

王辉赞,张韧,王桂华等. Argo 浮标温盐剖面观测资料的质量控制技术. 地球物理学报, 2012, 55(2): 577-588, doi:10. 6038/j. issn. 0001-5733. 2012. 02. 020.

Wang H Z, Zhang R, Wang G H, et al. Quality control of Argo temperature and salinity observation profiles. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 2012, 55(2): 577-588, doi:10. 6038/j. issn. 0001-5733. 2012. 02. 020.

## Argo 浮标温盐剖面观测资料的质量控制技术

王辉赞<sup>1,2</sup>, 张 韧<sup>1\*</sup>, 王桂华<sup>2</sup>, 安玉柱<sup>1</sup>, 金宝刚<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> 解放军理工大学气象学院 全军海洋水文环境数值模拟中心, 南京 211101

<sup>2</sup> 国家海洋局第二海洋研究所 卫星海洋环境动力学国家重点实验室, 杭州 310012

**摘 要** Argo 浮标可用来监测全球大洋从海表到 2000 m 深层的变化, 鉴于 Argo 浮标的剖面观测数据存在位置错误、可疑剖面、异常数据以及盐度漂移等诸多问题, 必须对 Argo 浮标资料进行有效的质量控制. 本文基于 Argo 观测剖面资料与法国海洋开发研究院(IFREMER)提供的可靠历史观测数据集, 提出了一种 Argo 资料质量控制的新途径. 该方法通过寻找 Argo 浮标不同剖面位置与其“最佳匹配”历史剖面资料对比判别的途径, 可以有效地识别 Argo 观测误差, 特别是能够将由于 Argo 位置环境变化引起和由 Argo 浮标自身漂移引起的两类 Argo 浮标盐度偏移现象进行有效甄别, 减少了对 Argo 浮标盐度剖面偏移的误判, 有效节约了 Argo 浮标质量控制时间. 本文还提出基于“三倍标准差”的异常数据检测方法, 并将其与传统异常数据检测法相结合进行剖面异常数据剔除, 有效实现了对异常数据的剔除. 基于本文提出的 Argo 资料质量控制方法, 对中国 Argo 实时资料中心网站提供的全球 Argo 浮标剖面进行了质量控制再分析, 进一步剔除和订正了其中的一些数据误差, 生成了经新的质量再控制后的全球 Argo 浮标剖面资料集. 通过将质量再控制处理前后的数据与 Ishii 资料进行比较发现, 处理后的数据比处理前的数据误差减小, 表明本文提出的方法合理有效.

**关键词** Argo 剖面, 质量控制, 盐度漂移, 盐度偏移, 异常数据

doi:10. 6038/j. issn. 0001-5733. 2012. 02. 020

中图分类号 P732

收稿日期 2010-11-25, 2011-10-25 收修定稿

## Quality control of Argo temperature and salinity observation profiles

WANG Hui-Zan<sup>1,2</sup>, ZHANG Ren<sup>1\*</sup>, WANG Gui-Hua<sup>2</sup>, AN Yu-Zhu<sup>1</sup>, JIN Bao-Gang<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> PLA Research Center of Ocean Environment Numerical Simulation, Institute of Meteorology,

PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101, China

<sup>2</sup> State Key Laboratory of Satellite Ocean Environment Dynamics, Second Institute of Oceanography,

State Oceanic Administration, Hangzhou 310012, China

**Abstract** Argo profiling floats can be used to monitor the variability of upper ocean from surface to about 2000 meter. However, there are several wrong position profiles, abnormal data, suspicious profiles and salinity drift profiles in Argo observations, Argo quality control is very important. In this paper, we proposed a method to find the corresponding “optimal matching” historical profiling data from the reliable historical data set of France IFREMER for different Argo profiles. By comparing the Argo float data with their corresponding “optimal matching” historical profiling data, we can identify the Argo observation error effectively. Especially, we

**基金项目** 国家重点基础研究发展计划(2007CB816005)、中加国际科技合作项目(2008DFA22230)、国家自然科学基金重点项目(40730843)和江苏省自然科学基金面上项目(BK2011123)资助.

**作者简介** 王辉赞,男,1983年生,湖南浏阳人,博士研究生,主要从事物理海洋学研究. E-mail: wanghuizan@126.com

**\* 通讯作者** 张韧,男,1963年生,四川峨眉人,博士,教授(博导),主要从事海气相互作用研究. E-mail: zren63@126.com

can distinguish between salinity offsets caused by the environmental changes of Argo profiling positions and caused by the Argo sensor drift efficiently, thereby reducing the misjudgment of the Argo salinity offset causes and saving computational time. This paper also proposed a synthetical method of abnormal data test by combining the traditional abnormal data test with the abnormal data method based on “three times the standard deviation” proposed in this paper to eliminate the abnormal observations. With the proposed method of Argo data quality control, a new global Argo profiling floats data set are produced from the global real-time Argo float data provided by the website of “China Argo Real-time Data Center” by removing and calibrating some wrong profiling observations. In comparison with Ishii data, the root mean square error of the objectively analyzed data from Argo calibrated data after quality control is smaller than that from the uncalibrated data, which shows that the method proposed is reasonable and effective.

**Keywords** Argo profile, Quality control, Salinity drift, Salinity offset, Abnormal data

## 1 引言

国际 Argo 计划于 1998 年提出、2000 年初开始实施,它是一个大约由 3000 个浮标组成的全球性的海洋实时观测计划<sup>[1-2]</sup>. Argo 计划第一次使得连续观测温、盐等海洋要素成为可能,它每年大约能够获得 10 万条从海表到约 2000m 深的温、盐实时观测剖面数据,是以往所有的国际海洋调查所无法比拟的.特别是在南半球次表层其盐度观测的剖面数量比之前所有历史盐度观测数量之总和还多. Argo 剖面浮标观测资料主要包括温度、盐度和压强要素,少数浮标还包括叶绿素浓度、溶解氧等要素. Argo 浮标的寿命一般为 2~4 年,因此为保持 Argo 浮标观测网的连续运行,需要不断地增加和补充对 Argo 浮标的投放. Argo 计划自 1998 年提出以来,加入 Argo 浮标观测网的浮标越来越多,浮标观测剖面数量随着时间变化不断增多,特别是 2000 年 Argo 浮标观测计划正式实施以后,Argo 剖面观测数量增加迅速,至 2007 年底全球 Argo 观测网初步建成(即达到了预期在全球范围内大洋中布放 3000 个浮标的目标)后基本趋向稳定,每月可提供大约 8000 条以上剖面,每年提供约十万条 Argo 温盐剖面.截止至 2010 年 5 月,全球海洋中正在正常运行的 Argo 浮标数大约 3000 个左右.

Argo 浮标自投放时刻起即按照初始设置的频率、深度等参数在海洋中自动漂移,在运行过程中,由于受到环境异常变化、数据传输以及 Argo 浮标老化、腐蚀等因素的影响,其观测剖面容易出现欠准确甚至错误的问题.特别是由于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,导致其盐度测量产生漂移或偏移等<sup>[3]</sup>. 由于 Argo 浮标在海洋中自由漂动和抛弃式的特性,使其一旦施放便决定了其难以进行大范围实验室回收校正,也很难确定在海洋中漂流后传感器产生误差的原因,而对于出现的可疑数据全部舍弃又十分可惜.因此,对观测资料进行合理有效的质量控制是十分必要的<sup>[4]</sup>.

目前,国内外学者在这方面做了不少工作<sup>[5-12]</sup>,国际 Argo 计划也建立了“实时(24~72 小时以内)”和“延时(90 天以内)”两种质量控制模式<sup>[13]</sup>. 但通过检验全球所有 Argo 浮标的观测数据发现,由于各国 Argo 资料中心对其布放浮标的质量控制过程的差异,目前提供的全球 Argo 浮标数据质量参差不齐,突出的问题有剖面位置错误、可疑剖面、异常数据以及盐度漂移等. 因此,如何对 Argo 剖面浮标进行进一步的质量控制,包括识别并剔除可疑的观测以及订正盐度漂移数据,对于 Argo 剖面资料的使用至关重要. 本文在传统质量控制方法的基础上,基于法国海洋开发研究院(IFREMER)提供的可靠历史观测数据集,提出了对中国 Argo 实时资料中心网站提供的全球 Argo 剖面浮标数据进行数据质量再控制的新方法.

## 2 Argo 观测资料存在的问题

### 2.1 Argo 剖面位置错误

由于 Argo 数据传输记录、浮标初始设置等方面存在的问题,导致 Argo 浮标所记录的位置发生错误. Argo 浮标观测位置的经度和纬度是否合理,可以按照浮标在海洋中运行速度不能超过海流速度上限来判断. 特别是一些明显的位置错误问题,可以

通过画 Argo 运行轨迹图很容易判断出来. 如图 1 为 1900854 号浮标漂移轨迹, 颜色从浅蓝到深红代表 Argo 浮标随时间变化的漂移轨迹, 右侧图例为不同颜色所对应的剖面号(下同). 从图中可以看出该浮标其中一个剖面的经纬度位置出现错误, 其原

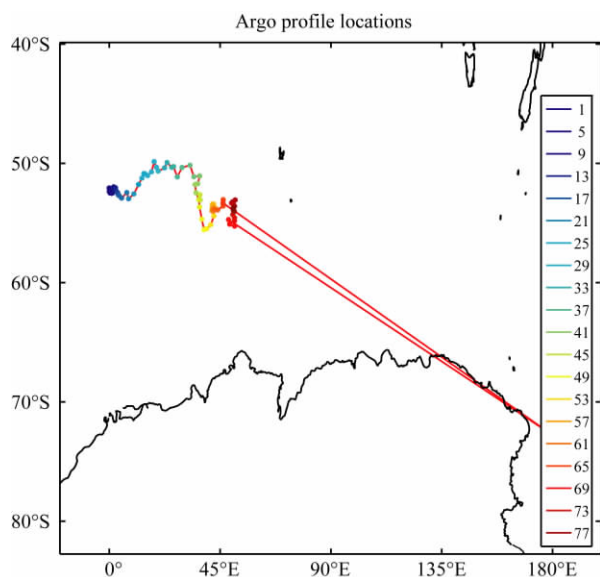


图 1 1900854 号 Argo 浮标剖面位置错误

Fig. 1 Wrong position of No. 1900854 Argo float

因可能是由于卫星定位过程出现误码所致.

## 2.2 存在可疑的 Argo 剖面

由于 Argo 浮标老化、数据传输等原因, 导致出现一些可疑的剖面观测. 其观测误差基本出现在整个剖面, 从而导致整个剖面观测数据都不可用. 如图 2,

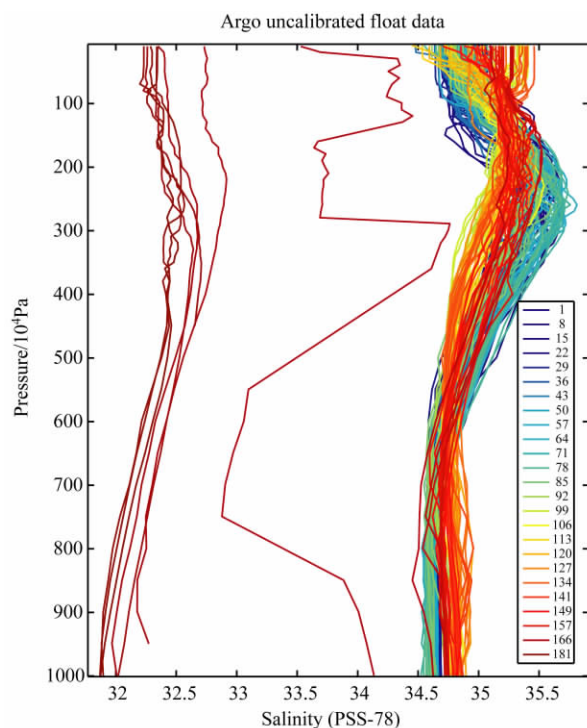


图 2 1900052 号浮标可疑剖面

Fig. 2 Suspicious profile of No. 1900052 Argo float

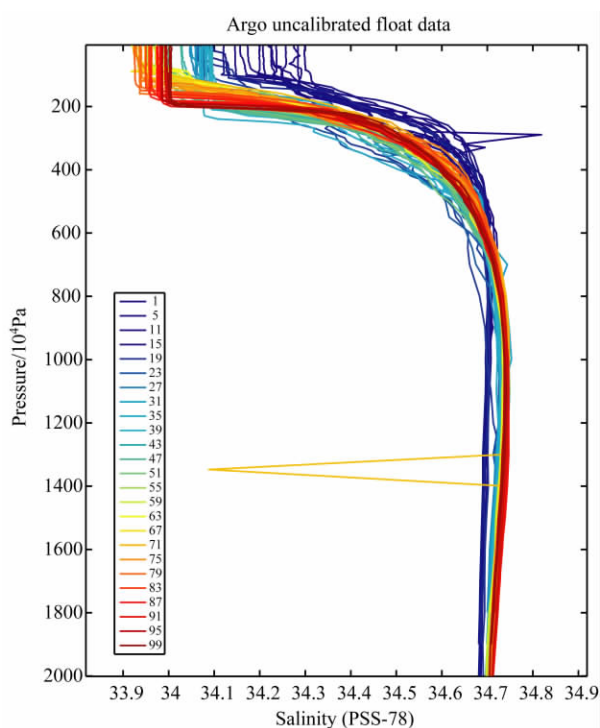


图 3 1900104 号浮标盐度异常数据

Fig. 3 The abnormal salinity data of No. 1900104 Argo float

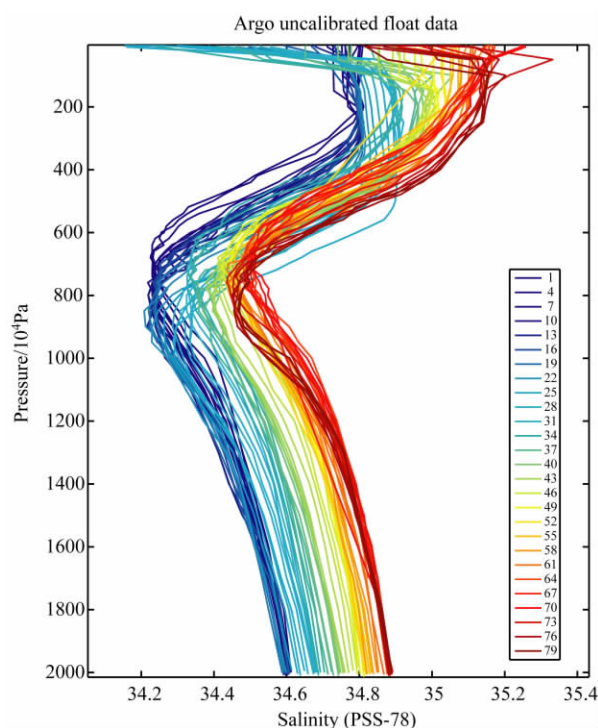


图 4 29036 号浮标盐度剖面偏移

Fig. 4 The offset salinity profiles of No. 29036 Argo float

1900052 号浮标最后运行阶段的剖面出现了明显的盐度偏低情况,这可能与浮标老化有关,这些数据剖面为可疑剖面。

### 2.3 Argo 剖面异常数据

在 Argo 剖面数据采集时,出现某个要素值的大小与相邻值差异很大的情况,这个值被称为异常数据(或称尖峰现象)。异常数据的出现与传感器受外界信号影响、数据通讯错误以及海水突变层(或跃层)等因素有关。如图 3,1900104 号浮标盐度剖面随压强(深度)的变化,可以看出该 Argo 个别盐度剖面存在盐度突变。经过对剖面观测数据的对照检查发现,第 1 号剖面在 289.1 m 和 329.6 m 深处、第 70 号剖面在 1347.4 m 深处分别出现了异常数据。

### 2.4 Argo 盐度偏移现象

Argo 盐度剖面经常出现盐度偏移现象(如图 4),其主要包括以下两种原因:(1)Argo 浮标运动过程中其观测环境的变化。比如浮标漂移距离较远,甚至属于不同水域、具有不同水团属性。(2)Argo 浮标本身由于油污污染、生物附着或防止生物附着的生物杀伤剂腐蚀引起,导致装载的测量盐度的电导率传感器发生漂移,结果导致 Argo 观测剖面的盐度偏移,此种偏移称为 Argo 盐度漂移现象。盐度漂移出现时即使其观测环境未发生任何变化,其盐度观测值也会随着观测时间推移而发生相应的变化。但如果单从 Argo 浮标本身剖面偏移进行分析有可能将二者混淆,把真实的由于 Argo 浮标运行造成的水团性质变化误认为传感器的漂移。正是由于造成 Argo 盐度剖面发生偏移的原因不同,需要正确识别产生偏移原因并对其中出现 Argo 盐度漂移现象的剖面进行有效订正。

## 3 基于可靠历史资料鉴别 Argo 浮标剖面误差的方法

传统船载的 CTD (Conductivity-Temperature-Depth sensor, 温盐深仪) 进行测量时,可以通过采水样来对其温盐观测值进行实验室校正,而 Argo 剖面浮标无法获得这种“真实”的现场资料。利用 Argo 浮标对应的历史水文资料对其温盐观测资料进行校正是目前有效的处理思想。法国海洋开发研究院(IFREMER)提供了一种经过较为严格质量控制的可靠历史海洋温盐参考数据集。本文提出将 Argo 浮标观测资料与该历史资料集进行对比,进而对 Argo 资料剖面误差进行识别的质量控制技术

途径。

### 3.1 轨迹追踪与最佳匹配剖面

由于 Argo 浮标观测位置在海洋中随时间不断漂移,不同的观测剖面所处的位置不一样,因此要根据不同的 Argo 剖面而选择用于进行对比的“最佳匹配”历史剖面。对于某个具体的 Argo 观测剖面,选择与之“最佳匹配”的历史剖面的依据是:(1)历史剖面观测深度尽量深;(2)历史数据集剖面与该 Argo 剖面空间距离尽量近。具体寻找 Argo 剖面运行轨迹对应可靠历史剖面资料的流程如图 5 所示。

以 1900345 号浮标为例,对寻找其漂移轨迹对应“最佳”历史数据剖面的情况进行说明。图 6 为该 Argo 浮标及其对应的“最佳匹配”历史剖面数据图。左侧为 Argo 浮标信息,右侧为根据 Argo 浮标各个剖面寻找的对应“最佳匹配”历史温盐剖面序列组成的与 Argo 浮标类似的压强-温度和压强-盐度图。从上至下依次表示的是剖面位置、温度剖面随深度变化和盐度剖面随深度变化信息。从右侧图可以看出,Argo 剖面所寻找的“最佳”历史剖面的“虚拟”轨迹(非真实漂移轨迹,而是与 Argo 浮标漂移轨迹对应的历史剖面集合)与 Argo 浮标漂移轨迹基本一致。通过寻找所有 Argo 剖面浮标对比历史剖面观测结果表明,本文所提出的寻找“最佳匹配”历史剖面的方法是可行的。

### 3.2 Argo 浮标观测误差剖面识别

通过对比 Argo 浮标温盐剖面观测和历史剖面观测的漂移轨迹、压强-温度和压强-盐度图,可以对 Argo 剖面浮标观测误差进行有效判断。Argo 出现漂移轨迹错误和异常数据现象可以较为容易地从图中识别。当 Argo 剖面与其“最佳匹配”历史剖面的漂移轨迹比较一致时,则分别进行两者之间的压强-温度和压强-盐度图的对比。如果两者对比图不一致,则认为有可能 Argo 剖面观测出现问题。对于整体偏离比较大的剖面,则认为是可疑剖面。

另外,对于 Argo 盐度发生偏移的原因也可以较容易地从与历史剖面对比中判断。通过两者对比,如果 Argo 盐度发生偏移而历史剖面未出现盐度偏移,则判断产生 Argo 剖面偏移的原因是 Argo 浮标传感器出现问题从而导致盐度漂移;而如果 Argo 盐度和历史剖面盐度同时发生偏移,则判断产生 Argo 剖面偏移原因是由于 Argo 漂移位置的变化。因此,通过寻找“最佳匹配”历史剖面的方法并画其与 Argo 浮标对比图,可以有效识别 Argo 浮标存在的观测误差及其是否产生盐度漂移。

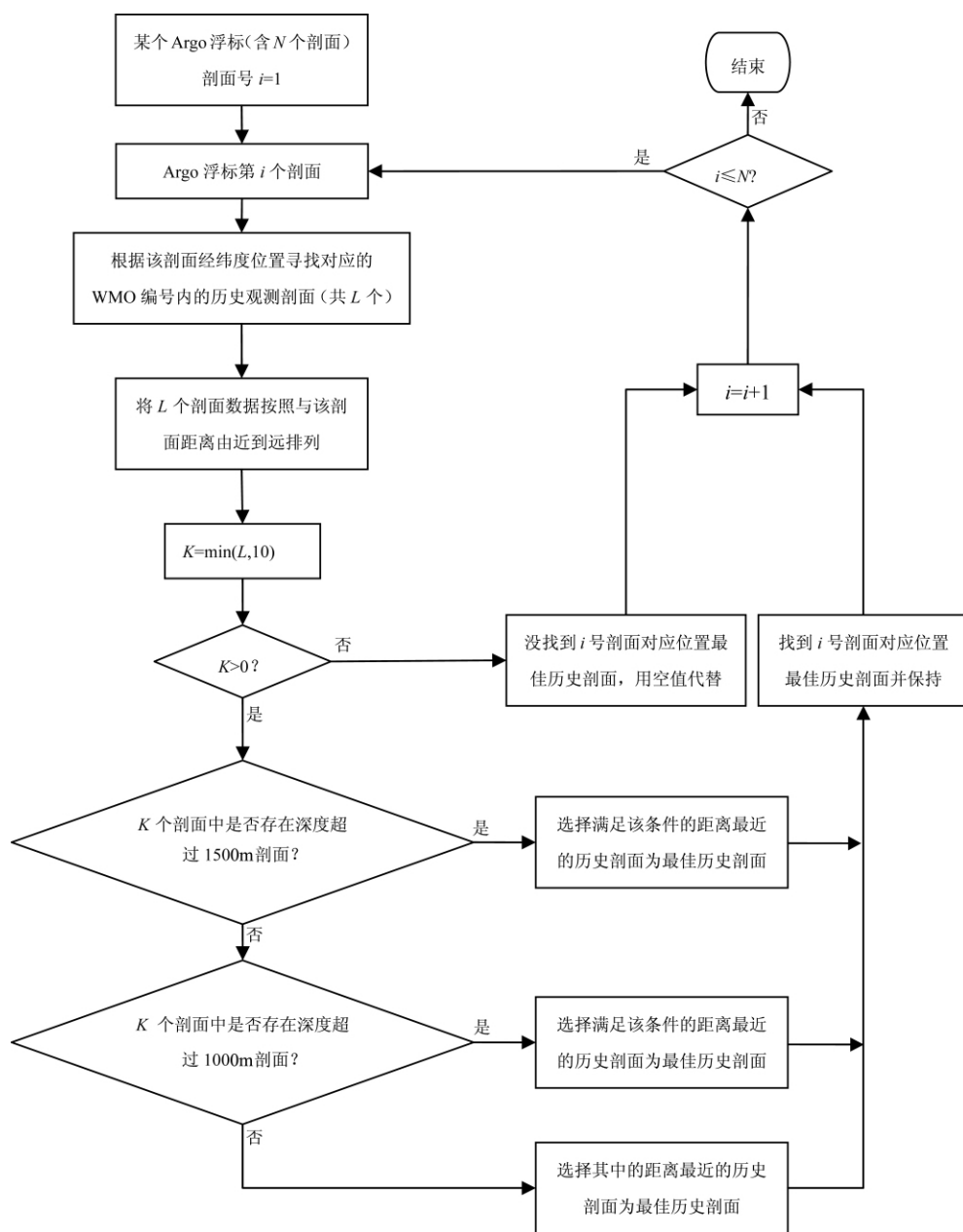


图 5 基于漂移轨迹追踪的 Argo 浮标与历史数据集最佳匹配的流程图

Fig. 5 Flow chart based on the Argo trajectory and its “optimal matching” historical dataset

## 4 Argo 浮标温盐剖面的质量控制方法

### 4.1 Argo 剖面位置错误及可疑剖面处理

Argo 浮标在海洋中随着海流而进行漂移,其漂移速度会随着不同区域、季节的海流状况而有所不同.浮标的漂移速率可以用相近的两个剖面的位置和时间推断得到.但在任何情况下,Argo 浮标的漂移速率不会超过 3 m/s.在图 1 中,1900854 号浮标从 66 号至 67 号剖面位置和从 67 号至 68 号剖面位置运行的大圆距离分别为 5550.6 km、5360.2 km,

而相邻剖面时间间隔均为 10 天,据此可以计算其漂移速率均超过 6 m/s,而计算 66 至 68 号浮标之间漂移平均速率为 0.1228 m/s,因此可以判断 67 号剖面出错.其他剖面位置错误情况也可类似判断.对于剖面出现位置错误情况可以通过去除该剖面或者进行位置插值,图 7 为订正后的剖面轨迹图,通过与图 1 比较可以看出,订正后的数据集已经对剖面位置错误数据进行处理.

根据 Argo 浮标与历史观测剖面对比图分析,也可以判断出可疑的剖面,质量控制时对可疑观测剖面进行剔除处理.如图 2 的 1900052 号浮标,通过

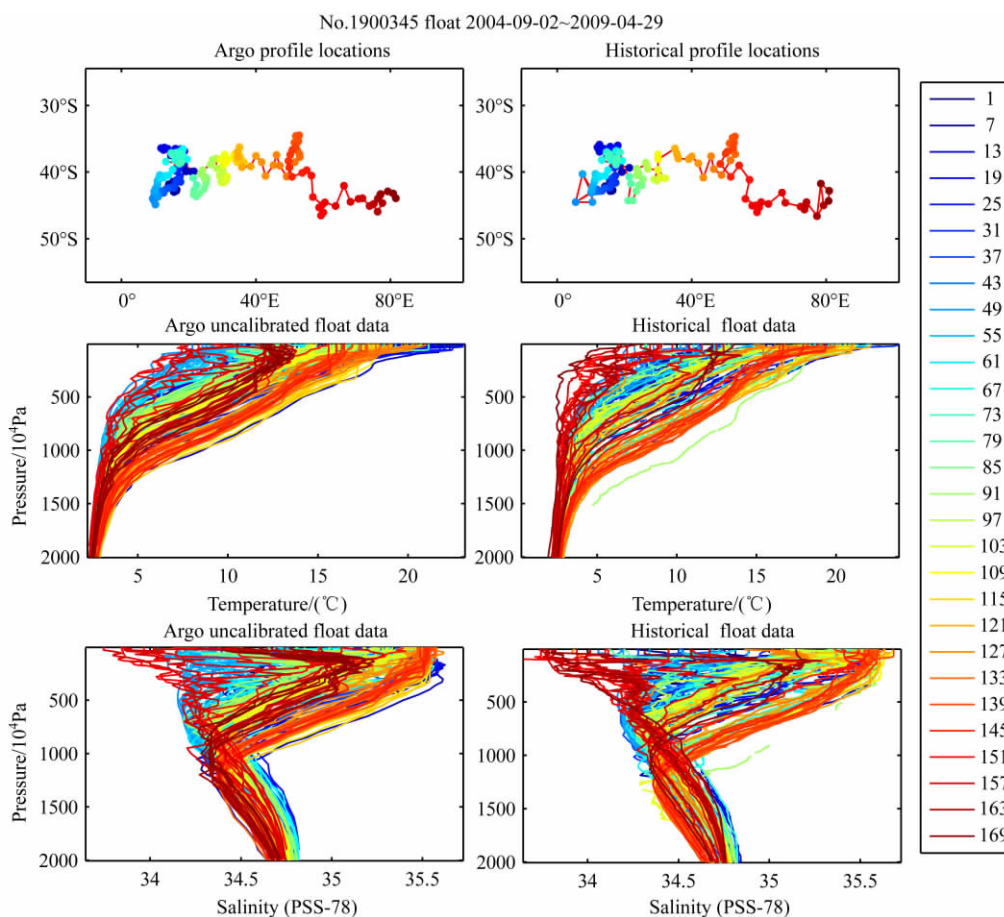


图 6 1900345 号 Argo 浮标及其对应的“最佳匹配”历史剖面数据对比图

Fig. 6 Comparison diagram between No. 1900345 Argo float profiles and its corresponding “optimal matching” historical profiles

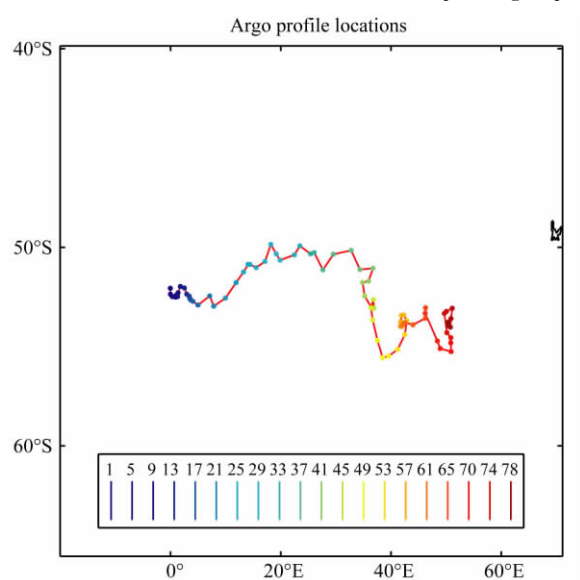


图 7 1900854 号 Argo 浮标修正后的剖面轨迹图

Fig. 7 Trajectory of No. 1900854 Argo calibrated float profiles

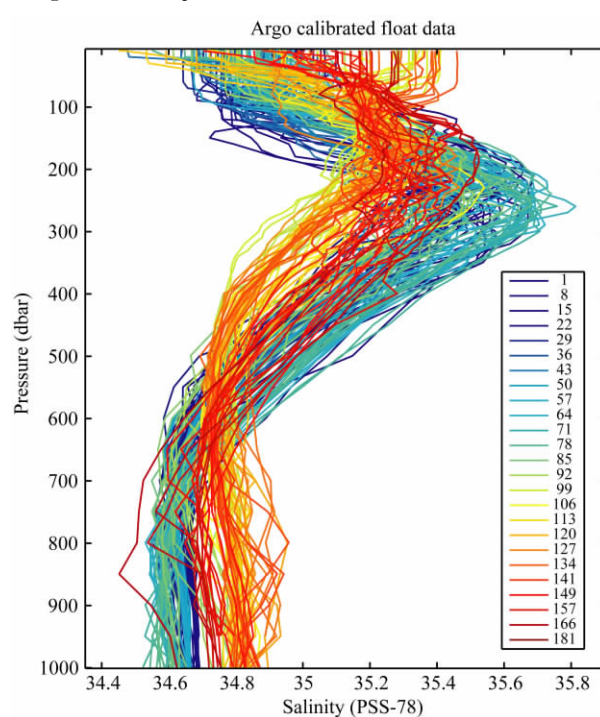


图 8 1900052 号 Argo 浮标修正后的深度-盐度图

Fig. 8 Pressure-salinity chart of No. 1900052 Argo calibrated float profiles



对比图(图略)可知,基于历史观测的“最佳匹配”剖面的盐度不低于 34.5,而 Argo 观测剖面出现了盐度过低的情况,因此识别其为错误数据,将 166 至 181 号的剖面进行剔除。

#### 4.2 Argo 温盐剖面异常数据剔除方法

Argo 出现异常数据情况需要采用客观判断的方法进行剔除。由于 Argo 剖面数据在时间和空间的散乱性(即非时空网格化数据),使得一些常用的异常数据处理方法并不适用。在 Argo 实时质量控制<sup>[13]</sup>中,异常数据采用如下的传统阈值判断剔除方法。该检测要求利用如下的温度和盐度剖面计算公式完成:检测值= $|V_2 - (V_3 + V_1)/2| - |(V_3 - V_1)/2|$ ,这里  $V_2$  是尖峰值,  $V_1$  和  $V_3$  是同剖面与之相邻的上下采样点观测值。对于温度:当压力 $<500 \times 10^4$  Pa 时,如果检测值超过 6.0 则  $V_2$  标记为错误;当压力 $\geq 500 \times 10^4$  Pa 时,如果检测值超过 2.0 则  $V_2$  标记为错误。对于盐度:当压力 $<500 \times 10^4$  Pa 时,如果检测值超过 0.9 则  $V_2$  标记为错误;当压力 $\geq 500 \times 10^4$  Pa 时,如果检测值超过 0.3 则  $V_2$  标记为错误。称此异常尖峰数据检测为异常数据检测 1。

异常数据检测 1 存在不足:(1)只针对单个剖面进行处理,没有有效利用相邻剖面的观测数据;(2)不考虑采样点间深度间隔的变化,而是只用该采样点与其同一个剖面上下相邻点观测值比较;(3)检测

临界阈值的选取不随区域和深度而变化,从而导致阈值对于某些区域和更深层观测而言偏大。如果利用传统异常数据剔除方法对图 3 的 1900104 号浮标进行检测,则得到如图 9a 的异常数据剔除结果。从图 9a 可以看出,其虽然对于第 70 号剖面在 1347.4 m 深处出现的异常数据予以剔除,但是对第 1 号剖面在 289.1 m 和 329.6 m 深处的异常数据没有剔除,因为对于该剖面而言,异常数据检测 1 的方法在该处检测阈值设置偏大。

针对传统异常数据剔除方法存在的不足,本文提出基于“三倍标准差”的剔除 Argo 浮标剖面异常数据的方法(称为异常数据检测 2),简要流程如图 10。在“三倍标准差”异常数据检测中,需要计算浮标观测位置处的对应的均值和标准差,该均值和标准差随着浮标所在的区域和观测深度而变化,有效地避免了异常数据检测 1 的不足。在计算出各标准层变量值的均值和标准差后,对其垂直数值进行中值滤波,有利于将个别由于异常数据等现象造成的均值或标准差异常值滤去,使均值和标准差曲线更加真实和平滑。需要指出的是,在进行该算法之前,需要对 Argo 浮标剖面进行分组:如果 Argo 浮标存在相邻两个剖面之间空间距离超过某一阈值(本文取为  $10^\circ$ ),需要将这两个剖面分属于两个不同的组分别进行图 10 的检测。这是因为当两个剖面之间距离比

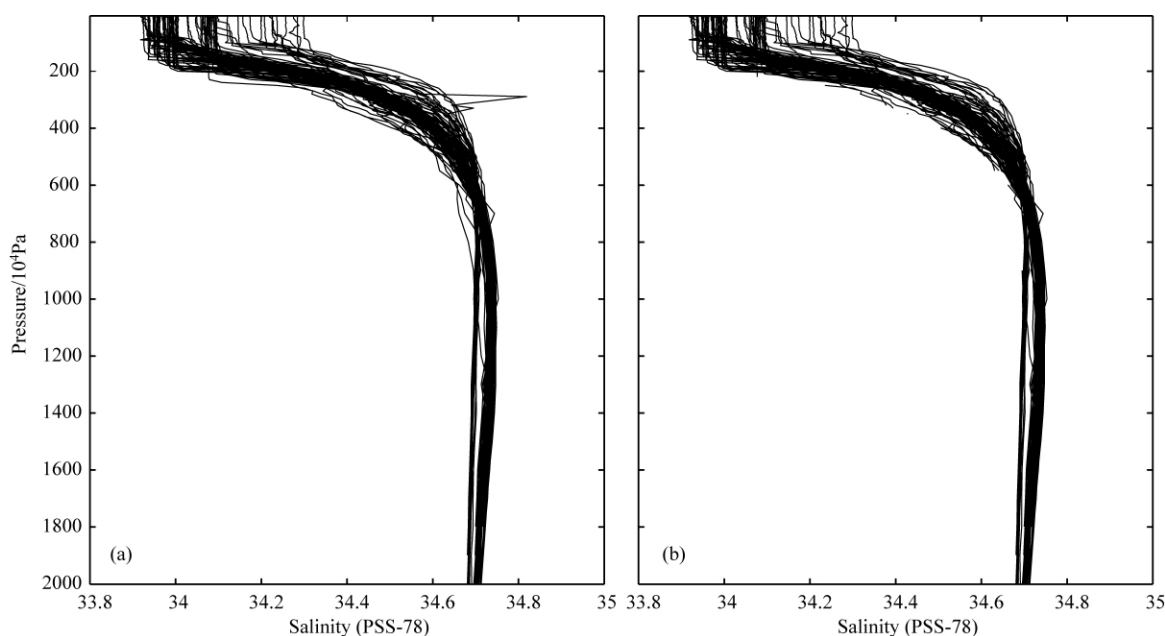


图 9 1900104 号浮标盐度剖面异常数据剔除

(a) 传统异常数据剔除法; (b) 综合异常数据剔除法。

Fig. 9 Eliminating the abnormal data of No. 1900104 Argo float

(a) Traditional method; (b) Synthetical method.

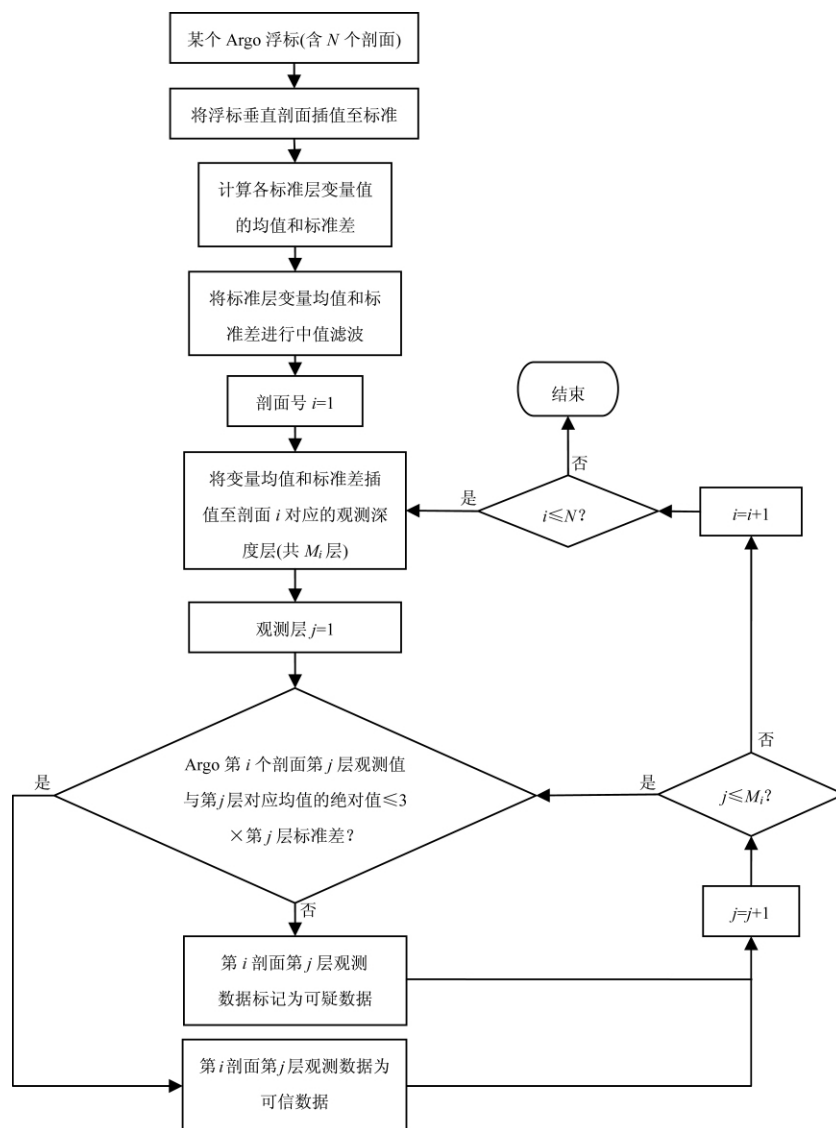


图 10 基于“三倍标准差”剔除 Argo 浮标剖面异常数据方法流程

Fig. 10 Flow chart of abnormal data eliminating based on the three times the standard deviation method

较大时,水团属性可能不一样,若放在一起计算得到的观测均值和标准差不能很好地代表所有剖面的性质,从而造成不恰当的判断. 因此,进行分组计算有利于将不同区域属性的剖面观测分开. 另外,基于“三倍标准差”的 Argo 浮标异常数据剔除方法不仅能够剔除尖峰,还能够对某些可疑剖面进行有效剔除.

异常数据检测 1(即传统异常数据检测)是基于单个剖面的一种异常数据剔除方法,它考虑的是垂直上下相邻观测的关系;而异常数据检测 2(基于“三倍标准差”的异常数据剔除法)是基于 Argo 的多个剖面的异常数据剔除方法,它考虑的是与其他剖面之间的关系,这两种方法可以实现互补. 因此,本文采用将异常数据检测 1(即传统异常数据检测)和异常数据检测 2(基于“三倍标准差”的异常数据

检测)相结合的综合方法进行异常数据综合检测,可以有效地进行尖峰和部分可疑观测的剔除. 采用综合异常数据剔除法对 1900104 号浮标剖面进行异常数据剔除结果如图 9b 所示. 通过图 9a 和 9b 的对比可以看出,采用综合异常数据剔除法可以有效地剔除其第 1 号剖面在 289.1 m 和 329.6 m 深处的尖峰,有效弥补传统异常数据剔除法的不足.

#### 4.3 Argo 浮标盐度漂移订正方法

Argo 运行空间范围比较大的时候,单从 Argo 盐度-深度图看很难确定是由于 Argo 浮标位置变化造成的盐度偏移还是由于 Argo 浮标本身由于生物泄露等原因造成的盐度漂移,容易造成误判从而造成 Argo 浮标的错误订正. 另外,出现 Argo 浮标盐度漂移的浮标占有 Argo 观测浮标的一小部分,但如果对所有 Argo 浮标都进行盐度漂移订正不但



容易造成错误订正,而且十分耗时.因此,如何简单有效地区分 Argo 浮标盐度偏移原因对于 Argo 浮标盐度的正确质量控制至关重要.

通过将 Argo 浮标与其对应的“最佳匹配”历史剖面对比的方法,可以有效识别 Argo 浮标产生盐度偏移的原因,即由于浮标剖面位置变化产生的偏移还是由于浮标内部电导率发生漂移而产生的偏移,后者称为盐度漂移.对于由于位置变化产生的偏移往往是由于水团属性等的变化造成的,其观测数据是可信的,而对于发生盐度漂移的剖面则需要进行盐度漂移订正.

海水的主要两个状态变量位温  $\theta$  和盐度  $S$  通过一定的模式相互关联,代表了一个海区的平均特征<sup>[14]</sup>.利用 Argo 浮标附近的现场或历史的 CTD、Bottle 以及 Argo 等观测资料可以检验浮标传感器

的漂移,尽可能降低对浮标长期观测的误判,并利用现场 CTD 资料对出现漂移误差的盐度资料进行校正.目前,已有的 Argo 盐度偏移订正的方法有 Wong 等<sup>[15]</sup>提出的 WJO 方法(以论文所有作者首字母缩写命名)、Bohme 等<sup>[16]</sup>提出的 BS 方法以及 Owens 等<sup>[17]</sup>提出的 OW 方法,其中以最新发展的 OW 方法最为合理有效.OW 方法优势在于:(1)采用观测位温层作为垂直坐标,允许温度逆层,增加了数据的可靠性,如南大洋;(2)采用分段线性拟合模型,更好地代表了传感器漂移,消除了传感器漂移在转换阶段的“过”或“欠”调整;(3)利用统计方法选择 breakpoint 的个数,减少主观判断.

图 11 为 29036 号浮标与其对应“最佳”历史剖面对比图,通过与右侧历史剖面对比可以看出,虽然历史剖面的虚拟轨迹与 Argo 漂移轨迹相近,但历

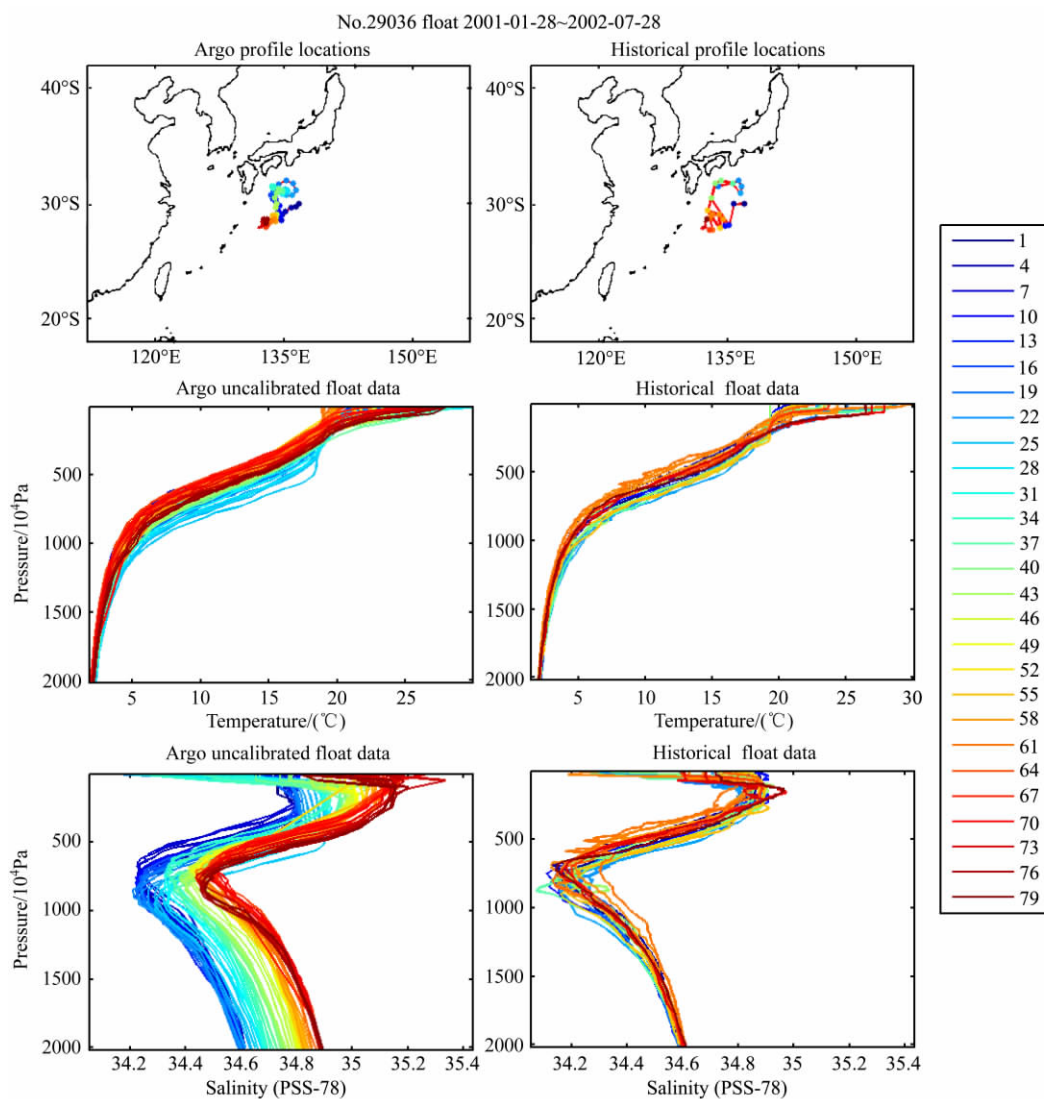


图 11 29036 号浮标及其对应“最佳”历史剖面对比图

Fig. 11 Comparison diagram between No. 29036 Argo float profiles and its corresponding “optimal matching” historical profiles

史剖面盐度观测未出现偏移,而 Argo 剖面出现较大偏移,从而可以据此判断 Argo 盐度剖面存在漂移,需要对该浮标进行盐度漂移订正。

采用 OW 方法对其进行盐度漂移订正(方法详细介绍见文献[17]),得到如图 12 所示结果。从该图可以看出,通过盐度漂移订正后的盐度剖面与“最佳匹配”历史剖面图比较一致,有效地订正了由于传感器漂移造成的盐度漂移数据。

#### 4.4 Argo 浮标质量控制处理前后效果对比

通过对上述处理前和处理后的剖面数据进行对比表明,处理后的数据比处理前的数据更合理,可以有效地剔除存在问题的数据。为了进一步对本文质量控制后的数据处理效果进行验证,本文还对处理前和处理后的时空散点数据(即非网格数据)分别进行时空权重插值<sup>[18]</sup>的网格化客观分析,并将之与 Ishii 网格化再分析数据<sup>[19]</sup>进行对比试验。Ishii 数据

为  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  海洋上层网格化再分析数据,此处作为一个独立的数据集对质量控制处理结果进行验证。由于对 Argo 浮标进行质量再控制时只对存在问题数据进行处理而保留合理观测数据,因此部分区域处理前后数据没有发生变化。比较质量控制效果时,需要选取处理前后数据订正或剔除比较多的位置。图 13 为质量控制处理前和处理后的 Argo 观测数据客观分析网格值在位置(132°E, 28°N) 20 m 层与 Ishii 数据的时间序列进行验证图。从图中可以清楚地看出,经过质量控制处理后的观测数据进行分析后的结果与处理前相比与 Ishii 数据更为一致,而相比而言未经过本文质量控制的 Argo 观测得到的分析结果与 Ishii 数据存在较大的偏差。通过与 Ishii 数据比较,处理前和处理后的 Argo 数据分析结果在(132°E, 28°N)位置的 20 m 层的平均误差分别为 0.089 和 0.0087,均方根误差分别为 0.086 和 0.052,

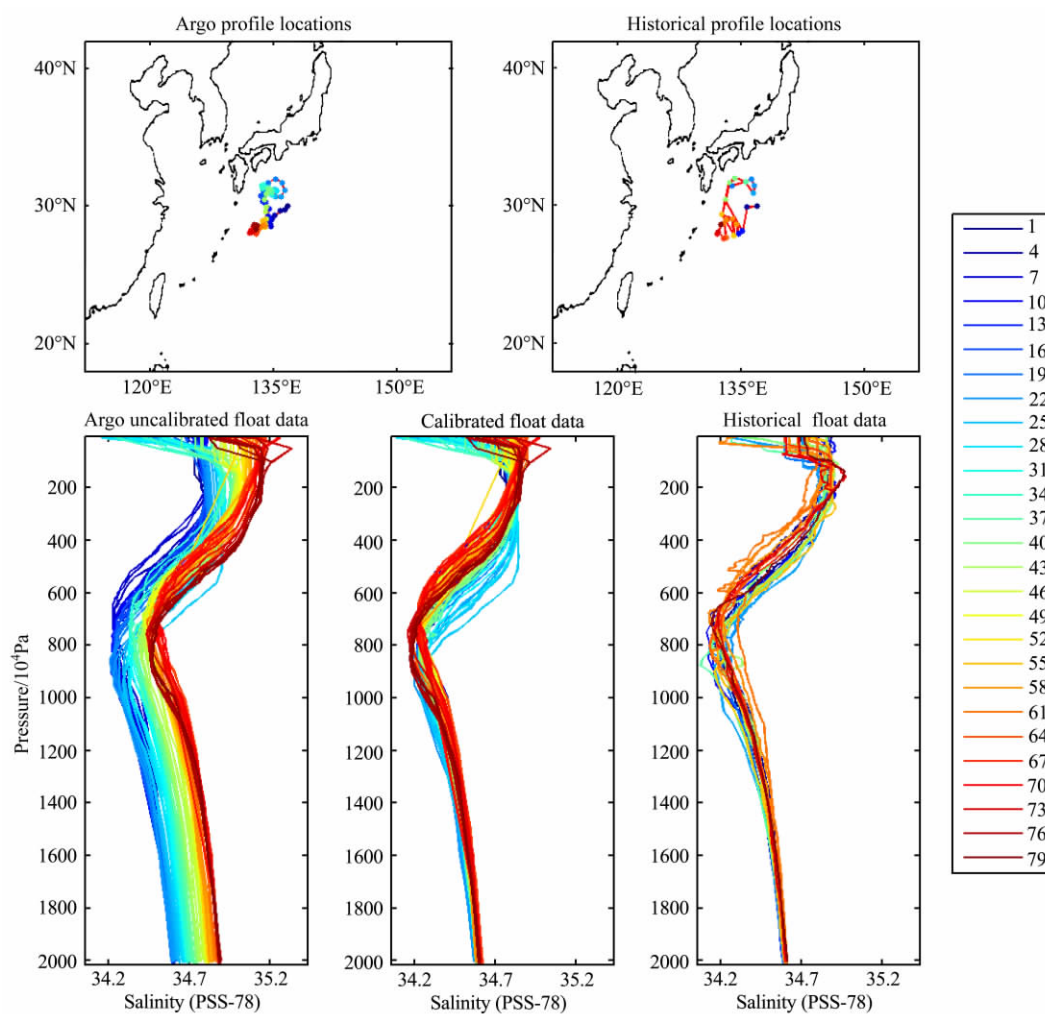


图 12 29036 号浮标订正前、订正后及其对应“最佳匹配”历史剖面对比图

Fig. 12 The comparison of No. 29036 Argo uncalibrated float profiles, calibrated float profiles, and their corresponding “optimal matching” historical profiles

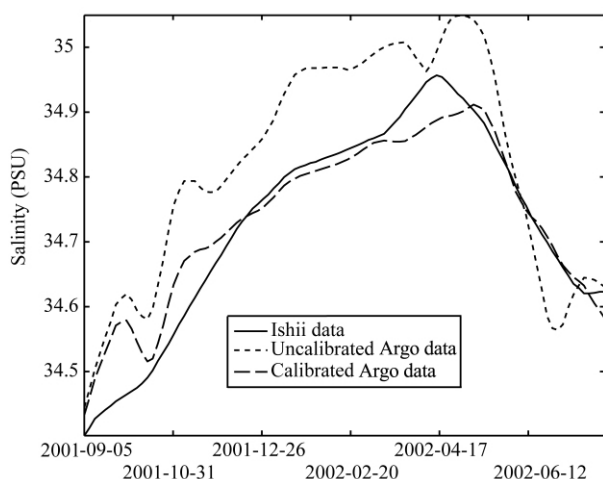


图 13 质量控制处理前和处理后的 Argo 观测数据客观分析盐度值在位置 (132°E, 28°N) 20 m 层与 Ishii 数据的时间序列比较图

黑线实线代表 Ishii 网格化数据, 虚线代表未经过订正的观测数据的客观分析值, 点划线代表经过订正的观测数据的客观分析值。

Fig. 13 Comparison of time series between salinity data analyzed objectively from uncalibrated/calibrated data and Ishii salinity for the points (132°E, 28°N) at 20 meter. The black solid line represents the Ishii gridded salinity, the dashed line represents the salinity data analyzed objectively from uncalibrated Argo observation, the dash-dot line represents the salinity data analyzed objectively from calibrated Argo observation.

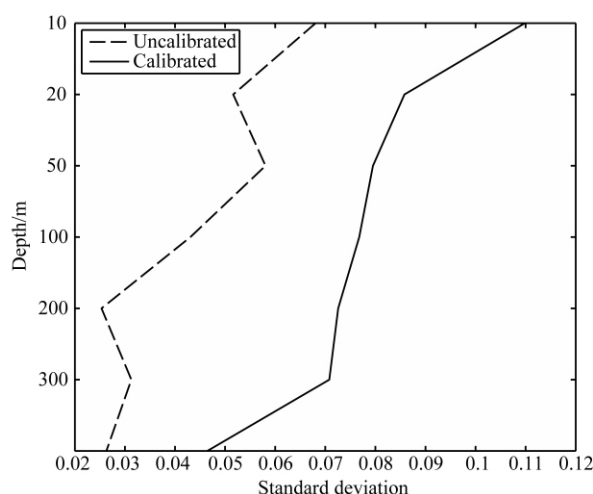


图 14 位置 (132°E, 28°N) 处理前和处理后数据分析值在不同观测层与 Ishii 盐度数据比较的均方根误差对比

Fig. 14 Root mean square error between the Argo salinity data analyzed objectively from uncalibrated/calibrated data and Ishii salinity data at different levels

处理后的数据误差明显减小。

为了进一步验证重构数据的效果, 在不同观测层分别计算处理前后数据的分析值与 Ishii 数据的均方根误差 (图 14)。可以看出, 误差随深度总体上

呈减小趋势, 且在不同深度层上处理后的数据均方根误差比处理前小, 这表明通过质量控制后的 Argo 观测数据已经将某些可疑的数据进行剔除或订正, 使得处理后数据分析结果较处理前的数据分析结果更合理有效。

## 5 讨论和结论

Argo 剖面浮标布放后, 由于观测环境剧烈变化、数据传输错误和生物污染等因素影响, 使得 Argo 剖面观测数据存在剖面位置错误、异常数据、可疑剖面以及盐度漂移等情况。对 Argo 温盐剖面进行观测误差识别和有效质量控制具有重要的意义。

本文提出的 Argo 资料质量控制方法与以往方法的不同和优势主要包括: (1) 提出根据不同的 Argo 剖面位置而选择其对应的“最佳匹配”可靠历史剖面资料, 通过对比 Argo 和历史剖面数据对应的漂移轨迹和要素图, 可有效地识别 Argo 观测误差, 特别是可以将由于 Argo 剖面位置环境的变化引起的盐度偏移和由于 Argo 浮标电导率本身漂移引起盐度漂移有效地区分开来, 减少了对浮标盐度偏移原因的误判; (2) 提出基于“三倍标准差”的异常数据检测方法, 并将其与传统检测法相结合进行异常数据剔除, 可以改进传统方法存在的不足, 有效地实现异常数据的剔除; (3) Argo 浮标利用 OW 方法进行盐度漂移订正较费时, 有效识别产生盐度漂移浮标可以为 Argo 浮标质量控制节约许多时间。通过将质量再控制处理前后的数据与 Ishii 资料进行比较发现, 处理后的数据比处理前的数据误差减小, 表明本文提出的方法合理有效。

采用本文提出的 Argo 资料质量控制方法, 对中国 Argo 实时资料中心网站提供的全球 Argo 浮标剖面进行了质量再控制, 进一步剔除和订正了其中的一些数据, 生成了经过质量再控制后的全球 Argo 浮标剖面再分析资料集 (已更新至 2010 年 5 月), 该 Argo 数据集已在中国 Argo 实时资料中心网站 (<http://www.argo.org.cn/>) 和中国 Argo973 项目网站 (<http://www.soed.org.cn/973/index.asp>) 发布。随着 Argo 计划的不断实施和 Argo 观测剖面不断增多, Argo 数据用户将日益增多, 对其进行有效质量控制对于提高 Argo 资料的精度以及海洋学的发展将具有越来越重要的科学和应用价值。

致谢 作者感谢卫星海洋环境动力学国家重点实验室主任陈大可研究员的指导帮助以及中国 Argo

实时资料中心刘增宏和国家海洋信息中心于婷的有益讨论;感谢张伟涛在文字表达等方面提出的宝贵建议;感谢中国 Argo 实时资料中心网站 (<http://www.argo.org.cn/>) 提供的全球 Argo 浮标剖面资料和法国海洋开发研究院 (IFREMER) 提供的历史温盐观测剖面参考数据集。

## 参考文献 (References)

- [1] Argo Science Team. Argo: the global array of profiling floats. // Koblinksky C J, Smith N R, eds. *Observing the Oceans in the 21st Century*. Melbourne, Australia: Godae Project Office, Bureau of Meteorology, 2001. 248-258.
- [2] 许建平. 阿尔戈全球海洋观测大探秘. 北京: 海洋出版社, 2002.  
Xu J P. *Studies of Global Argo Ocean Observation* (in Chinese). Beijing: Ocean Press, 2002.
- [3] Oka E, Ando K. Stability of temperature and conductivity sensors of Argo profiling floats. *Journal of Oceanography*, 2004, 60(2): 253-258.
- [4] 宋建国, 李辉, 刘垒等. 合成地震记录制作中的质量控制方法研究. *地球物理学进展*, 2009, 24(1): 176-182.  
Song J G, Li H, Liu L, et al. Quality control methods of synthetic seismograms. *Progress in Geophysics* (in Chinese), 2009, 24(1): 176-182.
- [5] Gaillard F, Autret E, Thierry V, et al. Quality control of large Argo datasets. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 2009, 26(2): 337-351.
- [6] Nakamura T, Ogita N, Kobayashi T. Quality control method of Argo float position data. *JAMSTEC Report of Research and Development*, 2008, 7: 11-18.
- [7] Ji F, Li S H. Quality control of ARGO data based on climatological T-S models. *Marine Science Bulletin*, 2004, 6(2): 19-27.
- [8] 童明荣. Argo 剖面浮标观测资料的处理和校正方法探讨. 杭州: 国家海洋局第二海洋研究所, 2004.  
Tong M R. Discussing on processing and calibration method of Argo profiling float observations (in Chinese). Hangzhou: Second Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, 2004.
- [9] 童明荣, 刘增宏, 孙朝辉等. ARGO 剖面浮标数据质量控制过程剖析. *海洋技术*, 2003, 22(4): 79-84.  
Tong M R, Liu Z H, Sun C H, et al. Analysis of data quality control process of the ARGO profiling buoy. *Ocean Technology* (in Chinese), 2003, 22(4): 79-84.
- [10] 童明荣, 许建平, 马继瑞等. ARGO 剖面浮标电导率传感器漂移问题探讨. *海洋技术*, 2004, 23(3): 105-124.  
Tong M R, Xu J P, Ma J R, et al. Probing into the conductivity sensor drift problem of the ARGO profiling float. *Ocean Technology* (in Chinese), 2004, 23(3): 105-124.
- [11] 刘增宏, 许建平, 孙朝辉. Argo 浮标电导率漂移误差检测及其校正方法探讨. *海洋技术*, 2007, 26(4): 72-76.  
Liu Z H, Xu J P, Sun C H. Discussing on detecting and calibration method of Argo conductivity sensor drift errors. *Ocean Technology* (in Chinese), 2007, 26(4): 72-76.
- [12] 刘增宏, 许建平, 朱伯康等. Argo 资料延时质量控制及其应用探讨. // 许建平主编. *Argo 应用研究论文集*. 北京: 海洋出版社, 2006: 224-240.  
Tong M R, Xu J P, Zhu B K, et al. Delayed data quality control of Argo profiling float and discussing on its data application (in Chinese). // Xu J P ed. *Collection of Argo Application Papers*. Beijing: Ocean Press, 2006: 224-240.
- [13] Wong A P, Keeley R, Carval T, et al. Argo Quality Control Manual Version 2. 2. 2006.
- [14] Emery W J, Dewar J S. Mean temperature-salinity, salinity-depth and temperature-depth curves for the North Atlantic and the North Pacific. *Progress in Oceanography*, 1982, 11(3): 219-256.
- [15] Wong A P S, Johnson G C, Owens W B. Delayed-mode calibration of autonomous CTD profiling float salinity data by  $\theta$ -S climatology. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 2003, 20(2): 308-318.
- [16] Bohme L, Send U. Objective analyses of hydrographic data for referencing profiling float salinities in highly variable environments. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 2005, 52(3-4): 651-664.
- [17] Owens W B, Wong A P S. An improved calibration method for the drift of the conductivity sensor on autonomous CTD profiling floats by  $\theta$ -S climatology. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 2009, 56(3): 450-457.
- [18] Zeng L X, Levy G. Space and time aliasing structure in monthly mean polar-orbiting satellite data. *J. Geophys. Res.*, 1995, 100(D3): 5133-5142.
- [19] Ishii M, Kimoto M, Kachi M. Historical ocean subsurface temperature analysis with error estimates. *Mon. Wea. Rev.*, 2003, 131(1): 51-73.

(本文编辑 何 燕)