全球海洋 Argo 温盐度剖面散点数据集

刘增宏[1,2*]，李兆钦[1,2]，卢少磊[1,2]，吴晓芬[1,2]，孙朝辉[1,2]，许建平[1,2]

1. 卫星海洋环境动力学国家重点实验室，自然资源部第二海洋研究所，杭州 310012
2. 自然资源部杭州全球海洋 Argo 系统野外科学观测研究站，杭州 310012

摘　要：截至 2020 年底，国际 Argo（Array for Real-time Geostrophic Oceanography）计划已经在全球海洋上收集了超过 230 万条温、盐度剖面。虽然各国 Argo 资料中心（DACs）按照国际 Argo 资料管理组（ADMT）制定的质量控制规程，但是各国提交的数据质量仍然参差不齐，这与 DACs 编写的解码软件存在问题、浮标本身存在技术缺陷、质控过程选取的阈值过于宽泛等有关。同时，全球 Argo 数据集越来越复杂，也给用户读取和使用 Argo 数据带来了困难。中国 Argo 实时资料中心于 2019 年开始准业务化收集并整理所有布放在全球海洋中的 Argo 浮标观测资料，根据国际规程，对其进行质量再控制，得到全球海洋 Argo 温盐度剖面散点数据集。该数据集存储为.dat 格式，由 2,244,712 个数据文件组成，数据量为 41.1 GB（压缩为 18 个文件，7.56 GB）。

关键词：Argo；温度；盐度；全球海洋

DOI: https://doi.org/10.3974/geodp.2021.04.03

CSTR:CSTR:20146.14.2021.04.03

数据可用性声明：

本文关联实体数据集已在《全球变化数据仓储电子杂志（中英文）》出版，可获取：https://doi.org/10.3974/geodb. 2021.06.05.V1 或 CSTR:20146.11.2021.06.05.V1.

1　前言

1998 年，美国、澳大利亚、法国和日本等国的海洋与大气科学家正式提出“实时地转海洋学观测阵”（Array for Real-time Geostrophic Oceanography）计划，即国际 Argo 计划[1–3]，设想用 5–7 年时间在全球无冰覆盖海域建成一个由 3,000 个自动剖面浮标组成的观测网，从而快速、大范围收集全球海洋 0–2,000 m 范围内的温、盐度剖面，以提高气候预报精度，有效防御全球日益严重的气候灾害（如飓风、龙卷风、洪水和干旱等）给人类造成的威胁。该计划的推出，迅速得到了世界上主要沿海国家的响应，美国和澳大利亚两国于 2000 年首先在大西洋、东南太平洋和东印度洋布放了两批自动剖面浮标，标志着全球 Argo 实时海洋观测网的全面启动实施。至 2007 年 11 月，在世界上近 30 个国家的共同努力下，由 3,000 个剖面浮标（称为“核心 Argo”，仅观测海水温度和电导率/盐度）组成的观测网正式建成，

收稿日期：2021-05-24；修订日期：2021-06-20；出版日期：2021-10-28

基金项目：中华人民共和国科技部项目（2012FY112300；JG1709，JG1812）；浙江省自然科学基金（LQY18D060001）；国家自然科学基金（U1811464）

*通讯作者：刘增宏，M-9975-2015，自然资源部第二海洋研究所，liuzenghong@139.com

数据引用方式：[1] 刘增宏，李兆钦，卢少磊等. 全球海洋 Argo 温盐度剖面散点数据集[J]. 全球变化数据学报, 2021, 5(4): 22-31. https://doi.org/10.3974/geodp.2021.04.03. CSTR:20146.14.2021.04.03.

[2] 刘增宏，李兆钦，卢少磊等. 全球海洋 Argo 温盐度剖面散点数据集[J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2021. https://doi.org/10.3974/geodb.2021.06.05.V1.CSTR:20146.11.2021.06.05.V1.

并且每年会补充布放 800–1,000 个浮标来维持该观测网的正常运行。如今，全球 Argo 实时海洋观测网已成为全球海洋观测系统（GOOS）的重要组成部分，是当前获取全球海洋中、上层水域温、盐度剖面资料最为有效的手段，被喻为“海洋观测的一场革命[4–5]”。

全球 Argo 实时海洋观测网使用的观测设备为自动剖面浮标，因通常只用于国际 Argo 计划，所以也有“Argo 剖面浮标”之称。Argo 浮标利用船只或飞机布放后能通过改变自身浮力方式下潜至 1,000 m，在该深度上随海流自由漂移约 9 d 时间，随后浮标再次下潜 1,000 m，即到达 2,000 m 深度后开始以 10 cm/s 左右的速度上浮至海面，并在上升过程中通过其携带的电导率-温度-深度（Conductivity-Temperature-Depth，CTD）传感器测量海水的温度、电导率（自动换算成盐度）和压力（在浅层水域 10^4Pa 约等于 1 m）；当浮标到达海面后，通过安装在顶部的卫星天线获取定位信息并传送观测数据及浮标的技术信息，待全部数据发送完毕，浮标将再次下潜开始下一个循环的测量[2-3, 6-7]。国际 Argo 计划仅用十四年（1999–2013 年）时间就收集到了 100 万条全球海洋温、盐度剖面数据，至 2018 年 9 月，收集的温、盐度剖面达到了 200 万条，远远超过过去上百年通过船载 CTD、XBT、锚碇浮标等方式获取的数据量。目前，国际 Argo 计划已开始向深海、极地、边缘海和生物地球化学领域拓展，计划在 2025 年前建成一个由 4,700 个浮标（其中“核心 Argo”浮标 2,500 个、“深海 Argo”浮标 1,200 个、“生物地球化学”Argo 浮标 1,000 个）组成的真正意义上全球性、全水深和多学科的综合海洋观测网[8]。

为了保证 Argo 浮标观测资料的质量，国际 Argo 计划在实施之初，就着手制定了实时/延时模式质量控制方法，以及统一的数据存储规范和格式，并要求各国 Argo 资料中心（DACs）遵照执行；还成立了 Argo 资料管理组（Argo Data Management Team, ADMT），负责对质量控制方法进行完善以及对规范进行修订[9–12]。设在法国和美国的两个全球 Argo 资料中心（Global Data Assembly Center，GDAC）除了汇总各国提交的 Argo 资料以外，还对每条温、盐度剖面进行质量检测，一旦发现问题，会向所属国家资料中心发送警告邮件，提醒该国资料中心质量控制操作员对数据重新进行检验。Argo 浮标属抛弃式海洋观测仪器设备，布放后通常能在海上连续工作 3–5 年时间，受海水腐蚀、生物附着及 CTD 传感器内安装的生物杀灭剂释放等影响，电导率传感器会出现漂移问题，导致电导率/盐度观测剖面存在系统性误差，需要进行校正[14]。为此，ADMT 专门组织技术人员开发了浮标观测数据延时模式质量控制方法，利用浮标附近历史高质量船载 CTD 数据集作为参考，对浮标盐度进行校正[14]，通常在浮标布放后 6–12 个月内进行第一次延时模式质量控制。然而，对全球海洋上的全部剖面数据进行延时模式质量控制，既费时又费力，需要具备专业知识的人员进行判断。同时，由于 DACs 投入的人力资源不同，导致延时模式质量控制进度不一。为此，GDAC 提供的全球海洋 Argo 数据集仍会存在一些质量问题，需要用户针对各自的用途，在使用前进行质量再控制，以确保获得高质量的 Argo 资料。中国 Argo 实时资料中心于 2019 年开发了一套 Argo 温、盐度剖面质量再控制方法，完全由计算机自动运行，可快速检测出传感器出现漂移或偏移等问题的剖面数据，基本上可以满足追求高质量 Argo 资料用户的需求。

2 数据集元数据简介

《全球海洋 Argo 温盐度剖面数据集》[15]的名称、作者、地理区域、数据年代、时间分辨率、空间分辨率、数据集组成、数据出版与共享服务平台、数据共享政策等信息见表 1。

表 1 《全球海洋 Argo 温盐度剖面数据集》元数据简表

条 目	描 述
数据集名称	全球海洋 Argo 温盐度剖面数据集（1997–2020）
数据集短名	Global_Argo_TS_dataset_1997–2020
作者信息	刘增宏 M-9975-2015，自然资源部第二海洋研究所, liuzenghong@139.com 李兆钦 AAJ-4021-2021，自然资源部第二海洋研究所,lizhaoqin@sio.org.cn 卢少磊 AAJ-7419-2021，自然资源部第二海洋研究所, lsl324004@163.com 吴晓芬 J-2546-2016，自然资源部第二海洋研究所, wuxiaofen83@163.com 孙朝辉 AAK-6331-2021，自然资源部第二海洋研究所, siosun@163.com 许建平 Researcher ID，自然资源部第二海洋研究所, sioxjp@139.com
地理区域	全球海洋（包括墨西哥湾、日本海、白令海、地中海、南海、红海、黑海等边缘海）
数据年代	1997–2020
数据格式	.dat
数据量	7.56 GB（压缩后）
数据集组成	全球海洋 Argo 温盐度剖面数据
基金项目	科技部项目（2012FY112300）；中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助项目（JG1709，JG1812）；浙江省自然科学基金/青山湖科技城联合基金（LQY18D060001）；国家自然科学基金联合基金（U1811464）
数据计算环境	Linux version 3.10.0-693.el7.x86_64, MATLAB R2018b 64bit
出版与共享服务平台	全球变化科学研究数据出版系统 http://www.geodoi.ac.cn
地址	北京市朝阳区大屯路甲 11 号 100101，中国科学院地理科学与资源研究所
数据共享政策	全球变化科学研究数据出版系统的“数据”包括元数据（中英文）、通过《全球变化数据仓储电子杂志（中英文）》发表的实体数据（中英文）和通过《全球变化数据学报（中英文）》发表的数据论文。其共享政策如下：（1）“数据”以最便利的方式通过互联网系统免费向全社会开放，用户免费浏览、免费下载；（2）最终用户使用“数据”需要按照引用格式在参考文献或适当的位置标注数据来源；（3）增值服务用户或以任何形式散发和传播（包括通过计算机服务器）“数据”的用户需要与《全球变化数据学报》（中英文）编辑部签署书面协议，获得许可；（4）摘取“数据”中的部分记录创作新数据的作者需要遵循 10%引用原则，即从本数据集中摘取的数据记录少于新数据集总记录量的 10%，同时需要对摘取的数据记录标注数据来源[16]
数据和论文检索系统	DOI, CSTR, Crossref, DCI, CSCD, CNKI, SciEngine, WDS/ISC, GEOSS

3 数据覆盖范围和组成

3.1 数据时空覆盖范围

全球海洋 Argo 温、盐度剖面散点数据集收集的浮标观测剖面时间范围是 1997 年 7 月至 2020 年 12 月，空间范围为 90°S–90°N，180°W–180°E，包括太平洋、印度洋、大西

洋、北冰洋和全球主要边缘海区域，数据覆盖范围和密度如图 1 所示。

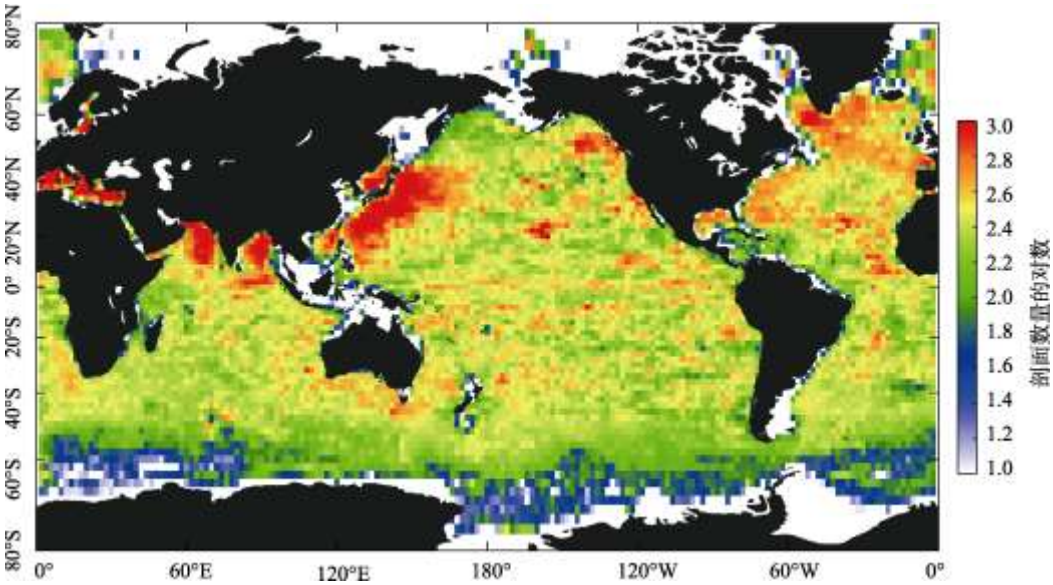

图 1　1997–2020 年全球海洋 Argo 温盐度剖面密度分布（1997–2020 年剖面数量的对数）

3.2　数据的组成

每个 Argo 温盐度剖面存储为一个数据文件（.dat）。整个数据集由 2,244,712 个数据文件组成，每一组数据文件包含表头信息和观测数据两部分，其中表头信息包括浮标的世界气象组织（WMO）编号、循环序号、所属项目、负责人（PI）、浮标型号、浮标序列号、通信系统、定位系统、采样方向、数据模式、观测时间和卫星定位等信息，而观测数据包括压强（10^4 Pa）、校正后的压强（10^4 Pa）、温度（℃）、校正后的温度（℃）、盐度（PSU）、校正后的盐度（PSU）等要素，以及 3 个要素的质量控制符（表 2）。文件的命名方式为 XXXXXXX_NNN.dat，其中 XXXXXXX 为浮标的 WMO 编号（唯一识别码），NNN 为浮标的循环序号。

表 2　质量控制符说明

质量控制符	描　述
0	未经质量控制
1	好的数据
2	可能好的数据
3	可校正的坏数据
4	坏的数据
8	插值得到的数据
9	缺失数据

4　数据质量控制方法

全球海洋每个散点的 Argo 温、盐度剖面数据来源于 GDAC，尽管每条剖面数据已按照国际 Argo 资料管理组制定的方法进行了实时质量控制，且部分数据还经过延时模式质量控制[14]，但由于种种原因，其数据质量依然会参差不一。为了进一步提高数据集质量，利用中国 Argo 实时资料中心建立的质量再控制方法，对每一条剖面数据又进行了一番更加严格的筛选和质量控制，同时还将每一个浮标的温、盐度观测数据绘制图件，进行人工审核，

从而整编出一套高质量的全球海洋 Argo 温、盐度剖面散点数据集[17]。

4.1 质量再控制方法

Argo 温、盐度剖面数据质量再控制技术方案包括了 ADMT 规定的实时质量控制方法和由中国 Argo 实时资料中心经过长期探索、实践制订的一套专用程序，包含观测时间、定位位置、漂移速度、温盐度异常、密度翻转、压力异常等测试步骤，以及由法国 Coriolis 资料中心开发的 MEDD 测试和本中心开发的气候态测试等，共计 15 个检测步骤。

（1）观测时间检测：当剖面观测时间早于 1996 年 1 月 1 日或者晚于当前日期（处理数据之日）时，应删除该数据文件。

（2）经纬度检测：当剖面的经度不在（–180，180）和纬度不在（–90，90）范围之内时，则将位置的质量控制符标记为“4”。

（3）卫星定位检测：通过剖面的定位信息从 etopo5 全球地形[1]中计算该位置处的地形高度，若地形高度大于 0，则将位置的质量控制符标记为“4”，或使用线性插值法获得当前剖面插值后的定位，并将位置质量标记记为“8”。

（4）浮标漂移速度检测：根据当前剖面和前一个剖面的经纬度、时间来检测浮标的漂移速度，若速度大于 2 m/s 时判定为未通过检测，将位置的质量控制符标记为“4”。

（5）变量的全局范围检测：当压力小于-2.5×10^4 Pa 时，或温度不在（–2.5，40.0）范围内或盐度不在（2.00，41.00）范围内时，则将相应的压力、温度、盐度的质量控制符标记为“4”（注意：当压力存在问题时，对应的温度和盐度也应进行标记）。

（6）特定区域检测：当剖面位于红海或地中海内时，其温度和盐度的范围分别为（21.7，4.0）/（10.0，40.0）和（2.00，41.00）/（2.00，41.00），若温度或者盐度不在此范围内，则将其质量控制符标记为“4”。

（7）压力递增检测：若剖面的压力观测值出现不单调增加的情况，则将对应的压力及其邻近的压力均标记为“4”，同时对应的温度和盐度也应标记为“4”。

（8）剖面毛刺检测：检测温度和盐度剖面是否存在毛刺，若存在，则将质量控制符标记为“4”。

（9）剖面梯度检测：根据不同压力范围内温度和盐度相应的梯度阈值进行检测，若计算的梯度大于相应阈值，则将其质量控制符标记为“4”。

（10）MEDD 毛刺检测：该方法是由法国 Coriolis 资料中心的 D.Dobler 博士在第 20 次 Argo 资料管理组会议（2019 年，法国滨海自由城）上提出的，并将相关程序脚本分发给了各国资料中心共享应用。MEDD 方法根据不同深度设置温度和盐度的变化阈值（见表 3），然后得到垂向的滑动中值和数据边界，最后计算观测值与对应深度上中值的距离，并结合密度剖面来检验毛刺。经实际检验，该方法可以有效检测出连续明显的毛刺异常（图 2）。

[1] etopo5 全球地形数据. http://iridl.ldeo. columia.edu/SOURCES/.NOAA/.NGDC/.ETOPO5/datasetdatafiles.html

表 3　MEDD 方法阈值设置表

压力（MPa）	温度（℃）阈值	盐度（PSU）阈值
<0.6	5.0	1.0
0.6–1.5	3.5	1.0
1.5–5	0.5	0.08
5–10	0.15	0.02
10–21	0.05	0.004
>21	0.004	0.000,2

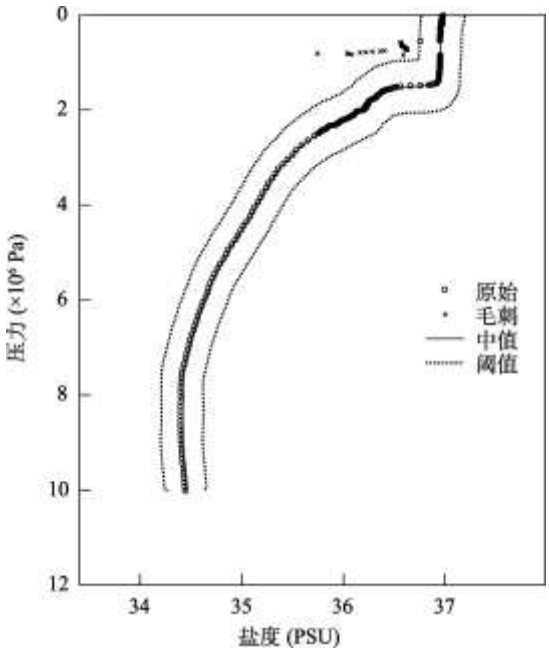

图 2　MEDD 测试示例

（注：3901496 号浮标第 163 号盐度剖面，空心点代表原始数据，×代表代表检测出的异常数据，实线代表 MEDD 法得到的中值，虚线分别代表 MEDD 方法判断的左右边界阈值）

（11）数位翻转检测：该问题主要由浮标存储数据（或编码）的位数不够引起，通常会引起相邻层次的数据差别很大。若相邻两个观测层次间的温度差大于 10 ℃或者盐度差大 5，则将其质量标记记为“4”。

（12）冻结剖面检测：若观测剖面内所有的温度或者盐度都等于同一个值，则将其质量控制符标记为“4”。

（13）密度倒转检测：利用通用的海水（seawater）工具包计算剖面的密度，由浅往深，若当前层密度减去下一层密度大于 0.03 kg/m^3 时，则将这两个层次的温度和盐度均标记为“4”；反之，由深往浅，若当前层密度减去下一层密度小于–0.03 kg/m^3 时，则同样将这两个层次的温度和盐度均标记为“4”。

（14）最大压力检测：若压力值大于浮标预设最大观测深度的 1.1 倍，则将相应的压力、温度和盐度值均标记为“4”。

（15）气候态检测：该检测根据每一条剖面的位置搜索相近的、由法国 Coriolis 资料中心提供的用于 Argo 延时模式质量控制的历史 CTD 数据（或历史 Argo 数据，图 3），并计算不同深度上温盐度的标准差。当浮标的温度或盐度值超出±6.5 倍标准差范围时，将其质量标记为“3”（可疑数据），当某条剖面超过 33%的数据（温度或盐度）被标记为“3”时，则将整条剖面所有数据标记为“3”。

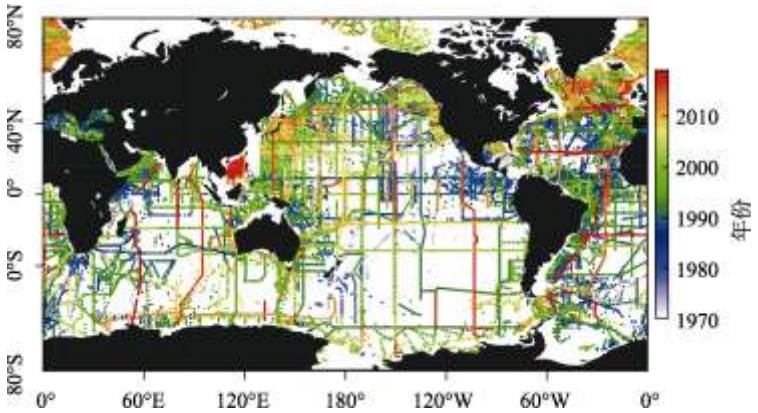

图 3 Argo 延时模式质量控制使用的历史 CTD 数据地理分布（颜色代表 CTD 数据获取年份）

图 4 给出了 2902581 号浮标的第 93 条盐度剖面的气候态检测结果，盐度在 463×10^4 Pa 以深的部分均落在±6.5 倍历史 CTD 标准差的之外，说明该盐度剖面可能存在漂移问题，需要进行延时模式质量控制（盐度校正）或由具备专业知识的人员作进一步判断。

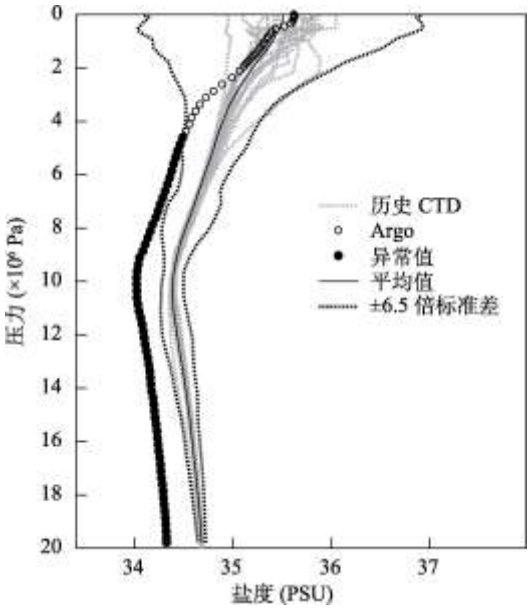

图 4 气候态检测示例

（注：灰色虚线表示历史 CTD 数据，黑色虚线表示由历史 CTD 资料计算的±6.5 倍标准差，黑色实线表示由历史 CTD 资料计算的平均值，空心点表示落入±6.5 倍标准差内的 Argo 盐度数据，实心点表示在±6.5 倍标准差范围外的 Argo 盐度数据）

5　数据集结果与验证

5.1　数据结果

1997 年 7 月至 2020 年 12 月期间，从 GDAC 共获取温、盐度剖面文件 2,373,923 个，利用中国 Argo 实时资料中心建立的质量再控制方法[17]，经质量再控制后保留的剖面文件约 2,244,712 个，约占全部剖面总数的 94.5%（图 5）。随着各国不断补充布放新的 Argo 浮标以及浮标工作寿命的增加，2008 年开始，该观测网每年获取的温、盐度剖面超过 10 万条。至 2020 年底，由约 4000 个活跃浮标组成的全球 Argo 实时海洋观测网，每年至少能获取 15 万条温、盐度剖面。也就是说，当前全球 Argo 实时海洋观测网只需不到 7 年的时间，即可获取 100 万条温、盐度剖面。

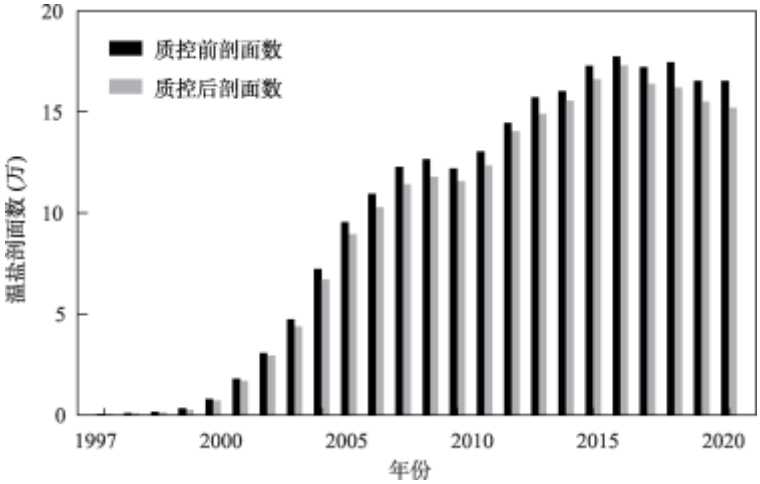

图 5　历年（1997–2020 年）全球 Argo 实时海洋观测网提供的温、盐度剖面数量
（注：灰色代表经质量再控制后的高质量剖面数量；黑色代表从 GDAC 获取的剖面数量）

5.2　数据精度评估

目前，Argo 浮标普遍安装了美国海鸟公司（Sea Bird Inc.）生产的 SBE41 或 SBE41CP 型 CTD 传感器，其实验室标定精度为：压力±2.0×10^4 Pa、温度±0.002 ℃、电导率±0.0003 S/m（相当于盐度±0.0035 PSU），但在实际观测过程中，通常无法达到该精度。特别是 Argo 浮标属抛弃式观测仪器设备，无法像船载 CTD 仪、水下滑翔机（underwater glider）那样回收后对 CTD 传感器再次进行标定。据 Wong 等人（2020）[12]对 10,048 个浮标的分析结果，不到 10%的浮标在布放 2 年后需要通过延时模式质量控制进行盐度校正，而当浮标观测 280 条剖面后，约 40%的浮标需要进行盐度校正。当然，国际 Argo 计划在实施过程中，也出现过批次性压力和电导率传感器技术问题，导致数据出现较大的误差，有些误差甚至无法通过延时模式进行校正，ADMT 又通常会将这些浮标列入灰名单，并赋予出现问题的观测要素统一的质量控制符（见表 2）。

国际 Argo 计划早在实施之初就提出了压力±2.4×10^4 Pa、温度±0.005 ℃和盐度±0.01 PSU 的观测精度目标，其中温度传感器相对比较稳定和精确，基本能满足上述精度要求，

但压力和盐度要满足上述观测精度要求，则面临较大挑战。为了评估过去二十年全球 Argo 数据集的观测精度，Wong 等人（2020）[12]利用全球海洋船基水文调查项目（GO-SHIP）获取的全球海洋断面调查资料与邻近的 Argo 盐度剖面进行配对分析，表明经过延时模式质量控制后，全球海洋 Argo 数据集中的压力和盐度值基本能达到±2.4×10^4 Pa 和±0.01 PSU 的目标观测精度；而经过中国 Argo 实时资料中心利用质量再控制方法制作的全球海洋 Argo 温、盐度剖面散点数据集，Argo 数据的质量得到了更加可靠的保障，用户可以放心使用。

6 讨论与小结

国际 Argo 计划在世界上近 30 个国家的共同努力下，已在全球海洋上布放了超过 16,000 个 Argo 剖面浮标，至少获取了 230 万条温盐度剖面，这些数据已在海洋与大气、气候领域的业务化预测预报中得到广泛应用，是当前最为成功的全球海洋观测系统之一。虽然，国际 Argo 组织制定了较为严格的 Argo 数据质量控制方法，但由于剖面浮标具有抛弃式特点，携带的 CTD 传感器又会受到海面油污染、生物附着和电子器件老化等因素影响，导致观测数据出现这样那样的质量问题，限制了其在基础研究领域的进一步推广应用。

2019 年，中国 Argo 实时资料中心在 ADMT 规定使用的质量控制方法基础上，结合 DACs 及其数据质量控制技术人员的实践及其提出的改进技术与方法，研制了一套全球 Argo 数据快速接入与质量再控制系统，并投入业务运行，可以根据用户需求，定期或者不定期地整编并提供各个时间段的全球海洋 Argo 温、盐度剖面散点数据集，并可通过网络（ftp://ftp.argo.org.cn/pub/ARGO/global/）免费获取。

本项工作整编的 1997–2020 年期间全球海洋 Argo 温、盐度剖面散点数据集，其数据来源于 GDAC，但已经过中国 Argo 实时资料中心更为严格的质量再控制。该质量再控制方法由计算机自动完成，可快速标记出那些未经延时模式质量控制、且电导率传感器存在漂移或偏移的剖面。该数据集的质量明显优于在 GDAC 网站上公开共享的 Argo 剖面数据，完全可以满足用户对高质量 Argo 数据的需求。

作者分工：刘增宏负责系统和算法的具体开发；许建平对数据集的质量再控制和人工审核方法进行指导；李兆钦利用系统采集和整编数据集，并负责人工审核；吴晓芬负责我国 Argo 观测网内所有 Argo 浮标观测数据的延时模式质量控制；卢少磊负责数据验证；孙朝辉负责数据集的信息统计。

利益冲突声明：本研究不存在研究者以及与公开研究成果有关的利益冲突。

参考文献

[1] Argo Steering Team. On the design and implementation of Argo—an initial plan for the global array of profiling floats [R]. International CLIVAR Project Office Report 21, GODAE Report 5, GODAE International Project Office, Melbourne, Australia, 1998, 32.

[2] Roemmich, D. H., Davis, R. E., Riser, S. C., *et al*. The Argo project: global ocean observations for understanding and prediction of climate variability [J]. *Oceanography*, 2000, 13(2): 45–50.

[3] 许建平. 阿尔戈全球海洋观测大探秘[M]. 北京: 海洋出版社, 2002: 115.

[4] Riser, S. C., Freeland, H. J., Roemmich, D., *et al*. Fifteen years of ocean observations with the global Argo array [J]. *Nature Climate Change*, 2016, 6(2): 145–153.

[5] Liu, Z. H., Wu, X. F., Xu J. P., *et al*. China Argo project: progress in China Argo ocean observations and data applications [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2017, 36(6): 1–11.

[6] Oka, E., Ando, K. Stability of temperature and conductivity sensors of Argo profiling floats [J]. *Journal of Oceanography*, 2004, 60(2): 253–258.

[7] 刘增宏, 朱伯康, 郭明等. Argo 剖面浮标的检测及其施放探讨[J]. 海洋技术, 2002(2): 13–24.

[8] Bushinsky, S. M., Takeshita, Y., Williams, N. L. Observing changes in ocean carbonate chemistry: our autonomous future [J]. *Current Climate Change Reports*, 2019, 5: 207–220.

[9] Wong, A., Keeley, R., Carval, T., *et al*. Argo quality control manual for CTD and trajectory data V3.3 [Z], 2020. DOI:10.13155/33951.

[10] Kobayashi T., Minato, S. Importance of reference dataset improvements for Argo delayed-mode quality control [J]. *Journal of Oceanography*, 2005, 61(6): 995–1009.

[11] 卢少磊, 刘增宏, 孙朝辉. Argo 盐度延时质量控制改进方法的试应用[J]. 解放军理工大学学报(自然科学版), 2016, 17(02): 43–52.

[12] Wong, A., Wijffels, S. E., Riser, S. C., *et al*. Argo Data 1999–2019: two million temperature-salinity profiles and subsurface velocity observations from a global array of profiling floats [J]. *Frontiers in Marine Science*, 2020, 7: 700. DOI: 10.3389/fmars.2020.00700.

[13] 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 [J]. *Deep Sea Research Part I Oceanographic Research Papers*, 2009, 56(3): 450–457.

[14] Bohme, L., Send, U. Objective analyses of hydrographic data for referencing profiling float salinities in highly variable environments [J]. *Deep Sea Research*, 2005, 52(3/4): 651–664.

[15] 刘增宏, 李兆钦, 卢少磊等. 全球海洋 Argo 温盐度剖面散点数据集[J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2021. https://doi.org/10.3974/geodb.2021.06.05.V1.

[16] 全球变化科学研究数据出版系统. 全球变化科学研究数据共享政策[OL]. https://doi.org/10.3974/dp.policy.2014.05 (2017 年更新).

[17] Li, Z. Q., Liu, Z. H., Lu, S. L. Global Argo data fast receiving and post-quality-control-system [C]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020, 502: 012012. DOI: 10.1088/1755-1315/502/1/012012.