

蒋慰孙 俞金寿 编著

GUOCHENG

KONGZHI

GONGCHENG

过
程
控
制
工
程



机械工业出版社

过程控制工程

蒋慰孙
俞金寿 编著

烃加工出版社

内 容 提 要

本书主要讨论了过程控制系统的结构、原理、特点、适用场合、系统设计及应用等问题，并在分析了稳态和动态数学模型的基础上，阐述了石油化工生产过程中典型性单元操作及过程控制方案。本书的特点是基本理论与新的发展并重，理论与实际并重，并把计算机控制与常规控制结合在一起。

读者对象：从事过程控制的工程技术人员，亦可供有关专业的高校师生参考。

过 程 控 制 工 程

蒋慰孙 编著
俞金寿

轻工业出版社出版

化工印刷厂排版

海丰印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092 毫米 16开本 21印张 524千字 印1—45 00

1988年7月北京第1版 1988年7月北京第1次印刷

ISBN 7-80043-024-3/TH·002 定价：6.00元

目 录

第一章 概论	1
一、过程控制的发展与趋势	1
二、过程控制工程的研究对象与任务	3
三、工业自动化仪表和过程控制计算机的现状	4

上篇 控制系统

第二章 简单控制系统	8
第一节 典型结构和控制指标	8
一、典型结构	8
二、控制指标	10
第二节 过程特性	12
一、过程特性的类型	12
二、 K 、 T 、 τ 对调节品质的影响	14
第三节 检测元件及变送器的若干考虑	16
一、测量性能	16
二、动态特性	13
三、滤波及信号处理	18
第四节 执行器的一些问题	20
一、执行器的类型	20
二、流量特性	21
三、 S 值的选取	25
四、动态特性	26
五、阀门定位器的应用	28
第五节 连续PID控制算法	29
一、PID控制算法的一般形式	29
二、P作用控制算法	29
三、PI作用控制算法	32
四、积分饱和及其防止	33
五、PD作用控制算法	35
六、PID作用控制算法	37
第六节 离散PID控制算法	38
一、几类离散PID控制算法	38
二、DDC中离散PID控制算法的改进	40
三、控制度和采样周期的选择	43
四、用计算机实现DDC的一些问题	44

五、类似于离散 PID 的控制规律	46
六、连续系统方程的离散化	48
第七节 调节器参数整定和系统投运	51
一、调节器参数整定的若干原则	51
二、调节器参数整定的经验方法	52
三、调节器参数整定的反应曲线法	54
四、系统搬运	56
五、系统运行及故障分析	57
第三章 复杂控制系统	59
第一节 串级控制系统	59
一、基本原理和结构	59
二、功能和设计准则	60
三、工程设计和实施中的一些问题	64
四、引入辅助变量的控制系统	67
第二节 均匀控制系统	68
一、基本原理和结构	68
二、调节器参数整定	69
第三节 比值控制系统	71
一、基本原理和结构	71
二、两种形式控制方案的比较	72
三、比值系数的设置	74
四、方案实施的若干问题	75
五、比值控制系统的几种变型	77
第四节 前馈控制系统	78
一、基本原理和结构	78
二、系统设计	81
三、工程实施中的一些问题	83
第五节 分程控制系统	85
一、基本原理和结构	85
二、实施时的几个问题	87
第六节 选择性控制系统	87
一、基本原理和结构	87
二、工程设计和实施时的几个问题	89
三、系统示例	89
第七节 按对象传递函数设计控制算法的控制系统	93
一、时滞补偿控制系统	93
二、差拍控制系统	95
三、几种改进的控制算法	97
四、动态矩阵控制	100
第八节 其他复杂控制系统	102

一、采用阀位调节器 (VPC) 的双重控制系统	102
二、采用非线性控制规律的系统	104
三、采用计算指标的控制系统	108
四、间歇过程控制系统	109
第四章 多变量控制系统	111
第一节 多变量系统的描述形式及设计要求	111
一、状态方程和输出方程	111
二、传递函数矩阵	112
三、系统结构和闭环特性	113
四、设计指标	114
第二节 系统间的关联和解耦	117
一、用 Bristol 阵列衡量系统间的关联程度	117
二、减少与解除耦合的途径	121
三、串接解耦装置的设计	124
四、解耦控制实例	126
第三节 状态反馈和极点配置	128
一、状态反馈系统的概念	128
二、状态反馈系统的工程设计	130
三、确定性系统的状态观测器	133
四、随机性系统的状态估计器	134
第四节 多变量控制器的频域设计法	137
一、概述	137
二、用失准角衡量系统的关联程度	138
三、特征轨线方法	139
第五章 最优控制系统	145
第一节 稳态最优控制系统	146
一、目标函数和自变量	146
二、稳态最优控制的应用场合	148
三、稳态最优化的算法	149
第二节 动态最优控制系统	154
一、命题和目标函数	154
二、最小时间控制	156
三、线性二次型最优控制 (LQR) 问题	159
四、鲁棒调节器	164
第三节 适应控制系统	166
一、适应控制系统的作用和类型	166
二、简单适应控制系统	166
三、模型参考型适应控制系统	168
四、自校正调节器	172
第四节 递阶控制系统	174

一、多层次系统的概念	174
二、递阶控制系统的协调方法	175
参考文献	178

下篇 过程控制

第六章 过程动态数学模型	180
第一节 概述	180
一、动态数学模型的作用和要求	180
二、动态数学模型的类型	181
三、建立动态数学模型的途径	182
第二节 机理模型	184
一、动态方程的一般列写方法	184
二、机理模型建立的若干例子	184
第三节 过程辨识与参数估计	190
一、阶跃响应法	190
二、相关函数法	192
三、最小二乘参数估计法	199
第七章 流体输送设备的控制	203
第一节 概述	203
第二节 泵及压缩机的控制方案	204
一、泵和管路系统的静态特性及泵的控制方案	204
二、风机和真空泵的控制方案	206
三、压缩机的控制方案	208
第三节 离心式压缩机的防喘振控制	209
一、离心式压缩机的喘振	209
二、防喘振控制系统	210
三、实例分析	214
第八章 传热设备的控制	218
第一节 传热设备的静态特性	218
一、概述	218
二、换热器静态特性的基本方程式	219
三、换热器的静态放大系数	220
四、控制方案的分析及调节阀的选型	222
第二节 传热设备的动态特性	223
一、两侧流体完全混和的换热器动态特性	224
二、套管式换热器的动态方程	225
三、套管式换热器的动态特性	227
第三节 一般传热设备的控制方案	231
一、调节载热体流量	232
二、调节载热体的汽化温度	233

三、将工艺介质分路·····	233
四、调节传热面积·····	234
第四节 锅炉设备的控制方案 ·····	236
一、概述·····	236
二、锅炉汽包水位的自动控制·····	237
三、蒸汽过热系统的自动控制·····	243
四、锅炉燃烧系统的自动控制·····	244
五、锅炉控制系统示例·····	250
第九章 精馏塔的控制 ·····	254
第一节 概述 ·····	254
第二节 精馏塔的静态特性 ·····	255
一、总物料平衡和组分平衡·····	255
二、分离度·····	256
三、内部物料平衡·····	258
四、扰动的影响·····	259
第三节 精馏塔的动态特性 ·····	260
一、二元物系精馏塔的动态特性·····	260
二、多元组分精馏塔的动态方程·····	264
三、精馏塔动态数学模型的降阶·····	265
四、精馏塔降阶双线性模型·····	267
第四节 精馏塔被控变量的选择 ·····	269
一、塔顶(或塔底)的温度控制·····	269
二、灵敏板的温度控制·····	269
三、中温控制·····	270
四、温差控制·····	270
五、温差差值(双温差)控制·····	271
第五节 精馏塔的基本控制方案 ·····	272
一、产品质量开环的控制方案·····	272
二、按精馏段指标的控制方案·····	273
三、按提馏段指标的控制方案·····	274
四、精馏塔的压力控制·····	275
第六节 精馏塔的新型控制方案 ·····	278
一、内回流控制·····	278
二、热焓控制·····	279
三、解耦控制·····	281
四、前馈控制与推断控制·····	282
第七节 精馏塔的节能控制方案 ·····	283
一、浮动塔压控制方案·····	284
二、回流量与馏出液相结合的控制·····	285
三、能量的综合利用控制方案·····	286

第八节 精馏塔的计算机控制	288
一、精馏塔的常规控制系统	288
二、精馏塔的复合控制方案	289
第九节 选择性控制的应用	292
一、防止液泛和漏液	292
二、精馏塔的自动开停车	293
第十章 化学反应器的控制	295
第一节 化学反应器的类型	295
第二节 化学反应的基本规律	298
一、化学反应速度	298
二、化学平衡	300
三、转化率和停留时间的关系	302
四、化学反应器的热稳定性	302
第三节 化学反应器的动态特性	305
一、化学反应器的基本方程	305
二、连续搅拌槽式反应器的动态特性	306
第四节 化学反应器的控制方案	311
一、取出料的成分或反应的转化率作为被控变量	312
二、取反应过程的工艺状态参数作为被控变量	313
三、稳定外围的控制方案	316
四、开环不稳定反应器的控制	317
五、连续搅拌槽反应器的自适应控制	319
六、乙丙橡胶生产的计算机控制	322
参考文献	327

第一章 概 论

一、过程控制的发展与趋势

在自动化的发展中,有两个明显的特点:第一,任务的需要、理论的开拓与技术手段的进展三者相互推动,相互促进,显示了一幅交错复杂,但又轮廓分明的画卷,三者间表明出清晰的同步性;第二,自动化技术是一门综合性的技术,控制论更是一门广义的学科,在自动化的各个领域,移植和借鉴起了交流汇合的作用。在计算机(特别是微计算机)迅速发展的今天,回顾自动化技术的历史进程,对明确今后过程控制的发展方向将是有益的。

自动化技术的前驱,可以追溯到我国古代,如指南车的出现。至于工业上的应用,一般以瓦特的蒸汽机调速器作为正式起点,也就是说,工业自动化的萌芽是与工业革命同时开始的。这时候的自动化装置是机械式的,而且是自力型的。随着电动、液动和气动这些动力源的应用,电动、液动和气动的控制装置开创了新的控制手段。

有人把直到三十年代末这段时期的控制理论称为第一代控制理论,讨论的主要问题是稳定性,主要数学方法是微分方程解析方法。这时候的系统(包括过程控制系统)是简单控制系统。仪表是基地式的,大尺寸的,适合当时的需要。

到第二次世界大战前后,控制理论有了很大的发展。Nyquist 和 Bode 的频率法,Evans 的根轨迹法等建立,使经典控制理论发展到了成熟的阶段,这是第二代控制理论。这些理论原来是从电工和电子对象,从随动系统的实践中提高得出的,移植到过程控制的定值系统上来,既有成功的一面,也有不完全适应的一面。用以指导工程实际,定性的效果很好,定量的意义就不那样明显了。

从五十年代开始,随着工业的发展与控制要求的提高,除了简单控制系统以外,各种复杂控制系统也发展起来了,而且取得了显著的成果。为适应多种结构系统的需要,在仪表调节器方面,单元组合式仪表就应运而生。

从六十年代开始,现代控制理论迅猛发展,这是以状态空间方法为基础,以极小值原理和动态规划等最优控制理论为特征的,而以采用 Kalman 滤波器的随机干扰下的线性二次型系统(LQG)宣告了时域方法的完成。这是第三代控制理论,在航天、航空、制导等领域取得了辉煌的成果,在过程控制领域也有所移植,但实验室及学院式的研究远多于过程工业上的实际应用。可能是由于急于达到任务的终点和目标,现代控制理论的进展很快,对有些重要方面的补充是后来进行的:

(1) 关于系统结构的研究;

(2) 关于建模方法的研究——用现代控制理论进行系统设计,数学模型是不可缺少的,除了从机理方程建模以外,依据输入输出数据进行系统辨识和参数估计,也作为一门分支学科迅速发展起来;

(3) 关于多变量系统设计的研究——照顺序来说,似乎应按单输入单输出系统、多变量系统、最优控制系统的次序来排列,但由于任务的需要,最优控制系统反而发展在多变量系统之前,然而,多变量系统对过程控制等有着重要的意义,这方面的研究必须补充上去。除了时域方法以外,从 Rosenbrock 直到 Mac Farlane 的各种频域方法取得了更好的进展,

除了实用价值以外，也对现代控制理论和经典控制理论起了沟通融合的作用。

在技术手段方面，数字计算机的出现是一个重大的突破。四十年代创制的第一台数字计算机采用电子管元件，内存量不大，速度不快，又很笨重。到六十年代，作为科学计算用的数字计算机已显示了极大威力，元件由电子管到晶体管，再到集成电路和大规模集成电路，速度和存储量更是以接近指数型的速率上升。不能不说计算机对数学方法有着深刻影响，在工程上数值方法被广泛采用。状态空间分析方法的发展是与数字计算机的广泛应用分不开的。

人们很快想到把计算机用于过程控制。计算机控制循着两条道路发展，一是监督控制（SCC），用计算机发出最优的设定值，二是直接数字控制（DDC），用计算机代替调节器。在五十年代末，六十年代初，两方面都有取得成功的报道。但是当时的计算机在能力和可靠性方面还不够理想，工业上的推广并不很迅速。我国从六十年代初期就开始计算机控制的试点工作，由于多种原因，经历了曲折的历程，也走过了与国外一样的马鞍形弯路。

从七十年代开始，微处理器出现了，以微处理器为主要构成单元的微计算机也出现了，这又是一个重大的突破。十多年以来，微计算机的价格越来越便宜，功能越来越丰富。把微计算机用于过程控制，几乎没有反对的意见，实际上也取得十分显著的成就。

现在工业装置的规模很大，被测变量和控制回路数目很多；同时，自动化的要求也越来越高，除了控制和检测以外，需要把管理职能也结合起来，而且除了连续过程以外，也需要考虑间歇（批量）过程。在这种情况下，用若干台微计算机来控制，显然比用一台集中的小型或中型计算机灵活、方便和可靠得多。于是，各种总体分散控制装置就发展起来，在大规模生产装置上得到日益广泛的应用。今天已发展到信息时代，用微计算机网络或用总体分散控制装置来控制生产已成为现实，成为趋势。

系统结构大体上有两类，一类是递阶控制系统，正象人们管理生产时有上下各级人员分别承担各自的职责那样，系统也分成上下若干阶，各自完成从经营管理到直接控制的职能，二是分散控制系统，系统间采用横向联系。

从七十年代开始，有了第四代控制理论，它的特点和核心是什么，今天仍有不同的说法，例如：

（1）大系统理论 象递阶控制系统和分散控制系统都是若干子系统的集合，为分析和设计这些系统，大系统理论的建立十分必要，现在已有了不少研究及成果。

（2）人工智能控制 数字计算机俗称电脑，随着新一代计算机的发展与出现，为人工智能提供了技术手段。同时，在总的控制要求方面，要把经营管理、逻辑判断、自学习和自组织系统等的功能包括在内，这样在任务上有引入人工智能的需要。因此，人工智能控制正在迅速发展起来。在理论方面，要把运筹学、排队论、博弈论、决策论等结合在一起。

（3）非线性与分布参数系统理论 与线性理论，特别是线性集中参数系统理论比较起来，非线性与分布参数系统的理论远没有那样成熟。但在实际过程中，线性往往是一种理想情况，一种假设或近似。非线性系统却是大量存在的，分布参数系统也不少。用一些新的数学方法（如 Walsh 函数与块脉冲函数）进行研究，已得到不少新成果，这一领域的深入探索既很有必要，又很有希望。

另外，也有人认为现代控制理论基本上是数学家的成就，与经典控制理论来自工程界不同。为了切合工程需要，似乎有必要从工程应用的角度，开辟新的理论。象多变量系统的频域法就体现了这一趋势。

尽管说法各异，但它们有一个共同的特点，即是在经典控制理论和现代控制理论的基础上，继续向纵深发展，向新的领域扩展。这并不是说经典控制理论和现代控制理论已经过时，而是说需要补充新的内容，开辟新的领域。

当前，新技术革命时期已经到来。自动化是新技术革命的特征之一。我们必须在理论和应用两个方面多作新的开拓。

二、过程控制工程的研究对象与任务

过程控制工程 (process control engineering) 作为自动化的一门分支学科，研究的任务是对过程控制系统进行分析与综合，在这里，综合主要是指方案设计。因此，过程控制工程以控制系统为主体，控制理论为基础，化学工程与工艺为一翼，自动化仪表及计算机为另一翼。学科间关系可用图 1-1 表示。

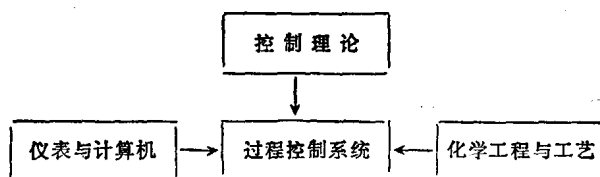


图 1-1 过程控制工程的学科结构

从一定角度看，可以认为控制工程是控制理论在过程控制系统中的应用，包括理论的移植与改造，系统结构的研究，控制算法的确定，以及控制系统的实现。以最简单的单输入单输出系统为例，是用检测元件和变送器测出被控变量，在与设定值作比较之后，由控制器按一定规律（控制算法）输出控制信号，驱动执行器，调整操纵变量，以使被控变量保持设定值。这里就有各部分特性对整体的影响，按整体要求，如何选择被控变量、操纵变量、控制规律以及各构成部件的问题，也就是整体如何设计的问题。当输入变量和输出变量数目更多的时候，或者控制要求不仅是被控变量保持设定值的时候，情况就更为复杂。总的说来，控制工程要解决象图 1-2 所示系统的方案设计问题。

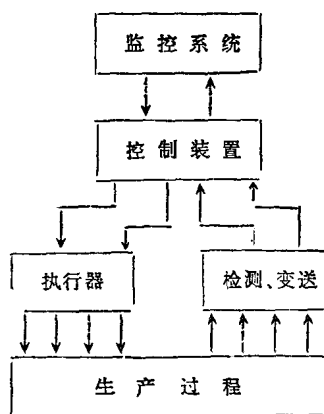


图 1-2 系统的控制结构

反过来，也可以认为控制工程是使早年单凭经验、凭直觉、凭定性说理的实际控制系统设计上升到科学性、条理性、有定量理论指导的阶段。把控制理论、工艺分析与硬件方面的知识结合起来，构成一门综合的工程科学。

自动化是技术进步的一种体现，是新技术革命中的重要组成部分。过程控制对过程工业带来十分明显的效益，如保证产品质量，提高产量，降低消耗，安全运行，改善劳动条件，提高管理水平等。其中有些经济效益是易于直接计算的，有些经济效益却不那么便于计算，带有潜在的性质（如长期可靠运行），有些效益还有重要的社会意义。在设计控制系统时，必须从这些目标出发，必须考虑经济效益。

控制工程涉及的是综合性应用科学，可以划成不同的断面来阐述。本书采用的方式是分为两篇：上篇按控制系统结构分章，从简单到复杂，从定值控制到最优控制，从直接控制方式到递阶控制方式。分四章讨论系统的结构、原理、特点及设计问题，并辅以一定数量的过程控制系统实例。下篇结合过程特性，在讨论稳态和动态数学模型的基础上，阐述几类典型性单元操作及过程的控制方案，体现了控制系统与工艺特性的结合。

本书不按常规控制系统和计算机控制系统来划分，因为微计算机的应用日益普遍，从简单到复杂的控制规律，都可用微计算机来实现；同时，许多多变量控制系统，甚至是某些最优控制系统，也可用常规仪表来实现；不仅如此，可编程数字式调节器等自动化技术工具的出现，使仪表与计算机的界线逐渐消失。在本书中，我们抓住系统这个核心，作为分析的基础。例如，在一开始的简单控制系统一章中，就不仅讨论了连续PID控制规律，同时也阐述了离散PID规律；既分别体现了使用模拟式调节器或计算机控制时的特点，又在整体上进行了分析和比较。

本书不讨论各种检测元件、变送器、调节器、执行器的原理和结构，因为在图1-1中已表明，它们是控制系统的一翼，不是本门工程科学的核心；也不讨论各种微计算机及接口的原理和结构，原因也一样。这样，使本书保持一定的系统性和学科性，不流于芜杂。仪表调节器及过程控制计算机的一些概念性知识，在下一小节稍作简介，详细内容读者可参阅有关的专著与教材。

本书也不复述控制原理的基本内容，如根轨迹法、频率法和状态空间方法等。本书着眼于这些方法的应用，同时，为了把一些基本理论移植到过程控制领域，在方法上作了必要的更新或修改，这些已在书内进行了讨论。

本书也不复述化工原理的基本内容。本书是从输入变量与输出变量间内在关系的角度，分析了稳态和动态特性，并与控制方案挂起钩来。

三、工业自动化仪表和过程控制计算机的现状

在二十年前，我国工业自动化仪表的型谱是极为简单的，几乎就以气动单元组合仪表QDZ型和电动单元组合仪表DDZ-I型为最基本的形式，再加上一些称为基地式的模拟调节器。但是随着科学技术的进步，过程控制计算机的应用，以及技术引进和开放政策的实施，仪表和计算机的型谱越来越复杂。再用几个系列来概括全体已不复可能。尽管在具体进行工程设计的时候，要了解和掌握所用仪表的具体结构、原理、配置和输入输出联接，但在方案设计时，首先要作出的也是最重要的选择，是采用哪一系列的仪表或计算机，只有在确定系列之后，再从手册或说明书中查明细节。当然，要作比较和选择，必须熟悉各种仪表的性能及价格，而且，掌握有关仪表、调节器和计算机的丰富知识对选择时的决策的正确性提供了可靠的保证。

以下宏观地对控制器、检测变送装置、显示装置和执行器的情况作一些对比讨论。

实现控制规律的核心器件是控制器。它可以是各种类型的调节仪表，也可以是微计算机等。大体可划分为六大类型：

(1) 基地式调节器 这是历史上最先发展起来的, 它的输入信号来自检测元件, 输出信号直接送至执行器, 有的甚至连执行器也包括在一起, 同时, 如有显示装置的话, 也包括在整体之内。象自力式温度调节器, 带有调节装置的长图或圆图式温度记录仪, 就地式液位调节器也属于这一大类。它们的功能往往限于单回路控制。时至今日, 这类仪表仍没有淘汰, 而且有了新的发展。不过, 它们在各种控制器中所占的比重已大为下降。一般用于中小规模的生产装置, 或用于大生产中一些就地控制的场合。

(2) 单元组合式仪表 它们是六十年代以来国内应用最普遍的类型。顾名思义, 仪表系统是由若干分开的单元组合而成的, 各单元间以标准(统一)信号传递。正象七巧板可以组成各式图案一样, 用各种单元可以构成从简单到复杂的各种控制系统。以电动单元组合仪表为例, 如果真的是框图上一个环节就用一个单元, 那就过于彻底了, 组成一个控制回路需要的单元数太多; 现在一般划分成调节单元, 变送器(把检测信号转换为标准信号), 定值器, 手动操作器, 运算器(+、-、 \times 、 \div), 积算器, 电气转换器及气电转换器等。调节单元本身可以设定, 可以自动或手动输出。电动单元组合仪表 DDZ-Ⅱ型采用 0~10mA 制, 早些时候生产的 DDZ-Ⅲ型采用 4~20mA 制。Ⅲ型的优点是本质安全防爆, 设计比较先进, 有些变送器用二线制代替四线制, 而且功能更为丰富, 但价格高于Ⅱ型。气动单元组合仪表 QDZ 型尽管有几种不同结构, 但都采用 0~1kgf/cm² 气压(表压)作为标准信号, 气动仪表的防爆性能是没有疑义的, 工作特性又很可靠, 到今天仍有一定市场。

(3) 组装式仪表 在单元组合仪表中, 每个单元用一个外壳, 在仪表屏上占面积较多, 同时, 尽管电路内部是电压的输入输出关系, 但为了适应不同电阻值的负载, 有必要转化为电流标准信号, 所用元件就多。在组装式仪表中, 每个单元用一块电路板, 各单元间用电压信号传递, 并把各个单元组装在一个机柜内, 这样就消除了以上两个弱点。组装式仪表国内现主要用于电站, 因为在组装式仪表开始在国内生产时, 采用微处理器的各种控制器已经出现了, 后者更受到人们的欢迎, 这在一定程度上影响了组装式仪表的进一步推广。

(4) 总体分散控制装置 对于大型装置来说, 整个控制系统要分成若干阶, 如最基层的是直接数字控制, 再上一阶就是优化控制, 同时, 整个控制装置要实现的功能比较丰富。如果用一个集中的计算机作实时控制, 一方面任务过重, 另一方面在遇到某些环节发生故障时, 整个系统都不能工作。近年来各仪表厂及计算机厂推出很多种总体分散控制装置, 结构上多数由下位的操作站与上位的监控计算机组成, 每个操作站可以控制几个回路, 各操作站及上位机间用数据公路传递信息, 并设有屏幕显示器及操作台等。这些系统的弹性都很大, 在扩展时完全以积木方式叠加。形式上大体又有两种风格, 一种为便于操作, 比较接近于仪表调节器, 另一种则完全是微计算机构成的网络。总体分散控制装置专供过程控制之用, 各厂的设计在可靠性方面都考虑得很仔细, 因此价格比较昂贵。

(5) 可编程数字式调节器 有的产品称为单回路控制器。它们用微处理器为主体, 控制规律采用数字运算, 但功能及外型与模拟式调节器相似, 不须另装 A/D 或 D/A 插件。多数类型每台可有多个输入, 1~2 个输出。用一台数字式调节器, 可以实现复杂控制回路的全部功能。它们很易于操作, 在规定的功能范围内, 编制程序几乎完全不需要任何软件方面的知识。它们很适合中小型装置的需要。

(6) 微计算机系统 微计算机, 如各种个人计算机(PC)及单板机, 本来是通用性质的, 但如配上 A/D 及 D/A 模块及操作台等, 也可供过程控制之用。作下位机或上位机都可以。特别是有些个人计算机的运算能力很强, 为实现各种先进的控制算法提供了条件。由

于现在计算机的平均无故障时间都以万小时计，可靠性也有一定的保证。前一时期单板机用于过程控制的实践不少，从发展来看，个人计算机的应用正方兴未艾。

在检测元件和变送器方面，先把三个术语作一点解释。

检测元件 (sensor)——直接响应被测变量，并将它转换成适于测量形式的元件或器件。亦称敏感元件。象热电偶、热电阻、孔板等都是检测元件。

传感器 (transducer)——接受物理或化学变量 (输入变量) 形成的信息，并按一定规律将其转换成同种或别种的输出变量的仪表。

变送器 (transmitter)——输出为标准信号的传感器。

当采用单元组合式仪表时，变送器是不可缺少的，以热电偶测量温度的情况为例，必须用温度变送器把毫伏信号化为标准的电流信号，才可作为电动调节器的输入信号。但在用基地式调节器时，却可以把热电偶的毫伏信号直接作为输入；在用计算机控制的情况，也可以直接把毫伏信号送入多路转换器及A/D转换系统。

从所测量的变量看，经典的或称为热工测量变量的是温度、流量、液位 (料位)、压力四种。在过程控制中，类型极为复杂的物性和成分往往是更直接的测量变量，物性和成分两者有时也没有明确的界线。物性方面有粘度、湿度、浊度、比重、热值、热值指数、pH值等等，成分方面有单一成分的，如 H_2 、 O_2 、 CO 、 CO_2 、 Cl_2 等在线成分分析仪表，也有多种组分的，如气相色谱、液相色谱及其他谱线仪表等。更广泛地应用流程分析仪表是当前的发展趋势。

在显示装置方面，大体可以分为三大类，一是模拟式显示装置，用指针指示或同时用笔尖记录，圆图形、长图形及条形的都有，模拟式显示的优点是较符合人们的心理习惯；二是数字式显示装置，如辉光二极管或液晶数字显示等，优点是没有读数误差，精确度更得到保证；三是屏幕显示装置 (CRT)，可以显示的变量数目很多，形式上用数字、字符、表格、图形等都不受限制，正越来越得到更多的应用，而且它不仅作为显示，在采用光笔时还同时可起人-机通信的作用。

在执行器方面，从所用能源看，分电动、气动、液动三类。在今天，气动执行器由于防爆、可靠及韧性等优点，是执行器中使用最多的类型。执行器由执行机构与调节机构两部分构成，各有很多品种。除了模拟式的以外，近年来数字式调节阀已开始进入过程控制的应用领域。

以上简略地展示了一幅错综复杂的图景。我们应该从它们在系统中的地位和作用来考虑，依据各自的特点和性能价格比等因素来选择。

上篇 控制系统

在本篇中，按照控制系统的类型，叙述和讨论在过程控制中经常遇到的各种控制系统，并说明它们的原理、功能、特点、适用场合、系统设计、应用示例等。

控制系统的分类，是一件棘手的事情。有些系统以它们的作用命名，有些以结构命名，交叉汇合，情况复杂。这里，考虑到历史与习惯等原因，分为四章。

简单控制系统指的是单输入-单输出的线性控制系统，这是控制系统的基本形式，也是最广泛应用的形式。

复杂控制系统就很难下定义了。它们是在后来的所谓先进控制系统发展以前，有别于简单控制系统的各种控制系统的总称。它们中的多数仍只有一个（或一个主要的）被控变量，仍参照简单控制系统的基本原理来分析和设计，仍是经典控制理论发展的产物。

多变量控制系统指的是多输入-多输出控制系统，需要考虑各条输入-输出通道间的关联作用，它们的分析和设计往往需要应用现代控制理论。

最优控制系统的意义是明确的，它们是现代控制理论发展的直接产物，控制中要求某一目标函数为最优值，包括静态最优、动态最优与递阶控制系统等。

第二章 简单控制系统

这类系统的特点是结构简单,而且具有相当广泛的适应性,因此即使在计算机控制迅速发展的今天,在高水平的自动化控制方案中,这类系统仍占控制回路的绝大多数,往往在85~90%以上。至少在今后一段时期内,这种情况看来也不会有多大变化。力求简单、可靠、经济与保证效果良好是方案设计的基本准则。

有关简单控制系统的原理与分析方法,在控制原理教材中已探讨得颇为透彻。然而,结合工程实际,还有一些问题值得考虑,需要解决。本章就从理论和应用的联系进行阐述和讨论。

第一节 典型结构和控制指标

一、典型结构

图2-1所示是一个典型的温度控制系统。所要控制的变量是流体出口温度 θ ,称为被控

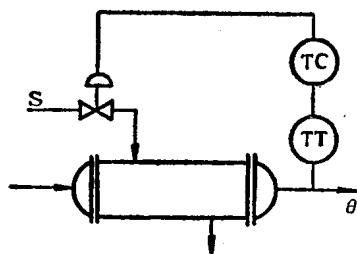


图 2-1 一个温度控制系统

变量。控制手段是改变加热蒸汽阀门的开度,以调节蒸汽流量 S 。蒸汽量是操纵变量。由于流体流量、流体入口温度及蒸汽阀前压力等因素的波动难以避免,种种扰动的存在将使流体出口温度发生变动,因此蒸汽阀的开度须按出口温度 θ 的情况而调整。人们手控时是这样做的,自动控制时仍可按同样的规律,即按偏差调节规律。为此,在出口管道上安装感温元件,如热电阻,再通过温度变送器(TT)转换为标准信号,例如用DDZ-I型仪表时为0~10mA,用DDZ-III型时为4~20mA。

这一测量信号送往温度调节器TC,例如电动调节器DTL。调节器的设定值由人工给定。调节器依据偏差的极性、数值及变化情况,发出控制信号。调节器的输出送往执行器,例如带电气阀门定位器的调节阀,改变加热蒸汽流量,使量测值接近设定值。

这一系统与其他的简单控制系统一样,可用图2-2的框图表示。

通过这一框图的运算,可知闭环系统的输入输出关系式是:

$$C(s) = \frac{G_c(s)G_v(s)G_p(s)}{1 + G_c(s)G_v(s)G_p(s)H(s)} R(s) + \frac{G_f(s)}{1 + G_c(s)G_v(s)G_p(s)H(s)} F(s) \quad (2-1)$$

$$Y(s) = \frac{G_c(s)G_v(s)G_p(s)H(s)}{1 + G_c(s)G_v(s)G_p(s)H(s)} R(s) + \frac{G_f(s)H(s)}{1 + G_c(s)G_v(s)G_p(s)H(s)} F(s) \quad (2-2)$$

对于这一通用的单输入-单输出线性反馈控制系统的框图,需要说明几点:

(1) 框图中的各个信号都是增量,因为放大系数和传递函数都是在稳态值为零的条件下得出的。图中箭号表示的是信息流的方向,不是物料或能量的流向。例如,在液位控制系统中,调节阀不论是装在入口或出口管道,框图中 $Q(s)$ 的箭号方向不变。