

天然气水合物取样装置的研究现状及进展^{*}

朱海燕¹ 刘清友¹ 王国荣¹ 俞祖英² 姜正陆² 钟雨师¹

1.“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室·西南石油大学 2.四川海洋特种技术研究所

朱海燕等.天然气水合物取样装置的研究现状及进展.天然气工业,2009,29(6):63-66.

摘要 天然气水合物是一种潜在的巨大能源,发展天然气水合物勘探技术,准确确定天然气水合物的分布与蕴藏量,对我国天然气水合物产业的建立具有至关重要的作用。在调研国内外相关资料的基础上,介绍了目前国内外天然气水合物取样装置的研究现状,包括深海潜水观测取样装置、深海浅孔取样装置和深海深孔取样装置。并建议开展海洋钻井船的研制工作,可优先考虑将石油勘探钻井船改装成天然气水合物勘探钻井船;同时还要保证其取样位置的稳定性,可采取动平衡原理,通过涡轮旋转来抵消海流的作用。与深海深孔取样技术配套的海洋钻井船,可实现对深海的天然气水合物的钻探取样工作。

关键词 天然气水合物 取样 装置 钻井船 研究

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2009.06.018

0 引言

天然气水合物的勘探方法主要有3种^[1-3]:①地震勘探法,如地震地球物理探查、电磁探测、流体地球化学探查、海底微地貌勘测等;②测井识别法,分为随钻测井法和电缆测井法;③勘探取样法,即地质取样法,采用取样装置从海底取出沉积物样品,该方法是证实天然气水合物存在的直接手段。目前,在世界海域内已有60处直接或间接发现了天然气水合物,其中在18处钻探岩心中见到了天然气水合物,42处有天然气水合物的地震标志BSR^[2-3]。国内对天然气水合物的勘探刚刚起步,开展天然气水合物勘探取样装置的研究工作意义重大。

1 深海潜水观测取样装置

深海潜水观测取样装置,主要是应用深潜器HOV(Human Occupied Vehicles)对暴露在海底的天然气水合物进行观测和取样^[4]。深潜器主要用于深海的观测,同时可取得海底表面岩心或海水的少量样品。目前世界上可用的载人深潜器共有5台^[5],分别是日本的“深海6500”号、美国的“阿尔文”

号、法国的“鹦鹉螺”号、俄罗斯的“和平”号及“密斯特”号,它们的最大深潜深度均为6 500 m^[6-8]。我国“十五”国家高技术研究发展计划(863计划)重大专项研制的“和谐号”潜水器,最大下潜深度为7 000 m,由载人舱、调压水舱、浮力材料、2个配重块、摄像机、采样篮和机械手等组成。当需要下潜时,调压水舱注水,开始下潜;当需要在水中悬停时,抛出1个配重块,实现悬停;可调压载水舱主要用于潜水器的下潜;浮力材料增加潜水器的浮力;推力器提供潜水器换向以及前进的动力;摄像机用于海底成像;采样篮和机械手用于海底采样。该潜水器在深海7 000 m的高压、低温环境下,可连续工作7 h。

2 深海浅孔取样装置

深海浅孔取样装置包括:电视抓斗、重力活塞式取样器、液压油缸驱动取样钻具和HYACE系统等,主要用于取样深度较浅(一般不超过10 m)的取样作业。

2.1 电视抓斗

电视抓斗主要用于大洋矿产资源勘查,特别是大洋富钴结壳勘查、海底热液硫化物的前期调查以

^{*} 本文受到国家高技术研究发展计划(863计划)“天然气水合物钻具液压驱动及保温保压取心系统的研制”(编号:2004AA611012)的资助。

作者简介:朱海燕,1984年生,硕士研究生;2006年毕业于西南石油大学机械工程及自动化专业;主要从事石油钻采装备与工具的研究工作。地址:(610500)四川省成都市新都区西南石油大学硕06级5班。电话:(028)83032037,13540892716。E-mail:zhuhaiyan040129@163.com

及海底天然气水合物的勘探^[9]。电视抓斗通过爪斗机构控制斗体的闭合来抓取样品,不具备保温保压功能。最初的电视抓斗是于20世纪70年代末由德国 Preussag 公司研制的。1996年德国 E Suess 教授等人,用巨大抓斗在约800 m水深下的海底浅表沉积物处(约50 cm深)取到了大量的层块状天然气水合物,以及一些小结核和小块状天然气水合物。目前,我国“十五”国家高技术研究发展计划大洋矿产资源勘查(取样)项目研制出的贝壳式电视抓斗,最大工作水深可达到6 000 m,抓样面积大于等于1 m²,在南海进行海洋试验期间,单次抓取的板状贝壳样品重达500 kg。

2.2 重力活塞取样器

重力活塞式取样器主要用于海底浅表层取样,施工时需配备调查船和满足要求的绞车及起吊设备,取样器切割头依靠自重,在离水底一定距离处自由落体插入沉积物中取样。在此过程中,活塞在取样筒内相对于取样筒向上移动,活塞与保真取样筒之间有较好的密封,在活塞的下方可以形成局部真空,样品顺利地进入取样筒内。取样器回收时,活塞带动保真取样筒自下而上穿过球阀或平板阀,实现保压功能。活塞式取样管,可以推迟出现“桩效应”,提高取样率及降低对样品的扰动,目前国内外应用广泛,技术比较成熟。

1)国外早在20世纪50~60年代就盛行重力活塞取样器的理论研究和相应的科学实验^[10],法国调查船 Marion Dufresne 号上使用的 Kullenberg 型重型取心器重量达12 000 kg,样管长可达60 m,在北大西洋取到过最长达53 m的柱状岩心。这些取样器不具备保温保压功能,目前国外的重力活塞取样器主要向保温保压功能发展。

2)1986年中国科学院海洋研究所研制出我国第1台重力活塞取样器(CH型)^[11],可以采取3 m左右的岩心,在硬地层中取样管不超过3 m,在软泥黏土中可接10 m以上的管子。2004年栾刚发明了鏢式保温保压深水海床取样器^[12],此取样器采用高压球形阀和保压阀封闭取样管保压,防腐隔热罩设有保温隔热层实现样品的保温。

3)我国“十五”国家高技术研究发展计划大洋矿产资源勘查(取样)项目研制出的重力活塞式天然气水合物保真取样器^[13-14](图1),由重力活塞式取样机构、保真取样筒、附件与接口3部分组成。特点:回收主缆,可将样品转移到保真取样筒内;翻板阀密封上下封口,实现保压功能;采用蓄能器进行压力补

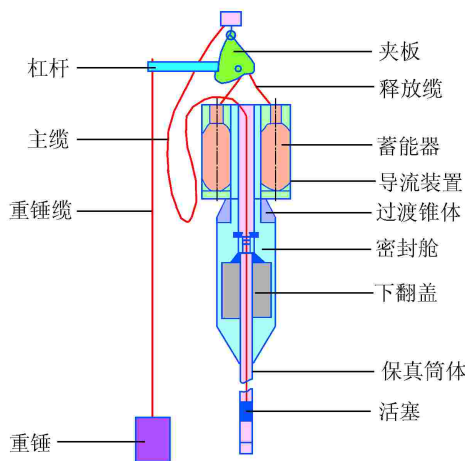


图1 重力活塞式天然气水合物保真取样器图

偿,保真筒体、密封舱本体内外表面涂保温材料层实现沉积物保温。此取样器适用于在3 000 m深海的表层保真取样,可以采集长达10 m的沉积物,样机试验表明,此取样器操作安全可靠,保真效果好。

2.3 液压油缸驱动取样钻具

1)我国“十五”国家高技术研究发展计划资源与环境技术领域海洋资源开发技术主题课题研制的“天然气水合物深水浅孔保温保压取心钻具”,可用在3 000 m或以下的深海进行天然气水合物的钻取^[15]。保温保压筒是1个1 m左右的细长状双层真空耐压圆筒,是钻具的主体。利用交变液压油缸往复装置驱动取样管,获取海底沉积物岩心;取样管外部均涂了隔热漆,使岩心从海底取出的温升不超过5℃;取样管完成取样时,被收回到保温保压筒内,取样管上端设计的活塞和保温保压筒下部的平板闸阀将保温保压筒内完全密封起来,达到了保压的目的;压力补偿机构采用储气瓶,当取样管内压力低于设定值时,压力补偿机构会自动打开气瓶向内补充压力,以达到保压的目的。

2)长沙矿山研究院在中国大洋协会、科技部国家高技术研究发展计划的支持下,于2000年开始了我国第1台深海浅地层岩心取样钻机的研制^[16-17],目前在海上使用的已经是第4代产品,2005年该设备实现了100次的深海成功取样。深海浅地层岩心取样钻机采用全液压驱动设计,保压装置采用弹簧加活塞结构。取样管外部包裹保温材料、内部设有恒温调节装置,实现岩心的保温。深海浅地层岩心取样钻机可深入4 000 m海水钻探取样,钻孔深度为700 mm,取心直径为60 mm,并根据需要进行一次下水在不同点钻取1~3个岩心。此取样钻机目

前还未应用到天然气水合物的勘探中。

2.4 HYACE 系统

1997 年开始的欧盟海洋科学和技术计划 (MAST) 研制了新型的天然气水合物保压取心器 HYACE 系统^[18-19]。HYACE 是一种保持原位压力的沉积物取样器,分为两种:冲击式取样器 FPC 和旋转式取样器 HRC。FPC 利用震动冲击装置驱动钻头前部的取心筒,可吃入沉积物中 1 m 左右。当取样完成后,钢缆提升取心筒至压力腔,通过一个特殊的翻板阀密封保持压力。HRC 与 FPC 的不同之处在于利用反转马达作驱动动力。HYACE 系统的性能与 ODP-PCS 相比有较大的提高,样品直径加大,并且在取样结束后,采取样品可以无压降地转移到其他压力腔中,实现实验室内的保真分析。

3 深海深孔取样装置

天然气水合物存在于海底以下 500~1 200 m,对于海底以下几百米到数千米的深孔,必须采用海洋石油钻井平台或具有动力定位的钻井船,并配备相应的钻杆、钻具等进行深海深孔取样钻进。该型天然气水合物保压保温取心钻具由 6 个重要部分(件)组成^[20]:①承载电缆连接器;②保温保压取心管;③可开合式机架及传动装置;④深海密封和保温保压控制装置;⑤钻头驱动装置与水密电机;⑥取心钻头。取心钻头安装在取样钻具下端。特点是短程钻、小吨位、电力或电池驱动、具保真性、低投入与高技术。取样时钻头钻进岩层,岩心通过取样钻头孔进入取样管,当岩心装满取样管需要结束取样时,在孔口将打捞装置经过钻杆内部靠自重投放到孔底,打捞装置在孔底抓住取样管,然后利用钻井船甲板上的绞车将打捞装置及取样管提出。

3.1 绳索取样保温保压系统的研究进展

张永勤等^[21]承担的“十五”国家高技术研究发展计划项目“深水深孔天然气水合物保真取样钻具的研制”,分别研制了绳索打捞不起钻保真取样钻具和投球起钻式保压取样钻具:①绳索打捞不起钻取样钻具系统(图 2)主要由内管总成、外管总成、钻杆、打捞装置、绳索绞车等组成,不起钻可实现连续取心作业。齿条齿轮机构使球阀旋转 90°,密封岩心容纳

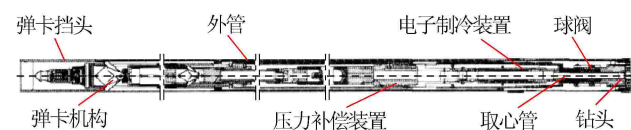


图 2 绳索打捞不起钻保真取样钻具结构示意图

管。为了更可靠地保持水合物的原始状态,在钻具结构上设有蓄能压力补偿装置。电子制冷装置由保温层和电子制冷器组成,保持样品的温度。绳索打捞不起钻取样技术具有劳动强度低、效率高、辅助时间少等优点,主要技术参数为:钻孔直径为 174~190 mm;岩心直径为 30~40 mm;单次取心长度为 3 m。②投球起钻式保压取样钻具可直接连接到现有的石油钻井钻杆上进行钻进取样,但取样时必须起出孔内的全部钻杆及钻具,球阀关闭时采用泥浆作为动力介质,该钻具与现有海洋石油钻机配套钻井施工时无需进行任何设备改造,利用现有的 $\varnothing 114$ mm、 $\varnothing 127$ mm、 $\varnothing 140$ mm 钻杆即可钻井施工。

3.2 海洋钻井船

根据天然气水合物勘查的需要,最好设置水深为 2 000~3 000 m、在沉积岩中钻进 500~1 000 m 能力的海洋钻井船^[22]。而世界上能在水深超过 2 000 m 条件下工作的钻井船仅 35 艘,其中能适用于天然气水合物勘查的非常有限。目前,只有 Fugro 公司签约的 M/S BUCENTAUR, M/r PHOLAS、BAVENI 及 Mr WALTER 海洋调查船能够进行水深 1 500 m 左右的勘查。由于目前国内外海洋钻井船主要用于油气勘查,若用以进行天然气水合物钻探,必须根据钻探天然气水合物的需要,进行相应改造,特别是需要设有泥浆冷却装置及气体处理装置。日本学者分析认为漂浮式生产系统经过改进,可能成为开发海底天然气水合物的生产装置,包括伸缩腿平台(TLP)、油船型及半潜型(FPS/FP-SO)、单柱型(SPAR),目前其设置的最大水深分别为 991 m、911 m、588 m。

4 结论与建议

天然气水合物的 BSR 标志,针对的是一个海底区域,而并不是一个确切的位置,这意味着天然气水合物的取样具有一定的盲目性。若海底无 BSR 标志,可采用 HOV 直接观测海底情况,确定海底天然气水合物是否存在,或采用钻探取样和测井技术相结合的方法检测天然气水合物。若海底地层较软且天然气水合物埋藏不深,可采用深海浅孔取样装置;若埋藏较深或海底沉积物较硬,则应采用深海深孔钻探取样装置。相对于其他取样装置,深海深孔取样装置不受海底地层矿藏软硬及埋藏深浅的影响,利用绳索打捞装置可实现不起钻连续取心作业,基本实现样品的保温保压,具有广阔的应用前景。根据以上分析,可以得出以下认识:

1)国外在20世纪60年代就已经开始研制天然气水合物的取样装置,目前已在多处取得天然气水合物样品。而国内天然气水合物取样装置仍处于研制阶段,还没有真正投入天然气水合物的勘探中,更没有天然气水合物的采样史。鉴于此,我们应借鉴国外的成功经验,完善我国取样装置的设计和制造技术,尽快勘探出我国海域内的天然气水合物。

2)天然气水合物只存在于一定的温度和压力下,从海底钻取的天然气水合物随温度升高或压力降低,会很快分解。保温保压技术是能否取出天然气水合物样品的关键。深海浅孔、深孔取样技术都具有一定的保温保压功能,但其保温保压效果并不是很理想,如何提高取样管的保温保压性能是目前急需解决的问题。

3)与深海深孔取样技术配套的海洋钻井船,目前国内还不具备生产制造能力。因此,应大力开展海洋钻井船的研制工作,可优先考虑将石油勘探钻井船改装成天然气水合物勘探钻井船,同时还要保证其取样位置的稳定性,可采取动平衡原理,通过涡轮旋转来抵消海流的影响。

参 考 文 献

[1] 吴凤鸣.21世纪的新能源——可燃冰[J].质量指南,2003(13):25.

[2] JEFFERY B, STANLEY I. Global distribution of methane hydrate in ocean sediment [J]. Energy & Fuels, 2005,19(2):459-470.

[3] 樊栓狮,刘锋,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.

[4] GORDON J. The future of methane as an energy resource [J]. Annual Review of Energy, 1990, (15):53-83.

[5] 廖又明.载人深潜器HOV在海洋开发中的运用及现状[J].江苏船舶,2002,19(5):38-42.

[6] 于保华.90年代深潜器技术最新进展[J].海洋信息,1995(6):19-20.

[7] 顾继红,胡震.美国载人深潜器新ALVIN号研制[J].中外船舶科技,2006(4):5-9.

[8] 吴时国,罗永康.关于我国发展载人深潜器的建议[J].海洋科学,2001,25(11):23-24.

[9] 叶建良,殷琨,蒋国盛,等.天然气水合物勘探技术综述[J].探矿工程,2003(4):43-46.

[10] 臧启运,韩贻兵,徐孝诗.重力活塞取样器取样技术研究[J].海洋技术,1999,18(2):56-61.

[11] 张君元,杨光富.重力活塞采样器海上采样技术的研究[J].海洋科学,1983(6):19-22.

[12] 栾刚.鏢式保温保压深水海床取样器保压装置:中国,200320101236.1[P].2003-10-17.

[13] 李世伦,程毅,秦华伟,等.重力活塞式天然气水合物保真取样器的研制[J].浙江大学学报:工学版,2006,40(5):888-892.

[14] 李世伦,顾临怡,叶瑛,等.保真取样一体式的深海沉积物取样器:中国,200420110786.4[P].2004-12-01.

[15] 张德玉,姜正陆,余平,等.天然气水合物深水浅孔保温保压取心钻具:中国,200610020518.7[P].2006-03-20.

[16] 万步炎,黄筱军.深海浅地层岩心取样钻机的研制[J].矿业研究与开发,2006,(S1):49-51.

[17] 万步炎,黄筱军,钱鑫炎.深海硬岩保真取心器:中国,200610032362.4[P].2006-09-30.

[18] 程毅.天然气水合物保真取样技术的研究[D].杭州:浙江大学,2006.

[19] 李常茂,耿瑞伦.关于天然气水合物钻探的思考[J].探矿工程,2000(3):5-8.

[20] 许红,吴河勇,徐禄俊,等.区别于DSDP-ODP的深海保压保温天然气水合物钻探取心技术[J].海洋地质动态,2003(6):24-27.

[21] 张永勤,孙建华,赵海涛.天然气水合物保真取样钻具的试验研究[J].探矿工程:岩土钻掘工程,2007(9):62-65.

[22] 李常茂,耿瑞伦.关于天然气水合物钻探的思考[J].探矿工程,2000(3):5-8.

(收稿日期 2009-01-17 编辑 钟水清)