



21世纪高等学校本科电子电气专业系列实用教材

过程控制系统

(第3版)

◎ 李国勇 何小刚 杨丽娟 主编
◎ 卫明社 王芳 副主编 ◎ 阎高伟 主审



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

21 世纪高等学校本科电



过程控制系统

(第3版)

李国勇 何小刚 杨丽娟 主编

卫明社 王 芳 副主编

阎高伟 主审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书全面地论述了过程控制系统的要求、组成、性能指标和发展；工业生产过程数学模型的一般表示形式和建模方法；控制器的特性、选型与参数整定；调节阀的设计、选型和计算；简单控制系统的结构和特点及分析、设计和调试等；常用的复杂控制系统，如串级控制、补偿控制、比值控制、均匀控制、分程控制和选择性控制等系统的结构、分析、设计和实施等；多变量解耦控制系统的分析和解耦设计方法；计算机过程控制系统的组成与类型和先进控制策略；火力发电厂锅炉的控制。

本书可作为高等院校自动化和信息类其他专业研究生和高年级本科生的教材，也可作为从事自动控制研究、设计和应用的科学技术人员的参考用书。

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

过程控制系统 / 李国勇, 何小刚, 杨丽娟主编. —3 版. —北京: 电子工业出版社, 2017.4
21 世纪高等学校本科电子电气专业系列实用教材
ISBN 978-7-121-31303-5

I. ①过… II. ①李… ②何… ③杨… III. ①过程控制—高等学校—教材 IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 071296 号

策划编辑: 牛平月

责任编辑: 王敬栋

印 刷: 北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

装 订: 北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

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

开 本: 787×1092 印张: 19.5 字数: 500 千字

版 次: 2017 年 4 月第 3 版

印 次: 2017 年 4 月第 1 次印刷

印 数: 2500 册 定价: 49.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888, 88258888。

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。

本书咨询联系方式: (010) 88254454。

第3版前言

本书自2009年5月初版和2013年1月再版以来,得到了广大读者的关心和支持,被国内多所大学选为教材。这次修订在保持前两版系统、实用、易读的特点和基本框架的基础上,修改了个别章节的内容,还增加了火力发电厂锅炉设备的控制。同时,新的版本也符合自动化专业培养目标、反映自动化专业教育改革方向、满足自动化专业教学需要和多学科交叉背景学生的教学需求。

本书将当前在工业生产过程中广泛应用或应用较为成熟的常规控制系统和控制方案作为重点,进行了全面系统的阐述;而对于计算机过程控制系统和先进控制方法,在本书中仅进行了简单介绍。因为,随着生产过程控制技术的迅速发展,它们已各成体系,大多数高等院校也已就计算机控制系统和先进控制理论等内容开设了相应的课程。

本书系统地论述了如下内容:(1)过程控制系统的要求、组成、性能指标和发展。(2)被控工业过程的数学模型及其获取方法,包括对象数学模型动态特性的基本描述形式及获取方法。(3)执行器的种类、选型和计算。(4)PID控制器控制规律的原理、分析与选型,包括模拟PID控制器和数字PID控制器的选型和参数整定。(5)简单控制系统的基本概念、分析和设计,包括被控变量与控制变量的选择,控制器和测量变送器的选型,控制器参数整定的常用方法与控制系统投运。(6)串级控制系统的结构组成、工作原理和方案设计,包括主、副被控变量和操作变量的选择、主回路和副回路的设计及主控制器和副控制器的选择,常用的串级控制系统的参数整定方法。(7)补偿控制系统的原理和前馈控制的几种结构形式,包括静态前馈控制、动态前馈控制、复合前馈控制等各种前馈控制系统的设计,前馈补偿器的设计与实现,常用的工程整定方法;以及大迟延生产过程的的概念,常规仪表控制方案的实现,补偿控制方案的设计与实现。(8)比值控制系统、均匀控制系统、分程控制系统、选择性控制系统的基本概念,系统设计与实现和参数整定。(9)解耦控制系统,包括多变量系统的分析(相对增益的概念与计算、耦合系统中的变量匹配)、控制器参数整定和常用的解耦控制系统设计方法等。(10)计算机过程控制系统的组成与类型和常用先进控制策略的简单介绍。(11)火力发电厂锅炉设备的控制。

本书取材先进实用,讲解深入浅出,各章均有用MATLAB/Simulink编写的仿真及应用实例,强调了理论与实际相结合。

本书由李国勇、何小刚和杨丽娟任主编,卫明社和王芳任副主编。全书共11章,其中第1章由杨麦仓编写;第2、11章由何小刚编写;第3~4章由李国勇编写;第5章由任密蜂编写;第6章由卫明社编写;第7章由陈明文编写;第8章由杨丽娟编写;第9章由王芳编写;

第10章由魏峰编写。阎高伟教授主审了全书，并提出了许多宝贵的意见和建议，在此深表谢意。此外，还要感谢电子工业出版社编辑牛平月女士为本书的出版所付出的辛勤工作。

本教材适用学时数为40~56（2.5~3.5学分），章节编排具有相对独立性，使教师与学生便于取舍，也便于不同层次院校的不同专业选用，以适应不同教学学时的需要。

本书提供配套的电子课件，可登录华信教育资源网：www.hxedu.com.cn，注册后免费下载。

由于编者水平有限，错误和不妥之处在所难免，敬请读者指正。

编者

目 录

第 1 章 概述	(1)
1.1 过程控制的要求与任务	(1)
1.2 过程控制系统的组成与特点	(3)
1.2.1 过程控制系统的组成	(3)
1.2.2 过程控制系统特点	(5)
1.3 过程控制系统的性能指标	(6)
1.3.1 单项性能指标	(7)
1.3.2 综合性能指标	(7)
1.4 过程控制系统的设计	(8)
1.4.1 确定系统变量	(9)
1.4.2 确定控制方案	(10)
1.4.3 过程控制系统硬件选择	(10)
1.4.4 设计安全保护系统	(11)
1.4.5 系统调试和投运	(11)
1.5 过程控制的发展与趋势	(12)
1.5.1 过程控制装置的进展	(12)
1.5.2 过程控制策略的进展	(15)
本章小结	(15)
习题	(16)
第 2 章 被控过程的数学模型	(17)
2.1 过程模型概述	(17)
2.1.1 被控过程的动态特性	(17)
2.1.2 数学模型的表达形式与要求	(20)
2.1.3 建立过程数学模型的基本方法	(23)
2.2 机理法建模	(24)
2.2.1 单容对象的传递函数	(24)
2.2.2 多容对象的传递函数	(29)
2.3 测试法建模	(32)

2.3.1	对象特性的实验测定方法	(32)
2.3.2	测定动态特性的时域法	(33)
2.3.3	测定动态特性的频域法	(40)
2.4	利用 MATLAB 建立过程模型	(42)
	本章小结	(48)
	习题	(48)
第3章	执行器	(50)
3.1	气动调节阀的结构	(50)
3.1.1	气动执行机构	(50)
3.1.2	阀	(51)
3.1.3	阀门定位器	(52)
3.2	调节阀的流量系数	(53)
3.2.1	调节阀的流量方程	(53)
3.2.2	流量系数的定义	(54)
3.2.3	流量系数计算	(55)
3.3	调节阀结构特性和流量特性	(59)
3.3.1	调节阀的结构特性	(60)
3.3.2	调节阀的流量特性	(62)
3.3.3	调节阀的可调比	(66)
3.4	气动调节阀的选型	(68)
3.4.1	调节阀结构形式的选择	(69)
3.4.2	调节阀气开与气关形式的选择	(69)
3.4.3	调节阀流量特性的选择	(70)
3.4.4	调节阀口径的确定	(71)
3.5	利用 MATLAB 确定调节阀的口径	(78)
	本章小结	(84)
	习题	(84)
第4章	PID 控制原理	(86)
4.1	PID 控制的特点	(86)
4.2	比例控制 (P 控制)	(87)
4.2.1	比例控制的调节规律和比例带	(87)
4.2.2	比例控制的特点	(88)
4.2.3	比例带对控制过程的影响	(90)
4.3	比例积分控制 (PI 控制)	(92)
4.3.1	积分控制的调节规律	(92)
4.3.2	比例积分控制的调节规律	(94)
4.3.3	积分饱和现象与抗积分饱和的措施	(95)

4.4 比例积分微分控制 (PID 控制)	(97)
4.4.1 微分控制的调节规律	(97)
4.4.2 比例微分控制的调节规律	(97)
4.4.3 比例微分控制的特点	(98)
4.4.4 比例积分微分控制的调节规律	(99)
4.5 数字 PID 控制	(100)
4.5.1 基本的数字 PID 控制算法	(101)
4.5.2 改进的数字 PID 控制算法	(102)
4.6 利用 MATLAB 实现 PID 控制规律	(104)
本章小结	(108)
习题	(109)
第 5 章 简单控制系统	(110)
5.1 简单控制系统的分析	(110)
5.1.1 控制系统的工作过程	(110)
5.1.2 简单控制系统的组成	(111)
5.1.3 简单离散控制系统的组成	(113)
5.2 简单控制系统的设计	(114)
5.2.1 被控变量和操作变量的选择	(114)
5.2.2 检测变送仪表的选择	(117)
5.2.3 控制器的选型	(119)
5.3 简单控制系统的整定	(123)
5.3.1 控制器参数整定的基本要求	(124)
5.3.2 PID 控制器参数的工程整定	(125)
5.3.3 PID 控制器参数的自整定	(133)
5.4 简单控制系统的投运	(135)
5.5 简单控制系统的故障与处理	(137)
5.6 利用 MATLAB 对简单控制系统进行仿真	(139)
5.6.1 利用 MATLAB 对 PID 控制器参数进行整定	(139)
5.6.2 利用 Simulink 对 PID 控制器参数进行自整定	(142)
本章小结	(146)
习题	(146)
第 6 章 串级控制系统	(148)
6.1 串级控制系统的基本概念	(148)
6.1.1 串级控制的提出	(148)
6.1.2 串级控制系统的组成	(151)
6.1.3 串级控制系统的工作过程	(151)
6.2 串级控制系统的分析	(153)

6.2.1	增强系统的抗干扰能力	(153)
6.2.2	改善对象的动态特性	(155)
6.2.3	对负荷变化有一定的自适应能力	(157)
6.3	串级控制系统的设计	(157)
6.3.1	副回路的选择	(158)
6.3.2	主、副回路工作频率的选择	(159)
6.3.3	主、副控制器的选型	(162)
6.4	串级控制系统的整定	(164)
6.4.1	逐步逼近法	(165)
6.4.2	两步整定法	(165)
6.4.3	一步整定法	(166)
6.5	串级控制系统的投运	(167)
6.6	利用 MATLAB 对串级控制系统进行仿真	(167)
	本章小结	(173)
	习题	(173)
第 7 章	补偿控制系统	(174)
7.1	补偿控制的原理	(174)
7.2	前馈控制系统	(175)
7.2.1	前馈控制的概念	(175)
7.2.2	前馈控制系统的结构	(176)
7.2.3	前馈控制系统的设计	(182)
7.2.4	前馈控制系统的整定	(186)
7.3	大迟延控制系统	(189)
7.3.1	大迟延系统的概述	(189)
7.3.2	大迟延控制系统的设计	(189)
7.4	利用 MATLAB 对补偿控制系统进行仿真	(194)
	本章小结	(197)
	习题	(198)
第 8 章	特殊控制系统	(199)
8.1	比值控制系统	(199)
8.1.1	比值控制的概念	(199)
8.1.2	比值控制系统的类型	(200)
8.1.3	比值控制系统的设计	(204)
8.1.4	控制器的选型和整定	(211)
8.2	均匀控制系统	(213)
8.2.1	均匀控制的概念	(213)
8.2.2	均匀控制系统的设计	(214)

8.2.3 均匀控制系统的整定	(217)
8.3 分程控制系统	(218)
8.3.1 分程控制的概念	(218)
8.3.2 分程控制系统的应用	(219)
8.3.3 分程控制系统的实施	(222)
8.4 自动选择性控制系统	(225)
8.4.1 自动选择性控制的概念	(225)
8.4.2 自动选择性控制系统的类型	(225)
8.4.3 控制器的选型和整定	(228)
8.5 顺序控制系统	(230)
8.5.1 顺序控制的概念	(230)
8.5.2 顺序控制组成	(230)
8.5.3 顺序控制的表示及设计方法	(231)
8.6 利用 MATLAB 对特殊控制系统进行仿真	(234)
本章小结	(238)
习题	(238)
第 9 章 解耦控制系统	(240)
9.1 解耦控制的基本概念	(240)
9.1.1 控制回路间的耦合	(240)
9.1.2 被控对象的典型耦合结构	(241)
9.2 解耦控制系统的分析	(242)
9.2.1 耦合程度的分析	(242)
9.2.2 相对增益分析法	(243)
9.2.3 减少及消除耦合的方法	(249)
9.3 解耦控制系统的设计	(251)
9.3.1 前馈补偿解耦法	(251)
9.3.2 反馈解耦法	(254)
9.3.3 对角阵解耦法	(255)
9.3.4 单位阵解耦法	(256)
9.4 解耦控制系统的实施	(257)
9.4.1 解耦控制系统的稳定性	(257)
9.4.2 多变量控制系统的部分解耦	(258)
9.4.3 解耦控制系统的简化	(258)
9.5 利用 MATLAB 对解耦控制系统进行仿真	(259)
本章小结	(264)
习题	(264)
第 10 章 计算机过程控制系统	(266)

10.1	计算机过程控制系统简介	(266)
10.2	计算机过程控制系统的组成	(267)
10.3	计算机过程控制系统的类型	(268)
10.4	先进过程控制方法	(273)
	本章小结	(277)
	习题	(277)
第 11 章	电厂锅炉设备的控制	(278)
11.1	火力发电厂工艺流程	(278)
11.2	锅炉给水控制系统	(279)
11.2.1	概述	(279)
11.2.2	给水系统的主被调参数、调节参数及控制方式	(280)
11.2.3	给水系统的对象特性	(281)
11.2.4	给水系统的控制方案	(283)
11.3	锅炉主蒸汽温度控制	(285)
11.3.1	概述	(285)
11.3.2	气温控制的被调参数和调节参数及对象特性	(285)
11.3.3	过热汽温控制基本方案	(287)
11.4	锅炉燃烧控制系统	(290)
11.4.1	燃烧控制的任務	(290)
11.4.2	燃烧系统的被调参数及控制参数	(291)
11.4.3	燃烧系统对象的动态特性	(291)
11.4.4	燃烧系统的控制方案	(293)
	本章小结	(296)
	习题	(296)
附录 A	仪表位号	(297)
	参考文献	(299)

第 1 章

概 述

控制系统分类方式繁多，从应用场合可以分为过程控制系统与运动控制系统两大类。运动控制系统主要指那些以位移、速度和加速度等为被控参数的一类控制系统，如以控制电动机的转速、转角为主的机床控制和跟踪控制等系统；过程控制系统则是指以温度、压力、流量、液位（或物位等）、成分和物性等为被控参数的流程工业中的一类控制系统。这两类控制系统虽然基于相同的控制理论，但因控制过程的性质、特征和控制要求等的不同，带来了控制思路、控制策略和控制方法上的区别。本书仅讨论与过程控制系统有关的内容。

1.1 过程控制的要求与任务

生产过程是指物料经过若干加工步骤而成为产品的过程。该过程中通常会发物理化学反应、生化反应、物质能量的转换与传递等，或者说生产过程表现为物流变化的过程。伴随物流变化的信息包括体现物流性质（物理特性和化学成分）的信息和操作条件（温度、压力、流量、液位或物位等）的信息。生产过程的总目标，应该是在可能获得的原料和能源条件下，以最经济的途径将原物料加工成预期的合格产品。为了达到该目标，必须对生产过程进行监视与控制。

工业自动化涉及的范围极广，过程控制是其中最重要的一个分支。过程控制一般是指工业生产中连续的或按一定程序周期进行的生产过程的自动控制，它涉及了许多工业部门，如电力、石油、化工、冶金、炼焦、造纸、建材、轻工、纺织、陶瓷及食品等。因而，过程控制在国民经济中占有极其重要的地位。过程控制主要针对六大参数，即温度、压力、流量、液位（或物位）、成分和物性等参数的控制问题。但进入 20 世纪 90 年代后，随着工业和相关科学技术的发展，过程控制已经发展到多变量控制，控制的目标也不再局限于传统的六大参数，尤其是复杂工业控制系统，它们往往把生产中最关心的诸如产品质量、生产效益、能量消耗、废物排放等作为控制指标来进行控制。

为了实现过程控制，以控制理论和生产要求为依据，采用模拟仪表、数字仪表或计算机等构成的控制总体，称为过程控制系统。其控制目标是人们对品质、效益、环境和能耗的总体要求。

图 1-1 所示为转炉供氧量控制系统图。转炉是炼钢工业生产过程中的一种重要设备。熔融的铁水装入转炉后，通过氧枪供给一定量的氧。其目的是使铁水中的碳氧化燃烧，以不断

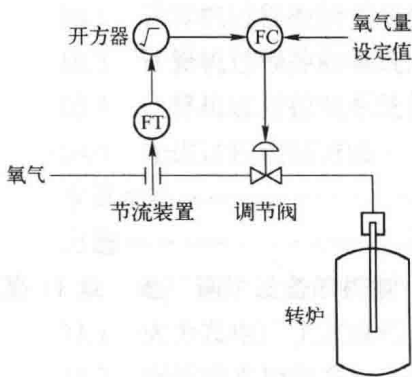


图 1-1 转炉供氧量控制系统图

降低铁水中的含碳量。控制吹氧量和吹氧时间，可以获得不同品种的钢产品。由图 1-1 可见，从节流装置采集到的氧气流量，送入流量变送器 FT，再经过开方器，其结果送到流量控制器 FC，流量控制器 FC 根据氧气流量的测量值与其设定值的偏差，按照一定的控制算法输出控制信号，去控制调节阀的开度，从而改变供氧量的大小，以满足生产工艺的要求。

通常，将系统中被控制的物理量称为被控变量，而被控变量所要求的理想值称为设定值或给定值。设定值是系统的输入变量，被控变量是系统的输出变量。

过程控制系统一般有如下两种运行状态：一种是稳态，此时系统没有受到任何外来干扰，同时设定值保持不变，因而被控变量也不会随时间变化，整个系统处于稳定平衡的工况。另一种是动态，当系统受到外来干扰的影响或者在改变了设定值后，原来的稳态遭到破坏，系统中各组成部分的输入/输出变量都相继发生变化，尤其是被控变量也将偏离原稳态值而随时间变化，这时系统处于动态。经过一段调整时间后，如果系统是稳定的，被控变量将会重新达到新设定值或其附近，系统又恢复稳定平衡工况。这种从一个稳态到达另一个稳态的历程称为过渡过程。由于被控对象总是不时受到各种外来干扰的影响，设置控制系统的目的也正是为了克服这种扰动带来的影响，因此系统经常处于动态过程。显然，要评价一个过程控制系统的工作质量，只看稳态是不够的，还应该考核它在动态过程中被控变量随时间变化的情况。

工业生产对过程控制的要求是多方面的，最终可以归纳为安全性、稳定性和经济性。

（1）安全性

过程控制系统涉及许多危险、有害的工质。同时，过程控制系统正向着高容量、高参数的趋势发展，许多参数都工作在接近极限的状态。例如，电厂主蒸汽的温度、煤制油合成塔的压力、液化天然气的冷箱及储罐的温度等参数都工作在接近所使用钢材的极限状态。这些参数如果越线，将造成极大的人身及设备伤害。因此，在这些场合中，过程控制系统的首要任务就是通过把这些参数控制在合适的范围内来确保人身及设备的安全。

针对控制系统本身可能发生的故障，在过程控制系统中通常采用参数越限报警、事故报警和联锁保护等措施来保证测控仪表发生故障时生产过程的安全。采用在线故障预测与诊断、容错控制等措施可进一步提高生产过程的安全性。

另外，随着环境污染日趋严重，生态平衡屡遭破坏，现代企业必须把符合国家制定的环境保护法视为生产安全性的重要组成部分，保证各种三废排放指标在允许范围内，确保环境的安全。

（2）稳定性

稳定性指的是系统抑制外部干扰、保持生产过程长期稳定运行的能力。变化的（特别是恶劣的）工业运行环境、原料成分的变化、能源系统的波动等均有可能影响生产过程的稳定运行。在外部干扰下，过程控制系统应该使生产过程参数与状态产生的变化尽可能小，以消除或减小外部干扰可能造成的不良影响。

(3) 经济性

在满足以上两个基本要求的基础上,低成本高效益是过程控制的另一个目标。为了达到这个目标,不仅需要对过程控制系统进行优化设计,还需要管控一体化,即以经济效益为目标的整体优化。

因此,过程控制的任务是在充分了解、掌握生产过程的工艺流程和动/静态特性的基础上,根据上述三项要求,应用理论对控制系统进行分析与综合,以生产过程中表现出来的各种状态信息作为被控变量,选用适宜的技术手段,实现生产过程的控制目标。

需要指出的是,随着生产的发展,安全性、稳定性和经济性的具体内容也在不断改变,要求也越来越高。为适应当前生产对控制的要求越来越高的趋势,必须充分注意现代控制在过程中的应用。其中,过程对象建模的研究和新型控制算法的研究起着举足轻重的作用,因为现代控制技术的应用在很大程度上取决于对过程静态和动态特性认识的深度。因此可以说,过程控制是控制理论、工艺知识、计算机技术和仪器仪表等知识相结合而构成的一门应用科学。

工业生产过程通常分为连续过程和间隙过程。连续过程是指整个生产过程是连续不间断进行的,一方面原料连续供应;另一方面产品源源不断地输出。例如,电力工业中电能的生产,石油工业中汽油等石化产品的生产等。至于间歇过程形式,无论其原料或者产品都是一批一批地加入或输出,所以又称为批量生产。例如,食品、酿造中的发酵,某些制药企业的微生物培养,油脂企业的酯化等。间歇生产的特点是中转环节多、切换频繁,也就是在生产过程中需要不断地切换操作,而且利用同一个装置却要生产出多种产品。所以,间歇过程的控制不仅需要不同的控制策略,也需要一系列逻辑操作工序来加以保证。过程控制中连续过程所占的比重最大,涉及石油、化工、冶金、电力、轻工、纺织、制药、建材和食品等工业部门。本书主要讨论连续过程的控制。

1.2 过程控制系统的组成与特点

1.2.1 过程控制系统的组成

在生产过程中有各种各样的控制系统,图1-2所示为几个简单控制系统带测控点的工艺流程图。

图1-2所示为管道仪表流程图(P&ID),也称为带测控点的工艺流程图,由于省略了仪表位号中的回路编号,故以下在不引起混淆的情况下,将其简称为系统图。

在这些控制系统中,对生产设备都有一个需要进行控制的过程变量,如温度、压力和液位等,这些需要进行控制的过程变量也称为被控变量。在系统工作时,被控变量常常偏离其所要求的理想值(设定值)。被控变量偏离设定值的原因是由于过程生产中存在干扰,如蒸汽压力、泵的转速、进料量的变化等。为了使这些被控变量与其设定值保持一致,需要有一种控制器,它将被控变量的测量值与设定值进行比较得出偏差信号,并按某种预定的控制规律进行运算,给出控制信号,用于改变某些变量,使得被控变量与其设定值相等。过程控制中用于调节的变量,如图1-2中的蒸汽流量、回流流量和出料流量等被称为操作变量、操纵变量或控制变量。在系统中,用于测量、变换和传送被控变量信号的仪表称为检测变送仪表。

用于实施控制命令的设备称为执行器。

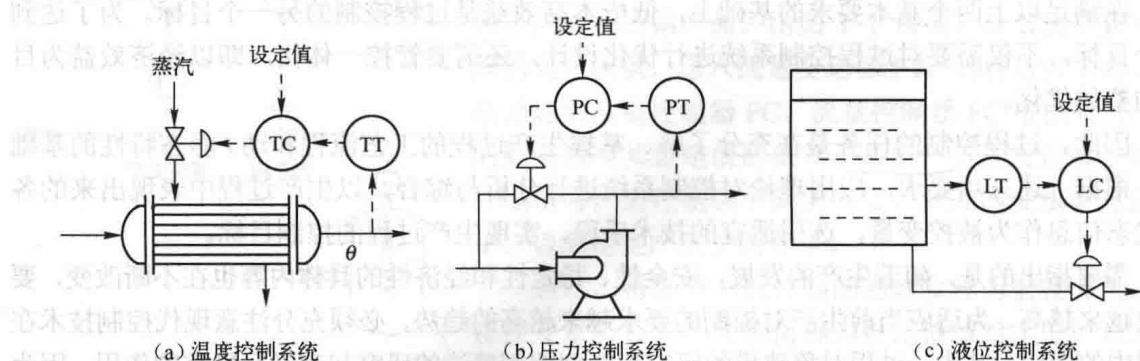


图 1-2 简单控制系统带测控点的工艺流程图

由此可见，过程控制系统一般由被控过程（也称被控对象）、检测变送仪表、执行器和控制器（也称调节器）等环节组成。

（1）被控过程

被控过程也称被控对象，是指被控制的生产设备或装置。工业生产中的各种反应器、换热器、泵、塔器和压缩机及各种容器、储槽都是常见的被控对象，甚至一段管道也可以是一个被控对象。在复杂的生产设备中，经常有多个变量需要控制。例如，锅炉系统中的液位、压力和温度等均可作为被控参数；又比如，反应塔系统中的液位、进出流量和某一层塔板的温度等也可作为被控参数，这时一个装置中就存在多个被控对象和多个控制系统。对这样的复杂系统，被控对象就不一定是生产设备的整个装置，只有该装置的某一个与控制有关的相应部分才是某一个控制系统的被控对象。

（2）检测变送仪表

检测变送仪表（又称为测量变送装置或测量变送器）一般由测量元件和变送单元组成。其作用是测量被控变量，并按一定算法将其转换为标准信号输出作为测量值，即把被控变量转化为其测量值。例如，用热电阻或热电偶测量温度，并将其测量信号通过变送器转换为统一的气压信号（0.02~0.1MPa）或直流电流信号（0~10mA 或 4~20mA）或直流电压信号（1~5V）。

（3）执行器

在过程控制系统中，常用的执行器有电动调节阀和气动调节阀等，其中以气动薄膜调节阀最为常用。另外，在特定的应用中，调功装置和变频器等也常作为执行器的一个执行部件。执行器接收控制器送来的控制信号，直接改变操作变量；操作变量是被控对象的一个输入变量，通过操作这个变量可克服扰动对被控变量的影响，操作变量通常是执行器控制的某一工艺变量。

在过程控制系统中，往往把被控对象、检测变送仪表和执行器三部分串联在一起，统称为广义被控对象。

（4）控制器

控制器也称调节器，它将被控变量的测量值与设定值进行比较得出偏差信号，并按某种

预定的控制规律进行运算, 给出控制信号去操纵执行器。

(5) 报警、保护和联锁等其他部件

在过程控制系统中, 为防止控制系统本身某些部件故障或其他原因引起控制失常, 通常还要采用必要的报警及保护装置。对于正常的开/停车及为了避免事故的扩大, 系统还需要设置必要的联锁逻辑及部件。

1.2.2 过程控制系统特点

1. 工业生产过程的特点

由于过程控制主要是指连续工业生产过程的控制, 故工业生产过程的特点主要指连续工业生产过程的特点。

工业生产过程通常会发物理或化学变化, 伴随着物质或能量的转换与传递, 往往是一个十分复杂的大系统, 存在不确定性、时变性以及非线性等因素。因此, 过程控制的难度是显而易见的, 要解决过程控制问题必须采用有针对性的特殊方法与途径。工业生产过程常常处于恶劣的生产环境中, 同时常常要求苛刻的生产条件, 如高温、高压、低温、真空、易燃、易爆或有毒等。因此, 生产设备与人身的安全性特别重要。

由连续生产的特征可知, 工业生产过程更强调实时性和整体性。协调复杂的耦合与制约因素, 求得全局优化, 也是十分重要的。

2. 过程控制系统的特点

(1) 被控过程的多样性

工业生产过程涉及各种工业部门, 其物料加工成的产品是多样的。同时, 生产工艺各不相同, 如石油化工过程、冶金工业中的冶炼过程、核工业中的动力核反应过程等, 这些过程的机理不同, 甚至执行机构也不同。因此, 过程控制系统中的被控对象(包括被控变量)是多样的, 明显地区别于运动控制系统。

(2) 控制方案的多样性

由工业生产过程的特点及被控过程的多样性决定了过程控制系统的控制方案必然是多样的。这种多样性包含系统硬件组成和控制算法及软件设计。对于图 1-1 和图 1-2 所示的简单过程控制系统, 早期的控制器采用的是模拟调节仪表, 如果将控制器、执行器和检测元件与变送单元统称为常规检测控制仪表, 则一个简单的过程控制系统可以被认为是由被控过程和常规检测控制仪表两部分组成, 这样的系统也称为常规仪表过程控制系统。随着现代工业的发展, 工业过程越来越复杂, 对过程控制的要求也越来越高, 传统的模拟式过程检测控制仪表已经不能满足控制要求, 因而采用计算机作为控制器组成计算机过程控制系统。从控制方法的角度看, 有单变量过程控制系统, 也有多变量过程控制系统。同时, 控制算法多种多样, 有 PID 控制、复杂控制, 也有包括智能控制的先进控制方法等。

(3) 被控过程属慢过程, 且多属于参数控制

过程控制系统中, 为了连续、稳定的生产, 经常涉及大量的物料及能量储存, 尤其是随着生产规模的日益扩大, 这种能量及物料储存的装置也日益增大, 这直接导致了过程对象常

常是一些缓慢的过程,也就是说,过程对象常常是一些有纯滞后或大时间常数的过程。例如,隧道窑由于蓄热能力很强,导致以喷嘴燃料量为输入,窑道中心温度为输出对象的时间常数往往要达到小时甚至天的数量级。

由于过程控制涉及的系统是靠连续的物理或化学变化达到生产目的的,期间涉及大量的传热、传质及复杂的物理和化学变化,通常这些过程不是由一两个参数决定的。因此,过程控制系统往往是多参数的,且这些参数是互相影响的。

(4) 定值控制是过程控制的主要形式

为了确保安全、平稳、高效的运行,大多数过程控制系统面对的生产多是要求某些参数的稳定,也即要求被控参数为某一定值。因此,大多数过程控制系统属于定值控制系统。定值控制系统的特点是系统对给定的跟踪能力的要求低于运动控制系统,但要求较高的抗干扰能力。

(5) 过程控制系统有多种分类方法

① 按被控参数分类:可分为温度过程控制系统、压力过程控制系统、流量过程控制系统、液位或物位过程控制系统、物性过程控制系统和成分过程控制系统等。

② 按被控变量数分类:可分为单变量过程控制系统和多变量过程控制系统。

③ 按设定值分类:可分为定值过程控制系统、随动(伺服)过程控制系统和程序过程控制系统。

④ 按参数性质分类:可分为集中参数过程控制系统和分布参数过程控制系统。

⑤ 按控制算法分类:可分为简单过程控制系统、复杂过程控制系统和先进或高级过程控制系统。

⑥ 按控制器形式分类:可分为常规仪表过程控制系统和计算机过程控制系统。

1.3 过程控制系统的性能指标

工业生产过程对控制的要求,可以概括为准确性、稳定性和快速性。另外,定值控制系统和随动(伺服)控制系统对控制的要求既有共同点,也有不同点。定值控制系统在于恒定,即要求克服干扰,使系统的被控参数能稳、准、快地保持接近或等于设定值。而随动(伺服)控制系统的主要目标是跟踪,即稳、准、快地跟踪设定值。根据过程控制的特点,主要讨论定值检测的性能指标。图 1-3 所示为一个过程控制系统的阶跃响应曲线。

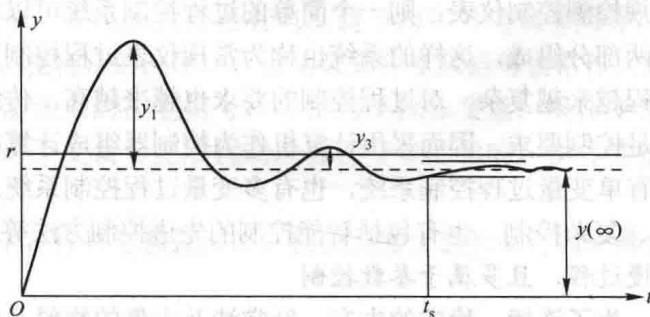


图 1-3 过程控制系统的阶跃响应曲线