

阿姆河右岸气田油层套管防气窜固井技术

孙红伟¹ 柳世杰¹ 聂世均¹ 李兵¹ 宾国成¹ 张颖梅²

1. 中国石油川庆钻探工程公司井下作业公司 2. 中国石油川庆钻探工程公司国际工程公司

孙红伟等. 阿姆河右岸气田油层套管防气窜固井技术. 天然气工业, 2013, 33(6): 71-75.

摘 要 阿姆河右岸气田是土库曼斯坦每年向中国供应 $300 \times 10^8 \text{ m}^3$ 天然气的重要气源地。该气田 2008 年之前投产的天然气井固井质量均较差, 环空带压井比率高达 40%。为此, 针对气井带压形成的不同原因, 根据不同的压力系统分别应用了微硅水泥浆体系, 常规 G 级水泥浆体系和加重水泥浆体系。在 6 口井开展了适合该气田特点的固井前的井筒准备、水泥浆性能控制和注水泥工艺的配套技术应用试验, 通过采用多凝水泥浆柱结构、多级注水泥工艺、先悬挂后回接固井工艺及提高套管内外压差, 补偿环空水泥浆失重所导致的液柱压力损失, 保证固井候凝期间的压力平衡。在总结试验成果的基础上, 开展了 39 口井的推广应用, CBL 测井质量优质率达到 45.27%, 合格率达到 77.31%, 大幅度提高了该气田的固井质量, 环空带压情况由 2008 年之前的 40% 下降到目前的 6%, 并形成了一套能有效预防该气田固井作业气窜发生的综合固井技术措施。

关键词 土库曼斯坦 阿姆河右岸 油层套管 防气窜 固井工艺 水泥浆

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2013.06.013

Cementing technology with the prevention of gas channeling in production casing tubes in the gas field on the Right Bank of the Amu Darya River, Turkmenistan

Sun Hongwei¹, Liu Shijie¹, Nie Shijun¹, Li Bing¹, Bin Guocheng¹, Zhang Yingme²

(1. Downhole Service Company of Chuanqing Drilling Engineering Co., Ltd., CNPC, Chengdu, Sichuan 610051, China; 2. Overseas Project Division of Chuanqing Drilling Engineering Co., Ltd., CNPC, Chengdu, Sichuan 610041, China)

NATUR. GAS IND. VOLUME 33, ISSUE 6, pp.71-75, 6/25/2013. (ISSN 1000-0976; In Chinese)

Abstract: The gas field on the Right Bank of Amu Darya River is a major gas source from Turkmenistan to China, with an annual volume of $300 \times 10^8 \text{ m}^3$. The gas wells put into production before 2008 have poor well cementing qualities; the ratio of wells with sustained casing pressure (SCP) is up to 40%. In order to solve this problem, a micro-silicon slurry system, a conventional Class-G slurry system, and a heavy-weight slurry system were applied respectively according to the specific pressure system and the formation reason of the SCP. A complete set of technical application experiments was conducted on 6 wells, including the wellbore preparation before cementing, the control of slurry properties, and the cementing process in accordance with the characteristics of this field. The technologies adopted were as follows: the slurry column structure with asynchronous solidification, multi-stage cementing process, suspension to tieback liner cementing process, and pressure difference increasing between the inner casing and the annulus. Therefore, the liquid column pressure loss caused by the weight loss of the annular cement was compensated, and the pressure during the solidification period of the cementing process was kept balanced. On the basis of the experimental results, the above-recommended cementing process is popularized and applied in 39 wells. Upon the cement bond logging, 45.27% of the wells have excellent cementing quality and 77.31% are at acceptable levels. The results indicated that the cementing quality of this block is significantly improved. The ratio of wells with SCP has decreased from 40% before 2008 to 6% at present. Moreover, a complete set of integrated well-cementing technological measures is established, effectively preventing the gas channeling in the cementing process of wells in this block.

Key words: Turkmenistan, Right Bank, Amu Darya River, production casing, gas channeling prevention, well cementing, slurry

基金项目: 中国石油川庆钻探工程公司科研课题(编号:2008E-16-09)。

作者简介: 孙红伟, 1975 年生, 工程师; 主要从事固井工程工艺研究与应用工作。地址: (610051) 四川省成都市二环路北四段瑞丰巷 6 号。电话: 15802885868。E-mail: sudanb6cm@163.com

土库曼斯坦阿姆河右岸天然气开发项目是中国石油天然气集团公司在海外投资运营的最大天然气项目之一,项目区块位于土库曼斯坦东部阿姆河与乌兹别克斯坦边界之间的狭长区域,是中国—中亚天然气管道的源头和重要的气源地。

在阿姆河右岸天然气田勘探开发的早、中期,由于技术不过关,该地区的钻井成功率只有40%,钻井成功的井固井后环空带压率高达40%。提高固井质量,减少环空气窜的发生,是保证阿姆河右岸天然气田的

顺利开发的关键环节之一。

1 阿姆河右岸气田地质概况

阿姆河右岸项目区块大部分地区为沙漠和半沙漠,仅部分为阿姆河绿洲。构造位置位于阿姆河盆地东北部(图1),从北东向南西横跨阿姆河盆地查尔朱台阶、别什肯特拗陷和西南基萨尔山前冲断带3个二级构造单元,构造类型复杂多样^[1-2]。

阿姆河右岸天然气田从下向上分别由侏罗系、白

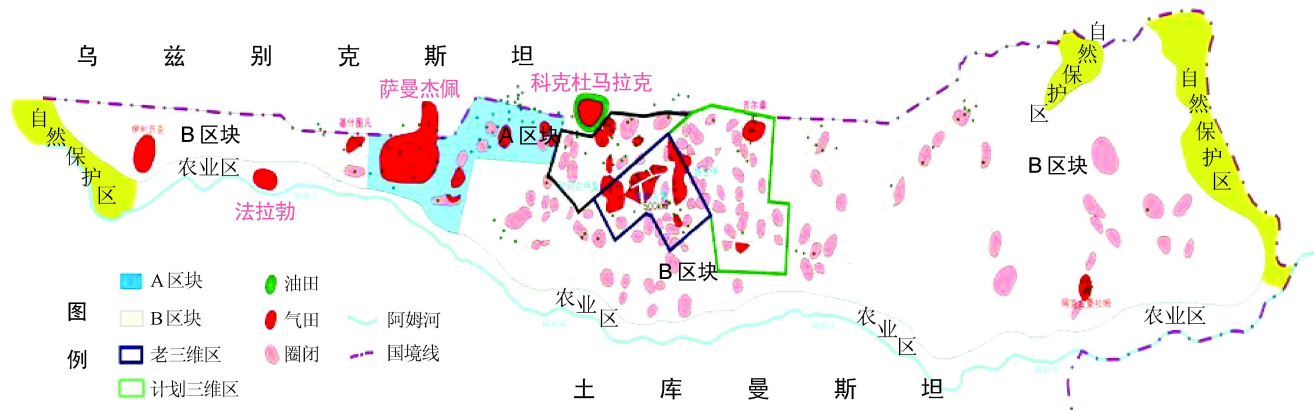


图1 土库曼斯坦阿姆河右岸区块气田分布图

垩系、古近系、新近系和第四系组成,其中,中下侏罗统滨海相碎屑岩为本区主力烃源岩,上侏罗统下部卡洛夫组—牛津阶组为一套碳酸盐岩,厚度介于250~410 m,是天然气勘探的重点层系,其他层系尚未发现工业性气层。卡洛夫组—牛津组储集空间类型主要是孔隙、溶洞及裂缝;粒间孔和晶间孔是主要孔隙类型之一;储集类型主要为孔隙—溶洞型,局部构造裂缝相对发育,为裂缝—孔隙型;气藏类型主要有堤礁相块状高孔渗气藏、点礁相透镜状中—高孔渗气藏和滩相层状中—低孔渗气藏^[3-4]。

2 固井防气窜面临的主要挑战

本区卡洛夫组—牛津组储层埋藏深度介于2 300~4 100 m,A、B区块第三次开钻 $\varnothing 311.2$ mm钻头钻至启莫里阶组盐膏层底,下入 $\varnothing 244.5$ mm+ $\varnothing 250.8$ mm的复合技术套管封隔长段盐膏层及盐上含气层;第四次开钻采用 $\varnothing 215.9$ mm钻头钻开主要目的层的牛津—卡洛夫阶储层,下入 $\varnothing 177.8$ mm套管(或备用方案的 $\varnothing 127.0$ mm套管)作产层生产套管,确保产层实行专打和储层保护^[4],但牛津—卡洛夫阶储层厚度在500~700 m,固井作业仍面临如下技术挑战。

1)由于沉积环境的不同,阿姆河右岸区块卡洛夫

组—牛津组储层压力存在巨大差异,西部区域为低压—正常压力系统,压力系数为0.85~1.08,固井施工过程中易发生漏失,固井质量难以保证;东部及东南部区域为异常高压压力系统,压力系数为1.65~1.90,水泥浆在胶凝失重阶段易发生地层气体窜流^[5]。

2)产层套管固井采用全井水泥封固,水泥浆柱较长,候凝阶段水泥浆胶凝失重导致的环空静液压力下降值较大,地层气体会在环空液柱压力降至低于地层压力时溢出形成窜槽^[6-8]。

3)残留在环空中的钻井液和被钻井液污染的水泥浆是形成气窜的重要因素。

4)水泥浆凝固过程中的体积缩小会导致在水泥环与井壁、水泥环与套管之间出现微环隙,地层气体容易通过这些微环隙形成窜流。

5)气藏中含有 CO_2 和 H_2S 等酸性腐蚀气体,易造成水泥环腐蚀破坏,形成气窜通道。

3 主要防气窜固井技术措施

3.1 固井施工准备

3.1.1 井筒准备

在钻井阶段确保井身质量,井径能保证套管顺利下入,尽量减少井内的“糖葫芦”井段和“大肚子”井段;

井斜、方位、狗腿度等数据有助于保证套管居中。

3.1.2 下套管

钻井队确保下套管前井内压力平衡,没有漏失或溢流等复杂情况。加入适量的扶正器,确保套管居中程度达到67%。

3.1.3 钻井液性能调整

套管下至设计深度后,严格按照相关标准循环钻井液并调整性能,降低钻井液的屈服值;若钻井液密度小于 1.30 g/cm^3 ,屈服值宜小于 5 Pa ;若密度在 $1.30 \sim 1.80 \text{ g/cm}^3$,屈服值宜小于 8 Pa ;若密度大于 1.80 g/cm^3 ,则屈服值宜小于 15 Pa 。固井施工前钻井液进出口密度差应小于 0.02 g/cm^3 ,确保井筒清洁,井壁稳定。

3.2 水泥浆性能控制

3.2.1 密度设计

根据地层压力确定水泥浆密度,固井施工过程中,环空液柱压力必须高于地层流体压力,低于地层破裂压力。从提高水泥浆顶替效率方面考虑,要求水泥浆密度大于钻井液密度。为此研制出了3套水泥浆体系,包括有密度范围在 $1.40 \sim 1.50 \text{ g/cm}^3$ 的微硅水泥浆体系,密度范围在 $1.85 \sim 2.00 \text{ g/cm}^3$ 的常规G级水泥浆体系,以及密度范围在 $2.00 \sim 2.30 \text{ g/cm}^3$ 的加重水泥浆体系^[9]等。对于破裂压力系数较低,低于或非常接近地层流体压力系数的地层,必须在固井施工前采取相应措施,提高地层的承压能力和防漏失能力,否则会造成储层污染,并且固井质量难以保证。

3.2.2 直角稠化

固井形成的水泥环需要满足不同气田的地质条件对力学性能及界面胶结性能的要求,各个油气田做了大量研究试验工作^[10],在该气田采用了SD系列固井水泥添加剂,该体系使水泥浆具有很好的直角稠化性能,在水泥浆从液态转为固态的过渡阶段,地层流体在环空形成窜流的风险大大降低(图2、表1)。

3.2.3 防腐性能

H_2S 等酸性介质对水泥环的腐蚀行为研究已不断深入,得到了水泥石强度与 H_2S 分压值、接触时间的关系^[11],为了阻止 H_2S 对水泥石的腐蚀,在水泥中加入活性硅(SD100)等抗腐蚀材料,活性硅材料

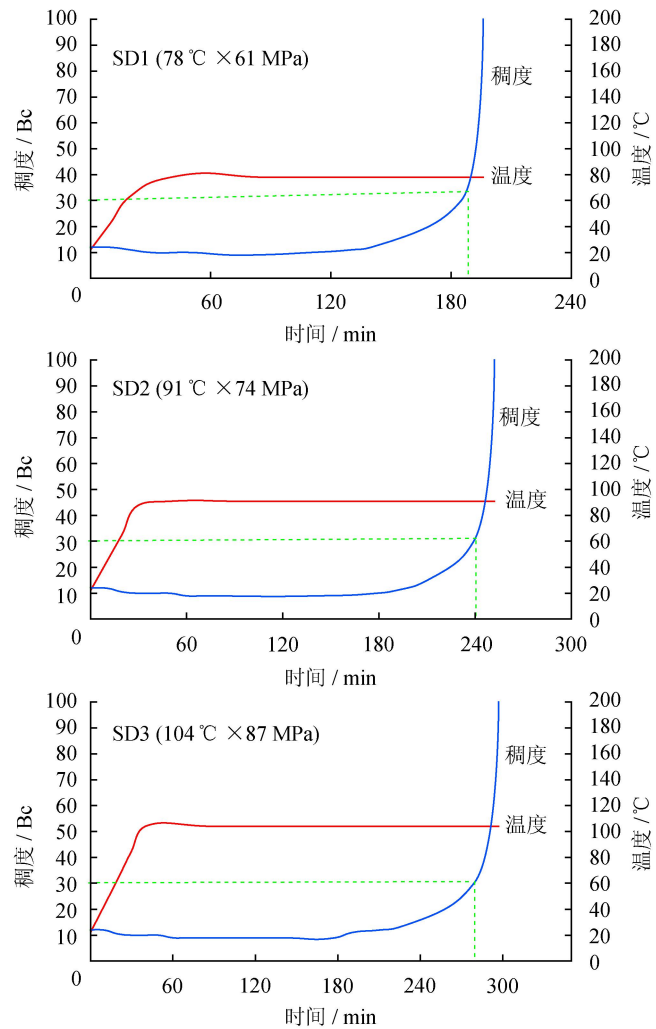


图2 SD系列水泥浆稠化曲线图

SD100能与 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 反应生成水化硅酸钙新物相,减少水泥中的钙硅比,并且新物相结构致密,能大大提高水泥石的抗 CO_2 和 H_2S 腐蚀能力。在水泥浆中混入的SD10、SD12或SD18高分子聚合物吸附于水泥颗粒表面形成致密的高分子材料膜,能降低水泥石渗透率,也提高了水泥石的抗腐蚀能力。

3.2.4 其他性能

在水泥中混入高分子聚合物材料SD10、SD12或SD18,能在水泥浆中形成高分子凝胶膜,将水泥浆的API失水降至 50 mL 以下,自由水降至零,降低水泥

表1 SD系列水泥浆直角稠化性能表

水泥浆体系	配方号	实验温度/ $^{\circ}\text{C}$	水泥浆密度/ $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	稠化时间/ min	30~100 Bc 稠化时间/min	初凝时间/ min	终凝时间/ min	初终凝时间差/ min
SD	SD1	78	1.90	199	14	260	288	28
	SD2	91	1.90	254	15	322	352	30
	SD3	104	1.90	297	16	402	434	32

浆因“桥堵失重”和失水体积缩小而发生气窜的可能性。膨胀剂 SDP-1 能使水泥石发生微膨胀,消除水泥石与套管、水泥石与环空之间的微环隙,阻止地层流体窜流。在水泥中混入防漏增韧材料 SD66,能够有效降低固井施工过程中发生漏失的可能,并能够提高水泥石的韧性和抗冲击载荷能力。

3.3 固井工艺技术

3.3.1 优化的前置液结构

采用 SD80 冲洗液+SD83 隔离液+领浆的前置液结构。注入紊流接触时间达到 7~10 min 的冲洗液 SD80 能充分清除井壁和套管上的胶凝物质、虚泥饼,提高水泥与套管和地层的胶结质量。密度介于钻井液和水泥浆之间的 SD83 加重隔离液能充分隔离钻井液和水泥浆,消除钻井液对水泥浆的污染,保证施工安全。注入 15 m³、低于设计水泥浆密度 0.10~0.20 g/cm³ 的水泥浆作为领浆,使水泥浆与地层和套管壁之间达到足够的接触时间,能够大幅度提高顶替效率和固井质量^[12-13]。

3.3.2 采用多凝水泥浆柱结构

调节水泥浆的稠化时间,使水泥浆从下到上逐渐凝固,下部封固产层段的速凝水泥浆出现失重,直至降至水柱压力时,上部井段的缓凝水泥浆仍保持较高的静液压力;当上部缓凝段降至水柱压力时,下部速凝段水泥已经凝固^[13]。缓凝和速凝水泥的封固长度之比为 1.5~2,稠化时间差值一般为 2~2.5 h。

3.3.3 采用多级注水泥工艺

土库曼阿姆河右岸气田产层套管固井普遍采用全井水泥封固,为了减小水泥浆胶凝失重导致的环空液柱压力损失,井深超过 3 000 m 的产层套管固井采用双级固井工艺,或者采用先悬挂尾管固井^[14],再回接至井口的固井工艺。

3.3.4 提高套管内外压差

采用密度较低的液体顶替水泥浆,使顶替结束后套管在弹性范围内产生轴向挤压作用,补偿水泥浆凝固后的收缩量,可消除水泥环与套管间因此形成的微间隙^[13]。对于采用双级工艺的固井施工,水泥浆被顶替到位后,关闭井口防喷器,分阶段进行环空憋压,补偿水泥浆失重引起的环空液柱压力下降。根据水泥浆的传压特性,憋压在候凝 20 min 时,能达到较高的传压率。

3.3.5 采用管外封隔器

地层易漏和发生气窜风险较高的固井施工,采用带有管外封隔器的固井工具。 $\varnothing 177.8$ mm 尾管固井施工中,使用带有管外封隔器的尾管悬挂器(图 3)。

顶替水泥浆过程结束后,座封管外封隔器,在 $\varnothing 177.8$ mm 尾管与上层 $\varnothing 244.5$ mm 套管之间的环空实现完全封隔,循环洗井过程增加的压力无法传递到裸眼段,同时还可阻止地层流体进入封隔器以上的 $\varnothing 244.5$ mm 套管。

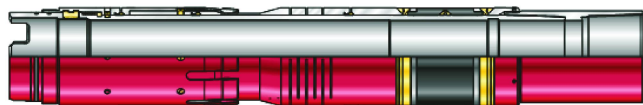


图 3 $\varnothing 177.8$ mm 尾管封隔器图

4 现场应用情况

2008 年川庆钻探土库曼分公司在阿姆河右岸应用上述防气窜固井技术先期进行了 6 口井的先导性试验,提高固井质量效果明显。总结应用试验结果后,中国石油川庆钻探工程公司井下作业公司对固井技术做了进一步优化,截止到 2011 年 12 月,在 39 口井中应用情况良好,CBL 测井质量优质率达到 45.27% (图 4),合格率达到 77.31%,目前该区块环空带压情况由 2008 年之前的 40% 下降到目前的 6%。

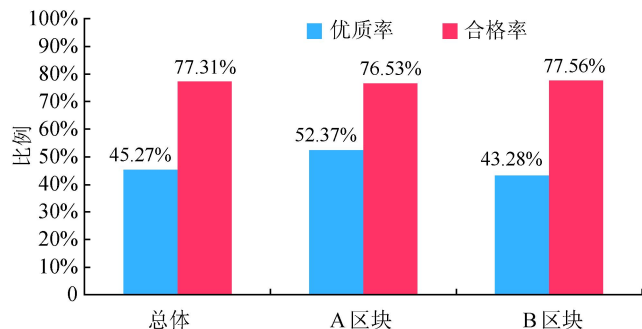


图 4 阿姆河右岸气田产层套管 CBL 测井质量统计图

5 结论

1) 针对阿姆河右岸固井施工预防气窜面临的挑战,通过在井筒准备、水泥浆技术、固井工艺等方面采取综合措施,提高了固井质量,显著降低了环空带压井的比率。

2) 预防固井气窜是一个世界性难题,目前尚未有一套能够适用于所有气田、完全防止气窜的方法,只有根据当地区块特点和钻井情况,采用针对性措施预防气窜。

参 考 文 献

[1] 李浩武,童晓光,王素花,等.阿姆河盆地侏罗系成藏组合

- 地质特征及勘探潜力[J].天然气工业,2010,30(5):6-12.
- LI Haowu, TONG Xiaoguang, WANG Suhua, et al. An analysis of geological characteristics and exploration potential of the Jurassic play, Amu Darya Basin[J]. Natural Gas Industry, 2010, 30(5): 6-12.
- [2] 费怀义,徐刚,王强,等.阿姆河右岸区块气藏特征[J].天然气工业,2010,30(5):13-17.
- FEI Huaiyi, XU Gang, WANG Qiang, et al. Characteristics of gas reservoirs in the Amu Darya Right Bank Block, Turkmenistan[J]. Natural Gas Industry, 2010, 30(5): 13-17.
- [3] 严维理,江鸿,吴先忠,等.阿姆河右岸区块地质特征与钻井设计[J].天然气工业,2010,30(5):73-76.
- YAN Weili, JIANG Hong, WU Xianzhong, et al. Geological characteristics and drilling design of the Amu Darya Right Bank Block, Turkmenistan[J]. Natural Gas Industry, 2010, 30(5): 73-76.
- [4] 刘川生,周仕,晏凌,等.高含硫气田钻井工程技术难点及应对措施——以土库曼斯坦阿姆河气田为例[J].天然气工业,2013,33(1):79-84.
- LIU Chuansheng, ZHOU Shi, YAN Ling, et al. Drilling engineering difficulties in high-sulfur gas fields in Turkmenistan and countermeasures[J]. Natural Gas Industry, 2013, 33(1): 79-84.
- [5] 张兴国,刘崇建,杨远光,等.水泥浆体系稳定性对水泥浆失重的重要影响[J].西南石油学院学报,2004,26(3):68-70.
- ZHANG Xingguo, LIU Chongjian, YANG Yuanguang, et al. The important influence of cement slurry's stability on weight-loss[J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2004, 26(3): 68-70.
- [6] SUTTON D L, RAVI K M. New method for determining downhole properties that affect gas migration and annular sealing[C]// paper 19520-MS presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 8-11 October 1989, San Antonio, Texas, USA. New York: SPE, 1989.
- [7] 孙展利.水泥浆在不同井斜的沉降失重和沉降—胶凝失重[J].天然气工业,1998,18(4):55-58.
- SUN Zhanli. Settling weightlessness and settling jellification weightlessness of slurry under various hole deviations[J]. Natural Gas Industry, 1998, 18(4): 55-58.
- [8] 刘崇建,张玉隆,郭小阳.水泥浆桥堵引起的失重和气侵研究[J].天然气工业,1997,17(1):39-44.
- LIU Chongjian, ZHANG Yulong, GUO Xiaoyang. Research on weight-loss and gas invasion caused by cement slurry bridging off[J]. Natural Gas Industry, 1997, 17(1): 39-44.
- [9] 李明,李早元,王思然,等.加重剂指标对水泥浆性能的影响研究[J].西南石油大学学报:自然科学版,2011,33(6):147-150.
- LI Ming, LI Zaoyuan, WANG Siran, et al. Research on the influence of weighting material on high-density cement slurry[J]. Journal of Southwest Petroleum University: Science & Technology Edition, 2011, 33(6): 147-150.
- [10] 滕学清,刘洋,杨成新,等.多功能防窜水泥浆体系研究与应用[J].西南石油大学学报:自然科学版,2011,33(6):151-154.
- TENG Xueqing, LIU Yang, YANG Chengxin, et al. Study and application of multifunction gas stop cement slurry[J]. Journal of Southwest Petroleum University: Science & Technology Edition, 2011, 33(6): 151-154.
- [11] 郑友志,余朝毅,姚坤全,等.川渝地区含硫气井固井水泥环界面腐蚀机理分析[J].天然气工业,2011,31(12):85-89.
- ZHENG Youzhi, SHE Chaoyi, YAO Kunquan, et al. Corrosion mechanism analysis of cement sheath interfaces of sour gas wells in Sichuan and Chongqing areas[J]. Natural Gas Industry, 2011, 31(12): 85-89.
- [12] NAHM J J, WYANT R E, RASK J H, et al. New facets of universal fluid usage: Reduction of hole wash-out and solidification for environmentally safe drilling waste disposal[C]// paper 39384-MS presented at the IADC/SPE Drilling Conference, 3-6 March 1998, Dallas, Texas, USA. New York: SPE, 1998.
- [13] 陈怀高,余建,乐尚文,等.阿姆河右岸B区块巨厚盐膏层固井技术[J].天然气工业,2010,30(5):66-68.
- CHEN Huaigao, YU Jian, YUE Shangwen, et al. Cementing technologies for heavy thick salt-gypsum layers in the Amu Darya Right Bank Block B, Turkmenistan[J]. Natural Gas Industry, 2010, 30(5): 66-68.
- [14] 陈玉书.新型液压尾管释放控制器的研制[J].天然气工业,2011,31(11):71-73.
- CHEN Yushu. A new type of hydraulic liner release controller[J]. Natural Gas Industry, 2011, 31(11): 71-73.

(收稿日期 2013-04-12 编辑 凌忠)