

制浆造纸实用技术丛书

制浆造纸 过程测控系统及工程

王孟效 孙瑜 编著
汤伟 张根宝



化学工业出版社

制浆造纸实用技术丛书

制浆造纸过程测控系统及工程

王孟效 孙瑜 汤伟 张根宝 编著

化学工业出版社
·北京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

制浆造纸过程测控系统及工程/王孟效等编著. —北京:
化学工业出版社, 2003. 8
(制浆造纸实用技术丛书)
ISBN 7-5025-4731-2

I. 制… II. 王… III. ①制浆-过程测控②造纸-过程
控制 IV. TS7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 073372 号

制浆造纸实用技术丛书

制浆造纸过程测控系统及工程

王孟效 孙 瑜 汤 伟 张根宝 编著

责任编辑: 路金辉

文字编辑: 于 岚

责任校对: 郑 捷

封面设计: 潘 峰

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

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

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 27 $\frac{1}{2}$ 字数 678 千字

2003 年 9 月第 1 版 2003 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4731-2/TS·114

定 价: 58.00 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

《制浆造纸实用技术丛书》编委会

主任：张美云（教授）

委员：王志杰（教授） 王孟效（教授） 刘书钗（教授）

李新平（教授） 张宏（副教授） 杨军（副教授）

丛书序言

随着文化和信息产业的飞速发展，当代的造纸工业在全世界产业中的位置已变得越来越重要。在一些发达国家，造纸工业已成为基础产业，并且是和林业不可分割、互相促进的产业。1995年，全球造纸工业总销售额2600亿美元，资产4000亿美元，行业排序位居电信制造业和汽车工业之后，超过了钢铁工业和航天工业。

造纸工业是一个与国民经济发展和社会主义文明建设息息相关的重要产业。在经济发达国家，纸及纸板消费量增长速度与其国内生产总值增长速度同步。造纸工业在现代经济中所发挥的作用已越来越多地引起世人瞩目，被国际上公认为“永不衰竭”的工业。现代制浆造纸工业的特点不同于一般日用消费品工业，它是技术密集、资金密集、资源消耗量大、产生污染物多的工业，它是规模效益显著、连续、高效生产的基础原料工业。在其产品总量中，80%以上作为生产资料用于新闻、出版、印刷、商品包装和其他工业领域，不足20%用于人们的直接消费。造纸产业关联度大，涉及林业、农业、机械制造、化工、电气自动化、热电、交通运输、环保等产业，对上下游产业的经济有很强的拉动作用。当今世界各国已将纸及纸板的生产和消费水平，作为衡量一个国家现代化水平和文明程度的重要标志之一，也是衡量一个国家基本国力的重要标志之一。

中国是一个造纸大国，但不是一个造纸强国。1997年中国纸和纸板产量为2744万吨，在世界排名榜上位居美国和日本之后，居第三位，但人均纸和纸板消费量只有26.5kg，仅相当于世界平均水平的一半，与美国的334.6kg相差甚远，仍为发展中国家水平。2002年中国纸和纸板总产量和总消费量均居世界第二位，分别达到3780万吨和4332万吨，但人均消费量还很落后，2002年仅33kg，仍远低于世界人均55kg/(人·a)的水平，与发达国家200~300kg/(人·a)相比，差距甚大。中国造纸工业是目前轻工业中为数不多的供不应求行业，全国每年要花费近50亿美元进口造纸产品。据有关部门预测，2015年中国纸和纸板的总产量将达到6000~6500万吨，消费量将超过8500万吨，人均消费量将达到52~55kg/(人·a)。所以中国制浆造纸工业的发展前景是广阔的，纸和纸板的市场潜力是巨大的。鉴于此，世界上有关制浆造纸工业的设备公司、化学品公司、电气自动化公司、投资公司也纷纷进入中国市场，欲在中国纸和纸板市场大展鸿图。

近几年来，国际制浆造纸技术发展很快。通过引进、消化和吸收国外先进的造纸技术，中国的造纸工业得到了突飞猛进的发展。但中国造纸工业存在着原材料短缺、资源和能源消耗量大、生产效率普遍不高、污染严重等问题，关键是技术（包括工业技术、装备和自动化技术）比较落后。2001年中国造纸工业污水排放量为3500Mt/a，占全国工业污水排放量的近20%，而主要污染物COD的排放量为2880kt/a，占到全国工业污水COD排放量的40%，可以看出，中国造纸工业污染相当严重。如不能加速采用高新技术，不断淘汰落后生产力，中国的造纸工业是没有出路的。但作为资金和技术密集型的现代造纸工业，采用高新技术所需投入的资金大多很高。对老企业进行应用高新技术改造的费用也是相当巨大的。因此在经济上不能不根据中国国情，对不同企业类型与客观条件加以区别对待，需要全面考虑企业的规模、资源、环境、市场、效益等具体条件，有针对性地对高新技术的选择及采用步骤进行

周密思考与安排，避免盲目性，以求得较好的实际效果。中国造纸工业必须有计划、有步骤地千方百计大力采用高新技术，以进行清洁生产，节约自然资源，提高生产效率，提高国际市场的竞争力，保持本行业顺利持续地发展。

几十年来，中国造纸工作者为提高制浆造纸科学技术水平进行了不懈的努力，取得了可喜的成果。本套制浆造纸实用技术丛书就是众多成果中的一个。

本套丛书共 8 本，分别是《新型高档特种纸技术》、《现代制浆造纸技术》、《制浆造纸工业清洁生产工艺和技术》、《制浆造纸化学助剂应用指南》、《制浆造纸分析与检测》、《制浆造纸设备管理与维护》、《现代纸板技术》、《制浆造纸过程测控系统及工程》。

本套丛书凝聚了陕西科技大学制浆造纸工程学科的教师和科研人员多年的心血，是集体智慧的结晶。陕西科技大学制浆造纸工程学科坚持理论与实践相结合的科研思想，注重科研成果的转化，在造纸新产品研制、造纸化学品开发、造纸过程控制及制浆造纸污染控制等领域取得了许多独具特色的成果，并大量应用于实际生产，产生了显著的经济效益和社会效益，为国民经济的发展做出了很大的贡献。已经形成了基础研究和应用研究并重，注重成果转化，一切为经济建设服务的特色。本套丛书即是以上特色的具体体现，其中的部分技术内容是陕西科技大学制浆造纸工程学科拥有知识产权的。希望这套丛书对广大制浆造纸企业的技术进步、产品结构调整有所帮助。也希望通过这套丛书把陕西科技大学和全国制浆造纸企业更加紧密地结合起来，互相促进，共同为中国造纸工业的发展做出贡献。

张美云

2003 年 8 月于咸阳

前 言

纸是日常生活中不可缺少的重要消费品，也是工业生产的重要原料和包装材料，在国民经济中占有重要地位。但制浆造纸工业一直是环境污染的重要来源之一，其有机污染占整个环境有机污染的一半左右。因而降低并消除制浆造纸工业中的环境污染，实现其可持续发展，对实现国民经济可持续发展的总体格局具有重大意义。制浆造纸过程工业自动化是提高产品产量和质量，减少环境污染，实现绿色环保纸业的重要手段。

在发展中国造纸工业，实现造纸工业现代化的过程中，必须坚持走新型工业化的道路，以信息化带动工业化，以工业化促进信息化。其中，自动化是工业化和信息化之间的“桥梁”。提高制浆造纸过程自动化水平，不仅需要自动化工程技术人员努力，而且需要制浆造纸工程技术人员的密切配合。同时，安装生产过程中的各种自动化装置和系统，如同安装生产设备一样重要，需要掌握一定的专门知识和技术。因此，从事制浆造纸的工程技术工作者应该学习和掌握生产过程自动化的基本知识，以适应造纸工业现代化的需要。为此，作者根据多年来在这一领域科研工作和工程项目的经验，在对制浆造纸过程工艺、自动化水平等全面了解的基础上撰写了此书。主要内容如下。

(1) 制浆造纸过程参数的检测方法及仪表 主要内容包括检测技术的基本知识，制浆造纸过程中常用的变送器（如温度变送器、压力变送器、流量计、物位测量等）和专用仪器仪表（如纸浆浓度变送器、打浆度测量仪、白度仪、水分定量仪等）的基本检测原理。注重从应用的角度出发，深入浅出地阐述各测量参数的特点、测量原理、测量方法以及仪表的选型、安装、使用方法和维护等。

(2) 制浆造纸过程典型控制系统 从应用的角度出发，全面介绍了连续蒸煮过程、洗漂过程、废纸制浆过程、打配浆过程、流送过程、抄纸过程和碱回收过程等的典型控制系统和工程。这些控制系统都是针对当前正在使用的 100~150t/d 制浆、碱回收及文化纸机、板纸机的典型控制系统，列出了每个系统的全部测控点及标有这些测控点的完整工艺流程图，使读者能够深入全面地了解一个工段或车间自动化工程的作用、工艺原理、控制难点、实现方法，并进而达到设计、安装、运行和维护制浆造纸过程自动化系统的目的。

(3) 先进控制技术及其在制浆造纸过程中的应用 控制技术因其良好的控制效果和明显的经济效益而受到工业界的重视，并且成为制浆造纸过程控制等领域里的热门研究课题。本书撇开成熟的常规控制技术（如常规 PID 控制、比值控制、串级控制等），重点讲述了对制浆造纸过程具有显著控制效果或潜在应用价值的先进控制技术，主要内容包括新型 PID 控制、大时滞过程控制和智能控制以及与这些控制技术密切相关的过程建模和模型降阶方法、集散控制系统（DCS）等。

全书分 3 篇，共 12 章，由陕西科技大学王孟效教授、孙瑜副教授、汤伟博士和张根宝副教授编著，王孟效教授担任主编。其中，绪论、第 5 章和第 7 章由王孟效教授编写，第 1 章、第 2 章和第 3 章由张根宝副教授编写，第 4 章、第 6 章和第 12 章由孙瑜副教授编写，第 8 章、第 9 章、第 10 章和第 11 章由汤伟博士编写。另外，孙瑜副教授还在外联方面做了大量工作。在本书的编写和出版过程中，得到了陕西科技大学微机应用研究所、陕西科技大

学自动化系和化学工业出版社的大力支持和帮助，编者的部分研究生也付出了艰辛劳动。在此，对他们的真诚奉献表示衷心的感谢。

本书是编者及其所在研究所成员在“八五”及“九五”期间科研和项目推广工作成果的结晶。编者在编写过程中力求全面细致，又不失典型性和代表性。但由于当今世界造纸技术日新月异，生产工艺和控制方案不尽相同；过程控制仪表发展迅速，很多资料，尤其是制浆造纸最新专用仪表方面的详细资料很难得到；书中部分内容是编者的新近研究成果，还有待实践检验；加之时间仓促，编者水平有限，疏漏、不足，甚至错误之处在所难免，恳请读者批评指正，在此编者表示诚挚的谢意。

编 者

2003.8

内 容 提 要

该书为《制浆造纸实用技术丛书》之分册，全面介绍了制浆造纸过程参数的检测方法、仪表、典型控制系统和先进控制技术，具体内容分3篇，共12章。其中，第1篇详细阐述了过程控制中常规参数的检测方法、制浆造纸过程中特殊参数的检测和仪表；第2篇主要讲述了制浆造纸过程典型控制系统，主要包括制浆过程典型控制系统、抄纸过程典型控制系统和碱回收过程典型控制系统；第3篇讲述了集散型控制系统（DCS）基础知识及先进控制技术。书中有很多先进实用的新内容，如西门子、和利时的DCS控制系统，日产100~150t制浆线的典型控制系统，国家“九五”攻关项目中的最新成果（各种实用的优化控制算法、打浆度软测量、气垫式流浆箱控制等）等，对了解当前的制浆造纸自动化会有一定益处。

本书可作为制浆造纸工业中从事仪表自动化的人员、生产技术人员、科研工作者及制浆造纸专业、化工自动化专业院校师生的参考用书。

目 录

绪论	1
----	---

第 1 篇 制浆造纸过程参数的检测方法及其仪表

第 1 章 检测技术的基本知识	9
1.1 概述	9
1.2 检测仪表的分类与组成	10
1.3 检测仪表的品质指标	11
1.4 测量误差及误差分析	13
1.5 系统误差的消除方法	16
1.6 随机误差及其估算	18
1.7 误差的综合	22
1.8 测量结果的数据处理	25
第 2 章 常规参数的检测及仪表	31
2.1 温度检测及仪表	31
2.2 压力检测及仪表	48
2.3 流量检测及仪表	62
2.4 物位检测及仪表	80
第 3 章 制浆造纸过程特殊参数的检测及仪表	88
3.1 纸浆浓度的测量及仪表	88
3.2 纸浆打浆度的测量	97
3.3 纸浆白度的测量	100
3.4 pH 值的测量	102
3.5 溶液电导率的检测	105
3.6 溶液重度(密度)的测量	107
3.7 纸页水分的测量	110
3.8 纸页定量的测量	116
3.9 纸页其他质量指标的测量	119
3.10 STEC-QCS 简介	122

第 2 篇 制浆造纸过程典型控制系统

第 4 章 制浆造纸过程中的简单调节系统	127
4.1 简单调节系统的基本问题	127
4.2 压力调节系统	134
4.3 液位调节系统	136

4.4	流量调节系统	139
4.5	温度调节系统	140
4.6	浓度调节系统	144
4.7	调节器参数的工程整定方法	145
4.8	仪表图例与仪表位号的字母代号	149
4.9	调节系统的工程设计、调试和投运	151
第 5 章	制浆过程典型控制系统	163
5.1	蒸煮过程典型控制系统	164
5.2	洗涤过程典型控制系统	169
5.3	筛选过程典型控制系统	172
5.4	漂白过程典型控制系统	177
5.5	废纸制浆过程典型控制系统	181
第 6 章	抄纸过程典型控制系统	186
6.1	概述	186
6.2	打浆过程典型控制系统	187
6.3	配浆过程典型控制系统	191
6.4	流送过程典型控制系统	195
6.5	供汽过程典型控制系统	202
6.6	质量控制系统 (QCS)	206
6.7	抄纸过程计算机控制系统	211
第 7 章	碱回收过程典型控制系统	217
7.1	蒸发过程典型控制系统	217
7.2	燃烧过程	220
7.3	苛化过程典型控制系统	225

第 3 篇 DCS 及先进控制在制浆造纸过程中的应用

第 8 章	集散型控制系统 (DCS)	231
8.1	集散控制系统基础	231
8.2	和利时集散型过程控制系统 MACS 介绍	238
8.3	西门子集散型过程控制系统 SIMATIC PCS7 介绍	246
8.4	应用举例	252
第 9 章	制浆造纸过程中的建模方法和模型降阶	254
9.1	建模基本知识	254
9.2	机理分析建模法	260
9.3	经典建模法	266
9.4	现代建模法	274
9.5	模型降阶的时域法和频域法	280
9.6	图解降阶法和矩降阶法	285
第 10 章	新型 PID 控制	292
10.1	传统 PID 控制器	292

10.2	自整定 PID 控制	295
10.3	模糊 PID 控制	310
10.4	智能 PID 控制	314
10.5	多变量 PID 控制	318
10.6	新型 PID 控制器及未来发展	321
第 11 章	大时滞过程控制方法	326
11.1	Smith 预估补偿法	326
11.2	Dahlin 算法	334
11.3	内模控制方法	336
第 12 章	智能控制技术	344
12.1	引言	344
12.2	模糊控制	350
12.3	神经网络控制	361
12.4	专家控制	366
12.5	遗传算法	372
12.6	应用举例	382
附录	404
附录一	铂铑₁₀-铂热电偶分度表	404
附录二	镍铬-康铜热电偶分度表	409
附录三	镍铬-镍硅热电偶分度表	410
附录四	铂电阻分度表	414
附录五	铜电阻 Cu50 分度表	417
附录六	铜电阻 Cu100 分度表	418
附录七	自控工程设计字母代码	419
附录八	仪表安装位置的图形符号表示	421
参考文献	422

绪 论

在工业应用领域，通常把内部相互连接的单元设备组成的整体以及所发生的物理或化学变化定义为过程。过程控制主要是研究生产过程中的一些物理量，如温度、压力、流量、液位、成分、物性或其组合等的控制问题，即过程自动化问题。过程自动化技术是研究用机器装置（仪表、PLC、工业计算机等）对生产过程或其他过程进行自动控制和信息处理，以延伸和扩展人的器官功能的综合科学技术，它是控制理论中发展最早、最重要的分支之一。实现生产过程自动化，能提高产量，保证质量，减少原材料和能量的消耗，降低生产成本，改善劳动条件，确保生产安全，收到良好的经济效益和社会效益。

随着新技术的不断涌现，特别是先进检测技术、现代传感技术、现代控制技术、计算机技术、网络技术和优化技术等的应用及其在制浆造纸工业过程自动化中的应用，使制浆造纸工业规模、技术和污染治理等方面有了较大的改善。制浆造纸过程自动化是提高产量和质量，节能降耗，实现绿色生态纸业的基础和前提。

0.1 自动化技术发展概况

自动化技术的发展与生产过程自身的发展休戚相关，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。控制理论的发展历程标示着人类社会大生产由机械化时代进入电气化时代，并走向自动化、信息化和智能自动化时代。

0.1.1 自动化的三个发展阶段

自动化在工业生产过程中的作用，大致经历了三个发展阶段。

(1) 第一阶段 20世纪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，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的单输入单输出（SISO）过程控制系统。其控制目标是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、前馈补偿等十分有效的复杂系统，相应的控制仪表也由基地式发展到单元组合式。但总体说来，自动化水平还处于低级阶段。

(2) 第二阶段 20世纪60年代的10年是工业自动化发展的第二个阶段。50年代末，生产过程迅速向着大型化、连续化的方向发展，工业过程的非线性、耦合性和时变等特点十分突出，原有的简单控制系统已经不能满足要求，自动控制面临着工业生产的严重挑战。然而，在这个时候为适应空间探索的需要而发展起来的现代控制理论已经产生，并在某些尖端技术领域取得了惊人的成就。它以状态空间分析为基础，主要内容包括以最小二乘法为基础的系统辨识，以极大值原理和动态规划为主要方法的最优控制和以Kalman滤波理论为核心的最佳估计等三个部分。现代控制理论在分析和综合系统时，已经从外部现象深入到揭示系统内在的规律性，从局部控制进入到在一定意义下的全局最优，而且在结构上已从单环扩展到适应环、学习环等。这种方法把系统描述为四个具有适当阶次的矩阵，许多控制问题都

可归结为这几个矩阵或它们所代表的映射应具有的要求和满足的关系。这样，控制系统的一些分析和综合问题经过转化就成为比较纯化的数学问题，特别是线性代数问题，从而吸引了大批数学工作者从事这一领域的研究，并在空间技术方面取得了巨大成功。可以说，现代控制理论是人类对控制技术在认识上的一种质的飞跃，为实现高水平的自动化奠定了理论基础。同时，计算机的发展与普及为现代控制理论的应用开辟了道路，为实现工业自动化提供了十分重要的技术手段。在 60 年代中期，出现了用数字计算机代替模拟调节器的直接数字控制（direct digital control, DDC）和由计算机确定模拟调节器或 DDC 回路最优设定值的监督控制（supervisory computer control, SCC）。

尽管现代控制理论在空间技术上取得了成功应用，但在过程控制领域，却存在着理论与应用上的很大差距。这主要是由于生产过程机理复杂，建模困难，性能指标不易确定，控制策略十分缺乏等因素，使得现代控制理论一时难以用于生产过程控制。尽管如此，在这一阶段，无论在现代控制理论的移植应用，还是在计算机引入工业过程方面，都有了良好的开端和尝试。

（3）第三阶段 在 20 世纪 70 年代中后期，工业自动化的发展表现出两个明显的特点，标志着工业自动化进入了第三个阶段。第一个特点是 70 年代初已开始出现的适合于工业自动化的控制计算机商品系列。大规模集成电路制造的成功和微处理器的问世，使计算机的功能丰富多彩，可靠性大为提高，而价格却大幅度下降。尤其是工业用控制机，在采用了冗余技术、软硬件自诊断功能等措施后，其可靠性已提高到基本上能够满足工业控制要求的程度。70 年代中期，针对工业生产规模大、过程参数和控制回路多的特点，利用计算机的高可靠性和灵活性特点，发展了一种所谓“管理集中，控制分散”的分布式控制系统（distributed control system, DCS），又称集散型控制系统。它是集计算机技术、控制技术、通讯技术和图形显示技术（即所谓的 4C 技术）于一体的计算机控制系统。一经问世，就受到工业界的青睐，为实现高水平的自动化提供了强有力的技术工具，给生产过程自动化的发展带来了深远影响。目前，世界上已经有近百家公司先后推出各自开发的 DCS 系统，并向着现场总线控制系统（fieldbus control system, FCS）方向发展。从 70 年代开始，工业生产自动化已进入了计算机时代。

第二个特点是 70 年代末控制理论和其他学科分支相互交叉，相互渗透，向着纵深方向发展，从而开始形成了所谓的第三代控制理论，即大系统理论和智能控制理论。大系统理论是用控制和信息的观点，研究各种大系统的结构方案、总体设计中的分解方法和协调等技术基础理论，它是控制理论在广度上的开拓；智能控制是研究和模拟人类智能活动及其控制和信息传递过程的规律，研制具有某些仿人智能的工程控制与信息处理系统，它是控制理论在深度上的挖掘。对于复杂工业过程，如反应过程、冶炼过程、抄纸过程和生化过程等，本身机理十分复杂，还没有被人们充分认识，且常常受到众多随机因素的干扰和影响，因而难以建立精确的数学模型，以满足闭环最优控制的要求。同时，这类过程控制策略也有待进一步研究。目前已有的策略或是过于复杂，难以实行在线控制；或是过于粗糙，不能满足高水平的控制要求。解决这类问题的重要途径之一就是人工智能、控制理论和运筹学三者相结合的智能控制，并已经取得了实际应用。

工业生产实际提出的以优质、高产、低消耗为目标的控制要求，从客观上促进了第三代控制理论的形成和发展。在现代控制理论中，诸如非线性系统、分布参数系统、随机控制、容错控制和鲁棒控制等也在理论上及实践中得到了发展。在这个阶段中，工业自动化正发生

着巨大变革，它已突破了局部控制的模式，进入到全局控制；既包含了若干子系统的闭环控制，又有大系统协调控制、最优控制以及决策管理，即控制管理一体化的新模式，如适合工厂、企业总体控制和管理的**管理信息系统**（management information system, MIS）、**管理执行系统**（management executive system, MES）和**企业资源规划**（enterprise resource planning, ERP）等。它们的出现将使工业自动化系统在大量获取生产过程和市场信息的基础上，科学地安排调度生产，充分发挥设备的生产能力，最终到达优质、高产、低消耗的控制目标。

0.1.2 小结

从工业自动化的发展进程，可以得到如下结论。

(1) 工业自动化的发展与工业生产过程本身的发展有着极为密切的联系。工业生产本身的发展，诸如工艺流程的变革，设备的更新换代，生产规模的不断扩大等促进了自动化的进程；而工业自动化在控制理论和技术工具方面的新成就又保证了现代工业生产在安全平稳的前提下“卡边”运行，充分发挥设备的潜力，提高生产率，获取最大限度的经济和社会效益。

(2) 工业自动化已经进入计算机时代，进入了所谓的**计算机集成作业系统**（computer integrated production system, CIPS）的时代。EIC综合控制系统（电气控制、仪表控制和计算机系统）、DCS、FCS、MIS、MES和ERP都是这一时代的产物。可是，面对琳琅满目的计算机系统，尽管已有许多现成的先进控制理论，却缺乏行之有效的控制方法去满足工业生产不断提出的高要求。因此，加强控制理论与生产实际的密切结合，注意引入智能控制、专家系统，逐步形成不同形式的既简单又实用的控制结构和算法，是控制理论工程化的任务，也是过程控制的一项主要研究内容。

(3) “稳”、“准”、“快”是对控制系统的三个基本要求，其中“准”强调的是控制系统的精度问题，它也受传感器精度的限制。开发高精度检测仪表（包括软测量和数据处理技术）是实现高性能控制的基础。同时，一些有效的复杂控制策略需要获知更多的过程信息，这也需要一些新的不同测量机制的传感器。

(4) 控制理论和控制实践的结合问题。面对现代控制理论与工程实际间存在的“脱节”现象，控制工程师需要学习和使用高级过程控制理论；控制理论研究者也应知道什么是工业真正需要的理论，并且研究怎样使其理想化的理论在存在大量约束的工业过程中发挥良好的控制作用。这是一个持久的问题，无法回避的问题。另外，传统的、经典的控制技术的商业化和系统化问题也是一个很有经济价值的研究课题。从这种意义上讲，DCS和FCS是过程控制赖以存在和发展的载体。

0.2 中国制浆造纸过程自动化现状

造纸工业是与国民经济发展和社会文明建设息息相关的产业，在现代经济中的作用越来越受到人们的重视。发达国家都把它视为重要的制造业，在美国、加拿大、日本、芬兰、瑞典等国，造纸工业是国民经济十大支柱产业之一。在中国，纸与纸板消费量和产量的增长速度与国内生产总值同步发展。自1980年到2000年，中国GDP增长2.2倍，纸与纸板消费量增长4.9倍，产量增长4.6倍（见图0-1）。“十五”期间，中国GDP增长率每年约在7%~8%，纸与纸板消费量亦将同步增长，将为中国造纸工业带来快速发展的机遇。

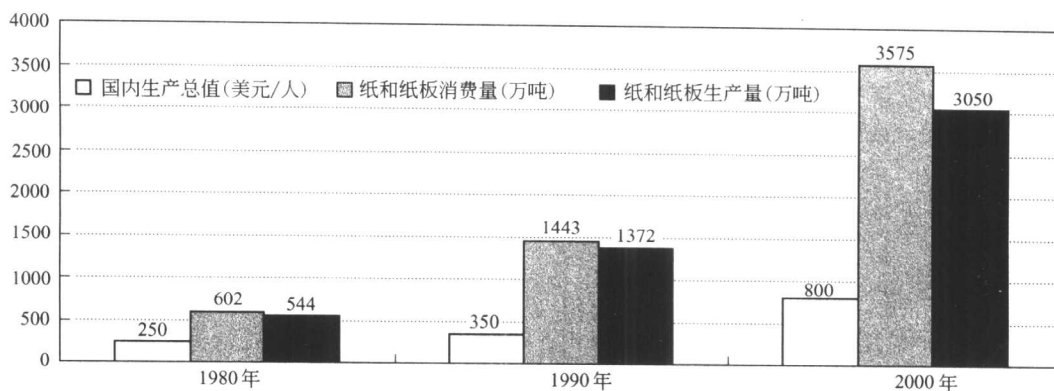


图 0-1 1980~2000 年中国 GDP、纸与纸板消费量和生产量对比

0.2.1 浆纸过程自动化的意义

在现代过程工业中，造纸工业在投资、能耗、原料消耗和水耗等方面往往超过重工业。例如，每生产 1t 纸需要消耗 800t 水，生产 1t 纸所需要的能量多于生产 1t 钢。此外，造纸所需原材料消耗也非常大。实现制浆造纸过程的计算机控制，不但可以改善工人的劳动条件，提高产品的产量和质量，还能大幅度减少能源和原材料消耗。实践证明，实现纸张生产过程的计算机控制可以减少定量平均偏差 50%~150%，减少水分平均偏差 200%~300%，降低浆耗 4%~5%，降低能耗 12.5%~27.0%，降低回炉率 2%~3%。因此，实现制浆造纸过程自动化的经济效益显著，多年来一直受到世界各主要工业国家的重视。

随着浆纸工业的快速发展，制浆、造纸的规模不断扩大，技术水平不断提高。1886 年，第一台纸浆浓度控制器诞生；20 世纪（30~40）年代，机械式和气动式控制仪表应用于造纸行业；50 年代后，气动和电动单元组合仪表出现在制浆造纸生产线上；1961 年，美国首次成功地采用计算机对制浆造纸过程进行控制。此后，随着计算机的更新换代，新的控制系统便层出不穷，目前，PLC、DCS、FCS 等最新系统在造纸行业都得到了广泛应用。此外，应用于浆纸过程的控制理论也得到了广泛而深入的研究和发展，前馈控制、解耦控制、串级控制、预测控制、自适应控制、最优控制和智能控制等都不断有在本行业实际应用的报道。

0.2.2 中国制浆造纸行业发展现状

中国是浆纸大国，但浆纸企业规模小、数量大、自动化水平较低。据国家统计局 2002 年 10 月份提供的数据，浆纸企业总数约为 5100 多家，但年平均产量不到 0.7 万吨。今后很长一段时期内年产 2 万~3 万吨以下的“小工群”仍然是中国纸业总量的中坚力量。这部分纸厂由于受到市场竞争的压力，为了提高产品质量，都不同程度地采用自动控制技术，对传统的生产方式进行技术改造。事实证明，只需对上浆浓度、流量及烘缸供汽进行一定的控制，纸张质量就会有明显的提高。中国从事浆纸控制的公司必须充分重视这方面的需求，本书在这方面提供有详细的内容。

随着改革开放的不断深入，中国加大了对浆纸行业的改造力度，为了减少污染和资源的浪费，已坚决地关、停、转了一大批年产不足 0.5 万吨的小纸厂。有些省、市，关、停的矛头已指向 1 万~2 万吨/年的纸厂。与此相反，国家对建设现代化大型纸厂却加强了投入的力度。有相当的国债资金流入到了浆纸行业。另外，国外的众多公司也看好中国的浆纸市场，纷纷在中国合资或独资加以投入。近几年来，年产 30 万~50 万吨特大型企业或企业集

团陆续出现, 10万~30万吨企业大量涌现, 日产100t以上制浆线、碱回收、年产10万吨以上的造纸机已经成为目前的流行机型。可以说, 环保意识的加强和市场竞争机制的建立, 使中国造纸行业出现了前所未有的繁荣场面, 浆纸企业向着现代化大型企业集团方向发展。

0.2.3 自动化系统在中国制浆造纸行业中的应用状况

无论是新上的浆纸生产线, 还是对老生产线进行改造, 都需要配备高质量的自控仪表。这种态势对浆纸行业自动化起到了很大的促进作用, 并形成了一个巨大的市场空间。国外公司, 如Siemens、ABB、Honeywell、Measurex、Metso等公司的DCS、QCS供应商争先恐后地参与竞争; 国内一些原来从事非浆纸行业的控制公司, 如从事热电控制的北京和利时、上海新华, 从事石化控制的浙大工控等也纷纷挤入浆纸控制市场; 加上原有的浆纸控制公司, 如陕科大微机所(陕西科技大学微机应用研究所)、华章电气、浙大双元、海天、高达等测控公司, 形成了一股激烈竞争的热潮。受到这种市场竞争机制的激励, 在短短几年中, 中国的制浆造纸自动化水平迅速缩短了与国际的差距。如抄纸质量控制系统(QCS), 原来基本上需要全套进口, 目前国产率已经达到60%, 而且水平有了很大提高。又如生产过程集散型(分布式)控制系统(DCS), 现在国内的测控公司已经有能力采用国际上最先进的开发平台(如Siemens公司近几年新推出的以S7-400为核心的PCS-7系统; ABB公司在国际上通用的AC-800F、AC-410系统), 开发适合中国制浆造纸生产线状况的高性价比自控系统, 它们已经在国内一些大型纸厂的DCS中得到广泛应用。陕科大微机所专门成立了一批由博士、硕士组成的研发中心, 跟踪国际上最先进的控制系统, 以使中国的制浆造纸自动化系统能长期与国际接轨, 保持先进的技术水平。目前, 中国的制浆造纸过程自动化控制系统不但能满足国内浆纸行业的需求, 而且还开始向俄罗斯、越南、缅甸等周边国家出口自动化产品。

目前, 中国还十分重视控制理论及先进控制在制浆造纸过程中的应用, 本书中, 用相当的篇幅介绍了适合于这一领域的新近控制理论研究成果。在“九五”国家攻关计划中, 列入了对浆纸过程优化控制的有关内容。陕科大微机所承担了“抄纸过程优化控制系统”和“洗筛漂过程优化控制系统”的科研任务, 并已在6个省数十家纸厂推广应用。相关内容在本书中亦有详细的叙述。

0.3 自动化技术在绿色生态纸业战略中的地位

20世纪90年代以来, 随着全球经济的快速发展, 国内外造纸形式发生了巨大变化。世界造纸技术先进国家, 如加拿大、美国、芬兰等, 都以木材纤维为主要原料, 产品质量、档次远远高于国内的产品, 且基本实现了无污染清洁生产。而国内造纸企业, 特别是北方平原地区的造纸企业, 大多走的是一条以麦草为主要原料发展造纸的路子, 产品质量差, 档次低, 竞争力差, 经济效益低下。同时, 由于国内造纸企业规模小、资金少、治污能力差, 致使造纸黑液得不到彻底处理, 造成了严重的环境污染, 是一种靠牺牲环境而获取短期微薄效益的发展模式。面对全球经济一体化和日趋激烈的市场竞争形式, 国内造纸企业必须调整原料和产品结构, 提高自动化水平, 实施可持续发展战略, 努力实现无污染清洁生产的绿色生态纸业。

绿色生态纸业战略的基本构想是: 以可持续发展为目标, 从实际出发, 不断调整原料和产品结构, 加大污染治理; 加快技术改造, 实施清洁生产; 采用先进技术和手段, 从原料的配比、半成品工艺加工、产品的生产、污染物的回收处理, 一直到产品的销售, 实现全