

天然气水合物勘探泥浆制冷系统温控单元的改进研究

李家晟, 孙友宏, 郭威, 刘卫卫

(吉林大学建设工程学院, 吉林 长春 130026)

摘要:针对天然气水合物钻井泥浆制冷系统在使用过程中,人为操作不当或某些设备异常造成系统瘫痪及需要人工频繁开关载冷剂循环泵等问题,在原有系统基础上加入智能温控单元。提高了天然气水合物钻井泥浆制冷系统的自动化程度,解决了制冷过程中的重要隐患,以确保泥浆制冷过程正常进行。

关键词:天然气水合物;钻井泥浆;泥浆制冷系统;智能温控单元;自动化控制

中图分类号:P634 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2013)10-0016-03

Research on Automation Control Unit of Drilling Fluid Refrigeration System for Natural Gas Hydrate Exploration/LI Jia-sheng, SUN You-hong, GUO Wei, LIU Wei-wei (College of Construction Engineering, Jilin University, Changchun Jilin 130026, China)

Abstract: According the problems of natural gas hydrates drilling fluid refrigeration system in the using process, such as improper manual operation, system paralysis caused by some abnormal factors of the equipment and frequent manual switching on and off of refrigeration cryogenic medium circulating pump, the intelligent temperature control unit was added based on the original system to improve the automation degree of drilling fluid refrigeration system for natural gas hydrates. The important hidden dangers of the refrigeration process are solved to ensure the normal process of drilling fluid refrigeration.

Key words: natural gas hydrates; drilling fluid; drilling fluid refrigeration system; intelligent temperature control unit; automation control

0 引言

随着我国对能源需求量的增加,天然气水合物作为一种潜在的新型能源,成为勘探与开发的一个重要方向。由于天然气水合物特殊的低温高压赋存条件,在钻探取样过程中,如何获取原状保真样品成为勘探开发技术的关键。目前,国内外在此方面常采用2种方法实现:一是在回次钻进结束后,采用保温保压取样器技术获得天然气水合物原状样品;二是采取泥浆制冷配合大直径绳索取心钻进技术,在钻进过程中始终保证钻孔内的泥浆处于负温环境,以此抑制天然气水合物的分解,同时,配合大直径岩心,来保证岩心中心部分样品不分解。

国外,对泥浆进行冷却主要采用3种形式:(1)自然蒸发冷却,通过加长泥浆槽的长度,使泥浆在流动中自然冷却降温,该方法主要用于地热钻井的泥浆冷却,当泥浆温度低于环境温度时,无法进行泥浆冷却,故不适合水合物钻探泥浆冷却要求,此方法一般在钻探所用泥浆的流量不大,出井的泥浆温度不高(一般低于55℃),进出井温差小的情况下使用;

(2)低温固体传导冷却,通过向泥浆池中投放低温物质,使泥浆与低温物质进行热交换,降低泥浆的温度,此种方法降温效率极低,经常会在低温物质的表面结冰,使换热效率迅速下降,不能达到预期的制冷效果;(3)采用泥浆制冷技术,将载冷剂进行制冷后,再通过一个换热器,使泥浆与载冷剂之间进行热交换,而达到对泥浆进行制冷的目的,美国与加拿大等国多采用此种技术,此种方法过程复杂,需要多个系统相互配合达到制冷效果。对地理环境,温度环境要求较高,经常需要设备的维护与维修。

国内在泥浆制冷技术及设备的研制方面还处于初级研究阶段,针对目前陆地天然气水合物勘探与开发工作的需要,吉林大学于2009年成功研制了一套钻井泥浆制冷系统,为我国首次在青藏木里盆地的陆地冻土区钻获天然气水合物样品起到了关键性的作用。2011及2012年在青海木里盆地、西藏羌塘盆地及黑龙江漠河盆地的天然气水合物勘探工作中,也成功地运用了此项技术,但是,近几年实践过程中也暴露了其自动化程度低,出现多次换热器内

收稿日期:2013-03-31; 修回日期:2013-08-02

基金项目:中国地质调查局项目(GZHL20110320、GZHL20110326);吉林大学“大学生创新性实验计划”项目(2012B63183)

作者简介:李家晟(1987-),男(汉族),吉林省吉林市人,吉林大学硕士研究生,地质工程专业,研究方向为天然气水合物钻采技术,吉林省长春市西民主大街938号,343337665@qq.com;孙友宏(1965-),男(汉族),江苏如皋人,吉林大学建设工程学院院长、教授、博士生导师,地质工程专业,从事地质工程和新能源勘探开发的教学与科研工作,syh@jlu.edu.cn。

部泥浆结冰堵塞现象,为顺利获取天然气水合物原状样品埋下隐患。为此,需对泥浆制冷系统的温控单元进行改进。

1 泥浆制冷系统简介

天然气水合物钻井泥浆冷却系统由制冷机组、载冷剂循环系统、地面换热器、钻井泥浆循环系统及温度控制系统等组成。钻井泥浆制冷系统可以根据地层条件、天然气水合物的埋藏深度、钻井泥浆的配方特点及对钻井泥浆的入井温度的要求,预先对各参数进行设定。当钻井泥浆的温度达到入井的温度要求时,即可以进行正常的钻进工作,并始终将泥浆维持在所要求的低温范围内,其结构如图1所示。

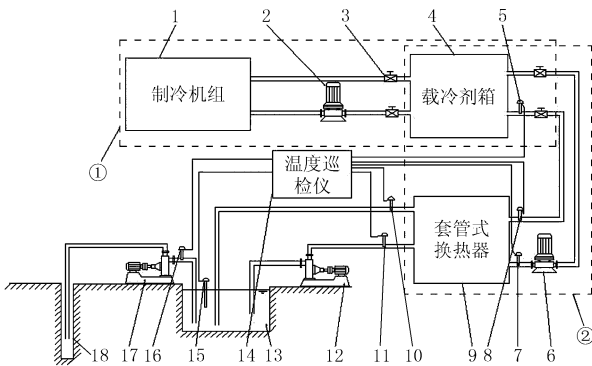


图1 天然气水合物钻井泥浆冷却系统示意图

1—制冷机组;2—低温制冷液输送泵;3—阀门;4—载冷剂箱;5—载冷剂箱温度传感器;6—低温制冷液输送泵;7—乙二醇进口温度传感器;8—乙二醇出口温度传感器;9—套管式换热器;10—泥浆出口温度传感器;11—泥浆进口温度传感器;12—低温泥浆泵;13—泥浆池;14—温度巡检仪;15—泥浆池温度传感器;16—进井温度传感器;17—钻机用泥浆泵;18—钻井;①—制冷机组制冷液循环回路;②—同轴式套管换热器循环回路

在使用时,启动制冷机组1和制冷剂循环泵2,通过制冷机组1将载冷剂箱4中载冷剂制冷至 -15°C (具体温度数值根据实际情况而定)。启动载冷剂循环泵6和低温泥浆循环泵12,载冷剂与泥浆在套管式换热器9中逆流换热,将泥浆快速冷却,从而使泥浆池13中泥浆温度迅速降低,并维持在低温状态。同时,温度巡检仪14接收5、7、8、10、11、15、16温度传感器所采集到的实时温度,根据检测的温度情况可及时调整,从而保证制冷系统的正常运行。

该泥浆制冷系统在使用过程中也暴露了一些问题,主要是其自动化的程度较低。突出表现为:其一是由于人为操作不当或某些设备异常时,导致低温泥浆循环泵12关闭,使套管式换热器9内部泥浆停止循环,轻则导致制冷系统瘫痪,需等解冻才可继续

钻进,重则导致换热器管路胀裂;其二是当环境温度较低时,未制冷泥浆与已制冷泥浆的温度相近,为了既能保证入井泥浆符合要求,又不致使泥浆结冰,需要人工频繁的开、关载冷剂循环泵6,给实际工作带来很大的不便。

2 智能温控单元的加入

为了解决上述问题,提高泥浆制冷系统的自动化程度与系统的工作可靠度,可在泥浆制冷系统原有的温度检测系统中加入智能温控单元,将泥浆制冷过程自动化,避免事故发生。

智能温控单元的工作原理如图2所示:嵌入式微控制器(Microcontroller Unit, MCU)是系统的核心部分,传感器所测量的数据通过单片机分析处理后,9、10脚的振荡回路发生一定频率的交流信号,此信号经27脚进入放大回路后控制受控设备(即低温制冷液输送泵)的开关。嵌入式微控制器还负责屏幕显示以及键盘输入等工作。开关的供电系统由一个桥式整流将220V交流电转化成+12V直流电,另由三端稳压集成电路7805将部分+12V电压转化成+5V电压,保证了开关中各部件所需电源。

考虑到施工环境的复杂性,为了避免雷电小感应、大设备启动与停止等等的波动干扰,引发输出端口误动作是本单元的技术难点。在输出端口加入一个约2s的判断比较延迟来解决这类问题。如果在2s内,每一次的测量结果都符合输出端口的动作要求,输出端口才会真正执行动作,否则将不会执行。具体做法是在放大回路与受控设备之间加入一个直流电磁式时间继电器(见图2),时间继电器(time relay)是指当加入(或去掉)输入的动作信号后,其输出电路需经过规定的准确时间才产生跳跃式变化(或触头动作)的一种继电器。直流电磁式时间继电器的工作原理是利用电磁系统在电磁线圈断电后磁通延缓变化的原理工作的。选择电磁式时间继电器是由于它结构简单,价格低廉,延时较短0.3~5.5s,只能用于直流断点等特点很好的符合本智能温控开关的实际需求。直流电磁式时间继电器的加入,解决了施工环境不稳定因素引发的工作隐患,使智能温控开关更严谨、更可靠。

改造后,整个自动化控制系统的工作系统如图3所示。

在天然气水合物钻井泥浆冷却系统工作时,智能温控开关从图1中的泥浆出口温度传感器11获得温度数据,若温度 $>2.5^{\circ}\text{C}$ (可根据实际需要更改),

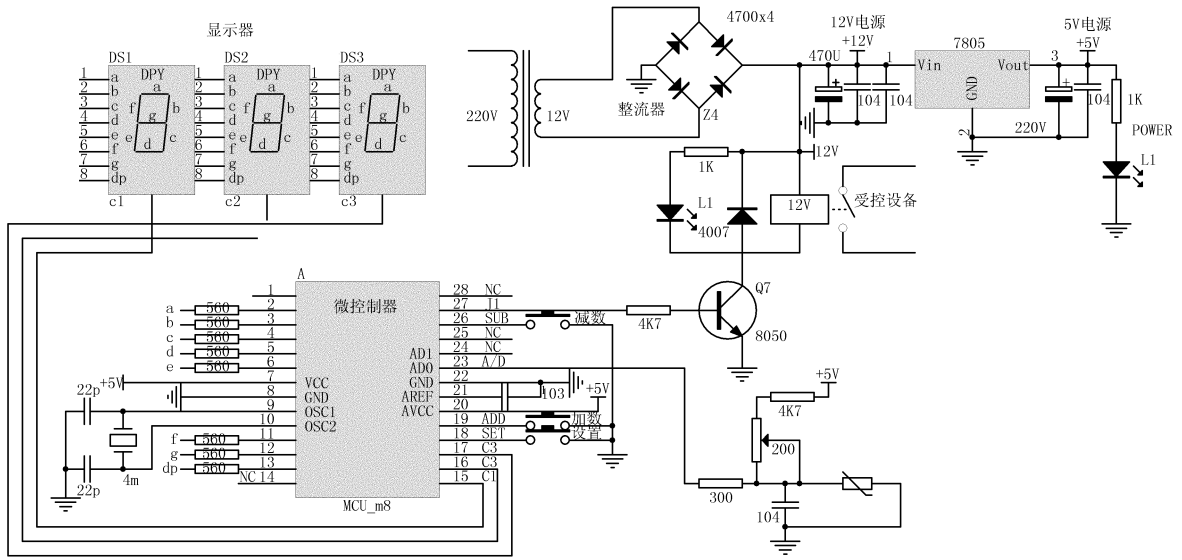


图2 温度控制开关原理图

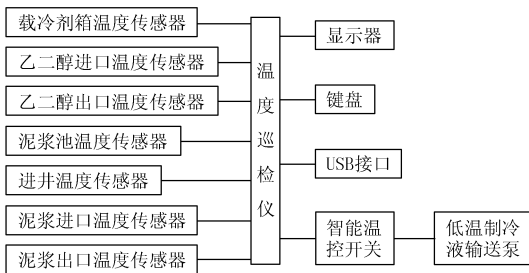


图3 钻井泥浆制冷温度检测系统图

温控芯片经过处理下达指令,继电器接口处的开关闭合,从而将载冷剂循环泵打开。若温度 < 1℃,继电器接口处开关断开,从而将载冷剂循环泵6关闭。若温度处于 1℃ ~ 2.5℃ 之间,则继电器接口处开关保持当前状态。

智能温控开关在满足工程需要的同时,还有其它功能将使天然气水合物钻井泥浆冷却系统更加完善。用户可以将所设定的温度参数存储到芯片中,不受停电等意外因素的影响,不会丢失检测数据。

3 现场应用效果

羌塘盆地天然气水合物资源勘查(钻探试验井工程)QK-4井的钻探施工地点为青藏高原地区羌塘高原内陆湖盆地,位于藏北高原,海拔高度 5040 m。这里气候干燥、低压、空气稀薄,年大风日达 250 天,年日照时间长达 2628 h,自然灾害十分频繁,风灾、雪灾和霜灾为主要的自然灾害。这对泥浆制冷系统的工作能力与稳定性是极大的挑战。2013 年决定加入智能温控单元辅助泥浆制冷。

QK-4井的施工地点为多年永久冻结区,冻土

下限约 130 m。0 ~ 132.1 m 主要以含砾砂岩为主, 132.1 ~ 164.2 m 以粉砂质粘土为主, 164.2 ~ 242.3 m 以含砾砂岩为主, 242.3 ~ 254.7 m 含砾粉砂,局部压实较好, 254.7 ~ 620.9 m 以粉砂质泥岩为主,多夹有石膏。在 QK-4 井的钻井施工中,加入了智能温控单元的泥浆制冷系统进行了相关的野外测试,使用过程中取得了很好的效果。图 4 为测试过程中换热器泥浆出口温度的变化曲线。试验孔段 533.4 ~ 539 m, 试验时间 2013 年 7 月 12 日。在试验过程中,智能温控单元将温度设定为 1 ~ 2.5℃。通过现场的测试及图 4 中的曲线变化趋势可以看出,当温度 < 1℃ 时智能温控单元控制载冷剂循环泵关闭,当温度 > 2.5℃ 时载冷剂循环泵自动开启。当 1℃ < 温度 < 2.5℃ 时,载冷剂循环泵保持当前状态不变。

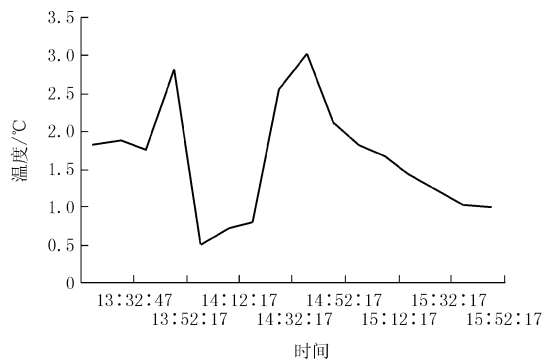


图4 换热器泥浆出口温度变化曲线

经过 2 个月的高强度工作检验,在智能温控单元的辅助下,泥浆制冷系统未发生任何事故。避免了

(下转第 22 页)

表1 全井钻进效率表

孔深/m	岩性	纯钻用时/h	小时进尺/m	循环介质	钻进情况
0~10	岩石完整,可钻性8级左右	6.7	1.5	空气	班纯钻进时间占30%,清理井口岩粉占70%
10~30	同上	8	2.5	空气	同上
30~176.4	同上	34	4.3	空气	同上
176.4~350	岩石完整,有裂隙及破碎带,含水	49.6	3.5	泡沫+空气	岩粉随空气泡沫在钻进过程中返至沉淀池;专门排粉的时间占纯钻进时间的3%~5%
0~350 m 总计		98.3	3.56(平均)		

8 结论

(1)利用空压机提供空气动力,运用泡沫作循环介质,能够有效发挥空气潜孔锤钻进的优势,使其在大口径基岩中顺利施工并大幅度提升钻探效率。但随着孔深加大钻进效率降低,最好配高压大风量空压机,以充分发挥潜孔锤钻进的效果。

(2)为降低消耗,在浅孔段可使用干空气钻进,视排渣情况及时更换空气+泡沫钻进,以提高效率;当孔深进一步加大,钻进时效 <1 m时,由于燃油成本加大,应采用球齿牙轮钻头钻进。

(3)在水井施工中,因口径大,潜孔锤自然直径和质量大,拧卸潜孔锤接头部件最好用专用的拧卸工具,以免损伤潜孔锤丝扣。

(4)潜孔锤锤头应排队使用,按直径先大后小为序。防止下钻扩孔,造成外沿硬质合金磨损严重和崩落,影响效率和钻头寿命。

参考文献:

- [1] DZ/T 0227-2010,地质岩心钻探规程[S].
- [2] 刘家荣,王建华,王文斌,等.气潜孔锤钻进技术若干问题[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(5):40-44.
- [3] 国土资源部人力资源开发中心,职业鉴定中心,等.水文井钻探工[M].北京:地质出版社,1999.
- [4] 谈晓丽,苏长寿,赵晓俐,等.ADF型泡沫剂性能的改进与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2005,32(S1):309-311.
- [5] 陈怡.空气潜孔锤钻进工艺在贵州岩溶地区供水成井施工中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2005,32(10):45-46.
- [6] 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.

(上接第18页)

因事故停钻的高额费用。相比之前的人工操作,更好的控制了温度范围。

4 结论

在钻井泥浆制冷系统中引入此智能温控单元,提高了泥浆制冷系统的自动化程度,解决了泥浆制冷过程中的重要隐患。在保证天然气水合物钻井泥浆冷却系统有效工作的同时,使操作更加便捷,降低了劳动强度。将智能单元引入到泥浆制冷温度控制系统后,也将对整个制冷系统本身也起到一定的保护作用,柔和、合理的开关使得硬件的寿命得到延长,减少硬件损坏,可大幅度提高钻井泥浆制冷系统的可靠性。

参考文献:

- [1] 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.

- [2] 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.
- [3] 叶建良,殷琨,蒋国盛,等.天然气水合物钻井的关键技术与对策[J].探矿工程,2003,(5):45-48.
- [4] 陈友明.基于ARM处理器S3C2440的无纸记录仪的设计[J].电子世界,2012,(5):123-129.
- [5] 赵伟国,王文海,冯华.基于嵌入式系统的新型无纸记录仪[J].机电工程,2004,21(3):47-50.
- [6] 陈作义,杨晓西,叶国兴,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.
- [7] 金庆焕.天然气水合物—未来的新能源[J].中国工程科学,2000,(11):29-34.
- [8] 周怀阳,彭晓彤,等.天然气水合物勘探开发技术研究进展[J].地质与勘探,2002,38(1):70-73.
- [9] 郭平,刘世鑫,杜建芬.天然气水合物气藏开发[M].北京:石油工业出版社,2006,95-96.
- [10] 市川佑一郎.甲烷水合物的勘探与生产[J].田志坤,译.国外钻井技术,1997,12(6):1-8.