

水平对接井钻井技术在天然气水合物试采中的应用

李鑫森, 张永勤, 尹浩, 梁健, 王汉宝, 李小洋, 王志刚
(中国地质科学院勘探技术研究所, 河北廊坊 065000)

摘要:2016年,在祁连山冻土区完成了天然气水合物试采水平对接井钻井施工,针对不同井段分别制定了合理的钻进参数及泥浆配方,采用MWD技术及慧磁中靶导向系统,实现了小曲率半径下精准对接,将水平对接井钻井技术成功应用于水合物试采,取得了良好的效果。水合物试采对接井钻井施工不同于可溶性矿藏,其对接精度要求更高,施工难度更大,主要介绍了水合物水平对接井钻井施工工艺的相关内容。

关键词:冻土区;天然气水合物;试采;水平对接井;钻井技术;施工工艺

中图分类号:P634.7;TE243 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2017)08-0013-05

Application of Drilling Technology of Horizontally Butted Well for Gas Hydrate Trial-producing/LI Xin-miao, ZHANG Yong-qin, YIN Hao, LIANG Jian, WANG Han-bao, LI Xiao-yang, WANG Zhi-gang (The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

Abstract: In 2016, trial-producing horizontally butted well of gas hydrate was carried out in permafrost area, Qilian Mountain. Reasonable drilling parameters and mud formula have been made according to the different well sections. Precise docking has been realized under small curvature radius by using the MWD technology and SmartMag target-hitting guide system. Drilling technology of horizontally butted well has been successfully applied to gas hydrate trial-producing and good results has been achieved. The drilling construction of horizontally butted well for gas hydrate trial-producing is different from that for dissolvable minerals, which requires a higher accuracy on connection and is also more difficult to be put into effect. This paper mainly introduces the drilling construction technology of horizontally butted well for gas hydrate trial-producing.

Key words: permafrost area; gas hydrate; trial-producing; horizontally butted well; drilling technology; construction technology

0 引言

水平对接井技术具有高效、经济、环保等特点,在水溶性矿藏、煤层气、石油及天然气等领域应用广泛^[1-4]。本次陆域冻土区天然气水合物试采首次采用了水平对接井(以下简称对接井)方案,试采井由1口主井(SK0)及2口水平对接井(SK1、SK2)组成,水平段位于水合物主储层,SK1、SK2井分别与SK0在井底扩穴处对接,实现2口水平对接井注热、主井排水采气的加热降压开采模式。与以往的单井开采相比,对接井穿过水合物主储层,与矿体接触面积更大,增加水合物分解释放自由度,目的在于有效地增加水合物的开采量,提高水合物开采效率,达到增产的效果^[5]。

1 地质条件

对接井施工区域地层相对复杂,我单位已经在

此区域进行了多个孔位的钻探取心,从取心情况来看,地层以砂岩和粉砂岩为主,夹页岩、断层泥和煤层,易出现缩径、坍塌、掉块等现象,地层的岩性及特征如表1所示。

表1 地层岩性及特征^[6]

序号	深度/m	地层岩性	地层特征
①	0~4	第四系洪积物,含砾石、鹅卵石	易塌、易漏
②	5~42	粉砂泥岩为主,夹煤层	渗漏,易水化剥落
③	43~121	砾石、粉砂岩为主,夹煤层	裂隙较发育,易掉块、渗漏
④	122~151	砂岩为主,夹断层泥、煤层	断层泥易水化、缩径、坍塌
⑤	152~316	泥岩为主,夹页岩、断层泥、煤层	易坍塌、掉块
⑥	317~440	砂岩、泥岩为主	易坍塌、掉块

2 井身结构

本次试采井SK0、SK1及SK2井均设计了3层

收稿日期:2017-01-12;修回日期:2017-07-19

基金项目:中国地质调查局国家海洋地质专项子项目“陆域天然气水合物试采技术与工程”(编号:GZH201400307)

作者简介:李鑫森,男,汉族,1985年生,硕士,主要从事与钻探工程有关的科研工作,河北省廊坊市金光道77号,lixinmiaosmile@163.com。

套管,SK0井设计了 $\varnothing 219.1$ mm套管($\varnothing 311$ mm钻头)、 $\varnothing 177.8$ mm套管($\varnothing 200$ mm钻头)及 $\varnothing 139.7$ mm套管($\varnothing 152$ mm钻头),SK1及SK2井套管设计包括 $\varnothing 219.1$ mm套管($\varnothing 311$ mm钻头)、 $\varnothing 139.7$ mm套管($\varnothing 152$ mm钻头)及 $\varnothing 73$ mm套管($\varnothing 118$ mm钻头),试采对接井井身结构如图1所示。 $\varnothing 219.1$ mm表层套管主要用于隔离含水层,防止孔口坍塌, $\varnothing 139.7$ mm套管作为技术套管使用,隔离中间井段易出现坍塌、掉块、缩径地层,保护井身, $\varnothing 73$ mm套

管作为生产套管,主要用于对水合物分解气进行开采。对接井水平段垂直深度345 m左右,根据以往木里地区水合物钻探取心情况,水合物富集层主要分为三层,345 m层段为水合物的主要富集层,岩性以砂岩为主,岩性完整,出现井壁失稳的机率低^[7],钻井施工难度较小,综合分析对接井水平段设计深度345 m为最佳选择,降低钻井风险,提升水合物开采量。

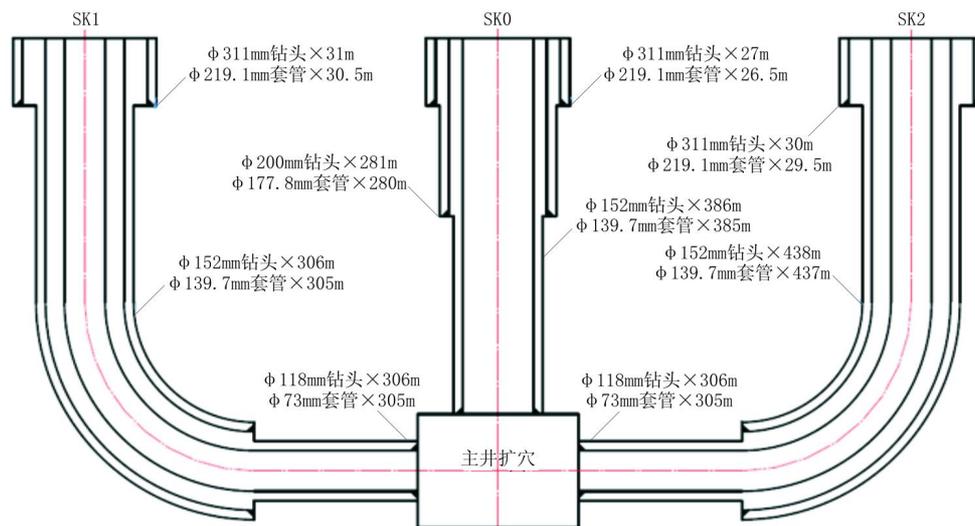


图1 试采对接井井身结构示意图

3 井身轨迹

水平对接井 SK1 及 SK2 井身轨迹均设计为三段式,即直井段、造斜段及水平段。SK1 井造斜段包括一次增斜、降斜及二次增斜,井深 95 m 开始造斜,一次增斜钻进曲率控制在 $10.5^\circ/30$ m 左右,增斜钻进至 300 m 左右井斜增至 64° ,开始降斜,降斜钻进曲率控制在 $9^\circ/30$ m 左右,一直降斜钻进至孔深 340 m,穿过第一层水合物,然后按增斜钻进曲率 $9^\circ/30$ m 左右开始二次增斜至下一水合物富集层,SK1 井最大井斜 83° ,水平段设计很短,最终在主井 SK0 井底扩穴处实现对接。SK2 井造斜段设计为持续增斜,井深 80 m 开始造斜,增斜钻进曲率控制在 $10^\circ/30$ m 左右,造斜结束后着陆点控制在水合物主采层顶板,SK2 井最大井斜 90° ,对接井井身轨迹如图 2 所示。

4 对接井钻探施工

对接井施工主要包括主井井底扩穴、水平对接

井施工、下生产套管、封闭井口、洗井等。

4.1 钻探设备及器具

主要设备及器具包括:HXY-6B II 型立轴式钻机、XY-5 型立轴式钻机、TBW-1200/7B 型泥浆泵、BW-320 型泥浆泵、YC6MK420L-D20 型发电机、150GF 发电机、慧磁中靶引导系统、测井绞车、旋流振动除砂器、单弯 $\varnothing 120$ mm 螺杆钻具、单弯 $\varnothing 95$ mm 螺杆钻具、 $\varnothing 89$ mm 钻杆、 $\varnothing 73$ mm 钻杆、 $\varnothing 120$ mm 螺旋钻铤、 $\varnothing 120$ mm 无磁钻杆、 $\varnothing 105$ mm 无磁钻杆、定向短节、强磁接头、磁测探管、测井绞车等。

4.2 钻具组合

本次水平对接井 SK1、SK2 三级钻孔口径设计相同,一开直井段钻具组合: $\varnothing 311$ mm 牙轮钻头 + $\varnothing 120$ mm 螺旋钻铤 + $\varnothing 89$ mm 石油钻杆;二开直井段钻具组合: $\varnothing 200$ mm 牙轮钻头 + $\varnothing 120$ mm 螺旋钻铤 + $\varnothing 89$ mm 石油钻杆;二开造斜段钻具组合: $\varnothing 200$ mm PDC 钻头 + 5LZ127 $\times 7.0$ L (1.75° 、 1.50°) 单弯螺杆 + 定向短节 + $\varnothing 120$ mm 无磁钻杆 + $\varnothing 89$ mm 石油钻杆;三开水平段钻具组合: $\varnothing 118$ mm PDC 钻头

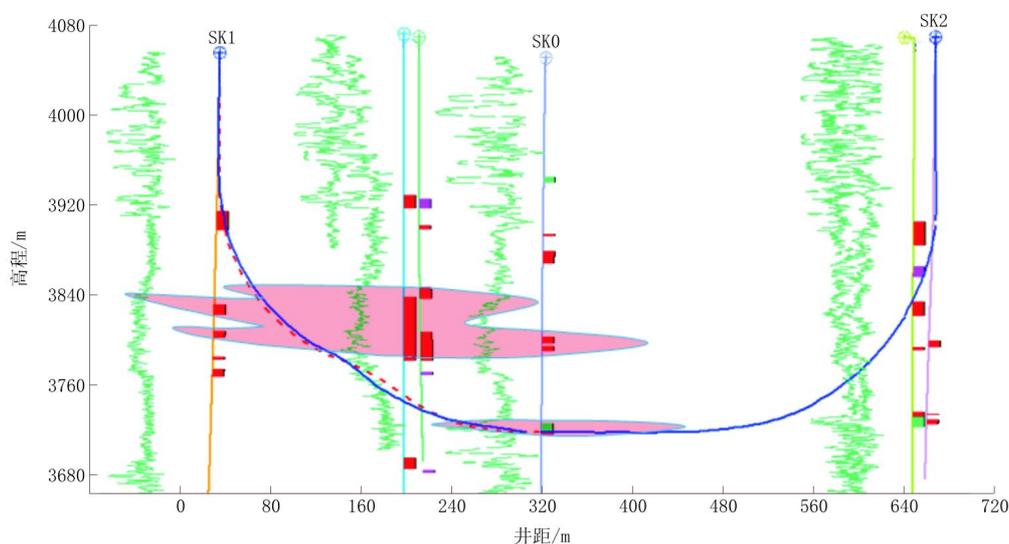


图2 对接井井身轨迹

+强磁接头+5LZ95×7.0 L(1.50°)单弯螺杆+定向短节+Ø105 mm无磁钻杆+Ø73 mm钻杆。

4.3 钻进参数

一开直井段采用Ø311 mm牙轮钻头复合钻进,钻压2~5 kN,泥浆泵排量1000~1200 L/min,转速采用96~170 r/min低转速。适当调整钻压,控制进尺速度,采用大排量携带岩屑,保持孔底清洁,利用钻铤孔底加压,保证钻孔垂直度,使井径规则有序,提高钻孔质量。

二开直井段及造斜段采用Ø200 mm牙轮钻头及PDC钻头钻进,直井段采用Ø200 mm牙轮钻头复合钻进,造斜段及水平段均采用螺杆钻具及PDC钻头完成,进入造斜段钻进后,钻孔没有设计复合钻进,采用滑动钻进方式,钻压10~15 kN,排量800~1000 L/min,泵压2~6 MPa。随时关注泵压的变化,了解孔内实时情况。进入造斜段以后,由于采用滑动钻进方式,每次加钻杆前要进行2~3次划眼,保证孔内干净井眼畅通,同时增加泥浆护壁的效果,提高井壁稳定性。

三开水平段采用Ø118 mm PDC钻头,钻压15~20 kN,排量600~800 L/min,泵压3~8 MPa,进入水平段以后,及时调整螺杆工具面,沿水平对接井设计轨迹钻进,直到与主井对接成功。水平段上井壁稳定性下降,由于地层易出现缩径现象,每次加接钻杆前都要进行划眼操作,专人负责看护泥浆泵,泵压过高或过低表明孔内钻具或者地层发生了变化,现场技术人员应及时发现泵压的变化,判断孔内情

况,采取应对措施。

4.4 主井扩穴

水合物地层的对接连通不像可溶性矿施工容易,可溶性矿在对接之前可以事先通过水溶的方式建立一个小的溶腔,通常直径可到1~2 m左右,而水合物地层的对接只能通过设计基岩扩孔钻头在孔底进行扩穴,进而实现对接。

主井扩穴主要应用我所自行研制的PDC双翼式扩穴钻头完成,扩穴直径达到500 mm,扩穴的位置在主井SK0下部342~345 m处,配合高密度泥浆将扩穴产生的岩粉上返,主井380~400 m用于沉淀无法上返的大颗粒岩屑,345~380 m用于下放潜水泵以及沉淀后续洗井时产生的小颗粒岩粉。扩穴钻头在下井前要进行试压,确定合适的泵压及排量,确保扩穴钻头的双翼可以顺利地张开及回收,方可下入井内进行扩穴施工。扩穴时先将扩穴钻头下到342 m处,先回转再开泵,回转扩穴一段时间后,待双翼全部打开再施加钻压向下扩穴钻进,合理控制钻压,防止钻压过大损坏钻头双翼,控制扩穴进尺速度,给岩屑上返留有足够的时间。

4.5 水平井与主井对接

水平对接井钻井主要采用MWD(Measuring While Drilling)技术对井眼轨迹进行控制,造斜段及水平段钻井利用单弯螺杆钻具及PDC全面钻头等完成,水平段钻孔直径小,磁信号接收距离短,确定钻孔偏离距离后可用来调整的空间很窄,因此,中靶精度要求高,必须控制误差<15 cm。钻进时对井下

的井斜、方位、工具面等数据信号进行采集,数据上传到电脑中进行解析,确定钻头的走向,调整工具面使钻头按照预定的轨迹钻进。钻进至距离主井 SK0 (靶井) 50 m 时,采用慧磁中靶导向系统,在主井 SK0 内下入磁测探管,用于捕捉强磁接头产生的旋转磁信号,逐步缩小测量间距,进行精准测量与计算,近 20 m 后一米一测,以测量的结果来引导下一步钻进方向。钻头与靶点的距离在 50 m 时,测得的距离值即可精确到分米级,在靶井中的探管可捕获到有效信号,可解析出偏离的方向偏差和钻头与靶点之间的距离。实施精准对接时要提前检修泥浆泵,保证泥浆泵工作正常,排量稳定,防止排量不稳造成螺杆转速不均,影响旋转磁信号的准确度^[8]。随着钻头逐渐趋近于靶点,信号质量越来越高,测量的精度也不断地提高,直至钻头进入靶区,实现精准对接。本次水平井 SK1、SK2 采用慧磁中靶导向系统均实现了一次性对接成功,主要现象为主井 SK0 井口返浆,如图 3 所示。



图 3 主井 SK0 井口返浆

4.6 下套管、封闭井口及洗井

考虑到地层不稳定性,采用先下套管后洗井的方式,套管为实管和筛管的组合形式,其中水合物层为筛管,目的在于使水合物分解产生的气体快速、顺利地上升至井口。主井 SK0 $\varnothing 139.7$ mm 套管初次下放位置为 340 m,距离扩穴上部 2 m,目的在于减轻铁磁性物质对井内磁测探管接收数据的影响,保证数据传输与解析的精准度,待 2 口水平井完成对接后,再将 SK0 井 $\varnothing 139.7$ mm 套管一直下到井底。考虑到水平井斜度大,设计了聚乙烯锥形导向头,用于减轻套管下放时的阻力, $\varnothing 73$ mm 生产套管下部连接有 2 m 长无磁套管,用于减轻套管磁场对主井内磁测探管接收信号的影响,保证下一口水平井对接时测量数据的准确度。SK0、SK1 及 SK2 井各级

套管的规格及长度数据见表 2,累计下放套管 2613 m,均一次性下放成功。表层 $\varnothing 219.1$ mm 套管水泥固井,将井口多层套管之间焊接密封,主要以 $\varnothing 73$ mm 生产套管进行气体采集。试采之前洗井,采用清水洗井方式,将套管内泥浆、泥皮冲洗干净,使筛管通气孔裸露,为水合物分解气运移提供良好的通道。

表 2 套管的规格及长度

井号	$\varnothing 219.1$ mm 套管/m	$\varnothing 177.8$ mm 套管/m	$\varnothing 139.7$ mm 套管/m	$\varnothing 73$ mm 套管/m
SK0	26.50	280.58	385.10	
SK1	30.68		305.79	497.64
SK2	29.56		437.19	620.27

5 泥浆的配方及性能

本次试采井施工区域地层复杂,易出现坍塌、掉块、缩径、水化剥落等现象,这对泥浆的性能提出了较高的要求,泥浆应具有良好的防塌及护壁性能,失水量要小,能够抑制水敏性地层的水化现象,具有较好的携粉及润滑性能,保证井眼清洁,防止出现沉砂及岩屑床^[9]。另外,螺杆钻具内部结构极易磨损,泥浆在满足携粉护壁要求的前提下,含砂量要小,现场配备了旋流振动除砂器,对上返泥浆进行除砂,降低螺杆内部轴承及橡胶套的磨损,减少孔内岩屑床的形成机率。

不同深度、不同地层、不同口径所选择的泥浆配制方法不尽相同,针对不同的地层情况分别制定了泥浆配制方法,由于本次对接井施工采用滑动钻进的方式配合孔底动力钻具完成,钻压传递效率低,要求泥浆的润滑性能要好,降低起下钻时卡钻的可能性。随着钻孔深度的加深,合理控制泥浆密度,平衡地层压力,防止压力释放造成塌孔等孔内事故。对 2015 年 SK2 井造斜段施工泥浆应用情况进行了总结,针对钻探施工中地层易出现的问题,对泥浆配方中处理剂的选择及用量进行了有针对性的考量,在原来基础上新增了磺化酚醛树脂及石墨粉 2 种处理剂,目的在于提高泥浆的降失水及润滑性能,减少钻杆与井壁之间的摩擦阻力,防止粘钻、卡钻等现象的出现,改进后的泥浆配方应用效果良好,为水平井成功对接打下了坚实的基础,水平对接井泥浆配制方法见表 3,泥浆性能参数见表 4 所示。

表3 泥浆配制方法

井段	清水/ m ³	膨润土/ kg	广谱护壁剂Ⅲ型/ kg	高粘防塌剂/ kg	褐煤树脂/ kg	重晶石粉/ kg	酚醛树脂/ kg	氯化钾/ kg	石墨/ kg
造斜第一段	1	150	5	1	40	80	25	2	
造斜第二段	1	70	5	1	40	220		3	
水平段	1		5	1	40	140	25	6	25

表4 泥浆性能参数

井段	密度/ (g·cm ⁻³)	粘度/ s	失水量/[mL· (30 min) ⁻¹]	泥饼厚度/ mm	pH 值	含砂量/ %	含盐量/ %	切力/ Pa	胶体率/ %
造斜第一段	1.17~1.20	38~42	7~9	0.3	8.0	3	2	8	>98
造斜第二段	1.20~1.31	40~43	5~7	0.4	9.5	3	3	9	>98
水平段	1.20~1.27	40~48	3~4	0.5	9.0	4	4	10	>98

6 水合物对接井试采

2016年10月份开展了水合物对接井试采工作,试采共计进行23 d,产气总量达到1078.4 m³。2011年,我单位在此区域已经完成了水合物单直井试开采,累计采气101 h,收集水合物分解气95 m³。与2011年单直井开采相比,本次对接井试开采产气量提高了10倍,产气效率提高了1倍,从以往数据对比情况来看,采用对接井的方式进行水合物试开采切实有效地达到了增产的效果,产气效率也得到了明显提高。

7 结论

(1)水平对接井钻井技术在水合物试采中得到了成功应用,与2011年水合物单直井开采相比,产气量及产气效率均得到了明显提高,达到了增产的目的。

(2)本次水平井对接中靶精度要求高,钻进时通过对井斜、方位、工具面等数据采集与解析,指引钻头按照预定的轨迹钻进,采用慧磁中靶引导系统,最终实现水平对接井与主井的精准对接。

(3)针对不同地层分别制定了泥浆配制方法,提高了泥浆的护壁及润滑性能,合理控制泥浆含砂量,

减轻了螺杆钻具及钻杆与井壁之间的磨损,降低了孔内岩屑床的形成机率,对孔内事故起到了有效的预防作用。

(4)水平对接井钻井时,注意观察泥浆泵泵压的变化,通过泵压值分析孔内情况,指导下一步钻井施工。

参考文献:

- [1] 周铁芳,赵建亚,向军文. 采卤对接井钻井技术的研究[J]. 探矿工程,1995,(1):6-10,17.
- [2] 任美洲. 大佛寺井田煤层气水平对接井钻井技术研究[D]. 陕西西安:西安科技大学,2012.
- [3] 郝世俊,石智军,叶根飞,等. 对接井钻进工艺研究[J]. 煤田地质与勘探,2000,28(3):62-64.
- [4] 张明,何满潮,王庆晓. 河南桐柏采碱对接井施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2005,(5):52-54.
- [5] 张永勤,李鑫森,李小洋,等. 冻土天然气水合物开采技术进展及海洋水合物开采技术方案研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(10):154-159.
- [6] 李鑫森,张永勤,梁健,等. 冻土区天然气水合物试采对接井冲洗液技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(12):28-32.
- [7] 蔡记华,岳也,曹伟建,等. 钻井液润湿性影响页岩井壁稳定性的实验研究[J]. 煤炭学报,2016,41(1):228-233.
- [8] 陈剑壶,胡汉月. SmartMag定向钻进高精度中靶系统及其应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(4):10-12.
- [9] 张永勤,孙建华,赵海涛,等. 高原冻土水合物钻探冲洗液的研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(9):16-19.