

超深高压气井试井作业技术

侯明明,程欣,侯云杰,王学新,李贵廷

中国石油集团长城钻探工程有限公司测试公司 北京 100101

通讯作者:Email:hmm.gwde@cnpc.com.cn

引用:侯明明,程欣,侯云杰,等. 超深高压气井试井作业技术[J]. 油气井测试,2022,31(5):48-53.

Cite: HOU Mingming, CHENG Xin, HOU Yunjie, et al. Well testing technology for ultra-deep high-pressure gas wells[J]. Well Testing, 2022, 31(5): 48-53.

摘要 在超深高压高温高含硫气井复杂工况下,试井作业极易发生井口冻堵、垢物遇卡、高压流体刺漏、有毒气体刺漏、工具意外落井与井下遇卡等极端事故,存在井控与作业安全风险。在借鉴前人作业经验与研究成果以及相关标准作业规范的基础上,从风险辨识、设备与工具选型和施工流程等方面进行分析,针对性提出了一系列优化与改进措施,规范井口防喷装置配置标准,优化动态密封系统,完善施工作业程序,形成超深高压气井试井作业技术,并在超深高压井 X-O 井中得到成功应用,验证了措施的可靠性。该技术对超深高压气井的试井作业具有一定的指导作用。

关键词 高温高压井;含 H₂S 气井;试井作业;冻堵;井下遇卡;防喷装置;密封系统;风险辨识

中图分类号:TE358 **文献标识码**:B **DOI**:10.19680/j.cnki.1004-4388.2022.05.010

Well testing technology for ultra-deep high-pressure gas wells

HOU Mingming, CHENG Xin, HOU Yunjie, WANG Xuexin, LI Guiting

Well Testing Branch, CNPC Greatwall Drilling Engineering Co., Ltd, Beijing 100101

Abstract: During well testing of ultra-deep, high pressure, high temperature, and high sulfur gas wells, extreme incidents, such as wellhead freezing blockage, scale sticking, high-pressure fluid leakage, toxic gas leakage, accidental tool drop, and downhole sticking, are very likely to occur to threaten well control and testing operation. Based on previous practices and researches, and as per relevant standards/specifications, an analysis was conducted on well testing from the aspects of risk identification, equipment/tool selection, and operating process. A series of optimization and improvement measures were proposed specifically, that is, standardizing the configuration of wellhead blowout preventer, optimizing the dynamic sealing system, and improving the operating procedures. The successful application in an ultra-deep high-pressure well X-O verified the reliability of these measures. This technology has a certain guidance for the well testing of ultra-deep high-pressure gas wells.

Keywords: HTHP well; H₂S-containing gas well; well testing; freezing blockage; downhole sticking; blowout preventer; sealing system; risk identification

钢丝试井作业因其简便快捷、价格低廉、操作简单、适用范围广和易于起井等特点,已逐渐成为获取储层参数和气井产能的重要或主要技术手段^[1-6]。随着近年来对天然气等资源开发的不断深入以及工程技术水平的不断发展,天然气勘探开发中遇到的超深高压高温高含硫气井也越来越多。这类气井关井压力在 70 MPa 以上,井深在 6 000 m 以上,产量超过 60×10⁴ m³/d 以上,时常伴有高浓度 H₂S 和 CO₂,井控和作业安全风险较高,存在严重的井口冻堵,井口遇卡,高压流体刺漏,有毒气体泄漏,工具意外落井与井下遇卡等安全风险,对设备

与工具性能、人员技术水平等提出了更高的要求,因此开展超深高压气井试井工艺研究显得尤为重要。董海峰等^[7]对川东北 YBXH 气井井口遇卡进行分析,究其原因因为高压、低温和有水的条件下,在井口处形成水合物所致,虽提出了解堵方案,但并没有预防措施;雷波等^[8]对川渝地区 X8 高压含硫气井井口遇卡问题进行分析,发现主要是井口钢丝存在有机物附着物,提出了注入化学溶剂解堵措施,但并未提出预防方案;苏鏖等^[9]对高含硫高压气井 YB121H 井钢丝断裂落井事故进行了分析,主要是开井时流体流速瞬间变化造成工具上顶,钢丝

打扭所致。上述研究都是具体问题具体分析,没有进行系统性的分析,且存在风险辨识不足,预防措施不到位的缺陷。崔龙兵等^[10]虽然针对超深高压顺北油田的钢丝试井作业风险提出了一系列预防措施,但主要是针对油井。因此开展超深高压气井试井工艺技术研究显得尤为重要。

1 主要作业风险

超深高压气井时常伴随着高温,高产,高含硫与高含二氧化碳等复杂环境,为保障作业顺利开展,应针对可能存在的主要风险进行分析与研究,制定针对性的控制措施。

1.1 井控风险

高压气井的井控风险主要包括高压流体刺漏与硫化氢泄漏;井口井控设备存在缺陷,如压力等级,设备与密封件材质,设备结构方面或操作不当等造成防喷设备失效导致的大量高压流体刺漏或硫化氢泄漏

1.2 井口遇卡

井口遇卡主要包括冻堵^[11-13]与垢物堵塞。冻堵原因之一是常规的防喷盒的盘根密封方式在实际应用中因盘根磨损的缘故很难实现动态密封,同时频繁加压更会加速盘根的磨损,导致起下过程中出现刺漏,动态失封形成压力差造成防喷盒处形成冻堵;冻堵原因之二是因井口高压、低温且含水导致气井井口形成水合物造成冻堵。垢物堵塞则是地层岩石、流体与气井添加剂等在一定温度、压力条件下共同作用形成的垢物;或井下部分管柱抗腐蚀性性能弱形成铁的硫化物附着在钢丝井口缩径处造成遇卡。

1.3 井筒遇卡

井筒遇卡^[14]分硬卡和软卡。硬卡包括管柱缩径,如接箍缩径,油管径向形变,管柱内壁结硬质垢物等;管柱弯曲,如封隔器上部油管轴向弯曲变形等。软卡主要由于软质垢物上返,堆积在油管内壁,形成缩径所致,或工具在井筒停留期间被埋等。

1.4 工具落井

工具落井依据事故原因可分为腐蚀,质量缺陷,钢丝疲劳,脱扣或操作不当等。腐蚀主要是因为工具材质不符合防腐要求,在腐蚀环境下快速腐蚀,使用时可承受拉应力低于安全值所致;质量缺陷包括井下工具材质不合格,存在缺陷,如裂纹,微

孔隙等;钢丝疲劳包括钢丝疲劳损伤和塑性形变(拉应力过大,频繁打扭);脱扣则是因为气体流速过大,工具产生撞击或振动,以及上扣扭矩过低等所致;操作不当则是因为人员经验不足,违反操作规定,导致钢丝过载或打扭等断裂导致。

其中井筒垢物主要是指井筒或钢丝上存在的固液混合物,主要分为有机物、无机物及水、轻烃类挥发物(见表1)。不同储层性质各成分含量会有所不同,具体情况依据不同井况而定。

表 1 井筒垢物主要成分

Table 1 Main components of wellbore scale

项目	成分
有机物	有机酸及酯类含硫胶结物,长链烃类矿物油,聚异丁烯(润滑油)、酰胺类化合物(缓蚀剂)等
无机物	Fe, Ca, Mn, Zn, Na 等的化合物、炭黑、硫化物、碳酸盐;氯化物;地层矿物杂质等
水、轻烃类挥发物	H ₂ O, C ₃ , C ₄ 等

针对以上风险,现场应通过钢丝试井井口防喷设备、绞车及滚筒选型、钢丝和井下工具选择、制定预防措施来控制各项风险^[15],保障现场作业安全顺利进行。

2 设备与工具选型

选择好符合作业需求的设备与工具是作业安全保障的基础,除了选择一些基础设备与工具,还应根据井况额外选择一些利于作业安全的设备设施和井下工具,提高作业的安全性与可靠性,避免安全事故的发生,同时所有的选型都应该满足相关作业标准规范。

2.1 井口防喷设备

合理可靠的井口防喷设备是作业安全的最关键屏障。一套完整的超深高压井的井口防喷设备从下至上应至少包括:井口变扣,泵入短节,防喷器,下捕捉器,快速试泄压短节,防喷管,上捕捉器,化学注入短节,注脂头系统和高压型防喷盒(见图1)。井口变扣用于将采气树扣型转换成可与泵入短节相连接的扣型;泵入短节用于应急情况下快速压井或向井筒泵入化学剂;防喷器用于紧急状况时迅速关井,控制井口;下捕捉器用来防止工具串意外落井;快速试压短节用于防喷管或 BOP 快速试压与泄压;防喷管用于在压力下容纳井下工具串进出井口;上捕捉器用于自动捕捉钢丝绳帽,防止钢丝断裂工具串落井;化学注入短节用于在钢丝上喷涂防冻剂和防腐剂,或冲洗与溶解钢丝上的垢物;注

脂头系统通过密封脂在高压井中润滑或动态密封钢丝;高压型防喷盒通过盘根在高压井中实现二次动态密封钢丝。

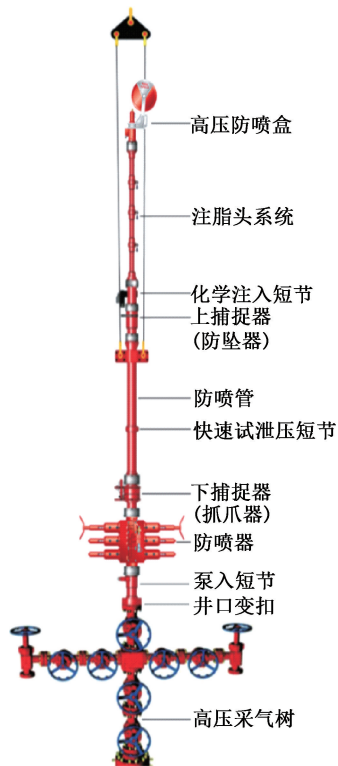


图 1 井口设备示意图

Fig. 1 Schematic diagram of wellhead equipment

防喷装置的材质应符合作业井况下的防腐蚀要求及酸性气井作业,与井内流体接触部位应采用抗腐蚀材质的密封件。高压井应至少选用三闸板防喷器;防喷装置与井口之间采用法兰连接方式;化学注入口、注脂口须同时使用单向阀门和针型截止阀;防喷管泄压口禁止使用螺纹密封方式。

2.2 绞车及滚筒选型

滚筒筒身直径、计量头的计量轮、地滑轮、防喷盒滑轮底槽的直径应大于所配钢丝直径的 120 倍;绞车刹车装置应配备手动和自动启动装置;钢丝绞车应配备张力、深度、速度与时间曲线关系的液晶电子实时显示系统和报警系统,要求系统能在低寒高温环境下长时间保持稳定;钢丝绞车应急系统应为气动控制,配备蓄能器,便于应急情况下仍能紧急操控绞车;在发动机额定转速下,绞车应能提供满足完成超深井钢丝作业的扭矩和滚筒转速。

2.3 钢丝选型

含 H_2S 或 CO_2 井所用钢丝不仅需考虑抗腐蚀性能^[16],还应考虑钢丝下入井底后的剩余张力余

量,避免出现上提安全拉力不足而无法有效起出工具的情况发生,因此对钢丝的抗拉强度以及尺寸都需要综合考虑。

2.4 井下工具选型

井下工具的选型同样非常重要,一旦不满足作业需求,造成测试失败或工具落井,事故处理会极其复杂,带来严重后果。主要需注意以下几点:

(1) 压力计应具有较高的抗震性能;并配备拖筒下入,避免意外撞击损坏;

(2) 在保证工具串重量的情况下,尽可能的缩短工具串长度,优选充钨加重杆;

(3) 生产状态的气井、高粘油井、斜井作业时,应适当增加工具串的配重;

(4) 为降低工具串在井下因垢物使管柱内径变小而产生缩径造成的遇卡,应选择合适外径尺寸的加重杆,太粗会更容易遇卡,太细会增加工具串长度;

(5) 含 $H_2S(CO_2)$ 井所选井下工具的抗腐蚀性应符合作业需求;

(6) 对于大斜度超深井,应在工具串上关键节点添加万向节,加重杆最好选用滚轮加重杆,尽可能缩短工具长度,提高通过能力;

(7) 超高压气井的天然气流速非常高,开井时工具会受到强烈的振动,为避免工具脱扣,应设计防倒扣装置;超深意味着井底温度较高,工具扣应能耐高温,避免粘扣或快接接头。

同时工具串的配重不仅要考虑井口压力及钢丝直径两个基本因素,还考虑产能试井时每个制度下流体对工具串的上顶力。钢丝试井工具串配重,工具串重量不得低于计算理论加重量。加重量计算经验公式:

$$G_{LJ} = 0.0875 \times d_{GS}^2 \times p_{JK} \quad (1)$$

$$G_{SJ} = K \times G_{LJ} \quad (2)$$

式中: G_{LJ} 为理论加重量,kg; G_{SJ} 为实际加重量,kg; d_{GS} 为钢丝直径,mm; p_{JK} 为作业井井口压力,MPa; K 为修正系数, $K>1$ 。

修正系数 K 主要由流管数量,盘根的新旧,管柱内流体的状态,油气比,油气水产量及井型决定,一般高压高产井取 2.25 较为合适。

3 预防措施

超深高温高压井钢丝试井作业除了合理配套设备与工具外,作业期间的预防措施也非常重要,

可极大地避免事故的发生。

3.1 井口遇卡

对于常规试井作业,通常井口主要依靠防喷盒内的盘根对钢丝包夹实现井口密封,钢丝的正常起下对盘根是有磨损的,盘根的磨损主要由钢丝摩擦阻力决定,高压气井因所需的配重较重,导致盘根的磨损更严重,磨损越大密封性能越差。当含有水汽的高温高压气体因防喷盒盘根磨损出现井口动态失封,发生压差节流效应时,会造成井口发生水合物冻堵,因此仅通过防喷盒进行井口密封已难以满足高压井的钢丝作业需求。

向防喷管泵注化学药剂或地面防喷系统进行蒸汽加热的防冻堵方式不仅成本高,效果一般,还费时费力,无形中增加了作业负担,推荐作业冻堵事故处理措施采用。避免冻堵最佳方式是改进动态密封系统,在防喷盒下部安装注脂系统,防止出现动态失封(见图2)。

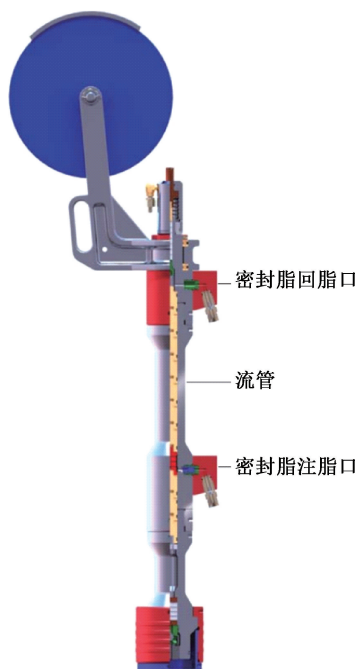


图2 注脂系统示意图

Fig. 2 Schematic diagram of grease injection system

注脂头内安装的流管是一种内壁光滑的钢管,当起下仪器时,从注脂管线注入的密封脂沿钢丝与流管之间的间隙挤入,以防止油气外泄实现动态密封。作业时,流管内充满承压的密封脂,低磨阻的密封脂将钢丝与一个多级精密密封筒之间密封起来。

作业前先收集该区块垢物的化验资料,对垢物成分进行分析,了解垢物主要成分,然后在作业前

针对性的准备可有效溶解垢物的化学溶剂。起下作业过程中通过带有单流阀的化学注入短节定期向钢丝和阻流管的间隙或下部注入可溶性溶剂,使钢丝进入控制头阻流管前被冲洗润滑,充分减少垢物在阻流管内的堆积,同时活动钢丝,加速垢物的脱落。

3.2 井筒遇卡

井筒遇卡主要分硬卡或软卡,为避免作业过程中发生井筒遇卡,可采取以下预防措施:

- (1) 作业前详细了解作业井史和井身结构,有无异常;
- (2) 下入试井仪器前应先通井;
- (3) 收集该区块井筒垢物的资料信息,了解其主要成分;
- (4) 作业期间观察井口返出情况,一旦有软垢大量返出,如单质硫返出,应停止试井或泵注相应溶剂对其进行溶解;
- (5) 控制起下速度,起下过程中不断调节绞车扭矩,确保遇阻能及时停车,防止过提,尤其是通井时,下入速度应缓慢。

3.3 工具落井

对于超深高压气井,最大风险和最危险便是工具落井,一旦掉在井筒内将造成严重后果,难以处置,且成本较高,最有效方式便是提前做好预防,相应的预防措施有以下几点:

腐蚀:井下工具材质应符合工作环境下的防腐要求,作业前对工具状态及外观进行检查。

质量缺陷:优选品牌公司产品,产品应配有第三方探伤检测报告、成分分析和强度测试等报告。

钢丝疲劳:作业前检查钢丝状态,是否已发生塑性变形;作业前拉力测试,了解实际最大张力,上提张力不得超过其60%;优化工具串结构,避免出现钢丝工具串上顶或钢丝打扭现象。

脱扣:优选快速接头扣型;工具扣设置防倒扣挡圈或顶丝;添加减震垫或减震圈。

操作不当:制定超深高压井施工作业规范,选择经验丰富,技术规范执行力强的人员进行作业。

4 现场应用

以中亚某国的X-O气井为例。该井人工井深6 720.0 m,测试层段6 543.0~6 658.0 m,井口关井压力高达75 MPa,硫化氢浓度达到30 000 ppm,CO₂浓度达到5%,属于超深高压高含硫气井,油管外径

为 114.3 mm, 封隔器坐封深度 6 478.0 m, 坐落短节深度 6 490.0 m, 管鞋深度 6 500.0 m, 管柱最小内径 94 mm。生产阶段开展试井作业, 投产前大油嘴测试作业过程中出现过单质硫析出的情况。其完井管柱结构见图 3。

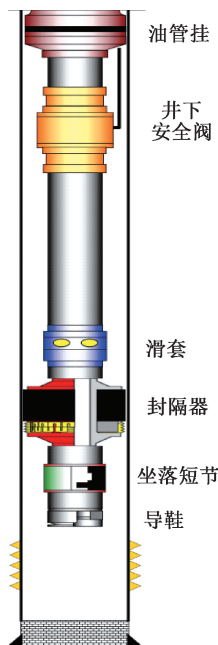


图 3 完井管柱结构示意图

Fig. 3 Schematic diagram Of Completion Structure

4.1 井口防喷设备

按照井口关井压力, 最终选择 15 K 的井口防喷设备, 包括井口变扣, 泵入短节, 防喷器, 下捕捉器, 快速试泄压短节, 防喷管, 上捕捉器, 化学注入短节, 注脂头系统和高压型防喷盒, 所有部件具有防 H_2S 和 CO_2 的防腐蚀性能。

4.2 钢丝及井下工具优化

钢丝选择 3.81 mm 的双防钢丝, 具有防 H_2S 和 CO_2 的防腐蚀性能, 长度达 9 000 m, 最大张力 1 700 kg; 井下工具全部采用快速接头的方式连接, 工具材质全部具有防 H_2S 和 CO_2 的防腐蚀性能。压力计选择 718 材质 140 MPa 的 PPS 系列压力计, 耐温 235 $^{\circ}C$ 。

4.3 施工作业

为防止井口垢物的堆积与水合物的产生, 在起下作业过程中每隔 10 min 通过化学注入短节从阻流管下部注入可溶性溶剂; 为防止封隔器上油管弯曲导致工具遇卡, 特在工具串添加了万向节, 提高工具串的通过性, 同时考虑到井口压力产生的上顶力, 增加了配重; 考虑高压高含硫气井长期吊测存在以下风险: ①钢丝长期紧绷且暴露在高含腐蚀介

质流体中, 会加速腐蚀与疲劳; ②井口防喷装置长时间处于高压并与腐蚀介质接触, 存在泄漏风险。因此最终选择将压力计投放在坐落短节的方式进行测压, 待测试结束后起出即可。

第一趟通井作业。通井工具串结构: 钢丝绳帽 (38 mm \times 0.16 m) + 钨钢加重杆 (45 mm \times 1.5 m) + 万向节 (45 mm \times 0.22 m) + 钨钢加重杆 (45 mm \times 1.5 m) + 万向节 (45 mm \times 0.22 m) + 钨钢加重杆 (45 mm \times 1.5 m) + 万向节 (45 mm \times 0.22 m) + 震击器 (45 mm \times 1.7 m) + 通井规 (56 mm \times 0.20 m)。通井工具串总长约 7.2 m, 总重 65 kg, 最大外径 56 mm, 整个通井过程中张力无任何异常。

第二趟流压测试作业。工具串结构: 钢丝绳帽 (38 mm \times 0.16 m) + 钨钢加重杆 (45 mm \times 1.5 m) + 万向节 (45 mm \times 0.22 m) + 钨钢加重杆 (45 mm \times 1.5 m) + 万向节 (45 mm \times 0.22 m) + 钨钢加重杆 (45 mm \times 1.5 m) + 万向节 (45 mm \times 0.22 m) + 投放工具串 (65 mm \times 2.1 m)。投放工具串总长约 7.42 m, 总重 75 kg, 最大外径 65 mm。投放压力计期间张力无任何异常, 测试期间小油嘴开井测试, 避免单质硫大量析出。经过连续 3 d 的试气与关井恢复后, 钢丝工具串平稳安全顺利地起出井口, 导出的压力计数据正常, 成功录取到了流压和压力恢复资料。

5 结论

(1) 超深高压试井作业技术面临的风险, 可从设备、工具和仪器选型与优化, 以及施工工艺技术等多方面开展研究。

(2) 合理可靠的井口防喷设备是作业安全的关键屏障。

(3) 高压环境下单纯的依靠防喷盒内的盘根对钢丝包夹难以实现井口动态密封, 防止井口冻堵的最佳方式就是改进动态密封系统, 防止出现动态失封, 即在防喷盒下部安装注脂系统。

(4) 超深高压气井试井作业风险较高, 积极开展试井作业风险控制研究, 具有重要的现实意义。

致谢: 本文得到长城钻探测试公司土乌项目领导的支持与同意, 在此表示衷心的感谢。

参考文献

[1] 姜玉峰, 葛东升. 高温高压气井钢丝作业技术实践[J]. 石油地质与工程, 2020, 34(6): 89-92.

JIANG Yufeng, GE Dongsheng. Practice of steel wire operation

- technology in high temperature and high pressure gas well [J]. *Petroleum Geology and Engineering*, 2020, 34(6): 89-92.
- [2] 贾庆瑞. 伊朗雅达瓦兰油田高压高温含硫油气井钢丝作业工艺技术实践应用[J]. *中国石油和化工标准与质量*, 2014, 34(9): 55-56, 199.
- JIA Qingrui. Practice and application of high pressure and high temperature sulfur gas well steel wire operation technology in Yadawalan Oilfield, Iran [J]. *China Petroleum and Chemical Standard and Quality*, 2014, 34 (9): 55 - 56, 199.
- [3] 刘玉国, 陈红, 易北辰, 等. 塔河油田超深井试井工艺技术[J]. *油气井测试*, 2001, 10(6): 49-50, 52.
- LIU Yuguo, CHEN Hong, YI Beichen, et al. Well test technology for the supper deep well in Tahe oilfield [J]. *Well Testing*, 2001, 10(6): 49-50, 52.
- [4] 李坤. 浅析元坝超深高含硫气田钢丝试井作业技术[J]. *石化技术*, 2019, 26(12): 138, 137.
- LI Kun. Analysis of wireline well test technology in Yuanba ultra-deep and high sulfur gas field [J]. *Petrochemical Industry Technology*, 2019, 26(12): 138, 137.
- [5] 关明军. 钢丝井下工具在深层气井的应用[J]. *中国石油和化工标准与质量*, 2018, 38(23): 77-78.
- GUAN Mingjun. Application of wireline downhole tools in deep gas wells [J]. *China Petroleum and Chemical Standard and Quality*, 2018, 38(23): 77-78.
- [6] 王克林, 杨向同, 刘军严, 等. 库车山前高压气井钢丝投捞式试井技术[J]. *油气井测试*, 2018, 27(4): 15-20.
- WANG Kelin, YANG Xiangtong, LIU Junyan, et al. Wireline fishing well testing technology for high pressure gas wells in Kuqa foreland [J]. *Well Testing*, 2018, 27(4): 15-20.
- [7] 董海峰, 吴维斌, 刘啸峰, 等. 元坝 YBXH 井水合物堵卡测压仪器解堵工艺技术[J]. *油气井测试*, 2014, 23(4): 43-44, 47.
- DONG Haifeng, WU Weibin, LIU Xiaofeng, et al. Removal technology block and plugging pressure measuring instrument of hydrate in YBXH Well [J]. *Well Testing*, 2014, 23(4): 43-44, 47.
- [8] 雷波, 曾小军, 许峰. 川渝高压含硫气井试井钢丝附着物阻卡的防治措施[J]. *钻采工艺*, 2020, 43(2): 139-142, 146.
- LEI Bo, ZENG Xiaojun, XU Feng. Prevention and control measures for wire line attachment sticking of well testing in high pressure sulphur content gas wells in Sichuan and Chongqing area [J]. *Drilling & Production Technology*, 2020, 43(2): 139-142, 146.
- [9] 苏鏖, 陈波. 超深高含硫气井油管内钢丝打捞作业技术及应用[J]. *油气井测试*, 2016, 25(4): 50-52.
- SU Biao, CHEN Bo. Technique of fishing broken slick line in ultra-deep high H_2S high pressure gas well and its application [J]. *Well Testing*, 2016, 25(4): 50-52.
- [10] 崔龙兵, 刘练, 周生福, 等. 顺北油田“三高”油气井试井工艺技术[J]. *油气井测试*, 2020, 29(3): 57-63.
- CUI Longbing, LIU Lian, ZHOU Shengfu, et al. Well test processes of oil and gas wells with “three highs” in Shunbei Oilfield [J]. *Well Testing*, 2020, 29(3): 57-63.
- [11] 陆峰, 曾小军. 高压气井钢丝试井作业天然气水合物的预防对策分析[J]. *钻采工艺*, 2018, 41(2): 61-64.
- LU Feng, ZENG Xiaojun. Measures to prevent natural gas hydration during well testing by slickline in high pressure gas wells [J]. *Drilling & Production Technology*, 2018, 41(2): 61-64.
- [12] 吴德宝. 大庆探区深层气井试气水化物预防处理工艺技术[J]. *西部探矿工程*, 2018, 30(2): 47-48.
- WU Debao. Prevention and treatment technology of gas test hydrate for deep gas wells in Daqing exploration area [J]. *West-China Exploration Engineering*, 2018, 30(2): 47-48.
- [13] 胡旭光, 王留洋, 江川. 气井带压作业中水合物的形成及预防措施[J]. *天然气勘探与开发*, 2019, 42(3): 122-126.
- HU Xuguang, WANG Liuyang, JIANG Chuan. Gas-hydrate forming and prevention during snubbing of gas wells [J]. *Natural Gas Exploration and Development*, 2019, 42(3): 122-126.
- [14] 李会会, 周生福, 刘练, 等. 塔河油田试井作业遇阻卡原因及防治措施[J]. *油气井测试*, 2018, 27(5): 66-72.
- LI Huihui, ZHOU Shengfu, LIU Lian, et al. Causes and prevention measures on blocking and sticking of the well testing operation in Tahe oilfield [J]. *Well Testing*, 2018, 27(5): 66-72.
- [15] 陆峰. 磨溪龙王庙气藏钢丝试井作业风险及控制措施[J]. *钻采工艺*, 2019, 42(3): 117-119, 126.
- LU Feng. Risks and control measures of stickline well festing in longwangmiao gas reservoir of moxi block [J]. *Drilling & Production Technology*, 2019, 42(3): 117 - 119, 126.
- [16] 吴华磊. CO_2 对深层气井试井钢丝的腐蚀及其预防[J]. *石油管材与仪器*, 2017, 3(5): 51-53, 57.
- WU Hualei. CO_2 corrosion of steel wire in deep gas well and its prevention [J]. *Petroleum Tubular Goods & Instruments*, 2017, 3(5): 51-53, 57.

编辑 刘振庆

第一作者简介:侯明明,男,1986年出生,2009年获长江大学石油工程专业学士学位,现为中国石油集团长城钻探测试公司工程师,主要从事生产完井和钢丝试井作业与研究。电话:18971703713, Email: hmm. gwde@ cnpc. com. cn, 通信地址:北京市朝阳区安立路 101 号名人大厦 1712 室, 邮编:100101。