

# 抽油机排水采气井井筒防腐工艺技术

熊坤

中石化华北油气分公司采气二厂 内蒙古鄂尔多斯 017400

项目支持: 中石化华北油气分公司科技项目“东胜气田特高产水气井水淹时机预测及治理对策”(KJGLB-2025-17)

引用: 熊坤. 抽油机排水采气井井筒防腐工艺技术[J]. 油气井测试, 2026, 35(2): 45-50.

Cite: XIONG Kun. Wellbore anti-corrosion technology for sucker rod pumping drainage gas recovery wells[J]. Well Testing, 2026, 35(2): 45-50.

**摘要** 东胜气田抽油机排水采气井油管存在腐蚀、穿孔问题,影响泵效和检泵周期,而受限于环空产气、油管产液的生产模式,腐蚀防护药剂无法有效加注至井底。设计研发了一种井下加药系统,将不锈钢管路沿油管外壁下入机抽泵吸入口以下,利用地面加注泵将药剂增压后通过钢管直接加注至井下,再由产出气、液带动,从环空、油管返出过程中在管柱壁面形成保护膜,从而实现对井下管柱的腐蚀防护,同时配套智能化管控平台,实现远程监控、定时定量加注。现场试验结果表明,井下智能加药系统实现了防腐药剂的有效加注,加注速度 35 L/h 时,地面泵注压力 2~3 MPa;井下管柱、工具腐蚀速率降低 60%~75%,实现了对井筒管柱腐蚀防护的目的。该技术有效解决了井筒腐蚀问题,有利于气井抽油机排水采气工艺安全、稳定运行,为气井抽油机排水采气工艺井下加药提供了新技术,在同类型气井中具有广泛的推广意义。

**关键词** 东胜气田;抽油机;排水采气;井下加药;腐蚀防护;智能化平台;泵效**中图分类号**: TE358 **文献标识码**: B **DOI**: 10.19680/j.cnki.1004-4388.2026.02.007

## Wellbore anti-corrosion technology for sucker rod pumping drainage gas recovery wells

XIONG Kun

Sinopec North China Petroleum Branch, Gas Production Plant No. 2, Ordos, Inner Mongolia 017400, China

**Abstract:** Tubing in the sucker rod pumping drainage gas recovery wells of the Dongsheng gas field is frequently plagued by corrosion and perforation, which adversely affects pump efficiency and inspection cycles. Due to the production mode characterized by annular gas production and tubing liquid production, conventional corrosion inhibitors cannot be effectively delivered to the bottomhole. To address this, a downhole chemical injection system was developed, in which stainless steel capillary lines are deployed along the tubing exterior to a depth below the pump intake. Corrosion inhibitors are pressurized by surface injection pumps and delivered directly to the downhole environment through these lines. These chemicals are subsequently carried by produced gas and fluids to form a protective film on the string surfaces during their return through the annulus and tubing, thereby achieving comprehensive wellbore protection. Furthermore, an intelligent control platform was integrated to enable remote monitoring as well as precise, automated injection. Field trial results indicate that the downhole intelligent injection system facilitates the effective delivery of anti-corrosion agents. At an injection rate of 35 L/h, the surface pumping pressure is maintained between 2 and 3 MPa. Notably, the corrosion rates of downhole strings and tools are reduced by 60% to 75%, successfully fulfilling the objective of wellbore corrosion protection. This technology effectively resolves wellbore corrosion challenges, ensuring the safe and stable operation of sucker rod pumping drainage gas recovery processes. It introduces a novel approach for downhole chemical injection in gas wells and holds significant potential for broad application in similar gas wells.

**Keywords:** Dongsheng gas field; sucker rod pump; drainage gas recovery; downhole chemical injection; corrosion protection; intelligent platform; pump efficiency

东胜气田地层产出气中  $\text{CO}_2$  含量 0.5%~10%, 产出液中氯根含量 3 000~9 000 mg/L, 矿化度 10 000~200 000 mg/L, 产出气、液组分复杂, 导致井筒管柱易发生腐蚀, 严重时管柱穿孔、气井停产, 影响产能释放<sup>[1-3]</sup>, 同时增加了采气成本。常规气井, 通常采用环空泵注缓蚀药剂, 经油管返出过程中附

着在油管内壁, 形成保护膜, 达到腐蚀防护的目的<sup>[4-7]</sup>。而抽油机气井因油管排液、环空产气, 缓蚀药剂无法经过井筒有效加注至井底, 腐蚀防护难度大。

针对该问题, 开展了相关文献调研。目前油气田生产过程中可选择的防腐方法有多种, 如: 阴极

保护、选择耐蚀材料、工程防腐、化学防腐等技术<sup>[8-10]</sup>,但针对油气井井筒,比较成熟的方法是采用添加化学剂的防治方法<sup>[11-12]</sup>。美国从50年代就开始研究防止CO<sub>2</sub>腐蚀的技术措施,TRETOLI公司研发了代号XC-3000、XC-3010和WF-3012缓蚀剂。国内学者在离子液体类缓蚀剂方面开展了大量研究工作,LIU Dezhu等<sup>[13]</sup>通过研究聚天冬氨酸的协同作用,得到了适用于油气田的高效缓蚀剂;程玉山等<sup>[14]</sup>通过将具有缓蚀和阻垢双重功能的聚天冬氨酸PSAP与苯并三氮唑、钨酸钠和葡萄糖酸钠进行四元复配,研发了易生物降解型缓蚀剂。缓蚀药剂研发已相对成熟,而针对药剂加注方式,目前气井通过地面增压泵增压后经采气树大四通由油套环形空间直接加注至井底<sup>[15-17]</sup>,油井通过先排放环空内气体,然后由环空泵注。李蓉<sup>[18]</sup>针对油田油井腐蚀穿孔断裂的现状,对采出水中各因素与腐蚀速率关系分别作了单因素、多因素模拟试验研究,并探讨了其腐蚀机理。郭小斌<sup>[19]</sup>主要研究木南区油田井筒腐蚀、结垢现象。通过腐蚀、结垢机理和影响因素分析,明确腐蚀、结垢发生的原因,在此基础上开展防腐防垢技术研究,提出预防治理方案。

现有的采气井、抽油机井腐蚀防护方法主要通过环空加注,而东胜气田抽油机排水采气工艺通过环空产气、油管排液,无法实现药剂有效加注至井底。为此,设计研发了一种井下智能加药

系统,通过地面泵将药剂直接加注至井底,再由产出气、液带动下,从环空、油管返出过程中在管柱壁面形成腐蚀防护膜,实现对井下管柱的腐蚀防护,有效解决了抽油机气井药剂防腐难度大的问题。

## 1 气井抽油机排水采气井下加药技术

东胜气田属于典型的“低压、低渗、低丰度”致密高含水气藏。截至2025年,高产水气井(水气比 $>10\text{ m}^3/10^4\text{ m}^3$ ,日产水量 $>15\text{ m}^3/\text{d}$ )78口,井数占比10%,产气量占比18%,且呈逐年上升趋势,排采难度大,而抽油机就是一种成熟、可靠且适应性广的机械排水方式。与此同时,伴随着腐蚀结垢现象的逐年增加,有必要开展缓蚀剂加注工作,解决井筒腐蚀对气田生产安全造成的困扰。

### 1.1 工艺原理

在气井抽油机排水采气中,油管外壁固定不锈钢管路,底部下至机抽泵吸入口以下,上部经采气树大四通穿出后连接地面加药装置,通过特制的三通装置实现大四通与加药管路间的密封;缓蚀药剂由加药装置增压后经不锈钢管路注入至井底,与井筒中的产出液混合后,一部分经油管举升至地面,另一部分由产出气携带经油套环空携带至地面;药剂在流经井筒管柱过程中,吸附在管柱壁面形成保护膜,以阻隔腐蚀介质与金属管壁接触,达到腐蚀防护的目的(见图1)。

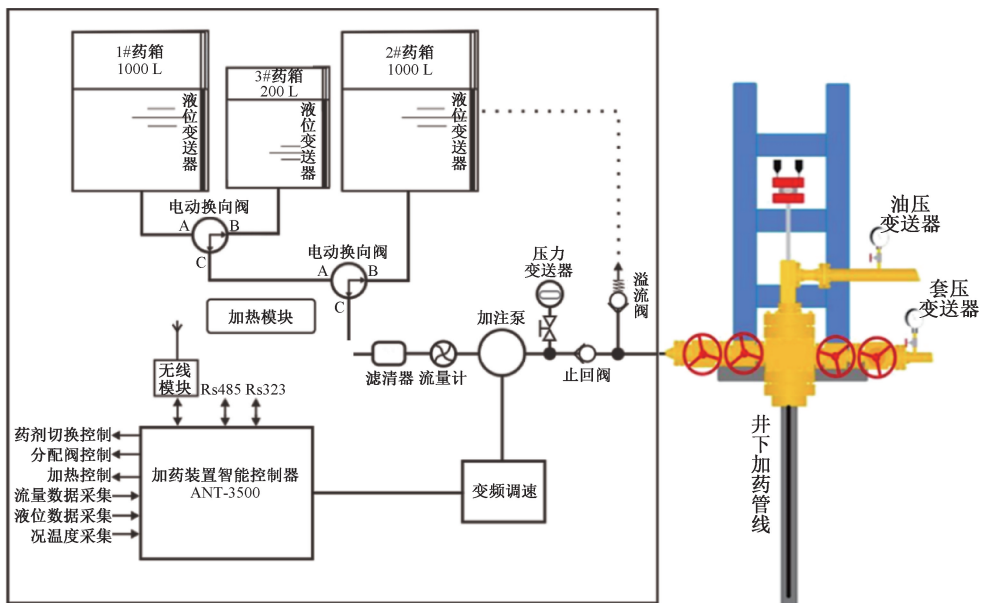


图1 气井抽油机井下加药管路图

Fig. 1 Underground dosing pipeline diagram of gas well pumping unit

## 1.2 工艺结构

气井抽油机智能加药工艺基本结构自下而上主要由不锈钢加药管路、双联跨接箍电缆保护器、井口密封器、自动加注装置等核心部件组成,同时配套远程管控平台。

### (1) 不锈钢加药管路

不锈钢加药管路主要为药剂提供流动通道,采用抗点腐蚀性能较好的 316 L 型不锈钢,通过 Pipesim 模拟 3 000 m 管路,不同内径、加注速度摩擦损失(如图 2 所示)。为加药管柱选型、加注速度优化提供了理论支撑。

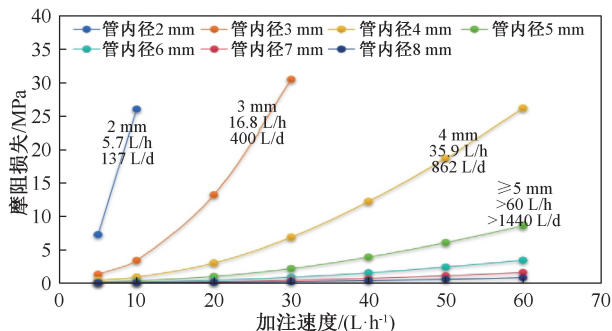


图 2 不同管径、不同加注速度摩擦损失  
Fig. 2 Friction loss at different pipe diameters and injection speeds

综合考虑油管与套管环形空间尺寸,设计管路外径  $6.35 \pm 0.05$  mm、内径  $4.95 \pm 0.05$  mm、管厚度 0.7 mm、耐压强度 25 MPa,同时管外附着  $11.0 \times 11.0 \pm 0.2$  mm 的方形聚丙烯护套,下入过程中防止管路与套管内壁磕碰、挤压(见图 3)。

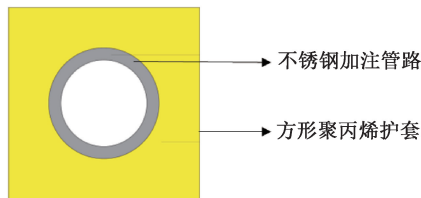


图 3 不锈钢加药管结构截面图  
Fig. 3 Sectional view of stainless steel dosing tube structure

### (2) 双联跨接箍电缆保护器

双联跨接箍电缆保护器用于将不锈钢加药管路固定于油管外壁,如图 4 所示。管路下井过程中通过在油管的接箍处安装保护器,接箍上下各有一个钢爪,使得保护器在下井或生产过程中不会沿着油管移动实现加注管线的固定,接箍整体采用镀锌钢板材质,适配油管外径  $\Phi 73$  mm,接箍外径 89~93 mm,适配接箍长度 150 mm,保护器最大外径 105 mm。

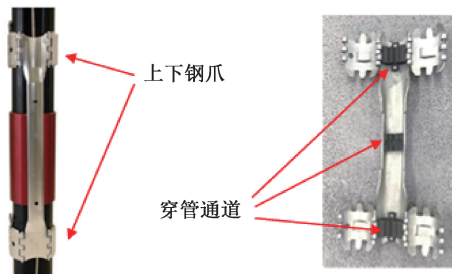


图 4 双联跨接箍电缆保护器结构图  
Fig. 4 Structural diagram of double cross coupling cable protector

### (3) 井口密封器

井口密封器用于加药管路与采气树大四通间的密封,防止气体从管线出口处渗出,如图 5 所示。密封器采用 N80 材质,内部通过特定的密封胶和锁紧装置进行密封,密封压力  $\geq 15$  MPa。

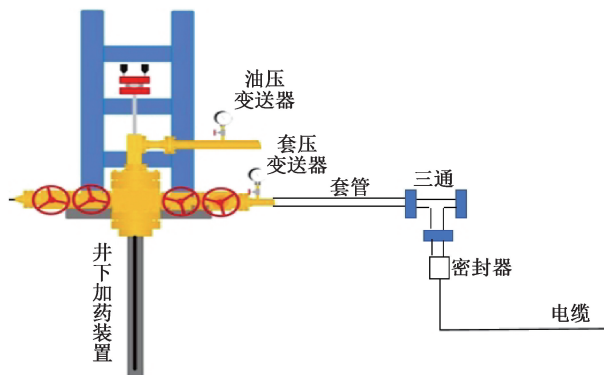


图 5 密封器井口示意图  
Fig. 5 Wellhead sealer diagram

### (4) 自动加药装置

自动加药装置用于对缓蚀药剂增压。整体采用一体化撬装保温结构设计,内部采取上下层结构布局,含 3 个储药箱及 1 套小型注剂设备。控制及通讯部分整体置于防爆箱内,药箱底部及注剂管线通过电伴热进行冬季加热,可进行远程自控和本地手动控制两种模式下的井口加药。一机多药(3 种)并自动采集加药数据及远传,加药频度及药量做到精细可控。

## 1.3 工艺优势

- (1) 药剂防腐成本低,应用范围广。
- (2) 井下加药管路可直接将药剂加注至井底,解决了机抽气井加药难的问题。
- (2) 外附方形聚丙烯护套可有效保护不锈钢管路在下入过程中与管壁磕碰变形。

## 2 缓蚀药剂加注制度及效果评价

依据标准 Q/SHCG 0123—2021《抗酸性气体油



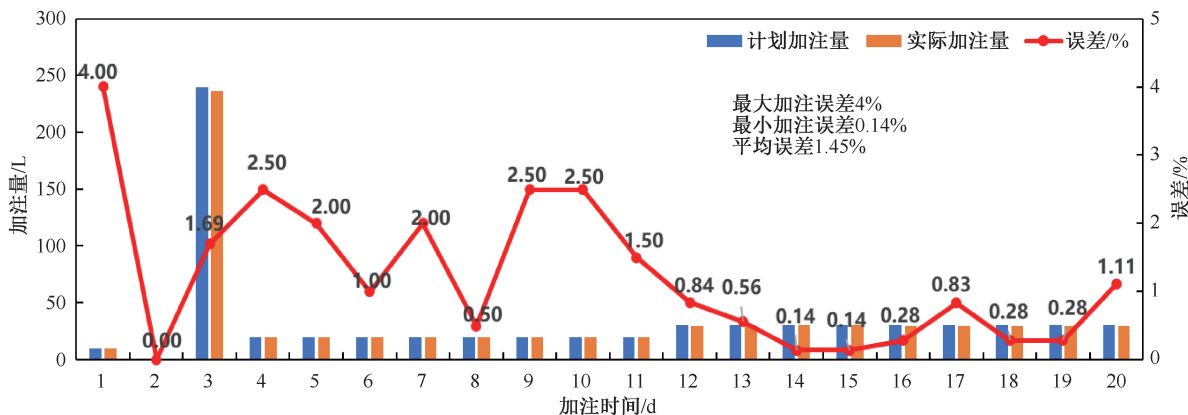


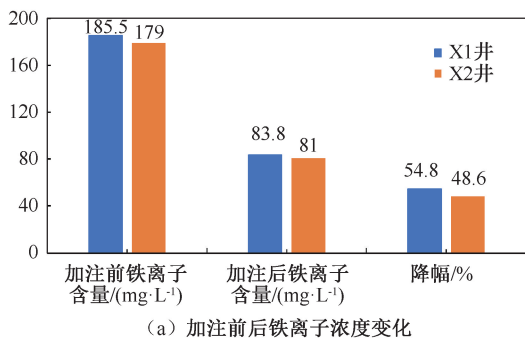
图9 X2井加注情况跟踪

Fig. 9 Tracking of injection status in X2 well

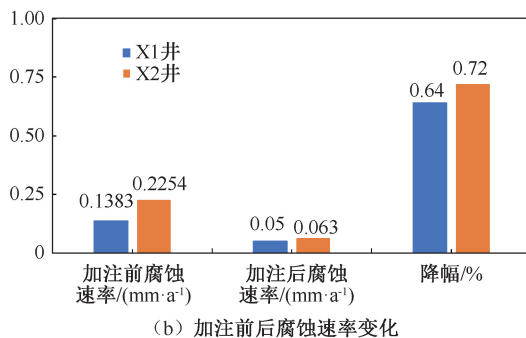
(3) 加注效果

对加注前后产出液铁离子含量、腐蚀速率跟踪监测,其中 X1 井加注 1 月后铁离子含量 83.8 mg/L,降幅 54.8%, 监测腐蚀速率 0.05 mm/a, 降幅 63.8%; X2 井加注 1 月后铁离子含量 92 mg/L,降幅

48.6%, 监测腐蚀速率 0.063 mm/a, 降幅 72.05%, 如图 10 所示。通过井下加药系统实现了机抽排采气井井下加药的目的,有效降低了井下管柱、工具的腐蚀速率,验证了气井抽油机井下加药技术的可行性。



(a) 加注前后铁离子浓度变化



(b) 加注前后腐蚀速率变化

图10 腐蚀情况跟踪评价

Fig. 10 Corrosion Tracking Evaluation

4 结论

(1) 研制了气井抽油机井下智能加药技术,设计了井下不锈钢加药管路,管路外径  $6.35 \pm 0.05$  mm、内径  $4.95 \pm 0.05$  mm、壁厚 0.7 mm、耐压强度 25 MPa。

(2) 建立了不同内径、加注速度摩阻损失图版,为加药管柱选型、加注速度优化提供了理论支撑。

(3) 井下加药系统实现了药剂直接注入至井底,有效解决了机抽排采气井井下加药难的问题,有效降低了井下管柱、工具的腐蚀速率,为同类气井井下加药提供了一种新方法。

致谢:感谢华北油气分公司工程技术研究院和采气二厂同意本文公开发表。感谢曹桐生、蒋文才、周舰、张荣甫、杨俊科、孔浩等人在论文修改、现场试验与应用方面做出的贡献。

参考文献

[1] 齐宏伟. 东胜气田井筒 O<sub>2</sub> 腐蚀评价与防护对策研究[J]. 石油化工腐蚀与防护, 2024, 41(2): 1-8.  
 QI Hongwei. Evaluation and protection measures of O<sub>2</sub> corrosion in Dongsheng gas field wellbore[J]. Corrosion and Protection in Petrochemical Industry, 2024, 41(2): 1-8.

[2] 田嘉鑫. 高含液气井井筒含氧腐蚀规律及防护措施研究[D]. 荆州:长江大学, 2024: 11-35.  
 TIAN Jiaxin. Research on oxygen corrosion law and protection measures for high liquid gas well wellbore[D]. Jingzhou: Yangtze University, 2024: 11-35.

[3] 杨中华. 气井井筒 CO<sub>2</sub> 腐蚀规律及缓蚀机理研究[D]. 荆州:长江大学, 2024: 24-40.  
 YANG Zhonghua. Research on the corrosion law and corrosion inhibition mechanism of CO<sub>2</sub> in gas well wellbore[D]. Jingzhou: Yangtze University, 2024: 24-40.

[4] 赵海燕, 丁艳艳, 石善志, 等. 二氧化碳驱采出井缓蚀

- 剂筛选与评价流程研究[J]. 石油与天然气化工, 2018, 47(1): 83-88.
- ZHAO Haiyan, DING Yanyan, SHI Shanzhi, et al. Research on the screening and evaluation process of corrosion inhibitors for carbon dioxide driven production wells[J]. Petroleum and Natural Gas Chemical Industry, 2018, 47(1): 83-88.
- [5] 韩瞳. 盐酸及二氧化碳高温缓蚀剂制备与机理研究[D]. 北京:中国石油大学(北京), 2022: 51-112.
- HAN Hao. Preparation and mechanism study of high temperature corrosion inhibitors with hydrochloric acid and carbon dioxide[D]. Beijing: China University of Petroleum (Beijing), 2022: 51-112.
- [6] 连宇博, 黄晨, 黄昕茹, 等. 一种具有缓蚀、阻垢、防蜡三重功效固体颗粒药剂的设计制备[J]. 石油化工应用, 2024, 43(5): 107-110.
- LIAN Yubo, HUANG Chen, HUANG Xinru, et al. Design and preparation of a solid particle agent with triple effects of corrosion inhibition, scale inhibition, and wax prevention[J]. Petrochemical Applications, 2024, 43(5): 107-110.
- [7] 文绍牧, 肖杰, 计维安, 等. 四川盆地特高含硫气田安全高效开发关键技术创新与成功实践[J]. 天然气工业, 2024, 44(11): 37-49.
- WEN Shaomu, XIAO Jie, JI Wei'an, et al. Innovation and successful practice of key technologies for safe and efficient development of ultra high sulfur gas fields in Sichuan basin[J]. Natural Gas Industry, 2024, 44(11): 37-49.
- [8] 贾骏麟. 2205双相不锈钢在高浓度氯化铵溶液中的点蚀行为研究[D]. 北京:北京化工大学, 2024: 14-77.
- JIA Junlin. Study on pitting behavior of 2205 duplex stainless steel in high concentration ammonium chloride solution[D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2024: 14-77.
- [9] 张思琦. C采气厂高含硫天然气输气管道风险分析与控制研究[D]. 太原:中北大学, 2024: 11-48.
- ZHANG Siqi. Risk analysis and control research on high sulfur natural gas pipeline in C gas production plant[D]. Taiyuan: North China University, 2024: 11-48.
- [10] 张昊宇. 复合载荷作用下含腐蚀缺陷高钢级输气管道失效研究[D]. 荆州:长江大学, 2024: 25-77.
- ZHANG Haoyu. Study on the failure of high grade steel gas pipeline with corrosion defects under composite load[D]. Jingzhou: Changjiang University, 2024: 25-77.
- [11] 余涛. 抗高温抗摩擦聚合物纳米复合材料涂层性能研究[D]. 北京:中国石油大学(北京), 2023: 4-46.
- YU Tao. Research on the performance of high temperature and friction resistant polymer nanocomposite coating[D]. Beijing: China University of Petroleum (Beijing), 2023: 4-46.
- [12] Stanford J R, Chappell G D. High temperature corrosion inhibitor for gas and oil wells: US3959158A [P]. 1976-5-25.
- [13] LIU Dezhu, ZHANG Qun. Synthesis and properties study of the green high-efficient corrosion and scale inhibitor[J]. Applied Mechanics and Materials, 2014, 703: 110-113.
- [14] 程玉山, 孙寅聪, 师新广, 等. 环境友好型水处理剂阻垢缓蚀性能研究[J]. 河南科学, 2018, 36(11): 1715-1722.
- CHENG Yushan, SUN Yincong, SHI Xinguang, et al. Research on scale and corrosion inhibition performance of environmentally friendly water treatment agents[J]. Henan Science, 2018, 36(11): 1715-1722.
- [15] 解永刚. 子洲气田配套采气工艺技术优化研究与应用[D]. 西安:西安石油大学, 2013: 14-62.
- XIE Yonggang. Research and application of optimization of gas production technology for Zizhou gas field[D]. Xi'an: Xi'an Shiyou University, 2013: 14-62.
- [16] 高利军. 延长气田泡排剂选型和注入方法研究[D]. 西安:西安石油大学, 2015: 63-79.
- GAO Lijun. Research on the selection and injection method of extended gas field bubble drainage agent[D]. Xi'an: Xi'an Shiyou University, 2015: 63-79.
- [17] 冯永兵. 苏里格气田东区排水采气工艺评价研究[D]. 成都:西南石油大学, 2015: 93-105.
- FENG Yongbing. Research on the evaluation of drainage gas production technology in the east area of Sulige gas field[D]. Chendu: Southwest Petroleum University, 2015: 93-105.
- [18] 李蓉. 蟠龙油田油井腐蚀与化学防腐措施研究[D]. 西安:西安石油大学, 2016: 25-36.
- LI Rong. Research on corrosion and chemical corrosion prevention measures of oil wells in Panlong oilfield[D]. Xi'an: Xi'an Shiyou University, 2016: 25-36.
- [19] 郭小斌. 木南区机采井防腐防垢技术研究与应用[D]. 大庆:东北石油大学, 2015: 27-39.
- GUO Xiaobin. Research and application of anticorrosion and scale prevention technology for mechanical production wells in Munan district[D]. Daqing: Northeast Petroleum University, 2015: 27-39.
- [20] 刘畅. 五坪气田井下油管腐蚀分析及防腐措施研究[D]. 成都:西南石油大学, 2018: 29-56.
- LIU Chang. Corrosion analysis and anti-corrosion measures of downhole oil pipes in Wuping gas field[D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2018: 29-56.

编辑 方志慧

第一作者简介:熊坤,男,1985年出生,工程师,硕士,2013年6月毕业于成都理工大学油气田开发工程专业,现主要从事采油气工艺研究。电话:0477-3815063, Email: 68555349@qq.com。通信地址:内蒙古自治区鄂尔多斯市杭锦旗215省道西150米采气二厂,邮政编码:017400。