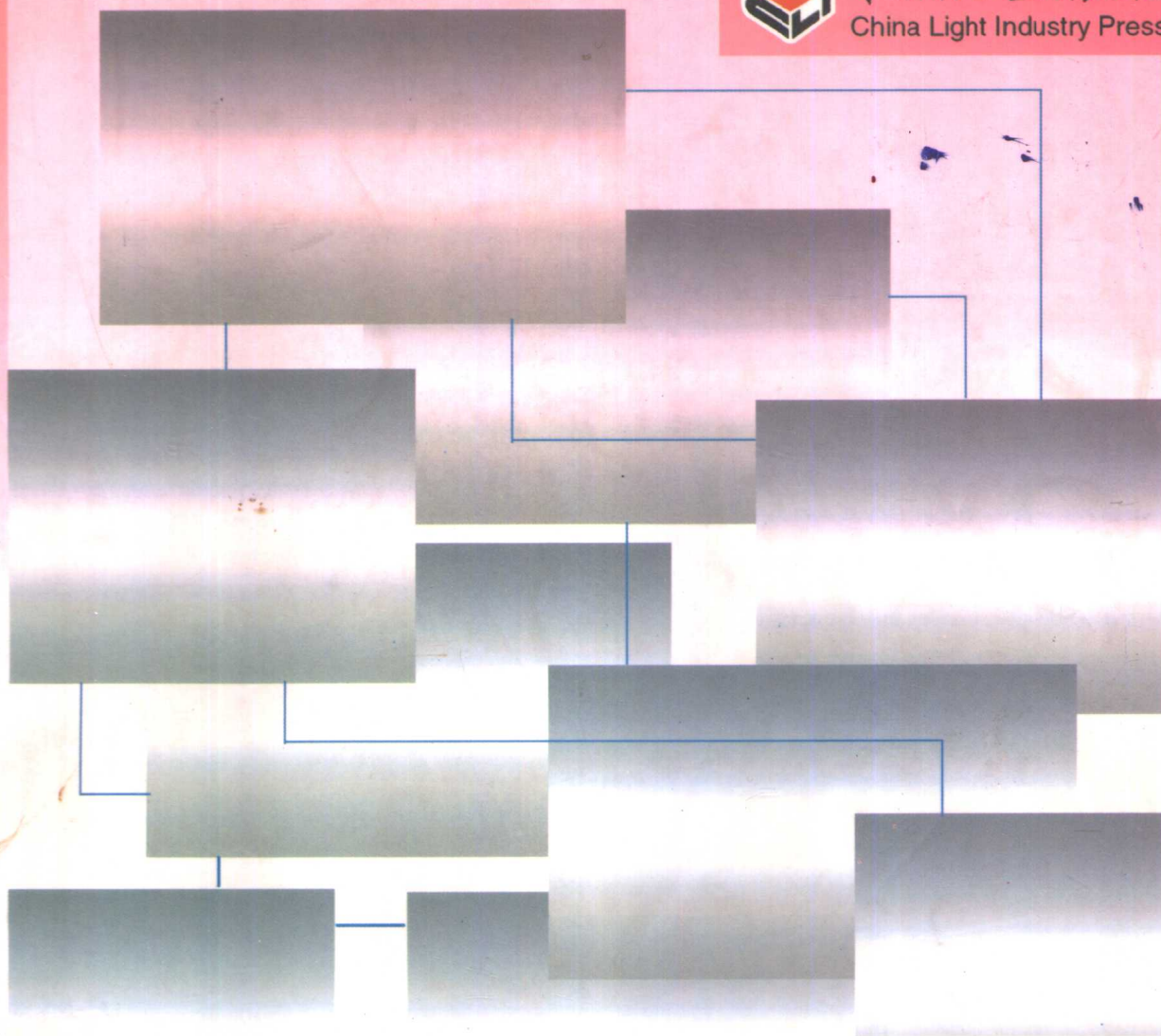




中国轻工业出版社
China Light Industry Press



工业过程 仪表与控制

陈诗滔 主编

gongye guocheng yibiao yukongzhi

工业过程仪表与控制

主编 陈诗滔

编者 陈诗滔 孙苗钟 马雪花

胡瑜 李 宁 任乃斌

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

工业过程仪表与控制/陈诗滔主编. -北京: 中国轻工业出版社, 1998.9

ISBN 7-5019-2245-4

I. 工… II. 陈… III. 自动控制系统 IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 17598 号

责任编辑: 孟寿萱 封面设计: 崔 云

责任终审: 滕炎福 责任校对: 郎静瀛

*

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印 刷: 中国人民警官大学印刷厂

经 销: 各地新华书店

版 次: 1998 年 9 月第 1 版 1998 年 9 月第 1 次印刷

开 本: 787×1092 1/16 印张: 18.75

字 数: 434 千字 印数: 1—3000

书 号: ISBN 7-5019-2245-4/TP·043 定价: 32.00 元

· 如发现图书残缺请直接与我社发行部联系调换 ·

内 容 提 要

本书共分十章,以自动控制系统为体系,把工业自动化仪表作为组成工业自动控制系统的相应环节,完整体现工业自动化的整体内容。本书着重叙述工业自动化系统的组成及各组成环节的特性、工业自动化单元仪表(检测、变送、显示、控制、执行等)的组成、原理、特点及选择使用,讨论简单控制系统的分析、设计、投运和参数整定全过程,复杂控制系统的特点、使用场合和设计,最后介绍计算机控制系统的组成与应用。

本书可作为工科高等院校化工、轻工等工程工艺类专业仪表及控制课程的教材,也可作为职工大学、业余大学等专科学校相关专业同类课程的教材和有关企业的技术培训教材,还可供工程技术人员参考。

1757.4

目 录

绪论	1
一、工业过程自动化发展概况	1
二、本教材特点与要求	2
第一章 自动控制系统基本知识	4
第一节 自动控制系统的组成	4
第二节 自动控制系统控制流程图与方框图	5
一、自动控制系统工艺控制流程图	5
二、自动控制系统的方框图和常用术语	9
第三节 自动控制系统的分类	10
一、工业自动化系统的分类	10
二、自动控制系统的分类	11
第四节 自动控制系统的过渡过程与质量指标	12
一、自动控制系统的过渡过程	12
二、自动控制系统的质量指标	14
三、影响控制系统质量指标的因素	16
思考题与习题	17
第二章 被控对象的特性	19
第一节 概述	19
一、工业过程被控对象的类型与特点	19
二、工业过程被控对象的描述方法	20
第二节 被控对象数学模型的建立	20
一、一阶对象数学模型	20
二、二阶对象数学模型	22
三、积分对象数学模型	23
第三节 描述被控对象特性的参数	24
一、被控对象的负荷及自衡	24
二、放大系数 K	25
三、时间常数 T	26
四、滞后时间 τ	28
第四节 被控对象特性的实验测定方法	30
一、阶跃扰动法	31
二、矩形脉冲扰动法	32
思考题与习题	33

第三章 工业过程参数的检测仪表	35
第一节 工业自动化仪表概述	35
一、工业自动化仪表的分类	35
二、工业自动化仪表的主要性能指标	39
第二节 压力检测仪表	42
一、压力检测方法 & 仪表类型	42
二、弹性式压力仪表	43
三、电气式压力仪表	46
四、压力检测仪表的选用与安装	50
第三节 温度检测仪表	54
一、温度的表示方法及测量仪表的分类	54
二、热电偶温度计	57
三、热电阻温度计	66
四、温度检测仪表的选用与安装	70
第四节 流量检测仪表	72
一、流量的表示方法及仪表的分类	72
二、差压式流量计	73
三、转子流量计	78
四、电磁流量计	83
五、涡轮流量计	85
六、椭圆齿轮流量计	86
七、流量检测仪表的选用	87
第五节 物位检测仪表	89
一、物位测量方法及仪表的分类	89
二、浮力式液位计	91
三、静压式液位计	93
四、差压式液位计	94
五、超声波式物位计	97
六、物位检测仪表的选用	98
思考题与习题	98
第四章 变送仪表	101
第一节 压力变送器	101
一、气动仪表的基本气动元件及组件	101
二、气动压力变送器 (QBY)	104
第二节 差压变送器	106
一、DBC 型电动差压变送器的工作原理	106
二、电动差压变送器的实际应用	108
第三节 温度变送器	110

一、DDZ-Ⅱ型电动温度变送器主要性能指标	110
二、DDZ-Ⅱ型电动温度变送器组成与原理分析	110
思考题与习题	113
第五章 显示仪表	114
第一节 动圈式显示仪表	114
一、配热电偶的XCZ-101型动圈式显示仪表	115
二、配热电阻的XCZ-102型动圈式显示仪表	119
第二节 自动平衡式显示仪表	120
一、自动平衡式电子电位差计	121
二、自动平衡式电子电桥	124
第三节 数字式显示仪表	126
一、数字式显示仪表的组成与原理	126
二、A/D转换	127
三、非线性补偿	130
四、信号的标准化及标度变换	130
五、普通数字化显示仪表组成举例	131
六、带微机的数字显示仪表	131
思考题与习题	132
第六章 自动控制仪表	134
第一节 概述	134
第二节 基本控制规律及其对控制过程的影响	135
一、双位控制规律	135
二、比例控制规律	136
三、积分控制规律	139
四、微分控制规律	141
五、比例积分微分控制规律	143
第三节 气动控制器	144
一、QTL-500型比例积分控制器	144
二、膜片式微分控制器	148
第四节 电动控制器	149
一、DTL-121型电动控制器的组成及原理	151
二、DDZ-Ⅲ型电动控制器	156
第五节 可编程控制器	164
一、概述	164
二、KMM可编程控制器	168
三、KMM可编程控制器应用举例	175
思考题与习题	176
第七章 执行器	178

第一节 气动执行器	178
一、气动执行器的组成和类型	178
二、控制阀的流量特性	182
三、控制阀的选择与计算	186
四、控制阀的安装与使用	191
第二节 阀门定位器	192
一、气动阀门定位器	192
二、电-气阀门定位器	193
三、阀门定位器的用途	194
四、气动执行器的型号	194
第三节 电动执行器	195
一、概述	195
二、电动执行机构的组成及工作原理	195
第四节 自控系统的其它单元仪表	197
一、计算单元仪表	198
二、转换单元仪表	199
三、辅助单元仪表	200
思考题与习题	202
第八章 简单控制系统	204
第一节 被控变量的选择	204
一、直接指标控制和间接指标控制	204
二、被控变量的选择原则	207
第二节 操纵变量的选择	207
一、被控对象的特性分析	207
二、操纵变量的选择原则	209
第三节 测量变送环节对控制系统的影响	209
一、检测元件安装引起的纯滞后问题	210
二、检测元件本身测量滞后的问题	210
三、测量信号传递滞后的影响	211
第四节 控制器控制规律的选择	211
一、根据对象特性和控制器特性选择控制规律	211
二、根据对象的 τ_0/T_0 比值来选择控制规律	212
三、控制器正、反作用的确定	212
第五节 执行器的选择	213
第六节 控制器参数的工程整定	213
一、经验整定法	214
二、临界比例度法	216
三、衰减曲线法	217

四、参数整定时应注意的问题	218
第七节 简单控制系统的投运	219
一、用电动仪表组成自动控制系统方案的实施	219
二、简单控制系统的投运	222
第八节 控制系统运行过程中常见故障分析	224
一、系统故障的基本分析方法	224
二、工业过程控制系统的故障分析	224
思考题与习题	226
第九章 复杂控制系统	228
第一节 串级控制系统	228
一、串级控制系统的组成与工作原理	228
二、串级控制系统的特点	230
三、串级控制系统的应用场合	231
四、串级控制系统的设计原则	234
五、串级控制系统的投运	237
六、串级控制系统的参数整定	239
第二节 比值控制系统	240
一、基本概念	240
二、常见的比值控制系统	241
三、比值控制系统比值系数的折算	243
四、比值控制系统的实施方案	244
五、比值控制系统控制器参数整定	246
第三节 前馈控制系统	247
一、前馈控制系统结构与原理	247
二、前馈控制系统常见的型式	248
三、前馈控制系统的特点与应用	251
第四节 均匀控制系统	252
一、均匀控制的概念与原理	252
二、均匀控制系统的类型	253
三、均匀控制系统控制器的选择	255
四、均匀控制系统控制器参数的工程整定	255
第五节 分程控制系统	255
一、基本原理与结构	255
二、分程控制系统的应用	257
三、分程控制系统实施时的几个问题	258
第六节 选择性控制系统	259
一、选择性控制的基本概念	259
二、选择性控制系统的类型	260

三、选择性控制系统设计和实施时的几个问题·····	262
思考题与习题·····	264
第十章 计算机控制系统·····	266
第一节 计算机控制系统简介·····	266
一、概述·····	266
二、计算机控制系统的一般组成·····	266
三、计算机控制系统的特点·····	270
第二节 工业计算机控制系统的类型·····	270
一、直接数字控制系统 (DDC) ·····	270
二、计算机监督控制系统 (SCC 或 SPC) ·····	274
三、分级计算机控制系统·····	276
四、集散型计算机控制系统 (DCS) ·····	277
五、DDC 系统的应用实例 ·····	278
思考题与习题·····	281
参考文献·····	282
附录一 常用压力表规格型号·····	283
附录二 气动压力变送器规格型号·····	284
附录三 差压变送器的主要技术性能·····	284
附录四 动圈式仪表型号中各节、各位的代号及所表示的意义·····	286
附录五 自动平衡显示仪表型号中各节、各位的代号及所表示的意义·····	286
附录六 各种调节阀特性比较·····	287

绪 论

一、工业过程自动化发展概况

在科学技术发展过程中,自动控制起着重要的作用。本世纪科学技术领域发展最快的三大技术是自动化技术、计算机技术和生物工程技术。

工业过程自动化一般是指化工、轻工、石油、纺织、冶金、机械、电力等工业生产过程的自动化,即采用各种自动检测仪表、控制仪表、显示仪表及计算机等自动化仪表或装置,对整个生产过程进行自动检测、监督和控制,以实现各种最优控制和经济指标,保证生产的质量和产量,提高经济效益和劳动生产率,节约能源,改善劳动条件,保证生产安全,保护环境,减少污染等。

在本世纪 40 年代前,工业生产大多数还是处于手工操作的状态,人们主要靠经验去控制生产过程,参数靠人工观察,操作也靠人工去执行,所以劳动生产率较低,质量差,经济效益低,劳动强度大。

自 40 年代以后,由于自动化仪表获得惊人的发展,生产过程自动化也得到迅速发展。尤其是近二十多年以来,自动化技术的发展更为迅速。纵观自动化技术在工业生产中的发展历史,大致经历了这样的三个阶段:

第一阶段:50 年代末以前,随着生产劳动费用和生产设备成本的增长,工厂生产设备也向大容量、高性能发展,这时的自动控制就成了不可缺少的手段了。这个时期自动化的特点是:自动控制系统的结构形式绝大部分都是单输入、单输出的系统(如压力、温度、流量、液位参数系统)。实现控制系统的控制理论是用传递函数进行数学描述,以根轨迹法和频率特性法作为主要理论,应用反馈原理分析和综合系统基本方法的经典控制理论。主要解决单输入、单输出的简单定值控制系统的分析和综合问题,控制目的是保持生产的稳定和安全。相应的自动化仪表出现了自力式仪表、气动仪表及把测量、记录和控制等组装在一个表壳里的基地式仪表和部分电动模拟仪表。总的来说,当时的自动化水平还处于低级阶段,一些工业企业生产过程实现了仪表化和局部自动化。

第二阶段:50 年代末至 60 年代末,由于工业生产过程不断迅速地向着大型化、连续化方向发展,工业过程中的非线性、耦合性和时变等特点已十分突出,简单控制系统已经不能满足生产要求,迫切需要满足复杂工业过程自动控制的新理论。同时电子技术、空间技术的发展和电子计算机的应用都为自动化发展提供了有利的条件。这一阶段的特点是:控制系统在单回路基础上发展了多回路系统,以提高质量与实现工业特殊要求的控制。控制系统由单变量系统转向多变量系统,解决实际生产过程中遇到的更为复杂的问题。在控制理论方面,除了经典控制理论以外,出现了以状态空间分析法及最小二乘法为基础的系统辨识,以极大值原理和动态规划为主要方法的最优控制、以卡尔曼滤波理论为核心的最佳估计等现代控制理论。现代控制理论在分析与综合系统时,已经从经

典控制理论的外部现象深入到揭示系统内在规律性，从局部控制发展到在一定条件意义下的全局的最优化。现代控制理论是人们对控制技术在认识上的一次质的飞跃，它为今后实现更高水平的自动化奠定了理论基础。在控制技术工具方面，随着大型工业生产向综合自动化和集中控制方面发展，开始大量采用了统一标准仪表信号的单元组合仪表（电动、气动），出现了组装式电子综合装置，把各单元划分为更小的功能块，以适应比较复杂的模拟和逻辑相结合的控制系统需要。同时，工业控制计算机也开始应用于过程控制领域，出现了用计算机代替模拟控制器的直接数字控制（DDC）和用计算机来确定模拟控制器或 DDC 回路最优设定值的监督控制（SPC）。但是由于当时计算机体积庞大，价格昂贵，而且可靠性和功能方面还存在不少问题，使计算机控制停留在试验性阶段。这一期间，工厂和企业实现了大型装置或车间等集中综合控制和生产过程自动化。

第三阶段：自 70 年代以后，微电子技术的发展，大规模集成电路制造成功和微处理器的出现，微型计算机的出现及应用都促进了控制系统的发展。同时工业生产提出了以优质、高产、低耗为目标的控制要求，也促进了现代控制向深度和广度发展。这一阶段的特点是：现代工业生产过程迅速发展，要求控制系统出现更高一级系统结构和控制规律，出现了多变量、变参数控制系统及数字控制、最优控制、自适应控制、集散型控制系统（DCS），即集计算机技术、控制技术、通讯技术和图形显示（4C）技术于一体的计算机控制系统。这种系统在结构上的分散，把计算机分布到车间或装置级上，不仅使系统危险分散，消除了全局性的故障节点，同时增加了系统的可靠性，且可以灵活方便地实现各种新型控制规律和算法，便于系统的分批调试与投运等。DCS 的出现及应用，为实现高水平的自动化提供了强有力的技术基础，给工业生产过程自动化向高层次发展带来了深远的影响，使自动化进入计算机时代。同时自动化的概念也发生了变化，已不再局限于工业工程技术领域，还包括社会经济和生物生态等各种领域，提出了以现代控制、系统工程和运筹学相结合的大系统理论。而控制理论与其它学科的相互交叉、相互渗透着向更纵深方向发展，形成第三代现代大系统理论和智能控制理论，还有状态反馈理论、最优控制、非线性系统、分布参数系统、解耦控制、随机控制、容错控制技术、系统识别、模糊控制等现代先进控制理论。自动化技术工具方面也出现了飞跃，出现电动、气动Ⅲ型单元组合仪表，适应性、功能性更强的数字化系列的组合仪表，采用微机控制的智能型单元组合仪表，可编程控制器等。这使得现代工业自动化发生了巨大的变革，它不但突破了工程技术领域，而且从局部控制进入了全局控制，既有若干个子系统的闭环控制，又有大系统的协调全面控制、最优控制、决策管理和信息管理，即出现控制与管理一体化的新型自动化模式，工业自动化系统在大量获取生产过程和市场信息的基础上，科学地安排、调度生产，充分发挥设备的生产能力，最终达到优质、高产、低耗的最佳控制目标。

二、本教材特点与要求

为适应工业生产过程向着大型化、复杂化、连续化、快速化以及高产、优质、高效、安全的方向飞速发展，工业生产过程自动化也必将越来越受到重视和得到越来越广泛的应用。要实现工业生产过程的自动化，不但需要各类自动化专业人员，而且还需要有各

类工艺专业人员、设备设计与管理人員的互相配合，因而有必要使他们也掌握实现现代工业生产过程自动化方面的必要知识。本书主要结合工艺类各专业的特点和课程的要求，内容以自动控制系统为体系，重视基础，结合实际，力求系统性和实用性，着重叙述工业自动控制系统和自动化仪表方面的知识。通过本书的学习，能掌握自动控制系统的组成、原理及各环节的作用，能了解工业生产对象的基本特性及其对控制质量的影响，了解基本控制规律及参数变化对控制质量的影响，掌握生产过程常见参数的测量方法及仪表原理、特点。在此基础上能合理地选择自动控制系统中使用的自动化仪表，掌握简单自动控制系统的设计、投运及参数整定，能根据工艺和自动控制两方面的要求与自控设计人员共同讨论、拟订合理可行的各种自动控制方案等。总之，通过本书的学习，可以使各类工艺专业人员掌握工业过程仪表与控制的基本知识，为今后更进一步研究工业自动化打下基础。

第一章 自动控制系统基本知识

第一节 自动控制系统的组成

在工业生产中,各种生产工艺过程都必须在一种预先规定的工况条件下进行。例如化学反应器内的反应温度要保持稳定,锅炉汽包的水位应维持在规定的范围内,精馏塔塔压与温度的稳定,溴生产中溴塔的温度保持一定,氯化钾生产中的兑卤比要达到工艺规定的比值范围,还有如食品工业中发酵罐发酵温度、混合气体的组成、溶液的酸碱度等。这些工业生产过程中的工艺变量,都要根据工艺要求加以严格控制,才能保证达到生产的高质、高产、节能、减少污染、安全生产等目的。

要实现对工业生产过程中各种工艺参数的控制,可以有人工控制和自动控制两种。自动控制系统是在人工控制基础上发展起来的。所以,要了解自动控制,先分析人工控制过程。

图 1-1 所示是一个工业生产传热单元操作过程中常用的换热器。生产中利用蒸汽为载热体加热物料,使冷料的温度达到规定的出口温度。当生产过程中遇到各种干扰因素的影响时,换热器出口物料的温度就会发生波动。这时人工控制过程是这样的:操作人员首先通过眼睛观察换热器出口温度仪表的指示值,计算出温度指示值与工艺规定的温度值之间的差值,然后根据偏差大小及方向发出相对应的操作命令,通过手去操纵蒸汽阀门开度,改变蒸汽流量,直至出口温度指示值回到规定的温度值上。这种人工控制劳动强度大,长期操作易疲劳,易造成操作失误,难以满足工艺复杂、生产变化频繁、工艺要求较高的现代大型连续化生产的要求。

图 1-2 所示为用自动化仪表组成的换热器温度自动控制示意图。它模仿人工控制的

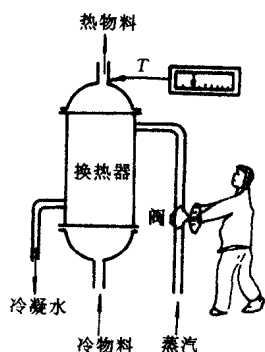


图 1-1 换热器温度人工控制

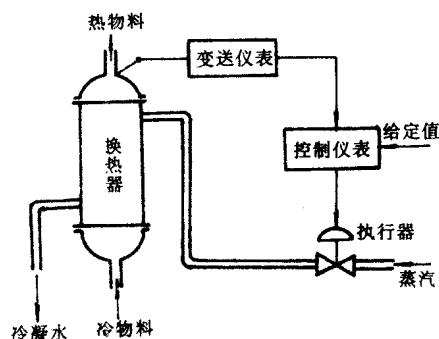
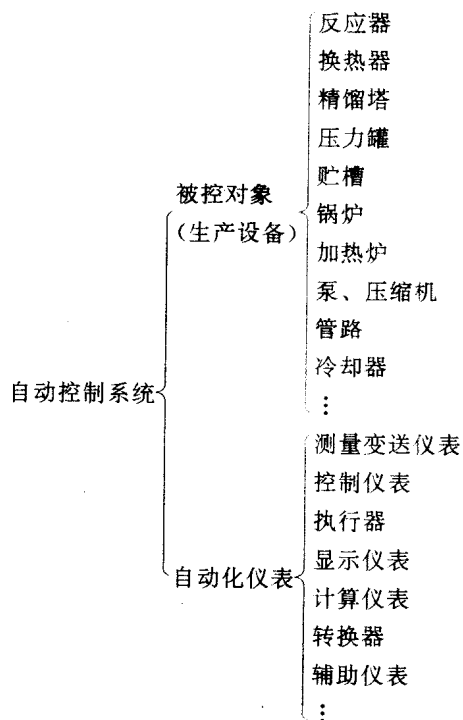


图 1-2 换热器温度自动控制

三个环节，用一只热电阻温度变送器代替人眼观察温度变化，并把温度转化成相应信号送到控制器去。控制器将测量值与工艺规定温度值信号进行比较，计算出偏差大小，按预先设计好的某种控制规律进行运算并输出控制信号给执行器。执行器根据信号变化增大或减小阀门的开度，改变进入热交换器的蒸汽量，从而实现了温度的自动控制。

从上面自动控制过程分析可知，要实现对换热器出口物料温度的自动控制，至少应有三个环节的自动化装置或仪表，即测量变送器、控制器和执行器。

要组成一个简单自动控制系统，除了具有上述的基本自动化装置以外，还应包括由自动化仪表所控制的生产工艺设备，即被控对象。所以一个自动控制系统的组成为：



第二节 自动控制系统控制流程图与方框图

一、自动控制系统工艺控制流程图

在表示一个工艺生产过程的自动控制系统时，常用带控制点的工艺流程图来表示。在自控系统工程设计中，它是自控设计的主要内容之一，是由工艺人员和自控人员共同研究绘制的。

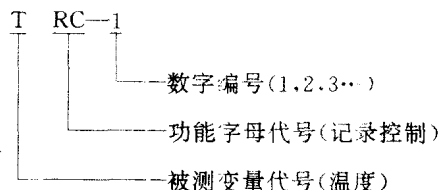
带控制点工艺流程图是用自控设计的文字符号和图形符号在工艺流程图上描述生产过程自动控制的原理图。在绘制带控制点工艺流程图时，要制定控制方案，要考虑被控变量、测量点位置、操纵变量的实现方法以及每个控制系统相互间的关系等。

自动控制系统常用图形符号见表 1-1。

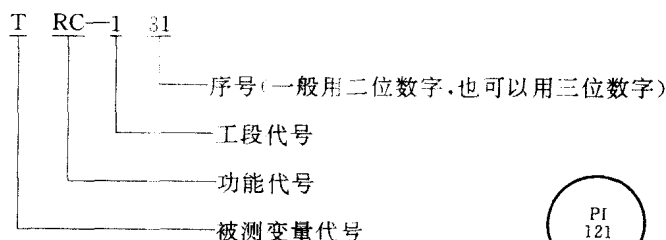
自动控制系统常用被测变量和仪表功能的字母代号见表 1-2。

在检测、控制系统中，构成一个回路的每个仪表（或元件）都应有自己的位号。仪表位号由字母代号组合和阿拉伯数字编号组成。在仪表位号中，第一位字母表示被测变量，后继字母表示仪表的功能；数字编号可以按装置或工段（区域）进行编制。

按装置编制的数字编号，只编回路的自然数顺序号，如下例所示：



按工段编制的数字编号，包括工段号和回路顺序号，一般用三位或四位数字表示，如下例所示：



在工艺管道及控制流程图中，标注仪表位号的方法是：字母代号填写在圆圈上半圆中；数字编号填写在圆圈下半圆中，如图 1-3 所示。

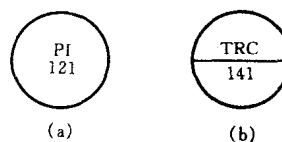


图 1-3 仪表位号标注方法
(a) 就地安装 (b) 集中盘面安装

表 1-1 自控系统常用图形符号

内 容	符 号
测量点 各种测量点的通用表示方法 热电偶 热电阻 节流元件 取压点	    
变送器 各种变送器通用表示方法	
检测仪表、显示 仪表、控制器 就地安装 就地集中盘面、盘后安装 控制室表盘面、盘后安装	    

续表

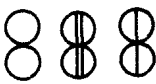
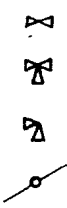
内 容		符 号
复式仪表	就地安装 机组盘或就地集中安装 控制室表盘安装	
执行机构	气动薄膜执行机构 电磁执行机构 电动执行机构	
阀	直通阀 三通阀 角阀 蝶阀	
执行机构与阀组合	气闭式气动薄膜调节阀 气开式气动薄膜调节阀 带阀门定位器的气动薄膜调节阀	

表 1-2 自控系统常用被测变量和仪表功能字母代号

字母	第一位字母		后继字母	字母	第一位字母		后继字母
	被测变量或初始变量	修饰词	功能		被测变量或初始变量	修饰词	功能
A	分析		报警	N	供选用		供选用
B	喷嘴火焰			O	供选用		节流孔
C	电导率		控制(调节)	P	压力或真空		试验点(接头)
D	密度或相对密度	差		Q	数量或件数	积分、 积算	积分、积算
E	电压(电动势)		检测元件	R	放射性		记录或打印
F	流量	比(分数)		S	速度或频率	安全	开关或联锁
G	长度(尺寸)		玻璃	T	温度		传送
H	手动			U	多变量		多功能
I	电流		指示	V	粘度		阀、挡板、百叶窗
J	功率	扫描		W	重量或力		套管