

过程系统工程理论与实践丛书



过程系统控制与管理

金以慧 郭仲伟 著



中国石化出版社

过程系统工程理论与实践丛书

过程系统控制与管理

金以慧 郭仲伟 著

中国石化出版社

DW19/26

内 容 提 要

本书是《过程系统工程理论与实践丛书》之一。该丛书是普及型高科技系列读物, 主要介绍过程系统工程这门新型学科, 其应用领域包括化工、石油化工、冶金、轻工、建材等物流型工业。

本书以 CIM 这种组织、管理生产的哲理、思想和方法为主线, 讲述了过程系统控制与管理的发展和方法。主要内容包括过程控制系统、生产过程监控系统、生产过程管理与调度、决策支持系统以及计算机集成生产系统的产生与发展, CIPS 的总体方案与技术特点。

本丛书各分册都具有普及性, 实用性和可操作的特点。适用于过程工业的技术人员、管理人员以及大、中专学校师生阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

过程系统控制与管理/金以慧, 郭仲伟著. - 北京:
中国石化出版社, 1997

(过程系统工程理论与实践丛书)

ISBN 7 - 80043 - 699 - 3

I. 过… II. ①金…②郭… III. ①过程控制 - 控制系统
②过程控制 - 控制系统 - 生产管理 IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 12737 号

中国石化出版社出版发行

地址: 北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编: 100011 电话: (010) 64241850

海丰印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所经销

*

787×1092 毫米 32 开本 10.125 印张 226 千字 印 1—2000

1998 年 1 月北京第 1 版 1998 年 1 月北京第 1 次印刷

定价: 14.00 元

主 编 成思危

编委会 (按姓氏笔划为序)

申同贺	许锡恩	成思危
陈丙珍	周瑞康	俞金寿
顾 炎	麻德贤	韩方煜
谭昌元	魏寿彭	

序

过程系统工程是在系统工程、化学工程、过程控制、计算数学、信息技术、计算机技术等学科的边缘上产生的一门综合性学科。它以处理物料—能量—信息流的过程系统为研究对象，其核心功能是过程系统的组织、计划、协调、控制和管理。它广泛地用于化学、冶金、建材、食品等过程工业中，目的是在总体上达到技术上及经济上的最优化。

过程系统工程大约是在 60 年代开始形成一门独立学科的，此后得到了迅速的发展，在各种期刊杂志上及三年一度的过程系统工程国际会议上发表了大量的文章，其中一些关键技术，如过程模拟、过程分析、过程综合、过程预测、过程评价、过程可靠性分析等日益成熟，应用领域也不断扩展，已经成为过程工业发展中不可缺少的一门高新技术。

二十多年来，我国学者及工程技术人员在努力学习国外先进技术的基础上，在实践中积累了不少经验，在技术上也有一些进展。但由于彼此之间缺乏联系及交流，在过程系统工程方面尚未能形成一支强大的人才队伍，有不少好的成果得不到应有的推广。有鉴于此，我国著名的系统工程专家钱学森教授在 1988 年 12 月 23 日给我的来信中，倡议成立一个全国性的学术团体。他在信中指出：“我想中国系统工程学会似尚缺少一个专门搞生产流程的委员会，而生产流程的系统工程对化学工业特别重要。您如同意，您可作为发起人向学会的秘书长或副秘书长建议成立这个委员会。”

在钱老的大力推动下，中国系统工程学会过程系统工程

专业委员会于 1991 年宣告成立。在成立大会上，不少代表建议要大力普及过程系统工程的基本知识。因此在第一次理事会上便决定要编辑出版一套《过程系统工程理论与实践丛书》，并为此组成了编辑委员会，确定了丛书的选题及作者。在中国石化出版社的大力支持下，这套丛书得以顺利地出版。在此我仅代表中国系统工程学会过程系统工程专业委员会向各位编委、各位作者、以及中国石化出版社的有关人员表示深切的感谢。

这套丛书共分 10 册，基本上覆盖了过程系统工程的主要领域。出版这套丛书的目的是宣传并普及过程系统工程的基本知识，以引起读者进一步学习的兴趣。其读者对象是过程工业领域内大专以上文化程度的中青年工程技术人员。我们希望这套丛书能达到以下三点基本要求：

1. **系统性：**框架完整，逻辑清晰，每部书相对独立，深度相近，彼此之间有联系而不重复。

2. **科普性：**深入浅出，定性叙述与定量分析相结合，尽量避免复杂的数学推导。

3. **实用性：**理论与实践相结合；有一定数量的实例及应用软件介绍。

由于这套丛书是我们在过程系统工程领域内编写高级科普读物的第一次尝试，是否真正达到了上述要求，还有待读者的检验。我们热诚地希望读者能将对本书的宝贵意见通过中国石化出版社告诉我们，以便再版时加以改进。

中国系统工程学会过程系统工程

专业委员会主任委员 成思危

1994 年 4 月 6 日

前 言

《过程系统控制与管理》一书是以 CIM 这种组织、管理生产的哲理、思想和方法为主线来组织编写的。将 CIM 哲理应用于离散型工业，人们称之为 CIMS (Computer Integrated Manufacturing System)；将 CIM 哲理应用于连续型工业，人们往往称之为 CIPS (Computer Integrated Processing System)。通过多年的研究和应用，我们理解到，CIPS 应该是一种在自动化技术、信息技术、计算机技术和各种生产技术的基础上，通过计算机网络和数据库将工厂全部生产经营活动所需的信息集成起来，集控制、调度、管理、经营、决策于一体，形成一个适应生产环境不确定性和市场需求多变性的总体最优的高质量、高效益、高柔性的智能生产系统。80 年代中期，国外发达国家继 CIM 在离散型工业中的应用，发展到 CIPS，而且收到非常显著的经济效益。例如一个年加工 500 万吨原油的炼油厂，实施 CIPS 后，可获年经济效益 4000 万美元，一般回收期为 1~2 年。据报道，日本 COSMO 公司的千叶炼油厂已初具规模，极大地提高了企业的管理水平。在北美、欧洲、远东和澳洲、日本、韩国等国家和地区有近百座炼油厂正在实施 CIPS。在我国，从 1991 年起，也相继在炼油厂、化工厂、制药厂、无缝钢管厂、造纸厂、钢铁厂等开展了 CIPS 的试点，到目前为止已取得初步成效。相信经过 5~10 年的努力，将研究开发出具有中国特色的 CIPS。

为了适应这种发展趋势的需要，对我国 CIPS 的开展有所参考，我们将自己的粗浅认识和有关研究成果汇集起来，写成本书。我们的工作受到了国家自然科学基金的支持和帮助。在此，表示感谢！本书内容如下：第一章绪论，主要回顾过程系统控制发展的历史和展望未来。第二章介绍过程控制系统的基本内容和复杂控制系统。第三章讨论生产过程的监控系统，主要介绍了高等过程控制、生产过程优化和故障诊断。第四章是生产过程的管理与调度，重点讨论了企业的管理系统，调度系统和管理信息系统。以上四章由金以慧教授编写。第五章是生产过程决策信息系统，主要讨论了基于复合信息空间的决策信息系统和决策支持系统。第六章讨论计算机集成生产系统的产生与发展，CIPS 的总体方案与技术特点。以上两章由郭仲伟教授执笔。

应该说，CIPS 的实施，在我国还处于试点阶段，我们自己还没有自始至终地研究开发出一个完整的计算机集成生产系统，因此，作者实践经验不足，水平有限，缺点与不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

金以慧

1996 年于清华园

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 什么是过程系统.....	1
一、工业的分类.....	1
二、过程工业和过程系统.....	2
第二节 生产过程自动化的发展概况和趋势.....	4
参考文献	14
第二章 过程控制	16
第一节 过程控制概述	16
一、过程控制系统的性能指标	16
二、被控对象的动态特性	19
三、过程控制系统	23
第二节 简单控制系统	25
一、简单控制系统的组成	26
二、简单控制系统的整定	27
第三节 复杂控制系统	32
一、串级控制系统	33
二、前馈控制系统	40
三、大迟延系统	47
四、解耦系统	53
参考文献	67

第三章 生产过程的监控系统	68
第一节 监控系统概述	68
第二节 生产过程的监视	70
第三节 高等过程控制	78
一、推理控制	79
二、预测控制	85
三、自适应控制	100
第四节 生产过程最优化	107
一、概述	107
二、最优化问题的描述	109
三、优化方法	114
四、实例分析	116
第五节 生产过程的故障诊断	120
一、故障检测、诊断和预测方法	121
二、仿真实验与应用实例	127
参考文献	133
第四章 生产过程的管理与调度	135
第一节 概述	135
第二节 企业的综合管理	140
一、企业管理系统的特点	142
二、企业管理系统的结构与功能	143
三、生产计划编制实例	147
第三节 生产调度系统	152
一、生产调度系统的作用与特点	152
二、生产调度系统的任务与功能分析	154
三、生产调度系统的实例	159

第四节 管理信息系统·····	169
一、系统分析·····	170
二、系统设计·····	175
三、系统实施与评价·····	181
参考文献·····	186
第五章 生产过程的决策信息系统·····	188
第一节 基本概念·····	188
一、决策及其基本要素·····	188
二、决策支持系统·····	189
三、结构化决策与非结构化决策·····	190
第二节 决策模型与方法·····	192
一、决策过程与模型·····	192
二、决策模型与方法概述·····	195
三、多目标决策方法·····	198
第三节 基于复合信息空间的决策信息系统·····	204
一、复合信息空间·····	204
二、复合信息空间方法模型·····	207
三、因素分析·····	210
四、关系分析·····	213
五、系统综合与设计·····	214
第四节 决策支持系统·····	216
一、决策支持系统的定义与作用·····	216
二、决策支持系统的结构·····	218
三、智能决策支持系统 (IDSS) ·····	220
四、群体决策支持系统 (GDSS) ·····	224
第五节 案例讨论·····	230
一、某大型过程企业的经营决策支持系统·····	230

二、某烟草公司年生产计划制定决策支持系统·····	233
参考文献·····	234
第六章 生产过程的计算机集成制造/	
生产系统 (CIMS/CIPS) ·····	237
第一节 概述 ·····	237
一、CIMS/CIPS 的产生与发展 ·····	237
二、CIMS/CIPS 的基本概念 ·····	242
第二节 CIMS/CIPS 的技术进展与发展动向 ·····	244
一、CIMS/CIPS 的体系结构与模型 ·····	244
二、CIMS/CIPS 的方法与工具 ·····	262
三、21 世纪的制造业战略——灵活制造企业 ·····	275
第三节 CIPS 的总体方案与体系结构 ·····	285
一、CIPS 的总体方案设计原则 ·····	285
二、CIPS 的体系结构 ·····	287
三、CIPS 的计算机系统结构与支撑环境 ·····	294
四、CIPS 研究和应用的几个特点 ·····	301
参考文献·····	308

第一章 绪 论

第一节 什么是过程系统

一、工业的分类

为了说明什么是过程系统，首先需要对工业进行分类。人们可以从不同角度提出许多分类方法，这里引用美国仪表学会在《过程工业中的 CIM》^[1]一书中提出的按操作性质来分类的观点。加工工业可以分成连续、不连续、间歇和离散操作四种类型。

连续操作：其原材料、半成品和产品通常是流体，加工过程是长时期连续不断地进行。例如化工、石油、电力工业。

不连续操作：其加工方式与连续操作相同，但是其加工产品频频改变，因而它需要不断地开车或停车，或者要不断地改变操作条件。例如造纸、特殊化工和轧钢工业。

间歇操作：其加工方式是不连续的，往往将多种原材料混合在一起，按事先规定的温度、压力等参数曲线来进行加工操作。例如化工、食品、冶炼、制药、皮革、纺织和木材工业。

离散操作：在同一时刻或同一地点按不同的加工步骤进行单件加工，工件一般是固体状态的原材料，通常利用生产

装配线来进行最后的组装。属于这类操作的是汽车工业，机械制造业以及家电（如冰箱等）工业。

图 1-1 表示了这种分类的情况，从图上可以看出这四类间没有明显的界限，而是逐步“过渡”的。

参照美国仪器学会的分类方法，从控制的角度出发，我们建议把工业分成三类：连续型、混合型和离散型。在连续型工业中，主要对系统的温度、压力、流量、液位、成分和物性等六大参数进行控制，其基本控制采用比例积分微分（PID）定值控制系统，一般应用商品化的传感器、调节器、记录仪和气动或电动调节阀来加以实施，近年来数字调节器和分布式系统（又称集散系统）已经越来越多地用来代替模拟调节器。在离散型工业中，主要对系统中的位移、速度、加速度等参数进行控制，通常采用反馈原理实现随动控制，一般应用商品化的传感器和数控装置来加以实现。至于混合型，则介于两者之间，往往是两种控制系统均被采用。

二、过程工业和过程系统

习惯上，把连续型工业称之为过程工业（Process industries），有时为突出其流动的性质而称之为流程工业（fluid process industries）。从操作性质来看，它们包括了连续、不连续和间歇三种操作形式。其生产特征是：呈流体状的各种原材料在连续流动过程中，经过传热、传质、生化物理反应等加工，发生了相变或分子结构等的变化，失去了原有性质而形成一种新的产品。连续型工业的生产特征决定了它在控制方面的特点。

首先，连续型工业加工过程包括了信息流、物质流和能量流，同时还伴随着物理化学反应、生化反应，还有物质和能

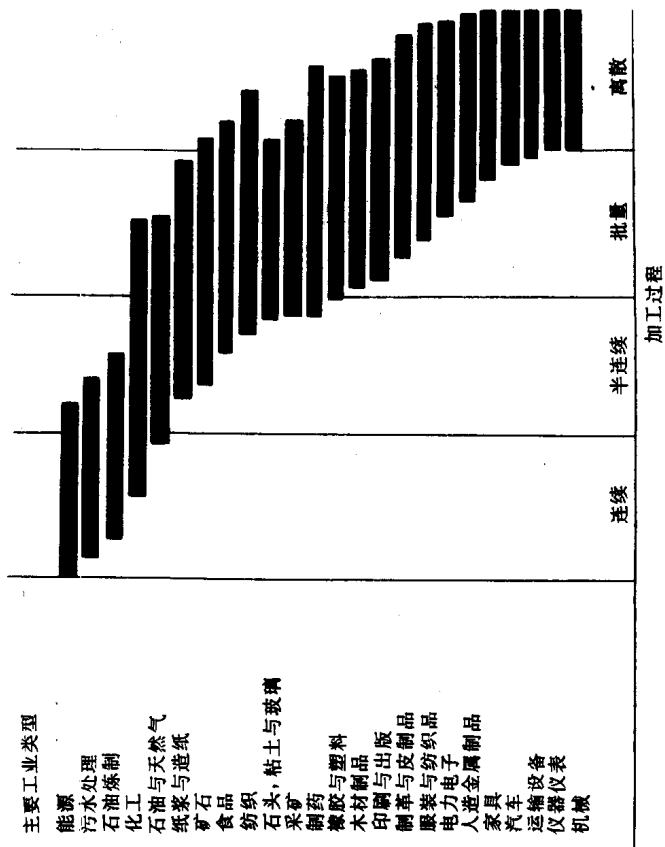


图 1-1 工业按操作性质进行的分类

量的转换和传递，因此，生产过程的复杂性决定了对它进行控制的艰难程度，例如过程工业的建模就是一个十分棘手的问题。同时也显示了过程工业有着节省能源降低消耗的巨大潜力。

第二，过程工业往往处于十分苛刻的生产环境，例如高温、高压、真空，有时甚至是易燃易爆或存在有毒气体严重受到污染的环境，因而生产中的人身安全和设备安全被放在最重要的位置，相应的故障预测预报和安全监控系统受到特别的重视。

第三，过程工业的生产过程是连续的，因而强调生产控制和管理整体性，应把各种装置和生产车间连接在一起成为一个整体来考虑，实现了个别设备或装置的优化不一定是最优的，应求取全厂的最优化。

正如图 1-1 所示，过程工业包括了从电力、石化、化工、造纸、冶金、制药、轻工等国民经济中举足轻重的许多工业，研究这些工业的控制和管理成为人们十分关注的领域，这就是本书准备重点讨论的内容。

所谓过程系统是指研究一类以物质和能量转变为基础（即过程工业）的生产过程，研究这类过程的描述、模拟、仿真、设计、控制和管理，旨在进一步改善工艺操作，提高自动化水平，优化生产过程，加强生产管理，最终显著地增加经济效益。

第二节 生产过程自动化的发展概况和趋势

自本世纪 30 年代以来，自动化技术获得了惊人的成就，已在工业生产和科学发展中起着关键的作用。当前，自动化

装置已成为大型设备不可分割的重要组成部分。可以说，如果不配置合适的自动控制系统，大型生产过程是根本无法运行的。实际上，生产过程自动化的程度已成为衡量工业企业现代化水平的一个重要标志。

回顾自动化技术发展的历史，可以看到它与生产过程本身的发展有着密切的联系，是一个从简单形式到复杂形式，从局部自动化到全局自动化，从低级智能到高级智能的发展过程。自动化在工业生产中的作用，大致经历了如表 1-1 所示的三个发展阶段。

表 1-1 过程控制发展的三个阶段

阶 段	一 (60 年代以前)	二 (70~80 年代)	三 (90 年代)
控制理论	经典控制理论	现代控制理论	控制论、信息论、系统论、人工智能等学科交叉
控制工具	常规仪表 (液动、电动)	分布式控制计算机 (DCS)	计算机网络
控制要求	安全、平稳	优质、高产、低消耗	市场预测、快速响应、柔性生产、创新管理
控制水平	简单控制系统	先进控制系统	综合自动化 (CIPS)

50 年代以前可以归结为自动化发展的第一阶段。在这一时期中，理论基础是用传递函数进行数学描述，以根轨迹法和频率法作为分析和综合系统基本方法的经典控制理论，因而带有明显的依靠手工和经验进行分析和综合的色彩。在设计过程中，一般是将复杂的生产过程人为地分解为若干个简单过程，最终实现如图 1-2 所示的单输入单输出的控制系统。其控制目标也就只能满足于保持生产的平稳和安全，属于局部自动化的范畴。当时，也出现了一些如串级、前馈补