



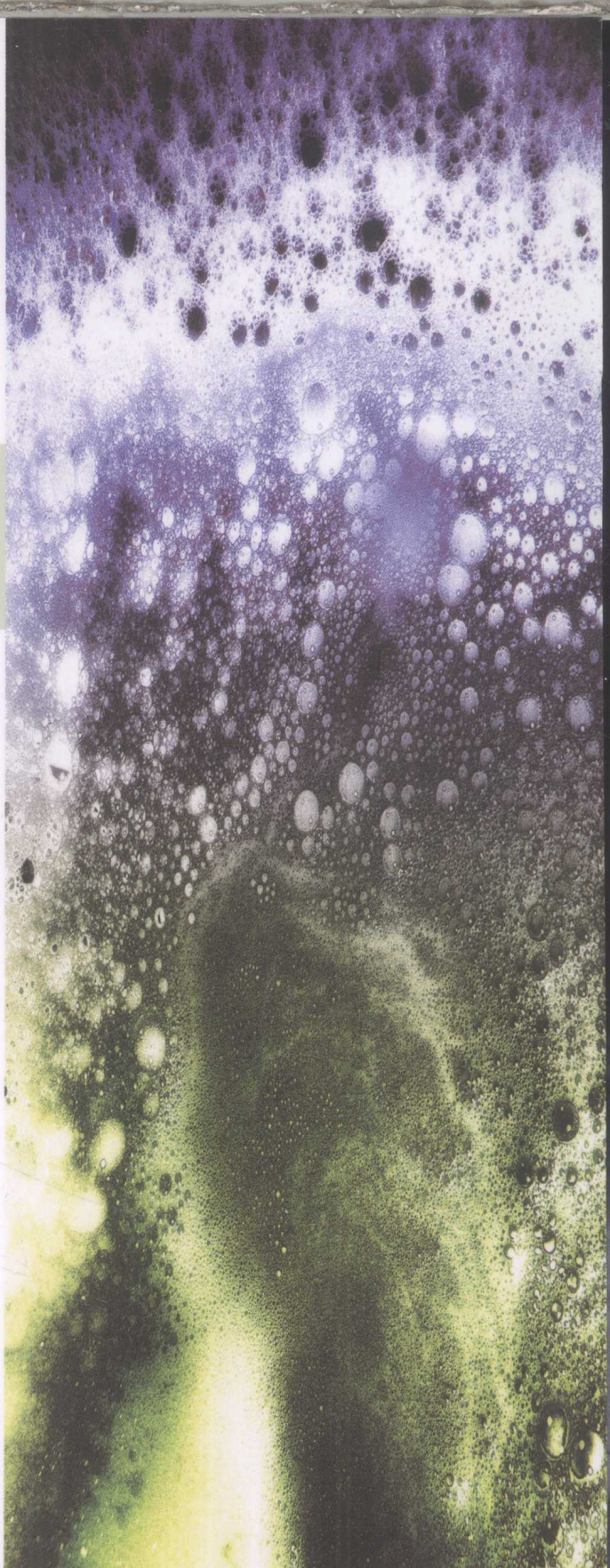
International
Energy Agency

能源技术分析

二氧化碳捕集与封存 碳减排的关键选择

能源与环境政策研究中心 (CEEP) 译

中国环境科学出版社



二氧化碳捕集与封存

碳减排的关键选择

能源与环境政策研究中心（CEEP） 译

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

二氧化碳捕集与封存：碳减排的关键选择 / 国际能源署 (IEA) 编著；能源与环境政策研究中心 (CEEP) 译. —北京：中国环境科学出版社，2010
ISBN 978-7-5111-0360-4

I. ①二… II. ①国… ②能… III. ①二氧化碳—收集 ②二氧化碳—保藏 IV. ①0613.71

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 171585 号

CO₂ Capture and Storage: A Key Carbon Abatement Option © OECD/IEA, 2008. While the IEA is the author of the original English version of this publication, the IEA takes no responsibility for the accuracy or completeness of this translation. This publication is translated under the sole responsibility of CEEP.

《二氧化碳捕集与封存：碳减排的关键选择》© OECD/IEA, 2008. IEA 是原英文作者，IEA 对翻译版本的准确性和完整性不承担责任。CEEP 独自承担翻译责任。

审 校 魏一鸣 邹乐乐
策划编辑 马琦杰
责任校对 刘凤霞
封面设计 中通世奥

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
联系电话: 010-67112738
发行热线: 010-67125803
传 真: 010-67113405

印 刷 北京东海印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2010 年 7 月第 1 版
印 次 2010 年 7 月第 1 次印刷
开 本 787 × 960 1/16
印 张 16
字 数 350 千字
定 价 98.00 元

【版权所有。未经许可，请勿翻印、转载，违者必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题，请寄回本社更换

翻 译 组 成 员

组 长：魏一鸣

副组长：邹乐乐（中国科学院科技政策与管理科学研究所）

成 员：（按姓氏拼音排序）

从荣刚	段美宁	樊静丽	房 斌	凤振华
郭 杰	李 慷	梁巧梅	廖 华	刘 利
刘明磊	马晓微	莫建雷	任重远	王 恺
魏一鸣	吴 刚	熊梁琼	姚云飞	伊文婧
袁 影	张跃军	邹乐乐		

译者的话

气候变化问题已经越来越被国际社会所重视。世界各国政府一直致力于相关的科学研究和技术开发,以提高应对气候变化的科技能力。作为最大的发展中国家,中国政府高度重视依靠科学技术进步应对气候变化。

二氧化碳捕集与封存(CO₂ Capture and Storage, CCS)技术被认为是能够大幅减少来自大量化石燃料使用的温室气体(GHG)排放的技术,受到了广泛关注。联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)已将针对燃煤电厂的CCS技术作为2050年温室气体减排目标最重要的技术方向。不少发达国家都已开始为CCS技术的推广和应用创造鼓励性的政策环境。2006年在德国波恩召开的第八届联合国气候变化框架公约特别工作研讨会上,清洁发展机制执行委员会还同意将研究CCS项目纳入清洁发展机制的新规程,通过出售官方核准的减排量来募集资金。

中国政府早在2003年就开始关注CCS技术。2005年,开始对CCS技术进行全面规划部署,CCS技术被编入《国家中长期科技发展规划纲要(2006—2020)》。2005年12月,科技部同英国政府和欧盟委员会分别签署了关于CCS技术研发合作的两个备忘录,英国和欧盟承诺将提供资金和技术,帮助中国研发。2006年,CO₂强化驱油技术研究被列入“973计划”。2008年,进一步将CCS技术作为资源环境技术领域的重点项目列入国家“863计划”,研究各种技术路线的可行性。

然而,CCS技术在现阶段,并不具备被大规模推广使用的条件,还需要在技术、政策和资金支持等方面做好准备。CCS技术在中国能否进行商业应用并大规模推广,还依赖于这一技术能否很快地发展成熟,以及未来中国在应对气候变化的政策与制度环境。

北京理工大学能源与环境政策研究中心(Center for Energy and Environmental Policy Research, CEEP)经与国际能源署(International Energy Agency, IEA)协商,将《二氧化碳捕集与封存:碳减排的关键选择》(原文名称:CO₂ Capture and Storage: A Key carbon abatement option)翻译成中文介绍给大家。

能源与环境政策研究中心对CCS技术之相关议题关注已久,曾对CCS在中国的发展前景、配套政策的制定、关键技术的选择等问题进行了实证研究,也是本书中第六章

提到的中欧 CCS 合作项目——煤炭利用近零排放合作项目 (NZEC) 的重要参与机构。

《二氧化碳捕集与封存：碳减排的关键选择》一书，从 OECD 国家的视角，对与 CCS 相关的技术、未来情景、政策及法律等方面进行了系统介绍，并对不同国家 CCS 技术的实施及潜力进行了分析。期望本书能够为读者系统地了解 CCS 技术及其示范实施提供帮助；特别是希望能够为政策制定、企业投资以及相关学术研究提供参考，推动制定符合中国国情和长期利益的全球减排技术和政策，促进形成新的国际机制。

本书的翻译出版是能源与环境政策研究中心集体智慧的结晶。

我本人从学术上指导并组织协调了全书的翻译工作。邹乐乐博士除了承担具体的翻译任务外，还做了大量的日常组织工作；王恺，郭杰，凤振华，刘利，刘明磊，伊文婧等同志参与了全书的翻译工作。此外，特别感谢郑家鑫的审译。

本书翻译过程中，得到了 GAGHEN Rebecca, TURCK Nancy, SINTON Jonathan, KERR Thomas, BURNARD Keith, CAMPBELL Nina 等 IEA 同行的大力支持和帮助。本书的出版得到了“十一五”国家科技支撑计划课题 (2007BAC03A12-5-2) 及中国科学院知识创新工程重要方向项目群课题 (KZCX2-YW-Q1-12) 的支持。在此一并致谢！

由于译者水平所限，难免有谬误之处，恳请读者指正。



北京理工大学能源与环境政策研究中心 主任
北京理工大学管理与经济学院 院长

序

国际能源署近期分析确认,在没有政策变化的前提下,二氧化碳密集的煤和其它化石燃料将在未来的能源需求中继续扮演重要角色。CCS 技术的成功发展将有利于各国在使用这些化石能源的同时,实现温室气体减排。当然 CCS 并不是灵丹妙药,但是它可以在能源效率、可再生能源和核能的发展中发挥重要作用,从而改善能源安全,减缓气候变化。我们面对的能源挑战是巨大的,所有的技术都将为未来可持续发展的实现发挥重要作用。

2004 年,IEA 出版的《二氧化碳捕集与封存展望》(Prospects for CO₂ Capture and Storage),第一次详细地评估了 CCS 在减缓气候变化方面的作用,包括尝试分析了这项重要技术的成本、效用和相关政策。此后,CCS 在各个方面引起广泛关注,包括相关的国际谈判条约修正、新政策规划、主要的国家和地区示范工程、私有投资研究和技术各个方面的研究等。因此,我们目前拥有关于 CCS 成本和效用(包括二氧化碳捕集、运输和封存)的丰富信息。我们运用这些数据对 CCS 在缓解未来气候变化方面进行分析。

尽管已经有了这些优势,CCS 想要取得商业成功仍需要接受许多挑战。包括缺少合适的长期政策框架和充足的财政激励来支持投资,特别是对早期关键的项目支持仍然不足。本书考察了目前正在不同国家进行试验的各种商业化 CCS 方法,并对目前面临的技术、财政和法律法规问题提出了建设性的意见。

值得高兴的是,IEA 在提高发展二氧化碳捕集和封存技术方面一直扮演着领先的角色,期望即将出版的此书,能对了解减少二氧化碳的方法提供帮助。

田中伸男 (Nobuo Tanaka)

国际能源署总干事

致 谢

本书由国际能源署能源技术和研发办公室（ETO）编写，经济研究部（EAD）及政策分析办公室（LTO）协助编写。能源技术办公室主任 Neil Hirst 在项目实施过程中担任领导工作，为本书的编写提出了许多建设性的意见。Peter Taylor 从 2007 年开始成为能源技术政策部主管，并提供了很多关键资源和指导；能源技术合作部主管 Antonio Pfluger、长期合作和政策分析办公室主任 Pieter Boot 给予了重要的指导和建议。

Kamel Bennaceur 是该项研究的项目主管。其他主要作者有 Dolf Gielen、Tom Kerr 和 Cecilia Tam。国际能源署的其他同事也为本书作出了重要贡献，特别是 Ingrid Barnsley、Sankar Bhattacharya、Fatih Birol、Rick Bradley、Robert Dixon、Jason Elliott、Rebecca Gaghen、Jean Yves Garnier、Dagmar Graczyk、Didier Houssin、Steven Lee、Jim Murphy、Andrea Nour、Cedric Philibert、Roberta Quadrelli、Brain Ricketts、Ulrik Stridbaek、Peter Taylor、Nathalie Trudeau 和 Nancy Turck。

一些顾问也对本书的不同章节做出了贡献：Niclas Mattsson（瑞典 Chalmers 理工大学）、Uwe Remme（德国 IER 斯特加特大学），他们为能源技术展望模型作了分析。John Newman（法国）为 CCS 的行业分析作出了贡献。

Simone Brinkmann 和 Gillian Balitrand 完成了初稿，并由 Rob Wright 和 Dborah Glassmann 校正。

本书的出版和发行得到了国际能源署交流与信息办公室的大力协助：Rebecca Gaghen、Jane Barbieri、Muriel Custodio、Corinne Hayworth、Bertrand Sadin、Sophie Schlondorff 和 Sylvie Stephan 为本书提供了很多素材。

特别感谢田中伸男（Nobou Tanaka）（国际能源署总干事，法国）和克劳德·曼蒂尔（Claude Mandil）（国际能源署前任总干事，法国）的鼓励、支持和建议。

本书的编写是在国际能源署能源研究和技术委员会（CERT）的指导下进行的。该部门成员和 IEA 能源顾问的指导使我们有效提高了本书所提出的政策的合理性。长期合作的常设小组、终端能源工作小组、可再生能源工作小组、化石能源工作小组以及建

审稿专家

许多专家为本书中的分析提供了大量的宝贵意见和反馈，这些专家包括：

Mette Gravdahl Agerup, 挪威石油资源部; Stefan Bachu, 加拿大能源资源保护委员会; Anni Bartlett, 澳大利亚的 CO₂CRC; Brendan Beck, 国际能源署温室气体研发项目组; Tim Bertels, 壳牌; Frank Bevc; Olav Bolland, NTNU; Didier Bonjoly, 法国的 BRGM; Scott Brockett, 欧洲委员会环境司; Dubravka Bulut, 加拿大自然资源部; Isabel Cabrita, 葡萄牙的 INETI; Marijeta Car, 斯洛文尼亚; David Coleman, 壳牌; Rachel Crisp, 英国商业、企业和管理改革部; Peter Cook, 澳大利亚的 CO₂CRC; Paulo Cunha, Petrobras; Jostein Dahl Karlsen, 国际能源署化石燃料工作组和挪威石油资源部; John Davison, 国际能源署温室气体研发项目组; Tim Dixon, 国际能源署温室气体研发项目组; James Dooley, 美国能源部太平洋西北实验室; Sarah Forbes, 世界资源研究所; John Gale, 国际能源署温室气体研发项目组; Jesus Garcia, Iberdrola 公司; Philippe Geiger, 法国生态、能源、可持续发展及领土整治部; Malti Goel, 印度科技部; Timothy Grant, 美国能源部国家能源技术实验室; Daniel Grobler, Sasol; Ian Havercroft, 伦敦大学学院; Ian Hayhow, 加拿大自然资源部; Wolfgang Heidug, 壳牌; Larry Hegan, 加拿大自然资源部; Arne Holl, 德国联邦经济技术部; Olav Kaarstad, Statoil Hydro; Karl Kellner, 欧洲委员会能源和交通司; John Kessels, 国际能源署清洁煤中心; Kazuaki Komoto, 日本经济产业省; Christian Lelong, 必和必拓; Arthur Lee, 雪佛龙德士古; John Litynski, 美国能源部国家能源技术实验室; Manuel Lopez Ruiz, 西班牙; Barbara McKee, 美国能源部; Roberto Martinez Orio, 西班牙 GME; Antonio Moreno-Torres Galvez, 西班牙; Frank Mourits, 国际能源署温室气体研发项目组 Weyburn 项目; George Peridas, NRDC; Sean Plasynski, 美国能源部国家能源技术实验室; Alexandrina Platonova, 世界银行; Jacek Podkanski, 欧洲投资银行; Fedora Quattrocchi, 意大利; Andrea Ramirez, 荷兰乌德勒支大学; Edward Rubin, 卡耐基—梅隆大学; Nasu Ryo, 日本经济产业省; Harry Schreurs, SenterNovem; Sabine Semke, 德国 Forschungszentrum Julich; Beatriz Sinobas Ocejó, 西班牙工业、旅游和商业部; Bill Spence, 壳牌; Per Gunnar Stavland, Statoil Hydro; Annet Stones, 壳牌;

Lars Sjunnesson, E.ON, Derek Taylor, 欧洲委员会能源和交通司; Chiara Trabucchi, 工业经济有限公司; Piotr Tulej, 欧洲委员会环境司; Jan Vandereijk, 壳牌; Luke Warren, 世界煤炭协会; Rosemary Whitbread, 英国卫生与安全管理局; Elzbieta Wroblewska, 波兰政府; Shinichi Yasuda, 日本经济产业省; Clement Yoong, 澳大利亚工业、旅游和资源部。

支持 CCS 项目发展所必要的管理框架还需要得到进一步的发展。尽管现在已经有了一些进展,尤其是出台了国际海洋保护条约,但仍然没有国家制定全面、详细的法律和监管框架以有效地管理使用 CCS。一般市民也对 CCS 了解甚少。因此,相比其他几个减少温室气体排放的选择,现在 CCS 普遍缺乏公众的支持。

本报告试图通过收集最全的关于二氧化碳捕集、运输和封存技术的成本和性能的全球信息来解决其中的一些问题。这些信息包含于第一章至第四章,并用它来进行 CCS 在减缓气候变化中作用的情景分析。第五章讨论政府可以利用的金融激励机制,来为 CCS 提供短期和长期激励。这一章还包含一个扩展和更新的 IEA 于 2007 年出版的《二氧化碳封存的法律问题:更新和建议》,并考察了目前的公众对 CCS 的接受状况以及相关技术。第六章包括 CCS 政策、研究和示范项目的综述,以及在几个区域和国家的二氧化碳封存前景。第七章提出了 CCS 的发展路线图,其中包括为了使 CCS 在今后几十年在全球温室气体减排方面发挥作用的必要的技术、政治、金融和国际合作活动。

主要结论

如果给予适当的减排奖励,CCS 可以提供一个可行的、有竞争力的途径来减少二氧化碳排放。在 ACT Map^① 情景下,为了稳定排放量,减排方案的成本高达 50 美元/吨二氧化碳,2050 年前每年有 51 亿吨的二氧化碳将被封存,占到为稳定全球温度所需减排量的 14%。在《能源技术展望》中的 BLUEMap 情景,到 2050 年全球二氧化碳排放量削减一半,其中 CCS 占到总减排量的 19%,其减排方案的总成本高达 200 美元/吨二氧化碳。在这种情景下,2050 年前每年将有 104 亿吨 CO₂ 被捕集并封存。在没有 CCS 技术的情况下,为了完成到 2050 年减少一半排放量的目标,每年的费用是 12 800 亿美元,高于 BLUE Map 情景约 71%。大约半数的 CCS 应用在发电部门,另一半用在工业过程(水泥、钢铁和化学品)和燃料转化部门。

总的来说,根据目前的经济状况,CCS 的潜在收益范围从 50 美元/吨二氧化碳(通过使用二氧化碳提高石油采收率)到 100 美元/吨二氧化碳。

捕集二氧化碳将导致资本和运营支出的增加,以及电厂能源效率的降低。捕集 1 吨二氧化碳的成本,燃煤电厂是 40~55 美元,燃气电厂是 50~90 美元。而减少 1 吨二氧化碳的成本,燃煤电厂在 2010 年的费用约为 60~75 美元,到 2030 年下降到 50~65 美元;对于燃气电厂,在 2010 年为 60~110 美元,2030 年下降到 55~90 美元。

① 《能源技术展望》中的模型中,ACT 情景设定 2050 年的排放量为 2005 年的标准,BLUE 情景设定 2050 年的排放量为 2005 年排放量的一半。

二氧化碳运输和封存

二氧化碳的运输费用取决于需要运输的距离和数量。区域星形网络结构将是连接节点与大型封存地点相连最有效率的方法。然而，建立一个安全、有效率的二氧化碳运输系统将非常显著地提高成本，同时对基础设施建设也是很大的挑战。

随着近来更稳定的估计封存容量方法的发展，各国政府迫切需要对本国二氧化碳的封存容量进行详细的评估，与邻国建立合作伙伴关系，共享相同的封存空间。在中期，衰竭的石油和天然气储层、无法开采的煤层和深部盐水层是二氧化碳封存的佳选择。深咸水储层具有封存几百年二氧化碳排放量的潜在能力。这必须加以核实，并在国际上开发和共享选址标准以找出最适当的封存地点。为了确保二氧化碳封存的可行性、可用性和持久性，需要广泛的国际合作和协商。

CCS 示范项目

未来十年将是 CCS 发展关键性的十年。到 2020 年，包括对燃煤电厂的改造在内的至少 20 个全面的 CCS 项目将在不同的电力和工业部门得以实施，这将大大减少与 CCS 的成本和可靠性相关的不确定性。若干工业规模的 CCS 示范项目已在欧洲、北美洲和澳大利亚开始建设，同时宣布开始建设的还有非经合组织国家的合作方案。但是，许多项目进展缓慢。如果这些示范项目在不久的将来没有得到兑现，到 2030 年将难以实现 CCS 对减少温室气体排放作出有意义的贡献。

CCS 与清洁煤技术应当协同发展。作为优先发展的项目，研发应重点放在改善化石燃料发电厂的效率以及封存方法的完整性上面。碳捕集技术也需要得到更好的发展，并将其纳入电厂的设计当中。各国政府也应该确保新的发电厂整合了 CCS 或准备纳入 CCS，其工程设计要为未来的碳捕集技术改造做好准备，还要确定到二氧化碳封存地点的连接路线。

示范项目应充分利用和扩大现有的二氧化碳提高石油采收率 (CO_2 -Enhanced Oil Recovery, CO_2 -EOR, 又称为“二氧化碳驱油”) 活动，因为它们产生的收入可以抵消成本。另外可以通过利用提高原油采收率回收 2 000 多亿桶石油。这可以低成本甚至负成本提供 700 亿~1 000 亿吨二氧化碳的封存潜力。然而，在大多数产油地应用二氧化碳提高石油采收率的机会越来越少，石油和天然气部门应进行合作以提高这一机会。发展二氧化碳提高原油采收率也可以在一些需要充分推广 CCS 的地区启动运输基础设施建设。

财政和监管激励措施

只有具备合适的金融激励或监管指令时才可以投资 CCS。存在各种不同的财政和监管办法，最适当的方式将因国家而异。很显然，以市场为基础的解决方案将不足以为早期关键示范项目融资。各国政府必须带头，通过提供资金或奖励措施支持和鼓励发展 CCS。民间投资也至关重要。在投资二氧化碳运输时，政府可以鼓励有利于基础设施发展的项目，并可以优化主要排放节点和封存场所之间的联系。此外，CCS 的中长期持久性，可以通过将其列入《京都议定书》提出的清洁发展机制得到提高，特别是对发展中国家更应如此。最后，金融和保险业都必须参与到开发定制产品的环节中以解决长期负债问题。

法律和监管框架的制定

各国政府在设立 CCS 的法律和监管框架上都取得了重要进展，包括欧盟最近提出的法律框架。但是，我们还需要做更多的工作。为了解决二氧化碳运输问题、满足选址和监测要求、解决碳泄漏的法律责任、物权等问题，需要国家层面及下属各级政府的努力。国际海洋环境保护法已率先澄清二氧化碳海底封存的法律地位，伦敦公约中发展的方法和技术指导也为其他区域和国家政府制定适合自己国情的方法提供了重要的先例。

公众认识和接受度

目前公众对于 CCS 作为重要的减少温室气体排放途径的潜力认识普遍较低，对其的态度往往是漠不关心或不大赞成。在许多国家，公众对 CCS 的接受程度与管理公众健康和安全管理框架的发展密切相关。一些国家的政府已开始强有力的公共教育工作。但这些早期努力中的成功战略至今甚少。各国政府需要在国际上分享从这些方案中得到的经验教训，并根据这些结论调整其未来的工作方向。

国际合作

基于 CCS 的投资规模以及非经合组织国家化石燃料使用的预期增长，为了加快 CCS 推广显然需要国际间的合作。特别是，我们必须做更多的工作来制定一个协调的、相辅相成的全世界范围的 CCS 早期示范项目，并探索不同的服务于二氧化碳封存的技术和地质环境。这将有助于最大化最初的投资收益和弥补知识方面的差距。包括 IEA

(及其实施协议)和碳封存领导人论坛(CLSF)在内的很多组织都建立网络来分享有关CCS、选址、监测和核实、法律监管框架制定方面的经验和教训。然而,作为全球二氧化碳减排解决方案,如果CCS要充分发挥其潜力,这些网络必须扩大到将新兴经济体和中东在内的更广泛和有效的参与体包括进来。

CCS 路线图

通过制定和实施全球CCS路线图可以加强国际合作。在基于《能源技术展望2008》的CCS路线图及其他国家和国际层面的路线图上,我们进行了深入分析,包括一系列更广泛的短期、中期和长期的CCS发展目标,以实现到2030年的全球商业化。CCS的发展前景迫切需要统筹各主要利益相关者。G8, IEA, CSLF共同编写的《CCS近期发展机会》是在这个方向上迈出的第一步。该出版物制定的路线图概述了一个潜在途径,以加强政府和工业界利益相关者之间进一步对话,从而进一步协调CCS的全球战略。

目 录

第一章 引 言	1
政治背景	1
本研究的目的及范围	2
本书的结构	3
第二章 CCS 的情景	4
主要结论	4
本研究中的情景	5
结果	7
电力生产中的二氧化碳捕集	9
工业和燃料转换过程中的二氧化碳捕集	18
CCS 的地区使用	20
二氧化碳封存	20
第三章 二氧化碳捕集技术	23
主要结论	23
二氧化碳排放和捕集机会	24
电力和热力生产的二氧化碳捕集	25
燃烧后捕集	26
燃烧前捕集	29
富氧燃烧	29
化学循环	30
电力部门的二氧化碳捕集	31
先进煤炭技术	32
超临界 (SC) 和超超临界 (USC) 粉状煤燃烧	33