

四川盆地超深高压含硫气井测试管柱设计方法

伍强¹, 陈波², 刘生国³

- 1. 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
- 2. 中国石油化工股份有限公司西南油气分公司工程技术管理部 四川成都 610000
- 3. 中国石油化工股份有限公司西南石油工程公司井下作业分公司 四川德阳 618000

通讯作者:Email:634965966@qq.com

项目支持:中石化重大科技项目“特深层油气勘探开发工程关键技术与装备”(P17049-5)

引用:伍强,陈波,刘生国. 四川盆地超深高压含硫气井测试管柱设计方法[J]. 油气井测试,2022,31(1):17-21.

Cite: Wu Qiang, Chen Bo, Liu Shengguo. A design method of test string for ultra-deep and high-pressure sour gas well in Sichuan Basin[J]. Well Testing, 2022,31(1):17-21.

摘要 四川盆地川东北地区茅口-吴家坪组超深井测试期间存在管柱断裂、封隔器窜漏、阀件打不开、管柱安全系数参考标准不统一等问题。通过梳理测试失败井施工工况、分析导致失败的原因,全面对比涉及管柱强度相关标准,综合考虑鼓胀效应、温度效应、屈曲效应、活塞效应等条件下的三轴安全系数以及抗内压、抗外挤、抗拉条件下管柱安全,建立了超深超高压井管柱强度安全参照标准,确定出适合超深气井抗拉、抗内压、抗外挤以及三轴的计算方法,优选超深含硫气井插管可取式完井液压力封隔器(HPH,MHR)作为测试封隔器,并制定测试阀件破裂盘开启值计算方法,形成了一套适用于超深层海相探井的 APR 测试管柱设计方法。经 YF702 井应用,测试成功,为类似测试井各工况下施工安全提供了可借鉴的经验。

关键词 四川盆地;超深井;海相探井;APR 测试管柱;三轴;液压力封隔器;管柱安全评价

中图分类号:TE27 **文献标识码**:B **DOI**:10.19680/j.cnki.1004-4388.2022.01.003

A design method of test string for ultra-deep and high-pressure sour gas well in Sichuan Basin

WU Qiang¹, CHEN Bo², LIU Shengguo³

- 1. Institute of Petroleum Engineering Technology, Sinopec Southwest Oil & Gas Branch, Deyang, Sichuan 618000, China
- 2. Engineering Technology Management Department, Sinopec Southwest Oil & Gas Branch, Deyang, Sichuan 618000, China
- 3. Downhole Operation Branch, SINOPEC Southwest Oil & Gas Branch, Deyang, Sichuan 618000, China

Abstract: During the testing of ultra-deep wells in Maokou-Wujiaping formations in northeastern Sichuan Basin, there were problems such as string break, packer leakage, valve failure to open, and inconsistent reference standards for string safety factor. In this paper, the working conditions of failed wells are reviewed and the failure causes are analyzed. With reference to relevant standards for string strength and consideration to the triaxial safety factor under the conditions of bulging effect, temperature effect, buckling effect and piston effect, as well as the string safety under the existence of internal pressure, external pressure and tension, the safety reference standard of pipe string strength in ultra-deep and ultra-high-pressure wells is established, and the calculation method of tensile, internal pressure, external pressure and triaxial tensile strengths for ultra-deep gas wells is determined. Then, the retrievable completion hydraulic packers (HPH, MHR) for ultra-deep sour gas wells are selected as the test packers, and the calculation method of the opening value of the broken disc of the test valve is formulated. Finally, an APR test string design method for ultra-deep marine exploration wells is formed. This method has been successfully applied in Well YF702, and provides a reference for safe testing in similar well conditions.

Keywords: Sichuan Basin; ultra-deep well; marine exploration well; APR test string; triaxial; hydraulic packer; string safety evaluation

目前我国中浅层、深层大中型低渗致密砂岩气藏、碳酸盐岩气藏已处于生产中后期,产量逐渐递减,新的区块勘探难度加大、开采对象日趋复杂、优质资源减少,面对国民天然气年需求量逐年增加,

突破更深储层勘探迫在眉睫;四川盆地作为我国天然气主要战略基地,已提出在 2035 年建立“西南气大庆”远景目标,四川已实现了陆相蓬莱镇组、沙溪庙、须家河以及海相雷口坡、飞仙关、长兴组的全面

勘探开发,下步逐步向超深层茅口组-吴家坪组勘探。

四川盆地川东北地区茅口组-吴家坪埋藏深(>6 000 m),井底压力高(>140 MPa),最大关井压力达到 120 MPa 以上,平均压井泥浆密度在 2.3 g/cm³左右,硫化氢含量为微含-中含硫化氢。采用的完井测试管柱在如此超深、超高压井况下完成坐封、酸化、测试以及环空阀件开启等工序,测试管柱安全面临极大的挑战,需进行详细管柱结构力学分析,设计安全可靠的管柱结构。前期高辉、董海峰、苏镖、唐瑞江等人对超深井完井测试关键工具、工序以及出现的复杂情况进行了研究^[1-4],但未开展管柱强度安全系数标准化以及算法优化研究,本文在纪淑玲、陆耀等人的基础上,针对测试管柱出现的问题,开展安全系数标

准化研究,并以此进行管柱结构设计^[5-6]。

1 前期测试管柱结构及出现的问题

前期测试管柱主要采用常规的 APR 测试工艺,油管采用 88.9 mm×9.52 mm+88.9 mm×6.45 mm+(封隔器以上 400 m)88.9 mm×9.52 mm+73 mm×7.01 mm(封隔器以下应用),钢级 110SS,测试工具由 OMNI 替液阀+RD 安全循环阀+全通径压力计托筒+液压旁通阀+震击器+RD 循环阀+RTTS 安全接头+RTTS 封隔器组成。

这套管柱在四川盆地以茅口-吴家坪为目的层的 5 口重点探井试气作业过程中出现窜漏、管柱断裂、阀件打不开、封隔器提前解封等复杂井下事故(见表 1)。

表 1 事故井数据统计表
Table 1 Statistical table of accident well data

序号	井号	测试层深/m	施工工况	事故特征
1	XH1 井	6 165.0 ~6 222.0	酸压时套压突然升高,分析管柱刺漏	起出管柱,发现管柱在 3 502.94 m 脱扣
2	YB701 井	6 704.0 ~6 748.0	酸压高挤阶段,施工压力 101.13 MPa,最大施工排量 0.7 m ³ /min,套压升高,管柱窜漏	起出管柱,管柱在 4 529.21 m 处捋扣
3	F1 井	7 733.5 ~7 850.0	酸压试挤阶段,最高试挤 115 MPa,试挤 115 次时,管柱窜漏	起出管柱,发现管柱在 6 596.5 m 处断裂
4	YB7 井	7 278.0 ~7 296.0	测试结束,RD 安全阀关压阀,RD 安全阀无法打开	RD 阀破裂盘未打开
5	YB8 井	7 259.0 ~7 300.0	准备酸压测试,管柱窜漏	提出管柱检查,RTTS 封隔器解封。

分析各复杂井下事故,原因主要有:

(1)结合酸压施工工况,分析造成管柱出现脱扣、断裂的原因主要为施工压力高、施工时间长,管柱疲劳,侧面反映出前期参照的管柱强度设计标准引用在超深井工况中不适应,需结合工况,综合考虑国内外各油田、各区块引用的管柱强度设计标准,深度优化设计管柱结构;

(2)阀件打不开,主要体现在两个方面的原因:①环空泥浆沉淀,压力无法传递;②破裂值受井底温度影响,开启值超过了预设开启值;

(3)封隔器提前解封主要为 RTTS 封隔器目前最大承压只能做到 70 MPa,无法满足超深超高压井的长时间施工。

2 测试油管优化设计

在建立超深超高压井管柱强度安全参照标准的基础上,提出测试油管安全系数计算方法。

2.1 建立超深超高压井管柱强度安全参照标准

现行涉及管柱强度安全系数的标准有如下 5 类:

(1)Q/SH 0022—2013 川东北含硫化氢天然气井试气推荐作法,要求管柱设计的安全系数应为:

空气中抗拉大于 1.8,施工过程中三轴抗拉不小于 1.5,抗外挤大于 1.25,抗内压大于 1.25;

(2)SY/T 6581-2012 高压油气井测试工艺技术规程,要求测试管柱设计空气中抗拉安全系数 1.6,抗挤强度安全系数应大于 1.4,开井、储层改造工况下管柱三轴要求大于 1.6,其它工况大于 1.5;

(3)挪威标准 D-010,三轴安全系数要求不小于 1.25;

(4)API 标准:油管抗内压安全系数 1.25,抗外挤安全系数 1.125;

(5)Q/SY TZ0332-2011《高温高压气井完井管柱设计规范》中规定超高压油气井、井深大于 6 000 m 的井、拟进行储层改造的高压油气井应进行管柱力学分析,开井、储层改造、替喷、关井四个工况下全井管柱的相当应力安全系数应大于 1.50。

前期测试管柱设计综合考虑了各标准要求,参照安全系数为:空气中抗拉安全系数大于 1.8,抗内压安全系数 1.25,抗外挤安全系数 1.25,三轴安全系数 1.25。从目前测试出现的复杂事故分析,针对超深超高压勘探井,井况条件恶劣,需根据相关标准重新建立管柱设计安全系数要求。以管柱遇卡

上提解卡需管柱抗拉余量大于 800 kN 为基准,反推管柱空气中抗拉大于 1.6 即可,抗内压与抗外挤可根据施工压力考虑管内外平衡压力,因此沿用标准 1.25 安全系数可满足要求;三轴安全系数是综合考虑轴向应力、径向应力、周向应力,是管柱施工过程中最复杂的力学因素,综合考虑鼓胀效应、温度效应、屈曲效应、活塞效应等“四个效应”,确定三轴系数不小于 1.5^[7-9]。

2.2 测试油管安全系数计算方法

根据确定的管柱安全系数要求以及施工工况,建立了适合超深气井抗拉、抗内压、抗外挤以及三轴的计算方法。

(1)井口油管空气中抗拉安全系数

其计算公式为

$$\alpha_{\text{抗拉}} = \frac{KN}{(m_1h_1g + m_2h_2g \cdots m_nh_ng)/1\,000} \quad (1)$$

式中: $\alpha_{\text{抗拉}}$ 为抗拉安全系数; KN 为油管抗拉强度, kN; $m_{1\cdots n}$ 为每种油管每米质量, kg/m; $h_{1\cdots n}$ 为油管下深, m;

(2)管柱抗外挤最低安全系数

根据施工工况,环空操作安全循环阀时为环空最高的作业压力,考虑油管内无液柱,极限条件下满足最低 1.25 系数要求,选择的管柱组合可满足施工。

其计算公式为

$$\alpha_{\text{抗挤}} = \frac{M_{\text{抗挤}}}{(P_{\text{环空泵压}} + P_{\text{环空液柱压力}})} \quad (2)$$

式中: $\alpha_{\text{抗挤}}$ 为抗挤安全系数; $M_{\text{抗挤}}$ 为油管抗挤强度, MPa; $P_{\text{环空泵压}}$ 为环空最大施工泵压, MPa; $P_{\text{环空液柱压力}}$ 为环空液体产生的液柱压力, MPa。

(3)管柱抗内压最低安全系数计算公式

在整个施工过程中,酸压施工时,油管承受酸液液柱压力以及井口泵压,计算最小抗内压安全系数时不考虑油管摩阻以及环空平衡压力,仅考虑环空液柱压力为极限状态下管柱的抗内压最低安全系数。

$$\alpha_{\text{抗内压}} = \frac{M_{\text{抗内压}}}{(P_{\text{油管泵压}} + P_{\text{油管液柱压力}} - P_{\text{环空液柱压力}})} \quad (3)$$

式中: $\alpha_{\text{抗内压}}$ 为抗内压安全系数; $M_{\text{抗内压}}$ 为油管抗内压强度, MPa; $P_{\text{油管泵压}}$ 为油管最大施工泵压, MPa; $P_{\text{油管液柱压力}}$ 为油管液体产生的液柱压力, MPa; $P_{\text{环空液柱压力}}$ 为环空液体产生的液柱压力, MPa。

(4)三轴安全系数计算

三轴应力为轴向、径向、周向三个方向管柱综合应力,三轴应力安全系数有经典成熟的计算方法

可借鉴^[10-12],即

$$\alpha_{\text{三轴}} = \frac{\alpha_s}{\alpha_{xd}} \quad (4)$$

其中

$$\alpha_{xd} = \frac{1}{\sqrt{2}} [(\sigma_F + \sigma_M - \sigma_r)^2 + (\sigma_F + \sigma_M - \sigma_\theta)^2 + (\sigma_r - \sigma_\theta)^2] \frac{1}{2}$$

式中: α_s 为管柱许用应力, Pa; α_{xd} 为相当应力, Pa; σ_r 为轴向应力, Pa; σ_F 为周向应力, Pa; σ_M 为向向应力, Pa。

3 测试封隔器优选

测试采用的封隔器主要为机械式封隔器,该类型封隔器便于测试结束后解封提管柱,常采用的封隔器有 RTTS 封隔器以及 CHAMP 封隔器,两种封隔器特点见表 2。

表 2 机械封隔器参数

Table 2 Mechanical packer parameters

序号	型号	耐温/℃	耐压/MPa	工具结构特点
1	RTTS 封隔器	>177	70	不自带旁通阀
2	CHAMP 封隔器	>177	105	封隔器自带旁通阀

在多口井应用过程中发现,RTTS 封隔器以及 CHAMP 在超深井长时间高温高压环境下工作,胶筒易老化,施工过程中易失封,常规完井采用的液压封隔器 Y241、Y341 无超深高温高压井应用经验,通过各类封隔器应用工况对比,优选超深含硫气井插管可取式完井液压封隔器(HPH、MHR)作为测试封隔器,在满足测试工况的情况下,如获工业气流,可回插完井管柱进行投产作业。

4 测试阀件设计

常规测试管柱设计为三阀一封:OMNI 阀+RDS 阀+RD 阀+RTTS 封隔器,采用完井液压封隔器代替 RTTS 封隔器后,替浆可在封隔器坐封前进行,因此取消 ONIN 阀;基于前期 RDS 阀与 RD 阀被刺或打不开情况,设计双 RDS 阀+双 RD 阀,管柱结构优化设计为四阀一封。RDS 阀与 RD 阀均采用破裂盘开启,破裂盘开启为绝对压力,各阀件计算公式如下^[13-17]:

(1)RDS 阀开启压力

计算原则:RDS 阀开启压力需大于环空平衡压力 10 MPa 以上,同时需小于套管抗内值 80%。计算出的结果小数点第一位数在 0~4 之间,则收整为

0.5 K,若在 5~9 之间则收整为 1 K。计算方法为

$$E_{RDS} = \frac{P_{\text{环空平衡压力}} + P_{\text{环空液柱压力}} + P_{\text{附加压力}}}{K} \tag{5}$$

式中： E_{RDS} 为 RDS 安全循环阀破裂盘开启值,K; K 一般取值 6.89; $P_{\text{附加压力}} > 10 \text{ MPa}$ 。

(2)RD 阀开启压力

RD 阀下深在 RDS 阀之下,且测试结束后,先打开 RDS 阀井下关井,测压恢后,压井打开 RD 阀,因此,在环空同等液体条件下 RD 阀开启值至少需大于 RD 阀开启值 1.5 K 以上。其计算方法为

$$E_{RD} = \frac{P_{\text{压井泥浆密度条件环空压力}} + P_{\text{附加压力}}}{K} \tag{6}$$

式中： E_{RD} 为 RD 循环阀破裂盘开启值,K。

5 现场应用

YB702 井完钻井深 7 123.5 m,人工井底 7 052.4 m,测试层位茅口-吴家坪组,层段 6 950.5~7 010 m,酸压施工限压 105 MPa,环空平衡限压 45 MPa,最大施工排量 3 m³/min,设计封隔器座封位置位于 6 900 m 处,根据管柱强度安全系数要求,对不同油管组合进行了计算,结果见表 3,其油管酸压工况条件下的三轴安全系数曲线见图 1。通过计算对比,选择钢级为 110SS 的测试管。其管柱结构自上而下

为:油管+127 mm 剪销式伸缩短节 2 支(伸开)+127 mm 剪销式伸缩短节 2 支(压缩)+定位短节 1+定位短节 2+98.4 mm RDS 循环阀(上,6 893.0 m±)+98.4 mm RDS 循环阀(下,6 894.0 m±)+压力机托筒(6 895 m±)+98.4 mm RD 循环阀(上,6 897.0 m)+98.4 mm RD 循环阀(下,6 898.0 m)+RTTS 安全接头(6 899.0 m)+139.7 mm 封隔器(6 900.0 m±)+纵向减震器+压力延时起爆器+89 射孔枪(140 MPa 盲孔,对应射孔段 6 950.5-6 960.5 m,6 979.0-7 002.5 m,7 004.5-7 010.0 m)。

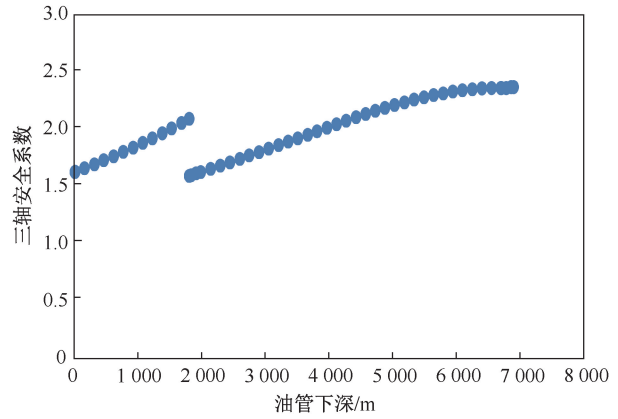


图 1 油管酸压工况条件下三轴安全系数
Fig.1 Triaxial safety factor of tubing under acid fracturing condition

表 3 强度计算参数表
Table 3 Strength calculation parameter table

尺寸	壁厚	内径/mm	重量/(kg/m)	使用长度/m	管柱底界/m	抗外挤强度/kN	抗拉强度/kN	抗内压/MPa	空气中抗拉安全系数	管柱重量/kN	剩余拉力/kN	油管抗内压值/kN	抗内压百分比/%	环空压力值/MPa	抗外挤百分比/%
88.9	12.09	64.72	23.07	1 800	1 800	178.3	2 213	180.5	1.64	406.95	860.25	106.76	59.15	74.04	41.53
88.9	9.52	69.86	18.90	4 200	6 000	145.2	1 801	142.2	1.90	777.92	855.20	110.88	77.97	115.20	79.34
88.9	9.52	69.86	18.90	700	6 700	145.2	1 801	142.2	10.73	129.65	1 633.13	111.57	78.46	122.06	84.06
73.0	7.82	57.36	12.58	310	7 010	145.2	1 215	142.2	31.79	38.22	1 176.78	111.87	78.67	125.10	86.16

设计双 RDS 阀与双 RD 阀,各阀开启值如表 4。

表 4 阀值计算表
Table 4 calculation table of threshold value

工具	破裂盘/K	清水条	2.3 g/cm ³	套管承受内压/MPa	封隔器承受压差/MPa
		件下开	泥浆下		
		启压力/MPa	操作压力/MPa		
RD 安全循环阀(上)	18	56.4	/	124.02	≤60
RD 安全循环阀(下)	18	56.4	/	124.02	≤60
RD 循环阀(上)	26	111.5	23.6	179.14	≤60
RD 循环阀(下)	26	111.5	23.6	179.14	≤60

通过计算方法设计的管柱,在经历了座封、101.7 MPa 长时间高压施工条件下的管柱安全,顺利完成了测试。

6 结论

- (1)确定了管柱空气中抗拉安全不小于 1.6、抗内压安全系数不小于 1.25、抗外挤压安全系数不小于 1.25 以及三轴安全系数不小于 1.5 四个安全系数参照标准;
 - (2)根据超深高压井特点,优化修改了抗拉、抗内压、抗外挤安全系数计算方法;
 - (3)基于前期 RDS 阀与 RD 阀被刺或打不开情况,设计双 RDS 阀+双 RD 阀,管柱结构优化设计为四阀一封,并建立了各阀件绝对压力开启值计算方法。
- 致谢:感谢西南油气分公司工程技术管理部同意本文公开发表。感谢黎洪首席、赵祚培高级专家等人在论文修改方面做出的贡献。

参考文献

- [1] 高辉. 高温高压高产含硫气井测试工程设计[J]. 内蒙古石油化工, 2006(7): 37-39.
GAO Hui. Engineering design of testing in high temperature high pressure high quantity gas wells containing H_2S [J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2006(7): 37-39.
- [2] 董海峰, 杨顺艳, 盛伟. 元坝超深含硫气井产能测试工艺技术[J]. 油气井测试, 2010, 21(1): 42-44.
DONG Haifeng, YANG Shunyan, SHENG Wei. Deliverability test technology for Yuanba super deep sour gas well [J]. Well Testing, 2010, 21(1): 42-44.
- [3] 苏镖, 赵祚培, 杨永华. 高温高压高产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 test technology and application of high temperature, high pressure and high sulfur gas wells [J]. Natural Gas Industry, 2010, 30(12): 53-56.
- [4] 唐瑞江, 李文锦, 王勇军, 等. 元坝气田超深高压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, 116.
TANG Ruijiang, LI Wenjin, WANG Junyong, et al. Key technologies of ultra deep and high sulfur gas well testing and reservoir reconstruction in Yuanba gas field [J]. Natural Gas Industry, 2011, 31(10): 32-35.
- [5] 纪淑玲, 魏晓霞, 陈景红. 柴达木盆地高温高压井试油管柱力学分析与应用[J]. 石油知识, 2021, 22(1): 45-47.
JI Shuling, WEI Xiaoxia, CHEN Jinghong. Mechanical analysis and application of tubing string for high temperature and high pressure wells in Qaidam Basin [J]. Petroleum Knowledge, 2021, 22(1): 45-47.
- [6] 陆耀. 高含硫气井压力计结构设计技术[J]. 石化技术, 2018, 25(8): 313-318.
LU Yao. Structure design technology of high sulfur gas well pressure gauge [J]. Petrochemical Industry Technology, 2018, 25(8): 313-318.
- [7] 方建龙, 杨学锋, 王灿. 高含硫气井关井后井口压力异常影响因素研究[J]. 钻采工艺, 2012, 35(4): 66-70.
FANG Jianlong, YANG Xuefeng, WANG Can. Research on influencing factors of the abnormal wellhead pressure after the high sulfur gas well shut-in [J]. Drilling & Production Technology, 2012, 35(4): 66-70.
- [8] 杨光炼, 刘飞, 潘登, 等. 试油测试过程中的安全环保技术作业—以川渝地区为例[J]. 天然气工业, 2014, 34(5): 158-162.
YANG Guanglian, LIU Fei, PAN Deng, et al. Safety and environmental protection technology operation in the process of well testing: a case study of Sichuan Chongqing Region [J]. Natural Gas Industry, 2014, 34(5): 158-162.
- [9] 苏义脑, 路保平, 刘岩生, 等. 中国陆上深井超深井钻完井技术现状及攻关建议[J]. 石油钻采工艺, 2020, 42(5): 527-542.
SU Yinao, LU Baoping, LIU Yansheng, et al. Present situation and suggestions on drilling and completion technology of onshore deep and ultra deep wells in China [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2020, 42(5): 527-542.
- [10] 丁龙. 低渗层试油井下管柱力学分析及工艺研究[J]. 石化技术, 2018, 25(11): 51.
DING Long. Mechanical analysis and process research of downhole string for low permeability testing oil [J]. Petrochemical Industry Technology, 2018, 25(11): 51.
- [11] 李晶. 高温高压深井不锈钢油管环境敏感断裂研究[D]. 成都: 西南石油大学, 2018.
LI Jing. Study on environment sensitive fracture of stainless steel tubing in high temperature and high pressure deep wells [D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2018.
- [12] 周泽宇. 高温高产超深井多管柱力学研究[D]. 成都: 西南石油大学, 2018.
ZHOU Zeyu. Research on multi string mechanics in high temperature and high yield ultra deep wells [D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2018.
- [13] 唐凯, 王海东, 彭建新, 等. 8 000 m 超高温超高压超深井射孔配套技术[J]. 钻采工艺, 2018, 41(2): 57-60.
TANG Kai, WANG Haidong, PENG Jianxin, et al. Perforating technology for 8 000 m ultra high temperature ultra high pressure ultra deep well [J]. Drilling & Production Technology, 2018, 41(2): 57-60.
- [14] 牟易升. “三超”油气井油管柱工作力学行为研究[D]. 成都: 西南石油大学, 2018.
MOU Yisheng. Study on working mechanical behavior of tubing string in “three super” oil and gas well [D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2018.
- [15] 蒋辉. 超深井试气施工难点及应对措施[J]. 化工管理, 2019, (11): 165.
JIANG Hui. Difficulties and countermeasures of gas testing in ultra deep wells [J]. Chemical Management, 2019, (11): 165.
- [16] 娄明. 超深井稠油试油测试技术开发与应用[J]. 石化技术, 2019, 26(1): 93.
LOU Ming. Development and application of heavy oil production test technology in ultra deep wells [J]. Petrochemical Industry Technology, 2019, 26(1): 93.
- [17] 彭鑫岭, 张世民, 李松岑等. 普光气田高含硫气井过油管深穿透射孔技术优选[J]. 测井技术, 2019, 43(1): 105-110.
PENG Xinling, ZHANG Shimin, LI Songcen, et al. Optimization of through tubing deep perforation technology for high sulfur gas wells in Puguang gas field [J]. Well Logging Technology, 2019, 43(1): 105-110.

编辑 刘振庆

第一作者简介:伍强,男,1983年出生,副研究员,硕士研究生,2009年7月毕业于西南石油大学油气田开发专业,主要从事高含硫气井完井测试相关研究。电话:0838-2551326, 18683985554, Email:634965966@qq.com。通信地址:四川省德阳市旌阳区龙泉山北路298号,邮政编码:618000。