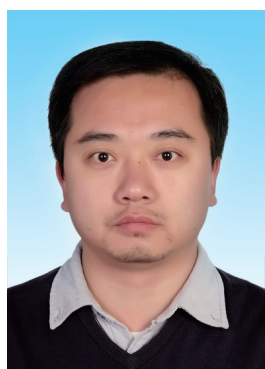


2015年超级厄尔尼诺事件的成功预报*



郑 飞¹ 朱 江^{1**} 张荣华² 彭京备¹

1 中国科学院大气物理研究所 北京 100029

2 中国科学院海洋研究所 青岛 266071

摘要 2015年初, 热带太平洋明显出现了厄尔尼诺事件爆发的一些前期物理信号, 这些大气和海洋中呈现的前兆信号与上次爆发超级厄尔尼诺事件的1997年同期非常相似。伴随着赤道西风的增强和暖水的东传, 赤道中东太平洋次表层(即洋面以下)暖水不断积聚, 赤道东太平洋海温增温也更加显著。到10月份以后, 赤道中东太平洋海温已经比常年同期偏高 2.0°C — 3.0°C 以上, 发展成为21世纪最强的一次厄尔尼诺事件。相比国际上众多厄尔尼诺模型提前6—9个月未能给出正确预报的现状, 在中科院战略先导专项海洋专项的支持下持续发展的厄尔尼诺预报系统(中科院大气所集合预报版本: IAP Leefs_CDA), 则提前9个月以上对该超级厄尔尼诺事件的爆发、发展和强度给出了成功的预报, 为我国的气候预测和防灾减灾提供了有力的支撑。同时, 厄尔尼诺预报系统的另一版本(中科院海洋所确定性预报版本: IOCAS ICM)也首次在美国哥伦比亚大学网站上提供厄尔尼诺实时预报结果。

关键词 超级厄尔尼诺, 厄尔尼诺预报系统, 气候预测, 防灾减灾

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.2016.02.012

*资助项目: 中科院战略性
先导科技专项(XDA100100
00), 国家自然科学基金项
目(41576019)

** 通讯作者

修改稿收到日期: 2016年2
月3日

厄尔尼诺是短期气候年际变化中最强的事件, 对世界上许多地区, 包括我国大部分地区会造成严重的旱涝和高低温灾害。国际上已广泛开展了厄尔尼诺预报研究, 发展了一系列具有较高预报技巧的预报模式^[1,2]。由于对影响厄尔尼诺事件的物理机制的认知程度有限, 以及观测资料的不足, 造成目前大部分模式只能够提前6个月给出较为可信的预报^[3,4], 同时对极端事件的强度预报偏弱, 导致目前厄尔尼诺预报水平无法满足防灾减灾的需求^[5-7]。因此, 如何进一步提高厄尔尼诺预报准确率, 并延长厄尔尼诺预报时效, 是国际上

的研究热点和极具挑战性的问题。比如对于2015年21世纪以来最强的一次厄尔尼诺事件，国际上大多数模式提前6—9个月仍未能预报出这次事件，有的模式甚至给出了错误的预报（即预报成偏冷事件）。在中科院战略性先导科技专项海洋专项的支持下，厄尔尼诺预报系统得到了持续的改进，并实现了实时化的厄尔尼诺预报。文章详细阐述了该预报系统对2015年厄尔尼诺进行成功预报的情况。

1 2015年厄尔尼诺事件的爆发和发展过程

2015年3月，美国国家大气与海洋管理局（NOAA）和联合国粮农组织（FAO）先后发布报告正式认定厄尔尼诺事件已经发生。根据实时的厄尔尼诺监测表明，该厄尔尼诺事件在2015年冬季达到峰值，发展成了一次超强的厄尔尼诺事件（厄尔尼诺指数在2015年年底达到 2.5°C 左右）。2015年年初以来，伴随着赤道西风的增强和暖水的东传，赤道中东太平洋表层暖水不断增强，次表层（即洋面以下）暖水强度也在不断增强，赤道东太平洋海温增温更加显著；赤道中东太平洋海温已经比常年同期偏高 2.0°C 以上，是本次厄尔尼诺事件形成以来最高值。从表层海温的空间分布看，暖海温中心主要位于赤道东太平洋，局部海温已偏高超过 3.0°C （图1）。

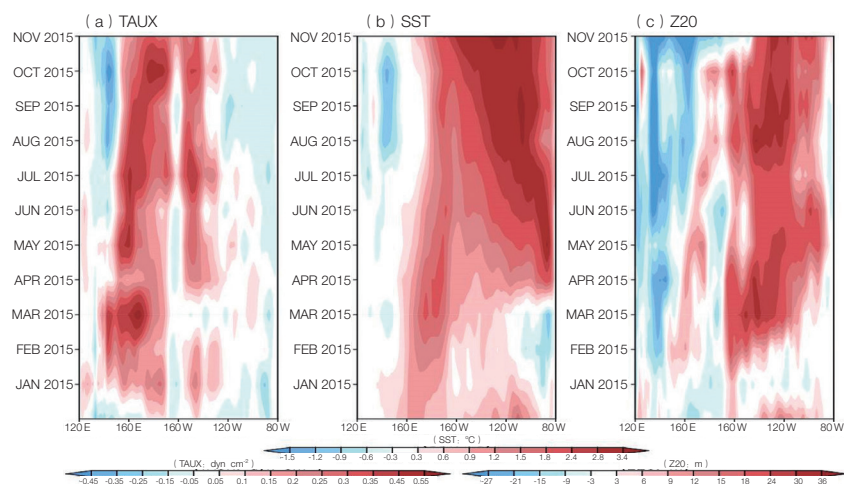


图1 2015年超强厄尔尼诺事件的发展过程。图(a)为赤道太平洋纬向风场、图(b)海表温度和图(c)海跃层深度(表征次表层暖水强度)在整个2015年的演变过程

同时，从过去12个月厄尔尼诺事件的发展过程来看，此次厄尔尼诺事件与1982/83年和1997/98年出现的两次超强厄尔尼诺事件很类似，最终发展到年底的强度都接近 2.5°C 左右，也表明此次事件是21世纪以来最强的一次厄尔尼诺事件。但是需要指出的是，即使2015年厄尔尼诺事件强度达到历史新高，也不能保证它对全球气候的影响与1997/98年相一致。就像雪花结构一样，每一次厄尔尼诺事件都是不一样的（图2）。

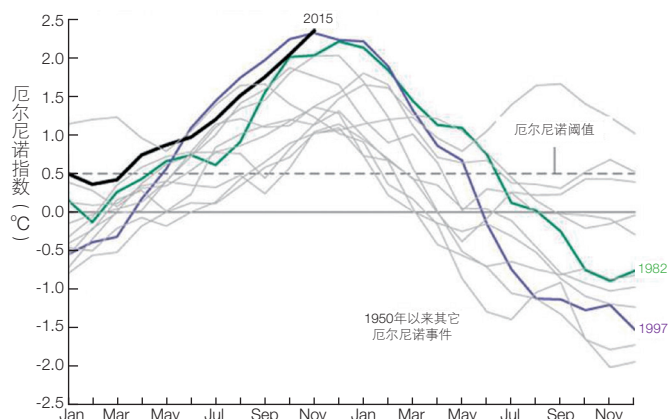


图2 1950年以来发生的所有厄尔尼诺事件的演变过程（以厄尔尼诺指数表征）。其中黑线为2015年厄尔尼诺事件，蓝线（1997年）和绿线（1982年）是1950年以来另外两次超强厄尔尼诺事件，灰线为其余的厄尔尼诺事件

2 对2015年超强厄尔尼诺事件提前预报的情况

2.1 国际上的多模式预报结果

目前，国际上有接近20个厄尔尼诺模式在（每个月）实时地预报厄尔尼诺事件的发生发展过程，具体的预报结果更新于美国哥伦比亚大学网站（<http://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/forecasts/enso/current>）。国际上大多数厄尔尼诺预报模式从3月份起始，仅有一个模式（NASA GMAO）预报出2015年年底厄尔尼诺事件强度将超过 2.0°C （图3a），大部分模式预报结果均处在 1.0°C 以下，

甚至有模式预报将出现拉尼娜事件（厄尔尼诺事件的反位相）。直到2015年6月份起始时，大部分模式才预报出年底可能出现厄尔尼诺事件（图3b），而对其强度的预报仍存在着较大的差别，也仅4个模式预报出年底厄尔尼诺事件强度将超过 2.0°C 。

enso.php?product=cn_ensoiap）公开发布。IAP Leefs_CDA从2015年3月就提前预报出此次厄尔尼诺强度将接近 2.3°C （图4）。而过去几个月的实际观测演变（图4中绿色星号）与预报结果几乎完全吻合。而该预测结果也被2015年春季国家气候中心气候会商所采纳。

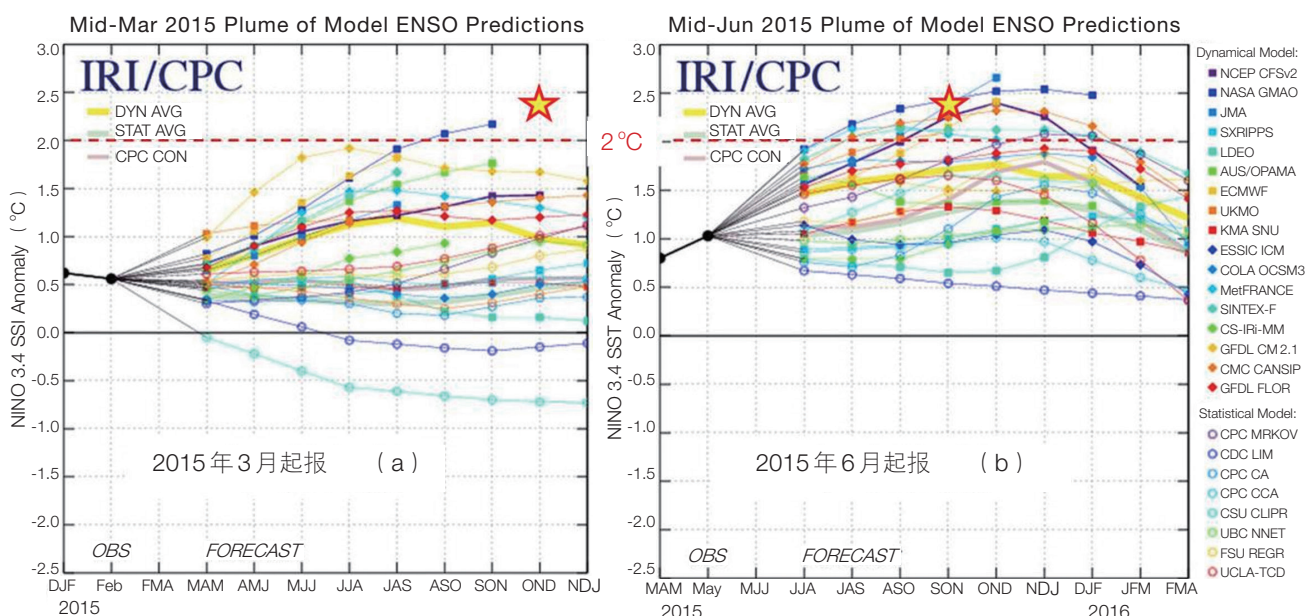


图3 国际上20个模式 (a) 2015年3月和 (b) 2015年6月起始对2015年超强厄尔尼诺的预报情况。其中 2.0°C 作为超强厄尔尼诺事件的判别阈值，星号为当前的厄尔尼诺观测指数

2.2 我国的厄尔尼诺预报系统

在中科院战略先导专项海洋专项的支持下，我国的厄尔尼诺预报系统持续发展。该厄尔尼诺预报系统抓住了大气-海洋间主要的物理过程（比如Bjerknes正反馈机制和延迟负反馈机制）^[8,9]，同时利用国际上先进的资料同化方法通过同化多种大气/海洋观测资料为其提供预报初值^[10-12]，并且在预报过程中最大限度地抑制模式误差对预报水平的影响^[13,14]。因此能够较为完善地模拟和预测整个厄尔尼诺事件的爆发、发展和演变过程。现已发展成为两个版本：（1）中科院大气所集合预报版本（IAP Leefs_CDA）^[10-14]和（2）中科院海洋所确定性预报版本（IOCAS ICM）^[8,9]。

2.2.1 大气所厄尔尼诺集合预报版本

当前IAP Leefs_CDA的每个月实时预报结果已在国家气候中心监测网（http://cmdp.ncc-cma.net/pred/cn_

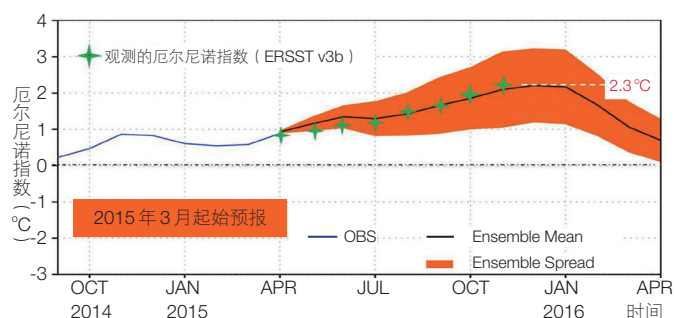


图4 大气所厄尔尼诺集合预报系统（IAP Leefs_CDA）2015年3月起对2015年超强厄尔尼诺的预报情况。其中绿色星号是历史观测的厄尔尼诺演变

需要指出的是，IAP Leefs_CDA对2015年厄尔尼诺事件的滚动预测结果保持稳定，从2015年3月份至2016年1月份的预测结果一直维持“2015年底厄尔尼诺事件强度将超过 2.0°C ”这一结论。其预测结果均表明，2015年冬季赤道中东太平洋将有90%以上的概率发生一次强厄尔尼诺事件，预测峰值强度接近 2.5°C （图5）。

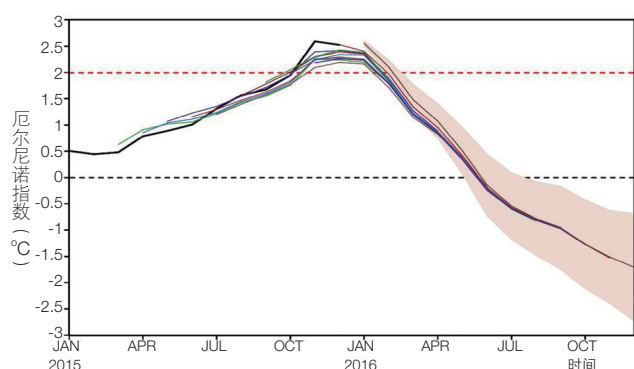


图5 大气所厄尔尼诺集合预报系统 (IAP Leefs_CDA) 从2015年3月—2016年1月起始对2015年超强厄尔尼诺的预报情况。黑线为观测的厄尔尼诺指数, 彩色线为各月起始的12个月预报结果

2.2.2 海洋所厄尔尼诺确定性预报版本

与此同时, 厄尔尼诺预报系统的另一个版本 IOCAS ICM 于 2015 年 8 月首次在美国哥伦比亚大学网站上提供厄尔尼诺实时预报结果以做进一步集成分析和应用 (图 6, 详见 <http://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/forecasts/enso/current>), 这是首次以我国国内单位命名的海气耦合模式为国际学术界提供厄尔尼诺实时预报结果。

从图 6 可以看出, IOCAS ICM 在 2015 年 8 月预报时就指出此次厄尔尼诺事件的强度偏强, 中东太平洋海温将超过 2°C , 随后的预报指出此次事件成熟期时, 中东太平洋海温达到 2.5°C 以上, 基本与观测一致。与其他模

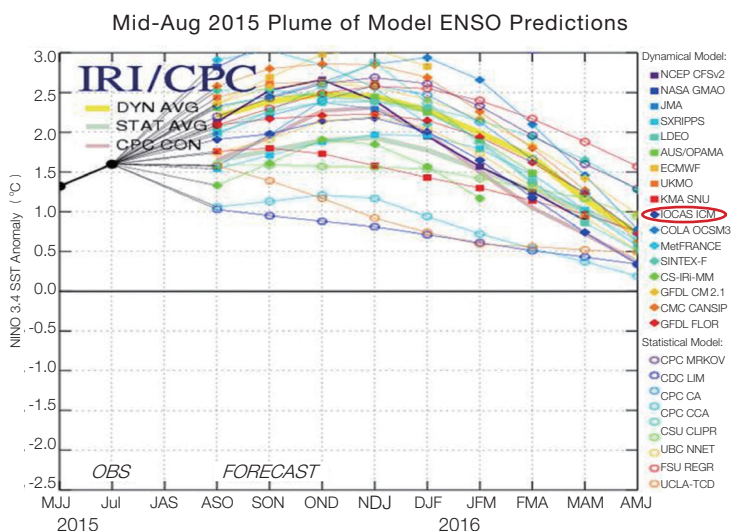


图6 海洋所确定性预报模式 (IOCAS ICM) 在美国哥伦比亚大学网站上提供厄尔尼诺实时预报结果的情况。2015年8月起实时预报的2015—2016年厄尔尼诺指数随时间的演变情况, 其中各色曲线为不同模式的预报结果

式相比, IOCAS ICM 预报结果与所有动力模式集合平均的结果最为接近, 预报效果较好。

2.3 我国 2015 年夏季气候预测

进一步地, 利用 IAP Leefs_CDA 2015 年 3 月份的厄尔尼诺预测结果驱动中科院大气物理所大气环流模式, 可得到对于我国夏季气候变化的预测情况 (图 7)。

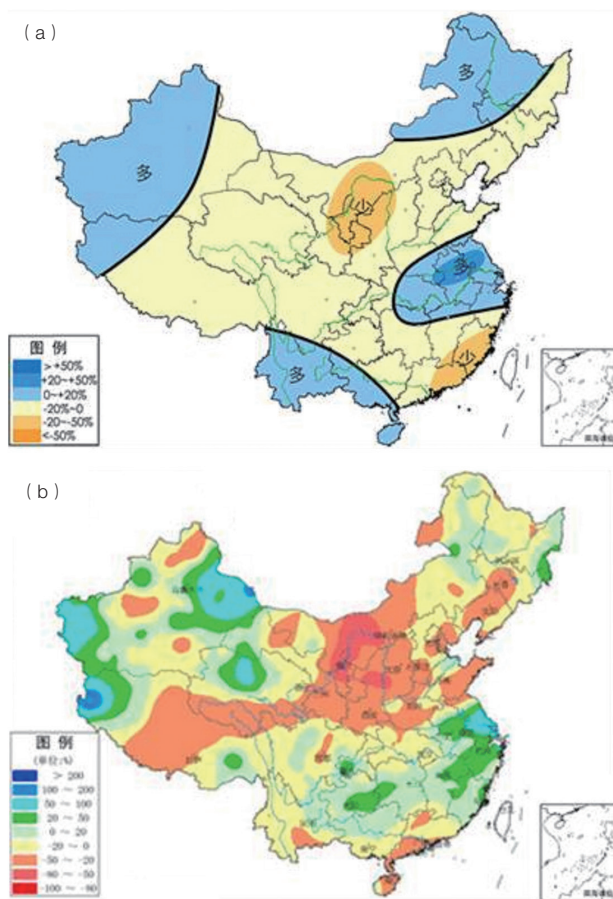


图7 (a) 预测与 (b) 实测的我国 2015 年夏季降水的空间分布

2015 年 3 月, 中科院大气物理所的汛期预测意见以决策服务材料的形式上报相关管理部门。在参加国家气候中心预测的 10 家单位中, 中科院大气物理所的预测评分为 78 分, 排名第二。

3 2015/16 年超级厄尔尼诺事件的未来发展趋势

根据 2016 年 1 月 25 日 IAP Leefs_CDA 的最新结果显示 (图 5), 2015 年春季发生的厄尔尼诺事件已

在 2015 年冬季（2015 年 12 月—2016 年 1 月之间）达到峰值，是一次超强的厄尔尼诺事件（厄尔尼诺指数将在 2015 年年底接近 2.5°C 左右）。同时该事件有 90% 以上的概率将维持到 2016 年春季（4—5 月份之间，图 8），春季中东太平洋大部分海域将维持一个暖水的状态（图 9）。同时，这次厄尔尼诺事件有可能在 2016 年 5—6 月份结束（图 5，图 8），到 2016 年夏季后则有 70% 以上可能性转变成一次拉尼娜事件（图 8 和图 9）。

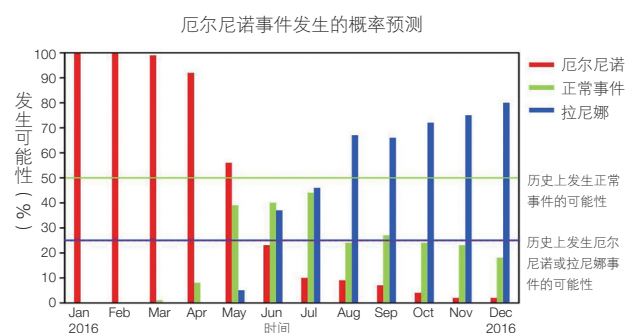


图8 大气所厄尔尼诺集合预报系统 (IAP Leefs_CDA) 2016 年 1 月起概率预报的厄尔尼诺事件发生的可能性。（红色柱体代表厄尔尼诺事件的发生概率，超过历史阈值则说明发生可能性较大，统计结果基于 100 个样本的集合预报）

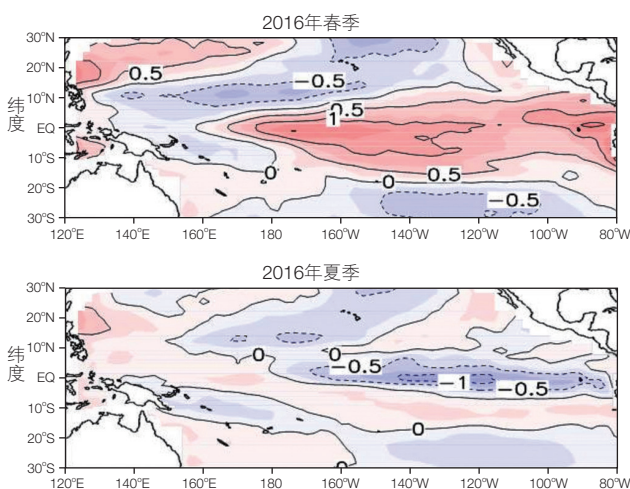


图9 大气所厄尔尼诺集合预报系统 (IAP Leefs_CDA) 2016 年 1 月起预报的 2016 年春季和夏季的热带太平洋海温状况。（红色区域代表海温较常年偏高、蓝色区域代表海温较常年偏低）

4 结语

厄尔尼诺预测，是目前短期气候预测中最重要的一环，这正是由于厄尔尼诺对全球气候变化有着极大的影

响。自 20 世纪 80 年代以来，各国科学家广泛地开展厄尔尼诺预测研究，并在过去几十年取得了长足的进步。目前厄尔尼诺预测可以达到 6 个月左右的预报可信度，并有一些模式已开始了例行的实时预报。但是由于模式间的显著差别和一些模式的系统偏差依然严重，厄尔尼诺的预报能力有着很强的模式依赖，并且各个预报系统之间仍存在巨大的分歧。在我国，厄尔尼诺预测研究也倍受关注。近年在中科院战略先导专项海洋专项的支持下，中科院大气所和海洋所均持续不断地发展改进厄尔尼诺预报系统。例如对 2015 年超极厄尔尼诺事件，中科院发展的厄尔尼诺预测模式提前 9 个月以上对该事件进行了成功预报，有力地支撑了我国 2015 年夏季的气候预测和防灾减灾工作。

为能更准确地提供未来中东太平洋海温的演变趋势和发展强度，中科院海洋专项的研究人员将每月至少进行一次滚动预报，及时更新预报结果，为我国的气候预测和防灾减灾工作提供有价值的参考和决策。

参考文献

- 1 Latif M, Anderson T, Barnett M, et al. A review of the predictability and prediction of ENSO. J. Geophys. Res., 1998, 103:14375-14393.
- 2 Kirtman B P, Shukla J, Balmaseda M, et al. Current status of ENSO forecast skill. A report to the Climate Variability and Predictability (CLIVAR) Numerical Experimentation Group (NEG), CLIVAR Working Group on Seasonal to Interannual Prediction, 2002.
- 3 Jin E K, James L K III, Wang B, et al. Current status of ENSO prediction skill in coupled ocean-atmosphere models. Clim. Dyn., 2008, 31:647-664.
- 4 Barnston A G, Tippett M K, L'Heureux M L, et al. Skill of Real-Time Seasonal ENSO Model Predictions during 2002-11: Is Our Capability Increasing? Bull. Am. Meteorol. Soc., 2012, 93:631-651.

- 5 王会军, 周广庆, 林朝晖. 我国近年来短期气候预测研究的若干进展. 气候与环境研究, 2002, 7(2): 220-226.
- 6 王会军, 孙建奇, 郎咸梅, 等. 几年来我国气候年际变异和短期气候预测研究的一些新成果. 大气科学, 2008, 32(4): 806-814.
- 7 李崇银, 穆穆, 周广庆, 等. ENSO机理及其预测研究. 大气科学, 2008, 32(4): 761-781.
- 8 Zhang R, Zebiak S E, Kleeman R, et al. A new intermediate coupled model for El Niño simulation and prediction. Geophys. Res. Lett., 2003, 30(19): 2012.
- 9 Zhang R, Zebiak S E, Kleeman R, et al. Retrospective El Niño forecast using an improved intermediate coupled model. Mon. Wea. Rev., 2005, 133: 2777-2802.
- 10 Zheng F, Zhu J, Zhang R, et al. Ensemble hindcasts of SST anomalies in the tropical Pacific using an intermediate coupled model. Geophys. Res. Lett., 2006, 33: L19604.
- 11 Zheng F, Zhu J, Zhang R. Impact of altimetry data on ENSO ensemble initializations and predictions. Geophys. Res. Lett., 2007, 34: L13611.
- 12 Zheng F, Zhu J. Coupled assimilation for an intermediated coupled ENSO prediction model. Ocean Dyn., 2010, 60:1061-1073.
- 13 Zheng F, Zhu J, Wang H, et al. Ensemble hindcasts of ENSO events over the past 120 years using a large number of ensembles. Adv. Atmos. Sci., 2009, 26: 359-372.
- 14 Zheng F, Zhu J. Improved ensemble-mean forecast skills of ENSO events by a zero-mean stochastic error model of an intermediate coupled model. Clim. Dyn., 2016, doi: 10.1007/s00382-016-3048-0.

Successful Prediction for the Super El Niño Event in 2015

Zheng Fei¹ Zhu Jiang¹ Zhang Ronghua² Peng Jingbei¹

(1 Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;

2 Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China)

Abstract In early 2015, the tropical Pacific Ocean appears to be primed for a potentially significant El Niño event, and some similarities exist between the oceanic and atmospheric states compared to the observations shortly before the onset of the 1997 Super El Niño event. Associated with the enhanced westerly winds and the eastbound migration of the warm water over the equatorial Pacific, subsurface warm water tended to accumulate over the eastern equatorial Pacific, and the warming of ocean temperature in the eastern basin was getting more obvious. After October 2015, the sea surface temperature over the eastern equatorial Pacific was 2.0–3.0 °C warmer than the normal condition, developing to the strongest El Niño event in 21st century. Different from the status that most El Niño model from operational centers over the world did not predict the event 6–9 months ahead, the developed El Niño forecasting system (*i.e.*, the ensemble prediction version developed in the Institute of Atmospheric Physics), was supported by the “Western Pacific Ocean System: Structure, Dynamics and Consequences” Project of the Chinese Academy of Sciences (CAS), successfully predicted the onset, development, and amplitude of this El Niño event 9 months in advance. This successful forecasting result further significantly supported the climate prediction and the disaster prevention and mitigation in China. At the same time, the other version of the El Niño forecasting system (*i.e.*, a deterministic system developed in the Institute of Oceanology, CAS), for the first time, started to release the realistic El Niño forecasting result at the website of the University of Columbia in US.

Keywords super El Niño, El Niño forecasting system, climate prediction, disaster prevention and mitigation

郑 飞 中科院大气物理所国际气候与环境科学中心副主任，研究员，国家首批“万人计划”青年拔尖人才支持计划入选者。主要研究领域为海气相互作用、短期气候预测和资料同化方法研究。E-mail: zhengfei@mail.iap.ac.cn

Zheng Fei Received B.S. and M.S. degrees from Lanzhou University, Lanzhou, China, and, Ph.D. degree from Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences (IAPCAS), Beijing, China, in 2007. His current research interests include air-sea interaction, short-term climate prediction, and data assimilation. Since 2016, he has been a full professor with the International Center for Climate and Environment Science (ICCES), IAPCAS, Beijing, China. From 2010 to 2012, he, as a visiting professor, had visited the University of Maryland in the US, and the University of Bergen in Norway. He is currently the deputy director of ICCES. He won the award of the 11th Hundred Outstanding Doctors of China, Ministry of Education in 2009, and the “Lu Jia Xi” Excellent Young Scientist Award of Chinese Academy of Sciences in 2010. And he was selected in the National Program for Support of Top-notch Young Professionals in 2013. E-mail: zhengfei@mail.iap.ac.cn

朱 江 男，中科院大气物理所所长，研究员，全球海洋资料同化试验（GODAE）科学委员会成员。主要研究领域为资料同化的方法研究以及在大气、海洋和环境中的应用。E-mail: jzhu@mail.iap.ac.cn

Zhu Jiang Male, received B.S. degree from Anhui Normal University, Hefei, China, M.S. degree from Harbin Institute of Technology, Harbin, China, and, Ph.D. degree from Lancaster University, United Kingdom, in 1991 respectively. His current research interests include data assimilation with variational and ensemble methods, El Nino forecasting using fully coupled and intermediate coupled models, development of operational marine forecasting system, and atmospheric chemistry data assimilation. From 1991 to 1996, he was with Qingdao Ocean University, Qingdao, China, and with IAPCAS, Beijing, China, as a Postdoc Fellow. From 1998 to 2001, he was with IAPCAS, Beijing, China, where he worked on optimal control theory. Since 2001, he has been a full professor with IAPCAS, Beijing, China. From 1998 to 2001, he, as a visiting professor, visited Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency. He is currently the director general of IAPCAS, and the Editor-in-Chief of Advances in Atmospheric Sciences. E-mail: jzhu@mail.iap.ac.cn