



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

“双一流”高校本科规划教材

智能仪表原理 与设计技术

第三版

叶西宁 凌志浩 主 编

吴勤勤 主 审

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
“双一流”高校本科规划教材

智能仪表原理与设计技术

(第三版)

叶西宁 凌志浩 主编
 吴勤勤 主审
王华忠 刘 笛 参编



华东理工大学出版社
EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

· 上海 ·

图书在版编目(CIP)数据

智能仪表原理与设计技术 / 叶西宁, 凌志浩主编
—3 版. —上海: 华东理工大学出版社, 2021. 2
ISBN 978-7-5628-6366-3

I. ①智… II. ①叶… ②凌… 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(2020)第 238523 号

项目统筹 / 吴蒙蒙

责任编辑 / 李甜禄 赵子艳

装帧设计 / 徐 蓉

出版发行 / 华东理工大学出版社有限公司

地址: 上海市梅陇路 130 号, 200237

电话: 021-64250306

网址: www.ecustpress.cn

邮箱: zongbianban@ecustpress.cn

印 刷 / 上海展强印刷有限公司

开 本 / 787 mm × 1092 mm 1 / 16

印 张 / 23

字 数 / 574 千字

版 次 / 2021 年 2 月第 3 版

印 次 / 2021 年 2 月第 1 次

定 价 / 58.00 元

版权所有 侵权必究

前 言

智能仪表在工业生产中的应用越来越广泛,大规模生产对智能仪表的功能和性能要求也越来越高。而微电子技术的快速发展、现场总线及无线传感器技术的工业应用给智能仪表的设计提供了新的实施手段。国内许多高校为测控技术与仪器及相关专业的本科生开设了智能仪表设计的相关课程。作者根据华东理工大学本科教材建设规划,充分借鉴了国内外相关教材和资料文献,结合多年的教学及科研实践体会,精选内容,编写了本书。

本书基于智能仪表的基本原理及设计技术,结合行业最新发展技术,阐述智能仪表的具体设计过程。全书共9章,第1章简要介绍智能仪表的概念及功能和组成、仪器仪表的发展过程及相关技术。第2~5章阐述智能仪表的硬件设计,主要包括智能仪表的主机电路、过程输入/输出通道、人机接口、通信原理与接口设计。第6~7章阐述智能仪表的软件设计,主要介绍软件设计方法、智能仪表的监控程序、中断处理程序、测控算法等功能模块的设计。第8章介绍智能仪表的可靠性设计,主要阐述可靠性的概念、影响智能仪表可靠性的因素以及智能仪表可靠性设计的具体方法。第9章介绍智能仪表的设计准则和调试方法,通过若干设计实例,全面阐述智能仪表的开发过程、实施技术及注意事项。

本书由叶西宁,凌志浩主编,吴勤勤主审。叶西宁编写了第3、4、6、7、8章;凌志浩编写了第1、9章;王华忠编写了第5章;刘笛编写了第2章。书中插图由杨涛及本课题组其他研究生共同绘制。

本书是作为普通高等教育应用型本科教材编写的,在体系上注重理论原理与实际应用相结合,突出应用性,尽量在有限的篇幅内拓宽读者的知识领域和思维广度。

本书可作为高等院校测控技术与仪器、自动化、电子信息工程和机电一体化等专业的教材,也可作为从事智能仪表设计、制造、使用的工程技术人员的参考书。

在本书编著过程中,编者为了汲取各家之长,参阅了大量资料,对书末所列参考文献的所有作者的辛勤劳动和贡献致以真诚的谢意。本书得到了华东理工大学教材建设与评审委员会的资助以及华东理工大学出版社有关同志的大力支持,在此,对支持和帮助本书出版的单位和个人表示衷心的感谢!

由于编者的学识及教学经验有限,书中难免存在错误和不足,恳请读者批评指正。

编 者

2019年10月于上海,华东理工大学

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 仪器仪表的技术发展	1
1.1.1 现代仪器仪表的分类	1
1.1.2 现代仪器仪表的发展趋势	2
1.1.3 现代仪器仪表发展的关键技术	3
1.2 智能仪表的功能和组成	5
1.2.1 智能仪表的主要功能	5
1.2.2 智能仪表的基本组成	6
1.3 智能仪表的设计思想和研制步骤	7
1.3.1 智能仪表的基本设计思想	7
1.3.2 智能仪表的设计、研制步骤	8
1.4 智能仪表的开发工具	14
1.4.1 开发系统的功能	14
1.4.2 嵌入式系统的软件技术和开发工具平台	14
习题与思考题	20
第 2 章 智能仪表的主机电路	21
2.1 AT89C52 单片机	21
2.1.1 AT89C52 单片机的主要特性和基本结构	21
2.1.2 AT89C52 单片机的引脚功能	22
2.1.3 AT89C52 单片机的主要组成	25
2.2 主机电路设计	48
2.2.1 并行扩展的主机电路	48
2.2.2 串行扩展的主机电路	50
2.3 CC2530 芯片	52
2.3.1 CC2530 的内部结构	52
2.3.2 CC2530 芯片的引脚功能	55
2.3.3 CC2530 芯片的存储器和存储器映射	56
2.3.4 射频及模拟收发器	57
2.3.5 CC2530 的典型应用电路	58
习题与思考题	59

第 3 章 过程输入/输出通道	60
3.1 模拟量输入通道	60
3.1.1 模拟输入通道的结构	60
3.1.2 A/D 转换芯片及其与单片机的接口	61
3.1.3 模拟量输入通道的其他器件	92
3.1.4 模拟量输入通道设计举例	99
3.2 模拟量输出通道	101
3.2.1 模拟量输出通道的结构	101
3.2.2 D/A 转换芯片及其与单片机的接口	101
3.2.3 模拟量输出通道设计实例	115
3.3 开关量输入/输出通道	116
习题与思考题	116
第 4 章 人机接口电路	118
4.1 显示器接口	118
4.1.1 七段 LED 显示器	118
4.1.2 点阵式 LED 显示器	127
4.1.3 LCD 显示器	128
4.1.4 点阵式 LCD 显示器	131
4.2 键盘接口	139
4.2.1 键盘结构和类型	139
4.2.2 抖动与串键	140
4.2.3 非编码式键盘接口电路	140
4.2.4 编码式键盘接口电路	144
习题与思考题	160
第 5 章 通信原理与接口设计	161
5.1 串行总线通信	161
5.1.1 RS-232C	161
5.1.2 RS-422 与 RS-485 串行接口标准	163
5.1.3 串行通信参数	164
5.1.4 串行通信工作模式及流量控制	165
5.1.5 基于单片机的智能仪表与 PC 的数据通信	166
5.2 现场总线技术及现场总线仪表	170
5.2.1 现场总线的体系结构与特点	170
5.2.2 过程仪表常用现场总线介绍	172
5.2.3 现场总线智能仪表与现场总线控制系统	178

5.2.4	FF 总线接口芯片与接口圆卡硬件设计	179
5.3	工业无线通信技术与过程工业无线仪表	181
5.3.1	工业无线通信与技术标准	181
5.3.2	WirelessHART 协议及仪表	183
5.3.3	WIA - PA 仪表及其应用	190
5.4	ZigBee 短程无线通信技术及应用	195
5.4.1	ZigBee 协议标准	196
5.4.2	ZigBee 的特点和组网方式	199
5.4.3	ZigBee 技术在无线水表中的应用	200
	习题与思考题	203
第 6 章	监控程序	205
6.1	软件设计概述	205
6.1.1	软件设计过程	205
6.1.2	程序编写	207
6.1.3	软件测试	208
6.1.4	软件的运行、维护和优化	210
6.2	监控程序设计	210
6.2.1	概述	210
6.2.2	监控主程序	211
6.2.3	初始化管理	212
6.2.4	键盘管理	213
6.2.5	显示管理	217
6.2.6	中断管理	218
6.2.7	时钟管理	220
6.2.8	手—自动控制	221
6.2.9	自诊断	221
	习题与思考题	227
第 7 章	测量与控制算法	228
7.1	测量算法	228
7.1.1	测量误差的分类	228
7.1.2	随机误差的消除方法	229
7.1.3	系统误差的消除算法	237
7.1.4	量程自动切换与工程量变换	247
7.2	控制算法	252
7.2.1	PID 控制算法	252

7.2.2 智能控制算法	262
习题与思考题	277
第 8 章 可靠性设计	278
8.1 可靠性设计概述	278
8.1.1 可靠性的基本概念	278
8.1.2 影响智能仪表可靠性的因素	280
8.1.3 智能仪表方案的可靠性设计原则	281
8.2 智能仪表的抗干扰设计	282
8.2.1 干扰分析	283
8.2.2 硬件抗干扰设计	287
8.2.3 软件抗干扰设计	307
8.2.4 掉电保护设计	315
习题与思考题	317
第 9 章 智能仪表设计实例	318
9.1 设计准则	318
9.2 设计实例	319
9.2.1 温度程序控制仪	320
9.2.2 基于现场总线的远程智能数据采集装置设计	330
9.2.3 无线空气质量检测仪表设计	334
9.3 仪表调试	351
9.3.1 常见故障	351
9.3.2 调试方法	352
习题与思考题	355
参考文献	356

第 1 章

概 述

嵌入式系统(Embedded System)、网络技术和通信技术的发展,使人们开始考虑如何将各类仪器设备变得更加智能化、数字化、网络化,从而使各种仪器设备具备轻巧便利、易于控制、能够联网等功能。为了满足人们对仪器设备提出的新要求,嵌入式技术(Embedded Technology)提供了一种灵活、高效、高性价比的解决方案,成为目前互联网技术(Internet Technology, IT)领域发展的主力军。

嵌入式系统的发展,引起了仪器仪表结构的根本性变革。以单片机等嵌入式系统为主体,代替传统仪表的常规电子线路,成为新一代仪表的设计特点。这类仪表的设计重点,已经从逻辑电路的模拟和设计转向专用的嵌入式模板或嵌入式功能部件、接口电路和输入输出通道的设计,以及应用软件的开发。传统模拟式仪表的各种功能是由单元电路实现的,而在以嵌入式处理器为主体的仪表中,则由软件完成众多的数据处理和控制任务。

在测量、控制仪表中引入单片机等嵌入式系统,不仅能解决传统仪表无法解决或不易解决的问题,而且能简化电路、增加功能、提高精度和可靠性、降低成本、加快新产品的开发速度。由于这类仪表已经可实现四则运算、逻辑判断、命令识别等功能,并具备自校正、自诊断、自适应、自学习的能力,因此人们习惯上将其称为智能仪表。当然,它们的智能水平高低不一,目前大部分这类产品的智能化程度还有待进一步改进和完善。随着人工智能等科学技术的不断发展,这类仪表所具有的智能化水平将会不断提高。

微控制器(Microcontroller Unit, MCU)或单片机、数字信号处理器(Digital Signal Processor, DSP)、片上系统(System-on-a-chip, SoC)等嵌入式系统的问世和性能的不断改善,大大加快了仪器仪表的智能化进程。它们具有体积小、功耗低、价格便宜等优点,另外用它们开发各类智能产品周期短、成本低,在计算机和仪表的一体化设计中有着更大的优势和潜力。事实上,嵌入式系统的应用数量上已远远超过各种通用计算机。如一台通用计算机的外部设备中就可能包含 5~10 个嵌入式微处理器,键盘、鼠标、软驱、硬盘、显示卡、显示器、调制解调器(Modem)、网卡、声卡、打印机、扫描仪、数字相机、通用串行总线(Universal Serial Bus, USB)集线器等均是由嵌入式处理器控制的。嵌入式系统广泛应用于制造工业、过程控制、通信、仪器、仪表、汽车、船舶、航空航天、军事装备、消费类产品等领域。

1.1 仪器仪表的技术发展

1.1.1 现代仪器仪表的分类

根据国际发展潮流和我国的现状,现代仪器仪表按其应用领域和自身技术特性大致划

分为如下六大类。

(1) 工业自动化仪表与控制系统：主要指工业，尤其是流程产业生产过程中应用的各种检测仪表、执行机构与自动控制系统装置。

(2) 科学仪器：指应用于科学研究、教学实验、计量测试、环境监测、质量和安全检查等各个方面的仪器仪表。

(3) 电子与电工测量仪器：主要指低频、高频、超高频、微波等各个频段测试计量专用和通用仪器仪表。

(4) 医疗仪器：主要指用于生命科学研究和临床诊断治疗的仪器。

(5) 各类专用仪器：指应用于农业、气象、水文、地质、海洋、核工业、航空航天等各个领域的专用仪器。

(6) 传感器与仪器仪表元器件及材料。

虽然对现代仪器仪表做了大致分类，但实际上各类别间存在着许多交叉，且都与嵌入式系统密切相关。

1.1.2 现代仪器仪表的发展趋势

近年来，国际仪器仪表发展极为迅速，其主要趋势是：数字技术的出现把模拟仪器的精度、分辨率与测量速度提高了几个量级，为实现测试自动化打下了良好的基础；嵌入式系统的引入，使仪器仪表的功能发生了质的变化，从个别参量的测量转变成测量整个系统的特征参数，从单纯的接收、显示转变为控制、分析、处理、计算与显示输出，从用单个仪器进行测量转变成用测量系统进行测量；嵌入式技术在仪器仪表中的进一步渗透，使电子仪器在传统的时域与频域之外，又出现了数据域测试；人工智能、仪器仪表与测量科学技术的突破性进展又使仪器仪表智能化程度得到提高；DSP 芯片的大量问世，使仪器仪表数字信号处理功能大大加强；嵌入式系统的发展，使仪器仪表具有更强的数据处理能力和图像处理功能；现场总线技术的迅速发展，提供了一种用于各种现场自动化设备及其控制系统的网络通信技术，并使互联网(Internet)和企业内部网(Intranet)技术也进入控制领域；工业无线通信技术和无线传感器网络的发展和应用，不仅提供了对有线通信的延伸和补充，而且为实现泛在感知、更新信息获取模式、推动工业测控模式变革提供了现实可行性，为一些由于环境、成本等因素不能进行实时在线测控的应用提供了解决方案。

现代仪器仪表产品将向着智能化、网络化、多功能化的方向发展，跨学科的综合设计、高精尖的制造技术使其能更高速、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。而更高程度的智能化包括理解、推理、判断与分析等一系列功能，是数值、逻辑与知识结合分析的结果，智能化的标志是知识的表达与应用。嵌入式系统已成为真正实现光、机、电、算(计算机)一体化和自动化的结构，走向更名副其实的智能系统(带有自诊断、自控、自调、自决策等高智能功能)的基本保证。

根据上述仪器仪表国际发展的趋势，可以清楚地看出现代仪器仪表发展具有以下主要特点。

(1) 技术指标不断提高。提高仪器仪表的检测、控制技术指标是永远的追求，包括仪器仪表的测量控制的技术范围指标、测量精度指标、测量灵敏度、可靠性、稳定性、产品的环境适应性等。

(2) 率先应用新的科学研究成果和高新技术。现代仪器仪表作为人类认识物质世界、改造物质世界的第一手工具,是人类进行科学研究和工程技术开发的最基本工具。人类很早就懂得“工欲善其事,必先利其器”的道理,新的科学研究成果和发现(如信息论、控制论、系统工程理论)、微观和宏观世界研究成果及大量高新技术(如微弱信号提取技术、嵌入式技术、网络技术、激光技术、超导技术、纳米技术等)均成为仪器仪表和测量控制科学技术发展的重要动力,现代仪器仪表不仅本身已成为高技术的新产品,而且其利用新原理、新概念、新技术、新材料和新工艺等最新科技成果集成的装置和系统也层出不穷。

(3) 单个装置微型化、智能化,可独立使用、嵌入式使用和联网使用。测量控制仪器仪表大量采用新的传感器、大规模和超大规模集成电路、嵌入式技术及专家系统等信息技术产品,不断向微型化、智能化发展,从目前出现的“芯片式仪器仪表”“芯片实验室”等来看,单个装置的微型化和智能化将是长期的发展趋势。从应用技术看,微型化和智能化装置的嵌入式连接和联网应用技术必将得到重视和发展。

(4) 测控范围向工作方式立体化、全球化发展,测量控制向系统化、网络化发展。随着测控仪表所测控的既定区域不断向立体化、全球化发展,测控仪表已不再局限于单个装置形式,它必然向测控装置系统化、网络化方向发展。

(5) 便携式、手持式乃至个性化仪器仪表大量发展。随着生产的发展和人民生活水平的提高,人们对自己的生活质量和健康水平日益关注,检测与人们生活密切相关的各类商品、食品质量的仪器仪表,预防和治疗疾病的各种医疗仪器将是今后发展的一个重要趋势。科学仪器的现场、实时在线化,特别是家庭和个人使用的健康状况和疾病警示仪器仪表将会有极大的发展空间。

1.1.3 现代仪器仪表发展的关键技术

根据现代仪器仪表科学技术的发展趋势和特点,可以列出如下一些反映仪器仪表发展的关键技术。

(1) 传感技术。传感技术不仅是仪器仪表实现检测的基础,也是仪器仪表实现控制的关键。这是因为控制必须以检测输入的信息为依据,而且应对控制所达到的精度和状态进行感知,否则不明确控制效果的控制是盲目的控制。

广义而言,传感技术必须感知三方面的信息,它们是客观世界的状态和信息、被控对象的状态和信息以及操作人员需了解的状态信息和操控指示。在这里应注意到客观世界无穷无尽,测控系统对客观世界的感知主要集中在与目标相关的客观环境(简称既定目标环境),而既定目标环境之外的环境信息可通过其他方法采集。狭义而言,传感技术主要是对客观世界有用信息的检测,它包括被测量感知技术,涉及各学科工作原理、遥感遥测、新材料等技术;信息融合技术,涉及传感器分布、微弱信号提取、传感信息融合、成像等技术;传感器制造技术,涉及微加工、生物芯片、新工艺等技术。

(2) 系统集成技术。系统集成技术直接影响仪器仪表和测量控制科学技术的应用广度和水平,特别是对大工程、大系统、大型装置的自动化程度和效益有着决定性影响,它是系统级的信息融合控制技术,包括对系统的需求分析和建模技术、物理层配置技术、系统各部分信息通信和转换技术、应用层控制策略实施技术等。

(3) 智能控制技术。智能控制技术是人类通过测控系统以接近最佳方式监控智能化工

具、装备、系统以达到既定目标的技术,是直接涉及测控系统效益发挥的技术,是从信息技术向知识经济技术发展的关键。智能控制技术可以说是测控系统中最重要和最关键的软件资源,包括仿人特征提取技术、目标自动辨识技术、知识自学习技术、环境自适应技术、最佳决策技术等。

(4) 人机界面技术。人机界面技术主要为仪器仪表操作人员或配有仪器仪表的主设备、主系统的操作员操作仪器仪表或其主设备、主系统服务。它使仪器仪表成为人类认识世界、改造世界的直接操作工具。仪器仪表,配有仪器仪表的主设备、主系统的可操作性、可维护性主要由人机界面技术完成。仪器仪表具有一个美观、精致、操作简单、维护方便的人机界面,其往往成为人们选用仪器仪表及配有仪器仪表的主设备、主系统的一个重要依据。

人机界面技术包括显示技术、硬拷贝技术、人机对话技术、故障人工干预技术等。考虑到操作人员从单机单人向系统化、网络化环境下的许多不同岗位的操作人员群体发展,人机界面技术正向人机大系统技术发展。此外,随着仪器仪表的系统化、网络化发展,识别特定操作人员、防止非操作人员的介入技术也日益受到重视。

(5) 可靠性技术。随着仪器仪表装置和测控系统应用领域的日益扩大,可靠性技术在一些军事、航空航天、电力、核工业设施、大型工程和工业生产中起到提高战斗力和维护正常工作的重要作用。这些部门一旦出现故障,将导致灾难性的后果。因此,测控仪表和测控系统的可靠性、安全性、可维护性就显得特别重要。通常,测控仪表和测控系统的可靠性包括故障自诊断和自隔离技术、故障自修复技术、容错技术、可靠性设计技术、可靠性制造技术等。

(6) 现场总线技术。现场总线技术的推出,使测控系统能采用现场总线这一开放的、可互联的网络技术,实现将现场各种控制器和仪表设备相互连接,把控制功能彻底下放到现场,形成一种开放的、可以互联的、低成本的、彻底分散的分布式测控系统,构成企业信息化建设的底层工程网络,降低安装成本和维护费用。

(7) 工业无线通信技术。随着计算机网络技术、无线技术以及智能感知技术的相互渗透、结合,产生了基于无线技术的网络化智能传感器的全新概念。这种基于无线技术的网络化智能传感器,使得工业现场的数据能够通过无线链路直接在网络上传输、发布和共享。无线通信技术能够在工厂环境下,为各种智能现场设备、移动机器人以及各种自动化设备之间的通信提供高带宽的无线数据链路和灵活的网络拓扑结构,在一些特殊环境下有效地弥补了有线网络的不足,进一步完善了工业控制网络的通信性能。

(8) 网络技术已成为测控技术满足实际需求的关键支撑。以互联网为代表的计算机网络的迅速发展及相关技术的日益完善,突破了传统通信方式的时空限制和地域障碍,使更大范围内的通信变得十分容易,互联网拥有的硬件和软件资源正在越来越多的领域中得到应用,如远程数据采集与控制、高档测量仪器设备资源的远程实时调用、远程设备故障诊断等。与此同时,高性能、高可靠性、低成本的网关、路由器、中继器及网络接口芯片等网络互联设备的不断发展,又方便了互联网、不同类型测控网络、企业内部网间的互联。利用现有互联网资源而不需建立专门的拓扑网络,使组建测控网络、企业内部网以及它们与互联网的互联都十分方便,这就为测控网络的普遍建立和广泛应用铺平了道路。

嵌入式技术、传感器技术、网络技术与测量技术、控制技术的结合,使网络化、分布式测控系统的组建更为方便。以互联网为代表的计算机网络技术的迅猛发展及相关技术的不断完善,使得计算机网络的规模更大、应用更广。在国防、通信、航空航天、气象、制造等领域,对大范围的网络化测控将提出更迫切的需求,网络技术也必将在测控领域得到广泛的应用;

网络化仪器将很快发展并成熟起来,从而有力地带动和促进现代测量技术(即网络测量技术)的进步。把传输控制协议/网际协议(Transmission Control Protocol/Internet Protocol, TCP/IP)作为一种嵌入式的应用,嵌入现场智能仪器(主要是传感器)的只读存储器(Read-Only Memory, ROM)中,使信号的收/发都以 TCP/IP 方式进行。如此,测控系统在数据采集、信息发布、系统集成等方面都以企业内部网为依托,将测控网、企业内部网和互联网三者互联,便于实现测控网和信息网的统一。在以这种方式构成的测控网络中,传统仪器设备充当着网络中独立节点的角色,信息可跨越网络传输至所及的任何领域,使实时、动态(包括远程)的在线测控成为现实。将这样的测量技术与过去的测控、测试技术相比不难发现,今天的测控能节约大量现场布线、扩大测控系统所及地域范围。使系统扩充和维护都极大便利的原因,就是因为在这种现代测量任务的执行和完成过程中,网络发挥了不可替代的关键作用,即网络实实在在地介入了现代测量与控制的全过程。“网络就是仪器”的概念确切地概括了仪器网络化发展的趋势。

1.2 智能仪表的功能和组成

1.2.1 智能仪表的主要功能

将数字信号处理器、嵌入式系统引入仪表中后,能解决许多方面的问题,至少可实现如下一些功能。

(1) 自动校正零点、满度和切换量程。自校正功能大大降低了因仪表零漂和特性变化造成的误差,而量程的自动切换又给使用带来了方便,并可提高读数的分辨率。

(2) 多点快速检测。能对多个参数进行快速、实时检测,以便及时了解生产过程的瞬变工况。

(3) 自动修正各类测量误差。许多传感器的特性是非线性的,且受环境温度、压力等参数变化的影响,从而给测量带来误差。在智能仪表中,只要掌握这些误差的变化规律,就可依靠软件进行修正。常见的有测温元件的非线性校正、热电偶冷端温度补偿、气体流量的温度压力补偿等。

(4) 数字滤波。通过对主要干扰信号特性的分析,采用适当的数字滤波算法,可抑制各种干扰(例如低频干扰、脉冲干扰等)的影响。

(5) 数据处理。能实现各种复杂运算,对测量数据进行整理和加工处理,例如统计分析、查找排序、标度变换、函数逼近和频谱分析等。

(6) 多种控制规律。能实现比例积分微分(PID)控制及各种复杂控制规律,例如可进行前馈、解耦、非线性、纯滞后、自适应、模糊等控制,以满足不同控制系统的需求。

(7) 多种输出形式。输出形式有数字显示(或指针指示)、打印记录、声光报警,也可以输出多点模拟量或数字量信号。

(8) 数据通信。能与其他仪表(或计算机)进行数据通信,以便构成不同规模的计算机测量控制系统。

(9) 自诊断。在运行过程中,可对仪表本身各组成部分进行一系列测试,一旦发现故障即告警,并显示出故障类型及位置,以便及时正确地处理。

(10) 掉电保护。仪表内装有后备电池和电源自动切换电路。掉电时,能自动将电池接向随机存取存储器(Random Access Memory, RAM),使数据不致丢失。也可采用 Flash 存储器来替代 RAM,存储重要数据,以实现掉电保护功能。

在一些不带微机的常规仪表中,通过增加器件和变换电路,也能或多或少地实现上述的某些功能,但往往要付出较大的代价;另外,性能上的少许提高,会使仪表的成本增加很多。而在智能仪表中,性能的提高、功能的扩充相对比较容易实现,低廉的微机芯片可使这类仪表具有较高的性价比。

为对传统仪表更新换代,近年来,国内各仪表研制和使用单位正致力于各种智能仪表的开发与应用研究工作。例如开发出能自动进行温度、压力补偿的节流式流量计,能对测量元件、检测装置或执行机构进行快速测试和校核的各种校验设备,能对各种图谱进行分析和数据处理的色谱数据处理仪,能进行程序控温的多段温度控制仪以及能实现 PID 和智能控制规律的数字式调节器、智能式控制器等。

与此同时,一些厂家也从国外引进了新的产品。例如美国 Honeywell 公司的 DSTJ-3000 系列智能变送器,在半导体硅单晶片上配置了差压、静压和温度三种传感元件,进行差压值状态的复合测量,可对温度、静压实现自动补偿,从而获得较高的测量精度($\pm 0.1\%$ FS)。该变送器还可用遥控操作器远距离地进行零位校正、阻尼调整、测量范围的变更以及线性或平方根的选择,使用和维护十分方便。近年来,又推出了一批现场总线智能仪表和无线智能仪表。

美国 Foxboro 公司的数字化自整定调节器,能自动计算 PID 参数,并使过程的调节时间减到最小值。该调节器具有人工智能式的控制方法,采用“专家系统”技术,像有经验的控制工程师那样,能运用操作经验来整定调节器,工作迅速、正确。自整定调节器组态灵活、操作方便,节省了控制系统的投入时间,特别是当对象特性变化频繁或在非线性系统中,由于它能自动改变参数,并始终保持系统品质最佳,因此大大提高了系统运行的经济效率。

1.2.2 智能仪表的基本组成

通常,智能仪表由硬件和软件两大部分组成。

硬件部分包括主机电路、过程输入/输出通道(模拟量输入/输出通道和开关量输入/输出通道)、人机联系部件、数据通信接口及其他接口电路等。主机电路用来存储程序、数据,并进行一系列数据运算和处理,通常由微处理器、ROM、RAM、I/O 接口和定时/计数器电路等芯片组成,或者它本身就是一个嵌入式系统。模拟量输入/输出通道用来完成模拟量的输入和输出;而开关量输入/输出通道则用来完成开关量的输入和输出。人机联系部件用于操作者与仪表之间的联系沟通。通信接口则用来实现仪表与外部装置的数据交换,满足网络化互联的需求。

由图 1-1 可知,输入信号先在过程输入通道的预处理电路中进行变换、放大、整形、补偿等处理。对于模拟信号,尚需经模拟量输入通道模/数转换器(即 A/D 转换器)转换为数字信号,再通过输入接口送入缓冲寄存器,以保存输入数据;然后由中央处理器(Central Processing Unit, CPU)对输入数据进行加工处理、计算分析等一系列工作,并将运算结果存储在 RAM 中;同时可通过输出接口由输出缓冲器送至显示器或打印机,也可输出开关量信号和经模拟量输出通道的数/模转换器(即 D/A 转换器)转换成模拟量的输出信号。还可通

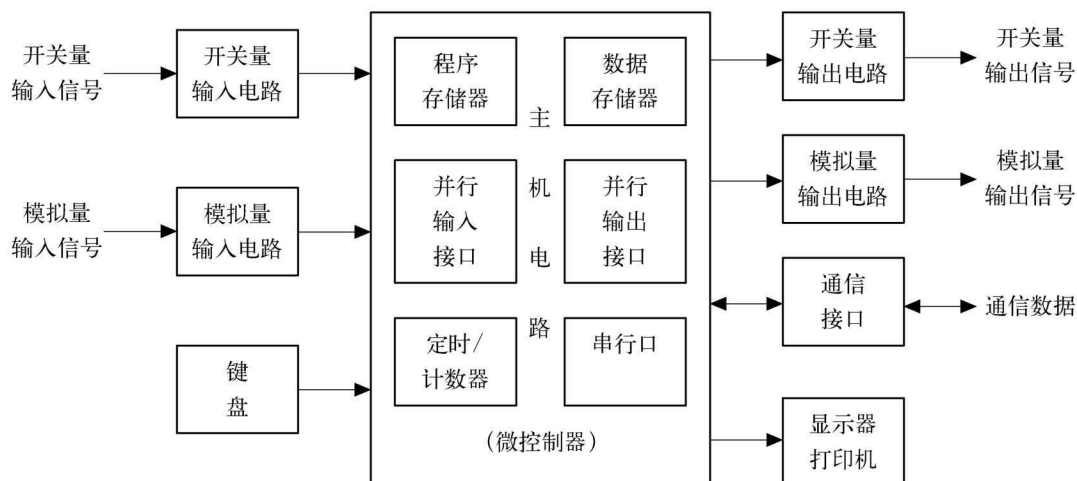


图 1-1 智能仪表硬件的基本组成

过各种通信接口实现数据通信,完成更为复杂的测量、控制任务。智能仪表的整体工作在软件控制下进行,需将工作程序预先编制好并写入非易失性存储器(如 EPROM^①、Flash 存储器等)中。所需的参数、命令可通过键盘输入,并存于可读写的存储器(如 RAM、Flash 存储器等)中。

智能仪表的软件通常包括监控程序、中断处理(或服务)程序以及实现各种功能的算法模块。监控程序是仪表软件的管理者,它接收和分析各种命令,管理和协调仪表全部程序的执行;中断处理程序是在人机联系部件或其他外围设备提出中断申请,并为主机响应后直接转去执行的程序,以便及时完成实时处理任务;功能算法模块用来实现仪表的数据处理和控制在功能,包括各种测量算法和控制算法。

以上只是智能仪表的大致组成,至于仪表内部的具体硬件、软件设计方法,将在后续章节中详细阐述。

1.3 智能仪表的设计思想和研制步骤

研制一台智能仪表是一个复杂的过程,包括分析仪器的功能需求和拟定总体设计方案,确定硬件结构和软件算法,研制逻辑电路和编制程序,以及仪表调试及其性能测试等。为保证仪表质量和提高研制效率,设计人员应在规范的设计思想指导下进行仪表研制的各项工作。

1.3.1 智能仪表的基本设计思想

1. 模块化设计

根据仪表的功能要求和技术经济指标,自顶向下(由大到小、由粗到细)地按仪表功能层

^① EPROM 是可擦除可编程只读存储器的英文缩写,英文全称为 Erasable Programmable Read-Only Memory。

次把硬件和软件划分成若干个模块,分别对其进行设计和调试,然后把它们连接起来,进行总调,这就是设计智能化仪表的基本思想。

如前所述,通常把硬件分成主机电路、过程通道、人机联系部件、通信接口和电源等几个模块;而把软件分成监控程序(包括初始化、键盘和显示管理、中断管理、时钟管理、自诊断等)、中断处理程序以及各种测量和控制算法等功能模块。这些硬件、软件模块还可继续细分,由下一层次的更为具体的模块来支持和实现。模块化设计的优点是:无论是硬件还是软件,每一个模块都相对独立,故能独立地进行设计、研制、调试和修改,从而使复杂的工作简化。模块间的相对独立也有助于研制任务的分解和设计人员之间的分工合作,可提高工作效率,加快仪表的研制速度。

2. 模块的连接

上述各种软、硬件模块研制调试完成之后,还需要将它们按一定的方法连接起来,才能构成完整的仪表,以实现数据采集、传输、处理和输出等各项功能。软件模块的连接,一般是通过监控主程序调用各种功能模块,或采用中断方式实时地执行相应的服务模块来实现,并且按功能层次继续调用下一级模块。模块之间的联系需要由数据接口(数据缓冲器和标志状态)来实现。

硬件模块的连接有两种方法:一种是以主机模块为核心,通过设计者自行定义的内部总线(数据总线、地址总线和控制总线)连接其他模块;另一种是采用标准总线(例如 ISA 总线、PCI 总线^①)来连接所有模块。第一种方法由设计人员自行研制模板,电路结构简单,硬件成本低;第二种方法一般选购商品化的模板(当然也可自行研制开发),配接灵活方便,研制周期更短,但硬件成本稍高。DSP 芯片和嵌入式系统的推出为智能仪表的设计提供了更好的开发平台和更简洁的实现手段。

1.3.2 智能仪表的设计、研制步骤

设计、研制一台智能仪表的基本过程大致上可以分为图 1-2 所示的三个阶段:确定任务、拟定设计方案阶段,硬件、软件研制及仪表结构设计阶段,仪表总调、性能测试阶段。以下对各阶段的工作内容和设计原则进行简要叙述。

1. 确定任务、拟定设计方案

(1) 确定设计任务和仪表功能

首先要确定仪表所完成的任务和应具备的功能。如仪表是用于过程控制还是数据处理,其功能和精度如何;仪表输入信号的类型、范围和处理方法如何;过程通道为何种结构形式,通道数需要多少,是否需要隔离;仪表的显示格式如何,是否需要打印输出;仪表是否需要通信功能,若需要,采用何种通信方式;仪表的成本应控制在什么范围等。上述这些均为仪表软、硬件设计的依据。另外,对仪表的使用环境情况及制造维修的方便性也应给予充分重视。

^① ISA 总线是工业标准体系结构的简称,英文全称为 Industry Standard Architecture;PCI 总线是外设部件互联标准的简称,英文全称为 Peripheral Component Interconnect。

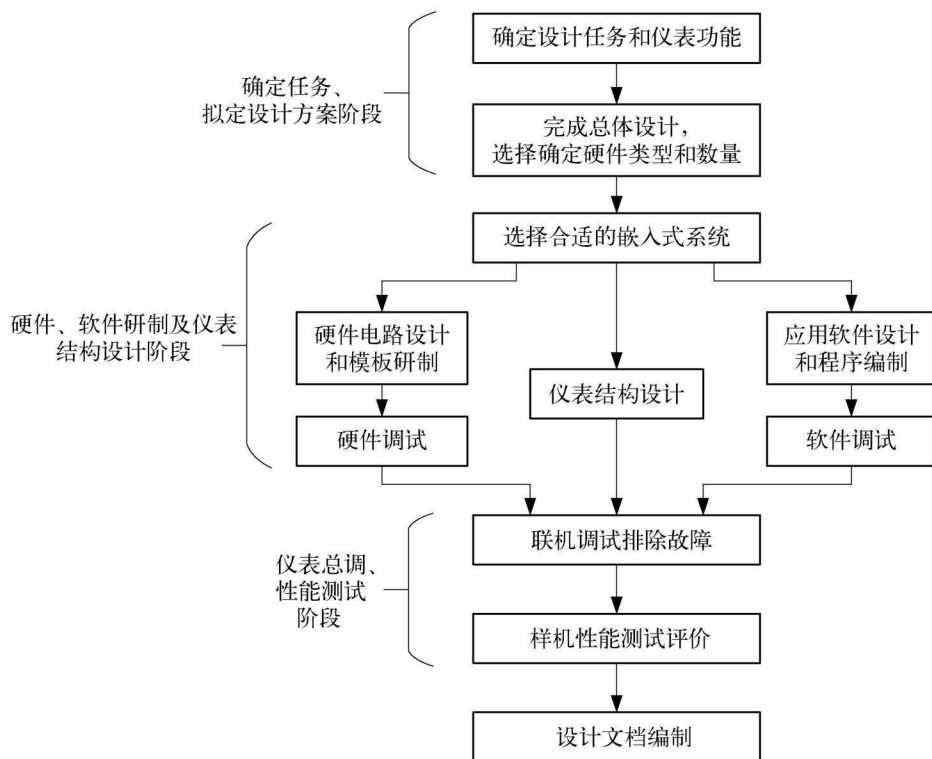


图 1-2 设计、研制智能仪表的基本过程

设计人员在对仪表的功能、可维护性、可靠性及性价比等综合考虑的基础上，提出仪表设计的初步方案，并将其整理成“仪表功能说明书(或设计任务书)”的书面形式。功能说明书主要有以下三个作用：① 作为用户与研制单位之间的合约，或研制单位设计开发仪表的依据；② 规定仪表的功能和结构，作为研制人员设计硬件、编制软件的基础；③ 作为验收的依据。

(2) 完成总体设计，选择确定硬件类型和数量

通过调查研究及方案论证，以完成智能仪表的总体设计工作。在此期间应绘制仪表系统总图和软件总框图，拟定详细的工作计划。完成总体设计之后，便可将仪表的研制任务按功能模块分解成若干子任务，再去具体的设计。

主机电路是智能仪表的核心，为确保仪表的性能指标，在选择嵌入式系统时，需考虑字长和指令功能、寻址范围与寻址方式、位处理和中断处理能力、定时计数和通信功能、内部存储器容量的大小、硬件配套是否齐全、芯片的价格以及开发平台等。在内存容量要求不大、外部设备要求不多的智能仪表中，可采用常用的 8 位单片机；若要求仪表运算功能强、处理精度高、运行速度快，则可选用功能强的嵌入式系统；若有一些特殊要求，也可选择 DSP 芯片。

在智能仪表的硬件中，输入/输出通道往往占有很大的比例，因此在估计和选择输入/输出通道所需的硬件时，应全盘考虑输入/输出通道数，串行操作还是并行操作，数据的字长，传输速率和传输方式等。

由于硬件和软件具有互换性，设计人员要反复权衡仪表硬件与软件的比例。适当地多用硬件可简化软件设计工作，并使装置的性能得到改善。然而，这样会增加元器件数量，使