

《《《《 化学化工节能减排丛书 《《《《

节能减排

理论基础与装备技术



上海市经济团体联合会

上海市化学化工学会

◎ 编著



华东理工大学出版社
EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

化学化工节能减排丛书

节能减排理论基础 与装备技术



华东理工大学出版社
EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

节能减排理论基础与装备技术/上海市经济团体联合会,上海市化学化工学会编著. —上海:华东理工大学出版社,2010.5

(化学化工节能减排丛书)

ISBN 978-7-5628-2790-0

I. ①节… II. ①上…②上… III. ①化学工业—节能 IV. ①TQ

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 067742 号

化学化工节能减排丛书

节能减排理论基础与装备技术

.....

..

编 著 / 上海市经济团体联合会 上海市化学化工学会

责任编辑 / 周永斌

封面设计 / 陆丽君

责任校对 / 金慧娟

出版发行 / 华东理工大学出版社

社 址:上海市梅陇路 130 号,200237

电 话:(021)64250306(营销部) (021)64252253(编辑部)

传 真:(021)64252707

网 址:press.ecust.edu.cn

印 刷 / 常熟华顺印刷有限公司

开 本 / 787 mm×1092 mm 1/16

印 张 / 24.75

字 数 / 635 千字

版 次 / 2010 年 5 月第 1 版

印 次 / 2010 年 5 月第 1 次

印 数 / 1—1 500 册

书 号 / ISBN 978-7-5628-2790-0/TQ·151

定 价 / 88.00 元

(本书如有印装质量问题,请到出版社营销部调换。)

节能减排小组活动丛书编委会名单

主 任 蒋以任

副主任 周 亚 杲 云 吴启洲 杜仁伟
陈祥麟 唐晓芬 陈振浩 孙环葆
胡云芳 张培璋

编 委 赵国通 施明荣 周 强 陈金海
倪前龙 王 珏 陈汝媚 邓 绩
金国强 水从芳

节能减排 JJ 小组活动化学化工篇编委会名单

主 编 张培璋

副主编 房鼎业 徐静安 高 滋

编 委 (以姓氏笔画为序)

乐英红 朱 平 刘少引 刘用华

齐鸣斋 沈丽萍 宋振凯 张培璋

范 杰 房鼎业 贺鹤勇 顾荣良

徐 铉 徐静安 高 滋 葛光耀

潘家楨

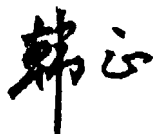
序

节能减排已成为我国和上海市经济社会发展的一项紧迫任务。我们一定要从全面贯彻落实科学发展观的高度,充分认识节能减排工作的重要性和紧迫性,把这项工作作为贯彻实践科学发展观的重点,作为结构调整的突破口,作为实现经济又好又快发展的重大举措,切实抓紧抓实抓好。

为了贯彻落实党中央、国务院关于节能减排工作的一系列部署,形成以政府为主导、企业为主体、全社会共同参与的强有力的工作格局和长效机制,上海市经济团体联合会、上海市工业经济联合会根据《上海市节能减排工作实施方案》要求,在调查研究的基础上,倡议在全市开展节能减排小组活动(简称“JJ小组活动”),并拟订了行动计划,为配合开展试点工作,组织编写了《节能减排小组活动通读本》,以推动企业开展节能减排小组活动,把节能减排的任务落实到基层,落实到班组,落实到每个岗位。

节能减排小组活动是全民参与节能减排活动的一项创举。通过开展节能减排小组活动,动员广大企业员工针对生产运行和管理中存在的能耗、污染问题,找出关键原因,运用技术和管理手段,进行改进和组织攻关,以达到节约能源和资源,减少污染物排放的目的,并通过 PDCA 循环,不断总结提高,不断推动节能减排取得实效。因此,节能减排小组活动是推进节能减排工作的有效形式和重要措施。我衷心希望全市广大企业员工进一步增强责任感和使命感,充分发挥聪明才智和创新精神,扎实有效地开展节能减排小组活动,为努力建设资源节约型、环境友好型城市,使上海真正走出一条可持续发展之路做出贡献。

上海市市长



2008年11月30日

前 言

正值由美国次贷危机而引发的全球经济形势复杂多变的时刻,上海按照党中央、国务院的决策和部署,充分认识全球“金融海啸”产生的影响,积极应对全球经济新形势,坚持不懈走科学发展之路,以保持上海经济社会良好的发展势头。节能减排作为深入贯彻落实科学发展观的重要举措,已成为本市经济社会发展的一项十分紧迫的工作任务。

为贯彻落实党中央、国务院关于节能减排工作的一系列部署,上海市经济团体联合会、上海市工业经济联合会根据《上海市节能减排工作实施方案》要求,向市政府建议围绕全市和二、三产各企业节能减排的目标和任务,在全市开展节能减排小组活动,把节能减排的任务落实到基层,落实到生产工作第一线,落实到每个岗位。韩正市长为此作出重要批示,号召和支持在全市大力倡导开展节能减排小组活动。

在市节能减排领导小组的领导下,市经团联、市工经联对上海市节能减排小组活动的推进工作进行了总体安排,形成了上海市关于开展节能减排小组活动的行动计划,并为配合开展“节能减排小组活动”试点工作,编写了《节能减排小组活动通读本》。

本书介绍了全球以及我国能源和环境所面临的严峻状况,阐述了我国及上海节能减排的战略举措和目标任务,并且通过大量的事实和数据说明:企业是实现节能减排战略目标的主体;领导在节能减排活动中具有举足轻重的地位;管理在实现节能减排目标中发挥着重要作用。还专门论述了群众性节能减排小组活动(JJ 小组活动)是实现企业节能减排目标的有效形式,并介绍了相关的成功案例。

本书由上海市经济团体联合会、上海市工业经济联合会组织,上海市质量协会等参与编写,上海市发展和改革委员会、上海市经济和信息化委员会、上海市环境保护局等部门的领导对本书的编写提出了许多指导性意见,在此表示感谢。

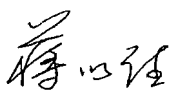
编写这样一本节能减排知识普及性读物,是一次新的探索和尝试。本书力求通俗易懂,但不当之处在所难免,敬请读者批评指正。

全 国 政 协 常 委

上海市经济团体联合会

上海市工业经济联合会

会长



2008 年 11 月 于上海

绪论

在资源紧缺日益加剧、环境保护日渐重要的今天,节能减排工作作为调整经济结构、转变经济发展方式的重要着力点,已经上升到国家战略高度。特别是在当前全球经济形势风云突变、宏观调控面临更加复杂局面、更加艰巨任务的情况下,坚持和推进节能减排既是当前我国经济社会发展的一项紧迫任务,也是贯彻科学发展观与社会主义和谐社会理论的重要体现。

上海市是一个高度城市化的特大型城市,人口规模大且高度集中,工业化程度高但资源匮乏。改革开放以来,上海社会经济持续高速发展,经济总量增长率连续十七年超过10%。然而,作为能源匮乏地区,上海消费的一次能源几乎全部从外部调入,其中煤炭全部从外省市调入,原油进口占原油总量的93.2%,外来电力的比重已从2000年的8.20%上升至2007年的31.05%,资源约束非常突出。因此,节能减排对推进上海经济的可持续发展具有十分重要的现实意义,节能减排是上海的一项长期战略任务。

近年来,上海市通过大力推进能源建设,不断提高能源供应能力,积极推动全社会节约能源,努力缓解经济社会发展的能源瓶颈,能源工作取得较大成绩,能源供应基本保障了经济社会快速发展的需求。自2005年能源综合利用率这一发展的“软”指标进入上海百姓视野以后,上海万元GDP能耗逐年下降,已由2005年的0.907吨标准煤降至2008年的0.801吨标准煤,降幅达11.7%。在减排方面,《上海应对气候变化碳减排研究报告2008》指出:上海市万元GDP碳排放量从1985年的3.94吨/万元下降到2007年0.60吨/万元,远低于2007年全国0.79吨/万元的平均水平,直观反映出能源利用效率的提升,说明上海通过调整产业结构、加大节能技术改造、加快落实减排措施、加强能源综合管理,节能减排工作已取得了较好的成绩。

在看到成绩的同时,我们更要看到上海与国际发达国家和地区相比还有很大的差距。目前,上海的万元GDP能耗是日本的4.2倍,是中国香港的3.5倍,是新加坡的3倍,是美国的2.4倍,上海的能源综合利用率约为国外平均水平的80%。

日本的能源状况与上海相似,她既是一个能源资源极度匮乏的国家,也是一个能源消费大国。极度匮乏的能源资源和巨大的能源需求,致使日本能源的对外依存度一直非常高,日本进口能源占总能源消费量的比重一直保持在80%左右。长期以来,为缓解能源压力,日本在节能方面付出了巨大努力,从完善节能法律法规、积极的财税政策、大力开发节能技术到有针对性的节能措施,甚至号召全民挖潜提效,使自身成为目前世界上万元GDP能耗最低的国家,其节能经验值得我们借鉴。

为进一步推进节能减排工作,上海在“十一五”节能减排规划中提出了约束性指标:到2010年,全市万元GDP总能耗比2005年下降20%左右;化学需氧量(COD)排放量比2005年削减15%,二氧化硫(SO₂)排放量比2005年削减26%;城镇污水处理率达到80%;工业固体废弃物综合利用率保持在96%以上。要实现上述目标难度很大。目前,上海能源消费需求仍在上升。从增量看,钢铁、石化、交通运输等高耗能企业用能继续呈快速增长态势,一批大项目陆续进入产能释放期。从存量看,上海已“关停并转”了一批能耗高、污染大的企业,今后依靠结构调整降低能耗的空间将缩小,难度越来越高。因此,只有不断推广先进节能技术,提高能源管理水平,加快产业结构调整,严格行业准入条件,加强技术改造和创新,加大清洁生产全程控制,大力发展产业链和循环经济模式,强化污染物控制和治理,提高各行业资源能源的综合



利用率,建设资源节约型、环境友好型的产业格局,才能实现上海的节能减排目标。

为将节能减排目标落到实处,上海市经济团体联合会、上海市工业经济联合会根据《上海市节能减排工作实施方案》要求,向市政府建议围绕全市二、三产各企业节能减排的目标和任务,在全市开展节能减排小组活动,把节能减排的任务落实到基层,落实到生产工作第一线,落实到岗位。韩正市长对此做出重要批示,号召和支持在全市各行业大力倡导开展节能减排小组活动。

化学化工产业是上海经济发展的支柱产业之一,近年来一直保持着强劲的增长势头。尤其在“十五”期间,适逢全球石化景气周期,上海化工产业把握住机遇,加快发展步伐,在竞争激烈的市场中,做大做强,迅速崛起。

作为国民经济的基础产业,化学工业在高速发展的同时,也消耗了大量的宝贵的能源和资源,其生产过程中排放的“三废”,对生态环境造成了不利影响。据统计,化学工业能源消耗约占全国消费总量的15%,万元GDP能耗仅次于钢铁和冶金工业居第三位,在工业各部门中,化工排放废水居第一位、废气居第三位、废渣居第四位,分别占全国工业“三废”排放量的22%、8%、7%,是国家节能减排行动重点关注的行业之一。

为此,为积极响应市府号召,在市节能减排领导小组的领导下,按照市经团联、市工经联对上海市节能减排小组活动的总体安排,由上海市化学化工学会牵头,承担了《节能减排JJ小组活动化学化工篇丛书》的编辑工作并正式成立了编委会,经过组织相关专家进行慎重、反复和深入的讨论,最终形成本书的指导思想、确定本书的内容结构及应用范围和服务对象。在编纂小组成员们辛勤耕耘下,历经一年的时间,现在终于完成了全部书稿。

本书是上海市节能减排JJ小组活动系列丛书之一,本书所涉及的技术内容都为目前国内先进的化工节能减排技术,化工企业可以将本书作为节能减排技术培训教材,对具有较高化学工程理论水平的工程师和技术人员实施培训。同时,本书也是一本可操作性很强的实用技术手册,可作为向化工企业推广先进的化工节能减排技术宣传手册,促进上海化工企业整体节能减排水平的提高,体现企业社会责任。

本书的编委和作者在欣慰于祖国强盛而屹立于世界强国之林的同时,也深深地为发展过程中留下的环境隐患而担忧。所以,本书尽管立意于化工产业节能减排技术的推广,其更深远的意义在于提高全民环境危机意识,为政府建言献策,在发展地方经济的同时,兼顾资源整体利用,尽可能地充分利用区域资源,节约开发,减少环境污染,使上海市的化工产业立足长远地科学发展、节约发展。

全书分为上、中、下三册。上册为理论基础与装备技术,以化工装置节能减排应用到的化工原理、化工单元操作系统工程以及化工能量分析实例、新技术研究现状与发展趋势等为重点阐述内容;中册为工程技术与应用案例,在各种节能技术中,通过生产工艺设计改进实现节能,往往是降低产品能耗的非常有效的方法,因而主要介绍公用工程节能减排技术,另外一个部分是利用化工企业24个真实案例,详实介绍企业在装置节能减排改造过程中遇到的问题、使用的关键节能减排设备、典型的工艺流程、应用技术的个性和共性,并通过数据展示节能减排的效果;下册为新途径与新技术,通过对二氧化碳的绿色利用技术、氮氧化物排放控制技术、氢能与燃料电池技术、新型合成技术等前沿技术的介绍和展望,展现了人类友好利用环境和资源的美好前景。

本书在编纂的过程中,编写人员付出了辛勤的劳动与汗水,来自社会各界的友好人士给予我们无私的帮助与关心,在此一并向他们表示衷心感谢!

上海市化学化工学会理事长

2009年12月

编 者 的 话

建国 60 周年之际,回首我国在经济、政治、文化、社会建设中取得的举世瞩目的成就,无不为之振奋。特别是改革开放后,我国的经济实力得到了大幅提升,人民生活显著改善,这些都得益于党中央的正确领导,经济政策的逐步完善。可是高速的发展也伴随着严重的环境问题,成为当前发展面临的突出问题。如何让高山常青,碧水长流,让天空湛蓝,白云悠悠,让人民生活在绿色的家园,如何现实有效地解决这个长期困扰国家发展的环境问题,如何在科学发展观的指导下,创造人与人、人与自然、企业与社会和谐,是现代企业家们必须思考的问题,也是企业家们必须承担的社会责任和必须具备的人文关怀。

在这样的历史形势下,上海化工行业响应党中央和市政府关于节能减排的号召,积极倡导“节能减排,化工先行”,希望用我们的手,书写我们的经验,希望用读者的手,创造一片又一片蓝天。节能减排不仅是目标,更是一种坚定的信念,鼓舞我们化工企业在节能减排的道路上越走越远,将祖国的蓝天描绘得越来越蓝。

本册为《节能减排 JJ 小组活动化学化工篇》的上册,主要介绍节能减排技术的基本原理和理论,包括能源知识、热力学理论、反应过程能量分析、化工过程用能的热力学分析、化工单元操作和系统节能原理及化工能量分析实例等内容,还有各种化工装备,如泵、风机、压缩机、搅拌与混合设备、换热设备、塔设备、化工反应设备、分离设备、化工工业加热炉等的工作原理、新技术研究现状与发展趋势和节能应用实例,旨在通过简明扼要的讲解,帮助读者回顾化工生产特别是节能减排技术所遵循的基本原理和理论,并使读者在整体上把握化工生产应用到的基本设备和工作原理。

本册由华东理工大学多位作者联合编写,详细名单附后。主审为华东理工大学房鼎业教授,副主审为华东理工大学潘家祯教授、齐鸣斋教授。

本册的出版得到了华东理工大学校领导的高度重视,在此表示深深的谢意。由于编纂时间有限,难免有所纰漏或不当之处,敬请读者批评指正。

撰写者名单

第 1、2、3 章	齐鸣斋	刘玉兰	华东理工大学化工学院
第 4 章	石 岩		华东理工大学化工机械研究所
第 5 章	王学生		华东理工大学化工机械研究所
第 6 章	施云海		华东理工大学化学工程研究所
第 7 章	张 旭		华东理工大学生物反应器国家重点 实验室
第 8 章	周先桃		华东理工大学化工机械研究所
第 9 章	黄志荣		华东理工大学化工机械研究所

目 录

第1章 节能减排技术理论基础	(1)
1.1 概述	(1)
1.1.1 能源	(1)
1.1.2 能源的分类	(1)
1.1.3 化工技术节能	(2)
1.1.4 各类能源折算标准煤的参考系数	(3)
1.2 热力学基础	(4)
1.2.1 流体的热力学性质	(4)
1.2.2 系统和状态函数	(4)
1.2.3 单组分气体的 $p-V-T$ 关系	(6)
1.2.4 真实气体混合物的 $p-V-T$ 关系	(11)
1.2.5 液体的 $p-V-T$ 关系	(13)
1.2.6 可逆过程与不可逆过程	(14)
1.2.7 热力学基本关系式和麦克斯韦关系式	(15)
1.2.8 剩余性质计算	(19)
1.2.9 热力学第一定律和能量衡算	(24)
1.2.10 热力学第一定律的应用	(27)
1.2.11 热力学第二定律和卡诺效率	(32)
1.2.12 轴功的计算	(36)
1.3 过程能量分析基础	(39)
1.3.1 理想功与损耗功	(39)
1.3.2 有效能(焓)与环境模型	(49)
1.3.3 蒸汽动力循环	(58)
1.3.4 制冷循环	(63)
1.3.5 气体液化循环	(68)
1.4 化工过程用能的热力学分析	(70)
1.4.1 化工过程热力学分析的基本方法	(70)
1.4.2 可避免的焓损失与不可避免的焓损失	(84)
1.4.3 合理用能的基本原则	(87)
参考文献	(90)
第2章 化工单元操作和系统的节能	(92)
2.1 流体流动和流体输送机械	(92)
2.2 换热	(94)
2.3 混合与分离过程	(96)
2.4 蒸发	(98)



2.5 气体吸收	(100)
2.6 精馏	(101)
2.7 干燥	(107)
2.8 实例分析	(108)
2.9 节能方法和技术	(110)
2.10 夹点技术和系统节能	(115)
2.10.1 夹点技术应用	(115)
2.10.2 阈值问题	(117)
2.10.3 系统热机的设置	(118)
2.10.4 系统热泵的设置	(118)
2.10.5 换热网络设计	(119)
2.10.6 精馏系统热集成	(127)
参考文献	(128)
第3章 化工能量分析实例	(129)
3.1 苯加氢生产环己烷装置	(129)
3.2 合成氨的转化工序生产装置	(131)
3.3 用热泵回收低温排水的热量	(137)
3.4 夹点技术应用实例	(139)
参考文献	(142)
第4章 化工流体输送装置的节能减排技术	(143)
4.1 泵	(143)
4.1.1 泵的结构类型	(143)
4.1.2 离心泵的节能原理	(144)
4.1.3 泵的节能	(145)
4.1.4 管路系统的节能技术	(146)
4.1.5 泵的节能实例	(147)
4.1.6 泵的节能趋势	(148)
4.2 风机	(149)
4.2.1 风机的节能原理	(149)
4.2.2 风机结构对能耗的影响	(150)
4.2.3 提高风机运行经济性的途径	(151)
4.2.4 轴流式风机的节能	(153)
4.2.5 风机的节能优化	(154)
4.3 压缩机	(156)
4.3.1 离心式压缩机的节能	(156)
4.3.2 活塞式压缩机的节能	(159)
4.3.3 压缩机节能措施及实例	(161)
参考文献	(163)
第5章 换热设备的节能减排技术	(164)
5.1 概述	(164)



5.1.1	换热设备的应用	(164)
5.1.2	换热设备的分类	(164)
5.1.3	各种换热设备的特性	(165)
5.1.4	换热设备的选型	(174)
5.2	强化传热及新型换热器	(175)
5.2.1	强化传热概述	(175)
5.2.2	强化换热管	(177)
5.2.3	管内插入物强化传热	(180)
5.2.4	改进壳程管束支撑结构	(182)
5.2.5	对流换热耗功强化	(185)
5.2.6	沸腾换热的强化	(187)
5.2.7	凝结换热的强化	(188)
5.3	换热设备节能应用实例	(189)
5.3.1	螺旋槽管的应用实例	(190)
5.3.2	横纹槽管的应用实例	(191)
5.3.3	缩放管换热器应用实例	(192)
5.3.4	螺旋扁管换热器的工业应用实例	(193)
5.3.5	波纹管的应用实例	(195)
5.3.6	T形翅片管应用实例	(196)
5.3.7	表面多孔管应用实例	(198)
5.3.8	热管换热器应用举例	(200)
5.3.9	CT(交叉梯形波带)插入物应用实例	(200)
5.3.10	静态混合器应用举例	(202)
5.3.11	绕花丝换热器应用举例	(202)
5.3.12	折流杆换热器的应用	(203)
5.3.13	空心环管壳式换热器的应用	(204)
5.3.14	螺旋折流板换热器的工业应用实例	(206)
	参考文献	(206)
第6章	塔设备的节能减排技术	(208)
6.1	塔设备的发展和现状	(208)
6.2	塔设备的分类与比较	(209)
6.3	板式塔的内件及其结构特征	(211)
6.3.1	气液呈错流流向的塔板	(211)
6.3.2	气液呈逆流流向的塔板	(222)
6.3.3	气液呈并流流向的塔板	(222)
6.4	填料塔的内件及其结构类型	(223)
6.4.1	散装填料	(223)
6.4.2	规整填料	(227)
6.4.3	填料塔内件	(230)
6.5	塔设备的选择	(232)



6.6 板式塔板的流体力学和传质性能	(234)
6.6.1 塔板的操作性能图与流动状态	(234)
6.6.2 塔板压降	(237)
6.6.3 塔板负荷的计算方法	(238)
6.7 填料塔的流体力学和传质性能	(241)
6.7.1 填料的流体力学性能	(241)
6.7.2 填料的传质性能	(243)
6.8 塔设备的新技术研究现状与发展趋势	(245)
6.8.1 国外新型板式塔技术的发展	(245)
6.8.2 喷射态立体传质塔板的开发与应用现状	(247)
6.8.3 立体传质塔板的实际应用及发展	(252)
6.8.4 烟气脱硫塔的开发与应用现状	(255)
6.8.5 塔设备设计技术的发展	(260)
6.9 塔设备节能技术应用实例	(261)
6.9.1 热偶联与隔板塔技术	(261)
6.9.2 夹点技术	(264)
6.10 蒸馏过程节能热力学分析	(265)
6.10.1 精馏过程所需功	(265)
6.10.2 精馏过程的不可逆性分析	(266)
6.10.3 精馏过程节能的基本方法和手段	(266)
参考文献	(267)
第7章 化学反应器设备的节能减排技术	(271)
引言	(271)
7.1 管式反应器	(273)
7.1.1 概述	(273)
7.1.2 管式反应器工业应用实例	(273)
7.2 釜式反应器	(274)
7.2.1 概述	(274)
7.2.2 釜式反应器工业应用实例	(274)
7.3 塔式反应器	(276)
7.3.1 概述	(276)
7.3.2 塔式反应器工业应用实例	(277)
7.4 鼓泡塔反应器	(277)
7.4.1 概述	(277)
7.4.2 鼓泡塔反应器工业应用实例	(278)
7.5 固定床反应器	(279)
7.5.1 概述	(279)
7.5.2 固定床反应器工业应用实例	(279)
7.6 流化床反应器	(281)
7.6.1 概述	(281)

7.6.2 流化床反应器工业应用实例	(282)
7.7 移动床反应器	(283)
7.7.1 概述	(283)
7.7.2 移动床反应器工业应用实例	(283)
7.8 滴流床(涓流床)反应器	(284)
7.8.1 概述	(284)
7.8.2 滴流床反应器工业应用实例	(284)
7.9 淤浆床反应器	(286)
7.9.1 概述	(286)
7.9.2 淤浆床反应器工业应用实例	(286)
7.10 微反应器	(287)
7.10.1 概述	(287)
7.10.2 微反应器的研究现状与发展趋势	(287)
7.11 膜反应器	(288)
7.11.1 酶膜反应器概况、研究应用现状及展望	(288)
7.11.2 无机膜反应器概况、研究应用现状及展望	(291)
7.12 反应精馏反应器	(293)
7.12.1 概述	(293)
7.12.2 反应精馏技术工艺研究现状	(294)
7.12.3 反应精馏技术前景展望	(294)
7.13 燃料电池反应器	(295)
7.13.1 概述	(295)
7.13.2 燃料电池反应器技术研究现状与发展趋势	(296)
7.13.3 我国开发燃料电池技术的挑战	(298)
7.14 超临界反应器	(298)
7.14.1 超临界流体及超临界化学反应	(298)
7.14.2 超临界反应器简介	(299)
7.14.3 超临界反应器技术的研究现状	(300)
7.14.4 超临界反应器技术发展趋势	(301)
7.15 旋转填充床反应器	(301)
7.15.1 概述	(301)
7.15.2 旋转填充床反应器的应用研究进展	(302)
7.15.3 旋转填充床反应器的研究前景展望	(302)
7.16 磁稳流化床反应器	(303)
7.16.1 概述	(303)
7.16.2 磁稳流化床反应器的应用现状	(303)
7.16.3 磁稳流化床反应器应用前景展望	(304)
参考文献	(305)
第8章 机械分离设备的节能减排技术	(309)
8.1 浮选设备	(309)



8.1.1	气浮设备的原理	(309)
8.1.2	气浮分离设备的分类	(309)
8.1.3	提高气浮效率的途径	(311)
8.2	重力浓缩	(312)
8.2.1	耙式浓缩机	(312)
8.2.2	倾斜板重力浓缩箱	(313)
8.2.3	深锥浓缩器	(314)
8.2.4	重力浓缩设备的选型原则	(314)
8.3	旋转流分离设备	(314)
8.3.1	水力旋流器	(314)
8.3.2	旋风分离器	(317)
8.4	离心机分离设备	(320)
8.4.1	离心过滤机	(320)
8.4.2	离心沉降机	(323)
8.4.3	离心分离机的选型	(325)
8.5	过滤设备	(326)
8.5.1	过滤的基本原理与特点	(326)
8.5.2	过滤机的分类及其特性	(327)
8.5.3	过滤机的选型	(327)
8.6	膜分离设备	(328)
8.6.1	过滤膜分离过程	(328)
8.6.2	反渗透膜分离过程	(330)
8.6.3	渗析膜分离过程	(332)
8.6.4	电渗析膜分离过程	(333)
8.6.5	液膜分离过程	(335)
8.6.6	气体渗透分离过程	(337)
8.6.7	强化膜分离过程的措施	(338)
参考文献		(340)
第9章 化工工业加热炉的节能减排技术		(341)
9.1	管式加热炉的一般结构	(341)
9.2	管式加热炉的种类	(343)
9.3	加热炉的燃烧节能技术	(345)
9.3.1	节能的基本概念	(345)
9.3.2	燃烧节能技术	(345)
9.4	烟气余热回收技术	(354)
9.4.1	概述	(354)
9.4.2	回收烟气余热的途径	(355)
9.4.3	余热回收的热能转换装置	(356)
9.5	加热炉的其他节能技术	(361)
9.5.1	节能涂料	(361)