

页岩气井钻遇破碎地层的井身结构优化设计

刘小康, 田智生

(陕西省一九四煤田地质有限公司, 陕西 铜川 727000)

摘要:页岩气的勘探开发和利用对于优化我国能源结构、促进能源工业快速发展、提高优质洁净能源的自给能力和水平,以及降低大气污染、促进环境保护等方面都有至关重要的作用。解决好页岩气井在钻遇破碎地层后的井身结构优化设计,就能够大幅度提高钻效,节省钻探成本,缩短勘探周期,从而促进页岩气资源的大规模开发利用。本文结合页岩气井的生产实践,就页岩气井钻遇破碎地层后井身结构的优化设计问题,特别是开次、选用孔径、套管规格及其下入深度等方面进行了探讨。

关键词:页岩气井;表层套管;破碎漏失;井身结构;优化设计

中图分类号:P634 文献标识码:A 文章编号:1672 - 7428(2016)07 - 0089 - 03

Optimal Design of Casing Program of Shale Gas Drilling in Broken Formation/LIU Xiao-kang, TIAN Zhi-sheng
(Shaanxi 194 Coalfield Geology Co., Ltd., Tongchuan Shaanxi 727000, China)

Abstract: Shale gas exploration development and utilization are of importance for optimizing China's energy structure, promoting the rapid development of energy industry, improving self-sufficiency ability and level of the clean energy quality as well as reducing air pollution. By optimizing the casing program for shale gas drilling in broken formation, drilling efficiency will be greatly improved with lower drilling cost and shorter exploration cycle, so as to promote the large-scale development of shale gas resources utilization. Combined with the production practice of shale gas drilling, the discussion is made on the optimal design of casing progress for shale gas drilling in broken formation, especially in the borehole sections, borehole diameter selection, casing specifications and its running depth.

Key words: shale gas drilling; surface casing; leakage in broken zone; casing program; optimal design

0 引言

页岩气的勘探开发带动了新一轮的世界性能源革命,美国、澳大利亚等国走在了全球页岩气开发的前列。我国的页岩气可采储量居世界首位,从“十二五”开始,逐步加大了页岩气的勘探开发力度,现在全国有多个页岩气项目正在实施中;国土资源部先后进行了几次全国性的页岩气勘查项目招标,有力促进了页岩气资源的勘探开发。目前中石化、中石油、中海油、中联煤、延长石油等都投入了页岩气的勘探开发,其中中石化、中石油已在重庆涪陵、四川长宁等地形成了一定的页岩气工业产能。

页岩气井的井身结构设计要紧密结合地质目的、地层情况、设备能力、钻具组合等因素综合确定;对于一些地层复杂、漏失和破碎层较厚的地区,在页岩气钻孔设计中要做好井身结构优化,更方便钻探施工,从而达到快速、优质、高效的目的。

1 破碎层对钻井施工的影响

在我国南方某地施工的页岩气井,设计井深 1550 m,终孔直径 96 mm。由于预先收集的该地区地质资料不够丰富,原设计下入 $\varnothing 127$ mm 表层套管 30 m。实际钻探施工中,在 15 ~ 35 m 附近钻遇完整的志留系浅灰色中砂岩地层,该段地层较完整,后经过扩孔下入 $\varnothing 127$ mm 表层套管 30.5 m 后进行水泥封固。在随后的钻进中,当钻进到 45.6 m 时遇到断距接近 2.00 m 的正断层,导致钻孔与邻近的河流水贯通,出现泥浆漏失不能上返,经测量水位始终保持在 3.5 ~ 4.0 m (和井场附近的河流水面基本平齐);最后钻机边堵漏边钻进,钻遇的几乎全是破碎地层(见图 1),漏失严重;钻至孔深 68.38 m,由于一方面河流水通过断层涌入孔内太多,很快稀释了堵漏材料,另一方面下部破碎地层漏失严重,导致堵漏屡屡失败。最后在堵漏无法取得理想效果的情况下,采用了扩孔起出表层套管,然后钻穿漏失层及下部

收稿日期:2016 - 06 - 24

作者简介:刘小康,男,汉族,1969年生,副队长,高级工程师,探矿工程专业,长期从事地质钻探技术研究和管理工作,陕西省铜川市延安路 82 号,70559066@qq.com。

破碎层再下入 $\varnothing 127$ mm 表层套管的方式处理。该孔顶漏钻进至孔深 123.65 m, 其中在 92.40 m 以浅地层普遍破碎(见图 2); 最后经过用 $\varnothing 165$ mm 刮刀钻头扩孔, 下入 $\varnothing 127$ mm 表层套管 122.30 m, 用水泥浆封固, 才有效解决了断层影响以及地层破碎漏失的问题。后期二开钻进中, 在孔深 326.76 ~ 331.58、376.07 ~ 379.43、443.56 ~ 447.17、496.89 ~ 499.44 m, 分别钻遇了 4 个漏失层, 岩性主要为细砂岩、中砂岩和白云岩等, 岩性局部较破碎(见图 3)。施工中采取了每钻遇一个漏层就进行堵漏的方式, 在严重漏失层段采取了水泥浆封固等方式, 虽最终堵漏成功, 但严重影响了钻探效率, 延误工期达 35 d。后期直至完钻, 钻遇地层较完整(见图 4), 未出现明显漏失, 钻探施工较顺利。



图 1 孔深 50.00 ~ 68.38 m 钻遇破碎地层



图 2 孔深 69.00 ~ 92.40 m 钻遇破碎地层



图 3 孔深 326.76 ~ 499.44 m 钻遇破碎地层



图 4 后期钻遇较完整地层

2 井身结构优化设计

2.1 原井井身结构设计中存在的主要问题

由于预先掌握地质资料不详, 造成设计中在表层封固厚度的确定、局部地质构造的影响、破碎地层的深度、套管结构及下深等方面都存在一定的问题, 给后续钻探施工造成较大的困难。原钻孔井身结构设计为二开结构, 一开采用 JS122 绳索取心钻进, 然后用 $\varnothing 150$ mm 硬质合金钻头扩孔至 30.00 m, 下入 $\varnothing 127$ mm 套管封固; 二开使用 JS96 绳索取心钻进至终孔。

表层套管下深应以钻孔实际揭露的破碎层深度来确定; 孔径大小要考虑地层复杂程度、孔径扩大率、井身质量、套管直径、材质等因素, 以及下一级孔内钻具级配情况、下入套管外径、处理事故打捞工具的外径等; 套管直径规格要既能满足后续钻进需要, 又要有一定的预留空间, 为方便孔内事故的处理奠定基础。

由于原设计中下入 $\varnothing 127$ mm 套管封固表层, 导致在后面钻遇漏失地层后, 由于受套管直径过小的限制, $\varnothing 114$ mm 套管的接箍为直径超过了 $\varnothing 127$ mm 套管的内径, 导致无法下入 $\varnothing 114$ mm 套管; 而 $\varnothing 108$ mm 套管可以下入, 但不能满足 JS96 mm 绳索取心钻具通过。由此无法实现下入技术套管的手段来隔离漏失层, 这样就给后续钻探施工带来了较大影响, 势必造成工期延误和材料的消耗。

破碎地层除了钻进中出现严重漏失外, 会给钻孔护壁和钻进带来严重影响; 可能导致卡钻、夹钻等, 当坚硬的掉块落入钻头附近时, 造成起下钻具困难, 如果处理方法不当, 就会酿成严重的孔内事故, 甚至可能导致钻孔报废。

2.2 优化井身结构设计应考虑的主要因素

优化井身结构设计要考虑几个主要因素:地质设计要求、设备施工能力、钻进工艺方法、钻具组合结构、地层情况、钻探事故的处理等。具体包括设计孔深、开孔次数和孔径、套管的直径以及壁厚、材质和下深等。

2.2.1 钻进工艺方法

采用绳索取心钻进,还是普通单管钻进,在井身结构的设计上有很大不同。页岩气钻孔和其它地质勘探类钻孔相比,在孔斜、方位角、全角变化率、孔底位移、孔径扩大率、岩心采取率等质量指标方面都更加严格;同时在钻遇目的层后,要对目的层进行现场采样、瓦斯解析等,因此必须选用全孔绳索取心钻进工艺。在上部钻穿破碎层后,进行下套管前扩孔时,也可以考虑采用普通单管钻进工艺,用导向钻头完成扩孔。

2.2.2 开钻次数和井径

钻孔采用二开还是三开、四开的方式,各开次孔径的大小,对应着所选取的钻头直径、扩孔钻头直径、套管的直径、后续入孔钻具的直径、各类接头的直径、打捞工具和套洗筒的直径等;要在有利于钻探施工的顺利进行、有利于预防孔内事故、有利于提高钻探效率、有利于节约钻探成本等多方面进行综合考虑。

2.2.3 入井套管的直径

根据钻井直径选择套管直径。钻井直径和套管直径相差应该15~25 mm,此外还应与套管的入井长度有关系,套管入井的长度越小,直径差距可以相应减小。为确保套管入井顺利,当下入套管长度接近或者超过100 m时,应在尽可能的前提下选择较大一级的井径,为后续钻进预留一定的选择空间。

套管直径的大小和壁厚要考虑后续钻具级配情况,要能够满足后续钻具的入井需要。套管壁厚应尽量选择壁厚较大一些的,材质应为常用地质管材,符合抗拉、抗挤强度的设计需要。要进行准确的理论计算,根据下入深度和套管材质等数据,计算出所选择套管的抗拉强度、抗挤强度和安全系数。

2.2.4 套管下深

套管下深主要由地层情况决定,一般应将表层套管下入深度,选择在破碎层或者漏失地层以下20~30 m完整坚硬地层中;实际施工中要根据破碎层、漏失层深度,以及钻探施工的难易程度,来具体确定套管下深。用作隔离含水层、漏失地层等其它

用途的技术套管,其下入深度要既能满足隔离漏失层的目的,又要使套管底端坐封在较为完整的地层上,以防止后期钻进中因为钻具扰动出现套管下沉。

在最终确定井身结构时,还要结合设备的最大施工能力(包括钻机、动力机、泥浆泵)、市场上所能提供的钻头规格型号、套管的直径系列等因素综合选取。

2.3 井身结构的优化设计

根据对原井身结构设计和优化井身结构应考虑的主要因素的分析,对井身结构设计进行下列优化。

2.3.1 开次和直径

采用三开的方式:一开采用JS122 mm绳索取心钻头开孔,钻进至穿过破碎层以下20 m,(井深120 m左右),后改用 $\varnothing 165$ mm硬质合金刮刀钻头扩孔,下 $\varnothing 146$ mm表层套管并进行水泥封固,处理好孔口。

二开:采用JS122 mm绳索取心钻进,钻穿漏失层至井深520 m,下入 $\varnothing 114$ mm套管做为技术套管隔离漏失层;

三开:换用JS96 mm(岩心直径60 mm左右)绳索取心钻头钻进至终孔,全段取心。

选用三开结构,既能满足地质设计要求,当下部钻遇复杂地层或者出现其它情况后,也可考虑改用JS75 mm进行完钻。

2.3.2 套管直径和壁厚、材质

设计下入表层套管直径为146 mm套管,下入深度120 m,套管壁厚为8 mm,选用优质地质钢材;套管内径130 mm,能够满足JS122系列绳钻的使用,以及 $\varnothing 114$ mm套管的入井。技术套管同样选用优质地质钢材,直径114 mm,套管接箍直径127 mm,下入深度520 m,套管壁厚6.5 mm,内径101 mm。

3 结语

页岩气井相对于其它地质勘探类钻孔在钻遇复杂破碎地层、钻遇构造带,以及所适应的地层硬度大小和岩石可钻性等级等方面都有着明显的差别,需要在井身结构设计之初就要广泛收集施工区尽可能详尽的地质地层资料,尤其是有无复杂破碎地层、漏失地层的厚度、是否钻遇断层等构造、地层裂隙发育和含水情况等,才能更好地优化钻孔井身结构设计,

(下转第110页)

3.2.2.2 人造裂缝岩心钻井液污染后渗透率测定

采用配制的油水比 90:10 的钻井液,在 3.5 MPa 的气压驱动下,对岩心进行端面污染,实验温度为 60 ℃,污染时间为 125 min。污染后,采用平流泵恒流驱替,驱替流速为 0.8 mL/min,测试人造裂缝岩心的污染后渗透率。根据软件记录结果,测试各段及岩心整个油测原始渗透率数据及计算的渗透率恢复率数据见表 4。

表 4 污染后渗透率及渗透率恢复率测试数据

测试段	污染后渗透率 K_d /md	渗透率恢复率 R_d /%
12	1.441	95.811
23	70.536	109.873
34	282.142	87.898
14	7.395	91.060

人造裂缝法致密页岩气岩心动态污染损害实验结果表明,白油基钻井液配方对延长油田页岩气储层的污染渗透率恢复率可达 91.060%,具有良好的储层保护效果。

4 结论

(1) 页岩储层由于其地层特点,在储层损害方式与机理方面具有特殊性。

(2) 常规驱替是难以测定页岩储层液测渗透率的,依据页岩储层损害机理,采用人造裂缝法进行致密页岩气岩心的动态污染损害评价。

(3) 延长油田页岩气井应用的白油基钻井液流

变性、携岩性、稳定性均良好,能满足页岩气水平井钻井要求。

(4) 通过对人造裂缝岩心进行渗透率测定,测试结果表明,白油基钻井液对延长页岩气储层的污染渗透率恢复率可达 91.060%,初步证实该体系具有良好的储层保护效果,可在延长油田进一步推广使用及验证。

参考文献:

- [1] 张鸿翔. 页岩气:全球油气资源开发的新亮点——我国页岩气开发的现状与关键问题[J]. 战略与决策研究,2010,25(4):406-410.
- [2] 崔思华,班凡生林,等. 页岩气钻完井技术现状及难点分析[J]. 天然气工业,2011,31(4):72-75.
- [3] 刘德华,肖佳林,等. 页岩气开发技术现状及研究方向[J]. 石油天然气学报,2011,33(1):119-123.
- [4] 王建华,刘杰,张进. 页岩气开发钻完井技术探讨[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(10):1-5.
- [5] 耿娇娇,鄢捷年,邓田青,等. 低渗透凝析气藏储层损害特征及钻井液保护技术[J]. 石油学报,2011,5(32):893-898.
- [6] 王富华,邱正松. 复杂储层保护技术实验研究[J]. 石油钻探技术,2003,5(31):42-45.
- [7] 王香增,高胜利,高潮. 鄂尔多斯盆地南部中生界陆相页岩气地质特征,2014,41(3):295-303.
- [8] 吕传炳,孟庆立,张国兴,等. 低密度水包白油钻井液在潜山欠平衡钻井中的应用[J]. 钻井液与完井液,2009,26(3):32-34.
- [9] 刘绪全,陈敦辉,陈勉,等. 环保型全白油基钻井液的研究与应用[J]. 钻井液与完井液,2011,28(2):10-12.
- [3] 陈宁,彭步涛. 贵州页岩气调查评价井钻探施工技术综述[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40:260-265.
- [4] 刘洪林,王莉,王红岩,等. 中国页岩气勘探开发适用技术探讨[J]. 油气井测试,2009,18(4):68-71.
- [5] 朱恒银,王强. 页岩气勘探开发技术综述[J]. 安徽地质,2013,23(1):21-25.
- [6] 杨登科,王勇,刘权胜,等. 国内外页岩气勘探开发技术研究现状及进展[J]. 石油化工应用,2012,31(2):1-4.
- [7] 牛遼,王彦兴,熊念,等. 焦石坝构造页岩气水平井井身结构设计探讨[J]. 中国化工贸易,2014,(1):89.
- [8] 王金磊,武贤柱. 页岩气钻完井工程技术现状[J]. 钻采工艺,2012,38(11):7-10.
- [9] 宋继伟,李勇. 贵州省页岩气调查井施工工艺[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(8):26-30.
- [10] 崔思华,班凡生,袁光杰. 页岩气钻完井技术现状及难点分析[J]. 天然气工业,2011年,(4):72-75.

(上接第 91 页)

地层裂隙发育和含水情况等,才能更好地优化井身结构设计,从而确定钻井结构、开次、各开次井深、表层套管和技术套管的直径和下深、套管壁厚、材质等,尽可能既要满足复杂地层钻进的需要,顺利完成表层套管、技术套管的下入,还要为后续钻进预留足够井径空间,有利于下一步的钻探施工,从而缩短钻探工期,优质高效的完成勘探施工任务。

参考文献:

- [1] 王华平,张铎,张德军,等. 威远构造页岩气钻井技术探讨[J]. 钻采工艺,2012,2(3):9-11.
- [2] 邱正松,高宏松,黄维安. 页岩气钻探开发技术研究进展[J]. 西部探矿工程,2012,(6):66-69.