

流程工业实施绿色生产的 模糊规划

FUZZY PLANNING OF GREEN PRODUCTION
IMPLEMENTATION FOR PROCESS INDUSTRY

王心
著

 中国财富出版社
CHINA FORTUNE PRESS

流程工业实施绿色生产的模糊规划

王 心 著



中国财富出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

流程工业实施绿色生产的模糊规划/王心著. —北京: 中国财富出版社,
2014. 11

ISBN 978 - 7 - 5047 - 5401 - 1

I. ①流… II. ①王… III. ①工业生产—无污染技术—研究 IV. ①X383

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 242447 号

策划编辑 寇俊玲
责任编辑 丁美霞 辛倩倩

责任印制 方朋远
责任校对 梁 凡

出版发行 中国财富出版社 (原中国物资出版社)

社 址 北京市丰台区南四环西路 188 号 5 区 20 楼 邮政编码 100070

电 话 010 - 52227568 (发行部) 010 - 52227588 转 307 (总编室)
010 - 68589540 (读者服务部) 010 - 52227588 转 305 (质检部)

网 址 <http://www.cfpress.com.cn>

经 销 新华书店

印 刷 北京京都六和印刷

书 号 ISBN 978 - 7 - 5047 - 5401 - 1/X · 0013

开 本 710mm × 1000mm 1/16

印 张 19

字 数 321 千字

版 次 2014 年 11 月第 1 版

印 次 2014 年 11 月第 1 次印刷

定 价 68.00 元

版权所有 · 侵权必究 · 印装差错 · 负责调换

前 言

传统的流程工业是一种典型的线性经济发展模式，它将废弃物（包括生产和消费过程中产生的）向环境中排放，并掠夺式地从环境中获取资源，不仅导致环境污染，而且导致资源日益减少直至枯竭，从而威胁人类经济和社会的可持续发展。传统的流程工业漠视了“天人合一”的生态伦理观，既违背了生态学原理的物质循环和再生利用，又忽略了经济学原理的资源稀缺性以及经济活动的总体效率，使有限的资源和环境变得更加“有限”，是一种短视的经济模式，不利于人类的可持续发展。

绿色生产是生产模式发展的高层阶段，它综合考虑了环境影响和资源消耗，其研究目的是通过在企业实施绿色生产，使企业获得经济效益和环境效益，提高企业市场竞争力，充分体现企业的社会价值和社会责任，最终实现可持续发展。

尽管绿色生产在当今资源价格不断上涨、地球环境日益恶化的情况下使企业能够保持持续的竞争优势，并且是一种可持续发展模式，但很多发展中国家的流程工业企业并不愿意实施绿色生产。以我国为例，目前很多流程工业企业，如氯碱企业，走的仍然是高投入、高能耗、粗放型的道路。能源、资源消耗量大，环境污染严重仍然是影响我国经济长期健康发展的因素之一。为了节能减排，迫切需要通过提高流程工业企业的绿色生产水平，于是对绿色生产的运行模式及其实施方法进行研究是十分必要的。

本书针对流程工业的前沿热点问题，并结合多年来本人所在博士课题组对循环经济领域的相关研究，将循环经济的理念与我国流程工业的实际相结合，为流程工业的绿色生产提供一套有参考价值的模型和方法体系。通过设计合理的绿色生产运行模式以及实施方案，可以有效控制绿色生产成本、保证实施效果，以达到节能减排的目的，同时取得可观的经济效益、社会效益和环境效益，从而为广大流程工业企业实施绿色生产提供技



术支持，从系统的角度寻求对策，使流程工业企业实现可持续发展。

本书是在本人的博士学位论文的基础上完成的。感谢本人的博士生导师、天津大学管理与经济学部的赵涛教授在本人攻读博士期间的悉心指导，同时也感谢本人所在循环经济课题组的博士同学们给予的鼓励、帮助和良好的学术氛围！本书的顺利出版，要感谢天津财经大学的领导和老师们给予的大力支持和帮助，还要感谢中国财富出版社的编辑对本书出版给予的支持！

本书还有很多不完善的地方，敬请读者批评指正！

作 者

2014 年 8 月

目 录

1 流程工业概述	1
1.1 流程工业的概念	1
1.2 流程工业的分类	1
1.3 流程工业的特点	3
1.4 流程工业与离散工业的区别	4
1.5 流程工业企业对生产管理的需求	6
2 循环经济理论	8
2.1 循环经济的起源与发展	8
2.2 循环经济的内涵及特征	9
2.2.1 循环经济的本质	9
2.2.2 循环经济的指导原则	10
2.2.3 循环经济的特征	10
2.3 循环经济与传统经济的比较	14
2.3.1 循环经济与传统经济	14
2.3.2 循环经济的比较优势	15
2.4 循环经济的发展模式	16
2.5 发展循环型工业	17
2.5.1 清洁生产和工业生态学	17
2.5.2 发展循环型工业的模式与途径	20
3 绿色生产理论	26
3.1 绿色生产概述	26



3.1.1 绿色生产的定义	26
3.1.2 绿色生产的内涵	28
3.1.3 绿色生产的基本特点	29
3.1.4 绿色生产的主要途径	30
3.1.5 绿色生产与传统生产	31
3.1.6 绿色生产与清洁生产	33
3.2 绿色生产的体系结构和技术内涵	34
3.2.1 绿色生产的体系结构	34
3.2.2 绿色生产的技术内涵	36
3.3 绿色生产的理论基础	37
3.4 绿色生产实施的必要性	38
3.5 我国绿色工业的发展	40
3.5.1 绿色工业对传统环保理念的冲击和突破	41
3.5.2 工业绿色化与绿色工业节能	45
3.5.3 清洁生产是绿色工业的本质	48
3.5.4 生态工业园的建设	53
3.5.5 我国绿色工业发展评价	54
4 流程工业生态工业园与共生网络规划	61
4.1 生态工业园理论	61
4.1.1 生态工业园的概念	61
4.1.2 生态工业园的特征与优势	63
4.1.3 生态工业园与传统园区的区别	64
4.1.4 国内外生态工业园的建设	65
4.2 共生理论	70
4.2.1 共生理论的发展	70
4.2.2 共生理论的基本原理	70
4.3 流程工业生态工业园与共生网络规划案例	71
4.3.1 氯碱化工生态工业园规划原则	72
4.3.2 氯碱化工生态工业园规划设计	73
4.3.3 氯碱化工共生网络模式分析	77

4.3.4 氯碱化工生态产业链设计	85
4.3.5 电石渣制水泥生态产业链分析	87
4.3.6 氯碱化工共生网络的构建	95
5 流程工业元素流分析	98
5.1 元素流分析概述	98
5.1.1 物质流分析及其分类	98
5.1.2 元素流分析的意义	99
5.2 元素流分析的基本方法	100
5.2.1 元素流跟踪分析方法	100
5.2.2 环境影响模型 (PRE-EE 模型)	101
5.3 流程工业元素流分析案例	107
5.3.1 企业介绍	108
5.3.2 从企业向园区的过渡过程中的物质集成	108
5.3.3 数据收集与处理	111
5.3.4 企业现阶段 Cl 元素流分析	112
5.3.5 企业入驻生态工业园之后的 Cl 元素流分析	115
5.3.6 结果比较与结论	117
6 流程工业能量流分析	119
6.1 能量流理论	119
6.1.1 能量流的概念	119
6.1.2 能量流的结构模型	119
6.1.3 能量流的分析方法	121
6.2 环境负荷理论	123
6.2.1 环境负荷的概念	123
6.2.2 环境负荷的模型结构	124
6.2.3 环境负荷的分析方法	126
6.2.4 基准流图	128
6.3 基于企业能量流分析框架的能耗测算分析	129
6.3.1 研究的边界确定	129

6.3.2 能量流分析框架	129
6.3.3 能量流测算分析	132
6.3.4 能量流指标	133
6.4 能量流对环境负荷影响分析	134
6.4.1 基准能量流图	134
6.4.2 环境负荷分析	137
6.4.3 环境负荷评价指标	140
6.5 流程工业能量流案例分析	142
6.5.1 数据收集	142
6.5.2 企业能量流分析	144
6.5.3 氯碱企业环境负荷分析	147
6.5.4 主要结论和建议	154
7 流程工业生态工业园综合评价	155
7.1 综合评价介绍	155
7.1.1 综合评价的含义	155
7.1.2 综合评价的目标	156
7.1.3 综合评价的原则	157
7.2 综合评价指标体系	159
7.2.1 指标体系的构成	159
7.2.2 评价指标的解释	161
7.3 基于 AHP 的指标权重的确定	165
7.3.1 AHP 介绍	165
7.3.2 指标权重的计算	169
7.4 模糊综合评价值的计算	173
7.4.1 模糊综合评价方法	173
7.4.2 指标分级标准	177
7.4.3 模糊综合评价	179
7.5 结果分析	180
8 流程工业下游产品选择的模糊规划	182
8.1 氯碱化工下游产品选择分析	182

8.1.1 产业链延伸概述	182
8.1.2 氯碱化工产品链延伸的必要性	183
8.1.3 氯碱化工下游产品选择模式	184
8.1.4 氯碱化工下游产品选择方向	184
8.1.5 氯碱化工产品链延伸的特点	185
8.2 产品筛选	186
8.3 产品选择的模糊机会约束规划模型	187
8.3.1 净现值模型	188
8.3.2 模糊集理论	189
8.3.3 基于可信性测度的模糊机会约束规划模型	191
8.3.4 模糊机会约束规划模型的清晰等价形式	192
8.4 产品选择的模糊机会约束目标规划模型	194
8.4.1 净现值目标规划模型	194
8.4.2 基于可信性测度的模糊机会约束目标规划模型	195
8.4.3 模糊机会约束目标规划模型的清晰等价形式	196
8.5 产品选择的基于模糊模拟的遗传算法	197
8.5.1 遗传算法简介	197
8.5.2 模糊模拟	198
8.5.3 基于模糊模拟的遗传算法	200
8.6 产品选择实例分析	200
8.6.1 液氯下游产品选择	200
8.6.2 盐泥下游产品选择	202
9 流程工业生产计划的模糊规划	205
9.1 氯碱化工生产计划分析	205
9.1.1 生产计划概述	205
9.1.2 氯碱化工生产计划的特点	207
9.2 生产计划模型	208
9.2.1 问题描述及模型	208
9.2.2 考虑节能减排因素的生产计划模型	210
9.2.3 多目标生产计划模型	211



9.3 生产计划的模糊期望目标规划模型	212
9.3.1 问题描述及模型	212
9.3.2 模糊期望目标规划模型	213
9.3.3 生产计划的基于模糊模拟的遗传算法	215
9.3.4 PVC下游产品生产计划实例分析	216
10 流程工业绿色生产的实施	220
10.1 我国氯碱化工生产过程存在的问题	220
10.1.1 氯碱化工对资源能源的消耗	221
10.1.2 氯碱化工对环境的污染和破坏	221
10.2 氯碱化工绿色生产实施的总体框架	222
10.2.1 绿色生产实施的研究内容体系	222
10.2.2 基于霍尔三维结构的绿色生产实施方法	223
10.2.3 绿色生产实施的总体思路	225
10.3 资源投入的模糊优化模型——以氯碱化工生态工业园为例	226
10.3.1 氯碱化工生态工业园概述	227
10.3.2 多目标模糊优化模型	227
10.3.3 资源投入的多目标模糊优化模型	228
10.3.4 多目标模糊优化模型的转化	229
10.3.5 构造个体的适应度函数	231
10.3.6 算例分析	232
10.4 环境影响分析	233
10.4.1 生产过程环境影响的数学描述	234
10.4.2 基于生态指示器 99 的单元生产过程环境影响值的计算	234
10.4.3 生产过程的环境影响评价	237
11 流程工业绿色生产评价	240
11.1 绿色生产评价体系框架	240
11.1.1 绿色生产综合评价	240
11.1.2 绿色生产与生命周期评价	242
11.1.3 绿色生产评价体系	246

11.2 绿色生产评价实施过程	248
11.2.1 评价对象	248
11.2.2 评价目的	248
11.2.3 评价范围	249
11.2.4 评价的技术原则	249
11.2.5 评价基本步骤	253
参 考 文 献	255
附 录	284

1 流程工业概述

流程工业（又称过程工业）主要包括石油、化工、冶金、食品加工、制药以及电力等，不仅是国民经济发展中一个多品种、多层次、服务面广、配套性强的重要基础产业，也是在国民经济中占主导地位的行业，与其他部门和直接消费市场关系密切。流程工业较离散工业在生产经营方面具有较大差别，例如，石化工业的最终产品全是经过无数次的分离、化合、重整、聚合、异构、裂解（裂化）、合成来完成的，同时需要对副产品、废品进行管理处置。

1.1 流程工业的概念

根据美国生产与库存控制协会（American Production and Inventory Control Society, APICS）的定义，流程工业（Process Industries）是指通过分离、混合、成型或化学反应使生产原材料增值的行业，其生产过程一般是连续的或成批的，需要严格的过程控制 and 安全性措施，主要包括化工、冶金、石油、电力、橡胶、制药、食品、造纸、塑料、陶瓷等行业。

1.2 流程工业的分类

美国生产与库存控制学会（APICS）按照生产过程中的操作方式，把流程工业分为纯流程生产企业和混合生产企业。纯流程生产企业在同一批次或不同批次的产品生产过程中是连续生产的，极少出现中断，其原材料、半成品和产品通常是液体、纤维、气体以及粉末，也叫作连续生产企业；混合生产企业是将材料积累起来，每次同时加工一批材料的一种生产技术，生产过程具有间歇性，也叫作批量生产企业。

联系实际流程工业所属行业类别，如图 1-1 可以看出流程工业生产方式的区别。

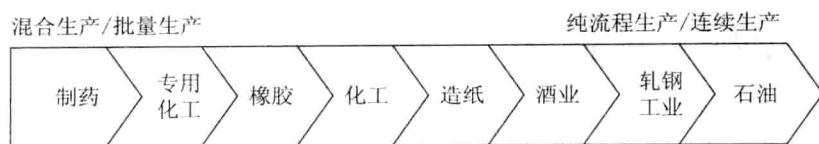


图 1-1 流程工业的分类

在纯流程生产企业中，其产品流是连续、不间断、不可分的，设备、操作之间的耦合度也极高，因此生产产品种类比较少，生产量会很大；使用专用设备，生产转换时间较长；单一性能的专业化设备的使用也使得企业的生产能力相对确定。纯流程生产企业的生产特点如表 1-1 左列所示。

在混合生产企业中，生产步骤较多、产品复杂性较高。由于产品种类较多，这类企业需要通用型的生产设备，产品的加工路线更为复杂，有的时候甚至需要重新进行流程配置。另外，此类企业的可用生产能力很难进行准确的估算。批量大小主要是由技术上的批量大小要求来决定，而不是根据转换时间决定的。混合生产型企业的生产特点如表 1-1 右列所示。

在纯流程生产企业中，生产过程是连续不间断的，但是在其包装等环节可以存在间断点，可以实现大规模定制。在混合生产企业中，批量生产之间存在着间断点，可以考虑作为客户订单的区分点。

表 1-1 纯流程生产企业与混合生产企业生产特点比较

纯流程生产企业生产特点	混合生产企业生产特点
连续且同时进行	按配方规定的顺序进行
生产能力确定，所有的产品加工路线一致，没有产品量上的变动	生产能力难以确定（因为有不同的设备组合，生产路径复杂）
专用性强，转换时间影响较大	具有一定的通用性，转换时间影响较小
通常在恒定的压力、温度、流量条件下，处于稳定状态	可变的，并且在两个操作之间经常发生剧烈的变化

续 表

纯流程生产企业生产特点	混合生产企业生产特点
• 大规模定制实现程度低	• 大规模定制实现程度高
• 少量供应商	• 大量供应商

1.3 流程工业的特点

流程工业的特性，总结如下，如表 1-2 所示。

(1) 同步、串行生产。由于物料是液态或气态，为了便于加工、输送，生产设备间通过管道等相互衔接，按照串行方式生产，在物理上形成固定的生产路径，设备间同步要求较高，生产的进度常常通过一个或几个主变量控制。

(2) 控制量相互耦合。产品生产主要通过化学变化实现，主要控制量为温度、压力、流速等变量。由于其反应机理较为复杂，物料成分不同，生产时控制参数往往不同，而且控制量间常相互耦合，因此对流程各变量的控制是至关重要的，这将决定产品的质量、得率及成本等关键指标。

(3) 工艺流程相对固定。流程工业各行业的产品类型比较固定，生产切换较少，调度主要根据生产计划进行排产。流程型工业中工序先后次序严格，工艺流程相对固定。

(4) 生产负荷要求严格。因为流程工业固定成本很高，对设备的生产负荷要求严格，满负荷生产是许多企业的生产目标之一。

(5) 在制品存储条件要求严格。在流程工业中，在制品对储存条件有很严格的要求，比如说压强温度反面的要求、存储时间的限制等。

(6) 故障停车损失大。由于流程工业生产过程连续、流程长、设备多，故障的发生是以连锁的形式出现的，即一个故障将产生一连串的相关故障。由于启动和停机的时间较长、控制复杂、生产流程以串行方式相互衔接、柔性弱、设备清洗耗费大等因素，使得流程工业生产切换或设备故障造成中断的代价较大。

表 1-2 流程工业与离散工业生产的比较

特点		生产类型	流程工业生产	离散工业生产
物料特点	物态		液态或气态	固态
	物性影响		较大	较小
	种类		固定	变化
产品特点	组成		均匀物质	多种不同部件
	类型		固定	变化
	生命周期		长	短
	加工途径		化学、物理变化	物理变化
生产过程	工艺流程		相对固定	相对变化
	前后工序关系		密切相关	相关较小
	运作环境		相对苛刻	普通
	启动和停机		时间较长、控制复杂	普通
	故障停车损失		较大	较小
	生产利用率		较高	较低
	中间储存条件		要求严格	要求一般
	安全要求		很高	很高
对供应商要求			很高	一般

从以上流程工业的生产特点以及要求的环境条件也可以看出，流程工业对供应商的要求也要比离散工业高。如果供应商不能按时供货，流程工业会因此而遭受重大损失。

1.4 流程工业与离散工业的区别

与离散工业相比，两者在财务、采购、销售、资产和人力资源管理等 方面基本相似，两者的主要区别在于：

(1) 在生产计划方面。流程工业的生产计划可以从生产过程的任一具有明显工艺特征的环节开始，离散工业只能从生产过程的起点开始计划；流程工业采用过程结构和配方进行物料需求计划，离散工业采用物料清单

进行物料需求计划；流程工业一般同时考虑生产能力和物料，离散工业必须先进行物料需求计划，后进行能力需求计划；离散工业的生产面向订单，依靠工作单传递信息，作业计划限定在一定时间范围之内，流程工业的生产主要面向库存，没有作业单的概念，作业计划中也没有可供调节的时间。

(2) 在工程设计方面。流程工业中新产品的开发过程不必与正常的生产管理、生产过程集成，可以不包括工程设计分系统，离散工业由于产品工艺结构复杂、更新周期短，新产品开发和正常的生产过程中都有大量的变形设计任务，需要进行复杂的结构设计、工程分析、精密绘图、数控编程等，工程设计分系统是其不可缺少的重要分系统之一。

(3) 在调度管理方面。流程工业中要考虑产品配方、产品混合、物料平衡、污染防治等问题，需要进行主产品、副产品、协产品、废品、成品、半成品和回流物的管理，热蒸汽、冷冻水、压缩空气、水、电等动力能源辅助系统也应纳入工业的集成框架，离散工业则不必考虑这些问题；流程工业中生产过程的柔性是靠改变各装置间的物流分配和生产装置的工作点来实现的，必须由先进的在线优化、控制技术来保证，离散工业的生产柔性则是靠生产重组等技术来保证；流程工业的质量管理系统与生产过程自动化系统、过程监控系统紧密相关，产品检验以抽样方式为主，采用统计质量控制，产品检验与生产过程控制、管理系统严格集成，密切配合，离散工业的质量控制分系统则是其中相对独立的一部分。

(4) 在信息处理方面。流程工业要求实时在线采集大量的生产过程数据、工艺质量数据、设备状态数据等，要及时处理大量的动态数据，保存许多历史数据，并以图表、图形的形式予以显示，而离散工业则相对较少；流程工业的工程数据库主要是体现生产过程状态的一些实时数据，如过程变量、设备状态、工艺参数等，离散工业的工程数据库则是主要以产品设计、生产、销售、维护整个生命周期中的数据为主，实时性要求不强。

(5) 在安全可靠方面。流程工业由于生产的连续性和大型化，保证生产的高效、安全、稳定运行，实现稳产、高产，才能获取最大的经济效益，因此安全可靠生产是流程工业的首要任务。必须实现全生产过程的动态监控，使其成为工业集成系统中不可缺少的一部分，离散工业处于相对