

超临界流体技术 应用手册

彭英利 马承愚 主编



化学工业出版社

超临界流体技术应用手册

彭英利 马承愚 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

超临界流体技术应用手册/彭英利, 马承愚主编. —北京: 化学工业出版社, 2005. 4
ISBN 7-5025-6864-6

I. 超… II. ①彭…②马… III. 超临界流动-手册
IV. 0351.2-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 027634 号

超临界流体技术应用手册

彭英利 马承愚 主编
责任编辑: 陈 丽 刘俊之
文字编辑: 操保龙
责任校对: 郑 捷
封面设计: 关 飞

*

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)
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
大厂聚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 32¼ 字数 857 千字
2005 年 9 月第 1 版 2005 年 9 月北京第 1 次印刷
ISBN 7-5025-6864-6/TQ·2188
定 价: 80.00 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

内 容 提 要

近 20 年来, 超临界流体技术发展迅速, 已由理论研究向工业应用方向发展。

本书是首部总结超临界流体技术领域的基本理论与工业实践应用的工具书, 书中全面介绍了超临界流体物质如 CO_2 、水的基本性质; 详细叙述了超临界流体技术在各工业领域如食品, 化工, 制药, 环保, 发电, 材料科学和生物科学等领域中的应用; 每项应用技术都给出详细的工艺参数, 以及改变工艺条件对结果的影响等; 书后附有各种无机物、有机物的临界参数、几种气体——空气、 CO_2 、 O_2 等的热物理性质。

本书内容丰富、全面, 涵盖面广, 体现了我国超临界流体技术研究成果及发展水平, 具有非常强的参考价值和实践指导意义, 可作为研究人员的案头资料, 也可作为生产技术人员参考手册和有关专业大学生、研究生及高校教师等的参考书。

《超临界流体技术应用手册》编写人员名单

主 编：	彭英利	马承愚	
主 审：	姜安玺		
编 写：	董振军	朱建平	张宝杰
	穆 莹	耿鹏印	张丽红
	曾 力	刘伶俐	

前 言

随着科学技术水平的进步,超临界流体技术发展的一些难题逐渐得到解决。近 20 多年来,超临界流体技术发展较快,已由理论研究向工业应用方向发展,同时也带动了食品、制药、化工、环保、电力、制造、仪器分析等领域的进步。超临界流体技术还将在其他科学技术领域的进步中发挥出更大的作用。1988 年在法国南希召开了第一次国际超临界流体会议,2000 年 4 月,在美国亚特兰大召开了第五届国际超临界流体技术大会,主题定为“可持续发展的超临界流体(Supercritical Fluids for Sustainable Technology)技术与应用”。由此可见,超临界流体技术具有极强的生命力。

我国于 1996 年在石家庄市召开了第一届超临界流体技术学术和应用研讨会,以后每年举行一届,到 2004 年已召开了五届,由此推动了超临界流体技术在我国快速发展。目前,国内从事超临界流体技术研究及其开发的学者和单位越来越多,对该技术的研究也越来越深入,为适应广大读者的需要,我们编写了这部手册,汇集了近年来国内外开展超临界流体技术研究和应用的最新成果以及作者多年的研究成果。

本书的最大特点是突出超临界流体技术的实用性、完整性和可应用性,对理论研究的叙述力求通俗易懂。书中许多超临界流体技术和方法密切结合实验和工业化生产实践,可指导各种实验和工业生产,按照书中介绍的工艺和方法,在现有加工制造技术水平基础上,能指导开发出相应的设备。本书还对处于前沿性的超临界流体应用技术的研究成果进行了汇编,如超临界流体萃取技术、超临界流体反应技术、超临界水氧化技术、超临界流体结晶技术、超临界流体色谱技术等。本书力求反映超临界流体技术应用研究的最新成果,其中 21 世纪取得的成果占相当大的篇幅。

本书由彭英利高级工程师、马承愚博士主编,并负责统稿,哈尔滨工业大学姜安玺教授主审,参加本书编写的人员有:董振军、朱建平、张宝杰、穆莹、耿鹏印、张丽红、曾力、刘伶俐等。本书得到有关人士的大力支持,在此表示感谢。本书在附录中还引用了《工程常用物质的热物理性质手册》中的数据表、《化学化工物性数据手册》中的数据表,在此向两书的主编张家荣、赵廷元、刘光启、马连湘、刘杰等表示感谢。

由于作者水平有限,时间仓促,且因多人参与编写,难免有笔调不一或疏漏之处,恳请读者不吝指教,欢迎批评指正。

编者

2004 年 12 月

目 录

第一章 超临界流体技术基本知识	1
第一节 超临界流体	1
一、超临界流体的概念	1
二、超临界流体的特性	1
三、超临界流体的传递性质	2
四、超临界流体的溶解性能	2
五、超临界流体的选择	7
第二节 物质的临界参数和估算方法	8
一、无机物的临界参数	8
二、有机物的临界参数	9
三、临界参数的估算方法	9
第三节 超临界流体应用技术的分类	11
一、超临界流体萃取技术	11
二、超临界流体反应技术	11
三、超临界水氧化技术	12
四、超临界流体结晶技术	12
五、超临界流体发电技术	12
六、超临界流体冶金技术	13
七、超临界流体液化煤技术	13
八、超临界流体印染技术	13
九、超临界流体色谱技术	14
十、超临界流体成矿技术	14
参考文献	14
第二章 超临界 CO ₂ 萃取技术	16
第一节 超临界 CO ₂ 的性质	16
一、二氧化碳的性质	16
二、二氧化碳的产品标准与分析方法	23
三、二氧化碳的制备	23
四、二氧化碳的用途	24
第二节 超临界 CO ₂ 的热力学分析	24
一、超临界 CO ₂ 的相平衡	25
二、超临界 CO ₂ 的临界状态和特征	26
三、超临界 CO ₂ 萃取相平衡的模型化	26
第三节 超临界 CO ₂ 萃取过程	31
一、超临界 CO ₂ 萃取过程中的传质	31

二、超临界 CO ₂ 萃取工艺流程	32
三、超临界萃取过程的影响因素	37
参考文献	39

第三章 超临界流体反应技术

第一节 均相反应	41
第二节 非均相反应	42
一、固体催化剂的再生	42
二、产物反应分离	42
三、产物选择性反应	43
第三节 多相催化反应	43
一、F-T 合成	43
二、烃类异构化	43
三、异构烷烃与烯烃的烷基化反应	43
四、CO 加氢合成甲醇、异丁醇	43
第四节 金属有机反应	44
第五节 超临界二氧化碳的加氢反应	44
第六节 酶催化反应	45
第七节 物料的转化和分解反应	47
一、煤炭转化	47
二、废纤维与废聚合物分解	47
第八节 氧化反应	48
一、超临界水氧化反应	48
二、超临界水/甲烷氧化制取甲醇	49
三、甲苯及环己烷的催化氧化反应	49
四、1-己烯的水氧化反应	49
五、超临界丙烷催化羟基化反应	50
第九节 溶胀聚合反应	50
第十节 纤维素超临界水解反应	50
参考文献	51

第四章 超临界水氧化技术

第一节 超临界水及其特性	53
一、超临界水	53
二、超临界水的特性	54
第二节 超临界水氧化反应	56
一、概述	56
二、过氧化氢超临界水氧化技术	58
第三节 催化超临界水氧化技术	58
一、概述	58
二、催化反应分类	60
三、超临界水氧化催化剂的性质	60
第四节 超临界水氧化反应动力学、反应路径和机理	61

一、超临界水氧化反应动力学	61
二、超临界水氧化法反应路径和机理	63
三、超临界水氧化氧气的量及反应热	64
第五节 超临界水氧化分解有机物	65
参考文献	66
第五章 超临界流体结晶技术	67
第一节 RESS 工艺	67
一、RESS 工艺原理	67
二、RESS 工艺制备微细颗粒的影响因素	69
三、RESS 工艺的应用	71
第二节 GAS 工艺	74
一、GAS 工艺原理	74
二、GAS 工艺过饱和度与沉析颗粒尺寸	75
三、GAS 工艺流程及实验装置	77
第三节 PGSS 工艺	78
第四节 SCFD 工艺	78
第五节 其他超临界流体结晶工艺	80
一、SAS 工艺	80
二、CPF 工艺	80
三、SRC 工艺	81
四、SCW 工艺	81
五、PCA 工艺	82
六、SEDS 工艺	82
参考文献	83
第六章 超临界流体色谱技术	86
第一节 超临界流体色谱动力学	86
一、理论模型	86
二、模型参数的计算	87
第二节 实验装置及流程	89
一、超临界流体色谱装置	89
二、装置流程	89
三、超临界流体色谱技术的主要特点	90
四、超临界流体色谱技术的进展	91
参考文献	92
第七章 超临界流体技术在食品工业中的应用	93
一、超临界 CO ₂ 萃取啤酒花	93
二、超临界 CO ₂ 萃取番茄红素	94
三、超临界 CO ₂ 萃取整粒松仁	94
四、超临界 CO ₂ 萃取螺旋藻	95
五、超临界 CO ₂ 萃取葡萄皮三萜类组分	96

六、超临界 CO ₂ 萃取洋葱油	96
七、超临界 CO ₂ 萃取甜橙皮油	97
八、超临界 CO ₂ 萃取芦笋中熊果酸	98
九、超临界 CO ₂ 萃取大豆磷脂	98
十、超临界 CO ₂ 萃取辣椒红色素	98
十一、超临界 CO ₂ 萃取滁菊	99
十二、超临界 CO ₂ 萃取化橘红	99
十三、超临界 CO ₂ 萃取生姜中抗氧化活性物质	100
十四、超临界 CO ₂ 萃取荞麦中天然芦丁	101
十五、超临界 CO ₂ 萃取鹰嘴豆	101
十六、超临界 CO ₂ 萃取去除蛋黄粉中胆固醇和甘油三酯	102
十七、超临界 CO ₂ 萃取玉米黄色素	102
十八、超临界 CO ₂ 萃取蜂胶	103
十九、超临界 CO ₂ 萃取茶多酚	103
二十、超临界 CO ₂ 萃取茶叶中咖啡因	104
二十一、超临界 CO ₂ 萃取茶叶中咖啡碱	104
二十二、超临界 CO ₂ 萃取花椒籽油	105
二十三、超临界 CO ₂ 萃取蛋黄粉中蛋黄油	105
二十四、超临界 CO ₂ 萃取制首乌中卵磷脂	106
二十五、超临界 CO ₂ 萃取花椒中酰胺类成分	106
二十六、超临界 CO ₂ 萃取技术脱除大豆蛋白异味	107
参考文献	107

第八章 超临界流体技术在化工领域中的应用

第一节 超临界流体技术在石油化学工业中的应用	109
一、应用概述	109
二、超临界流体萃取分馏法分离重质油	110
三、超临界丙烷精密分离渣油	111
四、超临界丙烷催化转化异丙醇和正丙醇	111
第二节 超临界流体技术在化学合成工业中的应用	112
一、超临界流体技术水解乙酸甲酯	112
二、超临界 CO ₂ 中溴化钨催化炔烃环三聚反应	113
三、近临界水合成亚苄基乙酰苯	113
四、超临界 CO ₂ 中合成碳酸二甲酯	114
五、超临界 CO ₂ 中乙酸乙酯和正丁醇之间的酯交换反应	114
六、超临界 CO ₂ 离子液体两相体系中 1-己烯的氧化反应	114
七、超临界 CO ₂ 中 1-己烯加氢甲酰化反应及相行为	115
八、超临界 CO ₂ 中脂肪酶催化亚麻油水解反应	115
九、超临界 CO ₂ 中苯甲醛、苯胺和苯乙酮的曼尼希反应	116
第三节 超临界流体技术在煤炭化学工业中的应用	116
一、煤的超临界流体萃取脱硫	116
二、煤的超临界流体液化	117
三、超临界流体液化煤工艺的应用	120

四、低价煤在超临界水中制取富氢气体	127
第四节 超临界流体萃取在农药除虫菊工业中的应用	128
参考文献	128
第九章 超临界 CO₂ 萃取技术在天然植物香精油产业中的应用	131
第一节 概述	131
第二节 超临界 CO ₂ 萃取天然植物香精油	133
一、用超临界 CO ₂ 萃取香草兰香精	133
二、超临界 CO ₂ 萃取丁香花蕾精油	133
三、超临界 CO ₂ 萃取灵香草精油	133
四、超临界 CO ₂ 萃取柚子花挥发油	134
五、超临界 CO ₂ 萃取罗勒挥发油	135
六、超临界 CO ₂ 萃取橘子花头香精油	135
七、超临界 CO ₂ 萃取八角茴香挥发油	136
八、超临界 CO ₂ 萃取墨红花香精油	136
九、超临界 CO ₂ 萃取薄荷精油	137
十、超临界 CO ₂ 萃取桂花精油	137
十一、超临界 CO ₂ 萃取茉莉花精油	138
十二、超临界 CO ₂ 萃取白苏叶挥发油	138
十三、超临界 CO ₂ 萃取芫荽子精油	139
十四、超临界 CO ₂ 萃取肉豆蔻精油	139
十五、超临界 CO ₂ 萃取樟树籽油	139
十六、超临界 CO ₂ 萃取葡萄皮精油	140
十七、超临界 CO ₂ 萃取花椒挥发油	140
十八、超临界 CO ₂ 萃取山苍子油	141
十九、超临界 CO ₂ 萃取甜橙皮精油	141
二十、超临界 CO ₂ 萃取芹菜籽油	142
二十一、超临界 CO ₂ 萃取薰衣草挥发油	142
参考文献	143
第十章 超临界 CO₂ 萃取在油脂工业中的应用	144
第一节 SC-CO ₂ 萃取油脂与传统方法的比较及影响因素	144
一、与传统方法的比较	144
二、超临界 CO ₂ 萃取植物油脂的影响因素	145
第二节 超临界 CO ₂ 萃取工艺在油脂中的应用	146
一、超临界 CO ₂ 萃取大豆油	146
二、超临界 CO ₂ 萃取芹菜籽油	146
三、超临界 CO ₂ 萃取南瓜籽油	147
四、超临界 CO ₂ 萃取葡萄籽油	148
五、超临界 CO ₂ 萃取菜籽油饼	149
六、超临界 CO ₂ 萃取食用姜油	149
七、超临界 CO ₂ 萃取核桃油	151
八、超临界 CO ₂ 萃取碱蓬油	151

九、超临界 CO ₂ 萃取隐甲藻油脂	152
十、超临界 CO ₂ 萃取亚麻籽油	152
十一、超临界 CO ₂ 萃取 EPA 乙酯和 DHA 乙酯	153
十二、超临界 CO ₂ 萃取蛋黄油	153
十三、超临界 CO ₂ 萃取红松仁油	154
十四、超临界 CO ₂ 萃取小麦胚芽油	154
十五、超临界 CO ₂ 萃取猕猴桃籽油	155
十六、超临界 CO ₂ 萃取榛子油	155
十七、超临界 CO ₂ 萃取扁桃油	156
十八、超临界 CO ₂ 萃取共轭亚油酸	156
十九、超临界 CO ₂ 萃取油茶籽油	157
二十、超临界 CO ₂ 萃取微孔草油	158
二十一、超临界 CO ₂ 萃取棉籽油	158
二十二、超临界 CO ₂ 萃取沙苑子油	159
二十三、超临界 CO ₂ 萃取食用沙棘油	159
参考文献	159

第十一章 超临界流体技术在材料科学中的应用..... 161

第一节 超临界流体技术在高分子材料加工中的应用.....	161
一、超临界条件下的乙烯聚合.....	161
二、超临界 CO ₂ 合成聚丙烯腈	162
三、超临界 CO ₂ 制备环烯烃共聚物微孔材料	163
四、超临界 CO ₂ 中丙烯酸与乙烯基吡咯烷酮的共聚	164
五、超临界 CO ₂ 合成丙烯酸含氟共聚物	165
六、超临界 CO ₂ 合成 TiO ₂ 介孔材料	166
七、超临界 CO ₂ 诱导聚碳酸酯结晶	166
第二节 超临界流体技术在超细颗粒制备方面的应用.....	167
一、RESS 工艺制备灰黄霉素微细颗粒	167
二、RESS 工艺制备二氧化硅超细微粒	168
三、RESS 工艺制备植物甾醇微粒	168
四、GAS 工艺制备胰岛素微粒	169
五、GAS 工艺制备柠檬酸微细晶体	169
六、GAS 工艺制备环四亚甲基四硝胺	170
七、GAS 工艺制备对苯二酚超细颗粒	171
八、GAS 工艺制备尼莫地平微粒	172
九、GAS 工艺制备银杏提取物超细颗粒	172
十、SCFD (SD) 工艺制备纳米硼酸钙	173
十一、SCFD 工艺制备纳米氧化铁微粉	174
十二、SCFD 工艺制备氧化锌纳米微粉	174
十三、SCFD 工艺制备二氧化钛纳米微粉	175
十四、PCA 工艺制备扑热息痛微细颗粒	176
参考文献	177

第十二章 超临界流体技术在中草药领域中的应用..... 178

第一节 中草药中挥发油和精油的超临界 CO₂ 萃取 178

- 一、超临界 CO₂ 萃取益智挥发油 178
- 二、超临界 CO₂ 萃取辛夷挥发油 180
- 三、超临界 CO₂ 萃取杏仁油 181
- 四、超临界 CO₂ 萃取月见草油 183
- 五、超临界 CO₂ 萃取安息茴香油 184
- 六、超临界 CO₂ 萃取紫苏子油 185
- 七、超临界 CO₂ 萃取薄荷油 186
- 八、超临界 CO₂ 萃取大果木姜子精油 187
- 九、超临界 CO₂ 萃取鱼腥草挥发油 189
- 十、超临界 CO₂ 萃取荇叶细辛挥发油 191
- 十一、超临界 CO₂ 萃取珊瑚姜精油 192
- 十二、超临界 CO₂ 萃取刺柏挥发油 193
- 十三、超临界 CO₂ 萃取蛇床子挥发油 194
- 十四、超临界 CO₂ 萃取黄花蒿挥发油 195
- 十五、超临界 CO₂ 萃取当归挥发油 196
- 十六、超临界 CO₂ 萃取姜黄油 197
- 十七、超临界 CO₂ 萃取木香挥发油 198
- 十八、超临界 CO₂ 萃取西青果油 199
- 十九、超临界 CO₂ 萃取苦马豆油 199
- 二十、超临界 CO₂ 萃取草果挥发油 200
- 二十一、超临界 CO₂ 萃取大蒜油 200
- 二十二、超临界 CO₂ 萃取金毛狗脊精油 201
- 二十三、超临界 CO₂ 萃取印楝油 202
- 二十四、超临界 CO₂ 萃取灵芝孢子油 203
- 二十五、超临界 CO₂ 萃取甲鱼油 204
- 二十六、超临界 CO₂ 萃取砂仁油 205
- 二十七、超临界 CO₂ 萃取川芎挥发油 206
- 二十八、超临界 CO₂ 萃取柴胡挥发油 207
- 二十九、超临界 CO₂ 萃取白术挥发油 208
- 三十、超临界 CO₂ 萃取沙棘油 210
- 三十一、超临界 CO₂ 萃取蓍果香薷精油 211
- 三十二、超临界 CO₂ 萃取佩兰挥发油 212
- 三十三、超临界 CO₂ 萃取茵陈挥发油 213
- 三十四、超临界 CO₂ 萃取胡椒根挥发油 213
- 三十五、超临界 CO₂ 萃取厚朴精油 215
- 三十六、超临界 CO₂ 萃取石香薷挥发油 217
- 三十七、超临界 CO₂ 萃取连翘精油 218
- 三十八、超临界 CO₂ 萃取莪术挥发油 218
- 三十九、超临界 CO₂ 萃取乳香油 219
- 四十、超临界 CO₂ 萃取野菊花挥发油 219

第二节 中草药中生物碱的提取	220
一、超临界 CO ₂ 萃取苦参生物总碱	221
二、超临界 CO ₂ 萃取马钱子中土的宁	221
三、超临界 CO ₂ 萃取洋金花中东莨菪碱	221
四、超临界 CO ₂ 萃取紫草素	222
五、超临界 CO ₂ 萃取光菇子中秋水仙碱	222
六、超临界 CO ₂ 萃取印楝种子中印楝素	223
七、超临界 CO ₂ 萃取亚东乌头生物碱	223
八、超临界 CO ₂ 萃取川芎嗪	224
九、超临界 CO ₂ 萃取板蓝根中的靛玉红	224
第三节 中草药中黄酮类的提取	225
一、超临界 CO ₂ 萃取丹参酮	225
二、超临界 CO ₂ 萃取银杏黄酮	226
三、超临界 CO ₂ 萃取甘草黄酮	226
四、超临界 CO ₂ 萃取鹤草芽浸膏	227
五、超临界 CO ₂ 萃取草珊瑚黄酮	227
第四节 中草药中皂苷类的提取	228
一、超临界 CO ₂ 萃取甘草皂苷	229
二、超临界 CO ₂ 萃取山药中薯蓣皂素	229
三、超临界 CO ₂ 萃取雪灵芝中总皂苷	229
四、超临界 CO ₂ 萃取青蒿素	230
五、超临界 CO ₂ 萃取紫草素	231
六、超临界 CO ₂ 萃取何首乌中的大黄素	231
七、超临界 CO ₂ 萃取白芷甲素	231
参考文献	232

第十三章 超临界流体技术在环境科学中的应用

第一节 超临界 CO ₂ 萃取技术在环境科学中的应用概况	235
一、超临界 CO ₂ 萃取技术处理污染物	235
二、超临界 CO ₂ 萃取技术去除土壤中持久性有机污染物	235
三、超临界 CO ₂ 萃取技术回收固体废弃物中可用物质	236
四、超临界 CO ₂ 萃取技术处理废水溶液	236
五、超临界 CO ₂ 萃取技术用于替代传统工艺助剂或溶剂	236
六、超临界 CO ₂ 萃取技术用于环境分析测试	237
第二节 超临界水氧化技术在环境科学中的应用概况	238
一、超临界水氧化技术在废水处理中的应用	238
二、超临界水氧化技术在处理固体废弃物中的应用	242
第三节 超临界流体技术在环保领域中的应用	242
一、超临界 CO ₂ 直接接触法处理水中敌敌畏	242
二、超临界 CO ₂ 处理有机氯化物和杀虫剂、除草剂农药的实验	243
三、超临界 CO ₂ 萃取技术处理多氯联苯	246
四、超临界 CO ₂ 萃取法与吸附法结合处理有机废水	248
五、超临界水氧化技术降解氧乐果的实验	248

六、超临界水中氧化降解甲胺磷	249
七、超临界水氧化技术处理含硫废水	250
八、超临界水氧化技术处理苯酚废水	250
九、超临界水氧化技术处理丙烯腈废水	251
十、超临界水氧化技术处理农药除草剂废水	252
十一、超临界水氧化技术处理含油废水	252
十二、超临界水氧化技术处理高浓度制药废水	253
十三、超临界水氧化技术处理酒精废水	253
十四、超临界水氧化技术处理芳香族有机废水	254
十五、超临界水氧化技术处理剧毒有机废料	254
十六、超临界水对煤进行脱硫	255
十七、超临界水分解、回收塑料	256
十八、超临界水油化废塑料	258
十九、超临界水技术进行废弃物转化制氢实验	260
二十、超临界水降解聚丙烯	261
二十一、超临界水降解葡萄糖废水	262
二十二、超临界水对碳纤维/酚醛复合材料的分解	263
二十三、超临界水降解聚苯乙烯	263
二十四、超临界甲醇解聚 PET	263
参考文献	264

第十四章 超临界流体技术在生物工程中的应用 266

第一节 概述	266
一、超临界流体中生物物质的溶解度	267
二、超临界流体中氨基酸的稳定性	268
第二节 超临界流体中的酶催化反应	269
一、酶在超临界流体中的稳定性	270
二、压力对反应的影响	271
三、温度对反应的影响	272
四、超临界流体的流速对反应的影响	273
五、酶的含水量对反应的影响	273
六、共溶剂对反应的影响	274
七、超临界流体与有机溶剂中酶反应的比较	275
八、 α -淀粉酶和糖化酶在超临界流体中水解淀粉	276
九、脂肪酶在超临界流体中催化醇解鱼油	277
第三节 超临界流体的灭菌作用	277
一、超临界流体中微生物的活性及作用	277
二、超临界流体的细胞破壁技术	278
三、超临界流体的灭菌效果	278
四、酶制品的灭菌	278
五、家畜血粉末的灭菌	279
第四节 超临界流体萃取在生物工程中的应用	280
一、超临界流体萃取真菌中的二十碳五烯酸	280

二、超临界流体萃取被孢霉菌丝体中的油脂	281
三、超临界流体萃取红曲中胆固醇抑制物	282
四、超临界流体萃取沙蚕毒素	283
五、超临界流体萃取水虻油脂及其对氨基酸成分的影响	283
六、超临界流体快速膨胀技术制备灰黄霉素微细颗粒	284
七、超临界流体萃取技术筛选菌株	287
八、超临界流体萃取技术测定油页岩中的生物标志物	288
九、超临界流体萃取技术脱除抗生素中的溶剂	289
参考文献	290

第十五章 超临界流体技术在印染工业中的应用 292

第一节 超临界 CO_2 的染色机理和作用	292
一、超临界 CO_2 的染色机理	292
二、超临界 CO_2 染色的作用	294
第二节 超临界 CO_2 染色的影响	296
一、玻璃化温度	296
二、纤维的结晶性能	297
三、 CO_2 对有效温度的影响	297
四、收缩性能	297
五、热力学性能	298
第三节 染料	298
一、染料在超临界 CO_2 中的溶解度	298
二、染料在纤维和 CO_2 之间的分布	299
第四节 超临界 CO_2 染色工艺及实验	300
一、超临界 CO_2 染色工艺	300
二、超临界 CO_2 染色流程	300
三、超临界 CO_2 染色的实验	301
四、天然纤维的超临界 CO_2 染色	304
第五节 超临界 CO_2 印染设备	307
一、超临界 CO_2 染色工艺参数	308
二、小结	309
第六节 超临界流体技术印染的前景评价	310
参考文献	311

第十六章 超临界流体技术在其他工业领域中的应用 314

第一节 超临界流体技术在烟草工业中的应用	314
一、尼古丁的萃取	314
二、超临界 CO_2 萃取烟叶中茄呢醇	315
三、超临界 CO_2 膨胀烟丝	315
四、超临界多元流体制备低焦油甲级卷烟	316
第二节 超临界流体技术在金属工业中的应用	316
一、超临界 CO_2 萃取铅	316
二、超临界流体技术纯化金属铀表面	318

三、超临界水冶金技术的应用	320
四、超临界流体作用下石墨转化制备金刚石	321
五、超临界流体作用下碳化硼合成金刚石	321
第三节 超临界成矿液体地球化学应用	322
一、概述	322
二、超临界流体反应技术应用于石墨、菱铁矿成矿实验	323
三、超临界流体对小秦岭熊耳山金矿成矿的作用	324
四、超临界包裹体在金矿地质中的应用	326
参考文献	328
第十七章 超临界流体色谱技术在分析领域中的应用	329
第一节 超临界流体色谱技术在食品分析中的应用	329
一、超临界流体色谱法分析番茄红素	329
二、超临界流体色谱法制备 EPA-EE 和 DHA-EE	331
三、超临界流体色谱法分离食用油中生育酚同系物	331
四、超临界流体色谱法分析大豆磷脂	332
第二节 超临界流体色谱技术在药物化工分析中的应用	334
一、超临界流体色谱法测定维生素	334
二、超临界流体色谱法分析单萜烯	334
三、超临界流体色谱法测定补骨脂素	335
第三节 超临界流体色谱技术在环境污染物分析中的应用	336
一、多环芳烃 (PAH) 的分析测试	336
二、多氯联苯 (PCBs) 的分析测试	336
三、有机染料和颜料的分析测试	336
四、表面活性剂的分析测试	337
五、农药及除草剂的分析测试	337
六、酚类化合物的分析测试	337
七、卤代烃的分析测试	338
参考文献	338
第十八章 超临界水发电技术及其应用	339
第一节 超临界净水发电技术	339
一、超临界锅炉技术	339
二、高效超临界锅炉的技术特点	341
三、典型的高效超临界锅炉在发电中的应用	342
第二节 超临界水氧化法热能利用及发电技术	345
一、超临界水氧化的反应热	345
二、超临界水氧化污水发电的开发和应用	346
参考文献	346
第十九章 超临界流体萃取设备	348
第一节 超临界流体萃取装置发展的特点	348
第二节 超临界萃取设备的分类	349