



高等教育“十二五”规划教材

低碳技术与 政策管理导论

李进 于海琴 主编

DITAN JISHU YU
ZHENGCE GUANLI DAOLUN



北京交通大学出版社
<http://www.bjtup.com.cn>

高等教育“十二五”规划教材

低碳技术与政策管理导论

李 进 于海琴 主编

北京交通大学出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书以全球灾难性气候变化引发人类生存危机及低碳经济发展为前提,介绍了温室效应、低碳、低碳经济及碳排放权交易的概念及内涵,在基本概念的基础上引申出低碳理念与可持续发展的关系;从技术性碳减排和政策性碳减排两大方面介绍了为实现低碳发展而实施的国际公约、中国及世界各国的低碳政策及低碳能源技术;通过相关部门公布的统计数据介绍中国及全球碳排放形势及国家、区域、企业碳排放清单的编制方法和排放量的计算方法,同时也介绍了与个人相关的碳足迹的计算方法;在全面概述碳排放交易机制内容的基础上,重点介绍了 CDM 交易机制及项目申报程序;介绍了在相关政策下的碳排放情景分析及电力、钢铁、交通、水泥等高碳行业碳排放现状和减排策略、技术措施;介绍了 CCUS 相关的碳捕获、运输、封存及资源化利用的技术方法。

本书可作为高等学校本科生的教材或教学参考书,也可作为相关领域技术人员、科研人员的参考资料。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

低碳技术与政策管理导论 / 李进, 于海琴主编. — 北京: 北京交通大学出版社, 2015. 6

(高等教育“十二五”规划教材)

ISBN 978-7-5121-2298-7

I. ① 低… II. ① 李… ② 于… III. ① 气候变化-影响-产业政策-中国-高等学校-教材 IV. ① F121

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 144689 号

责任编辑: 田秀青

出版发行: 北京交通大学出版社

电话: 010-51686414

北京市海淀区高粱桥斜街 44 号

邮编: 100044

印刷者: 北京交大印刷厂

经 销: 全国新华书店

开 本: 185×260 印张: 13.75 字数: 343 千字

版 次: 2015 年 6 月第 1 版 2015 年 6 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5121-2298-7/F·1508

印 数: 1~2 000 册 定价: 29.00 元

本书如有质量问题, 请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评, 我们表示欢迎和感谢。
投诉电话: 010-51686043, 51686008; 传真: 010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。

前 言

人类活动导致的全球变暖已经威胁到人类的生存，这是世界共识也是全球最热议的话题之一；应对全球气候变化正从单一的环境问题演变成一个涉及全球环境、国际政治、世界经济、国际贸易等问题的复杂议题，成为世界各国博弈的尖锐问题。世界各国已意识到气候变化的严重性和应对的紧迫性，纷纷出台低碳经济国家方案、路线图及减排目标；中国在哥本哈根会议上明确提出 CO₂ 减排目标，承诺到 2020 年我国单位国内生产总值 CO₂ 排放比 2005 年下降 40%~45%，这是一项艰巨的任务。低碳经济作为一种新型经济发展模式已成为全球共同关注的重大课题，也将成为我国经济发展新的增长点，与低碳相关的学科及专业有着广阔的发展前景。高校作为教育机构应该承担相应的责任，把“低碳教育”作为基础知识结构及综合素质培养要求的重要组成部分，将“低碳教育”纳入本科生教育计划，在高校教育中大力推广低碳教育，将低碳理念渗入自然科学、技术科学、人文社会科学等综合性教学和实践环节中；引导企业特别是管理者培养战略眼光，并将之付诸实践，通过将气候变化问题纳入企业运营管理及市场、科研开发的决策之中，在降低能源消耗和碳排放的同时降低由此带来的环境、法规、市场等风险，通过自觉实践低碳生产、低碳生活和低碳管理，可以有效地利用自身的优势和方法去推动低碳经济的发展。

控制全球 CO₂ 排放量，减缓全球暖化速度，单纯地依靠减排和捕获技术不是科学的方法，必须要与政策减排协同。基于此，本书的主要内容包括低碳技术和低碳政策两大方面。

全书共 6 章，第 1 章主要基于温室效应所导致的全球气候变化影响的背景，重点介绍温室效应、低碳的概念和内涵，全球应对气候变化所采取的措施，低碳技术及低碳政策框架及发展的历程，同时介绍全球 CO₂ 排放情况、排放情景分析；第 2 章主要介绍碳排放交易机制、交易机构及体系，结合案例分析，重点介绍与中国碳减排相关的 CDM 项目的内容和申请程序；第 3 章主要介绍碳排放量测算方法、工业领域 CO₂ 排放清单编制方法，并以电力、钢铁、水泥、建筑等高碳行业为典型，介绍工业企业 CO₂ 排放状况及核算方法；第 4 章在分析能源结构及发展的基础上，主要介绍清洁能源的碳减排作用；第 5 章主要介绍电力、交通、水泥等行业碳减排技术的方法和途径，尤其是燃烧后烟气中 CO₂ 捕获技术；第 6 章主要介绍捕获后的 CO₂ 运输、封存与资源化利用的技术方法、风险及监督措施。通过此书，期望读者对低碳的概念、内涵和碳减排相关技术、

政策有一个较为全面的了解。

本书由李进、于海琴主编，其中第1章由于海琴、陈蕊编写，第2章由李进编写，第3、5、6章由于海琴编写，第4章由李进、陈蕊编写，全书由于海琴统稿。

在本书的编写过程中，参考了国内外许多专家学者的文献资料，鉴于有些文献资料无法辨别出处在参考文献中没有一一列出，在此表示衷心的感谢。

由于本书涉及内容庞杂，编者水平有限，加之低碳技术和政策的不断发展，信息更新很快，本书内容并不全面，不妥和疏漏之处敬请读者批评指正，以便在后续工作中加以改进和完善。

编者

2015年3月

目 录

第 1 章 温室效应和低碳基础	(1)
1.1 温室效应和温室气体	(1)
1.1.1 温室效应及温室气体	(1)
1.1.2 温室效应的影响	(4)
1.1.3 科学看待温室效应及其影响	(10)
1.1.4 全球变暖潜能和 CO ₂ 当量排放	(13)
1.2 碳循环和气候灾难	(14)
1.2.1 自然界 CO ₂ 的循环	(14)
1.2.2 碳源和碳汇	(15)
1.2.3 气候灾难	(15)
1.2.4 CO ₂ 排放现状及碳排放情景	(16)
1.3 低碳概念与可持续发展	(25)
1.3.1 低碳概念和内涵	(25)
1.3.2 政府间气候变化专门委员会	(27)
1.3.3 低碳历程	(27)
1.4 国际公约与各国低碳政策	(33)
1.4.1 国际公约	(33)
1.4.2 世界各国的低碳政策	(35)
1.5 中国面临的环境问题及低碳政策	(37)
1.5.1 中国 CO ₂ 排放情况	(37)
1.5.2 中国温室气体排放情景	(39)
1.5.3 中国低碳政策及发展	(40)
第 2 章 碳排放交易与管理	(45)
2.1 碳排放交易机制	(45)
2.1.1 减排机制	(45)
2.1.2 碳排放权交易解析	(46)
2.1.3 清洁发展机制	(58)
2.1.4 森林碳汇、碳税及减排效果预测分析	(63)

2.2	碳排放权交易的市场和管理	(72)
2.2.1	国内外温室气体排放权交易机构和模式	(72)
2.2.2	国际温室气体指标交易体系和交易计划	(76)
2.2.3	中国碳交易布局	(80)
2.3	企业申请 CDM 项目的国内和国际程序	(85)
2.3.1	企业在国内申请 CDM 项目的程序	(85)
2.3.2	联合国 CDM 项目报批程序	(87)
2.4	CDM 案例分析——福建漳浦县海边风电场 CDM 项目	(90)
2.4.1	项目基本情况简介	(90)
2.4.2	项目涉及机构简介	(91)
2.4.3	项目开发过程	(92)
2.4.4	项目技术说明	(95)
2.4.5	项目注册成功的影响	(96)
2.4.6	相关方面对项目的意见	(97)
2.4.7	CDM 项目开发过程的经验	(98)
第3章	工业过程碳排放核算及排放清单	(100)
3.1	工业行业 CO ₂ 排放现状	(103)
3.2	能源消耗性碳源排碳量测算方法	(107)
3.2.1	IPCC 推荐 CO ₂ 排放量计算方法	(108)
3.2.2	实测方法	(109)
3.2.3	物料衡算方法	(109)
3.2.4	宏观模型方法	(109)
3.2.5	企业产能方法	(110)
3.3	电力行业 CO ₂ 排放状况及核算	(110)
3.4	钢铁行业 CO ₂ 排放状况及核算	(114)
3.5	水泥行业 CO ₂ 排放状况及核算	(116)
3.6	建筑业 CO ₂ 排放状况及核算	(120)
3.6.1	材料生产与建造	(120)
3.6.2	使用期间能耗	(120)
3.6.3	维护与更新	(121)
3.6.4	拆除和重新利用	(121)
3.7	累计量计算方法	(121)
3.8	碳排放量测算的研究和方法	(121)
3.8.1	碳排放量测算的研究	(121)
3.8.2	碳排放量测算的方法	(122)
3.9	工业领域 CO ₂ 排放清单编制	(123)

3.10	碳足迹及碳足迹计算器	(124)
第4章	清洁能源技术及碳减排作用	(127)
4.1	能源结构现状和发展趋势	(128)
4.1.1	世界能源结构背景	(128)
4.1.2	中国的能源结构现状及能源政策	(129)
4.2	清洁煤技术	(136)
4.3	太阳能及其利用	(136)
4.4	风能及其利用	(140)
4.5	核能及利用	(141)
4.6	其他能源	(143)
4.6.1	水能	(143)
4.6.2	潮汐能	(144)
4.6.3	生物能	(144)
4.6.4	地热能	(145)
4.6.5	氢能	(146)
第5章	碳减排策略与技术	(149)
5.1	电力行业 CO ₂ 减排策略与技术	(149)
5.1.1	电力行业 CO ₂ 排放现状与控制政策	(149)
5.1.2	电力清洁煤发电技术与碳减排应用	(153)
5.1.3	燃烧后烟气碳捕获技术	(157)
5.1.4	能源结构调整减排	(164)
5.1.5	优化发供电管理减排	(165)
5.2	交通领域碳减排技术	(169)
5.2.1	交通领域对全球温室气体排放的贡献率	(169)
5.2.2	交通领域温室气体的减排途径	(171)
5.3	水泥工业碳减排技术	(183)
5.3.1	设备优化和技术改造	(183)
5.3.2	余热回收	(184)
5.3.3	富氧燃烧技术	(184)
5.3.4	使用低碳替代原料和替代燃料	(184)
5.3.5	提高水泥厂自动化水平	(185)
5.3.6	水泥生产流化床水泥窑系统和燃烧器	(185)
5.3.7	发展低碳水泥	(186)
5.3.8	碳捕获及储存技术 (CCS)	(186)
5.3.9	提高水泥质量来降低混凝土中水泥用量	(187)
5.3.10	水泥企业参加 CDM 项目合作	(187)

5.4	建筑领域碳减排技术	(187)
5.4.1	低碳建筑材料	(188)
5.4.2	设计、施工过程中的低碳技术	(188)
5.4.3	使用过程的低碳模式	(190)
5.5	低碳城市和低碳经济	(191)
5.5.1	低碳城市	(191)
5.5.2	低碳经济	(193)
第6章	CO₂ 封存与资源化	(195)
6.1	CO ₂ 的运输和封存技术	(196)
6.1.1	CO ₂ 的运输	(196)
6.1.2	CO ₂ 封存技术	(197)
6.1.3	风险、泄漏及安全监督	(202)
6.2	CO ₂ 资源化技术	(204)
6.2.1	利用 CO ₂ 重整 CH ₄ 制备合成气	(205)
6.2.2	CO ₂ 直接加 H ₂ 合成 CH ₃ OH	(205)
6.2.3	CO ₂ 与氨合成尿素	(205)
6.2.4	以 CO ₂ 为初始原料合成碳酸酯、聚碳酸酯	(206)
6.2.5	微藻固定 CO ₂ 制备生物燃料	(206)
6.2.6	超临界 CO ₂ 的利用	(206)
6.2.7	其他资源化利用	(206)
6.3	案例	(207)
参考文献	(210)



第 1 章

温室效应和低碳基础

1.1 温室效应和温室气体

温室效应问题已成为 21 世纪备受全球瞩目的环境问题，在 2007 年达沃斯世界经济论坛年会上气候变化问题陡然升温，气候变化问题超过恐怖主义、阿以冲突、伊拉克问题，成为压倒一切的首要问题。气候变化及其对经济和社会发展的影响正成为当前世界各国政府和科学家们所关注的重大问题。世界各国已意识到气候变化的严重性和应对的紧迫性，低碳经济作为一种新型经济发展模式已成为全球共同关注的重大课题，也将成为我国经济发展新的增长点，有关低碳学科的发展有着广阔的前景。

政府间气候变化专门委员会（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC）第三工作组关于减缓气候变化经济影响评估的第五次报告特别强调，未来温室气体排放取决于发展路径选择，选择以较低的宏观经济成本把大气中温室气体浓度稳定在较低水平。全球未来的温室气体排放增长主要来自发展中国家，中短期减排潜力很大。减缓气候变化涉及成本和政策选择，如果考虑社会成本，从经济上看，减缓成本并不高，关键是要制定减排政策、措施。国际社会对全球气候变暖的科学认识不断加深，气候变化是环境问题，也是发展问题，归根结底是发展问题。发展路径选择影响温室气体排放，向低碳经济转型已经成为世界经济发展的大趋势，发展低碳经济已成为世界主要国家统筹经济发展与保护全球气候的根本性战略选择，发展低碳经济正成为世界潮流。

1.1.1 温室效应及温室气体

温室效应（Greenhouse Effect），又称“花房效应”，是大气保温效应的俗称，是自然界承受地球表面释放热量的一种现象。地球大气能使太阳短波辐射到达地面，但地表向外放出的长波热辐射线却被大气吸收，这样就使地表与低层大气温度增高，因其作用类似于栽培农作物的温室，故名温室效应。一般定义：低层大气由于对长波和短波辐射的吸收特性不同而引起的增温现象。自工业革命以来，人类向大气中排入的 CO_2 等吸热性强的温室气体逐年增加，大气的温室效应也随之增强，已引起全球气候变暖等一系列严重问

题，引起了全世界各国的关注。所以现在关于温室效应的定义演变为由温室气体所导致的近地层增温作用。联合国政府间气候变化专门委员会关于温室效应的术语定义为由环境污染引起的温室效应是指地球表面变热的现象。温室效应说明如图 1-1 所示。

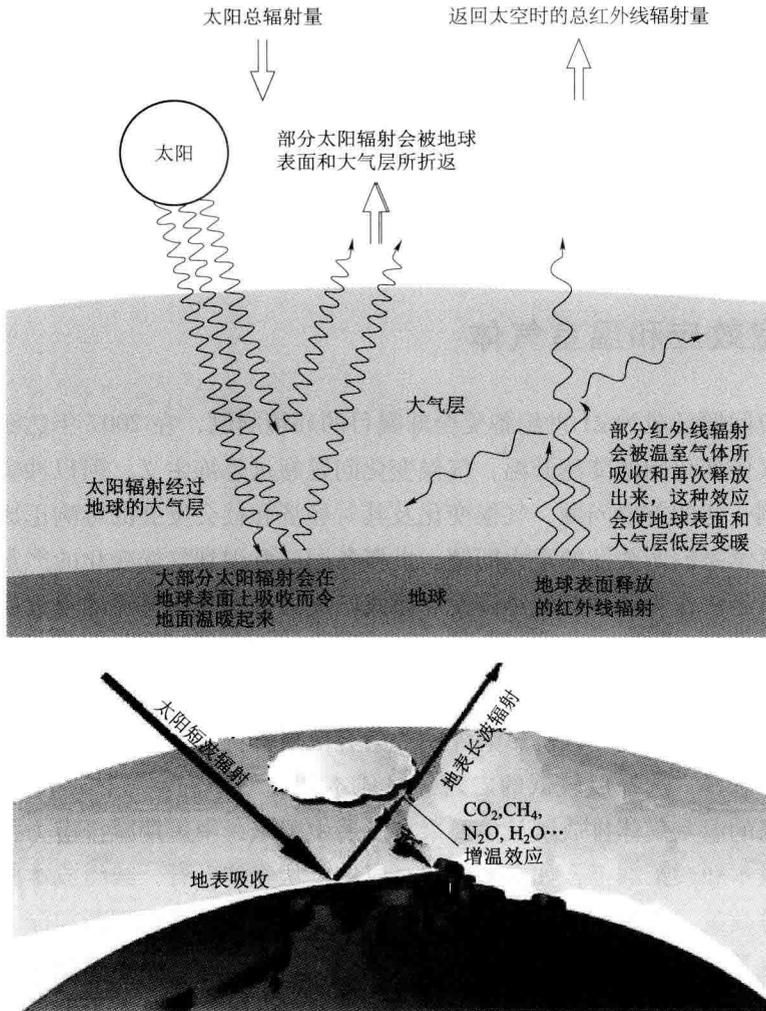


图 1-1 温室效应说明

据估计，如果没有大气，地表平均温度就会下降到 -23°C ，而实际地表平均温度为 15°C 。如果不存在温室效应，那么地表温度将会下降约 3°C 或更多。其根本原因就是温室气体的存在，温室气体是指具有吸收红外线辐射而影响到地球整体的能量平衡功能的一类气体。若温室效应不断加强，全球温度也必将逐年持续升高，从而引起全球气候变暖等一系列严重问题。

干净大气中氮气、氧气、稀有气体约占空气体积的 99.94% ； CO_2 等其他气体体积含量不到 0.1% ，其中 CO_2 、水蒸气、气溶胶、臭氧等都是具有允许太阳光进入而阻止其反射，进而实现保温、升温作用的物质，由于其自然存在性被称为天然温室效应气

体。天然温室效应是地球表面维持平均 15℃ 温度的必要条件，然而温室气体浓度的增加会减少红外线辐射放射到太空，地球的气候因此需要转变来使吸取和释放辐射的分量达至新的平衡。由于人类活动释放出大量的温室气体，结果让更多红外线辐射被折返到地面上，加强了温室效应的作用。目前正是由于人类活动和大自然排放了过多的其他温室气体，所以导致近地层过度升温，引发了气候异常，温室效应成为全球瞩目的环境问题。大气中最主要的温室气体是水蒸气 (H_2O)，其次是二氧化碳 (CO_2)，其他还有臭氧 (O_3)、甲烷 (CH_4)、一氧化二氮 (又称笑气, N_2O)、氟氯碳化物 (CFCs)、全氟碳化物 (PFCs)、氢氟碳化物 (HFCs)、含氯氟烃 (HCFCs)、全氟碳化物 (PFCs) 及六氟化硫 (SF_6) 等，水蒸气所产生的温室效应大约占整体温室效应的 60%~70%，大气层中的水蒸气虽然是天然温室效应的主要原因，但普遍认为它的成分并不直接受人类活动影响，所以没有被定义为环境意义上的温室气体。而 CO_2 是目前增长速度最快、基础成分和温室效应影响最大的气体，所以温室效应与 CO_2 紧密关联在了一起，也因此 CO_2 被作为温室效应的参照气体。根据各种温室气体全球变暖潜能值 (Global Warming Potential, GWP)，IPCC 文件中定义的六种主要的温室效应气体 (Green House Gases, GHGs) 如图 1-2 所示，温室效应气体及全球变暖潜能值见表 1-1。自 1750 年以来，由于人类活动，全球大气中二氧化碳 (CO_2)、甲烷 (CH_4) 和一氧化二氮 (N_2O) 浓度明显增加，已经远远超出了根据冰芯记录测定的工业化前几千年的浓度值。2015 年 1 月 9 日中国气象局发布的《2013 年温室气体公报》显示，2013 年我国青海瓦里关全球大气本底站监测到大气中 CO_2 、甲烷和一氧化二氮的年平均浓度分别为 397.3×10^{-6} 、 1886×10^{-9} 、 326.4×10^{-9} ；2013 年观测数据分别为 396×10^{-6} 、 1824×10^{-9} 、 325.9×10^{-9} 。中国青海瓦里关站观测趋势跟美国夏威夷站观测趋势一致，1990—2014 年温室气体都是增加的趋势。2013 年大气中所有温室气体综合效应，相当于 CO_2 浓度 479×10^{-6} 的水平。

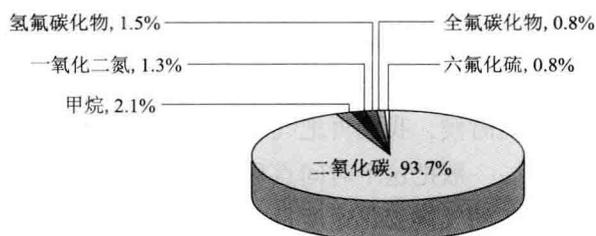


图 1-2 温室效应气体的构成

表 1-1 温室效应气体及全球变暖潜能值

温室效应气体	全球变暖潜能值	增温效应/%	生命期/年	来源
二氧化碳	1	63	50~200	由于人类大量使用煤、石油、天然气等化石燃料，导致全球的 CO_2 年平均增加 0.4%

续表

温室效应气体	全球变暖潜能值	增温效应/%	生命周期/年	环境影响
甲烷	25	15	12~17	发酵与腐化的变质过程及物质的不完全燃烧,主要来自牲畜、水田、汽车及掩埋场的排放,年平均增加0.6%
一氧化二氮	298	4	150	化石燃料的燃烧,微生物及化学肥料分解,年平均增加0.25%
氢氟碳化物	124~14 800	11	13.3	冷媒、清洗、喷雾及发泡等过程,以CFC-11、CFC-12及CFC-113使用量过大
全氟碳化物	7 390~12 200	11	50 000	
六氟化硫	22 800	7	—	

1.1.2 温室效应的影响

气候变化对于人类生活的影响涉及方方面面,是极其广泛和深入的。一般认为,地表温度升高导致海水升温膨胀,极地冰雪融化,海平面上升,全球气候格局也会发生重大变化,风暴与旱涝灾害增多,灾情加重等。气温升高,将导致某些地区雨量增加,某些地区出现干旱,飓风力量增强,出现频率也将提高,自然灾害加剧。更令人担忧的是,许多沿海城市、岛屿或低洼地区将面临海水上涨的威胁,甚至被海水吞没。20世纪60年代末,非洲下撒哈拉牧区曾发生持续6年的干旱,由于缺少粮食和牧草,牲畜被宰杀,饥饿致死者超过150万人,这是温室效应给人类带来灾害的典型事例。

根据研究,从1950年到现在,地球气候变暖所产生的热能90%蓄积在海洋里,其中5%~10%由于冰的融化而消耗。由于热能先是被海洋吸收,逐步释放热量使大气变暖引起地球平均气温上升,因此,地球接收能量之后,由于受气候系统巨大热惯性的影响,气候的变动要滞后一段时间。也就是说,在气候变暖的进程超过某个特定的时间点,即等到气候变化显著的时候,我们再把气温降到所规定的目标值以下,那是十分困难的,甚至是不可挽回的。一般把这个时间点称之为“不可逆转点”。所有地质年代和现代气候记录证明:近百年的气候变化速度是空前的。人类干扰的危险水平的出现就是指气候的不稳定、翻转点和突变,也是指持续的、缓慢的趋势变化。

研究表明,全球有9个系统已接近或达到翻转点:北极海冰、格陵兰冰盖、西南极冰盖、大西洋温盐环流、厄尔尼诺与南方涛动、印度季风、撒哈拉/萨赫勒与西非季风、亚马逊雨林、北半球森林。IPCC的分析(IPCC, 2007)认为主要有6个系统接近了翻转点,气候变化的影响范围如图1-3所示。温室效应的影响如下。

(1) 极端高温事件增多,其他极端事件和雷暴、沙尘暴、厄尔尼诺现象增多。

北半球冬季期缩短,并且更冷更湿,而夏季则变长且更干更热,亚热带地区将更干

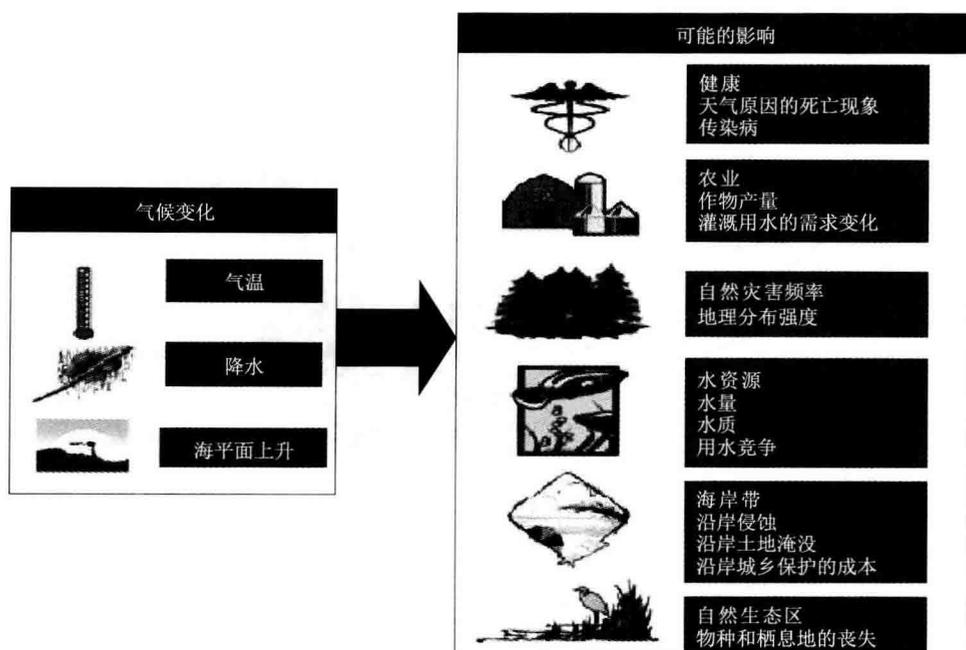


图 1-3 气候变化的影响范围

燥，而热带地区则更湿。气候反常，海洋风暴增多；土地干旱，沙漠化面积增大。美国科幻影片《后天》描述了“明天之后”的未来世界：北半球冰川融化，地球进入第二冰河期，龙卷风、海啸在全球肆虐，整个纽约陷入冰河的包围中。

(2) 对全球水循环的影响。

由于气温升高蒸发加速，全球雨量每年将减少，全球各地区降水形态将会改变。1951—2000年中国区域极端强降水日数变化如图1-4所示。全球变暖会影响整个水循环过程，可能使蒸发量增大，改变区域降水量和降水分布格局，增加降水极端异常事件的发生，导致洪涝、干旱灾害的频率和强度增加，地表径流也随之发生变化，随着径流减少和蒸发增强，全球变暖将加剧水资源的不稳定性与供需矛盾。

近年来，人们对从巴塔哥尼亚到瑞士的阿尔卑斯山地区的冰川因为温室气体的排放和温室效应而融化的情况进行了观察，确信温室效应致冰川融化；在南亚地区，问题并不是冰川是否在融化，而是融化的速度有多快。虽然全球变暖的许多不良影响可能要到21世纪末才会变得非常严重，但是尼泊尔、印度、巴基斯坦、中国和不丹等地的冰川融水可能很快就会给人们造成麻烦。联合国政府气候变化问题研究小组2007年警告说，全球海平面至2100年比2007年可能升高28~29 cm，由于低洼地区海水倒灌，全世界三分之一居住于海岸边缘的人口将遭受威胁。科学家预测：如果地球表面温度的升高按现在的速度继续发展，到2050年全球温度将上升2~4℃，南、北极地区冰山将大幅度融化，导致海平面大大上升，一些岛屿国家和沿海城市将淹于水中，其中包括几个著名的国际大城市——纽约、上海、东京和悉尼。如果格陵兰岛和南极西部冰川融化速度加

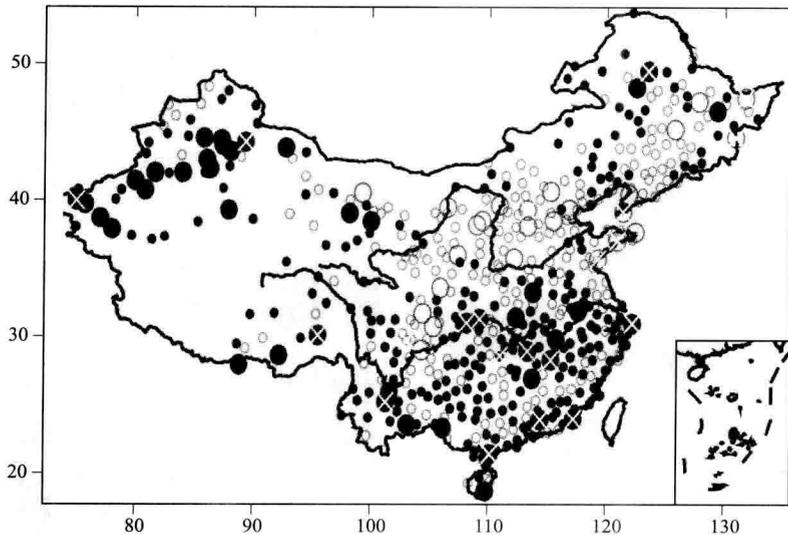


图 1-4 1951—2000 年中国区域极端强降雨日数变化
(实心圈是增加,空心圈是减少,圈的大小表示变化的大小)

来源: IPCC 评估报告, 2006。

快,情况将更加糟糕。届时,马尔代夫、基里巴斯、图瓦卢等岛国将面临被淹没的危险。马尔代夫在全球变暖面前的脆弱性在其首都马累就能看出来,集中了全国约三分之一人口的马累只有不到 6 km^2 ,它周围无数的水泥桩构成了连绵的防波堤,但即便是这些沉重的水泥桩也无法抵挡不断上升的海水。马尔代夫总统纳希德说,在全国约 200 个居民岛中,大约 50 个面临着海水侵蚀问题,其中 16 个岛需要立即采取行动。此外,很多居民岛的地下淡水资源正在枯竭,居民饮水出现困难。2009 年 10 月 17 日,马尔代夫召开了全球首次水下内阁会议,总统和内阁官员在水下签署倡议书,呼吁各国采取行动应对气候变暖。马尔代夫目前应对海平面上升的计划包括:填海造地,修筑人工岛;岛屿“垫高”工程,海滩将被树木及灌木垫高,中心居民区将使用垃圾垫高;购买新国土,举国搬迁。温室效应加剧冰川融化,南极的冰峰正消融,北极熊正面临着无家可归。过去 30 年间,北极冰盖每 10 年收缩 $3.5\% \sim 4.1\%$,引发海平面上升,融化的冰水汇入海洋将在 21 世纪末使海平面上升 10 cm ,如果气温按目前趋势继续上升,北极熊在 21 世纪末将消失。南极地区的阿德利亚企鹅数目从 1975 年的 1.5 万对减少到目前的 9000 对左右。统计资料表明,全球气候变暖使中国冰川每年融水量相当于黄河,近 30 年以来,中国海平面平均上升速率为 2.6 mm/a ,高于全球平均水平 ($1.0 \sim 2.5 \text{ mm/a}$)。湖泊水位下降,面积萎缩,1908—2003 年青海湖缩小的面积大于 700 km^2 ,水位下降 13 m 。

(3) 生态系统难以适应,造成部分物种灭绝,生物多样性受到影响。

不同动植物对环境温度变化的适应能力不同,随着气候异常的发生,生态系统会出现过渡特征,如蝴蝶北飞、北极熊挨饿、驯鹿失去家园。全球变暖会加剧珊瑚白化现象,同时某些脆弱性物种灭绝风险增加。像大堡礁那样色彩斑斓的珊瑚礁在全球海水变

暖的情况下，会出现大范围白化的情况。而那些生活在珊瑚礁中的生物，如漂亮的热带鱼等，也会因为珊瑚的白化而遭到灭顶之灾。全球变暖对生态系统的物种组成和生物多样性、生态系统功能和生态系统的结构都产生了影响。

生物群落的迁移方式不大可能是空间上的简单平移，基本的变化是在物种层次上。不同的物种有其特定的生态位，当环境条件（如温度）发生持续性变化时，各物种将根据其特征生态位在生长发育和繁殖上进行调节和适应，结果是生态系统内各种群在其大小和作用上发生重组。重组有可能使那些在新环境下竞争力弱的物种遭到淘汰，从而使该生态系统的物种多样性降低。相反，新的环境和新适应亦可能导致新种产生。这些新物种可能由于遗传变异产生，亦可能从其他生态系统迁移而来，并由于适应新系统中的环境而繁衍定居下来。就整个生物圈而言，由于环境变化所导致的物种的重组、丧失和增加取决于环境变化的强度/时空分布、各物种的脆弱性和适应性。其中环境变化的速率可能起着至关重要的作用，环境变化的速度超过物种适应和变异的速度，则很可能导致物种的丧失和多样性下降。

随着全球变暖的推进，许多生态系统面临崩溃。一项新的研究表明：将要灭绝的物种比预计的要早，但由于它们赖以生存的生态系统变得难以识别，所以会处于一个混乱时期。气候变化将会使新的寄主和寄生虫、新的捕食动物和被捕食动物组合到一起。从赤道到两极的动植物都感受到了气候变化的影响。全球变暖的另一个明显的后果是春天提早到来，植物开花、卵孵化、青蛙产卵都在提早。在英国，蝴蝶在春天的出现较20年前平均提前了6天；在欧洲，树木呈现秋色的时间每10年晚0.3~1.6天；许多迁徙的鸟类正在改变它们的旅行日程。越来越多的研究显示，动植物为了适应气候的变化，正不断地改变着其活动范围和行为。许多情况下，这样的变迁正在引起生态混乱，例如迁徙的鸟类到达欧洲的时间太晚以致其产下的后代错过了毛虫生长旺季。

自然生态系统由于其适应能力的限制，面对气候变化表现极其脆弱。在此背景下，目前我国正面临威胁的系统，如东南沿海的珊瑚礁岛、红树林、热带雨林，北方的草原湿地和一些天然草地，以及一些高山生态系统等，由于气候变暖引起的水热条件的一系列变化，这些系统的优势物种及物种的分布格局都会受到不同程度的影响和改变。受影响最大的当数沿海湿地，湿地的生物多样性远较陆地生态系统丰富，是为多种无脊椎动物、冷血和热血的脊椎动物提供栖息和繁衍的场所，然而由于气候变暖引起的海平面上升使得咸及微咸的滩地、红树林和其他沼泽在水淹和冲蚀中消失，其他湿地也将会变性或向内陆移动，必将引起生物群落的变化和生物多样性的降低。

如果全球平均增温幅度超过2~3℃，在目前所评估的物种中有20%~30%可能会灭绝。

此外，对海洋生态的影响也不容忽视，海平面上升，沿岸沼泽地区消失肯定会令鱼类，尤其是贝壳类的数量减少。河口水质变咸可能会减少淡水鱼的品种数目，相反该地区海洋鱼类的品种也可能相对增多。至于整体海洋生态所受的影响仍未能清楚地知道。

从生态安全的角度讲，生物群落是重要的“基因库”，是构成生态安全的最重要的

物质基础，生物物种的丧失或生物多样性的降低对生态安全的破坏将会是致命的、无法挽回的。

(4) 对人类健康的影响。

极端高温产生的热效应正是全球气候变暖对人类健康最直接的影响。在未来，这种热效应将变得更加频繁、广泛和严重。由于高温热浪强度和持续时间的增加，以心脏、呼吸系统为主的疾病或死亡人数也会增加。气候变暖导致气候带改变，原来热带地区传染病的发病区域如今已经扩大到了温带。2002年夏，西尼罗河病毒在美国再次爆发，专家分析，病毒传播速度如此快的主要原因是干燥炎热的天气。西尼罗河病毒最早发现是在1937年，研究者从一位热带乌干达西尼罗河区的妇女身上分离出病毒，近年来却出现在欧洲和北美的温带区域。当全球的气温正以缓慢的速度上升之时，适宜媒介动物生长繁殖的环境时空范围也在扩大。全世界每年约有3.5亿疟疾新增病历，被称为全球最严重的虫媒传染病，在一些地区本已被消灭或控制。疟原虫一般在16℃以下难以存活，升高的气温使之正呈现出复发之势。加拿大卫生部一份有关气候变化和健康的报告预测称，更多、更频繁的极端天气将带给人类更多伤害、疾病和与压力相关的紊乱症风险。

美国科学家近日发出警告，由于全球气温上升令北极冰层溶化，被冰封十几万年的史前致命病毒可能会重见天日，导致全球陷入疫症恐慌，人类生命受到严重威胁。纽约锡拉丘兹大学的科学家在《科学家杂志》中指出，早前他们发现一种植物病毒TOMV，由于该病毒在大气中广泛扩散，推断在北极冰层也有其踪迹。于是研究人员从格陵兰抽取4块年龄为500年至14万年的冰块，结果在冰层中发现TOMV病毒，该病毒表层被坚固的蛋白质包围，因此表明其可在逆境生存。因此推测，一系列的流行性感冒、小儿麻痹症和天花等疫症病毒可能藏在冰块深处，目前人类对这些原始病毒没有抵抗能力，当全球气温上升令冰层溶化时，这些埋藏在冰层千年或更长的病毒便可能会“复活”，形成疫症。科学家表示，虽然他们不知道这些病毒的生存希望，或者其再次适应地面环境的机会，但肯定不能抹煞病毒卷土重来的可能性。在温室气体中，卤素碳化物的增加还会消耗大气平流层中的臭氧，使臭氧层保护地球上的人和其他生物免受太阳紫外线伤害的能力降低。据联合国的一项专门报告说，随着全球气候的继续变暖，干旱、洪水、饥饿和瘟疫将成为21世纪人类的严重威胁。

(5) 对农业的影响。

全球性气候变暖对农业的影响虽然有利有弊（如图1-5所示），但总的来说是弊大于利，特别是对农业，由于极端气候事件的频繁发生，将可能造成土壤干旱、侵蚀加剧、病虫害危害程度增高、农业生物物种衰退甚至灭绝、农业成本和投资增大，等等。气候变暖可导致水资源短缺、污染物浓度增高及早涝灾害增多，还会导致极地冰雪融化，从而引起海平面水位升高，海岸带地区被淹没、地面下沉等。在高纬度和荒漠化地区，由于气候变暖会使土质变得松散，从而导致植被下降、沙尘天气增多。热浪和降雨发生的频率将会加快，因此，水位上涨、洪水、滑坡和雪崩将会增加。经常遭受水荒的