

Argo 三维网格资料（GDCSM_Argo）用户手册



中国 Argo 实时资料中心

卫星海洋环境动力学国家重点实验室

国家海洋局第二海洋研究所

2013 年 9 月

一、背景

全球 Argo 实时海洋观测网（图 1（上））目前正以每 4 分钟一条剖面的惊人速度提供来自深海大洋中的温盐度信息（同时也含有次表层的海流信息），其观测资料数量已远远超过了海洋调查船在过去一百多年期间得到的温盐度剖面总数（图 1（下））。况且，Argo 剖面浮标观测的频次、同步性和覆盖面等均要优于历史上采用调查船或局域锚碇浮标网（如 TAO）的观测。因此，虽然 Argo 资料的观测时间序列还不算长，但它已经成为海洋气候模式中的重要数据来源。但 Argo 浮标具有的“随波逐流”特性所导致的观测剖面在时间和位置上的随意性，为人们在海洋科学研究及海洋和天气预测预报等业务化领域中应用 Argo 资料，带来了较大的局限性。为了保持 Argo 资料的独立性，以及保证资料的质量，我们立足于 Argo 资料本身（未同化其他观测资料）开发了一个 2004~2011 年期间太平洋海域的再分析资料集，供广大 Argo 用户共享。

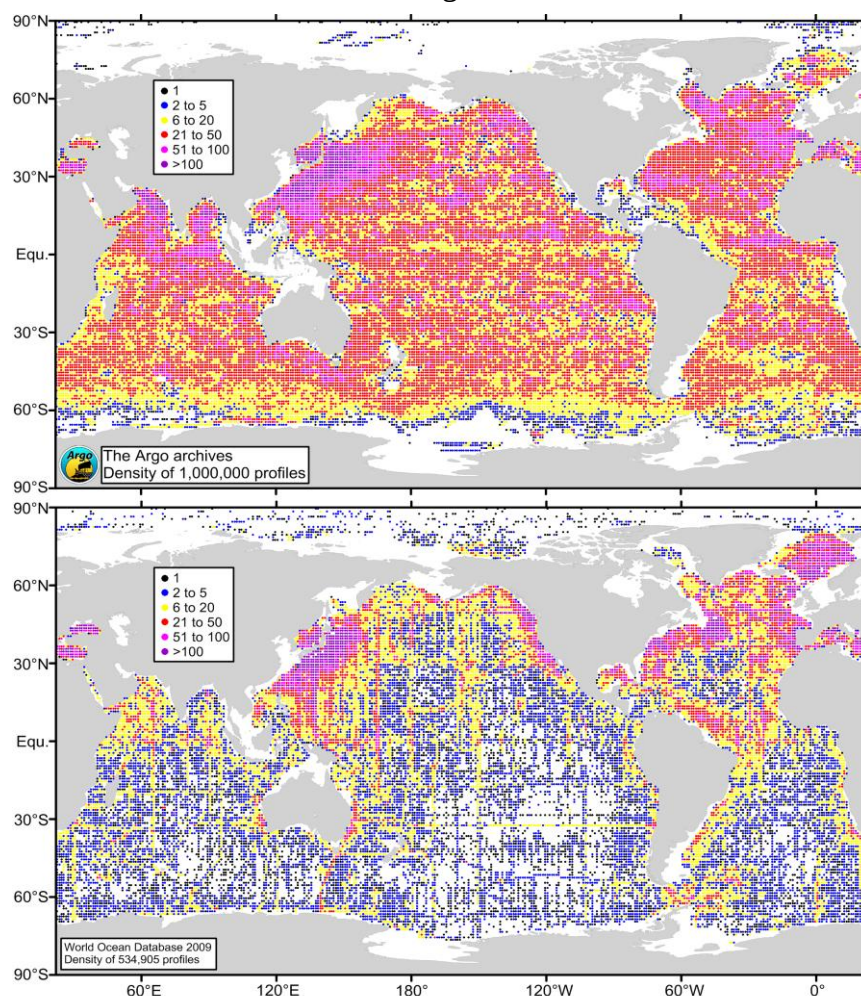


图 1 全球海洋中次表层资料分布（上图由 Argo 浮标提供；下图则由历史观测提供）

二、数据集说明

本数据集利用基于梯度依赖相关尺度的最优插值客观分析方法构建次表层（10~2000m）三维网格数据，并基于一个温度参数模型推算表层温度场，以及采用 Akima 外插法获得表层盐度场（图 2）。其中，初始场的构建、相关尺度的计算及模型参数的确定等都完全基于 Argo 资料本身，并未采用其他观测资料。

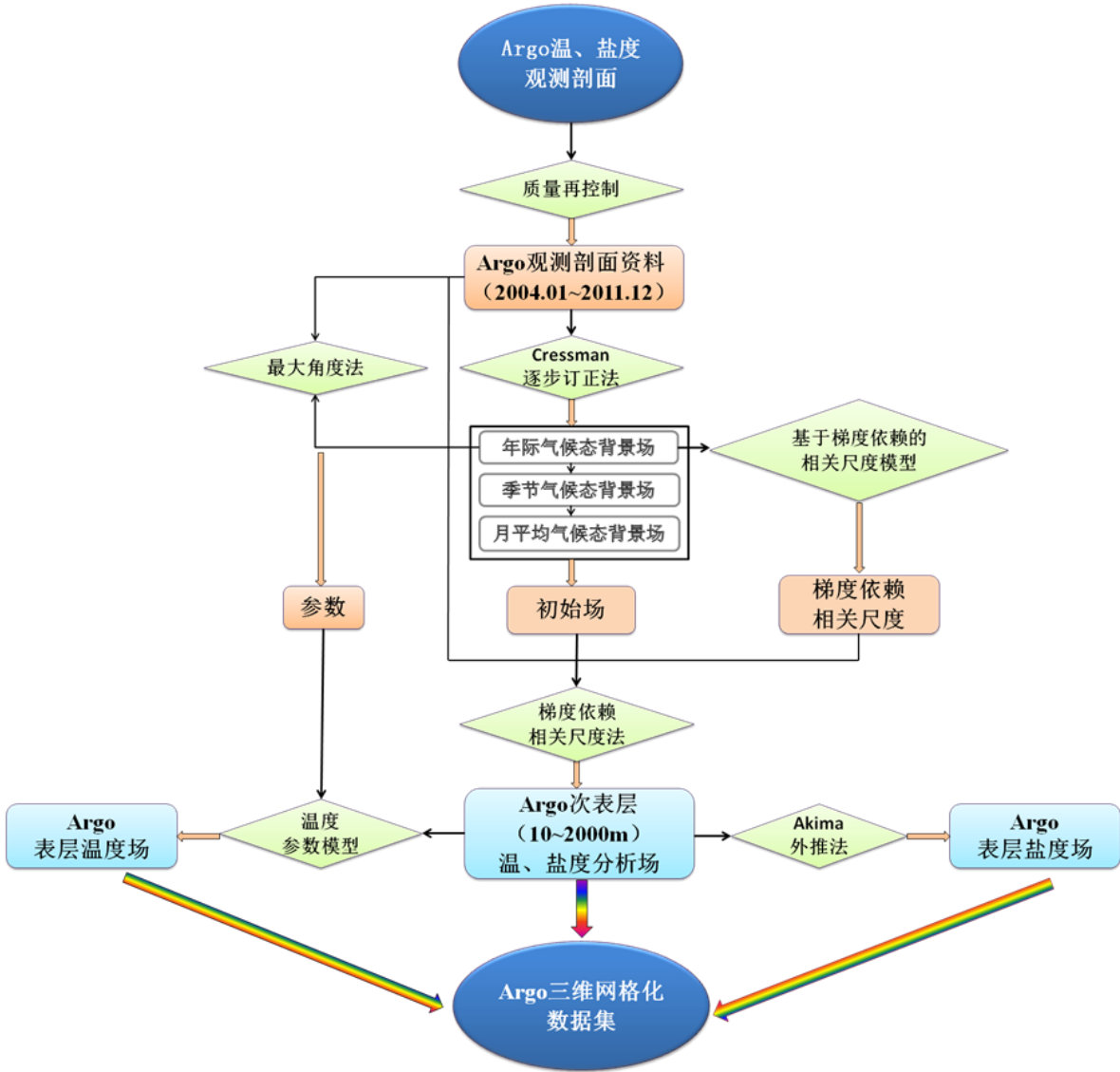


图 2 Argo 网络资料集构建流程

构建的 Argo 三维网格资料集的基本信息如下：

- (1) 水平覆盖范围：120°E~70°W，60°S~60°N；
- (2) 水平分辨率：1°×1°，经、纬方向上的格点数分别为 172 和 121，垂向（0~2000m）共 26 层（表 1）；

(3) 时间分辨率：月平均；

(4) 覆盖时段：2004 年 1 月~2011 年 12 月；

(5) 数据格式：数据文件以 matlab 格式存储，逐年逐月数据文件名表示为 GDCSM_YYYYMM.mat，其中，YYYY 表示年份，MM 表示月份；年际气候态数据文件名表示为 anual.mat；四个季节气候态数据文件名表示为 Winter.mat (Feb)、Spring.mat (May)、Summer.mat (Aug)及 Autum.ma t(Nov)。

(6) 包含的变量：温度 (°C) (变量名：T，维数：172×121×26)；盐度 (变量名：S，维数：172×121×26)；经度 (变量名：xi，维数：172×121)；纬度 (变量名：yi，维数：172×121)；深度 (变量名：zi，维数：1×26)。

表 1 资料标准层及深度

标准层	深度 (m)	标准层	深度 (m)
1	0	14	500
2	10	15	600
3	20	16	700
4	30	17	800
5	50	18	900
6	75	19	1000
7	100	20	1100
8	125	21	1200
9	150	22	1300
10	200	23	1400
11	250	24	1500
12	300	25	1750
13	400	26	2000

三、客观分析系统介绍

1、背景场

鉴于本数据集立足于观测资料本身进行海洋资料客观分析，不涉及模式的数值模拟效果，且仅使用时间连续性强，覆盖面广的 Argo 剖面浮标观测资料，因

此采用了既简单经济，又能产生较合理分析结果（Kalnay 2003）的 Cressman（1959）逐步订正方案，来构建 Argo 次表层（10~2000m）温、盐度网格化资料集的初始场。第一次迭代采用了相对较大的影响半径，随后，随着迭代次数的增加，影响半径逐渐减小。

2、资料

用作客观分析的 Argo 次表层（10~2000m）原始散点数据由中国 Argo 实时资料中心（<http://www.argo.org.cn/>）提供，这里选用 2004 年 1 月~2011 年 12 月（96 个月）所有太平洋海域（120°E~70°W，60°S~60°N）的温、盐度剖面观测资料。为了保证数据集的可靠性，进一步对所采用的观测资料进行了温盐范围检验、冰点检验、尖峰检验、温盐梯度检测及水深递增检验等质量再控制，并将检测到的可疑观测数据剔除后，利用 Akima 方法（Akima 1970）垂向插值到 25 个标准层上。经质量再控制后，整个太平洋海域 96 个月的观测剖面共有 390455 条。

3、客观分析方法

（1）次表层网格数据构建方法

采用了基于梯度依赖相关尺度的最优插值客观分析法（Zhang et al. 2013），来构建 Argo 次表层（10~2000m）三维温、盐度分析场，基于最小二乘理论的最优插值基本方程为（Gandin 1963）：

$$X^a = X^b + W \left[y^o - H(X^b) \right] \quad (1)$$

其中， X^a 为分析场； X^b 为背景场； y^o 是观测场； H 是从分析格点到观测点的双线性插值算子。最优权重矩阵 W 具有以下形式：

$$W = BH^T (R + HBH^T)^{-1} \quad (2)$$

对一个受 p 个观测值影响的特定格点 g ，(2.2)式中最优权重 w 是以下线性方程组的解：

$$\sum_{j=1}^p w_g \mu_{jk} + \eta_k \bar{w}_g \mu_g = \bar{w}_g \mu_g, \quad g, k = 1, \dots, \quad (3)$$

这里， μ_{jk} 是两个观测站点 j, k 的背景误差相关； μ_{gk} 是观测站点 k 和格点 g 间的背景误差相关； $\eta_k = \sigma_{ok}^2 / \sigma_{bg}^2$ （记为 η ）是观测误差与背景误差的平方比。

背景误差协方差矩阵中背景误差相关 μ_{xy} 沿用高斯函数形式^[1-2]:

$$\mu_{xy} \sim \exp\left\{-\frac{r_x^2}{L_x'^2} - \frac{r_y^2}{L_y'^2}\right\} \quad (4)$$

其中, r_x 和 r_y 为两点间的距离; L_x' 和 L_y' 分别是经向和纬向的相关尺度:

$$\begin{cases} L_x' = \frac{L_x}{W_x}, & W_x = 1 + \left| \frac{\partial X}{\partial x} \right| / \left| \frac{\partial X}{\partial x} \right|, \\ L_y' = \frac{L_y}{W_y}, & W_y = 1 + \left| \frac{\partial X}{\partial y} \right| / \left| \frac{\partial X}{\partial y} \right| \end{cases} \quad (5)$$

$\left| \frac{\partial X}{\partial x} \right|, \left| \frac{\partial X}{\partial y} \right|$ 分别为径向和纬向的分析变量 (温度或盐度) 梯度, $\left| \frac{\partial X}{\partial x} \right|, \left| \frac{\partial X}{\partial y} \right|$ 为水平梯度

均值。

在此过程中, 可调参数 $\eta=0.25$, 相关尺度常数 L_x 和 L_y 取值为 10 度, 温、盐度水平梯度 W_x 与 W_y 的最大值不超过 3; 搜索半径 R 为 5 度 (Behrinoer et al. 1998)。

(2) 表层温度场构建方法

采用一个温度参数模型 (Chu and Fan 2000), 以此来确定次表层温度与海表温度的函数关系, 然后利用Argo浮标观测获得的次表层数据推算出表层温度场 (张春玲等 2013):

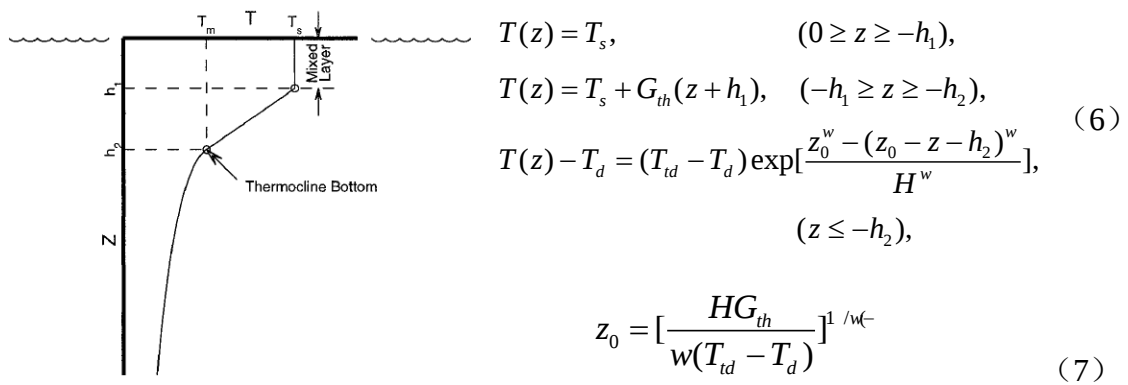


图 3. 温度参数模型

首先采用最大角度法 (Chu 和 Fan 2011) 计算出每个分析格点上的混合层深度 h_1 、温跃层下界深度 h_2 及温跃层梯度 G_{th} , 分别将该格点上 10m, 20m, 30m, 50m, 75m, 100m, 125m, 150m, 200m 层的温度值作为 $T(z)$, 根据温度参数模

型((6)式)中对于的函数形式,推算每个网格点上的九个表层温度值,进而由(8)式进行加权平均:

$$T_i = \frac{\sum_{j=1}^9 b_{i,j} T_{i,j}}{\sum_{j=1}^9 b_{i,j}}, b_{i,j} = \exp(-(r_{i,j} - \bar{r}_i)^2 / L^2) \quad (8)$$

其中,参数 $H=2000$, $w=0.5$, 温度误差相关尺度 L 取为 2°C ; T_d 为海洋底层温度,此处取为 WOA09 多年平均数据中 5500m 深处对应的温度 (Chu and Fan 2000); 跃层下界温度 T_{td} , 采用二分法求得。

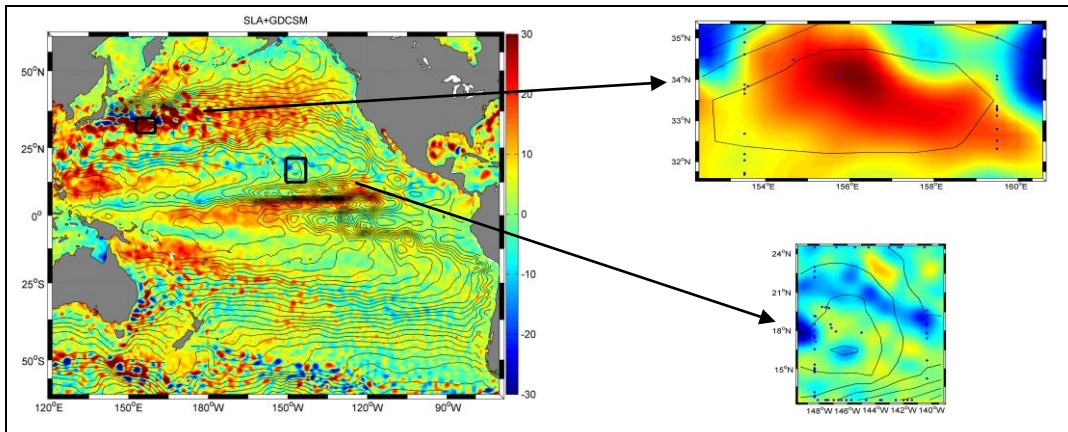
(3) 表层盐度场构建方法

沿用传统的 Akima 外插法 (Akima 1970) 来估计表层盐度场, 其外插方式是借鉴 Akima 内插在边界处的插值方式: 假设端点、其相邻的两个给定点及需要补充的两个数据点均在同一条抛物线上。

四、Argo 网格化数据产品检验

1、与传统相关尺度法构建的结果对比

将梯度依赖相关尺度法 (GDCSM) 和传统相关尺度法 (TCSM) 两种方法计算得到的 100m 层上的温度结果, 分别叠加到海表异常分布图上。显然, 梯度依赖相关尺度法得到的温度等值线分布在很多区域更接近由海面高度异常数据所反映的“真实”海温场。由选取的区别比较明显的两个小区域 (151.5 E~162.5 E, 31.5 N~35.5 N) 和 (150 W~139 W, 12.5 N~24.5 N) 比较分析可得 (图 3, 蓝色点为对应区域内 Argo 观测剖面的站点分布), GDCSM 的温度等值线能够反映出海表异常数据中, (156 E, 34 N) 和 (146 W, 16 N) 两点处存在的中尺度涡,



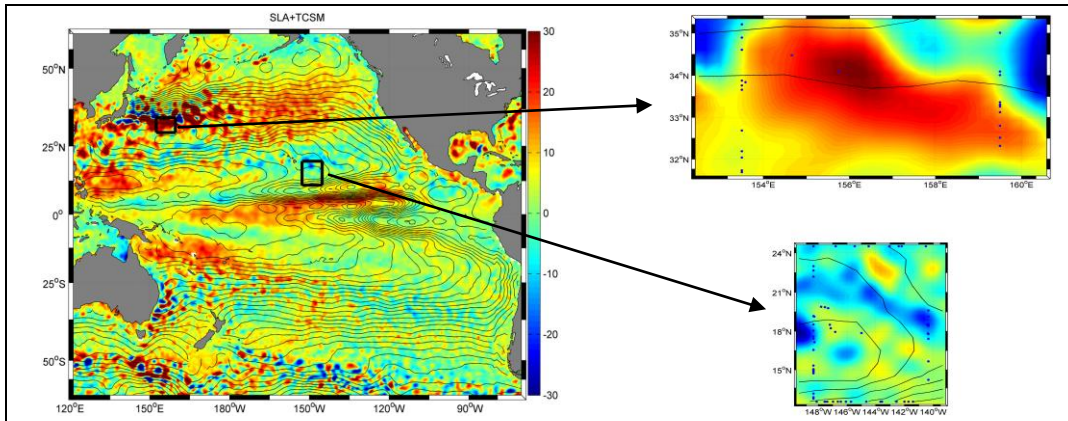


图 3 2009 年 8 月份 100m 层温度结果

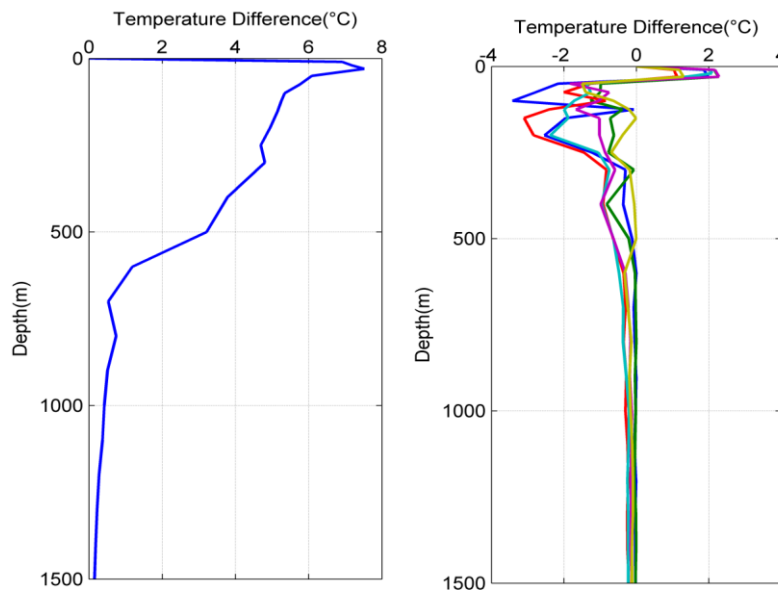


图 4 (156°E, 34°N) (左)、(146°W, 16°N) (右) 两点附近的 Argo 观测偏差分布

TCSM 的计算结果中，在这两点处却没有暖涡和冷涡存在的迹象，并且，由图 4 的结果进一步佐证了冷暖涡的“真实性”。

2、与 TAO 锚碇浮标长时间序列观测比较

重构的网格资料 GDCSM (图 5a) 与 TAO 锚碇浮标观测 (图 5b) 的温度分布特征在时间与深度上十分相似：温度从上到下逐步递减，最高温度出现在 50m 上层，其值大于 29°C；500m 以下，温度值低于 8°C。100m 上层，温度十分均匀 (28~29°C)，随着深度增加，等值线变得密集起来，在约 200m 厚度内，温度变化大约在 16°C；300m 深度以下，等值线分布稀疏，直到 600m 层，温度变化小于 5°C。特别指出的是，在温度变化十分显著的次表层区域 (100~250m)，等温线明显呈波浪状分布，且波峰和波谷几乎呈一一对应，可见两者的吻合程度。再

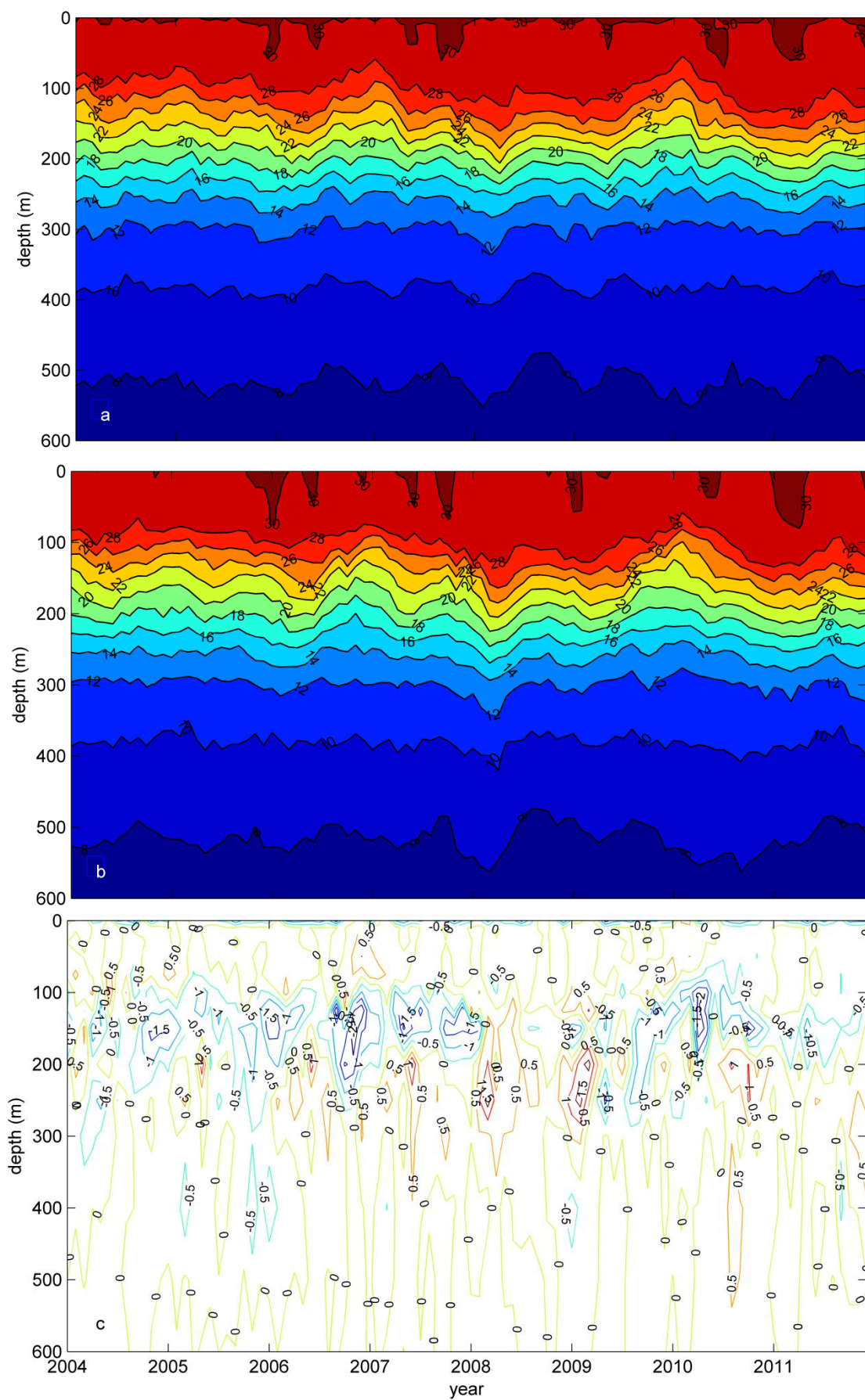


图5 赤道太平洋 (0°N , 147°E) 温度分布 (a: GDCSM; b: TAO; c: GDCSM-TAO)

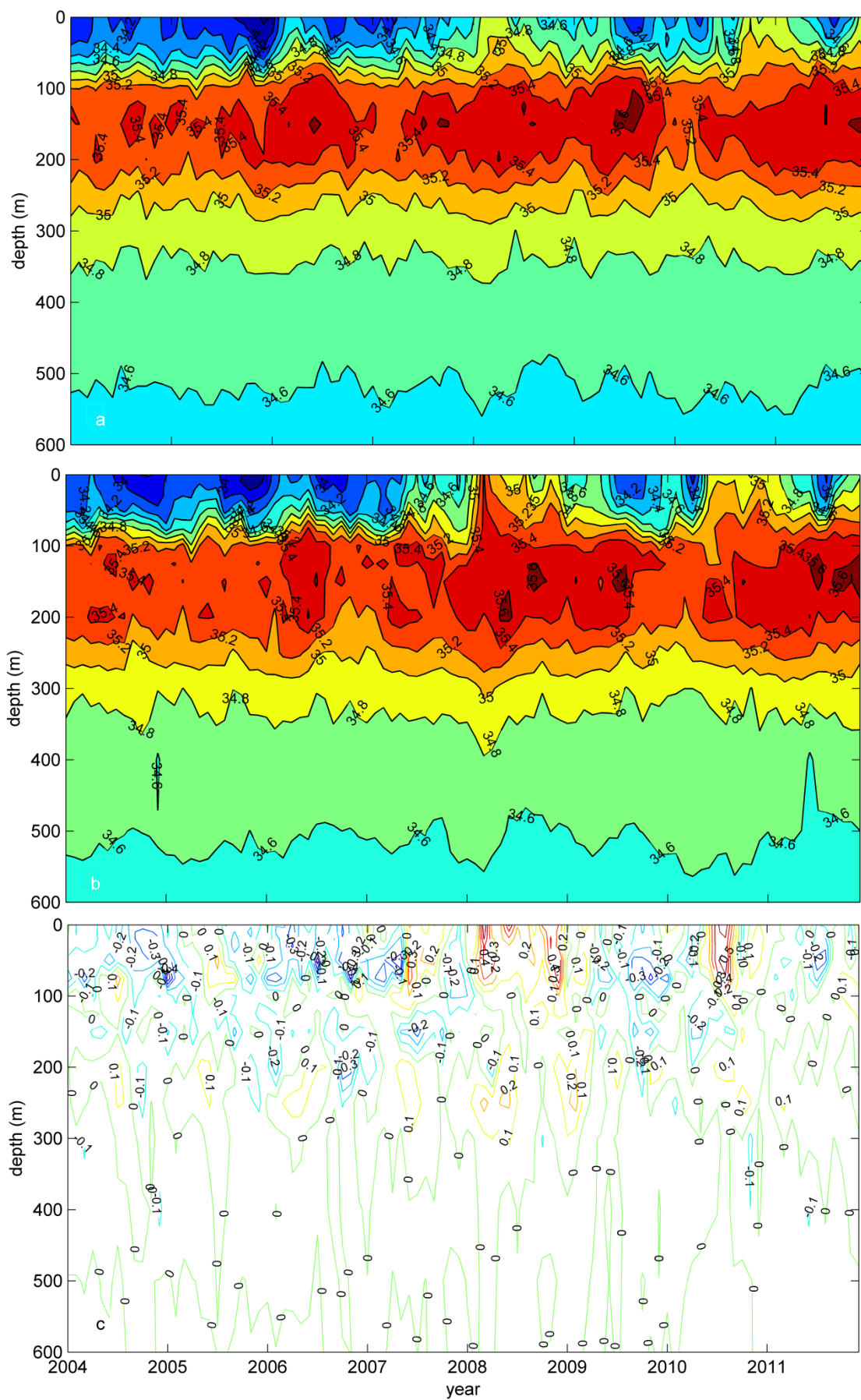


图6 赤道太平洋海域 (0°N, 147°E) 盐度分布 (a: GDCSM; b: TAO; c: GDCSM-TAO)

从两者的温度偏差分布（图 5c）可以清楚地看出，由表层到 600m 深度以上，温度偏差均在 2°C 以内，且除个别月份外，300m 以深的温度偏差基本为 0°C。由于温度跃层在不同的时间，其存在的深度也不同，100~200m 之间的温度偏差相对较大，但除了 2007 年 1 月份与 2010 年 5 月份的温度偏差达到 2°C 外，其他各月的温度偏差基本在 0.5°~1°C 之间。

图 6 呈现了 GDCSM（图 6a）与 TAO（图 6b）两种资料的盐度随时间和深度的分布特征。显然，同温度分布一样，两者的盐度分布特征亦能一一对应。这从它们的盐度偏差（图 6c）分布中同样可以得到证实。在 300m 以深两者的偏差基本为 0；200m 上层偏差相对大些，但除个别月份偏差达到 0.2 外，大部分月份的盐度偏差仍在 0.1 以内。

3、ENSO 信号检验

由图 7 可得，2004~2011 年间，存在几个中等和弱的 EI Nino 及 La Nina 事件，重构的网格数据与两种观测资料的主成分与 Nino3.4 指数都非常相似，四条曲线反应的 EI Nino 与 La Nina 信号出现的时间与强弱程度基本一致，Nino3.4 指数和 GDCSM、GTSP、TAO 三种数据主成分时间序列的相关系数分别为 0.9583、0.9786、0.9569。由于 GDCSM 海表温度的推算中使用过 GTSP 数据，因此，GDCSM 与 GTSP 的主成分时间序列曲线更一致：GDCSM 与 GTSP、TAO 的相关系数分别达到 0.9795 和 0.9785。

五、结束语

利用基于梯度依赖相关尺度的最优插值客观分析方法，结合温度参数模型及 Akima 外插法，构建了太平洋海域（120°E~70°W，60°S~60°N）Argo 温、盐度三维网格资料集，覆盖时段为 2004 年 1 月~2011 年 12 月；时间分辨率为月平均；垂向（0~2000m）26 层；水平分辨率为 1°×1°，经、纬方向上的格点数分别为 172 和 121。与传统相关尺度客观分析法的结果相比，利用本文方法构建的 Argo 网格资料在水平梯度较大（锋面、跃层和中尺度涡等）的海域，分析精度明显提高，而在赤道太平洋 300m 以深水域，该网格数据与 TAO 锚碇浮标的长时间序列观测的温、盐度偏差均接近零，且与 TAO、GTSP 等现场观测资料反映的 ENSO 信号也非常接近。由此可见，此数据集是可靠、也是可信的。

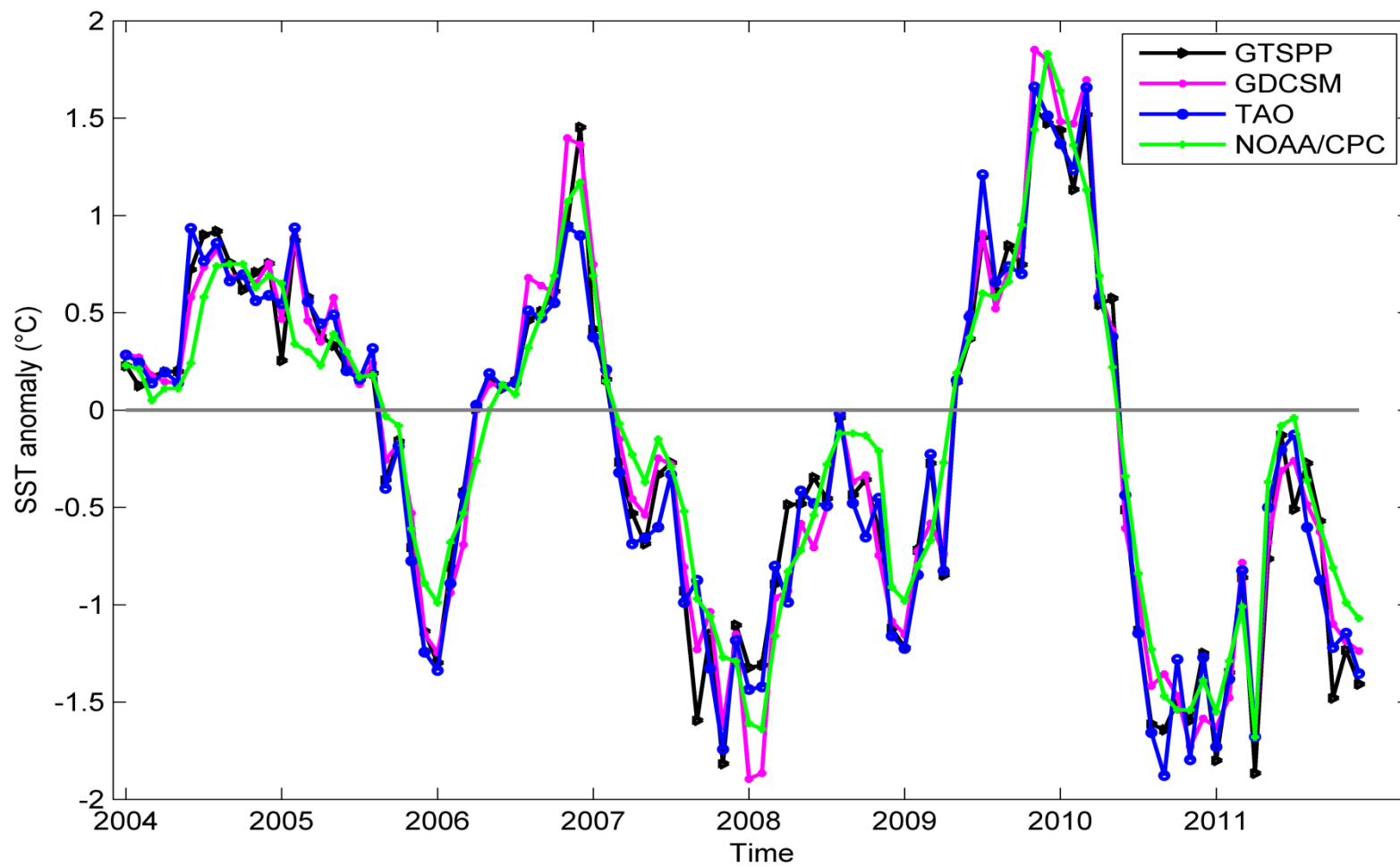


图7 2004年1月至2011年12月期间 Nino3.4 区的 ENSO 指数时间序列分布

参考文献

- [1] Akima H. A new method for interpolation and smooth curve fitting based on local procedures. J. Assoc. Comput. Mech., 1970. 17: 589~602
- [2] Behrinoer D W, J Ming, and Ants Leetmaa. An Improved Coupled Method for ENSO Prediction and Implications for Ocean Initialization. Part I:The Ocean Data Assimilation System[J]. Monthly Weather Review, 1998. 126: 1013~1021
- [3] Chu P C, C W Fan. Determination of Vertical Thermal Structure from Sea Surface Temperature. J American Meteorological Society, 2000. 17: 971~979
- [4] Chu P C, C W Fan. Maximum angle method for determining mixed layer depth from sea glider data. J Oceanogr, 2011. 67: 219~230
- [5] Cressman G P, An operational objective analysis system[J]. Mon.Wea.Rev, 1959. 87: 367~372
- [6] Gandin L S. Objective analysis of meteorological fields. Leningrad: Gidrometrologicheskoe Izdatelstvo, 1963. 1~636
- [7] Kalnay E. Atmospheric Modeling, Data Assimilation and Predictability. Cambridge University Press, 2003. 1~341
- [8] Zhang Chunling, Xu Jianping, Bao Xianwen, Wang Zhen Feng. An Effective Method for Improving the Accuracy of Argo Objective Analysis. Acta Oceanologica Sinica, 2013, 32 (7): 66~77
- [9] 张春玲, 许建平, 鲍献文, 王振峰, 刘增宏. 基于海温参数模型推算 Argo 表层温度场. 海洋通报, 2013, 待刊

联系人

刘增宏: 0571-81963098, davids_liu@263.net

孙朝辉: 0571-81963098, siosun@163.com

张春玲: zhangchunling81@163.com

其他说明

网格资料的开发和维护由中国 Argo 实时资料中心完成。本数据集可免费下载使用, 凡使用本数据集时, 请按文献格式引用:

张春玲, 许建平, 刘增宏, 孙朝辉, 2013. Argo 三维网格化资料 (GDSCM_Argo) 用户手册, 中国Argo 实时资料中心, 13pp。

由于时间仓促, 该数据产品难免会有不足之处, 欢迎广大用户提供宝贵意见或建议, 非常感谢!