

深海生态过程长期定点观测系统研发及冷泉区科考应用^①

李 彬^② 崔胜国 唐 实 孔范东 王海龙 欧阳赛赛

(中国科学院沈阳自动化研究所 沈阳 110016)

摘 要 冷泉和热液是深海海洋系统的重要组成部分,因其自身的特殊性质引起海底地形、理化因子的剧烈变化,进而影响海洋动力、热力等过程,并孕育了独特的生态系统。针对冷泉和热液生态系统科学研究中长时间连续定点观测的实际需求,自主研制了深海生态过程长期定点观测系统(“冷泉”号着陆器),突破了多传感器同步观测和长期观测能源分配优化策略两项关键技术。本文介绍了“冷泉”号着陆器在深海冷泉区开展的科学应用情况,验证了“冷泉”号着陆器于深海冷泉区长期定点观测技术的可行性、有效性及其对冷泉生态系统的适用性,并取得了多项科考成果。

关键词 冷泉, 着陆器, 同步观测技术, 科考应用

0 引 言

海底冷泉是指来自海底沉积地层的气体以喷涌或渗漏方式逸出海底的一种海底地质现象,是继海底热液被发现和研究之后的又一个新的研究领域^[1-3]。冷泉活动区域含天然气化合物、水合物分解产生的甲烷,具有巨大的资源开发前景。冷泉广泛分布在大陆边缘海底,它不断向海水中喷溢以天然气为主的气体,每年约有 20 Tg 的甲烷进入大气,而甲烷又是人们最常用的能源气^[4-6]。同时冷泉区常育有独特生物群,这些生物群依赖于流体化学自养能,与陆地生物有着截然不同的生存方式,最常见的生物如蠕虫、双壳类、腹足类和微生物等,又被称为“碳氢化合物生物群落”,具有极高的研究价值^[7-9]。

近年来,国际上对冷泉区的研究与探测逐步加深,探测技术手段也得到了长足发展,多种无人、载人潜水器和着陆器等已被海洋研究机构用于科学研究和探测,如 2006 年科学家搭乘“阿尔文”号载人

潜水器对墨西哥海域 8 个冷泉区域生物群落进行了调研,发现动物群体和海底沉积物群体之间的独特联系^[10,11]。2007 年研究人员利用“鹦鹉螺”号对马尔马拉海域冷泉、海底底栖动物、生物多样性、生物的化能合成作用以及海底生态环境进行了系统的研究^[12]。2016 年广州海洋地质调查局利用深拖和遥控潜水器(remote operated vehicle, ROV),识别出南海北部陆坡冷泉区碳酸盐岩结壳、泥火山特征地貌、羽状流现象和一些典型的生物特征^[13]。与传统的载人或无人潜水器相比,着陆器具有结构简单、使用方便、成本低以及具有长时连续探测能力的优势。虽然着陆器只能定点探测,自身不具备独立移动的能力,但是其长时连续观测能力是各类潜水器无法比及的,而这恰恰是研究深海环境及其栖息生物系统所亟需的^[14,15]。

面向海底热液、冷泉区化能生态系统科学研究的实际需求,中国科学院沈阳自动化研究所与中国科学院海洋研究所联合研制了一套实用的、观测位置可调整的深海生态过程长期定点观测系统,该系统可在热液、冷泉区进行长达一年的定点连续原位

① 中国科学院战略性先导科技专项(A类)(XDA11040401)资助项目。
② 男,1978年生,副研究员,硕士;研究方向:水下机器人技术研究;联系人,E-mail: Lib@sia.cn
(收稿日期:2018-09-14)

观测,并实现多传感器同步观测,为海底热液、冷泉区化能生态系统相关科学问题研究提供有力的数据支撑。

本文首先描述了深海生态过程长期定点观测系统的组成及其工作原理,然后重点研究了多传感器同步观测技术和长期观测能源分配技术与优化策略,最后介绍了深海生态过程长期定点观测系统在冷泉区科考应用情况。

1 系统组成

深海生态过程长期定点观测系统(简称“冷泉”号着陆器)主要技术参数指标如表 1 所示,系统组成如图 1 所示。“冷泉”号着陆器包括着陆器本体和科学负载两部分。其中,着陆器本体实现系统下潜和抛载上浮,并为科学负载提供安装基座、能源交

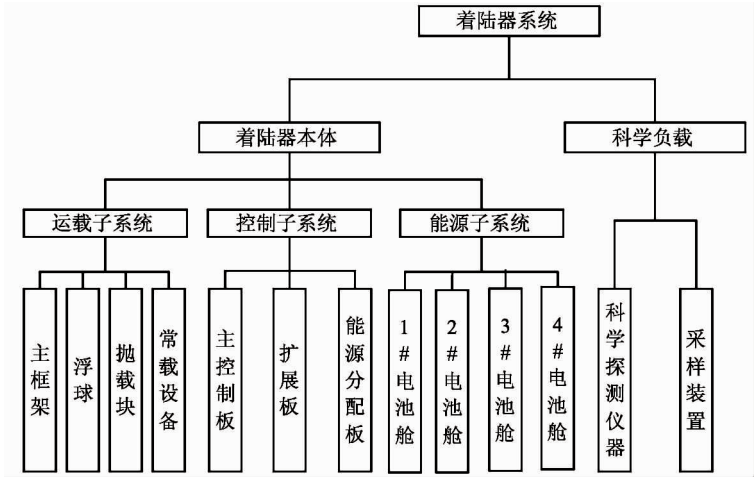


图 1 深海生态过程长期定点观测系统组成框图

表 1 “冷泉”号着陆器技术参数

技术参数	参数值
最大工作深度	3 000 m
最长作业时间	1 年
空气中重量	950 kg
海水中重量	-75 kg
下潜/上浮速度	30 ~ 40 m/min
环境参数测量	CTD、DO、PH、CH ₄ 、CO ₂ 、ADCP
光学测量 (高清照相机)	不少于 4 000 张高清照片
预留接口	预留扩展口 3 个, 12V/24 V DC 供电,RS232 通讯

互接口。科学负载主要包括科学探测负载和可扩展采样装置两部分,具备近海底环境参数测量、光学观测能力。着陆器本体又可按功能划分为载体子系统、控制子系统和能源子系统。

1.1 载体子系统

载体子系统是系统的运载与支撑平台,主要包

括主框架、浮力组件、抛载机构和常载设备,其结构组成如图 2 所示。“冷泉”号着陆器采用框架式结构设计,浮力组件由 7 000 m 级耐压的玻璃浮球与 3 000 m 级浮力材料组成,安装在主框架顶部,提高了浮心,增加了载体稳定性。抛载机构是着陆器完成抛载上浮回收的关键部件,如图 3 所示,由抛载

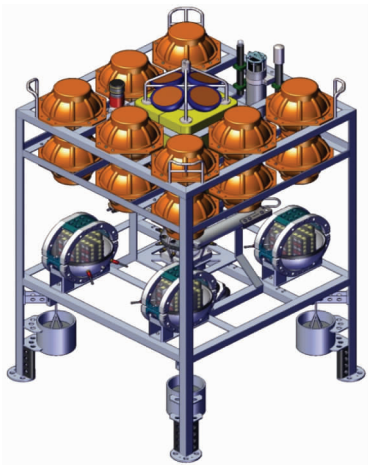


图 2 “冷泉”号着陆器三维图

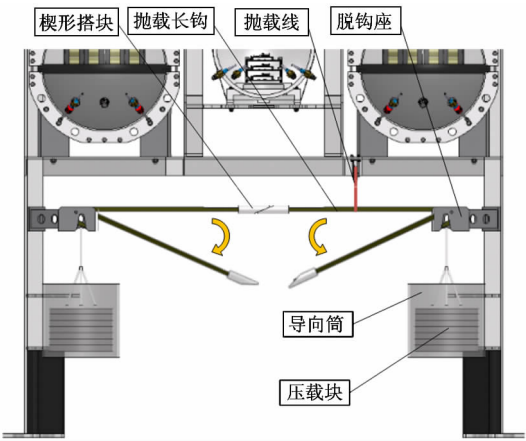


图3 抛载机构示意图

绳、抛载长钩、压载块、楔形搭块、导向筒和脱钩座构成。着陆器携带压载块依靠重力下潜,任务结束后释放压载块实现上浮。

常载设备主要包括电子罗盘、声学释放器、铱星信标、频闪灯、超短基线应答器和应急抛载装置等。电子罗盘用于测量着陆器下潜/上浮过程中的姿态;声学释放器负责执行抛载动作,同时利用其斜距测量功能(测量声学释放器与甲板单元间的直线距离)可辅助进行着陆点的定位;铱星信标和频闪灯用于着陆器回收时的水面定位;超短基线应答器可获得着陆器在水下着陆点位置;应急抛载装置由控制单元及执行机构组成,用于在系统异常情况下执行抛载动作。

1.2 控制子系统

为了降低控制系统的能耗,控制系统硬件部分采用集中式设计。控制系统硬件部分按照功能划分主要包括 ARM 主控制单元、抛载控制单元、传感器资源和水面控制主机共 4 个部分,如图 4 所示。主控制单元主要负责策略规划、传感器控制、能源管理、数据采集与存储以及数据传输等任务。作业过程中采集到的所有数据将被存储在大容量的 microSD 卡中。根据传感器布置,并考虑后续系统扩展的需求,主控制单元主要包括核心板、扩展板、电源分配板 3 部分。

核心板采用处理能力强且低功耗的 ARM 芯片作为核心处理器,是整个控制系统的核心单元。主控制单元的扩展板主要包括串口扩展、I/O 控制、漏水检测、存储卡接口等多个模块。能源板负责各个

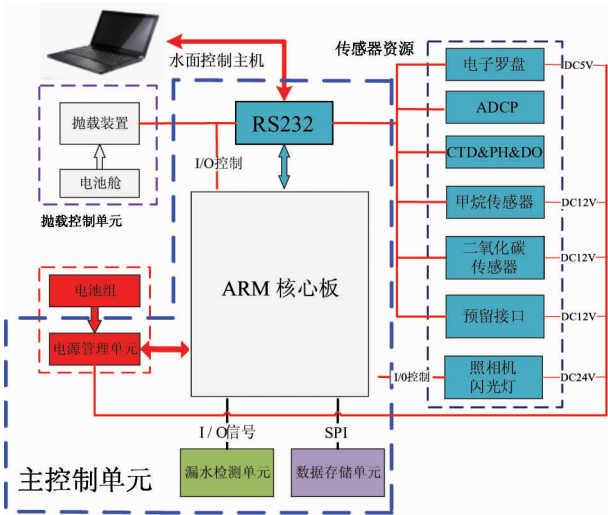


图4 控制子系统原理框图

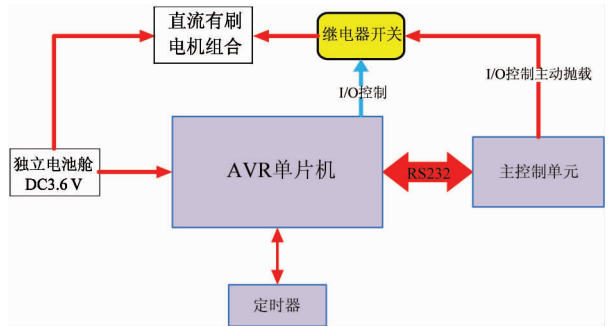


图5 抛载控制单元结构框图

传感器电源的分配,包括 DC/DC 电源模块以及电源切换芯片。应急抛载控制单元结构框图如图 5 所示,该模块以 AVR 单片机作为处理器,采用独立电池供电,用于设定工作时间、监视 ARM 工作状态和执行抛载动作。达到设定工作时间、收到抛载信号或者监视到 ARM 异常后,执行抛载动作,着陆器上浮。

1.3 能源子系统

着陆器的能源子系统搭载了 2~4 个电池舱,每个电池舱由 6 个电池组并联组成。电池舱的电压范围为 12 V~21.6 V,理想情况下最大输出能量 7 258 Wh,电池舱并联之后为着陆器搭载的设备供电。电池舱作为一个标准的能源模块,可根据不同的能耗需求来决定搭载的电池舱数量。能源子系统的结构图如图 6 所示。

1.4 科学负载

着陆器科学负载是指搭载的各种探测设备及采

样装置,着陆器提供科学负载的能源和数据交互接口。面向冷泉区的研究需求,“冷泉”号着陆器搭载的科学负载包括照相机、温盐深传感器、溶解氧传感器、酸碱度传感器、甲烷传感器、二氧化碳传感器、多普勒流速剖面仪等,为满足扩展探测需求,系统预留了三路扩展接口。部分科学负载的能源由着陆器本体提供,温盐深传感器及多普勒流速剖面仪自带能源,并与控制子系统建立通信连接。

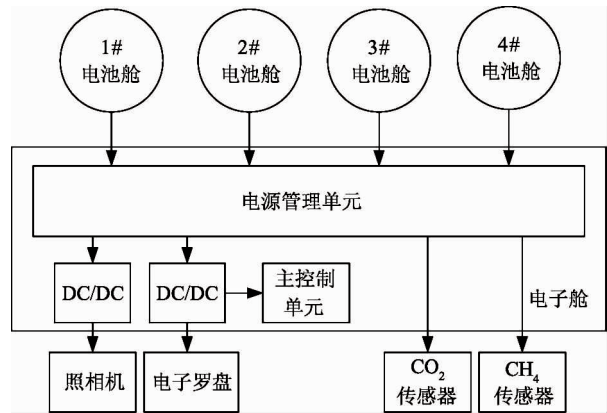


图6 能源分配框图

2 工作流程及关键技术

2.1 工作流程

着陆器的作业流程如图7所示。首先,根据科考需求选择着陆器系统作业区域,母船驶至作业区域后,根据探测的海底地形、海流剖面速度等数据选择合适的入水点。当母船在预定入水点位置附近停泊后,使用船载吊放设备将着陆器吊放至入水点,着陆器无动力下潜至海底。在母船上可通过着陆器自身搭载的超短基线信标获得着陆点位置,随后操作ROV搜寻并最终将其挪动至目标观测点,按一定的观测策略开展海底长期定点观测。当完成预定时间的作业任务后,母船驶至着陆点附近,由声学释放器甲板单元发出回收信号,着陆器上的声学释放器受触发抛载后上浮至水面。浮出水面后,着陆器搭载的铱星信标开启并发送着陆器的出水位置GPS信息。母船驶至着陆器出水位置,将系统回收。最后,科研人员在甲板上进行样品回收,并导出观测数据。

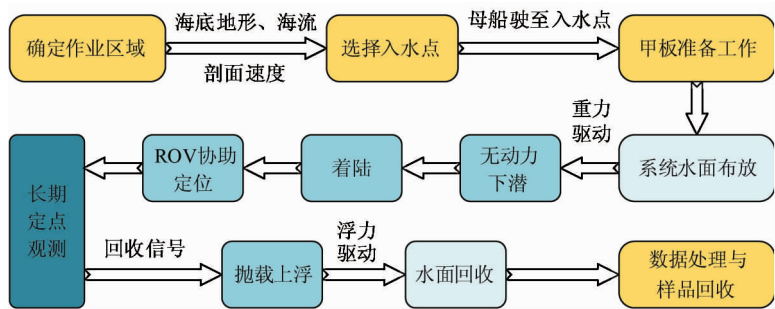


图7 “冷泉”号着陆器作业流程示意图

2.2 着陆器落底姿态计算

海底地形十分复杂,若着陆器在非平坦的海底着陆时,姿态会有一定程度的倾斜,最为恶劣的情形是着陆到陡坡上,并且只有一条腿着地,此时着陆器将会发生最大程度的倾斜,下面就这一最危险情况计算着陆器的落底位姿。

图8所示为着陆器单腿着地时,着陆器斜对角截面上的受力情况,当达到平衡状态时,接触点处的力矩平衡方程为

$$\begin{cases} F \cdot l_F = G \cdot l_G \\ l_F = h_F \sin\theta + L \cos\theta \\ l_G = h_G \sin\theta + L \cos\theta \end{cases} \tag{1}$$

式中, F 为浮力, G 为重力, N 为斜坡的支撑力, h_G 为重心高, h_F 为浮心高, L 为横截面斜对角长度的一半, θ 为最大倾斜角。

根据静力学计算的结果,着陆器下潜时需要增加的配重、抛载合计140 kg,重心高 $h_G = 1\,370\text{ mm}$,浮心高 $h_F = 1\,855\text{ mm}$, $L = 1\,154\text{ mm}$,计算得到着陆器最大倾角为 8.8° 。

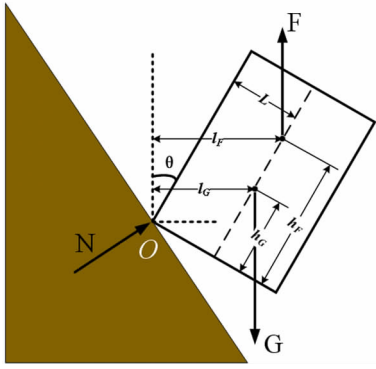


图8 着陆器倾斜受力分析

2.3 着陆器着陆点测算

在海试或使用过程中,在着陆器声学信标失效情况下,为对着陆器下潜过程进行漂移估算,或抛载前让母船尽量靠近其浮出水面点,可利用声学释放器斜距信息对着陆器着陆点进行估算。利用声学释放器甲板单元的斜距测量功能,可实现着陆器海底着陆点的定位,步骤如下:

(1)确认着陆器已经在海底着陆,通过声学释放器的甲板单元测量出其与水下单元间的距离并记录,同时通过船载 GPS 设备对母船定位,记录母船的经纬度;

(2)根据测量出的斜距值与海流方向,再选定 3 个测量点,将母船依次驶至各测量点,记录母船在各测量点的经纬度及对应的斜距值;

(3)通过测得的 4 组数据计算出着陆器海底着陆点的位置(着陆点计算原理见下面推导)。

首先构建地球坐标系,以地心为坐标系原点 O ,地心指向北极点的方向为坐标系 Z 轴,地心指向赤道与 0° 经线交点的方向为 X 轴, Y 轴为地心指向赤道与东经 90° 经线交点的方向,如图 9 所示。

设任意一点的经纬度分别为 L 和 B ,为便于计算作以下处理:若 L 为东经,则令 $\alpha = L$, L 为西经,则令 $\alpha = -L$;若 B 为北纬,则令 $\beta = B$, B 为南纬则 $\beta = -B$ 。由此,可以得出该点在地球坐标系下的坐标为 $(R\cos\beta\cos\alpha, R\cos\beta\sin\alpha, R\sin\beta)$, R 为地球半径。四个测量点的经纬度分别为 $M_1(L_1, B_1)$ 、 $M_2(L_2, B_2)$ 、 $M_3(L_3, B_3)$ 和 $M_4(L_4, B_4)$,则 4 个测量点的坐标值分别为

$$\begin{cases} (x_i, y_i, z_i) = R(\cos\beta_i\cos\alpha_i, \cos\beta_i\sin\alpha_i, \sin\beta_i) \\ i = 1, 2, 3, 4 \end{cases} \quad (2)$$

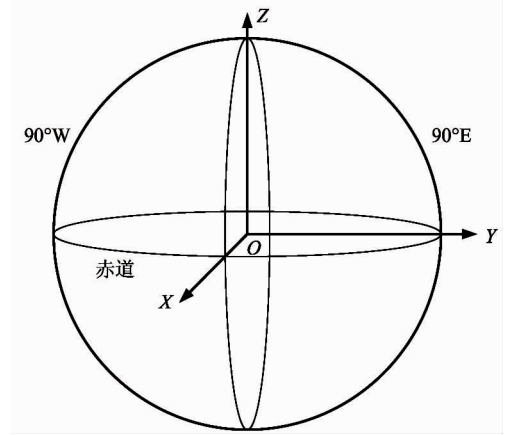


图9 地球笛卡尔坐标系

分别测得的斜距值为 $d_i, i = 1, 2, 3, 4$; 着陆器着陆点的坐标为 (x, y, z) , 则有:

$$\begin{cases} (x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2 = d_i^2 \\ i = 1, 2, 3, 4 \end{cases} \quad (3)$$

由此可求得着陆点的坐标值,则着陆器的近似经纬度为

$$\begin{cases} L = \arctan(y/x) \\ B = \arcsin(z/R) \end{cases} \quad (4)$$

2.4 多传感器同步观测技术

针对冷泉、热液生态系统的科考研究中科学家不仅关注某一个传感器的测量数据,更加关注同一时刻不同传感器数据间的关联性,这就需要所有传感器的采样时钟能够保持一致。“冷泉”号着陆器搭载了多种传感器,长时间工作后(最长工作时间一年)每个传感器时钟会出现一定程度的漂移,导致各传感器观测数据的关联性出现偏差。为此,“冷泉”号着陆器采取了多传感器同步观测的控制策略,以主控制的高精度时钟作为基准,在同一时钟下对多个传感器及水下照相机进行同步调度,并将获得的传感器数据加上时间戳,为后续科学数据的分析与研究提供有力的技术保证。

2.5 能源分配技术与优化策略

着陆器搭载科学负载和常载设备众多,而携带的能源有限,因此能源优化分配是实现长期观测的

关键技术问题。在着陆器所搭载的传感器中,二氧化碳和甲烷传感器的能耗最大,在系统总能耗中占很大比重。本文通过理论计算,得出不同数量的电池舱和不同观测时长情况下,二氧化碳和甲烷传感器的最大采样频率,以及不同数量的电池舱和不同采样频率(次/天)情况下,二氧化碳和甲烷传感器的最大工作天数。实际应用中根据表2和表3计算出的二氧化碳和甲烷传感器的采样频率,可确定需要搭载电池舱的数量。

表2 二氧化碳和甲烷传感器最大采样频率

观测周期 (月)	搭载电池舱数量		
	2	3	4
	最大采样频率(次/天)		
1	20	35	58
2	9	16	28
3	5	10	18
4	3	7	13
5	2	5	10
6	—	4	8

表3 二氧化碳和甲烷传感器最大观测时长

观测周期 (月)	搭载电池舱数量		
	2	3	4
	最大观测时长(天)		
2	168	273	442
4	113	184	297
6	85	139	224
8	68	111	180
10	57	93	150
12	49	80	129

3 冷泉区科考应用

在圆满完成3 000 m级海上试验后,“冷泉”号着陆器于2016年6月搭载“科学”号考察船在南海冷泉区进行了试验性科学应用,着陆器在冷泉生物区共进行了16天的水下连续观测,获得了冷泉区生物的高清照片和海底物理、化学等环境参数的大量观测数据,为科学家研究南海冷泉生物群落及其所处环境的变化特征是否存在潮汐周期相关性等科学

问题提供了有力的数据支撑。本次试验性科学应用全面验证了“冷泉”号着陆器的各项技术性能,实现了着陆器水下观测位置精细调整,为“冷泉”号着陆器后续的科学应用工作打下了坚实的基础。

2017年7月“冷泉”号参加了由中国科学院机器人与智能制造创新研究院组织实施的“海洋先导专项”南海综合调查航次,开启了第一次深海科考应用,在本航次第二航段中“冷泉”号着陆器与“探索”号AUV、“发现”号ROV一起实现了对南海冷泉区的立体协同探测。7月25日,在“发现”号ROV的协助下,“冷泉”号着陆器精确布放在海底指定位置,在“季尺度”下对海底冷泉区生物群落和环境进行连续观测,以期分析环境变化对冷泉区生物迁移、生长率和繁殖等关键过程的影响。本次科考应用中着陆器的工作场景如图10所示。

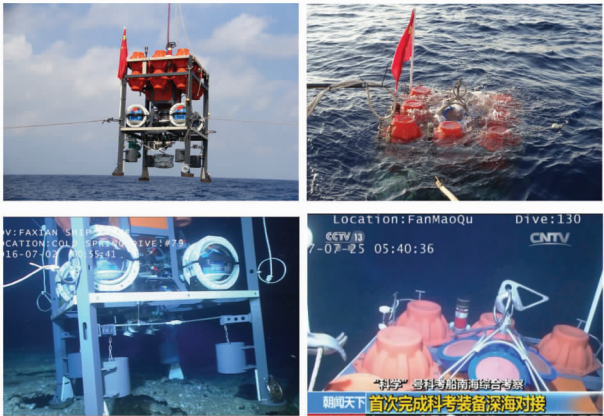


图10 科考应用中着陆器工作场景

南海综合调查航次科考应用中,“冷泉”号着陆器在南海冷泉区水下连续观测超过了9个月,获得了大量水下高清照片与各传感器长期观测数据,其中水下生物高清照片9 000余张,共计24.9 GB;甲烷传感器数据155 MB,二氧化碳传感器数据247 MB,温盐深传感器、溶解氧传感器和酸碱度传感器数据11.9 MB,多普勒流速剖面仪数据20.8 MB,本次成果为南海冷泉区生物相关科学研究提供了第一手资料。

图11~13为多普勒流速剖面仪、温盐深传感器和溶解氧传感器长期观测数据的初步处理结果。由多普勒流速剖面仪的数据曲线显示南海冷泉区海底

观测到强劲的上流流,比通常海洋上流流高 2 个量级,对观测到的这一特殊现象还需关联其他传感器的同期观测数据进一步分析。

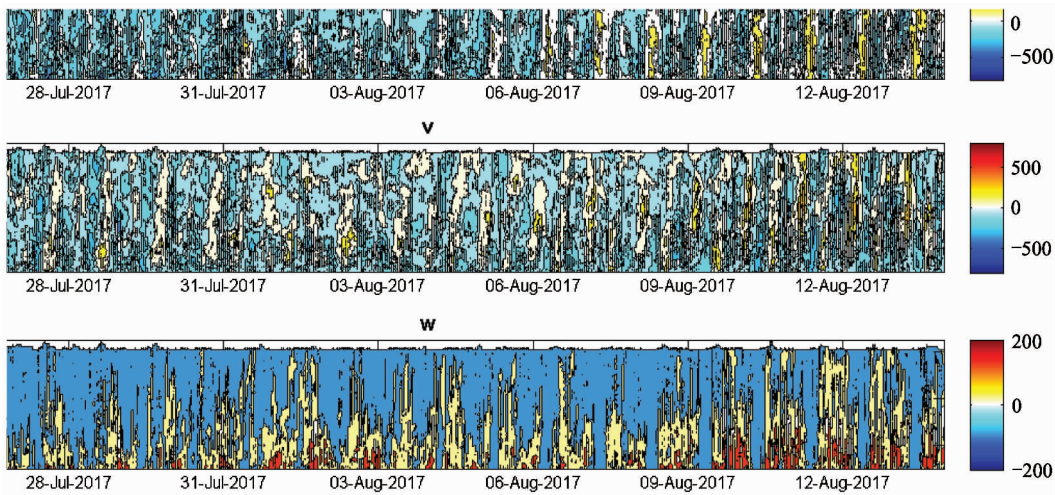


图 11 多普勒流速剖面仪试验数据

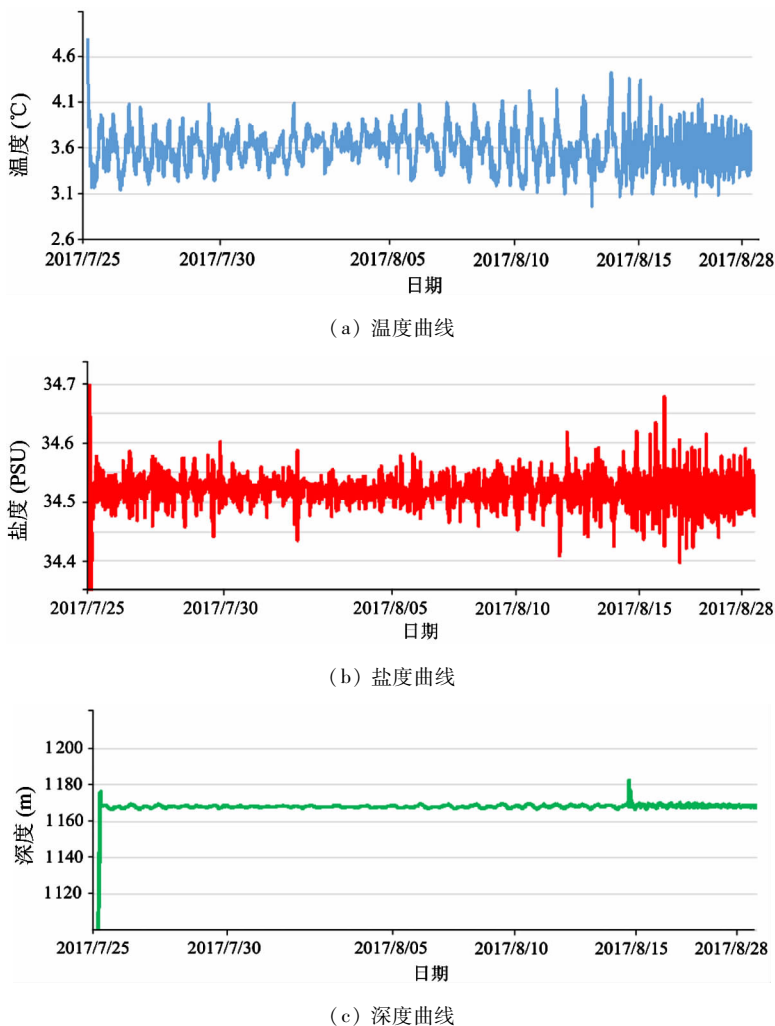


图 12 温盐深传感器采集数据曲线

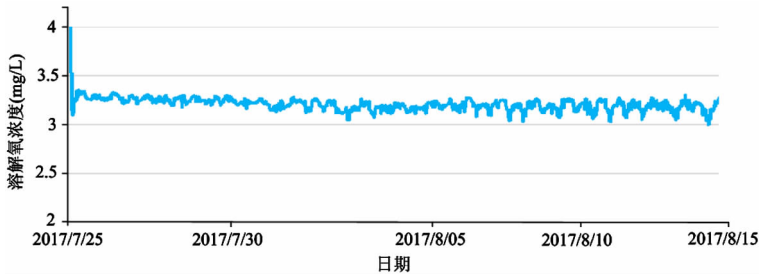
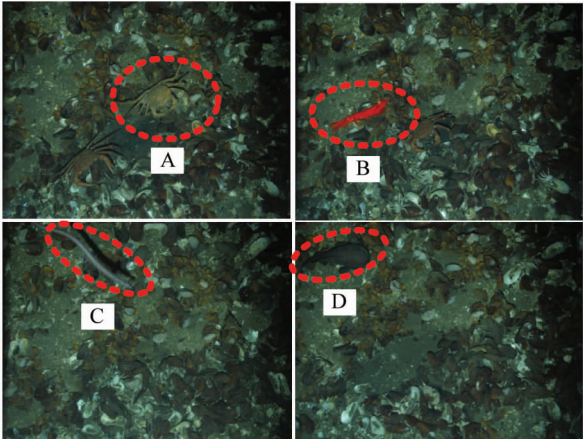


图 13 溶解氧传感器采集数据曲线

南海冷泉区海底边界层温度变化范围为 3.1℃~4.1℃(变化幅度约 1℃);盐度变化范围为 34.3~34.65(变化幅度约 0.35),表现为一天和不同天呈现不规律变化趋势,温度总体表现为上升时变化快,下降时变化慢,待科学家进一步进行分析。

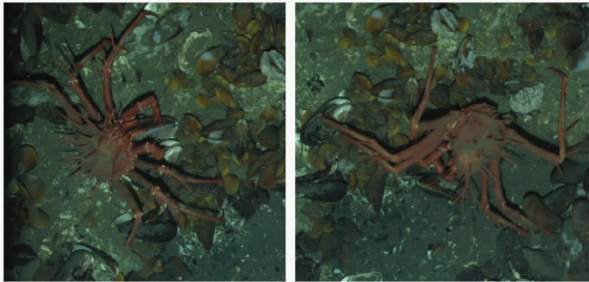
图 14 所示为照相机拍摄到南海冷泉区生态系统生物照片,由图可知南海冷泉区繁衍着依靠化能合成作用的虾类、贻贝、蛤类、鱼类、腹足类和微生物等多种生物,形成了独特的南海冷泉生物群落。这些高清照片对于科学家研究冷泉生物生存方式和状态,了解冷泉生物群落结构的独特性以及与其他冷泉区生物群落结构的异同点同样具有重要的意义。



(A. 螃蟹 B. 红虾 C. 盲鳗 D. 隐棘杜父鱼)

图 14 照相机拍摄海底生物

通过对水下高清照片的分析,也观察到长刺石蟹在多个时间段内捕食贻贝以及铠甲虾对贻贝进行捕食的场景,图 15 清晰地展示了冷泉区生态系统中长刺石蟹、铠甲虾等二级消费者对一级消费者贻贝捕食的食物链。



(a) 长刺石蟹捕食贻贝



(b) 铠甲虾捕食贻贝

图 15 长刺石蟹以及铠甲虾捕食贻贝情况

“冷泉”号着陆器在海底持续观测 9 个多月后,自身结构件出现了一些独特的腐蚀现象,如图 16 所示,研究组将腐蚀的结构件进行检测,分析腐蚀原因。经对腐蚀断口进行电镜扫描获得微观形貌,并得到了止荡环各元素的分布特征,如图 17 所示。



图 16 着陆器止荡环腐蚀效果

由图中可以看出止荡环断口处有 S 元素的富集,判断止荡环的腐蚀开裂是因冷泉区的硫化氢(H_2S)引起,也间接证实了南海冷泉区存在浓度很

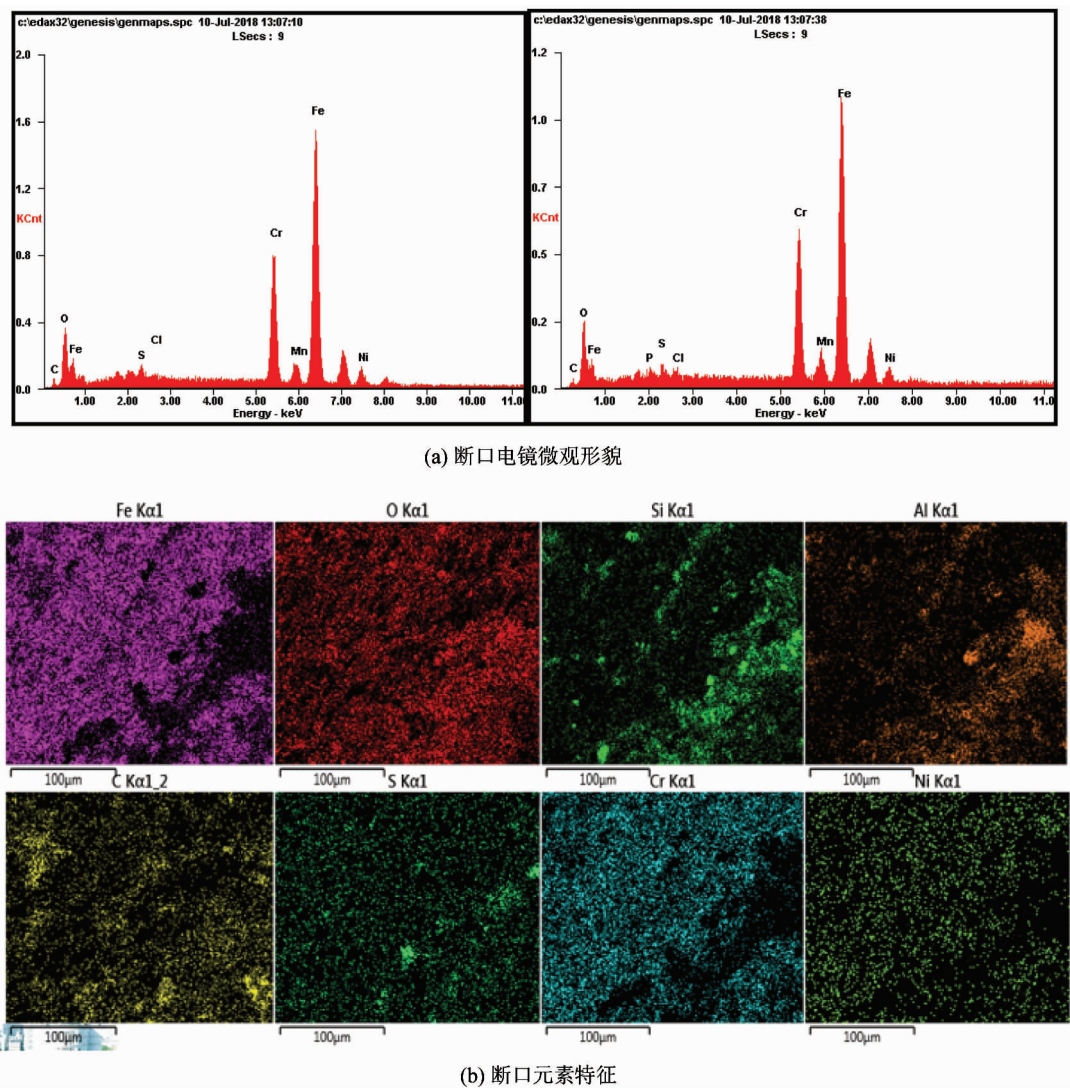


图 17 断口腐蚀原因分析

高的 H_2S 环境。考虑目前对 H_2S 浓度的测量手段还很有限,通过腐蚀程度来间接测量的方法值得进一步深入探讨。

4 结 论

面向海底热液区、冷泉区生态系统的科学研究中对目标点环境参数长期观测、记录与数据同步的实际需求,中国科学院沈阳自动化所联合海洋所研制了一套实用的、观测位置可调整的深海生态过程长期定点观测系统(“冷泉”号着陆器)。在历时两年多的研制过程中突破了多传感器同步观测技术、能源分配技术与优化策略等关键技术,为科学家针对热液区、冷泉区生态系统的科学研究提供了专业

的深海探测设备。

“冷泉”号着陆器试验性科学应用在南海冷泉区顺利完成,各项技术性能指标得到充分验证。“冷泉”号着陆器首次科学应用在水下累计工作时间超过 9 个月,获得了南海冷泉区近海底生物高清照片和各传感器长期观测数据,这些数据可对研究海底冷泉区生态系统的形成与演变机制、生物生长周期和代谢节律、种群随季节变化等科学问题提供有力数据支撑。

同时,着陆器在首次科学应用中也暴露了一些问题,部分设备在长期观测后出现了较为严重的腐蚀现象,在认真分析发生问题的具体原因后,课题组有针对性地采取了多项改进措施,对系统进行了进一步完善,为后续开展科学应用打下坚实的基础。

参考文献

- [1] 栾锡武, 刘鸿, 岳保静, 等. 海底冷泉在旁扫声呐图像上的识别[J]. 现代地质, 2010, 24(3): 474-480
- [2] 李灿苹, 刘学伟, 赵罗臣. 天然气水合物冷泉和气泡羽状流研究进展[J]. 地球物理学进展, 2013, 28(2): 1048-1056
- [3] Macdonalda I R, Bender L C, Vardaro M. Thermal and visual time series at a seafloor gas hydrate deposit on the Gulf of Mexico slope[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2015, 233(122): 45-59
- [4] 陈忠, 杨华平, 黄奇瑜, 等. 海底甲烷冷泉特征与冷泉生态系统的群落结构[J]. 热带海洋学报, 2007, 26(6): 73-82
- [5] 邸鹏飞, 冯东, 高立宝, 等. 海底冷泉流体渗漏的原位观测技术及冷泉活动特征[J]. 地球物理学进展, 2008, 23(5): 1592-1602
- [6] Tryon M D, Brown K M. Fluid and chemical cycling at Bush Hill: Implications for gas and hydrate-rich environments[J]. *Geochemistry, Geosystems*, 2004, 5(12): 1-7
- [7] Shepard A N. Applications of human occupied vehicles at hydrocarbon seeps and vents in the Gulf of Mexico[J]. *MTS/IEEE Conference and Exhibition Oceans.*, 2001, 2: 799-806
- [8] 樊栓狮, 刘峰, 陈多福. 海洋天然气水合物的形成机理探讨[J]. 天然气地球科学, 2004, 15(5): 524-530
- [9] Feng D, Roberts H H. Initial results of comparing cold-seep carbonates from mussel- and tubeworm- associated environments at Atwater Valley lease block 340, northern Gulf of Mexico[J]. *Deep-Sea Research Part II*, 2010, 57(21-23): 2030-2039
- [10] Joye S B, Bowles M W, Samarkin V A, et al. Biogeochemical signatures and microbial activity of different cold-seep habitats along the Gulf of Mexico deep slope[J]. *Deep-Sea Research Part II*, 2010, 57(21-23): 1990-2001
- [11] Roberts H H, Shedd W, Jr J H. Dive site geology: DSV ALVIN (2006) and ROV JASON II (2007) dives to the middle-lower continental slope, northern Gulf of Mexico[J]. *Deep-Sea Research Part II*, 2010, 57(21-23): 1837-1858
- [12] Ritt B, Sarrazin J, Caprais J C, et al. First insights into the structure and environmental setting of cold-seep communities in the Marmara Sea[J]. *Deep Sea Research Part I*, 2010, 57(9): 1120-1136
- [13] 张汉泉, 吴庐山, 张锦炜. 海底可视技术在天然气水合物勘查中的应用[J]. 地质通报, 2005, 24(2): 185-188
- [14] 陈俊, 张奇峰, 李俊, 等. 深渊着陆器技术研究及马里亚纳海沟科考应用[J]. 海洋技术学报, 2017, 36(1): 63-69
- [15] Chen J, Zhang Q, Zhang A, et al. Sea trial and free-fall hydrodynamic research of a 7000-meter lander[C]. In: *Proceedings of the OCEANS, Washington, USA, 2015.* 1-5

Development and application of the long-term fixed point observation system of deep-sea ecological process

Li Bin, Cui Shengguo, Tang Shi, Kong Fandong, Wang Hailong, Ouyang Saisai
(Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016)

Abstract

Cold seep and hydrothermal vents are important parts of deep-sea marine system. They can lead seabed topography and physical and chemical factors to have dramaticly changes due to their special properties, thus affect processes of deep-sea hydrodynamic and thermal processes, and give birth to an unique ecosystem. The scientific research of cold seep and hydrothermal vents need long and continuous detection and sampling equipment to meet the demand of scientific research. The long-term fixed point observation system (‘LENGQUAN’ lander) of deep-sea ecological process is developed independently. In the research the key technologies such as multi-sensor synchronous observation and long-term observation energy distribution strategy are broken through. The paper introduces the application of the system in scientific research of the deep-sea cold seep. In the application, the feasibility, effectiveness and applicability of ‘LENGQUAN’ lander to the cold seep are verified, and many scientific achievements have been made.

Key words: cold seep, lander, synchronous observation technique, scientific application