



“十三五”国家重点出版物出版规划项目
海洋生态文明建设丛书

中国—意大利气候变化合作框架项目

沿海生态系统适应 气候变化实践

温 泉 陈少波 © 主编
[意] 亚历山德罗·贝蒂 (Alessandro Bettin)

**A Practice in Coastal Ecosystem Adapting
to Climate Change**



海洋出版社

中国—意大利气候变化合作框架项目

沿海生态系统适应 气候变化实践

温 泉 陈少波

主编

[意] 亚历山德罗·贝蒂
(Alessandro Bettin)

海洋出版社

2018 年·北京

图书在版编目(CIP)数据

沿海生态系统适应气候变化实践 / 温泉, 陈少波, (意) 亚历山德罗·贝蒂 (Alessandro Bettin) 主编. — 北京: 海洋出版社, 2018. 3

ISBN 978 - 7 - 5210 - 0061 - 0

I. ①沿… II. ①温… ②陈… ③亚… III. ①沿海 - 生态系 - 气候变化 - 适应性 - 研究 IV. ①Q178.53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 147013 号

责任编辑: 肖 炜 任 玲

责任印制: 赵麟苏

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路 8 号 邮编: 100081

北京朝阳印刷厂有限责任公司印刷 新华书店北京发行所经销

2018 年 8 月第 1 版 2018 年 8 月第 1 次印刷

开本: 787 mm × 1092 mm 1/16 印张: 14.5

字数: 295 千字 定价: 200.00 元

发行部: 62132549 邮购部: 68038093

总编室: 62114335 编辑室: 62100038

海洋版图书印、装错误可随时退换

编 委 会

主 编：温 泉 陈少波 Alessandro Bettin

副主编：彭 欣 刘伟成 黄晓林 余海滨 Fabio Frascella

编 委（按姓氏笔画排序）：

Alessandro Bettin Fabio Frascella 王飞霞 王 宁

王成义 王铁杆 王 曙 王馨月 艾为明 刘广绪

刘伟成 刘俊峰 余海滨 陈少波 陈 妍 陈雪初

宋豫秦 张华伟 张 鹏 项 丹 郑春芳 黄晓林

戚贤格 彭 欣 温 泉

序

全球气候变化是人类共同面临的巨大挑战，应对气候变化已上升为国家战略。实施应对气候变化战略，不仅要减少温室气体排放，也要积极主动地采取适当行动，通过加强管理和调整人类活动，充分利用有利因素，减轻气候变化对自然生态系统和社会经济系统的不利影响。海洋与气候变化密切相关，是决定当今气候格局的重要因素，海洋碳汇也是地球上最主要的碳汇形式，能有效减缓气候变化。同时，气候变化对海洋产生的影响如海平面上升、生物资源结构变化等，也会对全球经济和人类生存带来严重影响。沿海地区是人口最密集、经济最发达的地区，也是受气候变化影响最为严重的地区，开展海洋领域适应气候变化工作，对于沿海经济社会的持续稳定发展具有十分重要的现实意义和重大的战略意义。

中国—意大利气候变化合作框架项目——“适应气候变化的沿海生态系统能力建设”是国家应对气候变化战略的组成部分，是在中国进行沿海生态系统适应气候变化研究的一个重要实践。中意双方以中国典型区域温州沿海为示范区，探讨了沿海地区飞速增长的城市化进程下海洋生态系统的变化，通过大量的实测数据，模拟了当前和未来沿海地区气候变化所带来的影响。率先采用成本效益分析的方法为沿海制定适应气候变化的行动方案提供科学依据，并在中国沿海地区建立首个海岸带长期生态研究站，对海、陆、空的多项指标实施了全方位的长期监测，同时从产业适应、管理适应和社区适应等多方面阐述了沿海地区适应气候变化的实践行动。初步形成了以模型评估为基础，结合成本效益分析制定沿海生态系统适应气候变化行动方案的经验模式，为国家和地方制定沿海地区适应气候变化行动方案提供了范例，可在其他沿海地区推广。



2017年10月31日

前 言

1911—2010 年的近百年，全球地表平均温度升高了 0.74°C ，预计到 21 世纪末仍将上升 $1.1^{\circ}\text{C} \sim 6.4^{\circ}\text{C}$ 。中国（1910—2011 年）地表平均温度升高了 1.1°C ，自 1986 年以来经历了 21 个暖冬，且在 2007 年出现了自 1951 年有系统气象观测以来的最高年平均气温。随着社会对适应气候变化的科学认识逐步深入，气候变化的科学事实和产生的影响已经得到广泛的认可，国际社会认识到即使采取最有效的减缓措施，气候变化的趋势仍将持续很长时间。因此，采取适应气候变化行动的重要性和紧迫性日渐增长，尤其是进入 21 世纪以来，各国纷纷发布国家适应战略和适应行动计划。

海岸带是沿海经济发展最快、生活水平最高的地区，对气候变化的影响高度敏感，海岸带适应气候变化的问题对社会经济的发展具有重要的现实意义。气候变暖对海岸带产生巨大影响，包括海平面上升、海水表层温度升高、风暴潮、海水入侵和海岸带侵蚀等。海岸带作为全球变化研究的关键地区，气候变化对其影响是极其显著的。

2010 年 11 月，国家发展和改革委员会根据中意气候变化合作框架组织相关部门申报中意气候变化合作项目。国家海洋局国际合作司组织浙江省海洋水产养殖研究所起草了中意气候变化合作项目——“适应气候变化的沿海生态系统能力建设（Ecosystem Adaptation to Climate Change in Coastal Areas of China）”，通过遴选并获得立项。项目由意大利政府资助，由国家发展和改革委员会管理，国家海洋局具体执行，中国浙江省海洋水产养殖研究所与意大利蒂凡思（北京）工程咨询有限公司共同在温州实施，实施期为 2012 年 10 月 11 日至 2014 年 5 月 31 日。旨在通过建立并试验新的方法和模式，确定气候和环境变化的监测指标，以此为依据评估沿海城市的环境状态及气候变化对沿海和海洋环境的影响，最终提出沿海城市应对气候变化的建议和措施。

在具体的行动上，与国家适应气候变化的战略框架对接，通过项目实施，掌握了快速增长的城市化进程和气候变化等干扰下的人类活动和气候变化与海洋环境之间的关系，建立了气候变化评估模型用于预测未来沿海生态系统的变化。探讨了海岸带综合管理的框架、战略要素及其与气候变化的相互关系，明确了短期和长期行动计划的内容，制定了基于气候变化评估和成本效益分析的沿海生态系统适应气候变化的行动方案。在项目实施区构建长期监测系统，开发适应气候变化的大型海藻繁育技术并进行技术培训，提高沿海区域和社区对气候变化的适应能力。通过公众宣传教育活动，提高了社区对气候变化和环境保护的认知及参与度，扩大了项目的影响。

本报告共分为七章。第一章为绪论，阐述了国际和国内在应对和适应气候变化方

面所做的工作，包括减缓与适应气候变化、中国沿海地区应对气候变化所面临的挑战、国家适应气候变化的战略。第二章为“总体框架与行动设计”，从提出问题、筛选标准、构建逻辑框架、设计行动方案、项目管理和实施机构以及项目产出等方面阐明项目实施的过程。第三章为“适应气候变化的评估、预测及体系构建”，从温州沿海气候变化入手，评估气候变化带来的影响，预测未来变化趋势，并建立适应气候变化影响的评估指标体系。第四章为“基于海岸带综合管理的适应气候变化行动方案框架”，阐述了适应气候变化与海岸带综合管理的关系，分析适应气候变化的现状及存在的问题，开展预选行动方案的成本效益分析，提出适应气候变化的行动和政策框架。第五章为“适应气候变化的能力建设”，通过构建长期监测系统和模拟气候变化系统，从产业适应、管理适应和社区适应等方面加强适应气候变化的能力建设。第六章为“适应气候变化的公众宣传”，从加强公众宣传教育、激发中小学生学习兴趣、建立国际科学营等方面入手，逐渐形成一套可持续的宣传机制。第七章为“适应气候变化的经验模式”，总结归纳了项目所取得的主要经验以及下一步的行动建议。

本报告得以完成，离不开中国国家发展和改革委员会，国家海洋局，意大利环境、领土和海洋部以及浙江省海洋与渔业局、温州市人民政府、温州市财政局、温州市海洋与渔业局等单位的鼎力支持。本报告是在国家海洋环境监测中心温泉教授的总体思路指导下完成的，集合了浙江省海洋水产养殖研究所、意大利蒂凡思（北京）工程咨询有限公司、温州医科大学、北京大学、上海交通大学和浙江大学等单位的研究成果，各个章节由众多研究人员分别负责撰写，是众多专家学者集体智慧的结晶，在此对他们所付出的劳动表示深深的谢意！

本报告参考了国内外相关文献，由于篇幅有限，报告中仅列出了主要的参考文献，在此一并致谢。由于时间紧迫，以及编著者水平有限，错误和疏漏之处在所难免，恳请读者批评指正。

作 者

2017 年 9 月

Summary

For nearly 100 years from 1911 to 2010, the global average surface temperature had increased by 0.74°C , and it is expected to continue to increase by 1.1°C to 6.4°C by the end of the 21st century. The average surface temperature in China (from 1910 to 2011) had increased by 1.1°C , and China has experienced 21 warm winters since 1986, with the year of 2007 having witnessed the highest annual average temperature since the systematic weather observations were established in 1951. As the public is gradually deepening their scientific understanding on the adaption to climate change, the scientific facts about climate change and their impacts have been widely recognized. The international community has come to realize that even if the most effective mitigation measures are adopted, the trend of climate change will remain for a long time. Therefore, it's increasingly important and urgent to take actions for adaption to climate change, and since the turn of the millennium, in particular, many countries have issued their own national adaption strategies and adaption action plans.

The coastal areas boast the fastest coastal economic development and the highest living standard, which are highly sensitive to the impact of climate change, and their adaption to climate change are of important and practical significance for their social and economic development. A warming climate can have a great impact on the coastal areas, including a higher sea level, a higher sea surface temperature, storm surges, invasion of seawater, and erosion on the coastal areas among others. For the coast areas, as a key area for global climate change research, the impact of climate change on them is extremely significant.

In November 2010, the National Development and Reform Commission of China organized relevant organizations to apply for the Sino – Italian Climate Change Cooperation Project based on the Sino – Italian Climate Change Cooperation Framework. The Department of International Cooperation of State Oceanic Administration of China organized Zhejiang Mariculture Research Institute to draft the Sino – Italian Climate Change Cooperation Project – Ecosystem Adaptation to Climate Change in Coastal Areas of China, which passed the selection and was identified. Funded by the Italian Government, the project was managed by the National Development and Reform Commission, executed by the State Oceanic Administration, and implemented in Wenzhou jointly by Zhejiang Mariculture Research Institute and Italy – based DFS (Beijing) Engineering Consulting Co., Ltd. for an implementation period from October 11, 2012 to May

31, 2014. It aimed to develop and test new methods and models in order to assess the general environment status of the coastal areas, evaluate the environmental impacts of climate change to coastal areas, identify the monitoring indicators of climate change and the environment, and put forward suggestions and approaches for coastal areas to adapt to climate change.

Regarding the specific actions, we linked them to the national strategic framework for climate change adaptation. Through the implementation of the project, we have grasped the relationship between human activities and climate change on one hand and the marine environment on the other under the fast – growing urbanization process, climate change and other disturbances, and established a climate change assessment model for predicting future changes in coastal ecosystems; discussed the framework and strategic elements for integrated management of coastal areas and their interactions with climate change, defined the contents of short – term and long – term action plans, and developed an action plan for ecosystem adaption to climate changes in coastal areas based on the climate change assessment and the cost – benefit analysis; established a long – term monitoring system in the project implementation area, developed technologies for large algae breeding adapted to climate change, carried out relevant technical training, and enhanced the adaptability to climate change in coastal areas and communities; and improved the awareness of and participation in climate change and environmental protection in the communities, and extended the influence of the project.

This report includes a total of seven chapters. The first chapter is an introduction to the domestic and international efforts in responding to and being adapted to climate change, including mitigation of and adaption to climate change, the challenges faced by China's coastal areas in responding to climate change and the national strategy of adaption to climate change. The second chapter – Overall Framework and Action Design – elaborates the implementation process of the project from the aspects of asking questions, screening standards, constructing logical frameworks, designing action plans, project management and implementation agencies and project outputs among others. The third chapter – Assessment, Prediction and System Construction of Adaption to Climate Change – begins with climate changes in coastal areas of Wenzhou to make an assessment on the impact of climate change, predict their future change trends and establish an assessment indicator system of adaption to the impact of climate change. The fourth chapter – the Framework for Action Plan on Adaption to Climate Change Based on Integrated Management in Coast Areas – describes the relationship between adaption to climate change and integrated management in coastal areas, analyzes the current status and problems in adaption to climate changes, conducts a cost – benefit analysis on the preselected action plan, and proposes actions and policy frameworks for adaption to climate changes. The fifth chapter – Capacity Building for Adaption to Climate Change – describes how to strengthen the capacity

building for adaption to climate changes from the perspectives of industrial adaption, management adaption and community adaption among others by means of establishing a long-term monitoring system and a climate change simulation system. The sixth chapter – Public Awareness of Adaption to Climate Change – begins with the aspects of strengthening the public education, stimulating the interest of primary and middle school students and building international science camps among others to gradually establish a sustainable publicity mechanism. The seventh chapter – Experience Models of Adaption to Climate Changes – summarizes the main experience gained from the project and recommendations about the next steps of action.

This report would not have been completed without strong support from the National Development and Reform Commission of China, the State Oceanic Administration of China, the Ministry of Environment, Land and Sea of Italy, Zhejiang Province Ocean and Fisheries Bureau, the People's Government of Wenzhou, Wenzhou Finance Bureau, Wenzhou Ocean and Fisheries Bureau and other parties. It was completed under the guidance of the overall concept of Professor Wen Quan from the National Marine Environmental Monitoring Center, and brought together research outcomes from Zhejiang Mariculture Research Institute, Italy-based DFS (Beijing) Engineering Consulting Co., Ltd., Wenzhou Medical University, Peking University, Shanghai Jiaotong University, Zhejiang University and others. Each chapter of it was written by various researchers respectively and is crystallized from the collective wisdom of many experts and scholars. We hereby express our heartfelt thanks to their contribution!

To complete this report, we've referred to many relevant domestic and international publications, but for the sake of space, only major ones of them are listed here, and here we'd like to express our thanks to all of them. Due to the time constraints and our limited knowledge, there may be errors and omissions in the report, and we'd appreciate if you can point out and correct them if any.

Authors
September 2017

目 录

第1章 绪 论	1
1 应对气候变化：减缓与适应	1
1.1 全球气候变化	1
1.2 气候变化对海洋的影响	9
1.3 气候变化的减缓与适应态势	11
2 中国沿海地区应对气候变化的挑战	13
2.1 中国的气候变化	13
2.2 中国沿海地区海洋现状	14
2.3 气候变化对我国沿海区域经济的影响	20
3 国家适应气候变化战略	23
3.1 适应规划	23
3.2 工作现状	24
3.3 薄弱环节	25
第2章 总体框架与行动设计	27
1 问题的提出	27
2 项目区选划	29
2.1 选划标准	29
2.2 温州的典型性	30
2.3 温州的代表性	33
2.4 温州所做的努力	34
3 行动设计和逻辑框架	36
3.1 行动设计	36
3.2 逻辑框架	39
4 项目管理及实施机构	41
4.1 项目区管理	41
4.2 职责	41

第3章 适应气候变化的评估、预测及体系构建	43
1 温州沿海气候变化	43
1.1 气温	43
1.2 降水量	44
1.3 极端气候	45
1.4 海平面	45
1.5 日照	46
1.6 热带气旋	47
1.7 海雾	48
2 评估气候变化带来的影响	48
2.1 已经观测到的影响	49
2.2 项目区域的人类活动评估	53
3 气候变化预测	60
3.1 模型构建背景	60
3.2 构建模型	61
3.3 当前气候变化	66
3.4 未来气候变化	74
4 构建评估指标体系	84
4.1 人类活动指标	86
4.2 气候变化指标	100
4.3 生态(EC)指标	103
第4章 基于海岸带综合管理的适应气候变化行动方案框架	113
1 适应气候变化与海岸带综合管理	113
1.1 海岸带综合管理基本概念	113
1.2 海岸带综合管理战略要素	114
1.3 海岸带综合管理在应对气候变化挑战中扮演的角色	115
2 项目区适应气候变化存在的问题	115
2.1 缺乏信息整合与共享机制	115
2.2 缺乏连续的数据监测	116
2.3 缺乏河流污染对海洋影响的综合认识	116
2.4 缺乏跨部门的协调和跨区域管理	116
2.5 缺乏有效的相关法律法规体系	116
3 预选行动的成本效益分析	117
3.1 目的、意义及基础理论	117

3.2 成本效益分析的应用	120
3.3 研究框架	121
3.4 案例研究	122
4 适应气候变化行动和政策框架	137
4.1 指导思想、原则、依据、目标	137
4.2 适应气候变化的行动	140
4.3 适应气候变化的政策	143
第5章 适应气候变化的能力建设	145
1 长期监测系统构建	145
1.1 建立长期监测的必要性	146
1.2 SCADA 实时监测系统	147
1.3 远程可视化生态影像观测系统	152
2 模拟气候变化系统	165
2.1 红树林生态系统对温度响应	165
2.2 评估与预测模型研究	168
2.3 适应性管理策略	171
3 产业适应：以大型海藻养殖为例	172
3.1 全浮式坛紫菜养殖技术	173
3.2 玻璃钢管深水插杆式养殖技术	173
3.3 降温采苗技术要点	175
3.4 异地海区幼苗培育技术	175
3.5 羊栖菜“北育南养”技术	176
4 管理适应：以沿海防灾减灾为例	178
4.1 现有的基础	179
4.2 必要性和目的	179
4.3 沿海防灾减灾体系	180
第6章 适应气候变化的公众宣传	190
1 公众知识普及	190
1.1 脱口秀讲座	191
1.2 《瓯越科普》节目	191
1.3 海洋科普读本	192
2 中小学生学习兴趣激发	192
2.1 绘画比赛与标本展览	193

2.2 辩论赛	194
3 基于志愿者的宣传	195
3.1 公益宣传“关爱环境、从我做起”	195
3.2 保护鸟类专题活动	195
3.3 外来物种调查与宣传	197
4 社区适应的宣传教育	198
4.1 社区适应的现状	199
4.2 社区适应的模式	199
5 国际化宣传平台	201
5.1 国际海洋科学营	201
5.2 国家引智基地	203
6 可持续的宣传机制	205
第7章 适应气候变化的经验模式	206
1 沿海适应气候变化的经验	206
2 后续行动建议	207
参考文献	210
致 谢	215

第1章 绪 论

当今世界,人类活动对地球系统的影响迅速扩大,经济发展和人口膨胀带来的物质需求空前增长,造成全球变暖、臭氧层破坏、土地退化和物种灭绝等一系列重大全球性环境问题,使人类与其赖以生存发展的自然环境之间的矛盾日趋尖锐,对人类社会的文明发展构成严重障碍。地球环境的日趋恶化是科学面临的严峻挑战。中国位于地球环境变化速率最大的东亚季风区,又处于经济高速发展、人口压力剧增的时期,人为和自然因素对环境的扰动显得尤为突出,这一严峻形势所包含的有利及不利因素为全球气候变化研究提供了机遇和挑战。中国作为全球气候变化研究的发起国之一,在全球气候变化领域理应做出具有中国特色的国际性贡献,开展全球气候变化对中国未来生态环境影响的研究是中华民族未来发展的一项必不可少的极其重要的科学研究。

1 应对气候变化:减缓与适应

1.1 全球气候变化

2013年9月,政府间气候变化专门委员会(IPCC)发布的第五次评估报告明确指出:人类活动对气候系统产生影响确凿无疑,20世纪末期及以后时期的全球平均地表变暖主要取决于累积二氧化碳(CO_2)排放。即使停止当前二氧化碳排放,过去所排放二氧化碳仍然将持续影响多个世纪的气候变化。

1.1.1 观测事实及变化趋势

1) 大气

气候变暖是全球气候变化突出特征,从20世纪50年代以来,气候变化剧烈程度前所未见。相关气象记录表明,在过去的30年中,每个十年都在刷新气温的最高纪录,1983—2012年是北半球自1400年以来最热的30年。1880—2012年,全球海陆表面平均温度呈直线上升趋势,平均温度升高 0.85°C ;2003—2012年,平均温度比1850—1900年上升 0.78°C (图1-1)。

全球干旱、半干旱区是近100年来增温最为显著的地区,特别是北半球中纬度干旱、半干旱区增温幅度是全球陆地年平均增温幅度的2~3倍。Hansen等的研究结果发现,1970—2010年的近40年间,全球平均温度增加了 0.51°C 。2000年,除东南极沿岸和大洋上小范围区域温度为负距平外,陆上普遍变暖,北半球高纬度地区尤甚(图1-2)。

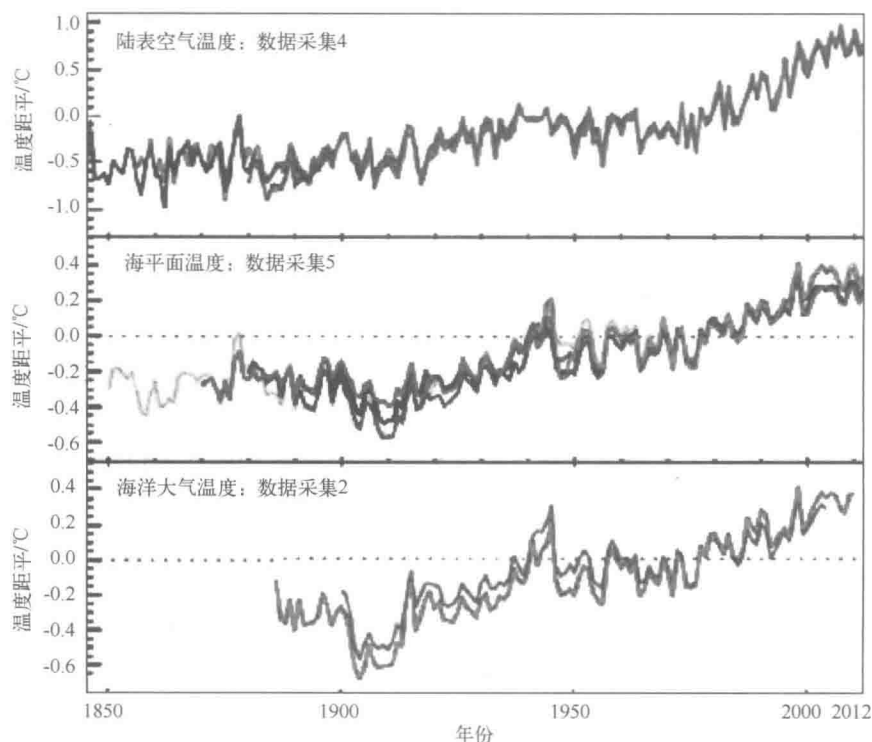


图 1-1 观测到的全球平均陆表、海平面和海洋大气温度距平(1850—2012 年, 每条线均代表独立推断的气候变化评估结果, 所有绘图使用数据均经表转化处理)

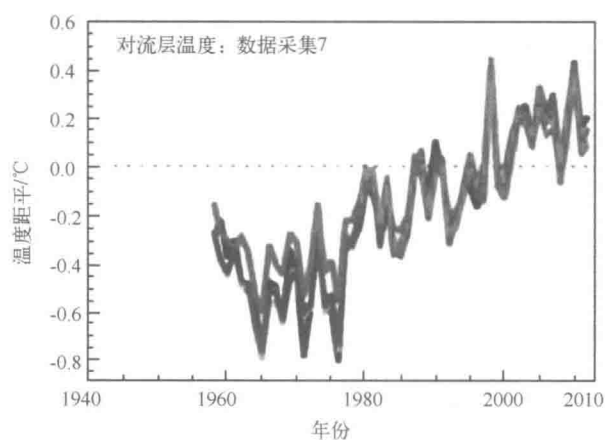


图 1-2 1970—2010 年平均温度距平(相对于 1951—1980 年)

2) 对流层和平流层

无线电探空仪和卫星监测数据分析结果显示: 自 20 世纪中期以来, 全球开始出现对

流层温度升高，而平流层温度降低的现象。研究发现，对流层和平流层温度变化趋势毋庸置疑，但对于温度变化程度预测评估尚存分歧，特别是北半球亚热带地区(图 1-3)。

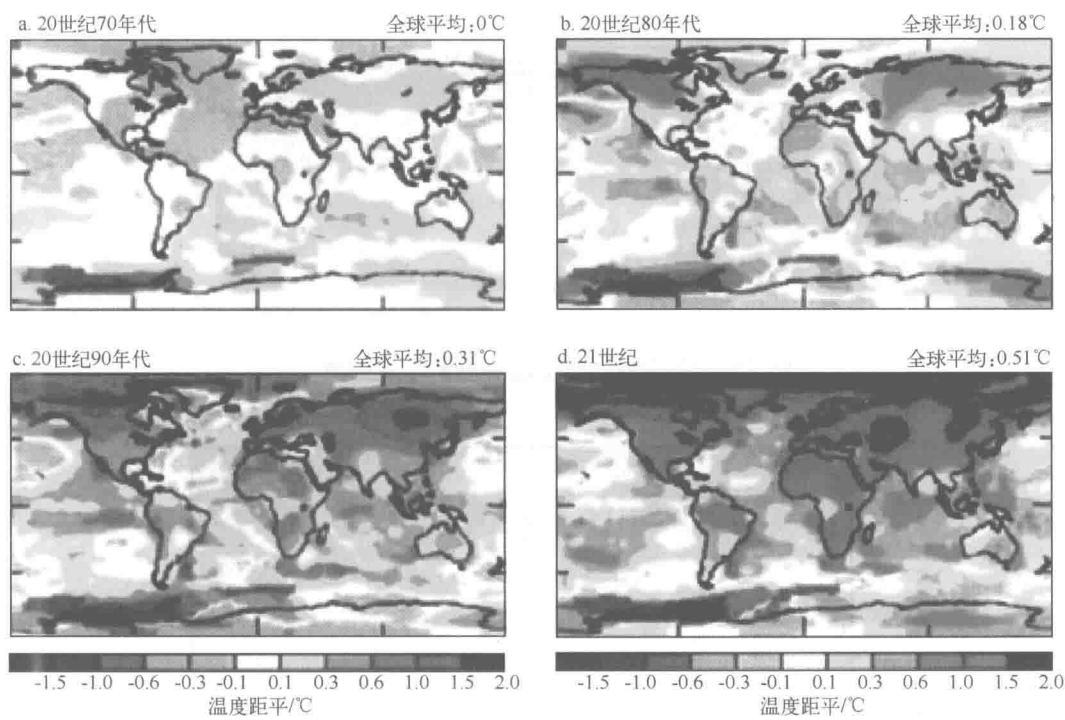


图 1-3 对流层温度变化(1970—2012 年)

3)降水

气候变暖导致全球降水量重新分配。20 世纪全球陆地降水量增加了 2% 左右，但各个地区实际的变化差别较大。北半球中高纬度大陆地区降水明显增多，30°—85°N 陆地地区降水量平均增幅达 7% ~ 12%，且以秋、冬季最为显著。20 世纪，北美洲大部分地区降水增幅为 5% ~ 10% 左右；欧洲北部地区在 20 世纪后半叶降水明显增多；1891 年以来，俄罗斯 90°E 以西地区降水量增加了 5% 左右。但是，在北半球的副热带地区，年降水量却明显减少，这在非洲北部表现得特别明显。20 世纪，南半球 0°—55°S 大陆区域的降水量增加了 2% 左右。Nature Geoscience 等的研究表明，人为温室气体排放量的增加和臭氧层稀薄化直接导致了澳大利亚西南部秋、冬季节的降水量减少。由于降雨稀少，巴西最大城市圣保罗遭遇 84 年来最严重干旱。美国西南部遭飓风袭击，亚利桑那州首府菲尼克斯单日降雨量打破纪录，导致至少 2 人在洪水中死亡。克什米尔地区 50 年来的最大降雨令印度及巴基斯坦政府机构猝不及防，该地区因暴雨死亡的人数高达 420 人。

4)海水温度

地表积累能量有 60% 被海洋 700 m 深度线以上的水体吸收，有 30% 被 700 m 深度