

董刚, 蔡峰, 孙治雷, 等. 海洋浅表层天然气水合物地质取样技术及样品现场处置方法[J]. 海洋地质前沿, 2022, 38(7): 1-9.

DONG Gang, CAI Feng, SUN Zhilei, et al. Geological sampling method and on-site processing of coring samples of marine shallow gas hydrate[J]. Marine Geology Frontiers, 2022, 38(7): 1-9.

海洋浅表层天然气水合物地质取样技术及 样品现场处置方法

董刚^{1,2}, 蔡峰^{1,2*}, 孙治雷^{1,2}, 闫桂京^{1,2}, 梁杰^{1,2}, 李清^{1,2}, 孙运宝^{1,2},
李昂^{1,2}, 骆迪^{1,2}, 翟滨^{1,2}, 郭建卫^{1,2}, 窦振亚^{1,2}

(1 自然资源部天然气水合物重点实验室, 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 青岛 266237;

2 青岛海洋科学与技术国家实验室 海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室, 青岛 266237)

摘要: 天然气水合物地质调查中通常采用地质、地球物理、地球化学等多种调查方法获得各类地质资料, 而海洋地质取样可直接获得海底实物样品, 是海洋地质调查中的重要手段。浅表层天然气水合物赋存于近海底沉积物中, 利用合适的地质取样方法, 在勘探目标区可以直接获得水合物样品及其存在的标志。基于浅表层水合物的存在指示标志和赋存特征, 结合前期调查的成功经验, 总结了适用于浅表层水合物的地质取样技术方法, 主要有海底表层取样、重力柱状取样、海底钻探和保温保压取芯等, 不同的取样方法所取的样品类型也有差异, 应根据实际地质特征做出优选。针对浅表层天然气水合物的赋存特征, 建立了一套海洋天然气水合物取芯样品现场处理和分析方法。水合物采集样品回收甲板后快速处置分析是水合物调查的重要环节, 而正确的现场处理方法是保证样品测试准确的关键。

关键词: 浅表层天然气水合物; 赋存特征; 地质取样技术; 现场样品处置

中图分类号: P744.4; P618.13

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2022.068

0 引言

天然气水合物(以下简称水合物)是由甲烷等气体在高压低温环境下与水结合形成的冰状固态物质, 在陆地永久冻土带和深海大陆坡附近(水深 > 300 m)均有发现。勘探实践证明, 水合物资源量巨大, 是未来潜在的替代资源。水合物分解易引起海底滑坡, 释放的甲烷气体对全球气候变化具有重要影响^[1-3]。埋藏于海底以下 120 m 范围内沉积层中的浅表层水合物具有分布集中、厚度大、纯度高特点^[4-5], 多赋存在冷泉、泥底辟和泥火山附近,

这种类型的水合物与深层的甲烷气体泄漏密切相关。海洋浅表层水合物在世界各地分布广泛^[6-7], 是重要的水合物调查研究对象。浅表层水合物赋存于近海底沉积物中, 埋深浅, 需借助高精度的勘探手段和方法来获取高分辨率的地质调查资料^[4-5,8], 以便准确识别其赋存特征。利用合适的地质取样工具和样品处理手段, 可以在勘探目标区获得浅表层水合物存在的标志, 如碳酸盐结壳、冷泉生物、菌席、黄铁矿等, 甚至直接获得水合物样品。这些第一手样品资料可以为浅表层水合物成藏研究提供重要依据。

在水合物地质调查中, 通常采用地质、地球物理、地球化学等多种调查方法获得各类地质资料, 利用这些资料可以掌握水合物赋存区的沉积和构造特征、资源分布特征、水合物储层的物性和力学属性特征^[9-10], 地质取样是最直接的调查方法^[11]。常用的地质取样技术包括表层取样、重力取样、海底钻探等, 还有各种针对水合物的新型取样技术, 如水合物的保压取芯技术等。在实际的调查

收稿日期: 2022-03-13

资助项目: 中国地质调查局海洋地质调查二级项目(DD20221707); 青岛海洋科学与技术试点国家实验室山东省专项经费(2021QNL020002-4)

作者简介: 董刚(1983—), 男, 硕士, 助理研究员, 主要从事海洋地质方面的研究工作。E-mail: donggang02@163.com

* 通讯作者: 蔡峰(1965—), 男, 博士, 研究员, 主要从事天然气水合物及油气地质勘探与研究。E-mail: caifeng0532@163.com

作业中,一般应根据勘查目标、水深、海底地形、底质类型和水合物产状等来选择合适的采样方法和设备。本文将水合物存在的指示标志和赋存特征为基础,结合已有调查成果和实际调查经验,总结适用于浅表层水合物的地质取样方法和不同取样方法的特点以及海洋水合物取芯样品的现场处置分析方法。

1 水合物存在的指示标志和赋存特征

海洋水合物的形成和分解是同时进行的动态过程。海底水合物分解释放的甲烷气体能够以冷泉的形式排放到海水中^[12-13],甲烷气体在沉积物中的向上运移过程中,一部分气体会通过生物地球化学作用被消耗掉,为沉积物中的微生物提供营养物质,促进地层中的微生物活动。微生物活动将沉积物孔隙中的硫酸根还原,同时将甲烷氧化成碳酸氢根,引起海底局部的化学组分异常,在海底生成自生碳酸盐岩^[14-15]。通过收集并分析附着在海底自生碳酸盐岩及其沉积物中的孔隙水和甲烷气体等样品可以判断是否有甲烷气体泄露^[16]。沉积物孔

隙水中的离子浓度异常可作为水合物存在的标志^[17],常用的离子指标包括 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{4-} 等。另外,在水合物富集区和甲烷渗漏发育区,存在大量的以甲烷为营养源的生物群落,包括细菌、古生菌、腹足类、双壳类和管状蠕虫等生物类型^[18-19],这些生物以甲烷为物质基础构成一个完整的极端环境下的生态系统。

按照气体运移方式的差异,水合物成藏模式可划分为渗漏型和扩散型2种类型^[20]。渗漏型水合物多形成于断层、泥火山和底辟构造较发育的地区,在底部气源充足的条件下,气体沿这些运移通道上升至浅表层沉积物中,在适宜的温压条件下与水结合形成水合物(图1)。渗漏型水合物藏中水合物以裂缝充填和块状产出,水合物的丰度高,分布集中。扩散型水合物藏的形成与原地生物成因甲烷或气体在地层中的缓慢渗透作用有关,水合物的产状以孔隙充填为主,粒度粗的砂质沉积物更有利于扩散型水合物藏的形成。这2种类型的水合物藏均可形成于海底浅表层沉积物中,而渗漏型水合物藏更具有资源前景和勘探价值。

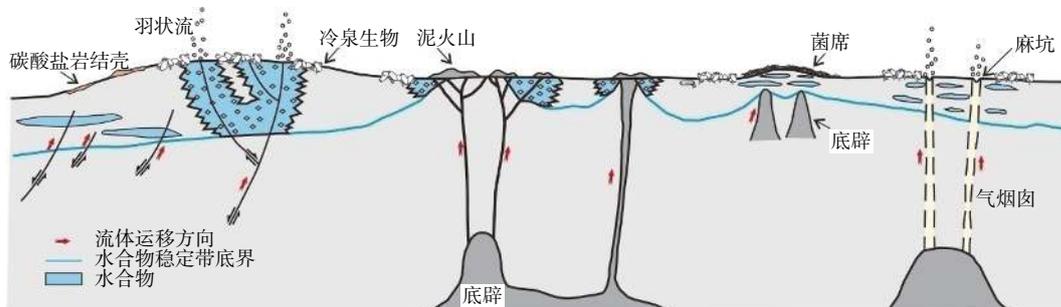


图1 海洋天然气水合物的指示标志和赋存形式示意图

Fig.1 Schematic diagram of indicator signs and occurrence forms of marine natural gas hydrate

2 浅表层水合物地质取样技术方法

水合物资源调查工作中,首先利用多波束、侧扫声呐、高分辨率浅剖、二维和三维地震勘探等声学探测方法在目标区开展地球物理调查,对获得的地球物理资料进行解释,寻找与水合物相关的地球物理异常标志,这些标志包括似海底反射(BSR)和速度异常以及断层、底辟构造和麻坑等特殊地质体的发育情况。之后在平面中圈定出异常标志的发育区,将这些异常标志发育区作为重点目标开展后续地质取样工作,通过地质取样获得与水合物相关的各类地质样品。常用的地质取样方法包括表

层取样、重力柱状取样、海底钻探、保温保压取芯等。

2.1 表层取样

表层取样主要用于采集海底表层附近的沉积物、海底底层水以及其他的生物和岩石样品。海底底层水主要使用温盐深剖面仪(CTD)和专用采水器获取,通过分析底层海水中的甲烷、营养盐等成分的异常情况来判断是否存在水合物。表层沉积物取样器的外形结构形式多样,但基本的结构、组成部件和取样原理都大致相同,都是由取样器自身重力及配重铅块自由落体贯入海

底沉积物中采集样品。目前水合物调查中常用的表层取样器有箱式取样器、海底拖网、电视抓斗、多管采样器和水下机器人等。

2.1.1 箱式取样器

箱式取样器主要用于采集海底表层 0~30 cm 范围内的沉积物、矿产资源和附着在海底表层的活体生物和生物碎屑(图 2)。采集的样品可用于表层沉积物的沉积特征分析、沉积物中孔隙水的地球化学异常分析、矿物分析等。在取样过程中,利用绞车将箱式取样器下放到海底,取样器着底的同时释放装置脱离卡槽,箱式取样器大部分插入海底沉积物中,主钢缆回收时闭合装置起作用,由两边往中间闭合,关闭箱式取样器下方样品进口,样品保留

在箱式取样器中^[21]。

2.1.2 海底拖网

拖网取样器用于采集海底基岩、粒径较大的沉积物(砾石、粗碎屑),海底烟囱碎屑、结壳、海底金属结核、火山岩块、贝壳碎屑和活体生物等。根据取样对象的不同可分为生物拖网取样器(图 3a)和岩石拖网取样器(图 3b)。生物拖网取样器主要用于拖取海底表层生物样品或碳酸盐岩结壳等,在水合物调查中主要用来拖取冷泉生物、生物碎屑和碳酸盐岩结壳、活体贝壳等。岩石拖网取样主要用于获取海底岩石样品。由于海底岩石坚硬且重量大,岩石拖网取样器设计得较为牢固,编织网短、容量小^[21]。



图 2 表层取样器及其在水合物赋存区采集到的表层样品

Fig.2 Sesfloor sampler and samples collected in hydrate occurrence area

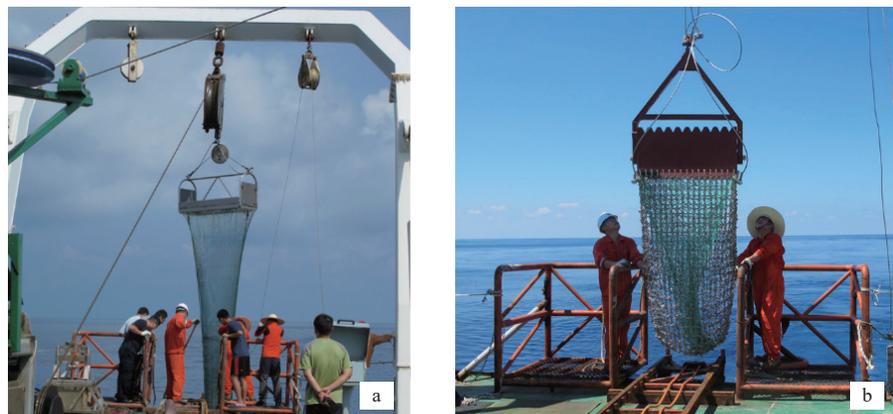


图 3 海底拖网

Fig.3 Submarine trawl

2.1.3 电视抓斗

电视抓斗(TV-Grab sampler, 简称 TV-G)是利用海底摄像连续观察与抓斗取样器相结合的可视化地质取样器^[22]。电视抓斗多用于海底块状多金属结核、海底表层水合物、碳酸盐结壳、海底火山岩等地质样品的采集。电视抓斗克服了盲目取样、取样量小的缺点,可直接根据海底观察情况获得大容量的样品。另外,调查人员通过在电视抓斗取样器外围添加推进器,使取样器在一定范围移动并变换抓斗自身的位置,可以提高取样效率^[23]。

2.1.4 多管取样器

多管采样器多用于海底生物环境调查,可以获得扰动小的表层沉积物和底层海水,采集附着在海底的冷泉生物。采集的底层海水可进行水体甲烷和溶解氧测试分析。多管取样器具有采集样品量大、原始性保持好、质量高等特点(图4)。

2.1.5 水下机器人

水下机器人按移动方式分为非坐底爬行式和坐底爬行式2种类型。水合物调查中使用较多的是非坐底爬行式水下机器人,包括自主式水下机器人(AUV)和遥控水下机器人(ROV)。AUV无需电缆遥控,活动范围大,探测能力强,但悬停定位、稳定作业能力不足;而ROV依靠多个不同方向的推进器提供稳定推力,可精确移动定位和作业,但活动范围受拖缆的限制^[24]。目前海底地质采样主要使用ROV(图5)。ROV借助自身携带的机械臂,可抓取海底岩石、碳酸盐结壳、热液矿产、海底生物等。

2.2 重力柱状取样器

重力柱状取样器主要用于采集海底表层以下



图4 多管取样器

Fig.4 Multi-corer sampler

几米到几十米范围内的未固结和半固结沉积物(图6)。柱状样从海底表层向下延伸了一定距离,相对于表层样,纵向采样范围扩大,能够获取到更多的沉积物样品。通过对柱状样品的分析,可以了解取样点位在一定地质历史时期内的沉积演化历史和环境变化等重要信息。另外,通过柱状取样能够获取到赋存于浅表层沉积物中的矿产资源信息。在水合物富集区可直接通过柱状取样器获取浅表层水合物样品^[25](图7)。

2.3 海底钻探

依托于大洋钻探船的海洋钻探系统和直接下放到海底的海底取样钻机也是水合物勘查中经常用到的取样装备。大洋钻探船类似于海洋石油钻



图5 ROV及其在水合物赋存区采集到的碳酸盐结壳

Fig.5 ROV and carbonate crust collected in hydrate occurrence area



图 6 海上重力柱状取样作业

Fig.6 Offshore gravity column sampling

井平台,作业时大洋钻探船依靠自身的动力定位系统保持船体姿态和位置稳定,利用钻探船上的井架将钻杆和钻进系统送入海底进行钻探取样。相比海洋石油钻井平台,大洋钻探船移动更加灵活,可实现多个站位连续钻探作业,最大钻探深度可达几千米。深海钻探计划(DSDP)、大洋钻探计划(ODP)和综合大洋钻探计划(IODP)相继实施了一

系列的水合物钻探工作^[26],有力推动了水合物勘查工作的进程。

海底取样钻机与传统的海洋钻探系统有着完全不同的工作方式,传统的海洋钻探系统需要依托钻探船或钻井平台,利用钻探船上的井架将钻杆和钻进系统送入海底进行钻探取样,而海底取样钻机是一种钻探系统完全位于海底作业的钻探设备,可获取海底几百米的沉积物样品。海底钻机在水下工作时与母船只需一条具有通讯、供电和承载功能的脐带缆即可实现海底钻机的下放与回收、远程的能量供应和通讯控制(图 8)。与传统的海洋钻探系统相比,海底钻机具有设备体积小、钻探成本低、效率高、易操作和船舶适应性强等优点^[27],已成为海底资源与环境调查、海洋科学考察的重要调查装备。

2.4 保温保压取芯器

为准确评价海洋天然气水合物资源量,查清水

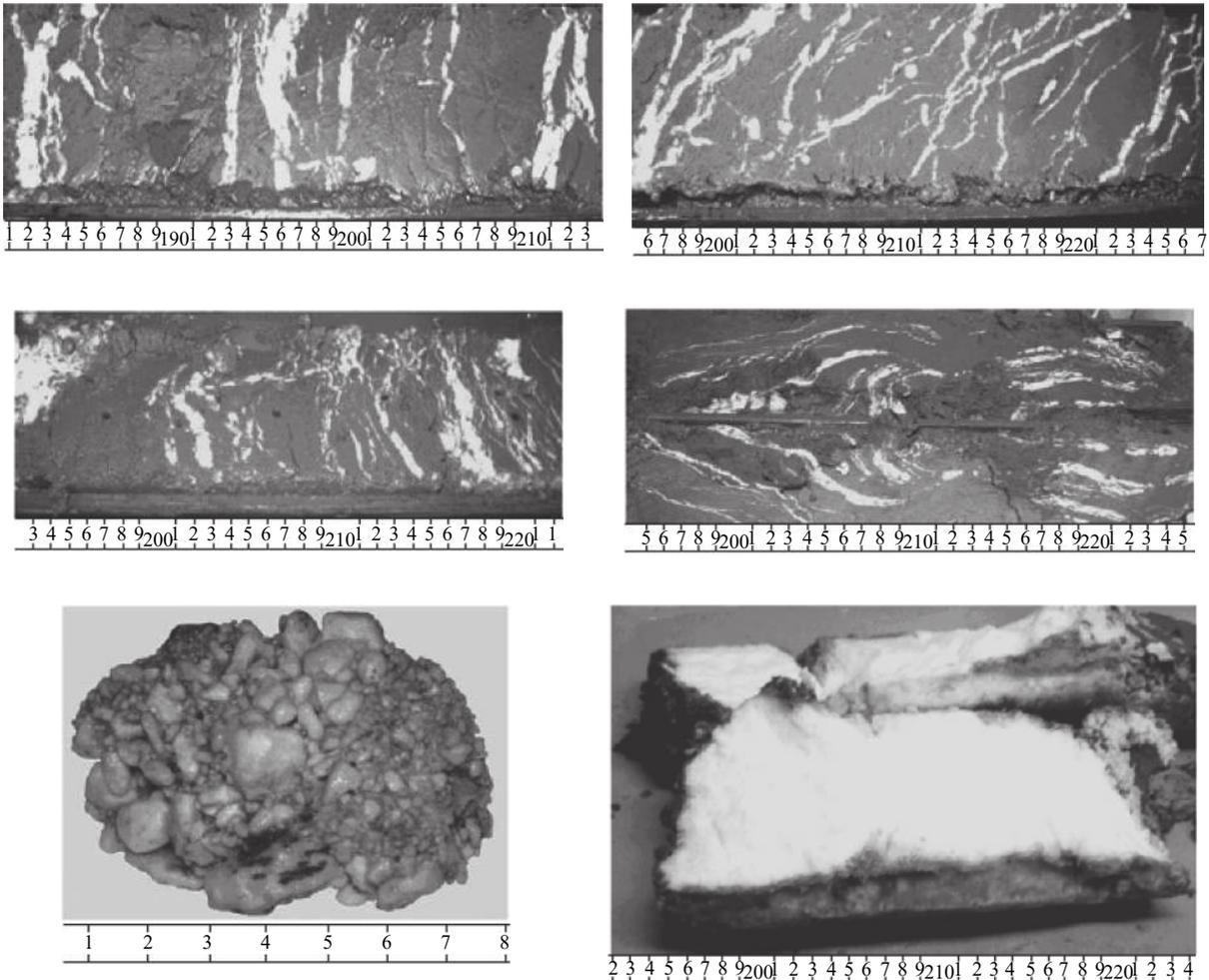


图 7 利用沉积物重力取样器在鄂霍次克海取到的水合物样品^[25]

Fig.7 Hydrate samples taken in the Sea of Okhotsk by sediment gravity sampler^[25]

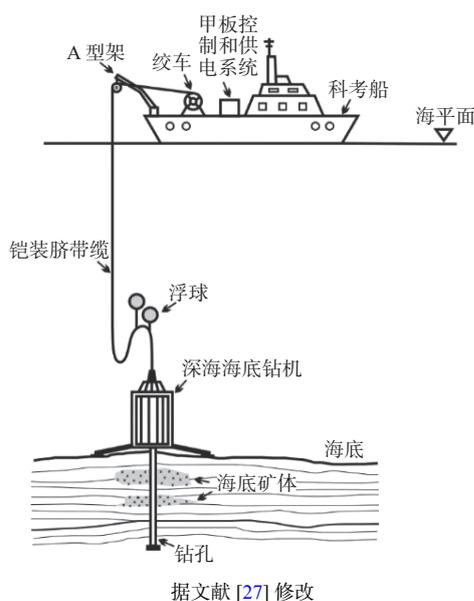


图8 海底取样钻机工作原理

Fig.8 Working principle of subsea sampling drilling rig

合物的赋存状况,需要获取大量的水合物实物样品。水合物是在海底以下高压低温的条件下形成的,一旦脱离原有的形成条件就会分解。常规取样方法无法确保整个取芯过程中能够保持样品所需的温压条件,在被取出原位地层进入取芯筒直至上提到甲板的过程中,水合物会因为温压条件的改变而发生部分或全部分解,不利于后续分析水合物在地层中的产状和物理化学特征,这就需要使用合适的取芯装置,以确保将来自原位的水合物样品在提升至甲板的过程中不发生分解。为实现这一目标,必须研发专门针对水合物采样的新型取芯技术和装备以用于水合物勘查。

美国、日本、欧盟等发达国家先后开展了水合物保温保压取样工具的研发,已研制出多种类型的水合物保温保压取样工具,这些钻具借助于ODP、DSDP、IODP等国际大洋钻探计划以及诸多以水合物为目的的商业钻探航次的实施,在实践中不断完善,已成功应用于不同海域的水合物钻探取样工作^[28]。

3 海洋天然气水合物取芯样品现场处理与分析

岩芯样品的现场处理与测试是水合物钻探取样的重要环节^[29]。水合物形成的原有温压条件发生改变后会迅速分解,因此,水合物样品从取芯管中取出后,要在尽可能短的时间对样品进行相关的分析测试和处理保存。

通常的做法是:①将取样管移入船载实验室,实验室内配备有温度控制系统、不间断电源、样品处理台、地球化学测试仪器、液氮罐和超低温冰箱等设备;②将取样管放到实验室的样品处理台上,用红外线热成像仪测定管内岩芯的温度异常,确定水合物赋存层段并做好标记,并测定岩芯的物性参数;③将样品管剖开,一分为二,把柱状样品中的部分水合物取出后用气相色谱分析其气体成分组成,另一部分包装好放入液氮罐中;④对发现温度异常的岩芯样品切分,按特定的间隔依次取一定量的沉积物放入孔隙水压榨机中,现场压榨并收集孔隙水,并用离子色谱分析孔隙水氯离子、硫酸根离子等化学成分的含量;⑤对不含水合物的岩芯样品,利用船载分析测试仪器测定样品的物性参数,做好记录;⑥最后对剩余样品分类包装后放入液氮罐或超低温冰箱中冷冻保存,用于后续研究。

3.1 红外测温

水合物样品从海底原位地层回收到钻探船甲板的过程中,由于温压条件变化,沉积物中赋存的水合物会发生分解。水合物在分解过程中会吸收大量的热,使周围的温度发生明显的降低。利用红外线热成像仪测定取样管中温度的异常变化,可以快速确定岩芯中水合物的分布位置(图9)。

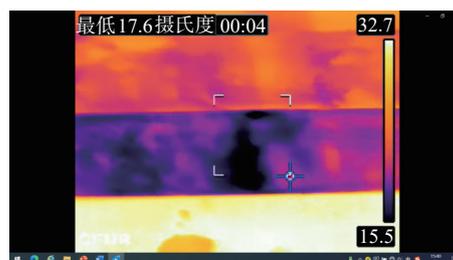


图9 红外线热成像仪检测到取样管内的温度异常
Fig.9 Abnormal temperature in sampling tube detected by infrared thermal imager

3.2 岩芯物性参数测试

通常利用岩芯多参数测试设备,快速测定并掌握岩芯的物性参数,包括:P波速度、伽玛密度、电阻率、磁化率、颜色光谱、自然伽玛辐射、表面高清光学成像、高分辨率XRF元素浓度、高光谱成像、可见光近红外地物光谱等。

3.3 岩芯中流体地球化学参数测试

沉积物中的流体地球化学异常是识别水合物

存在的重要标志。通过获取样品中的气体和沉积物孔隙水并对其进行分析, 能快速判断是否存在水合物。

3.3.1 岩芯中气体的获取与成分分析

岩芯中的气体主要以游离气、溶解气和吸附气的形式存在。水合物样品从海底回收到钻探船甲板后, 温压条件的改变促使水合物分解释放出甲烷气体, 取芯管内气体压力增加, 气体膨胀会导致取样管内样品发生断裂分离产生裂隙。为获取裂隙中的游离气体, 在剖开取样管之前, 一般会在出现裂隙的位置将取样管壁刺破, 利用注射器抽取其中的气体。溶解气和吸附气主要来自底层海水和沉积物孔隙水。水中溶解气主要利用真空法进行气体的提取, 水样采集之后须立即将其置于加有饱和食盐水的预抽真空的容器之中, 让水中溶解气体释放至容器顶部^[30]。沉积物中溶解气和吸附气收集主要是针对新鲜沉积物样品, 样品取到甲板上后, 迅速截取所需沉积物, 挑选适量样品置于装有饱和食盐水的特制玻璃瓶中封口, 使沉积物中的气体释放至玻璃瓶顶部。上述顶空气体收集完毕后, 使用注射器抽取气体, 并将注射器中的气体注入到分析仪中进行测试, 确定气体的组成和含量。

3.3.2 沉积物孔隙水的获取与成分分析

含水合物沉积物层段中孔隙水化学特征的异常变化与水合物的形成和分解有密切的关系, 通过测定沉积物样品中孔隙水化学特征的垂向变化, 可以确定水合物的产出层段, 推测地层中的甲烷通量。取样管回收到钻探船甲板后, 需要在尽可能短的时间内对样品进行处理并提取孔隙水, 防止外界环境的变化引起水合物分解和水分蒸发, 造成孔隙水的化学特征失真。沉积物孔隙水可采用压榨法和真空抽提法进行。压榨法主要适用于大体积孔隙水提取, 做法是截取一定厚度的沉积物岩芯样品于压榨装置内, 通过对沉积物加压来提取孔隙水(图 10)。真空抽提法适用于高分辨率小体积孔隙水的采集。做法是首先在取样管壁上打孔, 使用 RhizoSphere 公司的 Rhizo CSS 采样设备(图 11), 将采样管的一端通过小孔插入取样管, 另一端连接注射器并施加负压, 直至注射器管中充满孔隙水为止。采集到的孔隙水应根据分析项目的具体要求进行保存, 并完成相应的分析测试。



图 10 沉积物孔隙水压榨机
Fig.10 Sediment pore water press



图 11 抽虑法提取孔隙水
Fig.11 Extraction of pore water by suction method

4 结论

(1) 针对浅表层天然气水合物的赋存特征, 根据资源勘查不同调查目的, 建立了系统的地质取样技术方法和样品现场快速处置、保存体系。

(2) 针对浅表层天然气水合物赋存于近海底沉积物中、埋深较浅的特征及存在标志, 综合总结已有调查成果, 逐步完善浅表层水合物资源勘查中的表层取样、重力柱状取样、海底钻探和保温保压取芯等地质取样方法。调查中, 应根据勘查目标、水深、海底地形、底质类型和水合物产状等组合选配不同的采样方法和设备。

(3) 水合物调查采集样品回收到甲板后快速处置分析是水合物调查的重要环节。样品回收到甲板后首先经过热红外扫描和物性参数测定, 然后剖开样品管取出目标样品, 利用抽滤法或压榨法等方法收集样品的孔隙水和气体, 最后进行流体地球化学分析, 这些方法能够保证获得翔实、可靠的第一手测试数据。

参考文献:

- [1] 吴能友, 梁金强, 王宏斌, 等. 海洋天然气水合物成藏系统研究进展[J]. 现代地质, 2008, 22(3): 356-362.
- [2] HESTER K C, BREWER P G. Clathrate hydrates in nature[J].

- Annual Review of Marine Science*, 2009, 1(1): 303-327.
- [3] 邵黛黛, 吴能友, 付少英, 等. 南海北部东沙海域水合物区浅表层沉积物的地球化学特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2010, 30(5): 41-51.
- [4] 蔡峰, 吴能友, 闫桂京, 等. 海洋浅表层天然气水合物成藏特征[J]. 海洋地质前沿, 2020, 36(9): 73-78.
- [5] 孙运宝, 蔡峰, 李清, 等. 海洋浅表层天然气水合物资源评价[J]. 海洋地质前沿, 2020, 36(9): 87-93.
- [6] LIANG J Q, ZHANG W, LU J A, et al. Geological occurrence and accumulation mechanism of natural gas hydrates in the eastern Qiongdongnan Basin of the South China Sea: insights from site GMGSS-W9-2018[J]. *Marine Geology*, 2019, 418: 1-19.
- [7] MATSUMOTO R, TANAHASHI M, KAKUWA Y, et al. Recovery of thick deposits of massive gas hydrates from gas chimney structures, eastern margin of Japan Sea: Japan Sea shallow gas hydrate project[J]. *Fire in the Ice*, 2017, 17(1): 1-22.
- [8] 骆迪, 蔡峰, 闫桂京, 等. 浅表层天然气水合物高分辨率地震勘探方法与应用[J]. 海洋地质前沿, 2020, 36(9): 101-108.
- [9] 吴能友, 李彦龙, 刘乐乐, 等. 海洋天然气水合物储层蠕变行为的主控因素与研究展望[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2021, 41(5): 3-11.
- [10] 刘昌岭, 孙运宝. 海洋天然气水合物储层特性及其资源量评价方法[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2021, 41(5): 44-57.
- [11] 张训华, 赵铁虎. 海洋地质调查技术[M]. 北京: 海洋出版社, 2018.
- [12] PECKMANN J, REIMER A, LUTH U, et al. Methane-derived carbonates and authigenic pyrite from the northwestern Black Sea[J]. *Marine Geology*, 2001, 177(1/2): 129-150.
- [13] PECKMANN J, THIEL V. Carbon cycling at ancient methane-seeps[J]. *Chemical Geology*, 2004, 205(3/4): 443-467.
- [14] SASSEN R, ROBERTS H H, CARNEY R, et al. Free hydrocarbon gas, gas hydrate, and authigenic minerals in chemosynthetic communities of the northern Gulf of Mexico continental slope: relation to microbial processes[J]. *Chemical Geology*, 2004, 205(3/4): 195-217.
- [15] TEICHERT B, BOHRMANN G, SUESS E. Chemohermes on Hydrate Ridge: unique microbially-mediated carbonate build-ups growing into the water column[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2005, 227(1/3): 67-85.
- [16] 马晓理, 刘丽华, 徐行, 等. 南海南部浅表层柱状沉积物孔隙水地球化学特征对甲烷渗漏活动的指示[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2021, 41(5): 112-125.
- [17] HESSELBO S P, GROCKE D R, JENKYN H C, et al. Massive dissociation of gas hydrate during a Jurassic oceanic anoxic event[J]. *Nature*, 2000, 406: 392-395.
- [18] 梁金强, 王宏斌, 苏丕波. 天然气水合物成藏的控制因素研究[M]. 北京: 地质出版社, 2018.
- [19] SAHLING H, RICKERT D, LEE R W. Macrofaunal community structure and sulfide flux at gas hydrate deposits from the Cascadia convergent margin, NE Pacific[J]. *Marine Ecology Progress*, 2002, 231: 121-138.
- [20] TRÉHU ANNE, CAROLYN R, MELANIE H, et al. Gas hydrates in marine sediments: lessons from scientific ocean drilling[J]. *Oceanography*, 2006, 19(4): 124-142.
- [21] 曾宪军, 伍忠良, 郝小柱. 海洋地质调查方法与设备综述[J]. *气象水文海洋仪器*, 2009, 26(1): 111-117, 120.
- [22] 黄永祥, SUESS E, 吴能友. 南海北部陆坡甲烷和天然气水合物地质: 中德合作SO-177航次成果专报[M]. 北京: 地质出版社, 2008.
- [23] 杨楠, 任旭光, 王俊珠, 等. 深海移动电视抓斗海洋地质调查中的应用[J]. *机械工程与技术*, 2018, 7(5): 7.
- [24] 陈虹, 王心亮, 魏伟, 等. 深海爬游机器人概念及关键技术分析[J]. *中国舰船研究*, 2018, 13(6): 19-26.
- [25] OBZHIROV A I, EMELYANOVA T A, TELEGIN Y A, et al. Gas flows in the Sea of Okhotsk resulting from Cretaceous-Cenozoic tectonomagmatic activity[J]. *Russian Journal of Pacific Geology*, 2020, 14(2): 156-168.
- [26] 张炜, 邵明娟, 姜重昕, 等. 世界天然气水合物钻探历程与试采进展[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2018, 38(5): 1-13.
- [27] 谢焜, 金永平, 李兰香, 等. 深海海底钻机用铠装脐带缆有限元分析[J]. *矿业工程研究*, 2020, 35(3): 34-40.
- [28] 刘协鲁, 阮海龙, 赵义, 等. 海域天然气水合物保温保压取样钻具研究与应用进展[J]. *钻探工程*, 2021, 48(7): 33-39.
- [29] 刘昌岭, 孟庆国. 天然气水合物实验测试技术[M]. 北京: 科学出版社, 2016.
- [30] 梁金强. 海域天然气水合物资源勘查技术[M]. 北京: 科学出版社, 2020.

Geological sampling method and on-site processing of coring samples of marine shallow gas hydrate

DONG Gang^{1,2}, CAI Feng^{1,2*}, SUN Zhilei^{1,2}, YAN Guijing^{1,2}, LIANG Jie^{1,2}, LI Qing^{1,2}, SUN Yunbao^{1,2},
LI Ang^{1,2}, LUO Di^{1,2}, ZHAI Bin^{1,2}, GUO Jianwei^{1,2}, DOU Zhenya^{1,2}

(1 Key Laboratory of Gas Hydrate of Ministry of Land and Resources, Qingdao Institute of Marine Geology, China Geological Survey, Qingdao 266237, China; 2 Laboratory for Marine Mineral Resources, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266237, China)

Abstract: In the geological survey of natural gas hydrate, various geological data are usually obtained by geological, geophysical, geochemical and other survey methods. Among them, marine geological sampling can directly obtain the physical samples of the seabed, which is an important means in marine geological survey. Shallow gas hydrate exists in near seabed sediments. Hydrate samples and their existence markers can be obtained directly in the exploration target area by using appropriate geological sampling methods. Based on the indicators and occurrence characteristics of shallow surface hydrate, combined with the successful experience of previous investigation, this paper summarizes the geological sampling methods suitable for shallow surface hydrate, mainly including seabed surface sampling, gravity column sampling, seabed drilling and thermal insulation and pressure maintaining coring. The types of samples taken by different sampling methods are also different, which should be optimized according to the actual geological characteristics. According to the occurrence characteristics of shallow gas hydrate, a set of on-site processing and analysis methods of marine gas hydrate coring samples are established. The rapid processing and analysis of hydrate samples after being recovered to the deck is an important link of hydrate investigation, and the correct on-site processing method is the key to ensure the accuracy of sample testing.

Key words: shallow gas hydrate; occurrence characteristics; geological sampling method; on-site sample processing