

天然气水合物钻探取样技术现状与研究

许俊良, 任红

(胜利石油管理局钻井工艺研究院, 山东 东营 257017)

摘要:通过资料调研与研究, 综合分析了国外深海天然气水合物钻探取样工具的结构原理、技术参数、作业过程、主要特点以及对设备的要求等。同时简要介绍了我国“十一五”期间取样装置的研制进展情况。

关键词:天然气水合物; 钻探; 取样器; 钻探船; 深海取样

中图分类号: P634.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2012)11-0004-06

Status of Gas Hydrate Sampling Technology and the Research/XU Jun-liang, REN Hong (Shengli Drilling Technology Research Institute, Dongying Shandong 257017, China)

Abstract: Based on the technical material review, analysis was made on foreign sampling tools for gas hydrate in deep sea about the structure principle, technical parameters, operation process, main characteristics and the requirements to the device. Brief introduction was made on the development progress of sampling device during “Eleven Five-year Plan” in China.

Key words: gas hydrate; drilling; sampling device; drillship; deep-sea sampling

美国休斯顿大学石油化学及能源教授米切尔·伊科诺米季斯撰文指出, 未来石油不是来自美国大陆, 也不是来自欧洲, 更不是来自北极的野生生物保护区, 而是深海和超深海。正是因为如此, 世界各国为了获得深海中的能源投入了大量的人力物力开展深海勘探与开发技术的研究工作。自20世纪60年代开始, 俄、美、德、英、加等许多发达国家甚至一些发展中国家也对其极为重视, 开展了大量的研究。自1984年始, 我国科技人员对国外有关水合物调查状况及其巨大的资源潜力进行了系统的资料汇集, 对80年代早、中期在南海北部陆坡区完成的2万多千米地震资料进行复查, 广州海洋地质调查局于1999年10月首次在我国海域南海北部西沙海槽区开展海洋天然气水合物前期试验性调查。2000年广州海洋地质调查局“探宝号”和“海洋四号”调查船在西沙海槽继续开展天然气水合物的调查。2007年在我国南海北部租用辉固国际集团公司钻探船成功钻获天然气水合物实物样品。

1 国际大洋钻探取样技术现状^[1-10]

钻探取样器是利用钻探船进行海底深部取样, 利用特别手段取得接近地层原始状态的样品, 也是识别水合物及其他矿元素的最直接的方法。目前利

用该技术已经在世界许多地方获得了水合物的样品, 例如: 布莱克海岭、中美洲海沟、秘鲁大陆边缘、里海等地。但是, 要获得保持原位压力和温度的高保真岩心样品, 必须研究和采用高保真取样器、原状水合物岩心室内实验分析装置, 后者国内还未有实质性的进展, 只能通过对岩心分离气、液和岩石骨架进行实验分析研究。目前高保真取样器, 国外主要有国际深海钻探计划(DSDP)采用的保压取样筒PCB(Pressure Core Barrel)、国际大洋钻探计划(ODP)采用的保压取样器PCS(Pressure Core Sampler)、活塞取样器APC(Advanced Piston Corer)。国内针对天然气水合物的专用取样器还正在研制和完善中。

1.1 保压取样筒 DSDP-PCB

DSDP-PCB是深海钻探计划使用的保压取样筒(图1), 是由一套绳索高压取心筒组成。在其底部装有球阀, 球阀有直径为58 mm的孔, 在其上部有取样机构、排气孔和减压阀。取样筒沿着钻具下放并与钻头锁紧, 卡断岩心后, 下放绳索打捞工具并锁紧, 向上提升绳索, 产生的拉力激活一系列机制, 首先使球阀和排气孔关闭, 最后打开释放机构, 使取心筒脱离钻具。在取心筒被提升过程中, 泄压阀通过排出蓄压器中的氮气保持内部压力不大于34.4

收稿日期: 2012-05-21; 修回日期: 2012-10-08

基金项目: 海洋技术领域“十一五”(863计划)重大项目课题“天然气水合物钻探取心关键技术(2006AA09A207)”和“十二五”重大专项子课题“浅层天然气水合物钻探取心技术”(2011ZX05026-004-08)的部分内容

作者简介: 许俊良(1956-), 男(汉族), 山东人, 胜利石油管理局钻井工艺研究院高级工程师, 石油工程专业, 从事浅层天然气水合物钻探取心技术与石油钻井新产品开发工作, 山东省东营市东营区北一路827号, xjl1874@163.com。

MPa,或者通过其它机构排出过高的压力,而且浮动活塞蓄压器被预先充 27.5 MPa 氮气,一旦筒内压力超过 27.5 MPa,将使活塞压缩氮气。当岩心筒内的压力超过 34.4 MPa,泄压阀打开使氮气排出,这样,使天然气保持在岩样中,且使泄压阀不会被沉积物堵塞,当 PCB 到达甲板上方时,可监测岩心的压力和温度,在有效控制的条件下排除高压天然气和流体。

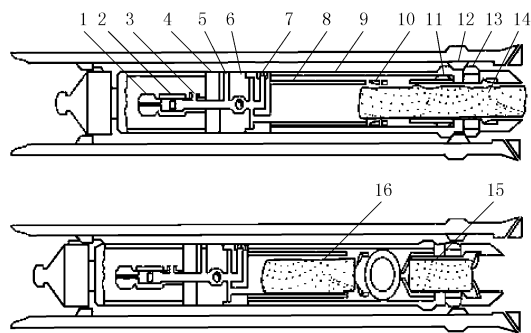


图1 DSDP-PCB的基体结构

1—泄压阀;2—蓄能器;3—取样口;4—样品短节;5—流体排出孔;6—机械孔;7—泄压短节;8—岩心内衬;9—MP35N岩心筒;10—岩心爪;11—球阀;12—支撑轴承;13—凹;14—岩心;15—非保压岩心;16—保压岩心

1.2 保压取样器 ODP-PCS

ODP-PCS 是在 DSDP-PCB 基础上研制的用于 ODP 的保压取样器(图 2),PCS 是一种自由下落式展开、液压驱动、钢丝绳提取的取心工具。它既采用了传统的油田压力取心技术,又采用了 DSDP 计划所发展起来的取心技术。PCS 靠自由落体展开,坐落锁紧在底部钻具组合里并一起回转。理论上在 70 MPa 的高压下 PCS 可取到长 860 mm、直径 42 mm 的岩样,PCS 在 Leg146 等航次取得了接近原位压力的岩心、气体和水样品。

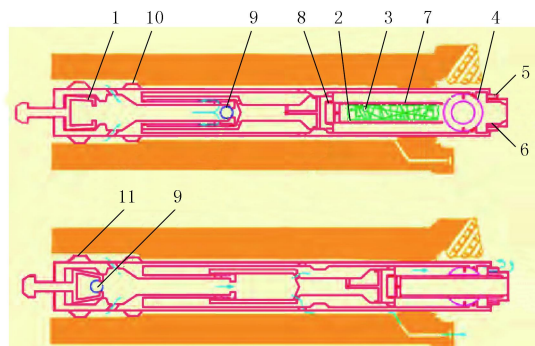


图2 ODP-PCS的基本结构

1—球托;2—非旋转岩心筒;3—岩心;4—球阀;5—导向钻头;6—循环喷嘴;7—岩心爪;8—岩心筒轴承;9—启动球;10—台肩;11—PCS 横切

1.3 保压取样筒 ESSO-PCB

ESSO-PCB 主要用于含油气层取样,在内管和 外管间夹有第三层的传统取心管,可以补偿向上移动期间温度和外部压力的变化引起的筒内的压力变化,从而使得岩心可以在储层压力条件下,或更确切的说是在孔底的静止泥浆压力下取出。可取岩心直径 42.9 mm,岩心的长度 165.1 mm。

上述工具在深海钻探计划中使用过,并取得了较好的成绩。大洋深海钻探计划针对水合物取样的较多,但真正取到水合物样品的航次很少。根据目前的资料统计,其中 Leg164 和 Leg204 航次获取到了水合物样品。在 Leg164 航次中,有 16 个孔进行了钻探取心,共取样 262 次,取心进尺 2080.2 m,岩心长 1503.15 m,平均岩心收获率 72.26%,其中使用保压取心工具在 8 个孔内进行了取样,共取样 39 次,取心进尺 39 m,岩心长 12.37 m,平均岩心收获率 31.72%,其中有一个孔内取到水合物样品(见图 3)。在 Leg204 航次中的 36 个孔内进行了取样,共取样 467 次,取心进尺 3674.5 m,岩心长 3068.29 m,平均岩心收获率 83.5%。使用的工具与取样数据见表 1。其中有一个孔内取到水合物样品(见图 4)。

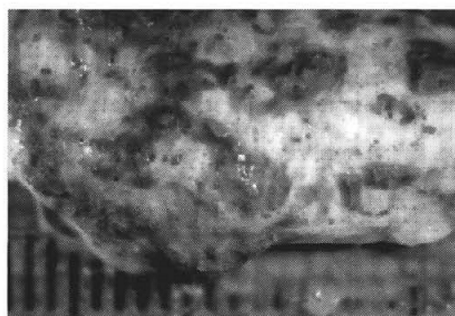


图3 在 Leg164 航次中取到的水合物岩样

表1 Leg204 航次使用的取样工具与取样数据统计

取样工具	取心进尺/m	岩心长/m	平均收获率/%	取样次数
Fugro Pressure Corer	10	7.99	79.90	10
Hyacinth Rotary Corer	8	2.98	37.25	8
Logging While Coring	45	14.01	31.13	8
Advanced Piston Corer	2112.0	1861.25	88.10	244
Extended Core Barrel	1393.8	1125.32	80.74	150
Pressure Core Sampler	39	38.26	98.10	39
Rotary Core Barrel	66.6	18.48	27.75	8
合计	3674.5	3068.29	83.50	467

1.4 FPC(Fugro Pressure Corer)压力取心工具

1.4.1 结构原理

FPC 压力取心工具是根据气液高压设备项目由欧洲联盟投资发展起来的(图5),是一种推力和锤

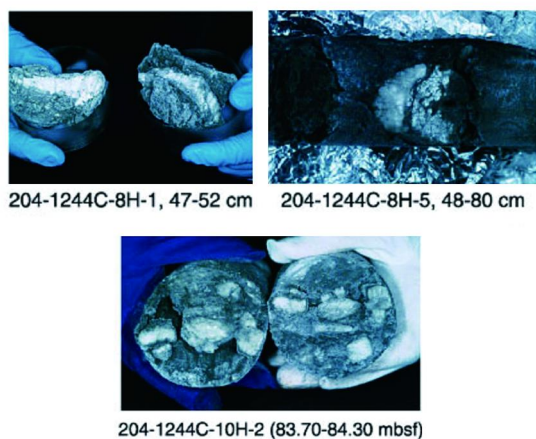


图4 在 Leg204 航次中取到的水合物岩样

击式取心系统,在具有压力和温度环境下实现密封。设计的 FPC 压力取样器可以在海底的深度水合物层取心,用钻井船或者半潜式钻井平台在 2500 m 范围内施工,在非常软到硬的页岩或松散到非常致密的土层、水泥质的砂层或泥岩 2 种地层中可以获得高质量的水合物岩样。

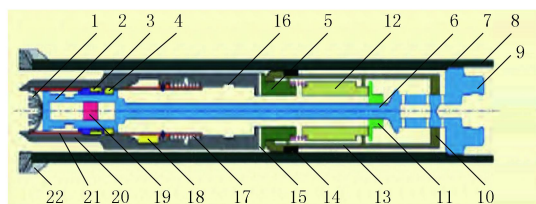


图5 FPC 的基本结构

1—岩心爪;2—活塞;3—卡爪;4—销钉;5—碰撞体;6—活塞杆;7—联顶环;8—ODP-BHA;9—打捞颈;10—泄压机构;11—阀;12—震动块;13—锤室;14—密封圈;15—渣孔;16—高压釜;17—套;18—阀;19—蓄能器;20—外筒;21—衬里;22—ODP 牙轮钻头

FPC 压力取心工具穿透地层象液体驱动推力取样器一样,在穿透期间当土壤阻力达到一个门限值时停止工作,一旦超过了这一个门限值(2.75 MPa 泥浆压力),压力驱动冲击锤工作,进而驱动取心系统继续工作。可以在 25 MPa 的压力和温度环境内实现密封岩心,可获得直径 58 mm、长度 1 m 的保压岩心。自 2002 年该工具成功应用在各种预探井,回收多次带压岩心,实际回收成功率 80%。

1.4.2 作业过程

当井眼深度到达取样深度后分 3 个步骤进行,第一步用绳索把工具送入钻杆内并坐到密封台肩上,以便切削钻头的底部通过主要钻头的孔伸出;第二步开泵,把钻井液泵入工具,首先推动取心筒进入土壤地层直到土壤的阻力超过了 2.75 MPa 的泥浆压力,然后泥浆压力驱动冲击锤工作,处在前面的取

心筒的行程达到 1 m,岩心通过切削钻头进入塑料衬筒内;第三步利用绳索将 FPC 工具回收到地面,同时拉动岩心进入高压筒部分,特殊的聚能瓣阀自动关闭,密封和保护岩心在压力的环境中。当工具到达甲板后立即将高压部分从工具中分离,岩心冷却在冰池槽内维持水合物的稳定,以防任何额外的损失,最后将高压部分放进现场的处理实验室。

FPC 压力取心工具的高压部分的岩心管,在现场冷却实验室内进行处理,将高压部分连接到转移系统,在不损失压力的情况下取回岩心。然后可以借用 X 射线、P 波速度和伽玛射线进行测试,在压力环境下观察深部的岩心分析,然后可以脱气或者使用切割转移箱切割,为进一步实验可将岩心保存在高压储存箱内。

1.4.3 主要参数

长度:10 m;
直径:100 mm;
质量:450 kg;
岩心长度:1 m;
岩心直径:58 mm;
高压腔最大压力:25 MPa。

1.4.4 主要特点

- (1)使用绳索通过钻杆释放;
- (2)使岩心衬管/筒进入土壤地层的力是由内置的冲击锤靠钻井液(海水)提供的;
- (3)高压部分保住岩心是在高压环境下进行的。

1.4.5 常规钻机设备要求

- (1)回收 FPC 工具需要使用带有 1000 ~ 3000 kg 能力的打牢绳;
- (2)能与井底钻具标准 API 螺纹的转换接头;
- (3)在操作期间,工具的作用力在钻杆上产生一个向上的力,为了获得较好的岩心质量,推荐使用一个象钻杆夹持器一样的底盘安装在海底构架上;
- (4)在甲板上要有 3 m × 12 m 的空间用来组装、维修和服务 FPC 工具,另外,工具带有自密封的 7 m 工作间集装箱;
- (5)泵的能力为 160 ~ 250 L/min,泥浆压力为 20 ~ 50 Pa;
- (6)泥浆类型,象聚合物、坂土或类似的泥浆确保钻井过程中的裸眼润滑。

1.5 FRPC (Fugro Rotary Pressure Corer) 旋转压力取心器

1.5.1 结构原理

Fugro 旋转压力取心器是一个很早就有的 HRC

(Hyace Rotary Corer) 旋转取心器, 是德国的克劳斯技术大学设计的, 属于 HYACE (水合物高压取心设备) 项目, 有欧洲联盟投资。设计的 FRPC 压力取样器可以在海底深度的水合物承载的地层取心, 用钻井船或者半潜式钻井平台在 2500 m 范围内施工。最初是为沉积物和硬岩地层设计的, 经过修改, 现在工具可以用来钻软、未固结和页岩地层, 增加的应用范围适应各种沉积岩。

FRPC 压力取心器使用了一个内置的水驱动的旋转马达, 通过钻杆循环钻井液提供能量, 结合高压系统, 在压力、温度环境下对岩心进行密封, 压力高达 25 MPa, 能获得直径 50 mm、长度 1 m 的带压岩心。自 2002 年该系统成功用于 5 种不同的预探井, 回收多次全直径和全压的岩心, 实际回收成功率 90%, 该系统一直在持续改进, 成功率也在不断提高。FRPC 的切削鞋使用了窄缝、用 PDC 切削元件的螺旋钻孔方式设计, 减少岩心的冲刷和污染。

1.5.2 作业过程

当井眼深度到达取样深度后分 3 个步骤进行: 第一步用绳索把工具送入钻杆内并坐到密封台肩上, 以便切削钻头的低部通过主要钻头的孔伸出; 第二步泵入钻井液通过工具使内置的水驱动旋转马达开始取心作业, 岩心通过切削钻头的领眼部分和特殊设计的岩心抓进入塑料衬筒; 第三步利用绳索将 FPC 工具回收到地面, 同时拉动岩心进入高压筒部分, 特殊的聚能瓣阀自动关闭。为温度稳定, 要求工具在 30 min 内升到泥线位置。工具到达甲板后立即将高压部分从工具中分离, 岩心冷却在冰池槽内帮助维持水合物的稳定, 防止任何额外的损失。最后将高压部分放进现场的处理实验室。

1.5.3 主要参数

长度: 10 m;
直径: 100 mm;
质量: 450 kg;
岩心长度: 1 m;
岩心直径: 50 mm;
高压腔最大压力: 25 MPa。

1.5.4 主要特点

- (1) 使用绳索通过钻杆释放;
- (2) 切削钻头/螺旋旋转使用一个内置马达, 由钻井液提供能量;
- (3) 高压部分保住岩心是在压力环境下进行的;
- (4) 利用钻井液清洗切削齿;
- (5) 切削钻头的前面为窄缝领眼设计, 避免岩

心进入内筒之前被污染;

- (6) 塑料衬管在取心期间不能旋转。

1.5.5 对设备的要求

- (1) 井下(旋转)取心工具;
- (2) 用于连接切削鞋和岩心抓的各种取心短节;
- (3) 保持压力达到 25 MPa 的高压能力;
- (4) 内衬筒;
- (5) 与 FRPC 连接到卸掉的井底钻具组合。

1.6 FHPC (Fugro Hydraulic Piston Corer) 液力活塞取心器

FHPC 是一种利用绳索回收的液力活塞式取心器, 所以取样操作是连续的、不停顿的、高效率的, 能提供几乎完整的从平台以下 (200 ~ 300 m) 深层段的海底沉积岩样。使用数年证明该工具是牢固的、灵活的, 维修少, 比其它所知道的任何取样工具获得的海洋沉积物岩样受干扰都少。用一层清洁的塑料衬管 (外径 71 mm, 内径 66 mm), 设计的 FHPC 工具可以在短型式 (4.6 m)、长型式 (9.1 m) 和中等多用途的型式 (7.6 m) 下使用, 通过 Fugro 的井底钻具组合进行变换, 允许它的用途象其他取心系统一样多样性, 比如象 Fugro 先进的保压取样器, Fugro 的压力取样器 (FPC) 和 Fugro 的旋转压力取样器 (FRPC)。

设计的 FHPC 标准的切削鞋提供最优的样品质量, 内径与壁厚的比率对土工技术的取样工具来说是比较好的。

FHPC 系统一直作为非保压取心工具在世界范围内几个水合物项目中使用: 通过硫酸盐甲烷界面取心; 回收正在分解或分解后的水合物; 回收固体状态的水合物; 气体孔隙和膨胀裂纹的可视定位。

钻孔到取心深度后施工程序为:

- (1) 利用提捞绳将 FHPC 系统下放, 坐到井底钻具组合上, 切削鞋正好在钻头位置;
- (2) 加压钻杆到启动点 (根据剪销的数量/类型, 90 ~ 195 Pa);
- (3) 启动后的 FHPC 系统通过钻头在控制行程速度的范围内进入土层;
- (4) 泥浆压力突然降低说明行程已结束。

2 国内天然气水合物取样技术研究

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^[11],但没有进行海试。2006年国家“863”把“天然气水合物勘探与开发”列为“十一五”的重大专项,“天然气水合物钻探取心关键技术”作为项目课题进行研究,经过科研人员的攻关,解决了取样的部分关键技术,并根据国内外的资料调研和国内的实际状况,课题组设计了3种不同方式的取样工具,在浅海区域进行了功能性试验并取样(图6,图7),工具性能基本达到设计要求。



图6 出心时照片

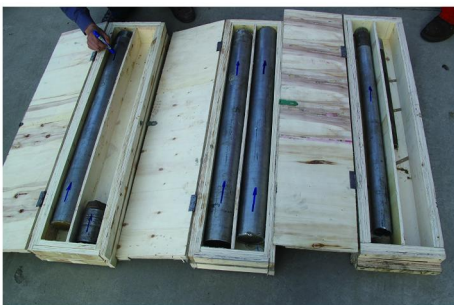


图7 岩心照片

2.1 WEPC(Wireline Extend Pressure Corer)绳索伸出式保压取样器

当进行取样钻探作业时,取样管伸出钻头下边,边转动边加压,有利于提高取样收获率。当取样结束,从井口下入绳索打捞系统与打捞机构对接,锁定机构自动解锁,活塞及保样管上行,拉杆与保温保压筒脱开,保样管随同活塞上行,当活塞到达保温保压筒上端时,保样管进入保温保压筒内,安装在保温保压筒内的控制系统工作,启动球阀关闭,使保样管处于密封腔室内,起到保温保压的作用。利用绳索回收保温保压筒缩短岩样从井底到地面的时间,有利于岩样保压保温,使用该工具施工时,必须在钻探船上进行实施。

WEPC保压取样器的主要参数:

长度:7 m;

直径:130 mm;

质量:550 kg;

岩心长度:3 m;

岩心直径:32 mm;

高压腔最大压力:20 MPa;

钻头外径:215 mm。

2.2 WRPC(Wireline Rotary Pressure Corer)绳索旋转式保压取样器

针对沉积物以下的硬岩层取样,课题组设计了该方案。当进行取样作业时,从井口将取样装置投入(或钢丝绳送入)专用钻杆内,取样装置坐在外套上,通过地面泵送的液体和转动钻具使取样钻头钻进取样。当取样结束,从井口下入绳索打捞系统与打捞机构对接,锁定机构自动解锁,活塞及保样管上行,拉杆与保温保压筒脱开,保样管随同活塞上行,当活塞到达保温保压筒上端时,保样管进入保温保压筒内,启动板阀关闭,使保样管处于密封腔室内,起到保温保压的作用。采用绳索转动式水合物钻探取样设备可以实现在硬岩层中的连续取样,不受岩层深浅的限制。取样结束利用绳索上提取样装置,速度快,有利于缩短岩样从井底到地面的时间和岩样的保温保压。该取样装置不仅具有压力补偿机构,而且在保温保压筒下边设置了温度压力记录仪,真实地反应出岩样在海底的温度压力状况。由于在该装置的保温保压筒的顶部设有悬挂轴承结构,在钻具带动取样钻头旋转时,保温保压筒及保样筒相对不转,有利于岩样收获率的提高。

WRPC保压取样器的主要参数:

长度:5.5 m;

直径:130 mm;

质量:550 kg;

岩心长度:3 m;

岩心直径:48 mm;

高压腔最大压力:20 MPa;

钻头外径:215 mm。

2.3 DRPC(Drill-stem Rotary Pressure Corer)钻柱式旋转保压取样器

当进行取样作业时,从井口将取心装置与钻具连接好,利用常规钻杆将取心装置下到井底取心层位,开泵循环钻井液进行取心作业。当取样结束,从井口投入一钢球坐到挡球塞处,开泵憋压剪断固定挡球塞的销钉,使挡球塞下落,球挂机构释放拉杆和保温保压筒,上提钻具,差动装置差动,外套下落,保样筒及割心机构一起上行,保温保压筒随着外套不

动,当活塞到达保温保压筒顶部,保样筒及割心机构已经进入到球阀上边,设置在保温保压筒内的控制系统发出指令,球阀关闭,使保样筒处于密封腔室内,起到保温保压的作用。采用钻柱式水合物钻探取心装置可以实现在硬岩层中的连续取样,不受岩层深浅的限制。取心结束利用钻具上提取出心装置,在上提过程中,当保样筒内的压力降低时,压力补偿装置进行补偿压力,使岩心处于接近地层的压力,对岩心进行保温保压。该取心装置不仅具有压力补偿机构,而且在保压保温筒下边设置了温度压力记录仪,真实地反应出岩心在海底的温度压力状况。由于在该装置的保温保压筒的顶部设有悬挂轴承结构,在钻具带动取样钻头旋转时,保温保压筒及保样筒相对不转,有利于岩样收获率的提高。

DRPC 保压取样器的主要参数:

长度:6 m;

直径:130 mm;

质量:550 kg;

岩心长度:3 m;

岩心直径:56 mm;

高压腔最大压力:20 MPa;

钻头外径:244 mm。

3种工具于2010年10月在胜利油田的浅海区域进行了功能性试验,基本满足了设计要求,但也暴露出许多技术问题,为该工具改进提供依据。试验用钻杆采用特殊设计的 $\varnothing 177.8$ mm套管为管体,连接螺纹为特殊设计与加工,目的是为了便于连接和拆卸。

3 结论与建议

(1) 钻探取样技术是解决深水深孔取样的技术

(上接第3页)

(1) 使用较小直径的钻杆,增大环状间隙。一般封孔往往采用钻进时的钻杆作导管,对绳索取心钻杆来说,环状间隙太小。建议采用细管(如 $\varnothing 50$ mm钻杆)作导管,如果没有那么多的细管也可以在下部被封孔段连接一定长度的细管,以减小水泥浆在环状间隙内的流动阻力。

(2) 准确把握各项参数,掌握孔内液柱情况。封孔时水泥浆在导管内是一动态的水泥浆段,一定要根据水泥浆量、导管容积率、替浆水量、水泥浆密度、返水情况等参数,时时把握水泥浆处在什么位置,确保浆液到达预定位置后,再及时提钻。

(3) 严禁带钻头等大直径钻具封孔。

手段,根据海底土层的岩石性质设计不同结构的天然气水合物取样装置,该项技术国外发展较早,相对比较成熟,对国内发展具有可借鉴作用。

(2) 绳索保压取样器和钻柱式保压取样器只有利用钻探船才能施工,但可以获取更深层的岩样,若要进行深海油气的开发是必须要走的路径,所以国家要综合利用各家的资源,采用能源联合开发的策略,既能节约资源,又能获得更多的能源。

(3) 建议在今后的规划中要综合考虑,既要利用前期的研制成果,又要完善和合成所取得的技术,对需要继续研制的课题定要给予支持与帮助,否则却不能发挥先有的技术。

参考文献:

- [1] Collett T S. Energy resource potential of natural gas hydrates[J]. AAPG Bull 2002,86(11):1971-1992.
- [2] 唐中华,张元泽,钟水清,等.天然气水合物勘探及H型水合物的储藏特性研究[J].天然气经济,2004,(2):33-35.
- [3] Kvenvolden K A. Gas hydrates-geological perspective and global chance[J]. Reviews of Geophysics,1993,31(2):173-187.
- [4] 陈作义,杨晓西,叶国文,等.天然气水合物概况及最新研究进展[J].海洋通报,2002,21(3):78-85.
- [5] 雷怀彦,王先彬,房玄,等.天然气水合物研究现状与未来挑战[J].沉积学报,1999,(6):493-497.
- [6] 蒋国盛,等.天然气水合物的勘探与开发[M].湖北武汉:中国地质大学出版社,2001.
- [7] 吴小建,荣耀,殷琨.海底液动冲击取样器的研究[J].同济大学学报(自然科学版),2005,33(10):1418-1422.
- [8] 白玉湖,李清平.天然气水合物取样技术及装置进展[J].石油钻探技术,2010,38(6):116-122.
- [9] 胡海良,唐海雄,罗俊丰,等.深水天然气水合物钻井及取心技术[J].石油钻采工艺,2009,(2):27-30.
- [10] 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.

(4) 水泥搅拌要均匀,灌注前要用筛网过滤。

(5) 灌注前要检查灌注设备,使保持良好工作状态。

6 结语

西藏罗布莎矿区地质条件复杂,地层严重破碎,钻孔漏失、坍塌、缩径等诸多困难同时存在,给钻探施工带来了很大的困难,是对钻探技术的极大挑战。我们通过采取一系列技术措施,解决了该项目施工中的许多技术难题,为以后深孔复杂地层钻探施工积累了一定经验,也得到很多启发,希望能为我们今后的深部钻探提供参考。