

项目主要成果之三：

探讨了平流层和对流层大气化学-辐射-动力耦合特征及其对对流层天气气候的影响。

南极平流层臭氧损耗对南半球对流层气候有着显著影响,最近的研究进一步表明,北极平流层臭氧(ASO)的变化也可以影响到北半球对流层中高纬地区的气候。我们的研究结果表明 ASO 的影响可以延伸到热带,并且 ASO 的变化超前 ENSO 事件约 20 个月。通过资料诊断和数值模拟,我们通过联系高纬平流层和对流层热带外到热带的遥相关模态建立了 ASO 与 ENSO 之间的关系。即 ASO 引起的辐射异常会影响到北太平洋涛动(NPO),异常的北太平洋涛动和 ASO 诱导的维多利亚模态通过北太平洋环流进而影响到 ENSO。我们的结果也表明在气候系统模式中加入 ASO 的变化可能有助于提高 ENSO 的预测水平。详细的研究结果 2016 年发表在《Environmental Research Letters》。

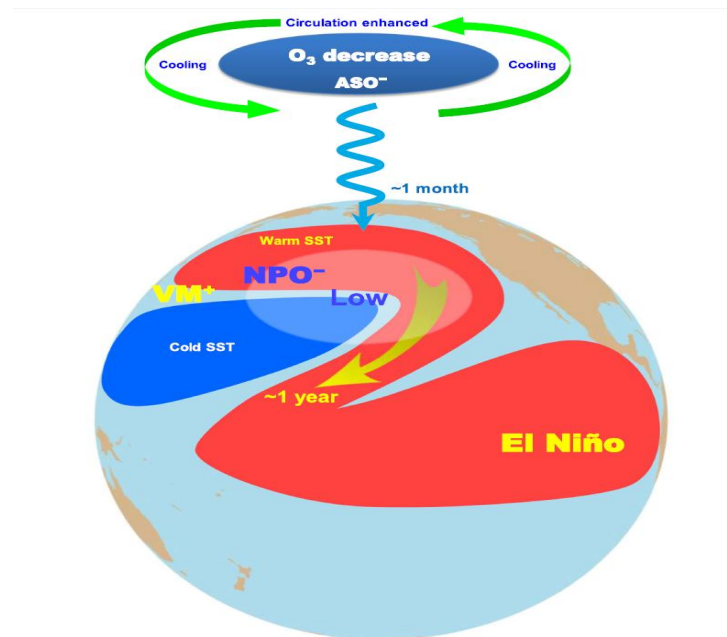


图 1.建立 ASO 跟 ENSO 之间联系的两个过程：高纬平流层到对流层路径（亮蓝色的波状箭头）和热带外到热带的遥相关（黄色的曲线箭头）。ASO-：北极平流层臭氧减少；NPO-：

北太平洋负位相；VM+：正维多利亚模态位相。

利用全球化学气候模式 WACCM3 设计数值试验，探讨了平流层臭氧损耗（1980-2000 年）和预期的恢复（2000-2020 年）对全球 12 月、1 月和 2 月波传播的影响。在南半球，平流层臭氧损耗导致南极平流层温度降低，环流加强，而臭氧的恢复则导致相反的结果。但在北半球，平流层臭氧损耗和恢复对极地平流层的影响并不是完全相反的。平流层臭氧损耗引起极地平流层弱的变冷以及极涡的减弱，而平流层臭氧恢复造成极地平流层显著的变冷以及极涡加强，其原因主要是由平流层臭氧增加对波活动的动力影响所致。详细的研究结果 2015 年发表在《Journal of Geophysical Research》。

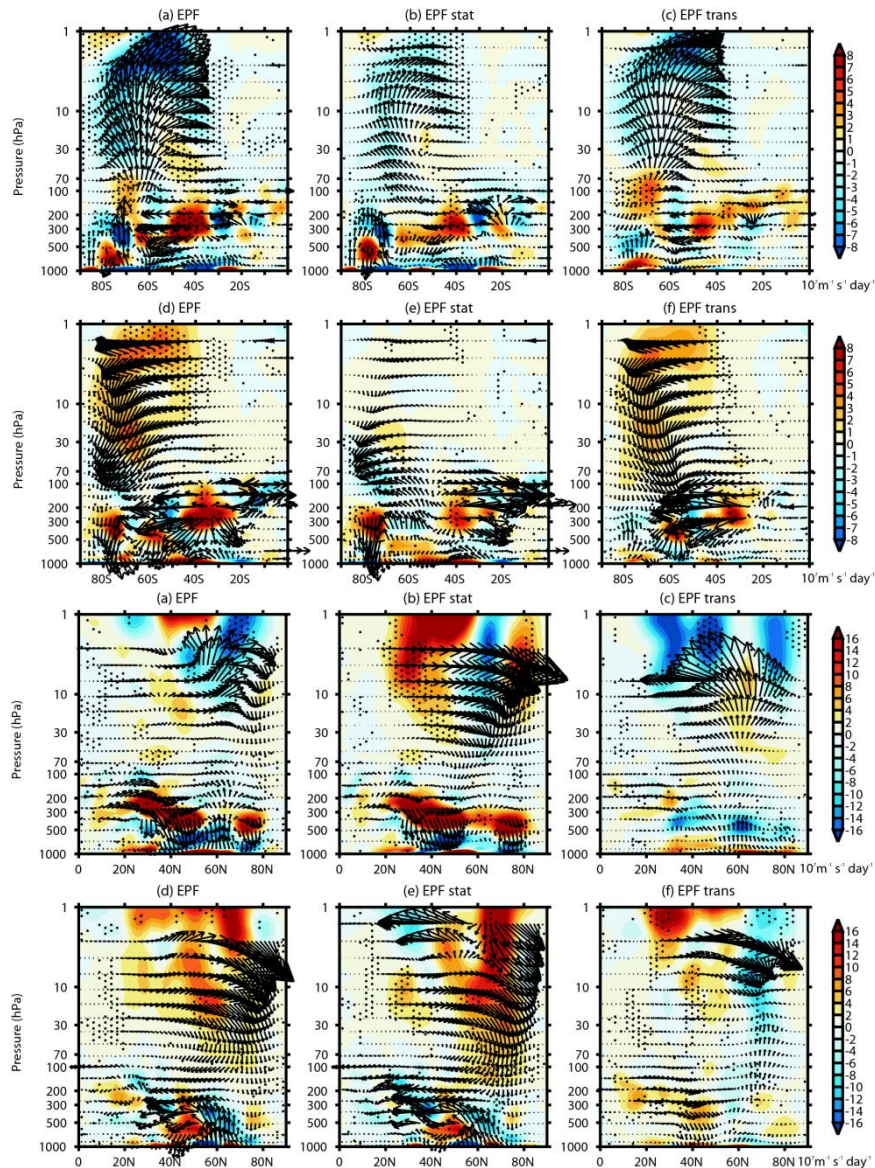


图2.南半球 (一、二行) 和北半球 (三、四行) DJF平均的EP通量矢量 (箭头, 单位 : kg s^{-2}) 和EP通量散度(填充色)的变化。(a-c)OZONE2000和REF1980 (d-f)OZONE2020和REF2000。(左列) 所有波, (中列) 定常波, 和 (右列) 瞬变波EP通量及散度的差值。EP通量单位水平分量和垂直分量分别是 10^9 kg s^{-2} 和 10^7 kg s^{-2} 。点填充区域代表通过90%的显著性检验。

利用多种观测资料和数值试验,我们发现过去三十年二月北极平流层极涡偏向欧亚大陆而偏离北美大陆。极涡的移动主要是由北极地区特别是巴伦支海-喀拉海海冰减少引起的行星1波增强造成的。另外,欧亚大陆的积雪增加也可能会

进一步加剧极涡的偏移。分析还指出极涡偏移导致欧亚大陆和北美大陆部分地区温度降低，部分抵消了过去三十年这些地区的对流层增暖效应。为了更好地理解未来气候的变化，由海冰持续减少引起的极涡偏移现象及其带来的气候影响值得进一步关注。详细的研究结果 2016 年发表在《Nature Climate Change》。

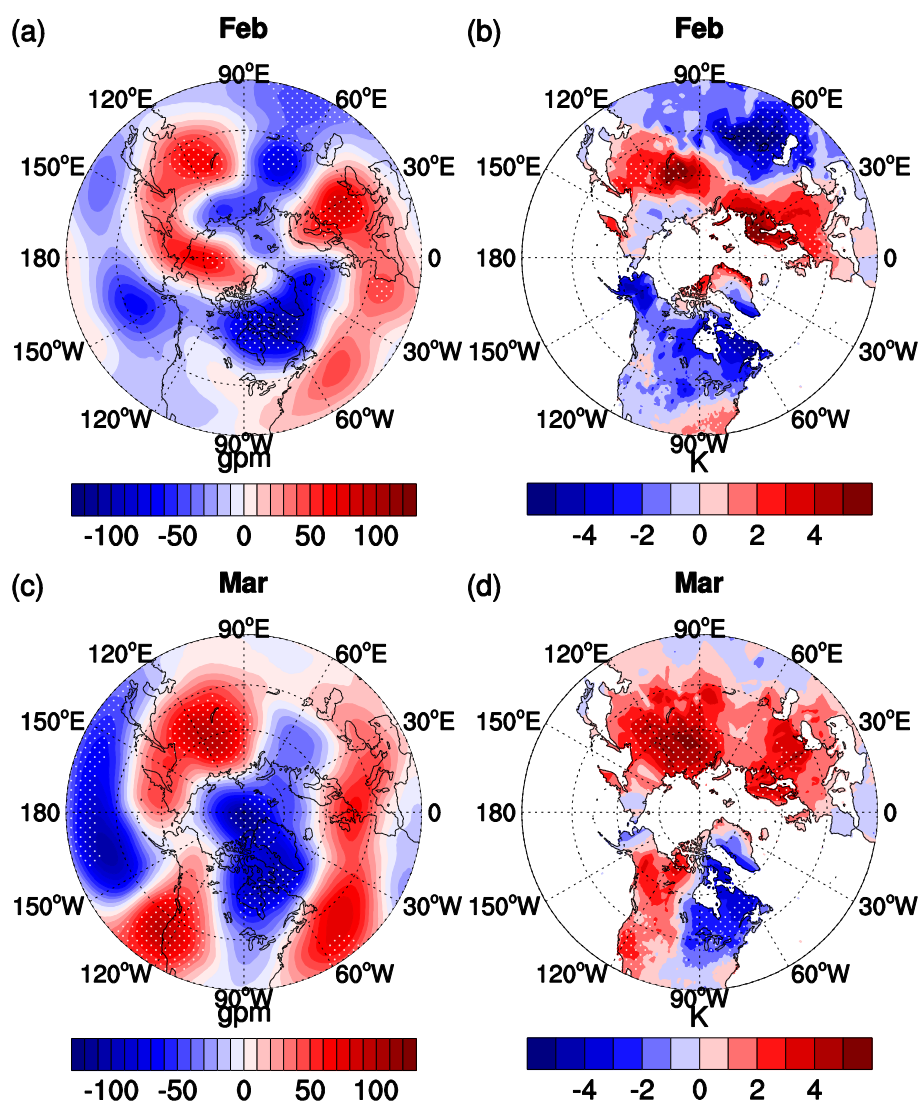


图3.高、低极涡偏移指数下2、3月份 (a、c) 500 hPa位势高度场和 (b、d) 地表温度合成差值。图中打点区域表示合成差值超过90 %显著性的区域。

该研究成果已引起了国际国内多家媒体的积极报道，包括《华盛顿邮报》、《科学美国人》、澳洲科技网和著名气象网站 weather.com 等数家国际国内媒体，其中部分网站链接如下：

科学美国人：

<https://www.scientificamerican.com/article/dreaded-polar-vortex-may-be-shifting/>

weather 天气网站：

<https://weather.com/science/weather-explainers/news/polar-vortex-shifting-away-from-north-america-climate>

华盛顿邮报：

https://www.washingtonpost.com/news/capital-weather-gang/wp/2016/10/31/polar-vortex-shifting-due-to-climate-change-extending-winter-study-finds/?utm_term=.ee0c418fc033

澳洲科技网：

<http://www.sciencealert.com/satellite-data-shows-the-polar-vortex-is-shifting>

利用 NCEP/NCAR 再分析资料研究了热带平流层准两年振荡(QBO)影响热带对流层顶及深对流活动的基本特征及可能的物理机制。研究发现，QBO 对对流层顶和大气射出长波辐射(OLR) 的影响存在明显的季节和空间上的差异。QBO 对对流层顶和 OLR 的影响在冬、秋季最大，春、夏季相对较弱。与 QBO 造成的对流层顶高度和温度异常所不同是，QBO 造成的 OLR 异常并没有呈现出一样的沿热带的带状分布特征，OLR 异常沿赤道区域有正有负。另外，QBO 对 OLR 的影响主要在热带对流活跃区域，QBO 东风位相下的对流活动要强于 QBO 西风位相下的对流活动。进一步研究发现 QBO 对对流层顶的影响主要是与 QBO 风切变的异常有关，QBO 影响热带深对流活动进而影响对流层顶温度的作用是次要的；QBO 不仅通过调节对流层顶高度和温度影响热带的深对流活动，还可以通过调节对流层的静力稳定度、CAPE 来影响热带地区深对流活动。详细的研

究结果 2015 年发表在《地球科学进展》。

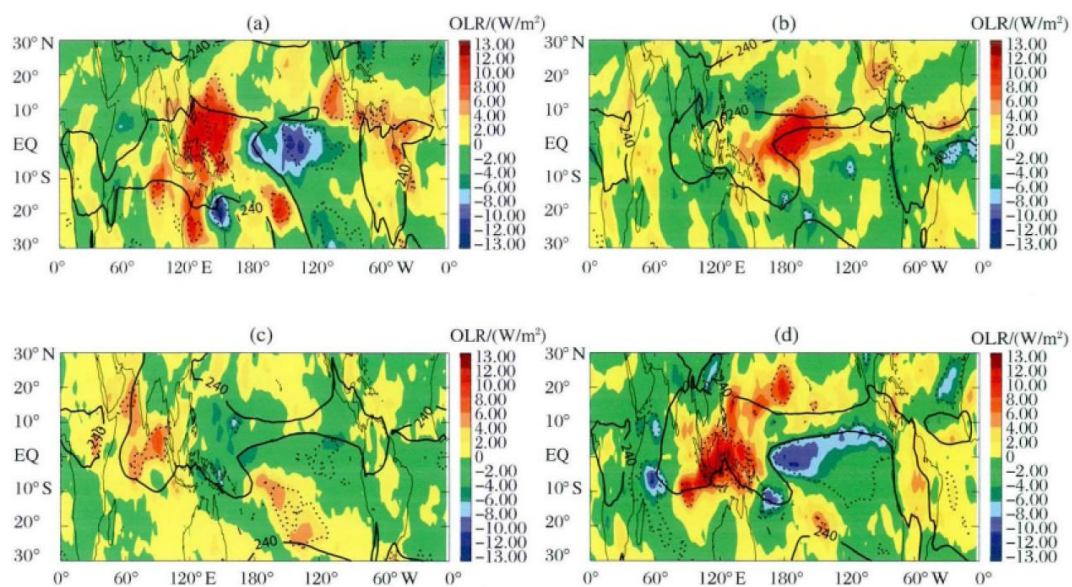


图 4.不同季节 QBO 西风位相下 OLR 与 QBO 东风位相下 OLR 的差值分布。(a) 冬季 ,(b)

春季 ,(c) 夏季 ,(d) 秋季; 黑色实线内表示常年对流区域(OLR 的季节平均值小于 240

W/m^2) , 虚线区域表示 OLR 差值通过了 95% 的 Student-t 显著性检验。