



“南北极环境综合考察与评估”专项

01-01

南极周边海域 物理海洋和海洋气象图集



国家海洋局极地专项办公室 编



海洋出版社



“南北极环境综合考察与评估”专项

南极周边海域物理海洋和 海洋气象图集

国家海洋局极地专项办公室 编

海洋出版社

2016·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

南极周边海域物理海洋和海洋气象图集/国家海洋局极地专项办公室编. —北京: 海洋出版社, 2016. 5

ISBN 978-7-5027-9433-0

I. ①南… II. ①国… III. ①南极-海洋物理学②南极-海洋气象-图集 IV. ①P733②P732-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 097026 号

NANJI ZHOUBIAN HAIYU WULI HAIYANG HE HAIYANG QIXIANG TUJI

责任编辑: 杨传霞

责任印制: 赵麟苏

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

北京市海淀区大慧寺路 8 号 邮编: 100081

北京朝阳印刷厂有限责任公司印刷 新华书店北京发行所经销

2016 年 5 月第 1 版 2016 年 5 月第 1 次印刷

开本: 889mm×1194mm 1/16 印张: 12

字数: 300 千字 定价: 86.00 元

发行部: 62132549 邮购部: 68038093 总编室: 62114335

海洋版图书印、装错误可随时退换

极地专项领导小组成员名单

组 长：陈连增 国家海洋局
副组长：李敬辉 财政部经济建设司
曲探宙 国家海洋局极地考察办公室
成 员：姚劲松 财政部经济建设司（2011—2012）
陈昶学 财政部经济建设司（2013—）
赵光磊 国家海洋局财务装备司
杨惠根 中国极地研究中心
吴 军 国家海洋局极地考察办公室

极地专项领导小组办公室成员名单

专项办主任：曲探宙 国家海洋局极地考察办公室
常务副主任：吴 军 国家海洋局极地考察办公室
副 主 任：刘顺林 中国极地研究中心（2011—2012）
李院生 中国极地研究中心（2013—）
王力然 国家海洋局财务装备司
成 员：王 勇 国家海洋局极地考察办公室
赵 萍 国家海洋局极地考察办公室
金 波 国家海洋局极地考察办公室
李红蕾 国家海洋局极地考察办公室
刘科峰 中国极地研究中心
徐 宁 中国极地研究中心
陈永祥 中国极地研究中心

极地专项成果集成责任专家组成员名单

- 组 长：潘增弟 国家海洋局东海分局
- 成 员：张海生 国家海洋局第二海洋研究所
- 余兴光 国家海洋局第三海洋研究所
- 乔方利 国家海洋局第一海洋研究所
- 石学法 国家海洋局第一海洋研究所
- 魏泽勋 国家海洋局第一海洋研究所
- 高金耀 国家海洋局第二海洋研究所
- 胡红桥 中国极地研究中心
- 何剑锋 中国极地研究中心
- 徐世杰 国家海洋局极地考察办公室
- 孙立广 中国科学技术大学
- 赵 越 中国地质科学院地质力学研究所
- 庞小平 武汉大学

“南极周边海域物理海洋和海洋气象考察” 专题

承担单位：国家海洋局第一海洋研究所

参与单位：国家海洋局第二海洋研究所

国家海洋环境预报中心

国家海洋局东海分局

国家海洋局南海分局

中国极地研究中心

中国科学技术大学

中国海洋大学

上海海洋大学

《南极周边海域物理海洋和海洋气象图集》

编写人员名单

主 编：高立宝 魏泽勋

副 主 编：史久新 高郭平 李丙瑞 谢周清

廖光洪 张 林 邓小东 刘长建

编写人员(按姓名拼音排序)：

程灵巧 郭桂军 何 琰 康 辉

李 明 李 群 梁楚进 吕 忻

孙永明 王建成 杨 威 姚文峻

序 言

“南北极环境综合考察与评估”专项（以下简称极地专项）是2010年9月14日经国务院批准，由财政部支持，国家海洋局负责组织实施，相关部委所属的36家单位参与，是我国自开展极地科学考察以来最大的一个专项，是我国极地事业又一个新的里程碑。

在2011年至2015年间，极地专项是从国家战略需求出发，整合国内优势科研力量，充分利用“一船五站”（“雪龙”号、长城站、中山站、黄河站、昆仑站、泰山站）极地考察平台，极地专项有计划、分步骤地完成了南极周边重点海域、北极重点海域、南极大陆和北极站基周边地区的环境综合考察与评估，无论是在考察航次、考察任务和内容、考察人数、考察时间、考察航程、覆盖范围，还是在获取资料和样品等方面，均创造了我国近30年来南、北极考察的新纪录，促进了我国极地科技和事业的跨越式发展。

为落实财政部对极地专项的要求，极地专项办制定了包括极地专项“项目管理办法”和“项目经费管理办法”在内的4项管理办法和14项极地考察相关标准和规程，从制度上加强了组织领导和经费管理，用规范保证了专项实施进度和质量，以考核促进了成果产出。

本套极地专项成果集成丛书，涵盖了极地专项中的3个项目共17个专题的成果集成内容，涉及了南、北极海洋学的基础调查与评估，涉及了南极大陆和北极站基的生态环境考察与评估，涉及了从南极冰川学、大气科学、空间环境科学、天文学以及地质与地球物理学等考察与评估，到南极环境遥感等内容。专家认为，成果集成内容翔实，数据可信，评估可靠。

“十三五”期间，极地专项持续滚动实施，必将为贯彻落实习近平主席关于“认识南极、保护南极、利用南极”的重要指示精神，实现李克强总理提出的“推动极地科考向深度和广度进军”的宏伟目标，完成全国海洋工作会议提出的极地工作业务化以及提高极地科学研究水平的任务，做出新的、更大的贡献。

希望全体极地人共同努力，推动我国极地事业从极地大国迈向极地强国之列！

陈连增

目次

第1章 各类观测的技术路线及质量控制	(1)
1.1 技术路线	(1)
1.2 质量控制	(3)
第2章 重点海域断面调查	(9)
2.1 温盐深仪(CTD)观测	(9)
2.2 湍流观测	(38)
2.3 LADCP 观测	(40)
第3章 南大洋走航断面调查	(58)
3.1 走航气象观测	(58)
3.2 走航大气化学观测	(98)
3.3 走航海流观测	(105)
3.4 走航 XBT/XCTD 观测	(109)
3.5 走航探空观测	(122)
3.6 走航海冰观测	(128)
第4章 定点长期观测	(162)
4.1 漂流浮标观测	(162)
4.2 海-气-冰联合观测	(169)
4.3 锚碇潜标观测	(173)

第1章 各类观测的技术路线及质量控制

1.1 技术路线

1.1.1 CTD 资料处理方法

工程数据转换：把二进制码数据转换为 ASCII 码。

滞后系数订正处理：调整因各传感器之间响应时间不同而引起的滞后效应。

自行编程进行数据质量控制：去除无用资料、校正压强零点、确定异常值并剔除误值等。

获得导出量：盐度、密度、位温、位密、声速等。

对处理结果进行可视化，得到各要素的站位剖面分布图。

1.1.2 LADCP 测流资料处理

对原始资料按采样设置进行分类整理。

利用仪器自配软件，进行原始资料的测量效果检查。

制定合理的质量控制方案。

把上述质量控制方案直接体现到数据转换过程，获得海流剖面的流速、流向资料。

对处理结果进行数据可视化，以供资料质量检查。

1.1.3 断面调查中的湍流观测

现场作业采取使用绞车下放湍流仪的观测方式。避免仪器前端探头与甲板等其他物体发生碰撞，1人负责操控绞车。

室内主要完成观测数据的导出及处理分析，展现观测结果，提供观测区域的混合强度及空间分布情况。

1.1.4 走航海表温盐观测

南极考察：南极考察期间，开展全程走航表层海水温盐观测，获取航迹上表层温度和盐度分布的特征。

后期数据处理：对获取的表层温度和盐度数据进行质量控制，剔除无效数据，形成数据集合并撰写考察报告。



1.1.5 走航气象观测

利用雪龙船载 campbell SH3000 自动气象站进行大气底层风、温、湿、压、能见度、云高等海洋气象要素观测，同时依靠人工开展云量云状、能见度、天气现象、涌浪和海冰形态观测。

利用船载 Seaspac 卫星接收系统开展南极天气系统、云特征和冰情调查。

利用船载涡动通量观测系统开展海/冰-气界面动量、感热和 CO_2 通量及海表皮温观测。

1.1.6 走航海冰观测

利用红外辐射计 KT19、85IIP，开展全程走航海冰（水）表皮温度观测，获取航迹上皮温分布特征。在东南极普里兹湾冰区，利用海冰钻、冰芯钻、盐度计、温度计等开展冰基海冰物理特征综合观测。

后期数据处理：对获取的表层温度和盐度数据进行质量控制，剔除无效数据，形成数据集合并撰写考察报告。

1.1.7 海冰漂移浮标观测

根据海域的典型性特征，选择合适的冰面，借助考察船或者直升机平台，尽可能在调查与航渡后期的结冰期布放海冰漂移卫星跟踪浮标。

海冰漂移卫星跟踪浮标通过铱星通讯卫星传回观测数据。

后期数据处理：对获取的表层温度和盐度数据进行质量控制，剔除无效数据，形成数据集合并撰写考察报告。

1.1.8 抛弃式观测

在南大洋航线上，两次经过南大洋期间进行，在低船速时投放 XBT、XCTD 和表面漂流浮标，实时获得海洋温度、盐度和深度资料；在主甲板的开阔位置释放 GPS 探空气球，获取南大洋航线上大气温度、风速、风向、高度、经纬度等数据。

1.1.9 站基观测

中山站越冬海冰断面观测：利用便携式观测系统进行不同表面的太阳总辐射、冰面反射辐射、大气长波辐射、冰面长波辐射，反照率、雪厚、冰厚的断面观测。夏季释放探空气球。

在南极长城站开展越冬水温、海冰厚度和能见度观测，开展夏季站基水文气象要素加密观测。

1.1.10 海洋边界层大气成分观测

大气痕量汞：安装大气汞在线监测仪 Tekran 2537，在南极考察航线上开展连续监测，高分辨率地获取大气痕量汞数据。

气溶胶采样：采用大流量总悬浮颗粒物采样器采集气溶胶样品。

大气样品：利用真空气罐采集大气样品。

1.2 质量控制

1.2.1 温盐深仪（CTD）观测质量控制

海鸟 911PlusCTD 温盐深剖面仪，是本航次主要物理海洋观测仪器之一。该系统是从美国 SBE 公司新引进的一种高精度温-盐-深测量系统，其特点是：设计新颖、操作简便、价格低廉、软件先进，可以带溶解氧、叶绿素、高度计探头。海鸟 911PlusCTD 系统主要组成：带有双温双导探头，带多种传感器探头的自容式主机系统、带泵循环海水系统、专用通讯电缆、固体存储器、RS232 接口和电磁采水系统。

前期标定：第 6 次北极返航之后，雪龙船上的 2 套海鸟 911PlusCTD 系统发回美国海鸟公司进行标定，标定证书由极地研究中心的雪龙船实验室保存，以便在之后的数据校准等工作中使用。

测量过程中质量控制：主要包括右舷迎风，保证钢缆安全；双温双导数据比测，增加数据可靠性；放入一定深度进行感温操作，当各个参数数据正常并且双传感器数据精度接近，再进行观测，提高数据质量；收放速度适中（小于 1 m/s），尽量匀速；在安全的情况下，将 CTD 放到离底 10~20 m 的距离；认真填写观测记录表，对现场的特殊问题、现象、操作等进行记录，为后面的数据处理提供更多依据。

后期数据处理：调整因各传感器之间响应时间不同而引起的滞后效应。自行编程进行数据质量控制，去除无用资料、校正压强零点、确定异常值并剔除误值等。获得导出量：盐度、密度、位温、位密、声速等。对处理结果进行可视化，得到各要素的站位剖面分布图。

1.2.2 流速剖面仪（L-ADCP）观测质量控制

300 kHz 的自容式 L-ADCP，设置层厚 8 m，共 20 层，第一层中心位于 10 m，每秒发射一个声波并接受回声信号，同时记录一次。磁偏角仪器设置为 0°，在数据分析中磁偏角根据“GEOMAGIC 6.0”进行了校正。首先对每次剖面观测进行数据质量判断，剔除坏数据。具体参数如表 1-2-1 所示。设置 L-ADCP 的倾角 $tilt = \sqrt{pitch^2 + roll^2}$ 阈值为 18°，当 L-ADCP 在拉力和海流的侧向推力作用下倾角大于 18°，其观测数据被剔除，所保留下来的数据作为 LADCP 的处理目标值。同时，剔除观测中两次观测倾角差（ $\Delta tilt$ ）大于 4°的数据。

表 1-2-1 L-ADCP 数据质量控制参数

参数	p. btrk_ range	p. btrk_ ts	p. btrk_ wlim	p. tiltmax	p. elim	p. vlim	p. wlim
阈值	130~60 m	10	0.03 m/s	[18°, 4°]	0.2 m/s	2.5 m/s	0.1 m/s

根据 Komaki K 的经验，并考虑 300 kHz ADCP 的特点，在离底 60~130 m 范围内计算底跟踪流速。判断声信号是否从海底返回，采用回声强度参数 p. btrk_ ts，它和 RDI 回声强度



(count) 之间成正比关系, 比例系数 0.062, 声强大于 $10/0.062 \approx 160$ counts 的回声被认为是底回声信号, 但每次得到的底部深度差不能超过 100 m。剔除采用底跟踪数据计算得到的垂向速度和平均垂向速度差大于 3 cm/s (p. btrk_ wlim) 的剖面观测。在一个剖面观测中, 剔除误差流速大于 0.2 m/s (p. elim), 速度超过 2.5 m/s (p. vlim) 以及垂向速度偏离平均速度 0.1 m/s (p. wlim) 的观测值。LADCP 第一层的误差流速往往很大, 剔除第一层的观测数据。

1.2.3 湍流观测质量控制

湍流观测是利用快速响应的高采样频率传感器观测海洋微小尺度过程, 观测的参数主要是速度剪切, 这是一项新的观测, 目前国际上和国内都没有明确的观测规范和标准。但是, 湍流观测实际上对观测条件要求较为苛刻, 且观测设备本身也属于高精密设备, 很容易受损, 因此设定只在较好的海况且无海冰的情况下才进行湍流观测。

在本次考察中, 采用 VMP-200 型微结构剖面仪进行观测。考察之前, 利用前往加拿大参加国际会议的机会, 负责湍流观测的矫玉田等人拜访了该仪器的生产厂家 Rockland 公司, 进一步学习了仪器的使用 and 数据处理; 维修了受损的连接头, 并购置了两个备用的剪切探头, 在仪器操作上和硬件上为取得高质量的数据提供了保障。

在进行湍流观测期间, 通过操作人员的配合, 控制投放缆绳的速度, 使水中的仪器一直符合自由下落条件, 获得了高质量的数据。在时间充足的站位上, 进行了第二次投放, 获得比测数据。每一站完成观测后, 马上绘制频率谱和波数谱, 与理论谱线进行比较, 以确定数据质量。经初步分析, 本次湍流观测数据质量完好。

1.2.4 走航气象观测质量控制

针对南极走航气象观测数据的质量控制主要包括传感器标定、观测规范 and 数据处理三部分。具体如下:

(1) 传感器标定

“雪龙”号上目前所用的气象观测设备是天诺公司集成组装的自动气象站, 安装时间是 2013 年 9—10 月, 安装前主要的传感器, 如温度、湿度、气压、风向风速传感器在出厂时都已进行相应的标定, 标定证明详见对应章节。

(2) 观测规范

人工正点气象观测主要依照中国气象局气象出版社 2003 年出版的《地面气象观测规范》一书, 正点海冰观测主要依照国家海洋局南极考察办公室 1995 年翻译的美国海军极地海洋中心编的《海冰观测手册》一书。

(3) 数据处理

在对自动站观测数据进行处理时, 主要采用了以下几方面的质量控制:

首先, 剔除超过气候极值的异常数据, 各气象要素允许范围值如表 1-2-2 所示。

表 1-2-2 各气象要素允许范围值

要素名称	允许范围值
气压	870~1 100 hPa
温度	-80~+60℃
相对湿度	0~100%
风速	0~75 m/s
风向	0~360°
能见度	0~20 000 m

其次,依据时间一致性剔除奇异值。“雪龙”号自动气象站观测大多数气象要素(风向、风速除外)都是连续变化的,它们随时间的变化应该是连续的,在一定的时间间隔,同一要素的前后波动应是在一定范围内,依据此原则剔除前后时刻变化较大的数据。

第三,依据时间变化性排查故障。大多数气象要素都是随时间变化的,某一气象要素长时间维持某一固定值可能说明该传感器发生了故障,依据此原则对“雪龙”号船载自动气象站走航数据进行了检查。

第四,对一些数据记录格式出现明显错误的进行了更正,如经纬度数据中出现的“6, 630.339 4, 812.455”。

1.2.5 走航海表温盐观测质量控制

表面温盐数据与 GPS 数据存储在同一个文件夹中,记录间隔为 30 s,观测的水文变量包括温度、盐度、荧光、有色溶解有机物。由于这个数据文件中的信息均按照时间倒序存储,为了方便,首先将时间及其相应的其他参数进行顺序排列,数据中的时间均为世界标准时。对于海表面温度(SST)和海表面盐度(SSS)数据的处理步骤如下:

(1) 通过画图分析盐度数据,将低盐(低于 20)和盐度负值数据标记为噪音;

(2) 通过进一步对比有色溶解有机物数据和步骤(1)处理后的盐度时间序列分布图,发现与高有色溶解有机物浓度(大于 0)对应的盐度数据只是突然出现,且持续时间均小于 2 min,将此部分数据标记为噪音。

将步骤(1)和步骤(2)中标记为噪音的时间段内的时间、纬度、经度、温度、盐度数据剔除。

1.2.6 走航海冰观测质量控制

红外辐射皮温观测数据,剔除相邻观测点温度差绝对值大于 0.5℃的数据,消除由于船体倾斜造成仪器采集的皮温数据异常。海冰冰芯温度、盐度、密度测量过程,手工作业较多,质量控制主要为规范作业标准和流程。钻取冰芯后,即用钻头大小为 3 mm 的手电钻对应不同深度钻出深 4 cm 的小孔,然后用热电偶温度计插入小孔中并用冰屑覆盖在小孔周边以降低温度传感器受外界的影响,待温度计读数稳定后记录冰芯的温度。现场完成海冰温度测量后,用手锯将冰芯锯成长 5~10 cm 的冰芯段装入密封容器中,4℃黑暗环境下融化后利用 WTW Cond 3210 盐度计测定海冰盐度。海冰冰芯的密度测量采用重量体积法测定。先用电锯将冰芯



切割成 10 cm 长的冰芯段, 对应每一段冰芯再切割成 4 块规则的矩形块体, 利用游标卡尺测量其尺寸, 再用精度为 0.01 g 的电子天平测量其质量, 从而计算得到其密度, 将 4 块矩形冰块的密度测量值求平均作为该段冰芯的密度。

1.2.7 海冰漂移浮标观测质量控制

海冰浮标在南极周边海域冰区通常于秋季 5—7 月布放, 正常工作时间多在 5—6 个月, 数据通过铱星传回。浮标每天观测 4 次, 每次观测温度廓线一个, 首先剔除空值数据; 此外, 若某点温度比邻近 2 个点的温度绝对值差超过 1°C , 则剔除该数据点; 若该点温度持续比邻近 2 个点的温度绝对值差超过 1°C , 则判定该点的温度传感器发生故障, 永久剔除该点观测数据。

1.2.8 抛弃式观测质量控制

在整个设计、外业工作及资料整理中, 均根据《极地专项技术规程》进行航次准备, 使用的仪器均进行过鉴定; 在出测前, 对参加本次调查的人员均进行了强化培训。

严格按照 XBT/XCTD 投放标准进行操作, 每次投放前检查数据采集软件工作正常, 发射枪工作正常, 地线连接合适准确, 在到达指定站位点进行投放, 并严格按照格式记录投放站位的详细信息, 包括仪器序列号、经纬度、投放日期及时间、船速、水深、风速、风向、海况、海冰、操作人、备注等。

在航次开始前, 对所有参与抛弃式观测的科考人员进行质量培训和操作自查, 由经验丰富的科考队员亲自讲授, 并在前几个站位的投放过程中进行监督, 确保投放规范标准。

数据处理过程:

(1) 利用采集软件打开原始 RAW 观测数据, 保存成 txt 文件待处理, 对于明显错误的站位, 如无数据站位, 或数据呈完全无序分布的站位, 该原始 RAW 观测数据直接舍弃。例如, 在 30 次南极科考中, 在总计 69 个 XCTD 数据集中, 共有 4 个这样的站位。

(2) 对于保存的 txt 文件, 在 matlab 中打开, 并读取站位信息、投放时间、水深、温度、盐度、密度、声速等信息, 保存成 mat 格式待处理。

(3) 分别对表层 (如 10 m 以浅) 和底层 (800 m 以深) 的数据进行判断筛选, 对于温度、盐度出现的异常值进行舍弃。

(4) 对筛选过的垂向数据进行平滑处理, 此时的数据垂向分辨率为每米层上约 8 个观测值。

(5) 最后将平滑后的数据垂向插值成 1 m 的数据进行绘图分析。

本项目采购的表面漂流浮标在采购前完成了政府采购进口产品专家论证, 按规范程序进行了招标, 采购到位后进行了自校和测试, 测试结果和技术指标满足项目开展的需求。

参加外业布放、内业数据处理分析的人员经过相关技术培训、考核, 持证上岗。

外业布放和内业分析严格按照仪器使用说明书和相关作业指导书执行。

内业主要是对所获取的观测数据进行初步处理分析, 整理数据集、图件, 编写数据报告。

首先由项目负责人组织技术人员对接收的数据进行审查, 剔除无效数据、异常数据后, 方可进行内业处理。

数据处理过程中注意安全使用,处理前及时备份原始数据,备份数据属性设置为只读,不允许直接进行修改、删除。

数据处理严格按照规范执行,每次数据处理须经审核合格后方可进行下一个工作流程。

东海预报中心在项目实施过程中严格按照专项质量监督管理办法及实施细则的规定执行,同时将项目管理和实施纳入中心 CMA 质量管理体系。

东海标准计量中心科技管理部门每季度召开一次科技项目例会,汇报和讨论项目实施过程中的技术问题和解决方案,把控项目总体实施进度。

预报中心在项目实施过程中委托东海标准计量中心开展外部质量监督工作,支持和配合东海标准计量中心组织的监督检查,就项目实施过程中的质量控制相关工作开展技术咨询,保障总体项目开展符合专项质量监督管理的要求。

GPS 探空观测使用的探空剖面仪由北京长丰微电有限公司生产,该仪器是国产探空仪中最好的,在国际评比中名列第四名。主要用于在南大洋的走航断面上进行风速、风向、气压、温度、湿度的测量,一般高度在几千米到两万米不等,是对探测低空大气剖面的有效手段之一。

甲板单元固定在驾驶室内,通信天线位于驾驶室左侧室外,在五层甲板进行充气、测试和释放操作。

释放前先对探空仪进行温度和湿度的校准,与标准校准箱的对比误差不超过 1%;等待卫星信号稳定;温度和湿度传感器的度数与“雪龙”船的船载传感器比较,数据差距较大的情况下,更换传感器再次进行比测,当数据没有问题,信号稳定之后才能释放。做好现场记录,为后面的数据处理提供更多依据。

1.2.9 站基观测质量控制

越冬期间不仅延续了以往的定点观测,还增加了 EM31 断面观测。其中,定点长期观测为站基观测,即基于南极中山站越冬平台,利用超声测距仪、净辐射仪、电容和电阻丝式冰厚观测设备、冰钻、红外辐射计等各种水文气象设备,在邻近海域冰区进行海冰厚度、表层海温、积雪厚度、短波辐射、长波辐射、反照率、表面温度、不同波谱的反射特征等长期连续观测。

1.2.10 海洋边界层大气成分观测质量控制

(1) 仪器校准

a) 用于监测航线上大气中气态汞的 TEKRAN2537X 仪器,经过上一个航次运行后,带回实验室,分别用丙酮和 MILLIQ 水对管路进行清洗,在仪器公司技术支持的帮助下,对仪器按照说明书要求进行了外部校准工作,使得仪器保持稳定的工作状态。

b) 大流量气溶胶采样器,主要是对其泵流量进行校准,运用同公司生产的流量校准器进行校准。

c) 真空气罐按照三步清洗步骤,由中国科学院广州地球化学研究所辅助完成 48 只真空气罐的清洗工作。



(2) 测试方法和数据分析原则

a) 大气汞数据, 采用文献 (Yu et al., 2014)^① 中数据处理的原则, 根据相对风向和风速, 剔除受船排放影响的数据。将有效数据进行分析和讨论。

b) 气溶胶样品采样后冷藏保存, 按照质量控制的要求保存 (Wu et al., 2011)^②, 带回实验室进行化学分析。

c) 密闭真空气罐采集的大气样品主要分析挥发性有机气体, 如卤代烃等 (Chan et al., 2006)^③。样品已带回实验室进行 VOC 的成分和含量分析。

VOC 样品分析的样品分析系统由预浓缩仪 (Entech7100, Entech Instruments Inc., California, USA) 和气相色谱/质谱 (GC-MSD/FID/ECD, 6890/Agilent 5973N 及 6890/Agilent 5975) 构成。VOC 定量分析由三个检测器同时进行: 质量选择检测器 (mass selective detector, MSD)、火焰离子化检测器 (flame ionization detector, FID) 和电子捕获检测器 (electronic capture detector, ECD)。

① Yu J, Xie ZQ, Kang H, Li Z, Sun C, Bian LG, Zhang PF. High variability of atmospheric mercury in the summertime boundary layer through the central Arctic Ocean. *Scientific Reports*, 2014, 4: 6091.

② Wu XG, Lam JCW, Xia CH, Kang H, Sun LG, Xie ZQ and Lam PKS. Atmospheric concentrations of DDTs and chlordanes measured from Shanghai, China to the Arctic Ocean during the Third China Arctic Research Expedition in 2008. *Atmospheric Environment*, 2011, 45 (22): 3750-3757.

③ Chan David C. Mitochondrial Fusion and Fission in Mammals. *Annual Review of Cell and Developmental Biology*, 2006, 22: 79-99.