

# 观测资料中大西洋和青藏高原东部地区冷暖波动的同步性

李响, 史珍, 张蕴斐, 渠鸿宇

(国家海洋环境预报中心 海洋灾害预报技术研究重点实验室, 北京 100081)

**摘要:** 利用观测及模式模拟研究了大西洋多年代际振荡(AMO)对青藏高原(TP)夏季气温的影响。观测资料的分析表明:大西洋多年代际振荡(AMO)是TP夏季气温年代际变化的重要远程驱动因子。AMO与TP东部地区夏季气温存在显著的同步变化关系并且TP气温的年代际变率可以在很大程度上由AMO所解释。基于观测和大气环流模型(AGCM)模拟,进一步确定了从北大西洋到TP远程影响的物理机制。观测和AGCM模拟都表明:AMO暖位相会引起海平面气压在大西洋-欧亚大陆地区形成纬向偶极子型,导致TP局地气压异常升高和异常的下沉运动,进一步引起TP东部地区在夏季出现异常的干旱和高温。

**关键词:** 大西洋多年代际振荡;青藏高原;气温;增暖

**中图分类号:** P732.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2019)03-0001-08

## 1 引言

青藏高原(The Tibetan Plateau, TP)是世界上海拔最高,面积最大的高原。它的面积约为 $2.5 \times 10^6 \text{ km}^2$ ,其中海拔在4 000 m以上的超过了总面积的一半,因此青藏高原被称为世界的“第三极”<sup>[1-3]</sup>。

亚洲季风影响着世界上约四分之一的人口,而青藏高原能量收支与亚洲季风之间存在着密切的物理联系,因此吸引着越来越多的学者关注<sup>[4-5]</sup>。在地质年代尺度上,数值试验和地质代用指标表明:亚洲季风的形成与青藏高原的抬升有关<sup>[6-7]</sup>。20世纪70年代以来,从急流性质转换、南亚高压的形成,青藏高原上空气象观测的日变化和数值试验来看,青藏高原的热力强迫与亚洲季风的形成相联系<sup>[8-10]</sup>。青藏高原的热力强迫机制对于亚洲夏季风的爆发至关重要。其机制是通过对大气的辐射冷却和高原上空感热增加,分别推动青藏高原及其周围地区气温上升或下降<sup>[8-9,11]</sup>。最近有学者通过研究变暖对青藏高原的影响,提出了“感热驱动空气泵”的概念<sup>[12]</sup>。模拟结果表明:夏季地表变热会引起气柱辐合、上

升,从而影响局部气候和北半球环流<sup>[1]</sup>。此外,这些过程会造成夏季大气上层形成南亚高压,而高压可能导致中国出现“南涝北旱”的格局<sup>[13]</sup>。

青藏高原气候的形成主要受印度季风、东亚季风和西风带所控制<sup>[14-17]</sup>。在青藏高原气候的形成过程中,印度季风和西风带起主导作用,东亚季风居于次要地位<sup>[14]</sup>。印度季风和东亚季风主要影响夏季气候,西风带则影响冬季气候<sup>[16]</sup>。青藏高原气候特点表现为气温低、日温差大、年温差小和太阳辐射强等<sup>[18]</sup>。就局地而言,青藏高原东南部气候温暖湿润,西北部寒冷干燥<sup>[19]</sup>,且有明显的雨季和旱季<sup>[20]</sup>。夏季气候潮湿,冬季阴冷干燥<sup>[21]</sup>。

20世纪后半叶对高海拔地区的观测表明:近期,这些地区对气候变化比较敏感<sup>[22-25]</sup>。这些地区比地表其他地区变暖速度更快,日最低温的上升幅度要大于最高温<sup>[22]</sup>。此外,在这些山地地区,地表变暖速度与海拔高度有关,即较高海拔地区的升温速率更快<sup>[22,25]</sup>。模拟研究结果表明,积雪反照率是导致不同山区地表温度变化最重要的因素<sup>[24,26]</sup>。

近几十年,在青藏高原上观测到了一种快速且

收稿日期: 2018-10-31; 修回日期: 2018-12-30。

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC1401408, 2017YFA0604203); 全球变化与海气相互作用专项(GASI-IPOVAI-06)。

作者简介: 李响(1986—),男,助理研究员,博士,从事台风机理研究、海气相互作用研究及耦合模式开发及业务化研究。E-mail:lixang@nmefc.cn

长期的变暖趋势,这种趋势可归因于人为温室气体强迫的增加和冰雪反照率的反馈作用<sup>[25,27-28]</sup>。青藏高原的快速升温可以极大地改变水循环,且这一过程有可能是不可逆的。变暖趋势的上升会使冬春季节积雪减少,从而导致水流量发生季节性的变化,一般是夏季流量减少。这些水文变化会对山区和下游地区人类生活和生态系统产生较大的环境影响。除了季节性河流流量的变化外,由于高海拔地区变暖导致的蒸发量的增加还有可能导致夏季植被干枯变多<sup>[7]</sup>。最近对青藏高原变暖原因的研究主要集中在人为强迫方面,然而,在年际到世纪时间尺度上,人类活动强迫和自然变率的相对贡献仍有待研究。

特别是,北大西洋海盆尺度的 SST (Sea Surface Temperature) 表现出以空间一致的 SST 异常为特征的变率<sup>[29]</sup>。这种变率被称为大西洋年代际振荡 (Atlantic Multidecadal Oscillation, AMO), 它表现为周期 50~70 a 的暖位相和冷位相之间的来回振荡<sup>[30,31]</sup>。与 AMO 有关的持续性海盆尺度的海温异常对周围大陆气候有显著的影响。AMO 与美国和欧洲地区的年代际气候变率有关<sup>[29,32-33]</sup>。AMO 还将其影响扩展到整个欧亚大陆,包括西伯利亚和东亚地区<sup>[31,34-36]</sup>。AMO 不仅对陆地,而且对海洋都有显著的气候影响。最近的研究表明,AMO 在大西洋和印太之间的年代际海盆相互作用中起着重要作用<sup>[36-38]</sup>。然而,目前为止,并没有研究表明青藏高原气候年代际变率和 AMO 有关,而且在年代际时间尺度上,AMO 能否影响青藏高原地表温度也尚无定论。但这一问题对认识青藏高原年代际气候变率非常重要,而且有可能据此预测该地气候年代际变率。

在这篇文章中,我们利用了多套大气与海洋数据来探讨 AMO 和青藏高原夏季地表气温之间的关系,采用了相关分析方法研究二者之间的时空特征。此外,利用 SST 强迫的大气环流模式 (Atmospheric General Circulation Model, AGCM) 结果结合大气动力学原理探究了其潜在的物理机制。

## 2 观测资料、方法和数值试验

本研究的 SST 观测数据来自 HadISST,选取的

时间范围为 1900—2013 年<sup>[39]</sup>,以及 NASA GISS<sup>[40]</sup> (GISSTEMP) 两组 LSAT 观测数据和 Delaware 大学 3.01 版数据<sup>[41]</sup>。由于 1900 年之前地面观测的不确定性较大,数据精确度较小,因此我们的分析仅限于 1900 年后的数据 (1900—2013 年)。我们用最小二乘法去除了变量的长期线性趋势,以去除世纪尺度从而更好的突出年代际到多年代际的变率信号。在观测和模式模拟中,定义 AMO 指数为北大西洋地区 (0°~60°N, 80°W~0°) 海温异常的面积加权平均值。1901—2012 年期间观测到的月平均海平面气压 (Sea Level Pressure, SLP) 来自欧洲中长期天气预报中心的 20 世纪再分析资料集 (ERA-20C)<sup>[42]</sup>。

因为本研究的重点是年代际时间尺度,所以在大多数分析中使用了 11 a 的滑动平均滤波,对数据进行了平滑处理。年代际滤波的时间序列是自相关的,从而减少了有效的独立样本量。线性回归系数的显著性和两个自相关时间序列之间的相关性,通过利用有效自由度<sup>[43]</sup>来进行双尾学生 *t* 检验。以下为 Neff 的有效自由度公式:

$$\frac{1}{N^{eff}} \approx \frac{1}{N} + \frac{2}{N} \sum_{j=1}^N \frac{N-j}{N} \rho_{xx}(j) \rho_{yy}(j), \quad (1)$$

式中: *N* 是样本的大小,  $\rho_{xx}(j)$  和  $\rho_{yy}(j)$  为在滞后时间为 *j* 时,两个时间序列 *X* 和 *Y* 的自相关。

我们使用 SST 强迫的大气环流模式 (SST forced AGCM) 来研究大西洋 SST 对全球大气环流强迫的影响。为了研究这一影响,我们所用到的大气模拟试验是由 ERA-20CM 资料集所提供的。该模拟是基于欧洲中心集合预报系统 (Integrated Forecast System, IFS) 模式的类 AMIP 型试验,其包含 10 个集合成员,模式的积分时间段为 1899—2010 年。IFS 模式水平方向采用 T159 谱分辨率,垂直方向包括 91 层。10 个集合成员通过对边界海温 HadISST2.1 和海冰添加扰动来生成,模拟的 10 个集合成员采用一样的辐射强迫,该辐射强迫由 CMIP5 所提供<sup>[44]</sup>。在下文中,基于 ERA-20CM 资料集的结果也称之为 SST 强迫的 AGCM 集合模拟。

## 3 结果

图 1 a 显示的是根据 HadISST SST 数据和 Udel 地表气温数据得出的 1900—2013 年期间 AMO 和青

藏高原夏季地表气温(The Tibetan Plateau Summer Temperature, TPST)指数的标准化时间序列。TPST指数被定义为青藏高原( $25^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$ ,  $74^{\circ}\sim 104^{\circ}\text{E}$ )暖季降水异常的面积加权平均值。如图1 a所示:在年代际尺度上,AMO波动与TPST波动吻合度很高。由图可见,过去一百多年观测到的TP夏季气温变化表现为除了长期增暖特征外还存在着年代际的“暖-冷-暖”的变化格局,与此同时,北大西洋海温AMO序列也呈现出类似的变化格局。根据1900—2013年间未滤波( $r=0.59$ )和11 a滑动平均数据来看,AMO和TPST指数在零滞后时相关系数较高,且在95%的置信水平上显著。此外,在选择其他滑动平均值时二者也存在显著的同时相关性。由于AMO指数和TPST指数在1900—2013年间都呈微弱的上升趋势(见图1 a),所以我们在去除线性趋势后重新检验了二者之间的关系(见图1 b)。结果表明:二者同相关性与线性趋势无关,去除趋势的AMO和TPST相关性仍很强(未滤波时 $r=0.52$ ,11年滑动平均时 $r=0.86$ ,两者在95%的置信水平上均显著)。此外,TPST指数的年代际变化在不同陆表气温数据

之间是一致的(见图1 c、d),这表明结果对数据的选择并不敏感。因此可以得出:在年代际时间尺度上,北大西洋海温上升(下降)与青藏高原异常偏暖(异常偏冷)密切相关。

我们进一步分析了AMO-TPST两者在年代际时间尺度上的空间模态。图2 a显示的是亚欧大陆11 a滑动平均后的AMO指数和夏季地表气温之间的相关图。尽管在青藏高原西南部分地区二者之间正相关值较小,但大部分地区的相关性还是很显著的,尤其是高原的东部地区,相关最大的地方系数接近0.9。另一方面,北大西洋热带外地区的SST与TPST指数(见图2 b)呈现出一种类似AMO的显著正值的海盆尺度的一致模态,从赤道到 $60^{\circ}\text{N}$ ,均表现为显著的正相关,最大相关系数超过0.9。空间相关的分析,不仅确认了AMO和TP气温在年代际尺度上的同步变化性,同时也给出了同步性的空间分布特征。在年代际时间尺度上,我们还对北大西洋夏季海温与欧亚大陆地表气温的交叉协方差矩阵进行了奇异值分解(Singular Value Decomposition, SVD)分析(图未在此显示)。主导SVD模态解

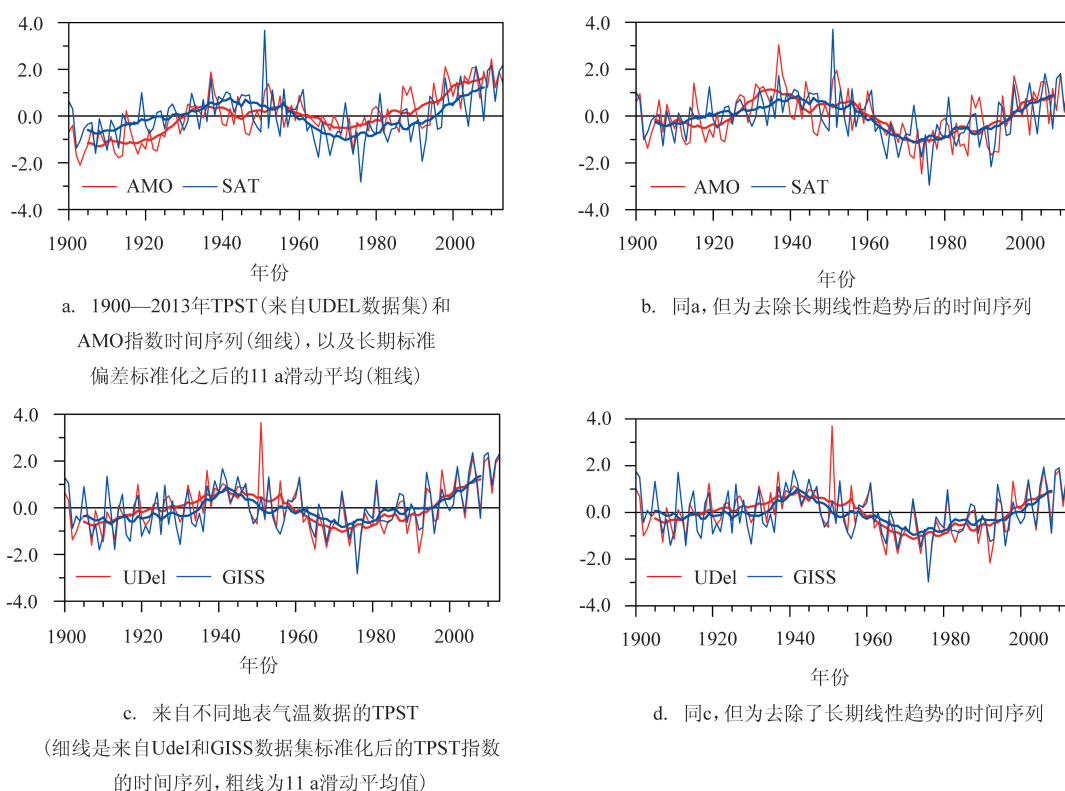


图1 观测 TPST 和 AMO 的时间序列



释了总方差的78%,与主导SVD模态相关的地表温度模态与图2a中的相关图有很大的相似性:在青藏高原的大部分地区具有显著的正相关关系,而SST模态也地显示在AMO上。因此这些结果可以进一步说明:AMO和青藏高原二者之间的关系密切且稳定。

我们利用观测数据和AGCM模拟(ERA-20CM)进一步研究了青藏高原夏季地表气温和AMO之间

的物理机制(详情见方法部分)。观测的海平面气压异常在AMO冷暖位相期间的差异如图3a所示。在南亚和东亚地区,SLP异常主要表现为横跨大西洋—欧亚大陆的东-西偶极子型:在南亚和东亚地区为正异常(反气旋式环流),北大西洋地区则主要为负异常(气旋式环流)。北大西洋低压异常的活动中心主要位于热带和副热带地区,异常值接近于-0.5 hPa,这与AMO暖海温导致的局地空气辐合

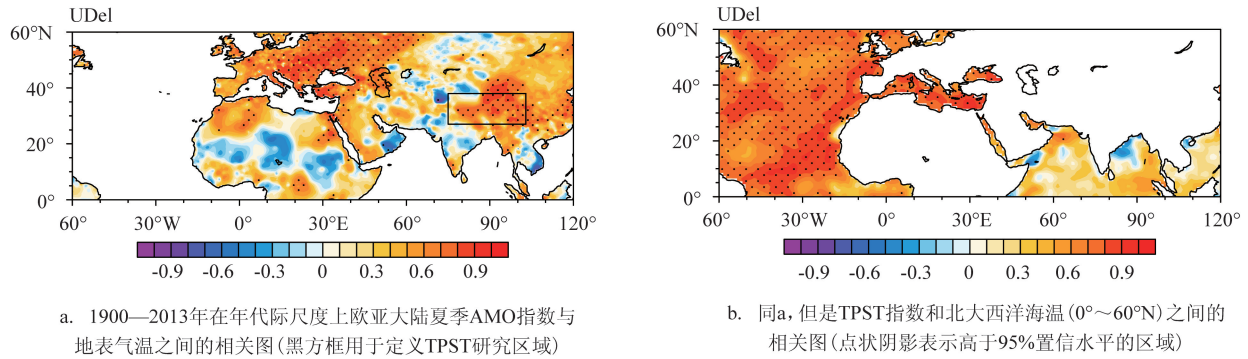


图2 年代际时间尺度上TPST与AMO的空间关系

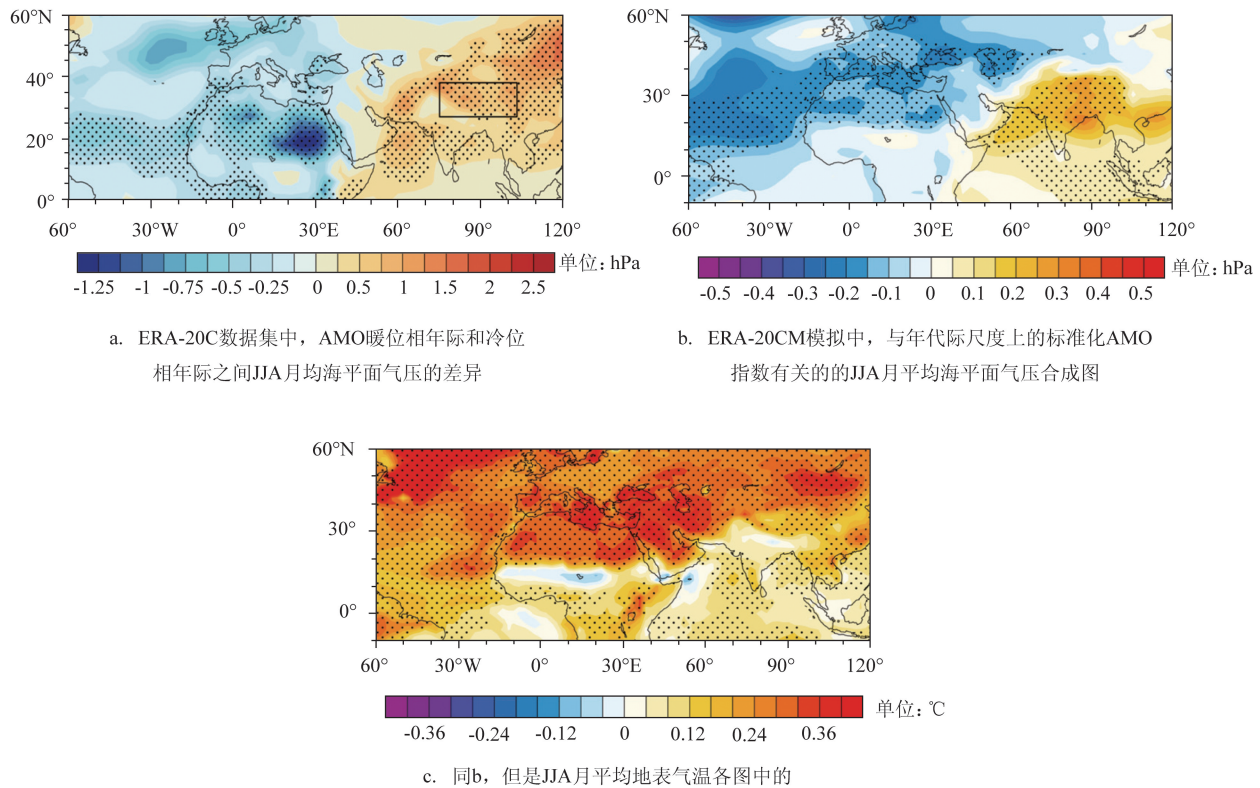


图3 海平面气压分析图(点状阴影表示高于90%置信水平的区域)

上升是存在明显的对应关系。欧亚大陆的高压异常主体位于我国境内,活动中心位于我国北方地区,但是在高原也是非常显著的,在AMO处于暖位相时,青藏高原出现了明显的高压异常,异常值接近于1 hPa。利用由观测的SST所强迫的AGCM试验(ERA-20CM)进一步模拟了夏季SLP和地面气温(Surface Air Temperature, SAT)对AMO强迫的响应,结果如图3 b和3 c所示。在AMO强迫作用下,模拟SLP异常与观测结果(见图3 a)基本一致,表现为纬向偶极子结构:在30°E以东有明显较高的SLP异常(异常值在-0.3 hPa附近),30°E以西有较低的SLP异常(异常值为0.3 hPa附近)。此外,尽管模拟的SLP异常在非洲西北部、阿拉伯半岛、欧洲和中国北部与观测的SLP异常有一定的差异且异常值的强度相对偏低一些,但在TP地区SLP异常主要的空间型态与观测结果依然是较为接近的。模拟值强度偏低可能与多集合成员的集合平均降低了SLP的变率有关。模拟的与暖位相AMO有关的SAT异常表现出欧亚大陆的大陆尺度的暖异常,这与观测到的暖异常是一致的(见图3 c),并且在TP尤其是TP的东部地区,地面气温暖异常十分显著。

与AMO有关的SLP异常的纬向偶极子空间型态对了解AMO对夏季青藏高原SAT的远程影响有重要意义。在AMO暖位相阶段,SLP场在北大西洋地区为异常低压,这应该是由该地区AMO暖位相SST异常产生的异常上升运动所致。相反,在AMO暖位相阶段,南亚和东亚盛行异常地面高压。北大西洋对下游大气环流远程影响的物理机制可以从以下方面来解释:北大西洋SST暖异常引起气流强烈的上升运动,低层辐合然后在高空辐散,继而高空大气向东运动然后在东亚和南亚高空辐合,导致该地区气流下沉和地表异常高压。

以往有模拟研究表明:热带大西洋SST海温冷暖异常会强迫出Gill型的大气环流响应(即向东传播的开尔文波和向西传播的罗斯贝波),其空间特征是热带大西洋上空低层为异常低压,高层为异常高压;南亚和印度洋上空高层为异常高压,低层为异常高压。Gill型响应可以解释赤道大西洋与印度季风之间在年际尺度上的遥相关<sup>[4]</sup>。我们这里的研究从观测和模拟结果都表明:在多年代际时间尺度上,SLP异常的纬向偶极子型是大气环流对大西洋

SST海温异常强迫的响应。这也进一步验证了Gill型响应在大西洋影响青藏高原SAT过程中起到了至关重要的作用。

事实上,与SLP异常的纬向偶极子相一致,在AMO的SST强迫作用下,模拟的大西洋-欧亚地区夏季降水也呈现偶极子型。AMO暖位相导致北大西洋及相邻大陆上升气流出现湿异常,而东亚和南亚部分地区包括青藏高原,下沉气流出现干异常。下沉气流对于SAT的响应至关重要,TP的SAT对AMO海温的暖异常响应可能是由气流下沉引起的干绝热增温引起的。另一方面,AMO暖位相期间,青藏高原的干异常可能会使入射太阳辐射增加,减少地表蒸散,通过陆-气反馈效应,进一步导致夏季SAT暖异常,通过陆-气反馈效应,进一步导致夏季SAT暖异常<sup>[45]</sup>。

尽管如此,本文主要探讨了大气环流在AMO-TP远程同步变化中的作用,一些其他过程,如热力学过程和植被的反馈作用,以及他们在AMO与青藏高原夏季SAT同步性中的潜在机制还需进一步研究。

虽然观测数据以及本研究中AGCM模拟所确定的SLP和SAT的变化证实了北大西洋SST与南亚上空SLP之间确实存在一定的联系,但它们只是有可能揭示了的动力机制。对北大西洋热源的Gill型动力响应需要做进一步的测试和验证。此外,大尺度大气环流响应与青藏高原地表温度之间的联系以及更为具体的反馈过程也有待深入研究。

## 4 结论和讨论

大西洋多年代际振荡是导致北半球(North Hemisphere, NH)气候自然波动的主要原因。我们的研究表明1963—1994年期间的AMO负相位可能部分抵消了温室气体强迫引起的青藏高原地区的变暖趋势,从而导致了TP在1963—1994年期间的异常冷夏。自20世纪90年代中期以来,AMO正位相放大了由于人类活动引起的欧亚大陆夏季变暖效应<sup>[15]</sup>。这也可以解释20世纪90年代以来观测到的青藏高原夏季前所未有的地表温度升高现象。因此,过去一百多年观测到的TP夏季气温变化表现为除了长期增暖特征外还存在着多年代际的“暖-

冷-暖”的变化格局,而这一变化格局可能与AMO自然波动与人类活动强迫的共同影响有关。虽然对90年代以来TP夏季SAT增暖的定量归因超出了本研究范围,但我们的研究表明,在预测未来青藏高原年代际温度变率时,仍需要同时考虑AMO位相变化和人类活动强迫这两个因子。

AMO与青藏高原SAT之间的遥相关得到了观测数据的统计分析以及AGCM模拟的验证。AMO暖位相引起大气环流的纬向偶极子响应,即在东南亚和青藏高原地区有异常的地面高压和大尺度沉降。这种异常的气流下沉运动导致空气变干和地表变暖。我们得出的结论是:青藏高原夏季地面气温的变化在很大程度上受AMO影响。研究结果表明,AMO对欧亚气候有广泛的影响。为了充分了解大西洋海温与欧亚地表温度之间的遥相关,并将这些信息纳入区域年代际预测,我们需要做进一步的研究。另外,不仅是青藏高原,我国北方地区与AMO信号均存在不同程度的同步变化,说明AMO信号对下游的影响并不局限与青藏高原地区,这在今后的研究中进一步深入探讨其中的机理,这对我国北方夏季热浪等极端天气气候事件也有重要的启示意义。已有的一些研究表明,目前的大西洋经圈翻转环流正处于减弱位相,这意味着在未来10~20 a,大西洋AMO海温有可能出现冷位相。如果AMO与TP气温的同步性依然维持,可以预见在未来10~20 a,大西洋的变冷可能会部分抵消由于人类活动引起的TP暖化。

## 参考文献

- [1] Li C L, Kang S C. Review of the studies on climate change since the last inter-glacial period on the Tibetan Plateau[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2006, 16(3): 337-345.
- [2] Yao T D, Thompson L G, Mosbrugger V, et al. Third pole environment (TPE)[J]. *Environmental Development*, 2012, 3: 52-64.
- [3] Chen H, Zhu Q, Peng C H, et al. The impacts of climate change and human activities on biogeochemical cycles on the Qinghai-Tibetan Plateau[J]. *Global Change Biology*, 2013, 19(10): 2940-2955.
- [4] Wang C Z, Kucharski F, Barimalala R, et al. Teleconnections of the tropical Atlantic to the tropical Indian and Pacific Oceans: a review of recent findings[J]. *Meteorologische Zeitschrift*, 2009, 18(4): 445-454.
- [5] Immerzeel W W, van Beek L P H, Bierkens M F P. Climate change will affect the Asian water towers[J]. *Science*, 2010, 328(5984): 1382-1385.
- [6] Kutzbach J E, Prell W L, Ruddiman W F. Sensitivity of Eurasian climate to surface uplift of the Tibetan Plateau[J]. *Journal of Geology*, 1993, 101(2): 177-190.
- [7] An Z S, Kutzbach J E, Prell W L, et al. Evolution of Asian monsoons and phased uplift of the Himalaya-Tibetan plateau since Late Miocene times[J]. *Nature*, 2001, 411(6833): 62-66.
- [8] Yanai M, Li C. Mechanism of heating and the boundary layer over the Tibetan Plateau[J]. *Monthly Weather Review*, 1994, 122(2): 305-323.
- [9] Ye D Z, Wu G X. The role of the heat source of the Tibetan Plateau in the general circulation[J]. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 1998, 67(1-4): 181-198.
- [10] Wu G X, Liu Y M, He B, et al. Thermal controls on the Asian summer monsoon[J]. *Scientific Reports*, 2012, 2: 404.
- [11] He H Y, Mcginnis J W, Song Z S, et al. Onset of the Asian summer monsoon in 1979 and the effect of the Tibetan Plateau[J]. *Monthly Weather Review*, 1987, 115(9): 1966-1995.
- [12] Wu G X, Liu Y M, Zhang Q, et al. The influence of mechanical and thermal forcing by the Tibetan Plateau on Asian Climate[J]. *Journal of Hydrometeorology*, 2007, 8(4): 770-789.
- [13] Duan A M, Wang M R, Lei Y H, et al. Trends in summer rainfall over China associated with the Tibetan Plateau sensible heat source during 1980-2008[J]. *Journal of Climate*, 2013, 26(1): 261-275.
- [14] Yao T D, Thompson L, Yang W, et al. Different glacier status with atmospheric circulations in Tibetan Plateau and surroundings[J]. *Nature Climate Change*, 2012, 2(9): 663-667.
- [15] Yao T D, Masson-Delmotte V, Gao J, et al. A review of climatic controls on  $\delta^{18}\text{O}$  in precipitation over the Tibetan Plateau: observations and simulations[J]. *Reviews of Geophysics*, 2013, 51(4): 525-548.
- [16] Yang K, Wu H, Qin J, et al. Recent climate changes over the Tibetan Plateau and their impacts on energy and water cycle: a review[J]. *Global and Planetary Change*, 2014, 112: 79-91.
- [17] You Q L, Min J Z, Lin H B, et al. Observed climatology and trend in relative humidity in the central and eastern Tibetan Plateau[J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2015, 120(9): 3610-3621.
- [18] Xie H, Zhu X. Reference evapotranspiration trends and their sensitivity to climatic change on the Tibetan Plateau (1970-2009) [J]. *Hydrological Processes*, 2013, 27(25): 3685-3693.
- [19] Yin Y H, Wu S H, Zhao D S, et al. Modeled effects of climate change on actual evapotranspiration in different eco-geographical regions in the Tibetan Plateau[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2013, 23(2): 195-207.
- [20] Stewart M. Scientific reports[J]. *Wilderness & Environmental Medicine*, 2014, 25(3): 353.
- [21] Xu Z X, Gong T L, Li J Y. Decadal trend of climate in the Tibetan



- Plateau—regional temperature and precipitation[J]. *Hydrological Processes*, 2008, 22(16): 3056-3065.
- [22] Diaz H F, Bradley R S. Temperature variations during the last century at high elevation sites[J]. *Climatic Change*, 1997, 36(3-4): 253-279.
- [23] Beniston M. Climatic change in mountain regions: a review of possible impacts[J]. *Climatic Change*, 2003, 59(1-2): 5-31.
- [24] Giorgi F, Hurrell J W, Marinucci M R, et al. Elevation dependency of the surface climate change signal: a model study[J]. *Journal of Climate*, 1997, 10(2): 288-296.
- [25] Liu X D, Chen B D. Climatic warming in the Tibetan plateau during recent decades[J]. *International Journal of Climatology*, 2000, 20(14): 1729-1742.
- [26] Chen B, Chao W C, Liu X. Enhanced climatic warming in the Tibetan Plateau due to doubling CO<sub>2</sub>: a model study[J]. *Climate Dynamics*, 2003, 20(4): 433.
- [27] Pepin N C, Lundquist J D. Temperature trends at high elevations: patterns across the globe[J]. *Geophysical Research Letters*, 2008, 35(14): L14701.
- [28] An W L, Hou S G, Zhang W B, et al. Possible recent warming hiatus on the northwestern Tibetan Plateau derived from ice core records[J]. *Scientific Reports*, 2016, 6: 32813.
- [29] Enfield D B, Mestas-Núñez A M, Trimble P J. The Atlantic Multidecadal Oscillation and its relation to rainfall and river flows in the continental U.S.[J]. *Geophysical Research Letters*, 2001, 28(10): 2077-2080.
- [30] Schlesinger M E, Ramankutty N. An oscillation in the global climate system of period 65-70 years[J]. *Nature*, 1994, 367(6465): 723-726.
- [31] Sun C, Li J P, Zhao S. Remote influence of Atlantic multidecadal variability on Siberian warm season precipitation[J]. *Scientific Reports*, 2015, 5: 16853.
- [32] Sutton R T, Hodson D L. Atlantic Ocean forcing of North American and European summer climate[J]. *Science*, 2005, 309(5731): 115-118.
- [33] Nigam S, Guan B, Ruiz-Barradas A. Key role of the Atlantic Multidecadal oscillation in 20th century drought and wet periods over the Great Plains[J]. *Geophysical Research Letters*, 2011, 38(16): L16713.
- [34] Lu R Y, Dong B W, Ding H. Impact of the Atlantic Multidecadal Oscillation on the Asian summer monsoon[J]. *Geophysical Research Letters*, 2006, 33(24): L24701.
- [35] Li S L, Bates G T. Influence of the Atlantic Multidecadal Oscillation on the winter climate of East China[J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2007, 24(1): 126-135.
- [36] Sun C, Kucharski F, Li J P, et al. Western tropical Pacific multidecadal variability forced by the Atlantic multidecadal oscillation[J]. *Nature Communications*, 2017, 8: 15998.
- [37] Zhang R, Delworth T L, Held I M. Can the Atlantic Ocean drive the observed multidecadal variability in Northern Hemisphere mean temperature?[J]. *Geophysical Research Letters*, 2007, 34(2): L02709.
- [38] Kucharski F, Syed F S, Burhan A, et al. Tropical Atlantic influence on Pacific variability and mean state in the twentieth century in observations and CMIP5[J]. *Climate Dynamics*, 2015, 44(3-4): 881-896.
- [39] Rayner N A, Parker D E, Horton E B, et al. Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century[J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2003, 108(D14): 4407.
- [40] Hansen J, Ruedy R, Sato M, et al. Global surface temperature change[J]. *Reviews of Geophysics*, 2010, 48(4): RG4004.
- [41] Willmott C, Matsuura K. Terrestrial air temperature and precipitation: monthly and annual climatologies (version 3.02) [M]. Center for Climatic Research, Department of Geography, University of Delaware, 2001.
- [42] Poli P, Hersbach H, Dee D P, et al. ERA-20C: an atmospheric reanalysis of the twentieth century[J]. *Journal of Climate*, 2016, 29(11): 4083-4097, doi: 10.1175/JCLI-D-15-0556.1.
- [43] Li J P, Sun C, Jin F F. NAO implicated as a predictor of Northern Hemisphere mean temperature multidecadal variability[J]. *Geophysical Research Letters*, 2013, 40(20): 5497-5502.
- [44] Hersbach H, Peubey C, Simmons A, et al. ERA-20CM: a twentieth-century atmospheric model ensemble[J]. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 2015, 141(691): 2350-2375, doi: 10.1002/qj.2528.
- [45] Trenberth K E, Shea D J. Relationships between precipitation and surface temperature[J]. *Geophysical Research Letters*, 2005, 32(14): L14703.

## Observed coherence between Atlantic and eastern Tibetan Plateau surface temperature variations

LI Xiang, SHI Zhen, ZHANG Yun-fei, QU Hong-yu

*(National Marine Environmental Forecasting Center, Key Laboratory of Research on Marine forecasting, Beijing 100081 China)*

**Abstract:** In this paper, the effects of Atlantic Multi-decadal Oscillation (AMO) on summer temperature over the Tibet Plateau (TP) are studied using observation and model simulations. Using the observation data, we find that the AMO is an important remote driving factor for decadal variation of summer temperature over TP. The decadal variability of summer temperature over TP can mainly be explained by AMO. Based on observation and atmospheric circulation model (AGCM) simulation, the physical mechanism of the remote impact from the North Atlantic to TP is further determined. Both observation and simulation show that the AMO warm phase causes the formation of zonal dipole pattern of sea level pressure in the Atlantic-Eurasian region, which leads to the anomaly increase of local pressure and descending motion of TP, and further causes the anomaly drought and high temperature in summer in the TP. Our findings emphasize that the AMO plays a key role in the decadal temperature variability of TP.

**Key words:** Atlantic Multi-decadal Oscillation; Tibet Plateau; air temperature; warming