

低温泡沫钻进技术在漠河盆地冻土井工程的试验研究

郭威^{1,2}, 孙中瑾^{1,2}, 孙友宏^{1,2}, 贾瑞^{1,2}, 计胜利^{1,2}, 王元^{1,2}, 陈光华^{1,2}

(1. 吉林大学建设工程学院, 吉林 长春 130026; 2. 国土资源部复杂条件钻采技术重点实验室, 吉林 长春 130026)

摘要: 低温泡沫钻进技术除了具有岩心采取率高、钻进效率高和孔内事故少的特点之外, 还具有低导热性、低热容量及对钻井孔壁的热干扰小等特点。低温泡沫系统由空压机、泡沫液罐、热交换器、泡沫发生器和参数监测系统组成。通过对泡沫液和空气制冷后, 经发泡器混合后可获得低温泡沫。利用低温泡沫作为冲洗介质进行取心钻进, 孔内返出的泡沫经消泡后, 可再次循环利用。该技术在漠河盆地冻土井工程中进行了应用, 经试验数据分析, 低温泡沫对冻土层温度的影响极小, 岩心采取率高, 满足冻土层取心钻进工作的要求。

关键词: 低温泡沫; 冻土层; 取心钻进; 漠河盆地

中图分类号: P634.6 文献标识码: A 文章编号: 1672-7428(2015)05-0016-03

Experimental Research on Low Temperature Foam Drilling Technology in Mohe Basin Permafrost/GUO Wei^{1,2}, SUN Zhong-jin^{1,2}, SUN You-hong^{1,2}, JIA Rui^{1,2}, JI Sheng-li^{1,2}, WANG Yuan^{1,2}, CHEN Guang-hua^{1,2} (1. College of Construction Engineering, Jilin University, Changchun Jilin 130026, China; 2. Key Laboratory of Ministry of Land and Resources on Complicated Conditions Drilling Technology, Changchun Jilin 130026, China)

Abstract: Besides high core recovery of drilling hole, high drilling efficiency and few drilling accident, low temperature foam drilling technology has characteristics of low thermal conductivity, low thermal capacity and little influence to borehole walls. The low temperature foam system is composed of air compressor, foam liquid tank, heat exchanger, foam generator and parameter monitoring system. The low temperature foam can be obtained in foam generator by mixing cooled low-temperature foaming agent and air. While coring drilling with the low temperature foam as circulation medium, the returned foam can be recycled again after defoaming. This technology has been applied in frozen formation in Mohe basin. According to the experimental data analysis, the low temperature foam drilling technology has little effect on the permafrost temperature, and high core recovery can meet the requirement of permafrost drilling.

Key words: low temperature foam; permafrost; core drilling; Mohe basin

0 引言

冻土是指0℃以下, 并含有冰的各种岩石和土壤^[1-2]。冻土对温度极为敏感, 钻进中冲洗介质的温度必须保持在0℃以下, 避免冲洗介质对地层温度的影响^[3-4]。泡沫是气体分散在液体中所形成的分散体系, 稳定泡沫中气液比多控制在60~100^[5-6]。低温泡沫钻进技术是指所生成的泡沫温度控制在0℃以下, 并作为钻井冲洗介质的一种钻进技术。

低温泡沫钻进技术具有如下优点。

(1) 满足地质目的。由于泡沫的导热能力仅为水的1/10, 因而在钻进过程中, 低温泡沫(≤0℃)与低温泥浆(≤2℃)相比较, 对冻土层温度的影响

更小, 可满足获得较低温度岩心的要求。同时, 对井壁温度的干扰也极小, 可准确判定冻土层的厚度和层位。

(2) 制冷能量利用率高。由于泡沫的热容量仅为水的1/4, 在满足钻进工艺要求的前提下, 所需泡沫体积与泥浆体积基本相当, 一旦达到所需的制冷温度后, 在完成一次井下循环后, 泡沫上升的温度比较小, 再次制冷时所需的能量远低于制冷泥浆, 能量利用率更高。

另外, 泡沫钻进还具有钻进效率高、岩心质量高和孔内事故少的特点^[7-8]。

收稿日期: 2015-02-26; 修回日期: 2015-04-24

基金项目: 中国地质调查局项目(GZHL20110320)、(GZH201400303)

作者简介: 郭威, 男, 汉族, 1979年生, 副主任, 副教授, 博士, 主要从事非常规能源钻采技术研究, 吉林省长春市西民主大街938号, guowei6981@jlu.edu.cn。

1 低温泡沫钻进工艺原理

低温泡沫钻进技术是将空气冷却系统和泡沫液制冷系统联合使用来获得低温泡沫并作为冲洗介质的一种钻进方法,其工艺原理如图 1 所示。

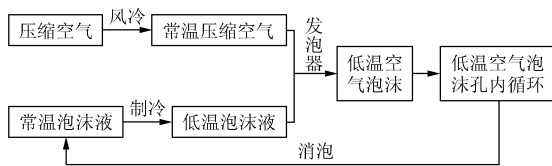


图 1 低温泡沫钻进工艺原理

- (1) 高温压缩空气经风冷获得常温压缩空气;
- (2) 常温泡沫液经制冷后获得低温泡沫液;
- (3) 常温压缩气体和低温泡沫液在发泡器中发泡,获得低温泡沫;
- (4) 低温泡沫经管路和钻杆柱被送入孔内,经环状间隙返回地面,实现孔内循环;
- (5) 返出泡沫经消泡和沉淀后,获得的泡沫液再次循环利用。

2 低温泡沫钻进系统组成

低温泡沫钻进系统由 4 部分组成,分别是载冷剂制冷系统、泡沫液制冷系统、低温泡沫循环系统和参数监测系统。低温泡沫钻进系统见图 2,系统的主要技术参数为:空气泡沫进井温度 $\leq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$,空压机排量 $3.3\text{ m}^3/\text{min}$,空压机压力 2 MPa ,泡沫泵流量 $8\sim 30\text{ L}/\text{min}$,泡沫泵压 2.0 MPa ,制冷机组功率 38 kW 。

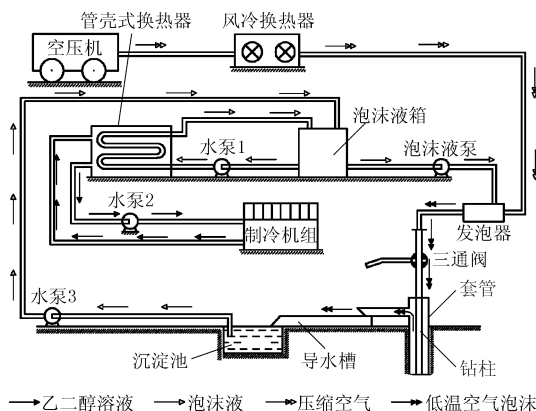


图 2 低温泡沫钻进系统结构组成示意

- (1) 载冷剂制冷系统。它是由制冷机组、水泵 2 和波纹管式换热器 3 组成。
- (2) 泡沫液制冷系统。它是由管壳式换热器、

水泵 3 和泡沫液箱组成。泡沫液通过管壳式换热器与载冷剂箱中的低温乙二醇溶液热交换后制得低温泡沫液。

(3) 低温泡沫循环系统。它是由泡沫液泵、空压机、风冷换热器、发泡器、钻柱、沉淀池和水泵 3 组成。空压机压缩后经风冷得到的常温压缩空气与低温泡沫液经发泡器混合后发泡得到低温泡沫,送入钻孔内并返回到沉淀池消泡,最终回收到泡沫液箱中。

(4) 参数监测系统。主要实现系统关键点参数监测,通过对系统关键温度和压力的监测,实时掌握系统的运行情况,及时调整系统的技术参数,满足正常钻进时的工况要求。

3 低温泡沫液配方优选

根据钻遇地层情况以及低温工况,对低温泡沫液进行了分析与优选试验研究。

发泡剂:离子型发泡剂十二烷基苯磺酸钠(ABS)。该发泡剂发泡能力较强,抗钙镁离子能力强。

稳泡剂:钠羧甲基纤维素(Na-CMC)。该稳泡剂是水溶性的高分子化合物,易于溶解在水中。

抗冻剂:根据泡沫液的低温要求,选用抗低温 NaCl,泡沫液的冰点可低于 $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

低温泡沫液配方为: $0.2\% \sim 0.5\% \text{ ABS} + 0.02\% \sim 0.05\% \text{ Na-CMC} + 10\% \text{ NaCl}$;其性能参数如下: $AV\ 20 \sim 40\text{ mPa}\cdot\text{s}$, $PV\ 10 \sim 20\text{ mPa}\cdot\text{s}$, $YP\ 10 \sim 15\text{ Pa}$,发泡倍数 2.55 倍, $t_{1/2}\ 8\text{ min}$ 。

4 应用试验

4.1 工程概况

工程位于黑龙江省大兴安岭地区的漠河盆地,属于原始森林山区。工作区地层属漠河组,上覆盖层为卵砾石或第四纪地层,整个地区发育有多年冻土,一般厚 $20\sim 80\text{ m}$ 。本区冻土属于冻岩类型,即“低温岩石”,对温度极为敏感。地层以粉砂质泥岩、泥质粉砂岩为主,也含有粉砂岩和细砂岩,局部地层较破碎,硬度 $6\sim 8$ 级,可钻性 $6\sim 8$ 级。

4.2 钻孔结构及钻具组合

4.2.1 钻孔结构

开孔:钻孔直径 135 mm ,钻深 5 m ;孔口管直径 114 mm ,下深 5 m 。

一开:钻孔直径 98 mm, 钻深 150 m。

4.2.2 钻具组合

开孔钻具组合: $\text{Ø}135$ mm 硬质合金钻头 + $\text{Ø}127$ mm 取心筒 + $\text{Ø}127$ mm 钻杆。

一开钻具组合: $\text{Ø}98$ mm 金刚石钻头 + $\text{Ø}89$ mm 绳索取心钻具 + $\text{Ø}89$ mm 钻杆。

4.3 钻探设备

选用 XY-4 型立轴式钻机、8.5 m 直斜两用钻塔和 SJ-1 型绳索取心绞车, 设备能力满足钻探工艺要求。

4.4 低温泡沫钻进试验

4.4.1 试验步骤

(1) 制冷载冷剂。开启制冷机组循环泵, 在制冷机组与管壳式换热器之间循环乙二醇溶液。再启动制冷机组, 制冷载冷剂乙二醇。

(2) 制冷泡沫液。开启载冷剂循环泵, 使低温乙二醇溶液在管壳式换热器内循环, 再启动泡沫液循环泵, 泡沫液在管壳式换热器的内部管路中流动, 通过低温乙二醇溶液制冷泡沫液, 获得低温泡沫液。

(3) 低温泡沫钻进。钻具下至孔内, 打开空压机进行孔内排水; 排水后, 启动泡沫液泵, 经过风冷后的常温高压空气与低温泡沫液混合, 在发泡器内发泡形成低温泡沫后送入孔内, 待泡沫返到地面时, 即可开始正常钻进。

(4) 参数监测。试验过程中, 实时监测循环系统的压力和温度数据。通过压力数据及时调整钻进工艺参数; 通过温度数据及时调整泡沫制冷工艺参数。

(5) 回次取心。待钻进一个回次结束时, 先关闭空压机和泡沫泵, 并使用管路的三通阀进行卸压, 然后使用绳索取心绞车提取岩心。

4.4.2 试验数据分析

工程共完成 8 个钻孔, 以 MP-07 孔为例, 终孔深度 147.51 m, 岩心采取率达到 99.59%, 说明低温泡沫钻进能够实现高岩心采取率。另外, 在钻进过程中, 泡沫进井温度一直保持在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下, 说明系统的制冷效果良好, 可以减少对冻土层温度的扰动, 满足冻土层钻进低温取心的工作要求, 图 3 为 MP-07 部分孔段泡沫进孔温度随孔深变化曲线图。

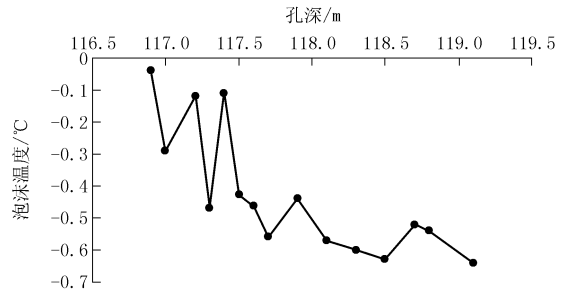


图 3 泡沫进孔温度随孔深变化曲线

5 结论

(1) 低温泡沫具有导热系数小和热容量小的优势, 适合于冻土区钻进低温工作的要求, 在提高钻进效率的同时, 能够提高岩心采取率和质量, 可大幅度降低孔内事故的发生。

(2) 研发的低温泡沫钻进系统具有原理简单、工作可靠、工艺流程顺畅及可实时调整的特点。经野外试验检验, 低温泡沫进孔温度始终保持在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下, 证明其工作的可靠性, 也没有出现烧钻、地层融化和塌孔等孔内事故, 说明低温泡沫在钻进过程中对地层温度扰动极小, 满足冻土层钻进取心的工艺要求。

参考文献:

- [1] 杨永鹏, 程东幸, 伏慧霞. 东北大兴安岭多年冻土区工程地质特征及评价[J]. 工程地质学报, 2008, 16(5): 657-662.
- [2] 张洪涛, 祝有海. 中国冻土区天然气水合物调查研究[J]. 地质通报, 2011, 30(12): 1809-1815.
- [3] 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.
- [4] 杨藏, 杨阳, 徐会文. 冻土区天然气水合物勘探低温钻井液理论与试验[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(7): 29-31.
- [5] 王智明, 聂衍钊, 孙友宏, 等. 泡沫钻进在宁夏宁南山区找水工程中的应用[J]. 西部探矿工程, 2002, (1): 92-93.
- [6] 徐良, 孙友宏. 基于泡沫钻进中消泡装置的试验研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2008, 35(6): 5-7.
- [7] 赵长福. 空气泡沫钻进技术在地质岩心钻探中的应用前景[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2005, 32(8): 45-49.
- [8] 张建, 王艳丽, 吴国强. 空气泡沫钻进技术在复杂漏失地层中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(8): 32-35.