



2012-2013

*Report on Advances in
Engineering Thermophysics*

中国科学技术协会 主编
中国工程热物理学会 编著

工程热物理研究所

工程热物理
学科发展报告

中国科学技术出版社



014033599

TK121
04
2012-2013

2012—2013

工程热物理 学科发展报告

REPORT ON ADVANCES IN
ENGINEERING THERMOPHYSICS

中国科学技术协会 主编
中国工程热物理学会 编著



中国科学技术出版社

· 北 京 ·



北航

C1721812

TK121

04

2012-2013

图书在版编目 (CIP) 数据

2012—2013 工程热物理学发展报告 / 中国科学技术协会主编;
中国工程热物理学会编著. —北京: 中国科学技术出版社, 2014.2

(中国科协学科发展研究系列报告)

ISBN 978-7-5046-6536-2

I. ①2… II. ①中… ②中… III. ①工程热物理学—学科发展—
研究报告—中国—2012—2013 IV. ①TK121-12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 003717 号

策划编辑	吕建华 赵 晖
责任编辑	李惠兴
责任校对	韩 玲
责任印制	王 沛
装帧设计	中文天地

出 版	中国科学技术出版社
发 行	科学普及出版社发行部
地 址	北京市海淀区中关村南大街 16 号
邮 编	100081
发行电话	010-62103354
传 真	010-62179148
网 址	http://www.cspbooks.com.cn

开 本	787mm × 1092mm 1/16
字 数	310 千字
印 张	14
版 次	2014 年 4 月第 1 版
印 次	2014 年 4 月第 1 次印刷
印 刷	北京市凯鑫彩色印刷有限公司
书 号	ISBN 978-7-5046-6536-2/TK · 21
定 价	50.00 元

(凡购买本社图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换)

2012—2013

工程热物理学发展报告

REPORT ON ADVANCES IN
ENGINEERING THERMOPHYSICS

首席科学家 徐建中 金红光

专家组成员 (按姓氏笔画排序)

王秋旺	孔文俊	刘 波	齐 飞	吴玉林
张 兴	张扬军	杜建一	杨 科	杨晓西
周 远	姚 强	姚春德	席 光	谈和平
郭烈锦	隋 军			

学术秘书 柯红缨

序

科技自主创新不仅是我国经济社会发展的核心支撑，也是实现中国梦的动力源泉。要在科技自主创新中赢得先机，科学选择科技发展的重点领域和方向、夯实科学发展的学科基础至关重要。

中国科协立足科学共同体自身优势，动员组织所属全国学会持续开展学科发展研究，自2006年至2012年，共有104个全国学会开展了188次学科发展研究，编辑出版系列学科发展报告155卷，力图集成全国科技界的智慧，通过把握我国相关学科在研究规模、发展态势、学术影响、代表性成果、国际合作等方面的最新进展和发展趋势，为有关决策部门正确安排科技创新战略布局、制定科技创新路线图提供参考。同时因涉及学科众多、内容丰富、信息权威，系列学科发展报告不仅得到我国科技界的关注，得到有关政府部门的重视，也逐步被世界科学界和主要研究机构所关注，显现出持久的学术影响力。

2012年，中国科协组织30个全国学会，分别就本学科或研究领域的发展状况进行系统研究，编写了30卷系列学科发展报告（2012—2013）以及1卷学科发展报告综合卷。从本次出版的学科发展报告可以看出，当前的学科发展更加重视基础理论研究进展和高新技术、创新技术在产业中的应用，更加关注科研体制创新、管理方式创新以及学科人才队伍建设、基础条件建设。学科发展对于提升自主创新能力、营造科技创新环境、激发科技创新活力正在发挥出越来越重要的作用。

此次学科发展研究顺利完成，得益于有关全国学会的高度重视和精心组织，得益于首席科学家的潜心谋划、亲力亲为，得益于各学科研究团队的认真研究、群策群力。在此次学科发展报告付梓之际，我谨向所有参与工作的专家学者表示衷心感谢，对他们严谨的科学态度和甘于奉献的敬业精神致以崇高的敬意！

是为序。

韩明

2014年2月5日

前言

在中国科协学会学术部的指导下,中国工程热物理学会承担“2012—2013 工程热物理学科发展报告”项目。本项目由中国工程热物理学会理事长徐建中院士,秘书长金红光研究员共同任首席科学家,专家组成员包括学科领域的学科带头人和优秀青年科技工作者。

中国科学技术协会建立的学科发展研究及发布制度,推进了学科交叉、融合与渗透,促进了多学科协调发展,充分发挥了中国科协及所属全国学会的学术权威性,起到了积极的作用。工程热物理学是研究能量以热和功的形式转换过程的基本规律及其应用的一门技术科学,属于应用基础学科的范畴,是能源高效低污染利用、航空航天推进、发电、动力、制冷等领域的重要理论基础。本报告重点回顾、总结和科学评价近两年工程热物理学科的新发展、新成果、新见解、新观点、新方法、新技术;研究分析工程热物理学科发展现状、动态和趋势,国际比较、战略需求,提出研究方向,展望工程热物理学科发展目标 and 前景;针对国家节能减排、发展低碳经济的重大需求,提出了工程热物理学科发展的对策意见和建议。

第三次工业革命引发的能源生产和消费方式变革,给工程热物理学科的发展带来新的机遇与挑战。为落实中国科协关于学科发展战略研究工作的有关部署,制订我国工程热物理与能源利用学科的发展战略。从学科发展和国家重大需求的战略层面出发,重新审视工程热物理学科的发展。建立能源、资源和环境一体化的可持续能源体系,使能源的发展与资源的开发利用相协调,是我国工程热物理学科的研究前沿。通过对国内外学科发展动态的比较分析,凝练工程热物理学科的前沿增长点。

本报告具体分工如下:学会理事长徐建中院士提出了报告的总体架构。周远院士、金红光研究员等负责综合报告的撰写,全体编委参与了讨论修改。隋军研究员负责工程热力学,吴玉林教授负责流体机械,姚强教授、齐飞教授负责燃烧学,谈和平教授负责传热质学,郭烈锦教授负责多相流,杨科主任负责风能利用。学会副秘书长柯红缨高工担任学术秘书,负责项目管理工作。

由于编写人员学识限制,本报告不足之处难免,恳求专家学者批评指正。

中国工程热物理学会

2013年10月

目 录

序	韩启德
前言	中国工程热物理学会

综合报告

工程热物理学科发展现状与前景展望	3
一、引言	3
二、最新研究进展	4
三、国内外比较	29
四、发展趋势和展望	34
参考文献	38

专题报告

分布式能源发展研究	41
能源动力系统温室气体控制发展研究	54
流体机械学科发展研究	74
风能利用学科发展研究	94
化石燃料燃烧形成 PM2.5 及其控制技术发展研究	105
燃烧反应动力学发展研究	122
辐射传递及高效换热发展研究	152
多相流科学技术发展研究	174

ABSTRACTS IN ENGLISH

Comprehensive Report

Advances in Engineering Thermophysics	193
---	-----

Reports on Special Topics

Report on Advances in Distributed Energy Systems	201
Report on Advances in CO ₂ Capture and Storage (CCS)	202
Report on Advances in Fluid Machinery	202
Report on Advances in Wind energy utilization	203
Report on Advances in PM2.5 Emission from Coal-fired Power Plants	204
Report on Advances in Combustion Kinetics	205
Report on Advances in Radiation Transfer	206
Report on Advances in Multiphase Flow Science and Technology	207
索引	209

综合报告

工程热物理学科发展 现状与前景展望

一、引言

工程热物理与能源利用学科是一门研究能量和物质在转化、传递及其利用过程中基本规律和技术理论的应用基础学科，是节能减排的主要基础学科。

从人类利用能源和动力发展的历史看，古代人类几乎完全依靠可再生能源，人工或简单机械已经能够适应农耕社会的需要。近代以来，蒸汽机的发明唤起了第一次工业革命，而能源基础，则是以煤为主的化石能源，从小规模的发电技术到大电网，支撑了大工业生产相应的大规模能源使用。石油、天然气在内燃机、柴油机中的广泛使用，奠定了现代交通的基础，燃气轮机的技术进步使飞机突破声障，进一步适应了高度集中生产的需要。但是化石能源过度使用，造成严重环境污染，而且化石能源资源终将枯竭，严重地威胁着人类的生存和发展，要求人类必须再一次主要地使用可再生能源。这预示着人类必将再次步入可再生能源时代——一个与过去完全不同的、建立在当代高新技术基础上创新发展起来的崭新可再生能源时代。这个时代，按照里夫金《第三次工业革命》的说法，是建立在现代信息技术与分布式能源技术基础上的分布式利用可再生能源的时代。

化石能源行将枯竭带给人类巨大的挑战。在 19 世纪以前的长久历史时期中，人类主要依靠可再生能源（生物质能、太阳能、水能、风能）作为一次能源。自 19 世纪中期以来，煤的开发利用逐步取代了木柴，经历约半个世纪后成为全球的主要一次能源，使整个 20 世纪成为化石能源世纪。化石能源，包括煤、石油与天然气，在几乎整个 20 世纪所占份额在 80% 以上；自 1970 年起石油约占 40%，煤与天然气各占 20% 多，满足了全球的需求。根据英国石油公司 2011 年底的统计资料，全世界探明的石油、天然气、煤炭储量及储采比数据显示，按目前产量计算，天然气储采比为 63.6 年；石油储采比约为 54.2 年。煤炭的储采比略长，约为 112 年。而在我国，三种

主要化石能源石油、煤炭、天然气的储采比分别为 9.9 年、29.8 年和 33 年，均远低于世界平均水平，我国面临的能源形势更为严峻。

化石能源的使用影响了全球气候变化。随着人类社会的发展，尤其进入工业化时代后，人类改造和影响地球系统的能力显著增强，积累效应使消耗化石能源行为成为影响气候变化的一项重要外界因素。人类在工业化以来，短短 250 余年间就排放了大约 1.16 万亿吨（CDIAC 数据）的 CO_2 ，而这可能是全球大气 CO_2 浓度由 280ppm 升高到 379ppm 的最主要原因。增高的 CO_2 浓度可能带来了更强的温室效应。1860 年以来全球地表平均气温升高了 $0.44 \sim 0.8^\circ\text{C}$ 。

以气候变化为核心的全球环境问题日益严重，已经成为威胁人类可持续发展的主要因素之一。气候变化问题将贯穿今后世界政治、外交始终，温室气体控制技术已经成为全球科技领域的前沿热点。我国是 CO_2 排放大国， CO_2 减排未来可能成为制约我国发展的最大国际约束。2011 年德班会议中，我国政府首次表态，在一定的前提下，可以接受 2020 年以后有法律约束力的全球减排协议。然而，我国能源消耗量巨大，总量增长迅速，化石能源为主的能源结构难以在短时间内得到根本改变。

我国现在已经到了一个必须转变经济发展方式、调整产业结构以确保可持续发展的关键时期。能源可持续发展也面临着转变能源利用方式的挑战，特别是如何发展可再生能源和低碳技术，这一变革将成为未来工程热物理学科发展的主题。然而，以往工程热物理学科主要针对热和功的能源形式的研究，已不足以支撑我国能源的可持续发展，迫切需要新的学科发展战略，为新兴能源产业的发展提供科学基础。

为落实中国科协关于学科发展战略研究工作的有关部署，制定我国工程热物理与能源利用学科的发展战略。组织由院士、本学科中青年专家，从学科发展和国家重大需求的战略层面出发，重新审视工程热物理学科的发展。在学科发展现状、发展趋势、重要研究方向、支撑体系建设等几方面开展战略研究工作，重点围绕洁净煤技术、分布式供能系统、新概念发动机、风能与太阳能利用、能源动力系统温室气体控制等自主创新研究，提出具有工程热物理学科特色的学科发展战略和优先领域，提升学科发展规划制定工作的科学性、战略性和前瞻性，发挥在节能减排的重要作用，为我国占领能源科技与新兴能源产业制高点提供科学依据。

二、最新研究进展

（一）科学用能

科学用能从能的梯级利用、清洁生产、资源再循环等基本科学原理出发，寻求用能系统的合理配置，深入研究用能过程中物质与能量转化的规律以及它们的应用，达到提高能源利用率和减少污染，最终减少能源消耗的目的。科学用能强调依靠科技

术来节能和提高能源利用率，旨在全面、切实地推进循环经济的发展，是实现节能的根本途径，是能源科技发展的必然结果。

“科学用能”主要包含三个层面：一是通过“分配得当、各得所需、温度对口、梯级利用”的方式，不断提高能源及各种资源的综合利用效率，降低环境资源代价；二是通过解决能源与环境的协调相容问题，把能源转换过程与物质转换过程紧密结合在一起，特别注重控制废弃物与污染物的形成、迁移与转化，将能源转换利用过程与分离污染物的过程有机地结合在一起，降低甚至避免分离过程额外的能量消耗，实现在能源利用的同时，分离、回收污染物；三是转变传统的能源利用模式，发展资源、能源、环境一体化模式，实现资源再循环，最大限度地减少“废物”和“废能”。

建议发展生态工业园等能源和资源综合利用、梯级利用生产模式，及燃料电池、分布式供能技术、核能、可再生能源利用等新型能源技术。此外，还应该发展可以有效提高能源利用效率、减少环境污染的新兴能源利用技术，如煤炭的综合利用技术，实现液体燃料、化工产品和能源动力的多联产系统，以及固态照明技术等。与此同时，探索用能管理的新方法、新机制、新模式。

我国能源利用效率与国际上存在较大差距，表明我国节能有很大的潜力，完全有可能通过科学用能来大幅度提高我国的能源利用率，赶上当今的国际先进水平，并进而达到国际领先水平。不仅如此，为了达到比传统工业化国家还要低很多的能耗水平，我们还必须研究科学用能的新思路、新理论、新方法和新技术，以保证我国能源的长期、可靠、清洁的供应。因此，我国的节能和科学用能任重道远。

（二）化石燃料的清洁利用

1. 洁净煤发电技术

我国是世界上少数几个以煤炭为主要能源的国家之一。目前我国的能源消费结构中煤炭占 68%，能源资源条件决定了我国以煤为主的能源消费结构在短期内难以转变，未来煤炭仍将在整个能源过程中发挥不可替代的作用。以燃煤发电产业为例，为满足经济高速增长的需求，我国的发电装机容量逐年增加，2010 年火电装机总量已达 7.1 亿千瓦，比 2005 年的 3.9 亿千瓦增长了近一倍，由此导致污染物排放居高难下。国家“十二五”规划提出，“十二五”期间，国家对四种主要污染物：化学需氧量、氨氮、二氧化硫、氮氧化物实施总排放量控制。在 2011 年，全国总排放量化学需氧量 2500 万吨，氨氮排放量 260 万吨，二氧化硫排放量 2200 万吨，氮氧化物总排放量超过 2400 万吨。其中火电厂是上述污染物的主要来源之一。世界银行发布的《世界发展指标 2011》中列举的世界污染最严重的 20 个城市中，中国占了 13 个，包括天津、重庆、沈阳、郑州、北京等城市。世界银行根据发展趋势预计，2020 年中国因燃煤污染导致的疾病需付出经济代价达 3900 亿美元，占国内生产总值的 13%，发达国家在工业化中后期出现的污染公害已经在我国普遍出现，

煤炭洁净利用问题在中国极为突出。

降低煤在我国能源产业结构中的比重,增加天然气、可再生能源与核能的比重是我国能源结构调整的主要努力方向。2005年,可再生能源开发利用总量(不包括传统方式利用生物质能)约1.66亿吨标准煤,约为2005年全国一次能源消费总量的7.5%,而天然气占能源比重不到3%。通过充分利用水电、沼气、太阳能热利用和地热能等,加快推进风力发电、生物质发电、太阳能发电的产业化发展,可以逐步提高优质清洁可再生能源在能源结构中的比例,力争到2015年使可再生能源消费量达到能源消费总量的9.5%左右,到2020年达到15%左右。同时,预计2020年天然气占能源结构比重将上升到8%左右,核电装机到2020年超过4000万千瓦。通过上述能源结构调整措施,力争到2020年,煤在我国能源结构中的比重下降到55%以下。

目前我国煤炭的主要利用方式是直接燃烧,它提供了我国发电、供热、冶金、化工等行业的主要热源。这种简单的利用方式不仅造成了近1/3的燃料做功能力损失,而且使燃烧产生的污染物稀释在大量的燃烧尾气中,加大了污染物脱除的难度。为此,我国必须开发高效、洁净的新型煤炭利用技术。

近几年,随着我国电力规模的快速扩大以及“上大压小”措施的实施,煤电技术大型化、高效、环保趋势明显。我国已投运和在建的1000MW超超临界发电机组达到了83台,其中,已投入商业运行的机组为21台。蒸汽参数均采用25MPa、600℃等级,平均供电煤耗295gce/(kW·h),技术水平居国内领先水平。预测到2020年,我国新建机组及“上大压小”机组容量达500GW,这为大容量、高参数煤电技术应用带来了较大的市场空间。

近年来,我国CFB锅炉技术向大型化方向发展,已完成了300MW等级CFB锅炉的自主研制和示范运行,并自主开发、设计、制造了600MW超临界循环流化床燃煤示范工程锅炉。CFB锅炉在工程应用领域已经由“十五”期间主要是引进技术占统治地位,转变为300MW及以下规模CFB锅炉以我国技术为主、300MW以上规模CFB锅炉与国外技术相竞争。

我国已开展大型煤气化、合成气低污染重型燃气轮机改造、液体产品合成、系统优化集成及设计、运行及控制等关键技术和系统的研发、验证工作。863计划重大项目“以煤气化为基础的多联产示范工程”所依托的华能天津250MW级IGCC示范工程已经成功运行。

在IGCC的基础上,洁净煤技术发展的另一重要方向是化工—动力多联产系统。化工—动力多联产系统是指通过系统集成把化工生产过程和动力系统有机地耦合在一起,在完成发电、供热等能量转换利用功能的同时,生产替代燃料或化工产品,从而同时满足能源、化工以及环境等多功能、多目标综合的能源利用系统。作为一种广义的洁净煤利用技术,多联产系统综合了化工生产流程与动力系统的特点,试图从能源科学、化工科学与环境科学的交叉领域寻找同时解决资源、能源和环境问题的新途径。研究表明,化工—动力多联产系统相对于化工与动力分产系统可节能15%以上,替代燃料生产与发电成本有望下降20%以上,从而有力推进洁净煤利用技术的扩散。

我国污染物控制技术发展和应用取得世人瞩目的成绩。从我国国情出发,需要发展可资源化污染物控制技术,以提升其资源和环境效益;发展与燃烧过程协同的污染物控制技术,发展更低成本、更高系统集成度的多种污染物联合(一体化)脱除技术;发展适用于水资源短缺地区的节水型、甚至无水型可资源化烟气污染控制技术。

从洁净煤利用技术的发展趋势分析,主要有以下方面。

(1) 洁净煤燃烧与气化

我国目前煤炭利用的能效和洁净化仍落后于世界最先进水平。例如,10万千瓦以下机组占比为11.06%,而美国不到7%;供电煤耗比日本水平高出6.3%;二氧化硫和氮氧化物的排放绩效也比先进水平高。而且,我国仍有大量的分散燃煤锅炉,能源利用效率低,资源浪费严重。中国传统的煤化工企业中,技术水平落后、能源利用效率低、污染物控制难度大的占有相当大比例。与先进节能环保技术水平有很大差距。主要的问题和挑战在于:随着未来我国社会经济的发展,煤炭消费还会进一步增加,会导致更多的排放,这将会与我国目前正在努力减少常规污染和温室气体排放的目标相矛盾。

目前,大型燃煤发电技术已大规模应用,逐步采用超临界和超超临界机组替代亚临界机组。美国、日本、俄罗斯、德国都是超临界及超超临界机组拥有量较多的国家,全世界投入运行的超临界以上的发电机组已有600多台。世界上容量为100~300MW的循环流化床电站锅炉已有百余台投入运行。现已投入运行的最大超临界循环流化床锅炉为波兰Lagisza超临界465MW循环流化床锅炉。

煤气化技术也已大规模应用,成为煤基大宗化学品和液体燃料合成、先进的IGCC发电系统、多联产系统等行业发展的关键技术、核心技术和龙头技术,形成了固定(移动)床、流化床和气流床三种技术流派。20世纪70年代Texaco水煤浆加压气化技术的工业化,大大推进了大型煤气化技术的发展。经过近40年的发展,气流床气化炉已在IGCC技术中得到应用。

煤的高效清洁利用,特别是石油资源短缺和全球气候变暖问题,推动了一些新型煤高效低污染燃烧与气化技术开始进入商业示范阶段。采用温和的热解方法从煤中提取液体燃料和化学品的煤分级转化综合利用技术已逐渐被认识和接受。日本通产省在“21世纪煤炭技术战略”报告中,特别提到了提高燃料利用率的高增值技术,其中把低温快速热解制取燃气、燃油及高价值化学品作为重要研究项目。美国能源部也把从煤中提取部分高品位液体燃料和化学品列入“21世纪能源展望”计划中一项重要内容。

目前煤气化技术发展重点是大型化、高效率和环境友好,其技术应用需要考虑煤种适应性、操作的可靠性和环保特性。未来可能发展的气化技术包括适应煤种的大型煤气化、分级气化、催化气化等。不同于地上煤气化方式,地下煤气化集建井、采矿、运输、气化为一体,实现煤炭全生命周期的综合利用,涉及煤炭地下气化过程稳定控制工艺、适合煤炭地下气化的环保技术、建井技术、气化工作面综合探测技术、煤层顶板管理与地下水的防控技术等关键技术。

化学链燃烧技术,采用载氧体循环反应的间接燃烧形式,是基于近零排放理念的新

型燃烧方式,需要在载体选择、反应器的结构与型式等方面取得突破。化学链气化技术也是一种新颖的气化技术,它以晶格氧替代纯氧作为氧源,较好地实现了能源系统燃料化学能的高效利用与系统零能耗回收 CO_2 的统一,需要解决载体的活性保持和载体强度等基础问题。

煤分级转化技术是基于煤炭各组分具有的不同性质和转化特性,突破传统的利用方式,以煤炭同时作为原料和燃料,将煤的热解、气化、燃烧等过程有机结合,可以实现煤炭分级转化和能量梯级利用。以煤的部分裂解气化制高级油品、半焦燃烧发电、灰渣综合利用为主要特点的煤分级转化综合利用技术可以在同一分级转化系统内获得低成本的煤气、焦油产品和蒸汽产品,获取蒸汽用于电力生产和供热,所生产的煤气可用于化工合成或燃料气,焦油可分馏出各种芳香烃、烷烃、酚类等,从而有效降低煤炭转化过程的复杂程度和成本,提高煤炭利用效率和效益。另外,烟气污染物所含 SO_2 和 NO_x 可分别制取硫酸、硝酸钙等资源,灰渣在提取高价值金属后残渣用于建材原料,实现污染物和灰渣近零排放与资源化综合利用。按照煤种特性、转化途径优化、目标产物定向等,煤分级转化技术可优化灵活组合热解燃烧气化等煤转化方式。不仅可以通过采用热解简单工艺实现煤中挥发分提取,而且可以结合热解气化燃烧过程调节目标产物油气电的比例,同时所得油气初级产物后续品质提升时还可以少加氢。煤的分级转化综合利用技术是近年来得到充分关注的技术。目前仍存在部分关键技术问题有待进一步解决和完善,包括煤的热解特性与运行特性的匹配以及含焦油高温煤气的除尘、冷却和焦油回收等问题。

随着资源、环境等客观条件对煤炭清洁高效低碳利用提出新要求,常规燃烧与气化技术已很难满足,需要新型清洁煤燃烧与气化关键技术取得突破,主要包括以考虑煤发电为主的煤热解气化半焦燃烧分级转化综合利用技术,以考虑 CO_2 减排为主的煤燃烧与气化技术等关键技术。

(2) 洁净煤发电

国际上燃煤火电机组技术发展趋势是提高蒸汽参数,即提高朗肯循环的热端平均温度。在 600°C 等级超超临界发电技术成熟后,发达国家相继启动蒸汽温度达到 700°C 以上的先进超超临界发电技术研究计划,为下一代火电装备的更新提供技术:欧盟从 1998 年开始实施“AD700 计划”,美国从 2001 年开始实施 760°C 先进的超超临界燃煤机组计划,日本从 2008 年开始实施 A-USC 计划。这些计划的实施,预示着 700°C 超超临界发电机技术是未来火力发电技术的重要途径,其发展趋势是提高蒸汽参数,以进一步降低机组的煤耗,减少温室气体和其他污染物排放。目前,国内具备了制造 1000MW 、 25MPa 、 600°C 等级发电机组的基础和能力,预测到 2020 年,新建机组市场容量达 500GW 。但是,在高参数大容量机组的设计及制造、系统优化、高温部件材料等方面与发达国家仍有较大差距,建设超 600°C 大容量等级超临界发电机组系统集成示范、研发超 700°C 关键材料和技术是今后几年的重要任务。

循环流化床燃烧发电技术在近 20 年内迅猛发展,是煤清洁燃烧发电重要技术之一。从国外市场来分析,CFBC 技术是有发展前途的,主要是对亚洲这些地区的环境保护和改