

“十三五”国家重点图书出版规划项目

气候变化对中国东部季风区陆地水循环与
水资源安全的影响及适应对策



未来水文气候情景预估 及不确定性分析与量化

段青云 徐宗学 等 著

海外借



科学出版社

“十三五”国家重点图书出版规划项目

气候变化对中国东部季风区陆地水循环与
水资源安全的影响及适应对策

未来水文气候情景预估 及不确定性分析与量化

段青云 徐宗学 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

在全球变化的大背景下,本书针对最新发布的气候模式 CMIP5 数据,系统分析了气候变化过程中降水预估的共识性与可信度规律,全面评价了目前流行的多种气候模式降尺度技术,系统评估了全球气候模式在中国东部季风区的适用性,初步分析了多模式集合平均方法在气候模式集合评估中的应用。

本书共分为 9 章,面向科研、教学和生产部门,可供大气科学、水文科学、资源科学、环境科学和生态科学等领域的科研人员、相关业务部门管理人员、高等院校教师以及研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

未来水文气候情景预估及不确定性分析与量化 / 段青云等著. —北京:科学出版社, 2017. 7

(气候变化对中国东部季风区陆地水循环与水资源安全的影响及适应对策)

“十三五”国家重点图书出版规划项目

ISBN 978-7-03-048098-9

I. ①未… II. ①段… III. ①长江流域—水文预报—研究 IV. ①P338

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 093765 号

责任编辑: 李 敏 周 杰 张 菊 / 责任校对: 邹慧卿

责任印制: 肖 兴 / 封面设计: 铭轩堂

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

*

2017 年 7 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2017 年 7 月第一次印刷 印张: 15 1/2 插页: 2

字数: 370 000

定价: 128.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)





国家重点基础研究发展计划（973计划）2010CB428400项目

气候变化对我国东部季风区陆地水循环与水资源安全的影响及适应对策

《气候变化对中国东部季风区陆地水循环 与水资源安全的影响及适应对策》 丛书编委会

项目咨询专家组

孙鸿烈	徐冠华	秦大河	刘昌明
丁一汇	王浩	李小文	郑度
陆大道	傅伯杰	周成虎	崔鹏

项目工作专家组

崔鹏	王明星	沈冰	蔡运龙
刘春蓁	夏军	葛全胜	任国玉
李原园	戴永久	林朝晖	姜文来

项目首席

夏军

课题组长

夏军	罗勇	段青云	谢正辉
莫兴国	刘志雨		

《未来水文气候情景预估及不确定性分析与量化》

撰写委员会

课题负责人 段青云

承担单位 北京师范大学

参加人员 段青云 徐宗学 郑小谷 孙巧红
杨 赤 缪驰远 叶爱中 彭定志
庞 博 刘 浏 应恺然 孔冬贤
李秀萍 刘 品 何 睿 娄佳乐
刘兆飞 全小伟 Carsten Frederiksen

序

气候变化是全球变化的核心问题和重要内容，它在全球气候环境中的突出表现就是全球变暖的问题。政府间气候变化专门委员会（IPCC）第五次评估报告指出，1880~2012年，全球海陆表面平均温度呈线性上升趋势，共升高了 0.85°C ；19世纪中叶以来，全球增温导致极地冰雪融化以及海水膨胀，使海平面的上升速度高于过去2000年；观测到的20世纪中叶以来气候变暖的主要原因极有可能（95%以上的可能性）是人类活动的影响。全球增温意味着生物生存和活动范围将发生改变，雪盖面积减少，海平面上升；还将导致降水量的时空分布发生变化；同时，该变化将有可能进一步导致水资源、生态系统状况发生变化，造成旱涝等自然灾害频发，对工农业生产、社会经济发展和政治格局等产生深远影响。因此，气候变化及其对人类环境的影响已成为当前全球性的重大科学问题，并受到各国政府和公众的关注。

1979年，世界气候大会（FWCC）上，气候问题首次被提出，并开始被国际社会重点关注。1988年，联合国大会首次讨论了气候变化问题，并通过第43/53号决议，提出要为人类今后世代的发展保护全球气候。同年，世界气象组织（WMO）和联合国环境规划署（UNEP）等机构联合成立了政府间气候变化专门委员会（IPCC）。1992年，160多个国家在巴西里约热内卢签署了《联合国气候变化框架公约》。从1995年德国柏林至2016年摩洛哥马拉喀什，缔约国和区域一体化组织每年召开会议进行气候谈判。气候问题涉及全球共同发展以及国与国之间的利益关系，已不再是单纯的科学问题，在这种复杂的关系下，全球气候变化问题不断升级。

我国人口众多，气候条件复杂，生态环境脆弱，是受气候变化不利影响最为严重的国家之一。由于中国水资源系统对气候变化的承受能力十分脆弱，多数河流的径流对大气降水变化非常敏感，其对降水量变化呈非线性响应。观测数据表明，气候变化已经影响了中国水资源的空间分布。2000年以来，北方黄河、淮河、海河、辽河水资源总量明显减少，南方河流水资源总量略有增加。洪涝灾害更加频繁，干旱灾害更加严重，极端气候现象明显增多。

为此，早在20世纪80年代，我国就展开了一系列气候变化对水文水资源影响的专项研究。1988年，国家自然科学基金委员会批准“中国气候与海面变化及其趋势和影响研究”作为“七五”重大项目，其中包括“气候变化对西北华北水资源的研究”。1991年，国家科学技术委员会启动的“八五”国家科技攻关计划项目“全球气候变化的预测、影响和对策研究”中设立了“气候变化对水文水资源的影响及适应对策”专题。1996年，国家科学技术委员会设立“九五”国家重中之重科技攻关计划项目“我国短期气候预测系统的研究”，其中包括“气候异常对我国水资源及水分循环影响的评估模型研究”专

项。“十五”国家科技攻关计划重点项目“中国可持续发展信息共享系统的开发研究”中设立了“气候异常对我国淡水资源的影响阈值及综合评价”专题，基于对未来水资源的模拟及水资源的需求预测进行气候变化阈值研究。2010年，科学技术部启动了“全球变化研究国家重大科学研究计划”，将我国的气候变化及其对我国水文水资源的影响研究推至一个新的高度。

目前，我国在气候变化及其对水文水资源影响有关方面开展了广泛研究，并取得丰硕成果，但同时许多方面还存在薄弱环节。本书各位作者结合国家重点基础研究发展计划(973计划)课题“气候变化背景下未来水文情景预估及不确定性研究”的任务要求，对中国东部季风区的气候变化展开了一系列研究。相信该书的出版，将为关注气候变化与水资源问题的科研工作者和管理者提供有用的信息，对国家和流域水资源综合管理有一定的借鉴意义。

刘昌明

2016年7月7日于北京

前 言

气候变化是 21 世纪人类发展面临的一场最严峻的挑战。其规模之大、范围之广、影响之深远,可谓史无前例。由于事关人类生存环境和世界各国繁荣与发展,气候变化问题一经提出,就迅速成为国际社会关注的焦点议题。

1988 年,联合国环境规划署 (UNEP) 联合世界气象组织 (WMO) 共同成立了政府间气候变化专门委员会 (IPCC), 集合了来自世界各国的数百名从事全球气候变化研究的科学家, 先后于 1990 年、1995 年、2001 年和 2007 年发布了四次评估报告, 对目前气候变化的相关科学知识及其对生态系统和社会经济的潜在影响进行了评估。最新的第五次评估报告第一工作组报告已于 2013 年 9 月发布。该报告正式发布了不同气候模式发展小组对全球历史时期 (1850 ~ 2005 年) 气候变化的模拟结果, 以及未来 (2006 ~ 2100 年) 不同温室气体排放下的气候变化情景预估结果。与之前的第四次评估报告中的模式结果相比, 最新的全球气候模式在物理过程、数值计算以及子模型配置等方面有了进一步的提高。尽管这些模式结果仍存在不确定性, 但这些全球气候模式增强了气候变化与温室气体排放之间的定量化联系。目前, 越来越多的科研工作者利用这些模式结果, 对历史气候变化的原因进行分析, 同时对未来可能发生的气候变化情景提出生态环境可持续管理对策。

IPCC 报告中关于气候变化问题的很多结论都是基于全球气候模式的模拟结果。气候模式是定量描述气候系统变化规律的数值模型, 能够反映气候系统中各圈层之间复杂的相互作用。作为气候变化归因与预估未来气候变化的唯一工具, 气候模式被国际社会广泛采用。例如, 水文科学、生态科学、环境科学、农业科学等多个学科都需要基于气候模式对未来气候变化的预估结果来研究相关气候变化的影响和适应问题。但受全球气候系统的复杂性、气候模式的代表性和可靠性等因素影响, 全球气候模式对气候变化的模拟能力存在一定的不足和局限。目前, 全球气候模式结果在应用过程中主要面临 3 方面的问题: ①区域模拟精度问题。全球气候模式是以全球尺度能量平衡为基础的模拟产品。现有的大量研究结果表明, 全球气候模式在不同区域下对气候变化的模拟能力不同。②尺度问题。现有的模式结果, 其空间分辨率约为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$, 无法直接应用于水文、生态、环境等模型。③不确定性问题。不同气候模式发展小组对气候系统动力过程的认识不同, 模拟过程中所涉及的数据以及初始条件也有差异, 最终导致了每个小组生成模式结果之间有很大的不确定性。因此, 有必要从多时空尺度定量评估全球气候模式对气候平均态及变率的模拟能力, 同时利用多种模式集合方法对未来情景进行模拟, 从而减少模式结果的不确定性。

本书主要基于国家重点基础研究发展计划 (973 计划) 课题“气候变化背景下未来水文情景预估及不确定性研究” (2010CB428402) 的研究成果凝练而成。全书共分为 9 个章节, 由段青云教授、徐宗学教授总体设计, 缪驰远博士协助统稿, 编著具体分工如下: 第

1 章绪论, 由段青云、缪驰远、叶爱中撰写; 第 2 章降水预估的共识性与可信度研究资料及方法, 由郑小谷、应恺然、Carsten Frederiksen 撰写; 第 3 章统计降尺度技术, 由徐宗学、刘浏、刘品撰写; 第 4 章动力-统计混合降尺度技术, 由徐宗学、李秀萍、刘品撰写; 第 5 章气候变化情景下气象要素的随机模拟, 由杨赤撰写; 第 6 章高精度降水和温度格点数据集比较, 由孙巧红、段青云撰写; 第 7 章 CMIP3 与 CMIP5 年代际多模型气候变化模拟与预估比较, 由缪驰远、段青云撰写; 第 8 章中国东部降水的季节可预报性研究, 由应恺然、郑小谷、全小伟、Carsten Frederiksen 撰写; 第 9 章 GCM 在中国东部季风区的适用性评估, 由徐宗学、刘品、何睿撰写。另有部分人员参与了资料收集和图片处理等工作, 在此一并致谢。

本书参考了国内外相关文献, 由于篇幅有限, 书中仅列出了主要的参考文献, 在此向有关编著者表示衷心的感谢。由于作者水平有限, 疏漏之处在所难免, 恳请读者批评指正。

作 者
2016 年 8 月

目 录

序

前言

第1章 绪论	1
1.1 全球气候变化背景	1
1.2 全球气候模式的意义	2
1.3 全球气候模式的发展	2
1.4 气候模式模拟的未来气候及不确定性	3
第2章 降水预估的共识性与可信度研究资料及方法	6
2.1 资料说明	6
2.2 统计方法介绍	9
2.2.1 季均值场的(协)方差场分解方法	9
2.2.2 10年均值场的方差分解方法	11
2.2.3 经验正交函数分解方法	12
2.2.4 相关分析	14
2.2.5 合成分析	14
2.3 降水季节预报流程	14
2.4 CMIP3 与 CMIP5 模式评估指标	15
第3章 统计降尺度技术	17
3.1 降尺度技术综述	17
3.1.1 统计降尺度技术基本原理	17
3.1.2 常用的统计降尺度方法	18
3.1.3 统计降尺度中的不确定性	19
3.2 DCA 统计降尺度方法	21
3.2.1 方法与原理	21
3.2.2 数据及来源	22
3.2.3 与其他统计降尺度方法对比研究	23
3.3 STNSRP 模型	25
3.3.1 STNSRP 模型简介	25

3.3.2	STNSRP 模型原理	26
3.3.3	STNSRP 模型参数	27
3.3.4	模型率定与验证	29
3.3.5	未来降水情景构建	43
3.3.6	小结	45
第4章	动力-统计混合降尺度技术	46
4.1	动力-统计降尺度方法比较：以淮河流域为例	46
4.1.1	研究区概况	46
4.1.2	数据	47
4.1.3	ASD 统计降尺度和 RegCM3 动力降尺度结果比较	48
4.1.4	小结	57
4.2	动力-统计混合降尺度技术：以我国东部八大季风区为例	58
4.2.1	统计降尺度方法	59
4.2.2	动力降尺度数据	59
4.2.3	混合降尺度方法在东部季风区的模拟效果评价	59
4.2.4	未来情景预估	67
4.3	小结	71
第5章	气候变化情景下气象要素的随机模拟	73
5.1	贝叶斯模型平均方法概述	73
5.2	日平均温度的统计降尺度模型	74
5.2.1	广义加性模型	74
5.2.2	日平均温度的联合均值-方差 GAM 降尺度模型	75
5.2.3	应用实例	76
5.3	日降水量的统计降尺度模型	78
5.3.1	日降水的 Poisson-gamma 复合分布描述	78
5.3.2	日降水量的 GLM 降尺度模型	79
5.3.3	应用实例	80
5.4	统计降尺度的 BMA 多模型集成	82
5.5	基于多模式统计降尺度模型的随机模拟方法	84
5.5.1	基本原理和步骤	84
5.5.2	应用举例	85
5.6	对我国东部季风区主要流域的应用	93
5.7	小结	95
第6章	高精度降水和温度格点数据集比较	97
6.1	引言	97

6.2 数据与方法	98
6.3 结果	100
6.3.1 在时间尺度上的比较	100
6.3.2 在空间尺度上的对比	102
6.4 讨论	103
6.5 小结	104
第7章 CMIP3 与 CMIP5 年代际多模型气候变化模拟与预估比较	106
7.1 CMIP5 在中国区域精度评估	106
7.2 应用贝叶斯多模型平均方法预测气候变化	108
7.3 应用贝叶斯多模型平均方法进行极端气候指数预测	118
第8章 中国东部降水的季节可预报性研究	125
8.1 季节可预报性的定量化	125
8.1.1 可预报性的定义	125
8.1.2 中国东部区域降水的季节可预报性	126
8.1.3 降水模态的季节可预报性	127
8.2 可预报部分的主要雨型及其预报因子	128
8.2.1 与 ENSO 相关的中国东部降水	128
8.2.2 与黑潮海温相关的中国东部降水	132
8.2.3 与印度洋及南海海温相关的中国东部降水	133
8.3 相关环流状况的表征	134
8.3.1 西太副高	134
8.3.2 Hadley 环流及大气遥相关	138
8.4 年代际变化	142
8.4.1 降水-海温关系的年代际变化	142
8.4.2 降水-环流状况的年代际变化	144
8.5 季节内变率部分的主要雨型及其环流状况	145
8.5.1 秋冬季节的中国东部降水	145
8.5.2 春夏季节的中国东部降水	147
8.6 小结	149
第9章 GCM 在中国东部季风区的适用性评估	151
9.1 评估方法	151
9.2 数据	152
9.2.1 GCMs 输出数据	152
9.2.2 地面观测资料	153
9.3 GCMs 在东部季风区的适用性评估	153

9.3.1	GCMs 整体模拟能力分析	153
9.3.2	平均气温模拟评估	154
9.3.3	降水量模拟评估	157
9.3.4	综合评估结果	159
9.4	GCMs 在典型流域的适用性评估	161
9.4.1	松花江流域	161
9.4.2	辽河流域	168
9.4.3	海河流域	176
9.4.4	淮河流域	183
9.4.5	黄河流域	191
9.4.6	长江流域	198
9.4.7	东南诸河流域	206
9.4.8	珠江流域	213
参考文献		222

第1章 绪 论

1.1 全球气候变化背景

以全球变暖为主要特征的全球气候变化已经对生态系统和社会系统造成了严重的影响，并成为地学、环境学、生物化学、经济学等多学科融合的重要课题，受到国际社会的普遍关注。1988 年成立了政府间气候变化专门委员会（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC），对有关气候变化的科学成果及技术、经济信息进行综合分析与评估，先后于 1990 年、1995 年、2001 年、2007 年和 2013 年五次发表了综合评估研究报告，在报告中给出了全球温度变化观测结果（表 1-1）。许多研究表明，气候变化将产生多尺度、全方位、多层次的影响，如气候变化可能会造成海平面上升、冰川退化、荒漠化加剧、生物多样性锐减、极端水文气候事件增加等自然和生物系统异常（Easterling, 2000; Meehl et al., 2000; Vörösmarty, 2000; Church, 2001），并且对水资源分布和农业生产造成一系列的影响。目前，全球气候变化问题已经超出一般的环境或气候领域，涉及能源、经济和政治等方面。因此，预估未来气候变化，探讨未来气候变化或气候持续变暖是否会对生态系统和人类社会造成比现在更为严重的后果，已成为各国科学家、公众和决策者共同关心的问题。

表 1-1 IPCC 五次评估报告关于全球温度变化观测结果和归因的主要结论

IPCC 报告	观测到的全球变化				全球气候变化的归因
	平均温度变化 (℃)	温度变化范围 (℃)	观测时段	二氧化碳浓度 (ppm)	
第一次 (1990 年)	0.45	0.30 ~ 0.60	1861 ~ 1989 年	353 (1990 年)	近百年的气候变化可能是由自然波动或人类活动或两者共同造成的
第二次 (1995 年)	0.45	0.30 ~ 0.60	1861 ~ 1994 年	358 (1994 年)	人类活动的影响被察觉出来
第三次 (2001 年)	0.60	0.4 ~ 0.8	1901 ~ 2000 年	367 (1999 年)	20 世纪中叶以来观测到的大部分增温可能是由人类活动排放温室气体的增加造成的

续表

IPCC 报告	观测到的全球变化				全球气候变化的归因
	平均温度变化 ($^{\circ}\text{C}$)	温度变化范围 ($^{\circ}\text{C}$)	观测时段	二氧化碳浓度 (ppm)	
第四次 (2007 年)	0.74	0.56 ~ 0.92	1906 ~ 2005 年	379 ± 0.65 (2005 年)	观测到的 20 世纪中叶以来大部分全球平均温度的升高, 很可能是由观测到的人为温室气体浓度的增加引起的
第五次 (2013 年)	0.85	0.65 ~ 1.06	1880 ~ 2012 年	391 (2011 年)	观测到的 20 世纪中叶以来的气候变暖的主要原因极有可能是人类的影响

注: $1\text{ppm}=10^{-6}$, 后同

中国地域辽阔, 气候多样, 不同区域的地理环境、气候特征、经济发展水平等差异显著, 气候变化对各个区域的影响也有所不同。已有资料表明, 中国的升温趋势与全球基本一致。1951 ~ 2009 年, 中国陆地表面平均温度上升了 1.38°C , 变暖速率为 $0.23^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ (气候变化国家评估报告编写委员会, 2011)。在全球变暖的背景下, 中国的高温、低温、强降水、干旱、台风、大雾、沙尘暴等极端天气气候事件的频率和强度存在一定变化趋势, 并有区域差异; 中国大部分地区冰川面积缩小了 10%; 气候变化加重了荒漠生态系统的脆弱形势, 造成物种退化等问题 (气候变化国家评估报告编写委员会, 2011), 许多研究表明, 气候变化对我国生态系统和社会系统造成了极大的影响。因此, 加强对气候变化的研究, 特别是研究未来不同排放情景下中国区域的气候会发生什么变化, 将会为国家制定减排对策、研究适应气候变化促进可持续发展、制定国家环境外交政策提供有力的科学支撑。

1.2 全球气候模式的意义

作为气候变化归因与预测未来气候变化的唯一工具 (Percec et al., 2004), 气候模式 (GCMs) 被国际社会广泛采用。气候模式是定量描述气候系统变化规律的数值模型, 能够反映气候系统中各圈层之间复杂的相互作用。随着模式的不断发展和完善, 气候预测的不确定性很大程度上已经减小了。目前, 世界上许多国家已用气候模式对过去和未来的气候变化进行了模拟, 并对这些结果进行了详细和深入的分析。但是, 模式本身的系统性误差是不可避免的, 这在很大程度上影响了气候预测和预估的水平。因此, 开展对气候模式模拟结果的评估, 同时利用多种模式集合方法对未来情景进行模拟, 是深入把握模式现存不足的重要途径, 也是减少模式结果不确定性的重要手段。

1.3 全球气候模式的发展

早在 1904 年, Bjerknes 率先提出了数值预报的思想。到了 20 世纪 20 年代,

Richardson 等气象学家开始利用数值模型开展短期天气预报的尝试。在 1956 年, Phillips 利用大气环流模式进行了大气环流的数值模拟。50 年代以后随着计算技术的变革, 数值技术方法飞速发展, 数值模式也进入了飞速发展的阶段。其后, Hinkelmann (1959) 等开始用原始方程模式模拟大气环流及其演变, 并逐渐在模式中引进了大气边界层、平流层以及水汽过程等。70 年代, 全球大气环流模式的动力学框架和数值计算已基本成熟, 并开始进行气候数值模拟试验。1998 年, 美国国家大气研究中心 (NCAR) 气候系统模式 (CSM) 率先实现了大气模式与海洋模式的直接耦合。中国作为数值模式研究起步较早的国家之一, 于 1976 年在中国科学院大气物理研究所 (IAP) 发展了我国第一个原始方程组数值预报模式; 并于 1984 年开始, 研制发展自己的全球大气环流模式 (AGCM)。此后我国于 1996 年研制了全球海洋-大气-陆面系统模式 (GOALS/LASG) (吴国雄, 1997), 于 2004 年完成了第四代气候模式, 即灵活性全球海-气-陆系统模式 (FGOALS) 及其大气、海洋分量模式, 大气分量模式包括 LASG/IAP 格点大气模式 (GAMIL) 和 LASG/IAP 谱大气模式 (SAMIL) (王斌, 2009)。气候模式经过了独立发展的单一分量模式到完整的耦合气候模式, 在不断的检验和改正中, 耦合模式能够提供可信的当前气候年平均状况和气候季节循环模拟结果。而在这一过程中, 世界气候研究计划 (WCRP) 在一系列观测实验的基础上, 相继组织和推出了大气模式比较计划 (AMIP)、陆面过程模式比较计划 (PILPS) 和耦合模式比较计划 (CMIP) 等, 为推动气候模式的发展起到了极大的作用。AMIP 于 1989 年成立, 主要是用于大气环流模式的系统验证、诊断和比较 (Gates, 1992)。研究表明, 大部分大气模式能够较好地模拟出大尺度大气环流的平均季节循环状况 (Gates, 1999)。CMIP 计划实施以来发展迅速, 经历了 CMIP1 (1995 年)、CMIP2 (1997 年)、CMIP3 (2004 年), CMIP3 发布的 23 个海气耦合模式对 20~22 世纪气候模拟的输出结果也被 IPCC 评估报告采用。如今耦合模式比较计划已进入第五个阶段 CMIP5 (2012 年)。CMIP5 收集了全球最为优秀的 23 个模式纽约 60 个模式及其模拟结果, 相对于 CMIP3 的模式, CMIP5 的模式包含了更为复杂、完善的地球生物化学过程, 设计了大气-陆地-海洋循环模式和硫循环模式, 发展了气溶胶模式与动力植被模式, 在海冰模式中更多考虑动力学与流变学等, 具有较高的分辨率 (Taylor et al., 2011)。

1.4 气候模式模拟的未来气候及不确定性

全球气候模式作为气候变化归因与预测未来气候变化的唯一工具, 已被广泛运用于全球及区域未来气候变化的研究中, 研究结果也被 IPCC 报告所采用。表 1-2 为 IPCC 报告给出的 21 世纪末全球平均地表温度升高和海平面上升的预估值。Rogelj 等 (2013) 比较了 IPCC 第四次评估报告 (AR4) 的排放情景特别报告 (SRES) 情景和第五次评估报告 (AR5) 采用的典型浓度路径 (RCP) 情景下未来全球温度的变化情况, 得出 RCP 情景的气温变化范围大于 SRES 情景。