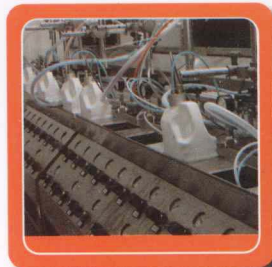




全国高等院校仪器仪表及自动化类“十二五”规划教材

智能仪器

◎ 付 华 徐耀松 王雨虹 编著



修订再版：全书内容体现科学性、系统性和实用性

设计实例：已获国家专利、省级或行业科技进步奖



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

013064620

TP216-43
23

全国高等院校仪器仪表及自动化类“十二五”规划教材

智能仪器

付 华 徐耀松 王雨虹 编著



电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING



北航

C1672077

TP216-43
23

013084250

内 容 简 介

本书系统、详细地介绍智能仪器的基本内容和实现的技术方法。全书共分10章,内容包括智能仪器的基本组成与特点,智能仪器设计的原则、指导思想、设计步骤、数据采集、数据处理及数据输出技术, GPIB、VXI、RS-232、RS-485、现场总线、蓝牙等通信技术,自动校准、故障诊断和抗干扰技术,以及常用的测量与控制算法、多传感器信息融合、模糊逻辑控制算法、神经网络算法、专家系统、软测量、虚拟仪器、网络化仪器等。本书注重科学性、系统性和实用性。

本书可作为高等院校测控技术与仪器、自动化、电子信息工程、机电一体化和计算机应用等专业的教材,也可供测控技术、电子技术、计算机应用技术等领域的从业者参考。

为了方便教学,本书还配有电子教学参考资料包,欢迎登录 www.hxedu.com.cn 下载。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

智能仪器/付华,徐耀松,王雨虹编著. —北京:电子工业出版社,2013.8

(全国高等院校仪器仪表及自动化类“十二五”规划教材)

ISBN 978-7-121-21113-3

I. ①智… II. ①付… ②徐… ③王… III. ①智能仪器—高等学校—教材 IV. ①TP216

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第174370号

策划编辑:郭穗娟

责任编辑:康霞

印刷:北京京师印务有限公司

装订:北京京师印务有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开本:787×1092 1/16 印张:21.25 字数:541千字

印次:2013年8月第1次印刷

定价:45.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

《全国高等院校仪器仪表及自动化类“十二五”规划教材》

编委会名单

主 任：许贤泽

副主任：谭跃刚

刘波峰 郝晓剑 杨述斌 付 华

委 员：赵 燕 黄安怡 郭斯羽

武洪涛 靳 鸿 陶晓杰 杨书仪

李志华 秦 斌 王 欣 李德俊

孙士平 冯先成 白福忠 张国强

王后能 张雪飞 谭保华 郑红霞

前 言

智能仪器是计算机技术、检测技术、电子技术、通信技术等多种技术相结合的产物，与其相关的技术的发展带动着智能仪器技术的发展，而智能仪器的发展又推动着科学技术的发展。近年来，相关学科的理论和方法不断渗透到智能仪器中，使智能仪器在仪器构成的理念上发生了巨大变化。人工智能、计算智能的引入使智能仪器的智能化水平进一步提高，微电子技术、大规模集成电路技术的发展增加了智能仪器硬件系统的集成度和可靠性，虚拟现实、软测量、信息融合、现场总线、无线传感器网络、互联网及无线通信等技术的融入使智能仪器的发展进入新的阶段，出现了“软件就是仪器”和“网络就是仪器”的现代智能仪器。

本书共分 10 章。第 1 章介绍智能仪器的发展概况、智能仪器的特点及智能仪器的组成及基本结构。第 2 章介绍智能仪器的数据采集与处理技术，包括数据采集原理、数据采集系统的组成、仪用放大器、采样/保持器、多路转换器、A/D 转换器及接口技术，以及 DSP 数字信号处理技术和软测量技术。第 3 章介绍智能仪器输出通道的信号种类、模拟量输出及 D/A 转换、数字波形合成技术、V/I 变换、开关量输出的隔离和驱动等。第 4 章介绍智能仪器中人机交换技术，包括键盘，LED、LCD 显示器，以及打印机、绘图仪和它们的接口。第 5 章介绍智能仪器的通信接口设计，包括 GPIB、VXI、PXI、RS-232C、RS-485、通用串行总线 USB、现场总线、以太网、蓝牙等数据通信技术。第 6 章介绍智能仪器的算法设计，包括测量算法、量程的自动转换与标度变换算法、多传感器信息融合、PID 控制算法、模糊逻辑控制算法、神经网络算法、专家系统。第 7 章介绍智能仪器的自动校准和抗干扰技术。第 8 章介绍智能仪器设计的原则、指导思想、设计步骤，智能仪器的硬件设计、软件设计、调试方法，并对智能仪器的实例进行介绍。第 9 章介绍虚拟仪器技术，包括虚拟仪器的发展历程、虚拟仪器的构成、特点、开发工具及方法，以及虚拟仪器的应用。第 10 章介绍网络化仪器设计，主要介绍网络化仪器设计方法、网络化仪器结构设计、现场总线分布式仪器仪表设计、无线传感器网络及基于 TCP/IP 的网络化仪器设计。

本书由付华、徐耀松、王雨虹编著，其中，第 1 章由付华执笔；第 2 章、第 3 章、第 5~9 章由徐耀松执笔；第 4、10 章由王雨虹执笔。此外，第 8 章 8.5 节中的温度智能仪器设计内容由付华和徐耀松共同完成，第 9 章 9.3 节中的虚拟瓦斯监测仪设计内容由王雨虹完成。参与本书编写工作的人员还有王丹丹、卢万杰、闫孝姮和郭磊。全书的写作思路由付华教授提出，全书由付华和徐耀松统稿。在此，向对本书的完成给予了热情帮助的同行人表示感谢。

尽管我们为编写本书付出了心血和努力，但书中欠妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 著 者
2013 年 6 月

目 录

第 1 章 智能仪器概述	1
1.1 智能仪器的作用	1
1.2 智能仪器的发展过程	2
1.3 智能仪器的组成、特点及分类	6
1.3.1 智能仪器的组成	6
1.3.2 智能仪器的特点	6
1.3.3 智能仪器的分类	8
1.3.4 智能仪器的应用	10
第 2 章 智能仪器的数据采集与处理	12
2.1 数据采集系统的组成	12
2.1.1 数据采集系统的一般组成	12
2.1.2 集中式数据采集系统	13
2.1.3 分散式数据采集系统	14
2.1.4 采样定理	15
2.2 数据采集系统的主要器件	18
2.2.1 仪用放大器	18
2.2.2 采样/保持器	29
2.2.3 模拟开关	31
2.2.4 A/D 转换器	33
2.3 数字信号处理器	38
2.3.1 数字信号处理器的特点	38
2.3.2 数字信号处理器的结构	39
2.3.3 DSP 芯片的类型与特点	39
2.4 软测量技术	45
2.4.1 软测量技术的发展背景	45
2.4.2 软测量技术的基本原理	46
2.4.3 建立软测量模型的几种方法	46
2.4.4 影响软测量模型性能的因素	49
2.4.5 软测量技术的实施步骤	51
第 3 章 智能仪器输出通道	53
3.1 智能仪器输出通道的信号种类	53
3.1.1 模拟量输出信号	53
3.1.2 开关量输出信号	54
3.1.3 数字量输出信号	54



3.2	模拟量输出及 D/A 转换	55
3.2.1	模拟量输出通道的组成及结构形式	55
3.2.2	D/A 转换器及接口	56
3.3	开关量输出	61
3.3.1	开关量输出隔离	61
3.3.2	开关量输出驱动	63
3.3.3	固态继电器 (SSR)	64
3.4	数字波形合成技术	66
3.4.1	波形合成	66
3.4.2	电压/电流变换	68
第 4 章	智能仪器的人机接口	73
4.1	键盘接口设计	73
4.1.1	非编码式键盘接口	74
4.1.2	编码式键盘接口	80
4.2	显示器接口设计	84
4.2.1	LED 显示器接口	84
4.2.2	LCD 显示器接口	88
4.3	打印机与绘图仪接口	93
4.3.1	打印机接口	94
4.3.2	绘图仪接口	99
第 5 章	智能仪器通信接口设计	102
5.1	并行通信接口	102
5.1.1	GPIB 总线	102
5.1.2	VXI 总线	110
5.1.3	PXI 总线	118
5.2	串行通信接口	120
5.2.1	RS-232C 标准串行接口	120
5.2.2	RS-422/485 标准串行接口	123
5.2.3	通用串行总线 (USB)	126
5.3	现场总线技术	130
5.3.1	现场总线的定义	130
5.3.2	现场总线的体系结构	131
5.3.3	现场总线系统的技术特点及其优越性	133
5.3.4	现场总线的分类	134
5.3.5	几种典型的现场总线	135
5.4	基于工业以太网的通信接口	139
5.4.1	概述	139
5.4.2	以太网在 SCADA 系统中的应用	140



5.4.3	基于以太网控制装置的通信程序设计	141
5.4.4	Socket 基本技术介绍	141
5.4.5	基于 PC-104 嵌入式控制器的 SCADA 系统中以太网通信程序的设计	144
5.5	蓝牙技术通信	149
5.5.1	蓝牙技术的特色与工作原理	149
5.5.2	蓝牙芯片组及其实用连接技术	151
5.5.3	基于蓝牙技术的便携式数据采集装置	153
第 6 章 智能仪器的算法设计		159
6.1	测量算法	159
6.1.1	测量结果的非数值处理算法	159
6.1.2	测量结果的数值处理算法	164
6.1.3	量程自动转换与标度变换算法	176
6.1.4	多传感器信息融合	179
6.2	控制算法	182
6.2.1	PID 控制算法	183
6.2.2	模糊逻辑控制算法	187
6.2.3	神经网络算法	193
6.2.4	专家系统	199
第 7 章 智能仪器的自动校准和抗干扰技术		206
7.1	自动校准	206
7.1.1	误差校准和自检	206
7.1.2	仪器的内部自动校准	209
7.1.3	仪器的外部自动校准	215
7.2	故障诊断	219
7.2.1	故障检测和诊断基础	219
7.2.2	故障检测与诊断原理	221
7.2.3	故障检测与诊断的数学方法	225
7.3	智能仪器抗干扰技术	232
7.3.1	干扰的来源及分类	233
7.3.2	电源抗干扰技术	235
7.3.3	串模干扰及其抑制	235
7.3.4	共模干扰及其抑制	237
7.3.5	模拟电路和数字电路的隔离	239
7.3.6	接地方法	239
7.3.7	软件的抗干扰技术	240
第 8 章 智能仪器的设计		245
8.1	智能仪器设计方法	245
8.1.1	智能仪器设计的原则	245



8.1.2	智能仪器设计的一般步骤	248
8.2	智能仪器的硬件设计	251
8.2.1	硬件体系结构的设计	251
8.2.2	器件的选择	255
8.2.3	部分硬件电路设计	258
8.3	智能仪器的软件设计	263
8.3.1	软件设计方法	263
8.3.2	智能仪器系统软件的构成与设计	265
8.4	智能仪器的调试	269
8.4.1	智能仪器调试的方法	269
8.4.2	智能仪器硬件静态调试	269
8.4.3	智能仪器软件调试	270
8.4.4	动态在线调试	271
8.5	智能仪器设计举例	272
8.5.1	温度智能仪器设计	272
8.5.2	智能 RLC 测量仪	277
第 9 章	虚拟仪器设计	289
9.1	虚拟仪器基础	289
9.1.1	虚拟仪器的发展历程	289
9.1.2	虚拟仪器的构成	290
9.1.3	虚拟仪器的特点	291
9.2	虚拟仪器开发工具及方法	292
9.2.1	图形化编程开发平台——LabVIEW	292
9.2.2	LabWindows / CVI	297
9.3	虚拟仪器应用	300
9.3.1	虚拟相位差计	300
9.3.2	虚拟正弦信号频谱分析仪	303
9.3.3	虚拟温度测试仪	305
9.3.4	虚拟瓦斯监测仪	306
第 10 章	网络化仪器设计	308
10.1	概述	308
10.2	网络化测试系统的构成方法	310
10.3	网络化仪器的体系结构	313
10.4	网络化仪器的类型	315
10.5	无线传感器网络	322
10.6	网络化智能仪器应用	327
参考文献		330

第 1 章 智能仪器概述

当今世界已经进入信息时代，信息技术成为推动国民经济和科学技术高速发展的关键技术。著名科学家钱学森明确指出“信息技术包括测量技术、计算机技术和通信技术。测量技术是关键和基础”。智能仪器是对物质世界的信息进行测量与控制的基础手段和设备，是信息产业的源头和组成部分。美国商务部在关于新兴数字经济的报告中提出，信息产业包括计算机软硬件行业、通信设备制造及服务行业、仪器仪表行业。智能仪器的实质是信息获取、信息处理、信息利用的工具，是信息化的重要设备，也是现代工业的核心技术之一。本章对智能仪器的重要作用、发展过程，以及智能仪器的组成、分类、特点、发展方向进行简要概述。

1.1 智能仪器的作用

智能仪器是认识世界的工具，是人们用来对物质（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、分析处理与控制的各种器具与系统的总称。智能仪器的功能在于用物理、化学或生物的方法获取被检测对象运动或变化的信息，并将获取到的信息转换处理成为易于人们阅读、识别和表达的量化形式，或进一步数字化、图像化，直接进入自动化、智能化控制系统。

智能仪器是集传感器技术、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产品，其用途也从传统仪器单纯数据采集发展为集数据采集、信号传输、信号处理及控制为一体的测控设备。发展国民经济必须大力发展科学技术，而发展科学技术，除了需要进行理论上的研究外，还必须进行一系列的科学实验，仪器则是科学实验中不可缺少的重要工具。

智能仪器在当今社会具有极为重要的作用。在工业生产中，智能仪器是“倍增器”。美国商务部国家标准局在 20 世纪末发布的调查数据表明，美国仪器产业的产值约占工业总产值的 4%，而它所拉动的相关经济的产值却达到社会总产值的 66%，仪器发挥出“四两拨千斤”的巨大的“倍增”作用。事实上，现代化大生产，如发电、炼油、化工、冶金、飞机和汽车制造离开了只占企业固定资产大约 10% 的各种测量与控制装置就不能正常安全地生产，更难以创造巨额的产值和利润。专家们形象地把仪器比喻为国民经济中的“卡脖子”产业。

在科学研究中，智能仪器是“先行官”。科学仪器是发展高新技术所必需的基础手段和设备，离开了科学仪器，一切科学研究都无法进行。在重大科技攻关项目中，几乎一半的人力、财力都用于购置、研究和制作测量与控制仪器设备。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的；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，近八十年来获诺贝尔奖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。要加快科学研究和高技术的发展，智能仪器必须先行。

在军事上，智能仪器是“战斗力”。现代战争中，夺取技术优势已经成为军事战略的根本目标。主要目标是全球监视与通信和精确打击固定及瞬变目标。智能仪器的测量控制精度决定



了武器系统的打击精度，智能仪器的测试速度、诊断能力则决定了武器的反应能力。先进的、智能化的仪器已成为精确打击武器装备的重要组成部分。1991年海湾战争中美国使用的精密制导炸弹和导弹只占8%，而在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系统装备实现其控制功能的。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智能仪器。

智能仪器还是当今社会的“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、侦破刑事案件等方面无一不依靠仪器进行“判断”。此外，智能仪器在教学实验、气象预报、大地测绘、交通指挥、煤矿安全、探测灾情，尤其是越来越受人们关注的诊治疾病等社会生活的许多领域都有着广泛应用，可以说智能仪器遍及“吃穿用、农轻重、海陆空”，无所不在。

可见，智能仪器的发展水平是国家科技水平和综合国力的重要体现，智能仪器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的发展。美国对发展智能仪器给予高度的重视和支持；日本科学技术厅把测量传感器技术列为21世纪首要发展的技术；德国大面积推广应用自动化智能仪器系统，仅在20世纪90年代的6年中就增加了35%的市场，劳动生产率增长了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。我国政府也明确提出“把发展智能仪器放到重要位置”。

1.2 智能仪器的发展过程

智能仪器是计算机技术与测控技术相结合的产物，是含有微计算机或微处理器的测量仪器，由于它拥有对数据的存储、运算、逻辑判断及自动化操作等功能，具有一定的智能作用，因而被称为智能仪器。近年来，智能仪器已开始从较为成熟的数据处理向知识处理发展。它体现为模糊判断、故障诊断、容错技术、传感器信息融合、数据挖掘、知识发现、人工智能、计算智能、机件寿命预测、灾害信息辨识等，使智能仪器的功能向更高层次发展。我国电磁测量信息处理仪器学会于1984年正式成立“自动测试与智能仪器专业学组”，1986年国际测量联合会（International Measurement Confederation）以“智能仪器”为主题召开了专门的讨论会，1988年国际自动控制联合会（International Federation of Automatic Control）的理事会正式确定“智能元件及仪器”（Intelligent Components and Instruments）为其系列学术委员会之一。1989年5月在我国武汉召开了第一届测试技术与智能仪器国际学术讨论会。如今，在国内外的学术会议上，以智能仪器为内容的研讨层出不穷。

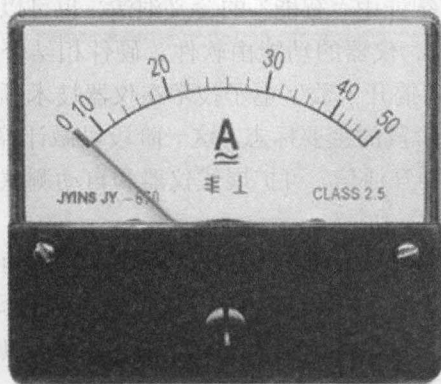
自1971年世界上出现第一种微处理器（美国Intel公司的4004型4位微处理器芯片）以来，微计算机技术得到迅猛发展。智能仪器在它的影响下也取得新的进步。电子计算机从过去的庞然大物缩小到可以置于测量仪器之中作为仪器的控制器、存储器及运算器，并使其具有智能作用。概括起来说，智能仪器在测量过程自动化、测量结果的数据处理及一机多用（多功能化）等方面取得巨大的进展。目前，在高准确度、高性能、多功能的测量仪器中已经很少有不采用微计算机技术的了。

从智能仪器所采用的电路组成来看，仪器经历了模拟式、数字式和智能化3个发展阶段，如图1-1所示。



图 1-1 智能仪器的发展过程

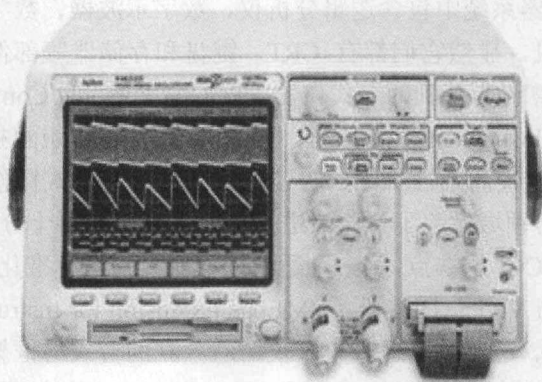
人们通常把模拟式仪器称为第一代，大量指针式的电压表、电流表、功率表及一些通用的测试仪器均是典型的模拟式仪器，如图 1-2 (a) 所示。模拟式仪器功能简单、精度低、响应速度慢。第二代是数字式仪器，它的基本特点是将待测的模拟信号转换成数字信号进行测量，测量结果以数字形式输出显示并对外传送。数字式万用表、数字式频率计等均是典型的数字式仪器，如图 1-2 (b) 所示。数字式仪器精度高，响应速度快，读数清晰、直观，测量结果可打印输出，也容易与计算机技术相结合。同时因数字信号便于远距离传输，所以数字式仪器也适用于遥测、遥控。智能仪器属于第三代，它是在数字化的基础上发展起来的，是计算机技术与仪器相结合的产物，如图 1-2 (c) 所示。



(a) 指针式电流表



(b) 数字式万用表



(c) 智能示波器表

图 1-2 仪器仪表发展历程实物图



20 世纪 50 年代初, 仪器的发展取得了重大突破。数字技术的出现使各种数字式仪器相继问世, 宏观上表现为模拟式仪器开始逐渐在越来越多的应用场合被数字式仪器及系统所取代。这一阶段, 即数字电子技术应用于电测量领域之初, 对被测直流对象的测量是先量化为恒定电压值, 再经电压/频率变换后进行计数; 而随时间变化的量则是经过整流、滤波, 转化成相应的直流量后再进行处理及显示。这类仪器很普及, 如数字电压表、数字功率计、数字频率计等。其基本原理是基于将模拟信号的测量转化为数字信号的测量, 并以数字的形式显示或打印最终结果。

20 世纪 60 年代中期, 仪器技术又一次取得了进展, 计算机的引入使仪器的功能发生了质的变化, 从个别参数的测量转变成对整个系统特征参数的测量; 从单纯的接收显示转变为控制、分析、处理、计算与显示输出; 从用单台仪器进行测量转变为用测量系统进行测量; 使电子测量仪器在传统的时域与频域之外又出现了数据域测试。

20 世纪 70 年代以后, 随着微处理器的广泛应用, 出现了完全突破传统概念的新一代仪器, 即目前比较流行的术语——智能仪器 (Intelligent Instrument)。这类仪器中含有一单片计算机或体积很小的微型机, 有时亦称为内含微处理器的仪器, 或称为基于微型机的仪器 (Micro-Computer-Based Instrumentation)。这类仪器因为功能丰富又很灵巧, 国外书刊中常简称为智能仪器。有时为了避免该名词与人工智能中“智能”的含义混淆, 也可以称为微型机化的测量仪器。内含微型机是仪器的控制中枢。仪器的功能由软件、硬件相结合来完成。1974 年出现的电压、电流波形等时间间隔采样技术揭开了数字电子技术在仪器技术领域中的作用日益增大的序幕, 成为仪器技术步入新时期发展阶段的重要标志。这一阶段以微计算机、独立操作系统、各种标准接口总线式结构为特征, 可相互通信、可扩展式仪器和自动测试系统及相应的测量技术得到蓬勃发展, 并逐渐走向成熟。

智能仪器出现后不久就提出了新的课题: 一台智能仪器难以胜任更复杂的多任务测量需求。为解决这样的问题, 总线式智能仪器与系统应运而生。人们发明制造出 RS-232C 和 GPIB (又称 IEEE-488 总线) 等多种通信接口总线, 用于将多台智能仪器连在一起, 以形成能完成复杂任务的自动测试系统。

但是, 在复杂的 IEEE-488 总线仪器系统中, 往往有多个重复的部件或功能电路单元, 例如, 若一个 IEEE-488 仪器系统中包含逻辑分析仪、数字示波器、数字多用表、频谱分析仪等多台智能仪器及微计算机, 显然它们都有 CRT、键盘和存储器等部件。正是在这种背景下, 1982 年出现了以个人计算机为基础的卡式仪器 (PCCI, Personal Computer Card Instrument), 也称个人仪器 (Personal Instrument) 或 PC 仪器 (PCI), 它将传统的独立仪器与个人计算机的软/硬件资源融为一体, 以较高的性价比、较强的灵活性及菜单式操作的方便性等突出特色进入测量测试领域, 使仪器领域掀起了一次改进设计的高潮, 发展十分迅速。

1987 年, 为了克服 PCCI 的缺点, 第一个适用于模块式仪器标准化的接口总线标准 VXIbus 问世, 其仪器系统被称为 VXI 总线仪器 (VMEbus Extension for Instrument, PC 仪器的一种标准产品), 简称 VXI 仪器。这种仪器适应电子仪器从分立的台式与框架式结构过渡到更紧凑的模块式结构, 提供一种开放式的可靠接口总线。VXI 仪器在 20 世纪 90 年代得到迅速发展。

PCCI 或 VXI 均不带前面板, 它们都是由显示在计算机 CRT 上的软面板来代替的, 用户由 CRT 上看到的是一幅由高分辨率图形生成的仪器面板, 是物理面板的仿真模拟, 用户通过



键盘、触摸屏或鼠标来操作软面板上的按键或开关,这种仪器又称为虚拟仪器(Virtual Instrument)。

虚拟仪器是在智能仪器的基础上发展起来的,但在性能特点上又有新的飞跃,特别是近年来由于计算机软件技术(包括面向对象技术)和多媒体技术的迅猛发展,虚拟仪器的应用范围日益扩大,成为现代仪器的一个重要发展方向。

虚拟仪器是以个人计算机为核心,由测量应用软件支持,具有虚拟的仪器操作面板、足够的仪器硬件与(或)通信功能的测量信息处理装置。虚拟仪器具体可分为两种类型。第一种是虚拟仪器代替某种传统的实物仪器,不需要实物仪器参与即可完成全部仪器功能。这种虚拟仪器通常由微计算机、A/D和D/A变换器等通用硬件、应用软件组成。它常使用一些现代数字信号技术和DSP(数字信号处理)芯片,有时在数据采集器部分还配有若干传感器和适配器。例如,在微机控制下,只要通过计算或存储得到一系列数据,再经过D/A变换就可以输出所需的任意波形信号,这就是一台虚拟的信号发生器。又如,只要对模拟信号进行采集和处理,最后以所需的形式显示在屏幕上,这就是虚拟仪器或虚拟示波器等。另一种常见的虚拟仪器主要是对实物仪器的映射。严格地说,它实质上是虚拟仪器程序,通常具有类似实物仪器的虚拟面板,并具有可操作性,但是在功能上,这种虚拟仪器只等同于仪器或系统的控制程序。NI公司有一句著名的口号:“软件就是仪器”(The software is the instrument)。由于虚拟仪器的开发环境和仪器驱动程序可以为用户提供自行开发工具,用户可利用这些工具使仪器实现特定的功能(编制程序)。当需要增加新的测量功能时,不用购买新仪器,只需编制一段程序即可。

继虚拟仪器之后,美国互换性虚拟仪器(IVI)联盟新近提出一个仪器制造的观念:变软件依从硬件为硬件依从软件。设想如能实现,那么不同结构、不同配置、不同总线体制的仪器和系统将顺利地解决互换性问题。如此,各仪器生产厂家任意生产硬件后再配置驱动软件,结果将改变各家仪器间难以互换的现状。

1997年美国国家仪器公司又推出一类新产品:基于PC的、适用于测量仪器的开放式接口总线标准PXI。相对于VXI仪器而言,PXI仪器的主要优点是成本低,且又具有先进的数字接口与仪器接口功能,适用于组建便携式测试系统。

DSP芯片的大量问世使智能仪器的数字信号处理功能大大加强;微型机的发展使智能仪器具有更强的数据处理能力和图像处理功能。现场总线技术是20世纪90年代迅速发展起来的一种用于各种现场自动化设备与其控制系统的网络通信技术,无线传感器网络技术、互联网和互联网技术也进入到测控仪器领域。软测量(也叫软仪器)技术的应用使智能仪器在测控功能方面进一步延伸。智能仪器已经向着计算机化、网络化、智能化、多功能化、柔性化、集成化、可视化的方向发展。跨学科的综合设计、高精尖的制造技术使之能更高速、更灵敏、更可靠、更简捷地获取被分析、检测、控制对象的全方位信息。分析仪器正在经历一场革命性的变化,传统的光学、热学、电化学、色谱、波谱类分析技术都已从经典的化学精密机械电子结构、实验室内人工操作应用模式转化为光、机、电、算(计算机)一体化、自动化的结构,并向名副其实的智能系统发展。

近年来,智能仪器技术不断发展,开始从较为成熟的数据处理向知识处理发展。模糊判断、故障诊断、容错技术、传感器融合、机件寿命预测等使智能仪器的功能向更高的层次发展。智能仪器对仪器仪表的发展及科学实验研究产生了深远影响,是仪器设计的里程碑。



1.3 智能仪器的组成、特点及分类

1.3.1 智能仪器的组成

智能仪器实际上是一个专用的微型计算机系统，它主要由硬件和软件两大部分组成。硬件部分主要包括主机电路、模拟量输入/输出通道、人机联系部件与接口电路、标准通信接口电路等部分。其中，主机电路通常由微处理器、程序存储器、输入/输出 (I/O) 接口电路等组成，或者它本身应是一个具有多功能的单片机；模拟量输入/输出通道用来输入/输出模拟量信号，主要由 A/D 转换器、D/A 转换器和有关的模拟信号处理电路等组成；人机联系部件的作用是沟通操作者和仪器之间的联系，它主要由仪器面板中的键盘和显示器等组成；标准通信接口电路用于实现仪器与计算机的联系，以便使仪器可以接受计算机的程控命令，目前生产的智能仪器一般都配有 GPIB、RS-232C、RS-485 等标准的通信接口。

图 1-3 所示为智能仪器的组成示意图。图中虚线框部分为智能仪器的选择组成部分。

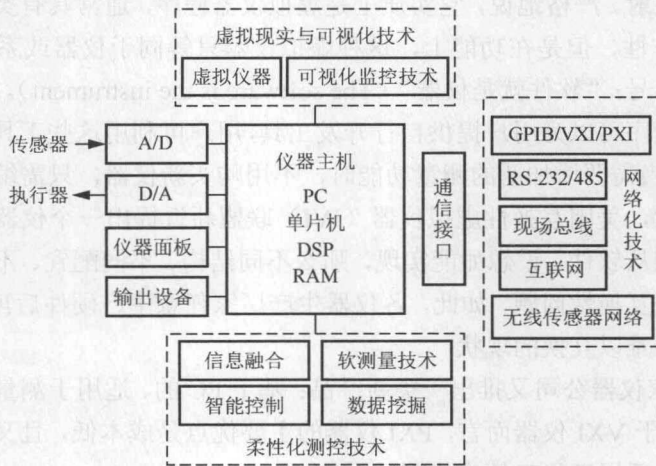


图 1-3 智能仪器的组成示意图

软件部分主要包括监控程序、接口管理程序和数据处理程序三大部分。其中监控程序面向仪器面板键盘和显示器，其内容包括人机对话的键盘输入及对仪器进行预定的功能设置，对处理后的数据以数字、字符、图形等形式显示等。接口管理程序主要通过接口电路进行数据采集、输入/输出通道控制、数据的通信及数据的存储等。数据处理程序主要完成数据的滤波、数据的运算、数据的分析等任务。

1.3.2 智能仪器的特点

与传统的电子仪器相比，智能仪器具有以下特点。

1. 智能仪器功能的多样化

单片机、PC（或工业控制计算机）、DSP、PLC 及嵌入式系统等技术的应用使智能仪器利用微处理器的运算和逻辑判断功能，按照一定的算法可以方便地消除由于漂移、增益的变化



和干扰等因素引起的误差,从而提高了仪器的测量精度。智能仪器除具有测量功能外,还具有很强的数据处理和控制能力。例如,传统的数字万用表只能测量电阻,交/直流电压、电流等,而智能型的数字万用表不仅能进行上述测量外,还具有对测量结果进行诸如零点平移、平均值、极值、统计分析及更加复杂的数据处理功能,使用户从繁重的数据处理中解放出来。目前,有些智能仪器还运用了专家系统、数据挖掘、融合决策、模糊逻辑、神经网络、混沌控制等技术,使仪器具有更深层次的分析能力,帮助人们思考,解决专家才能解决的问题。

智能仪器运用微处理器的控制功能可以方便地实现量程自动转换、自动调零,触发电平自动调整、自动校准、自诊断等功能,有力地改善了仪器的自动化测量水平。例如,智能型的数字示波器有一个自动分度键,测量时只要按这个键,智能数字示波器就能根据被测信号的频率及幅度自动设置好最合理的垂直灵敏度、时基及最佳的触发电平,使信号的波形稳定地显示在屏幕上。又如,智能仪器一般都具有自诊断功能,当仪器发生故障时,可以自动检测出故障的部位并能协助诊断故障发生的原因,甚至有些智能仪器还具有自动切换备件进行自维修的功能,极大地方便了仪器的维护。

2. 智能仪器系统的集成化、模块化

大规模集成电路技术发展到今天,集成电路的密度越来越高,体积越来越小,内部结构越来越复杂,功能也越来越强大,从而大大提高了每个模块进而整个仪器系统的集成度。模块化功能硬件是现代仪器仪表的一个强有力的支持,它使得仪器更加灵活,仪器的硬件组成更加简洁,如在需要增加某种测试功能时,只需增加相应的模块化功能硬件,再调用相应的软件来使用此硬件即可。

3. 智能仪器构成的柔性化

智能仪器强调软件的作用,选配一个或几个带共性的基本仪器硬件来组成一个通用硬件平台,通过调用不同的软件来扩展或组成各种功能的智能仪器或系统。一台仪器大致可分解为三个部分:(1)数据的采集;(2)数据的分析与处理;(3)存储、显示或输出。传统的仪器由厂家将上述三类功能部件根据仪器功能按固定的方式组建,一般一种仪器只有一种或数种功能。而智能仪器则是将具有上述一种或多种功能的通用硬件模块组合起来,通过编制不同的软件来构成任何一种新功能的仪器。

随着微电子技术的发展,微处理器的速度越来越快,价格越来越低,已被广泛应用于仪器仪表中,使得一些实时性要求很高原本由硬件完成的功能可以通过软件来实现。甚至许多原来用硬件电路难以解决或根本无法解决的问题也可以采用软件技术很好地加以解决。数字信号处理技术的发展和高速数字信号处理器的广泛采用极大地增强了仪器的信号处理能力。数字滤波、FFT、相关、卷积等是信号处理的常用方法,其共同特点是算法的主要运算都是由迭代式的乘和加组成的,这些运算在通用微机上是用软件完成的,运算时间较长,而数字信号处理器通过硬件完成上述乘加运算,大大提高了仪器性能,推动了数字信号处理技术在仪器仪表领域的广泛应用。特别是智能计算理论的发展又促进了智能仪器柔性化的进程,软测量、模型化测量、符号化测量、多传感器信息融合等技术的应用使智能仪器的硬件功能软件化。

4. 智能仪器的网络化

智能仪器一般都配有 GPIB、VXI、PXI、RS-232C、RS-485 等通信接口,使智能仪器具有



远程操作的能力,可以很方便地与计算机和其他仪器一起组成用户所需要的、多种功能的自动测量与控制系统来完成更复杂的测控任务。网络化智能仪器实质上是采用一台已联网(如与 Ethernet 或 Internet 相连)的计算机作为核心器件。它利用计算机通用资源加上特殊设计的仪器硬件和专用软件,构成单台智能仪器所没有的特殊功能的新型仪器。它采用的微型计算机(或微处理器)可以是各种不同形式的:可以是嵌入式智能仪器测控系统,也可以以 PC 为测试平台,内插(ISA、PCI 等)数据采集卡,外接普通的测试仪器,构成所谓的 PC 仪器;一些测试平台自身就是一台计算机,如基于 VMEbus 总线的 VXI,基于 CompactPCI 总线的 PXI。它们也通过网络接口卡和通信接口及通信软件与 Ethernet(或 Internet)相连。现场总线技术、无线传感器网络、企业局域网、GPRS(General Packet Radio Service,通用无线分组业务)、蓝牙通信等技术的应用使智能仪器网络化的特点更加显著。

随着网络技术的飞速发展,信息网络中的新技术、新理论不断引入到智能仪器测控系统中,带动着智能仪器网络的发展。这些信息网络技术包括:(1)互联网上流行的 Web/Browser 模式是分布式应用程序之间通信的一种有效方式,可完成不同平台、不同操作系统之间的通信。它以 HTTP 协议和 HTML 标记语言作为通用标准,以超文本界面的形式查找、提取有用信息。(2) JDBC(Java Database Connectivity)是执行 SQL 语句的 Java 语言应用程序编程接口 API,它包括一系列用 Java 语言编写的类和接口,为数据库的应用开发提供了标准的应用程序编程接口。(3) CORBA(公共对象请求代理结构)规范是一种面向对象的技术。

5. 智能仪器的可视化

智能仪器可视化的目的就是借助计算机的图形图像处理能力,将智能仪器的测控过程及结果用直观的图形或图像输出代替数字输出,即实现将测控过程中涉及与产生的数字信息转变为以图形或图像表示的物理现象后呈现在人们面前,使操作者一目了然地获得被测对象的状态、变化规律及分布情况,从而使人们摆脱了只能对测控中的大量数据进行抽象分析的情况。智能仪器可视化的内容包括体可视化、流场可视化、可视化人机交互、医学分析可视化、信号处理可视化、科学计算可视化的数据建模,以及可视化基本原理的研究、复杂对象形状的建模和复杂数据集基于模型的可视化等。

智能仪器具有友好的可视化人机交互能力。LabVIEW、Windows/CVI、组态软件及各种可视化开发平台的应用使智能仪器可以通过显示屏将仪器的运行情况、工作状态及对测量数据的处理结果及时告诉使用人员,使人机之间的联系更加密切。

通用的可视化平台、开发工具和虚拟仪器技术在提供图形真实化显示的同时也应提供更多的人机交互接口。大部分分析软件或虚拟仪器系统都构成自己的图形显示系统,如 MATCOM 公司的 MATLAB, B&K 公司的 PLUS, NI 公司的 LabVIEW 等。LabVIEW 等图形化虚拟仪器编程系统提供了模块化的显示器,能够显示趋势、XY、柱状图、三维图等。

1.3.3 智能仪器的分类

智能仪器种类繁多,应用范围广泛,如在机械制造和仪器制造工业中,产品的静态与动态性能测试、加工过程的控制与监测、故障的诊断等方面所用到的仪器有各种尺寸测量仪器、加速度计、测力仪、温度测量仪器等。在自动化机床、自动化生产线上,也要用到控制行程和控制生产过程的监测仪器。在电力、化工、石油、煤炭工业中,为保证生产过程能正常、高效运行,要对相关的参数,如压力、流量、流速、温度、浓度、尺寸等进行监测和控制,包括对动