一种移动式海水痕量元素洁净采集实验室的设计

倪佐涛[1,2], 刁新源[1,2], 张宗兵[1,2], 丛石磊[1,2], 孙　毅[1,2], 陈　钊[1,2]

(1. 中国科学院海洋研究所, 山东 青岛 266071; 2. 中国科学院海洋大科学研究中心, 山东 青岛 266071)

摘要: 痕量元素及其同位素采集、预处理和分析在海洋研究中具有重要的作用, 由于含量极低, 在采样、样品预处理及分析过程中容易受到外界污染源沾污。通过在一个 20 尺标准超高集装箱内制作一套移动式海水痕量元素洁净采集实验室, 完成对实验室空间设计、空气质量控制, 样品快速转移, 实现水样上船后快速进入到洁净环境中, 减少样品暴露在大气中时间, 在洁净环境中高效完成样品取样、过滤和预处理等操作。所有操作满足 GEOTRACES 组织有关痕量元素采集的规范要求, 从源头上保证分析测试结果的可靠性。

关键词: 海水痕量元素; 洁净采集; 移动实验室

中图分类号: P751　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1000-3096(2020)06-0137-04

DOI: 10.11759/hykx20190122001

痕量元素及其同位素在海洋生物地球化学研究方面扮演着至关重要的角色, 对于认识全球环境变迁具有十分重要的意义[1]。痕量元素及其同位素采集、预处理和分析在海洋研究中具有重要的作用, 是诸多重要科学问题解答的重要数据基础[2]。但是, 当科学家们审慎地评估文献中痕量元素的浓度报道时, 发现海洋中的痕量金属含量发生了数量级水平的下降, 这说明早期文献中报导的痕量金属含量在采样、样品预处理及分析过程中受到了明显的沾污, 其中海洋考察船自身、钢缆、采样设备中的金属器件对于海洋中溶解态痕量金属的沾污显得尤为重要[3]。

目前制约我国痕量元素及其同位素海洋生物地球化学研究的瓶颈是如何解决采样及预处理过程的沾污问题, 因为这一环节是分析化学整个流程的开端, 如果存在沾污的影响则后续的分析再精确也没有意义。为了避免沾污, 研发专用采样设备、减少采样流程环节、进行装备集成化一体化设计是解决这一技术问题的可行思路。近年来, 国内外海洋科学研究机构也尝试海水痕量元素洁净采集系统的研发。其中有报道的国外比较成功的有荷兰海洋研究所的相关装备, 该设备设计先进, 测试结果准确, 但是该设备采用矩形结构, 采水作业所需操作空间较大, 一个独立集装箱无法同时完成采样、样品预处理及分析作业, 现在非商业化产品[4]。国内厦门大学通过全套设备的进口搭建了包含 8 km 长 Vectran 凯夫拉传输电缆及配套绞车、痕量元素专用的洁净采样 CTD 及葵花采水器、24 个 12 L 痕量采水瓶和 2 个洁净集装箱的集成洁净痕量元素采样及预处理系统, 目前已经在厦门大学的“嘉庚”号科考船应用[5]。但是, 该套系统样品采集和预处理及在线样品分析依然是处于两个独立的集装试验箱中, 在样品转移过程中依然存在沾污风险, 且过程需要人工搬运增加劳动负荷, 所占空间和集成化程度依然具有巨大的改进空间。此外, 截止到目前为止, 国内其他科考船没有符合 GEOTRACES 标准的船载的洁净实验装备, 样品采集完成以后需要在自行搭建的简易洁净室内完成样品的过滤及酸化等预处理环节, 通常洁净实验室距离甲板较远, 需要将采水瓶搬运至实验室内完成后续操作, 中间环节会带来潜在沾污的可能性。

目前, 痕量元素及同位素化学海洋学研究掌握在美国、加拿大、日本等少数发达国家手中, 数据必须经过在 GEOTRACES 已经验证过的站点中进行样品采集与分析, 数据与已有数据进行对比, 只有一致才能获得 GEOTRACES 的认可, 即采样设备、采样方法、分析实验每个环节都符合要求, 才能获得 GEOTRACES

收稿日期: 2019-01-22; 修回日期: 2019-03-20

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFC1400806); “科学”号高端用户项目(KEXUE2019GZ01)

[Foundation: National Key R&D Program of China, No. 2016YFC1400806; High-end users Program of “Kexue”, No. KEXUE2019GZ01]

作者简介: 倪佐涛(1975-), 山东青岛人, 汉族, 高级工程师, 硕士, 研究方向为海洋环境工程, 电话: 0532-82898736, E-mail: nizuotao07@qdio.ac.cn; 刁新源, 通信作者, 正高级工程师, 主要从事海洋环境调查, 电话: 0532-82896905, E-mail: diaoxinyuan@qdio.ac.cn

承认的数据。由于没有被认可的洁净采集及分析设备，在已经公布的 GEOTRACES 断面和站点中，我国只有厦门大学进行了少量站点的样品采集。因此制作一套高度集成的船载移动式海水痕量元素洁净采集实验室，可避免因设备沾污对分析测试结果准确性的影响，提高采样过程的可靠性，从源头上保证分析测试结果的可靠性，对于提升我国在在痕量元素及同位素化学海洋学研究领域的能力具有重要的意义。

1 移动式海水痕量元素洁净采集实验室设计

本文根据上述问题，按照痕量采集洁净度要求设计移动式海水痕量元素洁净采集实验室。实验室集中于一个 20 尺集装箱内，分为设备间、风淋室、洁净实验室、采水器间四部分，采用二层设计，设备间位于移动式海水痕量元素洁净采集实验室顶部空间，采水器间、洁净实验室和风淋间位于集装箱下部。其中，采水器间位于集装箱右部，洁净实验室位于采水器间左部，两部分中间为风淋间。集装箱右端开门，内外设置运送轨道。如图 1 所示。

移动式海水痕量元素洁净采集实验室安装在船舶甲板上，采水作业时采水器上船后落于滑轨式可移动采水器架旋转底座上，通过运送轨道、滑动轨道将采水器推入到采水器间，撤掉运输轨道，关闭集装箱门，空气洁净系统工作。快速空气净化系统在 30 min 内将采水器间空气净化到千级洁净度，试验人员进入采水器间完成水样采样工作，水样采集完毕后送到洁净实验室用于样品后续预处理过程。采集水样期间采水器架可以在旋转底座上自由旋转，避免了每次样品采集完成后需要将采水瓶从采水器架上取下并搬至洁净实验室的繁重操作，降低了试验人员体力要求，提高工作效率。

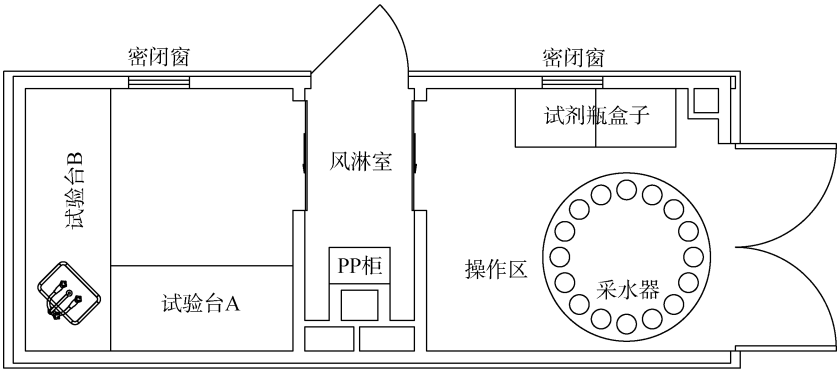


图 1　移动式海水痕量元素洁净采集实验室平面设计图

Fig. 1　Design of the mobile clean collection laboratory for trace elements in seawater

2 高效的空气质量系统

符合需要并满足 GEOTRACES 组织有关痕量元素采集的规范要求的空气系统是整个实验室能否满足要求的第一要素。为此，整个集装箱内空气质量均为千级，满足 GEOTRACES 组织有关痕量元素采集的规范要求的空气质量。

2.1 室内气流组织

洁净实验室空气质量为千级，独立净化空气，控温，控湿，顶部送风，底部回风上排(如图 2 所示)，空气内循环和部分新风(新风率 20%~30%)气体在经过室外高效处理系统后，通过静压箱送到各个出风口，室内出风口出风均匀，全室层流，出风口和回风口布局设计上采用上送侧下回的气流组织形式。洁净实验室内设 2 个高效送风口，集中布置于吊顶中，回风口设在侧墙下方(实验台一侧)，使空气回收到空气过滤系统中。采水器舱门关闭后静置约 30 min 后空气质量可以达到千级要求，达到水样采集空气标准[6]。

2.2 压力梯度控制

压力梯度由新风量和排风量的大小控制，新风量根据实验要求来确定，排风量则由室内可能产生的污染气体、其他通风设备的排风量以及压力梯度共同确定。洁净实验室和采水器间为千级洁净度，为了避免洁净实验室房间尘埃粒子超标，洁净实验室、采水器间与风淋室之间保证一定的正压，一般不低于 5 Pa；洁净房间与风淋间之间保证不小于 10 Pa 的压差[7]。

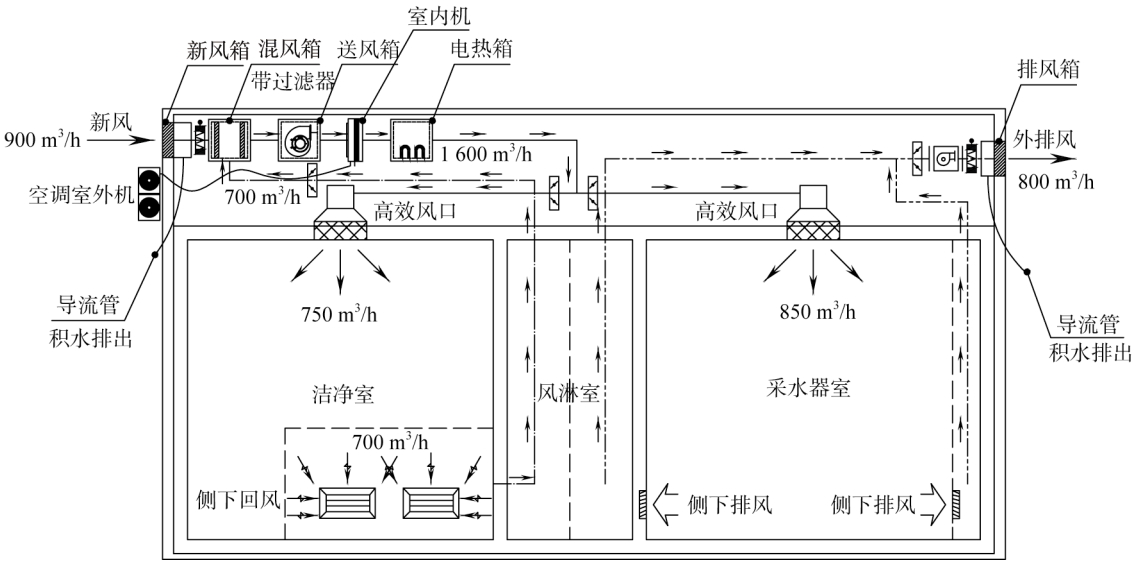


图 2　空气循环系统示意图

Fig. 2　Air circulation system

2.3　风淋间设置

风淋室是实验人员从室外进入洁净区的第一道屏障，人员进入洁净区之前需经过风淋室，在风淋室内经高速气流吹落人体表面尘埃粒子，尽可能避免将大粒径尘埃粒子带入洁净室，延长洁净室内高效过滤器的使用寿命。

3　采水器快速入箱设计

采水器上船后，船舶上空气中的微量元素会对采水器外壁产生污染。减少采水器在甲板的停留时间，可有效降低采水器污染几率，为采集的样品符合 GEOTRACES 组织有关痕量元素采集的规范要求提供保障。为此我们设计了滑轨式可移动采水器架旋转底座可以快速将采水器架运送到洁净实验室集装箱内。

快速入箱系统共有 2 组滑轨和 2 组托盘小车组成，分别为运送轨道、滑动轨道、底盘小车和托盘小车。底盘小车可以在运送轨道上滑动，滑动轨道分为 2 部分，一部分位于底盘小车上，一部分位于集装箱内，两部分可以进行拼接。在采水器间墙上有 CTD 采水器架牵引绳吊点，高度与 CTD 架子的重心持平，通过外置绞车，可以快速完成采水器架进出采水器间。

海上作业时，绞车将 CTD 采水器组件吊装放置在托盘小车上，通过牵引绳，底盘小车通过运送轨道组将托盘小车运送到集装箱门口(图 3)，由四连杆送轨装置将带 45°斜面的滑动轨道与集装箱内的带 45°斜面的运送轨道组 2 对接，底盘小车移动到集装箱内。底盘小车回退，滑动轨道分开，集装箱关门，采水器间进行空气净化(图 4)。

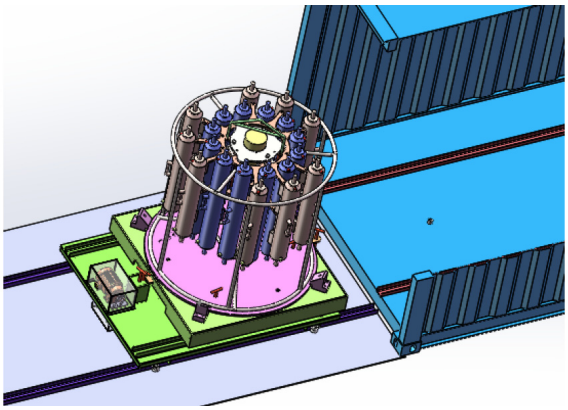


图 3　托盘小车运送系统

Fig. 3　Pallet trolley delivery system

4　结论

通过采取合理分区、采水器快速入箱及符合要求的空气净化系统等设计完成的移动式海水痕量元素洁净采集实验室，满足痕量元素样品采集、预处理及分析过程中的质量控制，有效的减少样品出水后转移过程中的污染，避免采集、分析处理过程中带来的沾污影响，达到痕量元素样品采集的要求，从源头上保证分析测试结果的可靠性，可应用于海洋生物地球化学研究领域，对于提升我国在在痕量元素及同位素化学海洋学研究领域的能力具有重要的意义。

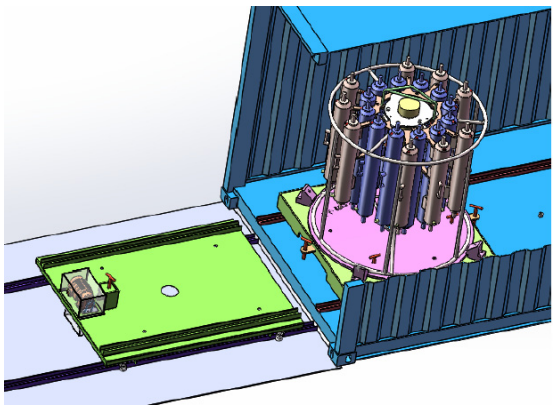


图 4　对轨后送入集装箱洁净实验室

Fig. 4　On-rail delivery to the container cleaning Laboratory

参考文献:

[1] Anderson R F, Henderson G M. GEOTRACES gathers speed[J]. Global Change News Letter, 2004, 60: 10-13.

[2] Martin J H, Fitzwater S E. Iron-deficiency limits phytoplankton growth in the Northeast Pacific Subarctic[J]. Nature, 1988, 331(6154): 341-343.

[3] 张经. 化学海洋学的无机痕量分析—思考与实践[M]. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 2002: 125.
Zhang Jing. Inorganic Trace Analysis in Chemical Oceanography-Consideration and Practice[M]. Qingdao: Qingdao Ocean University Publishing House, 2002: 125.

[4] Baar H J W D, Timmermans K R, Laan P, et al. Titan: A new facility for ultraclean sampling of trace elements and isotopes in the deep oceans in the international Geotraces program[J]. Marine Chemistry, 2008, 111(1-2): 4-21.

[5] “嘉庚号”七个第一[J]. 船舶工程, 2017, 3: 76.
Seven firsts of “Jiageng”[J]. Marine Engineering, 2017, 3: 76.

[6] 汪洪军, 王健. 先进测量洁净实验室概念设计探讨[J]. 洁净与空调技术, 2011, 4: 12-14.
Wang Hongjun, Wang Jian. Discussion on Conceptual Design of Advanced Measurement Clean Laboratory[J]. Clean and Air-conditioning Technology, 2011, 4: 12-14.

[7] 许钟麟. 空气洁净技术原理[M]. 北京: 北京科学出版社, 2003: 341-356.
Xu Zhonglin. Principle of Air Cleaning Technology[M]. Beijing: Beijing Science Publishing House, 2003: 341-356.

[8] 许钟麟. 洁净室设计[M]. 北京: 地震出版社, 1998: 59-92.
Xu Zhonglin. Design of Clean Room[M]. Beijing: Earthquake Publishing House, 1998: 59-92.

Design of a mobile clean collection laboratory for trace elements in seawater

NI Zuo-tao[1, 2], DIAO Xin-yuan[1, 2], ZHANG Zong-bing[1, 2], CONG Shi-lei[1, 2], SUN Yi[1, 2], CHEN Zhao[1, 2]

(1. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Center for Ocean Mega-Science, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China)

Received: Jan. 22, 2019

Key words: trace elements in seawater; clean collection; mobile laboratory

Abstract: The collection, pretreatment, and analysis of trace elements and their isotopes play an important role in marine research. However, samples are easily contaminated by external pollution sources in the process of sampling, sample pretreatment, and analysis because of their minute quantities. A mobile clean collection laboratory for the study of trace elements in seawater was developed in a 20-foot standard super high container. The laboratory space design, air quality control, and sample rapid transfer have been completed. After boarding the ship, water samples can enter the clean environment quickly, reducing exposure time of the samples in the atmosphere and efficiently completing the sampling, filtering and pretreatment of the sample in a clean environment. All operations meet the requirements of GEOTRACES for trace element acquisition, ensuring the reliability of analysis and test results from the source.

(本文编辑: 李晓燕)