

几套全球 SST 资料集的对比分析与拼接^①

江 滢 翟盘茂

(国家气候中心, 北京 100081)

提 要

介绍了最常用的几套海面温度资料集的来源、优点与不足;先用经验正交函数分析法对其时、空特征分别进行对比、分析,筛选出最相近的两套 SST 资料集,再对这两套 SST 资料集的重叠部分(1982 年 1 月~1997 年 12 月)以及该部分的 Nino 区海面温度指数进行对比、分析,认为这两套海面温度资料集差别不大,可以直接拼接,以满足实时业务的需求。

关键词: SST 资料集 EOF 分解 Nino 区指数

引 言

海面温度(SST)是影响大气的海洋变
量,是气候变化的敏感指示器^[1],近 10 年来,

全球 SST 资料集的研制受到美国、英国等国
的高度重视。在我国气候研究中,经常接触到
多种版本的 SST 资料集(表 1)。由于这些资

表 1 4 套海面温度资料集的来源和特点

名称	内容	来源	优点	不足
COADS	1985 年提供了 1854~1979 年全球海洋气象资料,该项工作仍在延续 ^[2] 。	对全球船舶、浮标海洋观测资料的直接系统、全面的整理	对全球船舶、浮标海洋观测资料的再次系统、全面的整理,是以后许多网格资料集的基础	①早期的观测有限,存在着大量网格资料缺测②对早期不同采水观测方式造成的误差没有进行有效的订正 ^[3]
OISST	具有月平均和周平均两种类型的 1982 年以来的 1°×1°网格海面温度资料集 ^[3,5] 。	以船舶和浮标资料为基础,用卫星资料加以补充。卫星资料从美国国家环境卫星资料和信息中心中提取;船舶浮标资料,1982~1989 年源于 COADS,1990 年以来来源于 GTS。	①对卫星资料进行偏差订正 ^[4] ,提高了大尺度最优插值的准确性。②用卫星观测弥补了船舶浮标观测时空采样上的不足。③时空分辨率和精度高,有效地进行准实时处理,便于快捷及时地进行海表状况的监测。	时间序列较短,不利于进行长期的气候变化研究。
EOSST	1950~1997 年 2°×2°网格资料集。	Reynolds 和 Smith 等改进的经验正交函数法所产生的船舶、浮标分析 SST 场 ^[3] 。	时间序列较长。	没有实时化。
GISST	1903~1994 年 1°×1°网格资料集。	仅由船舶和浮标资料分析整理得,综合了 COADS 资料集和英国收集的 SST 资料,并有效地进行了观测误差的订正和插值 ^[5] 。	①1982 年之前,是最精确的一种 SST 资料集。②时间序列较长。	没有实时化。

^①国家“九五”重中之重项目“我国短期气候系统的研究”(96-908-02-03)课题资助

料集的来源和处理方法不一致,常常存在一定的系统误差,影响气候变化的研究结果。ENSO 的监测、预测和短期气候预测以及海气耦合模式的改进和验证都需要能够衔接历史和实时的 SST 资料集。本文旨在对美国综合海洋大气资料集(简称 COADS)、美国国家环境预报中心(NCEP)的最优插值海面温度场(本文简称为 OISST)、1950~1997 年 $2^\circ \times 2^\circ$ 网格资料集(本文简称为 EOSST)和英国国家气象局的 $1^\circ \times 1^\circ$ 网格月平均海面温度场(本文简称为 GISST)进行比较,从中选出两套比较合适的 SST 资料集做进一步的对比和拼接试验,以满足气候业务和研究的需求。

从表 1 可以看出,现在所使用 SST 资料集的来源和处理方法各异,序列长短不一,分辨率的差异也较大,因此,有必要对全球性的、比较可靠的、并能广泛应用的 SST 资料集进行比较、拼接。本文在对 EOSST、OISST 和 GISST 三套资料集进行比较研究的基础上,将最为接近的 EOSST 和 OISST 资料集进行了拼接。

1 资料及分析方法

1.1 资料集的格点统一

由于 EOSST 资料集为 $2^\circ \times 2^\circ$ 网格资料, OISST、GISST 是 $1^\circ \times 1^\circ$ 网格资料,为了方便比较,先统一网格:一是把 $2^\circ \times 2^\circ$ 网格资料线性插值成 $1^\circ \times 1^\circ$ 网格,二是把 $1^\circ \times 1^\circ$ 网格资料线性插值成 $2^\circ \times 2^\circ$ 网格,分别以 EOSST 和 OISST 为例对插值前后的 Nino 区指数进行比较,可见插值前后相对应的 Nino 4、Nino 3 和 Nino 1+2 区指数两条曲线拟合得非常好。 $1^\circ \times 1^\circ$ 网格资料计算的结果都略比 $2^\circ \times 2^\circ$ 网格资料的计算结果变幅大。但总的来说, EOSST 和 OISST 插值前后的差值一般都不超过 $\pm 0.2^\circ\text{C}$, 相对于海面温度观测误差本身(约 0.5°C)与大尺度海气变化的研究来说,两种方法的插值结果都是可

以接受的。

1.2 分析方法

海面温度资料集实质上是由经度、纬度和时间序列构成的三维场,且场内各维海面温度值相互联系,所以,场与场之间的比较需要同时考虑经度、纬度和时间三个方向,用经验正交函数 EOF 方法将其分解成正交的时间函数与正交的空间函数乘积之和,时间函数和空间函数相互独立,就可很直观、简明地分别对各 SST 场的时间系数和空间特征场进行对比分析。况且, EOF 分解基于海面温度场序列本身的特征,不作事先人为规定,因而能较好地反映出场的基本结构特征^[7]。

具体方法是把标准化的 SST 场序列分解成正交的时间函数与正交的空间函数乘积之和,即

$$\hat{F}_{ij} = \sum_{h=1}^H T_{hi} X_{hj} \quad (1)$$

($i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n$)

F_{ij} 表示 SST 的第 i 个场中第 j 个点的值, n 为场中 SST 网格点的个数, m 为场的个数,即代表时间序号, H 为典型场的个数, X_{hj} ($h = 1, 2, \dots$) 是序号为 h 的特征向量场在 j 点的值,且它仅依赖于空间坐标; T_{hi} 就是序号为 h 的特征向量场在第 i 时刻的权重数,且它仅依赖于时间坐标。根据正交性, T_{hi} 和 X_{hj} 应分别满足如下关系:

$$\sum_{j=1}^n X_{kj} X_{lj} = \begin{cases} 0 & k \neq l \\ \sum_{j=1}^n X_{kj}^2 & k = l \end{cases} \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m T_{ki} T_{li} = \begin{cases} 0 & k \neq l \\ \sum_{i=1}^m T_{ki}^2 & k = l \end{cases} \quad (3)$$

其中 l, k 为典型场序号。按照通常拟合经验函数的方法, X_{kj} 和 T_{ki} 应满足最小二乘法,

$$\text{即: } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (F_{ij} - \hat{F}_{ij})^2 = \min \quad (4)$$

对式(2)(3)(4)进行整理可得:

$$\sum_{l=1}^n X_{kl} \left(\sum_{i=1}^m F_{ij} F_{il} \right) = X_{kj} \left(\sum_{i=1}^m T_{ki}^2 \right) \left(\sum_{j=1}^n X_{kj}^2 \right) \quad (5)$$

对于指定的典型场序号 k , $\sum_{l=1}^m T_{ki}^2$ 和 $\sum_{j=1}^n X_{kj}^2$ 是常数, 于是, 令

$$\lambda_k = \frac{1}{m} \left(\sum_{j=1}^n X_{kj}^2 \right) \left(\sum_{i=1}^m T_{ki}^2 \right) \quad (6)$$

$$A_{jl} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m F_{ij} F_{il} \quad (7)$$

若 $H = n$, 则存在 λ_k 的 n 个解, 将其按大小顺序排列, 可得 n 个典型场, 这些典型场也就是展开 SST 场的各特征向量场。

2 SST 资料集的比较分析

2.1 EOF 分解后的 OISST、EOSST、GISST 空间场和时间序列的比较分析

由于 45°S 以南地区很少有船舶、浮标资料, 设定南限为 45°S ; 北半球选最大北界为 65°N , 选择 3 套资料重叠时段 1982 年 1 月~1994 年 12 月, 分别对 OISST、EOSST、GISST 进行 EOF 分解, 分解结果含明显的月际、年际变化。这 3 套 SST 场的前 5 个特征向量累积方差贡献均达 50% 左右, 已能相当好地描述 SSTA 的变化特征。第 1 特征向量的方差贡献最大, 均为 27%, 表现出 SSTA 场的最基本特征(图 1a)。这 3 套资料集的第 1 特征向量场均能很好地反映海面温度变化的主要型态(赤道中东太平洋地区为正, 西、南、北太平洋为负以及整个印度洋、南、北大西洋为正, 赤道大西洋($5^\circ\text{N} \sim 15^\circ\text{S}$)为负的基本特征, 即表现为 ENSO 时 SSTA 分布特征^[8])。对应的时间序列(如图 2)拟合得非常好, 相互之间的相

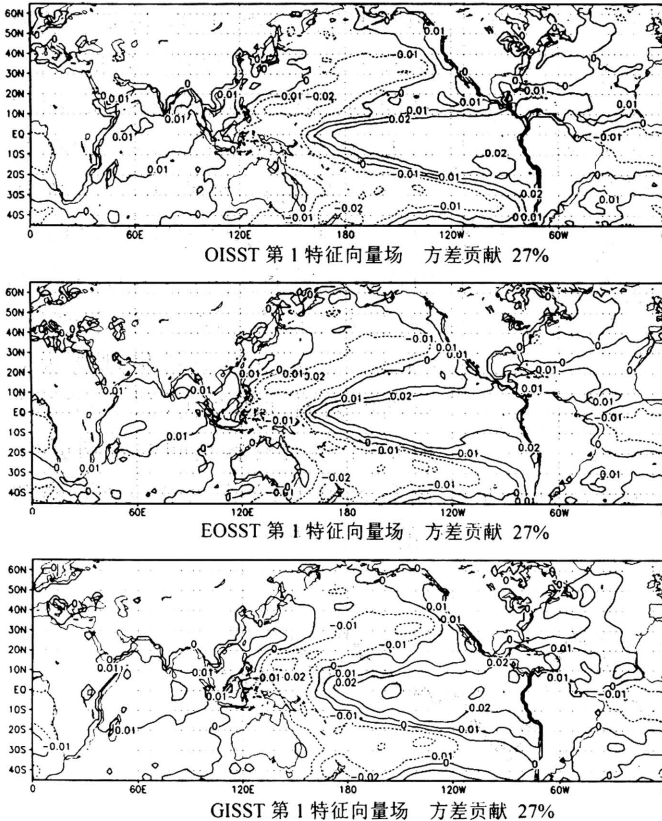


图 1a EOF 分解后 OISST、EOSST、GISST 第 1 的特征向量场

关系数均为 100%, 同时, 都十分清楚地反映了 SSTA 的变化, 1982 年 5 月~1983 年 9 月、1986 年 9 月~1988 年 1 月、1991 年 5 月~1992 年 7 月、1993 年 3 月~1993 年 11 月时间系数为正, 为 ENSO 暖事件过程; 1984 年 10 月~1985 年 10 月、1988 年 4 月~1989 年 5 月为 ENSO 冷事件过程, 时间系数为负。由此可见这 3 套 SSTA 场在第 1 特征向量上几乎无差别。OISST、EOSST、GISST 的

第 2 特征向量的方差贡献分别为 9%、10% 和 7%, 次大, 为 ENSO 的过渡形态^[8], 相应的时间序列拟合得也很好, 两者间的相关系数大于等于 99%。图 1b 为 GISST、EOSST、GISST 的第 3 特征向量场, 可以看出: EOSST 和 OISST 分布特征仍十分相似, 而 GISST 的大部海域呈现出反位相, 其方差贡献占总方差的 5%, 也就是说, 在近 50% 的累积方差贡献中, GISST 与 OISST、EOSST 至

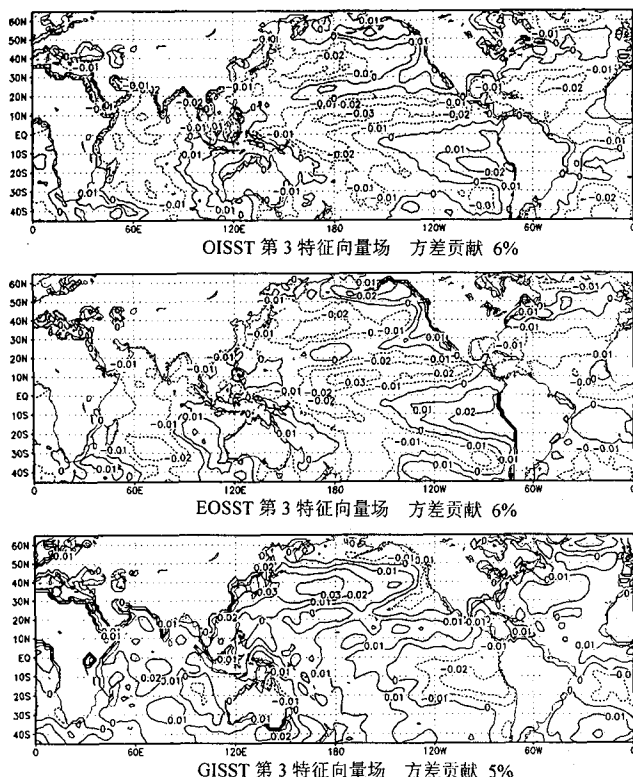


图1b EOF分解后 OISST、EOSST、GISST 第3的特征向量场

少有5%的反方差贡献,所占的比率较大。图3也反映出GISST的第3特征向量的时间序列与OISST、EOSST的不一致性, GISST与OISST的相关系数已降到93%,而EOSST与OISST间的相关系数仍为99%。第4特征向量的方差贡献占总方差贡献的4%左右,所反映的场的特征亦是OISST与EOSST很相似(图略), GISST与之相比存在一定的差别,其对应的OISST和EOSST时间序列的相关系数为98%,而OISST与GISST时间序列的相关系数降为81%。由此可见,OISST与EOSST两海面温度场十分相近,而GISST与之相比,差别略大。即,OISST、EOSST、GISST海面温度资料集都能很好地反映海面温度的变化,其中OISST和EOSST两套资料集间的差别更小。下面我们

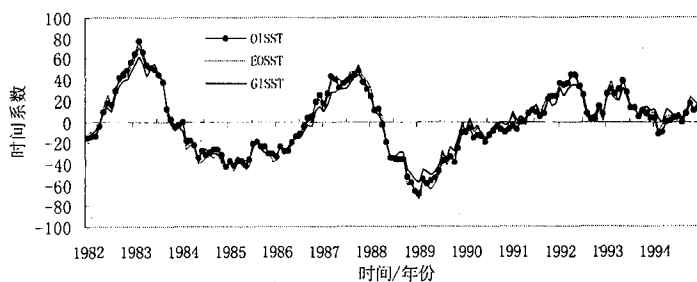


图2 OISST、EOSST、GISST 第1特征向量场对应的时间序列

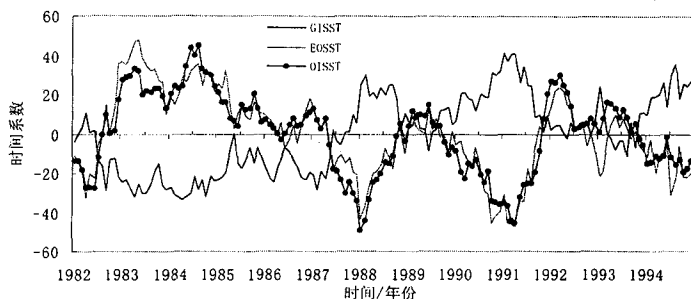


图3 OISST、EOSST、GISST 第3特征向量场对应的时间序列

表2 OISST、EOSST 和 GISST 第1~5特征向量
对应时间序列的相关系数

特征向量	OISST 与 EOSST	OISST 与 GISST	GISST 与 EOSST
1	1.00	1.00	1.00
2	0.99	0.99	1.00
3	0.99	-0.93	-0.96
4	0.98	0.81	0.91
5	-0.96	-0.62	0.82

2.2 OISST 与 EOSST 两套资料集重叠时段 Nino 区指数的对比分析

为了进一步比较 ENSO 监测区域的海面温度变化情况,分别对 OISST、EOSST 重叠时段(1982 年 1 月~1997 年 12 月)做 Nino 区指数,可以看出,Nino 1+2、Nino 3 和 Nino 4 区海温指数都拟合得很好,尤其是 Nino 3 区和 Nino 4 区指数。因为 Nino 1+2 区指数所代表的区域小得多,对海面温度的变化比较灵敏,又靠近南美沿岸,海面温度变化以及陆地、观测方法等对海面温度资料的影响都很大。所以 Nino 1+2 指数变化较大,不同场的指数差别也较大。但总的来看,两套海温场在 Nino 区内差别很小,不影响对 ENSO 事件的分析与监测。

2.3 OISST、EOSST 两套海面温度距平场重叠时段的直接对比

由于 OISST 和 EOSST 1982 年 1 月~1997 年 12 月重叠,可以进一步对重叠时段进行直接比较。在赤道太平洋及以北海域,两海面温度距平场差值小于 -1.0°C 时多为极强 ENSO 暖事件过程,差值大于 1.0°C 的多为强 ENSO 冷事件过程。这说明 OISST 比 EOSST 能更显著地反映赤道太平洋海面温度变化,即 ENSO 暖事件过程中的增温更明显、ENSO 冷事件过程中的降温也比 EOSST 海面温度场明显。在赤道南太平洋,两套 SSTA 场差值大于 1.0°C 和小于 -1.0°C 区域较大,一般成对出现于 45°S 以南地区,ENSO 暖事件过程多是正值区在西,负值区

在东,为+、-型;ENSO 冷事件过程中,多为一、+型。印度洋、大西洋南部,尤其是 30°S 以南区域也出现差别大于 1°C 的现象,且没有什么规律,这是因为该区域实测资料较少,两套资料对无实测资料区域的处理方法不同而产生的差异。作者认为,OISST 场加入了卫星反演资料,可信度较高。但总的来说,这两套海面温度资料集差异不大,绝大部分区域在 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 的允许误差范围内。

2.4 关于资料误差的订正与拼接

从上面的对比分析可知:(1)OISST、EOSST 间的差别虽存在一定的规律,但这种规律并不是随时间、区域的变化而变化的,也没有确定的周期性,不便对其做系统订正。若把这两套资料重叠的 16 年求取差值,再按月取平均(或做方差等),之后对资料进行订正,效果并不明显,订正后,还抹杀了原资料对海面温度变化的反映。(2)这两套海面温度资料间的差别虽与 ENSO 事件有关,若要按这种规律订正资料,必须先知道 ENSO 的状况,所以只能对历史资料进行订正,而这种订正随着 ENSO 事件的强弱、类型等的变化也将产生新的误差。(3)由于 OISST、EOSST 两套海面温度资料场差别不大,所有差别都在允许误差范围内。故作者认为这两套 SST 资料集在进行网格统一处理后,直接拼接最好。

拼接后的 SST 场为 1950 年至今, $2^{\circ}\times 2^{\circ}$ 网格的月平均海面温度资料集。对其做 Nino 3 区指数(图 4),可以看出,1950 年以来的 15 次 ENSO 暖事件过程^[9]中指数为正;而 11 次持续负指数时段,恰为 ENSO 冷事件过程。所以说拼接后的 SST 场能十分明显地反映出海面温度的变化,并且在 SST 场的拼接处(1981 年 12 月与 1982 年 1 月间),指数衔接得非常好,无跳跃现象,故认为 SST 场的拼接是成功的。

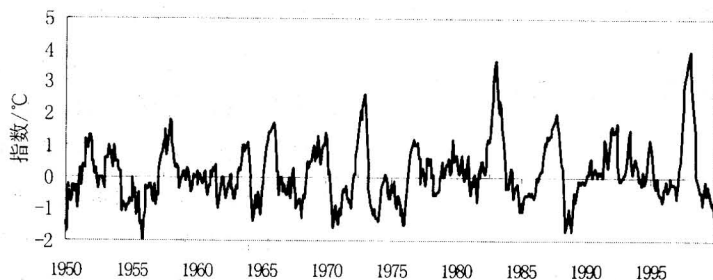


图4 从拼接后的海面温度场计算得到的 NINO 3 区指数(1950~1999 年)

3 小结

①用线性插值法,对不同网格的 SST 资料集进行网格统一,统一网格后的 SST 场与原 SST 场的差别在 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 的误差范围内。

②通过分析 EOF 分解后的 OISST、EOSST 和 GISST 的空间特征向量场和时间序列,认为 OISST 与 EOSST 两套海面温度资料集相似程度较高。前 5 个特征向量场的累积方差贡献分别为 27%、36%、42%、46%、49%和 27%、37%、43%、48%、51%,而对应前 5 个时间序列的相关系数分别为 100%、99%、99%、98%和 96%,这说明 OISST 与 EOSST 海面温度集十分相近,都能很好地反映海面温度变化。

③对 EOSST 和 OISST 两套海面温度资料集直接进行比较,赤道太平洋及以北海域差别最小,有差异的范围也很小。这种差异在强 ENSO 事件过程中,稍有增加。OISST 更突出地反映了海面温度变化。

④综合分析认为 OISST 与 EOSST 两套海面温度集相差很小,且直接拼接最好。利用 Nino 3 区指数对所拼接后的资料集进行验证,表明此项工作是成功的。

参考文献

- 1 CLIVAR, Scientific Steering Group. A study of climate variability and predictability. MO TD No. 690, August, 1975:157.
- 2 翟盘茂. 全球历史海洋气象资料概况. 气象科技, 1987, (6).
- 3 Smith T. M. and R. W. Reynolds, Reconstruction of historical sea surface temperatures using empirical orthogonal functions. J. Climate, 1996, 9 (6): 1403 ~ 1420.
- 4 Reynolds W. R. and D. C. Marsico, An improved real-time global sea surface temperature analysis. J. Climate, 1993, 6: 114 ~ 119.
- 5 Reynolds W. R., A real-time global sea surface temperature analysis. J. Climate, 1988, 1: 75 ~ 86.
- 6 Parker D. E. et al, Interdecadal change of surface temperature since the latest nineteenth century, J. Geophys. Res., 1999, 14: 373 ~ 399.
- 7 屠其璞等, 气象应用概率统计学. 气象出版社, 1994: 445 ~ 470.
- 8 郭艳君, 翟盘茂等. 一个新的 ENSO 监测指标的研究, 应用气象学报, 1998, 9(2): 169 ~ 177.
- 9 李晓燕, 翟盘茂. ENSO 事件指数与指标研究, 气象学报, 2000, 58(1): 102 ~ 109.

Intercomparation and Mergence of Some Global SST Datasets

Jiang Ying Zhai Panmao

(National Climate Center, Beijing 100081)

Abstract

The source, characteristics and advantages of four global sea surface temperature (SST) data sets were discussed. By using empirical orthogonal functions (EOF), the temporal and spatial features represented by different data sets were analyzed. Finally, two SST data sets with smallest difference were merged to meet the needs of operational application.

Key Words: SST sets EOF Nino Index