

现代测控技术与智能仪器

现代 测控技术与 智能仪器

杨欣荣 凌玉华 廉迎战 编著
湖南科学技术出版社

XIANDAI
CEKONG JISHU YU
ZHINENG YIQI

XIANDAI CEKONG JISHU YU ZHINENG YIQI

986-60012

出版社

现代 测控技术与 智能仪器

XIANDAI CEKONG JISHU YU ZHINENG YIQI

杨欣荣 凌玉华 廉迎战 编著

湖南科学技术出版社

现代测控技术与智能仪器

编 著:杨欣荣 凌玉华 康迎战

责任编辑:刘奇琪

出版发行:湖南科学技术出版社

社 址:长沙展览馆路5号

印 厂:湖南科技学院印刷厂

厂 址:河西石佳冲

邮 编:410079

(印装厂直接联系)

经 销:湖南省新华书店

出版日期:1996年1月第1版第1次

开 本:87×109毫米

印 张:18.5

字 数:464,000

印 数:1—1,700

征订期号:地科 175—020

ISBN 7-5357-1693-8/TN·50

定 价:25.00元

(版权所有·翻印必究)

前 言

在科学技术领域中,人们用来对物质世界实体或其属性进行观察、揭示、测定、验证、记录、传输、显示、监视和控制的各种器具和装置,统称为仪器仪表。仪器仪表是探索自然、认识自然、改造自然的重要手段和工具。现代科学技术对测量和控制的要求越来越高,测控的领域与参数日益扩大,测控任务更加复杂也更显重要。随着微电子技术、自动化技术与计算机技术的发展,特别是微处理器的推广应用,为传统的仪器仪表及相应的测控技术注入了新的活力。智能仪器仪表应运而生,并以崭新的面貌获得迅速发展与应用。

本书是作者在总结多年来从事智能仪器仪表研究与教学工作的基础上编写的,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;除了一般智能仪器的构成、工作原理、设计方法以外,特别注意介绍了一些最新和具有实用价值的技术,如新型传感技术、智能仪器采用的新控制算法、智能仪器故障的自诊断等。

本书既可作为高等学校有关专业的教材或教学参考书,也可供从事智能仪器设计、制造和使用的有关技术人员在实际工作中参考。

本书第一、八、十章和第四章的一部分由杨欣荣编写;第二、三、五章由凌玉华编写;第六、七、九章以及第四章的一部分由廉迎战编写。全书由杨欣荣主编。

由于作者水平有限,书中错误与不妥之处敬请读者批评指正。

编 者

1995年5月于中南工业大学

目 录

第一章 概 述	1
第一节 现代测控技术.....	1
第二节 智能仪器的构成与特点.....	1
第三节 智能仪器的实例简介.....	4
第二章 传感器技术概论	8
第一节 传感器概述.....	8
第二节 几种常用的传感器	10
第三节 新型传感器	14
第四节 数字传感器	39
第五节 智能式传感器	46
第六节 传感器的选取原则	47
第三章 智能仪器中常用的微处理器	53
第一节 8085A 微处理器	53
第二节 Z80 微处理器	56
第三节 MCS-51 单片微型计算机.....	57
第四节 MCS-96 单片微型计算机.....	61
第五节 微处理器的选取原则	66
第四章 数据传输通道	69
第一节 数据传输概述	69
第二节 模拟输入	69
第三节 传感器输出信号的滤波及放大电路	83
第四节 多路转换器与采样保持电路	98
第五节 模拟输出.....	104
第六节 频率、时间的检测通道	111
第七节 开关量的输入输出检测通道.....	118
第八节 高速、高精度数据检测通道	122
第九节 数据通道的抗干扰技术.....	127
第五章 数据处理技术	136
第一节 测量误差概述.....	136
第二节 系统误差的校正.....	137
第三节 随机误差的校正.....	142
第四节 粗大误差的校正.....	149

第五节	测量数据的标度变换	151
第六节	非线性特性的自动补偿	155
第七节	量程的自动切换及巡回采集	164
第六章	智能仪器常用的控制算法	172
第一节	PID 控制算法	172
第二节	大林算法与 Bang-Bang 控制	184
第三节	前馈控制	186
第四节	纯滞后补偿算法	188
第五节	模糊控制算法	191
第六节	专家智能控制器	194
第七节	神经网络控制算法模型	197
第七章	数据通讯技术	201
第一节	GP-IB 标准总线通讯	201
第二节	RS-232C 串行通讯	204
第三节	RS-422、RS-423 标准数据通讯	209
第四节	51 系列单片机与“站”之间的数据通讯	210
第五节	单片机串行通讯中的波特率设置技术	217
第六节	单片机之间的通讯编程和应用设计	220
第八章	操作与显示	228
第一节	键盘	228
第二节	LED 数码管显示	236
第三节	CRT 显示器	240
第九章	智能仪器故障的自诊断	242
第一节	故障自诊断	242
第二节	循环程序控制消除故障干扰	243
第三节	采用软件诊断微机故障	250
第四节	故障追踪定位诊断	255
第五节	马尔柯夫可靠性模型的故障诊断	259
第六节	智能仪器的系统自检	263
第十章	智能仪器的设计与开发	266
第一节	智能仪器的设计与开发过程	266
第二节	系统硬件的设计	268
第三节	软件设计方法	270
第四节	智能仪器系统软件的组成与设计	273
第五节	智能电位计的设计	277
参考文献		290

第一章 概 述

本章概述了现代测控技术的基本概念以及智能仪器的构成和特点,并以智能电压表为例,介绍了智能仪器的工作情况。

第一节 现代测控技术

测试技术是测量与试验(实验)技术的简称。

客观世界是一个物质世界。物质以不同的形式在不断地运动着。运动着的物质总是以一定的能量或状态表现出来,这就是“信号”。人们为了认识物质世界,就必须寻找表征物质运动的各种信号以及信号与物质运动的关系。这就是测试的任务。

在生产的进行过程中,人们可以利用测试技术来及时掌握产品加工过程中和最终的质量以及表征生产过程品质的各种参数。如果利用这些参数再来实现对生产过程的调节和控制,以提高产品的质量和经济效益,降低能耗和实现自动化,这就由测试技术发展成了测控技术。

在长期的科学技术和生产发展过程中,测试技术已趋于完善和成熟。一般的物理“量”、化学“量”均有相适实的测试手段。然而,传统的测试手段大多只适用于各种量的静态测量(被测量不随时间而变化或变化的频率不高)。随着科学技术的迅猛发展,新技术革命把人类社会从工业化社会推进到信息化社会。这就要求人们对随时间而变化的各种参量,甚至是变化频率很高的动态量进行实时测量。随着电子技术、半导体技术以及计算机技术的不断发展与成熟,各种动态量的测试技术也得到迅速发展。它的高精确度、高灵敏度、高响应速度,以及耗能少、结构小、可以连续测量、自动控制等特点使测试技术发展到一个全新的水平。“现代测控技术”就是这一全新的综合技术的总称。

一个完整的测控过程一般应包括:

信息的采集——用传感器来完成;

信息的变换与传输——用中间变换装置来完成;

信息的处理和分析——用信息处理设备或计算机软件来完成;

信息的显示和记录——用信息显示记录装置或计算机外围设备来完成;

信息的调节和控制——通过调节、控制和执行装置来实现。

由上可知,现代测控技术实质上在测控过程的每一环节都可能而且应该采用各种现代化的新技术。尤其是将计算机技术与测试技术结合以后,测控过程中各环节的结构、功能、性能等都将出现革命性的变化,从而形成了新一代的仪器——智能仪器。本书就是以智能仪器为主体,研究现代测控技术的原理、功能和方法。

第二节 智能仪器的构成与特点

如前所述,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。70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，今后设计和生产的新仪器，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。

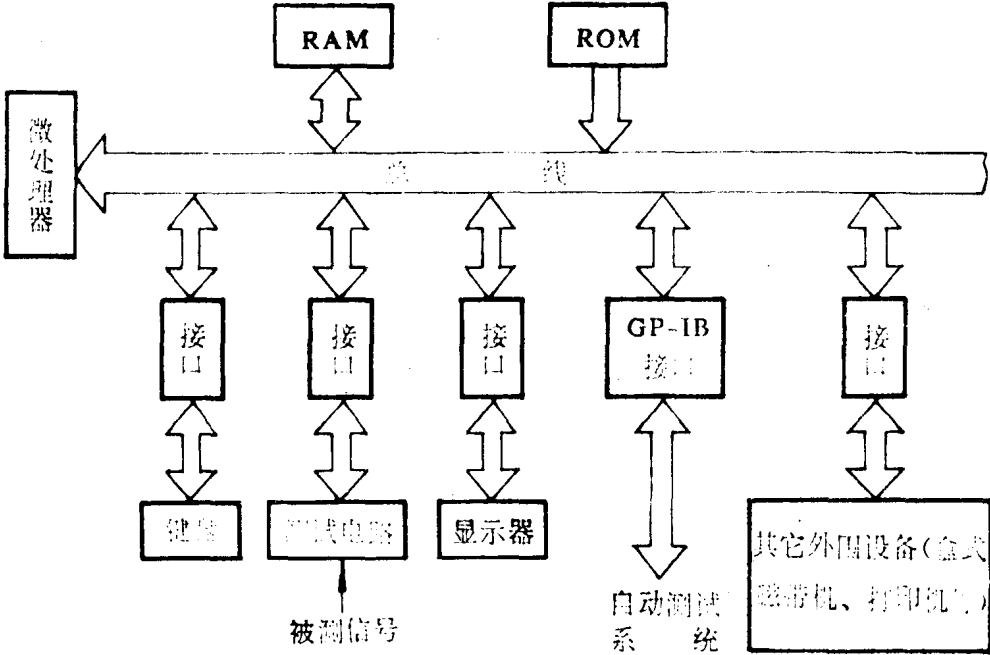
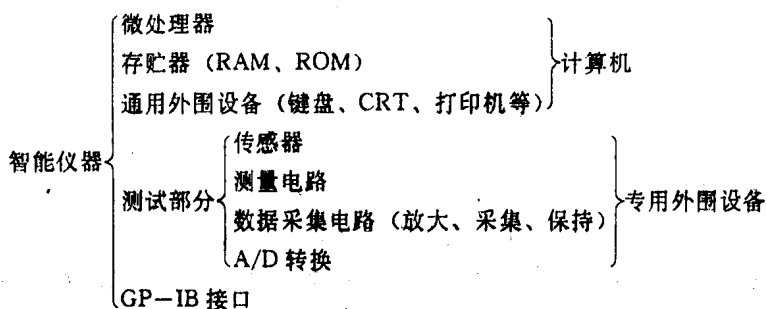


图 1-1 智能仪器的基本组成

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。

(3) 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。

(4) 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。

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

(6) 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。

(7) 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。70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，自动送入仪器的存贮器，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 GP-IB 接口总线将测试部件与外部计算机或其他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 1/3~1/10。

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。

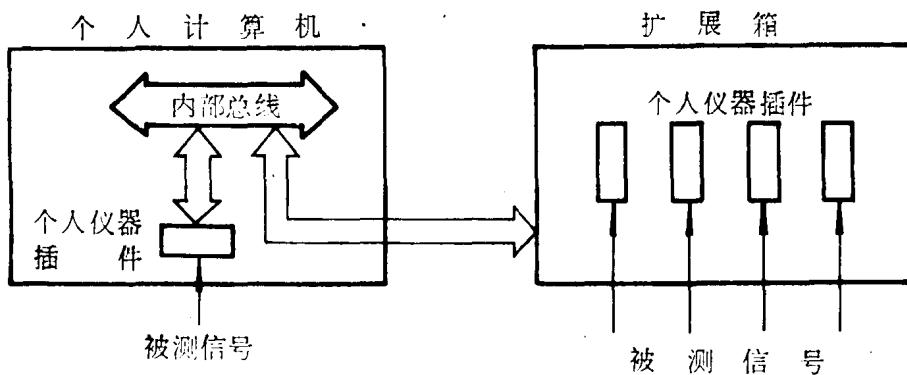


图 1-2 个人仪器结构

第三节 智能仪器的实例简介

电压测量是测量技术领域内最基本、也是最重要的测量项目。电压测量仪器的发展基本上经历了三个阶段：第一阶段是交直流指针式仪表和电位差计；第二阶段是数字式电压表；第三阶段就是目前正在迅速发展的智能数字电压表。

从 1975 年第一台带有微处理器的电压表问世以来，很短的时间智能数字电压表就得到迅速的发展。其功能、精度、灵敏度、稳定性等技术指标较之一般的数字电压表有极大的提高。

下面简单介绍智能数字电压表的基本结构和工作方式。

智能电压表实质上就是一台以微机为核心的数字电压表。其典型的原理框图如图 1—3 所示。机内的基本微型机系统由 CPU、工作程序存贮器 ROM、数据存贮器 RAM 及接口电路组成。其他部件均作为微型机的外部设备而存在，包括测量输入电路、A/D 转换器、键盘、显示器件以及对外标准接口。整个电压表的工作都是在工作程序（存在 ROM 中）的控制下进行的。工作程序又称为管理软件，不同的管理软件对应于不同的处理功能。对于智能电压表来说，管理软件加上相应的功能硬件，就等于它的测量能力。

通常，智能电压表与使用者之间，是在不断进行对话的方式下完成测量任务的。使用者通过键盘决定电压表进行手动测量还是自动测量，当仪器接通电源或按下“总清”（复位）键时，CPU 将开始执行整机的初始化程序。初始化程序的典型功能包括：输入的零点校准，电压基准源的校准，各主要部件的自检以及使整机处于等待测量状态。为了使操作者知道初始化的结束，往往在显示器件上给出某种标志，如 FLUKE；当初始化完成时，显示器即出现闪动的全零组态。

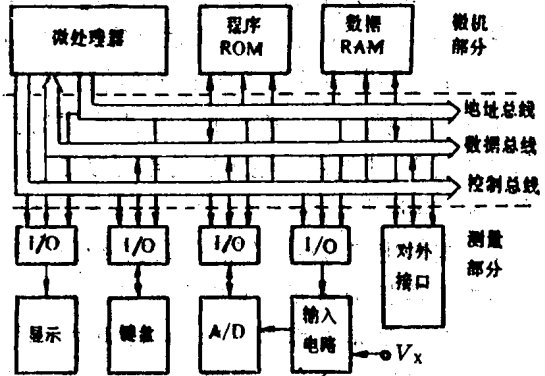


图 1—3 智能电压表的典型结构

初始化阶段结束后，管理软件自动启动

键盘管理程序，对键盘进行扫描，以接受进一步的指令。被测量输入后，仪器根据键盘命令实现量程的自动选择或者按照被指定的量程进行测量。

智能电压表在完成初始化和测量准备过程之后，才正式进入测量阶段。一般测量阶段分为三个步骤：

①取样和存贮。这是测量阶段的第一个步骤。在 CPU 控制下，通过输入电路，A/D 转换器（有时需要 S/H 电路）对被测量作多点的采样，并通过数据总线将取样值存入数据存贮器 RAM，以备处理。

②测量数据处理。这是智能电压表所特有的步骤。管理软件启动数据处理程序，对取得的测量数据进行必要的处理，如剔除测量数据列中的坏值，计算平均值，减去零点漂移等。

③显示。目前大多数智能电压表所显示的测量结果都是多次取样的平均值，或者是根据测量算法解出的值。还可以根据键盘命令，向使用者显示本次测量的误差信息，如标准偏差、绝对误差、引用误差等。

智能电压表的另一个特点是具有对外接口能力，如与 IEEE488 或 IEC—IB 等标准接口相接，可成为自动测试系统中的一台可编程仪器。

智能电压表与普通的数字电压表相比，其主要特点可归纳如下：

- ①仪器内部采用总线结构，外部与接口总线相连，技术概念在很大程度上都微机化了。
- ②面板采用键盘操作方式，作为人机对话的入口。
- ③具有自动量程转换、自动零点校准、自动校正增益误差等自动功能。
- ④能自动诊断故障并显示故障部位。
- ⑤存贮测量数据和有关文件。
- ⑥具有较强的数据处理能力。

⑦具有用户可编程能力。

智能电压表具有与普通数字电压表相似的全部技术指标。除附加功能（如自检、可编程等）外，其检定规程也同普通数字电压表完全相同。它的主要技术指标为测量准确度。其表示方式为：

$$\pm [a\% \cdot (V_x) + b\% \cdot (V_m)]$$

智能电压表的整个工作过程，也是机内微机的控制过程。除某些特殊情况以外，电压表的实时状态完全取决于存在 ROM 中的工作主程序（即监控程序）及其运行情况。开机之后，CPU 不断地读取工作主程序的指令，顺序地向下执行。一个典型的工作主程序的流程图如图 1-4 所示，电压表的电源接通（开机）后，当开机自检完全正常时，显示部件以某种形式给出自检结束信息（如全 0 组态），然后调用键盘扫描程序，其中自动量程键和测量开始命令键是主程序亲自参与处理的，而其他的键盘输入命令则主要由键功能服务子程序去处理。测量算法子程序的功能是采样、A/D 转换、实现为提高精度而设计的公式计算，它的出口参数一般是两个，一个是测量结果，另一个是超量程信息。当测量结果超出手动量程所设置的量程时，就显示超量程警告（如闪动）；若测量方式预置为自动量程，则通过自动量程控制子程序进行自动调整，使本次测量工作在最佳量程上。在一次测量结束进行结果显示的同时，主程序要访问 RAM 存储器中原键功能预置信息，若测量前预置了外部接口功能，主程序转去执行外部接口服务子程序；否则，程序返回键盘扫描，等待使用者的进一步指示。

工作主程序包含若干个服务子程序，如键盘分析子程序、键功能处理子程序、自动量程子程序等。这些子程序是在主程序的统一规划下工作的，而且在实际的电压表工作主程序中，它们往往被反复调用。这种程序编排结构，称为分级结构。电压表的多级程序结构如图 1-5 所示。多级结构的第一级是主程序本体，第二级为电压表基本功能子程序组，可包括开机初始化子程序、键盘分析子程序、测量算法子程序、自检子程序、程控服务子程序以及对外接口子程序等。这组子程序是电压表实现智能化的核心，这一级所包含的子程序块越多，意味着智能电压表的功能越强。例如，当加入测量项目切换子程序时，电压表将能够进行电阻、电流等其他电量的测量。当然，任何一个子程序块的预期功能，都是在相应的电路硬件支持下得以实现的。

在第二级子程序之下，还设有第三级子程序组，它们是功能子程序组与仪器硬件之间的接口程序，如键扫描及服务子程序组、显示（包括打印）输出子程序、显示错误信息代码库等。

在实际的工作程序编制中，第二级子程序或第三级子程序之间，还存在相互的调用，例

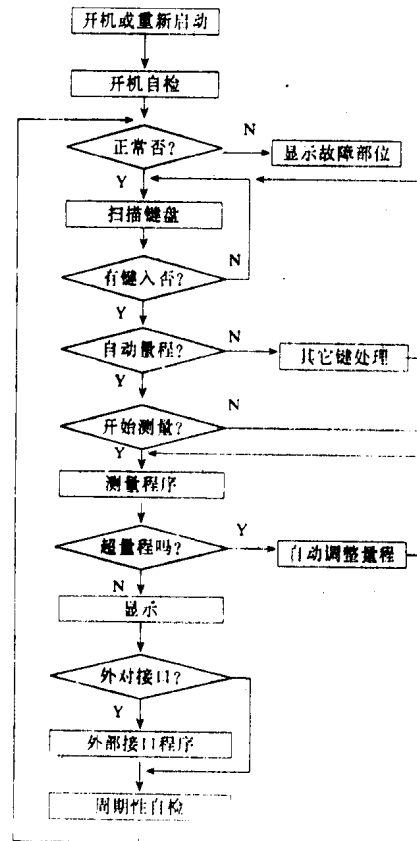


图 1-4 典型的工作主程序

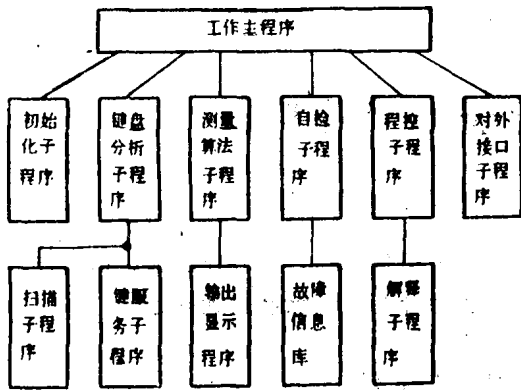


图 1-5 管理软件的结构

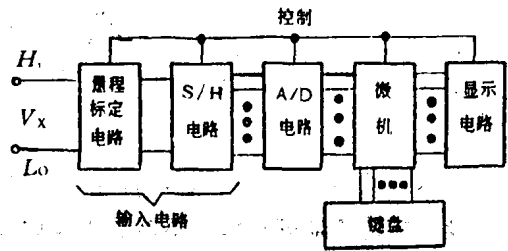


图 1-6 智能电压表的基本硬件

如，初始化子程序要调用自检子程序，功能键服务子程序要多次调用显示输出子程序等等。

支持管理软件的各部分硬件电路，是电压表完成测量任务的基础，硬件电路除包括机内微机系统本身的硬件（如 CPU 芯片、ROM、RAM、I/O 芯片等）之外，还有输入电路（量程标定电路、S/H 电路等）、A/D 转换电路、键盘输入与控制电路以及功能扩展电路等。其主要功能电路的结构如图 1-6 所示。

第二章 传感器技术概论

本章综述了常用传感器的概况，然后着重介绍了光电传感器、光纤传感器、数字传感器以及智能传感器等新型传感器的工作原理和特点，最后介绍了传感器的选取原则。

第一节 传感器概述

不论什么智能仪器，首先要解决信号的提取。在科学研究、工农业生产、国防建设和日常生活中，人们取得的信息绝大多数是非电量信息。为此，需要有一种功能器件来灵敏地检测有关信息，并把这些信息变成便于接受、加工的电信号，具备这种功能的器件叫传感器。

传感器位于被测对象之中，在测试设备的前端位置，是构成系统信息输入的主要窗口，为系统提供赖以进行处理和决策控制所必须的原始信息。对于一个以微机为核心的系统，微机如人的大脑，而传感器则像人的“五官”。人要耳聪目明，系统也必须感觉灵敏，精确无误。

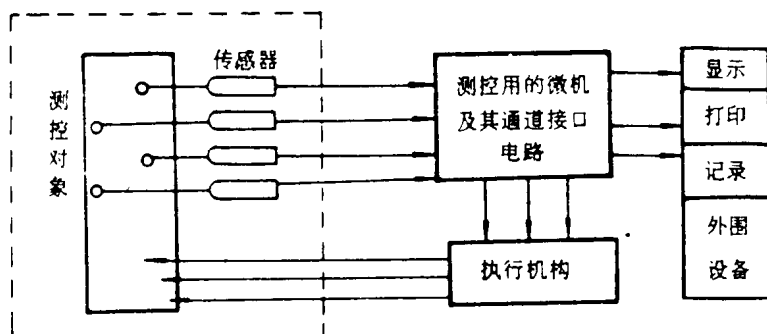


图 2-1 传感器在测控系统中的位置

传感器在检测控制系统中的位置如图 2-1 所示。当今信息的传输、处理与控制已相当发达并已通用化。某个具体过程、物态的动态检测或自动控制能否实现，归根结底为能否找到一些恰当的传感器件忠实地、迅速地、全面地反映该物态或过程的特征，并把它变换为便于识别、传输、接收、处理和控制的信号。若是可以做到，那么一般来说是能够实现自动检测和控制的；反之只能说人类暂时还不能实现对它的识别与控制，有待进一步开发出更合适的新型传感器件之后再作考虑。所以传感器是决定能否实现自动化的关键，是新产品、新设备开发的首要问题。

传感器是直接感受被测量的一次仪表，处于整个测量系统的最前方，在它之后的电子测量电路称为二次仪表。由于微机中引入信息处理、自校正等功能，二次仪表常以高保真度再现传感器的输出，也能实现无差调节功能，但却无法增添新的检测信息或者消除传感器所带来的错误信息，所以获取信息的质与量往往一次性地由传感器的特性决定。

或者说，传感器很大程度上影响和决定了系统的性能。因此，在设计研制智能仪器时，不

仅首先要寻求到合适的传感器，而且要选择出更为优异的及成本低廉的传感器。此外，同一传感器由于使用方法不同，接口方法各异，调整补偿的措施不同，也会使传感器的性能指标发生很大变化。因此研究传感器，还需要正确地使用它，使其达到应有的精度。

利用传感器可以检测各种不同的外部信息，而传感器本身又是按照不同的工作原理、化学甚至生物效应而构成的。为便于全面了解传感器的性能与结构，下面介绍传感器的三种不同分类方法。

按传感器输出量的性质来划分，传感器可分为：

①参量传感器 属于参量传感器的有触点传感器，电阻传感器（电位器、热电阻、光敏电阻、气敏电阻、压敏电阻等），电感传感器（自感、差动变压器、压磁、涡流传感器等），电容传感器等。

②发电传感器 属于发电传感器的有光电池、热电偶、磁电传感器、压电传感器、霍尔传感器等。

③增量式脉冲传感器 属于脉冲传感器的有光栅、磁栅和感应同步器等。

④特殊传感器 属于特殊传感器的有振弦振筒传感器、超声波探头、红外探测器、核辐射探测器、激光检测装置等。

表 2—1 列出了按工作原理和变换功能不同的传感器应用情况。

表 2—1 传感器工作原理与变换功能

变换功能	效应及工作原理	传感器应用示例
热·电变换	热电势效应 热阻抗效应	热电偶 热电阻
光·电变换	光电势效应 光电子效应 光导电效应	光敏二极管 光电管 光电导元件
压·电变换	压电效应 压电阻效应	压电传感器 压阻传感器
磁·电变换	霍尔效应 磁阻抗效应	霍尔传感器 电感式传感器，变压器式传感器
热·磁变换	居里点磁特性变化	热敏铁氧体
光·磁变换	法拉第效应	
应变·磁变换	应变引起导磁率变化	压磁传感器
热·光变换	热辐射效应	红外探测器
压·光变换	光弹性效应	
热·压变换	热膨胀引起流量变化	
频率变换	应变，共振频率变化	
氧还原反应	化学吸附引起阻抗变化	气敏电阻传感器
光化学反应		
离子交换反应	离子导电引起阻抗变化	
触媒反应		
电化学反应	伽代尼电池	

按被测量的性质可将传感器分为：机械量传感器（几何尺寸、几何形状、力、位移、速度、加速度、振动、粗糙度、产品计数传感器等），热工量传感器（温度、温差、压力、压差、流量、气体成分传感器等），探伤传感器（表面探伤、内部探伤传感器等）。

按作用方式可分为直接转换传感器与间接转换传感器。直接转换传感器是将各种非电量直接转换成电信号。间接转换传感器是将某种非电量转换成另一种非电量，然后再转换成电信号。表 2-2 列出了直接转换与间接转换的关系。

表 2-2 直接转换与间接转换关系对照表

直接转换信号	间接转换信号
热（热量、温度、比热）	位置、温度、浓度、损伤、真空度、风速、流量、振动、成分、位移、缺陷、液面
光（光通、照度、紫外线、红外线、光色）	位置、位移、旋转角、尺寸、转矩、速度、流量、时间、风向、温度、成分、水分、粘度、混浊度、声、损伤、缺陷
磁（磁通、磁场）	位置、位移、旋转角、尺寸、转矩、速度、加速度、振动、流量、压力、重量、温度、成分、拾音、损伤、振荡、放大
应变（形变、位移）	应力、位移、转矩、速度、加速度、振动、流量、重量、尺寸、表面粗糙度、真空度、压力、声压、液面、旋转角、转数
超声（声压、噪音）	位移、尺寸、流量、流速、粘度、温度、损伤、缺陷、应力、断裂、液面、料位
放射线（射线或辐照）	位移、位置、尺寸、时间、成分、水分、浓度、真空度、纯度、密度、粘度、粒度、缺陷、损伤、检漏
气氛（种类、浓度、压力）	防爆、防火、防盗、检漏、成分、pH、比重、浓度、密度、纯度、水分、能源利用

第二节 几种常用的传感器

生产实践与科学实验中人们需要检测的信息种类是极其繁杂的，但经常大量使用的传感器却只有为数不多的几种。在本节中简单介绍几种最常用传感器的概况。

一、温度传感器

温度是日常生活中与人们关系最密切的物理量，检测温度的传感器也有许多不同的类型。表 2-3 汇集了温度传感器的种类和检测范围。装有水银的玻璃棒式温度计，很早以前就已经出现，而且目前仍在广泛使用。电阻随温度变化的热电阻可分为金属热电阻与半导体热敏电阻两大类。其中热敏电阻由于价格低廉，最近已大量使用。热敏电阻分为三种：电阻随温度升高而减小的负特性热敏电阻（NTC）、电阻随温度升高而增大的正特性热敏电阻（PTC）以及达到某一阈值温度时电阻急剧变化的临界特性热敏电阻（CTR）。图 2-2 表示各种热电阻的电阻-温度特性。一般金属电阻的

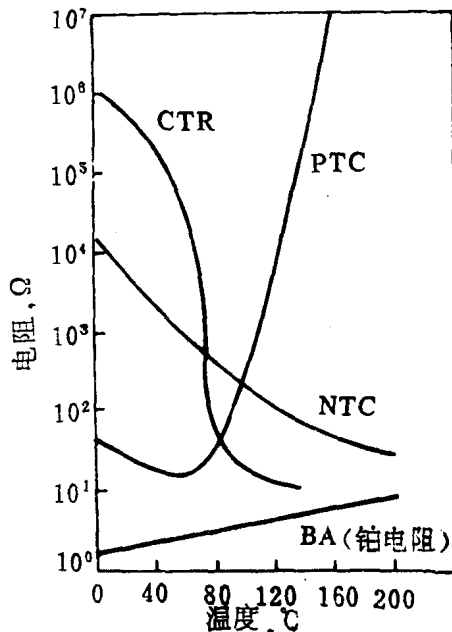


图 2-2 热电阻的电阻-温度特性曲线

表 2—3

温度传感器的种类和测温范围

原 理	温度传感器 (例)	测量范围 (°C)
热膨胀	压力式 (气体封入型)	-250—250
	玻璃棒 (水银)	-50—400
	双金属式	-50—500
电阻变化	测温电阻元件 (铂)	-50—300
	负特性热敏电阻 (NTC)	-50—300
	正特性热敏电阻 (PTC)	-50—200
	临界特性热敏电阻 (CTR)	20—100
热电动势	热电偶 镍铬-镍铝	-200—1200
	热电偶 铂铑-铂	-150—1600
	半导体 (Hg, Cd, Te)	-100—200
磁导率变化	热敏铁氧体	-50—150
静电容量变化	热敏电容器	0—100
半导体	二极管 晶体管	-20—100
	半导体开关元件	0—100
	IC	-20—100
热辐射	热电型红外探测器	-100—1300
频率变化	晶体振子	-50—250
颜色变化	示温涂料	0—200
热噪声	铂线	0—1000
变形	温度熔丝	50—500

电阻-温度特性是线性的,而半导体热敏电阻则具有非线性特性。在智能仪器中可以利用软件进行非线性校正。热电偶是另一种大量使用的温度传感器,它是利用热电势效应来工作的。测温范围与热电偶的材料有关,常用的热电偶有 K 型(镍铬-镍硅热电偶)、S 型(铂铑-铂热电偶)等。热电偶的热电势-温度曲线一般也是非线性的,同样需要采取措施进行非线性校正。热敏二极管及热敏半导体开关元件是利用硅 PN 结型半导体的温度特性工作的。将这种热敏二极管与放大电路等外围电路集成在一起的 IC 温度传感器已经实际应用,如 AD590 温度传感器就是一例。其输出电流与绝对温度 K 成正比 ($1\mu\text{A}/\text{K}$),即当 25°C (298.2K) 时能输出 298.2 μA 电流。

二、压力传感器

压力传感器应用很广,不仅可以用来检测压力,还可以用来检测负荷、液面、流量等物理量。表 2—4 列出了几种常用压力传感器的主要性能。近年来,由于传感器的新材料、新工艺不断出现,现在已研制出各种各样的压力传感器,如采用应变片的应变式压力传感器,采用膜片的电容式压力传感器,根据石英晶体的压电效应而制成的压电式压力传感器,用压敏