



中国工程科技中长期发展战略研究报告
国家自然科学基金委和中国工程院联合资助

我国高耗能工业 高温热工装备 节能科技发展战略研究

Sci-Tech Development Strategy Research on Energy Saving
of High Energy Consuming Industrial Heating Equipment in China

江东亮 袁渭康 钱锋 刘茜 © 编著



科学出版社

中国工程科技中长期发展战略研究报告
国家自然科学基金委和中国工程院联合资助

我国高耗能工业高温热工装备 节能科技发展战略研究

江东亮 袁渭康 钱 锋 刘 茜 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是《中国工程科技中长期发展战略研究》项目“我国高耗能工业高温热工装备节能科技发展战略研究”的成果汇编。书中系统介绍和分析了我国钢铁、石油与化工、水泥三大高耗能工业高温热工装备的能耗现状、节能科技水平及其发展趋势和应用推广中需要解决的瓶颈问题。基于国内外高温热工装备节能科技应用水平、发展态势、政策特点的对比研究,结合我国中长期发展规划的要求,提出了适合我国国情的高温热工装备节能科技发展战略、发展思路和目标、重点任务、关键技术发展路线图以及推动新型节能高温热工装备及节能材料产业发展的政策建议。

本书适合钢铁工业、石油与化学工业、水泥工业以及其他涉及高温热工装备研发行业的相关生产企业、科研院所、高等院校、政府管理部门的科技人员、管理人员、政策研究人员等阅读参考,也可作为相关高等院校的本科生和研究生的工艺装备选修课教科书。

图书在版编目(CIP)数据

我国高耗能工业高温热工装备节能科技发展战略研究/江
东亮等编著. —北京: 科学出版社, 2016. 10
ISBN 978-7-03-050268-1

I. ①我… II. ①江… III. ①装备产业—节能—研究—中国
IV. ①F264.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 251010 号

责任编辑: 王艳丽

责任印制: 谭宏宇/封面设计: 殷 靓

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

上海蓝鹰文化传播有限公司排版制作

苏州越洋印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 1 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2017 年 1 月第一次印刷 印张: 14 插页: 5

字数: 350 000

定价: 98.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)





江东亮 著名材料科学家、中国工程院院士

1937年9月生,研究员,博士生导师。1992年入选国际陶瓷科学院院士,2001年当选中国工程院院士。历任中国科学院上海硅酸盐研究所副室主任、副所长、高性能陶瓷和超微结构国家重点实验室主任、学术委员会主任等职务。现任中国科学院上海硅酸盐研究所学术委员会主任、高性能陶瓷和超微结构国家重点实验室学术委员会主任、无机材料基因科学创新中心主任。

江东亮院士长期从事先进陶瓷的组成、结构、工艺与性能关系的研究和发展工作。在重大工程领域,针对空间遥感国家战略需求,领导研究团队在国际上独立提出常压固相烧结对制备大尺寸轻量化碳化硅光学部件材料的技术路线,首次成功实现大尺寸轻量化碳化硅光学部件的国产化研制,并相继在“遥感八号”、“嫦娥三号”、“高分二号”等八颗卫星上实现了工程应用,解决了我国空间遥感技术领域的材料瓶颈问题,打破了国外产品禁运和技术封锁,为我国空间遥感技术的快速、跨越式发展做出了重要贡献。针对空间动力系统的国家战略需求,采用纳米复合与原位反应技术,开发了具有自主知识产权的陶瓷基复合材料制备新工艺,成功研制出高稳定陶瓷基复合材料喷管,并首次应用于空间动力系统,填补了国内陶瓷基复合材料在该领域的应用空白,并拓展其应用领域至空间轻量化支撑结构件,提高了空间对地观察精度。在基础研究方面,先后开展氧化铝、氧化钇陶瓷烧结气氛对材料致密化影响、复相陶瓷和仿生结构设计、碳化物或含碳化物复合材料的高温等静压氮化改性工艺等基础研究工作,促进了无机材料科学的发展。在新材料开发和工程应用上,成功研制出高致密微晶氧化铝陶瓷及机械密封件、磁流体发电电极材料、氧化铝轻质/重质耐热混凝土、碳化硅基工程陶瓷、复相陶瓷和陶瓷基复合材料等,并广泛应用于机械、化工、能源、交通和空间等行业,取得了显著的社会和经济效益。

江东亮院士还是第十届全国政协委员。出任多个国家和地方重大及重点科技项目的建议人,并多次参与国家和地方的中长期科技发展规划咨询工作,是中国工程院和中国科学院“中国版材料基因组计划”重大咨询项目专家。

《我国高耗能工业高温热工装备节能 科技发展战略研究》编委会

主 任 江 东 亮

委 员 (按姓氏笔画排列)

王 刚	王兴庆	王辅臣	左家和	叶建克
田 洲	刘 茜	杨明磊	杨 彬	李亚伟
李江涛	李红霞	李进龙	李秋菊	李 楠
张永杰	陈在根	陈克新	陈雪莉	范 琛
郑 万	胡贵华	饶文涛	洪 新	贺 铸
袁渭康	柴俊兰	钱 锋	曹先常	隆 建
蒋 达	韩兵强	傅 剑		

Preface | 序

近些年尽管我国工业节能工作取得了长足的进步,但工业能耗在全国总能耗中仍占较高比重,工业节能一直是我国绿色发展的着力点,研究工业节能科技发展意义重大。该书以“我国高耗能工业高温热工装备节能科技发展的战略研究”为重点,以装备节能和材料工程科技问题为主要内容,通过梳理技术发展脉络,系统探讨我国钢铁、石油与化工、水泥三大工业在国民经济中的战略地位,高温热工装备节能潜力,节能技术发展现状和发展趋势等,较全面地归纳了世界发达国家的相关发展战略,对比分析了国内外相关产业和装备节能技术发展现状及差异,提出了我国上述三大工业高温热工装备节能技术和关键材料的工程问题以及节能科技重点发展方向,总结提炼了技术发展路线图,对研究我国工业高温热工装备节能技术、节能政策和战略有重要参考价值。

该书安排“钢铁工业”、“石油与化学工业”、“水泥工业”、“高温节能耐火材料与技术”共四篇,每一篇独立安排章节,内容依行业不同有所侧重,集中反映了相关工业领域高温热工装备分类和作用、能耗占比、国内外节能关键技术及发展趋势等内容,并综合分析了国内外高耗能工业高温热工装备节能政策对比,提出了我国高温热工装备节能技术中长期发展战略和对策建议。

该书内容丰富,囊括了相关工业领域现役装备能耗分析数据、国内外高耗能工业能耗年度分析报告、国内外高耗能工业高温热工装备节能技术研究论文、专利、综述等,还收集了国内外工业节能政策、法律法规研究报告,全方位论述了工业装备节能的科技潜力和政策高效管控空间。

该书作者江东亮院士是我国著名的无机材料科学家,主持并参与了多个国家和地

方的重大工程科技战略研究及国家和地方的中长期科技发展规划咨询工作。江东亮院士是“我国高耗能工业高温热工装备节能科技发展战略研究”项目负责人,组织多方面工程专家和学者从装备节能科技层面到能源管理政策层面展开了深入细致的调研分析,研究内容充实,特色鲜明,正可谓“俏也不争春,只把春来报”,该书是同类著作中的一本有重要参考价值的好书。

徐德龍

中国工程院院士

中国工程院副院长

二〇一六年五月

Foreword | 前言

能源是经济发展的命脉,是工业发展的血液。目前,我国仍处于重化工业阶段,工业用能需求迫切。我国钢铁、石油和化工(以下简称石化)、水泥三大工业产量连续多年居世界第一,凸显在我国工业现代化进程中发挥的作用。与此同时,上述三大工业能源消耗比重大,节能减排任务艰巨。

国家《节能中长期专项规划》已明确将上述三大工业列为重点节能领域,并将其共性技术——高耗能燃煤工业锅炉(窑炉)等热工装备改造列为十大节能重点工程之首。显而易见,今后一个时期,我国工业节能将战略重点放在高耗能工业领域,以全面实现工业节能减排的目标。

本书研究内容以“我国高耗能工业高温热工装备节能科技发展战略研究”为重点,全面调研分析了我国钢铁、石油和化工、水泥三大高耗能工业现役高温热工装备能耗现状、节能技术进步和发展趋势、节能技术应用推广中需要解决的瓶颈问题,针对性地提出了未来 5~10 年热工装备节能科技发展思路、发展目标、发展重点和政策措施,以推动上述三大工业热工装备科技节能力度和实效,预期可产生广泛和显著的社会影响及经济效益。

就钢铁工业而言,其产值占工业总产值比重约 13%,总能耗约占工业总能耗 23%。热工装备节能科技发展思路 and 重点以提升能效为核心,结合装备结构优化和清洁燃料使用(助燃、燃烧热处理等),通过新材料(保温等)、系统优化、余热余能回收、工艺改善、智能控制等推动装备节能。

石化工业产值占工业总产值比重约 13%,能耗占工业总能耗 18%~20%。高温热工装备(主要包括加热炉、反应炉、焚烧炉、余热锅炉、烟气轮机等)的节能技术发展思路 and 重点从提高能量转换效率、强化传热过程和热功转化效率出发,开展相关热工装备关

键技术的基础和应用研究,规范同类装备的操作和使用,制定能耗考核的统一标准等。

我国水泥近几年产量持续占全球总产量的 60%左右,能耗占国内工业能耗的 7%~8%。新型干法生产线的节能重点是熟料烧成系统(能耗约占水泥生产过程的 82%),节能技术发展思路和重点是持续发展新型干法生产技术和替代原料与燃料技术,达到综合性能先进、智能化程度高的运行水平,以大幅降低烧成热耗,实现节能减排、绿色低碳的可持续发展路径。

上述三大高温流程工业广泛使用耐火材料,通过隔热和保温提高传热效率。因此,节能材料与技术的发展思路和重点是提高服役温度下材料的强度、降低材料的热导率、改善材料的热膨胀相容性、提高材料的抗侵蚀和机械磨耗性能,为高温工业提供服役性能优异的产品。

从工业节能政策层面分析,提出如下三大工业热工装备节能科技发展的政策建议:行政手段和法治并重,强化工业节能减排;增加节能材料与技术研究和应用的财政投入及优惠政策,推动节能工程示范及应用;大力推动装备余热发电、废弃物消纳处置等资源循环利用;加强专利战略分析及布局,增强企业国际竞争力;专业人才培养及产学研用一体化联盟建设,推动技术创新与发展;延伸工业产业链,实现产品高质量、装备大型化、生产集约化,向工业强国迈进。

本书研究工作从 2013 年 7 月开始,耗时两年之久,安排了“钢铁工业专题”、“石油和化学工业专题”、“水泥工业专题”、“高温节能耐火材料与技术专题”共四大篇,每一篇内容依行业不同有所侧重。参加研究工作的专家包括来自上海宝钢节能环保技术有限公司(简称宝钢节能公司)、宝钢钢铁股份有限公司中央研究院(简称宝钢研究院)、上海大学(简称上大)、武汉科技大学(简称武科大)、华东理工大学(简称华理)、中科院理化技术研究所(简称理化所)、中科院上海硅酸盐研究所(简称上硅所)、中钢集团洛阳耐火材料研究院有限公司(简称洛耐院)和国家自然科学基金委员会(简称基金委)9 个单位的 30 余位高级研究人员。其中陈在根总经理(宝钢节能公司)、洪新教授(上大)、张永杰教授级高工(宝钢研究院)、李楠教授(武科大)、饶文涛教授级高工(宝钢研究院)、李秋菊副教授(上大)、曹先常总工(宝钢节能公司)、李亚伟教授(武科大)、郑万教授(武科大)、贺铸副教授(武科大)负责“钢铁工业篇”撰写;李进龙副教授(华理)、胡贵华讲师(华理)、田洲助教(华理)、杨明磊讲师(华理)、陈雪莉副教授(华理)、范琛助教(华理)、隆建助教(华理)、蒋达助教(华理)、李江涛研究员(理化所)、王辅臣教授(华理)、钱锋院士(华理)、袁渭康院士(华理)负责“石油与化学工业篇”撰写;江东亮院士(上硅所)、陈克新研究员(基金委)、刘茜研究员(上硅所)、李江涛研究员(理化所)、韩兵强教授(武科大)、陈义祥高工(理化所)、韩召博士后(理化所)、王峰博士后(理化所)、叶建克助研(理化所)、柴俊兰教授级高工(洛耐院)、李亚伟教授(武科大)、李楠教授(武科大)、傅剑高工(上硅所)负责“水泥工业篇”撰写;洛耐院的李红霞院长、王刚教授级高工、柴俊兰教授级高工、杨彬教授级高工负责“高温节能耐火材料与技术篇”撰写。

调研期间还走访了一些行业协会和企业,召开了各专题领域内的高层专家咨询会,收到来自不同领域专家提出的宝贵意见和建议。钢铁专题咨询专家是:蔡九菊教授(东北大学)、区铁教授级高工(武钢研究院)、温治教授(北京科技大学)、郑忠教授(重庆大学)、姜华教授级高工(宝钢股份公司)、顾剑锋教授(上海交通大学)、付建勋教授(上海大学)、张幸副教授(上海交通大学)。石油与化学工业专题咨询专家是:曹建军教授级高工(中石化经济技术研究院优化中心)、陈广卫教授(中石化能源管理环境保卫处)、鹿长荣主任(中国化工集团公司科技部)、曲思建院长(煤炭科学研究总院煤化工分院)、张方教授级高工(中国石油和化学工业规划院)。水泥和耐火材料专题咨询专家是:范永斌秘书长(中国水泥协会)、蔡玉良总工(南京水泥设计院)、俞为民总工(天津水泥设计研究院)、章嗣福部长(海螺水泥)、胡贞武副总(华新水泥)、蒋晓臻副总(南方水泥)、杜善国院长(中国铝业山东有限公司)、王少武教授级高工(中国铝业山东有限公司)、张海波高工(金隅集团通达股份)、王杰曾副总工(瑞泰科技)以及南京工业大学的许仲梓教授、沈晓冬教授、吕忆农教授、叶旭初教授、考宏涛副教授、韩立发高工、唐明亮副教授。在这里向所有咨询专家表示敬意,并衷心感谢他们提出的宝贵意见和建议以及给予的鼓励和支持。



二〇一六年八月

序
前言

钢铁工业篇

第 1 章	钢铁工业的战略地位与能耗现状	3
1.1	钢铁工业在国民经济中的地位及工业发展概况	3
1.2	钢铁工业能源结构与消耗现状分析	3
第 2 章	钢铁工业高温热工装备能效分析与节能技术发展趋势	6
2.1	高温热工装备界定与内涵	6
2.2	主要高温热工装备能效分析	6
2.3	主要高温热工装备节能技术发展趋势	18
第 3 章	我国钢铁工业高温热工装备节能技术发展目标 and 重点任务	27
3.1	热工装备节能技术发展思路	27
3.2	热工装备节能技术发展目标	28
3.3	热工装备节能技术发展重点任务	40
3.4	热工装备节能技术发展技术路线图	41

3.5	重点支持的节能技术研发项目	44
第4章	我国钢铁工业高温热工装备节能科技发展政策建议	45
4.1	国内外钢铁工业装备节能政策对比分析	45
4.2	我国钢铁工业装备节能科技发展的资助机制和政策建议	47
	参考文献	49

石油与化学工业篇

第5章	石油与化学工业的战略地位与应用价值	55
5.1	石油与化学工业在国民经济中的地位及工业发展概况	55
5.2	石油与化学工业能源结构与消耗现状分析	56
5.3	石油与化学工业节能潜力分析	60
第6章	石油与化学工业高温热工装备能效分析与节能技术发展趋势	63
6.1	石油与化学工业研究目标界定与内涵	63
6.2	高温热工装备能效分析	64
6.3	主要高温热工装备节能技术发展趋势	76
6.4	其他高温热工装备能效和技术发展趋势	90
第7章	我国石油与化学工业高温热工装备节能技术发展目标 and 重点任务	93
7.1	热工装备节能技术发展思路	93
7.2	热工装备节能技术发展目标	97
7.3	热工装备节能技术发展重点任务	100
7.4	热工装备节能技术发展技术路线图	104
7.5	重点支持的节能技术研发项目名录	109
7.6	其他热工装备发展目标和重点任务	112
第8章	我国石油与化学工业热工装备节能科技发展政策建议	114
8.1	国内外石油与化学工业装备节能政策对比分析	114
8.2	我国石油与化学工业装备节能科技发展的资助机制和政策建议	121
	参考文献	124

水泥工业篇

第 9 章 水泥工业的战略地位与应用价值	129
9.1 水泥工业在国民经济中的地位及发展概况	129
9.2 水泥工业能源结构与能源消耗现状分析	132
第 10 章 水泥工业高温热工装备能效分析与节能技术发展趋势	138
10.1 水泥工业高温热工装备的界定及功能	138
10.2 主要高温热工装备节能潜力分析及节能技术发展	139
10.3 高温热工装备节能技术专利战略分析	151
第 11 章 我国水泥工业高温热工装备节能技术发展目标 and 重点任务	156
11.1 高温热工装备节能技术发展思路	156
11.2 高温热工装备节能技术发展目标及路线图	156
11.3 高温热工装备节能技术发展重点任务	159
11.4 重点支持的高温热工装备节能技术研发项目名录	160
第 12 章 我国水泥工业热工装备节能科技发展政策建议	161
12.1 国内外工业节能政策对比分析	161
12.2 我国水泥工业装备节能科技发展的资助机制和政策建议	165
参考文献	167

高温节能耐火材料与技术篇

第 13 章 耐火材料与高温节能	173
13.1 耐火材料是高温工业的基础材料	173
13.2 耐火材料是高温工业节能重要相关技术	178
第 14 章 高温节能耐火材料的技术发展现状和态势	183
14.1 耐火材料发展规律和现状	183
14.2 隔热和节能耐火材料发展现状	187

14.3	高温节能耐火材料和技术的发展态势	188
第 15 章	高温节能耐火材料和技术发展战略	193
15.1	发展思路	193
15.2	发展目标和任务	194
15.3	发展重点	195
15.4	需要发展的重大关键共性技术	198
15.5	建议重点支持的研发项目目录	199
15.6	推动节能耐火材料与技术研发及应用的机制和政策建议	200
	参考文献	202
附录 1	国内外相关工业节能的法规和政策目录(部分)	204
附录 2	缩略语和计量单位注释	208
	彩图	

钢铁工业篇



第 1 章

钢铁工业的战略地位与能耗现状

1.1 钢铁工业在国民经济中的地位及工业发展概况

钢铁工业能够提供一切工具、装备、建筑、运输、武器等的原材料,是现代社会生产和扩大再生产的物质基础,在国民经济发展中处于无可替代的重要地位。钢铁产量是衡量一个国家经济发展、工业化水平和国防实力的代表性重要实物指标之一。我国是钢铁生产大国,近几年我国钢铁产量大幅增加。表 1.1 列出 2012~2014 年我国钢铁工业主要产品的产量。

表 1.1 2012~2014 年我国钢铁工业主要产品产量情况 (单位: 万吨)

年份 \ 品种	粗钢	生铁	钢材	焦炭	铁矿石	成品钢材
2014	82 270	71 160	112 557	47 691	151 424	79 779
2013	77 904	70 897	106 762	47 635	145 101	74 999
2012	72 445	66 733	95 877	44 053	131 987	69 738

1.2 钢铁工业能源结构与消耗现状分析

1.2.1 典型大中型钢厂的能耗状况

目前,我国钢铁工业总能耗占全国总能耗的 16.3%,钢铁工业能耗约占工业总能耗的 23%,钢铁工业是能源消耗大户。钢铁生产流程主要分为两种:以铁矿石为主要原料的长流程联合钢厂和以废钢为主要原料的短流程电炉钢厂。长流程工序通常包括烧结、炼焦、高炉等高耗能装备,其能耗要显著高于短流程钢厂,我国长流程钢铁生产占钢铁生产的 80%以上。长流程钢铁生产中的主要工序有炼焦、烧结、高炉、转炉、精炼、热轧、冷轧等。辅助生产环节包括供电、供水、排水、燃气、热力、通风除尘、生活设施、运输、建筑等。

近年来我国钢铁工业节能工作取得显著成绩,吨钢综合能耗、各工序能耗逐年下降。2013 年全国重点钢铁企业吨钢综合能耗、焦化、烧结、高炉、转炉、轧钢工序能耗和吨钢耗新水指标与 2012 年相比均有不同程度的下降。部分钢铁企业的部分能耗指标已达到或接近