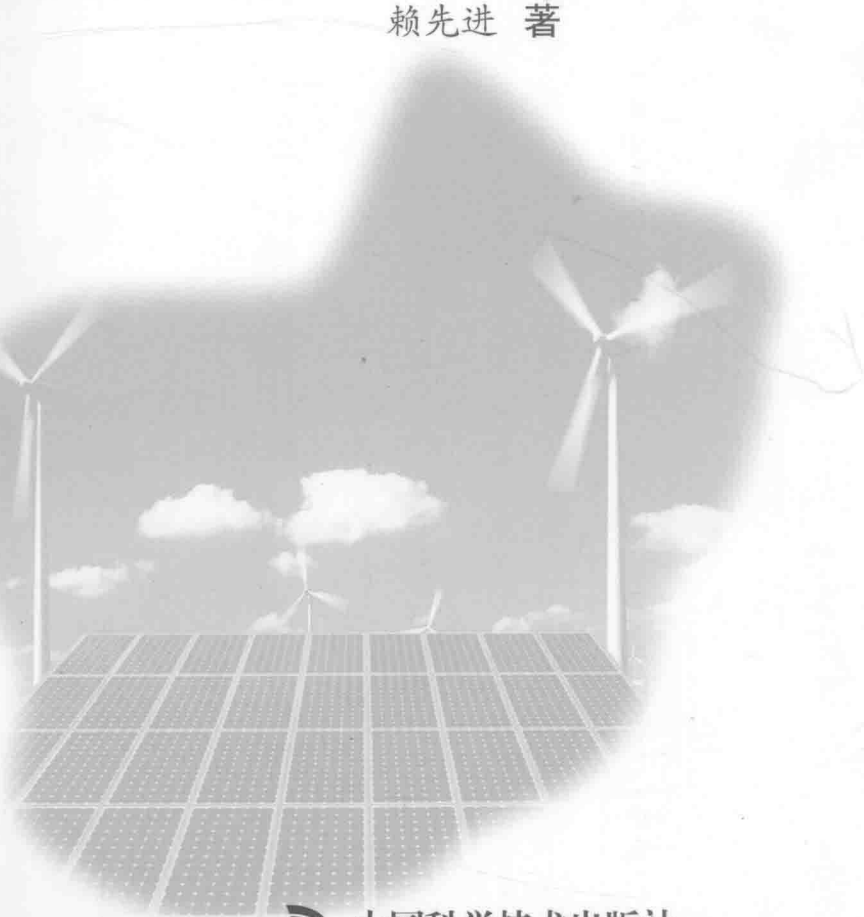


中国科协三峡科技出版资助计划

# 清洁能源技术 政策与管理研究

## ——以碳捕集与封存为例

赖先进 著



中国科学技术出版社  
CHINA SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

中国科协三峡科技出版资助计划

# 清洁能源技术 政策与管理研究

——以碳捕集与封存为例

赖先进 著



中国科学技术出版社

· 北 京 ·

## 图书在版编目 (CIP) 数据

清洁能源技术政策与管理研究：以碳捕集与封存为例/  
赖先进著. —北京：中国科学技术出版社，2014.6

(中国科协三峡科技出版资助计划)

ISBN 978 - 7 - 5046 - 6608 - 6

I. ①清… II. ①赖… III. ①二氧化碳 - 废气回收 -  
研究 - 中国 IV. ①X701.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 103577 号

---

总 策 划	沈爱民 林初学 刘兴平 孙志禹	责任编辑	张 楠 杨 丽
项 目 策 划	杨书宣 赵崇海	责任校对	孟华英
出 版 人	苏 青	印刷监制	李春利
编辑组组长	吕建华 赵 晖	责任印制	张建农

---

出 版 中国科学技术出版社  
发 行 科学普及出版社发行部  
地 址 北京市海淀区中关村南大街 16 号  
邮 编 100081  
发行电话 010 - 62103349  
传 真 010 - 62103166  
网 址 <http://www.cspbooks.com.cn>

---

开 本 787mm × 1092mm 1/16  
字 数 309 千字  
印 张 14  
版 次 2014 年 7 月第 1 版  
印 次 2014 年 7 月第 1 次印刷  
印 刷 北京盛通印刷股份有限公司

---

书 号 ISBN 978 - 7 - 5046 - 6608 - 6/X · 120  
定 价 66.00 元

---

(凡购买本社图书，如有缺页、倒页、脱页者，本社发行部负责调换)

# 总序

科技是人类智慧的伟大结晶，创新是文明进步的不竭动力。当今世界，科技日益深入影响经济社会发展和人们日常生活，科技创新发展水平深刻反映着一个国家的综合国力和核心竞争力。面对新形势、新要求，我们必须牢牢把握新的科技革命和产业变革机遇，大力实施科教兴国战略和人才强国战略，全面提高自主创新能力。

科技著作是科研成果和自主创新能力的重要体现形式。纵观世界科技发展历史，高水平学术论著的出版常常成为科技进步和科技创新的重要里程碑。1543年，哥白尼的《天体运行论》在他逝世前夕出版，标志着人类在宇宙认识论上的一次革命，新的科学思想得以传遍欧洲，科学革命的序幕由此拉开。1687年，牛顿的代表作《自然哲学的数学原理》问世，在物理学、数学、天文学和哲学等领域产生巨大影响，标志着牛顿力学三大定律和万有引力定律的诞生。1789年，拉瓦锡出版了他的划时代名著《化学纲要》，为使化学确立为一门真正独立的学科奠定了基础，标志着化学新纪元的开端。1873年，麦克斯韦出版的《论电和磁》标志着电磁场理论的创立，该理论将电学、磁学、光学统一起来，成为19世纪物理学发展的最光辉成果。

这些伟大的学术论著凝聚着科学巨匠们的伟大科学思想，标志着不同时代科学技术的革命性进展，成为支撑相应学科发展宽厚、坚实的奠基石。放眼全球，科技论著的出版数量和质量，集中体现了各国科技工作者的原始创新能力，一个国家但凡拥有强大的自主创新能力，无一例外也反映到其出版的科技论著数量、质量和影响力上。出版高水平、高质量的学术著

作，成为科技工作者的奋斗目标和出版工作者的不懈追求。

中国科学技术协会是中国科技工作者的群众组织，是党和政府联系科技工作者的桥梁和纽带，在组织开展学术交流、科学普及、人才举荐、决策咨询等方面，具有独特的学科智力优势和组织网络优势。中国长江三峡集团公司是中国特大型国有独资企业，是推动我国经济发展、社会进步、民生改善、科技创新和国家安全的重要力量。2011年12月，中国科学技术协会和中国长江三峡集团公司签订战略合作协议，联合设立“中国科协三峡科技出版资助计划”，资助全国从事基础研究、应用基础研究或技术开发、改造和产品研发的科技工作者出版高水平的科技学术著作，并向45岁以下青年科技工作者、中国青年科技奖获得者和全国百篇优秀博士论文获得者倾斜，重点资助科技人员出版首部学术专著。

由衷地希望，“中国科协三峡科技出版资助计划”的实施，对更好地聚集原创科研成果，推动国家科技创新和学科发展，促进科技工作者学术成长，繁荣科技出版，打造中国科学技术出版社学术出版品牌，产生积极的、重要的作用。

是为序。

## 序 言

纵观世界科技革命史，每一次能源技术革命都会带来工业革命，每次能源动力的革新都带来人类生产、生活方式的重大变迁。从史前火的发明，到18世纪蒸汽机的发明，再从19世纪电的发明，到20世纪核能的利用和21世纪新兴能源的开发，都验证了这一科学的论断。当今世界，全球气候变化问题正深刻地影响着能源技术创新与变革。在全球温室气体减排和控制的大背景下，发展清洁能源是国际社会进行气候变化治理的普遍共识，也是我国建设美丽中国、有效应对气候变化的战略选择。可以预见，清洁能源是未来人类解决温室气体问题、推进新一轮工业技术革命具有划时代意义的战略选项。

清洁能源是当前国内外能源研究的前沿热点主题。在这样的理论与实践背景下，赖先进博士以碳捕集与封存（CCS）为例，对新兴的清洁能源政策与管理进行了富有开创性的系统研究，出版这部《清洁能源技术政策与管理研究——以碳捕集与封存为例》。这部著作选题新颖、特色鲜明，在理论分析和论证方面具有很好的开拓性、创新性，可以说是迄今为止第一部针对碳捕集与封存相关政策与管理问题进行专门研究的学术专著。我认为，本书取得了以下几个方面的成果：一是分析碳捕集与封存技术成为国际气候变化治理选项的发展历程及其政治社会原因。二是运用技术创新系统理论，对我国碳捕集与封存技术创新系统结构及功能进行了实证研究。三是基于大科学工程五要素分析模型，对美国未来煤电（FutureGen）工程、加州氢能工程（HECA）和中国绿色煤电（GreenGen）工程决策与执行进行了比较案例研究。四是提出促进我国碳捕集与封存技术发展的激励政策工具

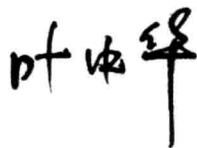
及其优先选项，并利用实物期权模型，进行了政策情境模拟分析。最后，针对碳捕集与封存技术风险及规制问题，参照主要发达国家的政策实践，提出我国建立碳捕集与封存技术规制体系的框架设计与工具选择。

值得注意的是，作者运用调查问卷方法，在技术创新系统理论框架下设计专题调查问卷，首次对我国国内碳捕集与封存主要技术专家进行专题调研。我很荣幸地成为参与问卷调研的一员，提交了我自己的专业看法、意见和建议。可以看出，作者充分掌握了国内外同类研究进展和趋势，将理论规范研究和实证研究方法有机结合，综合运用定量和定性方法展开研究，行文流畅，文献和数据资料引用规范，研究结论鲜明、可靠。

总而言之，《清洁能源技术政策与管理研究——以碳捕集与封存为例》专著的出版，对于推动我国清洁能源技术创新、加强气候变化治理具有一定的理论意义和现实意义，对于我国清洁能源政策制定也具有很好的参考价值。希望作者在学术道路上走得更远更好，期待有更多的有志于从事能源政策研究的学者加入这一研究行列，使更多的精彩研究成果不断涌现、问世。

是为序。

中国科学院大学 副校长

Handwritten signature in black ink, reading '叶中华' (Ye Zhonghua).

2014年1月16日

## 作者简介



赖先进，北京大学政府管理学院博士后、中央党校政法教研部讲师。2013年1月毕业于中国科学院研究生院，获博士学位（硕博连读，锡拉丘兹大学马克斯维尔公民与公共事务学院联合培养博士生）；2008年6月毕业于四川大学公共管理学院获学士学位。主要研究方向为科技政策与管理，公共管理。

先后主持并完成北京市社会科学基金项目1项、中国博士后基金面上项目1项、北京市朝阳区政府研究课题1项，参与多项国家自然科学基金、国家软科学项目研究。先后参与编写专著2部，荣获省部级奖励2项。近年来在 *Energy Policy*、《中国行政管理》、《北京大学学报》、《科学学与科学技术管理》等国际国内核心期刊发表学术论文10余篇。尤其是在我国碳捕集与封存（CCS）技术政策与管理方面的开拓性研究得到国际学术界广泛关注及高度肯定。



## 中国科协三峡科技出版资助计划 2012 年第一期资助著作名单

(按书名汉语拼音顺序)

1. 包皮环切与艾滋病预防
2. 东北区域服务业内部结构优化研究
3. 肺孢子菌肺炎诊断与治疗
4. 分数阶微分方程边值问题理论及应用
5. 广东省气象干旱图集
6. 混沌蚁群算法及应用
7. 混凝土侵彻力学
8. 金佛山野生药用植物资源
9. 科普产业发展研究
10. 老年人心理健康研究报告
11. 农民工医疗保障水平及精算评价
12. 强震应急与次生灾害防范
13. “软件人”构件与系统演化计算
14. 西北区域气候变化评估报告
15. 显微神经血管吻合技术训练
16. 语言动力系统与二型模糊逻辑
17. 自然灾害与发展风险

## 中国科协三峡科技出版资助计划 2012 年第二期资助著作名单

(按书名汉语拼音顺序)

1. BitTorrent 类型对等网络的位置知晓性
2. 城市生态用地核算与管理
3. 创新过程绩效测度——模型构建、实证研究与政策选择
4. 商业银行核心竞争力影响因素与提升机制研究
5. 品牌丑闻溢出效应研究——机理分析与策略选择
6. 护航科技创新——高等学校科研经费使用与管理务实
7. 资源开发视角下新疆民生科技需求与发展
8. 唤醒土地——宁夏生态、人口、经济纵论
9. 三峡水轮机转轮材料与焊接
10. 大型梯级水电站运行调度的优化算法
11. 节能砌块隐形密框结构
12. 水坝工程发展的若干问题思辨
13. 新型纤维素系止血材料
14. 商周数算四题
15. 城市气候研究在中德城市规划中的整合途径比较
16. 心脏标志物实验室检测应用指南
17. 现代灾害急救
18. 长江流域的枝角类

# 中国科协三峡科技出版资助计划 2013 年第三期资助著作名单

(按书名汉语拼音顺序)

1. 蛋白质技术在病毒学研究中的应用
2. 当代中医糖尿病学
3. 滴灌——随水施肥技术理论与实践
4. 地质遗产保护与利用的理论及实证
5. 分布式大科学项目的组织与管理：人类基因组计划
6. 港口混凝土结构性能退化及耐久性设计
7. 国立北平研究院史稿
8. 海岛开发成陆工程技术
9. 环境资源交易理论与实践研究——以浙江为例
10. 荒漠植物蒙古扁桃生理生态学
11. 基础研究与国家目标——以北京正负电子对撞机为例的分析
12. 激光火工品技术
13. 抗辐射设计与辐射效应
14. 科普产业概论
15. 科学与人文
16. 空气净化原理、设计与应用
17. 煤炭物流——基于供应链管理的大型煤炭企业分销物流模式及其风险预警研究
18. 农产品微波组合干燥技术
19. 配电网规划
20. 腔静脉外科学
21. 清洁能源技术政策与管理研究——以碳捕集与封存为例
22. 三峡水库生态渔业
23. 深冷混合工质节流制冷原理及应用
24. 生物数学思想研究
25. 实用人体表面解剖学
26. 水力发电的综合价值及其评价
27. 唐代工部尚书研究
28. 糖尿病基础研究与临床诊治
29. 物理治疗技术创新与研发
30. 西双版纳傣族传统灌溉制度的现代变迁
31. 新疆经济跨越式发展研究
32. 沿海与内陆就地城市化典型地区的比较
33. 疑难杂病医案
34. 制造改变设计——3D 打印直接制造技术
35. 自然灾害会影响经济增长吗——基于国内外自然灾害数据的实证研究
36. 综合客运枢纽功能空间组合设计——理论与实践
37. TRIZ——推动创新的技术（译著）
38. 从流代数到量子色动力学：结构实在论的一个案例研究（译著）
39. 风暴守望者——天气预报风云史（译著）
40. 观测天体物理学（译著）
41. 可操作的地震预报（译著）
42. 绿色经济学（译著）
43. 谁在操纵碳市场（译著）
44. 医疗器械使用与安全（译著）
45. 宇宙天梯 14 步（译著）
46. 致命的引力——宇宙中的黑洞（译著）

---

## 发行部

地址：北京市海淀区中关村南大街 16 号

邮编：100081

电话：010 - 62103354

## 办公室

电话：010 - 62103166

邮箱：kxsxcb@ cast. org. cn

网址：<http://www.cspbooks.com.cn>

# 目 录

总 序

序 言

<b>第 1 章 引言</b> .....	1
1.1 研究背景——人类活动导致全球气候变化 .....	1
1.2 国内外相关研究现状与评述 .....	9
1.3 研究方法、技术路线、创新点与难点 .....	13
1.4 小结 .....	16
<b>第 2 章 气候变化治理的制度失效与技术选择</b> .....	17
2.1 国际气候变化治理制度框架的建立 .....	17
2.2 气候变化治理分歧与权变 .....	22
2.3 导入技术、走向协同治理是国际气候治理之道 .....	24
2.4 小结 .....	27
<b>第 3 章 碳捕集与封存：气候治理的重要选项</b> .....	28
3.1 后京都时代气候协同治理技术选择 .....	28
3.2 主要国家的碳捕集与封存技术发展 .....	32
3.3 碳捕集与封存：从科学理念到国际共识 .....	36
3.4 CCS 成为气候治理选项的政治社会原因 .....	38
3.5 小结 .....	41
<b>第 4 章 清洁能源技术创新系统的结构与功能</b> .....	43
4.1 技术创新系统理论的溯源与本质内涵 .....	43

4.2	美国 CCS 技术创新系统的结构组成分析 .....	48
4.3	中国 CCS 技术创新系统结构与功能评估 .....	52
4.4	小结 .....	65
<b>第 5 章</b>	<b>清洁能源协同创新平台的构建与优化 .....</b>	<b>67</b>
5.1	产业协同创新与中国产业创新能力 .....	67
5.2	构建产业协同创新平台, 协同推进产业创新 .....	70
5.3	小结 .....	74
<b>第 6 章</b>	<b>清洁能源大科学工程实施案例研究 .....</b>	<b>75</b>
6.1	美国未来煤电工程实施的案例研究 .....	76
6.2	加州氢能工程决策与实施案例研究 .....	84
6.3	中国绿色煤电工程决策与实施案例研究 .....	86
6.4	大科学工程实施五要素模型分析 .....	92
6.5	小结 .....	98
<b>第 7 章</b>	<b>清洁能源技术政策制定与工具选择 .....</b>	<b>99</b>
7.1	清洁能源技术政策制定的理论基础 .....	99
7.2	促进和激励清洁能源发展的政策工具 .....	101
7.3	基于实物期权模型的政策情境模拟 .....	109
7.4	小结 .....	114
<b>第 8 章</b>	<b>清洁能源技术风险分析与管理规制 .....</b>	<b>116</b>
8.1	清洁能源技术风险与政府规制问题 .....	116
8.2	主要发达国家 CCS 规制政策与体系 .....	120
8.3	中国 CCS 政策规制体系的设计与构建 .....	124
8.4	小结 .....	128
<b>第 9 章</b>	<b>清洁能源政策扩散机制与模式分析——基于公共政策的视角 .....</b>	<b>129</b>
9.1	基本概念界定和研究问题的提出 .....	129

9.2 公共政策扩散的三种理论分析路径 .....	130
9.3 中国公共政策扩散的四种基本模式 .....	134
9.4 促进中国公共政策扩散的动力机制 .....	138
9.5 小结 .....	142
<b>第 10 章 结论与展望 .....</b>	<b>143</b>
10.1 基本结论 .....	143
10.2 研究展望 .....	147
后记 .....	148
附录 .....	150
附录一 碳捕集与封存技术创新调查问卷 .....	150
附录二 中国与 OECD 国家能源、经济与 CO <sub>2</sub> 排放数据表 .....	154
附录三 中国碳捕集与封存试验与示范工程 .....	174
附录四 中国碳捕集与封存国际合作研究项目 .....	176
附录五 中国政府资助的碳捕集与封存研究项目 .....	178
附录六 美国主要碳捕集与封存技术工程项目 .....	180
参考文献 .....	189
索引 .....	202
名词中英文对照及缩略词 .....	205

# 第1章 引言

进入 21 世纪以来，能源与环境问题成为人类文明可持续发展共同面临的重大挑战。随着全球气候变化的出现，世界能源与环境问题的内涵和条件都发生着新的重大变化。一方面，以二氧化碳为主体的温室气体成为全球环境保护的“污染物”，是全球气候变化治理的重点对象；另一方面，作为当前全球主要能源消耗的化石能源成为温室气体排放的主要来源，也是全球公共治理的对象。在这样的条件下，能源技术创新活动与环境问题的耦合度、关联度日益加深，使能源更加低碳化、清洁化成为能源技术创新的新目标。科技作为人类社会唯一线性发展和进步的主导性力量，将彻底切换全球气候变化治理的“主轴”。在后京都时代气候治理格局中，科技始终是主导性的动力“引擎”。发展低碳清洁能源技术，既能有效满足人类日益增长的能源需求，又有利于持续推动二氧化碳减排。新兴清洁能源技术是人类解决气候危机、能源危机和环境危机的战略性支点。

## 1.1 研究背景——人类活动导致全球气候变化

随着全球气候变化问题的提出，针对气候变化的科学研究成为摆在科学家面前的重大问题。全球气候变化成为新兴科学领域，也是当前发展最为迅速、最为活跃的前沿科学领域之一。与此同时，由于气候变化问题从科学议程逐渐步入公共议程，气候变化问题也成为人类社会关注的焦点科学话题。如何采取行动减缓和适应全球气候变化是国际社会、各国政府甚至是公众讨论的热点议题。

### 1.1.1 研究问题的提出

全球气候正在发生以变暖为主要特征的显著变化。气候不同于短时间的天气现象（如雷雨、冰雹和大风等），是某地区气候系统在时段内的平均统计特征。1845 年，近代气候学创始人亚历山大·冯·洪堡（Alexander von Humboldt）曾将气候定义为：地区长时期内天气状态的综合反映。《联合国气候变化框架公约》将“气候变化”定义

为：“经过相当一段时间的观察，在自然气候变化之外由人类活动直接或间接地改变全球大气组成所导致的气候改变。”科学意义上的气候变化是指气候平均值和离差值两者中的一个或两者同时随时间出现了统计意义上的显著变化。

大量的科学证据及观测数据表明，全球气候变暖已经成为不争的科学事实，气候系统变暖是毋庸置疑的。作为当前国际气候治理的科学咨询机构，政府间气候变化专门委员会（IPCC）第四次评估报告指出，全球平均温度在近一百年来（1906—2005）线性上升了 $0.74^{\circ}\text{C}$ ；1961年以来，全球平均海平面上升的平均速率为每年 $1.8\text{mm}$ ；北极年平均海冰面积已经以每十年 $2.7\%$ 的速率退缩（图 1.1）。2013 年，IPCC 发布第五次气候变化评估报告《气候变化 2013：自然科学基础》进一步明确指出，20 世纪 50 年代以来，观测到的全球气候系统的许多变化（大气和海洋温度升高、冰雪覆盖面积减少、海平面上升以及大气中二氧化碳浓度增加）是过去几十年甚至千年以来史无前例的（图 1.2），过去 30 年极有可能（90% 以上的可能性）是近 800~1400 年间最热的 30 年。

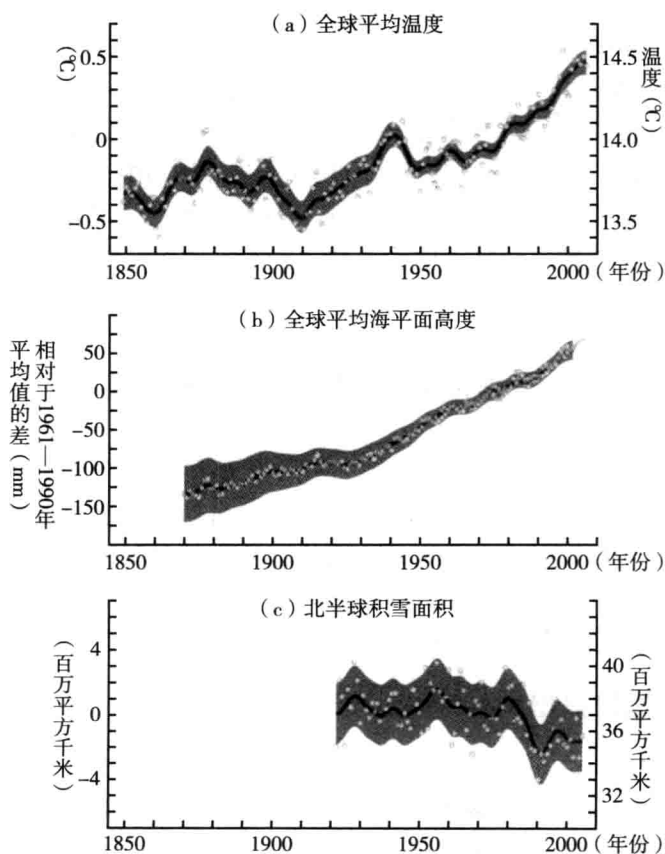


图 1.1 1850 年以来全球平均温度、海平面高度及北半球积雪面积变化图<sup>[191]</sup>

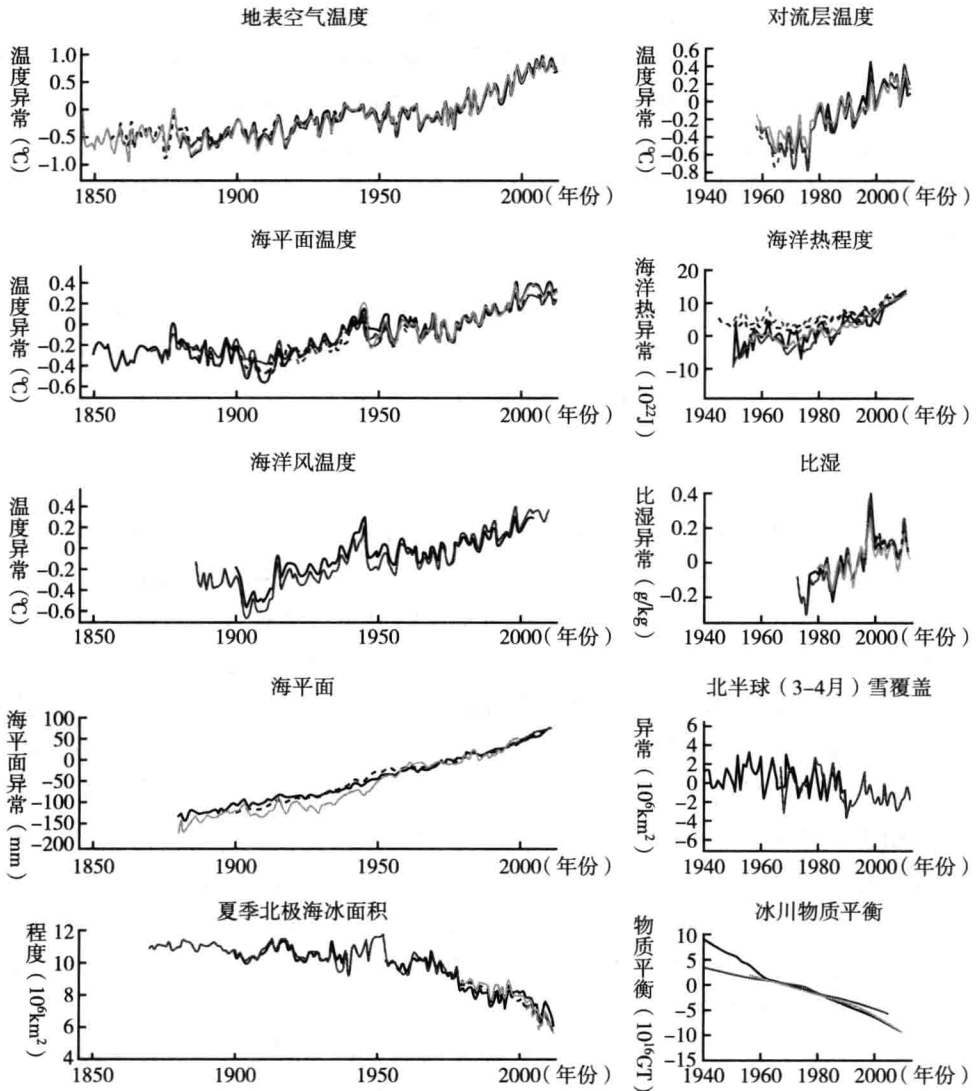


图 1.2 衡量全球气候变化的多项指标<sup>[1]</sup>

气候变化对人类文明可持续发展破坏巨大、影响深远。首先，气候变化的最直接危害是全球海平面上升。由于以全球变暖为中心的气候变化，必然导致两极、山川冰雪大量消融，占全球 71% 的海洋海水膨胀，从而导致海平面上升，淹没海滩、海岸和沿海低地。海平面上升势必威胁全球经济发达、财富集中的沿海地区，对全球经济发展造成巨大破坏。其次，全球气候变化容易引发极端天气现象频繁发生。近年来，世界范围内的暴雪、暴雨、洪水、干旱、冰雹、雷电、台风等极端气候事件异常频繁。最后，气候变



化将对自然生态系统产生直接影响，通过改变地球自然环境的基本条件，可能使许多地区自然生态系统由于难以适应气候变化而遭受破坏性的影响。尤其是对农业形成重大冲击，干旱和半干旱地区由于温度的升高，粮食将大大减产。气候变化导致的气温的细微改变，对全球粮食生产会造成意想不到的严重后果，直接威胁到全球数以千万计的贫困人口。

自然过程和人类活动是导致气候变化的两方面因素。产生气候变化的自然因素包括火山活动、太阳辐射、地球运行轨道变化、造山运动等，人类因素包括温室气体排放、气溶胶、土地利用和城市化等。人类活动“极其可能”是20世纪中期以来观测到的全球气候变暖的主要原因。科学研究表明人类活动因素在引致全球气候变化中占据重要权重。IPCC第四次评估报告提出自20世纪中期以来全球气候变化很大程度上(90%以上)是由于人类活动导致的，特别是化石燃料的使用<sup>①</sup>。由于人类活动，全球大气中温室气体集中度已经显著上升；目前，二氧化碳集中度大约已经达到工业化前期水平的135%。

化石能源的大量燃料是导致全球气候变化的“罪魁祸首”。由于人类大量燃烧化石能源，致使二氧化碳等温室气体大量排放。在温室效应自然规律的驱动下，温室气体大量排放引致全球气候变暖。以二氧化碳为主体的温室气体排放之所以会引起全球变暖，其作用机制在于温室气体产生温室效应。温室效应是由于地球外部的大气层对太阳短波辐射几乎不完全吸收而吸收地球向外的大部分长波辐射，地球在大气层温室气体的作用下，接受大气的逆辐射而出现的升温现象。只要人类大量排放温室气体，导致大气层温室气体明显增加，地表平均温度就会因为逆向辐射而出现升温。以经济合作与发展组织(OECD)国家和中国为例，在1990—2013年的24年区间内，这些国家化石能源燃烧每年平均向大气排放二氧化碳166.07亿吨；其中，美国化石能源每年向大气排放二氧化碳均值最高，达到53.76亿吨；中国化石能源燃烧每年向大气排放二氧化碳均值为第二，达到44.45亿吨；日本化石能源燃烧每年向大气排放二氧化碳均值为第三，达到11.60亿吨(见附录二)。

至今，气候变化问题已从科学问题、能源问题、环境问题，演变成国际政治经济问题。纵观世界，气候变化从单纯的自然科学问题转变为涉及国际事务、国家事务及地区公共事务的公共问题。为积极应对气候变化从而早日达成国际共识，国际社会启动了应对气候变化的协调机制，展开多次气候变化国际谈判。但是，1995—2012年间已经进行的十八次《联合国气候变化框架公约》缔约方会议表明，由于各国政治、经济利益博弈，通过气候变化谈判，制定“全球气候政策”困难重重。单纯依靠制定长

<sup>①</sup> 尽管目前少数科学家对IPCC气候变化成因有争议，但是国际科学界对气候变化成因还是形成了共识，国际科学院理事会(IAC)经过对IPCC进行独立评审后，认为IPCC组织各国科学家编写并定期发布气候变化评估报告总体上是成功的。本文对于气候变化的科学认知是依据IPCC报告为基础的。