

页岩气微地震浅井工程施工技术研究与应用

吕明宽, 舒智, 谭学灿, 何坤鹏, 蒋清燕

(四川华锋钻探工程有限责任公司, 四川 成都 610091)

摘要:我国页岩气勘探开发还缺乏相关的管理经验和关键技术,特别在微地震监测技术方面还处于探索研究阶段。为了保证微地震监测成果的可靠性,在页岩气微地震浅井工程施工技术方面开展了一系列研究工作,包括优选施工设备,优化钻具级配、钻进工艺、水泥浆液参数设计和固井工艺方案,并在四川泸县、三台、内江、珙县等页岩气微地震浅井工程施工项目的应用中取得了满意的效果。

关键词:页岩气勘探;微地震浅井;钻井工艺;固井技术

中图分类号:P634;TE24 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2016)10-0204-05

Research and Application of Microseismic Shallow Well Drilling Technologies/LÜ Ming-kuan, SHU Zhi, TAN Xue-can, HE Kun-peng, JIANG Qing-yan (Sichuan Huafeng Drilling and Engineering Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610091, China)

Abstract: China is lack of relevant experience and key technologies in the field of shale gas exploration and is still in the exploratory stage in the aspect of micro-seismic monitoring technology. To ensure the effectiveness and reliability of such kind of project, we have carried out a series of researches in shallow well drilling for microseismic monitoring of shale gas exploration project by selecting the first-class drilling equipment and optimizing drilling tools, drilling technologies, cement slurry design and scheme of well cementation. The technologies have been successfully applied in the shallow well drilling projects in different locations of Sichuan province, including Luxian, Santai, Neijiang, Gongxian and etc, all receiving positive feedback from the clients.

Key words: shale gas exploration; microseismic shallow well drilling; drilling technology; cementing technology

页岩气作为一种新型的非常规天然气资源,是现代油气勘探的重要领域,也是当今全球增长最快的气体能源之一,目前全世界已经掀起“页岩气革命”^[1]。作为非传统能源的特殊气藏,页岩气的发现改变了全球能源结构版图。页岩气也将成为最具发展前景的绿色清洁能源。为了解决我国油气资源短缺、保障国家能源安全、促进经济社会发展,就必须加大页岩气勘探开发的力度,大力开展先进页岩气勘探开发技术的引进,加强与国外知名企业的资本和技术合作,积极开展微地震浅井工程施工技术的研究工作,大力推行“绿色”钻井。对页岩气资源管理制度进行大胆的创新和探索。以实现我国页岩气产业的跨越式发展。

1 页岩气勘探开发

页岩气是指赋存于富有机质泥页岩及其夹层

中,以吸附或游离状态为主要存在方式的非常规天然气,成分以甲烷为主,是一种清洁、高效的能源资源^[2]。我国页岩气资源潜力大,可采资源量初步估计在 26 万亿 m³ 以上,与常规天然气相当^[3-4]。而且页岩气资源发育层系多,分布面积广。页岩气类型多样、地质条件复杂。我国页岩气勘探开发刚刚起步,需要一定的时间和条件才能进入快速发展阶段^[5]。我国页岩气勘探开发技术上和先进国家还存在很大差距,需要加快攻关和创新。

2 微地震监测技术简介

页岩气是从页岩层或泥岩层中开采出来的天然气,页岩气井必须实施储层压裂改造才能开采出来。开发致密储层的重要手段就是压裂,也是页岩气开发的关键技术之一。要实现页岩气的规模勘探和开发,必须借鉴国外成熟的先进经验,如多级压裂改

收稿日期:2016-07-30;修回日期:2016-08-17

作者简介:吕明宽,男,汉族,1961年生,工程师,长期从事钻探安全、钻探生产及技术管理工作,四川省成都市青羊区广富路218号青羊工业总部基地G区8C幢,hfzt_sc@163.com。

通讯作者:舒智,男,汉族,1964年生,高级工程师,从事地质岩心钻探工艺技术研究、施工管理,金刚石工具、钻探机具的生产管理,新产品研究开发等工作,四川省成都市青羊区广富路218号青羊工业总部基地G区8C幢,hfdc5218@163.com。

造、实施水平井压裂,可有效扩大渗流通道^[6]。在压裂过程中,岩石破裂会伴随产生强度较弱的地震波,称为“微地震”。我们通过微地震监测技术获取裂缝的空间展布特征、提取岩石力学参数,为进一步储层改造及开发井位部署提供相应技术支撑。

目前微地震监测技术是比较有效、可靠性最高的一种压裂裂缝监测技术。微地震监测技术是通过观测、分析由压裂、注水等石油工程作业时导致岩石破裂或错断所产生的微地震信号,监测地下岩石破裂、裂缝空间展布的地球物理技术。根据微地震监测仪器的布设方式,分为井中监测和地面监测两类。将监测仪器布设在井中,对微地震事件进行监测的方式就是微地震井中监测。相对于地面监测,井中监测所得到的资料具有微地震事件多信号强反演可靠性高等优点。因此,微地震井中监测在压裂过程中得到广泛应用。微地震浅井监测是指在距离压裂井压裂层段的垂向距离 $>1\text{ km}$ 的、井深 $\geq 300\text{ m}$ 的浅井中放置监测仪器进行的井中监测。通常利用3口井以上的微地震浅井,布设检波器进行监测,即可扩大微地震观测在水平方向的张角,提高计算精度,以便全面描述压裂裂缝的空间图像^[7]。微地震浅井监测情况详见图1和图2。

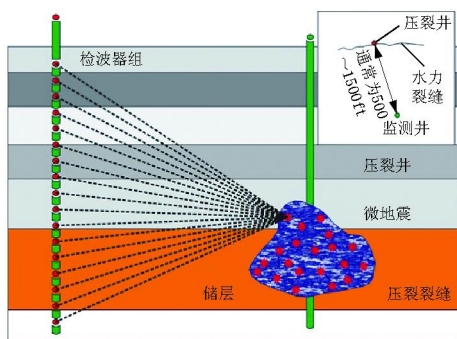


图1 微地震浅井监测示意图



图2 微地震浅井压裂监测现场

3 微地震浅井工程质量要求

(1) 井身必须保持垂直,最大井斜不得超过 10° ,套管必须设置一定数量的扶正器以确保套管居中。

(2) 全井段必须下金属套管,套管要有足够的强度,不得破损、变形,以保证检测设备顺利下井。

(3) 套管与井壁之间必须用水泥固井,要求固井良好,不能出现未胶结或胶结不实的情况。

(4) 井深 $\geq 300\text{ m}$,井径 $> 130\text{ mm}$,套管内径 $> 98\text{ mm}$ 。

(5) 套管高于地面 $500\sim 600\text{ mm}$,井口必须平整,并在井口套管安装操作平台和焊接“耳朵”。

(6) 固井后必须用带通规的刮管器对套管内壁进行刮管作业,保证套管内壁光滑,以确保检测仪器下放到位。

(7) 必须用沉沙打捞装置把井内的沉沙及杂物打捞干净。

(8) 孔口应安装封闭装置,需用专用工具才能打开并保证不被破坏。

4 微地震浅井施工技术

结合在四川泸县、三台、内江、珙县进行的微地震浅井项目施工,阐述微地震浅井施工技术。

4.1 钻井设备^[8]

根据微地震浅井设计井深和井径要求,采用 LF-90 型全液动力头式钻机(见图3)和 BW-250 型泥浆泵进行钻进和固井作业。工程施工设备具体技术参数见表1。

表1 主要设备技术参数

名称型号	数量/台	设计最大 钻进能力	动力机		制造商
			型号	功率/kW	
LF-90 型钻机	1	NQ: 1080 m、 HQ: 725 m、 PQ: 480 m	6BTA5.9	149	宝长年
BW-250 型泥浆泵	2	250 L/min, 12 MPa	CY1115	16.2	衡探



图3 LF-90型钻机

4.2 钻具级配

一开: PT(Ø114.3 ~ 101.6) mm 钻杆 + PQ(Ø117.5 ~ 103.2) mm 外管 + Ø150 mm 硬质合金全面钻头。

二开: PT(Ø114.3 ~ 101.6) mm 钻杆 + Ø130 mm 上扶正器 + PQ(Ø117.5 ~ 103.2) mm 外管 + Ø130 mm 扩孔器 + Ø130 mm PDC 全面钻头。

4.3 钻井工艺^[9]

4.3.1 钻进方法

一开采用 Ø150 mm 硬质合金钻头全面钻进, 二开采用 Ø130 mm 复合片钻头全面钻进方法。

4.3.2 钻进参数

根据地层特性和钻进方法, 通过研究摸索优化的钻进参数见表2所示。

表2 钻进参数

开钻顺序	井径/mm	钻压/kN	转速/(r·min ⁻¹)	排量/(L·min ⁻¹)	备注
一开	150	15~20	100~200	230~260	全面钻进
二开	130	20~40	200~240	200~230	全面钻进

4.3.3 钻井液设计^[10]

根据施工区域的地层情况和环保要求, 我们在不同井段选用相应的钻井液配方。具体配方和性能参数要求见表3。

表3 钻井液设计

井段	井径/mm	钻井液类型	配方	密度/(g·cm ⁻³)	粘度/s	滤失量/[mL·(30 min) ⁻¹]	pH值	备注
一开	150	低固相泥浆	钠土 + 植物胶 + 纤维素	1.05 ~ 1.08	40 ~ 50	15 ~ 20	8 ~ 9	覆盖层
二开	130	无固相	水 + PHP	1.0 ~ 1.02	35 ~ 40	全失水	7 ~ 8	砂岩、泥岩等

4.4 固井工艺技术

4.4.1 影响水泥浆设计的因素^[11]

影响水泥浆设计的因素包括: 井深、钻井液液柱压力、配浆水质、钻井液及其处理剂类型、水泥浆密

度、水泥浆粘度与水灰比、井温、可泵时间及稠化时间、水泥水化热、水泥石渗透率、水泥浆失水量、支持套管柱所需的水泥强度。

4.4.2 水泥浆的物理性能(详见表4)

表4 水泥浆的物理性能

项目	物理性能参数	备注
密度/(g·cm ⁻³)	1.85 ~ 1.90	水灰比最好在0.4~0.5, 常用0.5。在高、低压地区固井时, 要改变钻井液密度, 必须加入相应的添加剂
流动度/cm	16 ~ 17	水泥浆要有较好的流动度, 整个注水泥作业必须在水泥初凝前完成, 一般要求小于初凝时间的75%
失水量/mL	100 ~ 150	为了保证水泥浆的流动性, 故应降低水泥浆的失水量, 特别是在松软、渗透性大的地层要严格控制失水。

4.4.3 套管串结构

套管是用来下放微地震监测仪器的管材, 套管要求有足够的强度, 不得破损、变形, 套管内壁光滑无毛刺。

扶正器是安装在套管外面的装置, 用以扶正套管, 保证套管在井内位置居中。

浮鞋又称“套管回压凡尔”, 其作用是在下套管过程中阻止钻井液进入套管内, 从而减轻套管柱重力, 同时, 注水泥结束后, 挡住水泥浆回流。

花管一般在套管柱的下部, 作用是在套管座放后而不影响灌注水泥浆, 也不会发生水力压裂的质量问题。

导引鞋是装在套管柱底部的炮弹形短节, 其作用是防止套管底部误入井壁岩层或刮积井壁泥饼, 以引导套管柱顺利下井。

选择的套管串结构为: Ø108 mm 浮鞋 + Ø108

mm 花管 1 根 + Ø108 mm 浮箍 + Ø108 mm 套管串。

4.4.4 水泥浆灌注

水泥浆灌注是一项较复杂的工作, 施工前要进行必要的计算、试验和措施研究^[12]。

4.4.4.1 设计计算^[13]

水泥浆用量:

$$V = \frac{\pi}{4} k_1 (D_1^2 - D^2) H + \frac{\pi}{4} d^2 h \quad (1)$$

式中: V ——水泥浆用量, m³; k_1 ——裸眼井段的水泥附加系数, 1.05 ~ 1.10; D_1 ——井眼平均直径, m; D ——套管外径, m; d ——套管内径, m; H ——井深(水泥浆返高), m; h ——水泥柱高度, m。

干水泥用量:

$$G = k_2 V q \quad (2)$$

式中: G ——干水泥用量, 袋; k_2 ——地面损耗系数, 一般用 1.03 ~ 1.05; V ——水泥浆量, m³; q ——配 1

m^3 水泥浆所需的干水泥袋数。

清水用量:清水用量根据干水泥量计算。

$$V_s = \frac{V_1 G}{1000} \quad (3)$$

式中: V_s ——清水用量, m^3 ; V_1 ——配每袋水泥需水量, $\text{L}/\text{袋}$; G ——干水泥量,袋。

替泥浆量:

$$V_n = v' + \frac{\pi}{4} d^2 (L - h) \quad (4)$$

式中: V_n ——替泥浆量, m^3 ; v' ——地面管线的容积, m^3 ; d ——套管内径, m ; L ——套管长度, m ; h ——水泥柱高度, m 。

注水泥时间:

$$T = T_1 + T_2 + T_3 \quad (5)$$

式中: T ——注水泥施工总时间, min ; T_1 ——配制水泥浆所需时间, min ; T_2 ——倒换闸门等时间(一般为 $1 \sim 3 \text{ min}$); T_3 ——替泥浆时间, min 。

4.4.4.2 水泥浆配方设计(详见表5)

表5 水泥浆配方设计

套管程序	$\text{Ø}108 \text{ mm} \times 4.5 \text{ mm}$ 套管
试验条件	API 规范
水灰比	0.45 ~ 0.5
稠化时间/ min	制浆、灌注时间 + 90 min
自由水/ $(\text{mL} \cdot (250 \text{ mL})^{-1})$	< 1
抗压强度/ $(\text{MPa} \cdot (24 \text{ h})^{-1})$	≥ 12

4.4.4.3 固井作业

(1) 固井前做好固井相关材料配备,并保证固井设备工况正常完好。

(2) 固井前做好水泥浆、隔离液性能化验及其与钻井液的相容性试验。根据现场条件调试配方,做好干混样的复检以及水泥浆密度波动试验和外加剂敏感实验。

(3) 施工应按以下顺序:冲管线→注钻井液→注隔离液→注水泥浆→注压塞液→投胶塞→压入替浆水→碰压→停泵。

(4) 保证固井设备运转正常,水泥浆密度偏差范围 $\pm 0.03 \text{ g}/\text{cm}^3$,注水泥施工保证连续性和安全性。

(5) 保持稳定的注浆排量(环空返速 $> 0.6 \text{ m}/\text{s}$),小排量碰压,防止碰压压力过高。

(6) 候凝 48 h。

4.4.4.4 提高固井质量的措施^[14-15]

(1) 适当提高水泥浆的回返速度,使之处于紊流而非层流状态。

(2) 为了改善水泥浆流动性,可适当降低水泥浆的粘度和切力。

(3) 确保井身质量,钻井时必须把井打直,井径要规则,套管要安装扶正器。

(4) 采用密度均匀的水泥浆。

(5) 采用低失水量的水泥浆进行渗透性大、易漏失的地层的固井。

(6) 下管前适当增大排量洗井,以便将井内岩粉全部排出,这样井壁就可以适应大排量的冲刷,注水泥过程中就不会发生坍塌。使用泥浆做钻井液的钻井,应根据情况自下而上清洗井壁上的泥皮。

(7) 采用 42.5 或 G 级油井水泥,可提高水泥与井壁及套管间的胶结强度。缩短水泥浆的初凝和终凝时间差。

(8) 采用符合当地实际情况的水泥用量附加系数,精确地计算注水泥参数。

(9) 注浆过程不要中断,水泥浆灌注完毕,要准确掌握替浆的清水用量,不得过多或过少。应保证套管内无过多的水泥浆。

(10) 由于 $\text{Ø}108 \text{ mm}$ 套管丝扣不能完全密封,因而在下入套管串时须在丝扣上涂油漆或者使用生胶带,若密封效果不好,可以考虑使用环氧树脂。

(11) 为了防止固井后套管晃动的情况出现,必须在施工过程中保证堵漏成功之后再行固井工作,避免在固井过程中以及固井工作完成之后水泥浆漏失,使套管与井壁之间产生环空间隙。

(12) 在固井过程中要检查浮鞋质量,并保证胶塞到位,以免水泥浆返回套管内。

5 “绿色”钻井

随着我国生态文明建设的不断深入和页岩气勘探开发工作的持续推进,生态保护和页岩气勘探开发之间的矛盾也日益凸显,我们的工作范围和空间正在被各种“保护区、敏感区”迅速挤压,实施“绿色”钻井已逐渐成为目前页岩气勘探开发工作势在必行的行业趋势。

(1) 全孔使用自主选配和研发的环保型钻井液配方,有效控制了钻井过程中影响环境的重大风险源。

(2) 在对钻井施工产生的废浆、岩屑以及生产、

生活垃圾等污染物的处理方面,建立了一系列有效回收处置程序和控制标准。

(3)在控制设备维修、油料储存及使用过程中可能发生污染的方面,采取了“不落地”防泄漏应对措施。

(4)钻井设备、钻杆、物料等堆放以及车辆行驶对植被的影响,采取了防压实、防破坏等控制措施,细节处理严谨。

(5)可以根据现场不同的作业条件,有针对性地采取防火及隔离措施,也制定了严格的防火管理制度和动火作业审批程序,实施全过程监督。

(6)施工结束后,对于作业现场、道路、营地等方面复垦复植工作扎实,确保对施工区的生态影响降至最低程度。

6 结语

微地震监测技术是页岩气勘探开发的关键技术之一,微地震浅井的施工质量决定着微地震监测的效果和成果的可靠性。因此,应加强页岩气微地震浅井工程施工技术方面的研究和经验总结,摸索出一套科学完善的页岩气微地震浅井工程施工的工艺技术,以促进我国页岩气勘探技术水平的提高。

(1)根据微地震浅井工程质量要求,,在四川泸县、三台、内江、珙县等项目施工中,优选 LF-90 型全液压力头式钻机,并采用 PDC 全面钻进方法不仅工程质量好,而且钻进效率高(台月效率达 1850 m)。

(2)根据地层特性和钻进方法,通过研究摸索优化出较理想的钻进参数。还通过大量的配方试验和生产实践,总结优选出不同井段的钻井液配方和固井用水泥浆配方。

(3)固井工艺技术是微地震浅井工程施工的关键技术。通过室内外水泥浆配方试验,确定了科学的水泥浆设计方案和固井作业程序,并总结出确保固井质量的技术措施和“绿色”钻井施工经验。

参考文献:

- [1] 杨宁. 国内外页岩气发展现状及展望[J]. 当代石油石化, 2014, 22(8):16-21.
- [2] 张小龙,张同伟,李艳芳,等. 页岩气勘探和开发进展综述[J]. 岩性油气藏,2013,25(2):116-122.
- [3] 刘小康,田智生. 页岩气井钻进破碎地层的井身结构优化设计[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(7):89-91,110.
- [4] 刘志逊,贾音传. 我国页岩气勘探开发进展及前景展望[J]. 中国矿业,2015,(S2):6-8,24.
- [5] 张大伟. 页岩气:打开中国能源勘探开发新局面[J]. 资源导刊,2012,(5):8-9.
- [6] 罗蓉,李青. 页岩气测井评价及地震预测、监测技术探讨[J]. 天然气工业,2011,(4):34-39,125.
- [7] 刘振武,撒利明,巫芙蓉,等. 中国石油集团非常规油气微地震监测技术现状及发展方向[J]. 石油地球物理勘探,2013,48(5):843-853,676,854.
- [8] 舒智. 复杂地层深孔钻进关键技术的探讨与实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(S1):161-166.
- [9] 赵金洲,等. 钻井工程技术手册[M]. 北京:中国石化出版社,2005.
- [10] 舒智,栗朝伟,谢阁,等. 钾盐泥浆体系在吉林壳牌油页岩勘探中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(Z1):52-55.
- [11] 贺建飞. 盐井钻探及成井中的固井技术[J]. 地质与勘探,1992,(4):61-64.
- [12] 王文臣. 钻孔冲洗与注浆[M]. 北京:冶金工业出版社,1994.
- [13] 刘崇建,等. 油气井注水泥理论与应用[M]. 北京:石油工业出版社,2001.
- [14] 舒智,吕明宽,李海坤,等. 盐井钻探施工护壁技术研究与实践[J]. 环球人文地理,2015,(10).
- [15] 白兴伟. 浅析固井现场常见复杂情况处理综述[J]. 西部探矿工程,2013,(4):65-68.