

# 川西超深高含硫气藏水平井完井技术

张国东,刘啸峰,董海峰

中石化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:4814404@qq.com

引用:张国东,刘啸峰,董海峰. 川西超深高含硫气藏水平井完井技术[J]. 油气井测试,2023,32(5):30-35.

Cite: ZHANG Guodong, LIU Xiaofeng, DONG Haifeng. Horizontal well completion technology in ultra-deep and high-sulfur gas reservoirs in western Sichuan[J]. Well Testing,2023,32(5):30-35.

**摘要** 川西气田雷口坡气藏具有埋藏深、温度高、高含硫、非均质性强等特征,超深、小井眼、长水平段等复杂井况导致投产管柱的安全下入、长水平段的有效改造、高含硫气井的安全测试投产面临巨大考验。通过对管柱下入影响因素分析、长水平段均匀布酸管柱设计、含硫气井环保测试工艺等研究,形成了以“反演分析+静止模拟”为主的超长水平井管柱下入方法、“多级滑套定点”的五联作一体化投产管柱、“密闭排液系统+放喷口喷淋喷火”为核心的环保测试技术。现场成功应用 6 井次,实现了 8 000 m 井深、2 000 m 以上裸眼段的投产管柱安全下入,水平段分级作业能力达到 10 级,满足了施工压力 95 MPa、排量 7 m<sup>3</sup>/min 以内的酸化改造要求,测试平均无阻流量 222.89×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/d,较前期提高 64.56%,测试返排液 pH 值大于 7,H<sub>2</sub>S 浓度小于 10 ppm,达到了川西气田长水平井测试投产目的。该技术有利于提高单井产量,满足环保测试要求,为类似气藏的开发提供借鉴。

**关键词** 川西气田;高含硫;超深井;长水平段;模拟分析;多级滑套;酸化改造;环保测试

**中图分类号**:TE357 **文献标识码**:B **DOI**:10.19680/j.cnki.1004-4388.2023.05.006

## Horizontal well completion technology in ultra-deep and high-sulfur gas reservoirs in western Sichuan

ZHANG Guodong, LIU Xiaofeng, DONG Haifeng

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

**Abstract:** The Leikoupo gas reservoir in the Western Sichuan Gas Field is characterized by deep burial, high temperature, high sulfur content, and strong heterogeneity. Complex well conditions such as ultra-deep wells, small boreholes, and long horizontal sections pose significant challenges for the safe installation of production tubing, effective stimulation of long horizontal sections, and safe testing and production of high-sulfur gas wells. Through the analysis of factors affecting tubing installation, the design of uniformly distributed acid tubing in long horizontal sections, and the development of environmentally friendly testing techniques for high-sulfur gas wells, a set of methods and technologies were developed, including “reverse analysis + static simulation” method for the installation of tubing in ultra-long horizontal wells, five-joint integrated production tubing system with a “multi-stage sliding sleeve fixed point” design, and environmental friendly testing techniques with “closed drainage system + nozzle spray and fire spray” as the core. This technology was successfully applied in the field for 6 wells, achieving safe tubing installation at depths of over 8 000 m, including open section of over 2 000 m in length. The ability to perform staged operations in the horizontal sections reached up to 10 stages, meeting the requirements for acid treatment with a working pressure of up to 95 MPa and a flow rate of up to 7 m<sup>3</sup>/min. The average open flow rate during testing reached 222.890 4 m<sup>3</sup>/d, with an increase of 64.56% compared to previous stages. The returned liquid during testing had a pH value greater than 7, and the H<sub>2</sub>S concentration was less than 10 ppm. This technology achieved the testing and production goals for long horizontal wells in the Western, Sichuan Gas Field, and it is beneficial for increasing individual well production, which meets the environmental testing requirements, can serve as a reference for the development of similar gas reservoirs.

**Keywords:** Western Sichuan Gas Field; high sulfur content; ultra-deep well; long horizontal section

川西气田位于成都平原,属于潮坪相沉积,开发层系雷口坡组气藏储层埋深 5 800~6 300 m,地层温度约 150 ℃,地层压力约 65 MPa,含二氧化碳(4.59%),高含硫化氢(4.89%),是中石化在四川

盆地继元坝气田后的又一超深大型高含硫气田。由于其特殊的人文地理环境,与邻区元坝、普光等气田开发相比,其储层非均质性更强、储量丰度更低、水平段更长、安全环保压力更高,为该区域的安

全高效投产带来了极大的挑战<sup>[1-2]</sup>。

国内高温高压含硫气井完井技术在近10年取得了长足进步,苏鏊等<sup>[3-4]</sup>针对含硫气井的测试,提出了针对高含硫气井开发的永久式完井封隔器的酸化投产一体化管柱,满足了元坝地区酸化测试及投产的要求。刘殷韬等<sup>[5-6]</sup>针对普光水平井提出了逐级投球打开各级滑套改造的完井方法,首次实现了国内高含硫水平井的分段储层改造,增产效果明显。杜现飞等<sup>[7]</sup>提出了纵横弯曲梁法和修正的软件模型对带扶正器和不带扶正器管柱进行摩阻分析,建立了管柱入井安全性判断准则,用以评价深井作业管柱的下入能力。黎丽丽等<sup>[8]</sup>针对水平井管柱下入问题,提出了采用长单扶通井、双扶通井BHA优化和增加送入管柱加重钻杆数等措施来实现超深长裸眼水平井完井管柱的顺利下入。

川西气田采用平台井组模式大斜度/水平井衬管完井开发,由于其超长水平段、薄互层、非均质储层交叉叠置、井壁稳定性差的特征,导致前人的研究成果无法完全满足测试投产的需要<sup>[9-12]</sup>,亟需开展长水平井管柱下入、长水平段均匀布酸管柱设计等方面的研究,以确保国内首个“都市”超深含硫气田的安全高效开发。

## 1 川西气田完井面临的难点

川西气田地理环境敏感、储层物性相对较差,安全环保及效益开发难度大<sup>[13]</sup>。为提高单井产能及储量动用程度,实现“少井高产”,采用长水平井开发模式,水平段长超过1 800 m、水平位移超过3 300 m、井深达8 425 m,国内外尚无先例可循。完井投产主要面临以下难点:

### 1.1 超长水平段管柱下入难度大

川西气田完钻井平均水平段长1 579.20 m,最长水平段2 200.2 m,大部分井井眼轨迹上翘,轨迹复杂;同时,由于雷口坡储层呈“酥饼状”,微裂缝发育,加之平台井应力方位的差异,井壁稳定性差。根据开发井井身结构,在165.1 mm钻头完钻的情况下,127 mm衬管及其内89 mm油管的下入面临巨大的考验。

### 1.2 长水平段的均匀改造难度大

川西气田雷口坡组气藏气藏Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类储层相互交叉叠置(有利储层15~27层,夹层7~12层),单层厚度薄(0.2~4.4 m),非均质性强、应力差异较大,层薄、分散。由于超长水平井穿行井段长,

Ⅰ、Ⅱ类优质储层短而分散,且工程参数差异大,如何实现优质储层的充分改造和动用的难度大。

### 1.3 都市含硫气田的安全环保要求高

川西气田地处成都平原,地势平坦,海拔低,人口密集,完井测试放喷期间返排的残酸液体、含硫化氢天然气等物质,对人畜危害大,异味重,影响范围广<sup>[14]</sup>。如何有效控制测试对环境的影响,实现环保测试的难度大。

## 2 超长水平井管柱安全下入技术

针对超深超长水平段管柱下入的难题,开展了管柱下入影响因素的敏感性分析<sup>[15]</sup>,根据不同的下入方式、管柱组合进行下入可行性模拟预测、管柱摩阻真实反演、井动态实施监测;根据管柱可能下入遇阻位置及遇阻方式,优化通井措施、清砂工艺及送放管柱组合,确保管柱顺利到位。

### 2.1 管柱下入模拟分析

根据单井水平井眼的实际轨迹情况、井眼条件、泥浆性能等建立6大数据模块,43项影响因素(见图1),利用SPSS数据分析降维的方法<sup>[16]</sup>,将多个元素转化为3个主成分,绘制成“是否到位”、“下入摩阻”图版,进行单井的下入模拟分析,判断井眼轨迹、管柱组合等是否满足下入要求。

### 2.2 管柱下入技术措施

#### (1) 优化通井措施

采用钻杆通井管柱反复正反通井划眼消除井眼台阶。钻井时推荐双根钻进,“进一退二”,钻井5~10 m,倒划1~2个单根,倒划眼过程中严格执行“三定”措施:定井深、定转速(80~110 r/min)、定排量(18~22 L/s),充分释放转压(一般15~20 min)、清洁井眼,待扭矩和泵压平稳后,再上提倒划,上行过程控制过提吨位2~3 t,精细操作防止卡钻。

#### (2) 井筒清砂工艺

采用软件模拟清砂过程,确定最佳清砂参数(循环排量、循环时间、转速),采用双扶(正划眼+倒划眼)→循环清砂→三扶→模拟静放→注封闭浆→管柱送放工艺,进一步清洁井筒沉砂。全程循环排量≥21 L/s,循环转速110~120 r/min,循环时间≥3周,并实时监测返砂的新旧程度(见图2),判断井眼清洁状况。

#### (3) 优化送放管柱组合

采用刚性模型通过性模拟,分析了不同配置管柱的等效惯性矩,设计整体式弹性扶正器抬头、



图1 下入影响因素分析图

Fig. 1 Analysis of Factors Influencing Downward Entry



图2 井筒返砂情况的实施记录

Fig. 2 Implementation record of wellbore sand return situation

预制-回插2趟作业、油管接箍倒角(4 mm×30°)、球形引鞋提高通过性等综合措施,制定控制遇阻<2 t,遇阻后上提冲洗再下放等措施,保障管柱顺利到位。

### 3 投产管柱设计

川西气田水平段长,I、II类优质储层短而分散,通过工具结构及工艺的对比要求<sup>[17]</sup>,优化设计形成一套适用于川西长水平井的“酸压、测试、暂封、投产”联作管柱。

采用全井88.9 mm油管作为生产管柱,管柱分两趟下入,满足测试及后期生产要求。管柱结构为:镍基合金油管+井下安全阀+永久式完井封隔+镀钨合金油管+悬挂器+分级滑套+……+分级滑套+球座(见图3)。

针对传统管柱分级数受限的情况,对完井管柱进行了如下优化改进:①自主研发井下隔离装置,设计“座落短节+泵送式堵塞器”井下暂封工艺,替代传统泥浆压井工艺,在满足一趟管柱实现替酸降破、酸压、测试、暂封、投产功能的基础上,测试后能有效形成井底安全屏障,保障平台井作业安全。②研制承压差70 MPa具备液压丢手功能的悬挂器,配

套剪切球座替代隔绝球座,可在座封前建立环空流动通道,实现提前替降破酸到储层,降低储层吸液压力;③研发大口径、小尺寸压裂滑套,增加长水平井的分级数,实现长水平段的充分改造。④基于不同排量、不同施工压力下的摩阻分析,开展管柱不同井段、不同位置的管柱及工具受力分析,优化封隔器下入位置,保障了大排量分段改造期间的管柱安全,确保了分段有效性<sup>[18-20]</sup>。

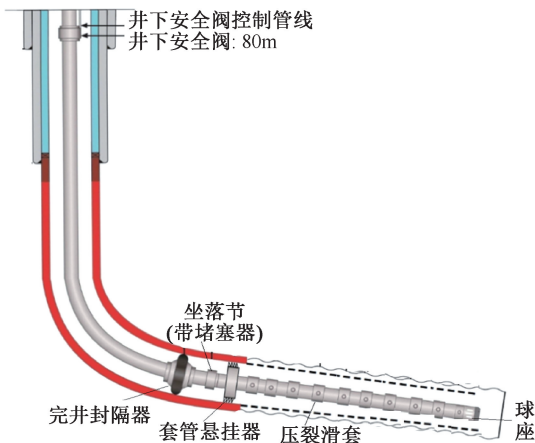


图3 完井投产管柱结构示意图

Fig. 3 Schematic diagram of the completion and production string structure

### 4 酸化改造技术

川西海相雷口坡储层采用衬管完井,为实现长水平段充分改造,开展了多级交替注入工艺的研究,针对水平段不同的储层类型,制定了各类深度酸化改造措施,从滑套间距、施工排量、酸液类型等方面优化单个储层改造参数,确保了长水平段的改造有效性。

#### 4.1 酸化工艺

川西海相雷口坡储层非均质性强,为了达到均匀布酸的目的,主体采用“胶凝酸+酸性瓜胶压裂



液”的多级交替注入深度酸压工艺,实现解除近井带污染和深度改造。裂缝较发育地层,总体注入难度较小,酸压以实现复杂裂缝深度改造为主要目标,采用“高黏非反应液+低黏酸液”多级交替注入酸压工艺,达到深度改造沟通天然裂缝的目的;储层物性较差或裂缝欠发育的地层,由于破裂压力高且储层对非反应流体较为敏感,因此酸压前采取预置降破酸,配套“多种酸液组合+低黏非反应液”交替注入改造为主体工艺技术,以形成较长酸蚀裂缝,实现段内深度改造,达到沟通远端天然裂缝的目的。

## 4.2 酸化施工参数

### (1) 滑套间距

由于川西气田采用长水平井开发,基于段间液体摩阻及段间储层物性差异,综合产能模拟、吸酸剖面实验、破裂压力剖面研究、可压性评价、地质评价因素,通过各个层段地应力、破裂压力结合储层物性分布,建立长井段酸液分流模型,计算出不同储层类型、不同施工排量下的净压力损失值,优化得出Ⅰ、Ⅱ类储层分流间距分别为150~200 m、200~250 m。优质储层(Ⅰ-Ⅱ类储层、裂缝段、漏失段)、物性或破裂压力差异大层段独立分段,总体分段数7~10段。

### (2) 施工排量

裂缝长度受储层温度、酸液类型、滤失及多裂缝等多重因素的影响,通常增加排量,能够有效增加动态裂缝的长度,同时高排量下,单位时间内进入地层的酸液量大,从而增加酸蚀作用距离。基于动力学方程,通过计算不同施工排量下酸蚀有效作用距离,设计主要以深度酸压为目的,初期排量小于 $4\text{ m}^3/\text{min}$ ,中后期 $4\sim 6\text{ m}^3/\text{min}$ 。

### (3) 酸液类型

通过抗剪切流变、酸岩反应缓速性等性能评价,主体采用20%盐酸作为胶凝酸主体配方,同时针对常规碱性压裂液遇酸水化难以保持足够黏度比的问题,研发酸性胍胶压裂液用于交替注入,该体系在 $120\text{ }^\circ\text{C}$ 、2 h、170S-1下黏度 $117\text{ mPa}\cdot\text{s}$ ,与胶凝酸混合后仍能挑挂,可保持与胶凝酸大于4:1的黏度比,更有利于形成更长的酸蚀裂缝。

## 5 环保测试技术

针对完井测试中酸气很难扩散现象,影响周围人居环境的问题,开展了环保测试技术研究:通过药剂控制返排液pH值,中和液体中的硫化氢后单

独存放,避免燃烧产出有害物质;放喷口采用助燃及喷淋措施,降低燃烧时的异味扩散。

### (1) 返排液中和药剂优选

优选碱液综合返排液中的残酸,同时考虑碱液不同浓度受温度影响容易结晶现象,结合现场四季温度,优选碱液浓度为30%~40%。

通过实验评价,优选了主要成份及药剂加量,除硫效率能够达到99.14%,能够有效出去返排液中的硫离子。

### (2) 返排液环保处理流程设计

设计了川西海相气井酸化后返排液环保处理放喷流程:密封排液装置加注管线在分离器入口与二级流程之间串连两套混合器,可同时满足加注碱性及消泡剂,分离器出口安装一套加注除硫剂的混合器,混合器后端增加pH值保护套,分离器出液管线经中和后直接上返排液罐,气体进入主放喷池燃烧,放喷池喷淋采用清水喷淋。该套系统能实时对返排液进行除硫、中和处理,泡沫处理 $1\,000\text{ m}^3/\text{d}$ ,残酸处理 $432\text{ m}^3/\text{d}$ ,含硫返排液处理 $1\,000\text{ m}^3/\text{d}$ 。

## 6 现场应用

PZ5-1D井井深8 208 m,水平段长1 827.72 m,裸眼段长2 163.5 m,目的层采用165.1 mm裸眼完钻,悬挂127 mm衬管(内径108.63 mm)完井。现场采用双扶、三扶通井管柱配合专项清砂措施优化井眼质量,采用“预置悬挂+回插”的两趟管柱下入方式降低下入遇阻卡风险,确保了8 200 m完井投产管柱的顺利到位。通过优化小尺寸滑套级差配合,实现了10级分级酸压改造,总液量 $3\,112\text{ m}^3$ 、总酸量 $2\,550\text{ m}^3$ ,最高排量 $6\text{ m}^3/\text{min}$ ,井口施工压力87 MPa(见图4),测试无阻流量 $325.47\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 。通过环保排液测试技术,测试返排液pH值大于7, $\text{H}_2\text{S}$ 浓度小于10 ppm。通过形成的技术,成功实现该井安全、高效测试投产。

研究形成的超深高含硫气藏水平井完井技术在川西气田成功应用6口井,实现了8 000 m井深、2 000 m以上裸眼段的投产管柱安全下入,水平段分级作业能力达到10级,满足了施工压力95 MPa、排量 $6\text{ m}^3/\text{min}$ 以内的酸化改造要求,测试平均无阻流量 $207.8\times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ (见表1)。该技术在川西气田的成功应用,保障了超深长水平井投产作业的安全、环保、高效实施,可为类似气藏的开发提供可借鉴的经验。

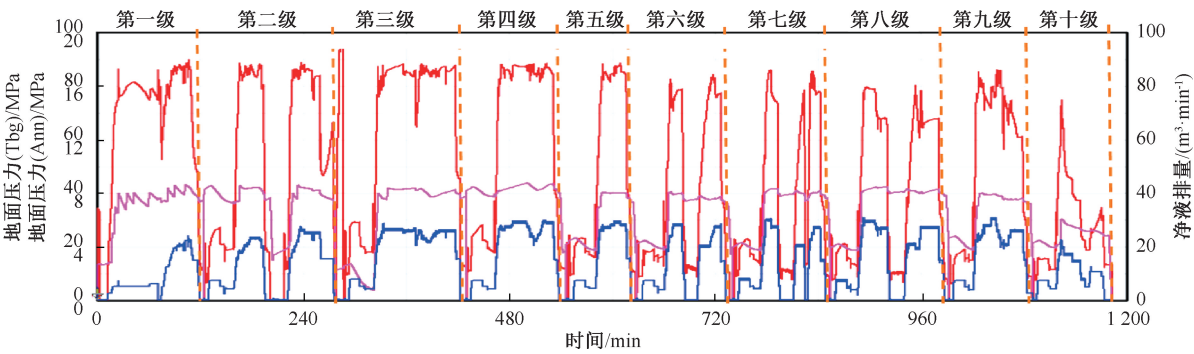


图 4 酸化改造施工曲线图  
Fig. 4 Acidification Transformation Construction Curve

表 1 川西气田超长水平井测试情况

Table 1 Insertion of Production String in Super Long Horizontal Wells in West Sichuan Gas Field

井号	井深/m	裸眼段长/m	管柱下入情况	测试产能情况/(10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )
PZ6-1D	7 707	1 595. 7	到位	177. 95
PZ6-3D	7 456	1 745. 1	到位	224. 70
PZ6-5D	7 800	1 725. 8	到位	134. 23
PZ6-6D	8 206	2 200. 4	到位	212. 41
PZ5-1D	8 208	2 163. 5	到位	325. 00
PZ5-3D	7 476	1 611. 0	到位	172. 84

7 结论

(1)开展管柱下入前的模拟分析,精细化现场模拟通井及清砂工作,是超深长水平井管柱下入的必要措施。

(2)形成的超深长水平井衬管完井+油管滑套分级技术,可实现长水平段储层的充分改造,有利于提高单井产量,可为类似气藏的开发提供借鉴。

(3)返排液环保处理是含硫气井必须重视的问题,形成的密闭排液测试流程可满足绿色、环保测试要求。

致谢:衷心感谢中石化西南油气分公司石油工程技术研究院与中石化西南油气分公司彭州(海相)项目部的领导及同事在论文编写过程中提供的帮助。

参考文献

[1] 唐瑞江,李文锦,王勇军,等. 元坝气田超深高含硫气井测试及储层改造关键技术[J]. 天然气工业,2011,31(10):32-35.  
TANG Ruijiang, LI Wenjin, WANG Yongjun, et al. Key techniques in well testing and reservoir stimulation for ultra-deep sour gas wells in the Yuanba Gas Field[J]. Natural Gas Industry,2011,31(10):32-35.

[2] 胡钟琴,蒋龙军,刘大永. 川西海相三高深井完井测试难点及对策[J]. 油气井测试,2016,25(2):54-56,60.  
HU Zhongqin, JIANG Longjun, LIU Dayong. Well test difficulties and countermeasures for marine facies, three

high and deep well completion in Chuan Xi[J]. Well Testing, 2016,25(2): 54-56,60.

[3] 苏鏢,龙刚,许小强,等. 超深高温高压高含硫气井的安全完井投产技术-以四川盆地元坝气田为例[J]. 天然气工业,2014,34(7):60-64.  
SU Biao, LONG Gang, XU Xiaoqiang, et al. Safe completion and production technologies of a gas well with ultra depth, high temperature, high pressure and high H<sub>2</sub>S content: A case from the Yuanba Gas Field in the Sichuan Basin[J]. Natural Gas Industry,2014,34(7):60-64.

[4] 蔡锁德,孙天礼,朱国,等. 元坝超深高含硫气井投产关键技术[J]. 石油和化工设备,2019,22(8):47-52.  
CAI Suode, SUN Tianli, ZHU Guo, et al. Key technologies for production in ultra-deep & high sulfur gas well of Yuanba gas filed[J]. Petro & Chemical Equipment, 2019, 22(8): 47-52.

[5] 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.

[6] 曹言光,张庆生,陈传东,等. 普光水平井投产一体化管柱及参数优化[J]. 石油钻采工艺,2016,38(5):667-672.  
CAO Yanguang, ZHANG Qingsheng, CHEN Chuandong, et al. Research on integral pipe string and optimization of parameters for production of horizontal wells in Puguang Gasifeld[J]. Oil Drilling and Production Technology,

- 2016,38(5):667-672.
- [7] 杜现飞,王海文,王帅. 深井作业管柱下入能力研究[J]. 燕山大学学报,2008,32(2):163-168.
- DU Xianfei, WANG Haiwen, WANG Shuai. Research on setting ability for working strings in deep well[J]. Journal of Yanshan University, 2008,32(2):163-168.
- [8] 黎丽丽,曹立虎,刘会锋,等. 超深裸眼水平井完井模拟通井优化技术[J]. 油气井测试,2016,25(6):27-30.
- LI Lili, CAO Lihu, LIU Huifeng, et al. Optimization technique of well completion simulation drifting for horizontal well in ultra deep open hole well[J]. Well Testing, 2016, 25(6):27-30.
- [9] 苏镖,赵祚培,杨永华,等. 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, et al. Completion and well testing technology in HTHP and high-H<sub>2</sub>S gas wells of the eastern Sichuan Basin[J]. Natural Gas Industry, 2010, 30(12):53-56.
- [10] 单锋,,刘洪涛,鲍秀猛,等. 碳酸盐岩超深水平井复杂井眼条件下特殊完井工艺研究与应用[J]. 钻采工艺,2017,40(3):57-58,67.
- SHAN Feng, LIU Hongtao, BAO Xiumeng, et al. Research and application of unconventional completion technology for ultradeep carbonate horizontal wells under complex borehole conditions[J]. Drilling & Production Technology, 2017,40(3):57-58,67.
- [11] 王福国,袁贵德,靳周,等. 英中地区高温高压高含硫SX58井试油测试工艺技术与应用[J]. 油气井测试,2021,30(2):7-12.
- WANG Fuguo, YUAN Guide, JIN Zhou, et al. Production test technology of Well SX58 with high temperature, high pressure and high sulfur content in Yingzhong area[J]. Well Testing, 2021,30(2):7-12.
- [12] 何汉平,吴俊霞,黄建林,等. 伊朗雅达油田完井工艺[J]. 石油钻采工艺,2012,34(4):26-30.
- HE Hanping, WU Junxia, HUANG Jianlin, et al. Well completion technique in Yada field in IRAN[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2012,34(4):26-30.
- [13] 叶军. 川西海相天然气勘探难点及对策[J]. 天然气工业,2008,28(2):17-22.
- YE Jun. Challenges and solutions of marine gas exploration in west Sichuan basin[J]. Natural Gas Industry, 2008, 28(2):17-22.
- [14] 姚华弟,何琳,婧何海. 高含硫气井残酸液处理技术研究[J]. 工艺用水与废水,2015,46(6):32-35.
- YAO Huadi, HE Lin, JING Hehai. A research on residual acid liquid treatment technology of high sulfur gas well[J]. Industrial Water & Wastewater, 2015,46(6):32-35.
- [15] 艾池,米浩翰,付虹,等. 封隔器间距对压裂管柱下入摩阻力的影响[J]. 天然气与石油,2016,34(5):56-59.
- AI Chi, MI Haohan, FU Hong, et al. Influence of spacing packer on the friction force of fracturing string[J]. Natural Gas and Oil, 2016,34(5):56-59.
- [16] 柳军,杜智刚,郭晓强,等. 水平井裸眼分段压裂完井管柱下入屈曲磨损预测模型及规律[J]. 石油学报,2022,43(11):1632-1641.
- LIU Jun, DU Zhigang, GUO Xiaoqiang, et al. Prediction model and law of buckling wear of open hole staged featuri completion string in horizontal well[J]. Acta Petrolei Sinica, 2022,43(11):1632-1641.
- [17] 贾学钰. 川西海相酸性气井试气工艺技术[J]. 石油地质与工程,2014,28(4):129-131.
- JIA Xueyu. Gas testing technology for marine acidic gas wells in western Sichuan[J]. Petroleum Geology and Engineering, 2014, 28(4):129-131.
- [18] 崔龙兵,樊凌云,邹伟,等. 顺北油田超深井可回收式套管封隔器失效因素分析及改进对策[J]. 油气井测试,2022,31(1):22-26.
- CUI Longbing, FAN Lingyun, ZOU Wei, et al. Failure factor analysis and improvement countermeasures of recycla casing packer in ultra-deep wells in Shunbei Oilfield[J]. Well Testing, 2022,31(1):22-26.
- [19] 戴强,张本健,张晋海,等. 双鱼石构造超深超高压含硫气井完井管柱完整性设计探讨[J]. 钻采工艺,2019,42(6):44-46.
- DAI Qiang, ZHANG Benjian, ZHANG Jinhai, et al. To probe on completion string integrity design for ultrade ultrahigh-pressure sulfur-contained gas wells at shuangyushi structure[J]. Drilling & Production Technology, 2019,42(6):44-46.
- [20] 伍贤柱,万夫磊,陈作,等. 四川盆地深层碳酸盐岩钻完井技术实践与展望[J]. 天然气工业,2020,40(2):97-105.
- WU Xianzhu, WAN Fulei, CHEN Zuo, et al. Drilling and completion technologies for deep carbonate rocks in the Sichuan Basin: Practices and prospects[J]. Natural Gas Industry, 2020, 40(2):97-105.
- [21] 龙刚,伍强,李洪波,等. 川西高含硫气井测试返排液环保处理技术[J]. 油气井测试,2023,32(1):16-21.
- LONG Gang, WU Qiang, LI Hongbo, et al. Study on environmental protection treatment technology of test flowba fluid in high sulfur gas wells in Western Sichuan[J]. Well Testing, 2023, 32(1):16-21.

编辑 方志慧

第一作者简介:张国东,男,高级工程师,1994年毕业于西南石油大学油气田开发工程专业,现从事完井试气研究及管理工作。电话:18583378216, Email: zhangguodong. xnyq@ sinopec.com;通信地址:四川省德阳市龙泉山北路298号石油工程技术研究院,邮政编码:618000。