

西藏鸭湖地区天然气水合物调查井钻探施工技术

李宽¹, 王舒婷¹, 张永勤¹, 李鑫森¹, 董泽训², 王金平²

(1. 中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000; 2. 山东省第六地质矿产勘查院, 山东 威海 264209)

摘要: 西藏羌塘盆地是公认天然气水合物有利找矿区域, 钻探取心是鉴别天然气水合物最直接、最准确的手段。为满足天然气水合物钻探需求, 制定了大直径取心、低温泥浆护心的技术方案。试制了跟管取心钻具和大直径绳索取心钻具; 逐步完善低温泥浆配方; 研制出新型高效泥浆冷却装置。在鸭湖地区天然气水合物调查井施工中, 克服地层复杂、环境恶劣等难题, 完成钻探取样施工, 终孔深度 700.70 m, 岩心采取率满足地质要求。查明了地层岩性、冻土厚度、气源、岩石物性特征等, 不仅为天然气水合物资源评价也为其他油气资源调查提供了地质资料、技术支撑和人才储备。

关键词: 天然气水合物; 钻探取心; 低温泥浆; 跟管取心钻进; 绳索取心钻进; 泥浆冷却装置

中图分类号: P634 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2017)10-0026-05

Drilling Construction Technology of Natural Gas Hydrate Survey Well in Tibet Yahu Area/LI Kuan¹, WANG Shu-ting¹, ZHANG Yong-qin¹, LI Xin-sen¹, DONG Ze-xun², WANG Jin-ping² (1. The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China; 2. 6th Geology & Mineral Resources Survey Institute, Weihai Shandong 264209, China)

Abstract: Qiangtang basin is recognized as advantageous prospecting area for natural gas hydrate and core drilling is the most direct and accurate method to identify natural gas hydrate. The technical methods of large diameter coring and core protection by low temperature mud were assigned to meet the requirements of natural gas hydrate drilling; trial production of simultaneous casing coring tool and large diameter wire-line coring tool were carried out; low temperature mud formula was gradually improved and new type efficient mud cooling device was developed. In the construction process of natural gas hydrate survey well in Yahu area, in spite of complex formations and bad environment, sample drilling construction was completed at final depth of 700.70m. The core samples can satisfy the geological requirements, the stratum lithology, thickness of frozen earth, gas source and physical properties of rock are found out, which provides geological data, technical support and talent reserve not only for the evaluation of natural gas hydrate resources but also for other oil and gas resources investigation.

Key words: natural gas hydrate; core drilling; low temperature mud; simultaneous casing coring drilling; wire-line coring drilling; mud cooling device

0 引言

羌塘盆地是青藏高原年平均地温最低、冻土层相对较厚、地温梯度最低和成油成气最好的地区, 是公认的天然气水合物有利找矿区^[1]。中国地质调查局成立“天然气水合物勘查与试采”专项, 前期在羌塘盆地开展了区域地质调查、地球物理、地球化学勘查等工作, 调查显示鸭湖地区具有较好的天然气水合物形成的温压条件和烃类气源条件。

钻探取心是鉴别天然气水合物最直接、最准确的手段, 也是验证其他勘查技术与方法的途径^[2], 2015—2016年, 中国地质调查局在鸭湖地区开展了钻井调查工作, 调查井设计深度 700 m, 通过钻探取心验证前期物化探异常, 力争实现找矿新突破, 发现水合物新产地; 同时摸索适应于青藏高原地区施工的天然气水合物取心新技术、新方法及配套取心机具, 为陆域冻土区天然气水合物找矿提供技术支撑。

收稿日期: 2017-05-03; 修回日期: 2017-09-21

基金项目: 国家公益性地质调查项目“陆域冻土区天然气水合物钻采技术方法集成”(编号: DD-20160225)、“青南藏北冻土区天然气水合物资源勘查(勘探所)”(编号: GZH201400301); 国土资源部复杂条件钻采技术重点实验室开放课题“陆域天然气水合物松散覆盖层取心技术研究”(编号: DET201614)

作者简介: 李宽, 男, 汉族, 1987年生, 硕士, 地质工程专业, 主要从事天然气水合物钻采技术研究工作, 河北省廊坊市广阳区金光道77号, likuan0611@163.com。

通讯作者: 王舒婷, 女, 汉族, 1988年生, 机械设计制造及其自动化专业, 主要从事非开挖技术研究及相关管理工作, 河北省廊坊市广阳区金光道77号, 844795730@qq.com。

1 自然环境与地层条件

鸭湖地区位于西藏双湖地区,海拔约 5100 m,濒临人类生存极限,气候寒冷干燥,空气稀薄,风力强,自然环境严酷。年平均气温 $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$,施工周期为每年的 6—9 月。

综合地质调查资料与前期施工经验,钻井调查区预测地层如下:(1)0~190 m 为第四系覆盖层;(2)190~340 m 为第三系半成岩地层,岩性为含砾砂、泥层的湖相沉积物、洪积物,冻土厚度 70 m;(3)340~480 m 为三叠系土门格拉群,岩性为泥质粉砂岩、泥岩、粉砂质泥岩等;(4)480~700 m 为二叠系鲁谷组,岩性为灰岩。

2 井身结构设计

(1)一开:Ø152 mm 硬质合金钻头单管干钻取心钻进至 12 m,然后用 Ø311 mm 钻头扩孔,下入 Ø219.07 mm 孔口管。

(2)二开:第四系松散覆盖层约 190 m,采用跟管取心钻进,取心钻头直径 152 mm,扩孔器扩孔直径 176 mm,跟进的套管外径 168 mm,跟管钻进深度约 190 m。

(3)三开:第三系半成岩地层,有一定的胶结和强度,泥浆不会将岩心直接冲散,孔壁不会出现大范围的坍塌现象,缩径和掉块现象在所难免,深度约 190~340 m,拟采用 S122 绳索取心钻进,钻至稳定基岩后用 Ø152 mm 钻头扩孔,然后下入 Ø146 mm 护壁套管。

(4)四开:采用 S122 绳索取心钻进至 500 m 左右,测井后下入 Ø114 mm 护壁套管。

(5)五开:采用 S99 绳索取心钻进至设计深度。

鸭湖地区天然气水合物调查井设计的井身结构如图 1 所示。

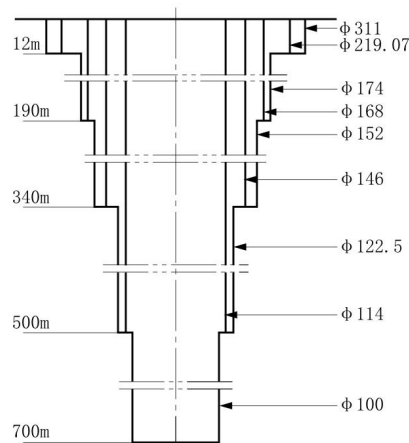


图 1 设计井身结构

3 钻探设备

在高原地区施工,为了提高钻探施工效率、缩短施工周期、降低钻探成本,钻探设备和附属设备的选择主要考虑以下几个方面。

(1)维修保养方便:施工区为无人区,在正常工作过程中出现钻机、动力机等设备损坏的情况时有发生,在设备配套中选择易于维修保养的成熟机型,尽量选择操作人员熟练程度高的设备。

(2)易于安装与搬迁:设备要便于安装与拆卸,尽量减少钻前、钻后的辅助工作时间,降低施工成本,缩短施工周期。

(3)机械化程度高:施工区高寒缺氧,对现场施工人员身体素质要求高,尽量选用机械化程度高的设备,降低现场施工人员的劳动强度。

(4)节能环保:使用节能环保型发电机组,减少燃料消耗,降低对环境污染,对油品适应性强,降低施工成本。

综合以上因素考虑,选用的钻探设备与附属设备及其主要技术参数如表 1 所示。

表 1 钻探设备及主要技术参数

序号	设备名称	规格型号	主要技术参数
1	钻机	XY-5	电机功率 55 kW;最大扭矩 5.64 kN·m;立轴转速:正转 85~1232 r/min,反转 65~225 r/min
2	泥浆泵	BW-250	泵量 35~250 L/min;泵压 2.5~7.0 MPa
3	钻塔	HXC-13	天车梁最大静载荷 163 kN;提升立根长度 3 m×3
4	动力机	WPG206B/F8	150 kW,供钻机、泥浆泵、绞车等
		WPG103B/F9	75 kW,供泥浆制冷装置、生活等
5	绳索取心绞车	SJ-2	容绳量 1000 m;电机功率 5.5 kW
6	绳索取心液压钳	SQ118/8	应用范围 Ø71/89/114 mm;额定系统压力 16 MPa
7	旋流除砂器	QJQ100×2	处理量 40 m ³ /h;除砂旋流分离直径 47 μm

4 取心技术

4.1 覆盖层取心

覆盖层岩性是含砾粗砂,无胶结,开孔采用 $\text{Ø}152\text{ mm}$ 硬质合金钻头干钻取心,长孔段采用“隔水式单动双管取心、孔底扩眼跟管护壁”的钻进方法,跟管取心钻进原理和钻具组合如图2所示。隔水式单动双管取心采用湿式钻进,相比于干钻取心,泥浆能起到良好的护壁作用。取心钻头外径 152 mm ,内径 80 mm ,镶焊复合片或硬质合金切削具,采用近钻头冷却,泥浆不会直接冲刷、冲散岩心,松散沉积地层能够进入岩心管。单动双管钻具,内管不回转,减少回转和振动对岩心的破坏^[3-6]。裸孔段扩眼采用液推式扩眼器,安装在钻头、取心钻具上部,钻杆、钻铤下部,回次钻进时,泥浆压力推动扩孔翼张开,通过泥浆压力值判断扩孔翼是否完全张开。回次钻进结束,正常情况下复位弹簧实现扩孔翼自动收敛,如遇回收故障,通过投球的方式改变泥浆通道强制回收扩孔翼。跟管取心钻进能解决取心困难、孔壁不稳定等问题^[7-9]。

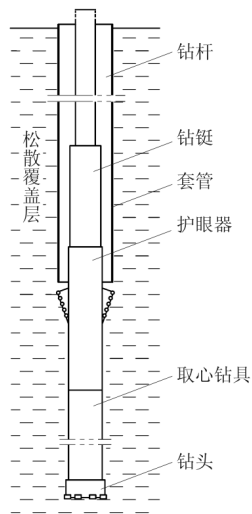


图2 跟管取心钻进原理

4.2 半成岩与基岩地层钻进

半成岩及以下成岩地层,采用大直径绳索打捞不提钻快速取心钻进工艺,绳索取心钻具结构如图3所示。岩心直径大,能保证岩心内部的水合物不分解,绳索取心能将岩心快速运至地表,同时配合少打勤提、短回次钻进、半合管取心等技术措施,能够保证水合物样品的原状性,在前期工作中已经验证该钻探取心方法的可行性。

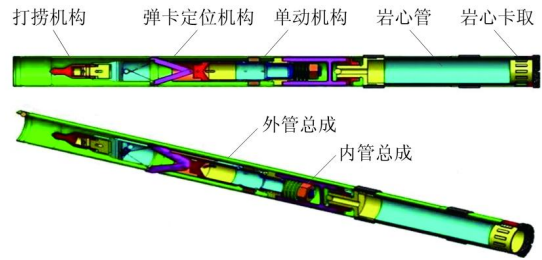


图3 大直径绳索取心钻具结构

5 低温泥浆技术

5.1 低温泥浆配制

低温泥浆采用水基泥浆,一般情况下可以用 NaCl 、 KCl 、 CaCl_2 等盐类配成低温基础液,为了得到低温效果更佳的低温泥浆,使用有机添加剂如乙醇、乙二醇、丙三醇、乙烯乙二醇和表面活性剂等,使用纯碱(Na_2CO_3)调节泥浆 pH 值至 $7.5 \sim 8.5$ ^[10-11]。泥浆材料与有机处理剂由技术成熟的泥浆服务公司提供,包括膨润土、磺化褐煤树脂、广谱护壁剂Ⅲ型、腐殖酸钾、 $\text{PAC}-141$ 、高粘防塌剂、单向压力封闭剂、羧甲基纤维素钠、混合堵漏剂等。加重材料采用重晶石粉,要求密度 $\geq 4.2\text{ g/cm}^3$, $75\text{ }\mu\text{m}$ 筛余物质量分数 $\leq 3.0\%$ 、小于 $6\text{ }\mu\text{m}$ 颗粒 $\leq 30\%$,水溶性碱性金属含量 $\leq 250\text{ mg/kg}$ 。通过室内调试确定泥浆配方如下。

(1) 松散覆盖层: $70 \sim 100\text{ kg/m}^3$ 膨润土 + $15 \sim 20\text{ kg/m}^3$ 磺化褐煤树脂 + $5 \sim 10\text{ kg/m}^3$ 广谱护壁剂 + $100 \sim 200\text{ kg/m}^3$ 重晶石粉。主要性能参数:密度 $1.15 \sim 1.20\text{ g/cm}^3$,粘度 $28 \sim 35\text{ s}$ 。

(2) 基岩地层: $10 \sim 15\text{ kg/m}^3$ 多元共聚物 $\text{PAC}-142$ + $20 \sim 30\text{ kg/m}^3$ 腐殖酸钾。主要性能参数:密度 $1.01 \sim 1.03\text{ g/cm}^3$,粘度 $16 \sim 25\text{ s}$ 。

(3) 漏失地层: $80 \sim 100\text{ kg/m}^3$ 膨润土 + $30 \sim 50\text{ kg/m}^3$ 褐煤树脂/腐殖酸钾 + 5 kg/m^3 广谱护壁剂 + $2.4 \sim 3.0\text{ kg/m}^3$ 纯碱 + $25 \sim 50\text{ kg/m}^3$ 堵漏剂。主要性能参数:密度 $1.04 \sim 1.08\text{ g/cm}^3$,粘度 $45 \sim 60\text{ s}$ 。

5.2 泥浆冷却技术

在钻进过程中,钻头克取岩石、钻杆与孔壁之间的摩擦、地表热辐射、泥浆泵活塞运动等都会产生热量,泥浆温度在循环过程中不断升高,破坏了天然气水合物赋存的温压条件,会引起水合物的分解,而低温泥浆可以将岩心在钻进和提钻过程中保持在低温状态($\leq 3\text{ }^\circ\text{C}$),提高了钻探取心的保真度,有利于钻

获水合物实物样品。因此,泥浆冷却技术是天然气水合物钻探的关键技术。

前期钻探施工中采用的是同轴套管式泥浆冷却装置,在野外应用中存在启动电流高、体积大、结冰堵塞、换热元件腐蚀导致换热效率低等问题^[12-16],对此,项目组设计加工了新型翅片管式泥浆冷却装置,其系统组成与工作原理如图 4 所示。新型泥浆冷却装置的制冷机组采用变频启动,峰值启动电流 58 A,相比于定频启动,启动电流降低 80%。翅片管式换热器质量轻,降低了设备的质量,易于野外搬迁;翅片管可大大提高换热面积,增加换热量;同时不会因为泥浆的腐蚀降低传热效率。

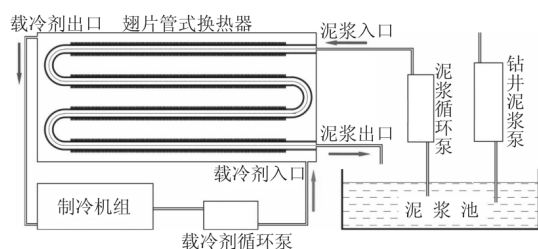


图 4 泥浆冷却装置系统组成与工作原理

6 调查井钻探施工情况

天然气水合物调查井一开采用 $\varnothing 311$ mm 钻头全面钻进,钻进 12.00 m,下入 $\varnothing 219.07$ mm 孔口管。二开采用 $\varnothing 190$ mm 刮刀钻头钻至 100.63 m,下入 99.58 m $\varnothing 168$ mm 套管,固定孔口。三开采用 $\varnothing 152$ mm 钻头全面钻进至 190.00 m,再用 $\varnothing 114$ mm 绳索取心钻具取心,然后用 $\varnothing 152$ mm 钻头扩孔,钻至 343.58 m,进行测井,然后下入 $\varnothing 146$ mm 套管至孔底。四开采用 $\varnothing 114$ mm 绳索取心钻具连续取心,钻头直径 122 mm,钻至 480.96 mm,进行测井,然后下入 $\varnothing 114$ mm 套管至孔底。五开采用 $\varnothing 89$ mm 绳索取心钻具连续取心,钻头直径 99.5 mm,钻至 700.70 m,进行测井,终孔。

图 5 为施工现场,图 6 为钻取的岩心图片。终孔后,整理现场岩心,起拔孔内套管,钻杆拆单根,拆卸钻探设备,草场复垦,整理现场物资。

调查井施工共计 59 d,设计深度 700.00 m,终孔深度 700.70 m,取心段进尺 543.73 m,岩心长度 485.53 m,岩心采取率 89.30%,达到设计要求,并配合完成录井、测井工作。调查井实际钻孔结构如图 7 所示,钻探进度如图 8 所示,各工序时间如图 9 所示。



图 5 调查井施工现场



图 6 调查井钻取的岩心

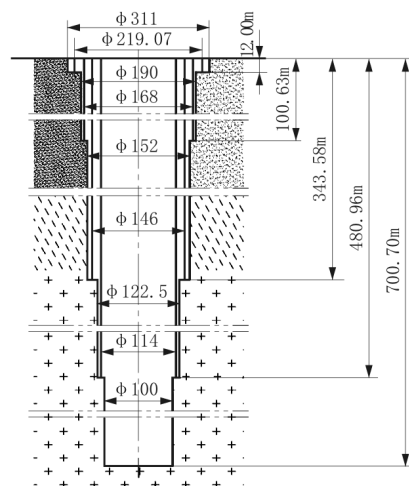


图 7 实际井身结构

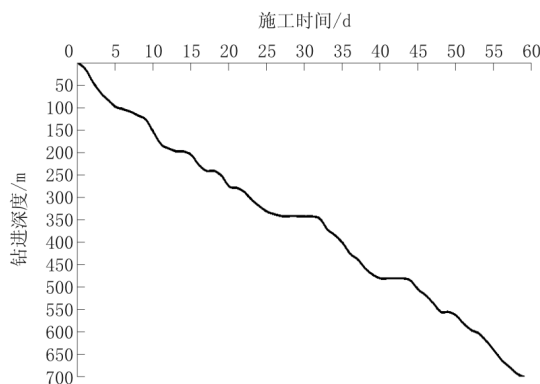


图 8 钻探进度曲线

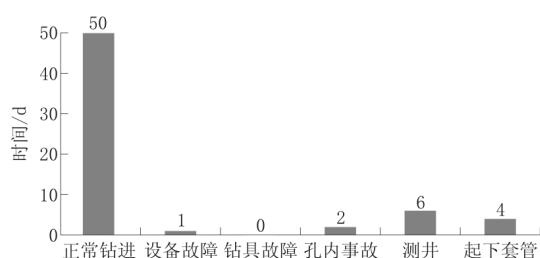


图9 钻探施工时间分配

7 结语与建议

(1)克服高原寒冷、地层复杂等技术难题,完成钻探取心施工,查明了地层岩性、冻土厚度、地温梯度、气源、岩石物性特征等,不仅为天然气水合物资源评价、成藏理论分析提供素材,也为该地区地质构造研究、其他油气资源与矿产资源调查提供有用的地质资料。

(2)摸索出一整套适用于高原冻土区天然气水合物资源评价钻探技术体系,包括成套钻探设备、取样器具、低温泥浆技术等,为天然气水合物找矿提供技术支撑。

(3)下一步应加强钻探设备轻便化、集成化与机械化方面的研究,缩短辅助时间,尽量降低现场工作人员的劳动强度。

参考文献:

- [1] 祝有海,赵省民,卢振权. 中国冻土区天然气水合物的找矿选区及其资源潜力[J]. 天然气工业,2011,31(1):13-19.
- [2] 张永勤,祝有海. 祁连山永久冻土带天然气水合物钻探工艺与应用[J]. 地质通报,2011,30(12):1904-1909.
- [3] 杨昌杰,张绍和,苏宏岸,等. 适用于破碎地层的新型单动双管钻具[J]. 煤田地质与勘探,2014,42(1):87-89.
- [4] 李倩,彭振斌,宋玉印. 新型双动双管钻具在松散、破碎地层的
- 应用[J]. 机械与电子,2013(15):128-129.
- [5] 蒋兵,汪子奇,周智勇,等. 钻天山矿区 $\varnothing 219$ mm 大口径金刚石单动双管钻探施工技术[J]. 资源环境与工程,2016,30(2):231-237.
- [6] 刘建福,王建兴,孙秀梅,等. 松散性厚覆盖层钻进实践与体会[J]. 地质装备,2015,16(1):36-38.
- [7] 朱芝同,张化民,宋志彬,等. 西成高铁卵漂石地层全套管跟管钻进施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(5):50-52,56.
- [8] 丁晓庆,何龙飞. 气动潜孔锤跟管钻进技术在岩土工程勘察施工中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(1):17-21.
- [9] 高晓亮,刘刚,侯红,等. 煤矿瓦斯抽放孔跟管钻进用偏心 PDC 钻头的研制[J]. 金刚石与磨料磨具工程,2014,34(2):65-68.
- [10] 陈礼仪,王胜,张永勤. 高原冻土天然气水合物钻探低温泥浆基础研究[J]. 地球科学进展,2008,23(5):469-473.
- [11] 王胜,陈礼仪,张永勤. 无固相低温钻井液的研制-用于青藏高原永冻层天然气水合物的钻探[J]. 天然气工业,2009,29(6):59-62.
- [12] 李国圣,孙友宏,郭威. 天然气水合物钻井泥浆冷却系统的设计及现场应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(2):8-11.
- [13] 李宽,张永勤,孙友宏,等. 天然气水合物钻井泥浆冷却系统研究及优化[J]. 钻采工艺,2013,36(4):34-36,16.
- [14] 陈大勇,陈晨,冯雪威. 漠河盆地天然气水合物钻探施工中的泥浆冷却系统及其应用[J]. 地质与勘探,2011,47(4):705-708.
- [15] 刘玉民,赵大军,郭威,等. 水合物钻探低温泥浆制冷系统实验及理论[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2012,42(S3):301-308.
- [16] 赵江鹏,孙友宏,郭威. 钻井泥浆冷却技术发展现状与新型泥浆冷却系统的研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(9):1-5.
- [17] 李宽,张永勤,王汉宝,等. 冻土区天然气水合物钻井泥浆冷却系统设计及关键参数计算[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(7):45-48.