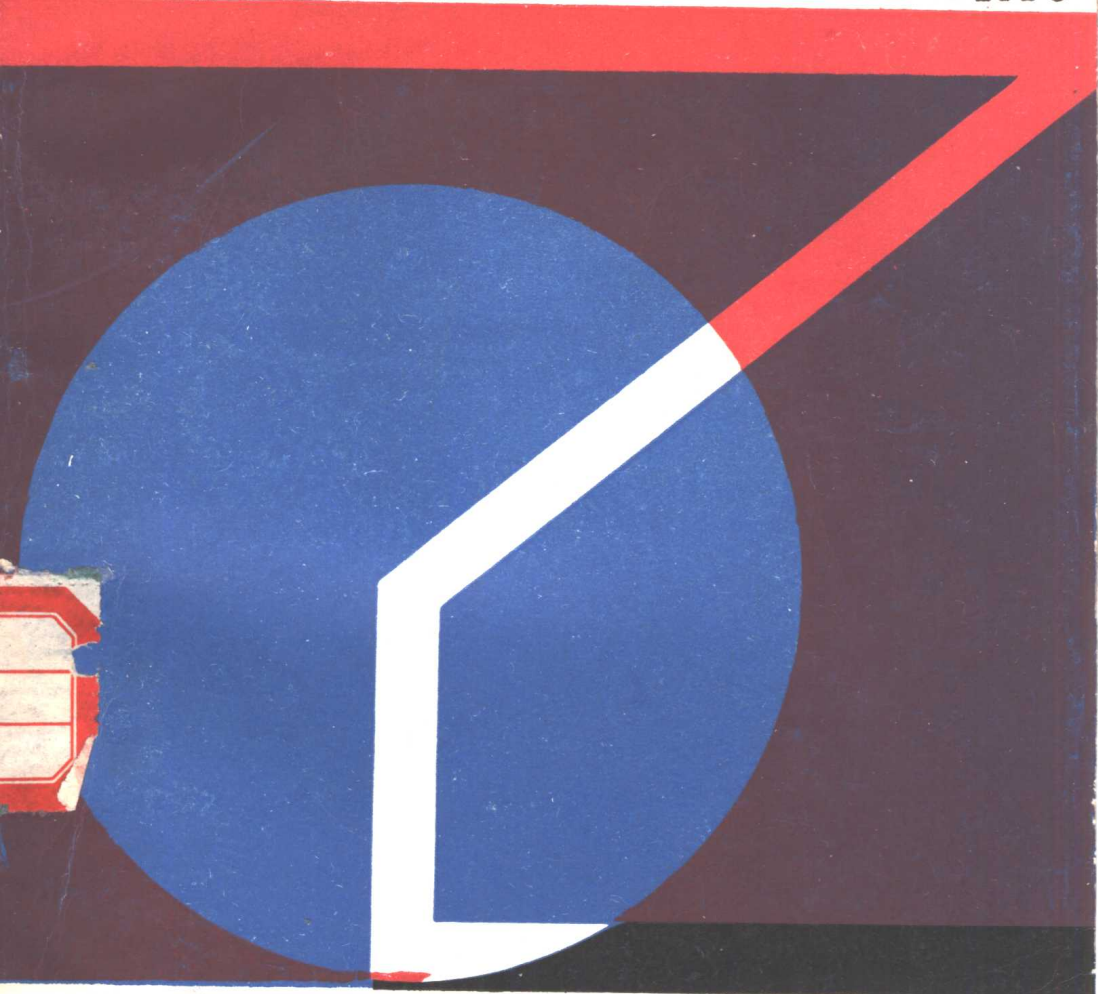


化工自动化 及仪表

张蕴端 主编

HUA GONG ZI DONG HUA JI YI BIAO



上海交通大学出版社

化工自动化及仪表

(工艺类专业)

张蕴端 主编

上海交通大学出版社

内 容 提 要

本书以自动控制系统为体系(包括检测、变送、显示、控制及执行器等),着重叙述化工自动化和测量原理,系统的组成,自动化仪表的原理、特性及其对控制质量的影响;分析了简单控制系统,包括系统设计、投运和参数整定;结合典型化工单元控制方案,介绍了复杂控制系统的特点及适用场合,最后对计算机控制进行了简单介绍。

本书可作为高等学校化工工艺类专业《化工自动化仪表》课程的教材,也可供从事化工工艺生产的工程技术人员参考。

化工自动化及仪表
上海交通大学出版社出版
(淮海中路1984弄19号)
新华书店上海发行所发行
浙江上虞汤浦印刷厂排版
江苏吴县树山印刷厂印装

开本850×1168毫米 1/32 印张11.5 字数288千字

1987年6月第1版 1987年6月第1次印刷

印数: 1—12,000

统一书号: ISBN7-313-00028-3/TQ1 科技书目: 153—303

定价: 2.70元

前 言

化工生产过程自动控制是一门综合性的技术学科，它与工艺有着紧密联系。现代化的化工生产过程，除了要求工艺人员通晓工艺和设备外，还要求有自动控制方面的基本知识，以便于：①能为自控设计提供正确的工艺条件和数据；②能在生产启、停过程中了解自控系统的投运方法、参数整定等；③能根据工艺和自动控制两方面的需要，与自控设计人员共同讨论，拟订出合理可行的自动控制方案。

为了使工艺人员达到上述要求，我们编写了这本适合化工工艺专业学生使用的《化工自动化及仪表》教材。本书结合化工工艺类专业的要求和特点，以自动控制系统为体系，着重叙述化工自动控制和测量原理，系统的基本组成及在设计、运行中与工艺有关的知识要点，并结合实例进行分析，力求深入浅出，便于学生自学。

本书由华东化工学院张蕴端主编，参加编写的还有张全福、朱渭清、程述贤等同志。浙江大学王骥程教授审阅了本书全稿，在此表示感谢。

教材建设是一项十分重要，又是十分艰巨、细致和需要不断总结、反复提炼的工作。由于我们水平、经验等诸方面的限制，书中如有错误和不妥之处，真诚地希望读者批评指正。

编 者

1986年6月

目 录

第一章 自动控制系统概述	1
§ 1-1 自动控制系统的类型.....	3
一、开环控制系统.....	4
二、闭环控制系统.....	4
§ 1-2 静态和动态.....	8
§ 1-3 闭环控制系统的过渡过程及其品质指标.....	9
一、闭环控制系统的过渡过程.....	9
二、控制系统的品质指标.....	12
§ 1-4 组成闭环控制系统的自动化仪表简介.....	14
一、单元组合仪表.....	14
二、基地式仪表.....	15
思考题.....	16
第二章 检测元件和变送器	17
§ 2-1 温度的检测和变送.....	18
一、热电偶.....	19
二、热电阻.....	22
三、热电偶和热电阻的动态特性.....	24
四、DBW 电动温度变送器.....	28
§ 2-2 流量、液位、压力的检测和变送.....	36
一、流量检测.....	36
二、液位检测.....	41
三、压力检测.....	43
四、QBC 气动差压变送器.....	43

五、QBY 气动压力变送器	49
六、DBL 电动靶式流量变送器	51
§ 2-3 成分检测	52
一、常用成分仪表的类型	52
二、成分检测的静态特性、影响静态特性的 误差因素及排除措施	56
三、成分检测的动态特性	57
思考题	58
第 三 章 显示仪表	60
§ 3-1 动圈式指示仪表	61
一、配热电偶的 XCZ-101 动圈指示仪	62
二、配热电阻的 XCZ-102 动圈指示仪	63
§ 3-2 自动平衡式指示记录仪表	64
一、电子电位差计	64
二、电子自动平衡电桥	68
思考题	71
第 四 章 对象特性	72
§ 4-1 对象特性的一般分析	75
一、放大系数 K	75
二、时间常数 T	79
三、时滞(滞后时间) τ	82
§ 4-2 简单对象的数学描述	85
一、单容对象的动态方程	85
二、双容对象的动态方程(二阶液位对象)	89
§ 4-3 对象特性的实验测定	89
一、阶跃扰动法	90
二、矩形脉冲扰动法	92
三、周期扰动法	93

四、统计相关法	93
思考题	94
第五章 执行器——气动薄膜调节阀	95
§ 5-1 气动薄膜调节阀的结构及类型	95
一、气动薄膜调节阀的结构	95
二、气动薄膜调节阀的类型	98
§ 5-2 调节阀的静态特性——流量特性	102
一、调节阀的理想流量特性	103
二、调节阀的工作流量特性	105
§ 5-3 调节阀的动态特性	108
§ 5-4 调节阀的选择与计算	110
一、调节阀的选择	110
二、调节阀的计算	113
§ 5-5 调节阀的变差	115
§ 5-6 阀门定位器	116
一、阀门定位器的工作原理	116
二、阀门定位器的作用	119
§ 5-7 调节阀的安装、使用	120
思考题	121
第六章 调节器	122
§ 6-1 调节器的基本控制规律	123
一、双位控制	123
二、比例控制(P)	126
三、比例积分控制(PI)	131
四、比例微分控制(PD)	138
五、比例积分微分控制(PID)	142
§ 6-2 单元组合式调节器	146
一、电动Ⅱ型调节器(DTL-121、DTL-321)	147

二、DDZ-Ⅲ型电动调节器	160
三、气动调节器	164
§ 6-3 其他调节仪表	167
一、数字式控制仪表	167
二、气动集装式调节仪表	168
思考题	170
第 七 章 组成自动控制系统的其他环节	171
§ 7-1 计算单元	171
一、开方器	171
二、乘除器	172
三、加减器	173
四、比值器和分流器	173
§ 7-2 转换单元	174
一、电-气转换器	174
二、频率转换器	175
§ 7-3 辅助单元	175
一、Q型操作器	175
二、遥控板	177
思考题	179
第 八 章 简单控制系统的设计、投运及调节	
器参数的工程整定	180
§ 8-1 简单控制系统的设计	180
一、被控变量的选择	181
二、操作变量的选择	183
三、检测变送环节对控制系统的影响	186
四、控制规律的选择	189
五、气动薄膜调节阀特性的选择	190
§ 8-2 简单控制系统的投运	191

§ 8-3 调节器参数的工程整定	193
一、经验法	194
二、临界比例度法	197
三、衰减曲线法	198
思考题	199
第九章 复杂控制系统	201
§ 9-1 串级控制系统	201
一、串级控制系统的基本概念	201
二、串级控制系统的特点及适用场合	205
三、串级控制系统的设计	209
四、串级控制系统的构成方案	213
五、串级控制系统的投运和参数整定	214
§ 9-2 均匀控制系统	215
一、均匀控制系统的目的和要求	215
二、均匀控制系统的形式	217
三、调节器控制规律和调节器参数的选择	218
§ 9-3 比值控制系统	219
一、比值控制系统的类型	220
二、比值控制系统的构成方案	223
三、比值系数 K 的计算	225
四、比值控制系统的整定	228
§ 9-4 分程控制系统	228
一、分程控制的应用	229
二、分程控制对调节阀的要求	232
§ 9-5 前馈控制系统	234
一、前馈控制和反馈控制	234
二、前馈控制系统的结构形式	236
三、前馈参数整定	240

四、前馈控制系统的应用	240
§ 9-6 选择性控制系统	242
一、选择性控制系统的概念	242
二、选择性控制系统的类型	243
三、积分饱和及其防止措施	246
四、选择性控制系统的选型	248
§ 9-7 多冲量控制系统	249
一、单冲量控制系统	249
二、双冲量控制系统	250
三、三冲量控制系统	252
思考题	254
第十章 典型化工单元的控制方案	255
§ 10-1 流体输送设备的控制方案	255
一、泵的控制方案	256
二、压缩机的控制方案	260
§ 10-2 传热设备的控制方案	266
一、两侧均无相变的换热器的控制方案	267
二、载热体进行冷凝的蒸汽加热器的控制方案	270
三、载热体进行汽化的氨冷器的控制方案	272
四、管式加热炉的控制方案	273
五、锅炉燃烧过程的控制方案	276
§ 10-3 精馏塔的控制方案	278
一、工艺要求	278
二、扰动分析及操作变量和被控变量的选择	279
三、按精馏段指标的控制方案	282
四、按提馏段指标的控制方案	284
五、压力控制	286
六、内回流及热焓控制	290

七、其他控制方案简介·····	292
§ 10-4 化学反应器的控制方案·····	294
一、反应器的控制要求及被控变量的选择·····	294
二、反应器的控制方案·····	296
三、化学反应器控制方案举例·····	299
思考题·····	302
第十一章 计算机控制系统·····	303
§ 11-1 直接数字控制系统(DDC) ·····	304
§ 11-2 计算机监督控制系统(SCC 或 SPC) ·····	306
一、SCC 加模拟调节器的控制系统 ·····	306
二、SCC 加 DDC 的控制系统 ·····	307
§ 11-3 分级控制系统·····	310
§ 11-4 过程动态数学模型·····	312
一、动态数学模型的类型·····	312
二、建立动态数学模型的途径·····	313
思考题·····	315
附录 1 镍铬-镍硅(镍铬-镍铝)热电偶分度表·····	316
附录 2 镍铬-考铜热电偶分度表 ·····	325
附录 3 铂铑10-铂热电偶分度表 ·····	326
附录 4 铂热电阻分度表(Pt 50) ·····	338
附录 5 铂热电阻分度表(Pt 100)·····	343
附录 6 铜热电阻分度表·····	348
附录 7 气动调节阀型号编制说明·····	350
附录 8 气动薄膜调节阀主要技术数据·····	352
附录 9 ZM ^A _B S- ³²⁰ / ₂₂₀ 型气动薄膜调节阀技术数据·····	354
附录10 C 值计算公式表·····	355
参考文献·····	356

第一章 自动控制系统概述

在化工生产中,对各个工艺生产过程中的物理量(或称工艺变量),有着一定的控制要求。有些工艺变量直接表征生产过程,对产品的数量和质量起着决定性的作用。例如,精馏塔的塔顶或塔釜温度,一般在操作压力不变情况下,必须保持一定,才能得到合格的产品;加热炉出口温度的波动不能超出允许范围,否则将影响分馏效果;化学反应器的反应温度必须保持平稳,才能使效率达到指标。有些工艺变量虽不直接地影响产品的数量和质量,然而保持其平稳却是使生产获得良好控制的前提。例如,用蒸汽加热反应器或再沸器,在蒸汽总压波动剧烈的情况下,要把反应温度或塔釜温度控制好将极为困难;中间贮槽的液位高度和气柜压力,必须维持在允许范围之内,才能使物料平衡,保持连续的均衡生产。有些工艺变量是决定安全生产的因素。例如,锅炉汽包的水位、受压容器的压力等,不允许超出规定的限度,否则将威胁生产的安全。还有一些工艺变量直接鉴定产品的质量,例如,某些混合气体的组成、溶液的酸碱度等。对于以上各种类型的变量,在化工生产过程中,都必须加以必要的控制。

为了实现控制的要求,可以有两种方式,一是人工控制,二是自动控制。后者是在人工控制的基础上发展起来的,使用了自动化仪表等控制装置来代替人的观察、判断、决策和操作。

下面举例来说明什么是自动控制系统。

生产蒸汽的锅炉设备在电厂、化工厂中是常见的。要保证锅炉正常运行,维持锅炉水位为规定数值是很重要的。水位过低易烧干锅炉而发生严重事故;水位过高则又易使蒸汽夹带水分,因此要

求自动控制锅炉水位高低,以保证其正常运行。

当蒸汽耗汽量与锅炉进水量相等时,水位保持在规定的数值上,若锅炉的给水量不变,当蒸汽负荷突然增加或减少时,将会使水位下降或上升;或者,当蒸汽负荷不变而给水水压发生变化时,也会影响水位。为此设置的自动控制系统由气动单元组合仪表组成,如图 1-1 所示。检测元件和变送器的作用是检测水位高低,当

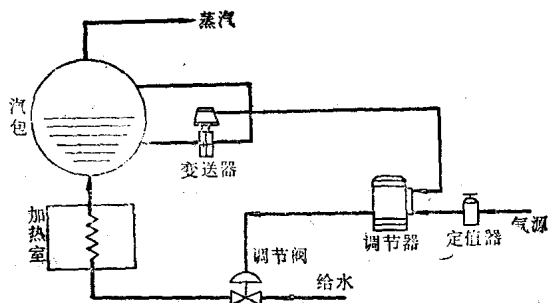


图 1-1 锅炉水位自动控制示意图

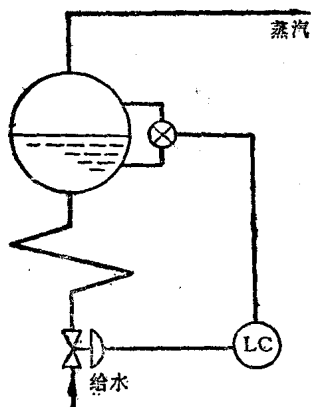


图 1-2 锅炉带控制点
工艺流程图

水位高度与正常水位之间出现偏差时,调节器就立刻根据偏差进行控制,去开大或关小给水阀门,使水位恢复到规定数值。

要实现对锅炉水位的自动控制,至少必须要有检测元件(包括变送器)、调节器、调节阀及锅炉等四个部分,它们组成一个简单的自动控制系统。温度、流量、压力、成分的控制系統同样也是由这四部分组成。将图 1-1 画成带控制点的工艺流程图则如图 1-2 所示。

现在我们结合锅炉水位控制的例子来说明控制系统中应用的几个术语。

被控对象 需要实现控制的设备、机器或生产过程，称为被控对象，例如锅炉。

被控变量 对象内要求保持设定数值（接近恒定值或按预定规律变化）的物理量，称为被控变量，例如水位。

操作变量 受到控制装置（如调节器）操纵，用以使被控变量保持设定值的物料量或能量，称为操作变量，如锅炉给水。

扰动（干扰） 除操作变量以外，作用于对象并引起被控变量变化的因素，称为扰动。负荷（处理量）变化就是一种典型的扰动。如锅炉水位控制中蒸汽用量的变化。

设定值 被控变量的预定值称为设定值。

偏差 偏差理论上应该是被控变量的设定值与实际值之差。但是，能够直接获取的信息是被控变量的测量值而不是实际值，因此通常把设定值与测量值之差作为偏差。

§ 1-1 自动控制系统的类型

在生产过程中，被控变量偏离设定值的主要原因有以下三个方面。

1) 大多数情况下是由于扰动的出现，这时操作变量必须作相应变动，否则被控变量将发生变化。以蒸汽加热器为例，当冷流体的流量增加时，若不相应地加大蒸汽流量，出口温度将会下降。

2) 在设定值改变时，若不改变操作变量的数值，被控变量不可能适应新的要求。例如，要提高蒸汽加热器的出口温度，如果冷流体的流量和入口温度不变，则必须加大蒸汽量。

3) 即使设定值不变，扰动也不出现，在操作变量不作调节的情况下，长期保持平衡也非常困难。以液体贮槽为例，即使流出量

恒定不变,流入量也不可能非常精确地等于流出量,时间一长,累积误差将越来越大,从而引起液位变化。

由于种种原因,被控变量不可避免地会发生变化,因此,必需选择适当的控制系统对被控变量进行控制。

按控制系统的基本结构,可以分为开环控制系统和闭环控制系统两大类。

一、开环控制系统

开环控制系统又分两种,一种是按设定值进行控制,如蒸汽加热器,其蒸汽流量与设定值保持一定的函数关系,当设定值变化时,操作变量随之变化,图 1-3 a. 即为其原理图。另一种是按扰动进行控制,即所谓前馈控制。在蒸汽加热器中,如果负荷是主要扰动,则使蒸汽流量与冷流体流量保持一定的函数关系,当扰动出现时,操作变量随之变化。图 1-3 b 即为其原理图。

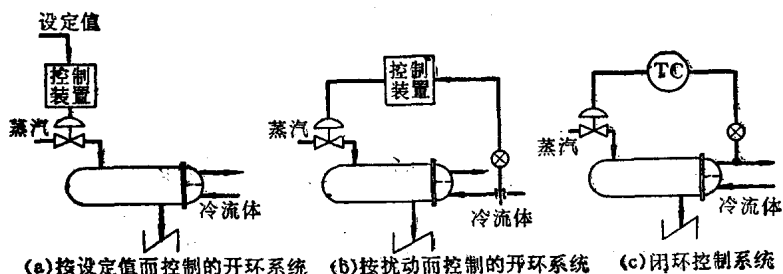


图 1-3 控制系统的基本结构

二、闭环控制系统

闭环控制系统又称反馈控制系统,有时也称自动调节系统,它是按偏差进行控制的。在蒸汽加热器的出口温度控制系统中,温度调节器接受检测元件及变送器送来的测量信息,并与设定值

相比较,根据偏差情况,按一定的控制规律,调整蒸汽阀门的开度,以改变蒸汽量。图 1-3 c 即为其原理图。

由图 1-3 c 可以看出,操作变量(蒸汽量)会通过对象去影响被控变量(温度),而被控变量又会通过自动控制装置去影响操作变量。从信息的传送关系来看,构成了一个闭合的回路,所以称为闭环控制系统。被控变量的信息要送回到自动控制装置,所以也称为反馈控制系统。

1. 闭环控制系统的类型

在闭环控制系统中,按照设定情况的不同,又可分为三种类型。

(1) 定值控制系统

所谓定值控制系统,是指这类控制系统的设定值是恒定不变的。例如蒸汽加热器在工艺上要求出口温度按设定值保持不变,因而它是一个定值控制系统。定值控制系统的基本任务是克服扰动对被控变量的影响,即在扰动作用下仍能使被控变量保持在设定值或其附近。

化工生产领域里的自动控制系统,凡要求工艺变量平稳不变的,都属于这种范畴。

(2) 随动控制系统(伺服系统)

随动控制系统也称为自动跟踪系统,这类系统的设定值是事先未知的时间函数。这类控制系统的主要任务是使被控变量能够尽快地、准确无误地跟踪设定值的变化,而不考虑扰动对被控变量的影响。在化工自动化中,有些比值控制系统就属于此类,例如要求甲流体的流量与乙流体的流量保持一定的比值,当乙流体的流量变化时,甲流体的流量能按一定比例随之变化。

(3) 程序(顺序)控制系统

这类控制系统的设定值也是变化的,但它是时间的已知函数,即设定值按一定的时间程序变化。在化工自动化中,间歇反应器、

玻璃熔化炉的升温控制系统都属于此类系统。近年来,程序控制系统应用日益广泛,一些定型的和非定型的程序控制装置越来越多地被应用到化工生产中。

2. 闭环控制系统的组成

任何一个自动控制系统,总是由对象和自动控制装置组成的。自动控制装置可以很简单,例如用浮球带动阀门的液位控制器;也可以相当复杂,例如采用工业控制机及其外围设备和接口。不论其结构如何,闭环控制系统的自动控制装置总要实现检测、判断、决策和操作的功能,可以用图 1-4 所示的方框图来表示。目前在化工自动控制系统中应用最广的是电动和气动的自动化仪表,本节就以它们为例,介绍闭环控制系统的组成。

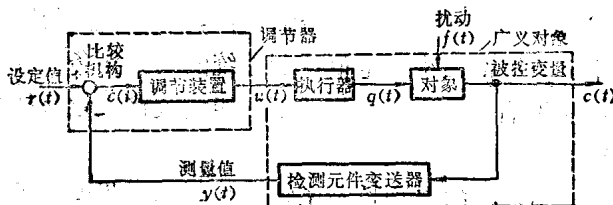


图 1-4 闭环控制系统的组成

本书采用下列符号：

$r(t)$ 设定值；

$y(t)$ 测量值；

$e(t)$ 偏差, $e(t) = r(t) - y(t)$ ；

$u(t)$ 调节器输出(控制作用)；

$c(t)$ 被控变量；

$q(t)$ 操作变量；

$f(t)$ 扰动。

检测元件和变送器的作用是把被控变量 $c(t)$ 转化为测量值