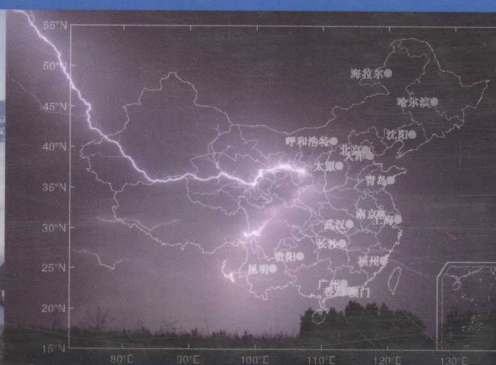


第三次 气候变化国家评估报告 数据与方法集

《第三次气候变化国家评估报告》编写委员会 编著



科学出版社

第三次气候变化国家评估报告

数据与方法集

《第三次气候变化国家评估报告》编写委员会 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

作为《第三次气候变化国家评估报告》的特别报告,本书对于我国气候变化研究数据与方法进行了综合集成。其中,数据评估部分主要分为气候变化事实数据、地球观测遥感数据、气候变化影响数据、气候变化适应数据、气候变化减缓数据和国际合作与行动数据六大类;方法评估部分主要梳理了气候变化领域研究的方法、模型,并开展了系统评估,以期能够为我国应对气候变化领域的研究提供参考,为我国应对气候变化工作决策提供支撑。

本书可供应对气候变化相关行业和地方的管理部门使用,也可供气候、能源、环境、建模分析等领域的科研和教学人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

第三次气候变化国家评估报告数据与方法集/《第三次气候变化国家评估报告》编写委员会编著. —北京:科学出版社,2016.8

ISBN 978-7-03-047798-9

I. ①第… II. ①第… III. ①气候变化-评估-研究报告-中国 IV. ①P467

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第055292号

责任编辑:朱海燕 张欣/责任校对:王瑞

责任印制:肖兴/封面设计:北京图阅盛世文化有限公司

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年8月第 一 版 开本:889×1194 1/16

2016年8月第一次印刷 印张:21 1/2

字数:594 000

定价:139.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《第三次气候变化国家评估报告》编写委员会

编写领导小组

组 长	张来武	科学技术部
副组长	宇如聪	中国气象局
	丁仲礼	中国科学院
	刘 旭	中国工程院
成 员	高 风	外交部条法司
	李 高	国家发展改革委应对气候变化司
	雷朝滋	教育部科技司
	陈传宏	科学技术部社会发展科技司
	高云虎	工业和信息化部节能司
	高 平	国土资源部科技与国际合作司
	刘鸿志	环境保护部科技标准司
	袁 鹏	交通运输部科技司
	吴 强	水利部规划计划司
	王衍亮	农业部科技教育司
	吴秀丽	国家林业局造林绿化管理司
	苏荣辉	中国科学院重大科技任务局
	王元晶	中国工程院二局
	宋连春	中国气象局国家气候中心
	柴育成	国家自然科学基金委员会地学部
	辛红梅	国家海洋局科学技术司

曾经是《第三次气候变化国家评估报告》编写领导小组成员，并为报告的编写做了大量工作和贡献，后因职务变动不再作为成员的有：王伟中、沈晓农、樊代明、李燕瑞、苏伟、杨铁生、白星碧、洪晓枫、段红东、王凡、安耀辉、邱志高

专家委员会

主 任	徐冠华	科学技术部
委 员	杜祥琬	中国工程院
	孙鸿烈	中国科学院地理科学与资源研究所

秦大河	中国气象局
刘燕华	国务院参事室/科学技术部
张新时	北京师范大学
吴国雄	中国科学院大气物理研究所
符淙斌	南京大学
方精云	北京大学/中国科学院植物研究所
何建坤	清华大学
周大地	国家发展改革委能源研究所
林而达	中国农科院
吕达仁	中国科学院大气物理研究所
丁一汇	国家气候中心

编写专家组

组 长	刘燕华			
副组长	郭日生	巢清尘		
第一部分	丁一汇	王会军		
第二部分	王 浩	吴绍洪	罗 勇	
第三部分	何建坤	陈文颖		
第四部分	史培军	葛全胜	潘家华	
第五部分	周大地	孙 洪	王 毅	魏一鸣
第六部分	董文杰	彭斯震	周天军	
第七部分	王小康			

编写工作办公室

主 任	陈传宏	科学技术部社会发展科技司
副主任	高 云	中国气象局科技与气候变化司
	邓小明	科学技术部社会发展科技司
	孙成永	科学技术部社会发展科技司
	彭斯震	中国21世纪议程管理中心
成 员	孙国顺	外交部条法司
	黄问航	国家发展改革委应对气候变化司
	邹 晖	教育部科技司
	黄圣彪	科学技术部社会发展科技司
	康相武	科学技术部社会发展科技司
	王孝洋	工业和信息化部节能司
	单卫东	国土资源部科技与国际合作司
	冯 波	环境保护部科技标准司
	汪水银	交通运输部科技司
	石海峰	水利部规划计划司

曹子祎	农业部科技教育司
王福祥	国家林业局造林绿化管理司
任小波	中国科学院重大科技任务局
王小文	中国工程院二局
袁佳双	中国气象局科技与气候变化司
张朝林	国家自然科学基金委员会地学部
冯 磊	国家海洋局科学技术司

曾经是《第三次气候变化国家评估报告》编写工作办公室成员，并为报告编写做了大量工作及贡献，后因职务变动不再作为成员的有：马燕合、马爱民、王文远、於俊杰、官生晨、王勇、蒋三乃、刘静、王金星、辛红梅

编写专家

领衔专家 董文杰 彭斯震 周天军

方法部分
(按章节顺序排序)

首席作者

郭正堂	王绍武	王 斌	周天军	高学杰	韦志刚
赵宗慈	于贵瑞	袁文平	丁永建	徐 冰	王守荣
崔雪锋	董文杰	高 云	腾 飞		

贡献作者

陈发虎	田 军	张家武	田立德	姜大膀	吴海斌
谭 明	效存德	郑景云	邵雪梅	胡超涌	余克服
储国强	黄建斌	唐国利	闻新宇	吴 波	邹立维
石 英	王永光	章大全	王澄海	李庆祥	任国玉
郭 彦	牛书丽	张扬建	王秋凤	黄 玫	何念鹏
杨誌永	杨建平	吴晓旭	陶福禄	封国林	张 勇
岳天祥	田怀玉	延晓冬	魏 婷	何 斌	张 莹
魏 信	王文军	姜海如	辛 源	戴君虎	杨世莉
刘 滨					

数据部分

(按章节顺序排序)

首席作者

熊安元	任贾文	刘纪远	李加洪	牛 铮	曲建升
王国庆	马世铭	谢立勇	王晓毅	温宗国	王 宇
张九天	王文涛	王启光			

贡献作者

周凌晞	王 颖	廖 捷	曹丽娟	唐国利	徐文慧
冯爱霞	杨 朔	车慧正	葛全胜	于福江	仇天宇
陈发虎	勾晓华	刘时银	严登华	于贵瑞	何洪林
牛书丽	王秋凤	张雷明	苏 文	周天军	穆松宁
田国良	刘 闯	官阿都	张松梅	刘 爽	李世华
梁顺林	王 成	柳钦火	陈 军	官 鹏	贾 立
王开存	牛振国	刘纪远	张增祥	匡文慧	吴炳方
陈仲新	李 新	刘时银	车 涛	晋 锐	王智勇
高志海	施建成	杨忠东	林明森	张 杰	田崇国
王金平	高会旺	张 波	刘时银	王雪梅	宋克超
金君良	肖培青	刘翠善	王勤花	董利苹	裴惠娟
曾静静	韩志勇	廖 琴	唐 霞	马玉霞	赵洪亮
张 浩	孟慧新	朱建华	李春蕾	李会芳	张 绚
王春峰	张 军	李桂菊	焦建玲	孙振清	朱松丽
朱留财	张 雯	陈 兰	段茂盛	孔江涛	王仲成
朱晓暄	王同涛	丁 丁	陈 跃		

序

数据和方法是所有科学研究和政策研究的基础和工具。气候变化所涉及的领域从最初的大气科学开始,逐步拓展到整个地球科学,并进一步扩展到与人类活动的相互作用与反馈,以及减缓适应气候变化和全球气候治理等方面。随着对气候变化问题认识的不断深化和多种问题的交叉交织,气候变化研究所涉及的数据和方法体系也日益丰富。

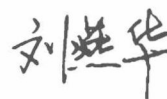
自 20 世纪初以来,世界各国已经大规模积累并正在记录越来越多的气候变化相关的数据,不断为气候系统研究提供基础保障。通过对已有数据的深入分析和研究,人们对气候变化的规律、成因、发展等认识日渐清晰。气候变化数据的应用范围将越来越广泛,作用也将越来越重要。对中国已有气候变化相关的数据进行综合集成,对数据来源、质量、使用范围、应用情况等进行分析并合理评估是十分必要的,这将有助于改善现有数据的质量,优化配置数据资源,提高数据利用效率。

在方法体系方面,自然科学、社会科学等的广泛交叉所引致的气候变化研究方法体系具有一定的复杂性。气候变化研究方法本身尚处于发展完善阶段,同时社会发展对应气候变化研究方法提出了新的要求。应对气候变化将在世界范围内引发经济社会发展方式和社会形态的根本性变革,也将引起世界科技创新和经济、贸易竞争格局的深刻变动、需要创新的理论和方法学进行研究和引导。应对气候变化、建设生态文明,需要发展理念和消费观念的创新,支撑传统工业文明的发展理论和评价方法已经不能适应生态文明建设的发展理念和目标,需要有理论和方法学创新。加强气候变化领域研究方法体系的梳理和创新,是进一步深化研究、更好与经济社会发展融合的重要基础性工作。

《第三次气候变化国家评估报告》的编制特别加强了在数据和方法领域的基础性工作,将数据方法作为此次评估报告的重要组成部分,以特别报告的形式编撰成册,国内相关领域的众多科学家共同努力,第一次比较系统地梳理了气候变化领域的有关数据和方法体系。其中,数据评估部分主要包括气候变化事实数据、地球观测遥感数据、气候变化影响数据、气候变化适应数据、气候变化减缓数据和国际合作与行动数据六大类。方法评估部分主要从历史气候演变、地球系统模式与年代际气候预测和百年气候预估、气候变化的检测和归因、碳收支的评估、影响评估与脆弱性分析、适应和减缓政策评估方法及责任和义务分析七个方面对有关研究方法予以归纳。

希望该书能够为广大科研工作者、决策者等提供参考。同时,由于是第一次系统尝试,

疏漏之处难免存在，恳请广大读者批评指正。在编制报告过程中，起草组多次邀请相关领域的专家学者参与指导和评议，认真听取了第三次气候变化国家评估专家委员的建议，不断改进与完善报告内容。报告的出版是众人智慧凝结的成果，在此，对作者的辛勤付出表示感谢，对支持和指导报告编写工作的各位专家、学者表示感谢！



国务院参事、
第三次气候变化国家评估报告编写专家组组长

目 录

序

第一部分 数据评估

第一章 气候变化事实数据	3
摘要	3
1.1 气象	4
1.2 大气成分	12
1.3 气候代用记录	13
1.4 海洋环境	14
1.5 冰冻圈	18
1.6 水文与水资源	19
1.7 生态系统	19
1.8 大气和海洋再分析资料集	24
1.9 气候模式模拟和预估数据	25
参考文献	27
第二章 地球观测遥感数据	30
摘要	30
2.1 中国应对气候变化对地观测能力的发展	30
2.2 土地利用/土地覆盖	34
2.3 植被参数	41
2.4 水域与水参数	45
2.5 农业	48
2.6 陆地冰冻圈	52
2.7 辐射平衡	56
2.8 大气	63
2.9 海洋	66
参考文献	68
第三章 气候变化影响数据	70
摘要	70
3.1 气候变化对海洋的影响	70
3.2 气候变化对冰冻圈的影响	77
3.3 气候变化对水文与水资源的影响	86
3.4 气候变化对生态系统的影响	106
3.5 气候变化对经济社会的影响	125

参考文献	134
第四章 气候变化适应数据	137
摘要	137
4.1 适应技术	137
4.2 适应对策	143
4.3 适应能力	149
4.4 适应成本效益分析方法	151
参考文献	152
第五章 气候变化减缓数据	153
摘要	153
5.1 温室气体排放源	153
5.2 温室气体排放数据	156
5.3 清洁能源开发利用数据	158
5.4 减排技术与潜力数据	160
5.5 森林碳汇数据	162
5.6 影响温室气体排放的关键因素	165
5.7 未来温室气体排放预测数据	167
参考文献	169
第六章 国际合作与行动数据	172
摘要	172
6.1 国际谈判数据	172
6.2 资金	174
6.3 国际碳市场数据	174
6.4 国际合作的项目、经费数据	176

第二部分 方法评估

第七章 历史气候演变	181
摘要	181
7.1 古气候重建方法	181
7.2 观测资料分析方法	189
7.3 古气候模拟方法	191
参考文献	192
第八章 地球系统模式与年代际气候预测和百年气候预估	200
摘要	200
8.1 地球系统模式	200
8.2 年代际气候预测与百年气候预估	208
8.3 区域气候模式与动力降尺度	213
8.4 气候统计预估	215
参考文献	219

第九章 气候变化的检测和归因	226
摘要	226
9.1 数理统计方法概述	226
9.2 气候变化的检测	228
9.3 气候变化的归因	231
参考文献	234
第十章 碳收支的评估	237
摘要	237
10.1 区域和全球碳收支评估方法分析	237
10.2 极端气候和自然灾害对碳收支影响的评估方法分析	240
10.3 土地利用变化对碳收支影响的评估方法分析	242
10.4 人为管理措施对碳收支的影响评估方法	244
10.5 非 CO ₂ 形态的碳收支及碳泄漏评估方法分析	246
10.6 不同国家间的碳转移评估方法分析	248
参考文献	249
第十一章 影响评估与脆弱性分析	258
摘要	258
11.1 气候变化对自然系统的影响	258
11.2 气候变化对社会经济领域的影响	266
11.3 脆弱性与风险分析	273
11.4 气候变化阈值分析	276
11.5 综合影响评估方法	277
参考文献	280
第十二章 适应和减缓政策评估方法	288
摘要	288
12.1 适应理论和评估方法	288
12.2 减缓理论和方法评估	296
12.3 减缓与适应协同理论和方法评估	300
12.4 地球工程评估	304
参考文献	307
第十三章 责任和义务分析	311
摘要	311
13.1 历史责任评估	311
13.2 承诺减排效应的评估	315
13.3 长期目标充分性评估	318
13.4 公平分担	321
13.5 有序人类活动和可持续发展	325
参考文献	328

第一部分 数据评估

第一章 气候变化事实数据

首席作者：熊安元 任贾文

贡献作者：周凌晔 葛全胜 于福江 仇天宇 陈发虎 勾晓华 刘时银 严登华 于贵瑞 何洪林 牛书丽 王秋凤 周天军 穆松宁 王颖 廖捷 曹丽娟 唐国利 陈哲 徐文慧 冯爱霞 杨朔 车慧正 张雷明 苏文

摘 要

地球气候的观测数据是揭示气候变化事实的基础。IPCC 历次评估报告有关气候变化事实的结论主要是基于全球气候观测数据序列得到的。IPCC 关于气候变化事实评估结果的不确定性主要是由观测资料的不确定性造成的，包括观测资料的空间代表性问题、时间非均一性问题、数据选择及其处理方法问题等。特别是 2009 年哥本哈根气候变化大会召开前后出现的“气候门”事件，以及 IPCC 第四次评估报告中关于喜马拉雅冰川消融的错误表述，引起了全球对气候变化评估中观测资料的广泛关注。因此，收集和采用全面的、高质量的、获得全球科学家广泛认可的地球气候系统观测数据对我国气候变化事实的评估具有极其重要的意义。

气候系统包括大气圈、水圈、冰雪圈、岩石圈和生物圈，气候和环境变化是气候系统五大圈层及其与人类活动之间相互作用的结果。本章将给出地球气候系统各圈层在中国区域的历史数据，包括大气圈层的气象观测数据、大气成分观测数据、大气再分析资料、气候模式模拟和预估数据；描述海洋状况的海洋环境数据、海洋再分析数据；有关地球冰雪圈层的冰冻圈资料；描述陆地表面水文水资源特征的资料；记录地球生态系统变化的生态要素资料；通过树木年轮、冰芯、石笋、孢粉等分析得到的反映地球气候状况的代用资料。这些数据有些是通过仪器直接观测获得的，有些是通过遥感等手段间接观测获得的，有些是通过代用资料分析获得的，有些是通过天气气候模式模拟分析得到的，有些则来自公开出版的文献。

本章给出试图描述全球和中国区域气候变化客观事实分析所采用的基础数据，大部分数据均经过了一定的加工处理或分析，数据误差包含了在观测、加工处理、分析推演等过程中带入的误差。对气候变化事实评估而言，直接观测获得的数据具有较高的质量和可信度，推算或模拟分析获得的数据存在较大的不确定性，请使用者注意甄别。本章各节将对每类数据进行详细说明。

1.1 气 象

1.1.1 全球地面和高空气象观测资料产品

近年来在全球、半球尺度的陆面气温变化研究中,以美国国家气候数据中心(NCDC)的GHCN(Global Historical Climatology Network)数据集、美国国家航空航天局(NASA)的GISS(Goddard Institute for Space Studies)全球数据集和英国CRU(Climatic Research Unit)的全球历史气候数据集HadCRUT(Hadley Center and Climatic Research Unit Temperature)最有代表性。这几个数据集已经被IPCC历次评估报告作为主要的参考依据,为科学界认识气候变化提供了很好的数据基础来源。三套资料近年来都得到了充分的发展,但也均存在一定的不足,如在南美、亚洲、非洲部分等区域站点偏少,高纬度地区站点也各有不同,站点的代表性也不尽一致,均一性分析和处理技术存在很大的差异等,导致几套气温数据集在描述全球或区域尺度全球变化时出现了不同程度的不确定性。另外,由于各个机构和国家在资料的收集和拥有方面与在资料处理技术方面,以及在对气候变化关注的侧重点方面都存在着相当大的差异,因此,三套资料都有各自的特色,彼此难以互相取代。

近年美、英等国以探空观测为基础,建立了多个全球范围的高空温度数据集和经过均一化的高空温度数据集,如CARDS、IGRA、LKS、Angell、HadRT、HadAT、RATPAC、RARBCORE等。

1) GHCN

NCDC从20世纪90年代初开始发展第一版GHCN月气温数据集,经过几年的努力,不断增加站点数和数据长度,于1997年释放了V2版本(Peterson and Vose, 1997)。该版本对数据的质量控制主要包括对源数据质量和适用性的检验、单个站点时间序列的评估和逐个站点数据的时间空间一致性检验。该版本是基于年时间序列而做的均一化检验和订正,首先在相关性比较高的相邻站点建立参考序列,通过比较参考序列和检测站点序列的差异进行非均一化检验和订正。2011年5月2日NCDC释放了GHCN月气温数据集的V3版本,该版本在V2基础上做了很多改进。主要对连续月份重复数据、序列重复数据、奇异值、气候异常点和空间不一致性等数据质量问题进行控制(Menne et al., 2009b; Durre et al., 2008)。通过自动比较成对月平均温度序列的方法对数据进行均一性检验和订正(Menne and Williams, 2009a),该方法主要通过比较一个地区月平均温度序列的多种组合,从而检验出单个站点的突变点,然后通过评估相邻高相关的参考序列与目标序列的差异程度而进行订正。GHCN-V3同V2版本一样也释放两种数据,这两个数据均经过了质量控制,一种数据没有进行均一化订正,而另一种数据则是经过了均一化订正的,该数据及其产品被广泛应用于全球气候变化研究。GHCN-V3共包含全球7278个站点,其中,北美及欧洲区域的站点分布较密,而南美、亚洲、非洲部分等区域站点偏少,其中,大约有5206个站点经过了均一性检验和订正。

2) GISS

GISS月气温数据集(Hansen et al., 1999)是在GHCN未均一化订正数据的基础上开发的,新加入了南极洲部分地区站点数据并融合了USHCN(United States Historical Climatology Network)质量控制和均一化后的1200多个站点数据。GISS主要对超过50000人口的城市站

点进行了均一化订正,具体算法是针对一个给定城市,分别在1950年以前和1950年以后建立一个温度随时间变化的线性关系,利用两线性关系的斜率使得该城市的时间序列和附近乡村站点时间序列的平均均方根误差达到最小(Hansen et al., 1999)。

GISS 选择 GHCN 时间序列相对连续并且长度相对较长的站点,还融合了 USHCN 月气温数据及 SCAR 数据的部分站点,共包含 6257 个站点,由于新加入了 SCAR (Scientific Committee on Antarctic Research) 数据的部分站点,GISS 包含的南极洲地区的站点明显比 GHCN-V3 多。GISS 有三个数据来源,他们分别是:①未均一化订正的 GHCN 站点数据,约有 7278 个站点;②经过严格质量控制和均一化订正的 USHCN 站点数据,有 1200 个站点;③SCAR 包含的南极洲地区站点数据,约有 142 个站点。

3) HadCRUT

HadCRUT (Jones, 1994) 和 HadCRUT2 (Jones and Moberg, 2003) 自开发以来,已经被广泛应用于气温变化及气温趋势研究中(Houghton et al., 2001)。尤其是 HadCRUT2 采用了很多国家和地区质量控制后和均一化订正后的站点数据,使得数据集的空间代表性好,业务稳定性高,在同类型数据集中得到了最为广泛的使用。通过进一步改进质量控制方法,发展了最新版本的 HadCRUT3 (Brohan et al., 2006)。该版本增加的新的质量控制步骤包括:①通过比较 CRU 月气温数据和 ERA-40 月再分析资料,发现少数地区的站点数据存在问题,再通过逐站检验,可以识别错误数据,并对他们进行订正或删除;②在所有可能站中检查重复数据序列,合并不同来源的数据序列,并删除重复的数据。由于没有得到所有站点数据所有者的授权,HadCRUT3 只能释放部分站点数据,站点数明显少于 GHCN 和 GISS 月气温站点数据集,CRU 释放的 3780 个站点数据均经过了质量控制和均一化订正。

4) CARDS 和 IGRA

NCDC 从 20 世纪 90 年代开始研制全球综合高空观测资料数据产品,第一版本数据集为 CARDS (Comprehensive Aerological Reference Data Set) 数据集(Eskridge et al., 1995)。该数据集包含了 1948~2006 年全球 2522 个高空观测站点的观测资料,CARDS 数据集将 20 多个不同来源的数据整合成统一的数据格式后,采用了综合质量控制方法实施质量控制。剔除短期观测的、数据不连续的和部分单测风站,同时对站点密集地区进行站点筛选,Wallis (1998) 确定了 188 个数据完整性和数据质量都较好的站点作为 CARDS 的核心站点。2006 年,NCDC 又发布了 CARDS 数据集的升级版 IGRA (Integrated Global Radiosonde Archive) 数据集。该数据集包含了 11 个质量可靠的数据来源,保留了元数据准确度更高的站点数据,避免了 CARDS 数据集中存在数据缺失、数据内部不一致等问题。IGRA 的质量保证算法包含了格式检查、允许值范围检查、内部一致性检查、气候学界限值检查、气温的时间一致性和垂直一致性检查等多个检查步骤,并剔除明显错误的的数据。由于处理方法不同,IGRA 的站点个数、时间长度、完整性,以及站点信息的整体质量和 CARDS 都存在差异。

5) 其他全球高空数据集

近年来国际上已发布了多个经过订正的高空气温数据集。LKS 数据集 (Lanzante et al., 2003a, 2003b) 包含了全球 87 个站的高空气温资料,采用主观校准方法对整个记录长度的气温偏差进行了校准,用卫星资料校准去存在的大范围偏差,尤其是高纬度地区引起的 1979~1997 年对流层增暖,平流层降温偏强的误差。Angell 在 2003 年也做了类似的工作,