

东北冻土区天然气水合物科学钻探试验及 钻进效率影响因素分析

贾 瑞, 孙友宏, 郭 威, 刘华南

(吉林大学建设工程学院, 吉林 长春 130021)

摘 要:东北冻土区天然气水合物钻探试验 MK-2 井中, 采用了天然气水合物取心技术, 同时还装备了钻井参数监控系统。利用钻井参数监控系统采集到的钻井深度、钻压、钻速、转速、回转扭矩、流量、泥浆循环泵压力等数据, 结合地层情况, 对影响钻进效率的因素进行了分析。分析表明: ①在破碎带、碳质板岩和糜棱岩的地层中钻进效率低, 在砂岩、砂质泥板岩、泥板岩和板岩的钻进效率较高; ②得到了在不同地层中的最优钻压; ③ MK-2 井钻探试验使用的技术、设备和试验结果对于以后的天然气水合物钻探具有一定的借鉴意义。

关键词:天然气水合物; 科学钻探; 钻井参数监测; 钻进效率; 钻压

中图分类号: P634 文献标识码: A 文章编号: 1672-7428(2013)04-0006-04

Northeast Permafrost Gas Hydrate Scientific Drilling Test And The Analysis of Factors Influencing Drilling Efficiency/JIA Rui, SUN You-hong, GUO Wei, LIU Hua-nan (College of Construction Engineering, Jilin University, Changchun Jilin 130026, China)

Abstract: In the Northeast permafrost zone of China, MK-2 hole was drilled for natural gas hydrate drilling test by using gas hydrate coring technology and drilling parameter monitoring system. Drilling parameter monitoring system can collect parameters such as depth, WOB, ROP, rotary speed, rotary torque, flow rate and mud pump pressure. Combining with these parameters and the formation conditions, the factors that affect the drilling efficiency were analyzed. By the analysis, some results are gotten: ①low drilling efficiency is in the broken belt, carbonaceous slate and mylonite formation; while high drilling efficiency in sandstone, sandy shale and slate; ②obtaining the optimal WOB for different strata; ③test technology, equipment and test results in the MK-2 hole can be reference for future natural gas hydrate drilling.

Key words: natural gas hydrate; scientific drilling; drilling parameter monitoring; drilling efficiency; WOB

0 引言

天然气水合物是由甲烷气体分子与水在低温高压条件下形成的白色结晶状物质, 是一种有巨大潜力的洁净能源, 具有分布范围广、储量大、能量密度高和埋藏浅等突出特点。普遍认为其将成为 21 世纪煤、石油和天然气等常规能源的理想替代资源。目前, 已经发现的天然气水合物矿藏主要分布在地球上 2 类地区: 一是水深为 300~4000 m 的大陆架、洋中脊、海沟和海岭等海底沉积物中, 据推算约占全球天然气水合物总量的 90%; 二是高纬度、高海拔的大陆地区永久冻土带, 约占全球天然气水合物总量的 10%^[1]。

一些国家已经相继启动国家级冻土区天然气水合物科学钻探工程, 其中以加拿大 Mallik 水合物科学钻探和美国 Alaska 水合物科学钻探为代表。1998 年, 加拿大地质调查局负责组织, 美国和日本

等 6 个国家参与, 实施了世界上第一个专门进行陆地永久冻土区天然气水合物调查研究的钻探工程, 完成了天然气水合物调查研究探井 Mallik 2L-38^[2,3]。2003 年, Andarko 石油公司、Maurer 技术公司和美国能源部在 Alaska 洲开钻了第一口天然气水合物调查研究井——“热冰”1 井。2007 年 2 月, 以美国能源部和地质调查局为首的项目组对 Alaska 北坡进行了大规模的陆地冻土区天然气水合物全面的调查评价及开采试验研究^[4]。

中国是世界第三冻土大国, 在青藏高原和大兴安岭地区存在着大片冻土区, 多年冻土面积达 $215 \times 10^4 \text{ km}^2$, 约占国土总面积的 22.4%。2008~2009 年, 中国地质调查局组织中国地质科学院勘探技术研究所、矿产资源研究所和青海煤炭地质 105 勘探队等单位, 在祁连山木里地区开始施工“祁连山冻土区天然气水合物科学钻探工程”。2008 年 11 月 5

收稿日期: 2013-01-07

基金项目: 中国地质调查局项目 (GZHL20110320)、(GZHL20110326)

作者简介: 贾瑞 (1985-), 男 (汉族), 山西长治人, 吉林大学博士研究生, 地质工程专业, 主要研究方向为天然气水合物钻采技术, 吉林大学朝阳校区建设工程学院, 276442095@qq.com。

日在 DK-1 孔井深 133.5 ~ 135.5 m 处首次发现天然气水合物实物样品,之后分别在 11 月 7 日和 11 月 10 日再次发现水合物。2009 年 5 月 31 日 ~ 10 月 11 日在 DK-2、DK-3 孔中再次钻遇天然气水合物,从而证实我国冻土区存在天然气水合物^[5,6]。

2010 年,在大兴安岭北麓黑龙江省漠河地区开始施工“漠河盆地冻土层水合物科学钻探工程”,MK-1 井是首个在东北冻土区进行的天然气水合物钻探工程。2011 ~ 2012 年,在北极村地区施工了“东北冻土区天然气水合物科学钻探工程”MK-2 井,深度为 1700 m。本文根据 MK-2 井 2012 年的施工情况,对影响钻进效率的因素进行分析^[7]。

1 科学钻探试验

1.1 天然气水合物钻探特点

天然气水合物是在一定的温度和压力下形成的,常温常压下就会发生分解,难以得到原状完整的天然气水合物样品。因此为了取得原始状态天然气水合物的样品,天然气水合物科学钻探与常规钻探在设备和工艺上都有一定的区别^[8]。天然气水合物钻探主要技术有:大直径绳索不提钻快速取样钻具和天然气水合物钻井泥浆制冷系统。这 2 项技术已经成功应用于 DK-2、DK-3、DK-4、DK-5 和 DK-6 井,并成功取得了天然气水合物样品。

1.1.1 天然气水合物大直径绳索不提钻快速取样钻具的主要特点

(1)采用绳索不提钻快速取心的方法,避免水合物岩心由于提钻取心时间过长发生分解;(2)采用大直径取心,尽量降低钻头克取岩石所产生热量对水合物岩心的不利影响。一般采用 Ø127、108 和 89 mm 规格的绳索取心钻杆^[8]。

1.1.2 天然气水合物钻井泥浆制冷系统

天然气水合物钻井泥浆制冷系统是专为天然气水合物钻探研制的一套独立系统,其主要功能为:(1)实现钻井泥浆的快速冷却;(2)能够将泥浆动态维持在低温范围内,从而保证泥浆进井温度满足天然气水合物钻探取样的要求。

该系统主要由载冷剂制冷部分、泥浆冷却部分和温度监测部分 3 大部分组成,3 大部分互相配合使用,实现钻井液的冷却。井内返出的泥浆,进入泥浆池净化后,再经泥浆制冷系统的冷却,冷却后的低温泥浆进入保温池,最后由泥浆泵注入井内^[10,11]。泥浆制冷系统与泥浆固控系统共同组成了天然气水合物泥浆处理系统(图 1)。

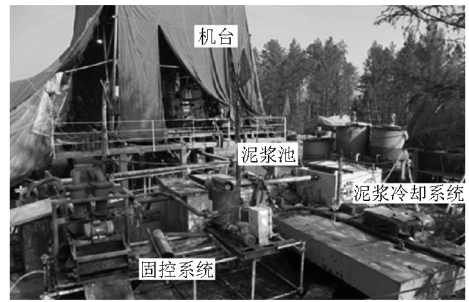


图 1 天然气水合物泥浆处理系统

1.2 钻井参数监控系统

天然气水合物科学钻探需要在钻进过程中随时观测钻进参数,掌握孔内钻进情况,随时调整钻进参数,以避免产生孔内事故。同时,根据钻进参数,总结水合物特殊层段钻进工艺参数,形成钻进工艺参数规范,指导未来水合物钻探施工。另外,还要对出井泥浆气体进行检测,以确定是否已经钻进到天然气水合物地层,以调整钻进参数,并配合井控系统,避免产生井喷等安全事故^[12]。在 MK-2 中首次使用了钻井参数监控系统,共监测 13 个参数,分别为钻井深度、钻压、钻速、转速、回转扭矩、钻机电功率、入井泥浆流量、泥浆循环泵压力、出井泥浆温度、入井泥浆温度、泥浆池总体积、大钩载荷(起钻)、出口可燃气体,并将参数实时地以数字或曲线形式显示在司钻台显示器上^[13,14],所有数据可以保存、记录,并可以完整地浏览、打印历史数据,为参数分析提供数据支撑(图 2)。

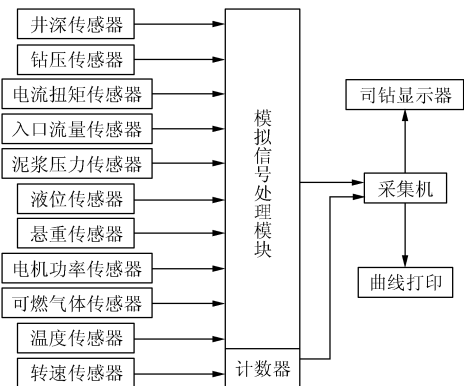


图 2 钻井参数监控系统原理

2 试验结果和分析

MK-2 井采用孕镶金刚石钻头钻进。影响金刚石钻进效率的因素很多,如:岩石的物理力学性质、钻头类型和结构参数、钻孔直径、孔身结构和深度、钻探设备的性能和功率、冲洗液类型、钻压、转速、泵量等等。本文根据 MK-2 井 2012 年的实际情况(477 ~ 1700 m),针对地层情况、钻压、转速、泵

量等实际情况,对钻进效率的影响进行了分析。

2.1 地层的影响

MK-2井共有9种地层,分别为粉砂泥质板岩、砂质泥板岩、碳质板岩、糜棱岩、砂岩、石英砂岩、破碎带、泥质粉砂岩、板岩。根据资料对各个地层的厚度、钻进总时间、钻进回次进行数据的统计,计算其纯钻效率和回次进尺数,来确定岩层钻进的难易程度(表1)。

表1 各种地层的纯钻效率和回次进尺

岩层名称	岩层厚度/m	钻进总时间/h	纯钻效率/(m·h ⁻¹)	回次数/次	回次进尺/m
a. 粉砂泥质板岩	170.05	66.10	2.57	63	2.69
b. 砂质泥板岩	6.00	2.33	2.58	2	3.00
c. 碳质板岩	6.00	3.00	2.00	2	3.00
d. 糜棱岩	15.00	7.00	2.14	5	3.00
e. 砂岩	299.23	139.25	2.65	100	2.99
f. 石英砂岩	89.39	45.00	1.99	35	2.55
g. 破碎带	187.00	107.00	1.75	97	1.93
h. 泥质粉砂岩	161.02	86.67	1.86	62	2.60
i. 板岩	290.18	110.33	2.29	97	2.99

通过表1得到图3。

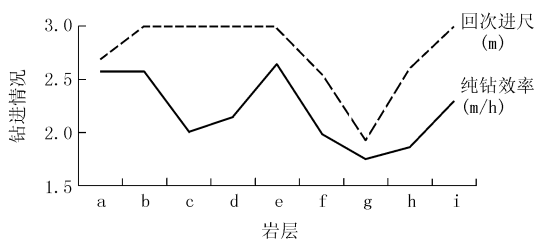


图3 各种地层钻进情况对比图

从表1和图3可以看出,整个地层中砂岩和板岩最厚,占用的钻进时间最多。在钻进破碎带(g)时,纯钻效率和回次进尺均为最低,钻进最困难,岩心的完整性也最差。正常钻进时石英砂岩(f)和泥质粉砂岩(h)钻进困难,而砂岩(b)、砂质泥板岩(b)和板岩(i)钻进较容易。特别注意的是碳质板岩(c)和糜棱岩(d)回次进尺是均为3 m,但是其纯钻效率只有2.1 m/h左右,钻进困难。由此看出,地层对钻进效率有很大的影响,在钻进破碎带(g)、碳质板岩(c)和糜棱岩(d)时钻进效率低,而钻进砂岩(b)、砂质泥板岩(b)和板岩(i)时钻进效率高。

2.2 钻压的影响

钻进效率与钻头压力在一定的钻压限度内是成正比例增长的。钻压值低于最佳值时,会造成金刚石磨光,不能保证有效的钻进。当钻压高于最佳值时,对钻头和钻杆都会造成不良的影响;过高的钻压会使金刚石切入岩石深度过大,使钻头底部排粉间

隙过小,恶化了孔底的净化和冷却条件,岩粉堵塞,钻速下降,钻头磨损严重,甚至烧钻,使金刚石破碎,钻头失去工作能力,而引起钻速骤降和磨损;钻压过大会产生钻杆弯曲、钻头损坏,甚至因扭矩过大,造成钻杆脱扣、扭断、烧钻、或胎体脱落等孔内事故,或助长钻孔偏斜等等,对钻进都是极其不利的。由此为了提高钻探效率,要确定最佳钻压。

根据MK-2井的地层情况,选择地层较厚的粉砂泥质板岩、砂岩、泥质粉砂岩和板岩进行分析。

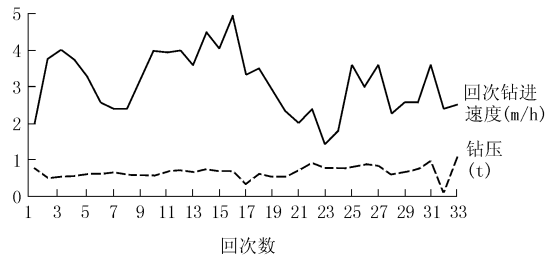


图4 粉砂泥质板岩钻压和回次钻进速度曲线

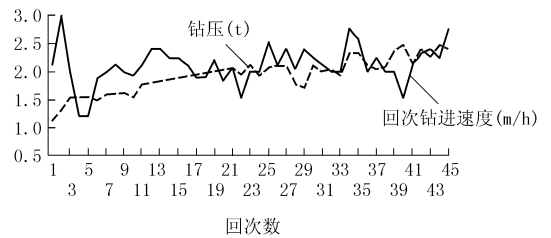


图5 砂岩钻压和回次钻进速度曲线

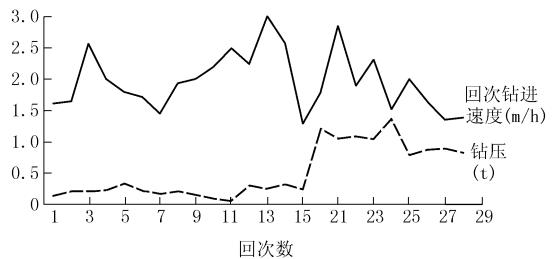


图6 泥质粉砂岩钻压和回次钻进速度曲线

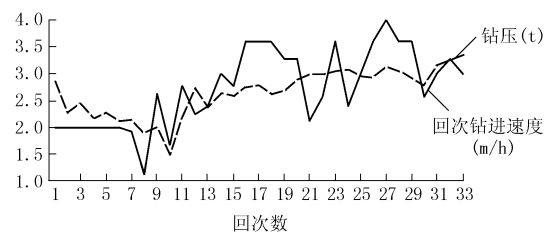


图7 板岩钻压和回次钻进速度曲线

由图4可以看出,粉砂泥质板岩的最优钻压约为0.8 t(8 kN),回次钻进速度为4 m/h;由图5可以看出,砂岩的最优钻压约为2 t(20 kN),回次钻进速度为2 m/h;由图6可以看出,泥质粉砂岩的最优

钻压约为0.5 t(5 kN),回次钻进速度为2 m/h;由图7可以看出,板岩的钻进效率随钻压的增大而增大,随钻压的减小而减小,为了避免由于钻压过大导致钻头和钻杆出现问题,最优钻压约为2 t(20 kN),回次钻进速度为2.5 m/h。

3 结论

(1)在MK-2井钻探中,破碎带、碳质板岩和糜棱岩时钻进效率很低,石英砂岩和泥质粉砂岩的钻进效率中等,砂岩、砂质泥板岩、泥板岩和板岩的钻进效率较高。

(2)在MK-2井钻探中,粉砂泥质板岩的最优钻压约为0.8 t(8 kN),砂岩的最优钻压约为2 t(20 kN),泥质粉砂岩的最优钻压约为0.5 t(5 kN),板岩最优钻压约为2 t(20 kN)。

(3)尽管在MK-2井钻探过程中未发现天然气水合物,但是整个试验过程都是按照天然气水合物钻探的标准来进行的,取得的方法和数据,对今后的天然气水合物科学钻探具有一定的借鉴意义。

(4)在MK-2井中使用的钻井参数监控系统,提供了及时而全面的钻探信息,增加了钻井的可观测性和可控制性,提高了钻井的安全性和钻进效率,有利于整个钻井的科学化发展。

参考文献:

[1] 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.

- [2] 祝有海.加拿大马更些冻土区天然气水合物试生产进展与展望[J].地球科学进展,2006,21(5):513-520.
- [3] Dallimore S R, Collett TS, et al. Scientific Results from the Mallik 2002 Gas Hydrate Production Research Well Program, Mackenzie Delta, Northwest Territories, Canada[J]. Geological Survey of Canada Bulletin,2005;585.
- [4] Myshakin E M, Anderson B J, Rose K, Boswell R. Simulations of Variable Bottomhole Pressure Regimes to Improve Production from the Double-Unit Mount Elbert, Milne Point Unit, North Slope Alaska Hydrate Deposit[J]. Energy & Fuels,2011,25(3):1077-1091.
- [5] 祝有海,张永勤,文怀军.祁连山冻土区天然气水合物科学钻探工程概况[J].地质通报,2011,30(12):1816-1822.
- [6] 王平康,祝有海,卢振权,等.祁连山冻土区天然气水合物岩性和分布特征[J].地质通报,2011,30(12):1839-1850.
- [7] 张强.漠河盆地MK-1与MK-2井天然气水合物钻探施工关键技术[D].吉林长春:吉林大学,2012.
- [8] 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.
- [9] 汤凤林,张时忠,蒋国盛,等.天然气水合物钻探取样技术介绍[J].地质科技情报,2002,21(2).
- [10] 赵江鹏.天然气水合物钻控泥浆制冷系统及孔底冷冻机构传热数值模拟[D].吉林长春:吉林大学,2011.
- [11] ZHAO Jiang peng, SUN You hong, GUO Wei, et al. Gas hydrate occurrences in the Qilian Mountain permafrost, Qinghai Province, China [J]. ENERGY EXPLORATION & EXPLOITATION. 2010. 28(5):351-364
- [12] 王江萍,孟祥芹,鲍泽富.钻进参数实时监测与故障诊断技术[J].钻采工艺,2008,(1).
- [13] 翟文涛.复合钻进条件下钻进参数优选方法研究[D].北京:中国石油大学,2007.
- [14] 滕子军.用钻进参数仪实时优化钻进参数[J].探矿工程,2000,(4).

北京启动页岩气资源潜力调查评价

《中国矿业报》消息(2013-03-28)北京市地质调查研究院日前与中国地质调查局油气资源调查中心签署战略合作框架协议,双方将在页岩气调查评价、勘探以及项目研究等方面开展合作。标志着北京市页岩气资源潜力调查评价工作全面启动。

中国地质调查局副局长李金发,北京市地勘局局长刘辉出席签约仪式并讲话,双方表示将在巩固以往合作基础上,全面加强在基础地质调查、矿产地质调查、城市地质、页岩气、浅层地温能等领域合作。

资料显示,北京地区含泥页岩地层沉积环境以海相、海陆交互相、陆相湖沼相为主。其中,北京西山上古生界石炭-二叠系太原组、山西组、中生界侏罗系窑坡组煤系地层中发育多层黑色页岩、碳质页岩,含有大量炭化的植物化石,有机质含量高,且碳质页岩中有机质演化程度和煤级(无烟煤)较高,泥页岩地层均分布于向斜的两翼位置,其连续性较好,分布面积广,富含有机质且处于生气阶段,为页岩气的聚集提供了有利的地质条件。

据了解,北京市地勘局以往在北京地区开展地热钻井工

作中发现页岩气显示;2011年3月,在顺义区实施地热钻井过程中钻遇页岩气。为此,该局组织技术力量,开展了页岩气等非常规天然气资源潜力战略的研究工作,并编写了《北京地区页岩气资源潜力及开发前景战略研究》。

中国地质调查局油气资源调查中心相关负责人表示,双方开展合作,将对推进北京市页岩气调查评价工作具有十分重要的意义。北京地区富有机质页岩层发育,有良好的页岩气成藏地质条件,页岩气资源潜力可观,具有良好的发展前景。页岩气勘探开发,将为首都经济发展提供历史性机遇。双方通过项目合作,开展北京地区页岩气资源调查评价,设立页岩气勘查区,进行富页岩气层段地质调查研究,可为首都地区页岩气非常规资源勘探开发提供理论方法和技术支持。

北京市地质调查研究院的专家表示,北京市页岩气资源潜力调查评价工作的启动,对于推动北京地区页岩气勘探开发,增强页岩气资源可持续供应能力,满足北京市不断增长的能源需求,促进能源结构优化具有重要意义。同时也为更好地规划、管理、保护和合理利用页岩气资源,为北京市编制经济社会发展规划和能源中长期发展规划提供科学依据。