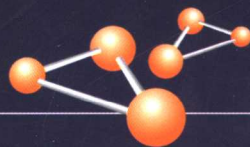


高等学校自动化专业教材



自动化仪表与 过程控制

(第三版)

施 仁 刘文江 郑辑光 编



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

高等学校自动化专业教材

自动化仪表与过程控制

(第三版)

施 仁 刘文江 郑辑光 编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书讨论生产过程自动化中使用的各种测控仪表的工作原理和过程控制系统的设计整定方法。

全书分上下两篇。上篇为自动化仪表,介绍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及使用特点,重点讨论 DDZ-Ⅲ型电动单元组合仪表、YS-80 系列数字仪表,以及集散控制系统和现场总线控制系统。下篇为过程控制,介绍对象动态特性的测试方法、单回路及复杂调节系统的工作原理及设计整定方法,最后介绍各种调节系统在生产过程控制中的应用实例。

本书可供高等学校工业自动化专业本科生、研究生作为教材或参考书使用,也可供科研院所工程技术人员参考使用。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

自动化仪表与过程控制/施仁,刘文江,郑辑光编. —3 版. —北京:电子工业出版社,2003. 3

高等学校自动化专业教材

ISBN 7-5053-8599-2

I. 自... II. ①施...②刘...③郑... III. ①自动化仪表—高等学校—教材②过程控制—高等学校—教材 IV. ①TH82②TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 019220 号

责任编辑:陈晓莉

特约编辑:詹善琼

印 刷:北京天竺颖华印刷厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:21 字数:498 千字

印 次:2004 年 1 月第 2 次印刷

印 数:3 000 册 定价:28.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077。质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

前 言

本教材由高等学校《计算机与自动控制》专业教材编审委员会《自动控制》教材编审小组评审选定,并推荐出版。

本书第一版是在电子工业出版社于1984年出版的、由西安交通大学施仁、刘文江教授主编,上海自动化仪表研究所高级工程师吴钦炜和华南理工大学叶乐年教授主审的《工业自动化仪表与过程控制》教材。经过几年各大院校的使用,于1991年根据《自动控制》编审小组审定的第四轮全国统编教材编写大纲,在此基础上进行修改、补充、编写而成了第二版。

随着科学的进步、技术的发展,生产过程中的自动化仪表、生产控制过程都向智能化发展,特别是在现场总线控制系统理论又注入了新的内容。

此次修订一是在保证基本知识概念的基础上删繁就简,并增补新的知识;二是为适应新的教育改革,突出素质教育的特点,加强理论与实践的结合。

本课程的参考教学学时数为60学时,上、下篇各约30学时。其主要内容是:上篇为自动化仪表部分,介绍各种检测仪表、调节仪表、执行器、防爆栅及集散控制系统与现场总线控制系统;下篇为过程控制部分,介绍调节对象特性的测试,单回路及各种复杂调节系统的设计整定方法和生产过程中的应用实例。

本教材自动化仪表部分,主要以DDZ-Ⅲ型电动单元组合仪表、YS-80系列数字仪表、集散控制系统及基金会现场总线控制系统为重点,介绍一些基本单元的工作原理和使用特点。关于仪表的具体构造和调校方法讨论不多,编者认为,这些内容放在实验课中解决将更为合适。本书的过程控制部分,主要讨论调节对象特性测试和数据处理方法,以及控制系统设计和整定的一般原理,不具体针对某个部门的特定工艺过程。

本课程是自动控制专业学生在学完电子技术基础、微型计算机原理、以及自动控制理论课程后开设的后续课程。通过学习,要求学生掌握自动化仪表的基本工作原理,以及使用这些仪表组成自动控制系统的方法。

本教材由施仁编写第1、2、4章及第3章的1~3节,郑辑光编写第3章的4~6节,刘文江编写第5~8章。本书在编写过程中曾广泛参考有关单位编著的各种书刊资料,在此,谨向他们表示深切的谢意。

由于编者水平有限,书中肯定存在不少缺点和错误,殷切希望广大读者批评指正。

编 者

2003年3月

目 录

上篇 自动化仪表

自动化仪表概述	2
0.1 自动化仪表及其发展概况	2
0.2 电动单元组合仪表及其控制系统的组成	3
0.3 仪表的基本技术指标	5
复习思考题	7
第 1 章 检测仪表	8
1.1 温度检测仪表	8
1.1.1 测量温度的主要方法	8
1.1.2 热电偶	9
1.1.3 热电阻	12
1.1.4 半导体热敏电阻	13
1.1.5 热电偶温度变送器的基本结构	14
1.1.6 DDZ-III 型热电偶温度变送器的实际线路	18
1.2 压力检测仪表	20
1.2.1 弹性式压力测量元件	21
1.2.2 力平衡式压力(差压)变送器	23
1.2.3 位移式差压(压力)变送器	27
1.2.4 固态测压仪表	30
1.3 流量检测仪表	32
1.3.1 节流式流量计	32
1.3.2 容积式流量计	36
1.3.3 涡轮流量计	36
1.3.4 电磁流量计	37
1.3.5 旋涡式流量计	38
1.4 液位检测仪表	41
1.4.1 浮力式和静压式液位计	41
1.4.2 电容式液位计	42
1.4.3 超声波液位计	44
1.5 成分分析仪表	44
1.5.1 热导式气体分析仪	45
1.5.2 红外线气体分析仪	47

1.5.3 色谱分析仪	49
复习思考题	53
第2章 调节器	54
2.1 调节器的调节规律	54
2.2 PID运算电路	55
2.2.1 比例积分运算电路	56
2.2.2 比例微分运算电路	59
2.2.3 PID运算电路	62
2.3 PID调节器的阶跃响应和频率特性	63
2.3.1 PID调节器的阶跃响应	63
2.3.2 PID调节器的频率特性	64
2.4 PID调节器的线路实例	67
2.4.1 输入电路	69
2.4.2 PID运算电路	71
2.4.3 输出电路	72
2.4.4 手动操作电路及自动—手动切换	73
2.4.5 测量及给定指示电路	75
2.5 数字控制算法	76
2.5.1 基本PID的离散表达式	77
2.5.2 采样周期的选择	78
2.5.3 变形的PID控制算法	80
2.5.4 混合过程PID算法	83
2.5.5 字长的考虑	84
2.6 单回路可编程序控制器	84
2.6.1 SLPC型可编程序控制器的电路	85
2.6.2 单回路控制器的工作节拍	89
2.6.3 用户程序结构及数据格式	91
2.6.4 运算模块	92
2.6.5 控制模块及编程	102
2.6.6 程序的写入和调试	114
复习思考题	116
第3章 集散控制系统与现场总线控制系统	117
3.1 集散控制系统的发展及其组成	117
3.2 DCS现场控制站的功能	123
3.2.1 反馈控制功能	124
3.2.2 顺序控制功能	128
3.3 DCS操作站的功能	131

3.4 现场总线技术	137
3.4.1 现场总线技术的发展	138
3.4.2 开放系统互连参考模型	139
3.4.3 HART 通信技术	140
3.4.4 基金会现场总线通信技术	142
3.5 基金会现场总线技术的应用	152
3.5.1 用户应用——功能块	152
3.5.2 系统管理	161
3.5.3 设备信息文件	162
3.5.4 现场总线控制系统的设计	164
3.6 现场总线控制系统	166
3.6.1 现场总线控制系统 System 302 的组成	167
3.6.2 系统 System 302 中现场设备与网络的组态	171
3.6.3 系统 System 302 中人机界面的组态	173
复习思考题	174
第 4 章 执行器和防爆栅	175
4.1 执行器	175
4.1.1 气动执行器	175
4.1.2 电气转换器	180
4.1.3 阀门定位器	182
4.1.1 电动执行器	184
4.2 防爆栅	186
4.2.1 安全火花防爆系统的概念	186
4.2.2 安全火花防爆的等级	187
4.2.3 防爆栅的基本工作原理	188
4.2.4 隔离式防爆栅	190
复习思考题	194

下篇 过程控制

第 5 章 调节对象的特性及实验测定	196
5.1 单容对象动特性及其数学描述	196
5.1.1 水槽水位的动特性	196
5.1.2 对象的自衡特性	199
5.2 多容对象的特性、容量滞后、纯滞后	200
5.2.1 双容对象的特性	200
5.2.2 纯滞后	201
5.3 对象特性的实验测定、时域法	202

5.3.1	实验测定方法概述	202
5.3.2	测定动态特性的时域方法	203
5.4	测定动态特性的频域方法	210
5.4.1	正弦波方法	210
5.4.2	频率特性的相关测试法	211
5.4.3	闭路测定法	213
5.5	测定动态特性的统计方法	214
5.5.1	平衡随机过程、相关函数、功率密度谱	214
5.5.2	相关分析法识别对象动态特性的原理	217
5.5.3	伪随机信号	220
5.5.4	伪随机序列的产生方法及其性质	221
5.5.5	用 M 序列信号测定对象的动态特性	224
5.5.6	二位式伪随机序列作为试验信号时对象动态特性的识别	225
5.6	测定动态特性的最小二乘法	233
5.6.1	概述	233
5.6.2	线性系统的差分方程表示	234
5.6.3	最小二乘法	235
5.6.4	最小二乘法估计的递推算法	237
5.6.5	最小二乘估计递推算法的程序设计	243
	复习思考题	244
第 6 章	单回路调节系统的设计及调节器参数整定方法	245
6.1	概述	245
6.2	对象动态特性对调节质量的影响及调节方案的确定	247
6.2.1	干扰通道动态特性对调节质量的影响	247
6.2.2	调节通道动态特性对调节质量的影响	249
6.2.3	调节方案的确定	251
6.3	调节规律对系统动态特性的影响、调节规律的选择	253
6.3.1	在干扰作用下双容对象的比例调节	253
6.3.2	系统调节性能指标、PI、PD 调节作用分析	257
6.3.3	调节规律的选择	263
6.4	调节器参数的实验整定方法	264
6.4.1	稳定边界法	265
6.4.2	反应曲线法	266
6.4.3	衰减曲线法	267
6.4.4	三种整定方法的比较	268
	复习思考题	269
第 7 章	复杂调节系统	270

7.1 串级调节系统	270
7.1.1 串级调节系统的组成	270
7.1.2 串级调节系统的特点和效果分析	272
7.1.3 调节器的选型和整定方法	275
7.2 比值调节系统	276
7.2.1 比值调节系统的组成原理	277
7.2.2 比值调节系统的整定	279
7.3 均匀调节系统	281
7.3.1 均匀调节系统的组成	281
7.3.2 调节器的选型和整定	282
7.4 前馈调节系统	284
7.4.1 前馈控制的工作原理	285
7.4.2 扰动补偿规律及其局限性	286
7.4.3 复合调节系统的特性分析	287
7.4.4 复合调节系统参数的选择	289
7.4.5 自治调节系统	291
7.4.6 自治调节系统解耦装置的综合	293
复习思考题	295
第8章 自动调节系统在生产过程中的应用	297
8.1 石油加工蒸馏装置的仪表控制系统	297
8.1.1 石油加工中的仪表控制系统概要	297
8.1.2 蒸馏塔的仪表控制系统	298
8.2 钢铁工业中加热炉的仪表控制系统	304
8.2.1 钢铁生产过程概要	304
8.2.2 加热炉的燃烧控制	305
8.2.3 燃烧控制的串级比值调节系统	307
8.2.4 交叉限幅并联副回路的串级调节	308
8.3 锅炉的自动调节系统	312
8.3.1 汽包水位的调节	313
8.3.2 燃烧过程的调节	317
8.3.3 锅炉控制系统举例	319
复习思考题	323
主要参考书	323

上篇 自动化仪表

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,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的使用它们,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连接起来,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。

本篇内容

- 自动化仪表概述
- 检测仪表
- 调节器
- 集散控制系统与现场总线控制系统
- 执行器和防爆栅

自动化仪表概述

0.1 自动化仪表及其发展概况

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。本课程要讨论的不是这些通用仪表,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,称为自动化仪表。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。

对于没有实践经验的自动控制初学者,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,互不兼容的。这对于用户来说,其维护和备品备件将是无法解决的问题。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,它们之间的互连信号标准必须统一。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。

自动化仪表作为一类专门的仪表,最早出现于上世纪 40 年代,当时由于石油、化工、电力等工业对自动化的需要,出现了将测量、记录、调节仪表组合在一起的多功能自动化仪表。此后,随着大型工业企业的出现,生产向综合自动化和集中控制的方向发展,人们发现多功能仪表的结构不够灵活,不如将仪表按功能划分,制成若干种能独立完成一定功能的标准单元,各单元间以标准联络信号相互联系,这样,仪表的性能容易提高。在使用中可以根据需要,选择一定的单元,积木式地把仪表组合起来,构成各种复杂程度不同的控制系统。这种积木式的仪表就称为单元组合式仪表。显然,将多功能仪表分解为若干基本单元的做法,无论对仪表厂的大量生产,还是对用户的选用和维护都是有利的。尽管近年来随着自动化仪表由模拟技术向数字技术的发展,仪表的功能结构又重新由单功能向多功能转变,但这种按功能划分标准单元的思路在仪表内部被充分地肯定下来。

自动化仪表除了有上述两种不同的功能结构外,根据能源的种类,还可分为电动、气动等仪表。其中气动仪表的出现比电动仪表早,而且价格便宜,结构简单,特别对石油化工等易燃

易爆的生产现场,具有本质性的安全防爆性能,因而在相当长的一段时间里,一直处于优势地位。但从 20 世纪 60 年代起,由于电动仪表的晶体管化和集成电路化,控制功能日益完备,在使用低电压、小电流时,可在电路及结构上采取严密措施,限制进入易燃易爆场所的能量,从而保证在生产现场不会发生足以引起燃烧或爆炸的“危险火花”。这样,限制电动仪表使用的一个主要障碍被扫除,电信号比气压信号在传送和处理上的优越性就能得到充分的发挥。大家知道,气压信号传递速度慢,传输距离短,管线安装不便。相比之下,电信号传输、放大、变换、测量都比气压信号方便得多,特别是电动仪表容易和工业控制计算机配合使用,实现生产过程的全盘自动化。因此,近年来电动仪表取得了压倒的优势。

0.2 电动单元组合仪表及其控制系统的组成

我国生产的电动单元组合仪表,到目前为止已有了三代产品,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;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 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。

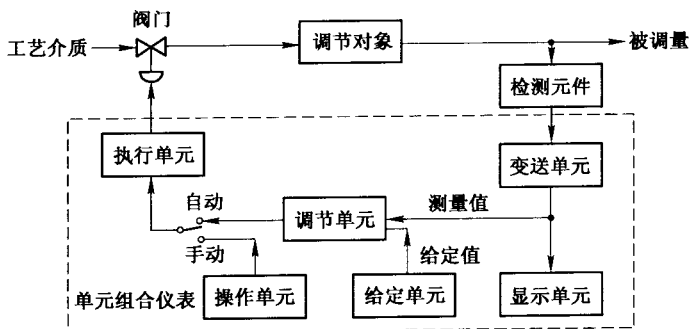


图 0-1 用电动单元组合仪表构成的调节系统

图 0-1 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0-1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。

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0-1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,其执行器却使用气动的。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 $0\sim 10\text{mA}$ 直流电流作为标准信号,而在DDZ-III型仪表中,采用目前国际上统一^①的 $4\sim 20\text{mA}$ 直流电流作为标准信号。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0-2给出了一个简单的示意图。图中,被测压力

^① 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直流电流 $4\sim 20\text{mA}$,电压信号为直流 $1\sim 5\text{V}$,我国的DDZ-III型仪表规定,现场传输信号用 $4\sim 20\text{mA}(\text{DC})$,控制室内各仪表间的联络信号用 $1\sim 5\text{V}(\text{DC})$ 。

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 $0\sim 16\text{mA}$ 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 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 $4\sim 20\text{mA}$ 间变化,实现了电源线和信号线的合并。

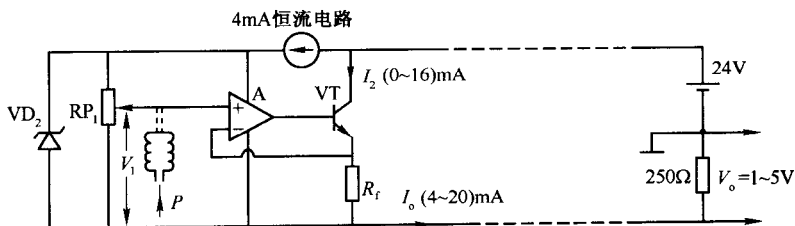


图 0-2 两线制变送器的组成原理

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,目前国际上采用 $4\sim 20\text{mA}$ 作为标准信号。

0.3 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。

1. 精确度

任何仪表都有一定的误差。因此,使用仪表时必须先知道该仪表的精确程度,以便估计测量结果与真实值的差距,即估计测量值的误差大小。

模拟式仪表的精确度一般不宜用绝对误差(测量值与真实值的差)和相对误差(绝对误差与该点的真实值之比)来表示,因为前者不能体现对不同量程仪表的合理要求,后者很容易引起任何仪表都不能相信的误解。例如,对一只满量程为 100mA 的电流表,在测量零电流时,由于机械摩擦使表针的示数略偏离零位而得到 0.2mA 的读数,若按上述相对误差的算法,那么

该点的相对误差即为无穷大,似乎这个仪表是完全不能使用的;但在工程人员看来,这样的测量误差是很容易理解的,根本不值得大惊小怪,它可能还是一只比较精密的仪表呢!

模拟式仪表的合理精确度,应该以测量范围中最大的绝对误差和该仪表的测量范围之比来衡量,这种比值称为相对(于满量程的)百分误差。例如某温度计的刻度由 -50°C 到 $+150^{\circ}\text{C}$,即其测量范围为 200°C ,若在这个测量范围内,最大测量误差不超过 3°C ,则其相对百分误差 δ 为

$$\delta = \frac{3}{150 + 50} = 1.5\%$$

仪表工业规定,去掉上式中相对百分误差的“%”,称为仪表的精确度。它划分成若干等级,如0.1级,0.2级,0.5级,1.0级,1.5级,2.5级等。上述温度计的精确度即为1.5级。

仪表的误差还根据使用条件分为基本误差和附加误差两种。基本误差是指仪表在正常工作条件下的最大相对百分误差。若仪表不在规定的正常条件下工作,例如因周围温度、电源电压等偏高或偏低而引起的额外误差,称为附加误差。仪表的精确度等级都是根据其基本误差确定的。

2. 灵敏度和灵敏限

灵敏度表示测量仪表对被测参数变化的敏感程度,常以仪表输出,例如指示装置的直线位移或角位移与引起此位移的被测参数变化量之比表示,即

$$\text{灵敏度} = \frac{\Delta a}{\Delta x}$$

式中 Δa 为仪表指示装置的直线位移或角位移; Δx 为被测参数的变化值。

仪表的灵敏度可用增加放大系统的放大倍数来提高。但是,单纯提高仪表的灵敏度并不一定能提高仪表的精确度,例如,把一个电流表的指针接得很长,虽然可把直线位移的灵敏度提高,但其读数的精确度并不一定提高。相反,可能由于平衡状况变坏而精确度反而下降。为了防止这种虚假灵敏度,常规定仪表读数标尺的分格值不能小于仪表允许误差的绝对值。

仪表的灵敏限,是指仪表能感受并发生动作的输入量的最小值。

3. 变差

在外界条件不变的情况下,使用同一仪表对被测参量进行反复测量(正行程和反行程)时,所产生的最大差值与测量范围之比称为变差。造成变差的原因很多,例如传动机构间存在的间隙和摩擦力,弹性元件的弹性滞后等。在设计和制造仪表时,必须尽量减小变差的数值。一个仪表的变差越小,其输出的重复性和稳定性越好。

仪表除静态误差外,在输入量随时间变化时,由于仪表内部的惯性和滞后,还存在动态误差。对自动化仪表来说,因为它工作在调节系统的闭环之中,其动态特性不仅影响自身的输出,还直接影响整个调节系统的调节质量。例如,在一个调节系统中,若检测仪表的惯性比调节对象的惯性还大,那么不仅系统的调节速度被减慢,而且在过渡过程中检测仪表不能及时反

映真实的情况;被调量可能存在很大的冲击和波动,但检测仪表的指示却很平稳,这种虚假的现象会给生产造成严重的损失。因此,在研制和选用自动化仪表时,必须对其动态特性予以充分的重视,根据需要,尽量减小仪表的惯性和滞后,使之快速和准确地响应输入量的变化。

复习思考题

0-1 自动化仪表是指哪一类仪表? 什么叫单元组合式仪表?

0-2 DDZ-Ⅱ型与 DDZ-Ⅲ型仪表的电压、电流信号传输标准是什么? 在现场与控制室之间采用直流电流传输信号有什么好处?

0-3 什么叫两线制变送器? 它与传统的四线制变送器相比有什么优点? 试举例画出两线制变送器的基本结构,说明其必要的组成部分。

0-4 什么是仪表的精度? 试问一台量程为 $-100^{\circ}\text{C} \sim +100^{\circ}\text{C}$ 、精度为 0.5 级的测量仪表,在量程范围内的最大误差为多少?

第1章 检测仪表

各种不同的工业企业在实现自动化时需要检测的工艺参数种类很多。例如:在热工过程中,最常遇到的是温度、压力、流量、物位四种参数的检测问题;在化工过程中,除上述四大参数外,还常需进行成分分析和某些物理化学性质如密度、粘度、酸度等的测量;在冶金、钢铁、机械工业中则又需对某些机械参数如重量、力、加速度、位移、厚度等进行检测;在电厂中则还有频率、相位、功率因数等电工量需要测定等等。显然,要把所有的工艺参数检测方法都讨论是不可能的,下面只对几种比较有普遍性的工艺参数进行示例性的讨论。通过一些典型例子,说明目前采用的主要检测手段和达到的技术水平,介绍组成检测仪表的基本原则和保证可靠工作的一般方法。希望读者在学习了这些有限的例子后,能举一反三,为掌握其他检测仪表打下基础。

1.1 温度检测仪表

温度是工业生产中最基本的工艺参数之一,任何化学反应或物理变化的进程都与温度密切相关,因此温度的测量与控制是生产过程自动化的重要任务之一。

1.1.1 测量温度的主要方法

测量温度的方法虽然很多,但从感受温度的途径来分,不外下面两大类:一类是接触式的,即通过测温元件与被测物体的接触而感知物体的温度;另一类是非接触的,即通过接收被测物体发出的辐射热来判断温度。

目前常见的接触式测温仪表有如下几种。

1. 膨胀式温度计

利用固体或液体热胀冷缩的特性测量温度。例如,常见的体温表便是液体膨胀式温度计;利用固体膨胀的,有根据热胀冷缩而使长度变化做成的杆式温度计和利用双金属片受热产生弯曲变形的双金属温度计。

2. 压力式温度计

它是根据密封在固定容器内的液体或气体,当温度变化时压力发生变化的特性,将温度的测量转化为压力的测量。它主要由两部分组成,一是温包,由盛液体或气体的感温固定容器构成,另一是反映压力变化的弹性元件。