

COMPREHENSIVE UTILIZATION TECHNOLOGIES OF
THERMAL POWER PLANT WASTES

火电厂废物 综合利用技术

《火电厂废物综合利用技术》编写组 编著



化学工业出版社

COMPREHENSIVE UTILIZATION TECHNOLOGIES OF
THERMAL POWER PLANT WASTES

火电厂废物 综合利用技术

《火电厂废物综合利用技术》编写组 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书共 8 章：第 1 章介绍了火力发电的基本情况，重点说明燃煤电厂的主要设备及系统等；第 2 章介绍了电厂粉煤灰综合利用情况，主要用于生产建材、建筑工程、筑路、回填、农业、在环境工程中的应用和从粉煤灰中回收或生产有用物质及其制品；第 3 章介绍了电厂脱硫石膏综合利用情况，主要综合利用用于建材、筑路、回填、农业及制作高强石膏等；第 4 章介绍了火电厂废污水处置、回用及节水等技术，如凝聚、絮凝和混凝等物理方法，中和、化学沉淀、离子交换等化学方法，还有生物及膜分离技术等，处理后的废水根据品质的不同回用于相应环节；第 5~7 章分别介绍了火电厂余热、余压、烟气中水分和有用资源回收利用情况；第 8 章介绍了电力行业资源综合利用相关法规政策等。

本书较全面地反映了火电厂废物综合利用技术、产业发展及政策等，具有较强的技术性、实用性和参考价值，可供环境科学与工程、能源工程等领域的工程技术人员、科研人员和管理人员参考，也可供高等学校相关专业师生参阅。

图书在版编目 (CIP) 数据

火电厂废物综合利用技术/《火电厂废物综合利用技术》，
编写组编著. —北京：化学工业出版社，2015.5
ISBN 978-7-122-23298-4

I. ①火… II. ①火… III. ①火电厂-废物综合利用
IV. ①X773

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 049713 号

责任编辑：刘兴春 左晨燕
责任校对：王素芹

装帧设计：韩 飞

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）
印 装：三河市延风印装有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张 45 字数 117 千字 2015 年 8 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899

网 址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：198.00 元

版权所有 违者必究

《火电厂废物综合利用技术》编著委员会

主 任：王志轩

副 主 任：潘 荔

编委会成员：毛专建 王卓昆 杨 帆 张晶杰

裴 杰 邢德山 石丽娜 刘志强

前言

FOREWORD

中国电力资源节约主要包括减少资源消耗、提高能源转换为电力的效率、节约用水、节约用油、节约用地和电力生产过程副产物如粉煤灰、脱硫石膏、废热等的利用。由于资源节约是构成绿色发展、低碳发展、循环发展的基本要素,因此,中国的《节约能源法》、《清洁生产促进法》、《循环经济促进法》、环境保护法规以及国家应对气候变化的行动方案都对资源节约提出了相关要求。

《火电厂废物综合利用技术》就是在这种形势下,在总结已取得经验的基础上,为促进综合利用工作而编著的。电力工业废物主要指火电厂(特别是燃煤电厂)所产生的固体废物、废气、废水及余热等资源,主要包括粉煤灰、脱硫副产品、生产废水、生活污水、温排水和锅炉烟气余热以及烟气净化中产生的可回收资源等。综合利用主要针对以上废物进行再利用或资源化处理,以减少废物排放、提高资源利用效率,达到社会效益、环境效益、经济效益相统一。选用何种综合利用技术受多种条件制约,取决于电厂及用户的实际情况,可以说没有最好的综合利用技术,只有最合适的综合利用技术。需要特别说明的是,随着近年来环保要求的日趋严格,电厂安装脱硝装置、布袋除尘装置,产生的失效脱硝催化剂和废弃滤袋也逐渐增加,成为电厂固体废物处置和综合利用的新问题,由于此方面经验积累不多,在本书中虽有一定介绍但涉及不多,而该问题值得高度关注。

本书由《火电厂废物综合利用技术》编写组编著;第1章主要由杨帆组织编著;第2章主要由刘志强组织编著;第3章主要由毛专建组织编著;第4章主要由王卓昆组织编著;第5章主要由裴杰组织编著;第6章主要由邢德山组织编著;第7章主要由石丽娜组织编著;第8章主要由张晶杰组织编著。在本书编著过程中,中国华能集团公司、中国大唐集团公司、西安热工研究院、内蒙古电力勘测设计院、西北电力设计院、华东电力设计院、华电电力科学研究院、中国华电工程(集团)有限公司、上海外高桥第三发电有限责任公司、华电国际十里泉发电厂、北京朗新明环保科技有限公司、国电科技环保集团烟台龙源电力技术股份有限公司等单位提供了很多有价值的资料,在此表示感谢。感谢北京朗新明环保科技有限公司教授级高级工程师程日旺、华东电力设计院教授级高级工程师袁果、中国建筑材料工业规划院高级工程师张彦林对本书做出的贡献。书稿最后由王志轩、潘荔统稿并定稿。

《火电厂废物综合利用技术》的内容力求全面性和实用性,可作为从事电力环境保护、资源综合利用的科技人员、管理者和废物资源使用者的专业参考书,也可作为高等学校环境科学与工程、能源工程及相关专业本科生和研究生教学参考书。

限于编著者水平和时间等因素,书中难免有疏漏之处,恳请读者不吝指正。

编著者

2015年1月

目录

CONTENTS

第1章 综述

1

1.1 火力发电概况	1
1.1.1 分类及特点	1
1.1.2 主要系统及设备	2
1.1.2.1 系统概述	2
1.1.2.2 锅炉	3
1.1.2.3 汽轮机	7
1.2 中国火电行业发展情况	12
1.2.1 发电行业发展概况	12
1.2.1.1 装机容量及构成	12
1.2.1.2 发电量及构成	14
1.2.1.3 非化石能源发电	17
1.2.2 火电行业发展情况	18
1.2.2.1 装机及发电量	18
1.2.2.2 火电机组类型	19
1.2.2.3 火电机组等级	19
1.2.2.4 火电工程造价	20
1.2.3 火电节能减排情况	22
1.2.3.1 节能降耗水平	22
1.2.3.2 主要大气污染物排放及控制情况	26
1.2.3.3 火电厂废水排放与控制	32
1.2.3.4 固体废弃物排放与综合利用	32
1.2.3.5 温室气体控制情况	33
1.3 火电厂废物综合利用范围	35
参考文献	36

第2章 粉煤灰综合利用

37

2.1 粉煤灰的产生及处理	37
2.1.1 燃煤分类及组分	37
2.1.1.1 煤的分类	37
2.1.1.2 煤的组分	38

2.1.2	粉煤灰的产生	39
2.1.3	粉煤灰的收集	41
2.1.3.1	静电除尘器	41
2.1.3.2	袋式除尘器	43
2.1.3.3	电袋除尘器	47
2.1.4	粉煤灰的输送	48
2.1.4.1	输灰	48
2.1.4.2	除渣	51
2.1.5	粉煤灰的加工处理	51
2.1.5.1	分选	52
2.1.5.2	磨细	52
2.1.6	粉煤灰的贮存	53
2.2	粉煤灰的基本性能	54
2.2.1	物理性质	54
2.2.2	化学性质	55
2.2.2.1	化学成分	55
2.2.2.2	性能影响	56
2.2.3	颗粒组成	58
2.2.4	品质参数	58
2.2.5	粉煤灰分类	66
2.2.6	基本特性	68
2.3	粉煤灰综合利用现状	71
2.3.1	综合利用现状	71
2.3.1.1	国内情况	71
2.3.1.2	国外情况	73
2.3.2	综合利用途径分类	75
2.4	在建材中的利用	77
2.4.1	烧结粉煤灰砖	77
2.4.2	蒸压粉煤灰砖	79
2.4.3	混凝土	83
2.4.4	陶粒	99
2.4.5	水泥	103
2.4.6	岩棉	106
2.4.7	蒸汽养护砖	107
2.4.8	粉煤灰硅酸钙板	107
2.4.9	免烧粉煤灰砖	108
2.4.10	粉煤灰砂浆	108
2.4.11	微晶玻璃	109
2.5	在筑路中的利用	110
2.5.1	利用途径	110
2.5.1.1	道路基层	110

2.5.1.2	填筑路堤	111
2.5.1.3	替代矿粉做沥青混合料中的填充料	112
2.5.2	典型断面及稳定性分析	113
2.5.2.1	典型断面及防排水	113
2.5.2.2	路堤稳定性	114
2.5.3	岩土材料应力变形分析	115
2.5.4	工程应用情况	115
2.5.4.1	国外应用研究现状	115
2.5.4.2	国内应用研究现状	116
2.6	在建工中的利用	117
2.6.1	混凝土掺合料	117
2.6.1.1	基本性能	117
2.6.1.2	应用实例	118
2.6.2	处理地基	121
2.6.3	砂浆掺合料	123
2.7	在回填中的利用	123
2.7.1	回填材料	123
2.7.2	品质要求	123
2.7.3	应用现状	124
2.7.4	应用实例	125
2.8	在农业中的利用	131
2.8.1	改良土壤	131
2.8.2	覆土造田	135
2.9	在环境工程中的利用	141
2.9.1	处理生活污水	141
2.9.2	处理含氟废水	142
2.9.3	处理焦化废水	143
2.9.4	用于烟气脱硫	143
2.9.5	用于防治噪声	143
2.10	成分回收及再利用	144
2.10.1	提取氧化铝及生产硅铝钛合金	145
2.10.1.1	技术进展	145
2.10.1.2	技术方法	145
2.10.1.3	应用实例	149
2.10.2	空心微珠分选	151
2.10.3	碳的提取	152
2.10.3.1	粉煤灰中碳的理化性质	152
2.10.3.2	粉煤灰脱碳技术	153
2.10.4	铁的提取	156
2.10.5	粉煤灰活化技术研究	156
2.10.6	粉煤灰改性技术研究	157

2.11 脱硫灰渣的利用	159
2.11.1 干法(半干法)脱硫灰渣的利用	159
2.11.2 循环流化床脱硫灰渣的利用	160
2.12 技术发展趋势	161
参考文献	162

第3章 脱硫石膏综合利用

164

3.1 脱硫石膏的生成	164
3.1.1 石膏分类	164
3.1.2 脱硫石膏	164
3.1.2.1 脱硫石膏定义	164
3.1.2.2 脱硫石膏产生	165
3.2 脱硫石膏的基本特性	171
3.2.1 与天然石膏的差异	171
3.2.2 化学成分	172
3.2.3 颗粒特性	172
3.2.4 物相分析	174
3.2.5 热分析	177
3.2.6 性能分析	178
3.2.6.1 技术性能	178
3.2.6.2 安全性能	178
3.2.7 主要影响因素	179
3.3 脱硫石膏综合利用现状	180
3.3.1 中国脱硫石膏综合利用	180
3.3.1.1 产生量与利用量	180
3.3.1.2 综合利用途径	182
3.3.1.3 综合利用案例	183
3.3.2 国外脱硫石膏综合利用	185
3.4 脱硫石膏应用通用处理工艺及设备	189
3.4.1 建筑石膏的制备	189
3.4.2 高强石膏的制备	190
3.4.3 石膏加工设备	193
3.4.3.1 常用煅烧方式及设备简述	193
3.4.3.2 主要特点	196
3.4.3.3 工艺技术	198
3.5 脱硫石膏在传统建筑制品中的应用	201
3.5.1 纸面石膏板	201
3.5.1.1 发展情况	201
3.5.1.2 主要特点	201
3.5.1.3 纸面石膏板的质量标准	202

3.5.1.4	生产工艺	204
3.5.1.5	杂质对纸面石膏板性能的影响	204
3.5.1.6	纸面石膏板生产对脱硫石膏品质的 要求	204
3.5.1.7	应用实例	204
3.5.2	石膏砌块	207
3.5.2.1	发展情况	207
3.5.2.2	主要特点	208
3.5.2.3	石膏砌块的质量标准和技术性能	209
3.5.2.4	生产工艺	210
3.5.2.5	应用实例	210
3.5.3	石膏空心条板	211
3.5.3.1	主要特点	212
3.5.3.2	石膏空心条板的规格、质量标准和技术性指标	212
3.5.3.3	生产工艺	213
3.5.4	石膏刨花板	213
3.5.4.1	发展情况	214
3.5.4.2	主要特点	214
3.5.4.3	石膏刨花板的技术要求	215
3.5.4.4	生产工艺	216
3.5.5	装饰石膏板	218
3.5.5.1	产品介绍	218
3.5.5.2	主要特点	219
3.5.5.3	种类与应用	219
3.5.5.4	装饰石膏板的规格、质量标准和技术性指标	220
3.5.6	纤维石膏板	221
3.5.6.1	产品介绍	221
3.5.6.2	主要特点	221
3.5.6.3	生产工艺及设备	222
3.5.7	建筑砂浆	227
3.5.7.1	粉刷石膏	227
3.5.7.2	特种干粉砂浆	229
3.5.7.3	复合胶凝材料	230
3.5.7.4	配制粉刷石膏	231
3.5.7.5	内墙腻子	232
3.5.8	防火中的应用	232
3.5.8.1	防火密封	232
3.5.8.2	防火涂料	233
3.6	脱硫石膏在水泥和混凝土中的应用	233

3.6.1	水泥缓凝剂	233
3.6.1.1	作用机理	233
3.6.1.2	脱硫石膏做水泥缓凝剂	234
3.6.1.3	应用实例	235
3.6.2	酸联产水泥	237
3.6.3	普通混凝土	243
3.6.3.1	用作胶凝材料	243
3.6.3.2	用作激发剂	243
3.6.3.3	用作膨胀剂	244
3.6.4	加气混凝土	246
3.6.4.1	研究现状	246
3.6.4.2	水化机理	247
3.6.4.3	制备工艺研究	248
3.7	脱硫石膏在新型建材中的应用	249
3.7.1	高强石膏粉	249
3.7.1.1	蒸压时间的影响	250
3.7.1.2	蒸压温度的影响	250
3.7.1.3	干燥温度的影响	253
3.7.1.4	转晶剂的影响	254
3.7.1.5	粉磨时间的影响	256
3.7.2	制备自流平材料	258
3.7.2.1	发展情况	258
3.7.2.2	外加剂	260
3.7.2.3	配制工艺	262
3.7.3	制备新型墙体材料	268
3.7.3.1	产品介绍	268
3.7.3.2	石膏膨胀珍珠岩保温墙材	271
3.7.3.3	发泡石膏墙材	277
3.7.3.4	石膏基相变墙材	280
3.8	脱硫石膏在筑路及回填中的利用	286
3.8.1	路基材料	286
3.8.2	采空区充填材料	287
3.9	脱硫石膏在农业中的利用	287
3.9.1	改良酸性土壤	287
3.9.2	改良碱性土壤	289
3.9.3	作为肥料使用	300
	参考文献	300

第4章 废污水处理及回用

301

4.1	火电厂废污水来源及特性	301
-----	-------------	-----

4.1.1	主要来源	301
4.1.2	各类废污水特性	301
4.2	火电厂废污水综合利用情况	304
4.2.1	法规政策分析	304
4.2.2	火电厂耗水情况及特点	305
4.2.3	火电厂节水及回用情况	306
4.3	火电厂废污水处理	306
4.3.1	主要处理技术及设备	306
4.3.1.1	物理处理方法	306
4.3.1.2	化学处理方法	310
4.3.1.3	生物处理方法	312
4.3.1.4	膜分离方法	314
4.3.2	各类废污水处理技术	318
4.3.2.1	循环冷却排污水的处理	318
4.3.2.2	化学酸碱废水的处理	319
4.3.2.3	冲灰废水的处理	322
4.3.2.4	烟气脱硫废水的处理	323
4.3.2.5	煤场废水、冲渣水、车间冲洗水的 处理	324
4.3.2.6	含油废水的处理	325
4.3.2.7	锅炉清洗废液的处理	325
4.3.2.8	生活污水的处理	327
4.4	火电厂水务管理	328
4.4.1	背景及意义	328
4.4.2	现代水务管理	328
4.4.3	现状及问题	329
4.4.4	应用实例	329
4.5	火电厂空冷技术	333
4.5.1	技术发展	333
4.5.2	技术分析	334
4.6	火电厂海水利用技术	340
4.6.1	海水冷却与淡化技术	340
4.6.1.1	海水冷却技术	340
4.6.1.2	海水淡化技术	341
4.6.2	海水脱硫技术	342
4.6.2.1	技术分析	342
4.6.2.2	海水脱硫系统	343
4.6.2.3	主要环境影响	344
4.6.2.4	应用实例	345
4.7	电厂其他用水优化	348
4.8	发展趋势与展望	353
	参考文献	354

5.1 工业余热概述	355
5.1.1 工业余热分类	355
5.1.2 余热利用途径	355
5.1.3 回收利用技术	356
5.1.3.1 热交换技术	356
5.1.3.2 热功转换技术	357
5.1.3.3 制冷(热)技术	357
5.1.3.4 低温余热发电技术	358
5.2 锅炉排烟余热利用	359
5.2.1 锅炉热损失及计算	360
5.2.1.1 锅炉热效率	360
5.2.1.2 各项热量损失分析	361
5.2.1.3 影响锅炉排烟温度的因素	362
5.2.1.4 相关燃烧计算	363
5.2.2 烟气余热利用技术	364
5.2.2.1 预热凝结水	364
5.2.2.2 提高空预器入口温度	365
5.2.2.3 干燥褐煤	365
5.2.2.4 区域供冷供热	365
5.2.2.5 技术难点与解决方案	366
5.2.3 排烟余热回收技术	366
5.2.3.1 烟气冷却器	366
5.2.3.2 热管换热器	369
5.2.3.3 低温省煤器	377
5.2.4 烟气冷凝潜热利用技术	400
5.2.4.1 天然气烟气冷凝潜热	400
5.2.4.2 褐煤烟气冷凝潜热	402
5.2.4.3 燃气锅炉排烟热回收技术	403
5.3 余热利用	407
5.3.1 机组冷却水	407
5.3.2 余热利用途径	409
5.3.3 热泵技术	410
5.3.3.1 技术原理	411
5.3.3.2 技术发展	415
5.3.3.3 技术参数	415
5.3.3.4 余热回收系统	417
5.3.3.5 循环水源热泵系统	418
5.3.3.6 蒸汽喷射热泵技术	420
5.3.3.7 吸附式热泵技术	421

5.3.3.8	循环冷却水余热回收供热节能技术	421
5.3.3.9	热泵回收循环系统	424
5.3.3.10	应用实例	425
5.3.4	湿冷塔势能利用技术	435
5.3.4.1	技术原理	435
5.3.4.2	工艺系统	435
5.3.4.3	应用实例	435
5.3.5	锅炉汽水余热利用技术	437
5.3.5.1	锅炉深度降低排烟温度技术	437
5.3.5.2	锅炉余热深度利用及尾部受热面优化 技术	441
5.3.5.3	锅炉高温炉渣余热回收利用技术	451
5.3.5.4	应用实例	456
5.4	汽轮机低真空运行	460
5.4.1	运行方式	460
5.4.2	技术特点	461
5.4.3	应用实例	464
	参考文献	470

第 6 章 烟气净化中的资源利用

471

6.1	氨法脱硫	471
6.1.1	工艺原理	471
6.1.2	技术特点	474
6.1.3	应用实例	476
6.2	活性焦脱硫	483
6.2.1	工艺原理	483
6.2.2	技术特点	483
6.2.3	应用实例	485
6.3	有机胺脱硫技术	486
6.3.1	工艺原理	486
6.3.2	技术特点	487
6.3.3	应用实例	488
6.4	其他脱硫工艺	490
6.4.1	磷铵肥法脱硫技术	490
6.4.2	双碱法脱硫技术	490
6.4.3	镁法脱硫技术	492
6.4.4	韦尔曼-洛德脱硫技术	492
6.4.5	有机酸钠-石膏脱硫技术	493
6.5	失效催化剂处理	493
6.5.1	催化剂介绍	493

6.5.1.1	主要成分	493
6.5.1.2	催化剂分类	495
6.5.2	催化剂失活及运行管理	496
6.5.2.1	催化剂失活与处理	496
6.5.2.2	典型运行管理方案	497
6.5.3	失效催化剂处理	498
6.5.3.1	催化剂回收和清洗	498
6.5.3.2	催化剂再生	500
6.5.3.3	废弃催化剂处置	502
6.6	除尘破旧布袋处理	503
6.6.1	布袋及其滤料	503
6.6.1.1	聚苯硫醚(PPS)	504
6.6.1.2	聚四氟乙烯(PTFE)	504
6.6.2	工况对滤料的影响	504
6.6.2.1	温度的影响	504
6.6.2.2	氧含量的影响	505
6.6.2.3	燃料种类及燃烧方式的影响	506
6.6.2.4	水蒸气含量的影响	507
6.6.2.5	烟气成分的影响	507
6.6.2.6	其他因素影响	507
6.6.3	破旧布袋处理	508
6.7	膜法回收烟气中水分	509
6.7.1	技术分类	509
6.7.2	技术应用	512
6.7.2.1	燃用褐煤电站烟气热能利用及水分回收	512
6.7.2.2	高水蒸气含量烟气水分的捕集	517
6.7.2.3	燃煤电站锅炉烟气余热与水分联合回收技术	518
6.7.3	技术展望	521
	参考文献	522

第7章 烟气二氧化碳捕集、利用与封存

523

7.1	技术概述	523
7.1.1	碳捕集、利用与封存技术简介	523
7.1.2	技术长期减排潜在作用分析	524
7.1.2.1	世界主要机构估算的 CCUS 减排潜力	526
7.1.2.2	发展低碳能源体系的过渡策略	526
7.1.2.3	发达国家发展 CCUS 技术的有关	

653	 考量	526
602	 7.1.2.4 发展中国家战略需求	526
652	 7.1.3 碳捕集、利用与封存技术的争议	527
003	 7.2 二氧化碳捕集技术	527
106	 7.2.1 二氧化碳吸收分离技术	529
103	 7.2.1.1 化学吸收技术	529
506	 7.2.1.2 物理吸收技术	532
108	 7.2.1.3 物理-化学吸收技术	535
500	 7.2.1.4 技术应用	535
405	 7.2.2 二氧化碳吸附分离技术	539
500	 7.2.2.1 变温吸附法 (TSA 法)	539
205	 7.2.2.2 变压吸附法 (PSA 法)	540
208	 7.2.2.3 吸附剂	540
853	 7.2.2.4 技术应用	544
000	 7.2.3 二氧化碳膜分离和膜吸收技术	546
102	 7.2.3.1 膜分离技术	546
100	 7.2.3.2 膜吸收技术	551
803	 7.2.3.3 技术应用	553
808	 7.2.4 富氧燃烧技术	555
818	 7.2.4.1 基本原理与类型	555
801	 7.2.4.2 煤粉锅炉富氧燃烧技术	559
015	 7.2.4.3 循环流化床锅炉富氧燃烧技术	565
113	 7.2.4.4 增压富氧燃煤流化床锅炉整体化发电 技术	567
118	 7.2.4.5 氧气与空气混合富氧燃烧技术	568
513	 7.2.4.6 蒸汽调温的富氧燃烧技术	570
613	 7.2.5 化学链燃烧技术	571
818	 7.2.5.1 技术原理	571
112	 7.2.5.2 关键问题	571
413	 7.2.5.3 相关研究	579
418	 7.2.6 燃烧前控制二氧化碳排放的动力系统	582
616	 7.2.6.1 IGCC 系统二氧化碳分离	582
513	 7.2.6.2 控制二氧化碳排放的多联产系统	584
053	 7.2.6.3 控制二氧化碳分离的 IGCC 能源动力 系统	589
153	 7.3 二氧化碳输送技术	593
558	 7.3.1 罐车运输	593
558	 7.3.2 船舶运输	594
523	 7.3.3 管道运输	595
558	 7.3.3.1 输送原理	596
423	 7.3.3.2 关键技术	597
452	 7.3.3.3 其他相关问题	597

7.3.4	二氧化碳输送系统工业应用	599
7.3.4.1	管道直径	599
7.3.4.2	管道壁厚	599
7.3.4.3	二氧化碳初压缩所需的功率	600
7.3.4.4	中间压气站间的最大距离	601
7.3.4.5	二氧化碳管道运输的成本	601
7.4	二氧化碳利用技术	602
7.4.1	二氧化碳强化驱油	603
7.4.1.1	混相驱油技术	603
7.4.1.2	非混相驱油技术	604
7.4.1.3	吞吐技术	605
7.4.2	二氧化碳驱煤层气	605
7.4.2.1	发展现状	605
7.4.2.2	驱煤层气机制	606
7.4.3	其他资源化利用途径	606
7.4.3.1	合成有机高分子化合物	607
7.4.3.2	无机化工产品	607
7.4.3.3	焊接保护	608
7.4.3.4	烟丝膨化	608
7.4.4	技术应用	608
7.4.4.1	Weyburn 碳封存与驱油项目	608
7.4.4.2	吉林油田 EOR 项目	610
7.5	二氧化碳封存技术	611
7.5.1	二氧化碳油气藏封存	611
7.5.1.1	枯竭油气藏封存	611
7.5.1.2	原油开采中封存	612
7.5.2	咸水层封存	613
7.5.2.1	封存机制	613
7.5.2.2	封存和监测	614
7.5.3	化学固定	614
7.5.3.1	工业利用	614
7.5.3.2	矿物碳酸化固定	615
7.5.3.3	生物固定	617
7.5.4	技术应用	620
7.5.4.1	挪威的 Sleipner 与 Snohvit 气田	620
7.5.4.2	阿尔及利亚艾因萨拉赫气田实验项目	621
7.6	CCUS 示范工程	622
7.6.1	国外主要 CCUS 示范工程	622
7.6.1.1	咸水层封存项目	623
7.6.1.2	油气田封存项目	624
7.6.1.3	煤层封存	624