

近百年我国地表气温趋势变化的可能原因

赵宗慈¹ 王绍武^{1,2} 徐影¹ 任国玉¹ 罗勇¹ 高学杰¹

1 中国气象局气候研究开放实验室, 北京 100081

2 北京大学物理学院大气科学系, 北京 100871

摘要 多套观测资料检测表明, 近百年来中国气候明显变暖, 变暖趋势达到 $0.2 \sim 0.8$ /100 a, 近50年变暖趋势更达到 $0.6 \sim 1.1$ /50 a。气候代用资料研究表明, 中国20世纪的变暖在近千年中属于明显的, 但对于20世纪是否为近千年中最暖的百年, 还有待更多的观测研究验证。气候模式归因分析表明, 20世纪中国的变暖与太阳活动、火山活动和人类活动有关, 近50年的明显变暖可能与人类排放引起的大气中温室气体浓度增加有一定联系。但是, 目前这一结论仍然存在着不确定性, 尚需更多的研究工作。由于中国区域辽阔, 不同区域气候差异较大, 而且20世纪前50年观测资料匮乏, 近千年的代用资料分布不广, 因此, 应该进一步考证中国20世纪的气温变化和在近千年中的地位。

关键词 气温变化 变暖趋势

文章编号 1006-9585 (2005) 04-0808-10 **中图分类号** P468 **文献标识码** A

Attribution of the 20th Century Climate Warming in China

ZHAO Zong-Ci, WANG Shao-Wu^{1,2}, XU Ying¹, REN Guo-Yu¹, LUO Yong¹, and GAO Xue-Jie¹

1 *Laboratory for Climate Studies, China Meteorological Administration, Beijing 100081*

2 *Department of Atmospheric Sciences, Academy of Physics, Peking University, Beijing 100871*

Abstract A warming of $0.2 - 0.8$ /100 a in China for the 20th century has been detected by several sets of observed data, especially $0.6 - 1.1$ /50 a for the last 50 years. The 20th century was a warmer period for the last 1000 years in China as provided by some proxy data. There are not enough evidences in China to show, however, that it was the warmest century during the past millennium. It should be certified by the more proxy data in future. The detection and attributions of the climate warming in China for the 20th century as simulated by the climate models with some radiative forcings indicate the key roles played by solar radiation, volcanoes, and increasing greenhouse gases and sulfate aerosols in atmosphere. The marked warming of the last 50 years could be preliminarily attributed to the anthropogenic forcing, but uncertainties are still large, and the further researches could reduce the uncertainties.

Key words temperature change, warming trend

1 引言

近百年全球变暖及其可能原因分析已经越来越

受到各国的重视。IPCC 报告指出, 20 世纪的全局变暖可能在近千年属于最暖的百年, 20 世纪后 50 年的变暖可能主要与人类排放温室气体

收稿日期 2005-07-26 收到, 2005-11-25 收到修定稿

资助项目 IPCC- 中国气候变化项目、中国气象局气候变化专项、中国气象局气候研究开放实验室课题和国家“十五”科技攻关课题 2001BA611B

作者简介 赵宗慈, 女, 1940 年出生, 研究员, 主要从事气候变化与气候模拟、预测与预估以及人类活动影响研究。

E-mail: zhaozc@cma.gov.cn

浓度增加有关^[1]。在 20 世纪气候变暖的检测和归因分析方面我国起步较晚，近些年开始做了一些研究，得到的初步结论与 IPCC 报告大体一致^[2-7]。

本文着重介绍近百年我国气温的检测和归因分析，第 2 节给出 20 世纪中国变暖的检测，第 3 节通过对近千年中国气温的变化来检测分析 20 世纪变暖所处的位置，第 4 节和第 5 节分别对可能影响 20 世纪中国变暖的自然的和人为的各种强迫因子做归因分析，最后一节给出结论和讨论。

2 20 世纪中国变暖的检测

从国内外可收集到的 4 组科学家的研究工作表明，和全球变化一样，中国在 20 世纪近百年也变暖（见图 1）。由于我国 20 世纪前 50 年缺少观测资料，因此 4 条曲线在前 50 年的差异较大。其中第 1 个序列是根据 IPCC 报告经常采用的全球站点转换成网格点资料取出中国区域计算的序列（简称 PJ）^[1]，第 2 个序列是根据仪器观测资料和

代用资料计算的序列（简称 WG）^[8]，第 3 个序列是根据仪器观测的最高、最低温度计算的温度序列（简称 OBS105），第 4 个序列是根据中国的器测资料建立的序列（简称 LY T）^[9]。几个中国气温序列之间的相关系数在 0.76 ~ 0.90，说明一致性还是比较高的。从 4 根曲线计算得到的 20 世纪 100 年（1900 ~ 1999 年）气温变化的线性趋势分别为 0.35、0.39、0.72 和 0.19 / 100 a；20 世纪后 50 年（1950 ~ 1999 年）分别为 0.73、0.77、0.92 和 0.64 / 50 a。根据 WG 的补充资料，及“十五”科技攻关课题建立的序列，近百年气温线性变化趋势在 0.2 ~ 0.8 / 100 a 之间^[1,8,9]。需要强调指出的是 1950 ~ 1999 年气温线性变化趋势更高一些，达到 0.6 ~ 1.1 / 50 a。4 个序列的主要差异是在前 50 年。由于那一段时期中国的观测台站资料太少，不同的科学家采用了不同方法来插补和重建。有的用了代用资料，因此覆盖面较大。有的只用观测资料，1951 年之前以中国东部为主。所以，不同序列之间有一定差异是可以理解的。但是，4 个序列均证实中国近百年确实在变暖，尤以近 50 年变暖更明显。

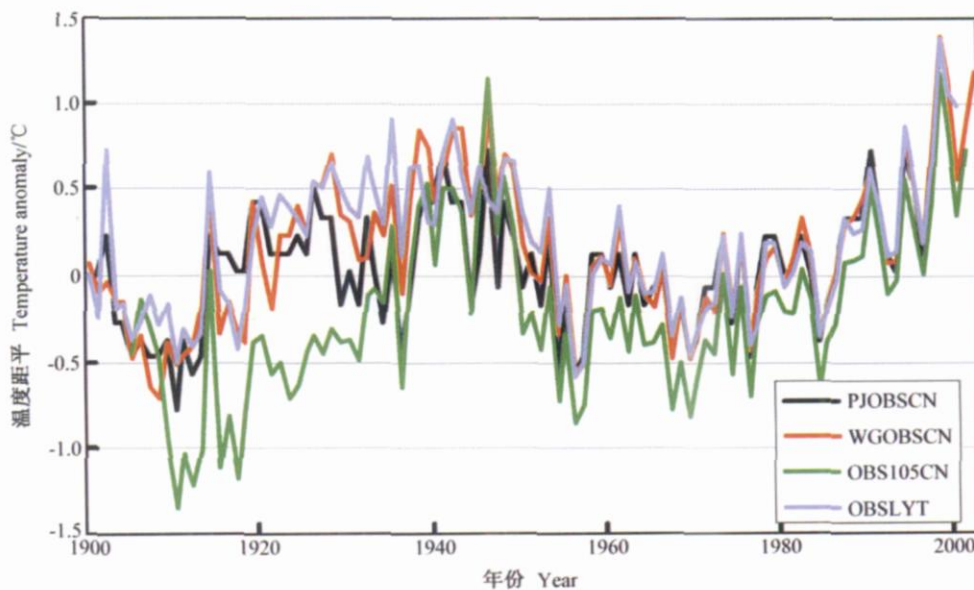


图 1 中国 20 世纪年平均气温距平变化曲线 [黑线 (PJOBSCN) 为 Jones 等提供，个人通信；蓝线 (WGOBSCN) 为龚道溢和王绍武提供，个人通信；红线 (OBS105) 为唐国利和任国玉提供，个人通信；绿线 (OBSLYT) 为林学椿等提供，个人通信]

Fig. 1 Evolution of annual mean temperature anomalies in China for the 20th century [black curve (PJOBSCN) : provided by Jones, et al., personal communication; blue curve (WGOBSCN) : provided by Gong Daoyi and Wang Shaowu, personal communication; red curve (OBS105CN) : provided by Tang Guoli and Ren Guoyu, personal communication; green curve (OBSLYT) : provided by Lin Xuechun, et al., personal communication]

3 近千年中国地表气温变化的启示

20 世纪的变暖在近千年中的地位是检测中的一个重要问题。中国学者根据代用资料开展了近千年气候变化的研究。表 1 给出一些科学家对近千年中国气温变化的估计, 图 2 给出一些近千年

中国气温变化曲线。近千年中国气温的恢复一般采用树轮、冰芯、史料、物候、石笋等代用资料。表 1 和图 2 表明, 近千年中国的暖期与全球(或北半球)是基本一致的, 即 20 世纪的变暖在近千年中可能是最暖的百年。最新的祁连山中部反映温度变化的树轮宽度变化分析支持这一结论(见图 2)。但是, 一些早期研究指出中世纪的暖期可

表 1 近千年中国地表气温变化评估^[3,8,10~23]

Table 1 Assessments on temperature change in China for the last 1 000 years^[3,8,10~23]

作者 Authors	资料来源 Sources of data	地区 Regions	暖期(公元年) Warm periods (AD years)
吴祥定和林振耀 ^[10] Wu Xiangding and Lin Zhenyao ^[10]	树轮 Tree rings	青藏高原 Tibetan Plateau	800~1000 年, 1400~1500 年, 1600~1650 年, 20 世纪是近千年最暖的百年。Warm periods were 800 - 1000, 1400 - 1500, 1600 - 1650, and the 20th century was the warmest century for the last 1000 years
刘光远等 ^[11] Liu Guangyuan et al. ^[11]	树轮 Tree rings	祁连山(降水) Qilian Mountain (rainfall)	
姚檀栋等 ^[12] Yao Tandong ^[12]	冰芯 Ice core	敦德 Dunde	1521~1570 年, 1680~1770 年, 1890~1980 年, 20 世纪是近千年最暖的百年。Warm periods were 1521 - 1570, 1680 - 1770, 1890 - 1980, and the 20th century was the warmest century for the last 1 000 years
满志敏等 ^[13,14] Man Zhimin et al. ^[13,14]	历史文献 Historical documents	中国东部 East China	中世纪温暖期比 20 世纪暖。Medieval Warm Period was warmer than the 20th century
张德二 ^[15,16] Zhang Deer ^[15,16]	历史文献 Historical documents	中国东部 East China	中世纪温暖期比 20 世纪暖。Medieval Warm Period was warmer than the 20th century
张兰生等 ^[17] Zhang Lansheng et al. ^[17]	综合代用资料 Synthesis proxy data	中国东部 East China	1000~1200 年, 1300~1400 年, 20 世纪是暖期但不是最暖。Warm periods were 1000 - 1200 and 1300 - 1400, the 20th century was warmer period, but it was not the warmest period for the last 1000 years
葛全胜等 ^[18] Ge Quansheng et al. ^[18]	2000 年史料, 物候等 Historical documents, phenology and others	中国东部(冬半年气温) East China (tem- perature for winter half years)	1000~1110 年, 200~1300 年, 1910~2000 年, 20 世纪是暖期但不是最暖。Warm periods were 1000 - 1110, 1200 - 1300 and 1910 - 2000, the 20th century was warmer period, but it was not the warmest period for the last 1000 years
谭明等 ^[19] Tan Ming et al. ^[19]	石笋 Stalagmite	北京 Beijing	1200~1400 年 1200 - 1400 was warm period
杨保等 ^[20,21] Yang Bao et al. ^[20,21]	综合代用资料 Synthesis proxy data	中国东部, 青藏高原 East China and Tibet- an Plateau	800~1000 年, 1200~1400 年 800 - 1000 and 1200 - 1400 were warm periods
刘晓宏等 ^[22] Liu Xiaohong et al. ^[22]	树轮 Tree rings	祁连山 Qilian Mountain	1050~1150 年, 1350~1440 年, 1890~2000 年, 20 世纪可能是最暖。Warm periods were 1050 - 1150, 1350 - 1440, 1890 - 2000, and the 20th century might be the warmest century for the last 1000 years
王绍武等 ^[23] Wang Shaowu et al. ^[23]	综合代用资料 Synthesis proxy data	中国 China	950~1000 年, 1050~1100 年, 1200~1300 年, 1900~2000 年, 20 世纪可能是近千年最暖的百年。Warm periods were 950 - 1000, 1050 - 1100, 1200 - 1300, 1900 - 2000, and the 20th century might be the warmest century for the last 1000 years
综合评估 Synthesized assessments	上述全部研究 Above all researches	中国 China	中国 20 世纪在近千年中是暖的百年, 但是否为最暖的百年, 有待更多资料验证。The 20th century was a warm century in China. It needs more evidences and data to be verify

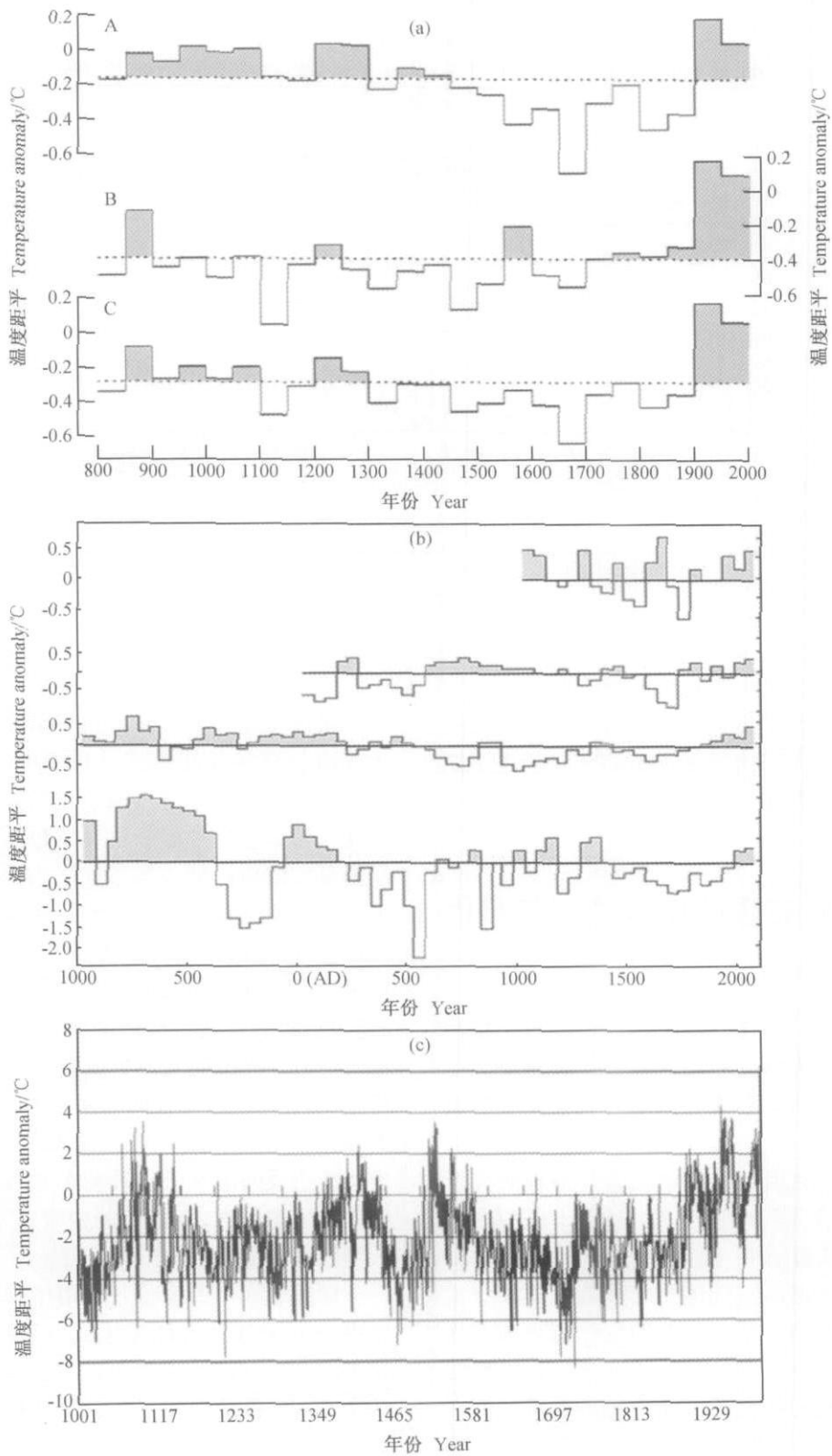


图2 近千年中国年平均气温变化曲线（相对于百年气候平均值的距平值）。(a) A：中国东部、B：中国西部和C：整个中国^[81]；(b) 汇集几组中国气温变化序列^[3]；(c) 中国祁连山^[22]；(d) 中国东部冬半年^[18]

Fig. 2 Evolutions of annual mean temperature in China for the last 1 000 years. (a) A: East China, B: West China, C: Whole China^[81]；(b) several Chinese data sets of temperature^[3]；(c) Qilian Mountain, China^[22]；(d) East China in winter half years^[18]

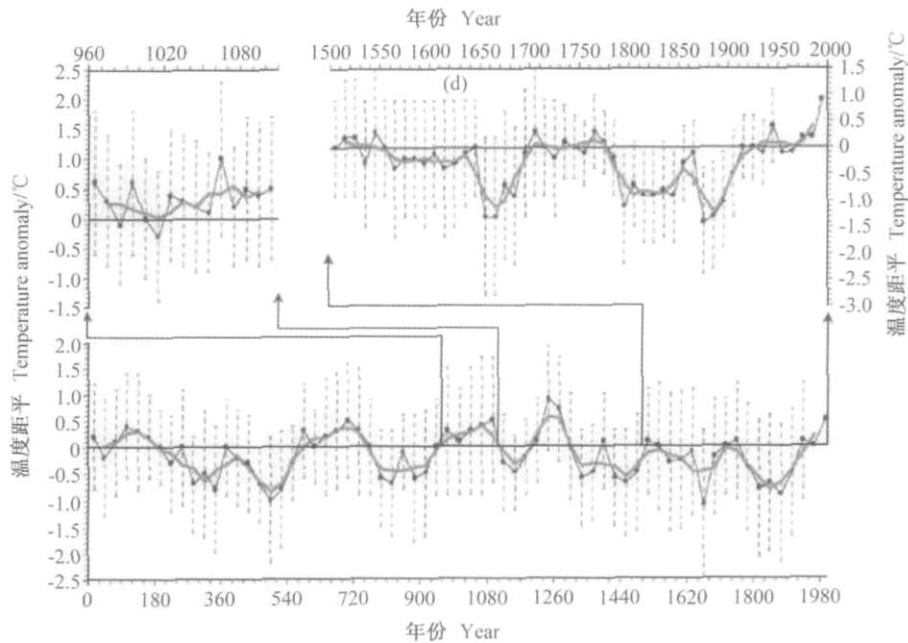


图 2 (续)

能更暖 (见表 1)。受资料所限, 目前只能大致确定中国 20 世纪是近千年中较暖的百年, 但还不能肯定它是最暖的百年。这有待于用更多的资料进行验证。

4 中国气候变暖的模拟检测与归因分析

一些中国科学家们的研究集中在 20 世纪中国变暖的归因分析方面, 利用气候模式分别研究了太阳活动、火山活动和人类活动对气候变暖的贡献。

马晓燕等^[4]利用中国科学院大气物理研究所的全球大气耦合海洋环流模式 (GOALS/LASG) 在中国区域的试验结果 (图 3) 进行了分析。3 个数值试验中以考虑温室气体 + 硫酸盐气溶胶 + 太阳活动模拟的中国年平均气温的变化与观测的相关系数最高, 为 0.41 (1900 ~ 1997 年)。模拟的气温变化线性趋势虽然都高于观测的趋势, 但在考虑了温室气体 + 硫酸盐气溶胶 + 太阳活动影响后, 模拟与观测的变化线性趋势也较为接近。这表明, 20 世纪中国气温的变暖可能与温室气体、硫酸盐气溶胶以及太阳活动的影响有密切联系。

翟盘茂等 (个人通信) 利用英国气象局全球大气耦合海洋环流模式 (HADL) 进行了分析。第 1 组试验只考虑自然强迫包括太阳活动和火山活动; 第 2 组只考虑温室气体包括对流层和平流层的臭氧效应; 第 3 组考虑人为强迫, 包括完全混合的温室气体、平流层和对流层的臭氧、以及硫酸盐气溶胶直接效应, 但不包括间接效应; 第 4 组考虑所有的强迫即包括自然的和人为的强迫 (还包括硫酸盐气溶胶的间接效应)^[1]。所有强迫都考虑时, 模拟的气温更接近观测实际, 但是 20 世纪 1930 ~ 1940 年代的暖期, 考虑各种强迫都没有模拟出来 (见图 4)^[24]。这表明, 自然强迫和人类排放造成的温室气体和硫酸盐气溶胶直接强迫共同形成中国在 20 世纪的变暖, 尤其是近 50 年人类排在变暖中的作用更明显。

徐影等 (个人通信) 利用中国气象局国家气候中心的全球大气环流模式 (NCC T63AGCM) 在实测海温和海冰强迫下, 考虑太阳活动、火山活动、人类排放温室气体、平流层臭氧, 做 4 个集合试验 (见图 5)。尽管取了 4 个不同的初始时刻, 但都一致表明, 所有的自然和人为强迫因子的共同作用可能是造成 20 世纪东亚和中国变暖的原因^[7]。

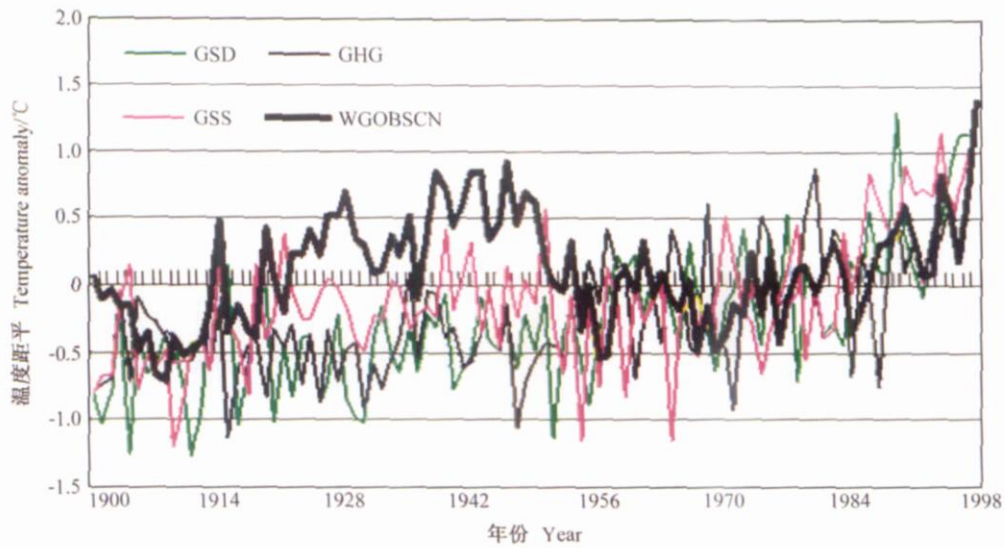


图3 中国科学院大气物理研究所模式 (GOALS/LASG) 考虑温室气体 (GHG)、温室气体 + 硫酸盐气溶胶 (GS)、温室气体 + 硫酸盐气溶胶 + 太阳活动 (GSS), 模拟 20 世纪中国年平均气温变化 (粗黑线是观测值 WGOBSCN)^[4]

Fig. 3 Annual mean temperature anomalies in China for the 20th century as simulated by the GOALS/LASG A GCM with scenarios of GHG, GS, GSS (black curve is observation)^[4]

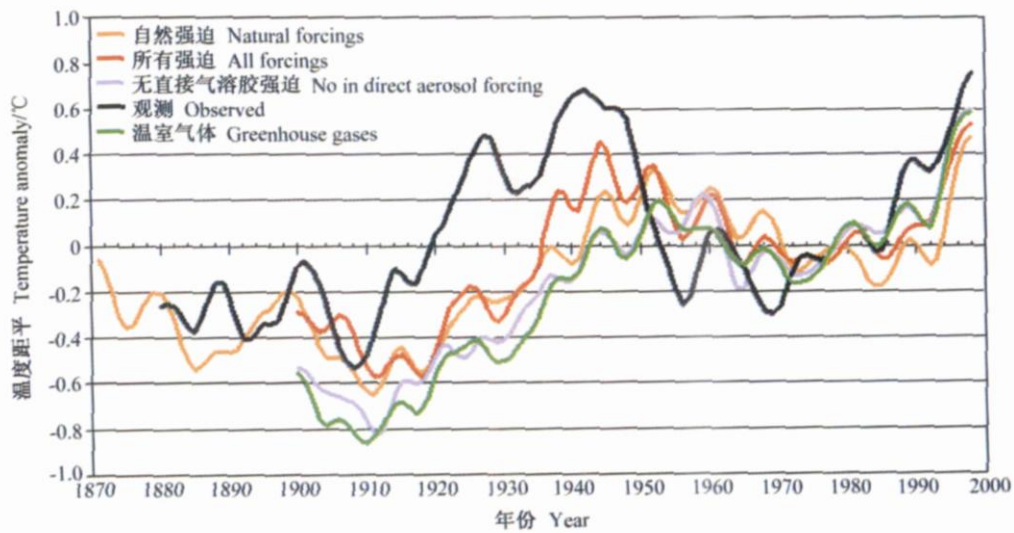


图4 用英国模式 HADL 考虑太阳活动、火山活动和人类活动模拟的近百余年来中国年平均气温距平变化 (其中黑线是观测值)^[1, 24]

Fig. 4 Annual mean temperature anomalies in China for the 20th century as simulated by the HADL AOGCM with solar, volcanic and human activities (black curve is observation)^[1, 24]

上述 3 个模式的多组试验表明, 自然和人为强迫的共同作用可能是造成 20 世纪中国气候变暖的主要原因。尤其近 50 年的变暖, 人为强迫可能起了明显的作用。但需要指出的是, 目前没有一个模式的敏感试验能够解释 20 世纪 1930 ~ 1940 年代中国明显偏暖的事实。

5 20 世纪人类活动的检测

许多研究集中在对 20 世纪人类活动的检测方面, 人类活动考虑得最多的是人类排放温室气体和硫酸盐气溶胶的增加。近些年的多数研究考虑

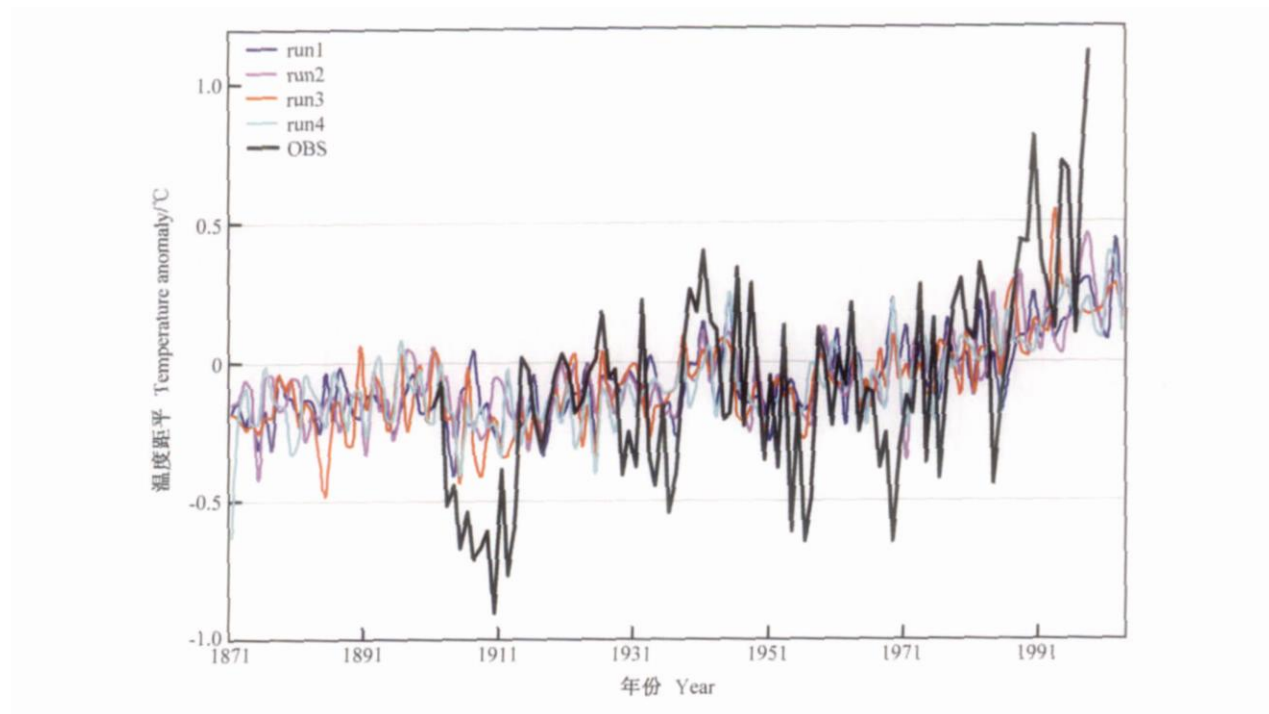


图 5 中国气象局国家气候中心全球大气环流模式 (NCC T63) 考虑太阳活动、温室气体和平流层臭氧, 在观测海温和海冰驱动下, 模拟 20 世纪东亚地区气温距平变化 (其中黑线是观测值)^[7]

Fig. 5 Annual mean temperature anomalies over East Asia for the 20th century as simulated by the NCC T63 AGCM with radiative forcing and observed SST and sea ice (black curve is observation)^[7]

表 2 观测和模式模拟的近 100 年/近 50 年 (1900 ~ 1999 年/1950 ~ 1999 年) 中国年平均气温距平相关系数^[1,4,6,25-27]

Table 2 Correlation coefficients of the annual mean temperature in China for the last 100 and 50 years between the observations and simulations by the climate models with several scenarios^[1,4,6,25-27]

气候模式 Climate models	排放设计的相关系数 (近 100 年) Correlation coefficients between observations and simulations (the last 100 years)				排放设计的相关系数 (近 50 年) Correlation coefficients between observations and simulations (the last 50 years)			
	GG	GS	SRES A2	SRES B2	GG	GS	SRES A2	SRES B2
国外 7 个模式 (平均和范围) 7 GCMs (mean and ranges) (CCC, CCSR, CSIRO, D KRZ, GFDL, HADL, NCAR)	0.29	0.44	0.37	0.29	0.48	0.41	0.39	0.32
	0.11 ~ 0.40	0.27 ~ 0.61	0.56 ~ 0.86	0.57 ~ 0.82	0.28 ~ 0.58	0.26 ~ 0.50	0.20 ~ 0.50	0.15 ~ 0.43
国内模式 Chinese GCM (NCC/ IAP T63)	0.23	0.18	0.23	0.23	0.51	0.43	0.51	0.51
国内模式 Chinese GCM (GOALS/ LASG)	0.19	0.07			0.47	0.33		

注: 表中模式控制试验计算的相关系数在 0 附近, 故在表中略去

Note: Neglected the control simulations which were near 0

温室气体增加 (GG) 和温室气体与硫酸盐气溶胶同时增加 (GS), 以及 SRES A2 (高排放) 和 SRES B2 (较低排放)^[1]。

表 2、表 3 和图 6 分别给出 40 个气候模式和

排放情景计算的 20 世纪东亚和中国温度变化线性趋势以及与观测的相关系数。40 条曲线在前 50 年与观测值差异较大, 但在后 50 年与观测值接近, 尤其是多个气候模式的集成与观测更接近。其中 7

表 3 观测和模式模拟近 100 年 (1900 ~ 1999 年) 中国年平均气温距平 (相对于 1961 ~ 1990 年) 的线性趋势^[1,4,6,25~27]

Table 3 Linear trends of the annual mean temperature in China for the last 100 and 50 years as simulated by the climate models with several scenarios^[1,4,6,25~27]

气候模式 Climate models	排放设计的线性趋势 (近 100 年) Linear trends of simulated temperature for the last 100 years/ (/100 a)				排放设计的线性趋势 (近 50 年) Linear trends of simulated temperature for the last 50 years/ (/50 a)			
	GG	GS	SRES A2	SRES B2	GG	GS	SRES A2	SRES B2
	国外 7 个模式 (平均和范围) 7 GCMs (mean and ranges) (CCC, CCSR, CSIRO, D KRZ, GFDL, HADL, NCAR)	1.56	0.45	0.49	0.33	1.56	0.76	0.72
国内模式 Chinese GCM (NCC/ IAP T63)	0.85 ~ 3.14	-0.03 ~ 0.87	0.38 ~ 1.25	0.29 ~ 1.04	0.69 ~ 2.91	0.02 ~ 1.29	0.38 ~ 1.25	0.22 ~ 1.04
国内模式 Chinese GCM (GOALS/LASG)	0.91	1.73	0.91	0.91	0.82	1.24	0.82	0.82
国内模式 Chinese GCM (GOALS/LASG)	1.15	0.93			1.24	0.64		

注：表中模式控制试验线性趋势在 0 附近略；观测值 0.39 /100 a 和 0.78 /50 a

Note: Neglected the control simulations which were near 0; observations are 0.39 /100 a and 0.78 /50 a, respectively

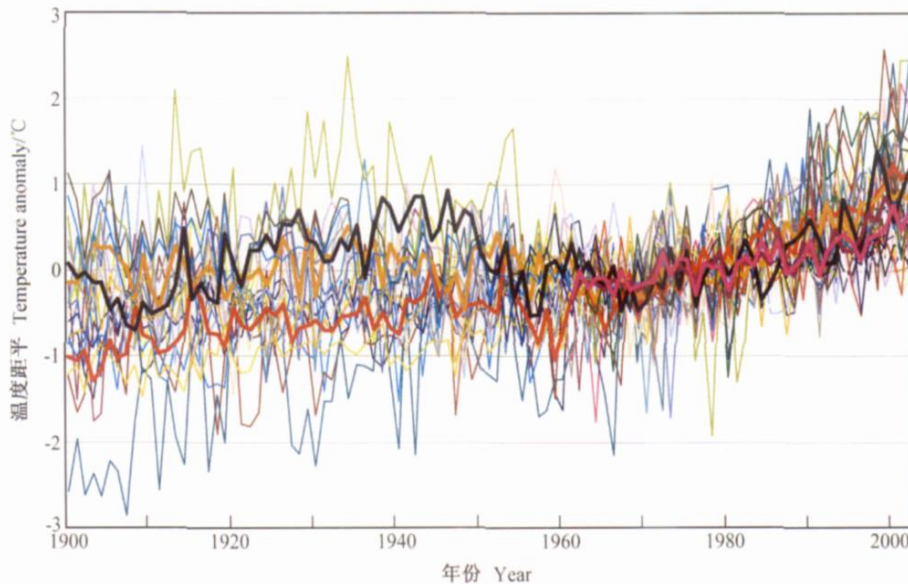


图 6 大约 40 个气候模式和试验设计模拟的 20 世纪中国年平均表面气温距平的变化以及相应的观测变化 (相对于 1961 ~ 1990 年。粗红线为 GCM7-GG, 粗杏黄线为 GCM7-GS, 粗深紫色线为 GCM7-SRES A2, 粗浅紫色实线是 GCM7-SRES B2, 粗黑实线是观测值。在文献 [4, 6, 25 ~ 27] 基础上发展)

Fig. 6 Annual mean temperature anomalies in China for the 20th century as simulated by the climate models with several scenarios (relative to 1961—1990. thick-red curve is GCM7-GG, thick-dark yellow curve is GCM7-GS, thick-dark purple curve is SRES A2, thick-light purple curve is SRESB2, thick-black curve is observation. based on [4, 6, 25 ~ 27])

(气候模式和试验设计 Climate models with several scenarios: CCC-GG, CCSR/ NIES-GG, CSIRO-GG, D KRZ-GG, GFDL-GG, HADL-GG, NCAR-GG, GCM7-GG, CCC-GS, CCSR/ NIES-GS, CSIRO-GS, D KRZ-GS, GFDL-GS, HADL-GS, NCAR-GS, GCM7-GS, LASG/ IAP-GG, LASG/ IAP-GS, LASG/ IAP-GSS, NCC/ IAP T63-GG, NCC/ IAP T63-GS, CCSR/ NIES2 A1, A2, B1, B2, CCC-A2, CSIRO-A2, ECHAM-A2, GFDL-A2, HADL-A2, CCC-B2, CSIRO-B2, ECHAM-B2, GFDL-B2, HADL-B2, GCM14-SRES, NCC/ IAP T63-A2, NCC/ IAP T63-B2)

个著名模式在考虑温室气体和硫酸盐气溶胶作用时, 模拟出 20 世纪中国的变暖范围是 $-0.03 \sim 3.14 / 100 \text{ a}$, 后 50 年的明显变暖范围是 $0.02 \sim 2.91 / 50 \text{ a}$, 而控制试验没有模拟出这种变暖的趋势。从相关系数看, 也是考虑温室气体和硫酸盐气溶胶时与观测值有明显的正相关, 而控制试验的相关接近 0。由此说明, 人类排放可能是造成 20 世纪中国气候变暖的原因之一, 特别是在近 50 年内。

6 结论和讨论

从目前获得的 4 套观测资料检测表明, 近 100 年中国气候变暖 $0.2 \sim 0.8 / 100 \text{ a}$, 近 50 年变暖 $0.6 \sim 1.1 / 50 \text{ a}$ 。气候代用资料研究表明, 中国 20 世纪的变暖在近千年中属于明显的, 但是否属于近千年中最暖的百年, 还有待更多的资料来验证。尚需强调指出的是, 由于中国区域辽阔, 不同区域气候差异较大, 而且 20 世纪前 50 年观测资料匮乏, 近千年的代用资料分布不广, 因此, 应该进一步考证中国 20 世纪的气温变化和在近千年中的地位。

40 余个气候模式考虑自然变化和人为影响以及多种排放情景的模拟研究表明, 20 世纪中国的变暖可能与太阳活动、火山活动和人类活动有关, 近 50 年的明显变暖可能与人类活动引起的大气中温室气体浓度增加有一定联系。

对 20 世纪中国变暖的检测与归因分析仅仅是开始。目前仅利用中国科学院大气物理所和中国气象局国家气候中心的模式做了初步的研究。气候模式以及各种可能因子的分析等方面仍然存在许多不确定性, 尚需要做更多的深入研究。今后的研究不仅需要解释 20 世纪中国气温变暖的总趋势, 还需要解释 20 世纪 20~40 年代的变暖原因和近 20~30 年的明显增暖现象。今后也需要发展其他的检测和归因分析方法与工具。

致谢 IPCC 模式资料中心以及各个模式组提供了模式的计算结果, 文中引用了许多科学组做的中国近百年和近千年气温变化的研究, 在此一并表示衷心感谢。

参考文献

- [1] IPCC. *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Houghton J, Ding Yihui, et al., Eds. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2001. 800pp
- [2] 石广玉, 王喜红, 张立盛, 等. 人类活动对气候影响研究 II: 对东亚和中国气候变化与变率影响. *气候与环境研究*, 2002, 7: 255~266
Shi Guangyu, Wang Xihong, Zhang Lisheng, et al. Impact of human activities on climate. Part II: Impact on climate variability over East Asia and China. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2002, 7: 255~266
- [3] 王绍武, 谢志辉, 蔡静宁, 等. 近千年全球平均气温变化的研究, *自然科学进展*, 2002, 12: 1145~1149
Wang Shaowu, Xie Zhihui, Cai Jingning, et al. Investigation on the global mean temperature for the last 1000 years. *Advances on Natural Sciences* (in Chinese), 2002, 12: 1145~1149
- [4] Ma Xiaoyan, Guo Yufu, Shi Guangyu, et al. Numerical simulations of global temperature change over the 20th century with IAP/LASG GOALS model. *Adv. Atmos. Sci.*, 2004, 21: 234~242
- [5] Zhao Zongci, Akimasa Sumi, Kim J W. Characteristics of extreme climate change over East Asia and China for the several key periods. *World Resource Review* (USA), 2003, 15 (3): 289~304.
- [6] Zhao Zongci, Luo Yong, Gao Xuejie, et al. Enlightenment from detection of climate change in China for the 20th century. *Newsletter on Climate Change 2003/2004*, 2004, 1: 20~22
- [7] 徐影, 罗勇, 赵宗慈, 等. BCC_AGCM1.0 模式对 20 世纪气候变化的检测. *气候变化特别评估报告*, 2005, 6: 1~6
Xu Ying, Luo Yong, Zhao Zongci, et al. Detection of climate change in the 20th century by the BCC_AGCM1.0 model. *Special Report on Climate Change*, 2005, 6: 7~12
- [8] 王绍武主编. *现代气候学研究进展*. 北京: 气象出版社, 2001. 458pp
Wang Shaowu, Ed. *Advances on Modern Climatology* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2001. 458 pp
- [9] 林学椿, 于淑秋, 唐国利. 中国近百年温度序列, *大气科学*, 1995, 15 (5): 525~534
Lin Xuechun, Yu Shuqiu, Tang Guoli. Temperature series in China for the last 100 years. *Scientia Atmospherica Sin-*

- ica (in Chinese), 1995, 15 (5): 525~534
- [10] 吴祥定, 林振耀. 青藏高原近二千年来气候变迁的初步探讨. 见: 中央气象局气象科学研究所编, 全国气候变化讨论会文集. 北京: 科学出版社, 1981. 18~25
Wu Xiangding, Lin Zhenyao. Preliminary study on climate change in the Tibetan Plateau for the last 2000 years, In: *Proceeding on Climate Change in China* (in Chinese). Chinese Academy of Meteorological Sciences, Eds. Beijing: China Science Press, 1981. 18~25
- [11] 刘光远, 王玉玺, 张先恭, 等. 祁连山近千年的年轮气候及其在冰川上的反映. 中国科学院兰州冰川冻土所集刊, 1984, 5: 97~108
Liu Guangyuan, Wang Yuxi, Zhang Xiangong, et al. Climate of tree rings in Qilian mountain for the last 1000 years and its reflects on glaciers. *Proceeding of Lanzhou Glacier Institute* (in Chinese), 1984. 5: 97~108
- [12] 姚檀栋. 古里雅冰芯近 2000 年来气候环境变化记录. 第四纪研究, 1997, (1): 52~61
Yao Tandong. Records of climate and environmental changes in Guliya ice core for the last 2000 years. *Quaternary Sciences* (in Chinese), 1997, (1): 52~61
- [13] 满志敏, 张修桂. 中国东部 13 世纪温暖期自然带的推移. 见: 施雅风等主编, 中国气候与海平面变化研究进展 (一), 北京: 海洋出版社, 1990. 17~19
Man Zhimin, Zhang Xiugui. Shift of natural zones in East China during the 13 century warm period. In: *Advances on Climate and Sea Level Changes in China* (I) (in Chinese), Shi Yafeng, et al., Eds. Beijing: Oceanographic Press, 1990. 17~19
- [14] 满志敏, 张修桂. 中国东部中世纪温暖期的历史证据和基本特征的初步研究. 见: 张兰生主编, 中国生存环境历史演变规律研究 (一). 北京: 海洋出版社, 1993. 95~104
Man Zhimin, Zhang Xiugui. Preliminary study on historical evidences and basic characteristics in East China during Medieval Warm Period. In: *Historical Evolutive Disciplinarian of Subsistence Environments in China* (I), Zhang Lansheng, Ed. Beijing: Oceanographic Press, 1990. 95~104
- [15] 张德二. 中国南部近 500 年冬季温度变化的若干特征. 科学通报, 1980, 6: 270~272
Zhang Deer. Several characteristics of winter temperature changes in South China for the last 500 years. *Scientific Bulletin* (in Chinese). 1980, 6: 270~272
- [16] 张德二. 我国“中世纪温暖期”气候的初步推断. 第四纪研究, 1993, 1: 7~14
Zhang Deer. Preliminary concludes of climate in China during Medieval Warm Periods. *Quaternary Sciences* (in Chinese), 1983, 1: 7~14
- [17] 张兰生, 方修琦, 任国玉. 全球变化. 北京: 高等教育出版社, 2000. 235pp
Zhang Lansheng, Fang Xiuqi, Ren Guoyu. *Global Change* (in Chinese), Beijing: Higher Education Publication, 2000. 235pp
- [18] 葛全胜, 郑景云, 满志敏, 等. 过去 2000 年中国东部冬半年温度变化序列重建及初步分析. 地学前缘, 2002, 9 (1): 169~181
Ge Quansheng, Zheng Jingyun, Man Zhimin, et al. Reconstructions and preliminary analysis of winter temperature change in East China for the last 2000 years. *Pioneer of Geology* (in Chinese), 2002, 9 (1): 169~181
- [19] 谭明, 侯居峙, 程海. 定量重建气候历史的石笋层方法. 第四纪研究, 2002, 22 (3): 209~219
Tan Ming, Ho Jushi, Cheng Hai. Reconstructions of historical climate by using annual layer method of stalagmite. *Quaternary Sciences* (in Chinese), 2002, 22: 209~219
- [20] Yang Bao, Braenning A, Johnson K R, et al. General characteristics of temperature variation in China during the last two millennia, *Geophys. Res. Lett.*, 2002, 29 (9): 1324, doi:10.1029/2001GL014485
- [21] Yang Bao, Brauning A, Shi Y F. Late Holocene temperature fluctuations on the Tibetan Plateau. *Quarter Sci. Rev.*, 2003, 22: 2335~2344
- [22] 刘晓宏, 秦大河, 邵雪梅, 等. 祁连山中部过去千年温度变化的树轮记录. 中国科学 (D 辑), 2004, 34 (1): 89~95
Liu Xiaohong, Qin Dahe, Shao Xuemei, et al. Records of tree rings in the middle part of Qilian mountain for the last 1000 years. *Science in China* (Ser. D) (in Chinese), 2004, 34 (1): 89~95
- [23] 王绍武, 赵宗慈, 杨保. “曲棍球杆”之争. 中国气象报, 2003, 1月10日
Wang Shaowu, Zhao Zongci, Yang Bao. Disputed on “hockey cue”. *China Meteorological News* (in Chinese), 10 January 2003
- [24] Zhai Panmao, Pan Xiaohua. Trends in temperature extreme during 1951—1999 in China. *Geophys. Res. Lett.*, 2003, 30 (17): 1913, doi:10.1029/2003GL018004
- [25] Zhao, Zongci, Akimasa Sumi, Chikako Harada, Toru Nozawa. Projections of extreme temperature over East Asia for the 21st century as simulated by the CCSR/NIES2 coupled model. In: *Proceedings of International Symposium on Climate Change*, Eds. by WMO and CMA. WMO/ TD No. 1172. Beijing, China: China Meteorological Press, 2003. 158~164
- [26] Zhao, Zongci, Xu Ying. Detection and scenarios of temperature change in East Asia. *World Resource Review* (USA), 2002, 15: 321~333
- [27] Ding Yihui, Xu Ying, Zhao Zongci, et al. Climate change scenarios over East Asia and China in the future 100 years. *Newsletter on Climate Change* 2003/2004, 2004, 1: 2~3