

天然气水合物保真取样钻具的试验研究

张永勤, 孙建华, 赵海涛, 刘秀美, 王汉宝

(中国地质科学院勘探技术研究所新技术一室, 河北 廊坊 065000)

摘要: 由于天然气水合物生存环境及特性特殊, 所以了解其物化特性最有效的方法是通过钻探取样。天然气水合物钻探取样的关键是要有满足要求的钻探设备、钻探工具、钻探工艺及特殊的冲洗液。介绍了天然气水合物取样钻具的结构、原理、特点、钻进工艺及试验结果。根据海洋钻井的特点, 提出了中国实施天然气水合物钻探经济实用的施工方案。

关键词: 天然气水合物; 保真取样; 钻具; 试验研究

中图分类号: P634.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2007)09-0062-04

Test Research on In-situ Sampler for Gas Hydrate/ZHANG Yong-qin, SUN Jian-hua, ZHAO Hai-tao, LIU Xiu-mei, WANG Han-bao (The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

Abstract: Since the existence environment and the characteristic of the gas hydrate are special, the most effective way to really get to know the physics and chemical natures of gas hydrate is to depend on the drilling sampling. Drilling equipment, drilling tool, drilling technologies and special drilling fluid are the most important factors to meet the requirement of the drilling and sampling engineering. The structures and principles, features, drilling technology and trial result of the sampling drilling tools for gas hydrate are introduced in the paper. And also, according to the characteristic of ocean drilling, the practical and economical drilling program for gas hydrates drilling in China is presented.

Key words: natural gas hydrate; pressure & temperature-retained sampling; drilling tool; trial and research

0 引言

人们发现天然气水合物(GH or MH)的存在已有 100 多年的历史, 经过地质学家几十年的研究和调查发现, 世界上 27% 的陆地和 93% 的大洋水域面积可能形成天然气水合物的潜在区, 具有储量大、埋藏浅、能量密度高、分布广、规模大等特点, 极有可能成为未来人类新的接替能源。因此, 世界许多国家对天然气水合物的调查研究、勘探开发和利用高度重视。但从目前对天然气水合物物化特性真正掌握的技术手段看, 钻探取样是最终获得天然气水合物实物样品的唯一手段。所以, 研究开发天然气水合物保真取样钻具及钻探施工技术对加快天然气水合物的勘探开发利用具有非常重要的意义。我国在天然气水合物取样钻探技术的研究方面起步较晚, 2000 年 8 月, 国土资源部国际合作与科学技术司率先启动了“天然气水合物保压取心钻具研究”; 2001 年, 国家又将“天然气水合物保真取样钻具的研制”列为“863”计划。经过几年的探索和研究开发, 在保真取样钻具及钻探施工方案等方面取得了一定的进展和成果。

1 天然气水合物保真取样钻具的研究

由于天然气水合物的生存环境及特性不同于常规石油及其他固体矿床, 所以在取心钻具的结构及施工工艺过程与传统的固体矿床钻探取心方法不同。天然气水合物取样钻具在钻进施工中不仅要求取出水合物样品, 还要求保持水合物的原始状态, 所以具有一定的难度。目前国外经过十几年的开发研究, 也没有完全可靠的保真取样钻具。目前天然气水合物保真取样钻具分为浅孔及深孔钻具, 浅孔钻具主要是重力活塞取样器, 国外已经比较成熟, 这种取样器主要用于海底浅表层取样, 施工时只需配备调查船和满足要求的绞车及起吊设备即可实现取样施工。但目前地球物理及地球化学调查的资料显示, 多数情况下, 天然气水合物存在于海底以下 500~1200 m。因此, 对于海底以下几百米到数千米的深孔, 重力活塞取样器便无能为力了, 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、钻具等进行回转取心钻进。本文介绍了笔者承担的深水深孔天然气水合物保真取样钻具的主要结构特点、试验情况、我国实施天然气水合物取

收稿日期: 2007-08-01

基金项目: 国家“十五”863 项目“深水深孔天然气水合物保真取心钻具研制”(编号: 2001AA611020/04)

作者简介: 张永勤(1960-), 男(汉族), 江苏沛县人, 中国地质科学院勘探技术研究所新技术一室副主任、教授级高级工程师, 探矿工程专业, 从事岩土钻掘及取心(样)技术、施工设备及器具的研究与开发工作, 河北省廊坊市金光道 77 号。

样钻探的建议。

1.1 绳索打捞不提钻保真取样钻具研制

目前国内外固体矿床或石油钻井取心施工常用的工艺方法有绳索打捞不提钻取心、普通提钻取心及双壁钻杆反循环连续取心等。从天然气水合物的特点及施工要求看,绳索打捞不提钻取心(Wire-line Coring)钻具及施工方法是首选的方法。

绳索取心钻进技术的出现被地质钻探工业界称为钻探技术的一次革命,它在获取所需的地下地质样品时无须象传统的提钻取心钻探方法那样提出孔内的全部钻杆及钻具。绳索取心钻具是靠自身的特殊结构并借助于必要辅助器具及设备达到无需提出

孔内钻杆即可获取所需的地质样品的根本目的。绳索打捞不提钻取心钻具系统主要由内管总成、外管总成、钻杆、打捞装置、绳索绞车等组成。随着钻进的进行,岩心进入钻具内管总成的岩心容纳管,在岩心装满容纳管需要取心时,在孔口将打捞装置经过钻杆内部靠自重投放到孔底,由于钻具及打捞装置的特殊结构,打捞装置在孔底能够可靠地抓住岩心容纳管,然后利用钻船甲板上的绞车将打捞装置及岩心容纳管提出,即可获得所需的地质样品。在甲板上取心的同时,将另一套钻具内管总成从孔口经钻杆内部投放到孔底继续钻进。此时即完成了一个钻进取心的循环。其结构及工作原理参见图 1。

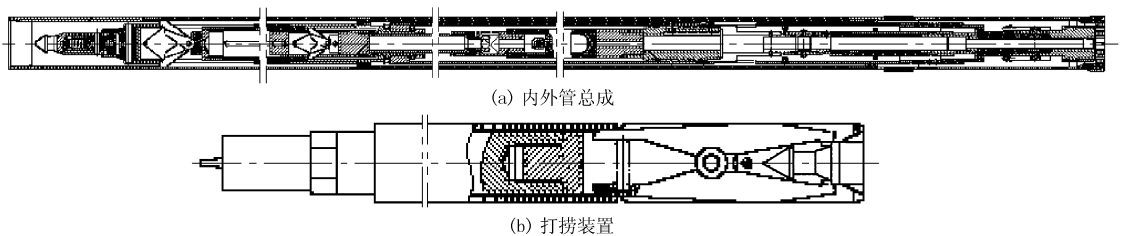


图 1 绳索打捞不提钻保真取样钻具结构图

从上述的工作过程及原理可以看出,绳索打捞不提钻取心技术具有劳动强度低、效率高、辅助时间少等优点。如果在 3000 m 井深时进行取心,采用常规提钻取心技术方法,提下钻的辅助时间需要 16 ~ 18 h,而采用绳索取心方法仅 45 ~ 60 min。由于绳索取心钻进技术在取心时岩心容纳管是通过钻杆内打捞和投放的,所以,绳索取心钻进技术要求钻杆与常规石油钻进施工用的钻杆不同,要求钻杆必须有足够的通道,内壁必须保持平滑一致。

由于进行天然气水合物取样时要求保持水合物的原始状态,因此在考虑利用绳索打捞基本方式的同时,必须考虑钻具具有保持水合物岩心样品原始状态的功能。影响天然气水合物原始状态关键因素是压力和温度,所以取心钻具应设计具有保持原始压力和温度的功能。根据以上分析和结构,我们设计并试制出了我国第一套绳索打捞天然气水合物保真取心钻具,试制出的钻具样机见图 2。

为使水合物样品保持原始状态,一个钻进回次终了,绳索打捞取心之初,必须在孔底将岩心容纳管密封,并尽可能地保持原始压力。通过分析研究,在孔底使岩心容纳管关闭并密封的最佳方式是采用球阀关闭法,即钻具的下端设有球阀。当需要取心时,利用钻船甲板上的绳索绞车将打捞装置沿钻杆内部下放到孔底,打捞装置在孔底能可靠地抓住钻具总

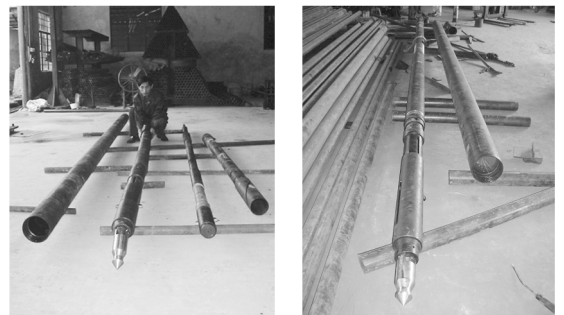


图 2 试制出的绳索打捞不提钻保真取样钻具

成的的打捞矛头,随着绳索绞车的提升,钻具的双弹卡机构开始按顺序运动,首先内弹卡开始向上运动,并使岩心容纳管上升一定的距离,当岩心容纳管下端的岩心卡断机构上升到球阀上端时,随着继续上升,并利用齿条齿轮机构使球阀旋转 90°,使岩心容纳管密封。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,压力补偿装置预先充至一定的压力,在到达孔底时,由于蓄能压力补偿装置的一端与海水相通,其内部压力在海底水压的作用下就会增加,当提钻取心时,蓄能压力补偿装置一端同岩心容纳管相通,随着钻具的不断提升,岩心容纳管内外压差越来越大,一旦岩心容纳管发生微小的泄露,蓄能装置开始向岩心容纳管内补充压力,从而尽可能地保持水合物的原始压力。室内试验证明,钻具的各机构动作可靠,密封压力可达

到 20 MPa。

在钻具的保温方面,目前国外保持水合物温度的方法有两种,一是主动保温,另一种是被动保温。主动保温就是利用半导体致冷原理保持岩心容纳管的内部温度,半导体致冷的动力由安装在钻具内部高能锂电池提供。室内试验证明,半导体致冷可以使岩心容纳管内部温度保持在 0~4℃。被动保温就是将岩心容纳管设计成双层的,在两层之间充填隔热保温材料,以便尽可能地降低岩心容纳管外部温度对内部岩心的影响。本项目研制的绳索打捞保真取心钻具采用的是由课题组自己开发的半导体致冷方式,致冷过程中的动力由装在钻具内部的高能锂电池提供,致冷温度可以达到 1~0℃。室内致冷实验见图 3。



图 3 室内电子致冷实验

绳索打捞保真取心钻具的主要技术参数为:钻孔直径 174~190 mm;岩心直径 30~40 mm;单次取

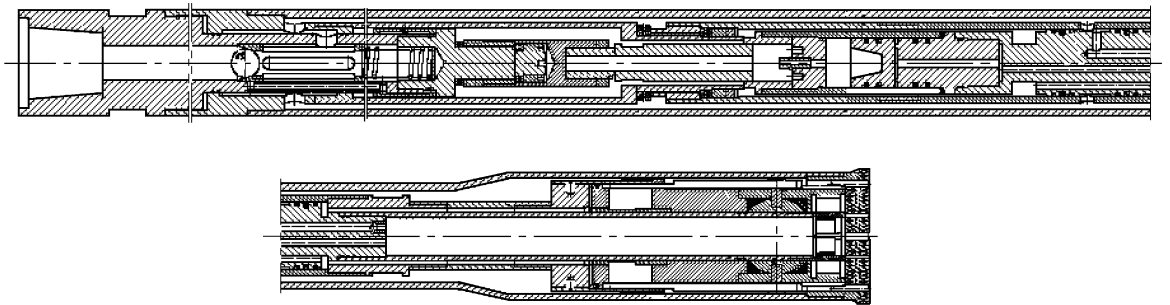


图 4 提钻保真取心钻具结构图

之后需要取心时,将钻杆提离孔底一定的高度,使岩心容纳管下端的岩心卡断器及卡簧达到球阀的上端,以便球阀转动,在钻探上提一定高度之后,在地表或钻船甲板上将改变液流通道的钢球从钻杆内部投放到钻具的换向阀上端,利用注压泵向钻具输送液流,通过钻具相关通道及机构推动活塞及齿轮齿条运动,从而关闭球阀,达到密封岩心容纳管的目的。在关闭球阀的同时,蓄能压力补偿装置的一端与岩心容纳管相通,一旦容纳管发生泄露,蓄能器即向岩心容纳管补充压力,以便达到尽可能保持水合物样品的原始压力。在球阀关闭之后,将钻杆、钻具

心长度 3 m;保持压力 25~30 MPa;致冷温度 0~4℃;蓄能器额定压力 30 MPa;钻杆外径 168~178 mm;钻杆内径 148~158 mm。

绳索打捞保真取心钻具需要配备专用的大直径内平绳索取心钻杆,由于经费原因没有试制专用钻杆,没有进行下井钻进取心试验,只进行了室内地表试验,试验结果表明,钻具的结构可以实现所要求的动作及保压保温的功能。

1.2 提钻取心钻具研制、生产试验及取得成果

为了能够与现有的海洋石油钻井设备配套钻进应用,课题组还开发出了提钻天然气水合物保真取心钻具,提钻式保真取心钻具可直接连接到现有的石油钻井钻杆上进行钻进取心,但取样时必须提出孔内的全部钻杆及钻具。绳索打捞与不提钻保真取心钻具的结构基本一致,所不同的就是钻具岩心容纳管球阀关闭时采用泥浆作为动力介质,利用活塞与齿轮齿条机构使球阀转动 90°达到关闭球阀的目的。钻具结构如图 4 所示。该钻具与现有海洋石油钻机配套钻进施工时无须进行任何设备改造,利用现有的 $\varnothing 114$ 、127、140 mm 钻杆即可钻进施工。

该钻具在孔底钻进时与常规石油钻进过程基本相同,不同之处就是钻头采用的是取心钻头,随着钻进的进行,岩心进入岩心容纳管,在岩心装满容纳管

提出孔外,即可获得原始状态的水合物样品。提钻保真钻具采用了被动保温方式,即岩心管采用双层结构,双层岩心管之间充填聚胺脂隔热材料。

提钻保真取心钻具的主要技术参数为:钻具长度 9 m;钻具外径 219 mm;取心直径 50 mm;取心长度 3 m;保真压力 30 MPa;钻孔直径 245 mm;钻杆直径 114~140 mm。

在提钻保真取心钻具完成室内组装及调试后,利用陆地地热施工井进行了下井钻进取心试验。在井深 396 m 和 736 m 进行了钻具动作可靠性及实际钻进取心试验。两次下井试验表明,钻具的各部件

及动作可靠,并在 736 m 处取出了保压的岩心样品。通过对两次下井并在井内关闭的钻具的地表现场测试,钻具保压达到了设计压力的 89%。通过野外下

井试验也发现了个别技术问题,为进一步改进和完善提供了帮助。现场及取出的样品如图 5 所示。



图 5 钻进取样试验施工现场及取出的样品

本项目所开发的 2 种天然气水合物保真取心钻具,通过室内及野外下井实验证明,结构原理是可行的。两种钻具都已经获得了国家实用新型专利(专利号:ZL 03 2 45568.2 及 ZL 2004 2 0091976.6)。目前项目组对钻具室内及下井实验中发现的问题进行了改进,并进行了室内测试。通过进一步的实验及改进和完善,相信会达到实用的目的。

2 我国实施天然气水合物施工方案的建议

钻探取样是最终确定天然气水合物物化特性等参数的必要手段,目前我国在水合物调查研究方面已经到了取样钻探施工阶段,但由于我国在深水海洋油气钻探施工方面还没有满足要求的深水钻井船,所以目前实施取样钻探施工必须借助于国外钻井船。由于海洋石油钻井施工是以时取费,针对我国的国情,经过长期的分析研究,本着少花钱能办事的原则,建议我国天然气水合物取样钻探施工应采用以下基本钻探施工方案:

(1) 首先在前期地球物理调查确定 BSR 有水合物异常的井位,采用全面钻进的方法钻一口先导孔,由于先进的测井技术可以较准确地判别水合物的存在,所以通过测井确定天然气水合物是否存在以及存在的井段,为进一步实施天然气水合物取心钻探施工提供依据。

(2) 在全面钻进到预定深度后,可以在钻杆内下放测井仪器,使测井仪器通过钻头进行裸眼测井。为了保证钻孔的稳定及测井的安全,采用分段测井,即将钻杆提出一段后使测井仪器与裸孔接触,避免钻杆的屏蔽影响测量效果。在测量一段后,再继续上提一定长度的钻杆,然后上提测井仪器,从下至上分段测量,直至满足要求。

(3) 如果测量结果显示天然气水合物存在,则在先导孔附近布置取心钻孔,应以绳索打捞不提钻保压取心、绳索普通取心及全面钻进不取心相结合的钻进方法。由于保压取心钻进施工的成本高,因此只是在天然气水合物存在的井段才采用保压取心,其它井段采取常规的绳索取心方法取心钻进。本施工方案考虑的是浅层天然气水合物勘探取样(海底深度 1000 m),采用无隔水导管,不下套管,不完井,计划一只钻头钻完一口井,不存在中途起钻和钻头重入孔内的问题,不考虑钻井防喷的问题。

以上技术方案涉及全面钻进、常规绳索取心钻进和保压取心钻进 3 种钻进方法。这 3 种钻进方法采用同一种钻杆,在各种方法切换时不需要提出孔内钻杆,可通过特殊绳索打捞机构快速、可靠地变换 3 种钻进方法中的一种。因此该方案是一种高效、经济的天然气水合物勘探钻进施工方案。

(上接第 55 页)

和地质成果。这一钻探示范表明,该钻机实现了大速比无级变速与恒功率输出,钻机车载化结构合理紧凑,具有良好的人性化操作,钻机性能可靠。

4 结语

QK 系列钻机适应了我国能源资源战略对钻探

设备的发展要求,实现了系列化的研发模式,填补了小型轻便钻机系列化的空白。针对不同的地质地理及工况条件,QK 系列钻机能够应用适宜的钻探方法与钻探工艺,很好地完成地质、勘探、地质工程所提出的钻探任务,并能取得良好的效果。QK 系列钻机结构设计合理先进,较好地突出了“轻便、快捷、高效”的特点与优势。