

杨欣荣 编著

智能仪器 原理与设计

中南工业大学出版社

内 容 简 介

本书详细地介绍了智能仪器的构成、工作原理及其硬件与软件的设计方法。具体有智能仪器概述；传感器技术概论；数据采集通道的硬件电路；数值计算的基本算法；数据处理技术；操作与显示；智能仪器的标准接口总线；智能仪器的设计方法；智能仪器抗干扰技术等。其内容新颖、深入浅出，还提供了一些很具实用价值的应用程序和典型电路。

本书可作为仪器仪表类专业本科生的教材和有关专业研究生的教材或教学参考书。也可供从事智能仪器设计、制造和使用的工程技术人员参考。

智能仪器原理与设计

杨欣荣 编著

责任编辑：田荣章

插图责任编辑：刘皓英

*

中南工业大学出版社出版发行

中南工业大学出版社印刷厂印装

湖南省新华书店经销

*

开本：787×1092 1/32 印张：10.0625 字数：226千字

1989年9月第1版 1989年9月第1次印刷

印数：0001-2000

*

ISBN 7-81020-254-5/TH·004

定价：1.85元

前 言

七十年代以来,随着微型计算机的发展与广泛应用,在测试技术的领域中出现了完全突破传统概念的一代仪器仪表。这种仪器仪表内部含有微处理器,使计算机技术和仪器、测量技术有机地结合起来,从而大大地增强了仪器的功能,提高了仪器的性能指标。人们习惯上把这类仪器称为智能仪器。

智能仪器的出现是仪器技术的一场革命。智能仪器的设计方法也与常规仪器的设计方法迥然不同。本书详细地介绍了智能仪器的构成、工作原理和基本设计方法。包括从智能仪器的角度来讨论的传感器技术;数据采集通道的硬件电路及软件设计;数值计算的基本算法;数据处理技术及误差校正;智能仪器的标准接口总线;智能仪器的人机对话技术;智能仪器的设计方法以及抗干扰技术等。

本书是作者在总结从事智能仪器研究与教学工作的基础上撰写的。反映了国内外智能仪器的新技术。既有理论分析,又有实例介绍,还有一些很具实用价值的应用程序和典型电路。由于Z80微处理器目前仍是我国应用最为广泛的微处理器,因此本书多数程序使用Z80汇编语言编写。但是考虑到单片机已在智能仪器中得到了越来越广泛的应用,所以本书还用一定的篇幅介绍了MCS-51系列单片机在智能仪器中的使用。

本书是作为仪器仪表类专业“智能仪器原理与设计”课程

的教材编写的。也可供有关专业的研究生作为教材或教学参考书。还可供从事智能仪器设计、制造和使用的有关工程技术人员在实际工作中参考。

由于作者水平有限，书中难免有不少错误与疏漏之处，敬请读者不吝批评指教，万分感谢。

杨 欣 荣

1989年元月于中南工业大学

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 智能仪器的构成与特点	(1)
一、智能仪器的构成	(2)
二、智能仪器的特点	(3)
三、智能仪器的发展	(4)
第二节 智能仪器的实例简介	(6)
第二章 传感器技术概论	(10)
第一节 传感器的工作原理与分类	(10)
第二节 几种常用的传感器	(13)
一、温度传感器	(13)
二、光传感器	(14)
三、压力传感器	(18)
四、气体传感器	(20)
五、磁传感器	(20)
第三节 数字传感器	(22)
一、轴角数字编码器	(22)
二、频率式数字传感器	(28)
三、数字式直线位移传感器	(31)
第四节 智能式传感器	(35)
一、智能式传感器的特点	(35)
二、典型智能式传感器——DSTJ 3000 智能式差压、压力变送器	(36)

第三章 数据采集通道的硬件电路	(38)
第一节 多路转换开关	(38)
一、CMOS模拟多路开关原理	(39)
二、CD4051 多路开关.....	(41)
三、多路模拟开关的误差分析.....	(43)
第二节 测量放大器	(45)
一、单级运算放大器.....	(45)
二、典型的三运放测量放大器.....	(46)
三、高性能测量放大器.....	(48)
四、程控增益放大器.....	(56)
第三节 采样保持电路	(62)
一、采样保持电路的主要参数.....	(62)
二、采样保持电路结构.....	(65)
第四节 D/A转换器	(67)
一、D/A 转换器工作原 理.....	(68)
二、DAC的连接.....	(70)
三、利用DAC 构成的波形发生器	(79)
四、利用 DAC 进行图形显示	(87)
第五节 A/D转换器	(93)
一、ADC 的工作原 理.....	(93)
二、ADC 与 CPU 的连接	(101)
三、A/D 转换程序的设计	(109)
四、单片机与 ADC 的连接	(113)
五、数字面板表专用 ADC 的利用	(118)
第四章 数值计算的基本算法	(124)
第一节 概述	(124)

一、自校准技术.....	(202)
二、自校零技术.....	(204)
三、自补偿技术.....	(204)
四、外界误差的补偿.....	(205)
第四节 随机误差的修正.....	(210)
一、平滑滤波法.....	(210)
二、模拟滤波器的数字化.....	(216)
三、疏失误差的克服.....	(218)
第六章 操作与显示.....	(223)
第一节 键盘.....	(223)
一、独立联接式非编码键盘.....	(224)
二、独立联接式编码键盘.....	(225)
三、矩阵联接式非编码键盘.....	(226)
四、矩阵联接式编码键盘.....	(229)
五、键抖动和同时按键的处理.....	(231)
第二节 LED数码管显示.....	(233)
一、七段LED数码管的结构与工作原理.....	(233)
二、利用硬件译码器的七段LED数码管 接口电路.....	(234)
三、利用软件译码的七段LED数码管接 口电路.....	(235)
第三节 CRT显示器.....	(239)
一、CRT显示的原理.....	(239)
二、图形的显示.....	(240)
第七章 智能仪器的标准接口总线.....	(242)
第一节 GP-IB总线结构.....	(242)

第二节 二进制整数的运算	(126)
一、无符号二进制整数乘法运算	(126)
二、多字节带符号二进制整数乘法运算	(130)
三、多字节无符号二进制整数除法运算	(135)
四、多字节带符号二进制整数除法运算	(140)
五、二进制乘除法的简化算法	(141)
六、单片机MCS-51 的乘除法运算	(142)
七、BCD 码二-十进制数的计算	(143)
第三节 浮点数运算	(144)
一、常用浮点数处理程序	(147)
二、浮点数运算程序	(155)
第四节 基本函数的近似计算	(168)
一、利用幂函数计算常用函数	(168)
二、利用曲线拟合法计算常用函数	(170)
三、智能仪器数值计算功能小结	(171)
第五章 数据处理技术	(177)
第一节 标度变换	(177)
一、标度变换的原理	(177)
二、标度变换程序	(180)
三、非线性参数的标度变换	(185)
第二节 非线性特性的校正	(186)
一、校正函数法	(187)
二、查表法	(189)
三、插值法	(193)
四、曲线拟合法	(195)
第三节 系统误差的修正	(201)

第二节	GP-IB总线的消息和编码	(245)
第三节	GP-IB总线的接口设计	(247)
第八章	智能仪器的设计方法	(259)
第一节	微处理器的选择	(260)
一、	微处理器的选择原则	(260)
二、	常用的微处理器	(261)
第二节	硬件电路的设计	(275)
一、	功能的划分	(275)
二、	设计与研制过程	(276)
第三节	软件设计方法	(277)
一、	结构化设计方法	(278)
二、	由顶向下设计方法	(282)
三、	模块化设计	(283)
第四节	智能仪器系统软件的设计	(283)
一、	循环优先作业调度程序	(284)
二、	键码分析作业调度程序	(285)
三、	状态分析法	(288)
第九章	智能仪器抗干扰技术	(294)
第一节	干扰的产生与耦合	(294)
一、	干扰产生的原因	(294)
二、	干扰窜入的途径	(295)
第二节	抗干扰措施	(298)
一、	共模干扰与串模干扰	(298)
二、	干扰的抑制	(300)
三、	软件抗干扰技术	(310)
参考文献		(311)

第一章 概 述

第一节 智能仪器的构成与特点

由于在生产实践和科学研究中经常需要检测各种不同的物理与化学参数,因此,人们需要大量精度高、功能强、使用方便灵活的仪器仪表。七十年代后期以来,随着微型计算机的广泛应用,出现了完全突破传统概念的、全新的一代仪器仪表。这种仪器仪表内部含有微处理器,以微处理器为核心,具有信息采集、数据处理、显示记录、传输和测试过程自动控制等一系列功能。甚至还能辅助专家推断分析和进行决策。人们习惯上把这类仪器称为智能仪器(Intelligent Instrument)。严格说起来,这类仪器的“智能”水平还是不高的。一般公认的“智能”是指“一种能随外界变化的条件,确定正确行动的能力”,“智能化”应包括理解、推理、判断与分析等一系列功能。目前的智能仪器尽管有自动补偿、自动校准、自寻故障、自动检测等较高的自动化水平和一定的分析判断能力,但用上述“智能”及“智能化”的概念来衡量还有相当的距离。随着科学技术的迅速发展,智能仪器具有的智能水平将会越来越高。智能仪器的应用也会越来越广泛。有人预言,今后设计生产的新仪器,如果不是智能产品便没有市场,这种说法是有一定道理的。

一、智能仪器的构成

如前所述，智能仪器的核心是微处理器。图 1-1 是智能仪器的基本组成。

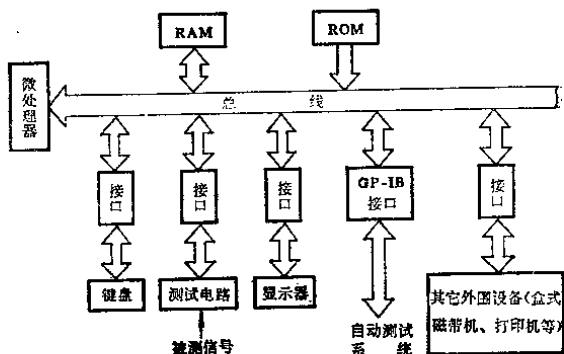
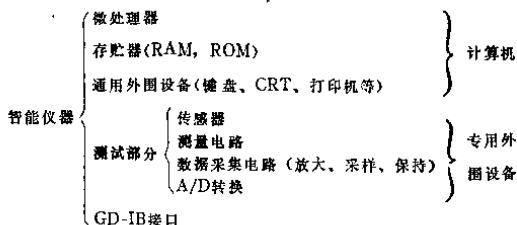


图1-1 智能仪器的基本组成

从图可以看出，智能仪器具有计算机的结构。除了包含有微处理器以外，还有存储器 ROM、RAM 和键盘、显示器及其他接口装置。与一般计算机的差别在于它多了一个“专用的外围设备”——测试电路和一个与外界通讯的 GP-IB 接口。因此可以认为：从仪器的观点看，微处理器及其支持部件是整个测试仪器的组成部分。从计算机的观点看，测试部分是计算机的一个专用外围设备。这种关系可归纳如下：



二、智能仪器的特点

1. 微处理器的引入使智能仪器的功能较传统仪器有了极大的提高。许多原来用硬件电路难以解决或根本无法解决的问题，由于利用软件而获得较好的解决。例如，传统的数字多用表(DMM)只能测量交直流电流、电压以及电阻等，但采用微处理器的智能数字多用表还能测量百分率偏移、比例、极值、平均值、方差、均方差、均方根值等。甚至在外加传感器后还能测量温度、压力等非电量。

2. 由于微处理器有较强的数据处理能力，因而能大大提高仪器的性能指标。

智能仪器可以通过数据处理进行自动校正、非线性补偿、数字滤波等修正和克服由各种传感器、变换器、放大器等引进的误差和干扰。从而提高仪器的精度和其他性能指标。

3. 智能仪器一般都具有很高的自动化水平。微处理器能控制仪器的整个测量过程，如键盘扫描、量程选择、数据采集、传输、处理及显示记录输出等。实现了测量过程的自动化。

4. 智能仪器具有对外接口能力，通常都具备CP-IB接口，能很方便地通过接口组成多功能自动测试系统。

5. 智能仪器由于采用了微处理器,从而可以用软件代替许多硬件电路的工作。这样,仪器可以简化结构、减小体积、降低成本和提高可靠性。

6. 智能仪器通常都具有自测试和自诊断功能。它能自身测试功能是否正常,自行诊断是否存在故障及故障的部位,提高了仪器的可靠性,简化和加快了仪器的维修工作。

三、智能仪器的发展

自从第一种装入四位微处理器的数字式多用表(DMM)于1975年在美国问世以来,智能仪器发展迅猛。最有代表性的智能仪器产品有数字电压表(DVM)、数字式多用表(DMM)、数字式记忆示波器(DSO)等。随着计算机技术和微电子技术的不断发展,智能仪器从应用领域、智能化水平和结构设计等方面来看,也在不断地前进。主要表现在以下几个方面:

1. 信号检测与信号处理技术已在进一步推动智能仪器的发展

为适应智能仪器的需要,各种新型的传感器不断出现,形成了新一代的具有自诊断、自修复、数字化、智能化,而且有着很强的适应性的敏感元件。微电子技术的这一进步将传感器与测量值的预处理合为一体,从而提高了信号检测能力,也推动了智能仪器有关测试功能的提高。例如DSTJ智能型差压、压力传感器将敏感元件、信息放大、室温补偿、非线性校正等部分设计在一块集成电路芯片上。从而大大提高了测量的精确度、可靠性和稳定性,也使得仪器的结构可以大为简化。

信号处理技术的发展也极大地增强了智能仪器的信号处理功能。

2. 数据域测试仪器的兴起

智能仪器的发展,进一步反映出经典的频域或时域测量技术与计算机科学技术的进步不相适应。七十年代以来数据域测量分析的概念开始形成,从而也兴起了一类新的仪器——数据域测试仪器。这类仪器有:集成电路测试仪、逻辑分析仪、仿真器、特征信号分析仪等。这些仪器的使用与设定技术比较复杂,而且随着功能的增强与仪器兼容而会变得更加复杂。这类仪器的一些新产品具有一些自学习的功能。例如对安装在印制电路板上的元件电路测试,可以先测试一个完全正常的印制板上相应两个端点间在非通电状态下的等效电参数与工作状态下的逻辑变化规律,自动送入仪器的存储器,从而建立起一个印制电路板资料库,然后再来检测其他印刷板上的元件和电路是否正常。这种带有资料库的仪器可以在现场用极简单的操作来进行复杂的检查。

3. 从总线制仪器向个人仪器发展

早期的智能仪器是把微处理器放入仪器内部,通过内部接口和总线将测试部件与计算机连接起来。此外,又通过 **GD-IB** 接口总线与外部计算机或其它的智能仪器相连接组成自动测试系统。随着个人计算机的发展,从1982年起出现了一种新型的个人计算机和仪器相结合的“个人仪器”。

个人仪器具有下列特点:

(1) 成本低。只需将各种测量功能插件板插入个人计算机机箱内或外接扩充箱中即可构成个人仪器。和具有 **GP-IB** 接口总线组成的同等测试功能的智能仪器相比,价格可降低 $1/3 \sim 1/10$ 。

(2) 使用方便。在个人仪器中,标准的仪器功能写入操

作软件中。用户根据清单进行选择，无需编制程序就能完成各种测试任务，操作十分方便。

(3) 制造方便。仪器制造厂只要研制、生产各种测试插件卡，再配以通用的个人计算机即可构成一台个人仪器。图1-2即为个人仪器的结构示意图。

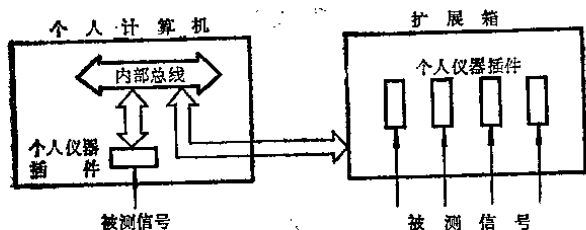


图1-2 个人仪器结构

第二节 智能仪器的实例简介

SQW-A 智能型砂高温强度试验仪是一台用来测试造型材料高温物理性能的多功能智能仪器，其机械结构如图1-3所示。

被测试样置于高温电炉中，加压电机通过试柱可对试样施加压力。仪器中装置了测量温度的热电偶、测量试样变形的位移传感器和测量试样承受压力的压力传感器。温度、压力和变形均应能按试验要求进行控制。从而对试样在高温条件下的机械强

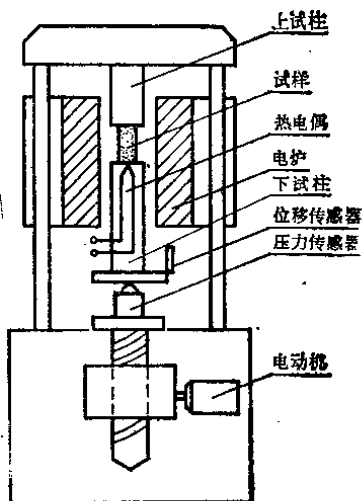


图1-3 智能型砂高温强度试验仪机械结构图

度、机械变形与温度的关系进行测试。由上述要求可知这台仪器应同时对三个物理量进行测量和控制。用一般的常规手段是很难满足要求的。仪器利用微处理器作为控制与测量的核心，其结构如图1-4所示。

(一) 信号采集与放大

1. 温度信号：热电偶产生的热电势通过测量放大器送入A/D转换器。

2. 压力信号：仪器测量的压力有 $0 \sim 100\text{kgf}$, $0 \sim 1000\text{kgf}$ 。

0~2000kgf 三档量程。在改换不同量程的压力传感器时通过 I/O 口给微处理器以相应的信号。使仪器能自动进行相应的标度变换。

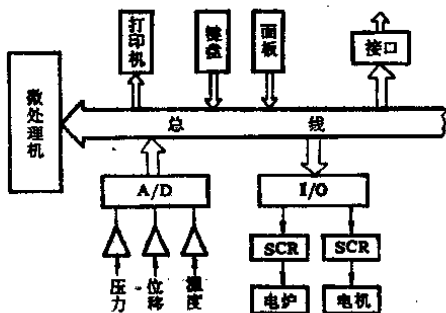


图1-4 智能型砂高温强度试验仪结构图

3. 位移信号：试样的最大变形为 $\pm 5\text{ mm}$ ，位移传感器相应的输出信号为 $\pm 400\text{ mV}$ 。但A/D转换器为单极性，因此设置了极性变换与放大环节。

（二）数据处理

仪器利用软件进行数字滤波、热电偶非线性校正、试柱热变形修正、零点自动补偿等。提高了测试的精确度。

（三）控制功能

根据不同项目试验的要求，仪器应能对试样温度、压力和变形进行控制。因此，有三套独立的控制系统，利用微处理器进行程序升温、恒温、定压力和定变形的控制。