

“十五”国家重点图书

工业过程 控制技术

方法篇

孙优贤 褚健 编著



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

“十五”国家重点图书

工业过程控制技术 方法篇

孙优贤 褚健 编著

(京) 新登字 039 号

内 容 提 要

《工业过程控制技术》是“十五”国家重点图书，分为《方法篇》、《应用篇》及《仪表和系统篇》三册。

本书为方法篇，从工程应用的角度出发，系统地介绍了工业自动化技术的主要控制方法和控制系统，其中包括自适应控制、模型预测控制、模糊控制、工业过程专家控制、神经网络控制、非线性控制、时滞系统控制、软测量技术、数据校正、综合自动化系统和过程计算机控制系统。这些方法和系统自成体系，又相互关联。本书内容新颖，有不少例子取自工程实际，兼顾了自动化理论的新发展与工程实际的需要。

本书可作为工业自动化及相关领域工程技术人员、科研人员的参考书，也可作为自动化专业及相关专业本科生、研究生的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

工业过程控制技术 方法篇/孙优贤，褚健编著.
北京：化学工业出版社，2005.7
ISBN 7-5025-7485-9

I. 工… II. ①孙…②褚… III. 工业-过程控制-
控制方法 IV. TB114.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 084317 号

工业过程控制技术

方 法 篇

孙优贤 褚 健 编著
责任编辑：刘 哲 陈逢阳
文字编辑：徐卿华
责任校对：李 林
封面设计：尹琳琳

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询：(010)64982530

(010)64918013

购书传真：(010)64982630

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

*

新华书店北京发行所经销
北京永鑫印刷有限责任公司印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 35 字数 866 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7485-9

定 价：78.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者，本社发行部负责退换

编委会名单

顾问：胡启恒 周春晖 蒋慰孙 王骥程
涂序彦

主任委员：孙优贤

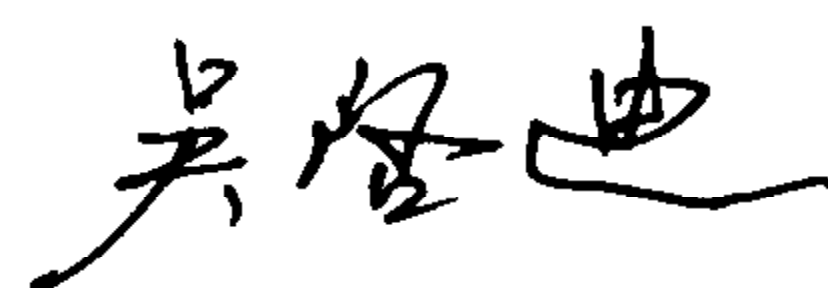
副主任委员：柴天佑 邵惠鹤 褚健 陈逢阳

委员（按汉语拼音顺序排列）：

柴天佑	陈逢阳	褚健	高福荣
桂卫华	金建祥	金以慧	李平
潘立登	钱积新	任德祥	邵惠鹤
孙优贤	涂奉生	王桂增	王伟
王树青	王文海	吴铁军	俞金寿
张宏建	周东华	朱学峰	

合自动化技术以及过程计算机控制系统等先进控制技术和方法进行了介绍；应用篇针对流程工业中典型的控制对象，以实例的形式逐一介绍控制方法，包括传热设备的控制、工业窑炉的控制、精馏过程控制和聚合反应过程控制等；仪表与系统篇详细介绍了传感器、变送器、执行器、控制器、分析仪等单元仪表，基于可编程顺序控制器的控制系统（PCS）、集散控制系统（DCS）、现场总线控制系统（FCS）、成套专用控制系统（SCS）以及全集成新一代主控系统（PAS）。力求控制理论和控制实践的完美结合，使读者在学习理论的同时能够深切感受工业实践。思路新颖，实例通俗易懂。

希望《工业过程控制技术》能为更多的技术工作者、高校的教师和学生提供实践和理论的指导和参考。



2005 年 8 月

前 言

随着工业生产的大规模化, 流程变得越来越复杂, 工业自动化技术起着越来越重要的作用, 先进控制方法的应用直接关系到企业的经济效益、资源和能源的优化利用以及环境保护。本书从工程实际出发, 在理论和工业应用两个方面对工业自动化技术进行了系统的介绍, 全书共分 12 章。第 1 章介绍工业自动化技术的发展历程、研究现状和发展趋势; 第 2 章介绍自适应控制方法, 包括模型参考自适应控制、随机系统自适应控制、广义预测自适应控制、实际问题和自适应控制的实现; 第 3 章介绍模型预测控制的基本原理、典型的模型预测控制算法、工业模型预测控制技术, 并给出工业应用实例; 第 4 章介绍模糊控制的数学基础、基本模糊控制系统、模糊 PID 控制器、模糊控制的研究进展、模糊控制的工业应用; 第 5 章介绍专家系统基础知识、知识描述和推理方法、专家控制系统设计, 并给出配煤过程专家控制系统和锌湿法冶炼过程专家控制系统两个例子; 第 6 章介绍基于模型的神经控制、神经非模型控制及其他神经网络控制系统, 给出神经控制在汽油调和过程、水轮发电机组、单元机组、球形容器液位和 pH 过程控制中的应用例子, 并就神经控制研究存在的问题和神经控制今后的研究方向提出一些观点; 第 7 章介绍非线性系统基本问题、谐波线性化方法, 讨论自振荡及其稳定性问题, 利用自振荡和强迫振荡辗平非线性特性, 介绍非线性系统补偿控制、几种非线性控制器的设计、非线性化系统设计及多目标优化控制系统; 第 8 章介绍时滞系统控制、Smith 预估控制器、线性时滞系统状态空间模型辨识与控制以及时滞系统控制技术的工程应用; 第 9 章介绍软测量技术、回归分析方法、人工神经网络方法, 讨论软测量的工程设计, 给出工业应用实例; 第 10 章介绍系统测量网络冗余性分析原理、显著误差检测方法、线性准稳态数据协调与物料平衡模型, 给出炼油厂物流数据校正的工业应用实例; 第 11 章介绍流程工业自动化的进展与面临的挑战、流程工业综合自动化的基本结构、流程工业综合自动化的关键技术和方法, 讨论综合自动化的工程应用问题; 第 12 章介绍集散控制系统、现场总线控制系统、信号联锁系统、计算机顺序控制和过程计算机控制系统的可靠性技术。

本书由孙优贤、褚健编著, 任德祥主审。本书第 1 章由王树青、褚健编写; 第 2 章由王伟编写; 第 3 章由张建明编写; 第 4 章由金晓明编写; 第 5 章由吴敏编写; 第 6 章由王宁、褚健编写; 第 7 章由项国波编写; 第 8 章由苏宏业编写; 第 9 章由俞金寿编写; 第 10 章由荣冈编写; 第 11 章由黄道编写; 第 12 章由冯东芹编写。

在本书的编写过程中, 方勇纯、杨光等参加了部分编写, 潘彩霞、吴俊等提供了帮助, 在此向他们表示衷心的感谢。

编著者

2005 年 5 月

目 录

1 绪论	1
1.1 工业自动化技术	1
1.2 计算机控制技术	2
1.3 工业自动化技术展望	3
1.4 先进控制技术和方法	4
参考文献	5
2 自适应控制	6
2.1 概述	6
2.1.1 自适应控制问题的提出	6
2.1.2 自适应控制的分类和发展概况	7
2.2 模型参考自适应控制	10
2.2.1 用参数最优化技术设计的模型参考自适应控制	10
2.2.2 用李雅普诺夫稳定性理论设计的模型参考自适应控制	12
2.3 随机系统自适应控制	16
2.3.1 最小方差控制	16
2.3.2 最小方差自校正控制器	19
2.3.3 广义最小方差自校正控制器	22
2.3.4 极点配置自校正控制器	25
2.4 广义预测自适应控制	31
2.4.1 广义预测控制基本方法	31
2.4.2 广义预测自适应控制器	34
2.5 实际问题 and 自适应控制的实现	38
2.5.1 什么情况下使用自适应控制	38
2.5.2 参数估计器的实现	38
2.5.3 控制器的实现	39
2.5.4 参数估计和控制的相互作用	41
2.5.5 原型算法	42
2.5.6 商业化的自适应控制器	42
2.5.7 应用举例	44
参考文献	46
3 模型预测控制	48
3.1 概述	48
3.2 模型预测控制的基本原理	50

3.3	典型的模型预测控制算法	52
3.3.1	模型算法控制	52
3.3.2	动态矩阵控制	56
3.3.3	广义预测控制	59
3.3.4	预测函数控制	63
3.4	工业模型预测控制技术	66
3.4.1	预测控制工程化软件产品简介	66
3.4.2	工业 MPC 技术	73
3.4.3	模型预测控制研究存在的问题和发展方向	84
3.5	工业应用实例	85
3.5.1	FCCU 反应再生系统的多变量协调预测控制	85
3.5.2	工业锅炉的加权广义预测控制	89
3.5.3	多变量预测控制软件包 APC-HIECON 的工业应用	93
3.5.4	重整反应加热炉的预测函数控制	98
3.5.5	化学反应过程的预测函数控制	100
	参考文献	106

4 模糊控制 108

4.1	概述	108
4.1.1	模糊系统理论的起源	108
4.1.2	模糊控制的发展情况	110
4.1.3	模糊系统理论中的几个基本概念	112
4.2	过程控制系统的结构与知识特点	114
4.3	模糊控制的数学基础	118
4.3.1	模糊集合及其运算	118
4.3.2	模糊关系	124
4.3.3	模糊逻辑与模糊推理	126
4.3.4	解模糊	132
4.4	基本模糊控制系统	134
4.4.1	概述	134
4.4.2	模糊控制器的基本结构	135
4.4.3	模糊控制器的设计	138
4.4.4	模糊控制器设计示例	144
4.5	模糊 PID 控制器	146
4.5.1	模糊 PID 控制器基础	147
4.5.2	模糊 PID 控制器的参数整定	148
4.6	模糊控制的新进展	151
4.6.1	自适应模糊控制	151
4.6.2	专家模糊控制	153
4.6.3	基于模糊模型的控制	154
4.6.4	基于神经网络的模糊控制	155

4.7 模糊控制的工业应用	156
4.7.1 模糊逻辑系统及其在精馏过程先进控制中的应用	156
4.7.2 模糊控制器在造纸生产过程控制中的应用	164
4.7.3 工业锅炉的模糊控制	168
参考文献	171
5 工业过程专家控制系统	172
5.1 专家系统基础知识	172
5.1.1 什么是专家系统	173
5.1.2 专家系统的基本组成	173
5.1.3 专家系统的特点	174
5.1.4 构筑专家系统的方法	175
5.1.5 专家系统的类型	178
5.2 知识描述和推理方法	178
5.2.1 产生式系统	179
5.2.2 前向推理和逆向推理	180
5.2.3 框架描述方法	182
5.2.4 黑板模型	183
5.2.5 基于模型的推理方法	184
5.3 专家控制系统设计	184
5.3.1 专家控制系统的应用领域	184
5.3.2 专家控制系统的设计原则	185
5.3.3 专家控制系统的结构	186
5.3.4 基于模型的专家控制	188
5.3.5 模糊专家控制系统	189
5.4 配煤过程专家控制系统	190
5.4.1 配煤过程与控制要求	190
5.4.2 配合煤和焦炭质量预测模型	192
5.4.3 确定配比的专家推理方法	195
5.4.4 系统实现与运行结果	200
5.5 锌湿法冶炼过程专家控制系统	202
5.5.1 锌湿法冶炼过程与控制要求	202
5.5.2 分布式专家控制系统结构	204
5.5.3 浸出过程专家控制器设计	207
5.5.4 净化过程专家控制器设计	211
5.5.5 电解过程专家控制器设计	214
参考文献	218
6 神经控制	221
6.1 基于模型的神经控制	221
6.2 其他神经网络控制系统	224

6.2.1	基于神经网络的PID控制	224
6.2.2	模糊神经网络控制	224
6.2.3	神经鲁棒控制	224
6.3	用于控制系统的神经网络模型	224
6.4	汽油调和过程的神经内模优化控制	225
6.4.1	汽油调和神经网络模型的建立	225
6.4.2	汽油管道调和过程的动态模型	225
6.4.3	调和过程的内模优化控制器	226
6.4.4	仿真结果	227
6.5	神经非模型控制	229
6.5.1	面向控制的神经元模型及学习策略	229
6.5.2	神经元非模型控制系统	230
6.6	水轮发电机组的神经元控制	231
6.6.1	水轮机调节系统的数学模型	231
6.6.2	水轮发电机组的神经元控制算法	233
6.6.3	仿真实验结果	233
6.7	单元机组的神经非模型协调控制	234
6.7.1	单元机组的动态特性	235
6.7.2	基于对角优势的神经非模型控制	235
6.7.3	仿真实验与结果	236
6.8	球形容器液位的神经元非模型控制	237
6.8.1	对象特性	238
6.8.2	基于 Takagi-Sugeno 模糊模型的增益自调整神经元控制器	238
6.8.3	仿真实验结果	240
6.9	pH 过程的模糊增益自整定神经元控制	242
6.9.1	pH 过程特性描述	242
6.9.2	模糊推理增益自整定的神经元控制器	243
6.9.3	仿真实验与结果	246
6.10	神经控制技术的应用	246
6.10.1	神经机器人控制系统	246
6.10.2	工业过程控制	247
6.10.3	神经网络用于求解控制领域中的相关问题	247
6.11	神经控制存在的问题	247
6.11.1	神经网络模型的选择及新的神经元网络的建立	247
6.11.2	系统稳定性	248
6.11.3	神经元网络的学习算法	248
6.12	研究展望	248
6.12.1	控制对神经网络本身的要求	248
6.12.2	混沌神经控制	249
6.12.3	模糊神经控制	249
参考文献		249

7 非线性控制系统	253
7.1 非线性控制系统基本问题	253
7.2 非线性控制系统的基本任务	261
7.3 常用的几种研究方法概述	262
7.4 谐波线性化方法	262
7.5 自振荡及其稳定性	267
7.5.1 代数法	267
7.5.2 幅相特性分析法	273
7.5.3 对数法	278
7.6 利用自振荡辗平非线性特性	281
7.7 利用强迫振荡辗平非线性特性	285
7.8 非线性控制系统补偿控制	289
7.8.1 非线性特性的串联补偿	289
7.8.2 非线性特性的回路校正	290
7.8.3 非线性模式反馈	290
7.9 几种非线性控制器的设计	292
7.9.1 非线性阻尼的设计	293
7.9.2 线性积分器的缺陷	296
7.9.3 零相位滞后积分器	296
7.9.4 克勒格积分器	299
7.9.5 克勒格积分器的自适应能力	300
7.9.6 智能积分器及其应用	303
7.10 非线性化系统设计	308
7.10.1 等幅性原理	308
7.10.2 二次优化	311
7.11 多目标优化控制系统概述	316
7.11.1 线性加权叠加算法	317
7.11.2 主目标优化兼顾其他目标	318
7.11.3 人机对话	319
参考文献	320
8 时滞系统控制	321
8.1 概述	321
8.1.1 时滞系统控制的频域研究概述	321
8.1.2 时滞系统控制的时域研究概述	325
8.2 Smith 预估控制器	329
8.2.1 经典 Smith 预估控制器	329
8.2.2 改进型 Smith 预估控制策略	332
8.3 线性时滞系统状态空间模型辨识与控制	337
8.3.1 具有单状态滞后的离散线性时滞系统的模型辨识	337

8.3.2	离散线性时滞系统的控制器设计	339
8.3.3	时滞系统控制技术的工程应用	345
	参考文献	350
9	软测量技术	354
9.1	概述	354
9.1.1	机理分析与辅助变量的选择	354
9.1.2	数据采集和处理	354
9.1.3	软测量模型的建立	355
9.1.4	软测量模型的在线校正	356
9.2	软测量方法——回归分析	356
9.2.1	多元线性和逐步回归	356
9.2.2	主元分析和主元回归	358
9.2.3	部分最小二乘法	359
9.3	软测量方法——人工神经网络方法	361
9.3.1	概述	361
9.3.2	BP 网络	362
9.3.3	RBF 网络	364
9.4	软测量工程设计	368
9.4.1	软测量的设计步骤	368
9.4.2	过程数据预处理	370
9.4.3	数据校正	371
9.4.4	模型校正	375
9.5	工业应用实例	376
9.5.1	烃类转化反应器出口气体中 CH_4 的软测量	376
9.5.2	催化裂化分馏塔轻柴油凝固点和粗汽油干点的软测量	376
9.5.3	加氢裂化分馏塔柴油倾点和航空煤油干点的软测量	378
9.5.4	常一线干点和常三线 90% 点软测量	380
9.5.5	延迟焦化分馏塔粗汽油干点软测量	381
9.5.6	裂解炉出口乙烯和丙烯收率的软测量	382
	参考文献	383
10	数据校正	384
10.1	概述	384
10.1.1	过程系统数据校正的意义	384
10.1.2	数据校正的应用	386
10.2	系统测量网的冗余性分析原理	386
10.2.1	过程数据的分类原理	386
10.2.2	系统冗余度和变量结构冗余度	388
10.2.3	线性测量网的综合冗余度分析	388
10.3	显著误差检测	391

10.3.1	概述	391
10.3.2	显著误差的主元分析检验法	392
10.3.3	基于约束残差的显著误差检测法	395
10.3.4	检测性能分析	397
10.3.5	基于软判定结构的显著误差检测	398
10.3.6	基于硬判定结构的显著误差检测	402
10.4	线性准稳态数据协调与物料平衡模型	405
10.4.1	线性稳态数据协调	405
10.4.2	线性动态数据协调	406
10.4.3	线性准稳态数据协调	406
10.4.4	物料平衡模型的建立	408
10.5	工业应用实例——炼油厂物流数据校正	408
10.5.1	系统组成及实施平台	409
10.5.2	全厂物流静态平衡模型方程的建立	410
10.5.3	数据校正核心算法流程	410
10.5.4	数据校正软件工程应用小结	412
	符号说明	413
	参考文献	415

11 综合自动化系统 417

11.1	概述	417
11.1.1	流程工业自动化的进展与面临的挑战	417
11.1.2	综合自动化工程的目标	418
11.1.3	综合自动化工程的主要内容	419
11.1.4	综合自动化工程的研究领域	424
11.2	流程工业综合自动化的基本结构	426
11.2.1	流程工业综合自动化工程的层次结构与功能构成	426
11.2.2	基本结构描述	427
11.2.3	生产过程的管控一体化	428
11.3	流程工业综合自动化的关键技术和方法	429
11.3.1	信息集成(数据库与网络)	430
11.3.2	系统建模与集成	433
11.4	工程应用	442
11.4.1	工程实施与应用的基本准则	442
11.4.2	某化肥厂综合自动化工程	443
11.4.3	某公司综合自动化工程	452

12 过程计算机控制系统 457

12.1	概述	457
12.2	工业控制计算机	459
12.2.1	总线、内总线	461

12.2.2	通信总线	475
12.2.3	现场总线	482
12.2.4	多微处理器控制系统	482
12.3	集散控制系统	485
12.3.1	概述	485
12.3.2	集散控制系统的网络结构	487
12.3.3	现场控制站	488
12.3.4	操作站	491
12.3.5	DCS 中的软件技术	492
12.4	现场总线控制系统	496
12.4.1	概述	496
12.4.2	几种主要现场总线简介	498
12.4.3	现场总线控制系统	514
12.4.4	现场总线控制系统信息集成的连接桥梁——OPC	517
12.4.5	以太网对现场总线技术发展的影响	519
12.5	信号联锁系统	521
12.5.1	设计原则	521
12.5.2	基本组成环节	521
12.5.3	设计的注意事项	521
12.5.4	联锁系统应用示例	522
12.5.5	电气设备的选择	524
12.6	计算机顺序控制	524
12.6.1	顺序控制的基本概念	524
12.6.2	梯形逻辑图与编制方法	528
12.6.3	程序条件的编制	530
12.7	过程计算机控制系统的可靠性技术	531
12.7.1	系统的可靠性指标	532
12.7.2	提高系统可靠性的措施	533
	参考文献	540

1 绪论

1.1 工业自动化技术

近 60 年来,为了使工业生产过程安全、稳定、长期、满负荷以及在优化条件下运行,人们创造和开发了各种各样的控制理论、方法和算法,最典型的是长期从实践经验中创造总结出来的比例(P)加积分(I)加微分(D)的反馈控制算法,通常称为 PID 控制算法。若做成控制仪表,则称为 PID 控制器。直至今今天,工业生产过程中大多数单回路控制系统,如温度、流量、压力、液面等过程,都采用这种十分有效的控制算法。然而,随着工业生产过程复杂性的增加和生产规模的不断扩大,对产品质量的严格要求及能源和原材料的紧缺等,迫切要求企业节能降耗,提高生产效率。在 20 世纪 50~60 年代从工业生产过程特点出发,人们提出了许多切合工业生产过程实际的比值控制、均匀控制、选择性控制、阀位控制、超驰控制、串级控制、前馈控制、推断控制以及纯滞后补偿控制等方法。在使用计算机控制系统后,这些方法都能有效地在实际工业生产过程中应用,取得很好的效果。同时,在这一时期提出了划时代的现代控制理论,用以解决复杂过程的控制问题,如航空航天控制。这种控制包括状态反馈控制、自适应控制、各种改进的 PID 控制算法、模糊控制、专家控制、神经元控制以及鲁棒控制等。特别是基于模型的多变量预测控制先进控制方法,到 2000 年,世界上在流程工业,如精馏过程、石油化工、造纸、空气分离、炼钢等领域,已有 5000 多个成功应用的实例。最近 10 年我国也从 Adersa、AspenTech、Honeywell 等公司购买了 60 多套多变量模型预测控制软件,并且 AspenTech、浙大中控软件和 Honeywell 等公司在国内已有 20 多套成功应用示例。以模型预测控制为代表的先进控制(APC)技术,在流程工业中应用已取得重大进展,并且可为企业带来显著的经济效益。国内外应用实践证明,这是一种最适合现代复杂工业生产过程进行优化控制的现代控制方法。

随着我国加入 WTO,我国制造业直接面对世界范围的激烈竞争,为了提高企业的市场竞争能力,都需要采用计算机、网络、信息和自动控制等先进技术,改造传统工业生产过程的管理、运行,有效利用企业资源,进行科学化、精细化和最优化的管理与控制,提升企业的生产技术水平,以达到企业利润最大化的目的。在流程工业中开展计算机集成制造(CIMS)、企业资源规划(ERP)、企业管理执行系统(MES)等现代企业信息综合集成化建设。这种从现代化管理新理念出发,进行企业信息化建设,虽然花了大量的经费和人力,但至今还没有很成功的应用例子,其关键问题是缺乏企业活动、运行过程中的真实、准确、一致的数据,以及对管理与控制一个现代化企业本身规律的认识。

1.2 计算机控制技术

半个多世纪以来，化工自动化检测仪表和自动控制系统经历了气动仪表、电动仪表、计算机控制和网络控制（典型的产品如现场总线控制系统）几个时代，如表 1-1 所示。

表 1-1 工业过程控制系统发展过程

年代	发明人及单位	内 容
1788 年	James Watt	首创蒸汽机比例调速控制
1933 年	Taylor 公司(ABB)	可调比例气动式调节器
1935 年	Foxboro 公司	比例积分式 40 气动调节器
1940 年	Taylor 公司(ABB)	首推 PID 气动控制器 Fulscope100
1942 年	Taylor 公司(ABB)	提出 Ziegler 和 Nichols PID 参数整定准则
1951 年	Swartwout 公司	第一台电子真空管 PID 控制器
1959 年	Sailey Meter 公司	第一台全晶体管 PID 控制器
1964 年	Taylor 公司(ABB)	第一台全数字 PID 控制器
1969 年	DEC 公司	第一台可编程控制器(PLC)
1975 年	Honeywell 公司	第一台集散型计算机控制系统(DCS)TDC-2000,从此进入工业过程计算机控制新时代
1976 年	Richalet	首先提出模型预测控制算法(MPC)
1978 年	Adesar 公司	提出 IDCOM 多变量模型预测控制软件
1979 年	Shelloil 公司	提出动态矩阵控制(DMC)算法软件
1982 年	ASEA	推出 NOVATUNE 自整定 PID 控制器
1984 年	Foxboro 公司	推出 EXACT 自整定 PID 控制器
1985 年	IEC	开始制定国际现场总线标准
1992 年	92'ISA	展出现场总线产品

随着电子技术、微处理器、网络通信技术以及软件技术的不断发展，测量传感器的二次信号处理与变换，从模拟信号（4~20mA）转变成数字信号，精度有了很大的提高。在产品质量、成分、形态等“质量”信息的测量方面，引起工业界的极大兴趣，但是对我国来说，测量传感器、质量信息仪表以及特殊的执行器都远落后于国外的产品和发展水平，特别是化工生产过程在线流程分析仪更是缺乏。自 20 世纪 60 年代，计算机开始在化工生产过程中应用，那时应用的模式是直接数字控制（DDC）和对工业生产过程的操作和监视。因为当初计算机控制系统的可靠性以及可使用性较差，无法大量推广应用。到了 1975 年，Honeywell 公司首先推出集散型控制系统（TDC-2000），解决了计算机控制系统可靠性以及良好的可使用性，尽管其核心控制算法仍旧是 PID 算法，但工业界广泛接受这样的系统，从而开创计算机在工业生产过程中控制的新时代。随后，国外有众多仪器仪表厂商各自生产这种通称为“DCS”的计算机控制系统。经过近 30 年的发展，DCS 已成为工业生产过程控制的最主要工具。我国对 DCS 的研究开发从 20 世纪 80 年代起，经历了 20 多年，到 20 世纪 90 年代才有自主的国产 DCS。其中浙大中控、北京和利时、上海新华等在制造 DCS 方面都具有各自的特色。目前，国产 DCS 在国内市场上的占有率已超过半数，并有少量出口。作为计算机控制工业生产过程的另一自动化工具是可编程控制器（PLC）。PLC 在化学工业中

的间歇化学反应、聚合反应、精馏过程、注塑机、干燥、结晶、调和、产品分装等有着广泛的应用。但是，国产的 PLC 十分少见，大量使用的都是日本、德国和美国的产品。最近 20 年，基于网络控制系统的开发研究十分活跃，特别是现场总线控制系统，国际上已有各种成熟可用的产品，如基金会现场总线（FF）、Profibus 总线、LonWorks 总线、WorldFIP 总线、CAN 总线及 P-NET 总线，我国也有一些引进并用于化工生产过程。20 世纪末国内有些研究单位开始研究基于以太网的现场总线控制系统，并参与了国际实时工业以太网标准的制定工作。DCS、PLC 和现场总线控制系统这三种计算机自动控制工具，在技术和应用领域上各有自己的特色和优点，在今后一段时间内，它们之间将会共存并起着互相补充的作用。

1.3 工业自动化技术展望

进入 21 世纪，计算机、网络已深入到社会各个方面，人们提倡讲科学讲技术，在这信息爆炸的时代，要保持在全球范围内的竞争实力就要保持更低的价格，更新的产品和可靠的服务，生产过程必须不断融合先进的过程控制技术和信息技术。在此就将来工业自动化发展中值得关注的几个问题进行一些探讨。

（1）工业自动化设计理念问题 工业生产过程设计历来都是以工艺为主，自动化为辅，特别是在国内，其自动控制设备（包括动力强电部分）投资，占整个项目投资的比例比国外少。工业自动化设计目标只是满足生产过程安全、稳定操作和运行，即满足工艺要求。然而，现代化企业需要对整个企业的物资、能源、设备、资金、市场和人力等资源进行实时的整合与优化，需要大量的实时的企业运行过程信息，而现有的化工企业都缺少这些真实反映一个企业运行的十分重要的信息。虽然有许多统计报表，却很难准确、及时地描述一个企业的实际运行、管理、控制状况。因此，要从一个企业整体实行科学化管理出发，在企业设计时要将控制理念贯穿于从管理到基本单元的运行和控制，特别是要加强基础自动化的建设内容，即完善的自动测量系统和完好的基本自动控制回路，这才能为企业进行科学化、最优化管理与控制打下良好的基础。

（2）加强传感器、质量分析仪与计量系统的研究与开发 使用传感器和质量分析仪等测量仪表是了解一个企业生产过程信息惟一的直接方法。随着工业生产的多样化、精细化，对产品质量的严格要求，工业自动化技术必须充分利用更多的现场测量数据来控制日益复杂的工业生产过程。传感器和质量分析仪的不足，将严重影响优化和反馈控制的实施。同时，由于缺乏自己国产的产品，使得国外这类产品在国内价格居高不下。

（3）大力推广先进控制软件在流程工业中的应用 在国际上，经过 20 多年的研究和开发，基于模型预测的多变量最优控制技术已经成为一种标准的控制技术。众多实践证明，这是一种投资不多收效快的现代先进控制技术。因为工业自动化技术发展到今天，已从单回路控制发展到整个单元或整个生产流程的整体协调控制，基于模型预测多变量最优控制技术是集控制和计算机技术而开发的软件系统，完全可用来稳定地控制整个生产过程的自动化工具。这一技术在我国的应用还只是刚刚开始，但是在实践中使自动控制工作者深深体会到，要使好的自动化工具发挥出好的作用，必须对被控过程有深入的认识和了解，只有成为这一过程的工艺、运行、操作的专家，才能设计出合适的多变量控制系统和建立与工业生产实际相符的预测模型。这方面的人才和专家在我国比较缺少。