



能源与环境出版工程
(第二期)

总主编 翁史烈

“十三五”国家重点图书出版规划项目
低碳环保动力工程技术系列

先进燃煤技术与实践

Advanced coal combustion technology
and practice

陶邦彦 潘卫国 俞谷颖 李新 编著



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS





巍巍交大 百年书香
www.jiaodapress.com.cn
bookinfo@sjtue.edu.cn



策划编辑 杨迎春
责任编辑 刘盼盼
封面设计 孙敏



能源与环境出版工程 (第二期)

- 《二甲醚燃料与汽车》
- 《钠离子电池——原理、材料及技术》
- 《燃气轮机可靠性维护理论及应用》
- 《能源材料——原理与应用》
- 《热力系统建模与仿真技术》
- 《湿地生态学》
- 《人工湿地设计》
- 《热能动力工程》
- 《能源转换与管理技术》
- 《城市固废综合利用基地与能源互联网》
- 《“一带一路”与中国石油储备》
- 《区域智能电网技术》
- 《资源化视角的污染控制理论与实践》
- 《城市大气污染源排放清单编制技术及其应用》
- 《城镇污水磷回收与达标排放的工艺技术指南》
- 《空调系统建模及控制》(英文版)
- 《烟气污染物光催化控制技术》(英文版)
- 《低铂燃料电池技术》(英文版)
- 《痕量金属的环境行为——区域与城市污染》(英文版)
- 《柴油机后处理技术——碳烟与NO_x的同时催化消除》(英文版)
- 《环境健康科学》
- 《废水生化处理》
- 《先进燃煤技术与实践》
- 《绿色火电技术》
- 《分布式能源技术及应用》
- 《清洁能源技术及应用》

上架建议: 能源



扫描二维码
关注上海交通大学出版社
官方微信

ISBN 978-7-313-21898-8



9 787313 218988 >

定价: 78.00元



能源与环境出版工程
(第二期)

总主编 翁史烈

“十三五”国家重点图书出版规划项目
低碳环保动力工程技术系列

先进燃煤技术与实践

Advanced coal combustion technology
and practice

陶邦彦 潘卫国 俞谷颖 李新 编著

支持单位:

上海电力大学
北京能源与环境学会
中国动力工程学会



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书为“低碳环保动力工程技术丛书系列”之一。主要内容包括我国改革开放 40 多年来先进燃煤发电技术的发展,大型超临界燃煤发电锅炉机组的设计和运行,系统优化及其制造工艺;整体煤气化联合循环发电技术的研究成果与工程实践经验;膜法、磁致空分富氧燃烧技术,化学链燃烧技术等;有效的电厂提效节能措施和创新理念;探讨我国以燃煤为主的一次能源向多种能源发电的演化趋势。

本书的读者对象为从事能源与生态环保的实践者,大中专学生,科研院校的研究人员、教师和研究生。

图书在版编目(CIP)数据

先进燃煤技术与实践/陶邦彦等编著. —上海:上海交通大学出版社,2019

能源与环境出版工程

ISBN 978 - 7 - 313 - 21898 - 8

I. ①先… II. ①陶… III. ①燃煤技术—研究 IV. ①TK227. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 227524 号

先进燃煤技术与实践

编 著:陶邦彦 潘卫国 俞谷颖 李 新

出版发行:上海交通大学出版社

地 址:上海市番禺路 951 号

邮政编码:200030

电 话:021 - 64071208

印 制:上海万卷印刷股份有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:710mm×1000mm 1/16

印 张:18.5

字 数:353 千字

版 次:2019 年 11 月第 1 版

印 次:2019 年 11 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 978 - 7 - 313 - 21898 - 8

定 价:78.00 元

版权所有 侵权必究

告读者:如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话:021 - 56928178

能源与环境出版工程 丛书学术指导委员会

主 任

杜祥琬(中国工程院原副院长、中国工程院院士)

委 员(以姓氏笔画为序)

苏万华(天津大学教授、中国工程院院士)

岑可法(浙江大学教授、中国工程院院士)

郑 平(上海交通大学教授、中国科学院院士)

饶芳权(上海交通大学教授、中国工程院院士)

闻雪友(中国船舶工业集团公司 703 研究所研究员、中国工程院院士)

秦裕琨(哈尔滨工业大学教授、中国工程院院士)

倪维斗(清华大学原副校长、教授、中国工程院院士)

徐建中(中国科学院工程热物理研究所研究员、中国科学院院士)

陶文铨(西安交通大学教授、中国科学院院士)

蔡睿贤(中国科学院工程热物理研究所研究员、中国科学院院士)

能源与环境出版工程 丛书编委会

总主编

翁史烈(上海交通大学原校长、教授、中国工程院院士)

执行总主编

黄震(上海交通大学副校长、教授)

编委(以姓氏笔画为序)

马重芳(北京工业大学环境与能源工程学院院长、教授)

马紫峰(上海交通大学电化学与能源技术研究所教授)

王如竹(上海交通大学制冷与低温工程研究所所长、教授)

王辅臣(华东理工大学资源与环境工程学院教授)

何雅玲(西安交通大学教授、中国科学院院士)

沈文忠(上海交通大学凝聚态物理研究所副所长、教授)

张希良(清华大学能源环境经济研究所所长、教授)

骆仲泐(浙江大学能源工程学系系主任、教授)

贾金平(上海交通大学环境科学与工程学院教授)

顾璠(东南大学能源与环境学院教授)

徐明厚(华中科技大学煤燃烧国家重点实验室主任、教授)

盛宏至(中国科学院力学研究所研究员)

章俊良(上海交通大学燃料电池研究所所长、教授)

程旭(上海交通大学核科学与工程学院院长、教授)

低碳环保动力工程 技术系列编委会

主任委员

潘卫国

副主任委员

张树林 陶邦彦 吴 江 尹华强 张秀龙 冯丽萍

委 员

江得厚 俞谷颖 牟志才 万思本 刘 孜

陈子安 陈鸽飞 吴来贵 房靖华 孙 宏

丛书主编

陶邦彦

丛书主审

高京生

编审人员(按姓氏笔画排序)

丁红蕾 王文欢 王程遥 仇中柱 尹华强 冯丽萍

任洪波 刘小峰 刘 孜 刘建全 刘建峰 刘勇军

刘晓丽 闫 霆 江得厚 孙 宏 牟志才 李庆伟

李江荣 李更新 李 彦 李 新 杨涌文 豆斌林

吴 江 吴来贵 吴 明 何 平 应雨龙 宋宝增

张秀龙 张 涛 张 鹏 陈子安 房靖华 胡丹梅

俞谷颖 施亦龙 姜未汀 徐宏建 高京生 郭瑞堂

唐军英 陶邦彦 黄 峰 崔金福 蔡文刚 潘卫国

戴 军

协助编辑人员

黄春迎 余晓利 秦 岭 郭德宇 黄 阳 蒯子函

秦 阳 徐建恒 张中伟

总 序

能源是经济社会发展的基础,同时也是影响经济社会发展的主要因素。为了满足经济社会发展的需要,进入 21 世纪以来,短短 10 余年间(2002—2017 年),全世界一次能源总消费从 96 亿吨油当量增加到 135 亿吨油当量,能源资源供需矛盾和生态环境恶化问题日益突显,世界能源版图也发生了重大变化。

在此期间,改革开放政策的实施极大地解放了我国的社会生产力,我国国内生产总值从 10 万亿元人民币猛增到 82 万亿元人民币,一跃成为仅次于美国的世界第二大经济体,经济社会发展取得了举世瞩目的成绩!

为了支持经济社会的高速发展,我国能源生产和消费也有惊人的进步和变化,此期间全世界一次能源的消费增量 38.3 亿吨油当量中竟有 51.3%发生在中国! 经济发展面临着能源供应和环境保护的双重巨大压力。

目前,为了人类社会的可持续发展,世界能源发展已进入新一轮战略调整期,发达国家和新兴国家纷纷制定能源发展战略。战略重点在于:提高化石能源开采和利用率;大力开发可再生能源;最大限度地减少有害物质和温室气体排放,从而实现能源生产和消费的高效、低碳、清洁发展。对高速发展中的我国而言,能源问题的求解直接关系到现代化建设进程,能源已成为中国可持续发展的关键! 因此,我们更有必要以加快转变能源发展方式为主线,以增强自主创新能力为着力点,深化能源体制改革、完善能源市场、加强能源科技的研究,努力建设绿色、低碳、高效、安全的能源大系统。

在国家重视和政策激励之下,我国能源领域的新概念、新技术、新成果不断涌现;上海交通大学出版社出版的江泽民学长的著作《中国能源问题研究》(2008 年)更是从战略的高度为我国指出了能源可持续发展的健康发展之路。为

了“对接国家能源可持续发展战略,构建适应世界能源科学技术发展趋势的能源科研交流平台”,我们策划、组织编写了这套“能源与环境出版工程”丛书,其目的在于:

一是系统总结几十年来机械动力中能源利用和环境保护的新技术和新成果;

二是引进、翻译一些关于“能源与环境”研究领域前沿的书籍,为我国能源与环境领域的技术攻关提供智力参考;

三是优化能源与环境专业教材,为高水平技术人员的培养提供一套系统、全面的教科书或教学参考书,满足人才培养对教材的迫切需求;

四是构建一个适应世界能源科学技术发展趋势的能源科研交流平台。

该学术丛书以能源和环境的关系为主线,重点围绕机械过程中的能源转换和利用过程以及这些过程中产生的环境污染治理问题,主要涵盖能源与动力、生物质能、燃料电池、太阳能、风能、智能电网、能源材料、能源经济、大气污染与气候变化等专业方向,汇集能源与环境领域的关键性技术和成果,注重理论与实践的结合,注重经典性与前瞻性的结合。图书分为译著、专著、教材和工具书等几个模块,其内容包括能源与环境领域的专家最先进的理论方法和技术成果,也包括能源与环境工程一线的理论 and 实践。如钟芳源等撰写的《燃气轮机设计》是经典性与前瞻性相统一的工程力作;黄震等撰写的《机动车可吸入颗粒物排放与城市大气污染》和王如竹等撰写的《绿色建筑能源系统》是依托国家重大科研项目的新成果和新技术。

为确保这套“能源与环境出版工程”丛书具有高品质和重大的社会价值,出版社邀请了杜祥琬院士、黄震教授、王如竹教授等专家,组建了学术指导委员会和编委会,并召开了多次编撰研讨会,商谈丛书框架,精选书目,落实作者。

该学术丛书在策划之初,就受到了国际科技出版集团 Springer 和国际学术出版集团 John Wiley & Sons 的关注,与我们签订了合作出版框架协议。经过严格的同行评审,截至 2018 年初,从书中已有 9 本输出至 Springer, 1 本输出至 John Wiley & Sons。这些著作的成功输出体现了图书较高的学术水平和良好的品质。

“能源与环境出版工程”从2013年底开始陆续出版,并受到业界广泛关注,取得了良好的社会效益。从2014年起,丛书已连续5年入选了上海市文教结合“高校服务国家重大战略出版工程”项目。还有些图书获得国家级项目支持,如《现代燃气轮机装置》《除湿剂超声波再生技术》(英文版)、《痕量金属的环境行为》(英文版)等。另外,在图书获奖方面,也取得了一定成绩,如《机动车可吸入颗粒物排放与城市大气污染》获“第四届中国大学出版社优秀学术专著二等奖”;《除湿剂超声波再生技术》(英文版)获中国出版协会颁发的“2014年度输出版优秀图书奖”。2016年初,“能源与环境出版工程”(第二期)入选了“十三五”国家重点图书出版规划项目。

希望这套书的出版能够有益于能源与环境领域人才的培养,有益于能源与环境领域的技术创新,为我国能源与环境的科研成果提供一个展示的平台,引领国内外前沿学术交流和创新并推动平台的国际化发展!



2018年9月

序 一

在新时代阳光的沐浴下,我国经历了改革开放 40 多年的风风雨雨,又迎来了新中国成立 70 周年华诞。本丛书从环保动力的角度反映了我国新老动力科技工作者不忘初心,为实现中华民族的伟大复兴,矢志不渝、艰苦奋斗的精神。科技工作者不断解放思想、破除迷信、学习先进,亲身见证并记录了自主知识产权的创新业绩;通过不断积累和总结前人的实践经验和科技成果,一步一个脚印地推动了我国能源革命和高质量国产化、清洁发电动力装备的发展,表现出对科学和中华文化的自信。

科学技术的大发展历来都是与社会大变革联系在一起的。我国体制上的供给侧改革给能源、环保、装备产业转型带来巨大的发展机遇,使各产业从手工作坊式生产走向工业化革命,从机械化转向自动化,从智能化走向大数据、云计算的信息化时代。在历史的舞台上,不断上演着与时俱进的创新技术的剧情。

我国虽然地大物博,但人均资源却十分短缺。直面当前节能减排的现状,转变思维方式尤为重要。我国可采能源远远跟不上社会经济发展的需要,大量消费煤炭给环境容量和治理污染带来巨大的压力;大量进口油气有能源安全的巨大风险;大量使用化石燃料面临可持续发展的困境。

高效率、节能减排的超临界发电技术有着自身发展的规律。发展光伏、光热发电,风电以及低温能源是当今能源转型的主要方向。在电力供给侧,发展分布式能源有利于节能提效,充分利用现有的低温能源、工业余热、城市垃圾资源(包括当地的风能、屋顶太阳能、生物质能的再生资源)等。建立有效的区域能源体系和微电网是能源高效利用、地区低碳循环经济发展的必然趋势。此外,第四代核能的研发和未来的核聚变技术将是中长期能源的发展目标。

我国能源利用技术和产品的发展长期以来受体制和经费的约束,产、学、研、用严重脱节,以至于真正付之于实际应用的技术事倍功半。如今企业成为承担科技项目的主体,强调技术落地、开花、结果,在有序的竞争中兴百家争鸣之风气,推动着各自技术的不断升级换代,促进我国企事业的同步改革。

本丛书主要为能源与环保的生产实践者、青年学者、科研院校的研究人员、教师和研究生以及对此感兴趣的读者提供了解多学科、多种技术交集的视野,以改变传统重理论教育、偏学术论文而疏于应用的倾向,使读者了解更多的边缘学科专业知识和新技术的发展信息,取得举一反三、触类旁通的学习和运用效果。同时,也期待行业专家、工匠们为之大显身手,化知识为社会产品和财富,指点能源与环保,同予评说!



2019年2月

序 二

能源是人类生存和发展的基础。随着经济的快速发展,化石能源消耗量持续增加,人类正面临着日益严重的能源短缺和环境破坏问题,全球气候变暖成为国际关注的焦点。据国际能源署分析,到 2030 年世界能源需求将增长 60%。目前,作为一次能源主要构成的化石能源,由于其不可再生,将在不久的将来被开采殆尽。在此背景下,发展低碳环保技术以实现能源的清洁高效利用对保障能源安全、促进环境保护、减少温室气体排放、实现国民经济可持续发展具有重要的现实意义。

为了实现能源的健康、有序和可持续发展,国家战略布局中已经明确了各类能源发展的总体目标。一方面,与发达国家相比,我国的能源利用效率整体仍处在较低的水平,单位产值能耗比发达国家高 4~7 倍,单位面积建筑能耗为气候条件相近发达国家的 3 倍左右。因此,我国在节能方面的潜力巨大,节能减排是当前我国经济和社会发展中一项极为紧迫的任务。为缓解能源瓶颈的制约,促进经济社会可持续发展,一方面,近年来我国相继出台了一系列相关的政策及法规,大力推动能源的高效利用,促进国民经济向节能集约型发展。另一方面,国家大力推动太阳能、风能等可再生能源的利用,与之相关的产业亦得到了迅速的发展。在这样的行业背景下,很高兴看到“低碳环保动力工程技术”丛书的问世。这套丛书不仅对清洁能源利用和分布式能源技术进行了详细的介绍,而且指出绿色环保、清洁、高效、灵活是火电技术今后发展的必由之路。丛书是校企合作成果的结晶,由中国动力工程学会环保装备与技术专业委员会、上海电力大学和上海发电设备成套设计研究院合作编写。丛书共有四册,其内容涵盖传统的燃煤发电技术、清洁能源发电技术及一些高效智能化的能源利用系统,具体包括先进的煤电节能技术、燃煤电站污染物的脱

除、太阳能光伏/光热、风力发电技术、生物质利用技术、储能技术、燃料电池、核能技术以及分布式能源系统等。

本丛书有如下特色：内容跨度较大，有广度、有深度，各章节自成体系、相互独立，在结构上条理清晰、脉络分明。

相信本套丛书的出版定会推动低碳环保动力工程相关技术在我国的应用与发展，为经济和社会的可持续发展起到积极的作用，故而乐意为之序。



2019年5月

前 言

《先进燃煤技术与实践》记录了我国改革开放 40 多年来关于火电工程技术的演化及其装备的发展过程,汇集了许许多多新老动力环保工匠们的研究和实践成果,总结了动力科技发展和技术交流的新信息,体现了产业结构转型时期的“大众创业、万众创新”的时代风貌。

古语云,天道酬勤,厚积薄发。编者梳理了多年来累积的诸多公开资料、文献,从多学科、宽领域总结对热能动力低碳环保理论和实践的认识,以更广阔的视野、多种思维角度、多种研究方法去探索技术与装备发展的未来。

本书是现代火电发电技术与实践相结合的浓缩版,在结构编排上采取叙事记事,以点带面,以项目的工程示范与评议方式,因地制宜地列举一案一例,结合编者的实践与认识编写而成。

本书围绕“创新、协调、绿色、开放、共享”五大发展理念,借鉴国外先进的燃煤燃烧技术和生态环境治理经验,从煤电节能减排、资源化利用,探索常规动力发电设备的性能与结构改进方向,发展低碳循环经济。通过低碳清洁煤的利用技术和资源耦合应用的案例反映了动力科技的进步和复兴中华的新时代精神。这对我国建立绿色低碳循环经济产业体系,加快先进火电技术装备的智能化制造,落实“中国制造 2025”的相关指标,大力推进生态文明建设,维护国家能源、生态的安全有着积极的现实意义。

本书分为 7 章,其中第 1 章由陶邦彦、潘卫国、俞谷颖负责撰写,论述创新驱动在电力能源中的魅力;第 2 章由高京生、陶邦彦等撰写,主要介绍煤电技术发展;第 3 章由李彦、闫霆、杨宗煊、赵中平、俞谷颖、陶邦彦撰写,主要介绍大容量超临界锅炉技术;第 4 章由陶邦彦、潘卫国撰写,主要介绍空气分离与富氧燃烧技术;第 5 章由李庆伟、陶邦彦撰写,主要介绍化学链燃烧技术;第 6