

DOI: 10.3724/SP.J.1140.2009.06145

# 一种深海沉积物孔隙水原位气密采样器

陈道华<sup>1</sup>, 吴宣志<sup>2</sup>, 祝有海<sup>2</sup>, 雷知生<sup>1</sup>, 姜正陆<sup>3</sup>, 徐著华<sup>3</sup>, 赵宏宇<sup>3</sup>

(<sup>1</sup> 广州海洋地质调查局, 广州 510075; <sup>2</sup> 中国地质科学院 矿产资源研究所, 北京 100037; <sup>3</sup> 四川海洋特种技术研究所, 成都 610043)

**摘要:** 报道了一种新研制的深海沉积物孔隙水原位气密采样器, 详细介绍了该采样器的结构构造、设计特点及工作原理。实验室模拟和海上试验显示, 该采样器可成功进行海底沉积物孔隙水的原位气密采集; 采样器工作水深范围 500~4 200 m, 沉积物采样深度 3~5.5 m, 一次可采集 11 瓶孔隙水, 每瓶最小采水量大于 100 mL。

**关键词:** 深海沉积物; 原位; 孔隙水; 气密采样器

**中图分类号:** P 742

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0256-1492(2009)06-0145-04

深海沉积物孔隙水原位气密采样器的研制与开发是“十一五”863 海洋高新技术重大项目“天然气水合物勘探开发关键技术”中“流体地球化学现场快速探测技术”研究项目的一个重要部分。海底沉积物孔隙水的原位采集及现场分析技术, 可快速探测孔隙水中  $\text{CH}_4$ 、 $\text{H}_2\text{S}$  等气体和  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  等离子的异常及其分布特征, 为天然气水合物探查提供快速、高效的地球化学证据, 同时, 孔隙水原位采集技术还可广泛应用于海洋油气和海洋环境调查中。孔隙水的提取有两种途径, 一种是先采集沉积物后, 再在实验室进行孔隙水的提取, 即非原位的孔隙水提取, 通过压榨、离心和真空过滤抽提等一些手段进行<sup>[1-9]</sup>, 但这些方法均将导致孔隙水中的溶解气体逃逸、有机组分分解、变价离子氧化, 难以反映孔隙水的原始成分和信息, 特别是溶解气体的信息将消失殆尽。另一种是原位的孔隙水提取, 对于沉积物孔隙水的原位采集, 研究主要集中于潮间带、湖泊、沼泽地的孔隙水采集, 包括离心、压滤、透析、泵吸等方法<sup>[7-19]</sup>。对于海洋沉积物原位孔隙水的采集, 由于压力、腐蚀等原因, 技术难度比较高, 加上需动用大的船只, 因此, 这方面的研究较少。Sayles(1975)和 Barnes(1973)曾做过一些相关的孔隙水采集设备研究, 其中 Barnes 研制的采样器采样深度较深, 孔隙水采样量较少(10 mL), 只适用于松散的海底底质<sup>[17]</sup>; Sayles 等人研制的采样器只能采集海底两米以上表层沉积物的孔隙水, 孔隙水采样量较少, 最多只有 10 mL<sup>[18]</sup>, 这两种采样器均可保气。本文报道的自主研发的采样系统可实现海底沉积物孔隙水样

品原位气密采集, 最大工作水深超过 4 000 m, 沉积物采样深度不低于 5 m, 孔隙水采集间距 0.5 m, 每个层位采水量不少于 100 mL, 较好地解决了天然气水合物资源调查中对深海沉积物孔隙水原位采集的需求。

## 1 结构与设计

孔隙水原位采样系统(图 1)由多个采样瓶串接而成采样柱, 底部加锥头, 上部分主要由计算机控制桶、电池桶、平衡桶、配重铅块组成, 通过上压板、下压板和固定螺栓固定。各个采样瓶的采水关闭控制, 通过引线管里的引线来连接水下计算机和进水阀进行控制, 引线管旁还装有一霍耳触发管。

## 2 工作原理

孔隙水原位气密采样器下水前, 先对采样瓶进行逐个抽真空, 通过船上绞车钢缆连接吊入海中, 工作水深 1 000~4 000 m 不等, 采样器靠自重贯入到沉积物中, 在海底若水深为 1 000 m, 则海水压力为 10 MPa, 若水深为 4 000 m, 则水压为 40 MPa, 利用采样器内外的强大静水压力差, 使不同层位的沉积物孔隙水通过过滤层进入到采样器中, 完成孔隙水的高效采集。

## 3 关键技术

### 3.1 采样瓶保气技术

采样瓶(图 2)由 45 号钢材加工制成圆柱体, 储水室内腔直径 30 mm, 高 160 mm, 容积 113 mL, 外腔直径 89 mm, 高 540 mm(含 40 mm 的接合段),

基金项目: 国家高技术研究发展计划(2006AA09A204)

作者简介: 陈道华((1968—), 男, 高级工程师, 主要从事地球化学研究和地质测试分析, E-mail: chendh@163.com

收稿日期: 2009-07-13; 改回日期: 2009-10-12. 周立君编辑

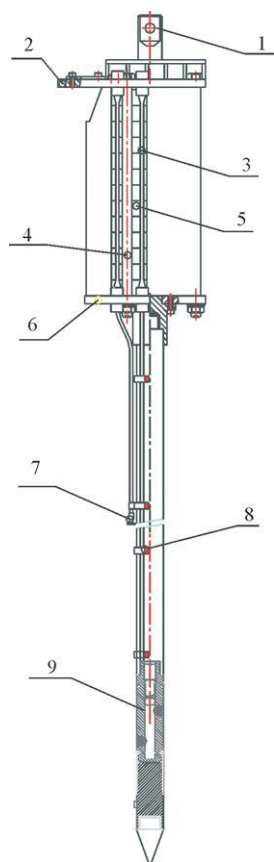


图 1 孔隙水原位采样系统结构示意图  
1-提杆; 2-上压板; 3-引线管; 4-固定螺栓; 5-配重铅块;  
6-下压板; 7-触发器; 8-卡扣; 9-采样瓶  
Fig. 1 Configuration drawing for in situ  
pore water sampler system

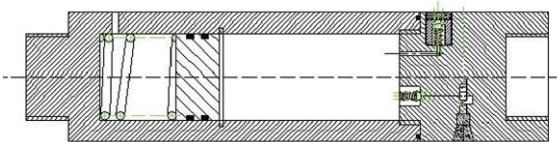


图 2 采水瓶结构  
Fig. 2 Sampling bottle structure drawing

储水室一侧为抗压水密气密阀门, 储水室另一侧为用活塞密封的缓冲室, 直径 36 mm, 高 60 mm, 扣除弹簧高 20 mm, 有效容积 40 mL。活塞外空间与采样瓶外部空间相通。下海前将采样瓶抽真空 (以防大气污染), 阀门密封。在采水之前, 活塞在弹簧弹性力作用下紧贴储水室顶面, 缓冲室容积为零; 采样器插入沉积物采水后阀门关闭, 采样器上提, 由于采样瓶内储水室压力大于外界压力, 推动活塞移动, 释放了内部压力, 使之仅稍高于外压 (压力差相当于活塞弹簧压力)。采样器在整个上提回收过程中, 采取压力自适应措施, 通过活塞的不断移动使采样瓶的

内外压力保持平衡, 当采样器回收到甲板时, 这时采样瓶压力已基本释放至 1 个大气压, 但是采样瓶内的孔隙水和气体除了膨胀外不会损漏, 从而达到了气密的目的。

3.2 采样器采水过滤技术

采样器在不同工作水深条件下进行孔隙水采集, 由于采样器内外压差巨大 (例如 4 000 m 采水时压差高达 40 MPa), 要实现孔隙水的顺利采集, 就要达到泥、水的完全分离并需保证泥沙不进入孔隙水采样器, 否则将会损坏阀门, 甚至损坏采样设备, 因此对于过滤层的选择和设置都非常关键。采样器过滤层设置为 4 层, 采样器进水口的滤芯用不锈钢纤维烧结毡作为支撑层, 其表面覆盖两层微孔过滤膜 (孔径 0.22  $\mu\text{m}$ ), 最表层为不锈钢筛网保护层 (图 3)。支撑层纤维烧结毡是由 316L 不锈钢纤维经过高温、真空保护在烧结炉内烧结而成。经过烧结后的烧结毡强度高, 结构稳定, 抗腐蚀性好, 因其还具有三维网状多孔结构, 孔隙率高, 表面积大, 孔隙微小, 分布均匀等特点, 经试验证明是理想的调节压差、控制流速的过滤孔隙水材料。



图 3 不锈钢纤维烧结毡  
Fig. 3 Sintered felt of stainless steel fiber

通过实验室模拟试验对过滤层及采水速率控制进行了多次试验。试验采用海底沉积物和海水, 模拟 100、1 000、4 000 m 水深 3 种情况, 施加的初始水围压分别为 1、10 和 40 MPa。试验中过滤膜重复使用, 但每次试验前均对过滤膜及网孔板进行清洗。每种压力重复做两次试验, 共进行了 6 次, 分别记录时间和滤出水量 (图 4), 试验表明在高压下采集孔隙水的可行性。采集 100 mL 的孔隙水量, 在 1 MPa 的压力下, 大约需要 4 min 的时间, 随着压力的增大, 采水时间会相应缩短。同时, 试验还发现经过 4 min 压滤后过滤层上沉积物被压实成 1~2 cm 厚的滤饼, 施加的围压愈大, 形成的滤饼愈厚、愈

致密。

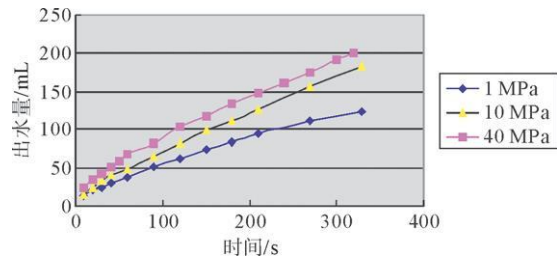


图 4 不同模拟压力采水累计流量

Fig. 4 The cumulative amount of water collected under different pressures

3.3 采样瓶进水阀

采样瓶进水阀为常闭电磁阀, 最大工作压力 45 MPa, 开启电压 12 ~ 24 VDC。采样时, 孔隙水流经过滤层, 通过 8 个环状分布的通道进入到阀门, 电磁铁在开启电压下将会打开阀门, 这时孔隙水便可以由阀门进入到采样瓶储水室中, 当采水到达预定工作时间后, 储水室已储满孔隙水, 电磁铁断电, 阀门自动关闭, 完成孔隙水的采集。

3.4 孔隙水采集过程监控技术

采用自行设计的沉积物孔隙水原位采集程序 ISESPW (In Site Extraction of Sediment Pore Water), 通过水下计算机实现对孔隙水采样器的布放、回收和采样器开/闭采水过程的全自动监控。预先在甲板上将计算机通过 RS232 口和配套串口电缆连接水下计算机, 设定 3 个采样器工作参数:

- 1.sleep\_time—休眠时间, 根据水深及采样器投放时间而定, 在此期间计算机不接受触发信息。
- 2.open\_delay—缓冲触发时间, 计算机在休眠结束后开始累计缓冲时间, 同时接收触发信号, 如果在缓冲时间内连续收到 3 个触发信号即认为有效触发, 将开启采样阀门进行采样, 如果累计缓冲时间达到 open\_delay 尚未收到有效触发信号, 也开始采样。通常设定 open\_delay 时间为 10 s。
- 3.close\_delay—电磁阀打开的持续时间, 即采水持续时间, 根据水深及试验经验参数而定。

当采样器准备完毕后, 给水下计算机加电, 即自动运行 ISESPW。

4 试验结果

深海沉积物孔隙水原位气密采样器在陆地实验

室取得模拟试验成功后, 于 2009 年 5 月随“海洋四号”船在南海北部进行了 3 次孔隙水原位采集, 工作水深 1 420 ~ 4 156 m, 沉积物采样深度 3 ~ 5.5 m, 采样器最多可采集 11 瓶孔隙水, 3 次试验全部采样瓶基本都采满了孔隙水, 其中最大采水量 122 mL, 最小采水量 105 mL。通过试验验证了深海沉积物孔隙水原位气密采样器的可靠性和稳定性, 实现了天然气水合物资源调查、海洋油气和海洋环境调查等对深海沉积物原位气密孔隙水采集的需求。

参考文献 (References)

[ 1 ] 林玉环, 郭明新. 底泥中重金属毒性的室内孔隙水分析技术 [ J ]. 环境化学, 1998, 17 ( 3 ): 218-224. [ LIN Yuhuan, GUO Mingxin. Laboratory pore water analytical technique for assessing toxicity of heavy metals in sediment [ J ]. Environmental Chemistry, 1998, 17(3): 218-224.]

[ 2 ] Schacht U, Wallmann K, Kutterolf S et al. Volcanogenic sediment seawater interactions and the geochemistry of pore waters [ J ]. Chemical Geology, 2008, 249: 321-338.

[ 3 ] 刘素美, 张经. 沉积物间隙水的几种制备方法 [ J ]. 海洋环境科学, 1999, 18 ( 2 ): 66-71. [ LIU Sumei, ZHANG Jing. Sediment pore water sampling techniques [ J ]. Marine Environmental Science, 1999, 18(2): 66-71.]

[ 4 ] 程思海, 陆红锋. 海洋沉积物孔隙水的制备方法 [ J ]. 岩矿测试, 2005, 24 ( 2 ): 102-104. [ CHENG Sihai, LU Hongfeng. Techniques for marine sediment pore-water sampling [ J ]. Rock and Mineral Analysis, 2005, 24(2): 102-104.]

[ 5 ] Ridout R M, Pagett P S. A large volume sediment squeezing system for the analysis of rare earth elements in deep ocean pore waters [ J ]. Marine Chemistry, 1984, 15(3): 193-201.

[ 6 ] De Lange G J, Cranston R E, Hydes D H, et al. Extraction of pore water from marine sediments: A review of possible artifacts with pertinent examples from the North Atlantic [ J ]. Marine Geology, 1992, 109(3): 53-76.

[ 7 ] Bertolin A, Rudello D, Ugo P. A new device for in-situ pore-water sampling [ J ]. Marine Chemistry, 1995, 49 ( 4 ): 233-239.

[ 8 ] Nayar S, Miller D, Bryars S, et al. A simple, inexpensive and large volume pore water sampler for sandy and muddy substrates [ J ]. Estuarine Coastal and Shelf Science, 2006, 66 ( 3 ): 298-302.

[ 9 ] Jacobs P H. A new rechargeable dialysis pore water sampler for monitoring sub-aqueous in-situ sediment caps [ J ]. Water Research, 2002, 36(12): 3121-3129.

[ 10 ] Hursthouse A S, Iqbal P P, Denman R S. Sampling interstitial waters from intertidal sediments: an inexpensive device to overcome an expensive problem? [ J ]. Analyst, 1993, 118: 146-147.

[ 11 ] Davis A, Galloway J N. Distribution of Pb between sediments and pore water in Woods Lake, Adirondack State Park, New York, USA [ J ]. Applied Geochemistry, 1993, 8: 51-65.

[ 12] Lambert B, Page C L, Short N R. Pore solution chemistry of the hydrated system tricalcium silicate/ sodium chloride/ water [ J] . Cement and Concrete Research, 1985, 15: 675-680.

[ 13] Erftemeijer P L A, Middleburg J J. Sediment-enutrient interactions in tropical seagrass beds: a comparison between a terrigenous and a carbonate sedimentary environment in South Sulawesi (Indonesia) [ J] . Marine Ecology Progress Series, 1993, 102: 187-198.

[ 14] Carignan R. Interstitial water sampling by dialysis: methodological notes [ J] . Limnology and Oceanography, 1984, 29: 667-670.

[ 15] Martin J B, Hartl K M, Corbett D R, et al. A multi-level pore-water sampler for permeable sediments [ J] . Journal of Sedimentary Research, 2003, 73: 128-132.

[ 16] Fourqurean J W, Knollmeyer S L, Tuugel J B. Relationships between porewater nutrients and sea grasses in subtropical carbonate environment [ J] . Marine Biology, 1992, 114: 57-65.

[ 17] Barnes R O. An in situ interstitial water sampler for use in unconsolidated sediments [ J] . Deep Sea Research, 1973, 20: 1125-1128.

[ 18] Sayles F L, Mangelsdorf P C, Wilson T R S, et al. A sampler for the in situ collection of marine sedimentary pore waters [ J] . Deep Sea Research, 1976, 23: 259-264.

AN IN SITU GAS-TIGHT PORE WATER SAMPLER  
FOR DEEP-SEA SEDIMENTS

CHEN Daohua<sup>1</sup>, WU Xuanzhi<sup>2</sup>, ZHU Youhai<sup>2</sup>, LEI Zhisheng<sup>1</sup>,  
JIANG Zhenglu<sup>3</sup>, XU Zhuhua<sup>3</sup>, ZHAO Hongyu<sup>3</sup>

(1 Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou 510075, China;

2 Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

3 Sichuan Institute of Special Sea Technology, Chengdu 610043, China)

**Abstract:** This paper presents a new-developed in situ gas-tight pore water sampler for deep-sea sediments, particularly introducing its configuration, feature and working principle. Marine tests and laboratory simulations showed that the sampler was able to be employed to sample pore water of the seafloor sediments with thicknesses of 3 ~ 5.5 m, at water depths between 500 and 4 200 m under the sea, and can simultaneously obtain 11 bottles of pore water, each of which is more than 100 mL at volume.

**Key words:** deep sea sediments; in situ; pore water; gas-tight; sampler