

全球变暖情景下中国气温分区的未来变化

高晓获^{1,2} 江志红¹ 杨金虎¹

(1. 南京信息工程大学气象灾害省部共建教育部重点实验室,江苏 南京 210044; 2. 吉林省气象台,吉林 长春 134001)

摘要:利用 SRES A2 情景下 IPCC AR4 的 13 个模式资料,结合我国月平均温度观测资料对当前和未来我国气温的分区进行对比研究。结果表明:1961—1990、2021—2050 年和 2071—2097 年三个时段年平均气温分区在我国西部变化不大,而在我国东部发生了显著变化。1961—1990 年我国东部被华北分区带分为南、北两个区;2021—2050 年由于 1961—1990 年间的华北分区带北移,而在两广以北同时出现另一分区带,使得该时段我国东部分成东北区、华北和华中区以及华南区三个区,在 2071—2097 年北方分区带消失,而南方的分区带北移至长江一带,使得该时段我国东部仍可分为南、北两区。通过比较三个时段不同分区年平均温度时间变化发现,导致分区变化的原因主要是由于在不同时段各分区年平均温度的变率和增温幅度不一致所致。

关键词:中国气温分区;气温变化;未来情景

中图分类号:P468.0⁺² **文献标识码:**A **文章编号:**1673-503X(2009)05-0001-06

1 引言

大量的研究已经表明^[1-4],全球气候正呈现以变暖为主要特征的显著变化。IPCC 第四次评估报告指出,1906—2005 年全球地表平均温度上升了 0.74 °C,最近 10 a 是自有记录以来最热的 10 a。20 世纪后 50 a 北半球平均温度是近 1 300 a 中最高的。而中国的检测与归因分析也得到大致类似的结论^[3-5]。由于气候变暖会对社会、经济与环境产生重要影响,所以气候变化及其预估问题越来越受到各国政府和人民的关注与重视。它不仅涉及到科学家和公众关心的未来十年、百年乃至千年时间尺度的气候变化的可能情景,而且还涉及到各国政府间关于全球气候变化的协商、公约谈判和减排等诸多方面^[6-7]。因此利用全球气候模式(GCM)在不同排放情景下对未来的气候变化进行预估是众多学者研究的课题。

我国气温变化的预估研究表明^[8-15],在温室气体渐递递增情景下,中国大陆年平均表面气温升高过程与全球同步,至 21 世纪末期,全国地面平均气温增幅为 5—6 °C(相对于 1961—1990 年),在东北、西部和华中地区增幅较大,且表现出明显的年际变化,同时日最高和最低气温都将明显上升,日较差将减小。尽管关于中国气温的预估研究已经做了不少工作,但在全球变暖背景下中国气温分区的预估研

究则甚少,沈雪芳^[16]研究表明,未来全球变暖背景下我国亚热带北界平均将向北位移 3 个纬度,其界线将变为西南东北向的波动走向。事实上气候区的分布将直接或间接地影响气候资源的配置。因此,在未来情景下如何评估气候区域的变动及其影响已成为研究气候变化和气候区划所面临的一个新课题。基于以上理由,本文试图利用 IPCC 数据分发中心提供的新一代全球模式在不同排放情景下的模拟结果对我国未来气温分区的变化进行预估研究,进而为应对气候变化所带来的气候资源配置变动及其生产规划决策提供重要依据。

2 资料与方法

2.1 资料

资料来自 IPCC 第四次评估报告(AR4)收集的 13 个高排放 SRES A2 情景下的气候模式,它们分别为 cccma_cgcm3_1、cnrm_cm3、csiro_mk3_0、gfdl_cm2_0、gfdl_cm2_1、giss_model_e_r、inmcm3_0、ipsl_cm4、miroc3_2_medres、miub_echo_g、mpi_echam5、ncar_pcm1 和 ukmo_hadcm3。另外还使用了 1961—1990 年中国地区 548 个站点的月平均气温观测资料。

2.2 研究方法

使用旋转经验正交函数(EOF)进行客观分区。EOF 可将方差贡献集中于某一较小区域,可以着重体现出各主分量所代表的优势空间,较为客观地反

收稿日期:2009-04-02;修订日期:2009-04-18。

基金项目:2007 年度博士点基金课题和国家自然科学基金项目(40875058)共同资助。

作者简介:高晓获,女,1983 年生,硕士研究生,主要从事气候变化方面的研究,E-mail:diofg@hotmail.com。

映气候要素场的区域变化特征。但是使用这类方法进行区划时,荷载值的确定很重要。它要求高荷载区尽可能覆盖全部的研究区域,同时各个区域型的重叠地带又要尽量小。本文利用 REOF 方法寻找同一要素变化的相似性,从而达到气候分区的目的。气候型的分类区划,实质上就是按荷载值的高低,将与某一主分量最为相似的高相关或高荷载区聚为同一类型;反之则属于其他类型。

3 集合模式资料区划的可行性分析

为了证实模式资料对预估工作的可行性,利用

表 1 1961—1990 年 548 个观测资料年平均气温旋转特征向量的方差贡献及累积方差贡献

旋转特征向量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	%
方差贡献	25.47	23.95	21.74	15.31	3.20	2.74	2.16	1.43	1.01	0.58	
累积方差贡献	25.47	49.36	71.10	86.41	89.61	92.35	94.51	95.94	96.95	97.53	

1961—1990 年全国年平均温度观测资料与同期的模式资料进行对比分析。表 1 给出了年平均温度观测资料前 10 个旋转特征向量的方差贡献及累积方差贡献,可以看出前 4 个旋转主分量的方差贡献达到了 86% 或以上,而且从第 5 旋转主分量开始其方差贡献明显变小,因此前 4 个旋转主分量基本上可以代表该时段中国温度的分区特征。图 1 给出前 4 个模态的分布特征。并且选取 REOF 荷载值的绝对值大于等于 0.6 范围内的格点进行区划,将我国气温可以分为西南、西北、东北、东南 4 个区。具体分区见图 2。

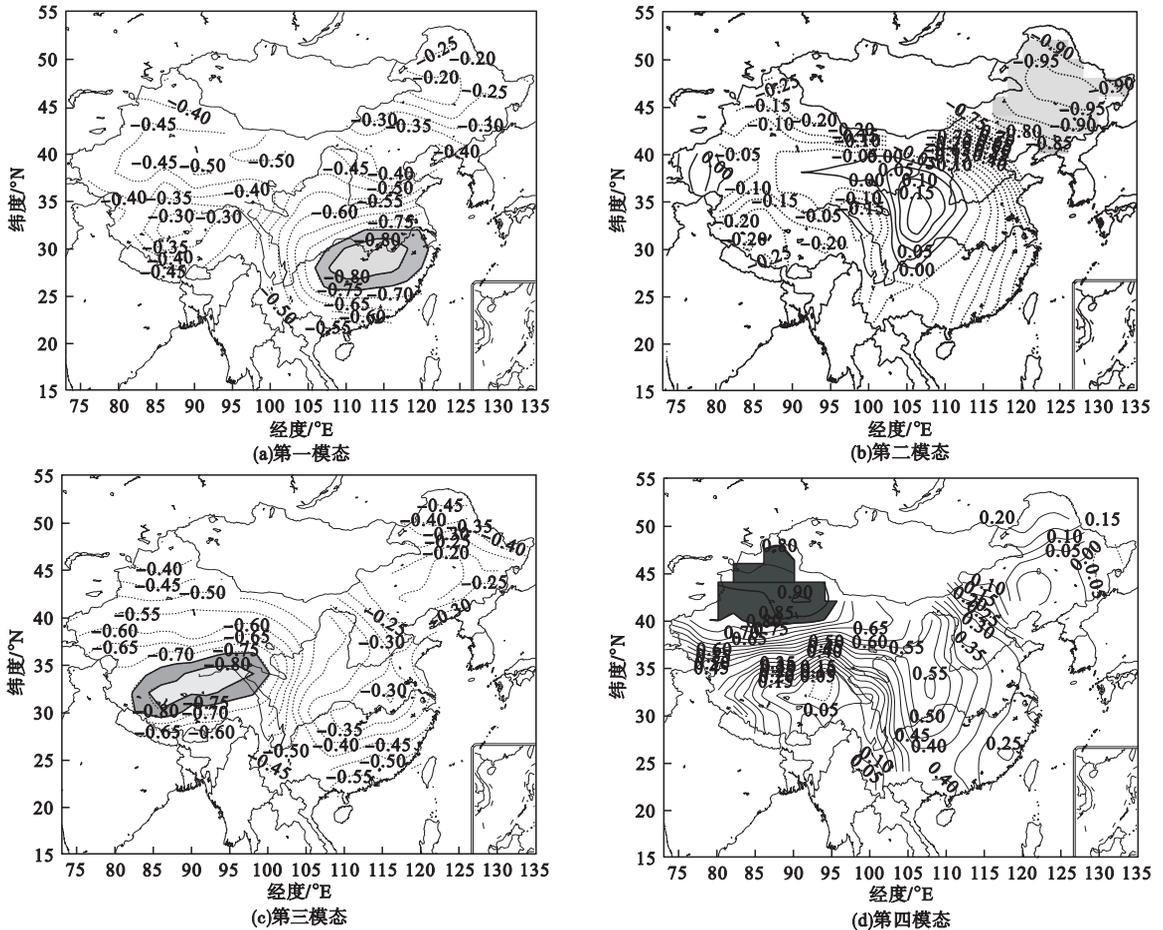


图 1 1961—1990 年观测温度年平均 REOF 前 4 个模态

研究证实^[17],模式集合平均值能相对较好地反映气候变化趋势,明显优于单个模式的模拟效果,因此本文通过 13 个模式的集合资料进行分析研究。同理,对 1961—1990 年集合模式的月平均温度资料进行 REOF 分析,发现其同观测资料的结果表现出很相似的特点,前 4 个旋转主分量的方差贡献接近

83%,而且从第 5 个旋转主分量开始同样方差贡献明显变小,从前 4 个模态分布来看(图略),其结果同图 1 表现出高度的相似性,图 2 为由集合模式得到的年平均温度的分区。由于集合模式资料同观测资料在 1961—1990 年对我国温度的分区结果基本一致,这说明利用集合模式资料进行预估是可行的。

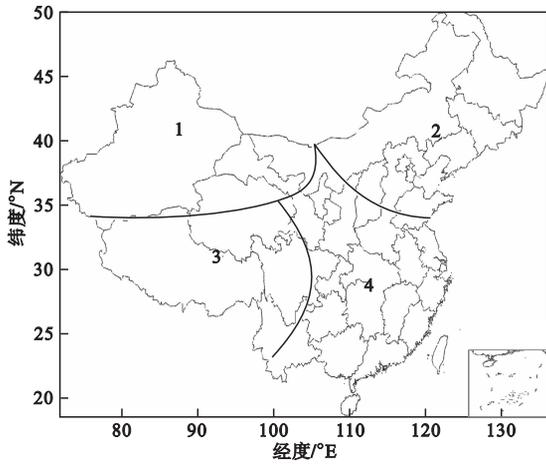


图2 1961—1990年模式资料年平均气温分区

表2 2021—2050年模式资料年平均气温旋转特征向量的方差贡献及累积方差贡献 %

旋转特征向量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
方差贡献	23.92	21.19	19.41	19.02	11.18	0.97	0.79	0.48	0.47	0.41
累积方差贡献	23.92	45.11	64.52	83.04	94.72	95.69	96.48	96.96	97.43	97.84

本可以代表2021—2050年我国气温的分区特征。根据前5个旋转主分量模态的空间分布(图略),可以将我国气温分为西北,西南,东北、华中及华南5个区。并选取 REOF 载荷值的绝对值大于等于 0.55 范围内的格点进行区划,分区见图3。

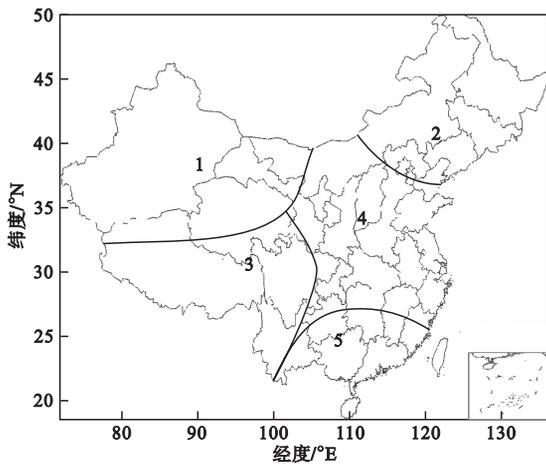


图3 2021—2050年模式资料年平均气温分区

表3 2071—2097年模式资料年平均温度旋转特征向量的方差贡献及累积方差贡献 %

旋转特征向量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
方差贡献	36.31	35.47	22.40	1.83	1.15	0.79	0.41	0.31	0.26	0.20
累积方差贡献	36.31	71.78	94.18	96.01	97.16	97.95	98.36	98.67	98.93	99.13

区带也发生了明显北移,其位置大约移到了长江一带,这样我国东部同样分成了南、北两个区。3个时段中国气温分区不同,意味着在应用和开发气候资源上,农业、水利、国家规划和经济计划等部门可根据不同的分区调整气候资源配置。

4.3 未来我国气温分区的变化原因

4 未来情景下中国气温区划的变化

以上分析发现,集合模式资料与观测资料有着较好的一致性,说明利用集合模式资料进行预估研究是可行的。因此,以下利用2021年以后的集合模式资料进行未来情景下我国气温的动态区划分析。

4.1 2021—2050年我国年平均气温分区

为研究2021—2050年我国气温分区情况,同样对该时期集合模式的年平均气温资料进行 REOF 分析。表2为旋转特征向量的方差贡献及累积方差贡献。由表2可以看出,前5个旋转主分量的方差贡献达到了94%或以上,而且从第6个旋转特征向量开始方差贡献明显偏小,因此前5个旋转主分量基

4.2 2071—2097年我国年平均气温分区

同样我们对2071—2097年集合模式年平均气温进行 REOF 分析。

从表3可知,前3个旋转主分量的方差贡献达到了94%或以上,而从第4个旋转主分量开始方差贡献明显偏小。选取旋转主分量前3个模态(图4)载荷绝对值大于等于0.6范围内的格点进行区划,可分为3个区。见图5。

从3个时期1961—1990、2021—2050年和2061—2097年中国年平均气温的分区对比来看,西部变化小而东部变化大,在1961—1990年山西、河北及山东一带的分区带将我国东部分成南、北两个区,而到了2021—2050年该分区带明显北移,同时在两广同贵州、湖南以及福建的交界处也出现了一个分区带,该时期将我国东部分成了东北、华北及华中和华南3个分区,而到2071—2097年北方的分区带消失,而两广同贵州、湖南以及福建的交界处的分

为分析未来我国气温分区的变化原因,在我国东部地区从南到北取了4个区域,西南A区(24°—26°N,102°—104°E)、江南B区(28°—30°N,108°—112°E)、华北C区(36°—38°N,110°—112°E)、东北D区(42°—44°N,120°—124°E),并将3个时段各区域年平均温度分别进行区域平均,然后通过各区域

各时段的年平均气温变化情况分析其分区带变化

的原因。

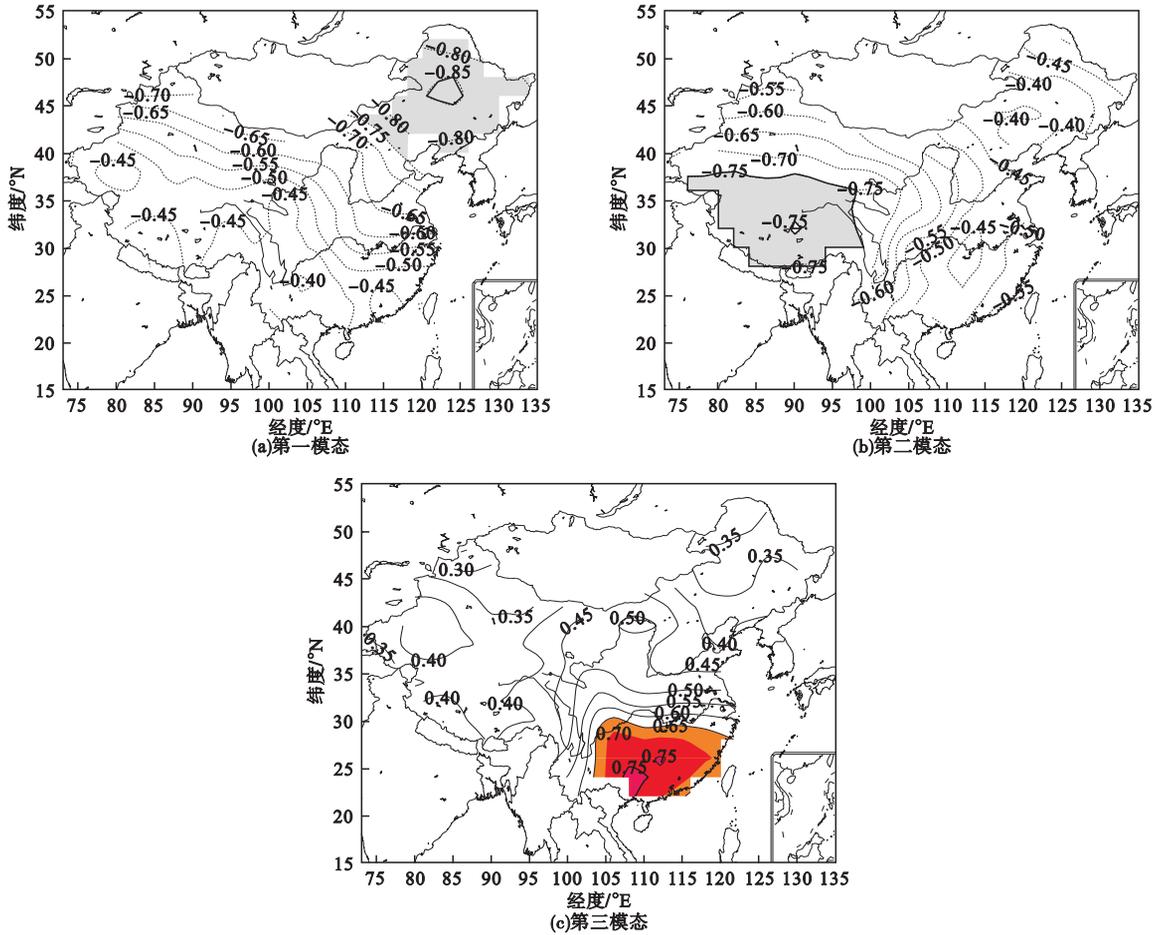


图4 2071—2097年模式资料年平均温度 REOF 前三个模态

图6给出了1961—1990、2021—2050年及

明显小于后两区,而在1982—1998年却高于后两区,这说明位于我国南方的A、B区在1961—1990年间增温明显高于位于北方的C、D区。

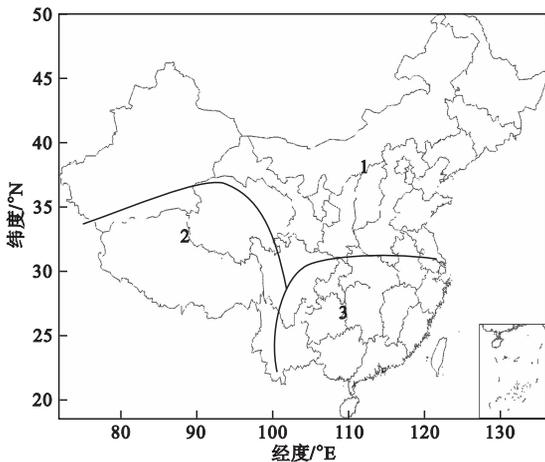


图5 2071—2097年模式资料年平均气温分区

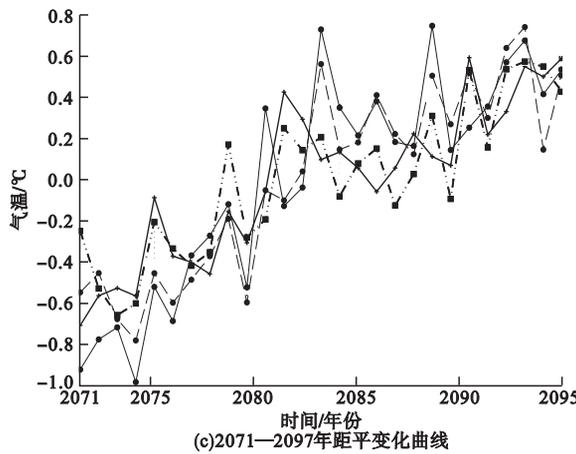
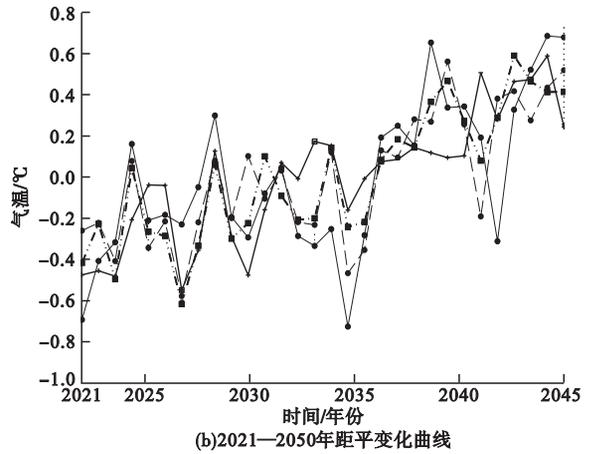
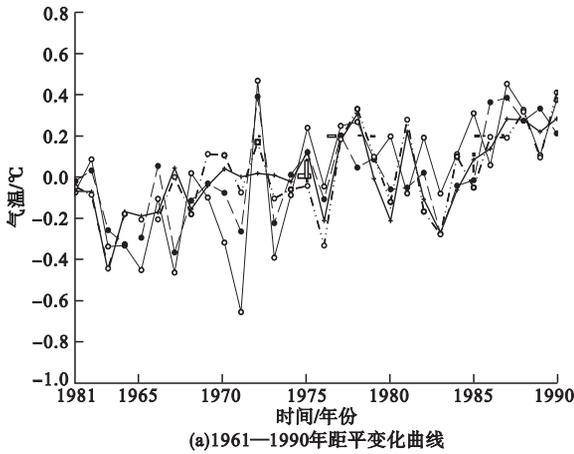
2071—2097年3个时段A、B、C区和D区年平均温度区域平均距平时间序列演变。从图6a可知,1961—1990年A、B两区的变化很一致,显示出了高度的相关性,两序列在去除趋势项后相关系数高达0.77,而C、D区尽管没有A、B区的相关性好,但在去除趋势项后相关系数也有0.52,但是A、B与C、D相比较,大约在1964—1974年间,前两区温度距平

从图6b可以看出,A区大约在2032—2050年间在增暖的过程中温度变率相对较小,而且增暖相对缓和,而B区在整个时段内温度变率没有多大变化,而且与A区最大差别是在2035—2043年间表现为明显的增温,而C区在2021—2050年间表现出与B区相似的特点,这样使得B与C分在同一区而与A分在不同区的原因。D区在整个时段表现出较大的温度变率,这与其他3个区明显不同,而且在2024—2037年间略有降温,而在2037—2043年间却表现为较明显的增温趋势。通过计算去除趋势项后各区之间的相关系数发现,B、C两区相关系数高达0.69,而其他各区相互之间均小于0.45。

从图6c可以看出,A、B两区在2070—2083年增温幅度明显小于C、D两区,而在2089年以后增温又明显高于C、D两区,在2083—2089年4区均表现为降温趋势,而且C、D两区明显于A、B两区。同样通过计算去除趋势项后各区之间的相关系数发现,A与B以及C与D相关系数均为0.64,而其他

各区相互之间均小于 0.32。

从以上分析可以看出,在1961—1990年间由于



粗实线为 A 区;粗断线为 B 区;虚线为 C 区;实线为 D 区

图 6 1961—1990 年和 2021—2050 年及 2071—2097 年 A、B、C、D 区区域平均气温距平变化

西南 A、江南 B 区增温明显高于华北 C、东北 D 区,所以我国东部的年平均气温可以分为南、北两区;而在 2021—2050 年位于西南的 A 区气温变率小,位于东北的 D 区变率大,位于江南及华北的 B、C 区变率一般,所以该时段我国东部的年平均气温可以分为华南、华北和华中以及东北 3 区;在 2071—2097 年间由于西南 A、江南 B 区增温明显小于华北 C、东北 D 区,使得我国东部的年平均气温可以分为南、北两区。

5 结论

(1) 通过比较 1961—1990 年间 IPCC (AR4) 的集合模式与我国的温度观测资料发现,集合模式资料与观测资料具有较好的一致性,这说明利用集合模式资料对我国未来气温的变化情况预估是可行的。

(2) 从 1961—1990、2021—2050 年和 2061—2097 年我国年平均气温的分区对比来看,西部变化小而东部变化大,在 1961—1990 年山西、河北及山东一带的分区带将我国东部分成南北两个区,而到了 2021—2050 年该分区带明显北移,同时在两广以

北也出现了一个分区带,这样该时期将我国东部分成了东北、华北及华中以及华南 3 个分区,而到了 2071—2097 年北方的分区带消失,而两广以北的分区带也发生了明显北移,其位置大约移到了长江一带,这样我国东部同样分成了两个分区。

(3) 由于在 1961—1990 年间由于西南 A、江南 B 区增温明显高于华北 C、东北 D 区,所以我国东部的年平均气温可以分为南、北两区;而在 2021—2050 年,位于西南的 A 区气温变率小,位于东北的 D 区变率大,而位于华北及江南地区的 B、C 区变率一般,所以该时段我国东部的年平均气温可以分为华南、华北及华中以及东北 3 区;在 2071—2097 年由于西南 A、江南 B 区增温明显小于华北 C、东北 D 区,使得我国东部的年平均气温可以分为南、北两区。

(4) 目前的研究只是从气温来划分,实际气候资源分区考虑的因子很多,如降水和风等;另外全球模式目前也存在一定的不确定性问题,有待于进一步研究。

参考文献

- [1] 秦大河,陈振林,罗勇,等. 气候变化科学的最新认知[J]. 气候变化研究进展,2007,3(2):63-73.
- [2] 赵宗慈,王绍武,罗勇. IPCC 成立以来对温度升高的评估与预估[J]. 气候变化研究进展,2007,3(3):183-184.
- [3] 赵宗慈,王绍武,徐影,等. 近百年我国地表气温趋势变化的可能原因[J]. 气候与环境研究,2005,10(4):808-817.
- [4] 王绍武,赵宗慈,龚道溢,等. 现代气候学概论[M]. 北京:气象出版社,2005:241.
- [5] 气候变化国家评估报告编写委员会. 气候变化国家评估报告[M]. 北京:科学出版社,2007:424.
- [6] 赵宗慈. 全球气候变化预估最新研究进展[J]. 气候变化研究进展,2006,2(2):69-70.
- [7] Watson R T, Albritton D L, Barker T, et al. Climate Change 2001: Synthesis Report[M]. Cambridge: Cambridge University Press,2001.
- [8] 徐影,丁一汇,赵宗慈. 近 30 年人类活动对东亚地区气候变化影响的检测与评估[J]. 应用气象学报,2002,13(5):514-525.
- [9] 许吟隆,黄晓莹,张勇,等. 中国 21 世纪气候变化情景的统计分析[J]. 气候变化研究进展,2005,2(1):81-83.
- [10] 姜大膀,王会军,郎咸梅. 全球变暖背景下东亚气候变化的最新情景预测[J]. 地球物理学报,2004,47(4):591-596.
- [11] 姜大膀,王会军,郎咸梅. SRES A2 情景下中国气候未来变化的多模式集合预测结果[J]. 地球物理学报,2004,47(5):777-784.
- [12] 高学杰. 中国地区极端事件预估研究[J]. 气候变化研究进展,2007,3(3):163-165.
- [13] 周天军,赵宗慈. 20 世纪气候变暖的归因分析[J]. 气候变化研究进展,2006,2(1):29-31.
- [14] 赵宗慈,罗勇. 21 世纪中国东北地区气候变化预估[J]. 气象与环境学报,2007,23(3):1-4.
- [15] 江志红,张霞,王冀. IPCC—AR4 模式对中国 21 世纪气候变化的情景预估[J]. 地理研究,2008,27(4):787-799.
- [16] 沈雪芳,丁裕国,石明生. 全球变暖对我国亚热带北界的影响[J]. 南京气象学院学报,1996,19(3):370-373.
- [17] 许崇海,沈新勇,徐影. IPCCAR4 模式对东亚地区气候模拟能力的分析[J]. 气候变化研究进展,2007,9(3):287-292.

Future changes of air temperature division in China under global warming

GAO Xiao-di^{1,2} JIANG Zhi-hong¹ YANG Jin-hu¹

(1. Key Laboratory of Meteorological Disaster of Ministry of Education, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China; 2. Jilin Meteorological Observatory, Changchun 134001, China)

Abstract: Based on 13 models of IPCC AR4 under SRES A2 scenario and monthly mean air temperature from 1961 to 1990 in China, current and future divisions of air temperature were evaluated. The results indicate that the divisions based on annual mean air temperature are similar in western China during three periods (from 1961 to 1990, from 2021 to 2050 and from 2071 to 2097), while the divisions are remarkably different in eastern China. The eastern China is divided into southern and northern divisions by North China division belt during 1961—1990. North China division belt moves northward during 2021—2050, and it results in the appearance of another division belt in north of Guangdong province and Guangxi province. As a result, eastern China would be divided into three divisions, i. e. northeast division, North China and central China division, South China division. North division belt disappears during 2071—2097 and south division belt moves northward to Yangtze River, so eastern China is still divided into southern and northern divisions. The division changes result from the difference of annual mean air temperature variability and range according to the time changes of annual mean air temperature during the different periods of various divisions.

Key words: Air temperature division in China; Air temperature change; Scenario