

上海市研究生教育丛书

智能自动化仪表及装置

郎文鹏 编著
赵维琴

上海大学出版社

上海研究生教育丛书

本教材得到上海市研究生教育专项经费资助

智能自动化仪表及装置

郎文鹏 赵维琴 编著

上海大学出版社

·上海·

内 容 提 要

本书全面、系统地阐述了自动化仪表及装置的结构原理及设计应用,分析了其现状与发展趋势,重点阐述了智能自动化仪表及装置的概念、原理、方法、技术及其应用。可作研究生和高年级本科生教材,还可供从事自动化工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

智能自动化仪表及装置/郎文鹏,赵维琴编著. —上海:
上海大学出版社, 1999.11
ISBN 7-81058-082-5

I. 智... II. ①郎... ②赵... III. 自动化仪表 IV.H86

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 41985 号

上海大学出版社出版发行

(上海市延长路 149 号 邮政编码 200072)

上海市印刷七厂一分厂印刷 各地新华书店经销

开本 787×1092 1/16 印张 16.25 字数 388 千字

1999 年 11 月第 1 版 1999 年 11 月第 1 次印刷

印数: 1—2100

定价: 23.00 元

序 言

在知识与全球经济迅速发展时,随着计算机科学技术的日新月异发展,自动化仪表及装置也飞向更新的层次。自从我国经济改革开放以来,在工农业、国防及科学研究开发各个领域都普遍需要应用不断更新换代的全新的自动化仪表及装置。现在上海大学郎文鹏、赵维琴同志编著的“智能自动化仪表及装置”是国内率先出版的真正的智能化仪器仪表的书籍,具有先进性、科学性和适用性。充分体现了作者实践——理论——再实践的总结成果。该书不仅仅适合高等院校师生作为教材及科研参考书,而且更适合自动化学科与专业的科研与技术开发领域中的工作者学习。

在 20 世纪即将结束之时,我们热忱地欢迎《智能自动化仪表及装置》一书的正式出版,让我们相互交流,共同为 21 世纪的到来做出我们的贡献。

何国森

1999 年 5 月

前 言

众所周知，在人类的科学探索和生产活动中，仪器仪表逐渐成为一种专门的学科专门的产业。其内容不断地被充实，使之成为知识高度密集、高度综合的学科。随着生产过程的向高精度、快节奏和更复杂的流程发展，仪器仪表的工作方式已发生了根本的变化，它已同各种各样的工作对象融为一体。因此传统的仪器仪表正在经历重大的变革。

智能自动化仪表及装置，不仅是信息的源头、人类获得信息的主要科学手段，而且是现代复杂生产过程的控制手段。可以说，没有先进、可靠的自动化仪表及自动化系统，就没有现代化生产企业本身。

本书在全面、系统阐述自动化仪表及装置的结构原理、设计应用之后，着重阐述智能自动化仪表及装置的概念、原理、方法、技术及其应用。全书共分十章，第一章介绍基本概念，第二章介绍电动单元组合仪表，第三章介绍分散控制系统，第四章介绍微机控制仪表，第五章讨论现场总线控制系统，第六章介绍智能控制基本概念，第七章介绍专家系统控制器，第八章介绍模糊控制器，第九章介绍神经网络控制器与仿人控制器，第十章介绍虚拟仪表技术。

本书不仅作为研究生和高年级本科生的教材，还可供从事自动化工作的工程技术人员参考。在编写过程中参考有关教材内容，在此表示谢意。另外，研究生易扬、鲁爽、杨侃和胡和军等同学为本书的清稿、绘图等做了大量工作，在此也表示感谢。

由于作者水平有限，书中的缺点和错误在所难免，敬请读者批评指正。

作者

1999年5月

目 次

第一篇 自动化仪表及装置的发展

第一章 概 论	3
1.1 自动化仪表及装置在国民经济中的地位与作用	3
1.1.1 自动化仪器仪表是科学进展的前题和生产活动的依据	3
1.1.2 自动化仪器仪表工业是信息工业的源头	3
1.1.3 我国的自动化仪表及装置	4
1.2 基本概念和性能指标	4
1.2.1 工业过程测量与控制	4
1.2.2 系统元件(elements of system)	5
1.2.3 自动化仪表及装置的性能指标	5
1.2.4 过程控制系统的性能指标	8
1.3 计量与标准化技术	10
1.3.1 计量及其基本任务	10
1.3.2 标准化技术	10
1.4 系统结构与信号体制	14
1.4.1 控制系统的结构	14
1.4.2 信号体制与传输方式	16
1.5 安全性与可靠性	21
1.5.1 安全性	21
1.5.2 可靠性	23
1.6 自动化仪表及装置的发展	27
1.6.1 从分散的就地控制向集中控制发展	27
1.6.2 从集中控制向分散控制发展	27
1.6.3 从分散控制 DCS 向现场控制 FCS 发展	28
1.6.4 从集团协议向国际标准发展	28
1.6.5 自动化仪表及装置向智能化发展, 控制系统结构向网络化发展	29
1.7 自动化仪表及装置设计中的几个问题	30
1.7.1 仪表及装置设计的精度准则	30
1.7.2 系列化设计	34
1.7.3 可靠性设计	36

1.7.4 人-机界面问题	39
第二章 单元组合式仪表	42
2.1 DDZ 系列电动单元组合仪表	42
2.1.1 电动单元组合仪表的系统结构	42
2.1.2 DDZ 系列仪表的主要单元	46
2.1.3 DDZ 系列仪表构成的控制系统	53
2.2 DDZ-S 系列仪表	55
2.2.1 DDZ-S 系列经济(J)型过程控制仪表基本特点和总体设计思想及原则	55
2.2.2 DDZ-S 仪表系统的构成	57
第三章 分散型控制系统 DCS	62
3.1 概 述	62
3.1.1 计算机控制系统的发展	62
3.1.2 分散控制系统的内涵、特点与功能	63
3.1.3 分散控制系统发展历程及其基本结构	66
3.1.4 分散型控制系统的层次化结构体系	69
3.2 分散型控制系统的过程控制单元 PCU	75
3.2.1 PCU 的主要模式与功能	75
3.2.2 PCU 的构成	76
3.2.3 控制算法	80
3.3 分散控制系统的人-机界面	82
3.3.1 低级人-机接口	82
3.3.2 高级人-机接口	83
3.4 控制回路的组态	85
3.4.1 概 述	85
3.4.2 组态原理	85
3.4.3 控制回路的组态方法	85
3.5 DCS 通信网络体系	86
3.5.1 概 述	86
3.5.2 OSI(open system interconnection, 开放系统互连)参考模型	86
3.5.3 DCS 网络产品比较	90
第四章 微机控制仪表	93
4.1 单回路数字调节器硬件的基本构成	94
4.2 单回路数字调节器的程序和算法	95
4.2.1 系统程序的组成	95
4.2.2 用户程序的组成	96
4.2.3 PID 控制算法	96

4.2.4 标准 PID 算法的改进置	98
4.3 SLPC 单回路调节器的系统软件	100
4.3.1 过程管理程序的机能构成和数据类型	100
4.3.2 仪表的寄存器结构和信息流程	101
4.4 SLPC 单回路调节器的应用软件	106
4.4.1 用户程序结构	106
4.4.2 控制运算原理	106
4.4.3 标准功能模块	107
4.5 SLPC 单回路调节器的通信功能	115
4.5.1 上位机对 SLPC 的设定与操作	115
4.5.2 串级控制“C”方式的选择	115
4.5.3 控制计算机备用方式的选择	115
4.5.4 通信操作及其设定	116
4.6 SLPC 单回路调节器的自诊断和故障处理	116
4.7 SLPC 用户程序设计	117
4.7.1 确定控制要求	117
4.7.2 确定所承担的任务	117
4.7.3 决定控制功能和内部调节单元	117
4.7.4 确定控制对象的数学模型	117
4.7.5 汇集功能框图和填写数据	118
4.7.6 程 序	118
第五章 现场总线控制系统 FCS	120
5.1 现场总线(fieldbus)	120
5.1.1 现场总线的内涵	120
5.1.2 现场总线的产生背景	122
5.1.3 现场总线产生的历程	123
5.1.4 现场总线的几种类型	124
5.1.5 组成现场总线的基本仪表与设备	126
5.1.6 现场总线给当今的自动化带来的变革	127
5.2 FCS 体系结构	127
5.2.1 FF 现场总线	127
5.2.2 FCS 体系结构	131
5.3 智能变送器	131
5.3.1 智能差压变送器	132
5.3.2 智能温度变送器	133
5.4 总线式智能传感器	134
5.4.1 总线式智能传感器的构成	134
5.4.2 接口标准和 Lon Works 技术	135
5.4.3 智能标定	136

第二篇 智能自动化仪表及装置

第六章 智能自动化仪表及装置概论	139
6.1 自动控制理论的发展及传统控制遇到的挑战	139
6.1.1 自动控制理论的发展	139
6.1.2 传统控制遇到的挑战	141
6.2 智能控制的定义与特点	141
6.2.1 智能控制的定义	141
6.2.2 智能控制的特点	143
6.3 智能控制的结构理论	144
6.3.1 二元结构	144
6.3.2 三元结构	144
6.3.3 四元结构	145
6.3.4 智能控制器的一般结构	146
6.4 应用人工智能技术的自动化仪表结构	148
6.4.1 自动化仪表检测环节的智能化	148
6.4.2 软测量技术	149
6.4.3 自动化仪表中功能模块的智能化	149
6.5 智能控制系统的分类	150
6.5.1 从系统构成的原理来分	150
6.5.2 从智能控制的结构来分	150
6.5.3 从系统实现的功能来分	151
第七章 专家控制器	154
7.1 专家系统的知识表示及获取	154
7.1.1 知识表示	154
7.1.2 知识获取	155
7.2 专家系统的结构与建造	156
7.2.1 专家系统的结构	156
7.2.2 专家系统的建造	157
7.3 专家控制器及系统结构	158
7.3.1 专家控制器的结构及系统	158
7.3.2 直接专家系统控制	159
7.3.3 间接专家系统控制	161
7.4 专家系统的设计与开发	164
7.4.1 专家控制器设计原则	164
7.4.2 专家系统的开发步骤	165
7.4.3 专家系统开发工具	167

7.5 专家控制器应用实例——专家智能温控仪	168
7.5.1 温控仪系统结构	168
7.5.2 专家智能控制算法 (EIC 算法)	168
7.5.3 EIC 控制规则集	169
7.6 专家模糊控制系统	170
7.6.1 专家模糊控制系统的基本结构	170
7.6.2 知识库、推理机	170
7.6.3 人机系统	171
第八章 模糊控制器	172
8.1 模糊控制器的组成与结构	172
8.1.1 模糊控制系统	172
8.1.2 模糊控制器的组成	176
8.1.3 模糊控制器的结构	177
8.2 模糊控制器的结构分析	179
8.2.1 PID 模糊控制器	179
8.2.2 自校正模糊控制器	181
8.2.3 自组织模糊控制器	182
8.2.4 自学习模糊控制器	182
8.2.5 专家模糊控制器	183
8.3 模糊控制器的设计	185
8.3.1 结构设计	185
8.3.2 建立模糊控制规则	186
8.3.3 模糊推理	189
8.3.4 清晰化	191
8.3.5 论域及比例因子的确定	192
8.3.6 模糊控制器的编程步骤	193
8.3.7 设计实例——双输入单输出模糊控制器的设计	193
8.4 模糊集成控制器	199
8.4.1 模糊神经网络控制	199
8.5 模糊控制器应用实例——带修正因子的模糊温度控制系统	201
8.5.1 系统结构	201
8.5.2 控制算法	202
8.5.3 控制性能实验比较	204
第九章 神经网络控制器与仿人控制器	207
9.1 神经网络系统辨识	207
9.1.1 系统辨识原理	207
9.1.2 非线性静态系统辨识	208
9.1.3 非线性动态系统辨识	209

9.2 神经控制器及系统结构	210
9.2.1 神经学习控制	210
9.2.2 神经直接控制	211
9.2.3 神经自适应控制	212
9.2.4 神经内模控制与预测控制	213
9.3 遗传算法与神经网络控制	214
9.3.1 GA 控制参数	215
9.3.2 编码和解码	216
9.3.3 适值函数 (fitness function)	216
9.3.4 基因操作	216
9.4 神经网络集成控制	217
9.4.1 基于神经网络的专家系统	217
9.4.2 基于神经网络的自适应模糊控制系统	218
9.4.3 基于神经网络的控制系统故障诊断	218
9.5 仿人控制器的原理与结构	219
9.5.1 仿人控制器原理与结构	219
9.5.2 仿人控制算法	221
9.5.3 仿人控制应用——仿人智能温控仪	222
第十章 虚拟仪器技术	225
10.1 虚拟仪器的概念	225
10.1.1 测试系统的发展和虚拟仪器技术的出现	225
10.1.2 虚拟仪器及其特点	225
10.1.3 虚拟仪器系统构成	226
10.1.4 虚拟仪器技术的硬件结构	227
10.1.5 虚拟仪器技术的软件结构	228
10.1.6 图形软件开发平台 LabVIEW	229
10.2 LabVIEW 开发环境	230
10.2.1 概述	230
10.2.2 Lab VIEW 工具模板	231
10.2.3 虚拟仪器程序编制	233
10.3 Lab VIEW 应用系统	236
10.3.1 Lab VIEW 数据采集系统	236
10.3.2 Lab VIEW 仪器控制系统	238
10.4 LabVIEW 驱动程序	241
10.4.1 仪器驱动程序设计模型	242
10.4.2 VXI 即插即用仪器驱动程序编制原理	243
10.4.3 C++ Builder 开发 VPP 驱动程序的优势及实例	244
参考文献	246

第一篇

自动化仪表 及装置的发展

自动化仪表及装置，在现代化生产中起着非常重要的作用。没有先进、可靠的自动化仪表及装置，就没有现代化的生产，这已成为人们的共识。当前，在现代新技术的推动下，自动化仪表及装置朝着智能化、计算机化、大型化、综合化和集成化的方向发展。测量与控制仪表(元件)的智能化，生产过程控制的计算机化，信息传递的数字化和网络化，控制与管理的一体化，已成为当今仪表与自动化行业发展的总趋势。学习和掌握自动化仪表及装置知识并了解其发展趋势是非常重要的。

本篇分五章，第一章介绍基本概念；第二章主要介绍电动单元组合仪表；第三章介绍分散控制系统；第四章介绍微机控制仪表；第五章讨论现场总线控制系统。本篇主要供非自动化仪表、检测技术及仪器等专业的本科毕业生学习，自动化仪表、检测技术及仪器等专业毕业的同学，可选择需要的部分学习。

100

•

•

第一章 概 论

1.1 自动化仪表及装置在国民经济中的地位与作用

自动化仪表及装置是实现自动化的技术工具,在现代自动化领域中它已成为大型设备不可分割的重要组成部分。大型的现代化生产过程,如果没有相应的自动控制系统是根本无法运行的。而自动控制系统,如果没有相应的自动化仪表及装置也是根本无法实现的。

1.1.1 自动化仪器仪表是科学进步的前题和生产活动的依据^[1]

从科学进步与社会发展的角度来看,当人类活动的领域越过感觉器官极限的时候,仪器仪表就成了科学进步和一切事业取得成功的前题。许多学科的进展首先取决于仪器仪表的进展。例如,发明了科学的温度计和实用的温标后,才使温度的概念具有准确的科学含义,成为可以测量和定量计算的基本物理量。在 20 世纪,由于威尔逊云室和众多核物理探测仪器的发明,人们才揭开了原子核反应的神秘面纱,逐渐展现出微观世界的真实图景,奠定了原子核物理学与日后原子能利用的基础。

建立在近代科学基础之上的近代工业,本质上是一种扩大的科学实验活动,它具有近代科学的一切要素和基本特征。仪器仪表和测量技术在这种活动中具有决定性的意义,它们是进行生产活动的依据。现代工业生产活动的规模越来越大,过程越来越复杂。它是一种多参数的巨系统,人们只能通过自动化和智能化的仪器仪表来了解和控制它们。

在人类的科学探索与生产活动中,自动化仪器仪表及装置逐渐形成了一种专门的学科,一种专门的产业。它支撑着社会技术的进步,为众多领域的科学探索活动提供实验和观测手段,为人类有序的生产活动与正常的社会生活提供必需的技术保障。这门科学技术继承了人类文明丰厚的遗产。自然科学领域的新发现,工程技术的新发明,不断充实它的内容,使其成为知识高度密集、高度综合的学科。它是人类扩大视野开拓新领域的前导工具,它本身总是处于永无止息的创造和发展之中。随着人类活动领域的迅速扩大,要求仪器仪表具有更高的灵敏度、分辨率以及自动化和智能化程度。传统的仪器仪表已无法应付测量对象的急剧增加和高度的复杂化。在很多领域,仪器仪表的工作方式已经发生了很大的变化,仪器仪表已同各种各样的工作对象融为一体。仪器仪表及其测量对象在空间上已经不能分离,必须服从苛刻的现场应用条件。为了适应这种变化,传统仪器仪表的设计和工艺正在经历着重大的变革。它给人们带来的影响将不亚于个人计算机的出现,这必将带来自动化仪器仪表观念和技术的重大变化与突破。

1.1.2 自动化仪器仪表工业是信息工业的源头^[2]

广义地说,仪器仪表是物化的科学技术,它从数量和质量上描述物质世界。它是揭示自然

界物质运动规律和改造客观世界的一种不可缺少的手段,是科技进步和国民经济发展的技术基础,是综合国力的一个重要组成部分.有人形象地把仪器仪表的功能比作“睛明龙飞”.意即如果把国家经济比作一条巨龙,科学仪器、自动化仪表就是使这条巨龙得以腾飞的双眸.具体说,仪器仪表是以数据、信号、指令等表征获取的信息.因此,仪器仪表技术是通过测量获得数据信息的信息技术,自动化仪器仪表工业是信息工业的源头,它的根本属性就是信息性.同时,自动化仪器仪表作为一门应用技术,其理论基础是信息论.因为信息论是一种数学理论,主要研究信息的数量关系,以及传递、处理原理,目的是研究如何获取、存储、变换、处理、传递和控制信息以及怎样设计和创造各种智能信息处理的仪器设备,以实现自动化和智能化.电子计算机出现以后,虽然使信息的获取得到延伸,但如果没有作为提供数据信息的仪器仪表,技术再先进亦是无所作为的.例如传感器、变送器、分析仪器都是获取信息与传递信息的手段,多种显示仪表是反映信息的工具;而调节控制仪表和工业控制计算机则是处理信息和贮存信息并发出指令的工具;另外,调节阀和执行器又是执行信息的手段.因此如果仅有计算机而无多种信息功能的准确的自动化仪器仪表,结果必然“输进的是数据,输出的是垃圾”.所以,计算机与自动化仪器仪表的联系是信息技术的支柱.

1.1.3 我国的自动化仪表及装置^[3]

自动化仪表与控制系统是在生产过程中对“物质流”信息进行检测、传输、显示、控制与执行,进而实现管理和决策等一系列自动化仪表及装置的总称.它主要包括各种电量与非电量的传感器、变送器及自动检测仪表、自动显示仪表、自动调节仪表、系统控制装置、执行器等.是我国国民经济各个部门的重要技术装备之一.

我国的自动化仪表行业从无到有,从小到大,通过五六十年代的国外援建和自主开发,七八十年代的技术改造、引进技术、合资合作以及90年代的计算机应用与开拓等一系列政策措施,目前已经初步形成了一个品种比较齐全,具有一定技术基础和生产规模的自动化仪表行业.我国的自动化仪表及装置与控制系统在一般性工程中的品种成套率可达到80%,对大型工程项目的品种成套率达到60%左右.应用计算机技术的仪表装置与系统已普及到连续过程、间歇过程、断续过程实现生产自动化的广阔领域.随着仪表装置设计制造技术、精密测试技术、系统集成技术、仪表应用技术等的飞速发展,工业自动化仪表与控制系统已跨入真正的数字时代.一场牵动着工业自动化仪表及装置更新换代的变迁已经到来.

1.2 基本概念和性能指标

1.2.1 工业过程测量与控制

所谓过程,即完成物理或化学变换或一系列这种变换的一组操作.从能量和信息角度看,物质或能量的传递、信息的传递等均可当作过程.实际上,任何生产过程,一般都有一个“物质流程”和一个“信息流程”.物质流程是从原料经过传送、加工到半成品或成品所联系起来的过程;信息流程则是通过操作管理人员对生产过程的状况进行观察、测量,将获取的信息经过分析、判断后,对生产过程作出的相应的控制信息的传递过程.

大体上,我们可以把现有的工业生产过程分成以下几种典型的过程:

1) 连续生产过程. 固体和纤维状产品的连续生产过程,主要有冶炼、轧钢、纺织、造纸、橡胶等工业生产; 液态和气态产品的连续生产过程, 主要有化学化工、炼油、热力发电、食品生产等工业生产. 这些产品的生产, 基本上是自动连续进行的.

2) 非连续生产过程. 产品的生产过程是循环动作或流水作业, 主要有机械、电子、仪表、食品、轻工等生产过程.

3) 粉料物质的加工生产过程. 这类产品的生产有一定的特点, 主要有水泥、选矿、制药、食品、饲料等的生产过程.

4) 物料输送和调度管理生产过程. 这类生产过程主要有油田和气田的开采、石油和天然气的长管输送、城市下水道和煤气的集中管理等.

对生产过程状况的测量和控制, 是实现生产过程自动化的重要手段. 而实现测量和控制的技术工具则是过程检测控制仪表, 即自动化仪表装置. 从信息角度来看, 一个自动化系统是具有信息的获取、转换、显示、处理、传送、执行等功能的自动化仪表及装置的组合体.

1.2.2 系统元件(elements of system)

按国际电工委员会(IEC)的定义, 所谓系统元件, 即工业过程检测控制仪表及装置. 工业自动化系统, 根据自动控制理论和控制对象的要求来组建. 系统中的元件, 则由具有相应功能的自动化仪表及装置来承担. 无论系统还是元件都是随着科学技术的进步而不断发展的, 它们紧密相关并相辅相成.

根据工业自动化系统的构成体系, 结合我国情况, 可将自动化仪表及装置分为如下几类:

1) 信息获取类(或检测类). 包括热工量, 即温度、压力、流量、物位等参数的检测; 机械量, 即重量(力)、尺寸(线位移、角位移)、速度(转速)、振动(加速度)等的检测; 成分量, 即化学成分、浓度、粘度、水分、密度、酸碱度等的检测; 电工量, 即电压、电流、功率等的检测; 状态量, 即工作机械的运转状态(启、停)、生产设备的异常状态(过热、变形)、产品在线的监视检查(表面质量)等.

2) 信息转换类(转换类). 包括电压—电流转换、电压—频率转换、模拟—数字转换、电—气—液转换、光—电转换等等.

3) 信息显示类(显示类). 包括模拟显示(如动圈式、自动平衡式)、数字显示(如频率计、数字计算器、数字直接显示、数字巡回检测等)、屏幕显示(如光柱显示仪、图符显示器 CRT 等).

4) 信息处理类(调节、计算类). 包括各类调节及控制器(如显示仪表附加调节器、简易调节器、单元组合仪表的调节单元、组装仪表的调节模块、各类控制器等)、计算机(硬、软件、外设等)、接口(输入/输出通道、常规和专用接口等).

5) 信息传送类(传送类). 包括多路信号输入输出装置、遥测遥讯遥控装置、通信装置等.

6) 信息执行类(执行器类). 包括自立式执行器、电动执行器(直行程、角行程)、气动执行器(调节阀等)、液动执行器、可控硅电压调整器等.

7) 连锁保护类. 包括各类自动保护装置.

8) 其他类. 包括各种仪表屏、柜、台、箱等.

1.2.3 自动化仪表及装置的性能指标^[4,5]

仪表的性能指标是评价仪表性能好坏、质量优劣的主要依据, 也是正确地选择仪表和使用仪表所必需具备和了解的知识. 仪表的性能指标一般是指仪表在规定工作条件下而言

的。仪表的性能指标很多，概括起来有以下几方面：

仪表技术方面的指标主要有基本误差、精度等级、变差、灵敏度、量程、响应时间、漂移等；

仪表经济方面的指标主要有功耗、价格、使用寿命等；

仪表使用方面的指标主要有操作维修性、安全可靠性和防护能力、重量和体积等。

1.2.3.1 基本误差

它是指仪表在规定工作条件下的误差，主要有：

1) 绝对误差。是指仪表的指示值与被测量的真值之间的代数差；

2) 相对误差。是指仪表指示值的绝对误差与被测量真值的比值；

3) 引用误差。是指仪表指示值的绝对误差与仪表量程之比；

4) 最大引用误差。是指在规定工作条件下，当被测量平稳地增加或减少时，指示值的绝对误差的最大者与量程的比值的百分数。它是仪表基本误差的主要表现形式，因而也就称其为仪表的基本误差。它反映了仪表的主要质量指标和仪表的测量精确程度。

1.2.3.2 测量范围与量程

在正常工作条件下，仪表可以进行测量的被测变量的范围叫做“测量范围”。其最低值叫“范围下限”，其最高值叫“范围上限”。所谓“量程”是指“测量范围”的“上限”与“测量范围”的“下限”的代数差。给出测量范围，便知上下限及量程，但如果仅仅给出量程，是无法判断其测量范围的。

仪表的输入输出之关系曲线叫做“标尺特性曲线”，若是线性标尺，标尺特性曲线为直线。对于非线性标尺，则是曲线。在实际使用中，有时需要适当地改变测量范围，如改变后，特性曲线有平移而斜率不变，称为“零点迁移”，此时其量程仍然不变。如果量程改变后，特性曲线的斜率发生了变化，起点未变，此时称为“量程迁移”。在某种情况下，需要在零点迁移的同时也进行量程的迁移，其效果是以上两种情况的综合。零点迁移和量程迁移可以扩大仪表的通用性。图 1-1 说明了两种迁移的情况。直线 1 变为直线 2，称为零点迁移。此时零点左移，对应的输入值也相应左移。直线 1 变为直线 3，称为量程迁移。此时零点不变，改变了特性曲线的斜率，仪表的灵敏度发生了变化。直线 1 变为直线 4，为量程和零点同时迁移的情形。

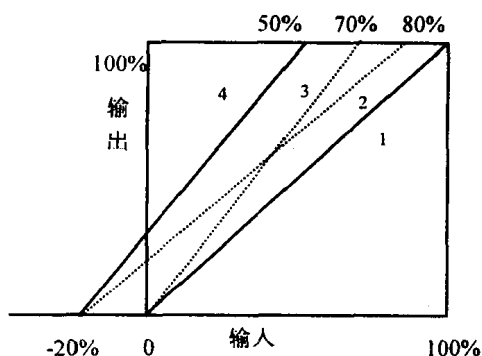


图 1-1 零点迁移和量程迁移示意图

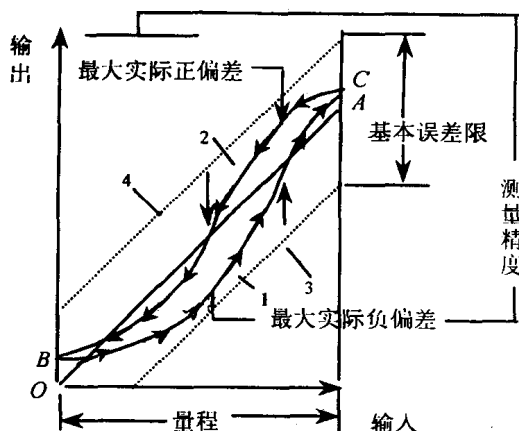


图 1-2 测量精度示意图