

中国北极海域水文考察 CTD 数据集

刘 娜¹, 王颖杰¹, 张 洁², 林丽娜^{1*}, 陈红霞¹, 孔 彬^{1,3}, 何 琰¹

1. 国家海洋局第一海洋研究所, 青岛 266061; 2. 中国极地研究中心, 上海 200136;
3. 同济大学海洋与地球科学学院, 上海 200092

摘 要: 北极地区不仅是全球变化的驱动器, 也是全球气候变化的重要冷源, 是全球气候系统的重要组成部分。近年来, 北极气候环境变化对我国气候的影响日益显著, 极地环境变化、极地资源勘探以及极地环境保护等已经成为极地研究的热点问题。在深入极地研究的过程中, 掌握高质量、高精度的现场调查数据是工作开展的基础。至 2014 年, 我国已进行 6 次北极科学考察, 调查区域涵盖白令海、楚科奇海、加拿大海盆、北欧海和北极高纬度海区。本文在收集整理我国六次北极海域考察 CTD 数据的基础上, 参考航次现场记录, 利用相关数据处理软件, 对不同采集设备、不同分辨率的数据进行了统一、规范和奇异值剔除, 最终形成垂向分辨率为 1 db, 包含压强、深度、温度、盐度、密度、声速和位温等要素的数据集。它是我国多年北极科学考察的产出成果, 为极地各学科研究工作提供了数据基础。

关键词: 北极; 水文; CTD; 科学考察

DOI: 10.3974/geodp.2017.02.06

1 前言

自我国首次 1999 年极地科学考察以来, 物理海洋学一直作为重点考察学科, 而精度高、稳定度好、可靠性强的 CTD 调查(温度、盐度、深度调查)是了解极地海洋水文环境的最基础也是最常用的手段。至 2014 年, 我国已经开展了六次北极科学考察, 不但拥有了大量 CTD 历史调查资料而且也积累了丰富的北极水文调查经验。北极海域水文 CTD 数据是研究该区域物理海洋环境的首要数据, 也是了解该海域水文性质及环流特征重要的基础性数据。该数据是在各次北极考察数据的基础上, 开发的包含压强、深度、温度、盐度、密度、声速和位温等要素的数据集。

2 数据集元数据简介

北极海域水文考察 CTD 数据集(1999–2014)^[1]的名称、短名、作者、地理区域、数据年代、空间分辨率、数据出版与共享服务平台等信息一并列于表 1。

收稿日期: 2014-07-12; 修订日期: 2014-12-20; 出版日期: 2017-06-25

基金项目: 中华人民共和国科学技术部(2014T02, 2014G02); 国家海洋局(CHINARE2016-03-01, CHINARE2016-04-03, 201205007)

*通讯作者: 林丽娜 L-6637-2016, 国家海洋局第一海洋研究所, linln@fio.org.cn

论文引用格式: 刘娜, 王颖杰, 张洁等. 中国北极海域水文考察 CTD 数据集[J]. 全球变化数据学报, 2017, 1(2): 170–176. DOI: 10.3974/geodp.2017.02.06.

数据集引用格式: 刘娜, 王颖杰, 张洁等. 中国北极海域水文考察 CTD 数据集(1999–2014)[DB/OL]. 全球变化科学研究数据出版系统, 2016. DOI: 10.3974/geodb.2016.01.14.V1.

表 1 中国北极海域水文考察 CTD 数据集（1999-2014）元数据简表

条 目	描述
数据集名称	中国北极海域水文考察 CTD 数据集（1999-2014）
数据集短名	CTD_data_Arctic_China_1999-2014
作者信息	刘 娜 L-6646-2016, 国家海洋局第一海洋研究所, liun@fio.org.cn 王颖杰 A-3180-2017, 国家海洋局第一海洋研究所, wangyj@fio.org.cn 张 洁 L-4784-2016, 中国极地研究中心, zhangjie@pric.org.cn 林丽娜 L-6637-2016, 国家海洋局第一海洋研究所, linln@fio.org.cn 陈红霞 A-4871-2017, 国家海洋局第一海洋研究所, chenhx@fio.org.cn 孔 彬 A-3202-2017, 同济大学, kongbin@fio.org.cn 何 琰 A-3216-2017, 国家海洋局第一海洋研究所, heyan@fio.org.cn
地理区域	52°42'N-88°24'N, 19°17'W-143°30'W。主要包括：白令海、楚科奇海、加拿大海盆、北海海和北极高纬度海区
数据年代	1999、2003、2008、2010、2012 和 2014
空间分辨率	垂向 1 db
数据文件个数	640
数据格式	.dat
数据量	57 MB
数据集组成	数据集共包含 6 个数据文件夹，每个文件夹包含 1 个北极航次的 CTD 数据集和 1 个 word 文件，word 文件包含航次站位信息表和站位分布图。文件夹名字以阿拉伯数字 1-6 命名，其中文件夹 1 包含 86 个站位数据；文件夹 2 包含 115 个站位数据；文件夹 3 包含 120 个站位数据；文件夹 4 包含 130 个站位数据；文件夹 5 包含 99 个站位数据；文件夹 6 包含 90 个站位数据
基金项目	中华人民共和国科学技术部（2014T02, 2014G02）；国家海洋局（CHINARE2016-03-01, CHINARE2016-04-03, 201205007）
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）、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 ^[2]

3 数据集覆盖范围和组成

3.1 北极数据覆盖的地理范围

中国北极海域水文考察 CTD 数据集的地理范围是 52°42'N-88°24'N, 19°17'W-143°30'W, 包括：白令海、楚科奇海、加拿大海盆、北海海和北极高纬度海区。每次考察的 CTD 观测站位见图 1。

始资料尽可能准确的反映测区水团性质；资料的处理过程则是对原始数据进行技术校正和处理，不仅是为了提高资料的精度和质量，更是为进一步研究和应用提供有效、简洁的资料^[4]。

表 2 第 1-6 次中国北极科学考察 CTD 数据统计表

航次	数据文件数	主要作业区域	CTD 类型	备注
1	86	白令海、楚科奇海	MRK3/FSI	1 m 间隔
2	115	白令海、楚科奇海、加拿大海盆	MRK3/SBE25	1 m 间隔
3	120	白令海、楚科奇海、加拿大海盆及高纬海区	SBE911	1 m 间隔
4	130	白令海、楚科奇海、加拿大海盆及高纬海区	SBE911	1 m 间隔
5	99	白令海、楚科奇海、北欧海及高纬海区	SBE911	1 m 间隔
6	90	白令海、楚科奇海、加拿大海盆及高纬海区	SBE911	1 m 间隔

4.1 原始数据的获取

当前极地 CTD 调查采用的仪器主要是美国海鸟公司出品的 SBE 911，调查资料后处理通常应用仪器公司提供的 SBE Data Processing 软件。对于敏感的极地海洋而言，温度、盐度等海洋要素的极小改变都有可能导致水团性质的较大变化，因此数据的精确度具有重要的意义。

CTD 操作主要包括室内和室外操作两大部分。前者主要控制作业过程，后者是收放水下单元，两者应密切配合、协调进行。目前，国际上在 CTD 数据获取方面基本建立了一套较为规范的方法，具体观测步骤和要求如下：

- a. 观测期间首先应按水文规范上表 D.8 的格式记录有关信息。并在计算机中输入观测日期、文件名、站位（经度、纬度）和其他有关的工作参数；
- b. 投放仪器前应确认机械连接牢固可靠，水下单元和采水器水密情况良好。待整机调试至正常工作状态后开始投放仪器；
- c. 将水下单元吊放至海面以下，使传感器浸入水中感温 3-5 min。对于实时显示 CTD，观测前应记下探头在水面时的深度（或压强值）；对自容式 CTD，应根据取样间隔确认在水面已记录了至少三组数据后方可下降进行观测；
- d. 根据现场水深和所使用的仪器型号确定探头的下放速度。一般应控制在 1.0 m/s 左右。在深海季节温跃层以下下降速度可稍快些，但以不超过 1.5 m/s 为宜。在一次观测中，仪器下放速度应保持稳定。若船只摇摆剧烈，可适当增加下放速度，以避免在观测数据中出现较多的深度（或压强）逆变。若沉放速度太慢，探头（尤其温度）易受自热影响，出现下沉速度为负值的情况；如果速度太快，接近终极速度，在船体摇摆的状态下容易使电缆钢缆打结，对仪器安全不利；
- e. 为保证测量数据的质量，取仪器下放时获取的数据为正式测量值，仪器上升时获取的数据作为水温数据处理时的参考值。原因是传感器位于探头的底部，沉放过程中接触到的为未破坏原结构的水层，且传感器不受探头尾部涡旋的影响，测得的值代表海水原温盐深结构；

f. 获取的记录,应立即读取或查看。如发现缺测数据、异常数据、记录曲线间断或不清晰时,应立即补测。如确认测温数据失真,应检查探头的测温系统,找出原因,排除故障。

为了支撑海洋化学、海洋生物等海洋学科对水样采集的要求,通常 CTD 剖面观测在每个海洋站上都进行,条件允许时,在进行冰站观测时往往也进行船基 CTD 剖面观测。由于现场作业条件、作业要求不同、水深不同,CTD 剖面记录并非为全剖面记录。通常 CTD 剖面观测时是带有采水器的,并且一般在仪器上升过程中进行采水。为了避免采水时带来的干扰以及压力传感器在上升过程中存在的回复较慢的特点,数据处理时也尽可能采用下降过程的原始记录。因仪器自身的原因造成的数据整体偏差、原始数据记录不完整或者有误、或者只具备若干层面上记录的则尽可能完整和真实地反映原始信息。实际上,自从第 2 次北极科学考察以来的各个北极考察航次报告在客观上对现场数据的质量保证提供了一定的约束^[5]。

4.2 原始数据的处理过程

随着观测时间的积累,或者受周围观测环境的影响,温度、电导率、压力、溶解氧等的测量结果会发生一定程度的漂移,从而直接影响观测数据的可靠性。若不采取质量控制措施,CTD 再先进、测量精度再高,同样不能够获得高质量的资料^[6]。因此除了正确规范的操作 CTD,还需要对原始数据进行处理。对于 SBE 原始数据,在提交时,通常取每米一个数据,深度按照 0–0.5 m 的平均值当做 0 m, 0.5–1.5 m 的平均值当做 1 m, 1.5–2.5 m 的平均值当做 2 m 来取,以此类推。SBE Data Processing 软件可以将获得的 CTD 原始数据进行处理,步骤如下:

a. Sea save: 获取原始数据;

b. Data Conversion: 对 2 进制或 16 进制的原始数据文件进行数据转换,使其成为可供下一步处理的工程文件 (.cnv)。在处理过程中要选择处理数据控制参数、输出文件的格式、转换数据的范围、选择输出文件的类型、采水文件参数和数据输出参数等。在选择数据范围时,对于正置投放的 SBE 型 CTD,应以下降采样数据 (downcast) 为准,上升采样数据仅作为参考^[7]。需要注意的是可以转换 Pressure, Digiquartz, Temperature (ITS-90 温标), Conductivity (s/m), 而不要转换以 P、T、C 为参数的计算量,如盐度,密度等。每次处理时,必须更改输出深度中的实际观测深度;此外,由于 CTD 在下放过程中只有达到一定的压力时,采水泵才会开启进行水样采集,但在此之前依然会收集数据,因此这部分数据并不准确,需要通过 MATLAB 软件进行编程滤除;

c. Filter: 滤波一是为了将温度和盐度的时间常数相匹配;二是对压力信号进行平滑,为去掉数据中由于船的起伏造成的数据打结部分做准备。其中参考 CTD 文件说明取 conductivity=0.03 s, pressure=0.15 s;

d. Align CTD: 由于仪器的装配设计、CTD 下放过程中的倾斜、内波及混合过程引起的温盐结构改变等问题,CTD 温度和盐度传感器获得的数据不能真实的反映压力传感器对应深度上的水团性质,因此需要调整温度和盐度传感器相对于压力传感器时间上的差距以获

得准确的数据;

e. Cell Thermal Mass: 由于电导单元本身由玻璃和塑料制造, 玻璃单元会存储能量, 所以当电极单元由热水到冷水时, 经过电导单元的水就会被加热; 反之, 经过电导单元的水则会被降温。因此电导测量和计算会受到电导单元与周围环境的热传导过程的影响, 需要对电导率进行修正。取值 Primary and secondary all with $\alpha=0.03$, $1/\beta=7.0$;

f. Loop Edit: 当船只上下起伏时, 会造成仪器下降速率变化, 特别是剧烈起伏时, 会造成数据的“打结”现象, 造成采样结果的错误。每次下降速率的减小都会使传感器对同一水层反复采样, 从而导致采样数据的不准确。而原始数据中这种错误本质来源于仪器本身对采样水层的影响, 所以错误的数据并不能被修正, 只能通过 Loop Edit 模块将该错误数据部分去掉。根据输入文件表头中的参数和用户设置参数, 将输入文件中压力变化缓慢和颠倒的采样标识为“错”, 以备在未来数据处理中删除这些数据。标识错误数据的方法一种是设定最小速度标准, 另一种是设定时间段内投放的平均速度百分比作为标识标准;

g. Bin Average: 将原始数据按照科学研究的需要, 进行时间或深度上的平均。该模块提供了压力(允许插值)、压力(不允许插值)、深度(允许插值)、采样号和时间(以秒为单位)、时间(以小时为单位)六种数据平均方法。在处理中还要输入平均范围、采用数据的范围、是否对表层进行平均、表层平均值及位置等参数。其中取 Pressure=1;

h. Derive: 以测得的 P、T、C 作为参数, 计算出盐度、密度、位势温度、位势密度等。Derive 可以与 Bin Average 进行调换, 并不影响处理得到的最后结果;

i. ASCII Out: 去掉文件中多余的头信息。

高质量高精度的海洋调查资料, 不仅对于海水的基本性质, 如温度、盐度及密度的分布与变化的描述与分析提供了数据基础, 对于物理海洋及海洋地质、化学、生物等各个学科的研究来说, 都有着重要的意义^[8]。

5 数据可靠性评估

以我国第5次北极科学考察为例, 图2显示了海区最南部的测站 BL12(观测深度 201 m)和最北部的测站 R05(观测深度 40 m)的温、盐双探头数据对比图。经计算, 电导率精确度在 0.005 与 0.008 之间, 其他航次的数据精确度采用同样的方法进行初步评估。密度、位势温度、位势密度等要素均是由测得的要素计算得到的, 因此, 整体上该数据可靠性比较高、有较强代表性。

6 结论

北极海域水文 CTD 数据集是以中国第一次至第六次北极科学考察 CTD 调查数据为基础的垂向分辨率为 1 db 的数据集, 它不仅是极地物理海洋学研究的基础, 对极地海洋地质、生物、化学等学科研究发展也有着十分重要的作用, 是还原真实极地海洋环境不可缺少的基础数据。

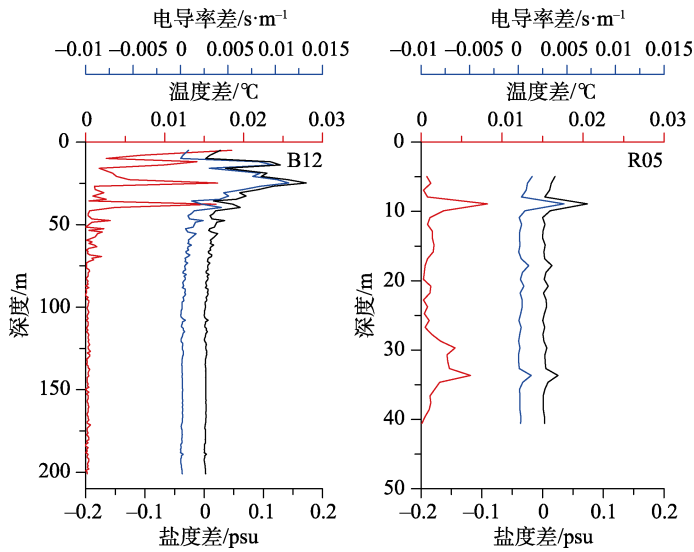


图2 中国第5次北极科学考察 B12 站(左)和 R05 站(右)双探头剖面观测差值
红色实线表示温度差值,蓝色实线表示电导率差值,黑色实线表示盐度差值

作者分工: 在数据与数据论文完成过程中,刘娜负责总体设计,林丽娜采集、处理了数据,林丽娜、王颖杰进行了数据分析、验证,并撰写论文;张洁、陈红霞、孔彬和何琰参与了数据分析、验证和论文修改等。

参考文献

[1] 刘娜,王颖杰,张洁等. 中国北极海域水文考察 CTD 数据集(1999-2014) [DB/OL]. 全球变化科学研究数据出版系统, 2016. DOI: 10.3974/geodb.2016.01.14.V1.

[2] 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]. DOI: 10.3974/dp.policy.2014.05 (2017 年更新).

[3] 方欣华. CTD 资料质量控制[M]. 青岛: 海洋大学出版社, 1992.

[4] 林建国, 吴中鼎, 陈军. SBE 19 CTD 的资料处理[J]. 海洋测绘, 2001, (1): 52-54.

[5] 陈红霞, 刘娜, 张洁等. 中国极地科学考察水文数据图集概论[M]. 北京: 海洋出版社, 2014.

[6] 许建平, 苏纪兰. CTD 资料质量控制浅析[J]. 海洋学报, 1999, 21(1): 126-132.

[7] 陈森, 李占桥, 袁延茂等. 海鸟系列 CTD 数据预处理分析[J]. 海洋测绘, 2004, 24(6): 62-64.

[8] 匡晓迪, 郭心顺, 范洪涛. CTD 资料预处理规范化的探讨[J]. 海洋技术, 2009, 28(2): 33-36.