



ZHINENG YIBIAO

JICHU JI YINGYONG

智能仪表 基础及应用

○ 刘元亨 主编



西北工业大学出版社



智能仪表基础及应用

主 编 刘元亨

编 者 刘元亨 马 宁
林 琳 王田苗

西北工业大学出版社

1989年8月

内 容 简 介

本书着重介绍智能仪表测控的基础及应用,内容新颖、科学、实用。全书共分智能仪表总论、传感器基础、输入输出通道、非线性特性校正、智能仪表基本算法、智能仪表主要专门技术、仪用接口、输入输出技术、自动测试系统、单机智能仪表、专家系统以及实验作业共十二章。

本书适宜于从事自动化仪表、电子测量、自动控制、微机应用、工企业自动化、检测技术及仪器方面的科技人员和管理干部阅读,可供大专院校有关专业选用。

智能仪表基础及应用

主 编 刘元亨
责任编辑 刘彦信
责任校对 胡银萍

#

西北工业大学出版社出版发行

(西安市友谊西路127号)

西北工业大学出版社印刷厂印装

ISBN 7-5612-0235-0/TP·38

#

开本 787×1092毫米 1/16 21.25印张 1插页 490千字

1989年8月第1版 1989年8月第1次印刷

印数: 1-1000册

定价: 5.00元

前 言

仪表发展的历程由模拟式到数字式，目前已进入到智能化。智能仪表对信息能自动进行获取、传输、处理和显示，对过程能自动进行采集、判断、调节和控制，它是开展科学实验、发展工农业生产、开发国防建设、提高管理水平、实现四化的有效手段。

本书着重介绍智能仪表测控的基础理论，并密切注意智能仪表在各行各业中的实际应用。内容丰富，取材新颖，图文并茂，体系完整。全书共分智能仪表总论、传感器基础、输入输出通道、非线性特性校正、智能仪表基本算法、智能仪表主要专门技术、仪用接口、输入输出技术、自动测试系统、单机智能仪表、专家系统以及实验作业共十二章，各章内容既有配合也有独立性，作为教材或参考书，有选择和组合之便。

本书经过教学实践和科学实验。一般教学时数为60学时，视基础与需要而定。第十二章的实验作业，仅作参考，可根据客观具体条件安排和处理。

本书对从事自动化仪表、电子测量、自动控制、微机应用、工业自动化、检测技术及仪器等专业的科技人员、大专院校的师生和科技管理干部均可选用。

本书由刘元亨教授主编，马宁、林琳、王田苗等同志参加了编写。在编写和出版过程中，得到有关单位和许多同志的关心和支持，李同钰、毛玉增两位副教授审阅了全书，在此一并表示衷心的感谢。

限于水平和经验，书中难免有不少缺点和错误，恳请读者批评指正。

编 者

1987年4月

目 录

第一章 智能仪表总论	1
§ 1.1 智能仪表的观念和展望	1
§ 1.2 智能仪表的性能与特点	3
§ 1.3 智能仪表的组成及类型	4
§ 1.4 智能仪表的设计原则	7
第二章 传感器基础	12
§ 2.1 综述	12
§ 2.2 热敏传感器	13
§ 2.3 辐射检测	15
§ 2.4 光敏传感器	16
§ 2.5 光导纤维传感器	19
§ 2.6 气敏传感器	21
§ 2.7 湿敏传感器	22
§ 2.8 磁敏传感器	24
§ 2.9 电感式传感器	28
§ 2.10 力敏传感器	36
§ 2.11 压电式传感器	45
§ 2.12 电容式传感器	56
§ 2.13 数字式传感器	61
§ 2.14 智能传感器	65
§ 2.15 测量电桥	68
§ 2.16 传感器的基本特性	76
第三章 输入输出通道	80
§ 3.1 输入通道的构成	80
§ 3.2 程控放大器	85
§ 3.3 抗干扰技术	94
§ 3.4 数字滤波	108
§ 3.5 比较式 A/D 接口	117
§ 3.6 积分式 A/D 接口	123
§ 3.7 输出通道	126
§ 3.8 A/D 与 D/A 的特性参数	130

第四章 非线性特性的校正.....	133
§ 4.1 直线拟合.....	133
§ 4.2 多元线性回归.....	138
§ 4.3 曲线拟合(多项式回归).....	140
§ 4.4 线性插值.....	142
§ 4.5 抛物线插值.....	146
§ 4.6 非线性误差的校正.....	149
§ 4.7 智能仪表中常见的数值计算和实时性.....	150
第五章 智能仪表基本算法.....	153
§ 5.1 零点偏移和增益误差的自动校准.....	153
§ 5.2 温度误差的自动修正.....	154
§ 5.3 标度变换.....	155
§ 5.4 上下限报警.....	161
§ 5.5 量程自动切换.....	166
§ 5.6 数据采集.....	168
§ 5.7 PID 控制算法.....	171
§ 5.8 自检与故障监控.....	175
第六章 智能仪表主要专门技术.....	177
§ 6.1 识别技术.....	177
§ 6.2 自适应技术.....	181
§ 6.3 仿真技术.....	186
§ 6.4 谱分析技术.....	194
第七章 仪用接口.....	199
§ 7.1 通用接口系统线GP-IB.....	199
§ 7.2 通用接口的软件实现.....	204
§ 7.3 通用接口适配器GPIA.....	208
§ 7.4 RS-232C接口.....	213
第八章 输入输出技术.....	217
§ 8.1 键盘输入.....	217
§ 8.2 LED显示器.....	220
§ 8.3 CRT显示器.....	227
§ 8.4 微型点矩式打印机.....	229
第九章 自动测试系统.....	234
§ 9.1 自动测试系统的构成.....	234
§ 9.2 数字存储示波器.....	235
§ 9.3 IF01-DSS接口箱.....	238

§ 9 . 4 7 4 9 ● 适配卡	241
§ 9 . 5 通用软件	245
§ 9 . 6 专用软件	255
第十章 单机智能仪表	257
§ 1 0 . 1 单片机智能仪表	257
§ 1 0 . 2 单板机智能仪表	270
§ 1 0 . 3 微型机智能仪表	280
第十一章 专家系统 EXPERT SYSTEM	291
§ 1 1 . 1 专家系统简介	291
§ 1 1 . 2 LISP 智能语言	292
§ 1 1 . 3 LISP 程序设计	299
§ 1 1 . 4 专家系统设计原理	302
§ 1 1 . 5 梵塔问题与田忌赛马	309
第十二章 实验作业	319
§ 1 2 . 1 智能仪表表演实验作业	319
§ 1 2 . 2 单片机智能仪表实验作业	321
§ 1 2 . 3 单板机智能仪表实验作业	323
§ 1 2 . 4 微型机智能仪表实验作业	324
§ 1 2 . 5 测控系统实验作业	326
§ 1 2 . 6 智能软件实验作业	327
参考文献	331

第一章 智能仪表总论

§ 1.1 智能仪表的观念和展望

人类在长期劳动过程中创造出了两大类工具。一类是体力放大器：例如雷达、望远镜、显微镜、X光机扩展了人们的视力；电话、声纳、收音机扩展了人的听力；轮船、汽车、飞机、火箭延伸了人的脚腿；蒸汽机、内燃机、电动机、原子能代替了人的体力。这些都只是人类五官和四肢的放大，而不是取代人类大脑的某部分功能，因而不属于智能型工具。另一类是智力放大器：算盘能进行四则运算；计算机能进行科学计算和信息处理，这便属于智能型工具。现代科学的特点，是不但要求解放体力，而且大力研究给工具赋以更多的智慧，用智能工具代替高级、复杂、繁难的活动，以求解放脑力。微教授、智能仪表、专家系统等的出现皆是其例证。

仪表发展的历程由模拟式到数字式，目前已进入到智能化。它是第三代特征的标志。所谓“智能”，就是指“一种能随外界变化的条件，确定正确行动的能力”。

当前，世界各国竞相研制智能系统，大型精密仪表在美日发达国家几乎100%的实现了智能化。1982年日本对微处理机在工业上的应用作了一次调查，统计结果是用于仪器仪表的占37%，用于过程控制的占29%。并且还宣布从1982年开始，在10年内由政府拨款4.5亿美元研制一种“知识信息处理系统(KIPS)”。美国国防部1983年提出了研制能看、能听、能说和能思想的第五代计算机。耗资7亿美元，计划6年完成，侧重点把军事技术转移到民用工业。英国专门制订了阿尔维计划，政府投资2亿英镑，企业家投资1.5亿英镑，集中研究软件工程、人机联系装置、智能系统、超大规模集成电路(VLSI)等四个关键技术。在“引进、消化、开发、创新”方针的指引下，我国的智能仪表今后将有一个新的飞跃发展，跨入一个崭新的时代。

所谓智能仪表，是指能够做一些需要人类的智慧才能完成工作的仪表。换句话说，能够实现智慧劳动的仪表就叫做智能仪表。在仪表中引入微处理机就能使之智能化。

智能仪表是单片机的一个重要应用领域。

人工智能研究的是如何设计具有智能的计算机系统，让计算机模拟人类的某些智力，显示智慧活动。所以人工智能也称为机器智能或智能模拟。

所以智能仪表和人工智能在实质上没有差别，但在研究领域、应用范围、采用方法和要求方面是有区别的。目前，人工智能主要的研究和应用领域是问题求解、定理证明、专家系统、模式识别、自然语言理解、智能检索、机器人学、自动程序设计等，而热点是智能机器人，要求是多维的。智能仪表显然是着眼于仪器仪表的自动化、智能化。重点是研究测试和控制问题，要求往往要有实时性。

智能仪表和智能仪器又有什么区别呢？可以说是同意词。但也可以说智能仪器涉及的主要是电子测量仪器的智能化，以电量为主，而智能仪表还要涉及传感器即非电量测量，多用于过程检测与控制。本节主要讲述智能仪表基础及应用，侧重检测与控制，密切联系实际，要求学好基础，走向应用。

近来还流行有“智能传感器”术语。所谓智能传感器就是一种带微处理器兼有检测和信息处理功能的传感器。由此可见，它也是智能仪表的一种代词，不过强调的是传感器智能化而已。

智能系统与人类活动是相似的。图 I . 1 的 (a) 与 (b) 是两者信息处理的比较示意图。

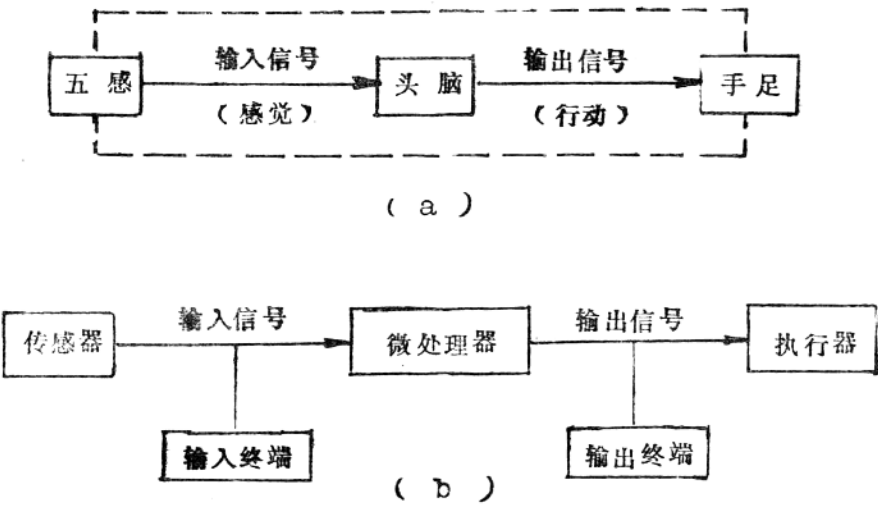


图 I . 1 人与智能系统的比较示意图

根据以上论证，智能仪表可以说由传感器、微处理器、仪用接口和软件等组成。智能仪表的一般工作过程如图 I . 2 所示。

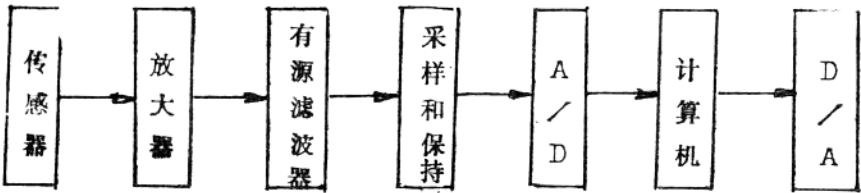


图 I . 2 智能仪表的一般工作过程

传感器将非电量转换为电量，小信号经放大滤波转换为数字量，经微处理，再转换为模拟量输出。它的数据采集、信息处理和通讯传递主要是靠软件和接口。

§ 1.2 智能仪表的性能与特点

智能仪表具有对信息进行获取、传输、处理、显示和控制的功能。它是开展科学实验、发展工农业生产、开发国防建设、提高管理水平、实现四化的有效手段。

智能仪表的特点主要是提高了精确度、灵敏度、可靠性、稳定性和自动化。功能丰富、适应性强尤为显著。体积小、耗能少自不待言。现在常说的智能仪表主要有以下性能特点：

1. 自校准功能 智能仪表能自动校准零点和满度，可大大降低因仪表零漂和特性变化造成的误差。

2. 非线性校正 许多传感器的输出特性是非线性的，同种传感器的输出特性也往往不一致。智能仪表可靠软件进行修正。

3. 自诊断功能 能识别状态，确定故障位置，进行报警和转换。

4. 补偿功能 对温度、压力、密度等变化因素的影响可进行自动补偿。

5. 能自动切换量程 提高了分辨力。

6. 标度单位变换 对混用兼容制单位和过渡转变单位特别有用。

7. 多点输入、多种输出 能实现多点多变量的实时检测。输出可有存贮显示、打印记录、声光报警、通信传递、数字模拟等多种方式。

8. 滤波功能 除模拟滤波外，根据干扰特性可采用合适的数字滤波技术，对低频干扰、脉冲干扰、随机干扰和噪声等进行抑制抵消。例如自适应波浪抵消器能有效地跟踪波浪变化，对消波浪在压力传感器上引起的随机输出。

9. 自动控制 最基本的自动控制就是对被控参数进行巡回检测，检测结果与设定值进行比较，再按PID规律输出到执行机构，对工作过程进行自动调节控制。微型计算机自动控制物料配比和产量就有优质、高产、低消耗的效果。

10. 模式识别 从信息中提取特征，通过特征来自动识别事物的状态，从而作出判决。模式识别有统计识别和句法识别两类。例如应用舰船水压物理场的特征来识别舰型、航速和远近的方法就是一种统计模糊识别法。

11. 仿真技术 仿真就是利用仿真源模仿实际系统对对象进行实验研究。当利用实际系统进行实验研究比较困难复杂或者危险时，仿真技术便十分有用。海上试验就是实例，因此舰船物理场仿真技术便很有意义。

12. 数据处理 测量数据经常要进行拆装整理和加工处理。因此某些智能仪表要有统计平均、四舍五入、查找排序等功能。

13. 信号处理 频谱分析和相关处理是常用的信号处理。

14. 数据采集 采集系统涉及到多路开关、程控放大、采样保持和模数转换以及隔离等问题。

15. 仪用接口 仪用接口是实现信息传递进行通信联系必不可少的重要组成部分。美国HP公司首先提出的标准接口HP-IB（亦即IEEE-488接口）为国际

所承认。在欧洲则称为GP-IB（亦即IEC-IB接口）接口。

智能仪表基础及应用就是研究实现这些性能的基本理论、方法和实例。

§ 1.3 智能仪表的组成及类型

70年代初期，微处理机问世。70年代中期，产生了以微处理机为基础的单机智能仪表。70年代末期，出现了用GP-IB通用接口母线将一台微机（或控制器）和一组仪器仪表联合在一起构成自动测试系统。80年代初，又出现了以个人计算机为基础，将激励、测量和控制结合在一起的仪器。智能仪表的基本组成如图1.3所示。与微机比较，它多了一个测试电路和通过GP-IB接口与外界通信。

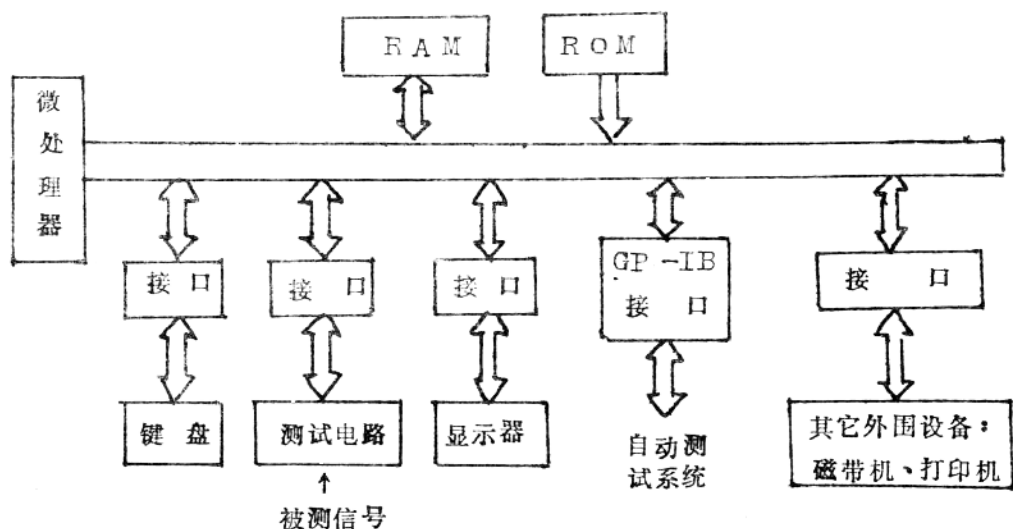


图 1.3 智能仪器仪表的基本组成

根据智能仪表的组成，可将智能仪表分为以下三类。

一、 单机智能仪表

单机智能仪表是指自身带用微处理机的仪表，它的基本组成如图1.4所示。此类智能仪表是本书介绍的重点。它的形式可以是单板机、单片机、微教授、专家系统、测控系统、智能产品或专用仪器。有时单机智能仪表还采用几个微处理器。

单机智能仪表的主要特点是：

1. 以微处理机为核心，配置需要的电路板。设计重点是软件。
2. 硬件减少，面板改观，淘汰了许多传统的开关、旋钮和调节器。
3. 总线包括数据总线、地址总线和控制总线。
4. 具有对外接口功能，可以遥控和接入系统中使用。

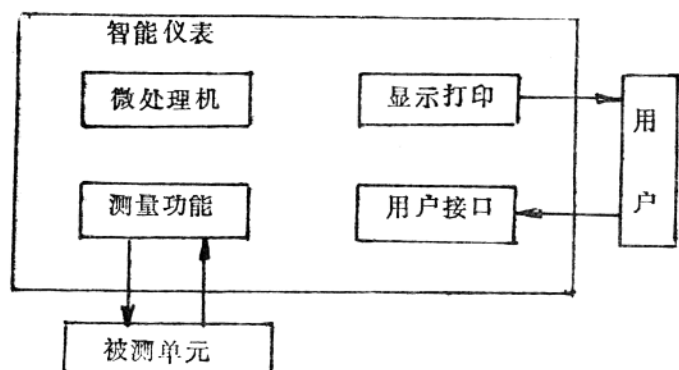


图 I . 4 单机智能仪表

二、自动测试系统

自动测试系统是指利用 GP-IB 通用标准接口母线将一台微机（或控制器）和一组测量记录仪器仪表联合在一起的系统。它的基本组成如图 I . 5 所示。

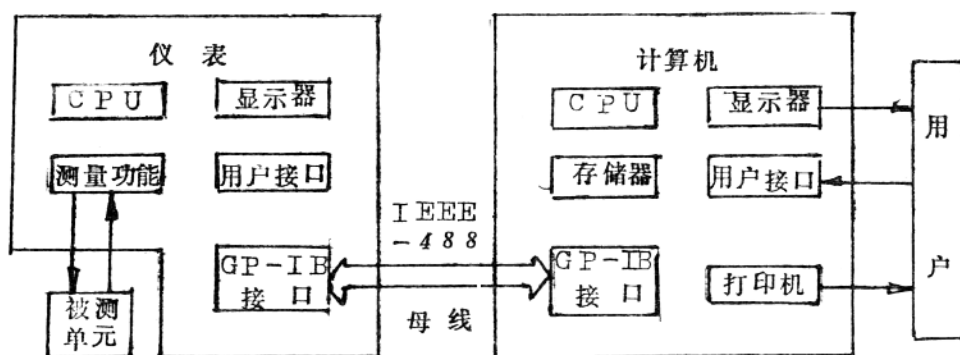


图 I . 5 自动测试系统框图

这种系统的主要特点是应用当前国际上普遍采用的 GP-IB 通用标准接口母线实现了仪器仪表之间的信息传递，允许用户利用计算机对系统进行控制，完成测试和数据分析等工作。凡按照这种接口进行设计生产的仪器仪表，不分国家和厂家都能组合成自动测试系统，灵活方便，而且扩充容易，功能丰富，通用性强，维修性好，成本低，精度高。

三、个人仪器

个人仪器是以个人计算机为基础，用一台个人计算机控制多个仪器插件，通过计算

机总线把它们连接起来，如图 I . 6 所示。

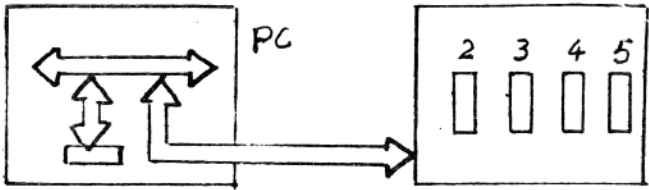


图 I . 6 个人仪器示意图

I、2、3、4、5 ——仪器插件 P C——个人计算机

在个人仪器中，每个测试功能不是由仪器整机而是由仪器插件完成的。每个仪器插件均需智能仪器所需的微处理器、显示装置、键盘、机箱等全套部件，而是主要的硬件（例如 CPU）和软件共享，专用靠插件，因此通用性强，扩展灵活，使用方便。成本可降低到 $1/3 \sim 1/10$ 。关键是专用插件的设计和制作。

类似个人仪器的一种自动测试系统如图 I . 7 所示，它包括个人计算机和仪器扩展箱两个重要部分，仪器扩展箱包括测试电路和与个人计算机相连的接口电路。

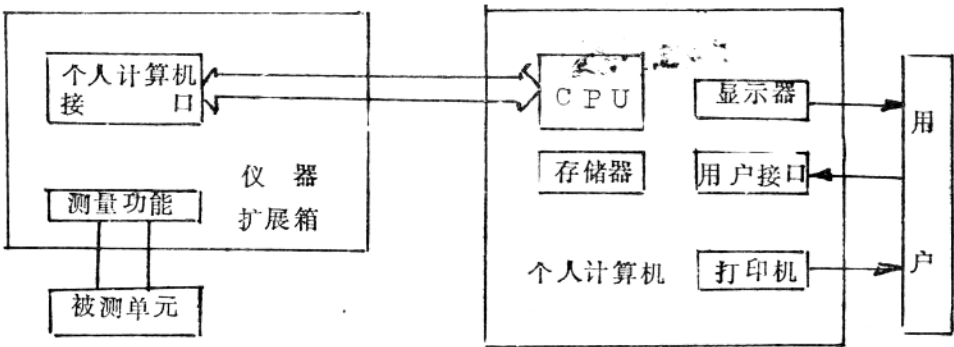


图 I . 7 个人计算机自动测试系统

它是以个人计算机为基础，把激励、测量和控制结合在一起。它不仅可以利用计算机的计算、编程能力以及丰富众多的软件，而且还可以利用计算机的键盘输入和显示器打印机进行输出。

在这方面有代表性的仪器是数字存储示波器。为了将示波器和计算机结合在一起，在两者之间使用了 IFOI-DSS 接口和 7490 适配卡，分别用于将示波器和计算机的总线转换为 GP-IB 标准母线，图 I . 8 便是它的框图。

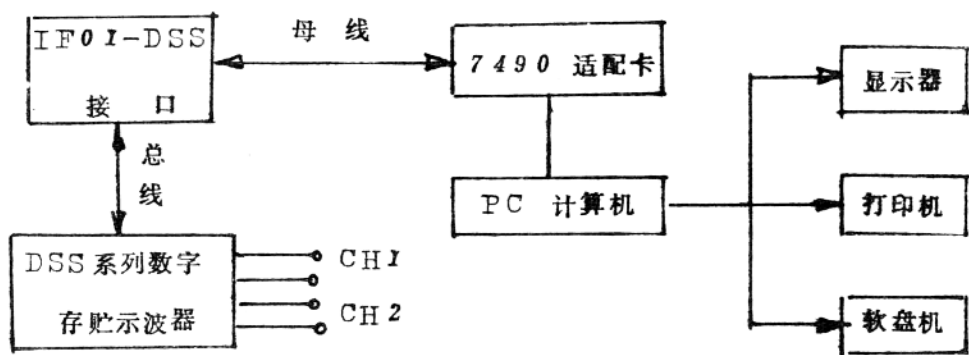


图 1.8 DSS 系列自动测试系统

§ 1.4 智能仪表的设计原则

设计智能仪表首先要考虑的问题是先进性、可靠性、维修性和经济性。先进性主要取决于性能，诸如灵敏度、精确度、稳定性、兼容性、自调零、自校准、自诊断、自学习、自补偿等均应根据使用要求严格论证，实事求是的取舍。先进性要建立在可靠性的基础上，而可靠性与维修性和经济性又是密切相关的，它们间的关系如图 1.9 所示，可见总费用最小点便是可靠性和维修性最佳指标。

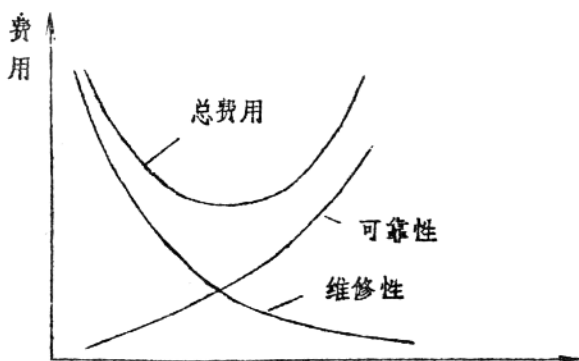


图 1.9 经济性与可靠性和维修性的关系

智能仪表设计涉及的主要内容，一般有传感器的选择、微处理机的选择、硬件设计和软件设计等四个方面，而软件居重要地位。

智能仪表的设计步骤，大致可按图 1.10 所示的流程进行。首先明确整机技术指标，然后分配硬件、软件的分目标，分别设计硬件和软件并进行调试，经联合调试，反复修改，直至合格。

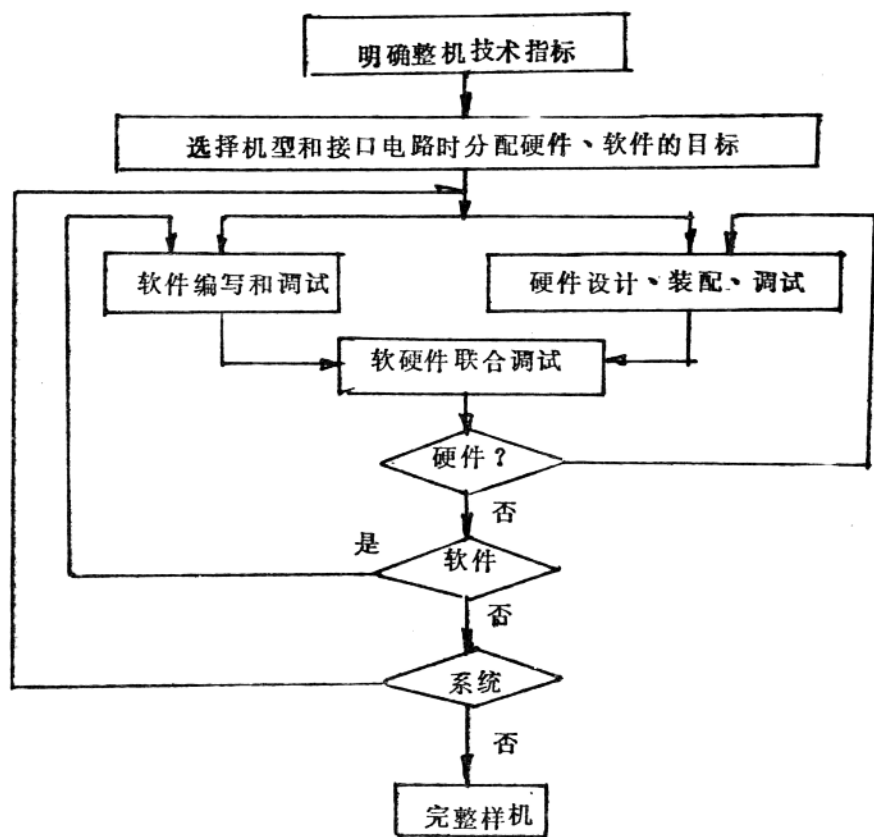


图 1.10 智能仪表设计流程

图 1.11 是软件的大致设计流程。首先根据总体要求编写源程序，然后运用开发系统或人工进行编译及汇编。再和需要的通用程序库连接在一起，形成智能仪表的目的程序，最后对软件进行调试修改，直到总体运行合格。

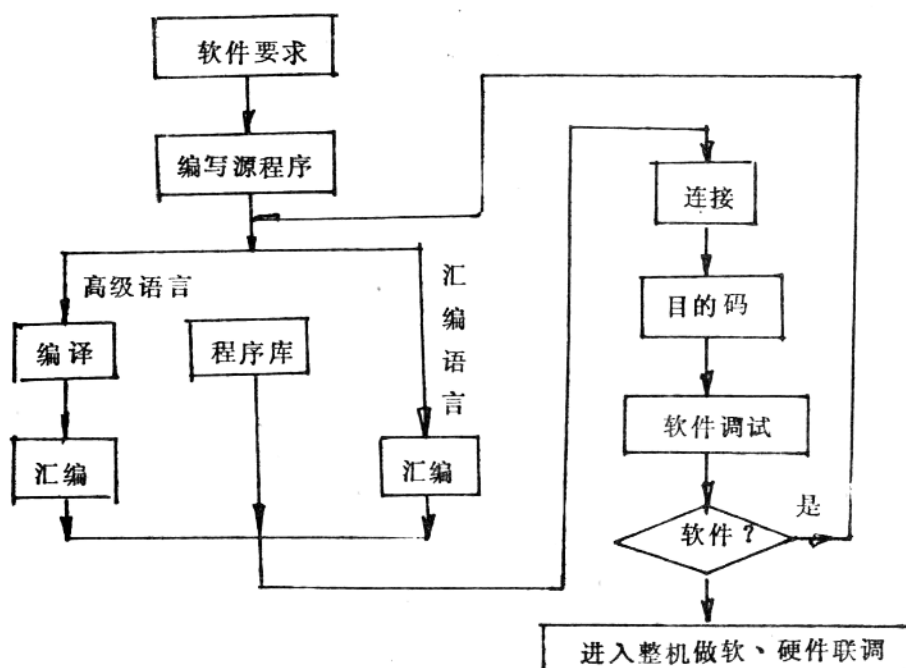


图 I . 11 软件设计流程

本章智能仪表总论，论述了智能仪表的观念和展望、智能仪表的组成及类型、智能仪表的性能与特点以及智能仪表的设计原则等四大问题，这无疑是对智能仪表起了导引和入门的作用，同时说明智能仪表是由电子传感器、仪器仪表、自动控制和计算机科学相互渗透、密切结合而形成的一门新学科，因此寻求四门学科的基本理论，建立智能仪表的基础，展开应用研究，是掌握和开发本门学科的有效途径。

表 I . 1 列出了智能仪表常用数据处理功能，它是由科学仪器制造商协会 (SAMA) 所制定的。

表 I . 1 智能仪表常用数据处理功能

功能与符号	数学表达式	定 义
和 Σ	$m = X_1 + X_2 + \dots + X_n$	• 输出等于各输入的代数和。
平均 Σ/n	$m = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$	• 输出等于各个输入信号的代数和，除以输入信号的个数。
差 Δ	$m = X_1 - X_2$	• 输出等于两输入的代数差。

