21 世纪全国高等院校自动化系列实用规划教材

自动化仪表

主　编　齐志才　刘红丽
副主编　马汇海　李　可
参　编　杨胤铎

中国林业出版社
China Forestry Publishing House
北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书基于生产实际和工程应用，介绍了工业上最常用的参数检测仪表、控制仪表、执行器及防爆栅的工作原理与应用方案，并且重点讨论了以可编程序逻辑控制器为代表的数字控制仪表的特点和功能，同时对智能仪表的组成、特点及发展趋势，智能仪表各组成部分的软硬件设计方法以及测量与控制算法，虚拟仪器的概念以及特点进行了详细的论述。最后，结合简单的工艺流程来分析某些典型过程控制方案的确定方法，阐明设计控制方案时的一般原则和思路，并列举了部分自动化仪表调解系统在生产过程控制中的应用实例。

本书可作为自动化相关专业本科教材，也可供工程技术人员及相关专业研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

自动化仪表/齐志才，刘红丽主编. —北京：中国林业出版社；北京大学出版社，2006.8
(21 世纪全国高等院校自动化系列实用规划教材)
ISBN 7-5038-4401-9

Ⅰ. 自… Ⅱ. ①齐… ②刘… Ⅲ. 自动化仪表—高等学校—教材 Ⅳ. TH86

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 090841 号

书　　名：自动化仪表
著作责任者：齐志才　刘红丽　主编
策 划 编 辑：李娉婷
责 任 编 辑：李　虎　曹　岚　裴振华　张　敏
标 准 书 号：ISBN 7-5038-4401-9
出　版　者：中国林业出版社(地址：北京市西城区德内大街刘海胡同 7 号　　邮编：100009)
http://www.cfph.com.cn　　E-mail:cfphz@public.bta.net.cn
电话：总编室 66180373　　营销中心 66187711
北京大学出版社(地址：北京市海淀区成府路 205 号　　邮编：100871)
http://www.pup.cn　http://www.pup6.com　　E-mail: pup_6@163.com
电话：邮购部 62752015　发行部 62750672　编辑部 62750667　出版部 62754962
印　刷　者：
发　行　者：北京大学出版社　中国林业出版社
经　销　者：新华书店
787 毫米×1092 毫米　16 开本　18.75 印张　426 千字
2006 年 8 月第 1 版　　2006 年 8 月第 1 次印刷
定　　价：27.00 元

《21世纪全国高等院校自动化系列实用规划教材》

专家编审委员会

主任委员　张德江

副主任委员　(按姓氏拼音顺序排名)

陈　静	丁坚勇	侯媛彬
纪志成	任庆昌	吴　斌

秘书长　于微波

委　员　(按姓氏拼音顺序排名)

陈志新	戴文进	段晨旭	樊立萍
范立南	公茂法	关根志	嵇启春
蒋　中	雷　霞	刘德辉	刘永信
刘　原	马永翔	孟祥萍	孟彦京
聂诗良	王忠庆	吴旭云	燕庆明
杨新华	尤　文	张桂青	张井岗

总　　序

我们所处的时代被称为信息时代。信息科学与技术的迅速发展和广泛应用，深深地改变着人类生产、生活的各个方面。人类社会生产力发展和人们生活质量的提高越来越得益于和依赖于信息科学与技术的发展。自动化科学与技术涉及到信息的检测、分析、处理、控制和应用等各个方面，是信息科学与技术领域的重要组成部分。在我国经济建设的进程中，工业化是不可逾越的发展阶段。面对全面建设小康社会的发展目标，党和国家提出走新型工业化道路的战略决策，这是一条我国当代工业化进程的必由之路。实现新型工业化，就是要坚持走科技含量高、经济效益好、资源消耗低、环境污染少、人力资源优势得到充分发挥的可持续发展的科学发展之路。在这个过程中，自动化科学与技术起着不可替代的重要作用，高等学校的自动化学科肩负着人才培养和科学研究的光荣的历史使命。

我国高等教育中工科在校大学生数占在校大学生总数的 35%～40%，其中自动化类的学生是工科各专业中学生人数最多的专业之一。在我国高等教育已走进大众化阶段的今天，人才培养模式多样化已成为必然的趋势，其中应用型人才是我国经济建设和社会发展需求最多的一大类人才。为了促进自动化领域应用型人才培养，发挥院校之间相互合作的优势，北京大学出版社组织了此套《21 世纪全国高等院校自动化系列实用规划教材》。

参加这一系列教材编写的基本上都是来自地方工科院校自动化学科的专家学者，由此确定了教材的使用范围，也为“实用教材”的定位找到了落脚点。本系列教材具有如下特点：

(1)　注重实用性。地方工科院校的人才培养规格大多定位在高级应用型，对这一大类人才的培养要注重面向工程实践，培养学生理论联系实际、解决实际问题的能力。从这一教学原则出发，本系列教材注重实用性，注意引用工程中的实例，培养学生的工程意识和工程应用能力，因此将更适合地方工科院校的教学要求。

(2)　体现新颖性。更新教材内容，跟进时代，加入一些新的先进实用的知识，同时淘汰一些陈旧过时的内容。

(3)　院校间合作交流的成果。每一本教材都有几所院校的教师参加编写。北大出版社事先在西安市和长春市召开了编写计划会和审纲会，来自各院校的教师比较充分地交流了情况，在相互借鉴、取长补短的基础上，形成了编写大纲，确定了编写原则。因此，这一系列教材可以反映出各参编院校一些好的经验和做法。

(4)　这一系列教材几乎涵盖了自动化类专业从技术基础课到专业课的各门课程，到目前为止，列入计划的已有 30 多门，教材门数多，参与的院校多，参加编写人员多。

地方工科院校是我国高等院校中比例最大的一部分。本系列教材面向地方工科院校自动化类专业教学之用，将拥有众多的读者。教材专家编审委员会深感教材的编写质量对教学质量的重要性，在审纲会上强调了“质量第一，明确责任，统筹兼顾，严格把关”的原则，要求各位主编加强协调，认真负责，努力保证和提高教材质量。各位主编和编者也将尽职尽责，密切合作，努力使自己的作品受到读者的认可和欢迎。尽管如此，由于院校之间、编者之间的差异性，教材中还是难免会出现一些问题和不足，欢迎选用本系列教材的教师、学生提出批评和建议。

张德江

2006 年 1 月

前　言

现代工业控制系统中，自动化仪表检测技术和仪表控制系统是实现自动控制的基础。随着新技术的不断涌现，特别是先进检测技术、现代传感器技术、计算机技术、网络技术和多媒体技术的出现，给传统的自动控制系统带来了新的挑战，并由此引出许多新的发展，如虚拟仪器、软测量技术、数据融合理论与方法以及最新发展的传感器网络技术等。

本书是自动化仪表系统的基础理论和应用技术的教材。《自动化仪表》是在学完电子技术基础、自动控制理论、微机原理及应用等课程后所开设的自动化类专业课程。本书是大专院校自动化专业的一门必修课教材，也可供各工业部门从事过程控制工作的工程技术人员参考。

全书以典型工业过程控制系统的构成为基础，以应用自动控制理论设计过程控制系统为主线，重点介绍了自动化检测仪表、全刻度指示 PID 连续调节仪表、数字控制仪表、执行器和防爆栅、智能仪表与虚拟仪器以及自动化仪表应用实例。在内容的叙述上，以理论联系实际为原则，特别注重简明扼要、通俗易懂，努力使系统性与典型性相统一，技术先进性与工程实用性相融合。在知识结构的安排上，考虑与前置课程知识的合理衔接，使各部分内容的安排次序顺理成章。

全书共分 7 章。第 1 章介绍自动化仪表发展概况和仪表系统的基础知识；第 2 章介绍温度、压力、流量、物位、机械量、成分分析等过程参数的检测技术和仪表；第 3 章介绍模拟控制仪表 PID 调节器系统所包含的输入、调节、显示等单元；第 4 章主要介绍以可编程序逻辑控制器为代表的数字控制仪表的特点和功能；第 5 章主要介绍以气动、电动、液动为代表的实现控制动作的执行器和防爆栅；第 6 章主要介绍智能仪表的组成、特点及其发展趋势，智能仪表各组成部分的软/硬件设计方法以及测量与控制算法，虚拟仪器的概念以及特点；第 7 章主要是从自动控制的角度出发，根据对象特性和控制要求，结合简单的工艺流程来分析某些典型过程控制方案的确定方法，阐明设计控制方案时的一般原则和思路。

本书由吉林建筑工程学院齐志才、武汉理工大学刘红丽任主编，陕西科技大学马汇海、吉林建筑工程学院装饰学院李可任副主编，武汉理工大学杨胤铎参编。其中第 1 章、第 3 章由齐志才编写，第 2 章由刘红丽编写，第 4 章、第 7 章由马汇海编写，第 5 章由李可编写，第 6 章由杨胤铎编写。

本书参考教学时数为 40 学时左右，其中包括 6 学时实验。限于作者的水平和能力，本书难免会存在不足或不妥之处，衷心希望广大读者批评指正。

编　者

2006 年 6 月

目　录

第 1 章　绪论 1

1.1　自动化仪表及其发展概述 1
1.2　电动单元组合自动化仪表及其控制系统的组成 3
1.3　自动化仪表测控系统 5
1.3.1　典型自动化仪表测控制系统 5
1.3.2　检测仪表控制系统结构分析 7
1.4　仪表的基本技术指标 7
1.4.1　测量范围、上下限及量程 8
1.4.2　零点迁移和量程迁移 8
1.4.3　灵敏度和分辨率 9
1.4.4　误差 9
1.4.5　精确度 10
1.4.6　滞环、死区和回差 11
1.4.7　重复性和再现性 12
1.4.8　可靠性 12
1.5　自动化仪表技术发展趋势 13
本章小结 13
思考题与习题 14

第 2 章　检测仪表 15

2.1　温度检测仪表 15
2.1.1　温度与温标 15
2.1.2　测温方法 16
2.1.3　膨胀式温度计 16
2.1.4　热电偶温度计 17
2.1.5　热电阻温度计 26
2.1.6　辐射测温仪表 29
2.1.7　温度变送器 32
2.2　压力的检测 40
2.2.1　压力的概念和表示方法 40
2.2.2　压力的检测方法和检测仪表 41
2.2.3　弹性式压力仪表 42
2.2.4　电气式压力仪表 43
2.2.5　压力和差压变送器 46
2.2.6　压力表的选用与安装 53
2.3　流量检测仪表 54
2.3.1　流量的基本概念 54
2.3.2　流量检测方法与仪表 55
2.3.3　差压式流量计 56
2.3.4　转子流量计 59
2.3.5　电磁流量计 61
2.3.6　超声波流量计 62
2.3.7　质量流量计 64
2.3.8　相关流量计 65
2.4　物位检测仪表 67
2.4.1　物位的定义及物位检测仪表的分类 67
2.4.2　静压式液位计 68
2.4.3　浮力式液位计 71
2.4.4　电容式物位计 73
2.4.5　超声波式物位仪表 75
2.4.6　物位开关 77
2.5　成分分析仪表 78
2.5.1　成分分析方法及其分类 78
2.5.2　热导式气体分析仪 78
2.5.3　红外线气体分析仪 83
2.5.4　色谱分析仪 85
2.5.5　氧含量的检测 87
2.6　机械量检测仪表 89
2.6.1　位移检测仪表 89
2.6.2　速度检测 91
2.6.3　加速度检测 96
本章小结 99
思考题与习题 99

第 3 章　连续调节器 102

3.1　调节器的调节规律 102

3.2 PID 调节器的阶跃响应和频率特性 104
3.2.1 PID 调节器的阶跃响应 104
3.2.2 PID 调节器的频率特性 104
3.3 PID 调节器线路实例 106
3.3.1 输入电路 107
3.3.2 比例微分电路 108
3.3.3 比例积分电路 109
3.3.4 输出电路 112
3.3.5 调节器的整机传递函数 113
3.3.6 手动操作电路 114
3.3.7 指示电路 115
本章小结 116
思考题与习题 116
第 4 章 数字控制仪表 118
4.1 数字控制仪表 118
4.1.1 数字控制技术的发展 118
4.1.2 数字控制系统的常用机型 119
4.1.3 数字控制系统的分类 122
4.2 数字控制算法 124
4.2.1 基本数字 PID 控制算法 125
4.2.2 改进型数字 PID 控制算法 129
4.2.3 字长与采样周期的选择 133
4.3 可编程序控制器 135
4.3.1 可编程序控制器概述 135
4.3.2 可编程控制器基本工作原理 137
4.3.3 S7—200 可编程控制器系统组成 142
4.3.4 S7—200 可编程控制器的指令系统 145
4.3.5 可编程控制器控制系统设计 164
4.3.6 S7—200 可编程控制器应用实例 167
4.3.7 S7—300 可编程控制器简介 171
本章小结 175
思考题与习题 175
第 5 章 执行器和防爆栅 177
5.1 执行器 177
5.1.1 气动执行器 177
5.1.2 电–气转换器 183
5.1.3 阀门定位器 184
5.2 防爆栅 189
5.2.1 安全火花防爆系统的概念 189
5.2.2 安全火花防爆的等级 190
5.2.3 防爆栅的基本工作原理 191
5.2.4 隔离式防爆栅 192
本章小结 197
思考题与习题 197
第 6 章 智能仪表与虚拟仪器 198
6.1 智能仪表概述 198
6.1.1 智能仪表的定义 198
6.1.2 智能仪表的基本组成 198
6.1.3 智能仪表的功能 199
6.1.4 智能仪表的发展概况 199
6.2 智能仪表硬件设计 200
6.2.1 模拟量输入通道形式 200
6.2.2 前置通道接口设计 202
6.2.3 A/D 接口技术 204
6.2.4 D/A 接口技术 209
6.2.5 数据通信及接口设计 212
6.3 智能仪表的软件设计 214
6.3.1 软件设计方法 214
6.3.2 软件系统组成 215
6.4 抗干扰技术 216
6.4.1 硬件抗干扰技术 216
6.4.2 软件抗干扰技术 218
6.5 智能仪表的测量与控制算法 220
6.5.1 数字滤波算法 220
6.5.2 量程自动转换与标度变换 223
6.5.3 PID 控制算法 225
6.6 智能仪表设计实例——智能温度测控仪 229
6.7 虚拟仪器技术 230

6.7.1　虚拟仪器的概念.....230
6.7.2　LABVIEW 简介.....231
本章小结.....233
思考题与习题.....234
第 7 章　自动化仪表应用实例.....236
7.1　大中型工业锅炉汽包液位的检测与控制.....236
7.1.1　大中型工业锅炉的工艺过程.....236
7.1.2　锅炉汽包水位的检测与控制.....237
7.2　石油蒸馏装置中的检测与控制.....244
7.2.1　连续精馏的工艺流程和装置.....244
7.2.2　精馏过程的控制目标.....244
7.2.3　精馏过程的静态和动态特性.....245
7.2.4　精馏塔质量指标的选取.....250
7.2.5　精馏过程的基本控制方案.....252
7.3　传热设备的控制.....258
7.3.1　传热设备的结构和特性.....258
7.3.2　换热器的控制.....263
7.3.3　加热炉的控制.....266
本章小结.....274
思考题与习题.....274
附表　标准化热电偶分度表.....275
参考文献.....283

第 1 章　绪　　论

自动化仪表是工业企业实现自动化的必要手段和技术工具，任何一个工业控制系统都必然应用到自动化仪表控制单元，各种控制方案和算法都必须借助自动化工具才能实现。随着自动化技术的广泛应用，自动化仪表的需求量很大，已形成一个专门的仪表门类。自动化工程师要设计自动控制系统必须掌握各种自动化仪表的工作原理和性能特点，才能合理地选择和正确地使用它们，组成性能价格比好的控制系统。

半个多世纪以来，自动化仪表经历了从气动液动仪表、电动仪表、电子式模拟仪表、数字智能仪表，到计算机集散控制系统(DCS)等发展阶段，为各行各业的现代化大规模生产提供了强大的支持。近年来，随着网络通信等相关技术的快速发展，自动化仪表正处于一场意义重大的变革中，以仪表的全数字化、开放化、网络化为特征的现场总线控制系统(FCS)正在迅猛发展。现场总线把从检测端到执行端的所有自动化仪表通过数字通信方式互相连接起来，从而使控制系统网络化，十分有利于工业企业实现高层次的自动化。

自动化仪表与控制理论一样，都是自动化科技工作者的研究内容。自动化技术工具的进步不仅会推动工业企业自动化水平的提高，还会影响控制理论的研究方向和内容。

1.1　自动化仪表及其发展概述

看到“仪表”两个字，人们很容易想到电流表、电压表、示波器等实验室中常用的测试仪器。自动化仪表不是这些通用仪表，而是讨论生产自动化中，特别是连续生产过程自动化中必需的一类专门的仪器仪表。其中包括对工艺参数进行测量的检测仪表、根据测量值对给定值的偏差按一定的调节规律发出调节命令的调节仪表以及根据调节仪表的命令对进出生产装置的物料或能量进行控制的执行器等。这些仪表代替人们对生产过程进行测量、控制、监督和保护，是实现生产过程自动化必不可少的技术工具。

对于没有实践经历的自动控制初学者，往往以为控制工程师的工作是先画出控制方案图，然后自己动手，设计制作一定的测控装置去实现要求的控制算法。不难想像，如果大家都按自己的思路为各种系统制作专用的测控装置，其规格品种必将是五花八门，互不兼容。这对于用户来说，其维护和备品、备件将是难以解决的问题。为减少仪表品种，便于互换和维护，人们把自动化仪表的外部功能和联络信号进行规范化，即规定若干通用的标准化功能模块，其内部原理和电路可以不同，但外部功能必须相同，此外，它们之间的互联信号标准必须统一。这些规范促进了自动化仪表向通用化发展，大大方便了用户。这样，对控制工程师来说，主要的工作不是自己去制作仪表，而只要熟悉和精通各种现成的自动化仪表的工作原理和性能特点，以便根据不同的测控要求和应用环境，从大量系列化生产的通用型自动化仪表中，合理地选择和正确地使用它们，组成经济、可靠、性能优良的自动控制系统。

自 20 世纪 30 年代以来，自动化技术获得了惊人的成就，已在工业生产和国民经济各行业起着关键的作用。自动化水平已成为衡量各行各业现代化水平的一个重要标志。

过程控制通常是指石油、化工、电力、冶金、轻工、建材、核能等工业生产中连续的或按一定周期程序进行的生产过程自动控制，它是自动化技术的重要组成部分。在现代工业生产过程中，过程控制技术正在为实现各种最优的技术经济指标、提高经济效益和劳动生产率、改善劳动条件、保护生态环境等方面起着越来越大的作用，而自动化仪表是生产过程自动控制的灵魂。

自动化仪表的发展，大致经历了以下几个阶段：

1) 仪表化与局部自动化(20 世纪 50～60 年代)阶段

20 世纪 50 年代前后，自动化仪表在过程控制中开始得到发展。一些工厂企业实现了仪表化和局部自动化。这是自动化仪表在过程控制发展中的第一个阶段。这个阶段的主要特点是：采用的过程检测控制仪表为基地式仪表和部分单元组合式仪表，而且多数是气动仪表；过程控制系统的结构绝大多数是单输入—单输出系统；被控参数主要是温度、压力、流量和液位四种工艺参数；控制的目的主要是保持这些工艺参数的稳定、确保生产安全；过程控制系统分析、综合的理论基础是以频率法和根轨迹法为主体的经典控制理论。

2) 综合自动化(20 世纪 60～70 年代中期)阶段

在 20 世纪 60 年代，随着工业生产的不断发展，对自动化仪表提出了新的要求；电子技术的迅速发展，也为自动化技术工具的不断完善提供了条件，自动化仪表控制开始进入第二阶段。在这一阶段中，工业生产过程出现了一个车间乃至一个工厂的综合自动化，其主要特点是：大量采用单元组合仪表(包括气动和电动)和组装式仪表。与此同时，计算机开始应用于过程控制领域，实现了直接数字控制(Direct Digital Control，DDC)和设定值控制(Statistical Process Control，SPC)。在自动化仪表过程控制系统的结构方案方面，相继出现了各种复杂的控制系统，如串级控制、前馈—反馈复合控制、Smith 预估控制以及比值、均匀、选择性控制等，一方面提高了控制质量，另一方面也满足了一些特殊的控制要求。自动化仪表控制系统的分析与综合的理论基础，由经典控制理论发展到现代控制理论。控制系统由单变量系统转向多变量系统，以解决生产过程中遇到的更为复杂的问题。

3) 全盘自动化(20 世纪 70 年代中期至今)阶段

20 世纪 70 年代中期以来，随着现代工业生产的迅猛发展，微型计算机的开发与应用，使自动化仪表的发展达到了一个新的水平，实现了全车间、全工厂、甚至全企业无人或很少人参与操作管理、过程控制最优化与现代化的集中调度管理相结合的方式，即全盘自动化的方式，过程控制发展到现代过程控制的新阶段，这是自动化仪表发展的第三阶段。这一阶段的主要特点是：在新型的自动化技术工具方面，开始采用以微处理器为核心的智能单元组合仪表(包括可编程序控制器等)；成分在线检测与数据处理的应用也日益广泛；模拟调节仪表的品种不断增加，可靠性不断提高，电动仪表也实现了本质安全防爆，适应了各种复杂过程控制的要求。在过程控制系统的结构方面，由单变量控制系统发展到多变量系统，由生产过程的定值控制发展到最优控制、自适应控制，由自动化仪表控制系统发展到计算机分布式控制系统等。

在控制理论的运用方面，现代控制理论移用到过程控制领域，如状态反馈、最优控制、

解耦控制等在过程控制中的应用，加速了过程建模、测试以及控制方法设计、分析等控制技术和理论的发展。

当前，自动化仪表控制已进入了计算机时代，进入了所谓计算机集成过程控制系统(Computer Integrated Process System，CIPS)的时代。CIPS 利用计算机技术，对整个企业的运作过程进行综合管理和控制，包括市场营销、生产计划调度、原材料选择、产品分配、成本管理，以及工艺过程的控制、优化和管理等全过程。分布式控制系统，先进过程控制策略以及网络技术、数据库技术等将是实现 CIPS 的重要基础。可以预计，过程控制将在我国社会主义现代化建设过程中得到更快的发展。

1.2　电动单元组合自动化仪表及其控制系统的组成

我国生产的电动单元组合仪表，到目前为止已有三代产品。它们分别为，20 世纪 60 年代中期生产的以电子管和磁放大器为主要放大元件的 DDZ—Ⅰ型仪表；20 世纪 70 年代初开始生产的以晶体管作为主要放大元件的 DDZ—Ⅱ型仪表；以及 20 世纪 80 年代初开始生产的以线性集成电路为主要放大元件、具有安全火花防爆性能的 DDZ—Ⅲ型仪表。这里的“DDZ”是汉语拼音文字中电(Dian)、单(Dan)、组(Zu)三字的第一个字母的组合。这三代产品虽然电路形式和信号标准不同，性能指标和单元划分的方法也不完全一样，但它们实现的控制功能和基本的设计思想是相同的，只要掌握其中一种，其他产品便不难分析。下面将主要对较有代表性的 DDZ—Ⅲ型电动单元组合式仪表进行讨论。

如图 1.1 所示是使用电动单元组合式仪表构成简单调节系统的例子，从中可以看到单元划分的原则和各单元的功能。图中，被调量一般是非电的工艺参数，如温度、压力等，必须经过一定的检测元件，将其变换为易于传送和显示的物理量。检测元件还常称为敏感元件、传感器、换能器、一次仪表等。被称为换能器的理由是工艺参数在检测元件上进行了能量形式的转换，例如，在使用热电偶测温时，热电偶将温度(热能)转换成了电压(电能)。被称为一次仪表的理由是这些检测元件安装在生产第一线，直接与工艺介质相接触，取得第一次的测量信号。由于检测元件输出的能量很小，一般不能直接驱动显示和调节仪表，必须经过放大或再一次的能量转换，才能将检测元件输出的微弱信号变换为能远距离传送的统一标准信号。图 1.1 中，起上述作用的环节就是变送单元，或称变送器，它有若干不同的类型，与相应的检测元件相配合。

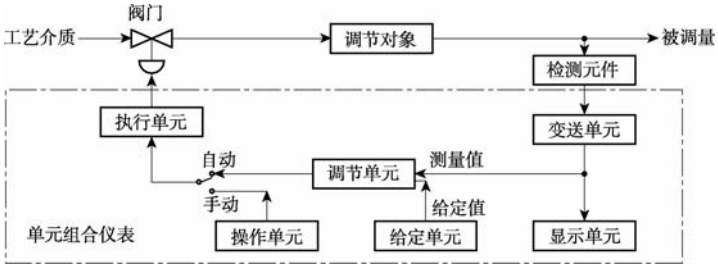


图 1.1　用电动单元组合仪表构成的调节系统

由变送单元输出的统一标准信号，一方面送到显示单元供记录或指示，同时送到调节单元与给定值进行比较。给定值可以由专门的给定单元取得，也可由调节单元内部取得。

目前，多数调节单元内部都有设定给定值的装置。调节单元又称调节器，它按比较得出的偏差，以一定的调节规律，如比例、微分、积分等运算关系发出调节信号，通过执行单元改变阀门的开度，控制进入调节对象的工艺介质流量，达到自动调节的目的。

实际上，除了图 1.1 中表示的几种基本单元外，在电动单元组合式仪表中，还有实现物理量转换的转换单元，进行加、减、乘、除、乘方、开方等运算的计算单元，以及为保证安全防爆所需要的安全单元等。其中，转换单元也是常用的单元，由于目前电动执行器无论在结构、性能、价格及安全方面都不如气动执行器，所以大部分使用电动单元组合仪表构成的调节系统中，其执行器仍然使用气动的。这样，就必须使用电-气转换器，将电动调节仪表输出的电信号转换为气压信号，以推动气动调节阀实现自动调节。安全单元是安全火花型防爆仪表所特有的一种单元，它的作用是在易燃易爆的生产现场周围筑起一道安全栅栏，从电路上对危险场所的线路采取隔离措施，防止高能量电路与现场线路之间的直接接触；同时通过电压、电流的双重限制电路，严格保证进入危险场所的能量在安全范围以内，因而是实现安全火花防爆的关键环节。

如前所述，使用单元组合仪表必须有统一的联络信号。目前我国电动单元组合仪表中并存着两种标准信号制度，在 DDZ—I 和 DDZ—Ⅱ型仪表中采用 0mA～10mA 直流电流作为标准信号，而在 DDZ—Ⅲ型仪表中，采用目前国际上统一的 4mA～20mA 直流电流作为标准信号。1973 年 4 月国际电工委员会(I.E.C)通过的标准规定，过程控制系统的模拟信号为 DC 4mA～20mA，电压信号为 DC 1V～5V，我国的 DDZ—Ⅲ型仪表规定，现场传输信号用 DC4mA～20mA，控制室内各仪表间的联络信号用 DC1V～5V。这两种标准都以直流电流作为联络信号。采用直流信号的优点是传输过程中易于和交流感应干扰相区别，且不存在相移问题，可不受传输线中电感、电容和负载性质的限制。采用电流制的优点首先可以不受传输线及负载电阻变化的影响，适于信号的远距离传送；其次由于电动单元组合仪表很多是采用力平衡原理构成的，使用电流信号可直接与磁场作用产生正比于信号的机械力。此外，对于要求电压输入的受信仪表和元件，只要在电流回路中串联电阻便可得到电压信号，故使用比较灵活。

在这两种信号制度里，零信号和满幅度信号电流大小的选择是这样考虑的：在 DDZ—Ⅲ型仪表中，以 20mA 表示信号的满度值，而以此满度值的 20%即 4mA 表示零信号。这种称为“活零点”的安排，有利于识别仪表断电、断线等故障，且为现场变送器实现两线制提供了可能性。所谓两线制变送器就是将供电的电源线与信号的传输线合并起来，一共只用两根导线。为便于理解这种两线制变送器的组成原理，图 1.2 给出了一个简单的示意图。图中，被测压力 P 经弹性波纹管转变为电位器 RP_1 的滑动触头位移，产生正比于压力 P 的电压 V_1，该电压经运算放大器 A 和晶体管 VT 组成的电流负反馈电路，把 V_1 转变为晶体管的输出电流 I_2，它在 0mA～16mA 间随被测压力 P 作正比变化。此外，图中还可看到，为了给仪表内的检测和放大电路供电，用了一个 4mA 的恒流电路，它把内部耗电稳定在一个固定的数值上。图中，稳压管单向击穿二极管 VD_2 除用来稳定内部电路的供电电压外，还调剂内部电路的供电电流。这样，上述两部分电流合计，流过该仪表的总电流在 4mA～20mA 间变化，实现了电源线和信号线的合并。

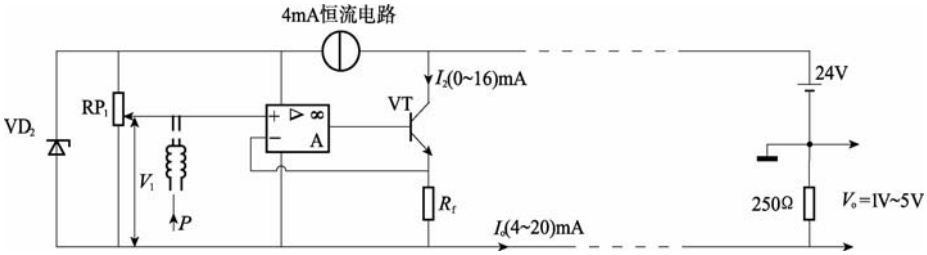


图 1.2　两线制变送器的组成原理

使用两线制变送器不仅节省电缆，布线方便，且大大有利于安全防爆，因为减少一根通往危险现场的导线，就减少了一个窜进危险火花的门户。由于“活零点”的表示法具有上述优点，受到普遍的欢迎和广泛的应用。

在上述信号标准里，从安全防爆、减少损耗、节省能量考虑，信号电流的满度值都希望选小一些。但太小也有困难，因为对力平衡式仪表，电流小了，产生的电磁力也小，不易保证这些仪表的精度。此外，在采用活零点的仪表中，降低满度电流的数值，必然同时降低起点电流的数值。起点电流太小将给两线制仪表带来困难，因为它将要求降低整个仪表在零信号时消耗的总电流。而在目前的元器件水平下，起点电流比 4mA 再小有时将发生困难。因此，目前国际采用 4mA～20mA 作为标准信号。

1.3　自动化仪表测控系统

任何一个工业控制系统都必然要应用一定的检测技术和相应的仪表单元，检测技术和仪表两部分是紧密相关和相辅相成的，它们是控制系统的重要基础。检测单元完成对各种过程参数的测量，并实现必要的数据处理；仪表单元则是实现各种控制作用的手段和条件，它将检测得到的数据进行运算处理，并通过相应的单元实现对被控变量的调节。新技术的不断出现，使传统的自动控制系统以及相关自动化仪表技术都发生了很大变化。

1.3.1　典型自动化仪表测控制系统

典型的检测仪表控制系统，以化学工业中用天然气做原料生产合成氨的控制系统为例，此系统如图 1.3 所示为脱硫塔控制流程图。天然气在经过脱硫塔时，需要进行控制的参数分别为压力、液位和流量，这将构成 PC、LC 和 FC3 个单参数调节控制系统。

例如实现脱硫塔压力调节控制的单参数控制子系统(PC)，该系统的结构框图如图 1.4 所示，进行压力参数检测及实现检测信号转换和传输的单元称为压力变送单元，实现调节控制规律计算的单元称为调节单元，最终实现被控变量控制作用的单元称为执行单元。为了实现调节控制作用，首先测量进入脱硫塔的天然气压力，检测到的信号经转换后，以标准信号制式传输到实现调节运算的调节单元；调节单元在接受到测量信号后，即与给定单元的设定压力值进行比较，并根据设定的控制规律计算出实现控制调节作用所需的控制信号；为保证能够驱动相应的设备实现对被控变量的调节，控制信号还需借助专用的执行单元机构实现控制信号的转换与保持。

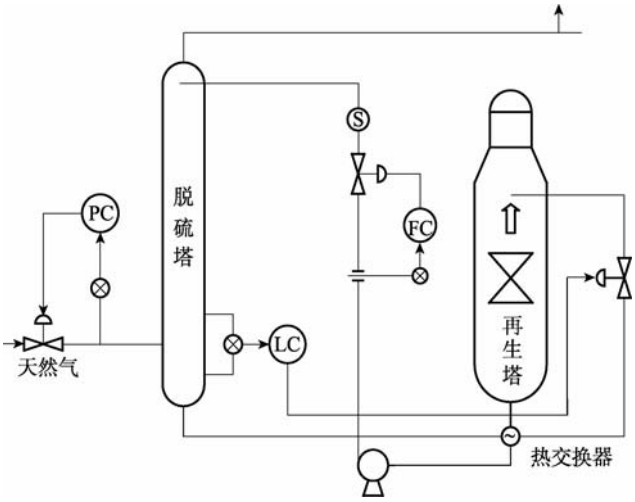


图 1.3　脱硫塔控制流程图

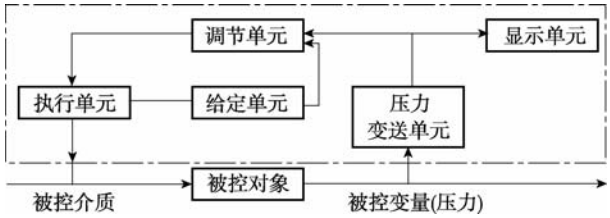


图 1.4　天然气压力控制系统结构框图

同理，考虑单独实现脱硫塔流量调节控制的情况，则控制子系统(FC)的结构框图如图 1.5 所示。其中流量变送单元是专门用于流量检测信号转换和传输的仪表变送单元，而安全栅的增加是为了实现安全火花防爆特性。

在无特殊条件要求下，常规工业检测仪表控制系统的结构基本相同，而与具体采用的仪表类型无关。这里所说的基本构成包括被控对象、变送器、显示仪器、调节器、给定器和执行器等。由于各控制子系统被控变量的不同，各子系统采用的变送器和调节器的控制规律因而有所不同。

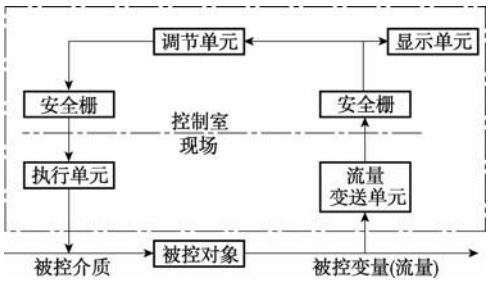


图 1.5　脱硫塔流量控制子系统结构框图

1.3.2　检测仪表控制系统结构分析

常规工业检测仪表控制系统的一般结构如图 1.6 所示。

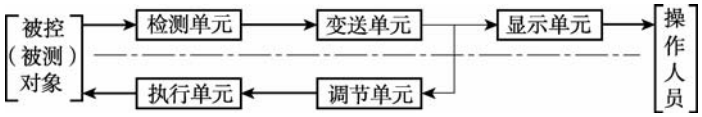


图 1.6　典型工业检测仪表控制系统结构图

显然，图 1.6 是一个闭环回路控制系统，只是为了突出被控对象和操作人员在控制系统中的地位，对传统意义上的回路结构进行了适当的调整。

被控(被测)对象是控制系统的核心，它可以是单输入单输出对象，即常规的回路控制系统；也可以是多输入多输出，此时通常需采用计算机仪表控制系统，如直接数字控制系统 DDC、分布式控制系统 DCS 和现场总线控制系统 FCS。

检测单元是控制系统实现控制调节作用的基础，它完成对所有被控变量的直接测量，包括温度、压力、流量、液位、成分等；同时也可实现某些参数的间接测量，如采用信息融合技术实现的测量。

变送单元完成对被测变量信号的转换和传输，其转换结果须符合国际标准的信号制式，即 DC1V～5V 或 DC4mA～20mA 模拟信号或各种仪表控制系统所需的数字信号。

显示单元是控制系统的附属单元，它将检测单元测量获得的有关参数，通过适当的方式显示给操作人员，这些显示方式包括曲线、数字和图像等。

调节单元完成调节控制规律的运算，它将变送器传输来的测量信号与给定值进行比较，并对比较结果进行调节运算，以输出作为控制信号。调节单元采用的常规控制规律包括位式调节和 PID 调节，而 PID 控制规律又根据实际情况的需要产生出了各种不同的改进型。

执行单元是控制系统实施控制策略的执行机构，它负责将调节器的控制输出信号按执行机构的需要产生出相应的信号，以驱动执行机构实现对被控变量的调节作用。通常执行单元分气动、液动和电动三类。

这里需要特别说明的是，图 1.6 所示的只是控制系统的逻辑结构。当采用传统检测和仪表单元构成控制系统时，这种结构与实际系统相同，即图中相关两个单元间采用点对点的连接方式。但是有时检测单元和变送单元及显示单元的界限并不明显，会构成功能组合单元。而在网络化的控制回路系统中，由于多数检测和仪表单元均通过网络相互连接。

1.4　仪表的基本技术指标

自动化仪表和其他仪表一样，在保证可靠工作的前提下，有如下一些衡量其性能优劣的基本指标。

本小节介绍检测和仪表中常用的基本性能指标，包括测量范围及量程、基本温差、精度等级、灵敏度、分辨率、迁移、可靠性以及抗干扰性能指标等。

1.4.1　测量范围、上下限及量程

每个用于测量的仪表都有测量范围，它是该仪表按规定的精度进行测量的被测变量的范围。测量范围的最小值和最大值分别称为测量下限和测量上限，简称下限和上限。

仪表的量程可以用来表示其测量范围的大小，是其测量上限值与下限值的代数差，即

$$\text{量程} = \text{测量上限值} - \text{测量下限值} \tag{1-1}$$

使用下限与上限可完全表示仪表的测量范围，也可确定其量程。如一个温度测量仪表的下限值是−50℃，上限值是 150℃，则其测量范围可表示为−50℃～150℃，量程为 200℃。由此可见，给出仪表的测量范围便知其上下限及量程，反之只给出仪表的量程，却无法确定其上下限及测量范围。

1.4.2　零点迁移和量程迁移

仪表测量范围的另一种表示方法是给出仪表的零点即测量下限值及仪表的量程。由前面的分析可知，只要仪表的零点和量程确定了，其测量范围也就确定了。因而这是一种更为常用的表示方式。

在实际使用中，由于测量要求或测量条件的变化，需要改变仪表的零点或量程，为此可以对仪表进行零点和量程的调整。通常将零点的变化称为零点迁移，而量程的变化则称为量程迁移。

以被测变量值相对于量程的百分数为横坐标，记为 X，以仪表指针位移或转角相对于标尺长度的百分数为纵坐标记为 Y，可得到仪表的标尺特性曲线 X–Y。假设仪表标尺是线性的，其标尺特性曲线可如图 1.7 中的线段 1 所示。

考虑单纯的零点迁移情况，如线段 2 所示，此时仪表量程不变，其斜率亦保持不变，线段 2 只是线段 1 的平移，理论上零点迁移到了原输入值的−25%，终点迁移到了原输入值的 75%，而量程则仍为 100%。考虑单纯的量程迁移情况如线段 3 所示，此时零点不变，线段仍通过坐标系原点，但斜率发生了变化，理论上量程迁移到了原来的 70%。

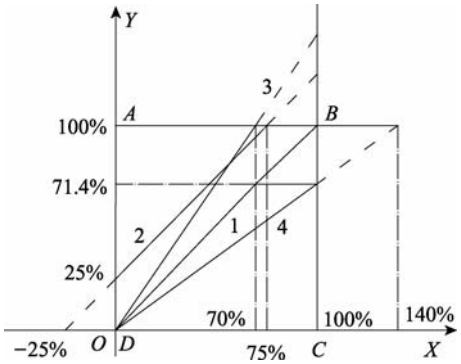


图 1.7　零点迁移和量程迁移示意图

由于受仪表标尺长度和输入通道对输入信号的限制，实际的标尺特性曲线通常只限于正四边形 *ABCD* 内部，即用实线表示部分；虚线部分只是理论上的结果，无实际意义。因