



国家精品课程“过程控制与集散系统”教材

 电子信息与电气学科规划教材·自动化专业

过程控制与集散系统

方康玲 主编

王新民 潘炼 孙灵芳 吴怀宇 副主编



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

国家精品课程“过程控制与集散系统”教材
电子信息与电气学科规划教材·自动化专业

过程控制与集散系统

方康玲 主编

王新民 潘 炼 孙灵芳 吴怀宇 副主编

电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

本书为国家精品课程“过程控制与集散系统”教材。本书是在多年教学实践的基础上形成的,系统地介绍了有关过程控制的理论与技术。全书共分 12 章,包括概述、过程控制系统建模方法、过程控制系统设计、PID 调节原理、串级控制、特殊控制方法、补偿控制、关联分析与解耦控制、模糊控制、预测控制、先进控制和集散控制系统。

本书从基本概念出发,深入浅出地阐述了过程控制系统的本质与特点,同时配合大量的应用实例,力图使学生掌握过程控制系统分析、设计和优化的基本原理和方法。为了方便教师教学,本书配有免费电子教学课件。

本书可作为普通高等学校自动化类专业本科及研究生“过程控制系统”课程的教材和教学参考书,也可作为有关工程技术人员的自学教材和参考资料。

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

过程控制与集散系统 / 方康玲等主编. —北京: 电子工业出版社, 2009.1

电子信息与电气学科规划教材·自动化专业

ISBN 978-7-121-07922-1

I. 过… II. 方… III. ①过程控制—高等学校—教材②集散系统—高等学校—教材 IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 188222 号

策划编辑: 段丹辉

责任编辑: 段丹辉

印 刷: 北京市海淀区四季青印刷厂

装 订: 涿州市桃园装订有限公司

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 1/16 印张: 22.5 字数: 605 千字

印 次: 2009 年 1 月第 1 次印刷

印 数: 4000 册 定价: 35.00 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。

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。

服务热线: (010)88258888。

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为；歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396；(010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

前 言

本书为国家精品课程“过程控制与集散系统”教材。本书是在多年教学实践的基础上形成的，系统地介绍了有关过程控制的理论与技术。本书从基本概念出发，深入浅出地阐述了过程控制系统的本质与特点，同时配合大量的应用实例，力图使学生掌握过程控制系统分析、设计和优化的基本原理和方法。

本书具有如下特点：

- **体系结构完整，时代感强** 既包含对过程控制系统设计的一般原理和方法的说明，也包含对复杂过程控制系统、先进过程控制系统以及集散控制系统的介绍，及时反映了过程控制技术的发展。

- **繁简适中，可读性强** 全书图文并茂，通俗易懂，实例和习题丰富，便于读者对相关内容的理解与掌握。各章自成体系又融会贯通，也方便读者有选择性地学习。特别是将 PID 调节、模糊控制和预测控制单独成章，它们分别被作为基本过程控制、智能控制和先进过程控制的代表予以介绍，使本书既有广度，又有一定的理论深度，便于读者对相关过程控制方法的深入了解。

- **工程实例特色明显** 针对过程控制实践性强的特点，本教材在讲解中附有大量应用实例，这些实例涵盖化工、冶金、电力等多个行业领域，有些实例来源于编者主持的实际过程控制项目，较好地做到了理论与实践的紧密结合。

- **内容丰富，适用面广** 能适应不同层次、不同类型院校的要求。既适应本科生、高职高专学生教学的要求，也可以满足研究生教学的需要；既可适应普通高等院校教学的需求，也可满足具有冶金行业特色背景的特殊高等院校教学的要求。

全书共分 12 章。第 1 章介绍过程控制系统的任务、目标与发展；第 2 章介绍过程控制系统建模方法；第 3 章介绍过程控制系统设计；第 4, 5, 6, 7 章分别介绍 PID 控制、串级控制、特殊控制以及补偿控制系统的原理与设计方法；第 8 章介绍关联分析与解耦控制；第 9, 10, 11 章介绍已经用于实际工业过程的先进控制方法，其中以模糊控制和预测控制为重点，使学生能较为深入地掌握这两种控制策略；集散系统 (DCS) 主要用于过程控制，因此第 12 章介绍集散控制系统的原理和设计方法，力图使学生对 DCS 有较全面的了解。

参加本书编写工作的有方康玲(第 1, 9 章)、王新民(第 2 章)、陈林(第 3 章)、刘晓玉(第 4 章)、孙灵芳(第 5, 6 章)、吴怀宇(第 7, 8 章)、刘斌(第 10, 11 章)和潘炼(第 12 章)。本书由方康玲任主编，王新民、潘炼、孙灵芳和吴怀宇任副主编，负责大纲制定以及全书的组织定稿。

为了方便教师教学，本书配有免费电子教学课件，读者可以登录华信教育资源网 (www.huaxin.edu.cn) 下载或发送电子邮件至 duandh@phei.com.cn 索取。

由于编者水平有限，不足之处仍在所难免，希望读者继续加以指正。联系方式：
klfangcn@yahoo.com.cn。

编者

2008 年 9 月

· III ·

目 录

第 1 章 概述	(1)
1.1 过程控制的任务	(1)
1.2 过程控制系统的组成与特点	(2)
1.2.1 过程控制系统组成	(2)
1.2.2 过程控制系统特点	(3)
1.3 过程控制系统的性能指标	(4)
1.4 过程控制的进展	(5)
1.4.1 过程控制装置进展	(5)
1.4.2 过程控制策略与算法的进展	(6)
本章小结	(6)
习题	(7)
第 2 章 过程控制系统建模方法	(8)
2.1 过程控制系统建模概念	(8)
2.1.1 建模概念	(8)
2.1.2 过程控制系统建模的两种基本方法	(9)
2.2 机理建模方法	(10)
2.2.1 单容对象的传递函数	(10)
2.2.2 具有纯延迟的单容对象特性	(12)
2.2.3 无自平衡能力的单容对象特性	(13)
2.2.4 多容对象的动态特性	(13)
2.3 测试建模方法	(16)
2.3.1 对象特性的实验测定方法	(16)
2.3.2 测定动态特性的时域法	(17)
2.3.3 测定动态特性的频域法	(22)
2.3.4 测定动态特性的统计相关法	(24)
2.3.5 最小二乘法	(31)
本章小结	(34)
习题	(35)
第 3 章 过程控制系统设计	(38)
3.1 过程控制系统设计步骤	(38)
3.2 确定控制变量与控制方案	(38)
3.2.1 确定控制目标	(38)
3.2.2 确定控制方案	(39)

3.3	过程控制系统硬件选择	(40)
3.3.1	控制装置	(40)
3.3.2	测量仪表和传感器的选型原则	(40)
3.4	节流元件计算	(40)
3.4.1	流量计算有关的基本概念	(40)
3.4.2	流量计类型	(42)
3.4.3	节流元件	(42)
3.5	调节阀选择	(46)
3.5.1	调节阀计算基础	(46)
3.5.2	调节阀的流量特性	(50)
3.5.3	调节阀口径计算	(53)
3.6	计算举例	(58)
3.6.1	角接取压标准孔板计算	(59)
3.6.2	蝶阀计算	(61)
	本章小结	(62)
	习题	(63)
第 4 章	PID 调节原理	(64)
4.1	PID 控制概述	(64)
4.2	比例调节(P 调节)	(65)
4.2.1	比例调节的动作规律和比例带	(65)
4.2.2	比例调节的特点——有差调节	(66)
4.2.3	比例带对于调节过程的影响	(67)
4.3	积分调节(I 调节)	(67)
4.3.1	积分调节规律和积分速度	(67)
4.3.2	积分调节的特点——无差调节	(68)
4.3.3	积分速度对于调节过程的影响	(69)
4.4	微分调节(D 调节)	(69)
4.5	比例积分微分调节(PID 调节)	(70)
4.5.1	比例积分(PI)调节	(70)
4.5.2	比例微分(PD)调节	(73)
4.5.3	比例积分微分调节规律及其基本特征	(75)
4.6	数字 PID 控制	(77)
4.6.1	数字 PID 控制算法	(77)
4.6.2	改进的数字 PID 算法	(79)
4.7	PID 调节器的参数工程整定	(81)
4.7.1	PID 参数整定的基本原则	(81)
4.7.2	PID 参数的工程整定方法	(83)
4.7.3	PID 参数的自整定方法	(89)
4.7.4	数字 PID 参数的整定	(90)

4.8	智能 PID 控制方法	(91)
4.8.1	模糊 PID 控制	(92)
4.8.2	神经网络 PID 控制	(92)
4.8.3	专家智能自整定 PID 控制	(94)
	本章小结	(94)
	习题	(95)
第 5 章	串级控制	(97)
5.1	串级控制系统的基本原理和结构	(97)
5.2	串级控制系统的分析	(98)
5.2.1	串级控制系统的特点	(98)
5.2.2	分析实例	(102)
5.3	串级控制系统的设计	(103)
5.3.1	主、副回路的设计原则	(103)
5.3.2	主、副控制器的选型	(104)
5.3.3	主、副控制器正、反作用的选择	(105)
5.3.4	串级控制系统的整定	(105)
5.4	串级控制系统应用举例	(107)
	本章小结	(109)
	习题	(110)
第 6 章	特殊控制方法	(111)
6.1	比值控制系统	(111)
6.1.1	比值控制系统的基本概念	(111)
6.1.2	比值控制系统的分析	(111)
6.1.3	比值控制系统设计	(114)
6.1.4	比值控制系统的实施	(115)
6.1.5	比值控制系统的整定	(119)
6.1.6	比值控制系统中的若干问题	(120)
6.2	均匀控制系统	(122)
6.2.1	均匀控制的概念	(122)
6.2.2	均匀控制系统的结构形式	(123)
6.2.3	控制器的参数整定	(125)
6.3	分程控制系统	(126)
6.3.1	基本概念	(126)
6.3.2	分程控制的应用	(127)
6.3.3	分程阀总流量特性的改善	(129)
6.4	选择性控制系统	(131)
6.4.1	基本概念	(131)
6.4.2	选择性控制系统的类型及应用	(132)
6.4.3	选择性控制系统的设计	(135)

6.4.4	积分饱和及其防止措施	(135)
6.5	阀位控制系统	(136)
6.5.1	基本概念	(136)
6.5.2	阀位控制系统的应用	(137)
6.5.3	阀位控制系统的设计与整定	(138)
本章小结		(139)
习题		(139)
第 7 章	补偿控制	(141)
7.1	补偿控制的基本原理与结构	(141)
7.2	前馈控制系统	(141)
7.2.1	前馈控制系统的概念	(141)
7.2.2	前馈控制系统的基本结构	(143)
7.3	大迟延过程系统	(146)
7.3.1	延迟对系统品质的影响	(146)
7.3.2	Smith 预估器	(146)
7.3.3	大林(Dahlin)算法	(150)
本章小结		(155)
习题		(155)
第 8 章	关联分析与解耦控制	(157)
8.1	控制回路间的关联	(157)
8.1.1	控制回路间的耦合	(157)
8.1.2	被控对象的典型耦合结构	(158)
8.1.3	耦合程度分析方法	(159)
8.2	相对增益矩阵	(160)
8.2.1	相对增益矩阵的定义	(160)
8.2.2	相对增益的计算	(161)
8.2.3	第二放大系数 q_{ij} 的直接计算法	(162)
8.2.4	相对增益矩阵的特性	(163)
8.3	减少及消除耦合的方法	(165)
8.4	解耦控制系统设计	(167)
8.4.1	前馈补偿解耦法	(167)
8.4.2	反馈解耦法	(168)
8.4.3	对角阵解耦法	(169)
8.4.4	单位阵解耦法	(171)
本章小结		(172)
习题		(173)
第 9 章	模糊控制	(175)
9.1	概述	(175)

9.1.1	模糊的基本概念	(175)
9.1.2	模糊控制系统	(175)
9.2	模糊集合的基本概念	(176)
9.2.1	模糊集合	(176)
9.2.2	模糊集的基本运算	(177)
9.3	模糊关系	(179)
9.3.1	普通关系	(180)
9.3.2	模糊关系	(180)
9.3.3	模糊变换	(182)
9.3.4	模糊决策	(183)
9.4	模糊推理	(184)
9.4.1	模糊逻辑	(184)
9.4.2	模糊语言算子	(184)
9.4.3	模糊推理	(186)
9.5	模糊控制器原理及设计	(188)
9.5.1	模糊控制系统的组成	(188)
9.5.2	模糊控制原理	(188)
9.5.3	模糊控制系统设计	(189)
9.6	工业电阻炉温度模糊控制系统	(200)
9.6.1	系统简介	(200)
9.6.2	电阻炉温度模糊控制器设计	(201)
9.6.3	控制效果	(203)
	本章小结	(204)
	习题	(204)
第 10 章	预测控制	(206)
10.1	模型预测控制的基本原理	(206)
10.2	动态矩阵控制 DMC	(207)
10.2.1	预测模型	(207)
10.2.2	滚动优化	(208)
10.2.3	反馈校正	(209)
10.2.4	算法实现	(211)
10.2.5	参数选择	(212)
10.2.6	DMC 的主要特征和优点	(214)
10.3	模型算法控制 MAC	(214)
10.3.1	具有简易性能指标的 MAC 算法	(214)
10.3.2	具有一般性能指标的 MAC 算法	(218)
10.3.3	算法实现	(220)
10.3.4	MAC 的主要特征和优点	(221)
10.4	广义预测控制算法	(222)

10.4.1	广义预测控制基本理论	(222)
10.4.2	基于 Toeplitz 预测方程的广义预测控制算法	(229)
本章小节		(232)
习题		(233)
第 11 章	先进控制	(234)
11.1	自适应控制	(234)
11.1.1	自适应控制概述	(234)
11.1.2	模型参考自适应控制	(234)
11.1.3	自校正控制	(238)
11.2	智能控制	(246)
11.2.1	智能控制基础	(246)
11.2.2	智能控制的理论结构	(246)
11.2.3	递阶控制	(247)
11.2.4	基于知识的专家控制	(250)
11.2.5	仿人智能控制	(252)
11.2.6	神经控制	(254)
11.3	鲁棒控制	(259)
11.3.1	基本概念	(259)
11.3.2	H_∞ 优化与鲁棒控制	(260)
11.3.3	标准 H_∞ 控制	(261)
11.3.4	H_∞ 控制的求解	(262)
本章小节		(267)
习题		(267)
第 12 章	集散控制系统	(268)
12.1	集散控制系统概论	(268)
12.1.1	集散控制系统的产生	(268)
12.1.2	集散控制系统的结构	(270)
12.1.3	集散控制系统的特点	(272)
12.1.4	集散控制系统的分散方式	(274)
12.1.5	集散控制系统的发展	(275)
12.2	集散系统的通信技术及体系结构	(279)
12.2.1	数据通信原理	(280)
12.2.2	数据通信系统结构	(287)
12.2.3	通信协议	(290)
12.3	和利时 MACS 系统	(295)
12.3.1	MACS 组态原理	(295)
12.3.2	应用系统组态	(303)
12.4	国产集散系统——HS2000	(306)
12.4.1	HS2000 系统的基本特点	(306)

12.4.2	HS2000 系统的基本组成	(306)
12.4.3	HS2000 系统的硬件配置	(308)
12.4.4	HS2000 系统的现场控制站配置	(309)
12.4.5	HS2000 系统的软件组态	(311)
12.5	HS2000 DCS 工程建立步骤	(313)
12.5.1	工程分析	(313)
12.5.2	工程建立	(313)
12.5.3	定义设备组态工具	(316)
12.6	和利时 MACS 集散系统在工业锅炉中的应用	(318)
12.6.1	概述	(318)
12.6.2	硬件配置	(319)
12.6.3	控制系统简介	(319)
12.6.4	DCS 控制系统软件设计	(320)
12.6.5	系统组成	(321)
12.6.6	系统调试	(323)
12.6.7	结语	(323)
12.7	大型集散控制系统——TDC3000	(324)
12.7.1	TDC3000 系统的结构特性	(324)
12.7.2	TDC3000 系统的数据采集和控制	(326)
12.7.3	TDC3000 系统的软件组态	(334)
	本章小结	(339)
	习题	(340)
	附录 DCS 课程设计任务书	(342)
	参考文献	(345)

第 1 章 概 述

自动化技术的发展与生产过程密切相关,自 20 世纪 30 年代以来,取得了极其显著的进展。过程控制技术是自动化技术的重要分支。

本章首先简要地说明过程控制的任务与控制目标;接着介绍过程控制系统,包括系统组成、特点以及性能指标;最后,介绍过程控制技术的发展历程。

1.1 过程控制的任务

工业过程可以分为连续过程工业、离散过程工业和间隙过程工业。其中,连续过程工业所占的比重最大,涉及石油、化工、冶金、电力、轻工、纺织、医药、建材、食品等工业部门,连续过程工业的发展对于我国国民经济意义重大。过程控制主要是指连续过程工业的过程控制。

工业生产过程是指物料经过若干加工步骤而成为产品的过程。该过程中通常会发生物理反应、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。

高炉炼铁是连续生产过程,图 1.1 为高炉结构示意图。高炉的生产过程中,作为物料的铁矿石、焦炭和熔剂从炉顶不断地装入,同时,喷入燃料、吹进热风。装入高炉中的铁矿石,主要是铁和氧的化合物。在高温下,焦炭中和喷吹物中的碳燃烧生成的一氧化碳将铁矿石中的氧夺取出来,得到铁,这个过程叫做还原。铁矿石通过还原反应炼出生铁,铁水从出铁口放出,得到炼铁过程的产品。铁矿石还原速度的快慢,主要取决于煤气流和矿石的特性,煤气流特性主要是煤气温度、压力、流量和成分等,矿石特性主要是粒度、气孔度和矿物组成等。

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。为了达到目标,必须对生产过程进行监视与控制。因此,过程控制的任务是在充分了解生产过程的工艺流程和动静态特性的基础上,应用理论对系统进行分析与综合,以生产过程中物流变化信息量作为被控量,选用适宜的技术手段,实现生产过程的控制目标。

总目标具体表现为生产过程的安全性、稳定性和经济性。

(1) 安全性 在整个生产过程中,确保人身和设备安全是最重要和最基本的要求。在过程控制系统中,通常采用越限报警、事故报警和连锁保护等措施来保证生产过程的安全性。另外,在线故障预测与诊断、容错控制等可用于进一步提高生产过程的安全性。

(2) 稳定性 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,以消除或减少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的设计进行优化,还需要管控一体化,即以经济效益为目标的整体优化。

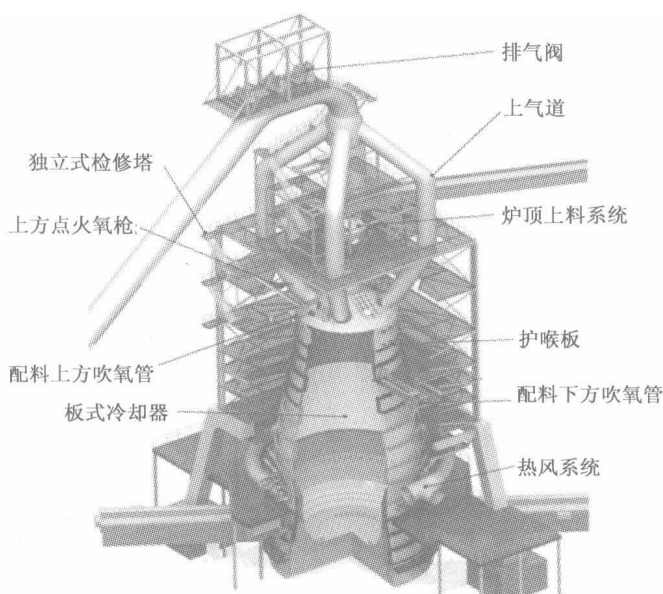


图 1.1 高炉结构示意图

1.2 过程控制系统的组成与特点

1.2.1 过程控制系统组成

过程控制系统一般由以下几部分组成：

- (1) 被控过程(或对象)；
- (2) 用于生产过程参数检测的检测与变送仪表；
- (3) 控制器；
- (4) 执行机构；
- (5) 报警、保护和连锁等其他部件。

图1.2表示了过程控制系统的基本结构。控制器(或称调节器)根据系统输出反馈值 $y_f(t)$ 与设定值 r 的偏差,按照一定的控制算法输出控制量 u ,对被控过程进行控制。执行机构(比如调节阀)接受控制器(调节器)送来的控制信息调节被控量,从而达到预期的控制目标。过程的输出信号通过过程检测与变送仪表,反馈到控制器(或称调节器)的输入端,构成闭环控制系统。

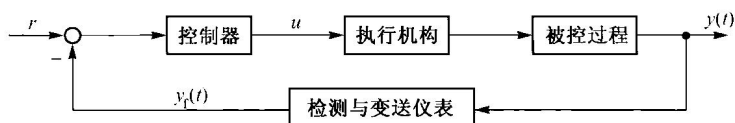


图 1.2 过程控制系统基本结构图

图 1.3 表示转炉供氧量控制系统。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,通过氧枪供给转炉一定的氧气,称之为吹氧。其目的是使铁水中的碳氧化燃烧,以不断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1.3可见,从节流装置 1 采集到的氧气流量,送到流量变送器 FT 2,再经过开方器 3,其结果送到流量控制器 FC(调节器)4 作为流量反馈值,与供氧量的设定值比较,得到偏差值,

经过流量控制器 FC(调节器)4 进行 PID 运算,输出控制信号,去控制调节阀 5 的开度,从而改变供氧量的大小,以满足生产工艺要求。

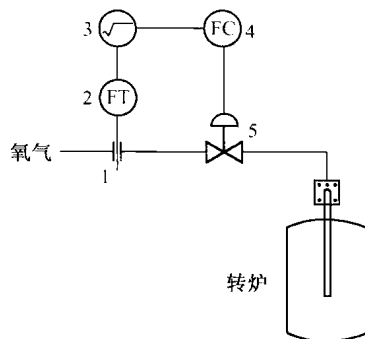


图 1.3 转炉供氧控制系统

1.2.2 过程控制系统特点

1. 过程工业的特点

由于过程控制主要是指连续过程工业的过程控制,故过程工业的特点主要是指连续过程工业的特点。

过程工业伴随着物理反应、化学反应、生化反应、物质能量的转换与传递,是一个十分复杂的大系统,存在着不确定性、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。

过程工业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,过程工业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。因此,有必要采用智能控制方法和计算机控制技术。

2. 过程控制系统的特点

(1) 被控过程的多样性

过程工业涉及各种工业部门,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

过程工业的特点以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以及软件设计。观察图 1.1 所示过程控制系统的基本结构和图 1.2 所示过程控制系统的举例,早期的控制器是模拟调节仪表,如果将控制器、执行机构(比如调节阀)和检测与变送仪表统称为过程检测控制仪表,则一个简单的过程控制系统由被控过程和过程检测控制仪表两部分组成,也称之为仪表过程控制系统。随着现代工业生产的发展,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,因此需要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参数控制

连续工业过程大惯性和大滞后的特点决定了被控过程为慢过程。被控过程是物流变化的过程,伴随物流变化的信息(物性、成分、温度、压力、流量、液位或物位)为表征被控过程状态的参数,也是过程控制系统的被控量。

(4) 定值控制是过程控制的主要形式

在多数生产过程中,被控参数的设定值为一个定值,定值控制的主要任务在于如何减小或消除外界干扰,使被控量尽量保持接近或等于设定值,使生产稳定。

(5) 过程控制分类方法的多样性

- 按被控参数分类, 可分为温度控制系统、压力控制系统、流量控制系统、液位或物位控制系统、物性控制系统、成分控制系统。
- 按被控量数分类, 可分为单变量过程控制系统、多变量过程控制系统。
- 按设定值分类, 可分为定值控制系统、随动(伺服)控制系统。
- 按参数性质分类, 可分为集中参数控制系统、分布参数控制系统。
- 按控制算法分类, 可分为简单控制系统、复杂控制系统、先进或高级控制系统。
- 按控制器形式分类, 可分为常规仪表过程控制系统、计算机过程控制系统等。

1.3 过程控制系统的性能指标

工业过程对控制的要求, 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。图1.4为一个过程控制系统的阶跃响应曲线。

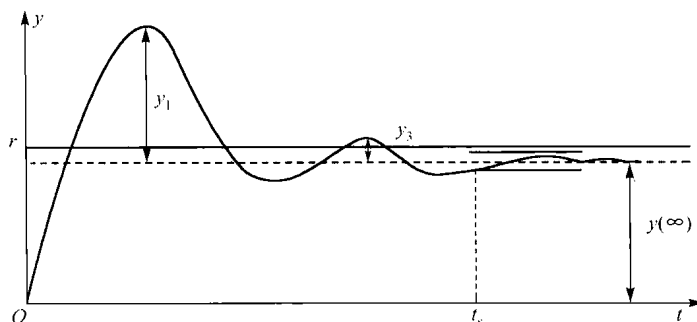


图 1.4 过程控制系统的阶跃响应曲线

1. 衰减比 η 和衰减率 ψ

衰减比是衡量振荡过程衰减程度的指标, 等于两个相邻同向波峰值之比, 即

$$\eta = \frac{y_1}{y_3} \quad (1.1)$$

衡量振荡过程衰减程度的另一种指标是衰减率, 它是指每经过一个周期以后, 波动幅度衰减的百分数, 即

$$\psi = \frac{y_1 - y_3}{y_1} \quad (1.2)$$

衰减比习惯上用 $\eta:1$ 表示。在实际生产中, 一般希望过程控制系统的衰减比为 4:1 到 10:1, 它相当于衰减率 $\psi=0.75$ 到 0.9。若衰减率 $\psi=0.75$, 则大约振荡两个波就认为系统进入稳态。

2. 最大动态偏差和超调量

最大动态偏差是指在阶跃响应中, 被控参数偏离其最终稳态值的最大偏差量, 一般表现在过渡过程开始的第一个波峰, 如图1.3中的 y_1 。最大动态偏差占被控量稳态值的百分比称为超调量。最大动态偏差能直接反映到生产记录曲线上, 特别是在越来越先进的计算机过程

控制系统中,能够更为方便直观地在监视器屏幕上观察到被控参数的实时响应波形。因此,最大动态偏差是过程控制系统动态准确性的衡量指标。

3. 余差

余差是指过渡过程结束后,被控量新的稳态值 $y(\infty)$ 与设定值 r 的差值。它是过程控制系统稳态准确性的衡量指标。

4. 调节时间 t_s 和振荡频率 β

调节时间 t_s 是指从过渡过程开始到结束的时间。理论上它应该为无限长。但一般认为当被控量进入其稳态值的 $\pm 5\%$ 范围内时,就算过渡过程已经结束,这时所需时间就是调节时间 t_s ,如图1.3所示。调节时间 t_s 是衡量过程控制系统快速性的指标。

过渡过程的振荡频率 β 是振荡周期 p 的倒数,即

$$\beta = \frac{2\pi}{p} \quad (1.3)$$

在同样的振荡频率下,衰减比 η 越大则调节时间越短;当衰减比 η 相同时,则振荡频率越高,调节时间越短。因此,振荡频率在一定程度上也可作为衡量过程控制系统快速性的指标。

1.4 过程控制的进展

1.4.1 过程控制装置进展

20 世纪 40 年代以前,工业生产大多处于手工操作状态,操作工人通过对火候、冷热、色泽、形状等的观察来调整生产过程。

20 世纪 50 年代前后,一些企业实现了仪表控制和局部自动化。当时,采用的是基地式仪表和部分组合仪表,是以 $3\sim 15\text{ psi}$ ($0.2\sim 1.0\text{ kg/cm}^2$) 气动信号为标准信号的气动控制系统。

20 世纪 60 年代,随着电子技术的迅速发展,企业界开始大量采用单元组合仪表(包括气动与电动)以及组装仪表,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。此时,出现了以 $4\sim 20\text{ mA}$ 和 $0\sim 10\text{ mA}$ 电动模拟信号为统一标准信号的电动模拟控制系统。

与此同时,计算机开始用于过程控制领域。1946 年世界上第一台计算机诞生。1959 年过程控制计算机(Process Control Computer,如 TR300 等)便在化肥厂和炼油厂试用于控制生产过程。20 世纪 60 年代中期,出现了用计算机实现的直接数字控制(Direct Digital Control, DDC)系统和计算机监控(Supervisory Computer Control, SCC)系统。

20 世纪 70 年代中期,一些厂家推出了分布式计算机控制系统(Distributed Control System, DCS, 又称集散控制系统)和可编程序控制器(PLC),将工业自动化向前推进了一大步。集散控制系统集计算机技术、信号处理技术、测量控制技术、通信网络技术和人机接口技术为一体,应用于工业过程控制领域,取得了良好的效果。

20 世纪 80 年代以来,一方面集散控制系统(DCS)成为流行的过程控制系统;另一方面,兼顾连续控制和逻辑控制/顺序控制功能的复合控制系统(Hybrid Control System, HCS)得到发展。它可以是基于 DCS 而增添逻辑顺序功能的系统,也可以是基于 PLC 而增添连续控制功能的系统。