

Guidelines for  
Carbon Dioxide Capture  
and Storage in China

中国实施CO<sub>2</sub>捕集  
与封存的参考意见

李政 许兆峰 张东杰 Logan West 编著  
Sarah M. Forbes 李利平



清华大学出版社

Guidelines for  
Carbon Dioxide Capture  
and Storage in China

---

**中国实施CO<sub>2</sub>捕集  
与封存的参考意见**

---

李政 许兆峰 张东杰 Logan West 编著  
Sarah M. Forbes 李利平

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书以多维视角对 CO<sub>2</sub> 捕集与封存(CCS)的概念和技术进行了全面的阐释,内容包括: CCS 的技术性能、实施流程、关键步骤,实施 CCS 在中国可能遇到的非技术问题(实施项目选择、注意事项、融资、环境保护、需遵守的法律法规等),提出了在中国实施 CCS 的一套比较完整的参考意见。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话: 010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

中国实施 CO<sub>2</sub> 捕集与封存的参考意见/李政等编著.--北京:清华大学出版社,2012.5  
ISBN 978-7-302-27879-5

I. ①中… II. ①李… III. ①二氧化碳—收集 ②二氧化碳—保藏 IV. ①O613.71

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 009459 号

责任编辑:黎 强

封面设计:傅瑞学

责任校对:刘玉霞

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质 量 反 馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

印 装 者:北京嘉实印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:15 插 页:1 字 数:344 千字

版 次:2012 年 5 月第 1 版 印 次:2012 年 5 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:50.00 元

---

产品编号:044893-01



**李 政** 清华大学热能系教授，博士生导师，“长江学者”奖励计划特聘教授。现任清华大学机械工程学院副院长兼热能工程系主任，清华 BP 清洁能源研究与教育中心主任，热能动力仿真与控制研究所所长及电力系统及发电设备控制和仿真国家重点实验室副主任等职。主要研究能源动力系统建模与仿真、以煤气化为核心的多联产能源系统设计与分析、CO<sub>2</sub> 捕集与封存 (CCS) 系统分析与关键过程研究、火力发电厂节能分析与诊断、能源系统分析与能源发展战略等。已发表学术论文 200 余篇，合作编撰并出版学术著作及译作 9 部。2005 年入选教育部“新世纪优秀人才”支持计划。参与和主持完成了多项国家重点基础研究发展计划 (973 计划)、国家高技术研究发展计划 (863 计划)、国家科技攻关计划及国家科技支撑计划等课题。“循环流化床动态仿真技术”2001 年获得国家四部委颁发的“九五”国家重点科技攻关计划“优秀科技成果”；“循环流化床本体和动态仿真关键技术的研究和产业化”获得教育部提名国家科技进步一等奖 (2005 年) 和国家科技进步二等奖 (2006 年，排名第二)；“火电机组状态及性能全息诊断系统”获得 2010 年中国电力科学与技术二等奖 (第一完成人)。



**许兆峰** 博士，助理研究员。1999 和 2004 年于清华大学分别获得工学学士学位和工学博士学位，2004—2006 年在清华大学动力工程及工程热物理博士后流动站从事博士后研究，2006 年开始在清华大学热能工程系任教。主要从事能源系统建模及评价、CCS 系统分析及优化等研究。参与 973 计划、国家科技支撑计划课题及 COACH、NZE 等多项有关 CCS 的国际合作项目研究。已发表学术论文 20 余篇。



**张东杰** 博士，中国国电集团国电电力发展股份有限公司技术人员。2007 年和 2012 年在清华大学热能工程系分别获得工学学士和博士学位。主要从事发电厂实施 CCS 的技术经济评价、发电行业 CCS 发展路线及政策的研究工作，参与完成清华 BP 清洁能源研究与教育中心与世界资源研究所有关中国发展 CCS 的合作研究。



**Logan West (罗根·韦斯特)** 2007 年于普林斯顿大学地质系获得学士学位，2008 年受普林斯顿大学派遣来到中国外交学院工作。2009 年，被清华 BP 清洁能源研究与教育中心和世界资源研究所联合聘为研究助理，协助从事 CCS 及其他清洁能源和宏观能源问题的研究。现为美国得克萨斯大学地质系硕士研究生，在“地质经济局—海湾”碳研究中心从事与 CCS 相关问题的研究。



**Sarah M. Forbes (萨拉·M·福布斯)** 美国世界资源研究所 (WRI) 高级研究助理，领导气候和能源研究项目组，负责中国 CCS 和页岩气开发等相关问题的研究。在生态保护和新技术示范等涉及法规、政策和工程技术的诸多领域参与完成了大量在世界上颇有影响的研究报告。



**李利平** 博士，高级工程师。1993 年毕业于华北电力大学并留校工作，2008 年获得工学博士学位。2008—2010 年在清华大学动力工程及工程热物理博士后流动站从事博士后研究，参与中国 CCS 示范战略分析与能力建设项项目 (ADB 技术援助项目) 研究。现为中国电力工程顾问集团公司技术人员，主要从事电力规划设计等重大专项和技术标准编制等工作。

## 序

气候变化直接关系到人类的生存和各国的发展。随着全世界气候变化形势日趋严峻,世界各国携手应对气候变化、减少全球温室气体排放是大势所趋。在《联合国气候变化框架公约》和《京都议定书》两大基本框架下,世界各国经过多年的积极磋商和艰苦谈判,陆续通过了旨在加强应对气候变化国际合作的《巴厘路线图》、《哥本哈根协议》和《坎昆协议》,重新肯定并强调了发达国家与发展中国家应对气候变化所负有的“共同但有区别的责任”,同时要求发达国家为发展中国家减缓和适应气候变化提供必要的资金和技术援助。应该说,应对气候变化的国际合作已经取得一定的进展,这给世界各国有效应对气候变化威胁、实现全人类的可持续发展带来了希望。

不过,应对气候变化要取得实质性成效,除通过积极谈判建立有效国际合作机制外,从根本上来说要依靠技术创新,要探索出能够大幅减少人类活动过程中温室气体尤其是CO<sub>2</sub>排放的技术途径。减碳的技术途径有很多种,既包括增加森林碳汇、节能/提高效率、发展非化石能源等已广为人知的常规技术,也包括CO<sub>2</sub>捕集与封存(CCS)、微藻制油、人工光合作用等新技术。但是,就全球需要减排的温室气体总量而言,目前仍没有单一的减碳技术能够独立承担起大幅降低全球碳排放、从而有效应对气候变化的重担,人类需要多管齐下地综合应用各种技术手段。

在各种减碳技术中,CCS技术因其对化石燃料利用装置减碳的广泛适用性和巨大减碳潜力,被各国普遍认为是一个非常重要的减碳技术选项。而我国能源消费量十分庞大,而且以煤为主,这就使CCS对我国的潜在意义尤为重大。需要指出的是,CCS是一个新事物,其相关技术在全球范围内都处在研发和示范阶段,尚无大规模应用的工业实践,因此CCS的发展首先是一个技术问题;同时,CCS的应用和推广必将涉及资源、环境、经济、社会、法律法规以及政府管理等多维度问题。因此,在加强CCS技术研发的同时,需要对其上述多维度问题及早开展研究。而我国地质和地理情况复杂,人口密度大,这使得开展非技术维度问题的相关研究在我国显得更为重要。

2008年,美国世界资源研究所组织美国CCS相关领域的专家学者,采取利益相关者讨论的工作模式,提出了CCS实施的“指导准则”,从技术和非技术层面对在美国实施CCS项目提供了具体的指导。为引入国际先进经验和成果,使国内相关领域在摸索CCS实施难题过程中少走弯路,清华大学李政教授及其团队,参考世界资源研究所制定“指导准则”的工作模式,广泛邀请中美两国CCS相关产业、学术界专家学者和政府部门负责人,经过长达两年的实地学习考察和研究讨论,形成了《中国实施CO<sub>2</sub>捕集与封存的参考意见》一书。该书广泛吸收了中美两国CCS技术研究和产业应用的最新成果,同时针对我国产业、经济、体制、法规标准等实际情况,在国内学术研究领域率先提出了在我国实施

CCS 项目需要注意的多维度问题,并针对 5 类不同读者总结成了 19 个模块的参考意见。这为我国未来进一步开展 CCS 相关研究和工程实践工作打下了良好的基础。

正如前面提到的,CCS 在我国乃至全球范围仍处在发展的初期阶段,其涉及的大量技术和非技术问题远非本书研究所能充分、全面解决或回答。如果能将捕集到的 CO<sub>2</sub> 作为资源循环利用产生经济效益和环境效益,既降低 CCS 的捕集成本,又减少封存量(即 CCUS),这项技术就会更易于推广应用。为了使我国充分掌握和储备 CCS 技术,我个人十分乐见将来有研究机构能延续或借鉴本书研究过程的工作模式,进一步深入开展 CCS 技术和非技术问题的研究,为我国的 CCS 技术储备、为我国节能减排大计提供更多更好的成果。

解振华  
2012年元月1日

# 前 言

气候变化有可能成为危害人类生存和发展的重大问题,因此在全球范围内得到了广泛的关注。减少人为造成的 CO<sub>2</sub> 排放,已经成为国际社会的共识,并在世界主要国家的发展战略和目标里得以体现。我国作为负责任的世界大国,已经郑重承诺在 2020 年之前实现单位 GDP 碳排放强度减少 40%~45% 的目标。

在各种减少 CO<sub>2</sub> 的可选方法中,CO<sub>2</sub> 捕集与封存(carbon dioxide capture and storage,CCS)被寄予了巨大的期望,其中最主要的原因在于化石能源利用是人为 CO<sub>2</sub> 排放的主要来源,而 CCS 技术能够显著减少化石能源利用过程中的 CO<sub>2</sub> 净排放,从而有可能延续当今成熟、经济的化石能源转化和利用系统的使用,为人类开发经济可行、环境友好的新能源技术赢得宝贵的时间。

尽管相对于发达国家而言,我国 CCS 技术的开发和实践起步较晚,但通过一些先锋性企业或探索性企业的努力,我国在 CCS 涉及的多个技术方面,尤其是工程示范方面已取得举世瞩目的进展。

然而必须意识到,CCS 是一个新事物,其相关技术在全球范围之内都处在研发和示范阶段,尚无大规模应用的工业实践和经验;同时,CCS 不单是技术问题,其应用和推广涉及资源、环境、经济、社会、法律法规以及政府管理等多方面,是一个复杂的多维度的问题。

发达国家在研究和开发 CCS 技术的同时,在相关的经济、社会、法律法规和管理机制等方面开展了大量的研究,并陆续出台了一些专门针对 CCS 大规模实施需要的法律、法规和标准,以规范和易化 CCS 的推广。相比之下,我国在涉及 CCS 非技术维度问题上的研究和实践还比较少,加强相关研究非常必要。

美国世界资源研究所(World Resources Institute,WRI)针对美国发展和应用 CCS 的需要,组织 CCS 涉及的多个行业和部门的利益相关者,以共同“研究、争论、妥协和最终达成共识”的方式,梳理了 CCS 全技术链和项目周期上的知识点和多维度问题,形成了一整套发展 CCS 相关的指导意见,编撰出版在 *Guidelines for Carbon Dioxide Capture, Transport, and Storage* 一书(简称 *CCS Guidelines*)中,在国际上产生了较大的影响。

尽管我国经济社会发展状况与自然地理条件与发达国家存在差异,但未来如果发展 CCS,亦会不可避免地面对上述多维度问题,因此学习和理解发达国家的相关研究经验和成果,并针对我国国情提出系统性的指导意见是一项必需的和非常有意义的工作。

出于借鉴国际先进经验和成果,提供我国发展 CCS 急需的系统性知识和能力的目的,清华大学与世界资源研究所开展了合作研究,系统地梳理和研究了我国发展 CCS 涉及的多维度问题,依据我国国情,对 CO<sub>2</sub> 捕集、运输、封存以及跨环节的共性问题提出了



一套参考性意见,这些意见集中反映在本书中。

CCS 可否大规模实施的问题很重要而且争论很多,但它不是本书主题,所以本书并不涉及支持或者反对 CCS 的问题。本书的起点和立意在于厘清如下一些重要问题:假如要实施一个完整的 CCS 项目的话,会涉及哪些技术及其他维度的知识和事宜?相关的国际和国内的实践和经验是什么?在法律、法规和机制等方面还需要弥补哪些不足和缺失?

为了更好地把国内外的先进经验和知识介绍给读者,本书借鉴了 *CCS Guidelines* 的两个重要工作模式。一是利益相关者讨论和共识方式。在研究过程中,由中国和美国不同行业和政府部门的专家组成指导委员会(名单附后),依据不同领域专家对自身行业的深厚知识及其对 CCS 在本行业应用的情形、事宜和问题的理解,对本书产生的参考意见进行深入研讨和修正;二是有关 CCS 知识的学习旅行。本项目共进行了 4 次。两次去美国的旅行分别考察了多个 CCS 的研究机构、一个盐水层 CO<sub>2</sub> 封存项目、3 个 CO<sub>2</sub> 运输管道以及石油强化开采项目;两次在国内的旅行考察了两个 CO<sub>2</sub> 燃烧后捕集项目、两个煤变油项目、一个煤制烯烃项目、一个石油强化开采项目等。学习旅行获得了宝贵的一手知识和信息,从根本上保证了本研究产出的质量。

本书的研究和出版过程充分贯彻了“引进、消化、吸收、再创新”的精神。本书以 *CCS Guidelines* 一书作为内容框架和叙事维度设计的蓝本和模板,但不是简单地照搬和模仿。对于原书中涉及的任何议题和事宜以及推荐的参考意见,作者都在学习和理解相关知识的基础上,努力辨析“为什么这是一个议题和需要讨论的事宜”以及“相关认识和判断是在何种情境下提出来的”等问题,从而能够结合我国的实际环境和条件,形成独立的判断和适合我国国情的指导性意见。

本书在内容编排以及叙事逻辑等方面也进行了精心的设计,以适合我国读者对知识内容的需求以及思维和阅读习惯。例如,通过总结和归纳国内外实践和研究经验,本书第 6 章描述了典型 CCS 工程项目实施的 7 个阶段以及每个阶段需要开展的具体工作,以期为企业实施或政府部门批准 CCS 工程项目提供宏观指导;对书中提出的每项指导意见,本书总是提前对其涉及的技术知识点及内在逻辑联系进行描述,以促进读者对其内涵的深入和正确理解。具体的思路为:在假定我国实施 CCS 的大前提下,以一个完整 CCS 工业示范项目的实施为研究对象,从多维视角对其进行详细剖析:阐述 CCS 系统概念,评估 CCS 系统技术经济性能,介绍 CCS 系统实施步骤,分析在我国实施的特殊问题,并总结提炼 CCS 系统实施的具体参考意见。试图通过以上研究和探讨,为未来在我国开展完整 CCS 工业示范项目的企业提供尽可能详尽的指导,使其有章可循,做到经济、安全、有效的实施,并为政府部门的战略决策、体制机制建设和项目监管提供必要的参考依据。

全书共分为 7 章,各章内容安排如下:

第 1 章阐述 CCS 对我国减少碳排放的战略意义,并在分析 CCS 概念内涵的基础上,对 CCS 工业系统和 CCS 技术进行了定义。

第 2~4 章分别沿着构成 CCS 工业系统的捕集、运输和封存 3 个主要子系统展开。阐述系统的概念、构成及其基本工作原理;根据国内外最新资料,介绍各个系统的技术、

经济、环境和资源消耗性能；总结归纳各个系统的实施步骤和相关的法律法规事宜；分析各个系统在我国安全、有效实施需要解决的特殊问题；根据国内外的研究成果和实践经验，对实施各系统的重要事宜提出参考意见。

第5章针对我国重视和强调的CO<sub>2</sub>捕集、利用与封存(CCUS)概念，简要介绍CO<sub>2</sub>的主要利用方式、利用现状及减排效果。

第6章介绍CCS项目管理。基于CCS项目的特点和对我国项目审批和管理机制的理解，把CCS项目实施过程划分为7个阶段，并对每个阶段的工作内容、实施步骤和工作方式等进行分解和描述。

第7章整理给出了前面各章总结提炼的参考意见，以方便各类读者能够在第一时间了解到自己感兴趣的知识内容和参考意见。

此外，为方便读者阅读，本书还以附录的形式集中给出了对正文中一些不便展开的CCS技术知识和信息。

为方便外国政府、国际组织、科研机构和国际同行了解我国发展CCS所做的工作，本书还用英文对主要内容和参考意见进行了简要的总结。

本书由李政教授、许兆峰博士和张东杰博士统稿和最终审定。其中的第1章由李政、张东杰和麻林巍撰写，第2章由许兆峰、刘培撰写，第3章由张东杰、王哲撰写，第4章由张东杰、Logan West撰写，第5章由许兆峰、薛亚丽撰写，第6章由李利平、李政撰写，英文摘要由Logan West撰写。

美国世界资源研究所的Sarah Forbes女士作为美国合作方的负责人自始至终参与了本项目的研究，精心策划和组织了各次学习旅行，并对本书撰写提供了大量宝贵的信息和意见；Deborah Seligsohn女士、Preeti Verma女士、Francisco Almendra先生为研究工作提供了支持和帮助。作者对他们及世界资源研究所表示由衷的感谢。

感谢倪维斗院士长期以来对研究团队的指导、支持和作为专家指导委员会主任对本研究的特殊贡献。

特别感谢美国国务院为本研究提供了资金支持。

经美国国务院和中国国家发展和改革委员会的推荐，本项目得以批准为亚太伙伴计划(Asia Pacific Partnership, APP)项目。

清华BP清洁能源研究与教育中心的许多同学和老师也对本书的写作提供了支持和帮助，在此表示衷心的感谢！

由于作者的知识范围和经验所限，书中难免存在疏漏之处，恳请读者批评指正。

作 者

2011年6月于北京清华园

# 《中国实施 CO<sub>2</sub> 捕集与封存的参考意见》 专家指导委员会

(以拼音或英文字母为序)

## 主 任:

倪维斗 清华大学 中国工程院院士

## 中方委员:

蒋兆理	国家发展和改革委员会气候变化司	处长
李政	清华大学热能工程系	教授、主任
潘克西	复旦大学	副教授
彭苏萍	中国矿业大学(北京)	中国工程院院士
秦勇	中国矿业大学(徐州)	副校长
任相坤	中国神华煤制油化工研究院	副院长
沈平平	中国石油勘探开发研究院	前院长
宋新民	中国石油勘探开发研究院	副院长
张爽	国家能源局	
张素心	上海电气集团	副总裁
赵平	华能国际电力股份有限公司	总工程师
郑松	绿色煤电有限公司	副总经理、党委书记

## 美方委员:

Alan Scott Anderson	环境保护基金会	法律顾问
Deborah Seligsohn	世界资源研究所	中国气候与能源计划顾问
Elizabeth Joan Wilson	明尼苏达大学	副教授
Elizabeth Sasser	美国能源部	国际关系专家
Francisco Almendra	世界资源研究所	研究员
Julio Friedmann	劳伦斯·利沃莫国家实验室	碳管理项目组组长
Ming Sung	清洁空气任务组织	亚太区首席代表
Robert J. Finley	伊利诺伊州立大学地质调查所	中心主任
Robin Lee Newmark	可再生能源国家实验室	主任
Sally Merrick Benson	斯坦福大学	教授
Sarah Marie Forbes	世界资源研究所	研究员

# 目 录

<b>第 1 章 概述</b> .....	1
1.1 CCS 是我国应对气候变化的重要战略选项 .....	1
1.2 CCS 基本概念辨析 .....	2
1.3 CCS 工业系统的构成和特点 .....	4
参考文献 .....	6
<b>第 2 章 CO<sub>2</sub> 的捕集</b> .....	7
2.1 捕集系统构成 .....	7
2.1.1 CO <sub>2</sub> 排放源 .....	7
2.1.2 CO <sub>2</sub> 分离设备 .....	10
2.1.3 CO <sub>2</sub> 压缩与脱水设备 .....	12
2.1.4 CO <sub>2</sub> 捕集系统 .....	12
2.2 电厂捕集系统性能.....	14
2.2.1 技术性能 .....	14
2.2.2 经济性能 .....	15
2.2.3 环境排放性能 .....	18
2.2.4 资源消耗性能 .....	20
2.2.5 成熟度和适用性 .....	21
2.2.6 综合比较 .....	21
参考意见 1: CO <sub>2</sub> 捕集系统 .....	22
2.3 CO <sub>2</sub> 捕集的实施流程 .....	22
2.3.1 CO <sub>2</sub> 捕集源的选取 .....	23
2.3.2 CO <sub>2</sub> 捕集技术的选取 .....	23
2.3.3 CO <sub>2</sub> 捕集率的确定 .....	24
2.3.4 CO <sub>2</sub> 混合物的成分含量限定 .....	24
参考意见 2: CO <sub>2</sub> 捕集的实施流程 .....	29
2.4 CO <sub>2</sub> 捕集的其他维度问题 .....	29
2.4.1 经济 .....	29
2.4.2 环保 .....	30
2.4.3 安全 .....	30
2.4.4 法律法规 .....	30

参考意见 3: CO <sub>2</sub> 捕集的多维度问题 .....	31
参考文献 .....	31
<b>第 3 章 CO<sub>2</sub> 的运输 .....</b>	<b>33</b>
3.1 CO <sub>2</sub> 管道运输系统简介 .....	33
3.1.1 CO <sub>2</sub> 管道运输原理 .....	33
3.1.2 现有工程经验 .....	33
3.2 CO <sub>2</sub> 管道运输的实施流程 .....	35
3.2.1 CO <sub>2</sub> 管道的设计 .....	35
参考意见 4: CO <sub>2</sub> 管道的设计 .....	40
3.2.2 CO <sub>2</sub> 管道的建设 .....	40
参考意见 5: CO <sub>2</sub> 管道的建设 .....	44
3.2.3 CO <sub>2</sub> 管道的运行 .....	45
参考意见 6: CO <sub>2</sub> 管道的运行 .....	46
3.3 CO <sub>2</sub> 管道的安全 .....	46
3.3.1 CO <sub>2</sub> 管道的安全性 .....	46
3.3.2 CO <sub>2</sub> 管道的安全法规 .....	48
3.3.3 公众安全宣传 .....	49
参考意见 7: CO <sub>2</sub> 管道的安全 .....	50
参考文献 .....	50
<b>第 4 章 CO<sub>2</sub> 的地质封存 .....</b>	<b>52</b>
4.1 CO <sub>2</sub> 地质封存系统 .....	52
4.1.1 CO <sub>2</sub> 地质封存原理 .....	52
4.1.2 CO <sub>2</sub> 封存系统构成 .....	55
4.1.3 地质封存潜力及工程实践 .....	55
参考意见 8: CO <sub>2</sub> 地质封存潜力 .....	56
4.2 CO <sub>2</sub> 地质封存的实施流程 .....	56
参考意见 9: CO <sub>2</sub> 封存项目的实施流程 .....	58
4.2.1 选址 .....	59
参考意见 10: CO <sub>2</sub> 封存项目的选址 .....	63
4.2.2 封存项目的运行 .....	64
参考意见 11: CO <sub>2</sub> 封存项目的运行 .....	70
4.2.3 项目关闭 .....	71
参考意见 12: CO <sub>2</sub> 封存项目的关闭 .....	74
4.2.4 项目关闭后管理 .....	75
参考意见 13: CO <sub>2</sub> 封存项目的关闭后管理 .....	76
4.3 贯穿封存项目始终的重要事项 .....	77

4.3.1 监测 .....	77
4.3.2 模型模拟 .....	81
参考意见 14: CO <sub>2</sub> 封存项目的监测和模型模拟 .....	83
4.3.3 风险评估 .....	84
参考意见 15: CO <sub>2</sub> 封存项目的风险评估 .....	89
4.3.4 融资 .....	90
参考意见 16: CO <sub>2</sub> 封存项目的融资 .....	91
4.3.5 物权问题 .....	92
参考意见 17: CO <sub>2</sub> 封存项目的物权问题 .....	95
参考文献 .....	95
<b>第 5 章 CO<sub>2</sub> 的利用 .....</b>	<b>98</b>
5.1 CO <sub>2</sub> 利用方式 .....	98
5.1.1 强化开采 .....	98
5.1.2 化工合成 .....	99
5.1.3 食品饮料加工 .....	101
5.1.4 物理利用 .....	103
5.1.5 其他应用 .....	105
5.2 CO <sub>2</sub> 利用现状 .....	105
5.2.1 国外利用现状 .....	105
5.2.2 国内利用现状 .....	106
5.3 CO <sub>2</sub> 利用技术的减排效果 .....	107
参考意见 18: CO <sub>2</sub> 的利用 .....	108
参考文献 .....	108
<b>第 6 章 CCS 项目管理 .....</b>	<b>109</b>
6.1 CCS 项目周期划分 .....	109
阶段 I: 构想与准备 .....	109
阶段 II: 可行性研究 .....	110
阶段 III: 评估与批准 .....	110
阶段 IV: 设计与实施 .....	110
阶段 V: 运行与监测 .....	111
阶段 VI: 评估与关闭 .....	111
阶段 VII: 关闭后的长期管理 .....	111
6.2 CCS 项目工作分解结构 .....	111
阶段 I: 构想与准备 .....	112
阶段 II: 可行性研究 .....	113
阶段 III: 评估与批准 .....	115

阶段Ⅳ：设计与实施 .....	115
阶段Ⅴ：运行与监测 .....	116
阶段Ⅵ：评估与关闭 .....	116
阶段Ⅶ：关闭后的长期管理 .....	117
参考意见 19：CCS 项目管理 .....	117
<b>第 7 章 参考意见总结</b> .....	<b>118</b>
7.1 针对政府决策机构的参考意见 .....	118
7.1.1 CO <sub>2</sub> 的捕集 .....	118
7.1.2 CO <sub>2</sub> 的运输 .....	118
7.1.3 CO <sub>2</sub> 的封存 .....	119
7.1.4 CO <sub>2</sub> 的利用 .....	120
7.2 针对政策制定机构的参考意见 .....	120
7.2.1 CO <sub>2</sub> 的捕集 .....	120
7.2.2 CO <sub>2</sub> 的运输 .....	121
7.2.3 CO <sub>2</sub> 的封存 .....	122
7.2.4 CO <sub>2</sub> 的利用 .....	125
7.2.5 CCS 项目管理 .....	125
7.3 针对项目运行者的参考意见 .....	126
7.3.1 CO <sub>2</sub> 的捕集 .....	126
7.3.2 CO <sub>2</sub> 的运输 .....	127
7.3.3 CO <sub>2</sub> 的封存 .....	128
7.3.4 CO <sub>2</sub> 的利用 .....	132
7.3.5 CCS 项目管理 .....	132
7.4 针对金融机构的参考意见 .....	133
7.4.1 CO <sub>2</sub> 的捕集 .....	133
7.4.2 CO <sub>2</sub> 的封存 .....	133
7.4.3 CO <sub>2</sub> 的利用 .....	133
7.5 针对一般公众的参考意见 .....	133
7.5.1 CO <sub>2</sub> 的捕集 .....	133
7.5.2 CO <sub>2</sub> 的运输 .....	134
7.5.3 CO <sub>2</sub> 的封存 .....	134
7.5.4 CO <sub>2</sub> 的利用 .....	135
<b>词汇表</b> .....	<b>136</b>
<b>附录 1 我国 CCS 实施进展现状</b> .....	<b>145</b>
A1-1 华能北京高碑店热电厂燃烧后捕集示范电站 .....	145

A1-2	华能上海石洞口第二电厂燃烧后捕集示范电站 .....	145
A1-3	中电投重庆双槐电厂燃烧后捕集示范电站 .....	145
A1-4	华能绿色煤电燃烧前捕集项目 .....	145
A1-5	大庆油田 EOR 试验 .....	146
A1-6	吉林油田 EOR 项目 .....	146
A1-7	沁水盆地 ECBM 微型先导性试验 .....	146
A1-8	神华集团 CCS 计划 .....	147
A1-9	胜利油田 EOR 全流程项目 .....	147
<b>附录 2 各种 CO<sub>2</sub> 分离技术</b> .....		148
A2-1	化学吸收脱碳 .....	148
A2-1-1	核心部件 .....	148
A2-1-2	机理和流程 .....	149
A2-1-3	化学吸收脱碳系统的性能分析 .....	152
A2-1-4	化学吸收脱碳系统的可选吸收溶剂 .....	153
A2-2	物理吸收脱碳 .....	156
A2-2-1	核心设备 .....	156
A2-2-2	机理和流程 .....	156
A2-2-3	主要物理吸收工艺性能比较 .....	160
A2-3	新型脱碳技术 .....	160
A2-3-1	吸附分离 CO <sub>2</sub> 技术 .....	160
A2-3-2	膜分离技术 .....	163
A2-3-3	深冷分离技术 .....	166
<b>附录 3 典型企业的 CO<sub>2</sub> 捕集方法</b> .....		168
A3-1	煤化工企业 .....	168
A3-2	水泥企业 .....	168
A3-3	钢铁企业 .....	169
A3-4	油气炼化企业 .....	169
附录 1~3 参考文献 .....		170
<b>附录 4 CO<sub>2</sub> 地质封存项目的封存机理</b> .....		172
A4-1	盐水层封存机理 .....	172
A4-2	EOR 封存机理 .....	177
A4-3	ECBM 封存机理 .....	178
<b>附录 5 CO<sub>2</sub> 大规模地质封存的工程实践</b> .....		181
A5-1	挪威 Sleipner 盐水层封存项目 .....	181



A5-2 挪威 Snøhvit 盐水层封存项目 .....	182
A5-3 加拿大 Weyburn 油田 EOR 示范项目 .....	183
A5-4 阿尔及利亚 In Salah 废弃气田封存项目 .....	184
附录 4、5 参考文献 .....	184
<b>附录 6 我国商用 CO<sub>2</sub> 标准</b> .....	185
A6-1 食品添加剂液体 CO <sub>2</sub> 质量标准 .....	185
A6-2 CO <sub>2</sub> 灭火剂质量标准 .....	186
A6-3 焊接用 CO <sub>2</sub> 质量标准 .....	186
A6-4 工业液体 CO <sub>2</sub> 质量标准 .....	186

## About This Book

<b>Preface</b> .....	187
<b>Executive Summary of This Book</b> .....	192
1 What are the Guidelines? .....	192
2 CCS/CCUS and Its Importance? .....	192
3 Preparation of the Guidelines .....	193
4 Guidelines Purpose .....	194
5 Audience .....	195
6 How do these Guidelines conceptualize CCUS? .....	195
7 Guidelines Structure and Content .....	197
8 Overview to Each Chapters .....	197
9 Limitations of the Guidelines .....	203
10 Conclusions .....	203