

# 海温观测方法及常用海温资料数据集比较

宝乐尔其木格<sup>1,2,3</sup> 任国玉<sup>3</sup>

(1 中国气象科学研究院, 北京 100081; 2 中国科学院大学, 北京 100049;

3 中国气象局气候研究开放实验室, 国家气候中心, 北京 100081)

**摘要:** 对比介绍了几种常见的海温观测方法和目前气候变化分析中被广泛应用的4套海温资料集。基于不同观测整合的海温资料存在多种误差, 关于这些误差已有了系统的误差分析方法, 得到了质量较好、较完整的全球海温资料集 ICOADS、HadISST等, 它们被广泛应用于海气相互作用、模式和气候变化研究中。但是, 目前海温观测资料的匮乏, 无论在空间还是在时间上, 仍然是各种不同时间尺度海表温度特征分析的最大障碍。因此, 不断地补充新资料、改进观测方法和资料处理方法, 获取全球或区域高质量长资料序列, 仍然是今后海温资料分析工作的重要任务。

**关键词:** 海温观测, 海温资料, 比较

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2013.06.007

## Sea Surface Temperature Observation Methods and Comparison of Commonly Used Sea Surface Temperature Datasets

Baoleerqimuge<sup>1,2,3</sup>, Ren Guoyu<sup>3</sup>

(1 Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081 2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

3 Laboratory for Climate Studies, National Climate Centre, China Meteorological Administration, Beijing 100081)

**Abstract:** Some common sea surface temperature (SST) observation methods and four datasets which are widely used in present climate change analysis are introduced and compared in this article. There are many kinds of errors including in blended SST data which is based on different observation methods. As to these errors, there already exists a systematic error analysis method and highly qualified, more sufficient datasets as ICOADS and HadISST et al are obtained. They are widely used in ocean-atmosphere interaction, climate modeling and climate change analysis. However, the temporal and spatial deficiency of observed data is still the biggest handicap for analyzing multi-scale SST characteristics. Therefore, adding newly observed dataset continuously and improving observation method and data processing method to get global and regional high-quality, and long-term datasets are still the main tasks for SST observation data analysis work.

**Keywords:** sea surface temperature observation, sea surface temperature data, comparison

### 1 引言

海洋和大气是气候系统的重要成员, 它们是相互作用的流体。海洋作为大气的下垫面对大气施以热力作用, 以感热、潜热交换的形式对大气提供能量。大气对海洋以动力作用为主, 它通过风应力作用影响海温的水平和垂直分布, 如通过海洋环流影响热量水平分布, 当风速大的时候通过垂直混合海水影响海温的垂直分布。相比大气, 海水有较大的热容, 因此海洋对大气环流变化具有较长久的“记忆”作用。

海温资料可以通过船舶、浮标、卫星等多种平

台观测, 是海洋环境各要素中较容易获得的空间范围最广、时间长度最长(至今已有200多年)的观测记录。目前已能观测到全球范围(包括海冰)的海温, 海温资料是全球气候变化分析中应用最广泛的重要海洋参数。海温资料不仅应用于海洋气候特征分析, 还在大气环流异常状况分析、大气模式、海气耦合模式中作为边界条件或同化资料。在过去的200多年里, 海温观测无论是在观测仪器还是在观测技术和平台方面都经历了多次的更新, 从最初的船舶航海日志到现在的卫星观测, 资料在空间和时间上比以前更加丰富, 为长期海温分析和气候变化研究提供了宝贵的数据。

海温资料的搜集、整理、质量控制、网格化等是很多学者长期致力于研究的重要课题。国外关于海温

收稿日期: 2013年3月31日; 修回日期: 2013年4月28日

第一作者: 宝乐尔其木格(1984—),

Email: xshuonline@163.com

资助信息: 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201206012)

观测方法、元数据处理、误差分析等研究较多<sup>[1-3]</sup>, 并整理出了几套完整的全球海温资料<sup>[4-6]</sup>。这些资料被广泛应用于全球和区域气候变化分析中。国内的相关研究工作还比较薄弱, 主要以分析比较不同海温资料集<sup>[7-9]</sup>、利用已有的资料分析海温和海气相互作用<sup>[10]</sup>以及我国边缘海区域海表温度长期趋势变化<sup>[11]</sup>等为主。

本文从观测方法、观测误差、长期变化趋势分析等方面比较和评价了目前被广泛使用的4套全球海温资料。

## 2 海温观测方法

海温观测已有200多年的历史, 但直到1853年布鲁塞尔国际航海气象会议确定启动全球海温资料的搜集工作并对资料进行标准化<sup>[12]</sup>才开始了海温资料系统的整理和分析。近200年中海温观测经历了水桶观测、ERI观测、船体感应观测、卫星遥感观测等一系列方法的演化(表1)。其中20世纪40年代为由水桶观测转为ERI观测的重要时期, 在长期海温分析中通常将该时段前后分别进行处理。20世纪80年代初开始使用卫星观测, 大大提高了海温观测资料的时间和空间分辨率。海温观测手段分为直接观测(用接触式温度计观测)和间接观测(利用卫星观测的亮温反演海温)<sup>[13]</sup>, 早期的观测以直接观测为主, 包括船舶观测、浮标观测、船体感应温度计观测, 船舶观测又分水桶观测、机舱引水观测、船体感应观测3种。浮标分为固定浮标和漂流浮标。间接观测有红外和微波遥感观测。卫星利用微波和红外辐射间接观测海洋表层温度, 因为它只能观测到海表很薄的一层海水温度, 因此也称为皮层(表皮)温度<sup>[14]</sup>。

船舶观测是海温资料最大、最可靠的数据来源。船舶观测资料分布与船的航线有关, 航线密集地区资料密度较大, 白天多于夜间<sup>[13]</sup>, 北半球中高纬度较多, 北半球比南半球多<sup>[15]</sup>。最早的船舶观测以水桶观测为主, 观测时将水桶放到海里, 再将装满水的水桶拉到甲板上进行人工测量。最初的水桶材质为木头、帆布和金属水桶, 其中木桶的绝热效果较好。20世纪40年代以前以木桶为主。后来用到隔热效果更好的

橡胶水桶和双层结构的水桶, 可以观测到更加真实的海温<sup>[12, 16]</sup>。水桶观测海温通常比真实值偏低, 这和观测方法、读数和记录过程中引起的误差有关<sup>[12, 14]</sup>。机舱引水观测(Engine Room Intake, ERI)是利用温度计测量用以引入轮机舱冷却涡轮机的海水温度。通常将温度计置于入口处测量, 以免受到轮机温度的影响<sup>[17, 18]</sup>。机舱测温测量的是给轮机降温的海水, 观测到的海温值通常较水桶观测值偏大。当用精确温度计, 温度计远离轮机时, 这种误差会较小<sup>[12, 14]</sup>。船体感应海温测量是利用船体上安装的温度计直接测量海温。为了使温度计始终在船的吃水线以下, 经常垂直排列放置3~5个温度计。Emery等<sup>[14]</sup>指出, 与其他同时期的观测对比表明, 船体感应温度具有较高的可信度和连贯性。该方法被推荐使用, 但是由于其安装费用较高, 因此没能得到广泛的应用, 其测量深度比水桶观测要深, 与ERI的测量深度相近<sup>[17]</sup>。自20世纪70年代开始使用浮标观测海温<sup>[12]</sup>。浮标分为漂流浮标和固定浮标。漂流浮标观测范围较固定浮标大, 但是观测要素较少, 且观测到的同一个点的时间序列不够长、不利于做长期分析, 且订正较不容易; 而固定浮标可以进行长时间、多要素的定点观测<sup>[11]</sup>。固定浮标可以得到上层海洋的温度廓线。

卫星资料具有较高的精度, 在气候变异和预测中海温的卫星资料很重要。卫星遥感在20世纪80年代开始应用于海温观测, 它空间覆盖率高, 能够观测船舶或浮标不能观测的区域, 但观测历史较短, 容易受到云、气溶胶、水汽、火山爆发的灰尘等颗粒物的影响。由于其空间分布的均匀性和高时间分辨率, 卫星资料在近海区域较现场观测资料有优势<sup>[3, 19]</sup>。然而, 在海冰和海冰附近区域卫星资料也不是很可靠<sup>[20]</sup>。与其他观测方法相比, 卫星观测具有较大的系统偏差, 因此需要对其观测海温资料进行偏差订正, 通常用漂流浮标对其进行订正<sup>[2]</sup>。

除了以上观测方法, 海温观测还有海岛、海岸观测以及钻井平台上的观测等, 但是观测数据的缺乏仍然是海温分析研究中不确定性的一个重要来源。

表1 海温不同观测方法比较

观测手段	观测方法	起始时间	空间范围	优点	缺点
直接观测	水桶	约200多年前	船舶固定航线, 中低纬度	历史最长、最多的资料, 为早期海温分析提供宝贵资料	误差较大, 观测时人为影响大 <sup>[16]</sup>
	ERI	约20世纪30年代	船舶固定航线, 中低纬度	历史较长, 便于观测	误差较大, 受引擎温度影响大 <sup>[17]</sup>
	船体感应	约20世纪30年代	船舶固定航线, 中低纬度	观测较准确 <sup>[17]</sup>	费用较高 <sup>[17]</sup>
浮标	固定浮标	20世纪70年代	定点, 热带和沿岸地区 <sup>[1]</sup>	定点长期连续观测, 有利于做某点长期分析	可观测的空间范围有限
	漂流浮标	20世纪70年代 <sup>[1]</sup>	不定点 走航观测	大范围连续观测	同一地点观测时间短, 不利于做长期变化分析
间接观测	卫星遥感	20世纪80年代 <sup>[14]</sup>	均匀分布 大范围	可以观测其他方法不能观测的区域, 且空间分布均匀, 时空分辨率最高	历史较短, 无法做长期气候分析, 系统误差较大, 偏差订正较难

同其他气候要素一样，海温观测误差包括系统误差和随机误差<sup>[17, 18, 21, 22]</sup>，在气候变化分析中系统误差的影响较大。不同的观测平台、方法存在不同的系统误差<sup>[18]</sup>。Kent等<sup>[21]</sup>定义随机误差为同一要素的独立、重复观测中不可预见的成分，随机误差随着区域、时间、质量控制方法等变化，但其量值与质量控制有关。系统误差可以通过扩大样本量来减小，因此样本量的增加有利于系统误差的确定。随机误差和系统误差是同时存在的，且两种误差是相互影响的，如随机误差会影响系统误差的评估<sup>[22, 23]</sup>，随机误差主要在单个观测中较明显，它明显大于系统偏差，而要找出系统误差需要长时间的序列，大的样本量有利于辨别随机误差和系统偏差。系统偏差主要由观测方法和仪器更换引起，海温观测经历了多次的观测方法和仪器的更新，因此在海温气候趋势分析时有效评估这些系统误差是有必要的。由于不同的观测方法存在不同的系统误差和随机误差，因此为了将以不同观测方法观测的资料进行整合，就需要观测时详细的资料，如：观测方法、观测平台、环境信息（如风速、航速、云、降水、气温）等，为偏差订正提供参考。

### 3 海温资料集的对比分析

#### 3.1 资料集简介

为了得到长期、精确的全球海温资料，需要将用不同观测方法观测到的海温进行整合得到完整的海温资料集。从19世纪中期开始，科学家们做了很多工作，并得到了几套较完整的全球海温资料集，这些资料集被广泛应用于气候变化分析和大气、海洋环流模式研究中。由于不同海温资料集的元数据、质量控制方法、分辨率、插值方法等均有所不同，因此应该根据不同分析需要选用相应的资料集。

本文主要分析比较在气候变化分析和模式同化中被广泛应用的4种海温资料集（表2），分别是英国Hadley中心的全球海冰海温资料（Hadley Centre Sea Ice and Sea Surface Temperature dataset, HadISST）、美国NOAA的综合海洋大气资料集（International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set, ICOADS）、美国NOAA/NCDC的延伸重建的海温资料（Extended Reconstructed Sea Surface

Temperature, ERSST）、NOAA的最优插值海温分析资料（Optimum Interpolation Sea Surface Temperature Analysis, OISSTA）等。

ICOADS资料主要由船舶资料组成，也包括浮标资料，是目前最完整、最全面、时间序列最长的现场观测资料。COADS（Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set）资料自1981年开始建立，最新版本为ICOADS RELEASE 2.5，时间范围为1662—2007年。它是通过对原始数据进行数字化、质量控制、偏差订正、网格化等步骤整理而成<sup>[4, 5]</sup>。

HadISST资料是Hadley中心的全球海冰和海温数据，是在GISST（Global Sea-Ice and Sea Surface Temperature）资料的基础上进行改进而成<sup>[6]</sup>。HadISST资料既包括了船舶、浮标等现场观测资料，又包括了卫星资料，并且利用了ICOADS资料，20世纪80年代开始增加了卫星数据。用降尺度最优插值法得到观测稀疏地区的数据，在空间上实现了全球覆盖，在气候变化、海气相互作用等分析中被广泛使用。

ERSST是对COADS资料的改进：COADS资料质量控制过程中将有些正确的资料剔除，为了保留这些资料，特别是在观测稀疏的地区保留这些资料更为重要。因此，ERSST在统计方法上进行改进<sup>[24]</sup>，用重建方法对现场资料COADS进行分析，重点在于现场资料稀疏的地区。利用ERSST资料可以开展全球或区域的长期分析，由于该资料进行了平滑，因此短期、局地的分析会有误差。相比于其他资料集，该资料空间分辨率较低。

OISST也是在COADS资料基础上改进而成，并加入了海冰数据和卫星数据，使得资料的时空分辨率、空间覆盖范围提高，但由于卫星观测历史较短，它的起始时间为1981年1月（AVHRR投入使用的时间），因此该资料长度也较短。OI（Optimum Interpolation）分析用于卫星数据的插值，因为合成分析降低了卫星数据的时间和空间分辨率，OI方法在大尺度特征上也优于合成分析<sup>[15, 25]</sup>。

#### 3.2 海温趋势分析

做海温长期变化趋势分析，资料时间段越长、分辨率越高越好，但这两个条件相互制约，因为当资料延伸到早期的时候资料的覆盖率、分辨率等大大降低，而将覆盖面和分辨率提高时，资料的长度就受到限制。因此，应根据分析需求选用合适的资料集，如做海温的高频、短期气候分析时可以选用质量较好的短期、完整的数据，如OISST资料；而进行年代际

表2 四种不同海温资料比较

	时间	空间分辨率	时间分辨率	海冰	卫星观测
ICOADS	1662—2007年 <sup>[5]</sup>	2°×2°(1960年以前) 1°×1°(1960年以后)	月	无	无
HadISST	1871年至今 <sup>[6]</sup>	1°×1°	月	有	有
ERSST	1854年至今 <sup>[24]</sup>	2°×2°	月	无	无
OISST	1981年至今 <sup>[26]</sup>	1°×1°	周	有	有

和趋势分析时就要用到几十年甚至几百年的数据,如ICOADS资料。在空间分布上,由于ICOADS资料在高纬度地区观测稀疏,因此适合开展中低纬地区的海温分析。Oort等<sup>[26]</sup>基于COADS资料指出,南、北半球中低纬度海温在过去110年变化相近,在19世纪后期、1905—1930年和自1940以来3个时期分别经历了暖、冷、暖期。然而,包括卫星资料的HadISST资料和OISST资料可以用来开展全球性的分析。Cai等<sup>[27]</sup>基于GISST3资料的分析指出,在海洋和陆地整合的全球年平均表面温度变化趋势与全球海温的变化趋势相同,说明在全球表面温度变化中海洋的作用是明显的。Lau等<sup>[28]</sup>分析指出,全球海温在过去的40年有明显上升趋势。无论在全球尺度还是热带地区海温场的EOF分析中,空间模态的最明显特征是ENSO,且对应的时间序列都表现出增加,即海温明显上升趋势<sup>[27-29]</sup>。

IPCC第四次评估报告中分析了1850—2005年全球海温基于1961—1990年的异常,其中基于不同资料集的最大暖异常均出现在1998年。IPCC第四次评估报告还指出全球和南、北半球海温在近150、100、30年中均有增温趋势,其中近30年最显著,近100年次之。太平洋海温在近100年有显著的增暖,偶尔会出现与PDO有关的在热带地区降温的时段。大西洋在南、北半球变化不同,直到20世纪90年代出现统一的增温现象。印度洋也表现出持续的增暖趋势。3个海区在20世纪40年代均有增暖趋势<sup>[20]</sup>。

基于这4种海温资料的关于中国近海海温气候变化特征的分析已有一些有意义的结论,由于HadISST资料时间较长、分辨率较高,因此长期变化分析中以该资料为主。中国近海海温在过去几十年中总体上有增温的趋势<sup>[19]</sup>,这与全球表层温度增加的大背景相符合,其中靠近海岸比远离海岸海区增温更明显,可能和受到陆地影响有关。近海海温与附近区域的气温有很好的相关性<sup>[30]</sup>。阎俊岳等<sup>[31]</sup>分析了东海近100年温度变化,给出了东海海温特征及其与气温的关系,指出东海海温和气温变化趋势相同,随着季节的不同,海温与不同海区的气温有较好的相关性,海温有2a周期振荡。张秀芝等<sup>[11]</sup>使用HadISST资料,分析了1901—2004年中国渤海、黄海、东海和南海区域表面海温的长期变化,指出各海区海温均呈增加趋势,20世纪80年代以后增暖明显。Jin等<sup>[32]</sup>基于HadISST资料分析了近137年中国近海多时间尺度海温变化,指出中国近海海温变化具有多时间尺度特征,季节变化在近岸地区更明显,年代际变化在不同区域呈现出不同

的特征,但在近20年中整个区域呈现出明显的上升趋势,这与全球变暖背景一致。本文在东海部分海区对4套海温资料进行了简单的对比。由于现场观测的COADS资料空间分布有限,因此选取COADS资料分布密度大的区域为研究区域。

图1出示了2011年12月基于不同资料的海温在中国近海的分布。ERSST资料由于分辨率为 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ ,因此在近岸地区不能很好地表示海温状况,且曲线较平滑不能够详细给出海温的细小的变化。相比ERSST资料,OISST资料分辨率高,能够呈现近岸海域和海温空间上细小的变化情况。HadISST与OISST类似,但OISST可以更清晰地给出海温空间细小的变化,这可能和OISST包含高分辨率的卫星资料有关。作为现场观测资料,ICOADS资料空间范围明显比上述3个资料少,观测主要集中在航线密集地区,但是其可信度大,也能反映小区域的分布情况。

基于不同资料的近30年年平均海温序列发现,OISST、ERSST、HadISST资料变化趋势基本一致(图2),最高温均出现在1998年,而COADS资料与其他3个资料差别较大。OISST资料值最大,HadISST资料次之,3套资料相差约 $0.5^{\circ}\text{C}$ ,COADS资料值最小,且其海温年际变化较其他资料大。

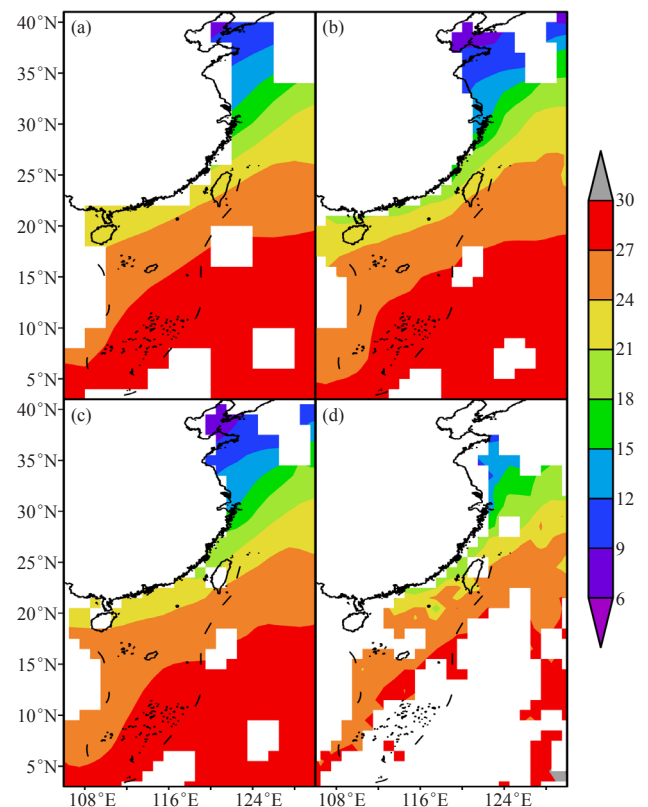


图1 2011年12月4种不同海温资料对比(单位:  $^{\circ}\text{C}$ )  
(a) ERSST; (b) OISST; (c) HadISST; (d) ICOADS

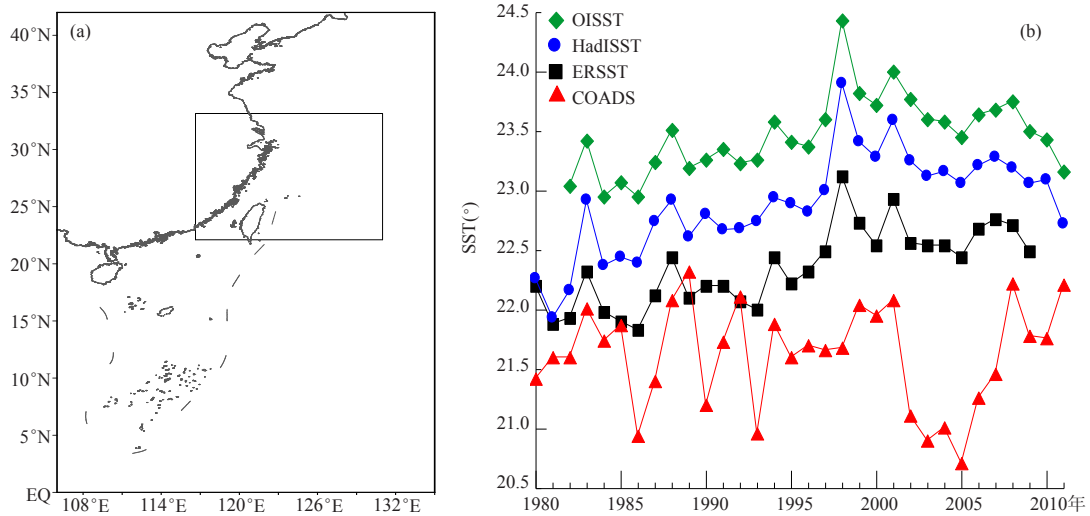


图2 研究区域 (23° N—33° N, 117° E—130° E) (a) 内4套海温资料近30年年平均海温变化曲线 (b)

#### 4 总结与讨论

海温观测已有200多年的历史，期间经历了从木桶、船舱引水观测到船体感应、浮标、卫星观测的演变，观测手段和技术日益先进，观测资料不断丰富。但是，历史海温资料的稀缺仍然是当前海温气候学和气候变化分析的最大制约因素。海温资料的不连续、不定点的特征加大了资料处理难度；观测仪器和方法的更新，数据统计方法的改变，引起历史海温资料序列的非均一性，对海温长期趋势估计造成明显影响。

结合早期的航海日志等资料，通过资料数字化和质量控制、网格化等步骤，获得了全球海温长时间的观测资料数据集。这些数据集被广泛应用于气候和气候变化研究中。目前应用较多的4套全球海温资料数据集各有优劣。ICOADS数据集是观测记录最长、最完整的现场观测资料，并为多个改进的数据集提供了基础数据；HadISST是一套全球海温和海冰数据集，其资料时间长、分辨率高，是气候变化分析的理想资料；在ICOADS资料基础上发展的ERSST和OISST融合了最新的现场观测资料、卫星资料和海冰资料，得到最新的海温分布，并对观测稀疏的地区进行了处理，适用于大尺度分析研究，但局地尺度的变化在处理过程中被平滑掉，在开展局地尺度分析时应与原始的现场资料同时使用。

中国近海海温变化的分析主要基于国外的几套全球海温资料。不同资料在区域尺度分析上表现出一定差异。海温观测资料的稀疏也是中国近海海温长期趋势变化研究的最主要制约因素。如何搜集更多的海温现场历史观测数据，并将其加入到已有的资料数据集中，或者发展我国自己的近海甚至全球海温观测资

料数据集，提高时间和空间分辨率，改进资料的完整性、连续性和均一性，是今后我国海洋气候和气候变化研究的重要任务。

#### 参考文献

- [1] Worley S J, Woodruff S D, Lubker S J, et al. The Role of the International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set in the Sustained Ocean Observing System. Proceedings of OceanObs'09: Sustained Ocean Observations and Information for Society, Vol. 2. Noordwijk, The Netherlands, European Space Agency, 2010: 1071-1079.
- [2] Parker D E, Folland C K, Jackson M. Marine Surface Temperature Observed Variations and Data Requirements. Climatic Change, 1995, 31: 559-600.
- [3] Hurrell J W, Trenberth K E. Global Sea Surface Temperature Analyses Multiple Problems and Their Implications for Climate Analysis Modeling and Reanalysis. Bulletin of the American Meteorological Society, 1999, 80(12): 2661-2678.
- [4] Woodruff S D, Slutz R J, Jenne R L, et al. A Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set. Bulletin American Meteorological Society, 1987, 68(10): 1239-1250.
- [5] Woodruff S D, Worley S J, Lubker S J, et al. ICOADS Release 2.5: Extensions and enhancements to the surface marine meteorological archive. International Journal of Climatology, 2011, 31: 951-967.
- [6] Rayner N A, Parker D E, Horton E B, et al. Global analysis of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century. Journal of Geophysical Research, 2003, 108(D14): ACL 2-1-20, 22.
- [7] 江滢, 翟盘茂. 几套全球SST资料集的对比分析与拼接. 气象, 2000, 26(7): 3-8.
- [8] 袁景凤, 李小泉. 不同来源月平均海温资料的比较分析. 气象, 1985, 3: 6-9.
- [9] 王雨, 刘鹏, 李天奕, 等. TMI反演海温与Hadley中心海温资料的气候尺度比较分析. 中国科学: 地球科学, 2011, 41(8): 1200-1210.
- [10] 鲍献文, 万修全, 高郭平, 等. 渤海、黄海、东海AVHRR海表温度场的季节变化特征. 海洋学报, 2002, 24(5): 125-133.
- [11] 张秀芝, 袁越芳, 吴迅英. 近百年中国近海海温变化. 气候与环境研究, 2005, 10(4): 799-807.
- [12] Kent E C, Kennedy J J, Berry D I, et al. Effects of instrumentation changes on sea surface temperature measured in situ. WIREs Climate Change, 2010, 1: 718-728.
- [13] 翟盘茂. 全球历史海洋气象资料概况. 气象科技, 1987, 6: 54-56.
- [14] Emery W J, Castro S, Wick G A, et al. Estimating Sea Surface

- Temperature from Infrared Satellite and In Situ Temperature Data. Bulletin of the American Meteorological Society, 2001, 82 (12): 2773-2785.
- [15] Reynolds R W, Rayner N A, Smith T M, et al. An Improved in Situ and Satellite SST Analysis for Climate. Journal of Climate, 2002, 15: 1609-1625.
- [16] Folland C K, Parker D E, Correction of instrumental biases in historical sea surface temperature data. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 1995, 121: 319-367.
- [17] Kent E C, Taylor P K. Toward Estimating Climatic Trends in SST Part I Methods of Measurement. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2006, 23: 464-475.
- [18] Kennedy J J, Rayner N A, Smith R O, et al. Reassessing biases and other uncertainties in sea-surface temperature observations measured in situ since 1850 part 2: Biases and homogenisation. 2010. Journal of Geophysical Research, 2011, 116: 1-16.
- [19] 孟庆佳, 施建伟, 刘娜, 等. 基于历史和卫星资料的中国近海海面温度长期变化趋势的综合分析. 海洋科学, 2011, 35(12): 121-126.
- [20] Trenberth K E, Jones P D, Ambenje P, et al. Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon S, Qin D, Manning M, et al. (eds.)]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [21] Kent E C, Challenor P G. Toward Estimating Climatic Trends in SST. Part II: Random Errors. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2006, 23: 476-486.
- [22] Kent E C, Kaplan A. Toward Estimating Climatic Trends in SST. Part III: Systematic Biases. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2006, 23: 487-500.
- [23] Kent E C, Berry D I. Quantifying random measurement errors in voluntary observing ships' meteorological observations. International Journal of Climatology, 2005, 25: 843-856.
- [24] Thomas M. Smith, Richard W. Reynolds. Extended Reconstruction of Global Sea Surface Temperatures Based on COADS data(1854-1997). Journal of Climate, 2003, 16: 1495-1510.
- [25] Reynolds R W, Smith T M. Improved Global Sea Surface Temperature Analysis Using Optimum Interpolation. Journal of Climate, 1994, 7: 929-948.
- [26] Oort A H, Pan Y H, Reynolds R W, et al. Historical trends in the surface temperature over the oceans based on the COADS. Climate Dynamics, 1987, 2: 29-38.
- [27] Cai W, Whetton P H. Modes of SST variability and the fluctuation of global mean temperature. Climate Dynamics, 2001, 17: 889-901.
- [28] Lau K M, Weng H Y. Interannual, Decadal-Interdecadal, and Global Warming Signals in Sea Surface Temperature during 1955-97. Journal of Climate, 1999, 12: 1257-1267.
- [29] L'Heureux M L, Collins D C, Hu Z Z. Linear trends in sea surface temperature of the tropical Pacific Ocean and implications for the El Niño-Southern Oscillation. Climate Dynamics, 2012, 40: 1223-1236.
- [30] 伍玉梅, 徐兆礼, 樊伟, 等. 1985—2005年东海海面温度时空变化特征分析. 海洋学报, 2011(33): 9-18.
- [31] 阎俊岳, 李江龙. 东海及邻近地区百年来的温度变化. 海洋学报, 1997, 19(6): 121-126.
- [32] Jin Q H, Wang H. Multitime scale variations of sea surface temperature in the China seas based on the HadISST dataset. Acta Oceanologica Sinica, 2011, 30(4): 14-23.

## 会议信息

- ◆ 变化的北极和亚北极环境：替代资料和基于模式的重建 (The Changing Arctic and Subarctic Environment: Proxy- and Model Based Reconstructions), 2014年2月4—6日, 波尔多, 法国 (<http://caseitn.epoc.u-bordeaux1.fr/>)
- ◆ 2014年地球系统科学博士论坛 (PhD Conference on Earth System Science 2014), 2014年3月12—14日, 耶拿, 德国 (<http://www.phd-ess-2014.org/>)
- ◆ 2014年应用物理与能源科学国际学术会议 (The 2014 International Conference on Applied Physics and Energy Science), 2014年3月14—16日, 武汉 (<http://www.c-icae.org/>)
- ◆ 2014年地球系统科学国际学术会议 (The 2014 International Conference on Earth System Science), 2014年3月14—16日, 武汉 (<http://www.c-icess.org/>)
- ◆ 2014年全球陆地计划开放科学会议 (The 2014 Global Land Project Open Science Meeting), 2014年3月19—21日, 柏林, 德国 (<http://www.glp-osm2014.org/>)
- ◆ WGOMD 高分辨率海洋气候模拟学术会议 (WGOMD Workshop on High Resolution Ocean Climate Modeling), 2014年4月7—9日, 德国, 基尔 (<http://www.clivar.org/wgomd/highres/>)
- ◆ 2014年第8届AWRA春季GIS和水资源特别会议：从数据到决策 (The 2014 AWRA Spring Specialty Conference on GIS and Water Resources VIII: Data to Decisions), 2014年5月12—14日, 美国, 盐湖城 (<http://www.awra.org/meetings/SnowBird2014/index.html>)
- ◆ 第4届iLEAPS科学会议：地球系统中的陆地生态系统，大气和人类 (4th iLEAPS Science Conference), 2014年5月12—16日, 南京 (<http://www.ileaps-sc2014.org/>)
- ◆ 第20届水资源计算方法国际学术会 (The XX. International Conference on Computational Methods in Water Resources, CMWR 2014), 2014年6月10—13日, 斯图加特, 德国 (<http://www.cmwr14.de/>)
- ◆ IMBER (Integrated Marine Biogeochemistry and Ecosystem Research) 开放科学会议 (IMBER Open Science Conference), 2014年6月23—27日, 挪威, 卑尔根 (<http://www.imber.info/index.php/Meetings/IMBER-OSC-2014>)
- ◆ 第7届全球水和能源循环国际科学会议 (7th International Scientific Conference on the Global Water and Energy Cycle), 2014年7月14—17日, 荷兰, 海牙 (<http://gewex.org/2014conf/home.html>)
- ◆ 第一届世界天气开放科学会议 (The first World Weather Open Science Conference, WWOSC 2014), 2014年8月16—21日, 蒙特利尔, 加拿大 (<http://www.wwosc2014.org/>)
- ◆ 第14届欧洲太阳物理会议 (14th European Solar Physics Meeting), 2014年9月8—12日, 都柏林, 爱尔兰 (<http://www.espm14.ie/>)