

中国工程院咨询研究报告

中国煤炭清洁高效可持续开发利用战略研究

谢克昌 / 主编

第10卷

煤炭利用过程中的节能技术

金 涌 陈 勇 等 / 编著



科学出版社

中国工程院咨询研究报告

中国煤炭清洁高效可持续开发利用战略研究

谢克昌 / 主编

第10卷

煤炭利用过程中的节能技术

金涌 陈勇 等 / 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是《中国煤炭清洁高效可持续开发利用战略研究》丛书之一。

本书以实现节能为目标,针对我国石化、化工、有色金属、钢铁、建材、造纸、纺织等七大高耗能行业煤炭利用过程中的节能问题开展了研究。通过调研分析了解我国重点耗煤行业的技术现状,并与国外先进技术进行比较分析,采用SWOT分析和全生命周期评价方法分析并指出重点技术发展方向,提出了各行业煤炭清洁高效开发利用的战略思想、目标、技术路线图和保障措施建议。

本书适合从事能源、煤化工、环境工程、工程设计等领域的技术人员和研究人员参阅,也可供大专院校相关专业师生,以及政府和煤炭企业的管理人员等参考。

图书在版编目(CIP)数据

煤炭利用过程中的节能技术 / 金涌等编著. —北京: 科学出版社, 2014. 10

(中国煤炭清洁高效可持续开发利用战略研究 / 谢克昌主编; 10)

“十二五”国家重点图书出版规划项目 中国工程院咨询研究报告

ISBN 978-7-03-040341-4

I. ①煤… II. 金… III. ①煤炭利用-节能-研究-中国

IV. ①TD849

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 063517 号

责任编辑: 李 敏 周 杰 张 震 / 责任校对: 张小霞

责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 黄华斌

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>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014 年 10 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2014 年 10 月第一次印刷 印张: 11 1/2

字数: 280 000

定价: 98.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

中国工程院重大咨询项目

中国煤炭清洁高效可持续开发利用战略研究 项目顾问及负责人

项目顾问

徐匡迪 中国工程院 十届全国政协副主席、中国工程院主席团名誉主席、原院长、院士

周 济 中国工程院 院长、院士

潘云鹤 中国工程院 常务副院长、院士

杜祥琬 中国工程院 原副院长、院士

项目负责人

谢克昌 中国工程院 副院长、院士

课题负责人

第1课题	煤炭资源与水资源	彭苏萍
第2课题	煤炭安全、高效、绿色开采技术与战略研究	谢和平
第3课题	煤炭提质技术与输配方案的战略研究	刘炯天
第4课题	煤利用中的污染控制和净化技术	郝吉明
第5课题	先进清洁煤燃烧与气化技术	岑可法
第6课题	先进燃煤发电技术	黄其励
第7课题	先进输电技术与煤炭清洁高效利用	李立涅
第8课题	煤洁净高效转化	谢克昌
第9课题	煤基多联产技术	倪维斗
第10课题	煤利用过程中的节能技术	金 涌
第11课题	中美煤炭清洁高效利用技术对比	谢克昌
综合组	中国煤炭清洁高效可持续开发利用	谢克昌

本卷研究组成员

组 长

金 涌 清华大学 院士

副组长

陈 勇 中国科学院广州能源研究所 院士
赵黛青 中国科学院广州能源研究所 研究员
马晓茜 华南理工大学 教授
胡山鹰 清华大学 教授
王辅臣 华东理工大学 教授

成 员

郭华芳 中国科学院广州能源研究所 研究员
朱 兵 清华大学 教授
廖艳芬 华南理工大学 教授
陈雪莉 华东理工大学 教授
廖翠萍 中国科学院广州能源研究所 研究员
呼和涛力 中国科学院广州能源研究所 副研究员
袁浩然 中国科学院广州能源研究所 副研究员
代正华 华东理工大学 副教授
李伟锋 华东理工大学 副教授
陈定江 清华大学 副教授
张文俊 清华大学 博士后
余昭胜 华南理工大学 讲师
吴 婕 华南理工大学 讲师
许建良 华东理工大学 讲师
孙海英 清华大学 助研

序 一

近年来，能源开发利用必须与经济、社会、环境全面协调和可持续发展已成为世界各国的普遍共识，我国以煤炭为主的能源结构面临严峻挑战。煤炭清洁、高效、可持续开发利用不仅关系我国能源的安全和稳定供应，而且是构建我国社会主义生态文明和美丽中国的基础与保障。2012年，我国煤炭产量占世界煤炭总产量的50%左右，消费量占我国一次能源消费量的70%左右，煤炭在满足经济社会发展对能源的需求的同时，也给我国环境治理和温室气体减排带来巨大的压力。推动煤炭清洁、高效、可持续开发利用，促进能源生产和消费革命，成为新时期煤炭发展必须面对和要解决的问题。

中国工程院作为我国工程技术界最高的荣誉性、咨询性学术机构，立足我国经济社会发展需求和能源发展战略，及时地组织开展了“中国煤炭清洁高效可持续开发利用战略研究”重大咨询项目和“中美煤炭清洁高效利用技术对比”专题研究，体现了中国工程院和院士们对国家发展的责任感和使命感，经过近两年的调查研究，形成了我国煤炭发展的战略思路 and 措施建议，这对指导我国煤炭清洁、高效、可持续开发利用和加快煤炭国际合作具有重要意义。项目研究成果凝聚了众多院士和专家的集体智慧，部分研究成果和观点已经在政府相关规划、政策和重大决策中得到体现。

对院士和专家们严谨的学术作风和付出的辛勤劳动表示衷心的感谢。

徐匡迪

2013年11月6日

序 二

煤炭是我国的主体能源，我国正处于工业化、城镇化快速推进阶段，今后较长一段时期，能源需求仍将较快增长，煤炭消费总量也将持续增加。我国面临着以高碳能源为主的能源结构与发展绿色、低碳经济的迫切需求之间的矛盾，煤炭大规模开发利用带来了安全、生态、温室气体排放等一系列严峻问题，迫切需要开辟出一条清洁、高效、可持续开发利用煤炭的新道路。

2010年8月，谢克昌院士根据其长期对洁净煤技术的认识和实践，在《新一代煤化工和洁净煤技术利用现状分析与对策建议》（《中国工程科学》2003年第6期）、《洁净煤战略与循环经济》（《中国洁净煤战略研讨会大会报告》，2004年第6期）等先期研究的基础上，根据上述问题和挑战，提出了《中国煤炭清洁高效可持续开发利用战略研究》实施方案，得到了具有共识的中国工程院主要领导和众多院士、专家的大力支持。

2011年2月，中国工程院启动了“中国煤炭清洁高效可持续开发利用战略研究”重大咨询项目，国内煤炭及相关领域的30位院士、400多位专家和95家单位共同参与，经过近两年的研究，形成了一系列重大研究成果。徐匡迪、周济、潘云鹤、杜祥琬等同志作为项目顾问，提出了大量的指导性意见；各位院士、专家深入现场调研上百次，取得了宝贵的第一手资料；神华集团、陕西煤业化工集团等企业在人力、物力上给予了大力支持，为项目顺利完成奠定了坚实的基础。

“中国煤炭清洁高效可持续开发利用战略研究”重大咨询项目涵盖了煤炭开发利用的全产业链，分为综合组、10个课题组和1个专题组，以国内外已工业化和近工业化的技术为案例，以先进的分析、比较、评价方法为手段，通过对有关煤的清洁高效利用的全局性、系统性、基础性问题的深入研究，提出了科学性、时效性和操作性强的煤炭清洁、高效、可持续开发利用战略方案。

《中国煤炭清洁高效可持续开发利用战略研究》丛书是在10项课题研究、1项专题研究和项目综合研究成果基础上整理编著而成的，共有12卷，对煤炭的开发、输配、转化、利用全过程和中美煤炭清洁高效利用技术等进行了系统的调研和分析研究。

综合卷《中国煤炭清洁高效可持续开发利用战略研究》包括项目综合报告及10个课题、1个专题的简要报告，由中国工程院谢克昌院士牵头，分析了我国煤炭清洁、高效、可持续开发利用面临的形势，针对煤炭开发利用过

程中的一系列重大问题进行了分析研究，给出了清洁、高效、可持续的量化指标，提出了符合我国国情的煤炭清洁、高效、可持续开发利用战略和政策措施建议。

第1卷《煤炭资源与水资源》，由中国矿业大学（北京）彭苏萍院士牵头，系统地研究了我国煤炭资源分布特点、开发现状、发展趋势，以及煤炭资源与水资源的关系，提出了煤炭资源可持续发展的战略思路、开发布局和政策建议。

第2卷《煤炭安全、高效、绿色开采技术与战略研究》，由四川大学谢和平院士牵头，分析了我国煤炭开采现状与存在的主要问题，创造性地提出了以安全、高效、绿色开采为目标的“科学产能”评价体系，提出了科学规划我国五大产煤区的发展战略与政策导向。

第3卷《煤炭提质技术与输配方案的战略研究》，由中国矿业大学刘炯天院士牵头，分析了煤炭提质技术与产业相关问题和煤炭输配现状，提出了“洁配度”评价体系，提出了煤炭整体提质和输配优化的战略思路与实施方案。

第4卷《煤利用中的污染控制和净化技术》，由清华大学郝吉明院士牵头，系统研究了我国重点领域煤炭利用污染物排放控制和碳减排技术，提出了推进重点区域煤炭消费总量控制和煤炭清洁化利用的战略思路和政策建议。

第5卷《先进清洁煤燃烧与气化技术》，由浙江大学岑可法院士牵头，系统分析了各种燃烧与气化技术，提出了先进、低碳、清洁、高效的煤燃烧与气化发展路线图和战略思路，重点提出发展煤分级转化综合利用技术的建议。

第6卷《先进燃煤发电技术》，由东北电网有限公司黄其励院士牵头，分析评估了我国燃煤发电技术及其存在的问题，提出了燃煤发电技术近期、中期和远期发展战略思路、技术路线图和电煤稳定供应策略。

第7卷《先进输电技术与煤炭清洁高效利用》，由中国南方电网公司李立浃院士牵头，分析了煤炭、电力流向和国内外各种电力传输技术，通过对输电和输煤进行比较研究，提出了电煤输运构想和电网发展模式。

第8卷《煤洁净高效转化》，由中国工程院谢克昌院士牵头，调研分析了主要煤基产品所对应的煤转化技术和产业状况，提出了我国煤转化产业布局、产品结构、产品规模、发展路线图和政策措施建议。

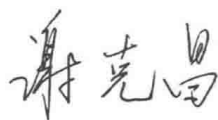
第9卷《煤基多联产技术》，由清华大学倪维斗院士牵头，分析了我国煤基多联产技术发展的现状和问题，提出了我国多联产系统发展的规模、布局、发展战略和路线图，对多联产技术发展的政策和保障体系建设提出了建议。

第10卷《煤炭利用过程中的节能技术》，由清华大学金涌院士牵头，调研分析了我国重点耗煤行业的技术状况和节能问题，提出了技术、结构和管理三方面的节能潜力与各行业的主要节能技术发展方向。

第11卷《中美煤炭清洁高效利用技术对比》，由中国工程院谢克昌院士牵头，对中美两国在煤炭清洁高效利用技术和发展路线方面的同异、优劣进行了深入的对比分析，为中国煤炭清洁、高效、可持续开发利用战略研究提供了支撑。

《中国煤炭清洁高效可持续开发利用战略研究》丛书是中国工程院和煤炭及相关行业专家集体智慧的结晶，体现了我国煤炭及相关行业对我国煤炭发展的最新认识和总体思路，对我国煤炭清洁、高效、可持续开发利用的战略方向选择和产业布局具有一定的借鉴作用，对广大的科技工作者、行业管理人员、企业管理人员都具有很好的参考价值。

受煤炭发展复杂性和编写人员水平的限制，书中难免存在疏漏、偏颇之处，请有关专家和读者批评、指正。



2013年11月

前 言

由于化石能源的日益紧缺、资源能源价格的不断上涨以及国家对污染物排放的要求越加严格,煤炭清洁利用技术得到更加重视和快速发展,2011年中国的煤炭消费量占到了总能耗的68.4%。煤炭在为国民经济做贡献的同时,也带来了若干能源消费和环境污染问题。我国工业的煤炭消费量达到了 $3.262\times 10^9\text{t}$,其中石化、钢铁、建材、化工、有色金属、造纸和纺织等高耗能行业煤炭消费 $1.197\times 10^9\text{t}$,占到工业用煤的36.7%。在行业的能源消费结构中煤炭占到不小的比重,尤其钢铁和建材行业的煤炭消耗比重均高于70%。高耗能行业以煤为主的能源消费结构,还将继续给节能环保带来技术和管理难题,行业自身生产力的发挥受节能减排的限制还面临着巨大的挑战。高耗能行业除了能源短缺、能效偏低以及环境污染等问题以外,还存在科学技术落后、生产安全、职工职业健康以及政策、法规、行业节能管理的缺陷等诸多的问题。同时,全球低碳发展的需求和国家对节能技术的引进、研发和推广的支持给高耗能行业的清洁高效发展带来了机遇和挑战。

高耗能行业由于工序复杂、物料繁多、能耗较大,现有多种节能技术已被广泛应用。节能技术可有效降低单位产品的能耗,提高能源加工转化效率,同时直接或间接地减少煤炭的消耗量。高耗能行业产品平均能效的国内外水平还有较大的差距,主要工业产品综合能耗相比国际先进水平平均高出了30%,因此节能潜力还有很大的空间。“十一五”期间,我国单位国内生产总值(GDP)能耗下降了19.1%,全国二氧化硫排放量减少了14.29%,全国化学需氧量排放量减少了12.45%,通过节能提高能效,少消耗能源 $6.3\times 10^8\text{tce}$,减少二氧化碳排放 $1.46\times 10^9\text{t}$,为应对全球气候变化做出了重要贡献。“十二五”期间,中国高耗能行业 and 重点耗能企业面临煤炭供应紧张、价格上涨、化石能源消耗比重进一步下调以及节能考核力度加大的压力,需完成的万元工业增加值能耗下降18%~20%。而这一目标的完成,对全社会完成单位GDP能耗下降16%的节能目标,有着至关重要的影响。因此,推动高耗能行业煤炭利用过程中的节能是我国可持续发展战略的重大需求。

本书围绕我国石化、钢铁、建材、化工、有色金属、造纸、纺织等七个非煤、电耗能行业煤炭利用过程中的节能问题开展研究,突出了发展要以节

能为本的重要理念，强调了煤炭利用过程中节能问题对高耗能行业的可持续发展的作用。书中系统地比较了国内煤炭利用过程中的技术同世界先进水平之间的差距，掌握当前中国高耗能行业煤炭利用技术水平；通过运用SWOT分析和全生命周期评价（LCA）对各行业煤炭利用过程进行全面分析，从市场需求、产业目标、技术壁垒和研发需求等方面绘制出各行业煤炭利用节能技术的时空路线图；指出了实现战略目标的途径，即树立节能为本的理念，明确煤炭利用中的节能思路，建立具有指导性和可操作性的节能规划，在梯级利用、科学用能原则指导下，对生产流程、企业用能系统，乃至跨行业的产业园区用能系统进行综合优化和科学管理，全面挖掘技术节能、结构节能以及管理等三方面的节能潜力，提升煤炭利用的总效率；同时，提出了国内高耗能行业煤炭利用过程中节能技术的一些政策建议和保障措施。因此，本书可以作为我国节能及煤炭清洁高效利用技术战略发展和模式的一种参考。

本书提出，七大高耗能行业所消耗的煤炭约占工业用煤的1/3以上，其中石化、钢铁、建材和化工行业的煤炭消耗约占七大行业的90%，应成为重点节能对象；高耗能行业煤炭利用过程中的重点节能技术方向主要有以下几个方面：煤气化及煤-天然气共气化制备合成气技术、二次能源高效转换技术、高炉高效率喷煤及喷吹塑料技术、工业锅炉窑炉替代燃料混烧代煤技术。这些节能技术的普及和应用，将有效降低各高耗能行业产品单耗，直接或间接减少煤炭资源的消耗，为促进“十二五”的节能率目标做出重要贡献。高耗能行业的节能包括结构节能、技术节能和管理节能，在节能中除了技术节能以外，应认识到结构节能和管理节能贡献的重要性。

本书共分为7章，第1章介绍国内外重点高耗能行业的能源消耗情况、煤炭利用现状以及今后的发展趋势；第2章介绍了针对高耗能行业节能情况进行总体总结并归纳各行业重点节能环节及技术的应用状况，同时与国外先进技术进行了比较，并分析了差距存在的原因；第3章针对高耗能行业煤炭清洁高效利用所面临的挑战和机遇，分别从煤炭利用与经济发展可持续矛盾、煤炭利用能源效率与环境问题、煤炭利用中的安全和职业健康问题、煤炭利用中的人才和职工队伍素质约束、煤炭利用中存在的科学技术瓶颈和煤炭利用中的政策管理等方面进行论述。第4章通过运用SWOT分析和LCA分析法对各行业煤炭利用过程进行全面分析提出煤炭利用的总体原则、整体布局 and 战略目标；第5章里总结并提出了煤炭利用过程中的重点节能技术方向；第6章针对第5章所提出的重点节能技术进行节能潜力分析，并计算获得了节能贡献度；第7章从产业政策、金融财政、科技创新、人力资源及管理体制等方面，对高耗能行业煤炭清洁高效可持续发展的提出了几点保障措施。

施和建议。

本书是《中国煤炭清洁高效可持续开发利用战略研究》丛书的第10卷，研究工作由清华大学、中国科学院广州能源研究所、华南理工大学、华东理工大学等单位共同完成。在此，谨对上述合作单位和人员一并表示衷心的感谢！

由于我们的知识范围和经验所限，书中难免存在疏漏和不妥之处，真诚地希望读者批评指正。

作 者

2013年12月

目 录

第 1 章 国内外重点高耗能行业能源结构和煤炭消费概况	(1)
1.1 重点高耗能行业能源结构	(1)
1.2 重点高耗能行业煤炭利用现状及发展趋势	(16)
1.3 本章小结	(29)
第 2 章 重点高耗能行业煤炭利用过程的节能技术	(31)
2.1 各种节能技术	(31)
2.2 节能潜力分析	(45)
2.3 “十一五”节能目标完成情况	(51)
2.4 “十二五”节能目标	(60)
2.5 本章小结	(65)
第 3 章 中国重点高耗能行业煤炭清洁高效利用面临的挑战和机遇	(66)
3.1 石化行业	(66)
3.2 化工行业	(69)
3.3 有色金属行业	(71)
3.4 钢铁行业	(73)
3.5 建材行业	(78)
3.6 造纸行业	(82)
3.7 纺织行业	(85)
3.8 本章小结	(89)
第 4 章 中国重点高耗能行业煤炭清洁高效利用的原则和总体战略	(91)
4.1 石化行业	(91)
4.2 化工行业	(97)
4.3 有色金属行业	(100)
4.4 钢铁行业	(102)
4.5 建材行业	(109)
4.6 造纸行业	(117)
4.7 纺织行业	(129)
4.8 本章小结	(147)
第 5 章 中国高耗能行业煤炭利用过程的重点节能技术方向	(148)
5.1 煤气化及煤-天然气共气化制备合成气技术	(148)
5.2 二次能源高效转换技术	(148)
5.3 高炉高效率喷煤及喷吹塑料技术	(150)
5.4 工业锅炉窑炉替代燃料混烧代煤技术	(150)

5.5 重点节能技术路线图 (151)

5.6 本章小结 (152)

第6章 煤炭利用过程的节能技术对高耗能行业节煤、节能的贡献度分析 (153)

6.1 高耗能行业煤炭利用过程的节能途径 (153)

6.2 “十二五”期间各行业节能结构及节能量 (153)

6.3 “十二五”期间各行业综合节能贡献度 (158)

6.4 本章小结 (159)

第7章 高耗能行业煤炭清洁高效可持续发展的保障措施及建议 (160)

7.1 行业共性的保障措施及建议 (160)

7.2 行业个性的保障措施及建议 (161)

7.3 本章小结 (162)

参考文献 (163)

第 1 章

国内外重点高耗能行业能源
结构和煤炭消费概况

中国的煤炭消耗量占到能源总消耗量的 70% 以上，这也是造成若干能源和环境问题的根本原因。重点高耗能行业，如石化、化工、有色金属、钢铁、建材、造纸和纺织等 7 个行业的煤炭消耗量在非煤、非电行业中所占比重非常大。这些行业的能源结构以煤炭为主，与发达国家的能源结构相比煤炭的比重偏高，并且平均能效与世界先进水平差距依然较大。由于化石能源越用越少、国家对污染物排放的要求越加严格，以及煤炭资源的价格不断上涨，在全球范围内清洁煤炭利用技术得到重视并发展。本章将介绍重点高耗能行业的能源消耗情况、煤炭利用现状及今后的发展趋势等内容。

1.1 重点高耗能行业能源结构

1.1.1 石化行业

石化行业既是国民经济各行业能源和基础原材料的供应大户，也是资源及能源的消耗大户。石化行业是对能源依赖度很高的行业，因为能源既是燃料、动力，又是原料，当作原料的能源占 40% 左右（不含原油加工）。

2011 年，全国石化行业的煤炭消费总量约为 3.43×10^9 t，其中石油加工、炼焦及核燃料加工业能源消耗量约为 3.409×10^8 t，化学纤维制造业的能源消耗量为 6.51×10^6 t，橡胶制品业能源消耗量为 4.68×10^6 t，塑料制品业的能源消耗量为 3.53×10^6 t。全行业煤炭消耗量占全国总煤炭消耗量的 10.4%，占工业煤炭消耗量的 10.9%。2005~2011 年石化行业煤炭消耗量见表 1-1。

表 1-1 2005~2011 年石化行业煤炭消耗量 (单位: 10⁴t)

年份	总消耗量	工业	石油加工、炼焦及 核燃料加工业	化学纤维 制造业	橡胶制品业	塑料制品业
2005	231 851	215 493	19 753	813	443	280
2006	255 065	238 510	22 944	830	457	294
2007	272 746	256 203	25 000	887	457	286
2008	281 096	265 574	26 438	751	458	312
2009	295 833	279 889	27 205	733	454	367
2010	312 237	296 032	29 781	589	508	378
2011	342 950	326 230	34 087	651	468	353

资料来源:国家统计局,中国能源统计年鉴 2006—2012. 北京:中国统计出版社

2011 年石化行业终端能源消耗量（按能源种类分）见表 1-2。

表 1-2 2011 年石化行业终端能源消耗量 (单位：10⁴tce)

行 业	终端消耗合计		煤炭	焦炭	电力	石油	气类	热力
	发电煤耗计 算法	电热当量计 算法						
工业合计	231 963	168 234	50 413	43 170	21 562	5 973	7 799	39 317
石油加工、炼焦及核燃料加工业	13 804	12 725	932	1 086	746	8 114	794	1 053
化学纤维制造业	1 511	886	208	3	396	38	7	234
橡胶制品业	1 520	823	275	5	441	33	18	51
塑料制品业	2 016	982	197	4	654	91	25	11
合计	18 851	15 417	1 612	1 098	2 238	8 276	844	1 349

注:tce 表示吨标准煤。
资料来源:国家统计局. 中国能源统计年鉴 2012. 北京:中国统计出版社

由图 1-1 可见石化行业能源消耗以石油为主，比例达到 54%，其次为电力和煤炭，分别占 15% 和 10%。

1.1.2 化工行业

我国化工行业的能源消耗量仅次于钢铁及建材行业的能源消耗量，在各行业部门中居第三位。2011 年化工行业能源总消耗量为 2.733×10⁸tce，占工业能源总消耗量的 16.1%。化工行业以煤炭、焦炭、石油和电力为主，2011 年四者占化工行业能源总消耗量的 80%，其中煤炭和焦炭消耗折标准煤占化工行业能源总消耗量的 40%，石油占化工行业能源总消耗量的 24%，电力和热力占化工行业能源总消耗量的 25%（图 1-2）。

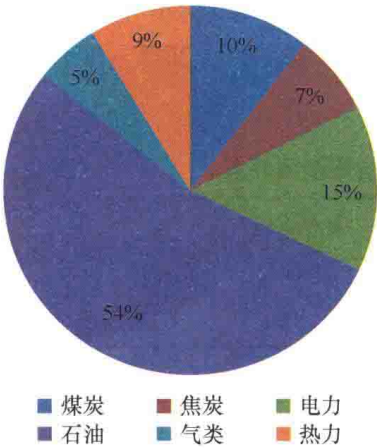


图 1-1 2011 年石化行业终端能源消耗比例

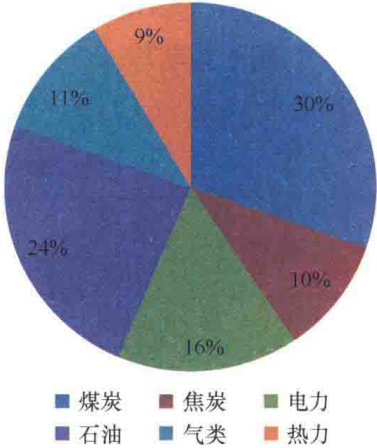


图 1-2 2011 年中国化工行业能源结构图

资料来源:国家统计局. 2012. 中国能源统计年鉴. 北京:中国统计出版社

图 1-3 和图 1-4 分别显示了英国和日本的化工行业能源消费结构图。由图可以看出，英国的化工行业的能源消费主要以天然气为主，比重约占 50%，而日本主要以石油为

主，占行业总能源消费的 79.5%。

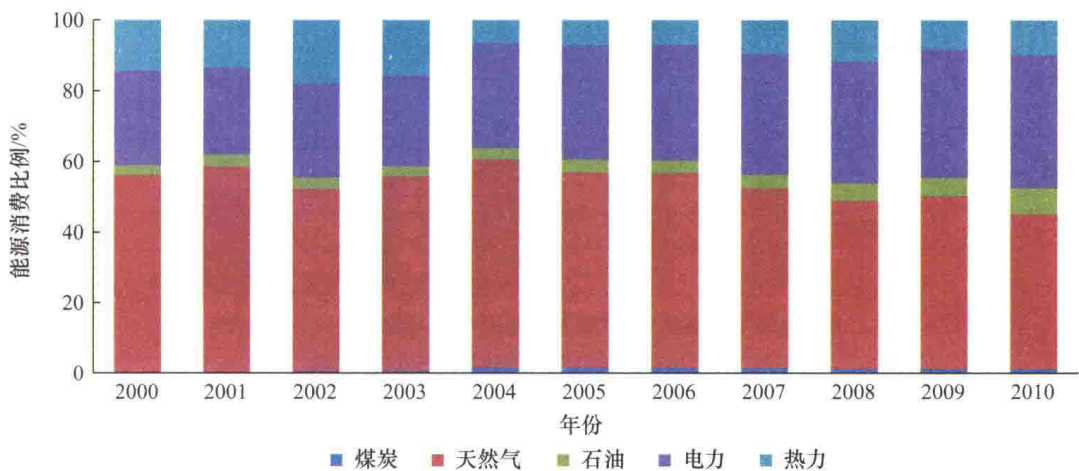


图 1-3 英国化工行业能源消费结构

资料来源：英国政府网. 2013. Statistics, Energy: chapter1 (DUKES)

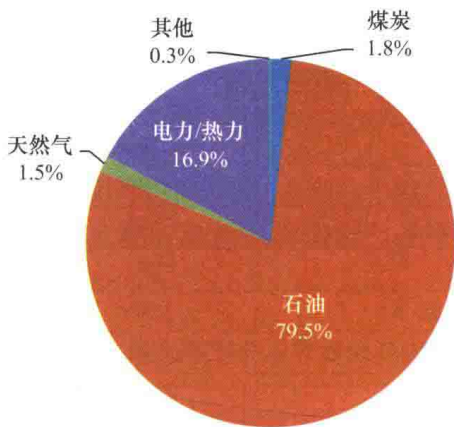


图 1-4 2010 年日本化工行业能源消费结构

资料来源：日本资源能源厅网站，2011

1.1.3 有色金属行业

有色金属行业既是国民经济的重要组成部分，又是现代工业体系的重要基础，产品广泛应用于电子信息、电力、交通运输、建材、军工、航空航天、机械设备等众多领域，具有极强的战略地位。新中国成立后，特别是改革开放以来，我国有色金属行业取得了辉煌成就，2009 年我国 10 种有色金属产量达到 2.649×10^7 t，是 1978 年的 27 倍，1978 ~ 2009 年年均增长率达 11.2%。截至 2009 年，我国 10 种有色金属总产量连续 8 年居世界第一位。图 1-5 给出了 2010 年中国主要铜生产企业产量。

有色金属行业属于典型的高耗能行业，在行业规模快速扩张的同时，有色金属行业所面临的能源问题日益突出。根据国家统计局和中国有色金属行业协会初步统计，2011 年我国有色金属行业消耗 7.029×10^7 tce，电力消耗 4.304×10^7 tce，有色金属行业能源消耗约占国内能源总消耗量的 2.1%。有色金属行业能源消耗主要集中在冶炼环节，约占产业能源总消耗量的 70%。按照 2008 年综合能耗指标和技术经济指标进行