

过程控制及仪表

GUO CHENG KONG ZHI JI YI BIAO

●邵裕森 编

上海交通大学出版社

过程控制及仪表

邵裕森 编

上海交通大学出版社

内 容 简 介

本书介绍工业过程控制中常用的过程检测控制仪表的工作原理与过程控制系统的分析、设计、参数整定方法，内容包括：被控对象的数学模型，过程参数检测仪表，基本控制规律，电动单元组合仪表，气动单元组合仪表，组装仪表与智能单元组合仪表，单回路反馈控制系统及其整定，串级控制系统，前馈控制系统和其他控制系统等。

为加强工程实用性，本书选编了一定数量的工程实例、习题和思考题，以利读者掌握和应用。

本书可作为高等工业院校工业电气自动化专业及有关专业的“过程控制及仪表”课程的教材，也可供有关大专院校师生与电力、化工、冶金、轻纺、食品、建材等部门从事过程自动化方面的工程技术人员参考。

过程控制及仪表

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

苏州村前印刷厂排版印装

开本287×1092毫米1/16 印张22字数542000

1986年9月第1版 1986年9月第1次印刷

印数1—5000

统一书号：15324·163 科技书目131—280

定价：3.60元

前 言

本书是根据1983年4月在福州召开的全国高等工业学校自动化类专业教材编审委员会第二次扩大会议上通过的教学大纲编写的，并在1984年8月于三十六所院校参加的讲习讨论会上试用，在此基础上编者又作了修改和补充。

随着现代工业生产的迅速发展，过程检测控制仪表(包括智能单元组合仪表)的开发和应用日新月异，过程控制得到越来越广泛的应用。在本书中，编者根据工业生产过程的特点，并联系国内生产实际和国内外先进技术水平，以反馈控制理论为基础，系统地介绍过程控制系统的分析、设计、参数整定方法，以及应用中必须注意的问题。

本书共分十一章，第一章介绍过程控制发展概况及其特点、系统组成及其分类。

第二章介绍被控对象数学模型常用的建模方法，这是本书的重点内容之一。

第三章介绍主要过程参数的检测方法及其常用仪表和选用。

第四章侧重介绍调节器基本控制规律对系统过渡过程的影响，另外还介绍控制规律的实现方法。

第五章介绍电动单元组合仪表中的变送器、调节器和执行器的工作原理、性能特点，内容侧重DDZ-Ⅲ型单元组合仪表。本章为过程检测控制仪表的重点内容。

第六章介绍气动元件及组件、变送器、调节器和执行器的工作原理、性能特点。内容侧重执行器的选用。

第七章介绍组装仪表结构组成原理，侧重介绍最新的智能单元组合仪表。

第八章以反馈控制理论为工具，重点介绍单回路反馈控制系统的设计方法、参数整定方法，以及数字系统构成原理。这也是本书的重点内容之一。

第九章详细介绍用传递函数分析串级控制系统特性的方法、系统设计原则、应用示例和工程整定方法。

第十章介绍前馈控制基本概念，以及前馈模型、系统参数整定方法及其应用。

第十一章介绍比值控制、均匀控制、分程控制、选择性控制和多变量控制系统的构成原理与应用。

本书规定为50学时，各院校可按实际情况进行选讲。

与学习本课程有关的热力学和流体力学等基本规律，作为附录列入本书末。

本书的出版得到了全国高等工业学校自动化类专业教材编审委员会的大力支持和南京工学院自动控制系领导的支持。在编写过程中陕西机械学院侯志林同志曾提供了第五、七、十章的参考资料；南京工学院动力系主任、陈来九教授等给予了热情指导，并由陈来九教授审阅全稿。对此，表示衷心感谢。

编 者

1985年11月

目 录

第一章 绪论	(1)
§ 1-1 过程控制发展概况.....	(1)
§ 1-2 过程控制系统及其组成.....	(3)
§ 1-3 过程控制的特点及其系统分类.....	(6)
第二章 被控对象的数学模型	(9)
§ 2-1 基本概念.....	(9)
§ 2-2 单容对象的数学模型.....	(11)
§ 2-3 多容对象的数学模型.....	(19)
§ 2-4 求取对象数学模型的实验方法.....	(22)
第三章 过程参数检测仪表	(50)
§ 3-1 温度检测仪表.....	(50)
§ 3-2 压力检测仪表.....	(59)
§ 3-3 流量检测仪表.....	(64)
§ 3-4 液位检测仪表.....	(72)
§ 3-5 成分分析仪表.....	(76)
第四章 调节器的基本控制规律	(84)
§ 4-1 基本控制规律对系统过渡过程的影响.....	(85)
§ 4-2 控制规律的实现方法.....	(88)
第五章 电动单元组合仪表	(95)
§ 5-1 概述.....	(95)
§ 5-2 变送器.....	(97)
§ 5-3 调节器.....	(109)
§ 5-4 执行器.....	(132)
第六章 气动单元组合仪表	(141)
§ 6-1 概述.....	(141)
§ 6-2 气动仪表的基本元件及组件.....	(142)
§ 6-3 变送器.....	(147)
§ 6-4 调节器.....	(153)
§ 6-5 执行器.....	(163)

第七章 组装仪表和智能单元组合仪表	(180)
§ 7-1 组装仪表.....	(180)
§ 7-2 智能单元组合仪表.....	(191)
第八章 单回路反馈控制系统及其整定	(200)
§ 8-1 单回路反馈控制系统的设计.....	(200)
§ 8-2 单回路反馈控制系统的整定.....	(213)
第九章 串级控制系统	(235)
§ 9-1 模拟串级控制系统.....	(235)
§ 9-2 数字串级控制系统.....	(237)
§ 9-3 串级控制系统的特点.....	(231)
§ 9-4 串级控制系统的设计原则.....	(248)
§ 9-5 串级控制系统的整定.....	(252)
§ 9-6 串级控制系统的应用与示例.....	(257)
第十章 前馈控制系统	(264)
§ 10-1 概述.....	(264)
§ 10-2 前馈控制系统的几种主要型式.....	(266)
§ 10-3 前馈模型及其实施方案.....	(270)
§ 10-4 前馈控制系统的选用原则.....	(272)
§ 10-5 前馈控制系统的工程整定.....	(273)
§ 10-6 前馈控制系统工业应用举例.....	(275)
第十一章 其他控制系统	(281)
§ 11-1 比值控制系统.....	(281)
§ 11-2 均匀控制系统.....	(292)
§ 11-3 分程控制系统.....	(298)
§ 11-4 选择性控制系统.....	(304)
§ 11-5 多变量控制系统.....	(313)
附录一 空气的热力学过程简介.....	(326)
附录二 关于流体的某些运动定律.....	(328)
附录三 气动调节阀型号编制说明.....	(334)
思考题与习题.....	(335)
参考文献.....	(345)

第一章 绪 论

§ 1-1 过程控制发展概况

过程控制一般是指石油、化工、冶金、机械、电力、轻工、建材、原子能等工业部门生产过程的自动化。即通过采用各种检测仪表、调节仪表、控制装置及电子计算机等自动化技术工具，对整个生产过程进行自动检测、监督和控制，以达到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、节约能源、改善劳动条件、保护环境卫生等目的。

在本世纪四十年代前后，工业生产大多处于手工操作的状态，人们主要是凭经验用人工去控制生产过程。生产过程中的关键参数靠人工观察，生产过程的操作也靠人工去执行。因此，当时的劳动生产率是比较低的。

四十年代以后，生产过程自动化发展很快。尤其是近十多年来，过程控制技术发展更为迅速。纵观过程控制发展的历史，大致经历了下述几个阶段：

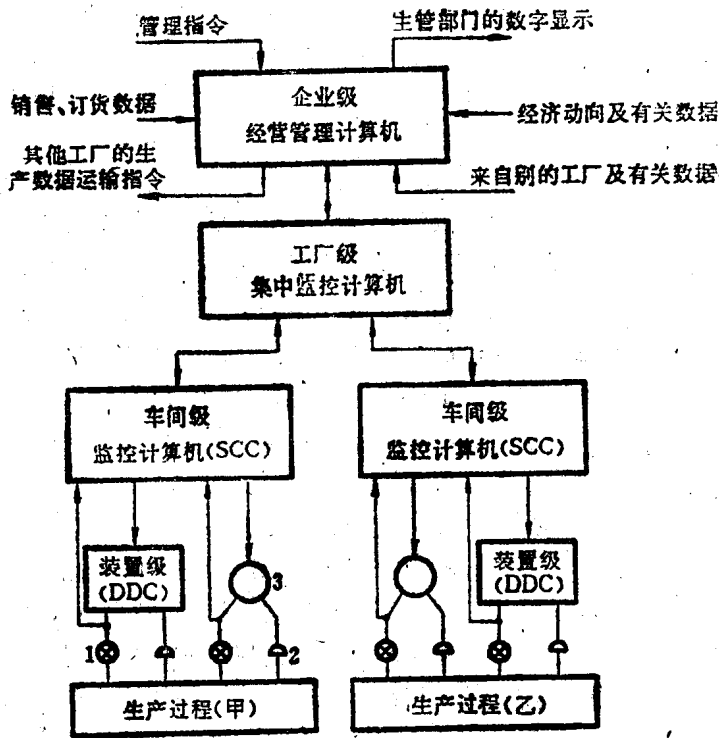
五十年代前后，过程控制开始得到发展。一些工厂企业实现了仪表化和局部自动化。这是过程控制发展的第一个阶段。这个阶段的主要特点是：检测和控制仪表普遍采用基地式仪表和部分单元组合仪表(多数是气动仪表)；过程控制系统结构绝大多数是单输入、单输出系统；被控参数主要是温度、压力、流量和液位四种参数；控制目的是保持这些参数的稳定，消除或者减少对生产过程的主要扰动；过程控制的理论是以频率法和根轨迹法为主体的经典控制理论，主要解决单输入、单输出的定值控制系统的分析和综合问题。

在六十年代，工业生产的不断发展，对过程控制提出了新的要求，电子技术的迅速发展也为自动化技术工具的完善提供了条件，开始了过程控制的第二个阶段。在仪表方面，开始大量采用单元组合仪表(包括气动和电动)。为了满足定型、灵活、多功能的要求，又出现了组装仪表，它将各个单元划分为更小的功能块，以适应比较复杂的模拟和逻辑规律相结合的控制系统的需要。与此同时，计算机控制系统开始应用于过程控制领域，实现了直接数字控制(DDC)与设定值控制(SPC)。在系统方面，为了提高控制质量与实现一些特殊的控制要求，相继出现了各种复杂控制系统，例如串级、比值和均匀控制的应用，尤其是前馈和选择性控制系统的应用，使复杂控制系统达到一个新的水平。前馈控制是按扰动量来控制的，在扰动可测的条件下，可以显著地提高控制质量。选择性控制是当生产过程遇到不正常工况、被控量达到安全极限时，自动实现的保护性控制，它改变了过去不得不切向手动或被迫联锁停车的状况，从而扩大了自动化的范围。在过程控制理论方面，除了仍然采用经典控制理论以解决实际生产过程中遇到的问题外，现代控制理论开始得到应用，控制系统由单变量系统转向多变量系统，以解决实际生产过程中遇到的更为复杂的问题。在此期间，工厂企业实现了车间或大型装置的集中控制。

七十年代以来，现代工业生产的迅猛发展，仪表与硬件的开发，微型计算机(下简称微机)的出现，使生产过程自动化的发展达到了一个新的水平。对全工厂或整个工艺流程的集

中控制、应用计算机系统进行多参数综合控制，或者用多台计算机对生产过程进行控制和经营管理，是这一阶段的主要特征。过程控制发展到现代过程控制的新阶段，这是过程控制发展的第三个阶段。在新型的自动化技术工具方面，开始采用微机控制的智能单元组合仪表(包括单回路调节器或可编程序调节器等)；在测量变送器方面，较为突出的是成分在线检测与数据处理(如气相色谱和液相色谱与质谱等)的应用日益广泛；在模拟式调节仪表方面，不仅Ⅲ型产品品种增加，可靠性能提高，而且是本质安全防爆(电动)，适应了各种复杂控制系统的要求。

由于生产过程是一个分散系统，因此，过程控制的方式最好是分散进行，而监视、操作与最佳化管理，则以集中为好，应用计算机可以实现集中(总体)分散的分级控制。图1-1所示为计算机集中(总体)分散型控制系统。图中，每台微机管理 n 个控制回路，这是分散的。由一台主控的计算机(小型机或微机)来管理若干台微机，这又是集中的。这样可从简单控制到实现复杂控制，进而实现最优控制。但是，应该指出，计算机不可能完全取代常规仪表，常规仪表在中、小型企业中，甚至在大型企业中，仍有旺盛的生命力。



1—变送器；2—调节阀；3—调节器

图 1-1 集中分散型控制系统

新型系统的出现，是现代生产过程的不断发展、控制要求不断提高的新情况下的一种必然趋势。在这种情况下，只用简单控制系统已不能完全解决实际问题，而往往需要更高一级的系统结构和控制规律，即多变量控制、数字控制、最优控制、自适应控制等各种高级控制结构，以及各种特殊的控制规律。这就促进了状态反馈、最优控制、解耦控制等现代控制理论在过程控制中的应用，加速了系统的建模、测试以及控制系统设计、分析等技术和理论的发展。

实现生产过程自动化对于发展国民经济，提高生产技术水平，加速实现工业、农业、国防和科学技术现代化有着十分重要的意义。过程控制将在我国四个现代化的实现过程中得到更快的发展。

§ 1-2 过程控制系统及其组成

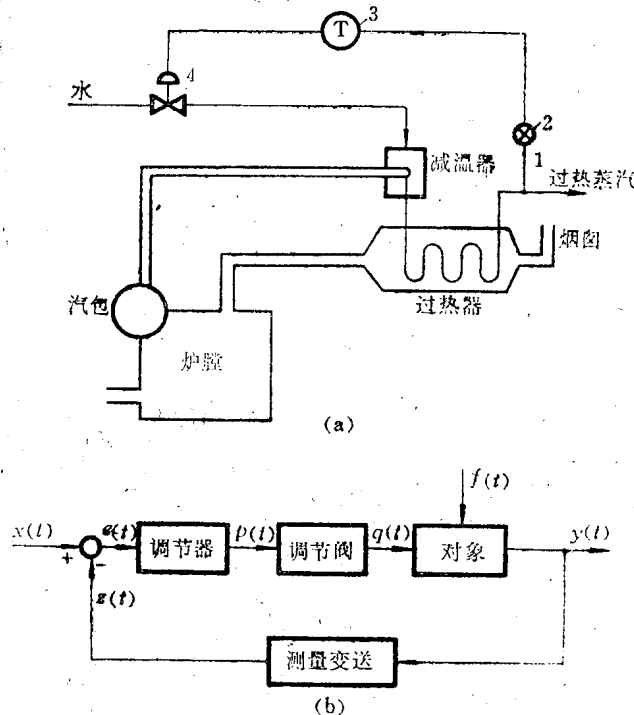
所谓过程控制系统，是指自动控制系统的被控量是温度、压力、流量、液位、成分以及pH值(氢离子浓度)等这样一些变量时的系统。

下面以几个典型的实际控制系统为例，来介绍过程控制系统的组成。

一、温度控制系统

1. 发电厂锅炉过热蒸汽温度控制系统

锅炉是电力、冶金、石油、化工、轻工等工业部门不可缺少的动力设备。过热蒸汽的温度是生产工艺的重要参数。在火力发电厂中，过热蒸汽温度控制是保证汽轮机组正常运行的一个重要条件(该控制系统的原理图和方框图如图1-2所示)。从锅炉汽鼓出来的饱和蒸汽，通过过热器成为过热蒸汽。通常在过热器之前或中间部分串联一个减温器，控制减温水流量大小来改变过热蒸汽温度。本系统采用DDZ-III型仪表，用热电偶检测过热蒸汽的温度，经温度变送器将测量信号送至调节器的输入端，并与代表过热蒸汽温度的给定值进行比较，得



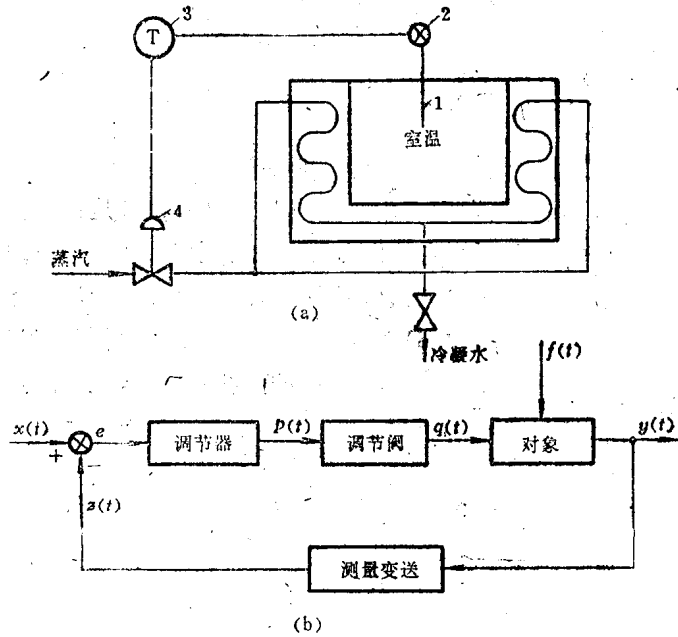
1—热电偶；2—温度变送器；3—温度调节器；4—调节阀

图1-2 锅炉过热蒸汽温度控制系统

到偏差，调节器按此偏差，并按某控制规律发出控制命令，控制调节阀的开度，从而改变减温水流量，达到控制过热蒸汽温度的目的。

2. 室温控制系统

生产抗生素的车间，由于许多抗生素都是在一定的温度下培养出来的，通常需要恒温控制。纺织厂某些车间在生产过程中亦要求恒温。这种恒温控制的原理如图 1-3 所示。本例采



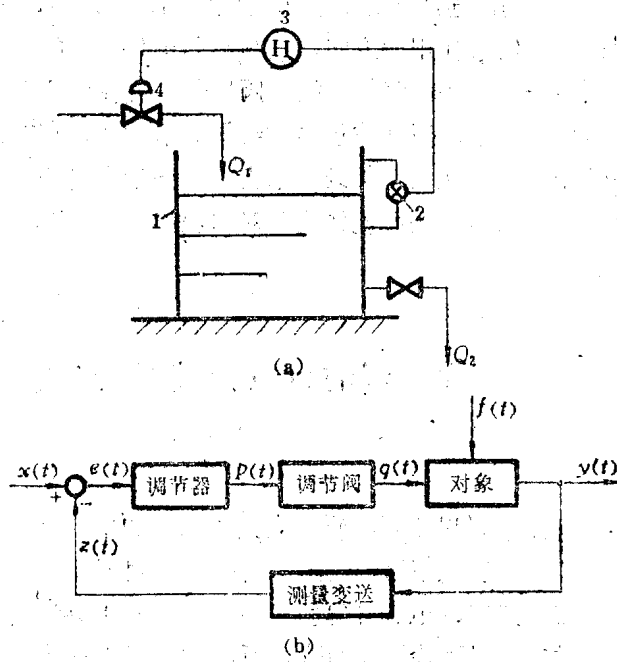
1—电阻温度计；2—温度变送器；3—温度调节器；4—调节阀
图 1-3 室温控制系统

用 DDZ-II 型仪表。图中用铜电阻温度计检测室温，通过温度变送器把温度信号送至调节器，并与规定的室温值进行比较，得到偏差，调节器按此偏差发出控制信号，改变调节阀的开度，以改变蒸汽量的大小，达到室温控制的目的。

二、液位控制系统

图 1-4 所示为一个液体贮罐，在实际生产过程中常常作为一个中间容器或成品罐。从前一道工序来的成品或半成品连续不断地流入贮罐，而贮罐中的成品或半成品又送至下一道工序进行包装或加工。为了保证正常生产，需要对贮罐液位进行控制。

本例选用 QDZ 仪表。用 QBC 差压变送器测量液位，其液位信号与其给定值进行比较得到偏差，调节器按此偏差发出控制命令，控制调节阀开度，达到维持液位为给定值的目的。



1—贮罐；2—差压变送器；3—液位调节器；4—调节阀； Q_1 、 Q_2 —对应调节阀的流量

图 1-4 液位控制系统

从上述几个实例可以看出，一个简单的过程控制系统是由控制对象和过程检测控制仪表（包括测量元件、变送器、调节器和调节阀）两部分组成。所谓控制对象（或简称对象）是指一些工艺生产设备。

为了便于研究过程控制系统的结构，常常用方框图来表示系统的组成。每个方框表示组成系统的一个环节，两个方框之间的一条带有箭头的连线表示其相互关系和信号传递方向。

现以图 1-4 的液位控制系统为例，图 1-4a 中的液体贮罐可用一个“对象”方框来表示。其液位高度是生产过程中要求保持定值的参数，在过程控制系统中称为被控参数，用 $y(t)$ 来表示。在方框图中，被控参数 $y(t)$ 就是对象的输出信号。本例中出料量的改变是引起被控参数波动的外来因素，在过程控制中称为扰动作用，用 $f(t)$ 来表示。扰动作用也是作用于对象的输入信号，所以其箭头是指向对象。同时，进料量的改变是由于调节阀动作所致，它也是影响液位变化的因素。进料量为调节阀方框的输出信号，在过程控制中称为调节作用，用 $q(t)$ 表示。具体实现调节作用的参数叫做调节参数。在本例中流过调节阀的进料流量就是调节参数，也是对象的输入信号。贮罐液位信号是差压变送器的输入，而变送器的输出信号 $z(t)$ （如气压信号或直流电流信号）与给定值信号 $x(t)$ 进行比较，得到偏差信号 $e(t)$ ，并送往调节器。调节器根据偏差信号 $e(t)$ ，并按一定的控制规律发出控制信号 $p(t)$ （如气压信号或直流电流信号）送至调节阀，使调节阀动作来克服扰动的影响，调节被调参数达到给定的数值。

在生产过程中，由于扰动是不断产生的，控制作用也在不断地进行。如因某种扰动使液位上升时，液位变送器将液位测量出来，在调节器内与给定值进行比较，根据偏差，调节器

的输出信号发生相应的变化，关小调节阀的开度，使进水量减小，调节阀动作的结果将使液位降低，并逐渐趋向于给定值。

应该指出，图1-4b方框之间的连线只是代表方框之间的信号联系，而不表示方框之间的物料联系。箭头线也只是代表信号作用的方向，而与流程图1-4a上的线不同。流程图上的线代表物料从这个设备流到另一个设备的路径。调节阀控制着流体的流量(即调节参数)，把调节作用送到对象去克服扰动的影响，以使被控参数维持为给定值。调节阀所控制的流体可能是流入对象的，在图1-4b中表示为从调节阀到对象去的一条带有箭头的线。这时，信号的传递方向与流体的流动方向是一致的。假如流体是从对象流出来的，那末，信号的传递与流体的流动方向就不一致了。

§ 1-3 过程控制的特点及其系统分类

一、过程控制的特点

与其他自动控制系统相比，过程控制的特点大致可归纳如下：

1. 系统由工业上系列生产的过程检测控制仪表组成。过程控制主要是利用气动仪表、电动仪表、组装式仪表、智能仪表、电子计算机等自动化技术工具来实现生产过程的自动化。过程控制系统由被控对象和过程检测控制仪表所组成。在工业生产中，对象复杂，其特性各异。为了设计系统方便并达到预期的控制效果，必须根据生产工艺要求，通过选用过程检测控制仪表，组成过程控制系统，并通过控制系统的整定，使系统运行在最佳状态，实现对生产过程的最佳控制。

2. 对象型式繁多，它们的动态特性一般是惯性大，滞后大，而且具有非线性特性。例如热工过程中的锅炉、热交换器、动力核反应堆；冶金过程中的转炉、平炉；机械工业中的热处理炉；石油化工过程中的精馏塔、化学反应器、流体传输设备等。这些对象的工作机理比较复杂，很难用解析方法得出其精确的动态数学模型，它们的动态特性大多为非线性，时间常数数和滞后都较大。

3. 控制方案的多样性。随着现代工业生产的迅速发展，生产工艺的条件变得越来越复杂，对过程控制的要求也不断提高，而且控制对象多属多变量、非线性、分布参数系统。因此，过程控制中应用的控制方案类型也很多，有单变量反馈控制系统，也有多变量系统，有常性系统，也有非线性系统，有模拟量控制系统，也有数字控制系统，还有计算机控制等等。

4. 控制过程属慢过程，多半属参量控制。控制过程属慢过程是由对象的特性所决定的。另外，在一些生产过程中(例如石油、化工、冶金、电站、造纸、玻璃制品、塑料加工等)，通常用一些物理量和化学量来表征其生产过程是否正常，因此，需要对表征生产过程的温度、压力、流量、液位、成分、pH等过程参量进行控制。

综上所述，工业生产要实现生产过程自动化，首先必须熟悉生产过程，掌握对象特点，同时要熟悉过程参数的主要测量方法，了解仪表的主要性能、特点，根据生产工艺要求和反馈控制理论的分析方法，合理正确地构成过程控制系统；并且通过改变调节仪表的P、PI、PD、PID特性参数，使系统运行在最佳状态。

二、过程控制系统的分类

过程控制系统分类方法很多，其中最基本的分类方法是：

1. 按系统的结构特点分类

(1) 反馈控制系统

反馈控制系统是根据系统被控量与给定值的偏差进行工作的，最后达到消除或减小偏差的目的，偏差值是控制的依据。图 1-4 所示的液位控制系统，就是一个反馈控制系统，因为该系统由被控量的反馈构成一个闭合回路，所以又称为闭环控制系统。这是过程控制系统中最基本的一种。另外，反馈信号也可能有多个，从而可以构成一个以上的闭合回路，称为多回路反馈控制系统。

(2) 前馈控制系统

前馈控制系统是直接根据扰动进行工作的，扰动是控制的依据。由于它没有被控量的反馈，所以不构成闭合回路，故也称为开环控制系统。

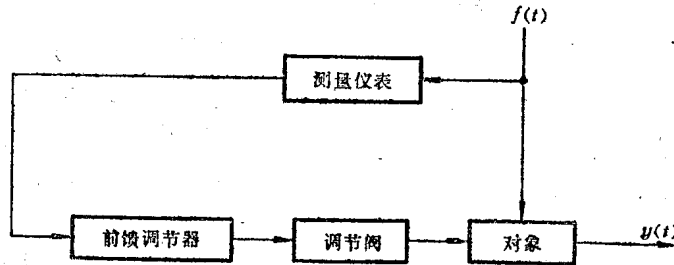


图 1-5 前馈控制系统方框图

图 1-5 所示为前馈控制系统方框图。扰动 $f(t)$ 是引起被控量 $y(t)$ 变化的原因，前馈调节器是根据扰动 $f(t)$ 进行工作的，可能及时抵消扰动 $f(t)$ 对被控量 $y(t)$ 的影响。但是，由于前馈控制是一种开环控制，无法检查控制的效果，所以在实际生产过程中是不能单独应用的。

(3) 复合控制系统(前馈-反馈控制系统)

图 1-6 所示为复合控制系统方框图。前馈开环控制的主要优点是能针对主要扰动迅速及

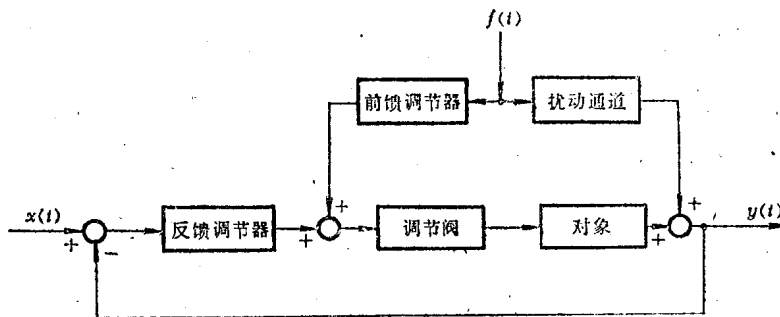


图 1-6 复合控制系统

时控制控制量，克服扰动对被控量的影响。所以，在反馈控制系统中加入对于主要扰动的前馈控制，构成复合控制系统，可以提高控制质量。

2. 按给定信号的特点分类

(1) 定值控制系统

定值控制系统是过程控制系统中应用最多的一种控制系统。在运行时，系统被控量（温度、压力、流量、液位、成分等）的给定值不变。如图 1-4a 贮罐液位控制系统就是一个定值控制系统。当然，有时根据工艺要求，给定值也可以从某一值改变到另一个值。对于定值控制系统来说，由于 $\Delta x = 0$ ，所以系统的输入是扰动信号。

(2) 随动系统

随动系统是被控量的给定值随时间任意变化的控制系统。它的主要作用是克服一切扰动，使被控量随时跟踪给定值。例如，在锅炉燃烧过程控制中，要求空气里随燃料量的变化而成比例变化，而燃料量则随负荷而变，其变化规律是任意的。

(3) 程序控制系统

程序控制系统被控量的给定值是按预定的时间程序而变化的。例如机械工业中的退火炉的温度控制系统就是程序控制系统。

第二章 被控对象的数学模型

过程控制系统的品质，是由组成系统的对象和过程检测控制仪表各环节的特性和系统的结构所决定的。建立对象的数学模型，对于实现生产过程自动化有着十分重要的意义。可以这样说，一个过程控制系统的优劣，主要取决于对生产工艺过程的了解和建立对象的数学模型。

§ 2-1 基本概念

在过程控制中，对象是指正在运行中的多种多样的工艺生产设备。例如热工过程中的加热炉、换热器、锅炉、贮液罐；化工过程中的精馏塔、化学反应器；冶金过程中的高炉、回转炉；机械工业中的热处理炉等等。

在对象中，一般总有某些物质或能量的输入和输出，而一般对象具有储存物质和能量的能力。

对象的数学模型，是指对象在各输入量作用下，其相应输出量变化的函数关系的数学表达式。如微分方程式、微分方程组、传递函数表达式或频率特性表达式等。

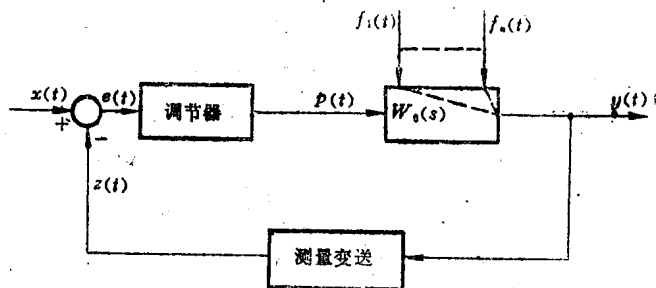


图 2-1 过程控制系统方框图

图2-1 所示为最简单的过程控制系统方框图。对象 $W_0(s)$ 是多个输入信号($p(t)$ 、 $f_1(t)$ 、 $f_2(t)$ 、 \dots 、 $f_n(t)$)、单个输出信号($y(t)$)的物理系统。各个输入信号($p(t)$ 、 $f_1(t)$ 、 $f_2(t)$ 、 \dots 、 $f_n(t)$)引起被控量($y(t)$)变化的动态特性一般是不同的。通常选一个可控性良好的输入信号作为控制作用，即调节器的输出 $p(t)$ 作为控制作用，常称为对象的“基本扰动”或“内部扰动”。其他的输入信号则为扰动作用 $f_1(t)$ 、 $f_2(t)$ 、 \dots 、 $f_n(t)$ ，统称为“外部扰动”。对象的“基本扰动”作用在闭合回路内，所以对过程控制系统的性能起决定作用。但是，“外部扰动”作用下对象的动态特性对控制过程也有很大影响，所以也必须有所了解。

为了简化对象的数学模型，我们仅讨论线性对象或线性化的对象。这样，在多个输入信号的作用下，对象的输出量为：

$$Y(s) = W_0(s)P(s) + W_{f_1}(s)F_1(s) + \dots + W_{f_n}(s)F_n(s) \quad (2-1)$$

式中： $W_0(s)$ ——当 $f_1(t)$ 、 $f_2(t)$ 、 \dots 、 $f_n(t)$ 不变时，控制作用 $p(t)$ 对被控量 $y(t)$ 的传递函数；

$W_{f_1}(s)$ ——当 $P(t)$ 、 $f_2(t)$ 、 \dots 、 $f_n(t)$ 不变时，扰动 $f_1(t)$ 对被控量 $y(t)$ 的传递函数；

.....

$W_{f_n}(s)$ ——当 $P(t)$ 、 $f_1(t)$ 、 $f_2(t)$ 、 \dots 、 $f_{n-1}(t)$ 不变时，扰动 $f_n(t)$ 对被控量 $y(t)$ 的传递函数；

$Y(s)$ 、 $P(s)$ 、 $F(s)$ ——分别为对象被控量、控制信号和扰动信号的拉氏变换。

对象输入量与输出量之间的信号联系(图 2-1 中用虚线表示)，称为“通道”。调节作用(控制作用)与被控参数之间的信号联系，称为调节通道(即控制通道)。扰动作用与被控参数之间的信号联系，称为“扰动通道”。

另外，还有一些对象可能是多个输入信号($p_1(t)$ 、 $p_2(t)$ 、 \dots 、 $p_n(t)$)、多个输出信号($y_1(t)$ 、 $y_2(t)$ 、 \dots 、 $y_n(t)$)的物理系统。在这样一些对象中，调节阀的个数通常与被调参数的个数相等。几个输入信号将同时影响两个或两个以上的被控量，即每一个调节作用除了影响“自己的”被控参数外，还将或多或少地影响其余的被控量。为此，有时可以采用解耦控制，以便使某一个调节作用只影响“自己的”被控参数，而不影响其余的被控参数。本章仅讨论只有一个被控量的对象。

从阶跃响应曲线来看，过程控制中大多数调节对象特性的特点是：被控量的变化往往是不振荡的、单调的，有滞后和惯性，如图 2-2 所示。从对象的典型阶跃响应曲线来看，当扰动发生后，被控参数并不立即有显著的变化，这表明对象对扰动的响应有滞后，被控参数变

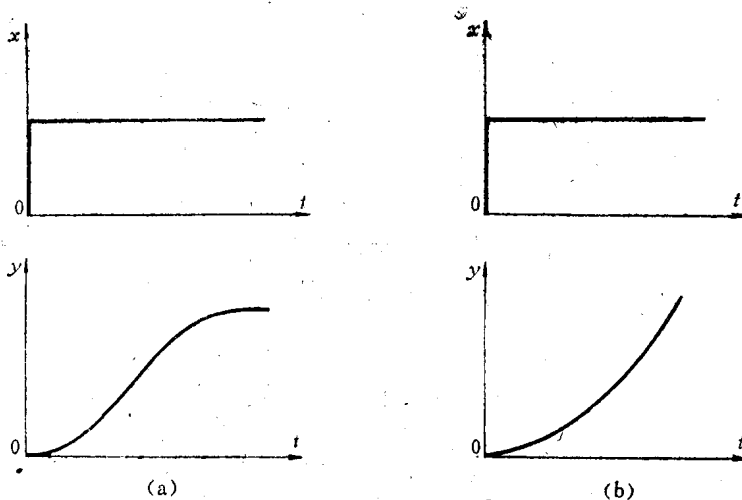


图 2-2 对象的典型阶跃响应曲线

化的最后阶段可能达到新的平衡，如图 2-2a 所示，也可能被控量不断变化，而其变化速度趋近某一数值，不再平衡下来，如图 2-2b 所示。前者对象具有自平衡能力，统称为有自衡的对象；后者对象无自平衡能力，统称为无自衡对象。

目前，研究对象数学模型一般有两种方法。对于简单对象，可以根据过程进行的机理和

生产设备的具体结构，用分析计算的方法，即通过物料平衡和能量平衡关系，推导出对象的数学模型；对于复杂对象，用解析方法求取数学模型比较困难，因此，通常采用现场实验测定方法来获得。

§ 2-2 单容对象的数学模型

所谓单容对象，是指只有一个储蓄容量的对象。单容对象可分为具有自平衡能力和无自平衡能力两类。下面分别来介绍其对象的数学模型。

一、有自平衡能力对象的数学模型

所谓有自平衡能力，是指对象在扰动作用下，平衡状态被破坏后，不需要操作人员或仪表等干预，就能依靠自身重新恢复平衡的能力。

在过程控制中，单容对象的种类繁多，其结构各异。下面以连续生产过程中常用到的液体贮罐、加热器等对象为例，介绍怎样通过物料平衡和能量平衡等关系来建立数学模型的方法。

1. 液位对象的数学模型

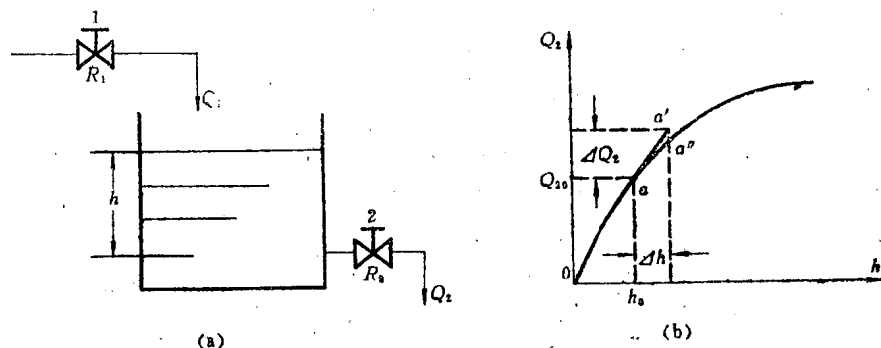


图 2-3 液位对象

图2-3所示为液位对象，其液体流入量为 Q_1 ，改变调节阀1的开度 μ_1 ，可以改变 Q_1 的大小。液体流出量为 Q_2 ，它取决于用户的需要，可调节阀2的开度来加以改变。液位 h 代表贮罐中贮存液体的数量， h 的变化反映了由于液体流入量 Q_1 与流出量 Q_2 不等而引起贮罐中蓄水或泄水的过程。液位 h 称之为被控量。根据物料平衡的关系，液体流入量与流出量之差应等于贮罐中液体贮存量的变化率，即

$$Q_1 - Q_2 = A \frac{dh}{dt} \quad (2-2)$$

将式(2-2)表示为增量形式：

$$\Delta Q_1 - \Delta Q_2 = A \frac{d\Delta h}{dt} \quad (2-3)$$

式中： ΔQ_1 、 ΔQ_2 、 Δh ——分别为偏离某一平衡状态 Q_{10} 、 Q_{20} 、 h_0 的增量；

A ——贮罐截面积。