

普通高等教育材料成形及控制工程专业改革教材

检测与控制工程基础

卢 本 魏华胜 主编



机械工业出版社
China Machine Press

检测与 控制工程基础

第二版 陈维良 王瑞

本书可作为高等院校自动化专业及相关专业的教材，也可供从事检测与控制工作的工程技术人员参考。



普通高等教育材料成形及控制工程专业改革教材

检测与控制工程基础

主 编	卢 本	魏华胜
副主编	罗 斌	
参 编	卢立楷	熊晓红
主 审	陈定方	夏士智

机 械 工 业 出 版 社

本书前四章在综合系统地介绍各种物理量传感器原理的基础上,较全面阐述了用于材料成形及控制工程领域中的常用检测技术,侧重介绍了温度检测方法 with 材料表面和内部质量检测技术。

后四章中,引用经典控制理论中的结论,对材料成形及控制工程四个专业方向(铸造、锻压、焊接、热处理)具通用性和共性的恒值控制系统、数控系统和计算机控制系统几个典型实例进行了系统分析。

本书可作为高等工科院校材料成形及控制工程专业有关设备方面的技术基础课教材,亦可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

检测与控制工程基础/卢本,魏华胜主编. —北京:机械工业出版社,2001.8

普通高等教育材料成形及控制工程专业改革教材

ISBN 7-111-08482-9

I. 检… II. ①卢…②魏… III. ①工程材料-检测-方法-高等学校-教材②工程材料-加工-控制-高等学校-教材 IV. TB30

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 031704 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:王霄飞 董连仁 版式设计:霍永明 责任校对:韩晶

封面设计:姚毅

责任印制:郭景龙

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2001 年 7 月第 1 版·第 1 次印刷

1000mm×1400mm B5·6.75 印张·262 千字

0 001—3 000 册

定价:17.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527

普通高等教育材料成形及控制工程专业 改革教材编审委员会

主编单位：华中科技大学

策划单位：华中科技大学 机械工业出版社

顾问：杨叔子 院士

周 济 院士

崔 崑 院士

参编单位：西北工业大学 武汉理工大学

武汉大学 吉林大学

重庆工业大学 太原理工大学

湖北工学院 华南理工大学

太原重型机械学院 武汉科技大学

大连理工大学 上海交通大学

湖北汽车工业学院 武汉凯奇公司

机械科学研究院武汉材料保护研究所

审稿单位：武汉大学 东南大学

武汉理工大学 上海交通大学

合肥工业大学 山东大学

西安交通大学 中国科学院计算所

福州大学 浙江大学

(排名不分先后)

序

我国社会主义现代化建设浪潮不断高涨，高等教育与教学改革不断深入发展，长江后浪推前浪。

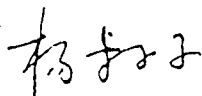
培养基础宽、素质高、能力强、适应面广，具有创新能力的人才，教材建设是一大关键。新的专业目录颁布以来，经过摸索和探讨，对一些改革力度大的专业组建和教材建设，各高校的观点和看法逐渐趋于大同。在这个基础上，编写一套适合于普通高等教育“材料成形与控制工程”专业系列改革教材是适时的，也是非常必要的。

该系列教材内容合理而先进，充分体现了专业重心下移，着重于专业的基础性、共性课程的设置。而反映铸、锻、焊专业方向性的课程，绝大部分作为选修课程设置。其主要特点，一是系列教材覆盖面宽，不仅覆盖了4个老专业近40门专业教材的内容，而且还延伸到材料热加工的最新技术及发展的前沿；二是内容精练，选材新颖，结构合理，12门教材平均每门不足30万字，仅为4个老专业教材篇幅的 $1/4 \sim 1/5$ ，且近一半的内容选自近10余年来的科研成果、国内外文献和国外原版教材；三是12门专业主干教材中，有4门是与计算机和信息技术相结合的教材，突出了计算机和信息技术的学习与应用。

我相信，通过这套专业系列教材的学习，可使材料成形与控制工程专业的学生较为充分掌握系统的专业基础与共性知识，在先进的材料加工新技术和发展趋势方面较好了解乃至有所掌握，在计算机应用和外语水平方面能形成优势，这有利于培养较高的综合素质和较强的创新能力。

当然，任何事情不能一蹴而就。这套专业系列教材也有待于在教学实践中不断修改与完善。好的开始等于成功的一半。我祝愿在著者与读者的共同努力下，这套教材有一个更为美好的明天，谨此为序。

中科院院士



2000年8月

前 言

为了适应国家教育改革形势的发展,根据教育部最新颁布的新的专业目录,全国大部分工科院校已将原热加工专业的铸造、焊接、锻压、热处理四个专业合并为材料成形及控制工程大专业。1998年12月,教育部热加工专业教学指导委员会在哈尔滨召开年会,探讨了专业改造和教材建设的问题。

推行专业改革,为社会培养综合素质高、知识结构全面的栋梁之材,在很大程度上取决于教材建设。教育部颁布新的专业目录已两年多,经过这一阶段的摸索和探讨,对材料成形及控制工程专业的改造和教材建设,各高校观点和方法逐渐趋于大同,在这个基础上,编写一套普通高等教育材料成形及控制工程专业系列教改教材是适时的。为此,机械工业出版社教材编辑室成立了以华中科技大学为牵头单位的系列教改教材编审委员会,共同组织编写材料成形及控制工程专业系列教材。

本教材的宗旨是使没有系统地学习过检测技术和自动控制理论的本科生能较系统地学习材料成形及控制工程领域中常用的检测技术,并初步具备分析本学科领域中加工自动化设备控制系统工作原理和选用设备的能力。

因此,在资料的选择上,兼顾原热加工四个专业方向中具有共性的检测技术和控制系统分析的内容。在检测技术的有关章节中,重点介绍了温度检测技术、材料表面质量与内部缺陷的无损检测技术;在有关设备控制系统分析的章节中,则以材料成形及控制设备中最为常见的直流电动机驱动系统和加热用电源控制系统分析为主。在教材编写过程中,我们注意了对材料成形及控制工程领域中新技术、新工艺和新控制设备资料的搜集,突出了计算机控制技术在本地域设备中的应用,对电力电子技术在材料加热电源的开发作用也给予了充分重视。

全书共有八章,第一~三章由武汉大学罗斌编写;第四章由华中科技大学魏华胜编写;第五~七章由华中科技大学卢本编写;第八章由武汉凯奇特种焊接设备公司卢立楷和华中科技大学熊晓红编写。全书由卢本、魏华胜任主编,卢本全书统稿。本书由武汉科技大学智能自动化研究所所长陈定方教授与华中科技大学夏士智教授联合主审。

本书的资料来源既有编写者与各兄弟院校同仁多年来教学和科研的成果,也有来自材料成形及控制工程生产实际中成熟的科技资料,因此,书中很多设备的电路图,计算机控制系统硬件结构图,是可直接引用的实用资料。

由于我们的水平有限，又是初次尝试编写口径拓宽后材料成形及控制工程专业的教材，错误与不当之处望广大读者不吝指正。

编 者

2000 年 12 月

目 录

序

前言

第一章 检测系统及其基本特性	1
第一节 概述	1
第二节 检测系统基本类型和结构	2
第三节 检测系统的基本特性	13
第四节 检测技术的发展趋势	16
第二章 材料成形及控制工程常用传感器	18
第一节 概述	18
第二节 电参数型传感器	20
第三节 电量型传感器	33
第三章 材料成形及控制工程常用检测技术	42
第一节 零件应变和应力状态的检测	42
第二节 材料表面性能电测技术	48
第三节 工件表面缺陷电测技术	56
第四节 工件内部缺陷电测技术	61
第四章 温度检测技术	67
第一节 概述	67
第二节 热电偶	73
第三节 非接触式测温仪表	81
第五章 自动控制系统理论基础	92
第一节 概述	92
第二节 自动控制系统的数学模型	100
第三节 自动控制系统基本性能分析	116
第四节 调节器的类型和控制特性	124
第六章 材料成形及控制恒值控制系统分析	131
第一节 概述	131
第二节 直流电动机恒速控制系统	133
第三节 电弧弧长恒值控制系统	139
第四节 电源恒电压（恒电流）控制系统	153
第七章 数字控制系统分析	167
第一节 概述	167

第二节 数字式程序控制系统典型实例分析	168
第八章 计算机控制系统分析	180
第一节 概述	180
第二节 计算机控制系统分析	189
参考文献	208

第一章 检测系统及其基本特性

第一节 概 述

检测技术主要是研究各种物理量或参量的检测原理和方法。它是科学试验和生产过程必不可少的手段。通过检测可以揭示事物的内在联系和发展规律，从而去利用和改造它，推动科学技术的发展。科学技术发展的历史事实说明，很多新的发现和发明，都是与检测技术分不开的。同时，科学技术的发展，又提供了新的检测方法和装置，促进检测技术的发展。

检测的基本任务是获得有用的信息。检测的过程是借助专门的设备、仪器、检测系统，通过适当的实验方法与必需的信号分析及数据处理，由测得的信号求取与研究对象有关信息量值的过程，最后将其结果提供显示或输出。因此，检测技术是属于信息科学范畴，是信息技术三大支柱（检测控制技术、计算技术和通信技术）之一。

对于材料成形及控制工程的生产领域，无论是对现有工艺、设备、产品质量的剖析，以求进一步明确改进方向和改进方案；或是对新理论、设备和工艺过程的研究和分析，都离不开检测技术。通过对检测结果的综合分析，可为验证现有理论和建立新理论、确定最佳设计方案、确定最佳工艺参数等提供试验依据。

此外，在生产的自动控制系统中，也需要对有关参量进行检测，作为系统的反馈信号，实现自动控制。

采用电子技术对非电物理量进行检测称之为非电量电测法，这种方法的优点是：频率响应快，可用于检测动态过程，能连续地进行检测及记录；易实现自动化控制及信号计算机处理；检测精度高。随着电子技术的发展，非电量电测法在材料成形及控制工程检测技术中得到越来越广泛的应用。早期检测仪器是以电磁感应基本定律为基础的模拟指针式仪表。20 世纪 70 年代出现了以集成电路芯片为基础的数字式仪表。随着微电子技术和微处理器的普及，20 世纪 80 年代以微处理器为中心的智能式仪表迅速普及。现在，微电子技术与计算机技术的飞速发展，检测技术与计算机深层次的结合正引起检测仪器领域里一场新的革命，一种全新的仪器结构概念导致新一代仪器——虚拟仪器的出现，进而产生集成仪器，即由单台仪器的系统向多台仪器组成的大的检测系统方向发展。

第二节 检测系统基本类型和结构

一、模拟式电测仪表及检测

用模拟式指示仪表实现对被测对象检测，按检测仪表检测值的读出方式可分为直读检测法和比较检测法，所对应的仪器为直读式仪表和比较式仪表。

1. 模拟式直读检测法

直读检测法是利用电磁力使其机械部分动作并以指针或光标在刻度盘上直接指示被测对象量值的仪表，称作模拟式电机机械指示仪表，也称直读式仪表。由于其问世已百余年，所以又称经典式仪表。

模拟式电机机械指示仪表必须具备能接受某种电参量能量并将它转变成机械力或力矩的机构——检测机构。机械力根据电与磁的相互作用或电荷间存在吸力或斥力等原理产生。因此，不同种（系）检测机构中产生机械力的电参量不同，该电参量称为检测机构的基本量检测。如果被测对象的量值超过了检测机构所能直接承担的能力，特别是要求其它检测对象也能使检测机构动作，则必须附加一个检测电路。检测电路的繁简取决于检测需要，通常由无源元件和晶体管组成。一般地，模拟式电机机械指示电表是由检测机构配以相应的检测电路构成，如图 1-1 所示。

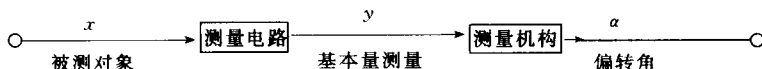


图 1-1 电机机械直读式指示电表组成

检测机构由可动和静止两个基本部分组成。可动部分的支撑可以是轴承与轴尖的组合或张丝。工作时，可动部分受力产生偏转，从而带动指针或光标在刻度盘上显示偏转角的大小。

对于直读仪表，可动部分所受的旋转力矩又称转动力矩，用 M 表示。可借助电磁学有关场能与力矩间关系的理论公式，确定 M 与有关电参量 x 的关系。设检测机构系统中电场或磁场能量为 A ，则有

$$M = \frac{dA}{d\alpha}$$

式中 α ——偏转角；

A ——磁场能量，取决于检测机构的结构参数和被测电参量 x 。

由此，上式可写作

$$M = \frac{dA}{d\alpha} = f(x)$$

显然，不同检测机构的 $f(x)$ 也不同。一般来讲， x 加大将使 M 增强。

2. 模拟式比较检测法

用模拟式指示仪表实现对被测对象直读检测的方法, 虽有检测速度快、操作方便等优点, 但检测准确度不够高, 为获取更准确的检测结果, 应借助比较仪器与标准元件以比较检测法对被测对象进行测定。比较检测法简称较量法, 它是将被测对象 (未知量) 直接与标准量作比较, 从而确定被测对象大小的方法。较量法最直观的例子, 是用天平与法码称物体的质量。法码就是标准量, 天平是比较检测仪器。

在电检测领域采用较量法, 标准量便为一些检测已准确知道的电参量 (如电流、电压) 或电参数 (如电阻 R , 电感 L , 电容 C 及互感 M 等), 而比较检测仪器则是一些由标准元件组成的能实现比较功能的电路。

由于标准电参量 (如标准电压, 它由标准电压源提供) 与组成比较电路的标准电路元器件都具有较高的准确度, 加之比较仪器在实现比较检测时 (指示仪表指零) 不从被测电路取电流, 所以较量法的检测准确度一般比直读检测法 (也称偏转法) 要高。以较量法进行检测时, 若再采用一些减小或消除检测误差的有效措施与办法, 则可进一步提高检测结果的准确程度。

二、数字式电测仪表及检测

将被测对象离散化、数据处理后以数字形式显示的仪表称为数字式仪表。数字技术的引入, 使检测技术领域得以扩大。随着电子技术与计算技术的飞速发展, 数字式仪表与数字检测技术获得了迅速的发展。

从模拟向数字, 从单一通道向综合多通道检测的发展, 从单个仪表向检测信息系统过渡, 将各种电学量和非电量变换成统一量 (时间、频率、直流电压) 后进行检测等, 是近几十年来检测技术发展的主要趋势。

检测技术对数字仪表提出越来越高的要求。数字仪表的不断更新又促进检测技术水平的提高。伴随着检测技术的发展和进步, 数字仪表表现出准确度更高, 灵敏度更高, 体积更小, 质量更轻, 耗能更少、检测参数种类更广与量值范围更宽, 半导体分立元件更多地由集成电路取代, 自动化程度更高, 稳定性与可靠性不断提高, 造价不断下降和向计算式仪表演变等新技术特征。

数字式仪表的结构方框图如图 1-2 所示。图中被测对象可以是电学量、磁学量和各种非电量。由图 1-2 可见, 数字式仪表主要由转化功能电路、模/数转换器 (或写做 A/D 转换器, 也有不用 A/D 的) 及计数器、频率计等环节组成。

广义地说, 凡是将模拟量转换为一定码制的数字量的装置 (或功能电路) 都可称为 A/D 转换器。早期的 A/D 转换器是电气机械式的, 由电磁继电器和电子管电路构成, 后来出现了使用晶体管的电路方案。半导体器件的运用, 大大提高了数字检测装置的工作可靠性、检测速度和使用寿命。近年来数字检测仪器仪表由于采用了集成电路, 其尺寸和功耗都大为减小。

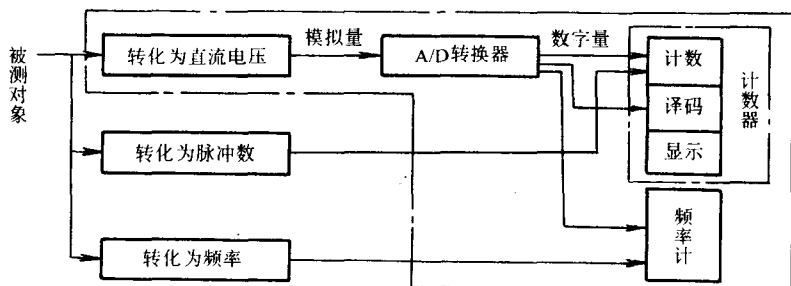


图 1-2 数字式仪表的结构方框图

采用数字化检测时，比较容易进行 A/D 转换处理的量是直流电压和脉冲（或交流量）的频率，对应的检测仪器是直流数字电压表和电子计数器。其它物理量一般均可通过转换装置或传感器变换成直流电压或一定频率的交流电压再进行数字化检测。

(1) 与模拟式指示仪表相比较，数字式仪表及数字检测的优点

1) 准确度高。例如，现代的 $7\frac{1}{2} \sim 8\frac{1}{2}$ 位数字电压表测量直流电压的准确度可达满刻度的 $\pm 0.0001\%$ (10^{-6} 数量级)；而模拟式（电机机械式）指示仪表的准确度最高只能达到 $\pm 0.1\% \sim 0.05\%$ 。

2) 输入阻抗高。基本上不取电流，消耗被测信号的功率极小，即对被测电路工作状态的影响微不足道。例如，数字电压表基本量程的输入阻抗高达 $1000\text{M}\Omega$ 以上。

3) 灵敏度高。如现代的积分式数字电压表的分辨力可达到 $1\mu\text{V}$ 以下。

4) 测得值直接以数字形式给出，读数与记录方便，且无读数误差；采用模拟式指示仪表，则因使用者读表时的视线角度、习惯不同等多种原因而可能产生读数误差。

5) 检测速度快。 1s 可测多次，有些种类数字电压表的检测速度高达每秒上万次；而模拟式指示仪表每检测一次一般需要几秒钟。

6) 检测过程自动化。无论对被测信号的极性判别、量程选择、结果显示和记录，还是送至计算机做运算处理，都可自动进行。

7) 操作简单。使用人员无需经过特殊训练，即可用数字仪表完成检测工作。

(2) 数字式检测仪表的缺点

1) 由于采用了大量的电子元件，其结构比模拟式指示仪表复杂得多，因此可靠性有待进一步提高。

2) 不便于观察动态过程，不直观。

3) 价格较贵。目前，数字电压表的售价比模拟式电压表高，有些类型的甚

至高得很多。

4) 需要高水平的技术人员维修。

数字式仪表目前在非电检测系统中使用越来越广泛。当前国内外已生产有许多种检测各种量并具有很宽技术特性范围的数字仪表,如电压表、电流表、功率表、电能表、阻抗元件(包括电阻、电容、电感及互感)检测仪、法拉表、Q表、高斯计、频率计、相位计、计数器、时间间隔检测仪、转速表、压力表、万用表和计时器等。

三、微机化仪器及其自动检测系统

自20世纪70年代初一种微处理器问世以来,微计算机技术发展迅猛。在其影响下,检测仪器呈现出新的活力并取得了长足进步,相继诞生了智能仪器、IEE488仪器、PC仪器(系统)和虚拟仪器(系统)等崭新的微机化仪器及其自动检测系统。从利用微机或微处理器功能的方式、数量等出发,可将仪器近二十几年的发展与进步大致划分为增强传统仪器功能(智能仪器)、开放仪器的体系结构(PC仪器)和虚拟仪器发展框架的广泛认同与采纳等三个阶段。

1. 智能仪器的特点与基本结构

智能仪器——内置微机或微处理器式仪器,大规模集成电路技术使电子计算机从过去的庞然大物缩小到能置入仪器内,结果使仪器具有了控制、存储、运算、逻辑判断及自动操作等智能性能,并在检测准确度、灵敏度、可靠性、自动化程度、运用功能和解决检测技术问题的深度及广度等方面都有了巨大进步。传统仪器在内藏微机或微处理器的作用下,功能与性能得到了实质性增强。这方面最典型的例子就是万用表。传统的便携式万用表采用单片微机控制后,功能更加多样,使用也更为方便、可靠,而且准确度大为提高。

尽管内藏微机式仪器的智能水平仍较低,但人们还是称这样的仪器为智能仪器。微机进入仪器内部,将计算机技术移植、渗透入仪器仪表技术领域,使形成的智能仪器具有下述特点。

(1) 检测过程控制的软件化 以软件方式控制检测过程始于20世纪60年代末。当时,由硬件实现的数字化仪器的自动化程度已很高,例如已能做到自稳零放大、自动极性判断、自动量程切换、自动报警、过载自动保护、非线性补偿、多功能检测、多至数百点的巡回检测等。但随检测功能的不断增加,仪器硬件的负担越来越重,仪器的结构日益复杂,致使其体积和质量都增大、成本上升,进一步的发展也就越来越困难。引入微机或微处理器使检测过程改由软件控制后,仪器的硬件结构变得简单,体积与功耗均减小,可靠性提高,灵活性增加,而且自动化程度更高,如实现了简单人机对话、自检、自诊断、自校准、CRT(示波管等)显示、打印输出及绘图等。另外,在软件控制方式下,改换仪器功能并不需要更换硬件,仅改变软件即可,这是传统的纯硬件仪器所不及的。

(2) 数据处理能力 具备数据处理功能是智能仪器最突出的特点,它主要表现为能改善检测的准确度和对检测结果的再加工。在智能仪器出现之前,处理随机误差和系统误差都以人工方法进行,不仅工作量大、效率低,而且往往因一些人为影响不易克服,使处理的结果不够理想。智能仪器对检测结果进行在线处理,不仅方便、快速,而且可避免主观因素干扰;再则,软件方式的数据处理可执行多种算法,既可实现各种误差的计算与补偿,且能校准检测仪器的非线性,从而降低检测误差,明显提高检测准确度。

智能仪器将检测结果进行再加工,从而又提供若干表征被测对象各种特性的信息参数。例如,在模式识别、语音分析、故障诊断、生物医学信号检测等方面广泛应用的带微机的信号分析仪器,不仅可实时采集时域信号波形并在 CRT 上复现,且能将其在 CRT 上做时间轴方向的展开或压缩;还可计算出被测信号的有效值、平均值,并找出峰—峰值、最大值和最小值等特征量;且还能对所采集的信号进行数字滤波和频谱分析等。

(3) 多功能化 检测过程控制的软件化特点及很强的数据处理能力,使智能仪器的检测功能大大增加。例如,一种用于电力系统电能管理的智能电力需量分析仪,不仅可以检测单相或三相负荷的有功功率、无功功率、视在功率、有功电能、无功电能、电网电压频率、相电压、相电流和功率因数,还能检测出电能利用的峰值、峰时、谷值、谷时及各项超界时间,并且可以预置计划用电需量;又自备时钟和日历,且还具有自动记录、结果打印、越限报警等能力。如此多的功能,是难以用一台纯硬件式仪器实现的。

图 1-3 是智能仪器的原理结构框图。由图可见,中央处理单元 CPU 是智能仪器的核心,它经内部总线和接口电路与输入通道、输出部分(包括模拟输出通道和数字输出通道)、仪器面板及仪器内存相连。由可擦除的可编程只读存储器 EPROM 和读写存储器 RAM 组成的仪器内存,用于保存仪器用监控程序、应用程序和存储数据。中断申请要求仪器能够灵活反映外部事件。被测对象必须经过输入通道做预处理后,才能进入仪器内部;输入通道由输入放大器、防混叠滤波器、多路转换器、采样/保持器、A/D 转换器和三态缓冲器等组成,其性能的优劣是决定仪器检测准确度的关键。如要求检测结果以模拟形式输出,则需经过由 D/A 转换器、多路分配器、采样/保持器和低通滤波器等组成的模拟输出通道送至 CRT、X-Y 记录仪或模拟执行装置;检测结果以数字形式可经行式打印机输出,也能以存入磁带机、磁盘(磁卡)机或送字符显示器显示等方式输出。外部通信接口与外部总线一起用于与其他仪器设备的相互联系。

在智能仪器阶段,为完成一些更复杂的检测任务,常采用由 RS-232C 通信接口总线或 GPIB 接口总线将多台不同的智能仪器连在一起形成自动检测系统。

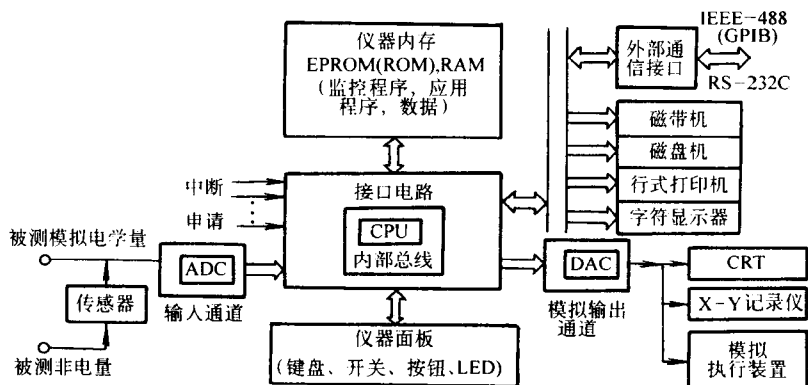


图 1-3 智能仪器的原理结构

1) RS—232C —— 串行通信接口总线 RS—232C 是一种当今常用的串行通信接口总线标准。它实质上是一个具有 25 个引脚的标准连接器，其所有引脚的规定和对各种信号的电平规定都是标准的，因而便于与微机或其他外部仪器设备连接。

RS—232C 为一种数据的 ASC II 码串行通信接口总线。串行数据传输只需要一对信号线和少量控制线，结构最为简单；适用于两台仪器设备间做一对一的双向或单向、同步或异步的串行通信。通信传输距离小于 15m。一般的微机化仪器均带有 RS—232C 接口。

2) GPIB —— 通用接口总线 GPIB (General Purpose Interface Bus) 是为智能仪器、微机及其它装置相互间联系提供的一种公共接口总线。因 1975 年被电气与电子工程师协会 (IEEE) 承认并定为国际通用的外部接口总线标准 (IEEE—488)，又被称为 IEEE—488 接口总线。GPIB (IEEE—488) 的应用十分广泛，一个 GPIB 接口可挂接 15 台仪器 (包括中央控制器在内)，智能仪器多由它连接在一起形成自动测试系统。

GPIB 总线有发、收、控、源呼叫、受者应答、服务请求、并行点名 (并行查询)、远地/本地、仪器触发和仪器清除等共 10 种接口功能，它们相互配合，用以完成总线系统内各种信息的传输和对仪器的控制。

图 1-4 是以 GPIB 作接口总线的由信号发生器向数字电压表提供信息，打印机记录数字电压表检测结果的自动检测系统的原理框图。其中每个仪器子系统是一台带 GPIB 接口的单台仪器。该接口在功能上、电气上和机械接插上都按国际标准设计，内含 16 条信号线，每条线都有特定的意义。微机通过应用软件控制信号发生器、数字电压表和打印机按 GPIB 的规范协调工作。GPIB 接口总线标准要求可控仪器间只能采用专用的总线互连，这样使自动检测系统构成灵活、方便、兼容性好，且费用较低；另外，可进行双向、异步、互锁式数据传