

# 工业大系统控制

桂卫华 王鸿贵 沈德耀 吴敏 编著



中南工业大学出版社

# 工业大系统控制

桂卫华 王鸿贵 著  
沈德耀 吴 敏

中南工业大学出版社

## 内 容 简 介

本书围绕工业大系统的控制与实现问题,介绍了大系统的递阶控制和分散控制的基本理论和计算方法,论述了用以实现工业大系统控制的工业控制计算机网络,汇集了一个工厂工业能源大系统控制的基本成果,包括系统的组成、控制策略、硬软件设计等。

本书可用于工业自动化、自动控制类专业的本科生或研究生选修课的教材或参考书,还可供从事工业生产过程自动化工作的广大工程技术人员参考。

[湘] 新登字 010 号

### 工 业 大 系 统 控 制

桂卫华 王鸿贵 编著  
沈德耀 吴 敏  
责任编辑:秦瑞卿

\*

中南工业大学出版社出版发行  
湖南省地质测绘印刷厂印装  
湖南省新华书店经销

\*

开本: 850×1168 1/32 印张: 10.8125 字数: 268千字

1994年1月第1版 1994年1月第1次印刷

印数: 0001—1000

\*

ISBN 7-81020-839-7/TP·034

定价: 11.20元

## 前 言

目前有关大系统理论方面的著作越来越多了。许多自动控制类专业的工作者从研究单变量控制到多变量控制进而研究到大系统的控制问题。有些其它行业的专家学者也意识到，用大系统的理论和方法来研究自己专业范围内的问题很有成效。总之，大系统的理论及其应用问题已引起了越来越多的注意。

计算机技术的广泛应用，已经完全更新了关于自动控制的传统观念。从企业管理到生产工艺过程，从信息采集、信息处理到生产机械装备都密切地与计算机技术结合在一起，形成了一种计算机无所不在的局面。这样就自然地扩展了人们的视野，在更大的范围内研究系统的机制和行为并对其进行合理的控制。

从工业方面来说，大系统问题往往是研究各个局部控制系统之间的相互关联问题，这也许是涉及产品整个工艺过程的控制；或许是整个企业能源的供应、和消耗的总过程；或许是原材料的供应、储运和消耗的问题等等。研究更大范围的过程又往往是管理与控制的高度结合。现在，大到整个企业，小到一个具体的设备，这种结合都在发展着，形成了一种更加综合的系统。

毫无疑问，研究大系统的优化问题是生产发展中自然提出的问题。生产规模的扩大，生产节奏的加快自然要求大系统是协调的、优化的。在现有企业的改造中，也急需要进行现代化的管理和控制，从而能够更充分地发挥资金、设备的潜力，更有效地利

用能源和原材料以得到更大的效益。

本书不企图涉及和介绍大系统理论的各个方面，而是从工程应用的角度出发，努力探讨如何把理论与实际结合起来，把理论的应用问题提出来，以便能引起更多的讨论和研究。本书的安排就是基于上述思路围绕工业大系统的控制与实现问题展开讨论的。

作为工业大系统控制的基础理论，本书重点介绍了在大系统递阶和分散控制两个领域中比较成熟的理论成果和实用的工程计算方法。把工业控制用计算机局域网络作为实现工业大系统控制的有效工具予以研究和讨论。这些内容主要参考了国内外的有关教材、专著和论文（见各章参考文献）。本书的后面一部分则汇集了由中南工业大学工业自动化研究室和株洲冶炼厂计控室合作研究的冶炼厂工业能源控制大系统的基本成果。这个系统以冶炼厂能源管理计算机网络系统为主体，除了能源参数自动采集、信息处理和决策、以及完成一般管理功能外，还包括了全厂电力负荷递阶控制系统、煤气车间多台煤气发生炉的递阶控制系统和多台浸出渣回转干燥窑的集散控制系统。这个系统已经取得了较好的控制效果，并给进一步进行动态的或静态的优化控制提供了良好的条件。

由于计算机技术的发展很快，一个现场实际应用的工程项目往往涉及到资金、安装调试条件等各个方面因素的限制，书中所介绍的方案或许不尽善尽美。我们只是想在这样一个老企业中，尽量在原有工艺和设备的基础上，尽量少花钱而取得可能的效益，这也就注定了我们不可能更新生产设备，不可能脱离企业的实际，但这对老企业的改造也许是现实的、可行的。因此，我们认为把这个系统介绍给读者，对于从事工业自动化的广大科技工作者和工程技术人员来说，是有参考和借鉴价值的。

本书第1章§1.1、§1.2节、第2、3、4章由王鸿贵执笔；第

1章 § 1.3 节、第5、6章、第8章 § 8.3、§ 8.4 节由桂卫华执笔；第7章由吴敏执笔；第8章 § 8.1、§ 8.2 节由沈德耀执笔。由桂卫华统编全稿。中南工业大学工业自动化研究室的同志们为本书的编写提供了宝贵的意见，在此向他们以及参加工业能源大系统控制研究的株洲冶炼厂计控室的同志们一并致谢。由于我们经验不足，理论和实践的水平都不高，书中难免有不少缺点和错误，希望同行们给予批评指正。

编 者

1992年10月

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	( 1 )
§ 1.1 工业大系统控制的提出 .....	( 1 )
§ 1.2 工业大系统控制的现实性 .....	( 2 )
§ 1.3 本书的内容 .....	( 4 )
习题与思考题 .....	( 5 )
参考文献 .....	( 5 )
<b>第 2 章 工业大系统的稳态递阶控制</b> .....	( 6 )
§ 2.1 开环控制的协调方法 .....	( 7 )
2.1.1 关联预测法 .....	( 9 )
2.1.2 关联平衡法 .....	( 11 )
§ 2.2 闭环递阶控制的协调方法 .....	( 14 )
2.2.1 全局反馈 <u>关联</u> 预测法 .....	( 15 )
2.2.2 局部反馈 <u>关联</u> 预测法 .....	( 16 )
2.2.3 全局反馈 <u>关联</u> 平衡法 .....	( 18 )
2.2.4 局部反馈 <u>关联</u> 平衡法 .....	( 21 )
习题与思考题 .....	( 24 )
参考文献 .....	( 25 )
<b>第 3 章 线性大系统的动态递阶控制</b> .....	( 26 )
§ 3.1 连续系统的开环递阶控制 .....	( 26 )
3.1.1 关联平衡法 .....	( 27 )
3.1.2 关联预测法 .....	( 29 )
§ 3.2 连续系统的闭环递阶控制 .....	( 33 )

3.2.1	关联预测法闭环控制	(34)
3.2.2	利用结构摄动的闭环控制	(36)
§ 3.3	离散系统的递阶控制	(40)
3.3.1	田村 (Tamura) 三级算法	(40)
3.3.2	田村时延算法	(45)
3.3.3	离散系统的关联预测法	(49)
	习题与思考题	(53)
	参考文献	(57)
<b>第 4 章</b>	<b>非线性大系统的动态优化控制</b>	<b>(59)</b>
§ 4.1	非线性系统的最优控制问题	(59)
§ 4.2	梯度法	(60)
§ 4.3	极值变分法	(63)
§ 4.4	准线性化方法	(67)
§ 4.5	非线性大系统的动态递阶控制	(73)
4.5.1	目标协调法	(73)
4.5.2	哈森和辛的新预测法	(75)
4.5.3	三级协状态预测法	(78)
	习题与思考题	(82)
	参考文献	(84)
<b>第 5 章</b>	<b>大系统的分散控制</b>	<b>(85)</b>
§ 5.1	分散控制的概念	(85)
5.1.1	集中控制与分散控制	(85)
5.1.2	经典信息模式与非经典信息模式	(88)
§ 5.2	固定模和固定多项式	(90)
5.2.1	集中控制与分散控制中的固定模	(90)
5.2.2	固定模的定义及计算	(94)
§ 5.3	分散控制稳定化	(99)
5.3.1	分散控制稳定化问题的描述	(99)



5.3.2	系统分散控制可稳定化的充分必要条件	(100)
5.3.3	用输出反馈使系统稳定化的方法	(101)
§ 5.4	分散鲁棒控制	(108)
5.4.1	分散鲁棒控制问题的描述及定义	(108)
5.4.2	对象已知时分散鲁棒控制器存在的充分 必要条件	(111)
5.4.3	稳态跟踪增益矩阵及其计算	(113)
5.4.4	对象未知时分散鲁棒控制器存在的充分 必要条件	(116)
5.4.5	分散鲁棒控制器的结构和综合	(117)
§ 5.5	分散控制的次优设计	(126)
5.5.1	有结构约束分散控制器的优化设计	(127)
5.5.2	利用递阶结构计算分散控制	(132)
5.5.3	采用关联模型计算分散控制	(138)
5.5.4	采用模型跟随的分散控制器的设计	(141)
§ 5.6	小结	(146)
	习题与思考题	(149)
	参考文献	(152)
<b>第 6 章</b>	<b>工业控制用计算机局域网络系统</b>	<b>(156)</b>
§ 6.1	引言	(156)
§ 6.2	计算机局域网络概述	(158)
6.2.1	计算机网络的概念	(158)
6.2.2	计算机局域网络	(159)
6.2.3	局域网的功能及应用	(161)
§ 6.3	工业控制用局域网络	(164)
6.3.1	工业计算机控制系统的发展及工业控制 局域网络	(164)
6.3.2	工业控制用局域网络的特点	(166)
§ 6.4	网络的拓扑结构	(167)
6.4.1	星形网络	(168)

6.4.2	环形网络 .....	(169)
6.4.3	总线形网络 .....	(170)
§ 6.5	传输介质 .....	(172)
6.5.1	双绞线电缆 .....	(172)
6.5.2	同轴电缆 .....	(173)
6.5.3	光纤电缆 .....	(173)
§ 6.6	数据通信技术 .....	(174)
6.6.1	数据通信系统概述 .....	(174)
6.6.2	通信信道 .....	(175)
6.6.3	通信方式及同步 .....	(178)
6.6.4	信息交换代码及纠错控制 .....	(180)
6.6.5	基带与宽带数据传输 .....	(187)
6.6.6	多路复用技术 .....	(190)
§ 6.7	信息送取控制方法 .....	(193)
6.7.1	带有碰撞检测的载波监听多路送取法 (CSMA/CD) .....	(193)
6.7.2	令牌送取控制法 (Token Passing) .....	(196)
6.7.3	寄存器插入法 (Register Insertion) .....	(197)
6.7.4	多级多路排序送取方法 (MLMA) .....	(197)
6.7.5	查询送取控制法 (Polling) .....	(198)
§ 6.8	网络通信规程 .....	(199)
6.8.1	通信规程的层次结构 .....	(199)
6.8.2	逻辑链路控制规程 .....	(202)
§ 6.9	工业控制局域网络规程 .....	(211)
6.9.1	IEEE 802 局域网络标准 .....	(211)
6.9.2	PROWAY 局域网络标准 .....	(213)
6.9.3	生产自动化规约 MAP (Manufacturing Automation Protocol) .....	(215)
§ 6.10	工业控制局域网络及其应用 .....	(217)

6.10.1	G Enet 工厂局域网	(220)
6.10.2	WESTNET 全分散局域网	(220)
6.10.3	SINEC 局域网	(222)
6.10.4	CS 275 总线局域网	(226)
§ 6.11	小结	(229)
	习题与思考题	(229)
	参考文献	(230)
<b>第 7 章</b>	<b>分布式计算机能源管理及控制系统</b>	<b>(231)</b>
§ 7.1	能源管理及控制概念	(231)
7.1.1	工厂能源管理和控制的现状	(232)
7.1.2	计算机能源管理及控制的发展	(233)
7.1.3	对计算机能源管理及控制的要求	(235)
§ 7.2	冶炼厂能源管理控制大系统概貌	(236)
§ 7.3	分布式系统结构和主要功能	(238)
7.3.1	分布式系统结构	(239)
7.3.2	系统主要功能	(243)
7.3.3	系统功能分配	(246)
§ 7.4	实时数据通信网络技术	(248)
7.4.1	实时数据通信网络设计的基本思想	(249)
7.4.2	物理连接及数据通信接口	(251)
7.4.3	数据链路控制过程	(258)
7.4.4	实时数据通信程序设计	(262)
§ 7.5	应用软件和能源数据库设计	(265)
7.5.1	软件设计方式及其特点	(265)
7.5.2	中央计算机系统的软件组织	(267)
7.5.3	数据文件组织和能源数据库设计	(271)
§ 7.6	系统功能的实现	(275)
7.6.1	中央计算机系统功能实现	(275)

7.6.2	区域计算机系统软件设计 .....	(284)
7.6.3	系统的抗干扰和现场调试 .....	(287)
§ 7.7	小结 .....	(289)
	参考文献 .....	(290)
<b>第 8 章</b>	<b>能源控制子系统 .....</b>	<b>(292)</b>
§ 8.1	电力负荷计算机递阶控制系统 .....	(292)
8.1.1	工厂电力负荷控制的特点和要求 .....	(292)
8.1.2	电力负荷控制及管理的递阶结构 .....	(295)
8.1.3	动态协调及局部控制算法 .....	(297)
8.1.4	系统软件设计 .....	(299)
8.1.5	运行结果和结论 .....	(303)
§ 8.2	煤气发生炉两级计算机控制与管理系统 .....	(304)
8.2.1	煤气发生炉的气化过程和操作状况 .....	(305)
8.2.2	多台煤气炉控制的递阶结构 .....	(308)
8.2.3	数学模型及控制算法 .....	(310)
8.2.4	协调器的数学模型及控制方案 .....	(314)
8.2.5	递阶控制的计算机实现与组成 .....	(316)
8.2.6	系统的软件设计 .....	(318)
8.2.7	系统运行结果及分析 .....	(321)
§ 8.3	浸出渣回转式干燥窑的集散控制系统 .....	(322)
8.3.1	生产工艺过程简介 .....	(322)
✓ 8.3.2	系统的控制策略 .....	(324)
8.3.3	集散控制系统的结构与功能 .....	(326)
8.3.4	集散控制系统中数据通信 .....	(327)
8.3.5	工业运行结果 .....	(329)
§ 8.4	小结 .....	(332)
	参考文献 .....	(332)

# 第 1 章

## 绪 论

### § 1.1 工业大系统控制的提出

自然界和人类社会都可以做为一个系统。根据实际应用的目的，可以把客观事物划分成不同层次、不同规模、不同性质的系统。例如，对于工厂企业来说，我们可以把整个公司做为一个系统，也可以把一个工厂或车间做为一个系统。从性质上在企业中可分成：生产系统、经济系统、能源系统、物质系统、人事系统，等等。

60年代初，自动控制理论的研究从单变量的，即单输入单输出系统扩展到多变量的，即多输入多输出系统的研究。主要是由于计算机及计算技术的发展，处理多变量系统的问题才变得具有实际意义。但当人们进一步研究更大范围、结构更为复杂的系统时，遇到了维数过高，对计算机存贮容量要求过大等问题，于是就开始了所谓“大系统”理论的研究。

一般大系统的理论研究，不外乎是：建立系统数学模型以及如何在尽可能的近似程度上简化这些模型的问题；大系统的结构问题，即把现实的系统划分为分层的、递阶的或分散的几种典型

结构，一般的系统可能是属于这些典型的结构以及某些典型结构的混合结构；把现实的大系统分解成若干个子系统的相互关联，然后根据子系统与总体系统的关系，来研究总体优化问题等等。大系统的特点往往是：多目标的（有些目标可能相互有矛盾）；子系统之间存在着复杂的关联；子系统之间的距离相当分散；系统的维数高；存在某种不确定性（如：随机性、模糊性、发展性等）以及主动性（如人的意志参与）等等。目前，完全有可能在企业中把生产的信息管理与具体的工艺控制统一起来，形成一个统一的系统，在系统中所谓的管理与控制之间的界限会模糊起来，这也是大系统可能具有的特点。

工业大系统控制就是根据工业生产工艺的控制与企业最佳效益结合起来所提出的。这样就不只是考虑一个局部环节的最优化问题，甚至也不仅仅是考虑子系统的最优化的问题，而是从整体上按照某种指标的优化。例如：冶炼厂中煤气（燃气）系统就是一个大系统，煤气站中有许多台煤气发生炉，每台炉的运行情况要服从整个煤气站优化指标最优，不见得每台炉按各自的优化的指标优化就一定能使整个煤气站优化。再有，煤气的供应要与消耗（煤气负荷）统一起来考虑总体的效益才能得到整个煤气大系统的优化运行。

因此，工业大系统控制是从大系统本身的优化来考虑的控制，并不是各个局部优化的简单的总和。

## § 1.2 工业大系统控制的现实性

大系统控制能取得巨大的效益，目前国内外都在积极开展实际应用的研究。工业大系统控制是一个非常现实的课题。例如：

工业中各种能源的管理及调度能够更加合理地分配能源和最大限度地节约能源。计算机网络系统可以及时地对全企业的能源参数实时地采集起来，经过信息处理、打印报表、绘制曲线，随时掌握能源消耗情况，合理地调度和分配能源或通过系统合理地控制使能源供求之间趋于平衡。电力负荷调节是企业普遍面临的问题。为了计划用电，供电部门规定了企业用电的最大限额，如何充分地利用限额（这个限额在不同的时间又有所不同）又不致于超过这个限额，就要根据生产的效益及时地进行负荷调节，这个调节系统就要涉及整个企业的用电情况。

同样，企业中用到的蒸汽、水等能源的管理和控制都是很重要的，并且同样的易于检测和调节。

企业中往往设置一个管理信息系统，这个系统要收集各种参数和数据用于企业的经营管理，其中涉及到：生产计划、销售计划、财务、物料、储运以及市场等等信息。如果把产品的设计（CAD）和制造（CAM）系统综合在一起，使整个企业的生产过程的控制与经营管理能够达到协调和优化。这就是目前国内外给予极大关注的所谓“计算机集成制造系统”（CIMS—Computer Integrated Manufacturing System）。实际上，可以把“制造”广义地理解为产品的加工工艺的控制。当然，CIMS 是工业大系统控制。在这种系统中会应用数学规划、最优控制理论、数据库技术、决策支持技术、人工智能技术、知识工程和专家系统等技术。这些技术的不断完善和成功地应用，都会极大地丰富工业大系统控制理论和实际的应用。

CIMS 的建立必然要经历一个逐渐形成、不断修改完善的过程。单就企业的技术水平、管理人员素质以及机构设置、管理体制等方面都必须逐步地得到提高和改造。从 CIMS 的建立的观点出发，会给企业技术改造和管理机制的改革提出许多新的问题，促进企业的发展。

## § 1.3 本书的内容

大系统是一门较新的学科，其理论和实践都在不断地发展和完善中。本书不企图全面总结和介绍大系统理论各个领域的成果，而是试图探讨如何把理论与实际结合起来，把理论的应用问题提出来，以便能引起更多的讨论和研究。基于上述出发点，本书主要是围绕工业大系统的控制及实现问题展开讨论的。

本书主要由三部分组成。第一部分是第2章至第5章，主要论及大系统的基本理论，侧重于递阶控制和分散控制上，介绍这两个领域中比较成熟的理论成果和一些实用的工程计算方法。第2章至第4章介绍递阶控制，包括稳态递阶控制、动态递阶控制和非线性大系统的递阶控制。第5章专门讨论了分散控制问题，涉及到分散稳定化、分散鲁棒控制和分散化优化控制等课题。

第二部分是第6章，主要涉及到工业大系统控制实现的一些基础知识。我们认为，鉴于工业大系统的复杂性，从工程技术的角度来看，如何实现其控制是十分重要的。工业控制计算机局域网的兴起为研究工业大系统控制的实现提供了强有力的手段。因此，在第6章我们重点介绍了工业控制计算机局域网系统，它包括工业控制局域网的一些概念和基础知识以及典型的工业控制局域网系统产品的介绍。掌握和了解这些知识对于研究工业大系统控制的实现问题是必不可少的。

第三部分是我们从事工业大系统控制实践的总结，由第7章和第8章组成。在这两章中，我们研究了一个以有色金属冶炼厂能源管理计算机网络系统为主体的工业能源大系统的控制问题。它包括了能源计算机网络子系统、能源数据采集和处理子系统、煤



气车间控制子系统、电力负荷控制子系统、干燥窑车间控制子系统以及全厂能源调度决策子系统。在这里我们介绍了这个能源大系统控制的方案设计、计算机的硬软件构成、系统功能、现场调试等全过程，汇集了这个系统的一些基本成果。我们把这些成果介绍给读者，旨在给从事工业大系统控制及实现研究的广大工程技术人员以参考和借鉴。

### 习题与思考题

- 1.1 什么是“工业大系统”？试找出一个工业大系统的例子。
- 1.2 试举例说明工业大系统控制的现实性和重要性。
- 1.3 谈谈你对工业大系统控制的实现问题的看法。

### 参考文献

- [1] 陈禹六，《大系统理论及其应用》，北京：清华大学出版社。1988 版
- [2] 吕勇哉，现代工业控制与人工智能，《中国自动化学会 1988 年学术年会论文集》第一集，1988 年 5 月。
- [3] 陈振宇，“计算机综合自动化生产技术的构成及其应用”，中国自动化学会 1988 年学术年会论文集，第一集，1988 年 5 月。
- [4] M. Jamshidi, “*Large-Scale System: Modeling and Control*”, North-Holland, 1983.
- [5] M. G. Singh and A. Titli, “*Systems; Decomposition, Optimisation and Control*” Pergamon Press Oxford, 1978.