

# 河坝嘉二气藏衬管完井及分流酸化技术

杨晓莉, 颜晋川

中国石油化工股份有限公司西南油气分公司石油工程技术研究院 四川德阳 618000

通讯作者:Email:echelon@163.com

项目支持:国家科技重大专项“四川盆地致密碎屑岩完井与储层改造技术研究”(2016ZX05002-004-006)。

引用:杨晓莉, 颜晋川. 河坝嘉二气藏衬管完井及分流酸化技术[J]. 油气井测试, 2021, 30(1): 41-45.

Cite: YANG Xiaoli, YAN Jinchuan. Liner completion and distributary acidizing technology in Heba JIA-2 gas reservoir [J]. Well Testing, 2021, 30(1): 41-45.

**摘要** 河坝嘉二气藏直井酸压后测试产量低,采用水平井开发,但长水平段有效分段难、测试周期长、改造效果差。以元坝等深层海相碳酸岩暂堵分流酸化实践为基础,采用机械分段与化学分段相结合的方法,使用多级滑套分别对裂缝性气层、漏失层等缝洞体位置实施大分段,暂堵分流进行段内细分段,以实现优势储集体的针对性改造,以及整个长裸眼水平段的差异化布酸;采用衬管完井,配套研制高强度耐酸可溶球,保证高压分段改造施工及压后积液通畅;配套井控安全技术,保证管柱安全下入,快速建产。衬管完井及分流酸化技术在川东北地区多井次应用,其中 HJ201H 井采用 2 只滑套分 3 大段 5 小段、HJ202H 井采用 4 只滑套分 5 大段 7 大段进行滑套分流及暂堵酸化改造。单井改造施工时,各段压力参数差异明显,滑套工具分流效果显著。改造后分别获得无阻流量  $212.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 、 $227.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。该技术分段效果明显,能实现长水平段整体布酸,对类似气藏低成本建井具有借鉴意义。

**关键词** 嘉二气藏;水平井段;完井;衬管;滑套;分流酸化;可溶球

**中图分类号:**TE337      **文献标识码:**B      **DOI:**10.19680/j.cnki.1004-4388.2021.01.008

## Liner completion and distributary acidizing technology in Heba JIA-2 gas reservoir

YANG Xiaoli, YAN Jinchuan

*Institute of Petroleum Engineering Technology, Sinopec Southwest Oil & Gas Branch, Deyang, Sichuan 618000, China*

**Abstract:** The test production of vertical wells in Heba JIA-2 gas reservoir is low after acid fracturing, so the horizontal wells are used for development. However, it is difficult to effectively segment the long horizontal section, the test cycle is long, and the fracturing effect is poor. Based on the practice of temporary plugging and distributary acidizing of deep marine carbonate rocks such as Yuanba, the method of combining mechanical segmentation and chemical segmentation is adopted. In this method, the multi-stage sliding sleeves are used to implement the positions of fractured gas layers and leakage layers and the temporary plugging and diversion acidizing is used to subdivide the sections within the section, which can achieve the targeted transformation of the advantageous reservoirs and the differentiated acid distribution of the entire long open-hole horizontal section. At the same time, liner completion is adopted, and high-strength acid resistant soluble ball is developed to ensure the smooth of high-pressure subsection reconstruction construction and flow after fracturing. Well control safety technology is matched to ensure the safe running of string, so as to achieve the purpose of rapid production. Liner completion and distributary acidizing technology has been applied in many wells in Northeast Sichuan. Well HJ201H adopts two sliding sleeves to divide into three large sections and five small sections, and Well HJ202H adopts four sliding sleeves to divide into five large sections and seven sections for casing diversion and temporary plugging acidizing. During the fracturing of single well, the pressure parameters of each section are obviously different, and the diverting effect of sliding sleeve tool is remarkable. After the fracturing, the open flow rate is  $212.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  and  $227.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$  respectively. This technology has obvious segmentation effect and can realize the whole acid distribution in long horizontal section, which has reference significance for low-cost well construction in similar gas reservoirs.

**Keywords:** JIA-2 gas reservoir; horizontal well section; completion; liner; sliding sleeve; distributary acidizing; soluble ball

深层海相碳酸盐岩油气藏,储层基质几乎无储渗能力,裂缝、溶洞是主要的储存空间,裂缝是主要的渗流通道。为了增加单井钻遇缝洞体的几率,国内很多油田采用水平井作为此类储层的开发方式。

但由于储层污染、储层垂向存在非渗透隔层或未能钻遇缝洞体等原因,使得水平井产量与预期存在较大差距,需要通过酸压改造来大幅度提高水平井产量。由于水平井段长且非均质性强,常规统酸压难以充分释放储层的最大产能,需要对储层实施分段改造<sup>[1]</sup>。目前,现场应用最广泛的分流酸化技术主要有以封隔器转向为代表的机械转向技术和以泡沫、暂堵剂等转向为代表的化学转向技术<sup>[2-3]</sup>。由于套管完井射孔效率低、带封隔的裸眼分段管柱下入风险高等原因,深井长水平井多采用衬管完井配套化学分段改造方式增产<sup>[4]</sup>。如普光、元坝深层碳酸盐岩采用暂堵分流<sup>[5-8]</sup>,安岳气田磨溪构造龙王庙组采用变衬管孔密与暂堵相结合布酸技术<sup>[9-11]</sup>。据元坝气田应用统计,暂堵有效率在70%左右,首次试验井等部分井存在暂堵失效风险,对材料的选择要求高,同时实现长水平井细分段需要大量的暂堵材料<sup>[7]</sup>。在水平井机械分段方面,采用“扶正节流滑套投球管柱”室内分流模拟实验显示<sup>[12]</sup>,通过合理配置分流滑套,平均节流量在60%以上,可实现分段酸化的目的。

河坝嘉二气藏地层压力80~90 MPa, H<sub>2</sub>S含量0.62%~2.51%,属低孔低渗、超高压、岩性-构造有水气藏特征。前期测试6口直井,酸压后平均单井无阻流量30×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d,开采价值低下。作为新区首批水平井改造井,全井采用暂堵分流,存在暂堵剂与地层不配伍,无法有效分段等风险。为降低该风险,完井考虑滑套机械分段为主、化学分段为辅的改造方式,完井方式相应采用能有效支撑井壁又利于快速完井的衬管完井方式。

## 1 存在问题及难点

HJ201H井、HJ202H井水平段长度均在±900 m,为Ⅱ、Ⅲ类气层、裂缝性气层。以HJ201H井为例,其中Ⅱ类气层有效厚度29 m,垂厚1.03 m;Ⅲ类气层有效厚度605.5 m,垂厚39.67 m。Ⅲ类气层占比95%,其中裂缝性储层±15 m。该井完井存在以下难点<sup>[13-15]</sup>:

(1)井控难度大,复杂管柱的卡埋风险高。钻井泥浆密度达2.0 g/cm<sup>3</sup>,为保证后期生产安全,需对封隔器以上投产管柱进行气密封检测。下入时长4~5 d,带裸眼封隔器等复杂完井管柱下入时间将更长,管柱在2.0 g/cm<sup>3</sup>完井泥浆中下入井控及卡埋风险高<sup>[16]</sup>。

(2)改造规模窗口窄,增产难度大。气层含水,地层水普遍伴生H<sub>2</sub>S。改造规模过大易沟通水层;改造规模过小无法有效解除污染,沟通地层。气层属低孔、低渗(平均孔隙度3.3%,平均渗透率0.015 mD),基质渗流能力差,水平段较长且储层非均质性强,均匀布酸难度大,优势储层针对性改造难度大。

(3)常规完井方式及工艺在异常高压深井完井中应用存在局限性<sup>[17]</sup>。常规衬管完井及配套酸化技术,不能解决长水平段均匀布酸解堵问题。套管分段完井可能进一步污染产层;裸眼分段完井管柱结构复杂,存在分段管柱下入不到位、井控风险大、无法准确分段改造等风险。

因此,必须打破常规完井思路,采用非常规思路,实现安全完井及长井段有效改造。

## 2 完井及改造工艺

水平段分段多采用封隔器分段方式,本井超深、高压、水平段钻遇膏岩盐几率较大等限制了封隔器分段的使用。全水平段采用暂堵分流存在暂堵剂与地层不配伍、无法有效分段风险;已有室内试验表明,合理设置滑套节流效率时,分流滑套机械分段能有效实现水平段分段酸化。因此,河坝嘉二气藏探索采用“分流滑套定点酸化+段内暂堵+交替注入”方式,实现优势储集体单元化改造、近千米长水平段整体酸化改造的目的。利用滑套实施机械分段,保证每300 m左右的大段有效分段,段内暂堵实现细分段,完井方式相应采用可支撑井壁的衬管完井方式。

### 2.1 完井方式优选

河坝嘉二段膏盐岩发育,主要为硬石膏和盐岩,在一定条件下易发生蠕变,导致井壁失稳。裸眼完井在酸化、后期生产过程中存在井壁失稳风险。从井壁稳定性方面分析,完井方式需要考虑井壁支撑型完井,优先考虑套管或衬管完井。套管分段完井有进一步污染产层风险,综合考虑工程风险、经济性、改造要求,完井方式采用衬管完井工具分段方式。

### 2.2 酸压投产管柱优化

该区域气井为高温高压含H<sub>2</sub>S井,需下入井下安全阀及完井封隔器,保证上部套管安全<sup>[18]</sup>。综合节点分析、改造排量要求(95 MPa限压下排量4.5 m<sup>3</sup>/min)及管柱安全,采用“φ89 mm+φ73 mm”复合管柱,其中分段管柱采用φ73 mm油管。为降低完

井成本并保证长期生产安全,完井封隔器以上采用  $\phi 89\text{ mm}$  镍基合金油管,以下及水平段采用  $\phi 73\text{ mm}$  110SS 镀钨管。管柱结构优化为“井下安全阀+永久封隔器+多级分流滑套+球座”分段改造-测试-投产一体化管柱,管柱结构如图 1 所示。

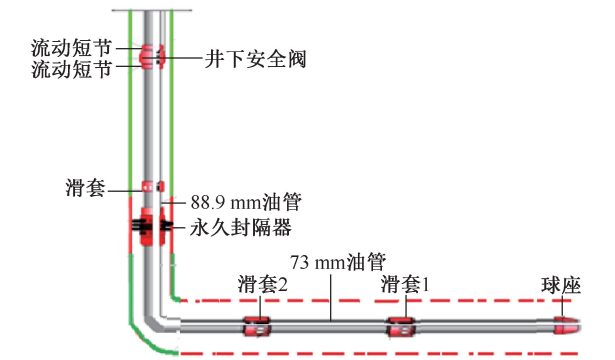


图 1 完井管柱结构示意图  
Fig. 1 Schematic diagram of completion string structure

2.3 分流酸化工艺设计

区别于常规深层水平井化学暂堵为主的酸化方式,本井主要采用滑套实现分段,应用滑套的节流作用使大部分液体进入新层。

2.3.1 液体优选

储层岩性主要为砂屑白云岩、粉晶白云岩为主,液体主要采用胶凝酸酸化,以增加酸蚀裂缝距离,选用满足河坝嘉二段储层酸压改造的胶凝酸体系。

2.3.2 酸化改造工艺

碳酸盐岩储层非均质性很强,只有有效沟通优势储集体,才能获得好的改造效果,保证油气井的高产稳产。依靠增加有效裂缝长度,提高油气藏泄流面积的改造思路,虽然能获得较高的初始产量,但随着近裂缝区域的流体产出后,产量很快就恢复到改造前的水平。因此,碳酸盐岩储层分段原则以缝洞体位置为核心<sup>[1]</sup>。

HJ201H 井和 HJ202H 井水平段长均在  $\pm 900\text{ m}$ , 储层测井解释有 II 类气层、III 类气层、裂缝性气层及漏失层等多类型储层。以 HJ201H 井为例,根据储层特征分为三大类,分三大段根据其特点进行针

对性改造。

第 1 段为基质孔隙储层。酸化改造目的形成酸蚀裂缝,重点对 II 类气层进行有效改造。采用胶凝酸酸化变排量注酸施工工艺,增加酸蚀缝长;

第 2 段为裂缝发育层。改造以充分沟通和释放裂缝为目的,采用酸+滑溜水交替注入工艺,疏通更大范围裂缝体积;

第 3 段有孔隙型储层、漏失层等多类型储层。酸化改造对不同类型储层达到均匀布酸目的,采用“纤维+高粘压裂液”暂堵分流工艺增大水平段布酸范围。

2.4 井控安全及配套工艺

高密度泥浆下管柱安全下入是工艺成功的第一步,而保障改造后管柱通畅预防压裂球堵塞管柱是准确评价产能的基础。为此,针对该井完井作业风险,采取了以下配套措施:

(1) 高密度泥浆下管柱下入井控。考虑气井长期生产需求,永久式封隔器以上管柱进行气密封检测。按照下封隔器管柱、测井定位、恢复井口,预计作业周期达 4~5 d。本井下完井管柱前,要求调整泥浆性能满足高温下性能稳定,24 h 静止密度差不大于  $0.03\text{ g/cm}^3$ ,机械杂质不大于 0.2%, $\text{pH} \geq 10$ 。调整后,实测气体上窜速度不大于  $30\text{ m/h}$ ,保证了整个下管柱期间的井控安全。

(2) 研制高强度耐酸可溶球,保证压后管柱畅通。滑套配置的常规金属球存在堵塞水平井段风险,而常规可溶球存在不耐酸等缺陷。耐酸可溶球采用新型高分子聚合物材料,具有抗压强度 70 MPa 以上、溶解速度可控、可完全溶解不留残渣等优点,有效解决了金属可溶球不耐酸的局限性,保障了压后井筒的畅通性。

3 施工过程及工艺效果

HJ201H 井下入完井管柱后,投球逐级打开滑套,进行了三段  $962\text{ m}^3$  的酸化改造。三段酸化施工表现出了不同压力参数,压力参数见表 1,反应三段具有不同储层特征。

表 1 三段施工压力参数对比

Table 1 Comparison of construction pressure parameters of three sections					
层段	储层特征	施工停泵压力/ MPa	泵注压力/MPa		液体入地后压力下降/ MPa
			2.5 m <sup>3</sup> /min	4.5 m <sup>3</sup> /min	
第一段:5 380 m	测井 II 类储层	40.60	50.60	64.00~67.80	30.63(81.23 ↓ 50.63)
第二段:5 065 m	断层,裂缝较发育	41.03	43.00~45.80	/	18.67(62.00 ↓ 43.33)
第三段:4 710 m	III 类气层,漏失层	40.30	44.50~46.32	55.80~57.60	18.61(63.11 ↓ 44.50)

从图2~4三段施工曲线可以看出,各段液体进入地层后均出现明显的压力下降,表明三段均有解除近井污染的过程,滑套分流效果明显,滑套定点及段内针对性改造工艺达到对地质甜点的有效改造。

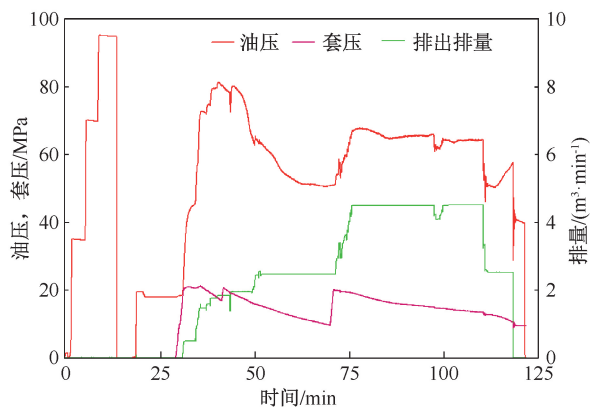


图2 第一段酸化改造施工曲线

Fig. 2 Construction curve of acidizing reconstruction for the first section

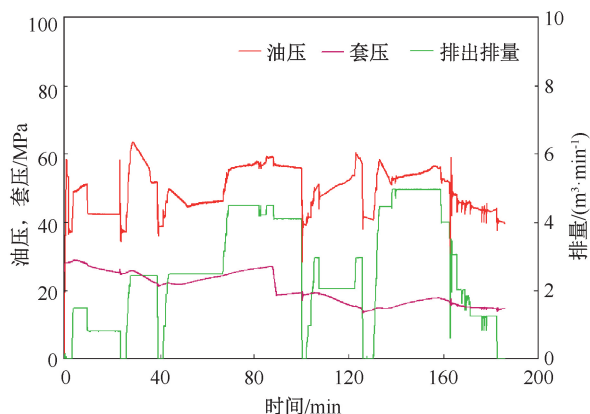


图3 第二段酸化改造施工曲线

Fig. 3 Construction curve of acidizing reconstruction for the second section

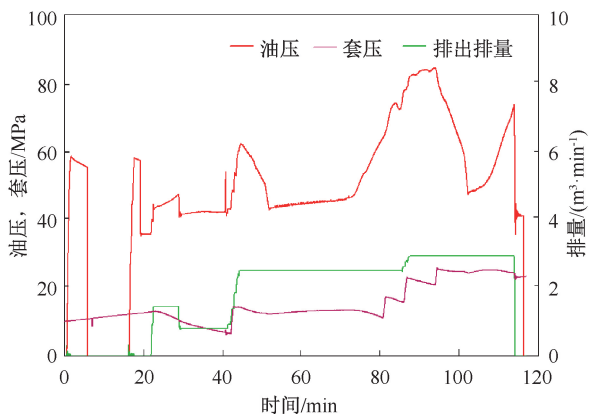


图4 第三段酸化改造施工曲线

Fig. 4 Construction curve of acidizing reconstruction for the third section

HJ201H井放喷后采用四个工作制度进行,选取相关性较好的第二、三个制度进行产能计算无阻流量为  $212.2 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ <sup>[19-20]</sup>。HJ202H井分5段改造、放喷测试后计算无阻流量为  $227.5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。与邻井HJ203H井替喷后测得自然产能相比,产能大幅提高,改造效果明显。

## 4 结论

(1) 该技术在河坝嘉二气藏应用效果表明,管柱结构简单可靠,具有酸化、排液、生产等多项功能,解决了异常高压深井水平井完井井控难度大、测试周期长等难题。

(2) 针对河坝嘉二非均质性强的地层,“分流滑套定点酸化+段内暂堵+交替注入”分段效果明显,能实现长水平段均匀布酸,充分解除污染,提高产能,对类似气藏完井具借鉴意义。

(3) 针对河坝嘉二气藏,持续开展井筒工作液的高温稳定性和地层流体配伍性研究,可大幅减少工程事故的发生,保障异常高压井筒条件下作业安全。

致谢:感谢西南油气分公司同意本文公开发表;感谢“四川盆地致密碎屑岩完井与储层改造技术研究”项目团队的支持。

## 参考文献

- [1] 何春明,胡峰,刘哲. 深层海相碳酸盐岩储层水平井分段酸压技术研究[J]. 油气井测试,2013,22(5):5-9.  
HE Chunming, HU Feng, LIU Zhe. Research on acid fracturing technology of horizontal section of the deep marine carbonate reservoir [J]. Well Testing, 2013, 22 (5):5-9.
- [2] 陈晓宇,张志全,李鼎. 化学分流酸化工艺试验研究[J]. 现代化工,2016,36(8):67-70,72.  
CHEN Xiaoyu, ZHANG Zhiquan, LI Ding. Experimental study on chemical diversion acidification [J]. Modern Chemical Industry, 2016, 36(8):67-70, 72.
- [3] 吴国涛,薛世杰,王永贤,等. 复合暂堵剂暂堵技术[J]. 油气井测试,2018,27(6):51-56.  
WU Guotao, XUE Shijie, WANG Yongxian, et al. Research on temporary plugging technology of composite temporary plugging agent [J]. Well Testing, 2018, 27 (6):51-56.
- [4] 何生厚. 高含硫化氢和二氧化碳天然气田开发工程技术[M]. 北京:中国石化出版社,2008:207-212.
- [5] 李玉明. 高含CO<sub>2</sub>和H<sub>2</sub>S井测试工艺技术应用[J]. 油气井测试,2017,26(5):51-52.  
LI Yuming. Application of well test technology for well with

- high content of  $\text{CO}_2$  and  $\text{H}_2\text{S}$  [J]. Well Testing, 2017, 26(5):51-52.
- [6] 刘殷韬,雷有为,曹言光,等. 普光气田大湾区块高含硫水平井完井管柱优化设计[J]. 天然气工业, 2012, 32(12):71-74.
- LIU Yintao, LEI Youwei, CAO Yanguang, et al. An optimal design of pipe strings for horizontal sour gas wells at the Dawan block, Puguang gas field [J]. Natural Gas Industry, 2012, 32(12):71-74.
- [7] 钟森,潘宝凤,王兴文,等. 元坝气田酸化暂堵剂研究及应用[J]. 油气藏评价与开发, 2017, 7(1):61-65.
- ZHONG Sen, PAN Baofeng, WANG Xingwen, et al. Research and application of acidification temporary plugging agent in Yuanba gas field [J]. Reservoir Evaluation and Development, 2017, 7(1):61-65.
- [8] 郑志兵. 暂堵球封堵效果影响因素分析及其在 Z 油田的应用[J]. 石化技术, 2017, 24(2):55-56.
- ZHENG Zhibing. Analysis on influencing factors of plugging effect and its application in Z Oilfield [J]. Petrochemical Industry Technology, 2017, 24(2):55-56.
- [9] 邓乐,黄船,潘登. 安岳气田高温酸性气藏完井技术[J]. 油气井测试, 2019, 28(1):52-59.
- DENG Le, HUANG Chuan, PAN Deng. Completion technology for high temperature sour gas reservoir in Anyue gas field [J]. Well Testing, 2019, 28(1):52-59.
- [10] 李晖,岳迎春,唐祖兵. 超深碳酸盐岩储层水平段复合暂堵酸压工艺应用研究[J]. 当代化工研究, 2016(5):31-32.
- LI Hui, YUE Yingchun, TANG Zubing. Application research on compound temporary plug segmented acid fracturing in horizontal section of super deep carbonate reservoir [J]. Modern Chemical Research, 2016(5):31-32.
- [11] 王业众,段国彬,桑宇,等. 衬管完井水平井新型布酸技术研究与应用——以安岳气田磨溪构造龙王庙组气藏为例[J]. 天然气地球科学, 2017, 28(8):1264-1268.
- WANG Yezhong, DUAN Guobin, SANG Yu, et al. Research and practice of new acid arrangement technology in horizontal well with liner slot completion [J]. Natural Gas Geoscience, 2017, 28(8):1264-1268.
- [12] 李胜利. 水平井滑套投球分流通管柱酸化工艺技术研究[J]. 大庆石油地质与开发, 2005, 24(4):67-68.
- LI Shengli. Research on technology of sliding sleeve ball injection diverter pipe string in horizontal wells [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2005, 24(4):67-68.
- [13] 周生福,崔龙兵,刘练,等. 顺北油田三高油气井完井测试封隔器影响因素及对策[J]. 油气井测试, 2019, 28(3):37-41.
- ZHOU Shengfu, CUI Longbing, LIU Lian, et al. Influencing factors of completion test packer and countermeasure for 3-high oil and gas well in Shunbei Oilfield [J]. Well Testing, 2019, 28(3):37-41.
- [14] 吴志均,段德祥,王文广,等. 明格布拉克构造“五高”深井试油测试技术[J]. 油气井测试, 2020, 29(2):13-20.
- WU Zhijun, DUAN Dexiang, WANG Wenguang, et al. The oil test technology for “five high” deep well in Mingbulak structure [J]. Well Testing, 2020, 29(2):13-20.
- [15] 李加明,黄天朋,金强. 雅达瓦兰油田“四高”油气井完井测试工艺技术[J]. 油气井测试, 2019, 28(1):25-31.
- LI Jiaming, HUANG Tianpeng, JIN Qiang. Completion test technology for “four-high” wells in Yadavaran Oilfield [J]. Well Testing, 2019, 28(1):25-31.
- [16] 苏镖,赵祚培,杨永华. 高温高压高含硫气井完井试气工艺技术与应用[J]. 天然气工业, 2010, 30(12):53-56.
- SU Biao, ZHAO Zuopei, YANG Yonghua. Completion and well testing technology in HTHP and high- $\text{H}_2\text{S}$  gas wells of the eastern Sichuan basin [J]. Natural Gas Industry, 2010, 30(12):53-56.
- [17] 李相方. 高温高压井测试技术[M]. 北京:石油工业出版社, 2007:122-157.
- [18] 裴智超,熊春明,常泽亮,等.  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{S}$  共存环境下井筒腐蚀主控因素及防腐对策——以塔里木盆地塔中 I 气田为例[J]. 石油勘探与开发, 2012, 39(2):238-242.
- QIU Zhichao, XIONG Chunming, CHANG Zeliang, et al. Major corrosion factors in the  $\text{CO}_2$  and  $\text{H}_2\text{S}$  coexistent environment and the anticorrosion method: Taking Tazhong I gas field, Tarim basin, as an example [J]. Petroleum Exploration and Development, 2012, 39(2):238-242.
- [19] 杨敏,李明,陈宝新,等. 异常高压水驱气藏产能评价及预测方法[J]. 油气井测试, 2019, 28(5):62-66.
- YANG Min, LI Ming, CHEN Baoxin, et al. Productivity evaluation and forecast method for waterflooding gas reservoir with abnormal high pressure [J]. Well Testing, 2019, 28(5):62-66.
- [20] 庞伟. 酸性气藏深井产能试井方法[J]. 油气井测试, 2018, 27(2):67-72.
- PANG Wei. Deliverability test method for deep sour gas wells [J]. Well Testing, 2018, 27(2):67-72.

编辑 王 军

第一作者简介:杨晓莉,女,1982 年出生,高级工程师,2004 年毕业于中国地质大学(武汉)安全工程专业,现从事完井测试工作。电话:0838-2552536, 13881086386; Email: echelon@163.com。通信地址:四川省德阳市龙泉山北路 298 号,邮政编码:618000。