



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 8 卷

煤洁净高效转化

谢克昌 田亚峻 贺永德 等 / 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 8 卷

煤洁净高效转化

谢克昌 田亚峻 贺永德 等 / 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是《中国煤炭洁净高效可持续开发利用战略研究》丛书之一。

本书以煤化学转化的三条主要技术途径（热解、气化和液化）及其延伸的各种产品为研究对象，从产业结构、产业规模、产业分布以及生产项目的项目物耗、能耗、能效、新鲜水用量、污染物排放等方面阐述中国煤化工产业的现状，预测发展趋势。结合中国生态环境安全、能源供应安全、气候变化等约束对中国煤化工发展进行深入剖析，分析发展潜力，提出中国煤化学转化的洁净高效战略、能源安全战略、重点发展技术战略、战略布局、发展技术路线图以及政策措施建议。

本书可供政府、企业、高校、研究所等机构进行能源战略决策和研究参考，也可作为煤化工从业人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

煤洁净高效转化 / 谢克昌等著. —北京: 科学出版社, 2014. 6
(中国煤炭清洁高效可持续开发利用战略研究 / 谢克昌主编; 8)
“十二五”国家重点图书出版规划项目 中国工程院重大咨询项目
ISBN 978-7-03-040339-1

I. 煤… II. 谢… III. 煤液化-化工工程-研究-中国 IV. TQ524

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 063537 号

责任编辑: 李 敏 吕彩霞 张 震 / 责任校对: 邹慧卿

责任印制: 徐晓晨 / 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>

北京教图印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销



*

2014 年 6 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2015 年 1 月第二次印刷 印张: 8 1/4

字数: 200 000

定价: 120.00 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 周 济 潘云鹤 杜祥琬

项目负责人 谢克昌

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

本卷研究与执笔人员

课题咨询专家组

组	长	谢克昌				
副	组	刘科	袁晴棠	张庆庚	贺永德	
成	员	田亚峻	尚建选	张相平	马晓迅	刘佩成
		黄伟	李忠	翁力	应美珩	崔晓曦
		任沛建	孙启文	郑长波	张宗森	邢凌燕
		宋旗跃	张秋民	胡浩权	魏贤勇	张永发
		杨占彪	武娟妮	武麦桂	芦海云	张媛媛
		李好管	傅晋寿	牛凤芹	张小军	安宏伟

主要执笔人	谢克昌	田亚峻	贺永德	刘科	张庆庚
	袁晴棠	尚建选	张相平	马晓迅	崔晓曦
	孙启文	郑长波	魏贤勇		

总审人	谢克昌	袁晴棠	贺永德	张庆庚
-----	-----	-----	-----	-----

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和措施建议，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

能源是经济增长、社会发展的基本驱动力，是人类赖以生存的重要物质基础。我国能源资源禀赋特点决定了煤炭在我国经济社会发展中的基础性地位。2012年，我国煤炭产量为36.5亿t，占世界煤炭总产量的47.5%；煤炭在我国一次能源消费结构中所占的比重较世界平均水平高近40个百分点；煤炭净进口量为2.8亿t，我国成为世界最大的煤炭进口国；煤炭储采比仅为35年，还不到世界平均水平的1/3。煤炭可持续发展需要煤炭生产和消费的革命。

党中央、国务院高度重视煤炭的清洁、高效、可持续开发利用问题。在新的历史时期，中国工程院按照党中央、国务院的要求，从我国经济社会发展和能源安全稳定供应的战略需求出发，启动了“中国煤炭清洁高效可持续开发利用战略研究”重大咨询项目和“中美煤炭清洁高效利用技术对比”专题研究，针对我国经济社会发展普遍关心的煤炭方面的若干重大问题开展了系统研究。

“中国煤炭清洁高效可持续开发利用战略研究”重大咨询项目由中国工程院副院长谢克昌院士牵头，来自中国工程院、中国科学院、大学院校、科研机构和重点企业等单位的30位院士、400多位专家，分10个课题进行全面深入研究，形成了一些重大研究成果；为借鉴美国的经验，还开展了“中美煤炭清洁高效利用技术对比”专题研究。

项目组在此基础上编著了这套丛书，共分12卷，包括煤炭资源、开采、提质、输配、燃烧、发电、转化、多联产、节能减排、中美合作等内容。在全面分析煤炭产业取得的成绩、存在的问题、面临的机遇与挑战的基础上，提出我国煤炭产业应以清洁、高效、可持续为核心目标，以研发和应用先进煤炭开发利用技术为战略支点，以全生命周期系统优化理念为出发点和落脚点，加快推进煤炭开发利用方式变革。

该丛书通过对煤炭开发利用主要环节的全面调研和深入分析，厘清了面临的严峻形势，凝练了研究的核心认识，形成了发展的战略思路，提出了可行的必要措施，体现了战略研究的前瞻性、科学性、时效性和可行性，对开创中国煤炭清洁、高效、可持续开发利用新局面具有重要意义。

在新的历史阶段，煤炭产业正面临着前所未有的挑战。只要坚持创新驱动，加快转变煤炭开发利用方式，我们就一定能在挑战中抓住机遇，实现煤炭开发利用与社会、经济、资源、环境协调发展。

周 济

2013年11月

序 三

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。

综合卷即“综合报告”——《中国煤炭清洁高效可持续开发利用战略研究》，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，创造性地提出了“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浯院士牵头，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。

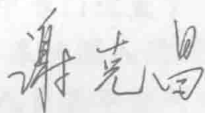
第9卷《煤基多联产技术》，由清华大学倪维斗院士牵头，分析了我国煤基多联产技术发展的现状和问题，提出了我国多联产系统发展的规模、布局、发展战略和路线图，对多联产技术发展的政策和保障体系建设提出了建议。

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

中国能源赋存结构“富煤、缺油、少气”，油气对外依存严重。“十一五”至“十二五”期间中国以煤为原料生产烯烃（乙烯、丙烯）、液体燃料（汽油、柴油）、芳烃、乙二醇等传统衍生于石油的现代煤化工技术取得了一系列突破，为“煤替油”的国家石油供应安全战略提供了可靠技术途径，激发了全国发展现代煤化工的热情。然而，现代煤化工工艺路线复杂，工程经验相对匮乏，工艺优化尚未完成。尤其是其工业化规模实施具有投资高、新鲜用水量大、污染物排放量高以及碳排放量高等问题。面对各地不断涌现的煤化工热潮，国家急需对全国煤化工的整体发展水平、发展趋势、存在问题进行全面深入的调研与诊断。为此，中国工程院在2010年元月启动的“中国煤炭清洁高效可持续开发利用战略研究”重大咨询项目中专门设置了“煤洁净高效转化”子课题，对中国煤炭化学转化工业进行了系统深入的研究。为了能够服务全社会，让更多决策机构以及本领域的从业人员共享该研究成果，中国工程院决定以书的形式出版，面向社会发行。《煤洁净高效转化》为《中国煤炭清洁高效可持续开发利用战略研究》丛书之一。

本书涵盖了煤炭化学转化的三条主要途径（热解、气化和液化）及其所延伸的各种化学过程，在煤基气体燃料、煤基液体燃料、煤基化学品和煤基其他产品共19个专题产品报告基础上综合提炼而成。全书分7章阐述：第1章介绍本书研究的背景、思路与采用的方法；第2章从过去、现在和未来阐述煤炭化学转化重要的现实和战略地位；第3章分产业的规模、产业地域分布、工业生产参数、物质流和能量流四个方面定位中国煤炭化学转化的产业现状，并分别叙述传统煤化工和现代煤化工的技术现状；第4章分别描述全国14个煤炭生产基地未来煤炭化学转化产业的发展趋势，预测煤基气体燃料产业、煤基液体燃料产业和煤基化学品产业的发展潜力；第5章分别从优势、劣势、机遇与威胁四个方面分析中国煤炭化学产业，并用SWOT方法提出中国煤炭化学转化策略；第6章明确中国煤炭化学转化的能源安全战略目标、清洁高效战略目标、重点技术战略目标、产业战略布局以及现代煤化工的发展技术路线图；第7章在分析过去产业政策的基础上，结合第5章的分析提出中国煤炭化学转化的政策建议和措施建议。

本书可供政府、企业、高校、研究所等机构进行能源战略决策或研究使用，也可作为煤化工从业人员的专业参考书，对于想了解煤化工的非专业读

者，本书也是理想的学习读物。

本书的编写主要由北京低碳清洁能源研究所的田亚峻研究员及其团队武娟妮、芦海云、崔鑫和刘爱国的协助下完成，从起稿到定稿先后经过 20 余次修订，谢克昌院士对本书进行把关，袁晴棠院士、贺永德教授、张庆庚教授以及刘科研究员对本书的内容皆做了仔细的审阅，提出了诸多有价值的建议，在此向他们的敬业和贡献表示衷心的感谢。

作 者

2013 年 12 月

目 录

第1章 中国煤炭煤洁净高效转化咨询项目概述	(1)
1.1 研究背景	(1)
1.2 研究范畴	(2)
1.3 研究方法	(3)
第2章 中国煤炭化学转化的地位	(6)
2.1 中国煤炭化学转化的现实地位	(6)
2.2 中国煤炭化学转化的战略地位	(7)
第3章 中国煤炭化学转化产业技术现状	(9)
3.1 中国煤炭转化产业现状	(9)
3.2 中国煤炭转化技术现状	(29)
3.3 小结	(41)
第4章 中国煤炭转化产业发展趋势	(42)
4.1 中国煤化工的区域发展趋势	(42)
4.2 中国煤化工产业发展趋势	(51)
4.3 小结	(60)
第5章 中国煤化工产业问题综合分析	(61)
5.1 优势分析	(61)
5.2 劣势分析	(64)
5.3 机遇分析	(68)
5.4 威胁分析	(71)
5.5 SWOT 分析	(73)
5.6 小结	(76)
第6章 中国煤炭洁净高效转化的战略目标及发展规划	(78)
6.1 中国煤炭清洁高效转化的战略方针	(78)
6.2 中国煤炭清洁高效转化的能源安全战略目标	(79)
6.3 中国煤炭清洁高效转化的清洁高效战略目标	(81)
6.4 中国煤炭清洁高效转化的重点技术战略目标	(84)
6.5 中国煤炭清洁高效转化的战略布局	(94)
6.6 中国现代煤化工产业技术路线图	(96)
6.7 小结	(101)

第7章 中国煤炭洁净高效转化战略措施与建议	(103)
7.1 煤化工产业政策分析	(103)
7.2 煤化工产业政策建议	(107)
7.3 煤化工产业措施建议	(108)
参考文献	(109)
附录	(112)
致谢	(115)

中国煤炭煤洁净高效转化咨询

第 1 章

项目概述

1.1 研究背景

煤的化学组成与结构决定了其具有二重性，不仅是能源也是化学品资源。在中国，约 80% 的煤炭用于提供动力，20% 的煤炭用于各种化工冶金过程。进入 21 世纪，中国经济步入了快速稳定增长的轨道，人民对物质的需求大幅增加，煤化工规模不断扩大。然而，中国煤化工技术水平总体落后，传统煤化工产业体量庞大，造成能量消耗大、新鲜水用量大、污染物与碳排放量高，对生态环境和气候的影响日益明显。

中国缺少油气，石油对外依存严重。“十一五”期间中国以煤为原料生产烯烃、汽油、柴油等传统衍生于石油的现代煤化工技术取得了一系列突破，成为以煤炭替代石油保障国家石油安全的可靠途径，提高了煤化工在国家战略中的地位，激发了全国发展现代煤化工的热情。然而，现代煤化工工艺路线比较复杂，工程经验的累积相对匮乏，工艺仍有较大的优化空间，尤其是其工业化规模的实施存在投资、碳排放、污染物排放、新鲜水用量等较大风险问题（谢克昌和赵炜，2012）。面对各地不断涌现的煤化工热潮，急需对全国煤化工的整体发展水平、发展趋势、存在问题进行全面深入的调研与诊断，提出切实可行的措施与政策建议，为国家决策提供参考。

“煤洁净高效转化”是“中国煤炭清洁高效可持续开发利用战略研究”项目的第 8 课题。“中国煤炭清洁高效可持续开发利用战略研究”是 2011 年 1 月中国工程院启动的首个重大战略咨询项目。该项目由中国工程

院副院长谢克昌院士负责，徐匡迪院士、周济院士、潘云鹤院士和杜祥琬院士为顾问，组织了来自中国工程院、中国科学院、大学、科研机构、设计院、企业、社会团体等单位 30 余位院士和 400 多位专家共同参与。该项目涵盖了煤炭从原料开发到成为产品的生命过程，覆盖了从煤炭开采，提质，输配，利用（燃烧、发电、化学转化）到能量输送等相关产业链，对指导中国煤炭科学合理利用具有重要参考价值。“中国煤炭清洁高效可持续开发利用战略研究”立足于中国煤炭开发利用的产业现状和技术现状，贯彻“科学性、时效性、可行性、前沿性”的思想理念，通过对现状的广泛调研和科学分析，把握问题的关键核心，提出切实可行的前瞻性建议。

1.2 研究范畴

“煤洁净高效转化”主要针对除燃烧之外的煤炭的化学转化。从煤炭利用产业链的角度界定，煤洁净高效转化包括煤热解、煤气化、煤液化三大龙头转化途径及其下游工艺，输入为商品煤，输出为煤基产品（图 1-1）。热解途径包括煤高温热解（即焦化）、中低温热解，以及以此

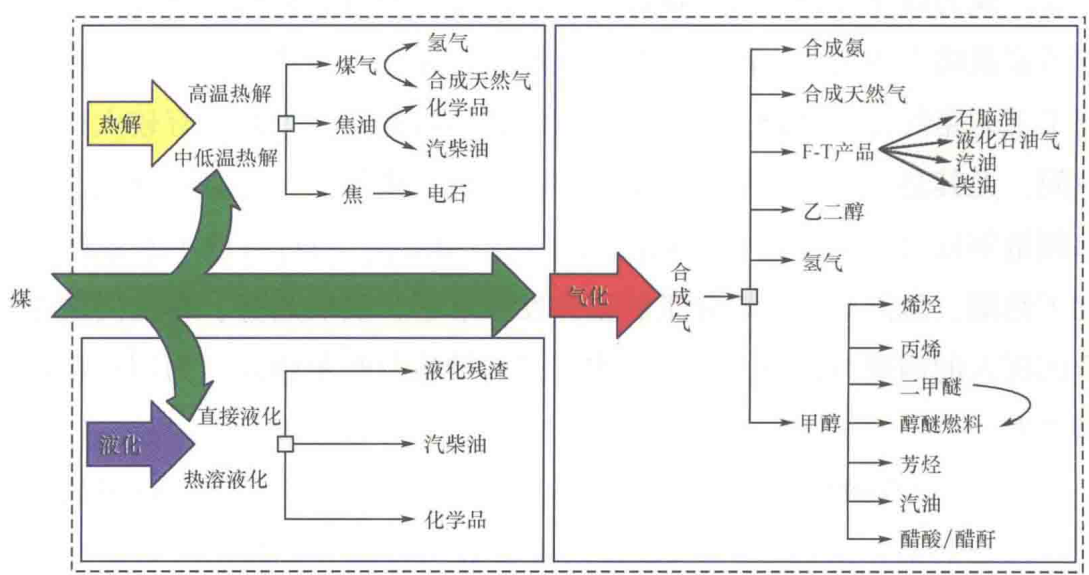


图 1-1 “煤洁净高效转化” 研究范畴

为先导的焦炭/半焦生产、煤焦油深加工、电石生产等过程，产品为焦炭/半焦、高温焦油/中低温焦油及其深加工产品、电石等。液化途径主要指直接液化过程，其主产品是柴油。煤气化途径以气化为起点，合成气为中间产物，可合成多种燃料和化学品，具体地讲，合成气可以转化得到甲醇，F-T 产品（石脑油、汽柴油、液化石油气等），合成氨，合成天然气，氢气，乙二醇等，而以甲醇为中间原料还可进一步转化得到二甲醚、烯烃、汽油、芳烃等。

1.3 研究方法

1.3.1 研究内容

本书采用以煤基产品为研究线索的思路，将煤化工整个产业分为四大类 19 种主要产品。分别是煤基气体燃料、煤基液体燃料、煤基化学品，以及煤基其他产品。煤基气体燃料仅包含煤基天然气；煤基液体燃料包括直接液化油品、间接液化油品（F-T 合成油品）、中低温热解焦油基油品、煤经甲醇制汽油和醇醚燃料；煤基化学品包括甲醇、二甲醚、烯烃（乙烯、丙烯）、乙二醇、芳烃、醋酸和醋酐；煤基其他产品包括焦炭、半焦、电石、合成氨和氢气。图 1-2 表达了煤基产品分类、主要煤基产品与煤化学转化技术路径的相互关系。

按照各自专长，将以上产品的调研工作分配至项目参加单位：中国工程院、北京低碳清洁能源研究所、陕西煤业化工集团、赛鼎工程有限公司、西北大学、太原理工大学、中国石油化工集团公司、中国海洋石油公司、中国矿业大学（徐州）、大连理工大学、太原煤气化公司、煤液化国家重点实验室等，最后由北京低碳清洁能源研究所汇总凝练。

1.3.2 研究思路

对于某产品的调研，本书规定从产业现状、发展趋势、存在问题和战