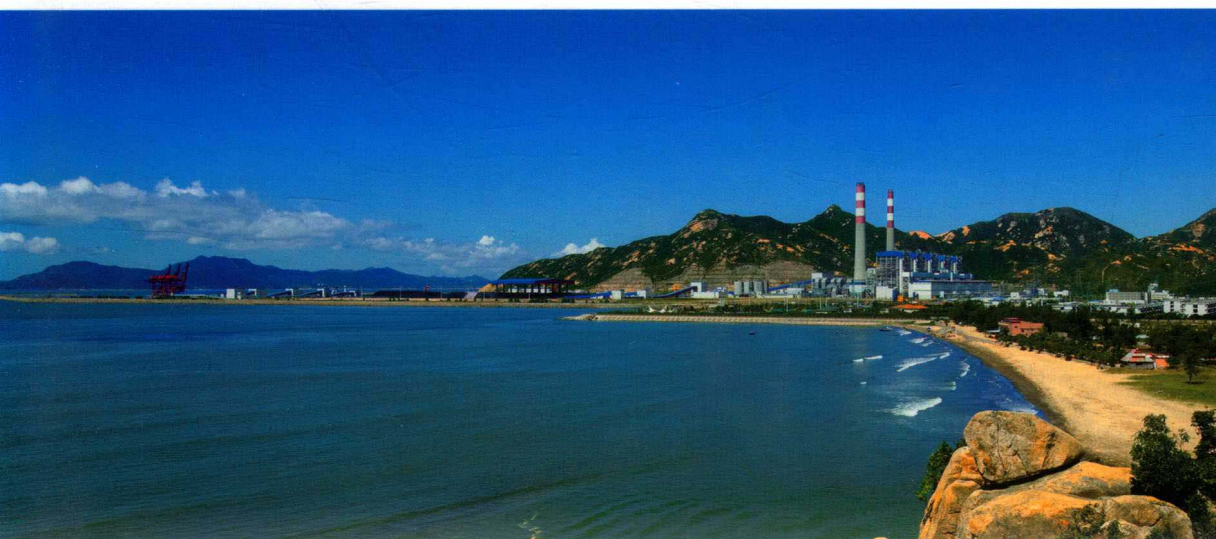


全球CCS技术商业化 路径研究

A STUDY ON THE PATH TO
GLOBAL COMMERCIALIZATION
OF CCS TECHNOLOGY



聂立功 姜大霖 等 编著

■ 未来世界煤炭工业发展趋势研究丛书

全球 CCS 技术商业化 路径研究

A STUDY ON THE PATH TO
GLOBAL COMMERCIALIZATION
OF CCS TECHNOLOGY

聂立功 姜大霖 等 编著

3

 煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

—全球 CCS 技术商业化路径研究/聂立功等编著. —北京: 煤炭工业出版社,
2016

(未来世界煤炭工业发展趋势研究丛书)

ISBN 978-7-5020-5046-7

I. ①全… II. ①聂… III. ①煤炭工业—二氧化碳—废气排放量—研究—
世界 IV. ①F416.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 295944 号

全球 CCS 技术商业化路径研究

(未来世界煤炭工业发展趋势研究丛书)

编 著 聂立功 姜大霖 等

责任编辑 牟金锁 刘永兴 赵金园

编 辑 杨晓艳

责任校对 李新荣

封面设计 北京至善至美文化传播有限公司

出版发行 煤炭工业出版社 (北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

电 话 010-84657898 (总编室)

010-64018321 (发行部) 010-84657880 (读者服务部)

电子信箱 cciph612@126.com

网 址 www.cciph.com.cn

印 刷 中国电影出版社印刷厂

经 销 全国新华书店

开 本 787mm×1092mm^{1/16} 印张 16^{1/2} 字数 300 千字

版 次 2016 年 11 月第 1 版 2016 年 11 月第 1 次印刷

社内编号 7897

定价 108.00 元



版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换, 电话: 010-84657880

未来世界煤炭工业发展趋势研究丛书

丛书编审委员会

主	任	凌 文				
副 主	任	顾大钊	蒋文化			
委	员	张广军	徐会军	郭 青	聂立功	
		姜殿虹	毛亚林	宁成浩	王有勇	
		林圣华	李井峰			

本册编委会

主	编	聂立功				
副 主	编	姜大霖				
编	写	聂立功	姜大霖	毛亚林	王有勇	
		李小春	许兆峰	杨晓亮	陈征澳	
		刘昌义	翁维力	刘 杰	高志远	
		柴 炜	孙海林	肖玲娟	黄 维	



未来世界煤炭工业发展趋势研究丛书

丛书序

能源是经济社会持续稳定发展的产业基础和重要保障，是人类文明、工业科技演化进步的重要支柱之一。人类社会的发展和进步离不开对能源的需求，人类社会经济增长模式、生产生活方式的每一次重大改变都伴随着能源体系的变革。从能源结构来看，化石能源一直以来都占据着世界能源消费的主体地位，其开发利用催生和保证了两次工业革命和全球经济的发展繁荣，预计未来相当长一段时期化石能源仍将是全球能源体系中的主导力量与基础保障。

煤炭是世界上储量最丰富、分布最广泛的化石能源，在人类工业文明发展的进程中发挥了重要作用，当前仍是全球第二大能源品种，占全球一次能源消费的比重超过 30%。在经济全球化的大背景下，世界煤炭工业的发展呈现出布局国际化、生产集约化、产业多元化、市场一体化、利用清洁化与低碳化等态势。进入 21 世纪，世界政治经济版图发生着深刻而重大的调整，与此同时煤炭能源系统也正经历着深刻的转型变革。一方面，煤炭在世界经济社会发展中，特别是在许多欠发达国家和地区，凭借着储量丰富、供应稳定、价格相对低廉等优势，仍将拥有和发挥其基础能源的地位和作用；但另一方面，煤炭也日益面临着气候变化、生态环境影响和新能源迅猛发展等诸多挑战。目前，世界煤炭工业走到了发展的十字路口，煤炭行业必须客观剖析审视自身存在的问题，积极应对挑战并尽早提出未来可持续发展路线图。

神华集团有限责任公司是以煤炭生产、销售，电力、热力生产和供应，煤制油及煤化工，相关铁路、港口等运输服务为主营业务的综合性大型能源企业，是中国规模最大、现代化程度最高的煤炭企业和全球最大的煤炭经销商。为了积极应对新一轮全球能源革命和适

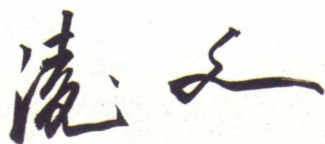
应中国经济“新常态”，神华集团提出了“建设世界一流清洁能源供应商”与“清洁能源供应方案提供者”的战略目标，不断推进“安全发展、转型发展、创新发展、和谐发展”，致力于推动中国和全球煤炭行业的绿色转型。2013年，神华集团有限责任公司与世界煤炭协会（WCA）共同委托神华科学技术研究院开展“未来世界煤炭工业发展趋势研究”项目，从关系煤炭行业长远发展的若干重大问题、重要技术方向入手，就中长期能源格局演变中的煤炭地位、煤炭绿色开采、煤炭低碳转化利用以及煤炭行业公共关系等不同层面和领域开展研究，以解答和应对社会各界对于煤炭行业的诸多疑虑，并为煤炭行业、企业的健康可持续发展提供思路与方向。两年多来，研究团队坚持定性与定量、宏观与微观、历史与现实、国际与国内、继承与批判并重并举的学术原则与科研方法，同国内外知名的大学和科研机构展开了紧密合作与深入探讨，于2015年底完成了该研究项目。

研究成果表明三点：首先，世界能源正在向供应多元化、开发绿色化、利用清洁化和低碳化方向发展，针对世界能源发展面临的诸多严峻挑战，变革传统能源开发利用方式、推动能源新技术应用、构建新型能源体系成为世界能源发展的方向。其次，在未来多元化的能源供应结构中，煤炭仍将在全球能源系统特别是在发展中经济体中占据重要地位，煤炭可以与新能源、可再生能源实现协同耦合发展，共同支撑和保障未来的全球能源安全和经济社会持续发展。再次，要实现绿色开采与低碳利用，煤炭行业既需要在先进开采技术、高效清洁转化利用技术、碳捕集与封存（CCS）技术等方面“硬实力”的突破，也需要有效的公共关系战略及管理模式创新等“软实力”的提升，通过建立社会营运许可（SLO）机制、拓展同利益相关方的沟通

渠道等方式, 不断改善煤炭的社会形象和公众认知。

在该项目系列成果的基础上, 按照研究领域和内容划分, 最终整理编辑出版本套(共四册)丛书, 以飨读者。在全球推动可持续发展和联合国 2015 年后发展议程的倡议下, 丛书出版者期望与社会各界共同探讨煤炭行业的绿色、低碳、清洁化转型的路径, 为全球经济社会健康可持续发展做出贡献。

是为序。

A large, expressive calligraphic signature in black ink, consisting of two characters: '凌' (Liang) and '文' (Wen).

中国工程院 院士

神华集团有限责任公司 总经理

二〇一六年八月

未来世界煤炭工业发展趋势研究丛书

丛书前言



《未来世界煤炭工业发展趋势研究丛书》立足于全球能源变革规律和气候变化、环境治理等全球性议题,从煤炭行业的视角对世界煤炭工业未来的定位与发展方向展开了一次系统性、前瞻性研究和思考。本套丛书共分四册,分别从煤炭地位、煤炭行业形象、煤炭低碳化发展、煤炭开采等不同领域与视角进行分析研究。

《煤炭的前世、今生与未来——煤炭在世界能源格局中的地位》在系统分析了煤炭在世界能源格局中历史地位的基础上,对世界能源发展格局和主要能源生产和消费大国能源结构走势进行系统调研和梳理,深入分析影响世界能源尤其是煤炭生产和消费的各种因素及其相互关系,对煤炭在世界能源格局中的当今地位进行了研究。在此基础上,结合对相关国家、国际组织以及研究机构所发布统计数据和趋势预测结果的比较和验证,全面客观评价煤炭在全球经济社会发展中的贡献以及在环境、新能源和社会认知等方面面临的诸多挑战,全面分析预测 2035 年之前中国、印度以及世界能源格局的发展趋势和煤炭行业的未来走向,系统认识和评价煤炭在实现全球可持续发展及普通能源获取过程中的重要价值和潜力,对煤炭在世界能源格局中的未来地位进行了阐述,预测世界能源结构体系演进过程和战略转型,合理规划煤炭工业的发展路径,从而实现世界煤炭工业的全面协调、健康、可持续发展。

《世界煤炭行业公共关系战略实证研究》旨在针对当前煤炭行业在公共关系运行方面存在的问题与不足,通过案例分析和实证研究,评估社会公众的态度,构建有效的公关关系运作及传播平台,明确传播的渠道和执行者,提出煤炭行业参与全球能源治理和组织治理的公共关系策略,确立与利益相关者利益和价值取向相符合的行业政

策,平衡各种利益,协调各种关系,为改善煤炭行业公共关系提供决策支持,持续提升煤炭在世界能源体系中的形象,推动世界煤炭工业的持续健康发展,为人类能源普遍获取和经济社会发展及应对气候变化作出应有的贡献。

《全球 CCS 技术商业化路径研究》是在应对气候变化、推进全球能源系统低碳化转型的时代背景下,探讨可实现化石能源尤其是煤炭转化利用过程中深度碳减排的重要技术路线——二氧化碳捕集与封存(CCS)技术的未来发展前景。该书从梳理分析 CCS 技术发展现状、问题及对比分析该技术的减排成本竞争力入手,在借鉴主要国家和国际组织 CCS 技术发展路线图成果的基础上,从技术研发示范、政策激励、商业模式等不同层面为 CCS 技术商业化发展设计路线图。在共同应对气候变化的国际合作与全球行动中,煤炭相关产业结合 CCS 技术将日益发挥更加重要的碳减排作用,成为 2℃温升目标下实现煤炭行业低碳化转型发展的重要技术保障之一。

《世界煤炭行业社会营运许可研究》从水资源、环境、安全以及人权四个影响因素,来分析企业在获取社会营运许可(SLO)过程中可能优先遇到的问题,在国际非煤炭企业和国际煤炭企业两个维度下,分别选取正反两方面的案例进行对比分析,在此基础上总结得出企业从各个因素角度获取 SLO 的实践途径,并将这种实践途径绘制成煤炭企业获取 SLO 的技术路线图,从而为企业获取 SLO 提供建议,以最优化的方式来实现煤炭开采的最佳工业实践。煤炭开采业引入 SLO 机制,将使煤炭工业在全球尤其是在发展中国家,大大提升自身的环境友好和可持续发展能力,推动与保障煤炭行业的健康发展。

本丛书着眼于煤炭行业未来长期健康可持续发展,是多学科、多专业、多个团队采用开放式合作研究所取得的成果。神华科学技术研究院依托自身的科研力量,并在清华大学、北京大学、中国矿业大学、北京航空航天大学、中国科学院武汉岩土力学研究所等国内著名高校和科研单位,以及世界资源研究所、《经济学人》杂志等国际知名研究咨询机构的大力协作下共同完成了这部丛书。在此,谨向对丛书编写工作给予热情支持和帮助的单位 and 专家由衷致谢。课题报告中还借鉴、引用了大量其他研究机构的成果,文中均有相应标注,同时对兄弟研究单位及同行表达敬意。丛书即将付梓之际,编委会特别感谢时任世界煤炭协会(WCA)主席、神华集团有限责任公司前任董事长张喜武博士倡议开展此项研究,并一直给予关心和支持。WCA秘书处亦为本研究工作提供了很多帮助和意见建议,在此一并致谢。

本丛书可供关注全球能源以及煤炭行业长远发展的管理者、从业者及科研人员阅读和参考,以期共同探讨并合力推进全球煤炭行业的绿色转型发展。同时,我们深知丛书内容涉及范围广、学科多,并涉猎诸多前沿技术,受编著者水平所限,书中不足与不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

《未来世界煤炭工业发展趋势研究丛书》

编审委员会

二〇一六年八月



前言

全球 CCS 技术商业化 化路径研究

工业革命以来,全球地表温度持续上升,1880—2012 年全球平均温度已经升高 0.85℃。政府间气候变化专门委员会(IPCC)研究发现,人类活动,特别是以化石能源大规模利用为主的能源活动,造成大气中以CO₂为主的温室气体浓度快速上升,是导致气候变暖的主要原因。应对气候变化、减少温室气体排放、实现能源系统的低碳化逐步成为全球共识。由此,碳排放问题日益成为化石能源可持续利用所必须面对的长期而艰巨的挑战。化石能源当前和未来相当长时期之内仍会是人类主体能源(占世界一次能源供给的 80% 以上),其消费量仍将有所上升,在诸多低碳发展技术路径之中,大幅降低化石能源开发利用过程中的温室气体排放具有重要意义。碳捕集与封存(CCS)技术可实现化石燃料利用过程的CO₂近零排放,可以在为经济发展提供稳定、经济能源供应的前提下,既降低碳排放总量,同时显著控制总减排成本。因此,CCS 技术是未来一段时间化石能源资源低碳化利用的重要技术选择之一,是人类能源结构从高碳向低碳、零碳直至负碳转变的过渡技术,与节能、提高效率、发展替代能源共同组成全球经济低碳化发展的重要技术组合。

鉴于 CCS 技术在完成全球碳减排目标过程中的重要地位,为了实现2℃温升目标,未来几十年将是 CCS 项目发展的关键时期。必须从现在开始积极部署 CCS 技术,尤其是推进其商业化运营、实现技术落地,以使该技术在未来低碳经济、低碳产业中占据一席之地。作为一项新兴技术,CCS 研发与部署投资巨大,对能源政策、气候政策等外部政策环境高度依赖,实现该技术的商业化运营面临重重障碍与挑战。在上述背景之下,开展 CCS 技术商业化路径的研究具有很强的迫切性和现实意义。

区别于其他研究机构侧重于对 CCS 各个环节的技术进行研究, 本书研究内容更侧重于 CCS 技术全流程的系统化设计与商业化推广。研究成果包括 5 篇, 其主要内容与逻辑思路如下:

第 1 篇: CCS 技术及示范工程的现状与发展趋势评估, 主要结合 IEA、GCCSI、CSLF 等研究机构的研究成果, 对 CCS 技术及项目进展的现状、发展趋势、主要障碍进行评估, 并对 CCS 的技术特点和总体发展给出了概貌。

第 2 篇: CCS 技术的成本竞争力分析, 主要结合典型案例, 分析 CCS 技术成本的构成, 并将此与其他温室气体减排技术进行比较, 评估 CCS 技术的成本竞争力, 是论证 CCS 技术商业化推广可行性及路径设计的主要依据。

第 3 篇: 主要国家 CCS 技术的发展路线图对比分析及设计思路, 对主要国家的 CCS 技术路线图进行比较分析, 总结各国及地区 CCS 技术发展的现状、特点及目标, 对中国等国家设计 CCS 技术发展路线图将有所借鉴与启示, 为全球和主要国家 CCS 技术商业化的前景分析与路径设计提供参考。

第 4 篇: 中国 CCS 技术发展路线图, 结合中国 CCS 技术和项目的发展现状, 以及碳减排政策趋势, 为中国 CCS 技术的发展设计一份路线图。中国作为全球最大煤炭生产与消费国, 同时也是第一大碳排放国, CCS 技术对其实现经济低碳可持续发展具有特殊重要意义; 此外, 中国的 CCS 技术发展路径对于全球 CCS 技术推广应用, 以及实现全球煤炭产业的可持续发展, 也将具有重要的示范和带动效应。

第 5 篇: 全球 CCS 技术的商业化路径, 从评述 CCS 技术特点、评

价其减排潜力与竞争力入手, 梳理分析影响与制约其商业化的主要因素, 进而在不同减排情景下, 对该技术的商业化路径进行设计与分析, 最终为 CCS 技术能在低碳经济中占据应有的市场空间、发挥较好的减排潜力提出建议。

研究过程中借鉴、引用了大量其他研究机构的成果, 文中均有相应标注, 在此对兄弟研究单位及同行表达敬意。图书编著过程中得到WCA秘书处的大力支持, 在此对他们的帮助一并表达谢意。中国科学院武汉岩土力学研究所李小春研究员、中国 21 世纪议程管理中心全球环境处张九天处长、张贤副处长以及中国科学院工程热物理所的高林研究员、全球 CCS 研究院中国区代表林干果教授等 CCS 领域知名专家为编写组提供了大量的资料与建议, 在此对他们的付出表示感谢。感谢许兆峰、杨晓亮、陈征澳、刘昌义、翁维力、刘杰、高志远等年轻专家及参与课题工作的几位博士实习生, 正是大家的共同协作、辛勤劳动才将本书呈现给公众。

CCS 技术属于前沿科技, 尚存在诸多不确定性与待解决难题, 为其设计商业化路径更是一个富有创新性的课题。研究过程中, 作者们力争科学、全面、客观地评价 CCS 技术的作用与潜力, 以期商业化路径设计更具可行性。但水平与时间所限, 疏漏与不足之处在所难免。欢迎各位读者和专家批评指正。

CCS 技术的商业需求源于全球气候变化问题的凸显, 其商业化进程也严重依赖着国际气候协议和集体减排行动的进程。可喜的是, 本书付梓之际, 刚刚结束的巴黎气候大会 (COP21) 通过了一份迄今最为雄心勃勃的气候协议, 这对于 CCS 技术的商业化发展无疑是一个重大的

外部环境改变。期待日后有机会同更多同行合作, 进行深入研究, 共同推进 CCS 技术向商业化不断发展, 努力实现煤炭行业的低碳化转型发展。

本册编委会

二〇一六年八月