

管外封隔器在涩北气田钻井中应用的可行性研究

雍富国

(中国石油西部钻探青海钻井公司,甘肃 敦煌 736202)

摘要:环空气窜是几乎所有天然气井固井都存在的一个潜在问题。涩北气田是第四系中浅层气田,地层成岩性差,泥岩水化分散能力强,储层易分散,具有较强的压力敏感性和水敏特性;含气井段长,气水层间互,气层薄,层数多;地层岩石抗压强度低,致使水泥环第二界面的胶结强度极低,二界面质量难以提高,容易发生气窜、水窜和层间窜槽现象。为此,如何提高环形空间的密封性,提高固井质量,保证气井井筒完整性,成为了亟待解决的问题。针对该气田特殊的地质特点,分析了影响固井质量的因素,研究了固井工艺、防窜水泥浆体系和工艺措施应用的局限性,选择了管外封隔器来解决环空窜槽问题。分析结果表明,管外封隔器不但可以有效防止管外窜槽,而且可以提高固井质量和优化井身结构,保证气井安全和延长使用寿命。管外封隔器在涩北气田钻井中应用于防气窜和提高固井质量是切实可行的,具有很好的应用价值。

关键词:钻井;气窜;管外封隔器;涩北气田

中图分类号:TE242 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2018)01-0044-04

Feasibility Study on ECP Application for Drilling in Sebei Natural Gas Field/YONG Fu-guo (Qinghai Drilling Company, CNPC Xibu Drilling Engineering Company Limited, Dunhuang Gansu 736202, China)

Abstract: Annular gas channeling is a potential problem in almost all natural gas well cementing. Sebei natural gas field is a middle-shallow depth gas field of the Quaternary with poor diagenesis and strong shale hydration & dispersion, strong pressure sensitivity and water sensitivity; in long gas well segment, gas layer and water layer are interbedding with multiple thin gas layers; the low compressive strength of formation rock leads to very low second interface bonding strength of cement ring, it is difficult to improve the second interface quality, gas channeling, water channeling and interstratified channeling are easy to occur. Therefore, how to improve the sealing of the annular space, improve the cementing quality and ensure the integrity of the wellbore becomes a problem that needs to be solved. In view of the special geological characteristics of the gas field, the factors affecting cementing quality are analyzed and the limitation for the application of cementing technology, anti-channeling slurry system and technological measures are studied and ECP is selected to deal with the annular channeling. The analysis results show that ECP can not only effectively prevent gas channeling cement channeling, but also can improve cementing quality and optimize casing program to ensure gas well safety and prolong service life. The application of ECP for gas channeling prevention and cementing quality improvement in Sebei gas field drill is practical.

Key words: drilling; gas channeling; ECP; Sebei natural gas field

0 引言

在钻井工程中,注水泥结束后,环形空间发生油、气、水窜是国内外还没有很好解决的影响固井质量的难题,其中最关键和危险的问题就是气窜^[1],其引起的问题包括:有损害的层间窜流,生产套管井口环形空间压力的升高以及井喷所导致钻井设备损失。在涩北气田的开发过程中,针对固井中出现的环空问题,研发了完井用抗窜防漏增韧水泥浆体系^[2],针对表层固井后易发生气窜,采用抗盐、防窜、防漏水泥浆体系,在完井固井中采用了纤维弹性颗粒复合堵漏技术,应用了防窜膨胀水泥浆体系^[3-4],对于

因水窜造成产气量下降进行了研究^[5],使用快干水泥,低温早强,低密高强水泥浆体系,提高表层套管固井质量,采用MTA方法防气窜固井技术,提高第二界面固井质量,提高防窜能力^[6]。以上技术措施主要是从水泥浆配方和改善泥饼质量方面入手来提高固井质量,但这些措施都不能解决泥饼的固化问题,以及地层岩石的抗压强度低,第二胶结面的固井质量难于彻底提高。

套管外封隔器固井技术是一种特殊固井技术,通常用于漏失井、返水层、高压井、多套压力并存井等复杂井完井固井中^[7-10],地下储气库对井筒完整

收稿日期:2017-05-31; 修回日期:2017-11-16

作者简介:雍富国,男,汉族,1974年生,钻井技术专业,从事现场技术管理工作,甘肃省敦煌市七里镇西部钻探青海钻井公司工程技术服务公司,yongfg3880@163.com。

性要求高的井,技术套管、油层套管均采用套管外封隔器固井,确保全井筒的环空密封效果^[11]和用于气井封固防窜方面的应用^[12]。涩北气田对管外封隔器的使用仅限于水平井完井管柱,主要采用液力膨胀式和遇水膨胀封隔器^[13-14],本文将讨论在直井中使用管外封隔器,从根本上解决固井后环空气窜、水窜和层间窜槽问题,提高固井质量,延长气井使用寿命和生产安全。

1 影响固井质量因素分析

1.1 井壁稳定性差,易漏

第四系地层成岩性差,胶结疏松,在钻井过程中极易发生井漏,特别是在下钻、下套管和固井过程中。固井过程中井漏,水泥浆返不到地面或上一层套管内,导致气层压不稳,造成环空气体窜槽。在开发中后期,由于产层压力下降,固井过程中井漏更为普遍,从而严重影响着固井质量。

1.2 泥饼质量差,井眼缩径严重

根据地质岩性分析,地层中泥岩和砂质泥岩以伊利石含量为主,伊利石遇水分散强烈,使钻井液粘度上升,失水增大,钻井液的流变性变差,加之储层砂岩易分散,岩屑粘附力强,形成的泥饼质地松散且厚,岩屑与井壁粘附,造成缩径。泥饼质量差,影响了固井二界面胶结质量,而且下套管过程中易井漏和下套管后建立循环困难,影响固井质量。

1.3 岩石力学性能差,固井二界面胶结强度低,防气窜难度大

根据水泥环与地层岩石第二界面胶结强度评价标准,地层岩石抗压强度越高,对于提高水泥环的胶结强度就越有利,岩石抗压强度越低,水泥环第二界面与地层的胶结强度就越低^[15]。涩北气田不成岩地层岩石抗压强度特低,以台南某水平井垂深1576.54 m处岩石为例,岩石密度 2.65 g/cm^3 ,内摩擦角 30.83° ,泊松比为36.00,岩石抗压强度为1.26 MPa,内聚力1.30 MPa^[16],岩石抗压强度远小于“不稳定区”强度要求20 MPa,使得水泥环第二界面胶结强度极差,这就是发生气窜、水窜和层间窜槽的根本原因,也是提高第二界面胶结强度的瓶颈所在。

1.4 储层物性好,含气井段长,气水层间互,影响优质水泥环的形成

研究表明水泥与泥岩、砂岩地层的胶结强度随孔隙度和渗透率的增加而下降,地层流体在水泥浆

凝固过程中影响优质水泥环的形成,影响封固质量^[17]。涩北气田储层多,非均质性强,从总体上分析,具有高孔隙度、中—低渗透率的特点;主力气层分布浅且长,涩北一号气层分布在429.10~1592.50 m(涩试2井),涩北二号气层埋深405.00~1373.00 m,台南气田气层分布在834.20~1737.60 m(台试5井)范围内;地层水水型主要为 CaCl_2 型。涩北一号地层水密度 $1.06 \sim 1.13 \text{ g/cm}^3$,最大295165 mg/L,最小78136 mg/L, pH值6.3~7.0;涩北二号地层水密度 $1.07 \sim 1.09 \text{ g/cm}^3$,总矿化度100000~130000 mg/L, pH值7.00~8.00;台南气田地层水密度 $1.12 \sim 1.17 \text{ g/cm}^3$,总矿化度为150906~264343 ppm, pH值5.00~6.00。

1.5 主力气层以上浅层气发育,表层固井后易发生管外窜气

涩北一号、二号气田井身结构设计表层套管下深为400.00 m,固井后管外窜气现象很普遍,钻井实践证实200.00~400.00 m浅层气发育,为了预防固井后管外窜气,调整表层套管下深为200.00 m/150.00 m,不钻穿浅层气层,基本上解决了管外窜气现象。台南气田开发初期井身结构为表层套管300.00 m,技术套管1000.00 m,为了优化井身结构,在构造边缘部署台试8、台试9进行两层结构井试验,表层套管下深改为600.00 m/500.00 m,试验成功。随后将部分井井身结构设计为两层,表层套管下深为800.00 m,固井后发生浅层气管外窜,台6-8井发生地表窜气、窜水,台H6-1和台6-7井因管外窜气现象严重终止钻探^[3]。优化井身结构,对于I和II层系井设计为两层井身结构,表层下深150.00/350.00 m,其余层系为三层井身结构,表层下深150.00 m,技术套管下深800.00 m,表层套管下深太浅,一旦发生溢流关井,在压井过程中易发生憋窜地层或井漏形成次生事故^[18],如涩R44-3井和涩R25-2井表层下深150.00 m,溢流关井后,发生憋窜地层。台注5井井深500.00 m,注水一段时间后,发生管外水窜,不得不进行封堵措施作业。

2 使用管外封隔器的技术可行性

2.1 提高固井顶替效率

下套管前,通井,充分循环钻井液,保证井眼畅通;套管串安放扶正器,保证居中度;根据钻井液和水泥浆的相容性选择合适的冲洗液和隔离液;这些

措施在现场都能满足,但注水泥时活动套管,因为是先焊井口后固井,无法实施。高速和紊流顶替因地层易漏无法实施,只能采取较低返速的方法。曾经在某口井表层固井中紊流顶替,固井过程正常,但固井质量不合格,环空灌水泥量接近环空总容积的50%。分析台6~7井固井资料,发现确实实现了紊流顶替,固井过程也正常,结果管外窜气严重。

2.2 应用防窜水泥浆体系

可压缩水泥浆体系,触变水泥浆体系,延缓胶凝水泥浆体系,非渗透水泥浆,低失水水泥浆,膨胀水泥浆,胶乳水泥浆,矿渣MTC技术,所有这些水泥浆体系,仍不能解决泥饼和未替净的钻井液的固化问题。纤维材料,弹性颗粒材料,MTA方法,MEG钻井液体系改善泥饼质量,只有UF/MTC一体化技术,可有效改善地层与水泥浆环的胶结性能。

2.3 应用防窜工艺措施

对于防气窜技术有的采用双级固井技术,使用大排量提高循环摩阻,环空憋压,加重隔离液方法^[19]。对于含气井段长,层间水活跃,存在气水同层,上部地层承压能力低,固井中易漏失,发生气窜,采用双级注水泥工艺技术,防止上部地层漏失,对于漏失井,采取正注反挤固井工艺技术^[20]。对于浅层气防气窜、防漏固井技术,采用低密度水泥浆固井技术,或双凝水泥浆设计,优化配方,增加水泥石强度,严格控制水泥浆的稠化时间和过渡时间并及时进行环空憋压,确保压稳浅气层^[21]。综合防气窜工艺措施,井口加回压、振动固井、脉冲固井、多级固井在涩北气田均不适用,只有套管外封隔器,强制将地层中各层分开,更能有效地避免水泥浆凝固过程结束后的窜流问题。

2.4 管外封隔器适应性分析

套管外封隔器是一种与套管连接的用来封隔套管与井壁间的环形空间的井下固井工具,可有效封隔油气层,进行有选择性的开采或封堵某一层段,保证套管外环空的密封性。按照膨胀性质的不同,可分为水力膨胀式和水泥膨胀式管外封隔器,根据管外封隔器的基本结构和基本原理,对比了水力膨胀式和水泥膨胀式管外封隔器的优缺点^[22-23]和遇水遇油膨胀封隔器的应用于固井过程中有助于解决顶替效率低导致的钻井液窜槽和第一界面微间隙问题,有效封堵环形空间和由于钻井液窜槽和微间隙带来的地层流体上窜问题^[24]。针对井底温度过高,井眼曲率过高,井眼不规则,轴向载荷大等恶劣环境是造成管外封隔器在使用过程中失效的主要原因^[25],分析涩北气田温度和压力等因素,选择封隔器类型。台南气田属于常温系统,地温梯度为3.30℃/100.00m,略低于涩北一号气田地温梯度为4.09℃/100.00m,涩北二号气田地温梯度为3.30℃/100.00m,涩北气田地温梯度均属于常温系统。地层压力系数为1.19,据地层压力系数的划分标准,该气田基本属于正常压力系统。综合温度、压力和轴向载荷等因素分析,水力膨胀式封隔器完全能满足封隔环空要求(以H XK水力扩张式封隔器为例,胶筒膨胀系数大1.20~2.00倍;承压差高7.00~28.00MPa;耐温性能120~150℃;密封长度范围大0.950~1.10m;可采用水、钻井液、水泥浆等作为膨胀介质,以满足不同井况的完井设计)。

2.5 管外封隔器在水平井中的应用

涩北气田水平井完井方式经历了全井注水泥射孔完井,尾管封隔悬挂器完井以及封隔器辅助筛管顶部注水泥完井方法,对使用封隔器的井进行不完全统计,如表1。

表1 涩北气田使用管外封隔器完井不完全统计

井号	完井方式	液压封隔器规格/ mm	封隔器位置/m	
			1号	2号
台H4-1	封隔器辅助筛管顶部注水泥完井	Ø139.7×Ø215.9	1525.02~1527.93	1511.51~1514.42
台H3-5	封隔器辅助筛管顶部注水泥完井	Ø139.7×Ø215.9	1517.37~1520.30	1503.47~1506.40
涩H7	封隔器辅助筛管顶部注水泥完井	Ø139.7×Ø215.9	874.07~876.98	858.49~862.76
涩H15	封隔器辅助筛管顶部注水泥完井	Ø139.7×Ø215.9	1191.55~1195.02	1177.37~1180.87
台H2-2	封隔器辅助筛管顶部注水泥完井	Ø139.7×Ø215.9	1313.03~1315.95	1299.32~1302.24
台H3-6	封隔器辅助筛管顶部注水泥完井	Ø139.7×Ø215.9	1542.83~1554.04	1539.90~1542.83
台H5-6	封隔器辅助筛管顶部注水泥完井	Ø139.7×Ø215.9	1637.79~1700.71	1683.67~1686.59
台H6-3	封隔器辅助筛管顶部注水泥完井	Ø139.7×Ø215.9	1840.60~1843.52	1827.62~1830.52

2.6 应用目的

2.6.1 应用于封固防窜,优化井身结构

管外封隔器用来封隔套管与井壁间的环形空间,保证管外环空的密封性。涩北一号、二号气田井身结构设计表层套管下深为 400.00 m,固井后管外窜气现象很普遍,钻井实践证实 200.00 ~ 400.00 m 浅层气发育,调整表层套管下深为 200.00 m/150.00 m,不钻穿浅层气层,但增加因套管下深导致的井控风险。为此,将涩北一号、二号气田表层套管下深调整为 400.00 m,将管外封隔器放置在浅层气顶部较厚的泥岩地层。台南气田二层系及以浅层系井,表层套管下深 500.00 m,将管外封隔器放置在浅层气顶部较厚的泥岩地层。三层系及以深层系井,优化为两层结构井,表层套管下深 800.00 m,将管外封隔器放置在浅层气顶部较厚的泥岩地层,达到防止浅层气管外窜的目的;生产井在生产层位上下部泥岩层各加放一管外封隔器,防止水窜和层间窜槽。注水井在注水层位上加一管外封隔器,或者在注水层位上下各加一管外封隔器保证注水不会窜槽。

2.6.2 提高易漏失井的固井质量

针对易漏失井的固井问题,在管串中加入管外封隔器,碰压结束后加压胀封,利用封隔器胶筒侧向耐压,减少易漏层承受的液柱压力,防止井漏,杜绝因井漏导致的固井质量差的问题。

3 结论

(1)成岩性差,岩性疏松,岩石抗压强度低,是导致涩北气田固井第二界面质量难以提高,防气窜难度大的真正原因。

(2)固井顶替效率难于提高,目前国内防气窜工艺技术不能完全防止气窜发生。

(3)综合分析涩北气田温度、压力系统、井眼状况以及轴向载荷,能够满足管外封隔器的应用条件。

(4)选择水力膨胀式管外封隔器,配合防气窜工艺,能够满足封隔环空的目的。

(5)应用管外封隔器在不改变表层套管下深的前提下防止固井后发生管外窜。

(6)生产井中应用管外封隔器能防止水窜和层间窜槽,注水井中应用管外封隔器能保证注水不会窜槽。

参考文献:

- [1] 李早元,李进,郭小阳,等.固井早期气窜预测新方法及其应用[J].天然气工业,2014,34(10):75-82.
- [2] 姚晓,肖登林,张永海,等.抗窜防漏增稠水泥浆体系提高涩北气井固井质量研究[J].天然气工业,2005,25(10):70-72.
- [3] 石李保,耿东土,于文华,等.柴达木盆地台南气田优快钻井技术[J].石油钻采工艺,2010,32(3):103-106.
- [4] 陈光,张伟,陈昕,等.柴达木盆地台南气田固井技术[J].钻井液与完井液,2010,27(5):84-86.
- [5] 郎立术,赵仁保,柯文奇,等.疏松砂岩气藏管外窜槽的封堵实验研究[J].天然气技术,2010,4(1):36-38.
- [6] 顾军,何吉标,谯世均,等.MTA方法防气窜固井技术在涩北气田的应用[J].天然气工业,2014,34(4):83-89.
- [7] 孔涛,赵建新,张宏军,等.ECP在完井固井工艺中的应用与分析[J].石油钻采工艺,2010,32(5):48-52.
- [8] 王建仓,张宏军,荆延良.丰深4井完井固井工艺技术[J].钻采工艺,2009,32(1):99-100.
- [9] 杨旭东,姚平均,曹平,等.中原油田濮7区块漏失井固井技术[J].石油钻采工艺,2012,34(4):33-35.
- [10] 马玉斌.管外封隔器在复杂油气井固井中的应用[J].石油钻采工艺,2004,26(1):39-40.
- [11] 孙海芳.相国寺地下储气库钻井难点及技术对策[J].钻采工艺,2011,34(5):1-5.
- [12] 杨涛,谢南星,谢明华,等.“TCT”型膨胀式套管外封隔器应用技术研究与现场试验[J].钻采工艺,2009,32(6):65-67,81.
- [13] 沈泽俊,董征,张国文,等.遇水自膨胀封隔器研制及在水平井中的应用[J].石油矿场机械,2011,40(2):38-41.
- [14] 刘猛,董本京,张友义.水平井分段完井技术及完井管柱方案[J].石油矿场机械,2011,40(1):28-32.
- [15] 练章华,沙磊,陈世春,等.岩石力学性能实验与水泥环胶结评价[J].钻采工艺,2011,34(1):101-103,108.
- [16] 邓珊,董长银,谯世君,等.台南气田水平井裸眼井壁稳定性分析[J].内蒙古石油化工,2008,(8):168-171.
- [17] 赵宝辉,高永会,谭文礼.影响水泥环第二界面胶结质量的因素分析[J].钻采工艺,2009,32(5):16-18.
- [18] 刘天科.胜利油田老区调整井钻井井控技术[J].石油钻采工艺,2011,33(3):9-11,16.
- [19] 王志刚,韩卫华,佟刚.双级防气窜固井技术在也门 Judayaah-1井中的应用[J].石油钻采工艺,2011,33(2):38-41.
- [20] 康雪林,王延东.延长气田固井工艺技术[J].钻采工艺,2010,33(3):127-129.
- [21] 卓云,廖富国,刘德平.川东北地区浅层气井防气窜、防漏固井技术——以五宝场构造沙溪庙组气藏为例[J].天然气工业,2009,29(12):45-46.
- [22] 邓旭.套管外封隔器技术发展及应用[J].试采技术,2009,30(4):43-46.
- [23] 张言吉,宋本岭,崔军,等.水泥浆充填管外封隔器技术及其应用[J].石油钻探技术,2003,31(2):27-28.
- [24] 韩旭,李锐,靳宝军,等.膨胀橡胶封隔器在油气井固井中的应用现状[J].钻采工艺,2011,34(2):15-17.
- [25] 李早元,胡光辉,刘建,等.碳酸盐岩选择性固井管外封隔器失效原因探讨[J].石油钻采工艺,2014,36(1):100-103.