

海洋天然气水合物探测及取样钻具研制

李小洋¹, 王汉宝², 张永勤¹, 梁健¹, 刘秀美¹, 尹浩¹

(1. 中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000; 2. 上海金泰工程机械有限公司, 上海 201805)

摘要: 在海洋天然气水合物资源调查评价过程中, 通常先采用地球物理方法来探测海底拟反射层(BSR), 然后根据 BSR 的位置来判断水合物的分布范围和埋藏深度。但在钻井取样过程中发现 BSR 并不能完全准确地反映水合物的埋藏深度, 为此项目组研发了一种绳索打捞式的组合钻具, 在钻井过程中不仅能够使用随钻测量钻具探测地层电阻率来确定地层是否有水合物, 而且还能通过绳索打捞方式更更换取样钻具, 完成水合物地层的取样。通过设计、试制和室内测试, 验证了水合物探测及取样钻具方案是可行的, 为后续的野外试验奠定了基础。

关键词: 海洋天然气水合物; 随钻测量; 保温保压; 绳索取心; 电阻率

中图分类号: P634; TE244 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2018)10-0047-05

Development of Marine Gas-Hydrate Detection and Drilling Sampler/LI Xiao-yang¹, WANG Han-bao², ZHANG Yong-qin¹, LIANG Jian¹, LIU Xiu-mei¹, YIN Hao¹ (1. The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China; 2. Shanghai Jin-tai Engineering Machinery Co., Ltd., Shanghai 201805, China)

Abstract: Some geophysical methods are used to detect the bottom simulating reflector (BSR) in investigation of marine gas hydrate resources, and then the distribution scope and depth of gas hydrate is identified according to the position of BSR. But drilling samples demonstrate that BSR can not entirely and accurately reflect the depth of gas hydrate. A new type of combined wireline drilling tool has been developed, which can not only use logging-while-drilling tools to detect formation resistivity to determine whether gas hydrate exists in the formation, but can also be switched to wire-line core samplers to take cores by use of the wire-line fishing system. Through design, trial-manufacture and laboratory tests, the feasibility of the gas-hydrate detection and drilling sampler has been verified, which lays a foundation for the subsequent field experiments.

Key words: marine gas-hydrate; logging-while-drilling; pressurizing and insulation; wire-line core; electrical resistivity

0 引言

天然气水合物是一种高效清洁能源, 其燃烧产生的热量比同等条件下煤、石油、天然气产生的多, 但是污染却比这些常规燃料要小得多。而且天然气水合物资源丰富, 据估算, 世界天然气水合物总量相当于全球已探明煤、石油、天然气等常规能源总量的 2 倍^[1-4]。目前已探明的天然气水合物总量的 90% 分布在水深 300~4000 m 的大陆架、大洋中脊、海沟和海岭等海底沉积物中^[5-6]。我国海域辽阔, 初步探明海底天然气水合物资源储量也十分可观。在天然气水合物资源调查评价中, 往往先通过地球物理方法探测海底拟反射层(bottom simulating reflector, 缩写为 BSR), 然后根据 BSR 确定水合物的分布区域和埋藏深度, 通过钻探取样来确定水合物

的具体赋存层位和物化特性^[7-9]。但通过取样发现物探方法并不能完全准确地反映水合物的埋藏深度, 并且目前国内采用的水合物取样需要依靠国外的取样技术来完成, 受到了极大的限制^[10]。为此, 结合大量的绳索取心实践经验和前期的保压取样技术研究, 项目组研发了一种绳索打捞式组合钻具, 包含水合物超前探测钻具、保温保压取样钻具和大直径取样钻具, 旨在通过水合物地层的超前探测、保真取样和非水合物地层补充取样来获取真实完整的水合物地层数据。

1 钻具功能设计

在前期研究天然气水合物保压取心技术的基础上^[11-12], 同时结合海洋天然气调查单位提出的新问

收稿日期: 2018-08-20

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“海域天然气水合物钻探保压取心与非保压取心技术研究”(编号: GZH201500602-01)

作者简介: 李小洋, 男, 汉族, 1988 年生, 地质工程专业, 硕士, 主要从事保压取样钻具及工艺研究工作, 河北省廊坊市金光道 77 号, 770613273@qq.com。

题和新要求,项目组提出了一种组合式绳索打捞钻具。组合式钻具包括随钻测量钻具、保温保压取样钻具和大直径非保压取样钻具。3种钻具在同规格钻杆($\Phi 139.7$ mm)内根据不同的钻进目的可自由更换,具体钻具技术指标见表1。组合式钻具主要功能设定如下。

表1 组合式绳索打捞钻具主要技术指标

钻具名称	技术指标
随钻测量钻具	1.电阻率测量范围:1~500 $\Omega \cdot m$;测量精度: $\pm 1 \Omega \cdot m$ 2.温度测量范围:-20~+85 $^{\circ}C$;测量精度: $\pm 1^{\circ}C$ 3.连续工作时间:100 h(采用一次性电池组) 4.数据存储:8 MB 5.仪器承压:30 MPa 6.泥浆排量:10~55 L/s 7.泥浆压力波动范围: ≥ 0.5 MPa 8.泥浆粘度: ≤ 140 s 9.泥浆含砂量: $< 1\%$
保温保压取样钻具	1.水深和钻深之和 ≥ 2500 m,最大保压压力 30 MPa,保压 2 h 压力损失 $\geq 20\%$ 2.岩心直径 50 mm,取心长度 3 m
大直径非保压取样钻具	水深和钻深之和 ≥ 2500 m,取心直径为 85 mm(软层、淤泥等)或 101 mm(较坚硬的地层),回次取心长度 3 m

(1)随钻测量钻具:根据测井结果显示,含有水合物的地层电阻率有比较明显的变化^[13],然而海底地层温度比较稳定,即使钻遇水合物地层,地层温度也没有太大的变化。因此随钻测量钻具主要用于测量地层的电阻率,并通过泥浆脉冲将判断依据传输到井口的接收装置,据此判定钻遇地层是否含有水合物。

(2)当判断是水合物可疑地层时,停止钻进,通过绳索打捞方式将随钻测量钻具提出,向井内下入保温保压取样钻具来获取海底的原状样品,避免在取样过程中水合物分解^[14]。

(3)大直径非保压取样钻具作为一种辅助手段,

目的是针对非水合物地层获取更大直径的岩心,为海洋地质研究提供更多的样品。

2 钻具结构设计

根据组合式钻具的功能,综合考虑3种规格钻具的规格尺寸和使用要求,结合绳索打捞的工艺方法,完成了随钻测量钻具、保温保压取样钻具和大直径非保压取样钻具的设计方案,具体论述如下:

(1)随钻测量钻具:主要包括打捞机构、弹卡定位机构、悬挂机构、单动机构、电阻率测量系统和传扭机构等。其中电阻率测量系统可以分为井口和井下两部分。井口部分主要负责数据的接收和解析,以图形、数据的方式显示出来,工作原理见图1。井下部分(见图2)主要进行数据采集、发送及存储,具体由电阻率测量短节、泥浆脉冲发生器及电池短节完成。电阻率测量短节通过安装在超前钻头上的测量电极实时测量地层的电阻率,并将数据传输给泥浆脉冲发生器。泥浆脉冲发生器将测量的数据首先

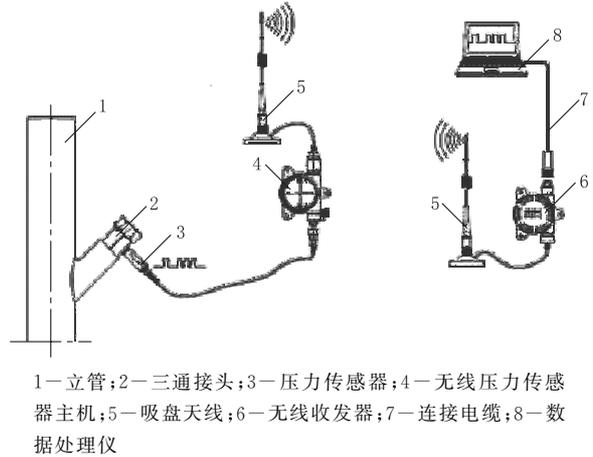
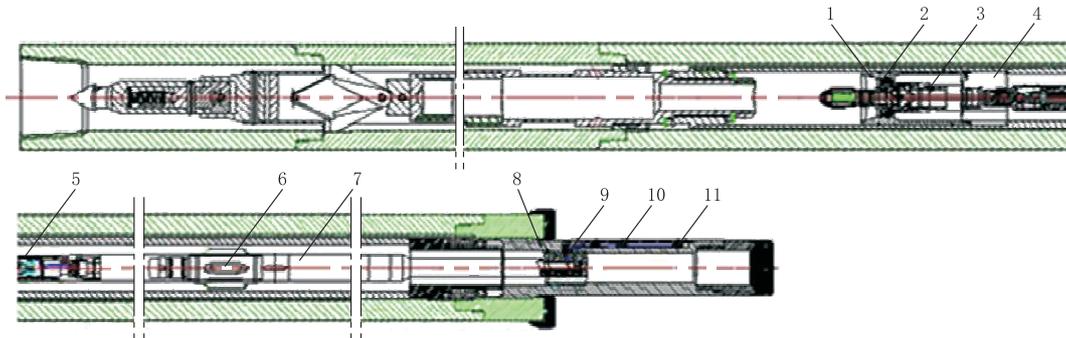


图1 随钻测电阻率系统井口部分



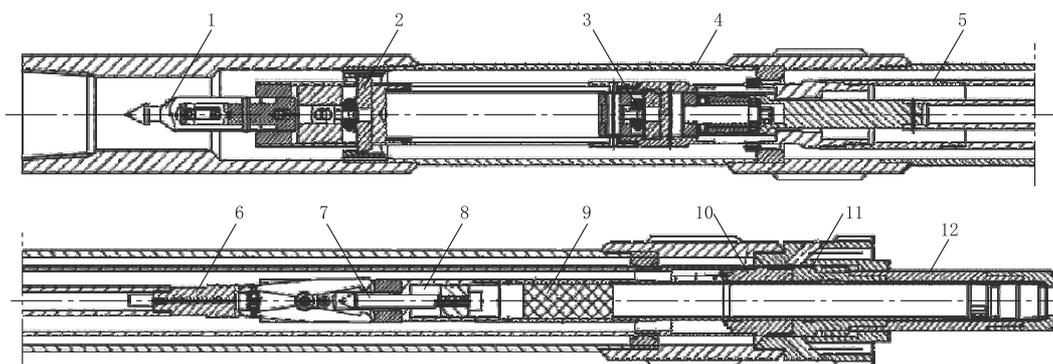
1—循环套;2—限流环;3—大活塞;4—基座;5—悬挂脉冲器;6—扶正器;7—电池短节;8—电阻率测量短节;9—连接座;10—电极;11—盖板

图2 随钻电阻率测量系统井下部分

进行存储,后经过编码产生泥浆压力波,将数据传递到井口。电池短节为井下电阻率测量短节和泥浆脉冲发生器供电并实时记录电池组的电量消耗情况。

(2)保温保压取样钻具:根据保压密封机构的特点及取样直径的要求,项目组设计了一种板阀式保温保压取样钻具,主要包括打捞机构、双弹卡机构、悬挂及单动机构、脱钩机构、板阀机构及取样管等。保压取样钻具的技术关键是确保取样管能够回收及板阀顺利关闭,为此专门设计了双弹卡机构和脱钩——板阀机构。通过双弹卡机构在钻进取心时确

保钻具和取样管的轴向定位;在绳索打捞时,依靠双弹卡机构的回收解卡带动取样管向上运动,实现取样管回收到保压筒内。通过脱钩-板阀机构实现板阀的关闭和良好密封。当取样管回收越过板阀的上端时,在自重的作用下,板阀自动翻转关闭。取样管继续向上回收,触发行程控制实现取样管与双弹卡机构的脱开,以自由落体冲击到板阀上端面,将板阀密封面压紧,实现良好密封(具体结构见图 3),克服目前保压取样钻具保压成功率不高的难题^[15]。

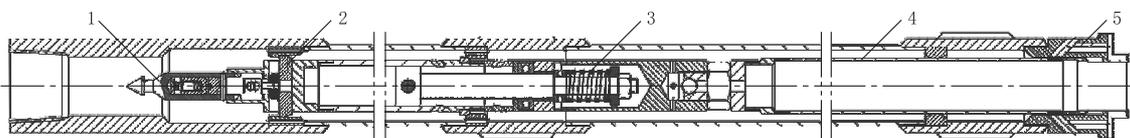


1—捞矛头;2—上弹卡;3—下弹卡;4—外管;5—中管;6—测压接头;7—脱钩机构;8—活塞式蓄能器;9—温压记录仪;10—板阀机构;11—钻头;12—超前钻头

图 3 天然气水合物保温保压取心钻具结构图

(3)大直径非保压取样钻具:根据陆域冻土水合物钻井取样经验,同时结合海洋钻井的新要求,设计了一种大直径非保压取样钻具,主要针对水合物目标层位上下部分进行非保压取样,满足海洋地质研究的需要。大直径非保压取样钻具包括打捞机构、弹卡定位机构、悬挂机构、单动机构和取样管等。当

钻遇软弱地层时,采用超前取样钻头,减少了泥浆对沉积层岩心的冲蚀,最大限度的保证岩样的原状。钻遇坚硬地层时,通过绳索打捞方式更换超前取样钻头,可以获得直径更大的岩心。具体钻具结构见图 4。



1—打捞机构;2—弹卡定位机构;3—单动机构;4—取样管;5—钻头

图 4 大直径非保压钻具结构示意图

3 钻进工艺

组合式绳索打捞钻具适用于 2500 m(水深+钻深)以内的海域,根据水合物调查评价过程中的实际需要相互更换,通过绳索打捞的方式在同规格的钻杆内进行 3 种钻具的投放和回收,无需进行提钻。随钻测量钻具采用超前钻头的结构形式,与外钻头配合进行全面钻进。在超前钻头侧面安装有电阻率

测量电极,这样可以使测量电极直接与地层接触,减少测量误差。测量的数据传输到泥浆脉冲发生器后进行存储、编码,以泥浆压力波的形式返回到井口。经过调研发现,随钻测量系统直接发送电阻率数据的研发成本太高,且电量消耗较大。综合考虑后采用间接的方法,即通过泥浆脉冲发生器先将测量的数据与设定的门限值(以不含水合物地层的电阻率值作为门限值的设定依据)比较,如果地层电阻率大

于门限值,脉冲发生器连续产生3个脉冲波;如果地层电阻率小于门限值,脉冲发生器只产生1个脉冲波。井口分析人员根据收到的脉冲数来判定是否钻遇水合物地层。随钻测量钻具还有数据存储装置,将钻具打捞出来即可将数据拷贝出来,还原地层的真实电阻率。

当发现井口接收到的脉冲出现异常后,可通过绳索打捞工具及时将随钻测量钻具打捞出来,下入保温保压取样钻具进行取样操作。为了提高水合物地层的岩样采取率,采用超前钻头取样的方式进行钻进,减少泥浆对岩心的冲蚀。保压取样采用回转取心的方式获取岩心,取心长度可以达到3 m。同时对地层的适应性较好,不仅能钻进软弱地层,也可以钻进坚硬地层。大直径非保压取样钻具作为一种辅助的取样方法,钻具结构简单,适应性强,取心直径大,可以在不含水合物地层根据需要获取高质量的岩心,为海洋地质研究提供第一手资料。

4 室内测试

完成组合式绳索打捞钻具的总体方案和钻具设计后,征询相关专家意见并优化图纸,接着进行钻具的加工、组装、调试和相关室内性能测试与试验,以检验其综合性能。现将研发进展和测试成果总结如下。

4.1 盐水测试

随钻测量钻具不仅能够进行全面钻进,提高钻进速度,更重要的是可以超前测量地层电阻率,为水

合物判层提供依据。由于该钻具研发费用高昂,为了保证钻具的可靠性,课题组在钻具正式加工前先制作了1套物理样机(组成见图5),用于模拟随钻测量钻具的整个工作过程。随钻测量物理样机包括电源、测量部分、数据处理及无线发射端和数据接收端。其中电源采用的是28 V直流电,保证整个测量系统的动力供应;测量端是把电阻率测量电极分别放置在3种NaCl溶液(电阻率已知)中,并通过查看数据接收情况来检查整个模拟过程的工作性能;数据处理及无线发射端由于没有泥浆,无法产生压力波,暂时只能通过无线发射端发射编码过的数据来模拟数据传输过程;数据接收端通过无线接收器和数据解码器将获得的编码数据解码,最后在计算机上显示出结果。将测量电极从60 Ω·m的NaCl溶液拿出来放到20 Ω·m的NaCl溶液中,数据接收端很快就通过波形显示出电阻率的变化(见图6)。



1—电源;2—测量电极;3—数据处理及发送;4—数据接收及显示

图5 随钻测量钻具物理样机组成

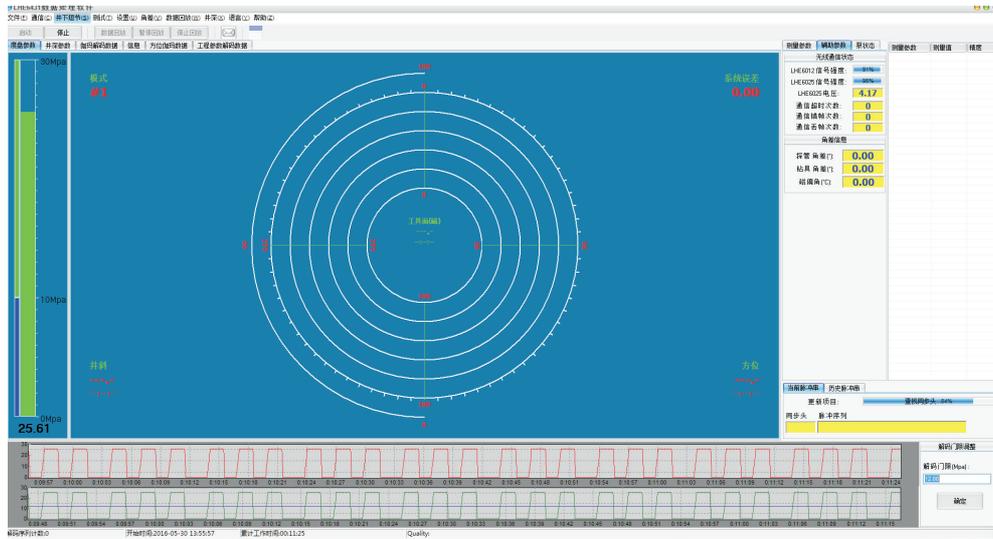


图6 从60 Ω·m的NaCl溶液到20 Ω·m的NaCl溶液电阻率变化波形

4.2 保压测试

为了验证保温保压取样钻具的可靠性及保压效果,设计了保压测试。保压测试主要通过加压泵,向钻具的保压筒内加压,然后观察保压筒螺纹连接处及板阀密封处的渗水情况。按照设计的保压能力,测试时把最大压力加压到 30 MPa,保压 2 h 后记录压力稳定值为 28 MPa(见图 7),2 h 内压力损失为 2 MPa,压力损失是设计值的 6.7%,低于设计要求的 20%。



图 7 保压筒保压 2 h 前后压力变化

5 结语

组合式绳索打捞钻具结合了随钻测量和绳索取心的优点,既实现了钻井过程中对水合物地层的识别,增加了取样的目的性和有效性,又兼顾了绳索取心的工艺要求,确保了保压取心和大直径取心的可靠性,为多样的地质需求提供了一种有效方法和手段。经过相关的室内试验和测试,组合式绳索打捞钻具达到了设计目的,已经具备了海上试验的基础条件。

参考文献:

- [1] 曾繁彩,杨胜雄,张光学,等.天然气水合物资源勘探开发战略研究[M].北京:地质出版社,2013:1-10.
- [2] 姚伯初.南海的天然气水合物矿藏[J].热带海洋学报,2001,20(2):20-28.
- [3] 方银霞,金翔龙,黎明碧.天然气水合物的勘探与开发技术[J].中国海洋平台,2002,17(2):11-15.
- [4] 张永勤,李鑫森,李小洋,等.冻土天然气水合物开采技术进展及海洋天然气水合物开采方案研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(10):154-159.
- [5] 刘华,李相方,隋秀香,等.天然气水合物勘探技术研究现状[J].石油钻探技术,2006,34(5):87-90.
- [6] 赵铁虎,齐君,胡刚,等.天然气水合物勘查相关技术集成研发进展[J].海洋地质前沿,2015,31(6):1-7.
- [7] 宋海斌.天然气水合物似海底反射层的全波形反演[J].地球物理学报,2003,46(1):42-46.
- [8] 吴志强.AVO 技术在水合物调查评价的应用中应注意的问题[J].海洋地质动态,2002,18(6):28-32.
- [9] 王伟巍,谢城亮,赵庆献,等.横波勘探在海洋天然气水合物调查中的应用[J].海洋技术学报,2015,34(2):111-117.
- [10] 蔡家品,赵义,阮海龙,等.海洋保温保压取样钻具的研制[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(2):60-63.
- [11] 张永勤,孙建华,赵海涛,等.天然气水合物保真取样钻具的试验研究及施工方案研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(S1):57-60.
- [12] 张永勤,孙建华,赵海涛,等.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),2007,34(9):62-65.
- [13] 陆敬安.测井在天然气水合物勘探与评价中的应用[J].南海地质研究,2007,1:71-84.
- [14] 董刚,龚建明,苏新.海洋天然气水合物取心工艺[J].海洋地质前沿,2011,27(3):48-51.
- [15] Inada N., Yamamoto K. Data report: Hybrid Pressure Coring System tool review and summary of recovery result from gas-hydrate related coring in the Nankai Project [J]. Marine and Petroleum Geology, 2015, 66: 323-345.