

参考数据集对 Argo 剖面浮标盐度 观测资料校正的影响

刘增宏^{1,2}, 许建平^{1,2}, 修义瑞³, 孙朝辉^{1,2}

(1. 国家海洋局第二海洋研究所 杭州 310012; 2. 卫星海洋环境动力学国家重点实验室 杭州 310012;
3. 海军海洋水文气象中心 北京 100073)

摘 要: 国际 Argo 计划采用新颖的 Argo 剖面浮标来监测全球大洋中上层的变化, 对浮标盐度观测资料进行质量控制是非常重要的。本文采用历史水文观测资料集得到的温-盐度(θ - S)关系, 并利用 Wong 等人开发的 WJO 延时模式盐度校正方法, 对电导率传感器出现漂移、偏移等故障的 Argo 剖面浮标盐度资料进行校正。对影响校正结果的历史水文资料集(或参考数据集)的选取进行了初步研究, 并在不同的海区进行试验。结果表明, 选取合适的参考数据集可以提高盐度校正的精度。

关键词: Argo 剖面浮标; 延时模式; 质量控制; 盐度校正

中图分类号: P731 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003 - 0239 (2006) 4 - 0001 - 12

1 引言

国际 Argo 计划将在全球大洋中布放 3 000 个 Argo 剖面浮标, 建成一个上层海洋的实时监测系统^[1]。Argo 剖面浮标一旦被投放, 其自由漂移的特性决定了浮标体难以回收, 更谈不上对传感器进行实验室标定。而浮标装载的 CTD 传感器, 特别是测量盐度的电导率传感器容易受到生物污染、生物杀伤剂泄漏等因素的影响, 导致传感器产生漂移或偏移, 使观测值产生较大的偏差^[2~4]。国际 Argo 计划预期的剖面浮标观测精度为压力(深度) ± 5 dbar, 温度 ± 0.005 和盐度 ± 0.01 ^[5]。温度和压力传感器的测量精度目标在 Argo 计划前就已经能实现, 但盐度观测资料的精度正面临挑战。利用传统船载 CTD 仪进行测量时, 可以通过采水样来对盐度观测值进行实验室的校正, 而 Argo 剖面浮标无法获得这种“真实”的盐度资料。Oka 等人利用 JAMSTEC 回收的 3 个 Argo 浮标, 对传感器进行了实验室后校正^[6], 取得了一些宝贵的第一手资料。但这样的回收由于费用极其昂贵而无法推广^[7]。另外, Becon 等人曾利用浮标观测剖面附近的 CTD 现场观测资料对浮标传感器的运行状况进行检验^[8], 但此方法同样很难应用于布放在全球大洋中的几千个 Argo 浮标。

利用 Argo 浮标附近的历史水文资料对其盐度观测资料进行校正是目前比较好的一

收稿日期: 2006-06-29; 修订日期: 2006-08-01

基金项目: 国家科技部基础研究重大项目前期专项资助项目(2001CCB00200); 国家科技部国际科技合作重点项目计划(2002CB714001); 国家海洋局青年海洋科学基金(2004203)

作者简介: 刘增宏(1977-), 男, 助理研究员, 主要从事物理海洋学调查分析研究。

种方法。全球大洋中除了深层水形成地(如拉布拉多海,威德尔海等)及其附近海域,其盐度值在深层海域中的变化非常缓慢,为此可以认为,浮标在一定的观测范围和观测期内,其深层盐度值比较稳定,这也是为什么要求 Argo 剖面浮标的观测深度必须达到 2 000 m 水深的一个重要原因^[5]。国外一些学者曾利用气候学或历史水文资料对 Argo 盐度观测资料进行校正,并进行了多种尝试,提出了几种不同的校正方法。如 Feng 和 Wijffels 利用 WOCE 水文观测资料所进行的校正^[9];Wong 等人开发了一套利用客观估计技术和 WOD98 历史水文资料的校正方法^[10](即 WJO 方法),并被国际 Argo 数据管理小组确定为 Argo 延时模式质量控制的标准方法^[11];而 Böhme 则使用 WJO 算法,并考虑了正压行星涡度的差异,在对流很深、盐度时空变化很大的亚极地北大西洋海区得到了较好的校正结果^[12]。但是,在 WJO 方法中究竟选取什么样的参数和历史数据集以及对于校正效果会产生什么样的影响等问题人们却知之甚少。

本文通过采用 WJO 延时模式对 Argo 剖面浮标观测资料进行盐度校正实践的基础上,重点讨论了历史水文观测资料集以及空间尺度、时间窗口大小的正确选取对盐度校正结果的影响。

2 WJO 方法

海水的两个主要状态变量位温(θ)和盐度(S)有着密切的关系,它代表了某一海区的水团特征^[13~14],这种 θ - S 关系会受到海水季节或年际性变化的影响,同时强的涡旋(如黑潮流环)、不同性质水团交汇处的海洋锋(如穿越大西洋湾流、南赤道流等)亦对其有着显著的影响。然而,在大部分海区,存在着稳定的气候态 θ - S 关系,因而利用这种平均的 θ - S 关系,可以从高精度的温度、压力观测值估计观测剖面位置处的盐度^[15]。WJO 方法主要分为两个部分。

2.1 利用历史资料客观估计观测剖面处的气候态 θ - S 关系

浮标观测剖面处某等温层上的气候态盐度值是通过插值到等温层上的历史盐度资料及客观估计方法计算得到的。该客观估计方法基于高斯-马可夫理论,同时考虑了气候态 θ - S 关系的空间和时间变化和 Rommich^[16]使用的方法相似,包括两个步骤:(1)选取一部分历史资料来估计大尺度的气候态特征;(2)从剩余的历史资料中估计小尺度的特征场。假设历史资料的协方差符合高斯分布,其衰减尺度由三个参数决定,即经向尺度(L_x),纬向尺度(L_y)以及时间尺度(τ),其中 L_x 大于 L_y 反映了大洋中纬向流占主导地位。WJO 方法中使用了两个空间尺度(L_{x1} , L_{y1})和(L_{x2} , L_{y2})来估计上述两个步骤中的特征场。时间尺度(τ)则通过全球 CFC-12 数据集计算得到的水团通风时间尺度来估计^[17],使用 CFC 年代则可降低观测时间比较早的历史资料的权重。

对每个插值到等温层上的浮标盐度观测值 $S(x_0, y_0, t_0)$,在(x_0, y_0)为中心、 L_{x1} 和 L_{y1} 为半径的椭圆内按照以下三个标准选取 600 个历史剖面数据:

(a) 在浮标剖面附近随机选取 200 个历史数据,使其更能代表大尺度的平均场;

(b) 在剩余的历史数据中, 选取 200 个与 (L_{x1}, L_{y1}) 具有最小距离因子的数据点, 使客观估计时包含的数据与浮标剖面有着最好的空间相关性;

(c) 从剩余的历史数据中, 选取 200 个与 (L_{x2}, L_{y2}, τ) 具有最小时间和距离差因子的数据, 使其包含更多的时间上相近及空间上相邻的数据点。

如果在椭圆内少于 600 个数据点, 则选取所有的数据。通过以上标准选取的数据点在空间分布上更加合理, 同时还能保证包含最接近(时间和空间上)浮标剖面的观测点, 使客观估计得到的平均 θ - S 关系更有代表性。另外, 通过选取等位温层(以下称等温层)上浮标压力值为 ± 250 dbar 范围内的历史资料点, 可以在很大程度上减小选取的历史资料的噪声, 从而得到“最佳”历史资料^[12]。

2.2 使用加权最小平方法对客观估计得到的气候态位势电导率序列进行拟合

浮标盐度的校正是利用加权最小二乘法对客观估计得到的等温层上的气候态位势电导率进行拟合, 并换算成盐度得到的。由于电导率依赖于压力、盐度和温度观测值, 而历史资料在等温层(θ)上的压力值不一定与浮标观测的相同, 所以在 WJO 方法中选择位势电导率 $C_\theta = C(S, \theta, P=0)$ 作为校正的参数, 它由观测盐度、位温和零参考压力计算得到, 可以很好地消除因压力值不同而引起的差异。

电导率传感器的漂移主要是由生物污染或涂于传感器上的生物杀伤剂泄漏而导致电子元器件变形造成的, 其结果会改变电导率的观测值与真实值之间的比率。于是, 对电导率的校正可以假定为一个乘积因子(或斜率项)。假设传感器电子元器件的变形是渐变的, 并且其变化率近似为常数, 即电导率传感器的漂移是线性的, 则某浮标第 i 个剖面(F_i)的位势电导率的校正公式为:

$$C'_i = r_i C_i + \varepsilon_i$$

其中, C_i 为浮标的位势电导率, C'_i 为校正后的位势电导率, r_i 为校正斜率项, ε_i 为误差。对于每一个剖面 F_i , r_i 是通过 $2k+1$ 个浮标位势电导率序列与相应气候态估计值的差最小化得到的, 其中 $k(k > 0)$ 即时间窗口的大小, F_i 位于 $2k+1$ 个剖面序列的中间。对多剖面的最小二乘拟合可以消除瞬时的海洋噪声, 给出更为稳定的校正结果。于是该问题可以用一个线性模型来计算:

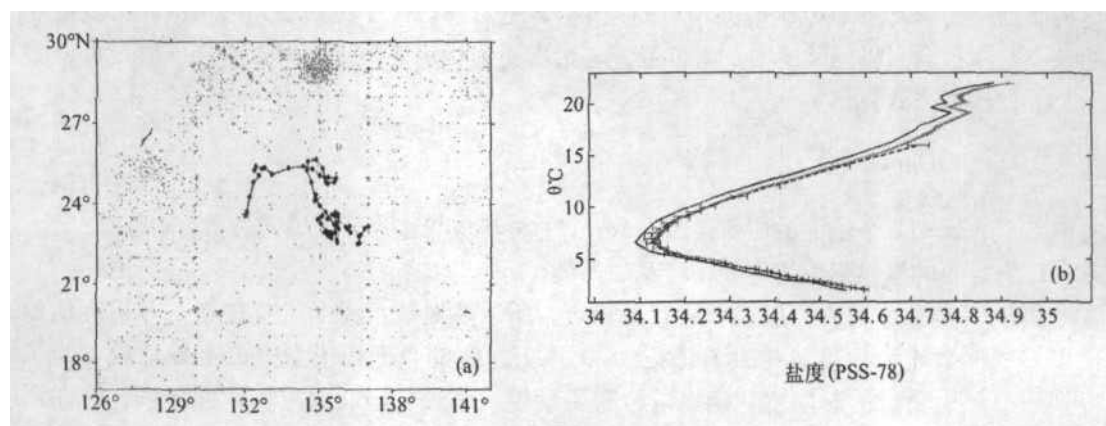
$$Gm + \varepsilon = D$$

其中 G 为 $(2k+1)$ 个剖面的所有等温层(θ)上的位势电导率, m 为模式参数, ε 为模式误差, D 为对应的气候态位势电导率客观估计值。

由于气候态客观估计值在下层较为稳定, 所以要对校正模式进行加权, 并用客观估计误差的倒数作为权重, 是为了让 θ - S 关系更稳定的数据在模型中占主导地位。为了得到一个更为稳定的时间变化斜率项, 需要累积一个较长时间的浮标剖面序列, 即在浮标投放后一段时间(一般为 6 个月)进行, 所以它是一个延时模式校正系统^[15]。

作为例子,我们选取 5900175 号浮标。该浮标为 PROVOR 型浮标,其装载的传感器为 SBE41CP 型,最大观测深度约 2000 m,选取的空间尺度和时间窗口分别为 (8、4、4、2)和 20。自 2002 年 1 月至 2004 年 1 月,该浮标从西北太平洋的 137°E 向西漂移至 132°E ,纬度范围为 $22.5^{\circ} \sim 25.6^{\circ}\text{N}$,共观测了 74 条温、盐度剖面。由图 1a 可见,WOD2001 历史资料在该海区有较多的观测数据。由于温度大于 16°C 时该浮标的盐度观测值变化比较大,所以仅选取温度小于 16°C 的气候态客观估计盐度场作为盐度校正的背景场。开始阶段,该浮标的盐度观测值小于气候态盐度背景场,而后盐度观测值逐渐升高并且大于盐度背景场(见图 1b、c)。该海区的 $\theta-S$ 关系相对比较紧密,如在 2°C 等温层上浮标剖面处估计得到的气候态盐度值变化范围为 $34.59 \sim 34.60$,估计误差为 $0.005 \sim 0.008$ (见图 1d)。5900175 号浮标的盐度从一开始的 34.55 突然下降到 34.51,从第 3 个剖面开始,盐度以一个近似稳定的增长率逐渐增大,在第 74 个剖面处达到 34.68,与第 2 个剖面相差高达 0.17。显然,该浮标盐度观测值出现大的变化是由电导率传感器的漂移引起的,而且盐度观测值与气候态背景场在整个温度范围内(或至少 2 个水团)存在一个系统性位移(见图 1b、c)也佐证了该浮标传感器发生漂移的真实性。盐度观测值在开始阶段与气候态估计值相差约 0.05,这很可能是由于浮标在施放前传感器中的生物杀伤剂 TBTO(有机锡化物)泄漏进入电导率元器件造成的。Sea-Bird 公司在其生产的传感器元器件外端装有生物杀伤剂,用于减少传感器的生物附着。一些传感器在进行实验室标定后,生物杀伤剂会泄漏进入电导率元器件,使浮标开始阶段的盐度观测值偏低。几个月后生物杀伤剂被冲刷掉,盐度值逐渐增大接近真实值。而从第 30 个剖面开始盐度的逐渐升高,很可能是由于传感器外涂的防生物附着膜被海水腐蚀,从而改变电子元器件的有效容积引起的^[15]。

校正后的浮标盐度观测值与客观估计的气候态盐度场基本一致,其校正误差为平均 0.007(见图 1b、c、d),符合国际 Argo 计划对盐度资料 ± 0.01 的精度要求。客观估计误差的大小也很好地反映了该海区 $\theta-S$ 的变化特征,即 $\theta-S$ 变化较小,且深层的变化小于上层的变化(见图 1b、c)。



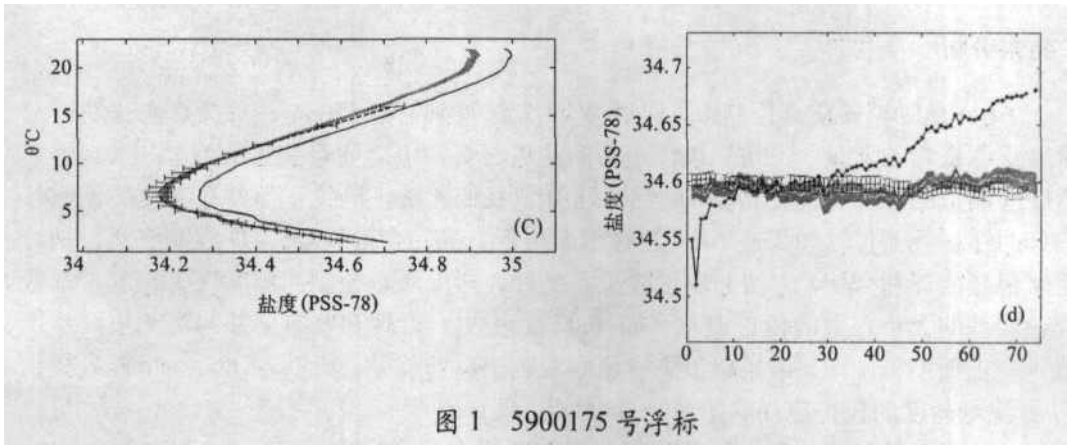


图 1 5900175 号浮标

- (a) 漂移轨迹，黑色点表示剖面位置，五角星表示最后一个剖面位置，磷灰色点表示历史 CTD 资料位置；
- (b) 第一个剖面的关系，黑色 2 实线表示观测值，虚线表示客观估计的盐度值，误差条表示估计误差大小；
- (c) 同 b，第 74 个剖面；
- (d) 盐度序列校正结果，黑色带星实线表示插值到等温层上的盐度观测值，白色实线表示校正后的盐度值，其灰色阴影表示校正误差，虚线表示客观估计的盐度值，其误差条表示客观估计误差大小。

3 WJO 方法的应用

3.1 资料来源

本文选取的 Argo 剖面浮标，其观测剖面数基本上超过 30 个，所有浮标的 CTD 传感器由 Sea-Bird 公司制造，最大观测深度大于 1 000 dbar。所有观测剖面都经过了实时质量控制^[18]，并且选取质量控制标记为“好”的数据进入 WJO 延时模式盐度校正系统。

为了研究历史 CTD 资料(参考数据集)对校正效果的影响，分别选取了 World Ocean Database 1998^[19]、World Ocean Database 2001^[20]和日本 JAMSTEC 整理的太平洋参考数据集 Selected Hydrographic Dataset^[21](以下称 SeHyD)。需要指出的是，WOD01 数据集中已包含了 WOD98 的 CTD 观测数据，同时选取 WOD98 和 WOD01 主要是为了研究参考数据的数量对校正结果的影响。这些数据中，已经把观测层次少于 15 层以及最大观测深度浅于 1000 dbar 的剖面剔除掉。所有盐度剖面使用 Akima 方法^[22]插值到 0-30 范围内的 49 个标准等温层上，并通过直观检验的方法剔除了明显有误的盐度值。对于温度出现反转的剖面(如在亚极地北太平洋)，在某等温层上有可能出现多个相差较大的盐度值，一般选取最深的值^[15]。但是当该剖面观测深度太浅而没有达到次表层温度反转最厉害的深度以下时，程序会选取不合适的盐度值，导致某一海区客观估计的盐度背景场出现大的误差，这也是我们选取观测深度大于 1 000 dbar 的历史资料的一个重要原因。

SeHyD 数据集是 JAMSTEC 为 WJO 盐度校正系统准备的适用于太平洋的历史水文数据集，它的资料主要选自 WOD98 和 Modified North Pacific Hydrobase。相比 WOD98 和 WOD01 数据集，SeHyD 在北太平洋加入了 modHB 历史 CTD 观测资料^[23]。

3.2 结果分析

在 Argo 延时模式质量控制中,通过 WJO 方法得到的盐度校正值作为参考来决定浮标盐度观测资料的质量。但是如果校正后的盐度与真实值之间存在大的偏差,那么对浮标盐度观测值的评估可能是错误的,结果将导致我们无法正确校正那些存在传感器漂移或偏移的浮标观测值。如果在 Argo 浮标剖面附近有高精度的现场 CTD 观测资料,则可以用来很好的评估 WJO 方法的校正效果。另外,盐度质量控制的精度很大程度上依赖于校正误差的大小。大的校正误差(如 ± 0.02 或更大)会使那些有偏差的观测值同样可以落入校正误差范围内,结果就很难检测到观测资料的偏差。所以,Kobayashi 等人提出 WJO 方法对盐度的校正应当满足两个标准^[24],即:

- (1) 校正后的盐度值与真实值在校正误差范围内基本一致;
- (2) 盐度校正误差应当小于 ± 0.01 (国际 Argo 计划对盐度观测值的精度要求)。

WJO 方法是利用历史水文观测资料来校正浮标的盐度,因此历史资料的质量和数量将直接影响校正结果。Kobayashi 等人^[24]认为,历史水文资料的估计误差将直接影响盐度的校正效果,而客观估计结果受选取参数的影响很小。另外 Mizuno 等人^[25]指出,为了减小客观估计误差,需要尽可能增加历史资料的分布密度和减小历史资料的信噪比。

Kobayashi 等人^[24]还认为,历史数据集应当包含更多的观测资料,如最新的 WOD

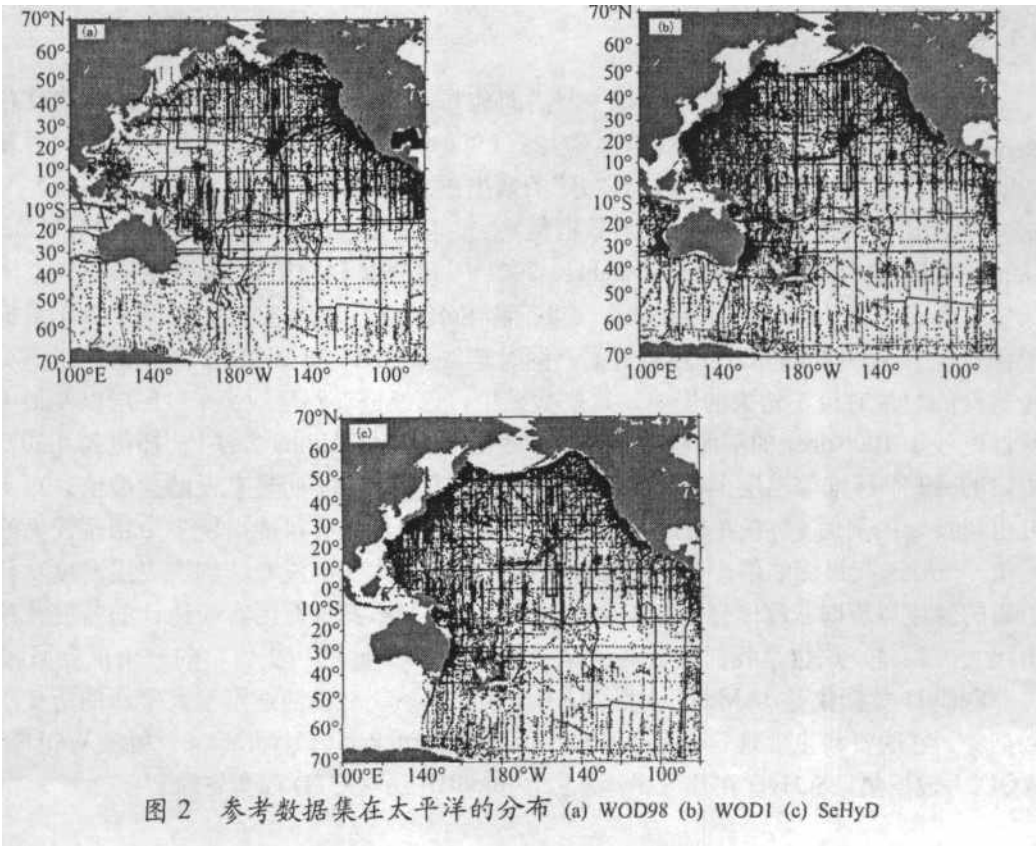


图 2 参考数据集在太平洋的分布 (a) WOD98 (b) WOD1 (c) SeHyD

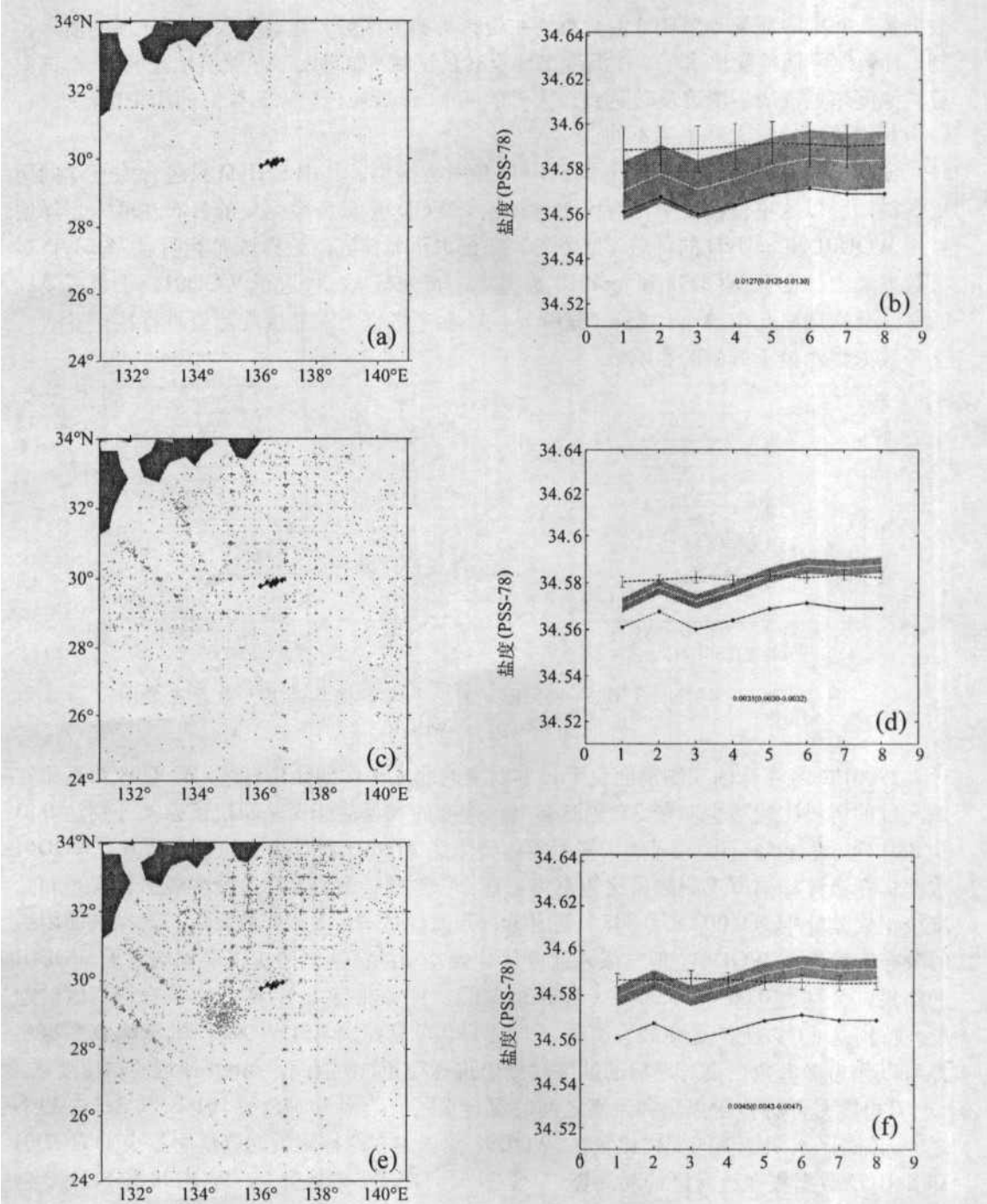


图 3 2900186 号浮标的漂移轨迹和 2℃ 等温层上盐度序列、(星形代表盐度观测值；虚线表示客观估计的盐度值，其误差条表示客观估计误差大小；白色实线表示校正后的盐度，灰色阴影表示校正误差的大小) (a~b) 为使用 WOD 历史数据集的结果、(c~d) 为使用 WOD1 数据集的结果、(e~f) 为使用 SeHyD 数据集的结果。

数据集,并剔除质量等级较低的数据。在资料密集的区域,应对资料进行仔细的质量控制,有效地降低信噪比水平。在温度出现反转的区域(如北太平洋亚极地海区),需选取观测深度超过次表层温度反转达到最大时的剖面。最后应该剔除边缘海的历史观测资料,因为其水团结构与大洋中的不同。

分别选取 WOD98、WOD01 和 SeHyD 参考数据集,其中 SeHyD 只包含太平洋的历史资料,所以这里仅在太平洋海区进行讨论。WOD98 参考数据集的分布在西太平洋明显比 WOD01 和 SeHyD 的稀疏(见图 2),在日本至菲律宾附近海域尤其明显。SeHyD 参考数据集中结合了 WOD98 和 modHB 数据集,其分布状况接近于 WOD01。于是在不同的海区分别选取几个 Argo 浮标,选择不同的参考数据集对盐度观测值进行校正并研究参考数据集对校正效果的影响。

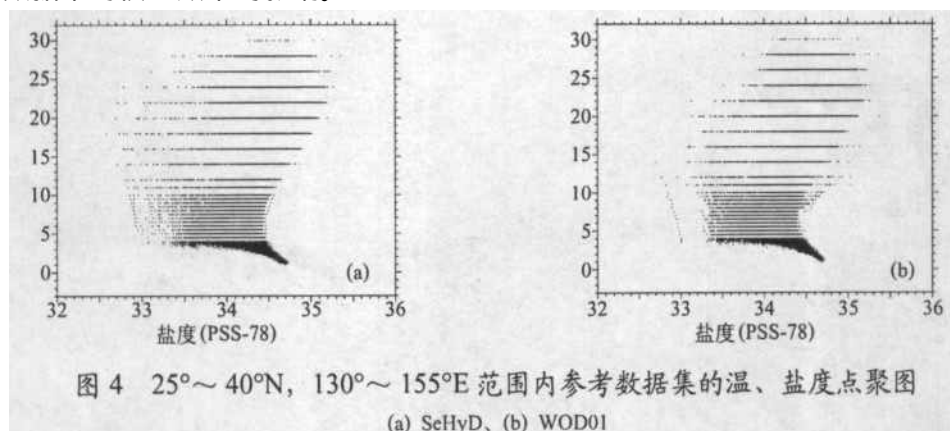


图 4 25°~40°N, 130°~155°E 范围内参考数据集的温、盐度点聚图
(a) SeHyD、(b) WOD01

2900186 号浮标的观测剖面位于日本以南的北太平洋副热带海区。WOD98 数据集在该区域的资料比较稀少,在 2 等温层上,盐度的客观估计误差和校正误差分别达 0.01 和 0.0127(见图 3a、3b)。显然,其不能达到满足 Argo 计划对盐度的精度要求。WOD01 数据集在该浮标周围观测数据比较密集,在 2 等温层上的平均盐度客观估计误差和盐度校正误差分别为 0.002 和 0.003(见图 3c、3d)。而 SeHyD 数据集虽然在浮标剖面附近的分布密度大于 WOD01,但气候态盐度估计误差和浮标盐度的校正误差均大于 WOD01 的结果,分别为 0.003 和 0.0045(见图 3e、3f),这可能与 SeHyD 数据集在该海区的盐度,特别是 4 以上的变化较大有关(见图 4)。可见在该海区 WOD01 和 SeHyD 数据集都可以作为参考数据集对浮标的盐度观测值进行校正,且能满足 Argo 计划的精度要求。

29043 号浮标位于黑潮和亲潮之间的混合水区,范围为 145°~161°E 与 32°~39°N 之间,该海区水团性质的变化比较大。WOD98 数据集在浮标附近的资料明显少于 WOD01 和 SeHyD 数据集在该海区的观测资料(见图 5)。在 2 等温层上,WOD98 和 SeHyD 参考数据集得到的盐度估计误差明显大于 WOD01 得到的估计误差;利用 WOD01 得到的平均校正误差为 0.007,而 WOD98 和 SeHyD 数据集的校正误差分别达 0.0108 和 0.0132。值得注意的是,虽然 SeHyD 数据集在该海区的数据明显多于 WOD98,但 SeHyD 得到的校正误差反而大于 WOD98 的校正误差,这也说明了 SeHyD 数据集在该海区的盐度资料

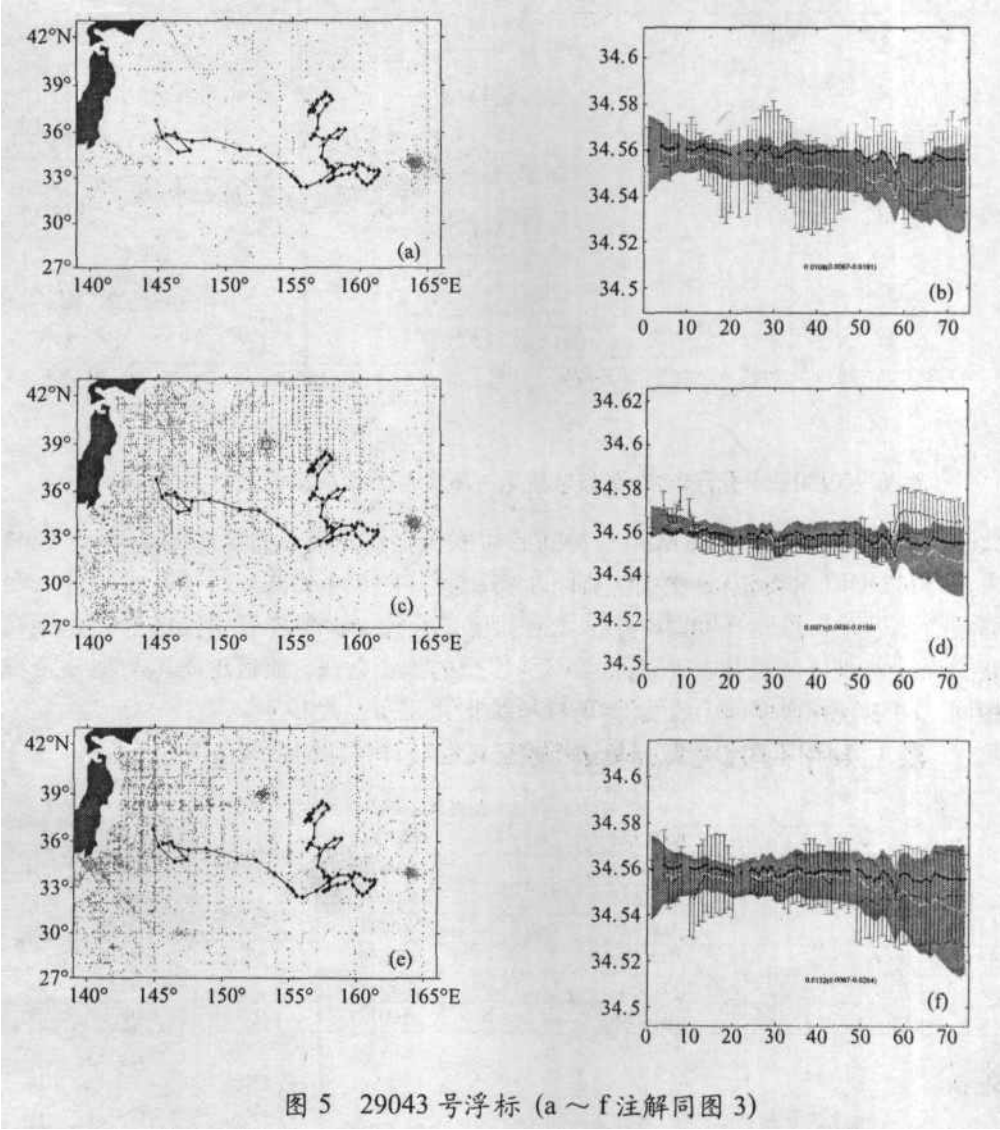


图 5 29043 号浮标 (a ~ f 注解同图 3)

包含了较大的噪声。

3900124 号浮标，其剖面位置位于副热带南太平洋，三个数据集在该浮标附近的观测资料都比较少(见图 6a)。从图 6b 可见，在 2.2 等温层上盐度的估计误差和客观估计的盐度变化都非常小(这里我们使用 WOD01 数据集)，这可能是由于该海区的历史资料是在全球海洋环流试验(WOCE)期间观测得到的，并且这些高精度的资料是在一个很短时间内获得的，所以该区域的参考数据包含的噪声非常低。

最后，我们选取了在太平洋的一批 Argo 浮标，分别使用不同的参考数据集对盐度观测值进行校正试验(见表 1)。结果表明，在热带太平洋海区，由于水团结构变化很小，WOD98、WOD01 和 SeHyD 数据集都可以作为参考数据集对浮标的盐度进行校正。在副

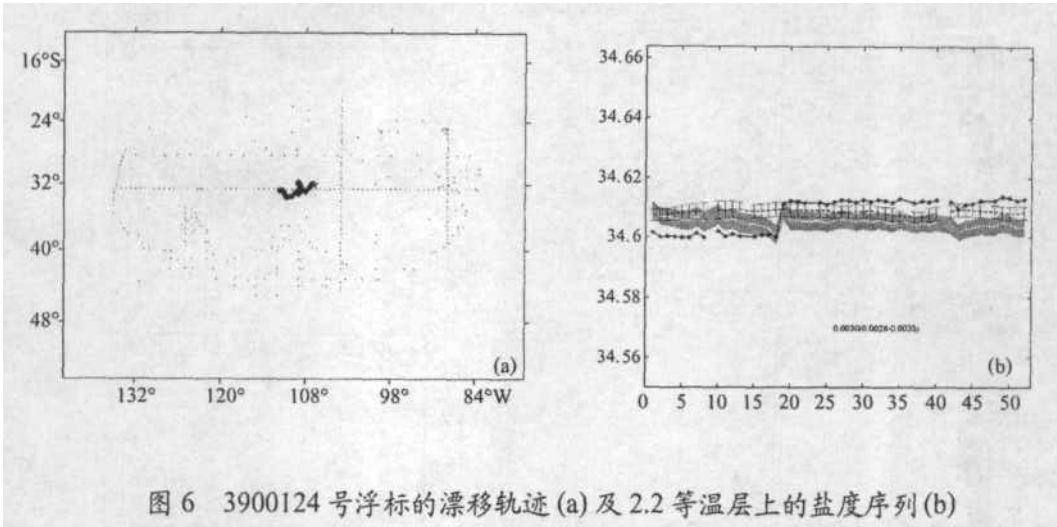


图 6 3900124 号浮标的漂移轨迹(a) 及 2.2 等温层上的盐度序列(b)

热带太平洋海区,使用 WOD98 数据集得到的盐度校正误差显然无法满足 Argo 计划的精度要求,而 WOD01 和 SeHyD 数据集则可以得到较好的校正结果。对于在水团性质变化较大的混合水区,应使用 WOD01 数据集对盐度进行校正,但也有个别浮标因为漂移距离比较大而观测到不同性质的水团而得不到理想的校正效果。亚极地海区与副热带海区基本相同,可以使用 WOD01 或 SeHyD 参考数据集进行盐度校正。

表 1 使用不同参考数据集进行校正试验统计得到的平均盐度校正误差

海 区	盐度校正误差 (平均)		
	WOD98	WOD01	SeHyD
亚 北 极	0.0102	0.0076	0.0069
北副热带	0.0096	0.0055	0.0065
北 热 带	0.0049	0.0048	0.0039
南 热 带	0.0071	0.0056	0.0054
南副热带	0.0051	0.0039	0.0037
混合水区	0.0090	0.0072	0.0096

4 结 论

Argo 剖面浮标布放后由于生物污染、生物杀伤剂泄漏等原因会导致电导率传感器产生漂移或偏移,从而导致浮标观测的盐度产生偏差。由 Wong 等人开发的 WJO 方法已被广泛用来对浮标的盐度观测值进行质量控制,在许多国家 Argo 资料中心得到了应用。

然而由本文的分析可以看到,在使用 WJO 方法时,参数和历史数据集的选取会对盐度校正结果产生影响。历史数据集作为 WJO 方法的参考数据,需包含尽可能多的近期 CTD 观测资料,为了减小资料的信噪比水平,需对这些资料进行仔细的质量控制。通过使用不同的参考数据集进行试验发现,在热带太平洋,由于水团结构随地理位置的不同而变化不大,WOD98、WOD01 和 SeHyD 数据集都可以用来对 Argo 浮标盐度资料进行校正。在副热带和亚极地海区,使用 WOD01 和 SeHyD 数据集能满足 Argo 计划的精度要求,而在黑潮和亲潮间的混合水区应尽量使用 WOD01 数据集。

参考文献:

- [1] The Argo Science Team: Roemmich D, O Boebel, Y Desaubies, H Freeland, K Kim, B King, P-Y LeTraon, R Molinari, W B Owens, S Riser, U Send, K Takeuchi and S. Wijffels. Argo: the global array of profiling floats. 2001, 248 ~ 258. In *Observing the Oceans in the 21st Century*, ed. by C J Koblinsky and N R Smith. Godae Project Office, Bureau of Meteorology, Melbourne, Australia.
- [2] Oka E, K Ando. Stability of temperature and conductivity sensors of Argo profiling floats. *J Oceanogr*, 2004, 60 :253 ~ 258.
- [3] Freeland H. Calibration of the conductivity cells on P-ALACE floats. U S WOCE Implementation Report No. 1997, 9 : 37 ~ 38.
- [4] Riser S, D Swift. Long-term measurements of salinity from profiling floats. *J Atmosph and Oceanic Tech.* (submitted). 2005.
- [5] Argo Science Team, Report of the Argo Science Team 2nd Meeting. The Argo Science Tam 2nd Meeting, 2000, 7 ~ 9. Southampton Oceanography Centre, Southampton, U K.
- [6] Oka E. Long-term Sensor Drift Found in Recovered Argo Profiling Floats. *Journal of Oceanography*, 2005, 61 :775 ~ 781.
- [7] Oka E, K Izawa, A Inoue, K Ando, N Shikama, K Mizuno, K Suehiro, K Takeuchi. Is retrieve of Argo floats possible? Report of Japan Marine Science and Technol-ogy Center, 2002, 46 : 147 ~ 155.
- [8] Bacon S, L R Centurioni, W J Gould. The evaluation of salinity measurements from PALACE floats. *J Phys Oceanogr*, 2001, 18 :1258 ~ 1266.
- [9] Feng M, S Wijffels. Results from a pilot Argo float program in the southeastern Indian Ocean. The Scientific and Technical Workshop of the Data Buoy Cooperation Panel, Perth, Australia. 2001, 22 ~ 23.
- [10] Wong A P S, G C Johnson, W B Owens. Delayed-mode calibration of profiling float salinity data by historical hydrographic data. Fifth Symposium on Integrated Observing System, Albuquerque, NM. 2001, 14 ~ 19.
- [11] Argo Data Management Team, Report of Argo Data Management Meeting. Argo Data Management 3rd Meeting, September Marine Environmental Data Service, Ottawa, Canada. 2002, 18 ~ 20.
- [12] Böhme L. Quality Control of Profiling Float Data in the subpolar North Atlantic. Diploma thesis, Christian-Albrechts-Universit? t Kiel, 2003, 79. <http://www.lars-bohme.de>.
- [13] Worthington L. The water masses of the World Ocean: Some results of a find-scale census. *Evolution of Physical Oceanography: Scientific Surveys in Honor of Henry Stommel*, B A Warren, C Wunsch, Eds. The MIT Press, 1981, 42 ~ 69.
- [14] Emery W, J Dewar. Mean temperature-salinity, salinity-depth and temperature-depth curves for the North Atlantic and the North Pacific. *Progress in Oceanography*, Pergamon, 1982, 11 :219 ~ 305.
- [15] Wong A P S, G C Johnson, W B Owens. Delayed-mode calibration of autonomous CTD profiling float salinity data by θ -S climatology. *J Atmosph and Ocea-nic Tech*, 2003, 20 :308 ~ 318.
- [16] Roemmich D. Optimal estimation of hydrographic station data and derived fields. *J Phys Oceanogr.*, 1983, 13 :1544 ~ 1549.
- [17] Doney S., and J. Bullister, 1992: A chlorofluoro-carbon section in the eastern North Atlantic. *Deep-Sea Res.*, 39, 1857-1883.
- [18] 董明荣, 刘增宏, 孙朝辉, 等. ARGO 剖面浮标数据质量控制过程剖析[J]. *海洋技术*, 2003: 22 (4) : 79 ~ 84.
- [19] Conkright M E, S Levitus, T O'Brien, T P Boyer, C Stephens, D Johnson, O Baranova, J Antonov, R Gelfeld, J Rochester and C Forgy. World Ocean Database 1998 CD-ROM dataset documentation version 2.0. National Oceanographic Data Center In-temal Report. Natl. Oceanic and Atmos, Admin, Silver Spring, MD. 2003, 14 :113.
- [20] Conkright M E, J I Antonov, O Baranova et al. World Ocean Database 2001. National Oceanographic Data Center Internal Report 16, Ocean Climate Laboratory National Oceanographic Data Center, Silver Spring, MD. 2002.
- [21] Kobayashi T. Historical salinity dataset for Argo delayed-mode quality control: Selected Hydrographic Dataset (SeHyD) JAMSTECR (Report of Japan Marine Science and Technology Center), 2004, 49 :51 ~ 72.
- [22] Akima H. A new method of interpolation and smooth curve fitting based on local procedures. *J Assoc Comput.* 1970, 17 : 589 ~ 602.
- [23] Kobayashi T, Y Ichikawa, Y Takatsuki, T Suga, N Iwasaka, K Ando, K Mizuno, N Shikama, K Takeuchi. Quality control of Argo data based on high quality climatological dataset (HydroBase) I. ARGO Technical Report FY2001,

Japan Marine Science and Technology Center, 2002 ,36 ~ 48.

[24] Kobayashi T , S Minato. Importance of reference dataset improvements for Argo delayed-mode quality control. J Oceanogr. (accepted). 2005.

[25] Mizuno K. Basin-scale hydrographic analysis and optimal interpolation method. Oceanography in Japan (Umi no Kennkyu in Japanese), 1995 ,4 :187 ~ 208.

The effect of reference dataset on calibration of Argo profiling float salinity data

LIU Zeng-hong^{1,2} , XU Jian-ping^{1,2} , XIU Yi-rui³ , SUN Chao-hui^{1,2}

(1. Second Institute of Oceanography, SOA, Hangzhou 310012 China; 2. Laboratory of Ocean Dynamic Processes and Satellite Oceanography, SOA, Hangzhou 3100123 China; Navy Marine hydrometeorological Center of the Chinese People's Liberation Army, Beijing 100073 China)

Abstract : The Argo project uses a number of Argo profiling floats to monitor the changes of upper oceans of the world, in which the quality control of salinity data is important. The historical hydrographic θ -S relations and the WJO delayed-mode salinity correction method developed by Wong et al. are used to correct the drift or offset in the salinity data. Meanwhile, some research work is made about the selection of the historical dataset, sliding window and mapping scale which may affect the calibration results, and several experiments are made in different ocean regions. The results show that choosing the right reference dataset could improve the precision of salinity correction.

Key words : Argo profiling float ; Delayed-mode ; Quality Control ; Salinity correction