

林霄沛,许丽晓,李建平,等. 全球变暖“停滞”现象辨识与机理研究[J]. 地球科学进展, 2016, 31(10): 995-1 000, doi: 10. 11867/j. issn. 1001-8166. 2016. 10. 0995. [Lin Xiaopei, Xu Lixiao, Li Jianping, et al. Research on the global warming Hiatus[J]. Advances in Earth Science, 2016, 31(10): 995-1 000, doi: 10. 11867/j. issn. 1001-8166. 2016. 10. 0995.]

全球变暖“停滞”现象辨识与机理研究*

林霄沛¹, 许丽晓^{1*}, 李建平², 罗德海³, 刘海龙⁴

- (1. 中国海洋大学物理海洋教育部重点实验室, 青岛海洋科学与技术国家实验室, 山东 青岛 266100;
2. 北京师范大学全球变化与地球系统科学研究院, 北京 100875; 3. 中国科学院大气物理研究所东亚区域气候—环境重点实验室, 北京 100029; 4. 上海交通大学海洋研究院, 上海 200240)

摘要:观测表明全球温室气体浓度持续快速增加,但21世纪以来全球表面平均温度升高有减缓趋势,呈现变暖“停滞”现象,这对已有的全球变暖认识带来挑战。围绕“变暖‘停滞’机理及其可预测性”这一国际前沿科学问题,国家重点研发计划“全球变暖‘停滞’现象辨识与机理研究”主要研究内容有:①辨识变暖“停滞”的时空特征,阐明外部强迫和内部自然变率的相对贡献;②阐明全球变暖停滞背景下,大气在气候系统能量热量再分配过程中的作用及机理;③阐明全球变暖“停滞”背景下,海洋动力热力过程对能量热量再分配的调制机理;④探讨全球变暖“停滞”现象的可预测性,对其未来变化及重要区域气候影响进行预测预估。以期通过变暖“停滞”研究回答人们所关心的目前变暖停滞现象未来发展及其对我国及周边的“一带一路”核心区和南北极重要区域的影响,为我国未来气候政策的制定提供科学依据,为国家参与全球气候治理及国际气候谈判提供科学支撑。

关键词:全球变暖“停滞”;年代际—多年代际变化;海洋大气能量热量再分配;可预测性

中图分类号:P467 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-8166(2016)10-0995-06

1 引言

21世纪以来,温室气体浓度持续快速增加,但全球表面增温却有减缓趋势,呈现变暖“停滞”(Hiatus)现象。变暖“停滞”现象的辨识及其机理研究已成为国际前沿热点,对国家应对气候变化有重要科学和现实意义。近年来我国也对变暖“停滞”现象开展了一系列研究,特别是由中国海洋大学牵头,北京师范大学、中国科学院大气物理研究所、上海交通大学、北京大学和南京信息工程大学等单位共同联合申请的国家重点研发计划项目“全球变暖‘停滞’现象辨识与机理研究”于2016年7月正式立项。

变暖“停滞”现象体现了气候系统中能量—热量再分配的复杂过程和显著时空差异,而海洋—大气动力热力过程如何影响能量—热量的输运与分配尚不清楚。初步研究表明气候系统外部强迫和内部自然变率导致的年代际—多年代际变化可在一定时期加强或减弱全球升温趋势,但二者如何相互作用及其相对贡献亟待深入研究,同时理解与上述年代际—多年代际变化有关的区域海气模态形成机制是预测变暖“停滞”未来发展的关键。

本项目旨在分辨变暖“停滞”的时—空特征,阐明年代际—多年代际变化模态的作用,定量估计外部强迫和自然变率的相对贡献;揭示变暖“停滞”期

* 收稿日期:2016-08-01;修回日期:2016-09-08.

* 基金项目:国家重点研发计划项目“全球变暖‘停滞’现象辨识与机理研究”(编号:2016YFA0601800)资助.

作者简介:林霄沛(1976-),男,山东青岛人,教授,主要从事海洋环流动力学研究. E-mail:linxiaop@ouc.edu.cn

* 通信作者:许丽晓(1985-),女,山东莱芜人,讲师,主要从事海洋—大气相互作用研究. E-mail:lxu@ouc.edu.cn

间热带—热带外、跨海盆—大陆的遥相关过程及多尺度海气相互作用对大气系统能量、热量运输的影响,定量估计海洋绝热、半绝热及非绝热过程对海洋中垂向能量热量再分配的贡献,阐明变暖停滞的物理机制;开展变暖“停滞”的可预测性研究及区域气候响应预估。

对气候变暖“停滞”的机制研究,有助于我们深入理解气候变暖“停滞”带来的区域性特征及气候响应,提高对与经济生活相关的强降水、台风、热浪等极端气候灾害的预估能力,对我国乃至周边国家都有重要的社会效益。研究成果有助于解决目前气候变化研究中的难点,将极大推动我国在该领域的研究实力和国际话语权,对制定未来气候变化政策和应对战略具有重要的科学意义。

2 国内外研究现状和发展趋势

全球气候变暖“停滞”现象是指自 20 世纪末(1998 年)以来,在人类活动导致温室气体加速排放的背景下,气候系统增暖的趋势减缓^[1]。这一现象已成为当今国际气候科学研究的一个焦点问题,受到广泛关注,同时也引起了科学争议。比如, Karl 等^[2]指出 21 世纪初 Hiatus 现象可能是由资料问题所致; Cowtan 等^[3]亦指出先前的全球平均表面温度计算中没有考虑北极地区的温度变化; Lewandowsky 等^[4]指出 Hiatus 是在长期变暖背景下增暖速率的正常起伏。尽管对 Hiatus 仍有争议,但 Hiatus 并不是指气候变暖停止。学界主要认为自然变率和外部强迫(如火山爆发和太阳辐射变化等)的年代际变化叠加在人类活动上会导致增暖趋势不均匀,出现加速或减缓的现象^[5]。Schmidt 等^[6]指出火山活动和太阳引起的辐射变化与自然变率中的厄尔尼诺现象演化的叠加可能是造成 Hiatus 的原因,其中火山对年代际对流层温度变化的贡献由 Santer 等^[7]详细介绍。即使外部强迫可能使辐射减少 20%,自然变率可能仍是造成 Hiatus 的关键因素,其中的热量不平衡主要被海洋所吸收^[8]。Meehl 等^[9,10]指出与非 Hiatus 阶段对比,Hiatus 期间海洋上层 300 m 热量减少而 300 m 以下热量增加,可能和拉尼娜状态相关联。Kosaka 等^[11]依据气候模式数值试验提出 Hiatus 由赤道东太平洋的海表温度变冷驱动,是类似拉尼娜的太平洋年代际变化自然变率的一部分,但是没有揭示热带中东部太平洋异常变冷的原因,随后 Dai 等^[12]也指出太平洋年代际变化(Interdecadal Pacific Oscillation, IPO)也是造成 Hiatus 的重要

原因之一。Li 等^[13]从一个新的角度解释 Hiatus 现象,指出北大西洋涛动(North Atlantic oscillation, NAO)年代际变化是其形成的一个重要因素,并提出年代际海气耦合延迟振子理论来揭示年代际振荡的物理机制^[14]。

热带太平洋中东部异常变冷可能是由大气遥相关和多尺度海气相互作用导致,也可能是海洋动力热力过程对热量再分配的结果。通过大气遥相关,大西洋海表异常增温及其相对应的跨海盆气压中心位置的变化可引起 Walker 环流的强化、太平洋信风加速及东太平洋冷却^[15]。另一方面,许多研究指出东太平洋的冷却和海洋动力热力过程紧密相关^[16,17],Hiatus 时期的海洋上层冷却对应的热量损失一般认为被次表层海洋所吸收^[8]。England 等^[18]指出,过去 20 年太平洋信风加强使得次表层海洋热吸收加强,进而对赤道东太平洋的冷异常有重要贡献。Lee 等^[16]提出太平洋吸收的热量通过印尼贯穿流进入印度洋,使得在 Hiatus 期间印度洋 700 m 以上吸收的热量占全球海洋的 70%。Huang^[17]以风生环流导致的主温跃层绝热调整来解释东太平洋热量垂直方向上的再分配。除热带太平洋和印度洋外,中高纬度的大西洋和南大洋中深层海洋(700 ~ 1 500 m)也可能是 Hiatus 时期上层海洋损失热量的存储地^[19,20],通过海洋经向翻转环流的非绝热调整将热量传输下去。Long 等^[21]认为海洋对气候响应具有快(海洋上层)和慢(海洋中深层)过程,分别对应着海洋的风生环流绝热调整过程和热盐环流非绝热调整过程,但 Hiatus 到底是绝热还是非绝热过程主导还需深入研究^[22]。

Hiatus 概念提出是基于全球平均表面温度,但是不同区域的表面温度变化趋势并不一致。在 20 世纪末开始的 Hiatus 期间,北极地区气温持续增高,意味着春季冰盖的减少和秋季海冰扩张的减弱会加速北极气候的变化^[23];相反,在南极地区的降温趋势对应着海冰扩张破纪录的增加。因此,全球平均温度不能反映区域性和季节性的温度变化趋势及其气候影响,Hiatus 的研究更需要关注区域的海气模态。

综上所述,Hiatus 是当今气候变化研究中的一个前沿热点问题。然而,目前对 Hiatus 及其机制仍存在争议,特别是 Hiatus 的区域特征及模态非常重要,但往往被全球平均的结果所掩盖,导致我们对 Hiatus 的理解相当有限。未来有关 Hiatus 的演变及其对区域气候的影响仍将是气候变化研究的前沿热

点问题。

3 关键科学问题

我们已知全球变暖“停滞”现象体现了气候系统中能量—热量再分配的复杂过程和显著的时空差异,而海洋—大气动力热力过程如何影响能量—热量的运输与分配尚不清楚。初步研究表明气候系统外部强迫和自然变率导致的年代际—多年代际变化可在一定时期加强或减弱全球升温趋势,但二者如何相互作用及其相对贡献亟待深入研究。因而本项目拟解决以下关键科学问题:

(1) 全球变暖“停滞”现象的辨识及年代际—多年代际变化的作用

现有的研究基本认为海气系统内部自然变率在气候变暖“停滞”过程中起到了重要作用,但是目前的结论并不一致,而且各种相关的物理过程在解释变暖停滞方面仍有不足。以往的研究多基于某个年代际、多年代际模态阐释全球变暖“停滞”成因,然而并不清楚这些模态的驱动机制和可能的相互作用。此外,考虑到气候系统的内部自然变率和外部强迫还存在较大的不确定性,需要评估气候系统内部自然变率和外部强迫在变暖“停滞”有关的年代际—多年代际模态形成中的相对重要性及贡献。

(2) 海洋—大气动力热力过程对变暖“停滞”中能量热量再分配的调制

目前对变暖“停滞”的物理机制理解相当有限,气候系统中的能量和热量为何会发生如此巨大的再分配使得全球表面温度在温室气体加速排放的背景下会产生增暖“停滞”现象。一方面大气的遥相关过程及热带—热带外相互作用可能是气候系统年代际—多年代际变化及各个区域模态形成的关键物理过程之一,并对其中的热量和能量运输起重要作用,但是这些过程并不清楚。另一方面 Hiatus 期间气候系统的热量主要通过海洋水平环流、经向翻转环流和中尺度涡旋等动力—热力过程输送到海洋的次表层引起海洋上层增暖“停滞”,但到底是海洋温跃层内的绝热动力垂直输运还是跨密度跃层的非绝热垂直输运主导上层海洋的热量向中深层传递仍有争议,实际上以往研究忽略的沿等密度面的半绝热混合过程也很可能在其中扮演重要角色。另外与气候系统中能量热量再分配相关的海气相互作用及平衡和非平衡态的调整过程等一系列问题还亟待深入研究。

(3) 全球变暖“停滞”现象的可预测性

目前对变暖“停滞”的物理机制理解相当有限,

气候系统中的能量和热量为何会发生如此巨大的再分配使得全球表面温度在温室气体加速排放的背景下会产生增暖“停滞”现象,全球变暖“停滞”的未来走势及其对气候的影响是目前包括科学界和社会及经济学界关心的热点问题。变暖“停滞”虽然是全球表面温度平均的结果,但是在各个区域表现的并不一致。而这些区域模态的形成及对应的年代际—多年代际变化是变暖“停滞”可预测性的基础,然而目前尚缺乏该方面的研究。此外未来变暖“停滞”如何发展及其对重要区域如“一带一路”核心区和南北极高纬度区域的气候变化影响也不清楚。

4 研究内容

针对上述 3 个关键科学问题,需要开展以下 4 个方面的研究:

(1) 辨识变暖“停滞”的时空特征,阐明外部强迫和内部自然变率的相对贡献

基于全球气候要素器测资料及代用资料,利用系统客观的诊断方法对快速增暖和变暖“停滞”时期年代际—多年代际变化时空模态和差异性进行辨识,确定变暖“停滞”期的全球和区域特征;利用能够模拟全球变暖“停滞”现象的地球系统模式,量化不同外部强迫和内部变率对全球变暖“停滞”的相对贡献;利用随机强迫动力学、年代际海气相互作用理论并结合耦合模式,分析导致全球变暖“停滞”的年代际—多年代际变化的形成机制。

(2) 阐明全球变暖“停滞”背景下,大气在气候系统能量热量再分配过程中的作用及机理

利用再分析资料和模式资料,研究变暖“停滞”中热带—热带外通过 Hadley 环流和 Walker 环流的变异和 Rossby 波列传播产生相互作用的机理。应用大气环流模式和耦合模式,设计敏感实验并与观测和国际耦合模式比较计划(Coupled Model Inter-comparison Project, CMIP)模式资料分析相结合的方法,研究大气环流的演变(遥相关型、Hadley 环流和 Walker 环流)及其在热带和中高纬热量和能量输送的作用以及温度场对它们的响应。用数学和物理学中的平衡态和非平衡理论,分析在变暖“停滞”和快速增暖期间外强迫或年代际—多年代际海气模态的平衡态和非平衡态特征以及相应的热量和能量在低纬和中高纬度地区的输送过程,以揭示大气和海洋之间的热量和能量补偿机制。

(3) 阐明全球变暖“停滞”背景下,海洋动力热力过程对能量热量再分配的调制机理

利用历史观测资料、再分析资料和数值模式资料,分析变暖“停滞”期间各海盆三维温、盐、流和热含量变化及对应的海面高度场、海面风场、海面热通量场和海面气压场特征及相关关系;研究海洋水平环流和经向翻转环流在全球变暖“停滞”中的变异,包括印度洋和太平洋浅层的经向翻转环流以及大西洋南大洋深层的经向翻转环流变化特征及机理,探讨经向翻转环流变异对气候系统能量热量再分配的影响;研究海洋中尺度涡旋在全球变暖“停滞”期间的变化特征及机理,包括涡旋的强度、发生频率、生命周期及能量热量输运等;定量估算全球变暖“停滞”期间风场和浮力通量强迫导致的海洋温跃层绝热动力调整过程、沿等密度面混合的半绝热过程和跨等密度面的非绝热过程对各海区大尺度水平环流、经向翻转环流和中尺度涡旋变异及相关的垂直热输送的贡献,阐明造成变暖“停滞”的海洋热含量再分配的主导机制,确定变暖“停滞”是由海洋快过程还是慢过程决定。

(4) 探讨全球变暖“停滞”现象的可预测性,对其未来变化及重要区域气候影响进行预测预估

依据对历史气候变暖“停滞”的模拟表现,选取对气候变暖“停滞”有较好模拟能力的世界先进气候模式,并结合 NCAR 和 GFDL 基于其气候模式开发的年代际预测系统,进一步验证气候变暖“停滞”形成机制;通过对历史气候变暖“停滞”现象的后报实验研究,评估气候模式系统的性能,探究模式系统对气候变暖“停滞”现象的预估精度及其与提前预估时间尺度的关系,界定预估系统的适用范围,对当前变暖“停滞”的未来走势进行预估;在未来气候变暖不同情景(不同二氧化碳排放量)下对变暖“停滞”的预估结果,基于区域模式评估未来变暖“停滞”现象的发展对“一带一路”核心区及两极区域气候的影响;分析气候系统在特定区域的非线性响应。

5 预期目标

通过分辨变暖“停滞”的时—空特征,阐明年代际—多年代际变化模态的作用,定量估计外部强迫和自然变率的相对贡献;揭示变暖“停滞”期间热带—热带外、跨海盆—大陆的遥相关过程及多尺度海气相互作用对大气系统能量、热量输运的影响,定量估计海洋绝热、半绝热及非绝热过程对海洋中垂直能量热量再分配的贡献,阐明变暖“停滞”的物理机制;开展变暖“停滞”的可预测性研究及区域气候响应预估。预期实现目标如下:

(1) 提出全球变暖“停滞”时空特征辨识方法。给出遥相关型(如阻塞和 NAO 等)的变异在变暖“停滞”中的可能贡献。探讨变暖“停滞”期间,海洋动力热力调整的变化特征。

(2) 分析变暖“停滞”和“非停滞”期间大气遥相关型及变异对全球变暖“停滞”的可能贡献。建立起全球变暖多尺度相互作用的概念模型。阐明变暖“停滞”期间,海洋响应大气强迫变化最为显著的关键海区 and 深度,揭示海洋响应大气强迫的调整过程及机理。

(3) 得到变暖“停滞”的时—空特征和空间差异性。给出年代际—多年代际海气模态对 Hadley 环流和 Walker 环流的影响以及对遥相关型模态发生频率的调制;建立起简化的海气耦合或能量平衡模式。揭示海洋水平环流对热输运异常的影响,并揭示海洋涡旋在其中的贡献。阐明气候系统对自然变率和人类活动不同的敏感性,确定各相关要素对产生气候变暖“停滞”现象的影响。

(4) 给出外部强迫和内部变率对变暖“停滞”相对贡献的定量估计,初步建立年代际海气相互作用的随机强迫理论。利用模式试验找出年代际—多年代际模态对 Hadley 和 Walker 环流及遥相关模态的影响,并结合观测分析,提出其物理机制。阐明经向翻转环流对热输运异常的影响,并揭示海洋涡旋在其中的贡献。诊断气候变暖“停滞”的可预测性。

(5) 给出外部强迫和内部变率对变暖“停滞”相对贡献的定量估计。确定海洋上层向海洋深层热量传输并导致上层变暖“停滞”的主导机制,建立海洋动力—热力耦合框架。分析解释全球变暖停滞对“一带一路”核心区、两极地区的气候影响特征及机制。

(6) 揭示变暖“停滞”的海洋主导机制,凝练其物理概略示意图。评估气候变暖“停滞”对“一带一路”核心区以及两地地区气候的影响,评估预测置信度,给出科学预测结论。

总之,开展全球变暖“停滞”研究对气候动力学的发展、提高对未来东亚气候预测能力都有重要的科学意义与价值,将有效提高我国长期气候预测水平,对防灾减灾做出贡献。而且将为国家制定应对气候变化政策提供重要依据,同时增强我国在全球气候变化研究中的国际话语权。

致谢:本文主要依据国家重点研发计划项目“全球变暖‘停滞’现象辨识与机理研究”申报书撰

写,该申报书是在项目申报过程中由参与项目申报的所有科学家共同完成的,并得到国内外一些专家的指导,在此一并表示感谢!

参考文献 (References):

- [1] Easterling D R, Wehner M F. Is the climate warming or cooling? [J]. *Geophysical Research Letters*, 2009, 36(8), doi: 10.1029/2009GL037810.
- [2] Karl T R, Arguez A, Huang B, et al. Possible artifacts of data biases in the recent global surface warming hiatus [J]. *Science*, 2015, 348(6242): 1469-1472.
- [3] Cowtan K, Way R G. Coverage bias in the HadCRUT4 temperature series and its impact on recent temperature trends [J]. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 2014, 140(683): 1935-1944.
- [4] Lewandowsky S, Risbey J S, Oreskes N. On the definition and identifiability of the alleged “hiatus” in global warming [J]. *Scientific Reports*, 2015, 5, doi:10.1038/srep16784.
- [5] Held I M. Climate science: The cause of the pause [J]. *Nature*, 2013, 501(7467): 318-319.
- [6] Schmidt G A, Shindell D T, Tsigaridis K. Reconciling warming trends [J]. *Nature Geoscience*, 2014, doi: 10.1038/ngeo2105.
- [7] Santer B D, Bonfils C, Painter J F, et al. Volcanic contribution to decadal changes in tropospheric temperature [J]. *Nature Geoscience*, 2014, 7(3): 185-189.
- [8] Trenberth K E, Fasullo J T. An apparent hiatus in global warming? [J]. *Earth's Future*, 2013, 1(1): 19-32.
- [9] Meehl G A, Arblaster J M, Fasullo J T, et al. Model-based evidence of deep-ocean heat uptake during surface-temperature hiatus periods [J]. *Nature Climate Change*, 2011, 1(7): 360-364.
- [10] Meehl G A, Hu A, Arblaster J M, et al. Externally forced and internally generated decadal climate variability associated with the Interdecadal Pacific Oscillation [J]. *Journal of Climate*, 2013, 26(18): 7298-7310.
- [11] Kosaka Y, Xie S P. Recent global-warming hiatus tied to equatorial Pacific surface cooling [J]. *Nature*, 2013, 501(7467): 403-407.
- [12] Dai A, Fyfe J C, Xie S P, et al. Decadal modulation of global surface temperature by internal climate variability [J]. *Nature Climate Change*, 2015, 5(6): 555-559.
- [13] Li J, 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.
- [14] Sun C, Li J, Jin F F. A delayed oscillator model for the quasi-periodic multidecadal variability of the NAO [J]. *Climate Dynamics*, 2015, 45(7/8): 2083-2099.
- [15] McGregor S, Timmermann A, Stuecker M F, et al. Recent walker circulation strengthening and Pacific cooling amplified by Atlantic warming [J]. *Nature Climate Change*, 2014, 4(10): 888-892.
- [16] Lee S K, Park W, Baringer M O, et al. Pacific origin of the abrupt increase in Indian Ocean heat content during the warming hiatus [J]. *Nature Geoscience*, 2015, 8(6): 445-449.
- [17] Huang R X. Heaving modes in the world oceans [J]. *Climate Dynamics*, 2015, 45(11/12): 3563-3591.
- [18] England M H, McGregor S, Spence P, et al. Recent intensification of wind-driven circulation in the Pacific and the ongoing warming hiatus [J]. *Nature Climate Change*, 2014, 4(3): 222-227.
- [19] Drijfhout S S, Blaker A T, Josey S A, et al. Surface warming hiatus caused by increased heat uptake across multiple ocean basins [J]. *Geophysical Research Letters*, 2014, 41(22): 7868-7874.
- [20] Chen X, Tung K K. Varying planetary heat sink led to global-warming slowdown and acceleration [J]. *Science*, 2014, 345(6199): 897-903.
- [21] Long S M, Xie S P, Zheng X T, et al. Fast and slow responses to global warming: Sea surface temperature and precipitation patterns [J]. *Journal of Climate*, 2014, 27(1): 285-299.
- [22] Liu W, Xie S P, Lu J. Tracking ocean heat uptake during the surface warming hiatus [J]. *Nature Communications*, 2016, 7, doi:10.1038/ncomms10926.
- [23] Screen J A, Simmonds I. The central role of diminishing sea ice in recent Arctic temperature amplification [J]. *Nature*, 2010, 464(7293): 1334-1337.

Research on the Global Warming Hiatus*

Lin Xiaopei¹, Xu Lixiao^{1*}, Li Jianping², Luo Dehai³, Liu Hailong⁴

(1. *Physical Oceanography Laboratory/CIMST, Ocean University of China, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266100, China*; 2. *College of Global Change and Earth System Science (GCESS), Beijing Normal University, Beijing 100875, China*; 3. *RCE-TEA, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China*; 4. *Institute of Oceanology, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China*)

Abstract: A global warming “hiatus” has been observed since the beginning of the 21st century despite the increase in heat-trapping greenhouse gases, challenging the current global warming studies. Focusing on the phenomena and mechanisms of the global warming “hiatus”, the National Key Research Program of China launched a project in July, 2016. The main research themes of this project cover: ①Revealing the spatial and temporal variability of the global warming hiatus, and quantifying the contributions of external forcing and internal (natural) variability, respectively; ②Revealing the role of the atmosphere in the global heat and energy redistribution under global warming hiatus; ③Revealing the role of the ocean in the global heat and energy redistribution under global warming hiatus; ④Investigating the predictability of the global warming hiatus. The key scientific issues to be resolved include: ①Identifying characteristics of the global warming hiatus and discerning the roles of decadal, multi-decadal oscillations; ②Revealing the role of ocean-atmosphere dynamical processes in the global redistribution of heat and energy; ③Understanding the predictability of the global warming hiatus. The research aims to predict the future development of the global warming hiatus, and to point out the possible impacts on China and other important areas, including “The Belt and Road” core area and the Polar Regions.

Key words: Global warming hiatus; Decadal/multi-decadal variability; Redistribution of heat and energy; Predictability.

* **Foundation item:** Project supported by the National Key Research and Development Program of China “Research on the global warming hiatus: Identifying the phenomena and revealing the key mechanisms” (No. 2016YFA0601800).

First author: Lin Xiaopei (1976-), male, Qingdao City, Shandong Province, Professor. Research areas include ocean dynamics.

E-mail: linxiaop@ouc.edu.cn

* **Corresponding author:** Xu Lixiao (1985-), female, Laiwu City, Shandong Province, Lecture. Research areas include ocean-atmosphere interactions. **E-mail:** lxu@ouc.edu.cn