

文章编号: 1000-0534(2003)05-0451-07

# 青藏地区未来百年气候变化

徐影<sup>1</sup>, 丁汇<sup>1</sup>, 李栋梁<sup>2</sup>

(1. 中国气象局国家气候中心, 北京 100081; 2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃兰州 730000)

**摘要:** 利用各国政府间气候变化专门委员会(IPCC)数据分发中心(DDC)提供的 7 个全球海气耦合气候系统模式(CCC, CCSR, CSIRO, DKRZ, GFDL, HADL, NCAR)的模拟结果, 对我国青藏地区未来 100 年由于人类活动影响造成的气候变化进行了分析, 尤其是对青藏铁路沿线各站的平均温度、降水, 以及最高、最低温度的变化进行了初步分析。结果表明, 青藏地区的温度变化与全国相比, 增暖幅度更大; 21 世纪中期, 在只考虑温室气体的增加和既考虑温室气体的增加又考虑硫化物气溶胶增加时, 青藏铁路沿线各站的增温幅度在 2.8~3.0℃之间; 21 世纪末, 青藏铁路沿线各站的增温幅度在 3.8~4.8℃之间。冬季最低温度和夏季最高温度的增暖幅度也比平均温度的增暖幅度大, 在两种情形下, 青藏铁路沿线各站冬季最低温度在 2050 年将分别增加 2~4℃和 1~3℃, 2100 年将分别增加 6~8℃和 4~6℃; 夏季最高温度在 2050 年分别增加 2~4℃和 1.2~2.8℃, 2100 年将变暖 4~7℃和 3.8~6℃。在只考虑温室气体的影响时, 21 世纪中期青海和西藏地区年平均的降水增加, 增加的范围在 2.5~10mm/mon, 21 世纪后期降水继续增加; 考虑硫化物气溶胶的影响后, 21 世纪中期和后期除了青藏地区北部的降水略有增加外, 其余大部分地区的降水基本上都将减少。由于全球气候模式的模拟存在较大的不确定性, 仍需要做更多的深入研究。

**关键词:** 人类活动; 青藏地区; 气候变化

**中图分类号:** P463.1 **文献标识码:** A

## 1 引言

在西部大开发之际, 青藏铁路的修建对加快西部地区特别是西藏地区的社会经济发展, 造福沿线各族人民具有重要意义。青藏铁路格尔木至拉萨全长 1118 km, 其中多年冻土区长度为 632 km, 大片连续多年冻土区长度约 550 km, 岛状不连续多年冻土长度为 82 km, 全线海拔 4000 m 以上地段长度约为 965 km。青藏高原的多年冻土大多属高温冻土, 极易受工程的影响产生融化下沉。铁路建筑是百年大计, 必须考虑全球变暖的影响。为了青藏铁路的安全畅通, 必须预测全球气候变化背景下冻土的变化, 预测工程作用下冻土的变化, 以及预测两种因素叠加后冻土的变化及工程的稳定性。2001 年的 IPCC 报告中已经指出, 在 21 世纪, 全球变暖将比 20 世纪要严重的多, 其升温速度可能是过去 1 万年

里从未有过的, 全球表面温度预计在 21 世纪的 100 年间升高 1.4~5.8℃<sup>[1~5]</sup>。青藏高原是全球气候变化的“启动器”和“放大器”, 其升温更早于和高于全球平均值, 高温冻土加上全球变暖的事实使青藏高原铁路的修筑面临着严峻的挑战。因此, 了解未来 50~100 年青藏地区的气候变化是非常必要和重要的。由于未来的气候变化包括许多方面的影响, 比如自然变化的影响和人类活动的影响, 且已有强有力的证据表明, 最近 50 年来人类活动的影响对全球变暖起了很重要的作用。在本文中, 我们将重点对由人类活动影响引起的未来青藏地区的气候变化进行分析, 以期政府部门及青藏铁路的修建提供一些科学依据。

## 2 模式简介及资料处理

本研究所用的模拟结果主要是由 IPCC 的数据

收稿日期: 2003-02-27; 改回日期: 2003-06-04

基金项目: 中国科学院知识创新工程重大项目“青藏铁路工程与多年冻土相互作用及其环境效应”(KZCX1-SW-04); “十五”国家重点科技攻关项目“全球环境变化对策与支撑技术研究——全球和中国气候变化检测和预测”(2001BA611B-01); 中国气象局 IPCC 专项共同资助

作者简介: 徐影(1967—), 女, 安徽萧县人, 理学博士, 副研究员, 主要从事气候模式及气候变化方面的研究。

E-mail: Xuying@cmr.cma.gov.cn

表 1 气候模式(AOGCM)的基本特征和试验设计<sup>1)</sup>Table 1 Brief characteristics and design experiments of AOGCM<sup>1)</sup>

	Hadley	GFDL	DKRZ	CSIRO	CCSR	CCCMA	NCAR
AOGCM	3.75×2.5/L19	R15/L9	T42/L19	R21/L9	T21/L20	T32/L10	4.5×7.5/L9
OGCM	3.75×2.5/L20	4.5×3.75/L12	2.8×2.8/L17	R21/L21	2.8×2.8/L17	1.8×1.8/L29	1×1/L20
控制试验(年)	400	1000	1000		1890—2099 年	1870—2100 年	
GG 试验(年)	1860—1989 年 (历史资料)	1958—2057 年 IS92a	1860—1989 年 (历史资料)	1880—1990 年 (历史资料)	1% /a	1850—2100 年 (1% /a)	1870—2084 年
	1990—2099 年 (1% /a, 0.5% /a)		1990—2099 年 (1% /a)	1990—2099 年 (IS92a)	1890—2099 年		
GS 试验(年)	1860—1990 年 IS92a	1765—2065 年	1860—1990 年 (历史资料)	1880—1990 年 (历史资料)	1% /a	1850—2100 年 (1% /a)	1870—2049 年
	1990—2099 年 (1% /a, 0.5% /a)	IS92a	1990—2099 年 (IS92a)	1990—2099 年 (IS92a)	1890—2099 年		(1%+ISA)

分发中心提供的 7 个全球大气耦合海洋环流、海冰与陆地生态系统模式模拟的, 这 7 个模式分别是: 加拿大气候中心模式(CCC)<sup>[6, 7]</sup>、日本气候系统研究中心模式(CCSR)<sup>[8]</sup>、澳大利亚联邦科学与工业研究组织大气研究所模式(CSIRO)<sup>[9, 10]</sup>、德国马普气象研究所模式(DKRZ)<sup>[11]</sup>、美国普林斯顿大学地球物理流体动力学实验室模式(GFDL)<sup>[12]</sup>、英国气象局哈得莱中心模式(HADL)<sup>[13]</sup>及美国国家大气科学研究中心模式(NCAR)<sup>[14]</sup>。7 个模式分别模拟了大气中由于人类活动造成的温室气体及温室气体和硫化物气溶胶浓度增加时, 全球 20 世纪的气候变化及未来 21 世纪的全球气候变化, 试验的具体设计如表 1 所示。利用这些模式的研究结果, 本文将着重研究我国青藏地区 21 世纪的气候变化。这些模式的大气部分垂直分辨率从 7 层到 20 层, 水平分辨率大都在约 5°格点; 海洋部分的垂直分辨率较细, 从 12 层到 29 层, 水平分辨率一般在约 3°格点。模式中还包括多层陆地生物圈模式和较为复杂的海冰模式, 7 个模式的温室气体试验, 以及温室气体和硫化物气溶胶的试验。在 20 世纪主要是根据观测实况进行加工或用大气化学模式计算得到, 21 世纪的设计则根据 IPCC 工作组的几种排放方案给出。

采用双向线性内插的方法将各个模式的格点值插到青海、西藏相关各站, 所有分析的数据统一采用 IPCC 标准用 1961—1990 年 30 年的平均值作为气候平均值, GG、GS 分别表示只考虑温室气体增加时的试验和既考虑温室气体又考虑硫化物气溶胶增加时的试验。

在文献[15]中对 7 个模式在 20 世纪的模拟情形进行了评估, 结果表明, 模式对我国西部地区的温度和降水有一定的模拟能力。因此, 本文对这 7 个模式在 21 世纪我国青藏地区的气候变化进行分析, 以期为青藏铁路的修建提供一些科学依据。

### 3 未来百年青藏地区气候变化分析

图 1 给出未来百年青海和西藏地区在 GG 时的温度变化时间序列图。模拟结果表明, 在只考虑温室气体增加的情形下, 2050 年青海和西藏地区的温度增加 2~4℃, 到 2100 年青海地区的变暖范围在 4~8℃, 西藏地区的变暖范围在 4~7℃; 考虑温室气体和硫化物气溶胶共同增加时, 各模式模拟结果之间的差别较大, 温度仍然为继续增加, 但变暖幅度比只考虑温室气体增加时减小, 到 2050 年大部分模式模拟青海地区增暖 2℃左右, 而西藏地区增暖 1.5℃左右; 2100 年时青海和西藏地区增暖分别为 2~4℃和 2~3.5℃。

为了更详细地了解未来 50 年青藏地区温度的变化, 我们还对未来 50 年青藏地区每 10 年平均温度变化进行了分析(表 2)。从表 2 中看出, 在只考虑温室气体增加时, 随着温室气体浓度的增加, 青藏地区的变暖幅度逐渐增大, 2050 年青海地区的温度将增加 3.0℃, 西藏地区将增加 2.6℃。考虑温室气体和硫化物气溶胶的共同影响后, 青海和西藏地区 2040—2050 年 10 年平均温度将分别增加 1.8℃和 1.4℃。

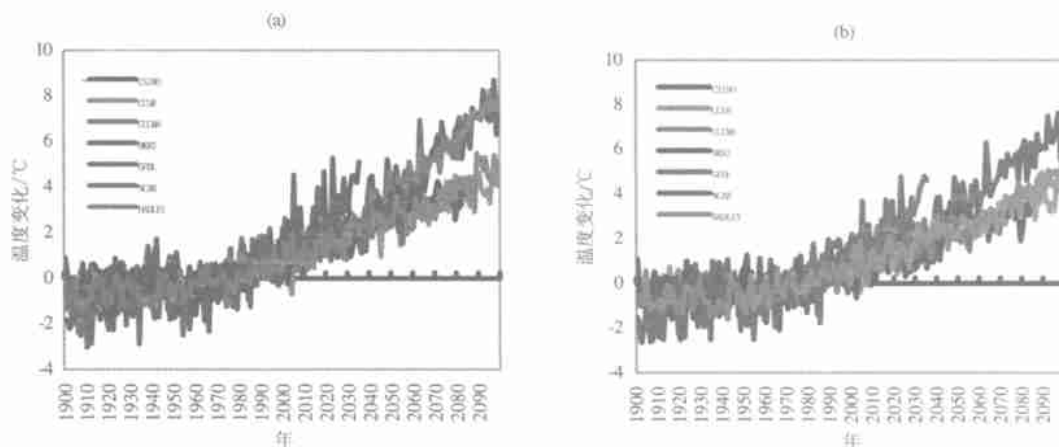


图 1 未来百年青海(a)和西藏(b)地区年平均温度变化时间序列(GG)(单位: °C)

Fig. 1 Time series of annual mean temperature change over Qinghai(a) and Xizang(b) in the 21<sup>st</sup> century. (Unit: °C)

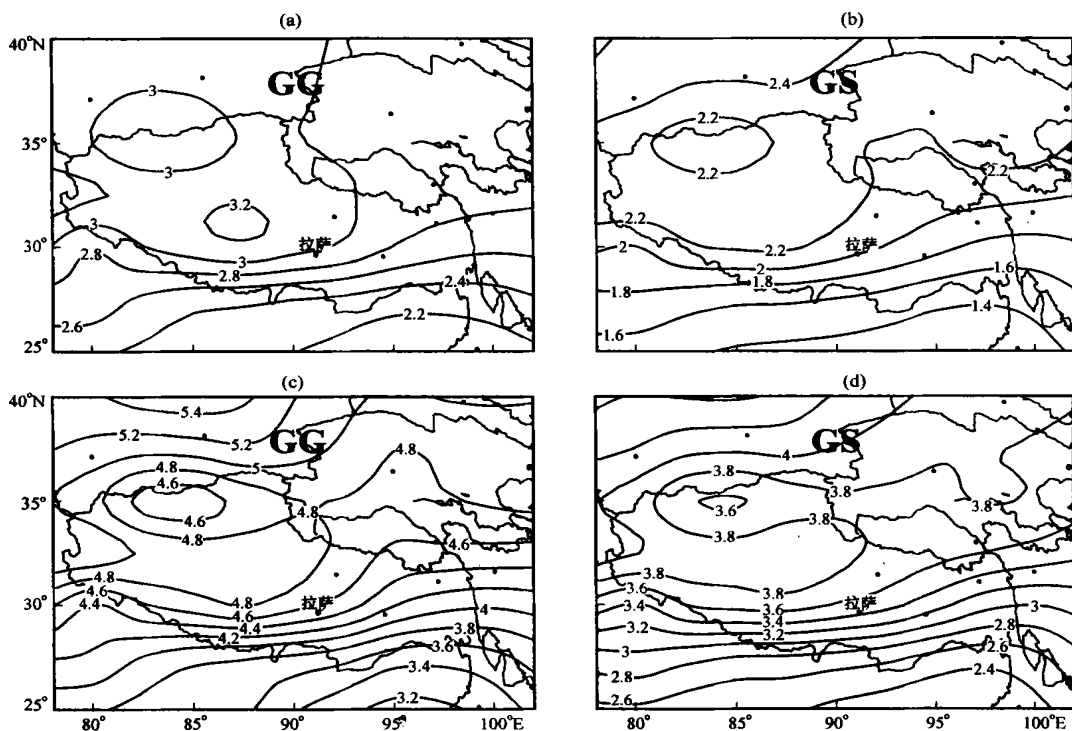


图 2 青藏地区 21 世纪中期和后期年平均温度变化的空间分布(单位: °C)

(a, b) 2031—2060 年, (c, d) 2061—2090 年

Fig. 2 Space distribution of annual mean temperature change in the middle and end of the 21<sup>st</sup> century over Qinghai and Xizang. (Unit: °C). (a, b) in 2031—2060, (c, d) in 2061—2090

图 2 给出两种情形下几个模式平均后, 未来 2031—2060 年和 2061—2090 年每 30 年年平均的青藏地区温度变化的空间分布图。从图中可看出, 在 21 世纪中期, 只考虑温室气体的影响时青海省年平均的增温范围在 3 °C 左右, 其中青海东部地区的增温值小于西部; 西藏地区的增温范围在 2.4~3.2 °C

之间, 其中西藏地区中部和北部的增温较大, 铁路沿线从格尔木到拉萨的增温范围在 2.8~3.0 °C; 考虑气溶胶的影响后, 青海和西藏地区年平均的增温幅度有所下降, 青海地区为 2.2~2.4 °C, 西藏地区为 1.6~2.2 °C, 但增温最大区仍然位于西藏的中部和北部, 格尔木到拉萨的增温

表 2 未来 50 年青藏地区每 10 年的温度变化模拟值(单位: °C)

Table 2 Simulated value of temperature change of every 10 years over Qinghai and Xizang in the future 50 years. (Unit: °C)

只考虑温室气体增加(GG)					
温度变化	2010年	2020年	2030年	2040年	2050年
青海	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
西藏	0.9	1.3	1.6	2.1	2.6
温室气体加气溶胶(GS)					
温度变化	2010年	2020年	2030年	2040年	2050年
青海	0.8	1.1	1.4	1.5	1.8
西藏	0.5	0.8	1.0	1.2	1.4

幅度在 2.0 ~ 2.2 °C 之间。从图中的结果还可以看到, 考虑硫化物气溶胶对西藏地区温度变化的影响较大, 比只考虑温室气体的影响时增温幅度减小了 0.8 ~ 1.0 °C; 到 21 世纪后期, 在 GG 和 GS 时青海和西藏地区的增温幅度都比 21 世纪中期时增加了 1.6 °C 左右, GG 时青海地区为 4.6 ~ 5 °C, 西藏地区为 3.6 ~ 4.6 °C; GS 时青海地区为 3.6 ~ 4.0 °C, 西藏地区为 2.8 ~ 3.8 °C, 西藏中部和北部地区的增温幅度仍然是相对较大区。综合 GG 和 GS

时的结果表明, 到 21 世纪后期, 青藏铁路沿线的增温幅度在 3.8 ~ 4.8 °C 之间。

前面我们给出的是未来 21 世纪中期和后期青藏地区年平均温度的分析, 为了更清楚地了解从现在到未来 50 年中青藏地区各个季节温度的变化, 我们还计算了未来 50 年青藏地区的各个季节和年平均温度及降水变化的线性倾向(图略)。结果表明, 只考虑温室气体增加时, 未来 50 年青藏地区年平均温度变化的线性倾向在 2 ~ 2.5 °C, 冬季为 2 ~ 3 °C, 夏季为 2 ~ 2.5 °C; 考虑硫化物气溶胶的共同影响后, 年平均温度变化为 1 ~ 2 °C, 夏季为 1.5 °C, 冬季为 2 °C, 四个季节比较, 冬季为四个季节当中变暖幅度最大的季节。

21 世纪青藏地区的年平均降水变化由图 3 给出。从图中可看出, 在只考虑温室气体的影响时, 21 世纪中期青海和西藏地区年平均降水为增加趋势, 增加的范围在 2.5 ~ 10 mm / mon 之间, 西藏东部地区降水增加的幅度较大; 21 世纪后期降水增加幅度加大, 青海南部与西藏东部地区降水增加在 10 mm / mon 以上, 而西藏南部地区的降水减少, 青藏铁路沿线的降水增加为 10 ~ 15 mm / mon; 考虑硫化物气溶胶的影响后, 21 世纪中期和后期, 除了青藏

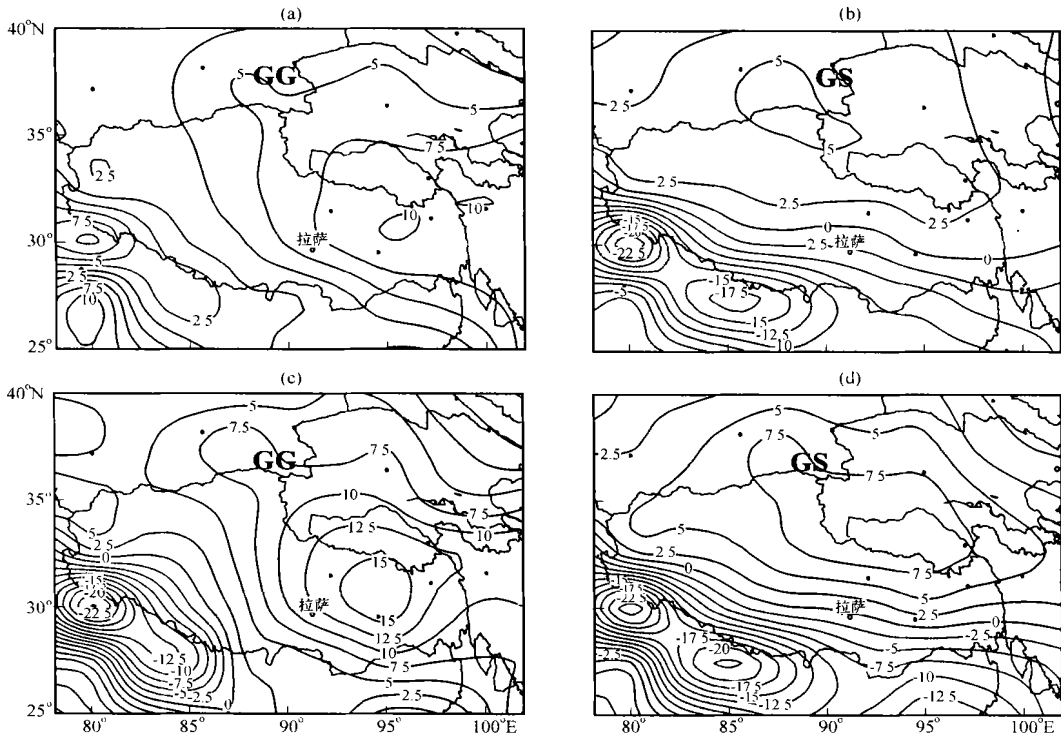


图 3 同图 2, 但为年平均降水变化的空间分布(单位: mm / mon)

Fig. 3 The same as Fig. 2 but for annual mean precipitation change. (Unit: mm / mon)

北部地区的降水略有增加外, 其余大部分地区的降水基本上都将减少, 尤其是西藏南部地区的降水将减少 5~10 mm/mon, 铁路沿线格尔木到拉萨的降水增加 7.5 mm/mon. 对 7 个模式模拟的整个青藏地区的降水变化时间序列图的分析也表明(图略), 在只考虑温室气体的影响时, 青海和西藏地区的降水未来百年有增加的趋势, 考虑硫化物气溶胶的共同影响后, 未来百年整个青藏地区的降水将减少。

本文还将各个模式的模拟结果, 通过线性内插的方法插值到青藏铁路沿线的各个站上, 对青藏铁路沿线各站的温度变化进行了分析。结果表明, 与全国的温度变化相比, 青藏铁路沿线各站的温度未来增加更明显, 各个站之间的变暖幅度相差不大,

到 2050 年时青藏铁路沿线各站的年平均温度增加 2~3℃, 21 世纪末为 5~6℃(图略)。对于青藏铁路沿线各站的温度变化来说, 了解未来百年铁路沿线地区冬季最低温度和夏季最高温度的变化也是很重要的。图 4 和图 5 给出了青藏铁路沿线各站冬季最低温度和夏季最高温度未来百年温度变化的时间序列图。结果表明, 在只考虑温室气体增加和既考虑温室气体又考虑硫化物气溶胶的影响时, 青藏铁路沿线各站冬季最低温度在 2050 年将分别增加 2~4℃和 1~3℃, 2100 年将分别增加 6~8℃和 4~6℃; 夏季最高温度在 2050 年将分别增加 2~4℃和 1.2~2.8℃, 2100 年将分别增加 4~7℃和 3.8~

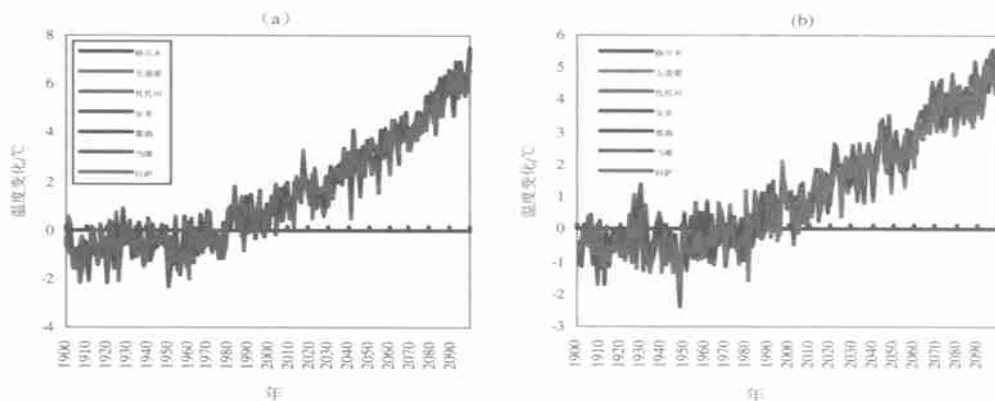


图 4 青藏铁路沿线各站冬季最低温度变化时间序列(单位: °C)

(a) GG, (b) GS

Fig. 4 Time series of minimum temperature change along Qinghai-Xizang railway in winter in the 21<sup>st</sup> century. (Unit: °C). (a) GG, (b) GS

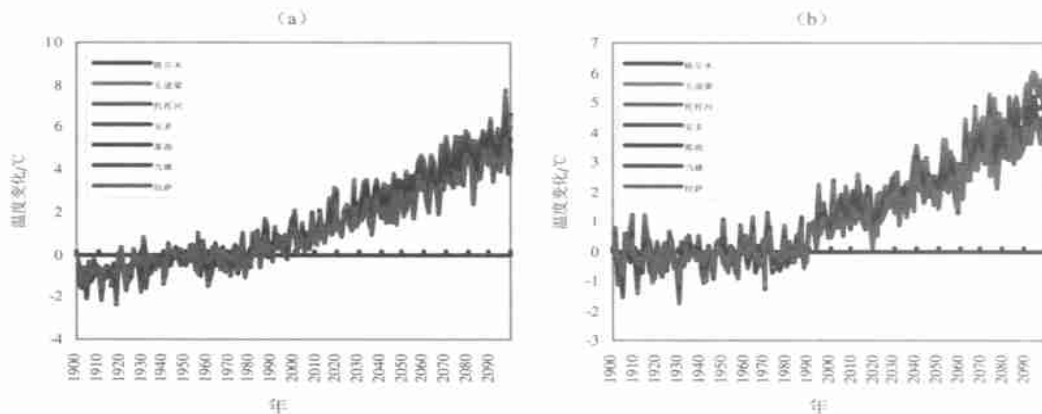


图 5 同图 4 但为夏季最高温度变化时间序列

Fig. 5. The same as Fig. 4, but for maximum temperature change in summer.

6℃, 冬季最低温度和夏季最高温度的增加都比平均温度的增暖幅度大。

## 4 结论

本文通过对 IPCC 数据分发中心提供的 7 个模式的模拟结果分析, 得到以下初步结论:

(1) 由于人类活动的影响, 未来百年青藏地区的温度将继续增加, 青海地区增加的范围为 4~8℃(GG)和 2~4℃(GS); 西藏地区的增温幅度为 4~7℃(GG)和 2~3.5℃(GS)。总之, 在温室气体和硫化物共同增加时, 温度增加的幅度比只考虑温室气体时的增加幅度要小。

(2) 对 21 世纪中期和后期青藏地区温度的分析表明, 21 世纪中期在只考虑温室气体的影响时, 青海东部和西藏中西部地区的增温幅度较大, 青藏铁路沿线的增温幅度在 2.8~3.0℃之间, 加入硫化物气溶胶的影响后增温幅度减小, 铁路沿线各站的增温幅度在 2.0~2.2℃之间。21 世纪末, 在两种情形下青藏铁路沿线各站的增温幅度均在 3.8~4.8℃之间。

(3) 对未来 50 年整个青藏地区的温度变化线性倾向的空间分布的分析可知, 只考虑温室气体增加时, 年平均为 2~2.5℃/50a, 冬季为 2~3℃/50a, 夏季为 2~2.5℃/50a; 考虑硫化物气溶胶的共同影响后, 年平均为 1~2℃/50a, 夏季为 1.5~2℃/50a, 冬季为 1.5~2℃/50a, 4 个季节相比, 冬季的增暖最明显。

(4) 对未来降水变化的分析表明, 在只考虑温室气体的影响时, 21 世纪中期青海和西藏地区的年平均降水增加, 增加的范围在 2.5~10 mm/mon; 考虑硫化物气溶胶的影响后, 21 世纪中期和后期, 除了青藏地区的北部降水略有增加外, 其余大部分地区的降水基本上都将减少, 尤其是西藏南部地区的降水将减少 5~10 mm/mon, 铁路沿线的降水增加 7.5 mm/mon。

(5) 对铁路沿线各站冬季最低温度和夏季最高温度的分析表明, 冬季最低温度和夏季最高温度的增加都比平均温度的增暖幅度大。

通过上述分析, 我们虽然得到了一些初步的结论, 但仍然存在一些不确定性, 如气候模式还不够完善, 大部分模式的分辨率较低, 未来气候变化等, 因此, 还有待于进一步的研究。

致谢: 作者由衷感谢 IPCC 第一工作组模式资

料中心(DDC)和 7 个模式组(CCC, CCSR, CSIRO, DKRZ, GFDL, HADL, NCAR)为我们提供了他们的模式计算结果, 中国气象局国家气候中心计算机室的杨新和马强为资料的计算提供了大力帮助。

## 参考文献

- [1] Houghton J T, G J Jenkins, J J Ephraums eds. Climate Change[R]. The IPCC Scientific Assessment. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. 364
- [2] Houghton J T, B A Callander, S K Varney eds. Climate Change[R]. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment. Cambridge: Cambridge University Press, 1992. 200
- [3] Houghton J T, L G Meira Filho, B A Callander eds. Climate Change 1995: The Science of Climate Change Cambridge[R]. Cambridge University Press, 1996. 572
- [4] Houghton J T. The IPCC Special Report on Emissions Scenarios (SRES)[R]. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. 120
- [5] Houghton J T, Ding Y eds. Climate Change 2000[R]. The Scientific Basis. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 770
- [6] Boer G J, G Flato, M C Reader et al. A transient climate change simulation with greenhouse gas and aerosol forcing: Experimental design and comparison with the instrumental record for the 20<sup>th</sup> century[J]. Clim Dyn, 2000, 16: 405-425
- [7] Boer G J, G Flato, M C Reader et al. A transient climate change simulation with greenhouse gas and aerosol forcing: Projected climate for the 21<sup>st</sup> century[J]. Clim Dyn, 2000, 16: 427-450
- [8] Emon S, T Nozawa, A Abe-Ouchi et al. Coupled ocean-atmosphere model experiments of future climate change with an explicit representation of surface aerosol scattering[J]. J Meteor Soc Jap, 1999, 77: 1299-1307
- [9] Gordon H B, S P O' Farrell. Transient climate change in the CSIRO coupled model with dynamic sea ice[J]. Mon Wea Rev, 1997, 125: 875-907
- [10] Roeckner E, C Ropelewski, B Santer et al. Detection and attribution of recent climate change[J]. Bull Am Meteor Soc, 1999, 80: 2631-2659
- [11] Tett S F B, P A Stott, M R Allen et al. Causes of twentieth century temperature change[J]. Nature, 1999, 399: 569-572
- [12] Haywood J M, R J Stouffer, R T Wetherald et al. Transient response of a coupled model to estimated changes in greenhouse gas and sulfate concentrations[J]. Geophys Res Lett, 1997, 24: 1335-1338
- [13] Mitchell J F B, T J Johns, J M Gregory et al. Climate response to increasing level of greenhouse gases and sulphate aerosols[J]. Nature, 1995, 376: 501-504
- [14] Meehl G A, W M Washington, J M Arblaster et al. Anthropogenic forcing and climate system response in simulations of 20<sup>th</sup> and 21<sup>st</sup> century climate[J]. J Climate, 2000, 13(21): 3728-3744
- [15] 赵宗慈, 丁一汇, 徐影等. 人类活动对 20 世纪中国西北地区气候变化影响检测和 21 世纪预测[J]. 气候与环境研究, 2003, 8(1): 26-34

## Climatic Change over Qinghai and Xizang in 21<sup>st</sup> Century

XU Ying<sup>1</sup>, DING Yi-hui<sup>1</sup>, LI Dong-liang<sup>2</sup>

(1. *National Climate Center, China Administration of Meteorology, Beijing 100081, China*; 2. *Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China*)

**Abstract:** Scenario of surface air temperature (Ts) and precipitation (Pr) changes in Qinghai and Xizang due to effects of human activities in 21<sup>st</sup> century was studied based on the simulations of seven atmosphere-ocean coupled models (AOGCMs) (CCC, CCSR, CSIRO, DKRZ, GFDL, HADL, NCAR). The simulated results showed that the warming air temperature is more obvious in Qinghai and Xizang than whole China by both increasing of greenhouse gases (GG) and increasing of greenhouse gases plus sulfate aerosol (GS). The warming range is 2.8 ~ 3.0 °C along Qinghai-Xizang railway stations in middle of 21<sup>st</sup> century, and 3.8 ~ 4.8 °C in the end of 21<sup>st</sup> century. The increasing of minimum temperature in the winter and maximum temperature in the summer is more than annual mean temperature. The precipitation will increase in the 21<sup>st</sup> century.

**Key words:** Human activities; Qinghai and Xizang; Climatic change