生努力的方向是至关重要的。而非非常多的大学一年级新生对本专业在思想和心理上一般均准备不足，虽有学好本专业的愿望，却又有对专业的困惑。大学生进校后，迫切要求了解本专业在毕业后干些什么，本专业的学生在大学里学习什么，怎样学。为了使刚进大学的一年级学生尽快了解专业，我校在大学一年级开设了专业概论课程，本书是配合大学测控技术与仪器专业概论课程而编写的一本介绍专业概况的教材。编写本书的目的是为了使测控技术与仪器专业一年级大学生了解本专业，给学生一把专业入门的钥匙，主动打开大学学习之门，发挥学生在大学时代学习的主动性、积极性和创造性，成为大学时代学习的主人。

本书共分4章。第1章绪论，主要介绍测控技术与仪器专业的历史和现状，其在社会发展与国民经济中的地位与作用，所依托的工程技术学科的研究内容与发展趋势，并介绍了专业常用的术语；第2章主要介绍测控专业在大学本科阶段的培养目标、培养模式、学生的知识结构、能力结构与素质要求、课程体系与相关课程的教学内容；第3章是本书的重点内容，主要介绍测控专业在钢铁冶金、电力、机械制造、化工、航空航天、大众生活、医疗、环境监测、军事等领域的应用，强调测控专业的应用背景以提高学生学习的兴趣、扩展学生的视野；第4章就大学一年级新生进入大学后，在大学学习阶段要注意的问题、自学为主的学习方法、主要课程的学习重点、理论联系实际等提出建议，并就学生关心的就业问题作了简要介绍。从长远来看，大学本科大众化教育的学习应该是打基础的阶段，专业方向应尽可能宽泛，应该多学习通识知识。一方面，大学进行宽口径招生，入学后应先打基础，培养通才；另一方面在高年级实行窄专业划分，培养目的明确，专才更有优势。

本书可以作为大专院校测控技术与仪器专业新生的教材，也可供从事自动化、机电一体化、电子信息工程和电气工程与自动化等专业的师生与工程技术人员参考。

由于编者的水平有限，书中难免存在错误和不足之处，恳请读者批评和指正。

编 者  
2009年7月于杭州

# 目 录

前言	
第1章 绪论	1
1.1 测控专业教育的历史和现状	2
1.1.1 测控专业的历史沿革	2
1.1.2 测控技术在当代社会中的地位 与作用	3
1.2 仪器科学与技术学科的发展方向和 前景	5
1.2.1 发展科学仪器是国家的战略措施	5
1.2.2 我国仪器仪表的现状	5
1.2.3 仪器仪表的发展方向	6
1.2.4 未来10年仪器仪表的关键技术	7
1.3 仪器传统观念的演变	8
1.3.1 仪器结构的演变	8
1.3.2 虚拟仪器开辟了仪器领域的 新时代	8
1.3.3 软测量技术	11
1.4 测控专业常用的术语	13
1.4.1 检测和检测技术	13
1.4.2 检测仪器及性能指标	13
1.4.3 自动控制常用的术语	14
思考题	16
参考文献	16
第2章 测控专业的培养目标	18
2.1 学科与专业	18
2.1.1 学科	18
2.1.2 专业	19
2.1.3 仪器科学与技术学科属性	22
2.1.4 测控专业的相关学科	23
2.2 测控专业的培养目标	23
2.2.1 素质结构方面	24
2.2.2 能力结构方面	24
2.2.3 知识结构方面	24
2.3 培养方案的知识构成	25
2.4 课程的设置及体系	27
2.5 专业课程知识结构	29
2.5.1 课程	29
2.5.2 专业知识结构	29
2.5.3 测控专业知识体系	31
2.6 各相关课程的主要内容	32
2.6.1 学科基础知识课程	32
2.6.2 专业基础知识课程	43
2.6.3 专业知识课程	50
2.6.4 专业核心知识点	56
思考题	60
参考文献	60
第3章 测控技术的应用领域举例	62
3.1 钢铁冶金	62
3.1.1 冶金	62
3.1.1.1 冶金方法	62
3.1.1.2 主要冶金过程简介	63
3.1.2 钢铁工业	63
3.1.2.1 钢与生铁的区别	64
3.1.2.2 钢铁工业的发展方向	64
3.1.3 我国钢铁工业的发展	66
3.1.4 钢铁生产工艺流程	68
3.1.5 冶金钢铁生产中的测控举例	68
3.1.5.1 原料场生产与测控	69
3.1.5.2 焦化生产与测控	69
3.1.5.3 烧结生产与测控	70
3.1.5.4 球团生产与测控	71
3.1.5.5 石灰生产与测控	73
3.1.5.6 炼铁生产与测控	73
3.1.5.7 炼钢生产与测控	77
3.1.5.8 轧钢生产与测控	80
3.1.5.9 铝的冶炼过程与测控	84
3.1.5.10 铜的冶炼过程与测控	85
3.2 电力工业	87
3.2.1 电力工业概述	87
3.2.1.1 常见的发电方式	88
3.2.1.2 电力工业的发展方向	92
3.2.2 火力发电系统与测控	93
3.2.2.1 锅炉与测控	94
3.2.2.2 汽轮机与测控	95
3.2.2.3 电力系统与测控	97

3.2.2.4 辅助系统与测控 .....	98	3.5.1.2 气球和飞艇的出现与发展 .....	153
3.2.3 变电系统与测控 .....	101	3.5.1.3 重于空气的航空器 .....	155
3.2.4 电网调度系统与测控 .....	103	3.5.1.4 我国的航空发展史 .....	158
3.2.5 配电网系统与测控 .....	105	3.5.2 航天发展简史 .....	159
3.3 机械工业 .....	107	3.5.2.1 火箭技术 .....	160
3.3.1 机械工业发展概述 .....	108	3.5.2.2 卫星时代 .....	161
3.3.2 机械工程 .....	110	3.5.2.3 空间探测 .....	162
3.3.3 机械制造 .....	113	3.5.2.4 载人航天 .....	163
3.3.3.1 机械制造过程 .....	113	3.5.2.5 我国航天史 .....	164
3.3.3.2 机械加工表面成形 .....	115	3.5.3 航空机载设备 .....	169
3.3.3.3 机械加工所需运动与切削 用量 .....	117	3.5.3.1 航空仪表 .....	169
3.3.3.4 机械零件的互换性与零件加工 质量 .....	119	3.5.3.2 飞机导航技术 .....	171
3.3.3.5 机械加工 .....	120	3.5.3.3 其他机载设备 .....	172
3.3.4 机械制造与测控 .....	123	3.5.3.4 飞机自动控制技术 .....	172
3.3.4.1 机械加工中的检测 .....	124	3.5.4 航天工程技术 .....	173
3.3.4.2 数控机床 .....	125	3.5.4.1 航天器 .....	173
3.3.4.3 机械制造自动化 .....	126	3.5.4.2 航天发射场 .....	174
3.3.4.4 现代制造技术 .....	128	3.5.4.3 航天测控网 .....	175
3.4 化学工业 .....	132	3.5.4.4 有效载荷管理系统 .....	176
3.4.1 化学工业概述 .....	133	3.5.4.5 用户终端/应用系统 .....	176
3.4.1.1 化学工业在国民经济中的地位 与作用 .....	133	3.5.4.6 着陆场 .....	177
3.4.1.2 化学工业的行业范畴与产品 分类 .....	133	3.5.4.7 航天员系统 .....	177
3.4.1.3 化学工业的原料及其选择 原则 .....	135	3.6 大众生活 .....	178
3.4.1.4 化学工业的特点 .....	136	3.6.1 居家生活 .....	178
3.4.2 化学工业的发展与现状 .....	136	3.6.1.1 家电传感器 .....	178
3.4.2.1 化学工业发展的历史 .....	136	3.6.1.2 家电的自动控制 .....	180
3.4.2.2 我国的化学工业 .....	140	3.6.2 家用轿车 .....	186
3.4.2.3 国外的化学工业 .....	141	3.6.2.1 汽车传感器 .....	187
3.4.3 化学工程 .....	144	3.6.2.2 车辆控制系统 .....	191
3.4.3.1 化学工程主要内容 .....	144	3.6.3 智能建筑 .....	196
3.4.3.2 化学工程研究对象的特点 .....	145	3.6.3.1 智能建筑传感器 .....	197
3.4.4 化学工业与测控 .....	146	3.6.3.2 建筑物智能化系统 .....	200
3.4.4.1 化工过程检测 .....	147	3.7 其他领域 .....	204
3.4.4.2 化工过程控制 .....	150	3.7.1 医学仪器 .....	204
3.5 航空航天 .....	152	3.7.1.1 医学仪器发展简史 .....	205
3.5.1 航空发展简史 .....	152	3.7.1.2 医学仪器的作用 .....	207
3.5.1.1 远古的神话与传说 .....	153	3.7.1.3 医学仪器发展趋势 .....	213
		3.7.2 环境监测 .....	214
		3.7.2.1 环境监测的基本概念 .....	215
		3.7.2.2 环境监测的主要项目 .....	217
		3.7.2.3 环境自动在线监测 .....	222
		3.7.3 武器装备 .....	224
		3.7.3.1 精确制导技术 .....	225

---

3.7.3.2 军民两用仪器·····	227	4.3 学好专业课·····	243
思考题·····	231	4.3.1 计算机类课程的学习·····	244
参考文献·····	233	4.3.2 信号与系统课程的学习·····	246
<b>第4章 学习与就业</b> ·····	<b>236</b>	4.3.3 传感器技术与应用课程的学习·····	247
4.1 本科学生的学习观·····	236	4.4 实践技能的培养·····	247
4.1.1 学习观问题的提出·····	236	4.5 就业观念与就业方向·····	248
4.1.2 不正确学习观产生原因的分析·····	237	4.5.1 社会需要怎样的毕业生·····	249
4.1.3 树立积极主动的学习观·····	238	4.5.2 影响大学生就业的“软性” 因素·····	250
4.2 学好基础理论课·····	239	4.5.3 测控专业主要就业方向·····	251
4.2.1 大学英语的学习·····	240	思考题·····	252
4.2.2 高等数学的学习·····	241	参考文献·····	252
4.2.3 大学物理的学习·····	242		

# 第1章 绪论

我国春秋晚期，大军事家孙武（公元前567—公元前473）在他的著作《孙子兵法-谋攻篇》中说：“知己知彼，百战不殆；不知彼而知己，一胜一负；不知彼，不知己，每战必殆。”意思是说，在军事纷争中，既了解敌人，又了解自己，百战都不会失败；不了解敌人而只了解自己，胜败的可能性各半；既不了解敌人，又不了解自己，那只有每战必败的份儿了。“知己知彼，百战不殆。”这一规律不仅为古今中外许多军事家所推崇，作为一种智慧、一种决策制胜方略，它同样适用于社会生活的各个领域。

那么，如何才能“知己知彼”呢？古人就有“用间五法”（乡间、内间、反间、死间、生间）。乡间，是借助敌国百姓为我所用；内间，是借助敌方官吏为我所用；反间，是借助敌方间谍为我所用；死间，是把假消息传出去，而让我方间谍知道后，将假情报传给敌人；生间，是能够回来报告敌情的我方间谍。而到了现代，那就还要再利用不同的科学方法、测量技术来获取各方面的信息。

仪器仪表发展已有悠久的历史。据《韩非子-有度》记载，我国在战国时期已有了利用天然磁铁制成的指南仪器，称为司南。古代的仪器在很长的历史时期中多属用以定向、计时或供度量衡用的简单仪器。17~18世纪，欧洲的一些物理学家开始利用电流与磁场作用力原理制成简单的检流计，利用光学透镜制成望远镜，奠定了电学和光学仪器的基础，用于测量和观察的各种仪器遂逐渐得到发展。19~20世纪，工业革命和现代化大规模生产促进了新学科和新技术的发展，后来又出现了电子计算机和空间技术等，仪器仪表因而也得到了迅速的发展。现代仪器仪表已成为测量、控制和实现自动化必不可少的技术工具。

俄罗斯著名科学家门捷列夫（Дмитрий Иванович Менделеев，1834—1907）说过：“科学是从测量开始的。”英国卓越的物理学家开尔文（Lord Kelvin，1824—1907）的格言：“我们只能测量后才能了解。”事实上，直到我们知晓了测量的东西，我们才能了解。测量是科学技术创新的基础，科学新理论的验证需要高精度的计量基（标）准提供测量基础。测量是以确定量值为目的的一种操作，是认识世界的一种方法。控制是针对信息获取、变送传输、数据处理和执行控制等部分的需要，研究信号产生、对象跟踪、状态反馈、信息传送、动作控制、结果输出等技术环节中的控制技术与方法。

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，已形成较为完善的仪器科学与技术学科。这一学科是当今社会对物质世界（包括人类创造的各种工具和人类本身）进行测量，并使人类能方便地监控物质世界使之达到最佳目标的基本手段和技术，是人类认识世界、改造世界、与自然世界共同生存和发展的重要工具，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的联系。我国著名科学家钱学森明确指出：“发展高新技术，信息技术是关键，信息技术包括测量技术、计算机技术和通信技术，测量技术是关键的基础。”王大珩院士也多次指出：“在当今以信息技术带动工业化发展的时代，仪器仪表与测试技术是信息科学技术最根本的组成部分。”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起着非常



重要的作用。

随着人类制造和使用工具的规模不断向高、大、精、尖发展,人类活动的规模和深度不断扩大和深入,人类已经不能通过自己的感觉、思维和体能器官直接观测和操作工具使之达到既定的目标。仪器科学与技术学科的内涵就是专门研究、开发、制造、应用各类仪器,以使人的感觉、思维和体能器官得以延伸的科学技术学科,从而使人类具有更强的感知和操作工具的能力来面对客观物质世界,能以最佳或最接近的方法发展生产力、进行科学研究、预防和诊疗疾病及从事社会活动。测控技术与仪器就是信息科学的源头,是研究信息获取、信息处理、信息传输与信息应用的学科。

## 1.1 测控专业教育的历史和现状

测控技术与仪器专业隶属仪器科学与技术学科。

仪器科学与技术学科是对物质(自然界)实体及其属性进行观察、监视、测定、验证、记录、传输、变换、显示、分析处理与控制的科学技术与方法的总称,是人类认识世界、改造世界的重要内容。该学科研究的重点是信息获取中的信息检测、信息处理、信息传输和信息应用的理论和技术,是信息产业的重要组成部分,是信息工业的源头,也是信息技术中的关键技术,广泛用于制造业、能源、环保、航空、航天、国防工业以及科学研究等部门,是对物质世界的信息进行测量与控制的技术基础,是观察、测量、计算、记录和控制自然现象与生产过程的工具,是科学研究与实验中不可缺少的重要组成部分。

### 1.1.1 测控专业的历史沿革

新中国成立前,我国没有独立完整的仪器仪表工业。新中国成立初期,国家处于百废待兴、大规模经济恢复和建设时期,1951年我国即着手第一个五年计划的编制工作。“一五”期间国家陆续建立了一批大型骨干工业企业和国防工业,而这些企业中必须配备大量的仪器仪表,国家急需仪器制造方面的专门人才。为此,中央决定在高等学校设立仪器类专业,培养新中国自己的仪器仪表专门人才。

1952年,全国高等学校院系调整后,教育部委托天津大学筹建“精密机械仪器专业”,委托浙江大学筹建“光学仪器专业”。这是新中国成立后我国高等学校中最先设置的仪器仪表类专业。而后,随着国民经济的大发展和国防事业的需要,各行各业对相关仪器仪表的需求不论是数量上还是品种上都愈来愈多,愈来愈广。为了适应这种社会需要,国内若干著名高校,如清华大学、哈尔滨工业大学、合肥工业大学、上海交通大学、长春理工大学(原春光机学院)、东南大学、北京理工大学、北京航空航天大学、南京航空航天大学等都相继成立了仪器仪表类专业,并根据前苏联的办学模式,相应于各仪器类别,分别设有计量仪器、光学仪器、计时仪器、分析仪器、热工仪表、航空仪表、导航仪表、自动化仪表、电子测量仪器、科学仪器、医疗仪器等10多个专业。

仪器仪表类专业的建立,为有计划地培养能够独立进行仪器设计、制造、使用、维修、科学研究的高层次工程技术人员奠定了基础。凭着对党的教育事业的忠诚和高涨的爱国热情,师生奋发图强,在人力、物力、财力都很困难的条件下,一批批我国自己培养的仪器仪表专门人才跨出校门,成为国民经济建设、国防建设、科学研究方面的中坚技术力量,做出了显著的成绩。

“文化大革命”后,随着改革开放,教育指导思想逐渐定位为“四个面向”:面向世界、

面向未来、面向现代化、面向市场经济。原先产品分类式的专业面已不能适应形势的发展。随后陆续将专业归并,至1998年教育部颁布新的本科专业目录,把仪器仪表类11个专业(精密仪器、光学技术与光电仪器、检测技术与仪器仪表、电子仪器及测量技术、几何量计量测试、热工计量测试、力学计量测量、光学计量测量、无线电计量测试、检测技术与精密仪器、测控技术与仪器)归并为一个大专业——测控技术及仪器。这是我国高等教育由“专才教育”向“通识教育”转变的重要里程碑。

仪器仪表类专业的发展速度是空前的,在不到10年的时间内,其办学规模大约翻了两番,呈现出招生和分配两头热的良好状态。根据国家统计局、教育部和有关行业部门统计,至2005年底,我国设立仪器科学与技术学科相关专业的高等院校达180余所(不包括部队院校);仪器仪表行业规模以上企业为3391个,比2004年的2494个增长36%,职工人数为65万,年增长率为18.2%。“十五”期间,仪器仪表产业发展的年增长率超过22%,超过国内经济发展的平均年增长率一倍以上。测控技术与仪器专业大发展的原因,既源于较大的社会需求,也源于社会对此专业教育的认同。测控技术与仪器专业以光、机、电、算为学科基础的人才知识结构,培养基础厚、知识面广的宽口径人才,即符合人才市场的需求,也顺应了信息技术蓬勃发展的势头。

### 1.1.2 测控技术在当代社会中的地位与作用

随着科学技术尤其是电子信息技术的飞速发展,仪器仪表的内涵较之以往也发生了很大的变化。其自身结构已从单纯机械结构或机电结合或机光电结合的结构发展成为集传感技术、计算机技术、电子技术、现代光学、精密机械等多种高新技术于一身的系统,其用途也从单纯数据采集发展为集数据采集、信号传输、信号处理以及控制为一体的测控过程。特别是进入21世纪以来,随着计算机网络技术、软件技术、微纳米技术的发展,测控技术呈现出虚拟化、网络化和微型化的发展趋势,从而使仪器仪表学科的多学科交叉及多系统集成而形成的边缘学科的属性越来越明显。

当今世界已进入信息时代,仪器仪表作为信息工业的源头是信息流中的重要一环,它伴随着信息技术的发展而发展,同时又为信息技术的发展发挥着不可替代的作用,在人类的生产生活、军事技术、科学研究中扮演着重要角色。

在国民经济运行中,仪器仪表是“倍增器”,对国民经济有着巨大的辐射作用和影响力。美国国家标准局于20世纪90年代发布的调查数据表明,美国仪器仪表产业的产值约占工业总产值的4%,而它拉动的经济产值却达到社会总产值的66%,仪器仪表发挥出“四两拨千斤”的巨大倍增作用。事实上,现代化大工业,如发电、炼油、化工、冶金、飞机和汽车制造等,离开了只占企业固定资产大约10%的各种测量与控制仪器仪表装置,就不能正常安全生产,更难以创造出巨额的产值和利润。专家们形象地把仪器仪表比喻为国民经济中的“卡脖子”产业。

在科学研究中,仪器仪表是“先行官”。离开了科学仪器,一切科学研究都无法进行。发展高新技术必须有先进的仪器仪表作依托,现代仪器仪表是发展高新技术必需的及重要的手段和技术基础。在重大科技攻关项目中,几乎一半人力财力都用于购置、研究和制作测量和控制用的仪器仪表。诺贝尔奖设立至今,众多获奖者都是借助于先进仪器的诞生才获得重要的科学发现;甚至许多科学家直接因为发明科学仪器而获奖。据统计资料显示,近80年来,诺贝尔奖获得者中,同科学仪器有关的达38人。1992年诺贝尔化学奖获得者

R. R. Ernst 说：“现代科学的进步越来越依靠尖端仪器的发展”。基因测量仪器的问世，使世界基因研究计划提前 6 年完成就是最好的证明。从神舟计划实施中，已共有成百台（套）科学仪器仪表装置，为神舟飞船的成功发射并获取大量宝贵的飞行试验数据和科学资料提供了保证。要加快科学研究和高新技术的发展，仪器仪表必须先行。仪器是科学发展的支柱，仪器的进展也代表着科技的前沿。

在军事上，仪器仪表是“战斗力”。仪器仪表的测量控制精度决定了武器系统的打击精度，仪器仪表的测试速度、诊断能力则决定了武器的反应能力。先进的、智能化的仪器仪表已成为精确打击武器装备的重要组成部分。1991 年海湾战争美国使用的精密制导炸弹和导弹只占 8%，12 年后的伊拉克战争中，美国使用的精密制导炸弹和导弹达到了 90% 以上，这些先进武器都是靠一系列先进的测量与控制仪器仪表系统装备，并实现其控制功能的。1994 年美国国防部成立了“自动测试系统执行局”，以统一海陆空三军的测试技术、产品与标准，保证立体作战方式的有效实施。现代武器装备，几乎无一不配备相关的测量控制仪器仪表。

现代仪器仪表还是当今社会的“物化法官”。在检查产品质量、监测环境污染、检查违禁药物服用、识别指纹假钞、侦破刑事案件等，无一不是依靠仪器仪表进行“判断”。

仪器仪表在关注生产活动、军事技术、社会服务与科学研究的同时，也开始走进家庭，成为提高人们生活的重要工具。仪器仪表在实验教学、气象预报、大地测绘、疾病诊治、交通指挥、灾情探测等社会生活的方方面面都有广泛应用，遍布“农轻重、海陆空、吃穿用”。

近 10 多年来，学术界、科技界、教育界的仪器仪表领域的老前辈们为仪器仪表的作用和地位做了深入的研讨、深刻的分析和精辟的描述。著名科学家王大珩、杨家墀、金国藩等院士高度概括并指出“仪器仪表是信息产业的重要组成部分，是信息工业的源头”，揭示了仪器仪表的学科本质和定位，指明了仪器仪表学科的发展方向，对学科的发展具有深远的指导意义，并为之奔走呼吁。仪器仪表学科由此得到正确定位、规范叙述并明确了其发展方向。

测控技术与仪器是建立在现代检测技术、现代电子技术、智能信息处理技术、计算机技术、自动控制技术、通信技术、光学工程和机械工程等学科基础上的仪器科学与技术学科高新技术专业。

测控技术与仪器专业应用现代物理学、电子信息科学和控制科学的基本理论、方法和实验手段，研究对各种物理量进行检测、计量、监测和控制的基本理论、方法和新技术，探求新的测量方法，设计新的测控仪器与系统，培养具有坚实数学物理基础，掌握电子信息科学以及计算机、传感器，自动检测与控制等领域的基本理论、基础知识和基本技能，能运用计算机等工具对各种电量和非电量检测、控制及相关仪器仪表研制与开发的高级专门人才。

测控技术与仪器专业属仪器科学与技术学科领域，是研究信息的获取和预处理，以及对相关要素进行控制的理论与技术；是电子、光学、精密机械、计算机技术与信息技术多学科相互渗透而形成的一门高新技术密集型综合学科。它作为信息的源头技术和核心高新技术之一，是一个国家科学技术发展水平的重要标志。本专业的培养目标是经过多学科基础理论与实用技能的严格训练，培养具有现代科学创新意识和国际化意识、德智体等方面全面发展，可从事电子信息、计算机应用、自动化、电子与通信、现代信息技术装备、精密工程、测量

与控制、微米技术和电、光、机、控一体化技术领域等多领域的科学研究、产品设计制造、科技开发、应用研究、运行管理等方面的,具有创新精神的高级复合型工程技术人才。

信息技术的主体技术中的 4 个基元——感测技术、通信技术、计算机技术、控制技术,其中的感测技术和控制技术就是测控技术。测控技术是信息科学的重要组成部分,主要从事信息获取、信息利用的理论和技术研究,与信息处理、信息传输技术共同构筑“仪器科学与技术”大厦的基石。它主要涵盖传感器技术、机械设计与制造、先进控制技术与智能技术。专业集机械学、光学、电子学、信息学于一身,由这 4 个部分所构筑的宽厚的专业知识平台为学生的将来提供了广阔的发展空间。本专业技术含量高且综合性强,拥有广阔的就业前景,毕业生活跃于自动化测量、智能仪器、光信息技术、激光光谱分析、航天工程等前沿领域。

## 1.2 仪器科学与技术学科的发展方向和前景

### 1.2.1 发展科学仪器是国家的战略措施

现代仪器仪表的发展水平是国家科技水平和综合国力的重要体现,仪器仪表的制造水平反映出国家的文明程度。为此,世界发达国家都高度重视和支持仪器仪表的发展,美、日、欧等发达国家和地区早已制定各自的发展战略并锁定目标,有专门的投入,以加速原创性的发明、发展、转化和产业化进程。发达国家中科学仪器的发展,已从自发状态转入到有意识、有目标的政府行为上来。

前已提及,美国对仪器仪表的发展给予了高度重视和支持;日本科学技术厅把测量传感技术列为 21 世纪首位发展的技术;德国大面积推广了应用自动化控制仪器系统,20 世纪 90 年代就增加了 350% 的市场,保证了劳动生产率增长 1.9%;欧共体制定第三个科技发展总体规划,将测量和检测技术列为 15 个专项之一。我国政府在国民经济和社会发展第十个五年规划纲要中明确指出“把发展仪器仪表放到重要位置”,国家发改委和科技部将其列为专项,支持仪器仪表的发展,2005 年国家制定的中长期科学和技术规划对仪器仪表也给予了高度的重视。

### 1.2.2 我国仪器仪表的现状

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,并形成了门类品种比较齐全、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。

虽然我国仪器仪表产业有了较大的发展,但远远不能满足国民经济、科学研究、国防建设以及社会发展等各个方面的迫切需求。从产品的科技水平分析,目前绝大部分国产仪器的科技水平处于国际上 20 世纪 90 年代初、中期水平,中低档产品品种基本齐全,能够批量生产,且产品质量稳定;少数中高档产品已接近国际水平。在工程应用方面,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。2004 年我国仪器仪表行业产销首次突破千亿元大关,预示着我国仪器仪表行业的发展进入了快车道。2006 年仪器仪表行业总产值突破 2000 亿元;2007 年仪器仪表行业的发展更是令人振奋,总产值一年提升了近千亿元,产销双破 3000 亿元,创下了我国仪器仪表行业发展史上的最高纪录。据统计,2007 年仪器仪表行业总产值达 3078 亿元,同比增长 28.5%;销售收入达 3005 亿元,同比增长了 29%。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。

我国仪器仪表落后于国际先进水平，差距是全方位的，包括产品技术方面的差距和企业综合实力上的差距。在产品技术方面，主要表现在产品的可靠性较差、产品的性能和功能落后、产品技术更新周期长、缺乏针对使用对象而开发的专用解决方案；在企业综合实力上，主要是行业规模小（仪器仪表行业总产值较低）、企业劳动生产率低、企业技术开发投入普遍不足、低水平的重复生产异常突出等。

探求其主要原因有：运行机制不能适应市场经济发展的要求，产、学、研、金（融）、用（户）有机结合的体制和政策没有形成，缺乏国家强有力的研究支援体制，仪器仪表的巨大市场主要靠进口，科学研究“空芯化”现象严重，缺乏高层次复合型人才和熟悉精通各学科的综合型人才等。

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”国策的实施，我国仪器仪表产业规模的年增长速度连续4年超过20%，近期我国仪器科学与技术学科领域中，科技和产业的发展在实现微型化、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，具有自主知识产权部分的开发研制及产业化，取得了显著的进展。特别是自动化仪表及大型控制系统出现重大进展，解决了现场总线在仪器仪表和控制系统中应用的一些关键技术，在基于可寻址远程传感器的数据公路（HART）、基金会现场总线（FF）的变送器、执行机构、控制系统等方面取得了重大成果，达到国际先进水平，并已开始实现产业化，打破了由国外大公司垄断的局面；研究解决了工业实时以太网系列关键技术，原创性地提出了工厂自动化的以太网（Ethernet for Plant Automation, EPA）工业控制网络通信技术，制定了我国第一个拥有自主知识产权的现场总线国家标准和国际标准；先进控制与优化软件产业化取得重大突破，已基本可以平等地与国际著名的 Aspen、Honeywell 等公司竞争；解决了大型控制系统在工程应用中的可靠性问题，在石油化工、大型电力、核电、冶金等领域得到广泛应用。

### 1.2.3 仪器仪表的发展方向

确定行业发展方向的正确与否，引进先进技术会不会被其他技术所取代，事关企业生存大计。如果抢到了泰坦尼克号的头等舱，还不如一个救生圈。根据国际发展潮流和我国现状，仪器科学与技术学科主要包括6个方面：工业自动化测试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；人体诊疗技术及医学仪器；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，高新技术被大量采用；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。

学科领域科技发展的趋势是利用各学科的最新研究成果，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、微纳米加工、网络等各种新技术，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，工业自动化测控的在线分析、原位分析、高可靠性、高性能和高适用性技术，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,新学科领域的计量技术,各类应用领域的专用、快速、自动化检测和计量技术。

我国仪器科学与技术学科发展的总体目标是:从目前至 2020 年,必须充分利用我国经济高速发展和巨大的市场优势,结合测控技术的深化研究,大力推进新技术、新工艺在仪器仪表中的应用研究,掌握各类仪器仪表的设计、生产工艺等关键技术,满足国民经济、人民健康和国防安全在生产、科研、应用各个方面对测量控制与仪器仪表的需求,减少进口,扩大出口,使我国仪器科学与技术学科领域科技和产业总体水平与国际水平差距普遍缩短 3~5 年;工业自动化仪表和控制系统、科学仪器、医疗仪器、电测和计量仪器、各类专用仪器仪表、相关传感器和元器件及材料等领域约 30% 的产品达到国际同期先进水平,国内生产的仪器仪表在重大工程中的配套能力达到 80% 以上。

#### 1.2.4 未来 10 年仪器仪表的关键技术

##### 1. 技术发展趋势

科学技术的飞速发展,促进科学仪器新技术、新成果层出不穷。目前,科学仪器已远远超出“光机电一体化”这个概念,除了加入计算机技术,还大量引进日新月异的高新技术,如纳米、微电子机械系统(MEMS)、芯片、网络、自动化、免疫学、仿生学、基因工程等,同时,一些高精尖的军用技术向民用技术转移,大大提高了科学仪器的技术水平和更新换代速度。当今科学仪器发展总体上呈现出如下趋势:

- 1) 常规科学仪器向多功能、自动化、智能化、网络化发展;
- 2) 生命科学仪器向原位、在体、实时、在线、高灵敏度、高质量、高选择性方向发展;
- 3) 用于复杂组分样品检测分析的科学仪器向联用技术方向发展;
- 4) 用于环境、能源、农业、食品、临床检验等国民经济领域中的仪器向专用、小型化方向发展;
- 5) 样品前处理科学仪器向专用、快速、自动化方向发展;
- 6) 监控工业生产过程的科学仪器向在线、原位分析方向发展。

##### 2. 仪器仪表工业关键技术框架

总体来说,一共有 51 项关键技术,属于 3 个技术领域,10 个方面。

##### (1) 信息获取技术

- 1) 传感器技术:敏感材料技术、传感器制造技术、传感器应用技术;
- 2) 精密测试技术:自动测量技术、在线测试技术、多参数综合测量技术、视觉测量技术、人工智能测试技术、测试软件技术、微成像技术、仪器仪表标定技术;
- 3) 智能仪表技术:专用电路技术、现场信号集成技术、传感变送一体化技术;
- 4) 现场溯源技术:纳米溯源技术、自校准技术。

##### (2) 信息处理控制技术

- 1) 现场总线技术:微计算机技术、集成电路技术、通信技术、网络互联技术、现场控制技术;
- 2) 智能控制技术:模糊控制技术、专家控制技术、分级递阶智能控制技术、神经网络控制技术、拟人智能控制技术、自适应控制技术;
- 3) 系统集成技术:多媒体技术、故障诊断技术、通信接口技术、数据库技术。

##### (3) 精密制造技术

1) 仪器仪表现代设计技术: 计算机辅助设计技术、可靠性设计技术、系统优化设计技术、人机工程学设计技术、产品造型设计技术、专用功能块线路设计技术、反求工程设计技术、虚拟设计技术;

2) 仪器仪表特种工艺技术: 计算机辅助制造技术、精细加工技术、特种加工技术、高密度电子组装技术、微机械加工技术、精密快速成形技术、表面涂覆技术;

3) 现代管理技术: 全面质量管理技术、准时生产、精益生产技术、并行工程技术、柔性生产技术。

## 1.3 仪器传统观念的演变

### 1.3.1 仪器结构的演变

随着科学技术的发展, 传统仪器结构的“单机”概念在不断变化。美国国家仪器公司(National Instruments Corporation, NI公司)于1986年提出“软件即仪器”的口号, 开辟了“虚拟仪器”的崭新概念。虚拟仪器突破了传统电子仪器以硬件为主体的模式, 使用者操作具有测试软件的电子计算机进行测量, 犹如操作一台虚设的测量仪器。

之后, 软测量、软仪表、软传感器等概念应运而生, 它们和虚拟仪器一样, 其共同特点都是用计算机软件来取代传统仪器中的硬件。软仪表是指在测量中, 不存在直接的物理传感器或仪表实体, 而是利用其他由直接物理传感器实体得到的信息, 通过数学模型计算手段得到所需检测信息的一种功能实体。软传感器和软测量与软仪表一样, 它们都是以软件算法为主的测量手段。

测量系统、分布式测量系统、网络化测量系统的提出与实施, 是综合运用信息技术、测试测量技术、自动化技术, 通过现场总线、网络及其支持软件构成的综合控制系统, 使单机测量向多机测量、单点测量向多点测量、单参数测量向多参数测量、平面策略向空间测量、近距离测量向远距离测量、事后测量向即时现场测量演变等。

近几年, 有人提出建立“有界无限”统一模型的“仪器库”思想。所谓“有界无限”是指“领域测试”(如机械测试类)是一个“界”, 只要在这个“界”内, 同类测试的功能或仪器都将被包含或可添加到这一系统中。这样一个统一模型被称为“岩石模型”。基于这个模型理论, 对测试功能虚拟控件进行多次深度集成制造, 便可由上述某些演变成为一个“有界无限”、包含大量测试仪器并可实际使用的复杂、巨型虚拟仪器库。这是一个复杂的功能测试系统, 同时也是一个开放的系统。对于它, 已有的资源可以立即满足测试的要求, 它还没有的资源可以很快地在模型内自动生成或开发, 从而可以继续满足任何新的测试需要。通过这一模型的建立, 将使传统仪器的“单机”概念消失, 代之而起的是经多次深度集成制造而成的大型“仪器库”。在将来的测试仪器中, “仪器库”将成为测试测量所使用的仪器“单位”, 而在同一行业中, 只需使用这一“单位”便可满足其全部测试要求。

### 1.3.2 虚拟仪器开辟了仪器领域的新时代

20世纪80年代中期, 随着计算机技术与电子技术的飞速发展, 在以计算机为平台的测控仪器中, 软件和总线的作用日益突出, 测试仪器的物理功能越来越多, 需要计算的功能也越来越多。由于传统硬件仪器的固有缺点(如封闭性、缺乏灵活性、响应速度慢等)已经使其越来越不能满足测试仪器功能日益增加的要求。所以用软件取代硬件便成为仪器仪表领域的一个迫切需要解决的问题; 同时, 因为被测试对象的频率范围越来越宽, 要求总线具有相

应的高速传输能力和灵活的扩展能力；另外，面对各种各样复杂的测试要求，希望软件系统不仅能完成测试所需的功能，而且要易于使用。

特别是近些年来，出现的数字信号处理器（DSP）与微机软件结合产生强大的计算与控制能力，这使其在一定的实时性要求下取代了许多硬件不能胜任的其他功能，标志着“软件即仪器”（the software is the instrument）时代的到来。

虚拟仪器（Virtual Instrument, VI）不仅使仪器技术与计算机软硬件技术和总线技术紧密结合，而且还采用了数字信号处理，系统辨识和数字建模等现代方法。

1986年，美国NI公司首先提出虚拟仪器的概念：虚拟仪器是由计算机硬件资源、模块化仪器硬件和用于数据分析、过程通信及图形用户界面的软件组成的模块化仪器系统，是一种由计算机操纵的模块化仪器系统。

所以，虚拟仪器是一种以计算机作为仪器统一平台，充分利用计算机独具的运算、存储、回放、调用、显示以及文件管理等基本智能化功能，同时把传统仪器的专业化功能和面板控制软件化，使之与计算机结合起来融为一体，这样构成了一台从外观到功能都完全与传统硬件仪器一致，同时又充分享用计算机智能资源的全新的仪器系统。

### 1. 虚拟仪器的硬件系统

主要分为计算机硬件平台和测控功能硬件两大块。标准的体系结构有如下4种：

- 1) GPIB (General Purpose Interface Bus, 通用接口总线)；
- 2) VXI (VME bus eXtension for Instrumentation), 即 VME 总线在仪器领域的扩展；
- 3) PXI (PCI eXtension for Instrumentation), 即 PCI 在仪器领域的扩展；
- 4) DAQ (Data AcQuisition, 数据采集), 指基于计算机标准总线的内置功能插卡。

### 2. 虚拟仪器的软件系统

由于虚拟仪器的核心思想是利用计算机的硬件和软件系统资源，使本来由硬件实现的功能软件化（虚拟化），以便最大限度地降低成本，增强系统的功能和灵活性。

虚拟仪器的软件结构框架如图 1-1 所示。

从图 1-1 软件结构框架可以看出，由低到高可分为 3 个部分。

虚拟仪器软件体系结构（Virtual Instrument Software Architecture, VISA）库——是标准 I/O 函数库及其相关规范的总称；

驱动程序——每个仪器模块都有自己的仪器驱动程序，仪器制造厂商以源代码形式提供给用户；

应用软件——是建立在驱动程序之上，直接面对操作用户，提供直观、友好的测控操作界面，丰富的数据分析和处理功能，来完成自动测试任务。

### 3. 虚拟仪器的形式

虚拟仪器通常由计算机、仪器模块和软件 3 部分组成。仪器模块的功能主要靠软件来实现，通过编程在显示屏上构成如波形示波器、数字万用表等传统仪器的软面板；而波形发生器发生的波

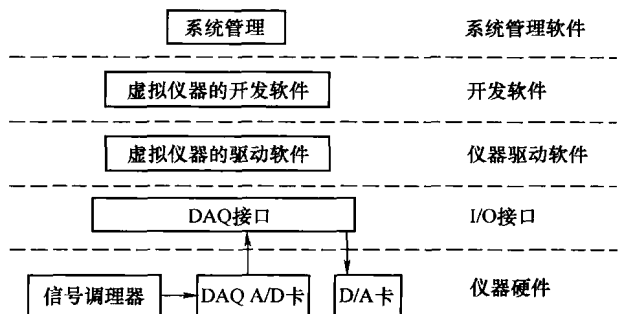


图 1-1 虚拟仪器的软件结构框架



形、频率、占空比、幅值和偏置，或者示波器的测量通道、标尺比例、时基、极性、触发信号等都可用鼠标或按键进行设置，如同常规仪器一样使用。不过，虚拟仪器还具有更强的分析和处理能力。

将软功能库、软控件库置入计算机，在开发系统内进行软装配、软连接、软组合、软修改、软测试等一系列的软操作，最后形成一台从外观到功能到操作方法都与同类硬件仪器一样的虚拟仪器。

#### 4. 虚拟仪器的开发系统

目前流行的开发系统主要有两大类：一类是图形化的编程语言，如 Lab VIEW、HPVEE 等；另一类是文本式的编程语言，如 Visual C++、Lab Windows/CVI 等。

以 LabVIEW 为例，LabVIEW 是美国 NI 公司研制的一个强大的虚拟仪器系统开发平台，是具有直观界面、便于开发、便于学习且具有多种仪器驱动程序和工具的大型仪器系统开发工具。

LabVIEW 基于图形化编程语言 G 开发环境，它采用了工作人员所熟悉的术语、图标等图形化符号来代替基于文字的常规程序语言，把繁琐、费时的语言程序简化为简单、直观、易学的图形编程。同传统的编程语言相比，可以节省约 80% 的程序开发时间。

LabVIEW 的基本程序是虚拟仪器 (VI)。可以通过图形编程的方法建立一系列的 VI，来完成用户指定的测试任务。对于简单的测试任务，可以由一个 VI 完成；对于一项较复杂的测试任务，则可以采取模块设计的概念，把测试任务分解为一系列的子任务，每一项子任务还可以再分解为多项小任务，直至把一项复杂的测试任务变成一系列子任务。设计时，先设计各种 VI，以完成每项子任务，然后把把这些 VI 组合起来以完成更大的任务，最后建成的顶层虚拟仪器就成为一个包括所有子功能虚拟仪器的集合。

LabVIEW 的模板有 3 类：工具 (Tool) 模板，用于创建、修改和调试程序；控制 (Controls) 模板，用于给前面板增加输入控制量和输出指示量；功能 (Functions) 模板，包括 16 个子模板，用来创建框图程序。

#### 5. 虚拟仪器的构成

虚拟仪器的构成框图如图 1-2 所示。虚拟仪器就是用“搭积木”的方法，在荧光屏上选项、组合成所需要的仪表。

#### 6. 虚拟仪器的特点

综上所述，与传统硬件化仪器相比，虚拟仪器除了在性能、易用性和用户可自定义等方面的优点外，明显有 9 个特点：功能软件化，功能模块化，模块控件化，仪器控件模块化，硬件接口标准化，系统集成化，程序设计图形化，计算可视化，硬件接口软件驱动化。

一方面，目前我国高档仪器如数字示波器、频谱分析仪、逻辑分析仪等还是主要依赖进口，这些仪器加工工艺复杂，要求很高的制造

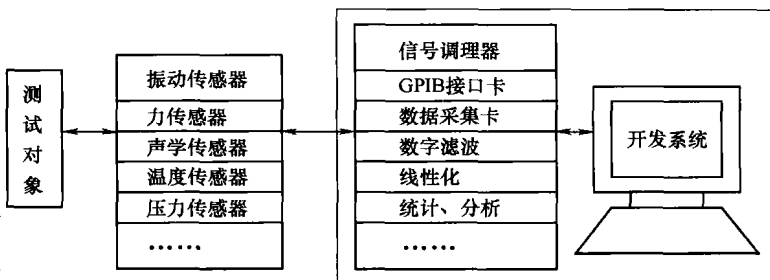


图 1-2 虚拟仪器的构成框图