

Instrument System Design

仪器系统设计

© 周 泓 编著

Design



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

仪器系统设计

周 泓 编著



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

仪器系统设计 / 周泓编著. —杭州: 浙江大学出版社, 2015. 6

ISBN 978-7-308-14742-2

I. ①仪… II. ①周… III. ①仪器—系统设计—高等学校—教材 IV. ①TH702

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 116182 号

仪器系统设计

周 泓 编著

责任编辑 张凌静(zlj@zju.edu.cn)

封面设计 刘依群

出版发行 浙江大学出版社

(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 杭州金旭广告有限公司

印 刷 浙江省良渚印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 14.75

字 数 359 千

版 次 2015 年 6 月第 1 版 2015 年 6 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-14742-2

定 价 35.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部联系方式 (0571)88925591; <http://zjdxcbbs.tmall.com>

前 言

仪器系统是对物质世界的信息进行测量和控制的基础手段和设备,其实质是信息获取、信息处理、信息利用的工具。它是信息化的重要设备,也是现代工业的核心技术之一。本书作为浙江大学测控技术与仪器专业核心课程“仪器系统设计”的专用教材,通过对仪器系统结构与设计原理进行深入剖析,系统阐述了仪器系统输入/输出接口、人机交互接口、通信接口、存储器接口的设计方法,讨论了仪器自动校准与自检技术、软测量技术、数据融合技术与虚拟仪器技术,并结合科研实例介绍了仪器系统集成方法。本书在编著中更侧重于仪器系统化的设计方法,强调软硬件协同设计思想,并通过真实科研实例进行针对性的深入讨论。本书力求知识新颖,实用性强,既可以作为测控技术与仪器专业本科生教材之用,也可作为研究生和本科生学习仪器系统的参考书。全书附有大量的图表资料,也可以作为现场技术人员的工具书使用。

教材的第1章介绍仪器系统设计基础,第2章介绍仪器输入/输出接口设计,第3章介绍仪器人机交互接口设计,第4章介绍仪器通信接口设计,第5章介绍仪器存储器接口设计,第6章介绍仪器自动校准和自检技术,第7章介绍仪器软测量与数据融合技术,第8章介绍虚拟仪器设计,第9章介绍仪器系统集成与应用。

本书由浙江大学周泓副教授编写,方兴老师与研究生杨思思、吴飞龙参加了本书所有图表的编辑整理工作。

本书承蒙浙江大学仪器科学与工程学系黄海教授和宋开臣教授审阅并提出了宝贵的修改意见,浙江大学出版社对本书的出版给予了热情的帮助,在此一并表示诚挚的谢意。

由于涉及内容较广,错误和疏漏之处在所难免,恳请读者批评指正。

浙江大学仪器科学与工程学系 周 泓

2015年4月27日

目 录

第 1 章 仪器系统设计基础	1
1.1 仪器系统的基本结构与特点	1
1.1.1 仪器系统的基本结构	1
1.1.2 当前仪器系统的特点	2
1.2 仪器系统的设计方法	3
1.2.1 仪器系统的设计要求	3
1.2.2 仪器系统的设计原则	4
1.2.3 仪器系统设计的一般步骤	7
1.3 仪器系统的硬件设计	10
1.3.1 硬件体系的结构设计	10
1.3.2 器件的选择	11
1.3.3 典型硬件电路设计	15
1.4 仪器系统的软件设计	17
1.4.1 仪器固件系统定义	17
1.4.2 软件设计方法	19
1.4.3 仪器系统软件的构成与设计	21
1.5 仪器系统的调试与测试	24
1.5.1 仪器系统调试过程	24
1.5.2 仪器系统测试过程	26
第 2 章 仪器输入/输出接口设计	28
2.1 传感器接口	28
2.1.1 传感器概述	28
2.1.2 传感器的分类	28
2.1.3 传感器的选用原则	29
2.2 模拟量输入通道	30
2.3 放大器	32
2.4 模拟多路开关	33
2.5 采样/保持器	34
2.6 A/D 转换器	36



2.6.1	A/D 转换器的种类	36
2.6.2	A/D 转换器的主要技术指标	37
2.6.3	A/D 转换器接口与选用原则	39
2.7	开关量输入通道	40
2.8	模拟量输出通道	41
2.8.1	D/A 转换器的工作原理	41
2.8.2	D/A 转换器的主要技术指标	42
2.8.3	D/A 转换器与微处理器的接口	43
2.8.4	D/A 转换器的应用	43
2.9	开关量输出通道	46
第 3 章 仪器人机交互接口设计		47
3.1	键盘接口设计	47
3.1.1	键盘概述	47
3.1.2	键盘工作原理与接口电路	49
3.1.3	键值分析程序	54
3.2	LED 显示接口设计	55
3.2.1	段码式 LED 显示原理与接口	55
3.2.2	点阵式 LED 显示原理与接口	57
3.2.3	LED 显示屏	59
3.3	LCD 显示接口设计	62
3.3.1	LCD 显示器的工作原理	62
3.3.2	字段式 LCD 接口	63
3.3.3	点阵式 LCD 接口	64
3.3.4	TFT LCD 接口	66
3.4	触摸屏接口	66
3.4.1	触摸屏简介	67
3.4.2	触摸屏的分类	68
3.4.3	触摸屏的控制	70
3.5	微型打印机接口	71
3.5.1	GP-16 微型打印机及其接口	72
3.5.2	TPuP-40A/16A 微型打印机及其接口	73
第 4 章 仪器通信接口设计		74
4.1	仪器通信接口概述	74
4.2	内总线	75
4.2.1	I ² C 总线	75
4.2.2	SPI 总线	80
4.3	GPIB 总线	81
4.3.1	GPIB 术语	81
4.3.2	仪器功能与接口功能	82

4.3.3	GPIB 接口系统结构	83
4.3.4	GPIB 接口工作过程	84
4.4	VXI 总线	85
4.5	PXI 总线	87
4.6	串行通信接口	88
4.6.1	串行通信接口概述	88
4.6.2	RS-232C 串行总线标准	90
4.6.3	RS-422 串行接口标准	93
4.6.4	RS-485 串行接口标准	94
4.6.5	通用串行总线(USB)	95
4.7	现场总线	100
4.7.1	现场总线概述	100
4.7.2	CAN 总线	102
4.7.3	其他常用的现场总线	104
4.8	蓝牙技术	106
4.9	工业以太网	112
4.10	电力线载波通信	115
第 5 章	仪器存储器接口设计	116
5.1	存储器概述	116
5.2	RAM 存储器	118
5.3	ROM 存储器	120
5.4	EEPROM 存储器	120
5.4.1	EEPROM 存储器概述	120
5.4.2	EEPROM 存储器的读写	121
5.4.3	EEPROM 存储器操作注意事项	124
5.5	FRAM 存储器	125
5.6	FLASH 存储器	126
5.7	实时时钟芯片	129
第 6 章	仪器自动校准和自检技术	131
6.1	仪器自动校准	131
6.2	仪器自检	132
6.3	仪器故障检测与诊断	135
6.3.1	故障检测和诊断基础	136
6.3.2	故障检测和诊断原理	138
第 7 章	仪器软测量与数据融合技术	142
7.1	软测量技术	142
7.1.1	软测量技术的发展背景	142
7.1.2	软测量技术的基本原理	143



7.1.3	建立软测量模型的几种方法	144
7.1.4	影响软测量模型性能的因素	147
7.1.5	软测量技术的实施步骤	148
7.2	多传感器数据融合技术	150
第 8 章	虚拟仪器设计	154
8.1	虚拟仪器技术	154
8.1.1	虚拟仪器的概念	154
8.1.2	虚拟仪器的组成	156
8.1.3	虚拟仪器的研究范畴	161
8.2	虚拟仪器硬件设计	161
8.3	虚拟仪器固件设计	162
8.4	虚拟仪器驱动程序设计	164
8.5	虚拟仪器应用软件设计	168
8.5.1	GUI 软件的设计原则	168
8.5.2	可视化编程工具	171
8.5.3	图形化编程软件平台	174
8.5.4	组态软件	176
8.5.5	虚拟仪器软面板	180
8.6	虚拟仪器设计示例	180
8.6.1	ZDVI2012 虚拟仪器设计要求	180
8.6.2	仪器硬件设计	181
8.6.3	仪器固件设计	187
8.6.4	仪器驱动程序设计	189
8.6.5	仪器软面板设计	190
第 9 章	仪器系统集成与应用	194
9.1	仪器系统集成原理	194
9.1.1	仪器系统集成的特点与任务	194
9.1.2	仪器系统集成步骤	194
9.1.3	集成化仪器系统软件结构描述语言	205
9.2	网络化仪器技术	210
9.2.1	网络化仪器概述	210
9.2.2	基于 Web 的仪器系统	212
9.2.3	嵌入式 Internet 的网络化智能传感器	213
9.3	网络化仪器系统集成实例	215
9.3.1	基于局域网的仪器系统集成实例	215
9.3.2	基于广域网的仪器系统集成实例	222
参考文献		228

第 1 章 仪器系统设计基础

1.1 仪器系统的基本结构与特点

1.1.1 仪器系统的基本结构

系统是由相互作用和相互依赖的若干部分结合而成的具有特色功能的有机整体。组成系统的各组成部分之间相互作用、相互依赖,共同组成一个整体。

仪器系统作为一个典型的系统,同样由相互作用、相互依赖的各组成部分组成,主要包括硬件和软件两大部分。

硬件部分主要包括微处理器、存储器、输入/输出通道、人机接口电路、通信接口电路等,其基本结构如图 1-1 所示。

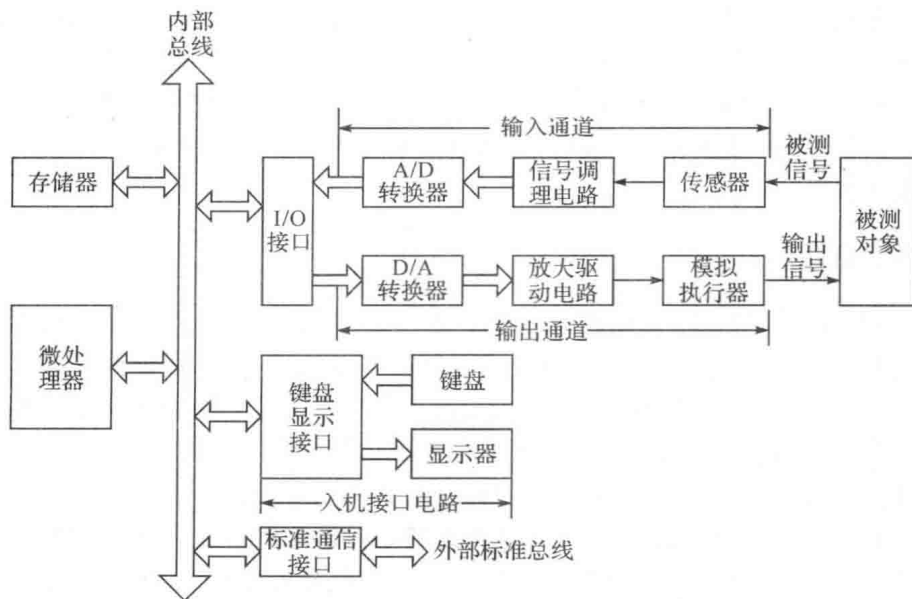


图 1-1 仪器系统硬件部分的基本结构



其中微处理器是仪器的核心;存储器包括程序存储器和数据存储器,用来存储程序和数据;输入通道主要包括传感器、信号调理电路和 A/D 转换器等,完成信号的滤波、放大、模块转换等;输出通道主要包括 D/A 转换器、放大驱动电路和模拟执行器等,将微处理器处理后的数字信号转换为模拟信号;人机接口电路主要包括键盘和显示器,是操作者和仪器的通信桥梁,操作者可通过键盘向仪器发出控制命令,仪器可通过显示器将处理结果显示出来;通信接口电路可实现仪器与计算机或其他仪器的通信。如果把仪器系统比作一个人体系统,可将微处理器和存储器部分类比于人体的指挥中心——大脑系统,而其中的晶振则类比于人体的心脏系统;输入通道部分类比于人体的五官系统;输出通道部分类比于人体的手足,人机接口部分类比于人体的脸部;通信部分则可类比于人体的神经系统。

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。

从系统建构方式上看,仪器系统的硬件各组成部分一般以横向关联为主,亦即采用模块化结构方式;而软件各组成部分一般以纵向关联为主,亦即采用层次化结构方式。

1.1.2 当前仪器系统的特点

仪器系统的发展经历了模拟式、数字式到智能化的步骤,而当前仪器系统具有以下特点。

1. 结构集成化

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乃至整个仪器系统的集成度。模块化功能硬件是现代仪器的一个强有力支持,它使得仪器更加灵活,仪器的硬件组成更加简洁。例如,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。

2. 功能柔性化

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,因而被广泛应用于仪器中,这使得一些原来由硬件完成的对实时性要求很高的功能,可以改为通过软件来实现,甚至许多原来用硬件电路难以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、快速傅里叶变换(fast fourier transform, 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领域的广泛应用。特别是智能计算理论的发展又促进了仪器系统柔性化的进程,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得仪器系统的硬件功能软件化。

3. 操作自动化

仪器的整个测量过程中,如键盘扫描、量程选择、开关闭合、数据采集、传输与处理、显示打印等功能用微处理器控制,实现了测量过程的自动化。仪器系统具有自测功能,包括自动调零、自动故障与状态检验、自动校准、自诊断及量程自动转换、触发电平自动调整、自补偿、自适应等,能适应外界的变化。例如,能自动补偿环境温度等对被测量的影响,能补偿输入的非线性,并根据外部负载的变化自动输出与其匹配的信号等。自动校准通过自校准(校准零点、增益等)来保证自身的准确度。自诊断能检测出故障的部位,甚至故障的原因。自测试功能既可在仪器启动初始化时运行,也可在仪器正常工作中运行,极大地方便了对仪器的维护。

4. 显示可视化

仪器系统显示可视化的目的就是借助计算机的图形图像处理能力,将仪器系统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,从而使人们摆脱只能对测控中的大量数据进行抽象分析的情况。

5. 控制网络化

仪器系统一般都配有 GPIB、VXI、PXI、RS232、RS485 等通信接口,这使得仪器系统具有远程操作的能力,可以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。

仪器系统也可以通过有线或无线网络接口,实现基于 Internet/Intranet 的远程控制。

1.2 仪器系统的设计方法

仪器系统的研制开发是一个较为复杂的过程,应遵循正确的设计原则,按照科学的设计步骤开发仪器系统。

1.2.1 仪器系统的设计要求

无论仪器系统的规模大小如何,其基本设计要求大体相同,主要考虑以下几个方面。

1. 技术指标

仪器系统的技术指标一般包括功能指标与性能指标。其中,功能指标一般是指定性指标,主要由软件来实现,如人机交互方式、输出形式、报警提示信息等;性能指标一般是指定量指标,主要由硬件来实现,如仪器系统的测量范围、测量精度、实时性指标等。但在许多情



况下,某些功能或性能指标需要软、硬件协同来实现。

2. 可靠性

仪器的故障将造成整个生产过程混乱,甚至引起严重后果,所以仪器能否正常、可靠地工作,将直接影响测量结果,也将影响工作效率和仪器的信誉。为保证仪器能长时间稳定、可靠地工作,应采取各种措施提高仪器的可靠性。

3. 操作及维护方便

在仪器设计过程中,应考虑操作的方便性,控制开关或按钮不要太多、太复杂,尽量降低对操作人员专业知识的要求,从而使操作者无须专门训练,便能掌握仪器的使用方法,便于产品的推广应用。另外,仪器结构要尽量规范化、模块化,并配有现场故障诊断程序,一旦发生故障,能保证有效地对故障进行定位,以便更换相应的模块,使仪器具有良好的可维护性。

4. 仪器工艺结构与造型设计

工艺结构是影响仪器可靠性的重要因素之一。依据仪器的工作仪器条件,确定是否需要防水、防尘、密封,是否需要抗冲击、抗振动、抗腐蚀等工艺结构;认真考虑仪器的总体结构、部件间的连接关系、面板的美化等,使产品造型优美、色泽柔和、轮廓整齐、美观大方。

5. 经济性

衡量一个仪器系统优劣性的主要指标是性价比,即要求在达到技术功能与性能指标的前提下,仪器系统的成本越低越好。

1.2.2 仪器系统的设计原则

设计开发仪器系统是一项复杂而细致的工作。对于不同的仪器系统,仪器设计的具体要求是不同的,但设计的基本原则大体是相同的。

仪器系统设计要根据实际需要,采用先进技术,进行标准化、系统化设计,使所设计的仪器系统具有较完善的操作性能,而且可靠、安全、实用、性价比高。仪器系统设计遵循如下原则。

1. 从整体到局部的设计原则

在设计硬件或软件时,应遵循从整体到局部,即自顶向下的设计原则,力求把复杂的、难处理的问题分解为若干个简单的、容易处理的问题,然后再一个个地加以解决。开始时,设计人员根据仪器功能和实际要求提出仪器设计的总任务,并绘制硬件和软件总框图(总体设计);然后将总任务分解成一批可以独立解决的子任务,这些子任务还可以再向下分,直到每个低一级的子任务足够简单,可以直接且容易地实现为止,之后再用模块方法实现。这些低一级模块相当简单,可以采用某些通用化的模块(模件),也可作为单独的实体进行设计和调试,并对它们进行各种实验和改进,从而能够以最低的难度和最高的可靠性组成高一级的模块,并将各种模块有机地结合起来,便可完成原设计任务。

2. 仪器系统的经济性原则

这是对仪器系统性价比提出的要求。为了获得较高的性价比,设计仪器时不应盲目追求复杂、高级的方案。在满足性能指标的前提下,应尽可能采用简单的方案,因为方案简单意味着元器件少、可靠性高,因此也比较经济。

仪器系统的造价取决于研制成本和生产成本。研制成本只花费一次,就第一台样机而言,主要花费在系统设计、调试和软件研制,样机的硬件成本不是考虑的主要因素。当样机投入生产时,生产数量越大,则每台产品的平均研制费用就越低。在这种情况下,生产成本就成为仪器造价的主要因素,显然仪器的硬件成本对产品的成本有很大影响。如果硬件成本低,生产量大,仪器的造价就低,在市场上就有竞争力。相反,当仪器产量较小时,研制成本则成了仪器造价的主要因素,在这种情况下,宁可多花费一些硬件开支,也要尽量降低研制成本。

在考虑仪器的经济性时,除造价外还应顾及仪器的使用成本,即使用期间的维护费、备件费、运转费、管理费、培训费等,必须综合考虑后才能看出真正的经济效益,从而做出选用方案的正确决策。

3. 仪器系统的通用性原则

仪器系统可以检测不同的过程参数和控制多个设备,但各个设备和控制对象的要求是不同的,而且控制设备还有更新,控制对象还有增减。仪器系统设计时应考虑能适应各种不同的设备和控制对象,使仪器系统不必做大改动就能很快适应新情况。这就要求仪器系统的通用性要好,能灵活地进行扩充。

要使仪器系统达到这样的要求,设计时必须使仪器设计标准化,并尽可能采用通用的系统总线结构,以便在需要扩充时,只要增加插件板就能实现。接口部件最好采用通用的 LSI 接口芯片,在速度允许的情况下,尽可能地把接口硬件部分的操作功能用软件来实现。

仪器系统设计时各设计指标要留有一定的余量,这也是扩充的一个条件,如 CPU 的工作速度、电源功率、内存容量、过程通道等,均应留有一定余量。

4. 仪器系统的软、硬件合理配合原则

微型计算机是仪器系统的核心,仪器系统的众多功能都可以由软件来实现,软、硬件合理分工、相互配合非常重要。仪器系统中的有些功能只能依靠硬件实现,有些任务(如数据处理)只能由软件来实现,还有许多功能用软件或硬件都可实现。一般来讲,硬件速度快,但应变灵活性小,扩展功能时要另添部件;而软件处理速度慢,但变更灵活性大,添加功能时只要对软件进行适当修改即可。至于价格,硬件需要较大投资,软件的投资则相对小些。软件和硬件在逻辑功能上是等效的。具有相同功能的单片机应用系统,其软硬件功能分配可以在很宽的范围内变化,系统的软、硬件功能分配要根据系统的要求而定。提高硬件功能的比例可以提高速度,减小所需的存储容量,有利于检测和控制的实时性,但会增加硬件的成本,以及降低年的利用率和系统的灵活性与适应性。相反,提高软件功能的比例可以降低硬件的造价,提高灵活性和适应性,但相应来说速度要下降,软件设计费用和所需存储器容量要增加。如果系统对速度要求不高,为了降低系统成本,可尽量将硬件的功能用软件来实现,



即所谓的“硬件软件”。近年来随着半导体技术的发展,各种高性能器件的问世又出现了“软件硬件”的趋势,即将原来由软件实现的功能用硬件来实现。其中最典型的当属数字信号处理(digital signal process, DSP)芯片。过去 FFT 都用程序实现,现在利用 DSP 进行 FFT 运算,可以大大减少软件的工作量,同时提高信号处理的速度。另外,“硬件是不可改变的”这一传统观念已被打破。近年来,可编程逻辑器件飞速发展并得到广泛应用。这种器件可以通过编程对器件内的门电路或逻辑单元进行组合,实现各种不同的功能,而且它还可以反复修改,现场调试。可编程逻辑器件的集成度越来越高,功能越来越强。

在仪器系统中,大量的运算和控制任务还需要用程序来实现。使用硬件可以提高仪器的工作速度,减轻软件负担,但结构较复杂,系统成本高;使用软件代替部分硬件会简化仪器结构,降低硬件成本。虽然软件开发的成本增加了,但在大批量投产时,软件的易复制性可以大大降低系统的制造成本。因此,在工作速度允许的情况下应该尽量多利用软件解决问题。设计时应从仪器系统的功能、产品成本、研制周期和费用等方面综合考虑,合理分配软件和硬件的任务,决定系统中哪些功能由硬件来实现,哪些功能由软件来实现,并确定软件和硬件的协同关系。

5. 仪器系统的可靠性原则

所谓可靠性是指仪器产品在规定的条件下和规定的时间内完成规定功能的能力。可行性指标除了可用完成规定功能的概率表示外,还可用平均无故障时间、故障率、失效率或平均寿命等来表示。

可靠性高是仪器系统设计最重要的一个基本要求。对于仪器系统来说,无论原理如何先进、功能如何全面、精度如何高级,如果可靠性差、故障频繁,不能正常运行,则该仪器系统就没有使用价值,更谈不上经济效益,甚至将造成整个生产过程的混乱,引起严重后果。因此,在仪器系统的设计过程中,对可靠性的考虑应贯穿于每个环节,采取各种措施提高仪器可靠性,以保证仪器能长时间稳定地工作。

就硬件而言,仪器所用器件质量的优劣和结构工艺是影响可靠性的重要因素,故应合理选择元器件和采用极限情况下试验的方法。所谓合理选择元器件是指在设计时对元器件的负载、速度、功耗、工作环境等参数应留有一定的安全量,并对元器件进行老化和筛选;极限情况下试验是指在研制过程中,一台样机要承受低温、高温、冲击、振动、干扰、烟雾和其他试验,以证实其对环境的适应性。为了提高仪器的可靠性,还可采用“冗余结构”的方式,即在设计时安排双重结构(主件和后备件)的硬件电路,这样当某部件发生故障时,备用部件自动切入,从而保证了仪器能可靠、连续运行。

就软件来说,应尽可能减少故障。采用模块化设计方法,易于编程和调试,可减少故障和提高软件的可靠性。同时,对软件进行全面测试也是检验错误、排除故障的重要手段。与硬件类似,也要对软件进行各种“应力”试验。例如,提高时钟速度,增加中断请求率、子程序的百万次重复等,甚至还要进行一定的破坏性试验。虽然这要付出一定的代价,但必须经过这些试验才能证明所设计的仪器是合适的。

随着仪器系统在生产中的广泛应用,对仪器可靠性的要求已提到重要的位置上来。与此相对应,可靠性的评价不能仅仅停留在定性的概念分析上,而应该科学地进行定量计算,进行可靠性设计,这对较复杂的仪器系统尤为必要。

1.2.3 仪器系统设计的一般步骤

仪器系统的设计虽然随测控对象、设备种类、检测与控制方式、规模大小等的不同而有所差异,但仪器系统设计的基本内容和主要步骤是大体相同的。

在设计仪器系统之前,设计人员首先应该估计其必要性。应在对系统性能的改善程度、成本、可靠性、可维护性及应用不同处理器和器件的经济效益等进行综合考虑的基础上,决定采用哪一种设计方案更合理。

设计开发一个仪器系统一般需要经过以下三个阶段。

1. 确定任务,明确目标,拟定总体设计方案

(1) 确定仪器的功能、技术指标及设计任务

首先要明确仪器系统必须实现的功能和需要完成的测量、控制任务;要深入了解生产过程和工艺流程;要考虑被测信号的特点、被测量的数量、输入信号的通道数、被测量的类型、变化范围,以及测量速度、精度、分辨率和误差等;还要确定测量结果的输出方式、显示的类型、输出接口的配置,如通信接口和打印机等外设接口。另外,还要考虑仪器的内部结构、外形尺寸、面板布置、研制成本、仪器的可靠性、可维护性及性价比等。在对上述各项综合考虑的基础上,用时间流程图和测控流程图描述测量过程和控制任务,写成设计任务说明书,作为整个系统设计的依据。

(2) 建模和测控算法的确定

仪器系统是集测量与控制于一体的系统,对其使用效果的优劣起决定作用的因素之一是算法的优劣。算法建立在测控对象的数学模型上,描述各输入量与各输出量之间的数学关系。仪器系统的性能不仅取决于传感器、转换电路、传输设备等硬件本身,而且还与信息处理技术、控制技术等因素有关。在仪器系统现有硬件的条件下,通过信息处理、优化控制等软件算法可提高仪器的测量与控制效果。例如,在传感器硬件设备的发展受到限制时,采用多源信息融合技术来提高仪器系统的监测水平,进而提高仪器系统的整体性能指标,是一种行之有效的方法。计算机技术的发展推动了仪器技术的发展,测量技术从依靠仪器设备的传统测量技术发展为可利用计算机作为依托平台的“软测量技术”。软测量技术就是通过建立测控对象的数学模型来实现特定的仪器功能的,也充分体现了“软件就是仪器”的理念。

除测量过程的信息融合、数据挖掘等数据处理算法外,在控制系统中,还有许多常用的控制算法,如 PID 控制算法及其改进形式,离散域内数字控制器的直接设计方法及基于系统输入/输出描述的控制算法等。仪器系统所用的算法要根据测量与控制对象的不同特性和要求恰当地选择。

(3) 仪器系统的总体方案设计

仪器系统的总体方案设计是根据设计的任务要求提出的几种设想、规划,并且加以比较、推敲,进而选择一种认为是可行的、较好的方案作为初步方案,然后对系统的指导思想、技术原则、技术指标、可靠性、性价比进行方案评估,最后根据评价的结果制定系统的设计方案。在总体方案通过论证的基础上即可首先开展仪器系统的总体设计工作。



完成总体设计之后才能将仪器系统的研制任务分解成若干子课题(子任务),展开具体、深入的设计工作。

2. 硬件和软件设计

在开发过程中,硬件设计和软件设计应同时进行。在设计硬件、研制功能模板的同时,即着手进行应用程序的编制。硬件、软件设计工作要相互配合,充分发挥微机特长,尽可能缩短研制周期,提高设计质量。

(1) 硬件电路的设计和功能模板的研制

根据总体设计,将整个系统分成若干个功能模板,分别设计各部分电路,如输入/输出通道、信号调理电路、单片机及其外围电路、人机界面等。在完成电路设计之后,即可制作相应的功能模板。在设计、制作功能模板时,要保证技术上可行、逻辑上正确,并注意布局合理、连线方便。一般先绘制逻辑电路图,经反复核对,线路无差错,才能制作印制电路板并进行电路的调试。

(2) 软件框图的设计和程序的编制

将软件总框图的各个功能模块具体化,逐级画出详细的框图和流程图,作为编制程序的依据。用户源程序一般采用汇编语言或 C 语言编写。通过编译系统变成可执行的目标代码。采用汇编语言编写的用户源程序代码效率高,节省程序存储空间,程序执行速度快。设计中还应进行程序的优化工作,注意程序的可读性和可移植性。

仪器系统中硬件和软件设计工作联系紧密,相辅相成,须齐头并进。设计人员不仅要懂得系统的硬件,而且要熟悉软件,如此才能设计出较为理想的仪器系统产品。

3. 系统调试及性能测试

在仪器系统开发过程中,需要进行硬件电路和软件的调试和性能测试,以排除设计错误和各类故障,使所设计研制的仪器系统符合设计要求。仪器系统的调试包括硬件电路调试、软件调试和样机调试三部分。仪器系统硬件电路和软件的研制一般独立地并行进行。软件调试在硬件电路研制完成之前即应开始进行,硬件电路也须在无完整应用软件支持的情况下进行调试。这就必须借助各种开发工具和开发系统,以创造良好的硬件和软件调试环境。样机调试是指在硬件电路和软件分别调试完毕后,在样机上进行的硬件电路和软件的联调。对于“微机嵌入式”仪器系统,只有通过样机调试才可将软件固化并组装整机。

图 1-2 给出了系统设计与开发方案实施的全过程。下面就其中一些主要步骤加以说明。

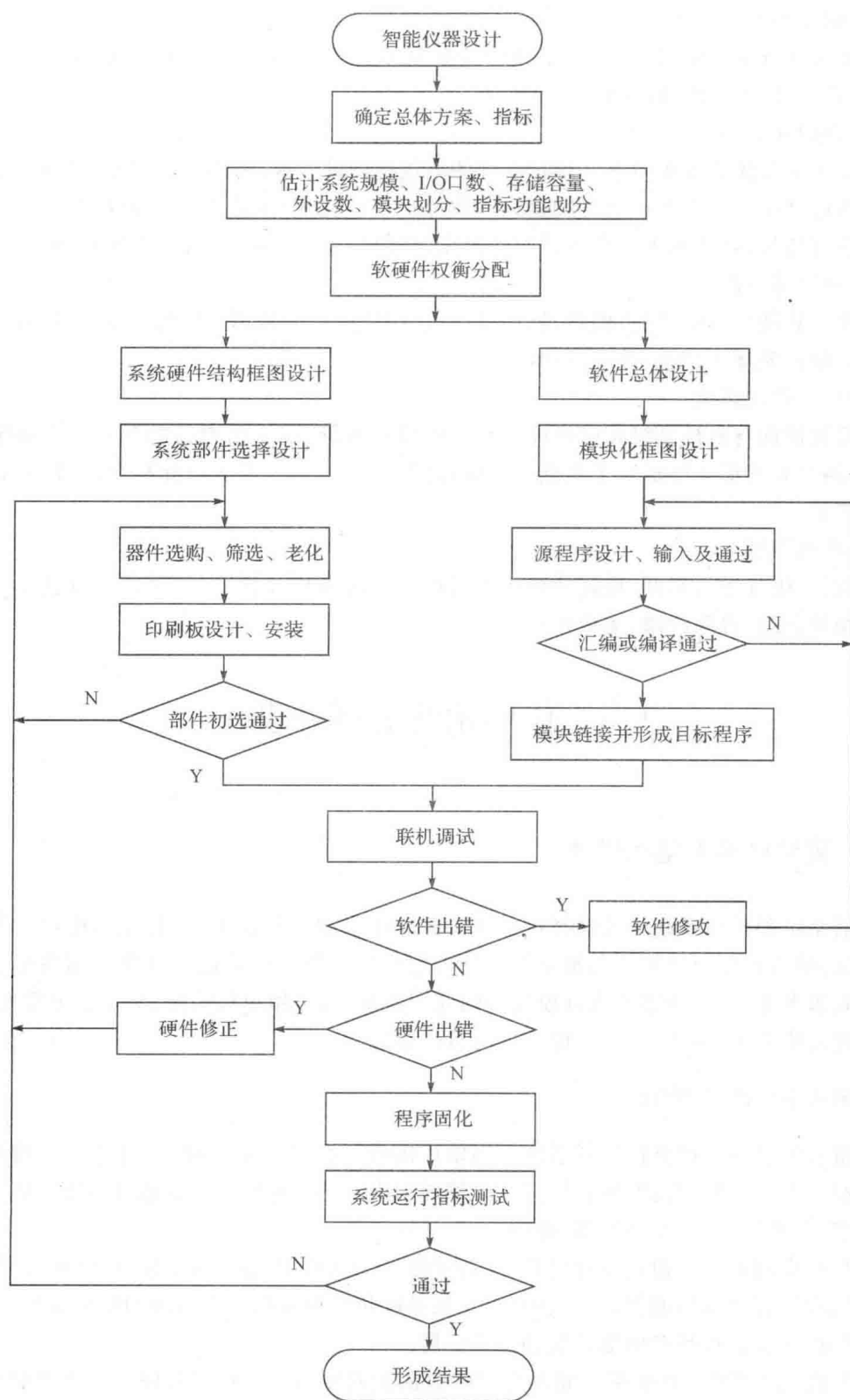


图 1-2 仪器系统设计的一般步骤