

Argo 三维网格资料（GDCSM—Argo）用户手册 （第二版）



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
上海海洋大学
2017 年 5 月

目 录

一、引言	3
二、数据集简介	4
三、客观分析系统介绍	6
1、背景场	6
2、资料	6
3、客观分析方法	6
四、Argo 网格化数据产品检验.....	10
1、谱分析理论检验	10
2、置信区间估计	10
3、与 TAO 锚碇浮标长时间序列观测比较.....	12
五、结束语	15
参考文献	16

一、引言

全球 Argo 实时海洋观测网自 2007 年建成以来,每年都以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),截止到 2012 年 11 月,温盐度剖面数量已经超过了 100 万条,而且仍以每年超过 10 万条剖面的速度递增,其在十余年的时间内,所得到的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)。而且,自动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,现在它已经成为海洋气候模式中的重要数据来源。

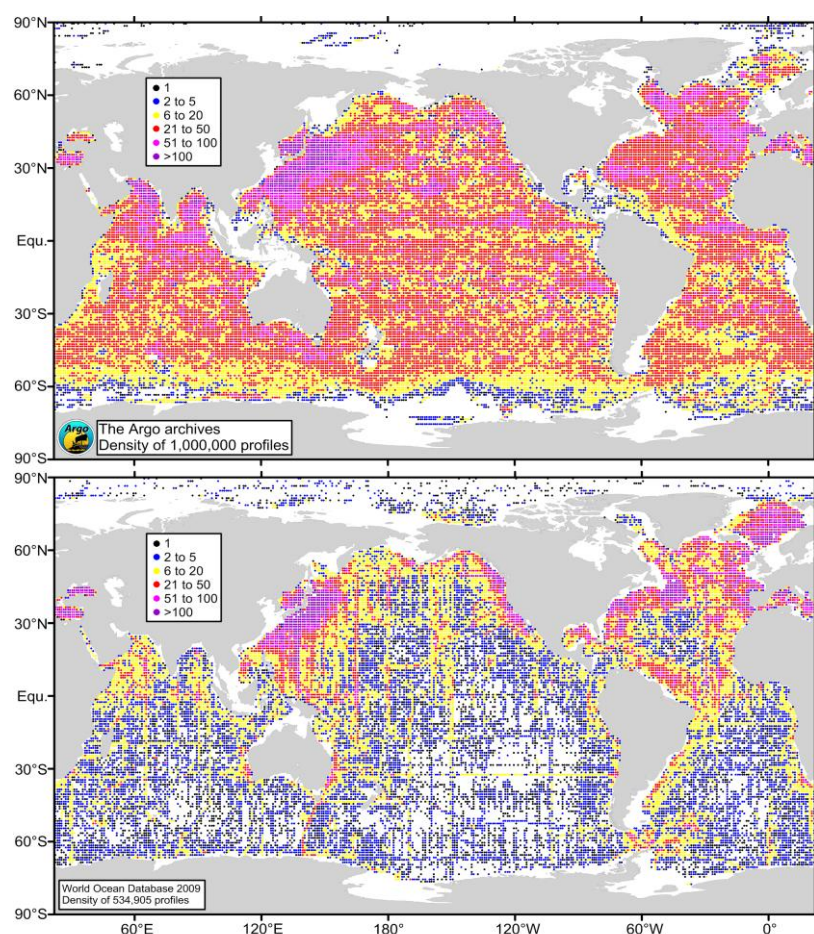


图 1 全球海洋中次表层温、盐度剖面分布

(上图自动剖面浮标观测; 下图历史上采用常规海洋仪器观测)

但自动剖面浮标具有的“随波逐流”特性,由此导致其观测剖面在时间和位置上带有随意性,给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。早在上世纪 80 年代,就有学者(Levitus, 1982)针对水文、气象资料的时空不均匀性这一缺陷,进行了相关研究,并推出

了一系列网格化数据集。目前，许多 Argo 成员国也都陆续开发了相应的网格化产品（Bhaskar 等，2007；Hosoda 等，2008；Roemmich 和 Gilson，2009）。这些数据集将 Argo 散点观测资料进行时空规则均匀化，极大地扩大了 Argo 资料的应用范围。

由于常规观测缺乏表层数据，许多业务化的海洋预报或资料系统除了 Argo 资料以外，还使用了大量的其他海洋观测数据，不能很好地保持 Argo 资料的独立性，并保证资料的质量。为此，我们立足于 Argo 资料本身（未同化其他观测资料），采用梯度依赖相关尺度客观分析方法，研发了针对太平洋海域的再分析资料集，供广大 Argo 用户共享。

二、数据集简介

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（张春玲等，2015）构建次表层（10~2000 m）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（张春玲等，2014）。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。其构建流程如图 2 所示。

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°（经向：119.5:1:290.5；纬向：-60.5:1:59.5），垂向（0~2000 m）共 26 层（表 1）；
- （3）时间分辨率：逐年逐月；
- （4）覆盖时段：2004 年 1 月~2015 年 12 月；
- （5）数据格式：数据文件以 Matlab 和 NetCDF 两种格式存储。

逐年逐月数据文件名表示为 GDCSM_Argo_YYYYMM.nc（GDCSM_Argo_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 GDCSM_Argo_annual.nc（GDCSM_Argo_annual.mat）。包含的变量：温度（变量名：temp，维数：26×121×172，单位：°C）；盐度（变量名：salt，维数：26×121×172）；经度（变量名：lon，维数：172）；纬度（变量名：lat，维数：121）；深度（变量名：depth，维数：26，单位：m）；时间（变量名：time，维数 1，自 0000-01-01 起的天数）。

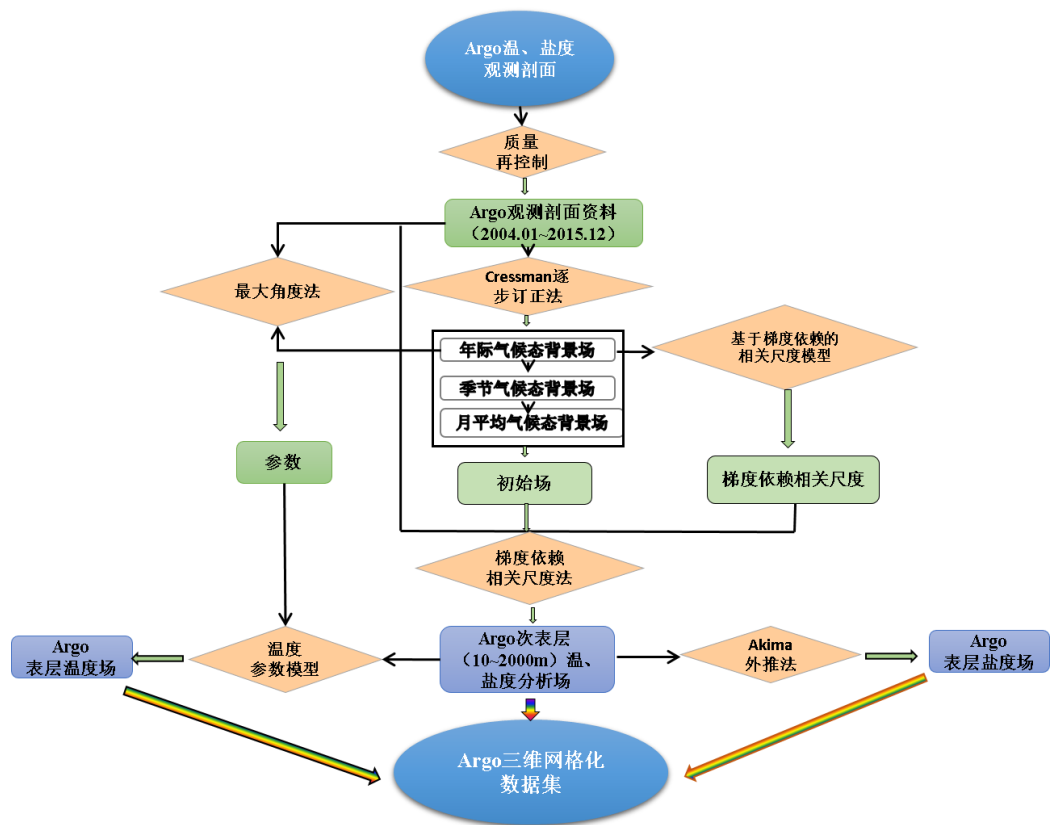


图 2 Argo 网络资料集构建流程

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、覆盖面广的自动剖面浮标观测资料，采用了最优插值客观分析方法（Behrinoer 等，1998），来构建 Argo 次表层（10~2000 m）温、盐度网格化资料集的初始场。

2、资料

用作客观分析的 Argo 次表层（10~2000 m）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~2015 年 12 月期间所有太平洋海域（120°E~70°W，60°S~60°N）的温、盐度剖面资料，并已经过各国 Argo 资料中心的实时和部分延时质量控制。为了保证数据集的可靠性，我们还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 144 个月的观测剖面共有 1003611 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 等，2013），来构建 Argo 次表层（10~2000 m）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：

$$\sum_{j=1}^p w_g \mu_{jk} + \eta w_k = \bar{g}_k \mu, \quad g, k=1, \dots, p \quad (3)$$

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：

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

$\left| \frac{\partial X}{\partial x} \right|, \left| \frac{\partial X}{\partial y} \right|$ 分别为径向和纬向的分析变量（温度或盐度）梯度， $\left| \overline{\frac{\partial X}{\partial x}} \right|, \left| \overline{\frac{\partial X}{\partial y}} \right|$ 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 10 度。太平洋海域温、盐度相关尺度分布如图 3 所示。

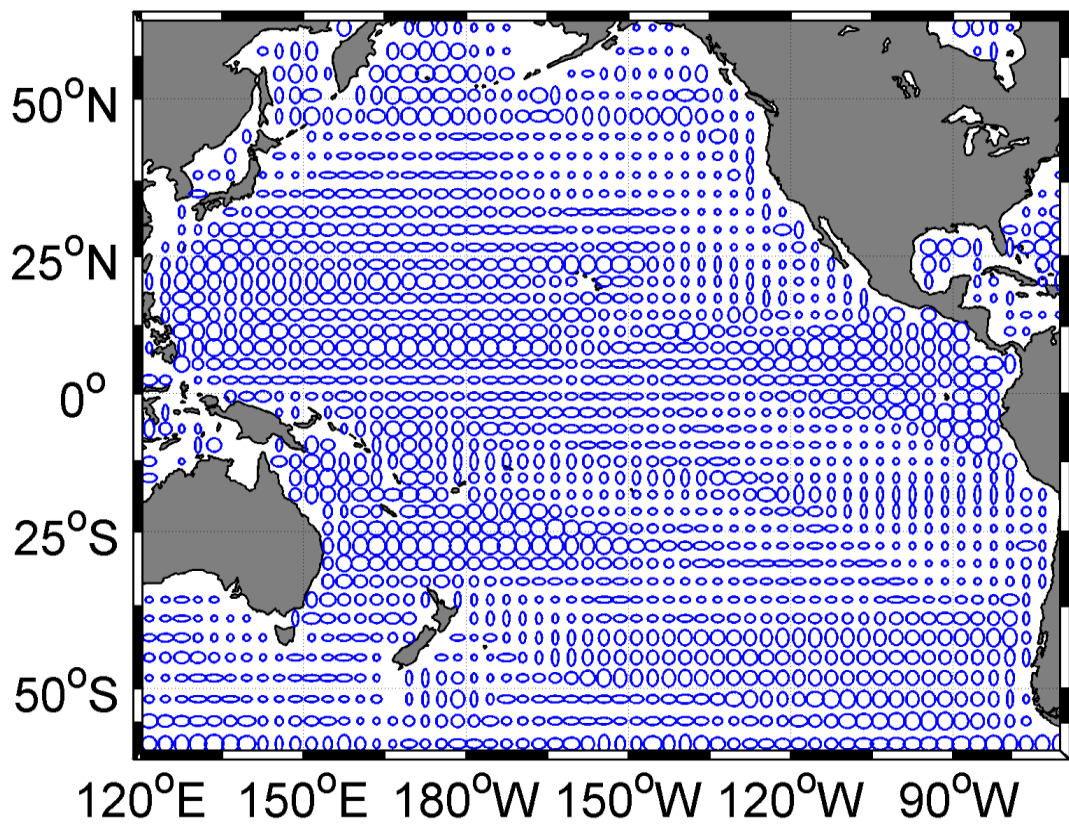
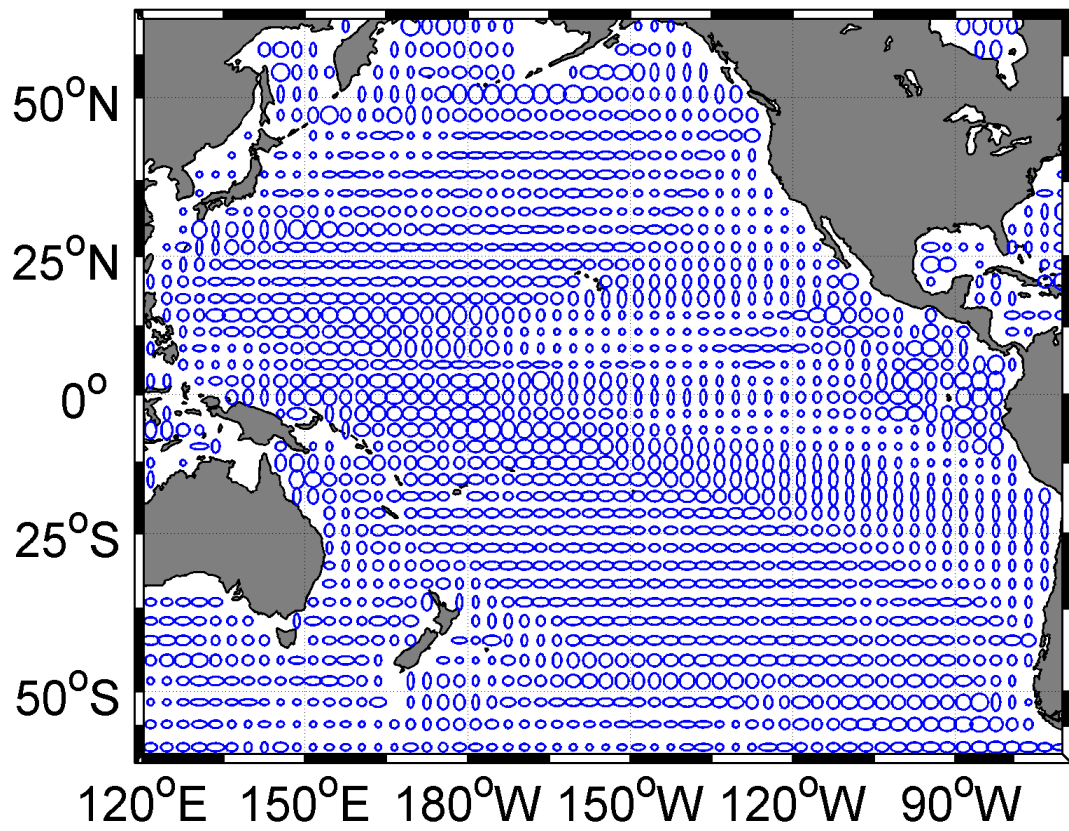
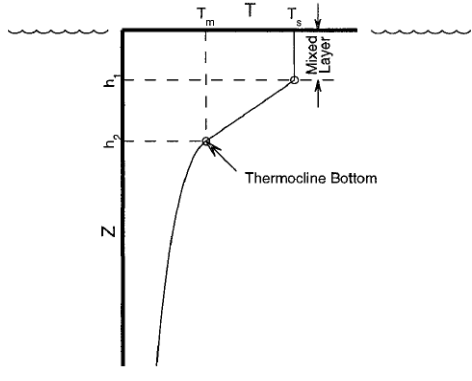


图 3 梯度依赖相关尺度分布（上图温度为温度，下图为盐度）

(2) 表层温度场构建方法

采用一个温度参数模型（Chu和Fan，2000），以此来确定次表层温度与海表温度的函数关系，然后利用自动剖面浮标观测获得的次表层数据推算出表层温度场（张春玲等，2014）：



$$\begin{aligned}
 T(z) &= T_s, & (0 \geq z \geq -h_1), \\
 T(z) &= T_s + G_{th}(z + h_1), & (-h_1 \geq z \geq -h_2), \\
 T(z) - T_d &= (T_{td} - T_d) \exp\left[\frac{z_0^w - (z_0 - z - h_2)^w}{H^w}\right], & (z \leq -h_2),
 \end{aligned} \tag{6}$$

$$z_0 = \left[\frac{HG_{th}}{w(T_{td} - T_d)} \right]^{1/w} \tag{7}$$

图 4. 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 10, 20, 30, 50, 75, 100, 125, 150, 200 m 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：

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

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 5500 m 深处对应的温度（Chu 和 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、谱分析理论检验

将包含连续周期波动的高斯脉冲信号作为观测数据，分别采用传统相关尺度法（TCSM）和梯度依赖相关尺度法（GDCSM）两种方案，分析网格间距均设为 1 个单位长度，分析结果如图 5 所示：

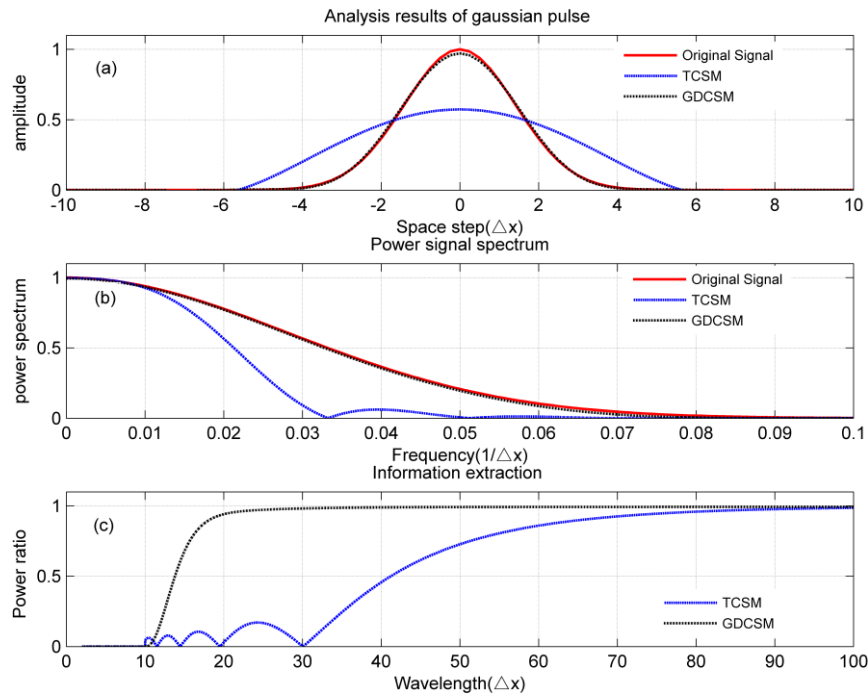


图 5 高斯信号分析结果

由图可见，与传统相关尺度法相比，梯度依赖相关尺度估计方法的结果中，波形和最小频宽均与高斯信号源对十分接近，其能量虽然随频率的增加逐渐减小，但在高频的能量损耗不大。也就是说，梯度依赖相关尺度方法可以在不改变网格精度和不增加额外计算量的情况下，显著提高客观分析或数据同化方案对短波信息的提取能力。

2、置信区间估计

利用水平为 $1-\alpha$ ($\alpha=0.05$)（置信概率为 95%）的置信区间，来估计重构的 GDCSM 温、盐度网格数据集的可信度。分析结果在 95% 的置信概率下为可信值（分析值落入对应的置信区间）的分析格点标记为蓝色，具有不可信结果的格点标记为红色，图 6 给出了 2015 年 9 月 200 m 温、盐度的分析结果。

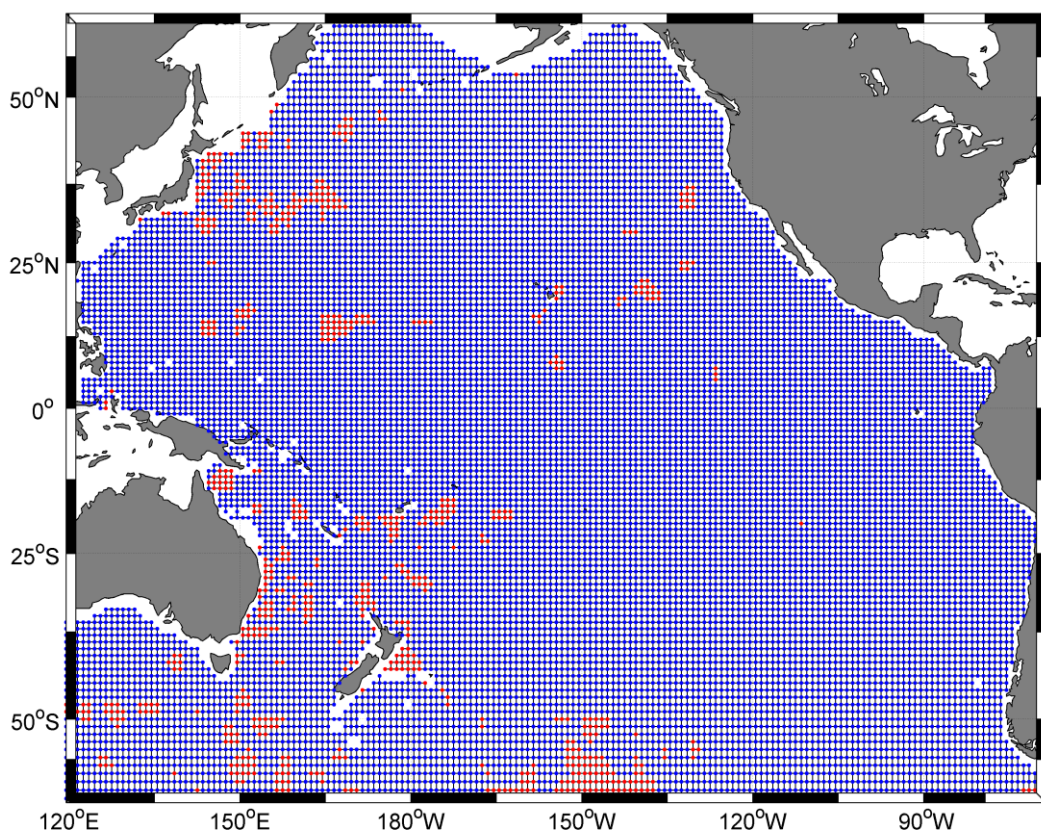
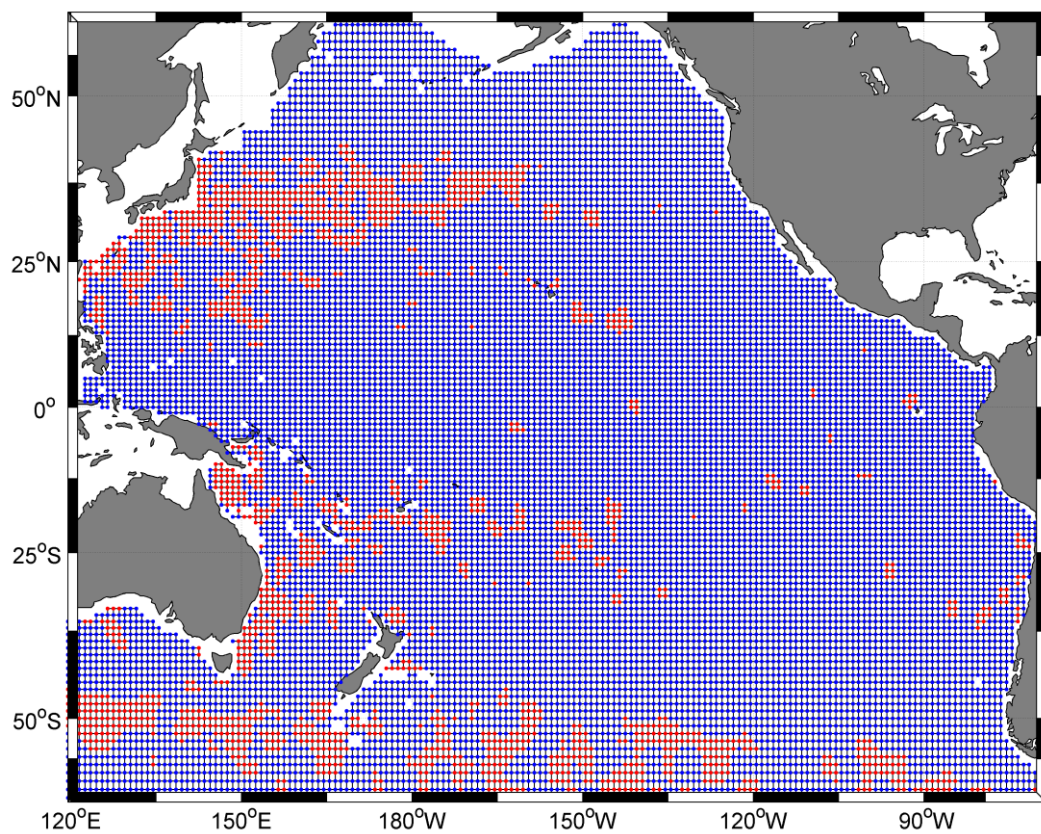


图 6 温（上）、盐（下）度重构结果的置信区间估计

由图可见，绝大部分温、盐度分析值均已落入其水平为 0.95 的置信区间内，只有少部分落在该置信区间以外，其格点数不超过总格点数的 12%，且这些非可信点也主要分布在温、盐度水平梯度较大的南北纬 40° 附近及观测资料较稀疏的亚极地海域。

3、与 TAO 锚碇浮标长时间序列观测比较

重构的网格资料 GDCSM（图 7 上）与 TAO 锚碇浮标观测（图 7 中）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 50 m 上层，其值大于 29°C；500 m 以下，温度值低于 8°C。100 m 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 200 m 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 600 m 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（100~250 m），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。再从两者的温度偏差分布（图 7 下）可以清楚地看出，由表层到 600 m 深度以上，温度偏差均在 2°C 以内，且除个别月份外，300 m 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，100~200 m 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 8 呈现了 GDCSM 与 TAO 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分布中同样可以得到证实。在 300 m 以深两者的偏差基本为 0；200 m 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。

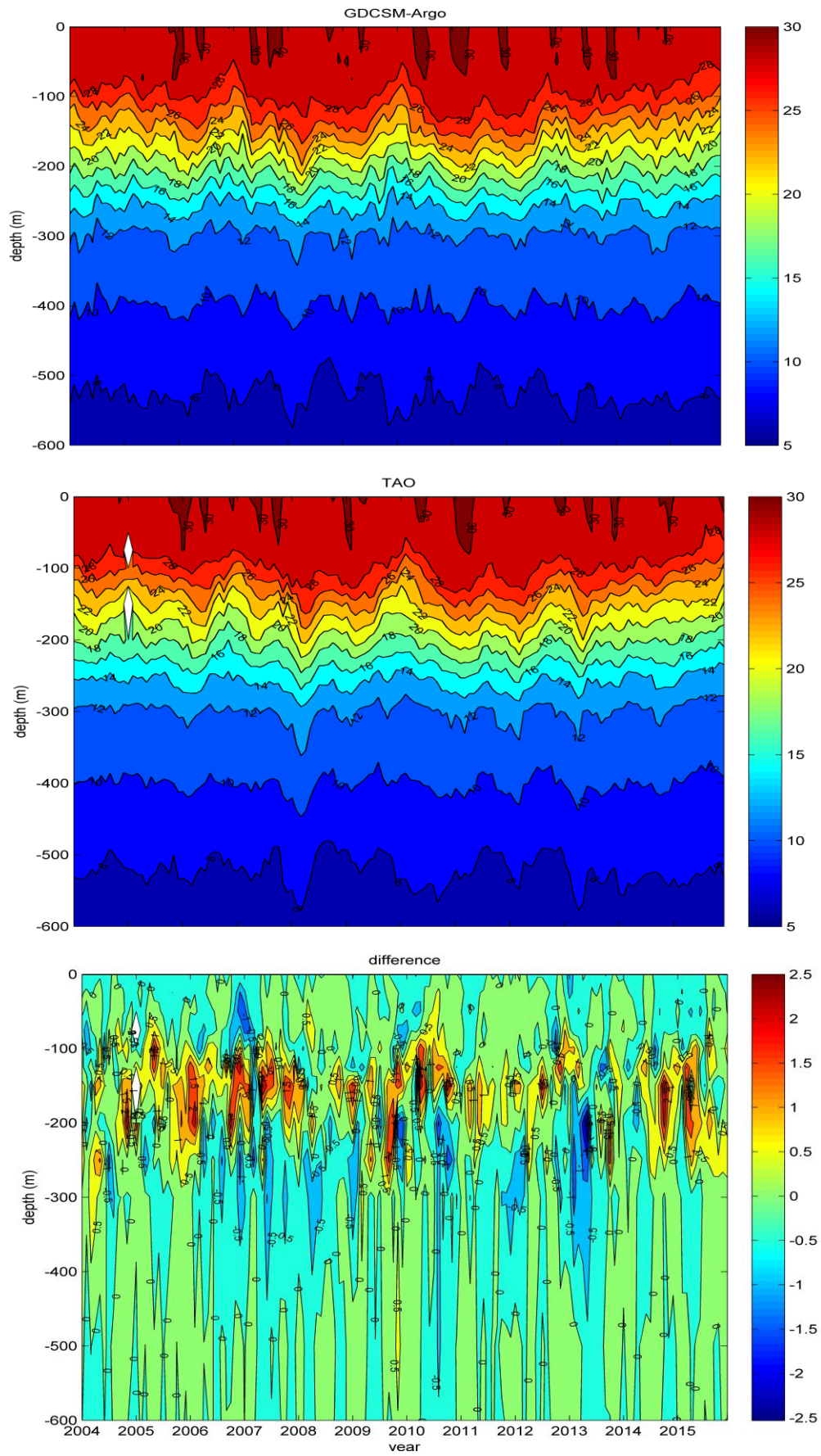


图 7 赤道太平洋 (0°N, 147°E) 温度随时间分布

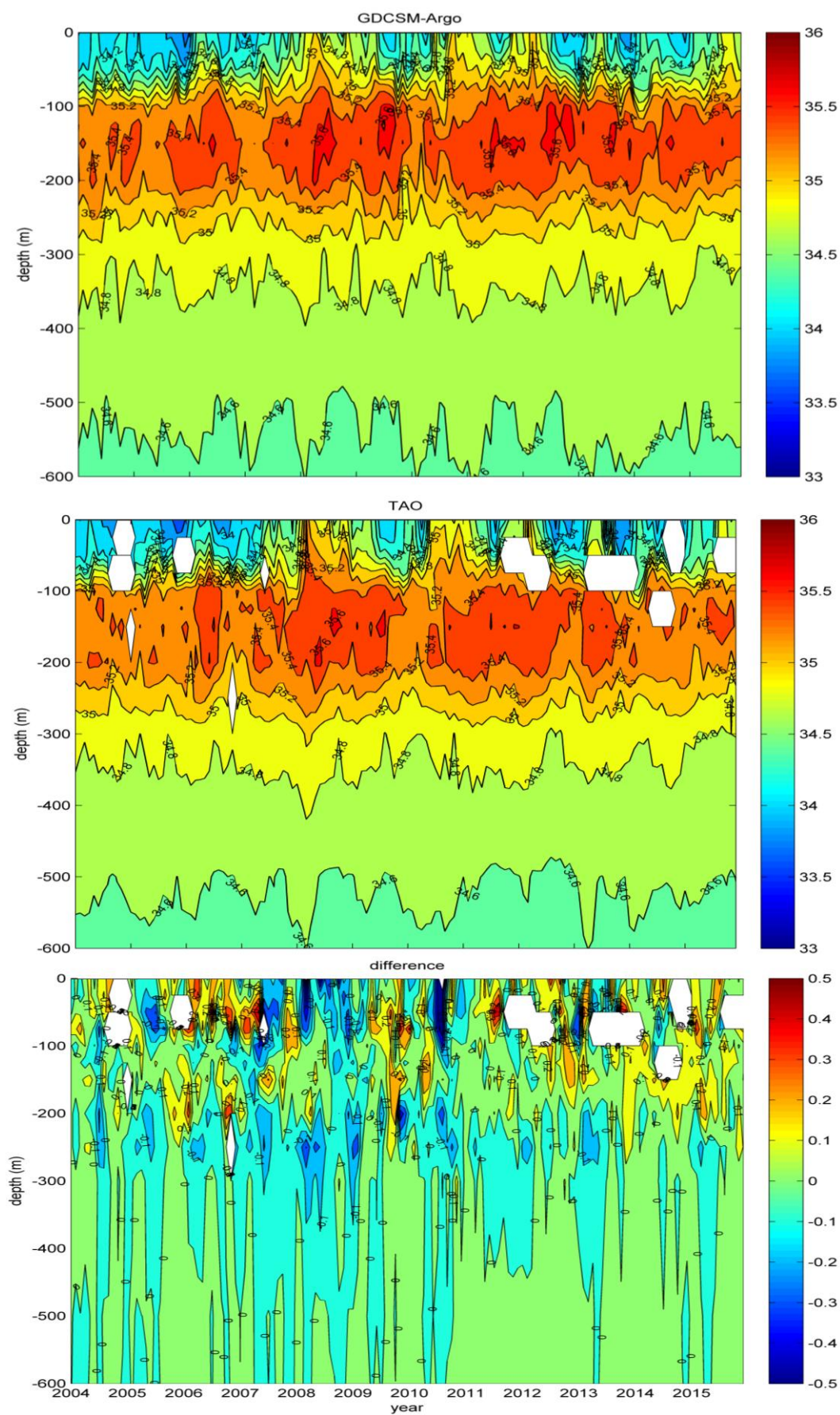


图 8 赤道太平洋海域 (0°N, 147°E) 盐度随时间分布

五、结束语

Argo网格化数据集（GDCSM-Argo）第二版仍立足于Argo观测资料本身，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外插法进行构建。

第一版于2013年9月发布：采用太平洋海域（120°E~70°W，60°S~60°N）2004年1月~2011年12月期间由自动剖面浮标观测的温、盐度资料，并进行了温盐范围检验、冰点检验、温盐梯度检测及水深递增检验等质量再控制；利用既简单经济，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（10~2000 m）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；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温盐场，其中，温盐度梯度由WOA09多年月平均数据计算得到；结合温度参数模型（以混合层深度、温跃层下界深度、温跃层梯度为主要参数）和Akima外插法推算表层温、盐度数据。该数据集时间分辨率为月平均；垂向（0~2000 m）26层；水平分辨率为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ ，经、纬方向上的格点数分别为172和121；以.mat格式存储。

第二版于2017年5月发布，在第一版的基础上，改进了背景场和温盐度梯度的计算方法：相比Cressman逐步订正法，利用订正效果更好的最优插值客观分析方法（Behringer 等，1998）形成客观分析的初始场；借助于客观分析的背景场，即Argo资料多年月平均数据计算温盐度梯度数据，用作梯度依赖相关尺度参数，更好地保证了Argo资料的独立性。另外，Argo剖面资料的再控制中增加了两倍方差剔除尖峰数据的模块，同时网格资料集时间范围延长至2015年12月，其他均不变。

参考文献

- [1] Akima, H. 1970. A new method for interpolation and smooth curve fitting based on local procedures. J. Assoc. Comput. Mech., 17: 589~602.
- [2] Bhaskar, T.U., M. Ravichandran, R. Devender. 2007. An operational Objective Analysis system at INCOIS for generation of Argo Value Added Products. Technical Report No. NCOIS/MOG-TR-2/07.
- [3] Behrinoer, D. W., J. Ming, and L. Ants. 1998. An Improved Coupled Method for ENSO Prediction and Implications for Ocean Initialization. Part I: The Ocean Data Assimilation System. Mon. Wea. Rev., 126: 1013~1021.
- [4] Chu, P. C., C. Fan, W. T. Liu. 1998. Determination of Vertical Thermal Structure from Sea Surface Temperature. J. of Atmos. Ocean. Technol., 1998, 17(7):971~979.
- [5] Chu, P. C., and C. W. Fan. 2011. Maximum angle method for determining mixed layer depth from sea glider data. J. Oceanogr., 67: 219~230.
- [6] Cressman, G. P. 1959. An operational objective analysis system. Mon. Wea. Rev., 87: 367~372.
- [7] Gandin, L. S. 1963. Objective analysis of meteorological fields. Leningrad: Gidrometrologicheskoe Izdatelstvo, 1~636.
- [8] Hosoda, S., T. Suga, N. Shikama et al. 2008. Global Surface Layer Salinity Change Detected by Argo and Its Implication for Hydrological Cycle Intensification. J. Oceanogr., 65:579~586.
- [9] Levitus, S. 1982. Climatological atlas of the World Ocean. NOAA Prof.Pap., 13, U.S. Gov. Print. Off., Washington, D. C.
- [10] Kalnay, E. 2003. Atmospheric Modeling, Data Assimilation and Predictability. Cambridge University Press, 1~341.
- [11] Roemmich, D., and J. Gilson. 2009. The 2004-2008 mean and annual cycle of temperature, salinity, and steric height in the global ocean from Argo program. Progr. Oceanogr., 82:81~100.
- [12] Zhang Chunling, Xu Jianping, Bao Xianwen, Wang Zhenfeng. 2013. An Effective Method for Improving the Accuracy of Argo Objective Analysis. Acta Oceanologica Sinica, 32 (7): 66~77.
- [13] 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, 海洋通报, 33 (1): 16-26, 2014.
- [14] 张春玲, 许建平, 鲍献文, 基于 Argo 资料的梯度依赖相关尺度方法, 解放军理工大学学报, 2015, 16 (5): 476-48.

联系人

刘增宏：0571-81963098, liuzenghong@139.com

孙朝辉：0571-81963098, siosun@163.com

张春玲：zhangchunling81@163.com, clzhang@shou.edu.cn

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，2017. Argo 三维网格化资料（GDCSM-Argo）用户手册（2017版），中国Argo 实时资料中心，17pp。

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！