

漠河冻土地区天然气水合物钻探施工技术

于磊¹, 赵大军¹, 孙友宏¹, 张永勤², 郭威¹, 贾瑞¹, 段会军¹

(1. 吉林大学建设工程学院, 吉林 长春 130026; 2. 中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000)

摘要:天然气水合物是一种清洁的潜在资源,漠河冻土地区为天然气水合物的形成提供了有力的条件。根据当地的地质条件和水合物勘探开发的技术要求,确定相应的钻孔结构和钻进技术参数,合理选择了钻探设备。钻进过程中运用低温泥浆、泥浆冷却技术、大直径绳索取心钻进工艺,快速获得岩心,从而减少水合物的分解,为以后该地区天然气水合物的勘探提供了经验。阐述了漠河冻土地区天然气水合物钻探施工中的钻进关键技术。

关键词:天然气水合物;钻探设备;泥浆制冷;大直径绳索取心钻进;漠河

中图分类号:P634 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2011)06-0013-04

Drilling Construction Technology of Gas Hydrate in Mohe Permafrost Region/YU Lei¹, ZHAO Da-jun¹, SUN You-hong¹, ZHANG Yong-qin², GUO Wei¹, JIA Rui¹, DUAN Hui-jun¹ (1. College of Construction Engineering, Jilin University, Changchun Jilin 130026, China; 2. The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

Abstract: Gas hydrate is a potential clean resource. There are strong conditions in Mohe permafrost region for gas hydrate formation. According to the local geological conditions and the technical requirements of hydrate exploration and development, the appropriate borehole structures and drilling parameters were determined, and drilling equipments were rationally selected. Low-temperature drilling mud, drilling mud cooling technology and large diameter wire-line coring drilling were applied in drilling process for rapid coring to reduce the decomposition of gas hydrate. The paper described the key technologies of drilling construction for gas hydrate in Mohe permafrost region.

Key words: gas hydrate; drilling equipment; mud cooling; large diameter wire-line coring; Mohe

天然气水合物是一种可以取代石油煤炭的清洁能源,因而也是一种重要的潜在未来资源,且其储量巨大^[1]。研究表明,其资源量相当于全球煤、石油和天然气资源量之和的2倍^[2]。我国国土资源部门已将天然气水合物的调查与评价列入了“十五”计划及2015年规划^[3]。漠河盆地年平均气温低,地温梯度为1.9℃,冻土发育,并有充足的气源形成天然气水合物,为水合物的形成提供了有利条件^[4]。该地区地层以砂岩为主,在砂岩地层中,竖向裂隙发育,其中,5.80~22.60 m为粉砂岩和泥岩互层,227.20~232.15 m为泥岩,345.65~368.20 m为泥质粉砂岩。

1 钻进工艺方法

1.1 钻孔结构及钻具级配

钻孔结构见图1。开孔使用 $\Phi 174$ mm硬质合金钻头减压钻进至9.70 m,下入 $\Phi 168$ 套管10.0 m,更换 $\Phi 127$ mm绳索取心钻具,钻头直径为133.5 mm,在钻具上加焊导正环钻进1.5 m后再正常钻进至114.50 m。而后将 $\Phi 127$ mm钻杆作为套管,换成

$\Phi 108$ mm绳索取心钻具,钻头直径为112.5 mm,钻进至500.10 m。

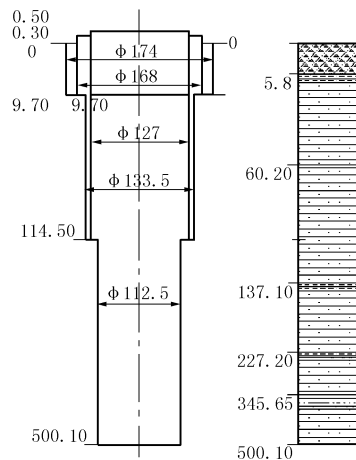


图1 钻孔结构示意图

1.2 钻进技术参数

绳索取心钻进参数包括轴向压力、转速、冲洗液量,影响的参数主要为钻进岩石的性质、钻头的种类与结构、钻孔直径、钻进设备和钻具性能等。综合以

收稿日期:2011-02-28; 修回日期:2011-04-03

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“青藏高原冻土带天然气水合物调查评价”(1212010818055)

作者简介:于磊(1986-),男(汉族),安徽亳州人,吉林大学硕士研究生在读,地质工程专业,研究方向为钻探工艺及机具,吉林省长春市吉林大学前卫北区3舍521,466913850@qq.com。

上因素和钻进实际效果,选择的钻进参数见表1。

表1 钻进参数选择表

钻头规格 /mm	转速范围 /($r \cdot \min^{-1}$)	轴向压力 /kN	冲洗液量 /($L \cdot \min^{-1}$)
Ø174	102~169	25~46	120~150
Ø133.5	102~244	20~40	80~120
Ø112.5	244~357	15~30	60~90

2 钻探设备选择

选用 HXY-6A 型钻机,主要技术参数:转速 102~994 r/min,钻进深度为 800~2200 m,立轴最大起重力 200 kN,最大加压力为 150 kN,单绳最大提升力为 85 kN。该钻机结构简单紧凑,布局合理,质量适中,拆卸方便,便于搬运。

选用 HBW-320 型泥浆泵,该泵为三缸单作用泵,最大流量为 320 L/min,最大压力为 10 MPa。钻塔为 HCX18 型钻塔,是四角直斜两用的管式钻塔,名义高度 18 m,层高 1.7 m,4 根 3 m 长的绳索取心钻杆立根可靠放,底座占地面积小,适于山区使用。

泥浆制冷系统为单独设计的系统。主要由载冷剂制冷、冲洗液冷却和温度检测 3 部分组成。泥浆降温过程如图 2 所示,井内返出的泥浆,进入泥浆池净化后进入冷却系统,冷却后再回到泥浆池,最后由泥浆泵注入井内。现场布置见图 2。

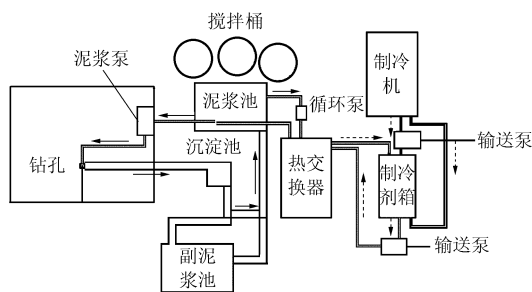


图2 泥浆及泥浆冷却系统现场布置图

3 钻进关键技术

针对现场的地层条件、选用的机械设备以及采取天然气水合物的要求,钻进过程中运用了泥浆制冷系统、大直径绳索取心钻具和对应的泥浆体系。

3.1 泥浆制冷系统

天然气水合物勘探开发中的关键问题是要阻止水合物到达地表前由于赋存条件的改变而发生分解。泥浆温度在钻进过程中对水合物的分解有着很大的影响。泥浆温度过高,在钻进和取心的过程中都会使水合物发生分解,因此采用低温泥浆就有重要的意义^[5]。由图5可以看出,一个大气压时,温度

对水合物分解的影响特别大,如果可以把水合物的温度保持在零度,就可以有效地减缓水合物的分解^[6]。采用吉林大学建设工程学院研制的天然气水合物泥浆冷却系统,可以使泥浆的温度为 0~2 °C,在水合物的钻探过程中有着十分重要的作用。

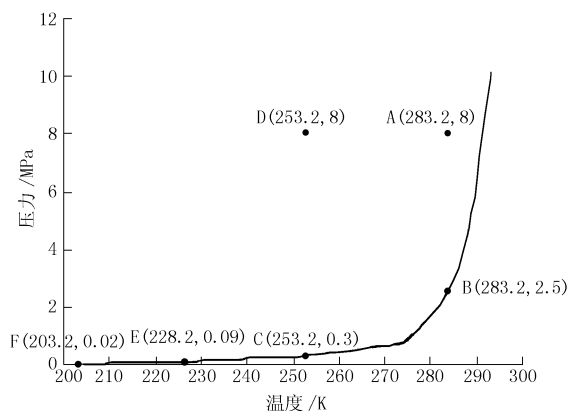


图3 典型天然气水合物压力-温度平衡相图

泥浆制冷系统的工作原理如下:制冷机组将乙二醇水溶液制冷,制冷后的乙二醇温度可达到 -15 °C,一般设为 -5 °C。乙二醇输送泵将其从载冷剂箱输送到同轴套管式换热器,同时, BW-160 型泵将泥浆池内泥浆也输送至同轴套管式换热器,在换热器内通过逆向流动实现热交换,冷却泥浆,使泥浆出口、入口温差为 2 °C,冷却后的泥浆回到泥浆池内,从而能够在钻井过程中泥浆温度始终在低温状态。同时,通过温度检测部分,检测系统关键点的温度,保证进井温度低于 5 °C,一般低于 2 °C。制冷后的泥浆可能会低于 0 °C,为防止管内泥浆被冻结,在泥浆里加入 NaCl,保证泥浆制冷系统的正常运行。为保证制冷系统的正常使用,需注意以下事项:(1)制冷机组启动开始,由于载冷剂箱温度初始温度高,可能导致制冷机组停机,这时,关闭制冷机组,按氟利昂压力复位按钮,然后再启动制冷机组;(2)温度巡检仪和温度显示仪表需要在零度以上温度条件下工作,不可置于户外低温环境;(3)关闭系统时,必须先关闭载冷剂箱泵,待泥浆与乙二醇温度相同时,才能关闭泥浆泵。

漠河地区现场昼夜温差大,可能会导致机器工作不正常,需要实时检查,确保正常运行。气温也对泥浆的温度影响明显,图4是泥浆入口温度和出口温度的时间曲线。从图4可得出以下结论。

(1)入井温度始终低于 5 °C,满足钻进要求,而 7:00 左右因关闭制冷,导致出井温度较高,经过一段时间的循环,出井温度恢复至 4.5 °C 左右。故在

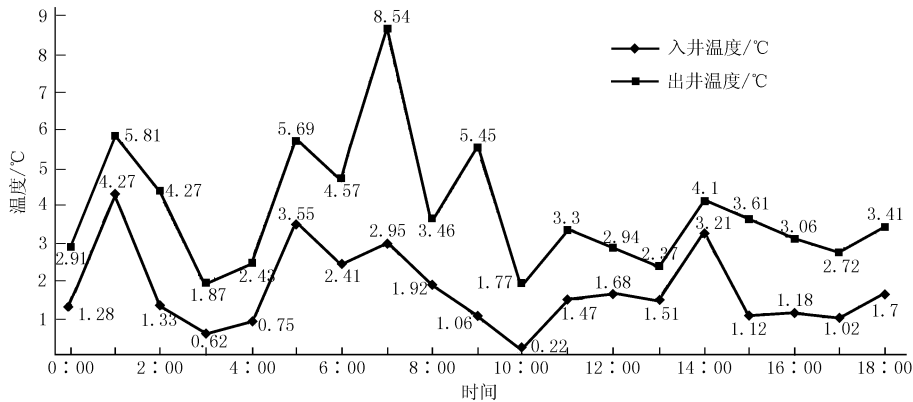


图4 泥浆入井和出井温度-时间曲线

钻进过程中,应尽量保持制冷系统常开,保证孔内温度低于 5°C ,避免温度过高,若有天然气水合物,可能会产生大量分解。

(2)白天在保持相同制冷功率的情况下,入井和出井温度在14:00左右达到峰值,符合当地的温度变化。为保证入井温度和出井温度满足要求,需要调节冷却后的乙二醇的温度。一般,6:00~12:00,制冷后的乙二醇温度设为 -15°C ;12:00~18:00,制冷后的乙二醇温度设为 -10°C ;18:00~06:00,制冷后的乙二醇温度设为 -5°C 。

3.2 大直径绳索取心钻进技术

天然气水合物存在于低温高压的地区,在常温常压的环境中就会分解,无法保持水合物的形态。钻进过程中,由于钻头产热,水合物的温度在钻进过程中会有所升高,而随着水合物由地下到地上,其压力不断的降低,这样水合物就会分解,无法得到水合物的准确信息。因此水合物的勘探和开发过程中的钻进工艺与常规的钻进工艺有所不同。现在国际上通常采用保压取样,但是其结构十分复杂。采用大直径绳索取心钻进方法,取心直径大,含有的水合物较多,在钻进过程中产生的热量,以及钻进过程中压力降低所造成水合物的分解,只会影响到样品的表面,在内部还会有水合物保存下来;能把岩心迅速提出地面,实现连续取心,降低成本,缩短岩心在孔内的停留时间,样品可以把温度以及压力的影响时间降到最低,使水合物能够更多的保存下来^[8]。2009年,在青海木里盆地使用大直径绳索取心钻进成功钻获了水合物样品。

为达到快速取心的目的,规定每个回次钻进深度为1.5 m,在钻孔深度为400 m时,每个回次最长时间为1 h。使用 $\varnothing 127\text{ mm}$ 绳索取心钻具和 $\varnothing 108\text{ mm}$ 绳索取心钻具,岩心直径大,拔断岩心力比常规小径绳索取心要大得多,卡簧需满足以下要求:卡簧

自由内径比钻头内径小 $0.3\sim 0.4\text{ mm}$,卡簧座底端距钻头内台阶 $3\sim 4\text{ mm}$,卡簧与卡簧座锥度一致^[9]。实际钻探时,孔内往往有残留岩心,钻进完整岩心时,曾有岩心全部残留在孔内,主要原因是:(1)卡簧内径稍大,需多配几种内径的卡簧,在每次下钻前,用上次的岩心检验卡簧;(2)用PDC钻头钻进时,换新钻头时,应适当减小卡簧的内径;(3)卡簧活动范围为25 mm,行程较大,现场有时使用双卡簧,靠近钻头的卡簧直径较小,上部卡簧主要目的是减少下部卡簧的活动距离,增强取心效果;(4)采用的卡簧刚度不同,刚度低的卡簧卡取岩心的能力弱,使用的寿命也仅为3 m左右,采用刚度高的卡簧,取心效果良好,寿命可达12 m。

由于 $\varnothing 127\text{ mm}$ 和 $\varnothing 108\text{ mm}$ 钻具直径较大,考虑加工精度及配合程度,将内管简化设计为:内管没有到位报信机构和岩心堵塞报警机构,在悬挂环上下位置分别设置4个对称的水眼,作为冲洗液经过悬挂机构的通道。钻进过程中,下内管前检查好轴向间隙,确保弹卡收缩自由。因为没有到位报信机构,需要提拉内管,通过声音辨别内管总成是否下到位,或是在卷扬钢丝绳上作标记,观察内管是否下到位^[10]。

钻进中使用了柱形PDC钻头、尖头PDC钻头和平底孕镶金刚石钻头,每个钻头在孔内的钻进深度如表2所示。从该地区的地质条件和钻头的使用寿命中可以发现,随着钻探工作的进行,砂岩硬度增加,可钻性级别增大,对钻头的磨损非常严重,PDC钻头的寿命减小,后改用平底孕镶金刚石钻头,钻进速度为 1.5 m/h ,每个金刚石钻头使用深度如表2所示,提高了钻探效率,保证了钻探质量。而对于泥质砂岩地层,金刚石钻头的钻进效率低,特别是新的金刚石钻头,没有出露金刚石颗粒,钻进速度只有 0.12 m/h ,故需要用已使用过的金刚石钻头或者尖

头 PDC 钻头。

表2 钻头钻进深度表

孔深/m	钻头类型(数量)	每个钻头的钻进深度/m
0~9.70	硬质合金钻头(1)	9.70
9.70~114.50	柱形 PDC 钻头(5)	19.10,22.55,25.90,34.05,3.20
	柱形 PDC 钻头(2)	28.60,24.95
114.50~500.10	尖头 PDC 钻头(1)	5.15
	平底金刚石钻头	55.00,45.00,51.45,31.40,23.00,
	(10)	7.05,29.50,34.50,44.00,6.00

3.3 泥浆及堵漏护壁问题

泥浆对钻进的正常进行及孔内安全有着至关重要的作用,钻孔的泥浆配比见表3。对于绳索取心钻进,采用优质泥浆,可达到高转速钻进,发挥金刚石钻头的效率,从而实现高效钻进的目的^[11]。

表3 钻进过程泥浆配比表

钻进深度/m	泥浆配比
0~80	2% 膨润土
80~230	3% 膨润土 + 2% NaCl
230~300	清水 + 2% NaCl
300~500	0.5% PAM + 0.02% 尿素 + 2% NaCl

开孔后,上部松散地层稳定性差,泥浆护壁效果不佳,采用套管护壁。钻进至泥岩地层后,清孔,下入 $\varnothing 168$ mm 套管护壁,套管底部用护箍保护螺纹。钻进有陡立裂隙的砂岩地层,使用低固相泥浆进行堵漏,效果并不理想。在钻进至 114 m 左右时,孔口基本不返浆,漏失量达 $3.33 \text{ m}^3/\text{h}$,为严重漏失。为解决漏浆问题,在孔内下入 $\varnothing 127$ mm 套管进行堵漏。继续钻进,却出现随钻随漏的问题,并在孔内投粘土球 200 kg,两层套管之间用麻绳封堵,防止漏浆。用捞矛头将 $\varnothing 108$ mm 钻杆底部堵塞,并用木塞将捞矛头堵死,慢慢下入孔底,从而将泥浆压入岩石裂隙中,给泵后,返浆量为一半左右。再在泥浆中加入锯末 3 kg,泵入孔内,与泥浆球混合后,进入岩石裂隙产生封堵。继续钻进,漏浆量为 $0.83 \text{ m}^3/\text{h}$,属轻微漏^[12]。而后继续使用泥浆钻进,在泥岩地层中,因地层能自然造浆,采用清水钻进,并加入润滑剂。在 80 m 后,地层可能有天然气水合物,在泥浆中加入 2% 的 NaCl,一方面降低泥浆冰点,另一方面可以改变水合物平衡条件,抑制水合物的再生成^[13]。随着钻进深度的增加,特别是在清水钻进时,需要在钻具上涂抹润滑脂润滑钻具,保证高转速回转碎岩。后期考虑到地层中的泥岩和泥质砂岩,在泥浆中加入聚丙烯酰胺,防止掉块或崩塌,并可以

在钻具和孔壁之间形成润滑膜,减小摩擦阻力。本孔孔壁完整,只是部分泥质砂岩地层发生了缩径和掉块现象,在起拔钻具时要把内管置于孔外,减少泥浆对孔壁的扰动,但在下钻具时,应先将内管置于钻具中,缓慢钻透该地层。

4 结论

钻孔终孔深度为 500.10 m,从开孔到终孔用时 1020 h,纯钻时间为 342.8 h,岩心采取率为 93.86%。在钻进过程中,使用泥浆制冷系统,保证泥浆入井温度为 $2 \text{ }^\circ\text{C}$ 左右,孔内泥浆温度低于 $5 \text{ }^\circ\text{C}$ 。采用大直径绳索取心钻具钻进,取心直径大,能快速取心,最大限度降低水合物的分解。对应于制冷系统,使用特殊泥浆,使制冷系统正常运行;针对该地区的漏失地层,运用套管堵漏、投粘土球、加锯末等方法,最后取得了良好的效果。在这次钻探工作中采取了合理的工艺方法、钻探设备、技术参数,取得了良好的钻进成果,为以后在该区域天然气水合物的勘探开发奠定了基础。

参考文献:

- [1] 刘广志. 天然气水合物——未来新能源及其勘探开发难度[J]. 自然杂志, 2005, 27(5): 258-263.
- [2] 张凌, 蒋国盛, 宁付龙, 等. 国外天然气水合物岩心处理分析技术综述[J]. 地质科技情报, 2009, 28(1): 123-126.
- [3] 王达, 庞馨萍, 李常茂. 关于天然气水合物开发问题的思考[J]. 探矿工程, 2000, (4): 1-3.
- [4] 张永勤, 孙建华, 贾志耀, 等. 中国陆地永久冻土带天然气水合物钻探技术研究与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(S1): 22-28.
- [5] 白玉湖, 叶长明, 李清平, 等. 天然气水合物开采模型进展与展望[J]. 中国海上油气, 2009, 21(4): 251-256.
- [6] L. Stern, Cicerone, S. Kirby, W. Durham. Temperature, pressure and compositional effects on anomalous or "self" preservation of gas hydrate[J]. Canada Journal of Physics, 2003, 81: 271-283.
- [7] 郭威. 天然气水合物孔底冷冻取样方法的室内试验及传热数值模拟研究[D]. 吉林长春: 吉林大学, 2007.
- [8] 包贵全. 绳索取心工具与工艺技术研究[J]. 地质装备, 2008, (1): 20-27.
- [9] 张鸿飞. 直径 88mm 绳索取心金刚石钻进的初步实践[J]. 中国煤田地质, 1998, 10(S1): 32-34.
- [10] 陈小烽. 应用绳索取心钻进应注意的一些问题[J]. 西部探矿工程, 2002, (S1): 283-284.
- [11] 首照兵, 章述, 向昆明. 绳索取心钻进冲洗液的性能控制技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2008, 35(4): 29-30, 38.
- [12] 靖向党. 岩土钻孔工程学[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2003.
- [13] 王胜. 高原冻土天然气水合物钻探泥浆体系研究[D]. 四川成都: 成都理工大学, 2007.