

# 注气井连续油管酸化技术及效果评价

蔡建平<sup>1</sup>, 张建忠<sup>1</sup>, 王芳<sup>2</sup>, 尹国栋<sup>1</sup>, 刘涛<sup>1</sup>, 丛铭泽<sup>1</sup>

1. 中国石油冀东油田公司井下作业公司 河北唐山 063200

2. 中国石油冀东油田公司采油工艺研究院 河北唐山 063200

通讯作者: Email: 979349817@qq.com

引用: 蔡建平, 张建忠, 王芳, 等. 注气井连续油管酸化技术及效果评价[J]. 油气井测试, 2024, 33(1): 49-54.

Cite: CAI Jianping, ZHANG Jianzhong, WANG Fang, et al. Coiled tubing acidizing technology and its application performance in gas injection wells[J]. Well Testing, 2024, 33(1): 49-54.

**摘要** 由于井筒附近储层污染和水锁现象影响, 冀东油田储气库部分注气井注入压力较高, 为了增注提升单井储能, 且能保护完井注气管柱的密封性, 设计了连续油管酸化工艺。由于酸化后管材受酸液浓度影响, 容易发生腐蚀, 影响施工安全, 采用现场试验, 利用连续油管向储层定点挤酸 2 井次, 并利用 StimPRO 软件对酸化施工井进行效果评价, 结果显示, 酸化后表皮系数由原来的 10 降低至 1.36, 地层污染解除。通过室内实验方式对服役 2 井次后的连续油管进行了点蚀深度、屈服强度、抗拉强度等力学性能检测, 屈服强度下降到出厂连续油管性能的 84.9%, 为了确保施工的安全性, 提出大型酸化施工最多 2 井次的建议, 制定酸化后保养方法, 提升连续油管的使用寿命。该方法对储气库注气井酸化在管材选取、施工过程控制以及管材影响保养方面可提供全方位的技术指导。

**关键词** 储气库; 注气井; 连续油管; 酸化; 管材性能; 检测; 效果评价

**中图分类号**: TE357 **文献标识码**: B **DOI**: 10.19680/j.cnki.1004-4388.2024.01.009

## Coiled tubing acidizing technology and its application performance in gas injection wells

CAI Jianping<sup>1</sup>, ZHANG Jianzhong<sup>1</sup>, WANG Fang<sup>2</sup>, YIN Guodong<sup>1</sup>, LIU Tao<sup>1</sup>, CONG Mingze<sup>1</sup>

1. Downhole Operation Company of PetroChina Jidong Oilfield Company, Tangshan, Hebei 063200, China

2. Production Technology Research Institute of PetroChina Jidong Oilfield Company, Tangshan, Hebei 063200, China

**Abstract:** Due to reservoir pollution and water-locking near the wellbore, some gas injection wells in the gas storages in Jidong Oilfield exhibit high injection pressure. In order to increase the injection and enhance the storage capacity of single well, and to protect the sealing performance of the completion and injection tubing, a coiled tubing acidizing process was designed. Because the pipes are susceptible to erosion depending on acid concentration after acidizing, which impedes the operation safety, field tests were carried out by using coiled tubing to squeeze acid into the reservoir at fixed points for two wells, and the application performance in acidizing wells was evaluated with StimPRO software. The results show that the skin factor after acidizing was reduced from 10 to 1.36, eliminating reservoir pollution. Through laboratory experiments, the pitting depth, yield strength, tensile strength, and other mechanical properties of the coiled tubing after serving two wells were tested. It is found that the yield strength decreased to 84.9% of the original coiled tubing strength. To ensure safety during operation, it is recommended to limit major acidizing operations to a maximum of two cycles. Maintenance methods post-acidizing were proposed to enhance the lifespan of coiled tubing. This approach provides comprehensive technical guidance for injection well acidizing in gas storage, including material selection, operation process control, and tubing maintenance.

**Keywords:** gas storage; gas injection well; coiled tubing; acidizing; pipe performance; testing; performance evaluation

在储气库注气井的投产开发过程中, 发现部分注气井压力较高, 地层吸气能力逐渐降低, 配注方案不能满足施工要求, 分析原因主要是因为地层井筒附近储层污染和水锁现象, 为了改善注气井的吸气效果, 需要对地层进行酸化作业, 达到增注的目的。

的。常规酸化作业施工, 多采用原井管柱注入酸液, 解除地层污染<sup>[1-2]</sup>, 但是储气库注气井完井管柱对密封性要求较高, 起出管柱方案对气密封管柱伤害较大, 且施工成本较高, 可行性低。如果起出注气管柱, 下入施工油管酸化, 气密封油管扣损伤报

废,采用连续油管酸化可以实现不动管柱酸化,施工速度快、作业效率高,可以实现不压井作业,避免地层的二次污染,能够有效的保护气密封管柱,降低作业成本,且前期可以对井筒进行洗压井等处理,施工效果好,清洁可靠。目前世界范围内,连续油管酸化技术已经由常规定点酸化发展至水平井拖动酸化技术<sup>[3-5]</sup>,该工艺可以经济有效地在水平井开展布酸,满足不同地层、不同岩性的施工要求。郭兆光等<sup>[6]</sup>连续油管酸化技术在伊朗 Ah-waz 油田的应用中,详细介绍了连续油管酸化施工工艺原理,作业流程及注意事项等,得出连续油管酸化工艺简单,在大多数产量高、层位多且深、压力高等油井具有广阔推广前景的结论,但是国内目前大型酸化对连续油管管材影响及后续管材保养方面研究较少,张智等<sup>[7]</sup>针对酸化对油管腐蚀进行了力学性能研究,通过室内试验形式对不同浓度酸液对管材影响进行了效果评价,G3 镍基油管经过酸化后力学性能明显降低,屈服强度和抗拉强度都有降低。本文对储气库气井酸化技术研究的同时,对连续油管酸化后对储层解堵效果进行了科学评价,对连续油管酸化后酸液对管材力学、点蚀情况、金相组织影响等多方面进行了室内试验检测,为连续油管服役施工大型酸化施工次数提供了可靠的数据支撑,保障了作业的安全性。针对酸化施工,制订了有效的管材保养方法,对连续油管使用寿命提升以及施工安全的保障方面,具有较好的指导作用。

1 连续油管酸化技术

连续油管酸化技术是利用连续油管作业机输送连续油管至预定位置,通过高压泵车,将酸罐中的酸液和解水锁剂泵入连续油管,通过连续油管向地层挤入解锁水剂和酸液,有效提升地层渗透率,进一步达到增产的目的。该项技术通过在冀东海上储气库井应用成功,酸化改造后,增注效果显著,对注气井增产措施具有指导性意义。

1.1 连续油管管材优选

连续油管是酸化施工主要管道,酸液对管材会产生腐蚀现象,目前连续油管作业常用管材为 CT70~CT110 等级连续油管,连续油管强度、延伸率满足施工要求下,综合管材成本考虑,优选 CT90 钢级连续油管作为连续油管酸化作业管材,管材具体参数见表 1。

表 1 连续油管各项参数

Table 1 Parameters of coiled tubing

项目	参数	备注
连续油管外径/mm	50.8	/
连续油管壁厚/mm	4	/
钢级	CT90	/
屈服强度/MPa	683	80%
抗拉强度/MPa	725	80%
延伸率/%	23	/
长度/m	4 500	/

1.2 酸液配方以及作用

综合考虑酸液对地层地质特点、污染类型、地层温度以及考虑到地层压力低,优选环保酸作为主要解堵液,考虑酸化作业后反应产物无法返排,需通过推水圈作业将其驱替至远井地层,地层强亲水特征,不利于后期推水圈和注气作业,优选采用解水锁液处理地层,改变其润湿性,降低注入液体的表界面张力<sup>[8-10]</sup>,综合以上因素,设计酸液主要体系见表 2。

表 2 酸液组成

Table 2 Acid composition

项目	酸液类型	作用
前置液	2%NH <sub>4</sub> Cl 溶液	施工管柱降温,驱替近井地水
主体酸配方	浓度为 33% 环保酸液+缓蚀剂+1%解水锁	解除地层污染
后置液 1	解水锁液体系	解水锁,改变润湿性
后置液 2	2%NH <sub>4</sub> Cl	将酸液和解水锁剂全部替入层

1.3 现场试验

试验井为储气库一口新钻注采气井,初期注气压力 30.5 MPa,注气量  $0.7\times 10^4\text{ m}^3$ ,目前注气压力 29 MPa,注气量  $7.1\times 10^4\text{ m}^3$ ,分析认为注气压力高主要受井筒附近储层污染和水锁影响,为降低注气压力,提高注气能力,同时为了保护注气管柱密封线,决定采用连续油管进行酸化解堵施工,解除井筒附近污染和水锁。

1.3.1 酸化前井筒处理

(1) 连续油管组装

按照设备组装要求,连接采油树、防喷盒、防喷器,将连续油管穿入注入头,采用吊车吊装方式吊装注入头,依次连接连续油管、高压泵车、酸池管线,做施工前准备。

(2) 井控装备试压

按照酸化施工要求,对防喷器、防喷盒、管线、管汇等试压,最高试验压力不超高防喷器、防喷盒

以及采油树三者中最低额定工作压力,对防喷器和防喷盒进行高压、低压双重测试,并且稳压试压。

(3) 模拟通井

为了确保施工安全,酸化前用连续油管模拟通井,测试井筒情况,确保连续油管能够下至预定位置,保障施工顺利进行。

(4) 洗压井及测吸收量

酸化前,利用活性水循环洗井脱气干净,然后测试不同压力下地层吸收量情况,最后将井筒内替入 NH<sub>4</sub>Cl 溶液。

(5) 由于酸液对原井管柱及工具腐蚀作业较大,因此下连续油管至酸化位置,连续油管尽量穿出原井注气管柱,从而保护气密封油管扣及配套工具。

1.3.2 酸化施工

(1) 下连续油管同时用 2% NH<sub>4</sub>Cl 溶液正循环洗井,连续油管下至 4 050 m,记录连续油管载荷,关闭防喷器半封及悬挂闸板。

(2) 为了保护原井管柱封隔器,氮气车按照实际情况打平衡压 10 MPa,测 2 个压力点吸收量,正挤 2% NH<sub>4</sub>Cl 溶液 8 m<sup>3</sup>,压力为 2 MPa,排量为 460 L/min,正挤环保酸 60 m<sup>3</sup>,压力为 12~20~32~46 MPa,排量为 310~380~460~500 L/min,正挤解水锁剂 58 m<sup>3</sup>,压力为 41 MPa,排量为 520 L/min,正挤 2% 的 NH<sub>4</sub>Cl 溶液 20 m<sup>3</sup>,压力为 41 MPa,排量为 520 L/min,停泵后观察 15 min,井口压力由 41 MPa 降低为 0.39 MPa,施工结束后,观察油套压力,符合条件,则上提连续油管。连续油管酸化施工压力、套管压力、排量施工曲线如图 1 所示。

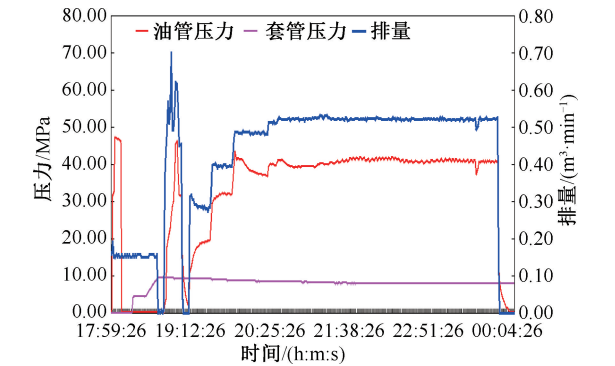


图 1 X 气库平 1 井连续油管酸化施工曲线图  
Fig.1 Construction curve of continuous tubing acidification in X oil wells

1.3.3 酸化后效果评价

X 气库平 1 井连续油管酸化施工后,酸化施工前,地层测试吸收量,泵压为 12.5 MPa,排量为

210 L/min,实施酸化后,测试地层吸收量,泵压为 7.5 MPa,排量 240 L/min,通过吸收量对比,可以看出酸化后,地层泵注压力降低,吸液能力增加。同时利用 StimPRO 酸化解堵软件对该井酸化后效果进行评价,酸化后利用氮气推圈<sup>[11-13]</sup>,得到的相关数据,对本次酸化作业施工效果进行分析,酸化过程中,地层压力由酸化前 44.56 MPa 降低至 36.25 MPa,酸前表皮系数为 10.0,污染程度为中度污染,酸后表皮系数为 1.36,污染程度为不污染,解堵平均穿透地层距离为 2.58 m,本次酸化对固相颗粒污染、结垢、液锁等污染起到了有效的酸化解堵作用。通过以上分析,证明本次酸化施工结果对地层解堵效果有效(见表 3)。

表 3 酸化施工前后效果对比  
Table 3 Comparison of the effect before and after acidification

项目	地层吸收量 泵压/MPa	地层吸收 排量/(L·min <sup>-1</sup> )	地层压力 /MPa	表皮 系数
酸化施工前	12.5	210	44.56	10.00
酸化施工后	7.5	240	36.25	1.36

2 酸化对连续油管影响分析及酸化后保养

本盘连续油管累计酸化施工 2 井次,累计注入酸液、解锁水剂以及 NH<sub>4</sub>Cl 280 m<sup>3</sup>,为了检测该盘连续油管的力学性能,将酸化前后连续油管各截取 0.2 m 小样,然后轴向切开,通过室内试验方法,采用浓度较低酸洗液清洗连续油管,表面对比观察,腐蚀程度,然后通过室内专用检测仪器,测试屈服强度、抗拉强度以及拉伸率等,最终提出针对性的保养方法。

2.1 酸化对管材影响分析

未服役的连续油管,酸液处理后表面光滑,无腐蚀痕迹<sup>[14-16]</sup>。服役后连续油管表面锈蚀较多,通过酸液清洗后观察,内壁和外壁都形成了一定的点蚀(见图 2)。通过激光共聚焦显微镜对服役后油管内、外壁的点蚀进行观察(点蚀深度均超过 100 μm,最大点蚀深度为 162.45 μm)(见图 3)。从试验检测结果可以判断,大型酸化 2 井次以后,对连续油管腐蚀效果较为明显,且主要产生点蚀坑,点蚀坑对连续油管性能影响较大,易在表面形成小阳极~大阴极自腐蚀微电池,导致连续油管局部腐蚀更加严重。点蚀引起的集中应力还会导致连续油管疲劳加剧,而且不容易被检测到。



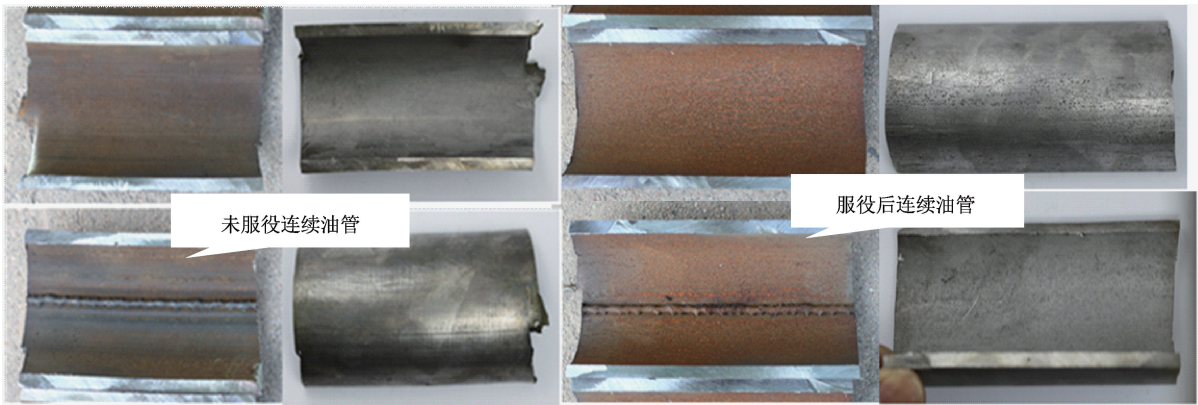


图 2 酸液处理前后连续油管表面点蚀情况对比  
Fig. 2 Comparison of surface pitting corrosion of continuous tubing before and after acidification

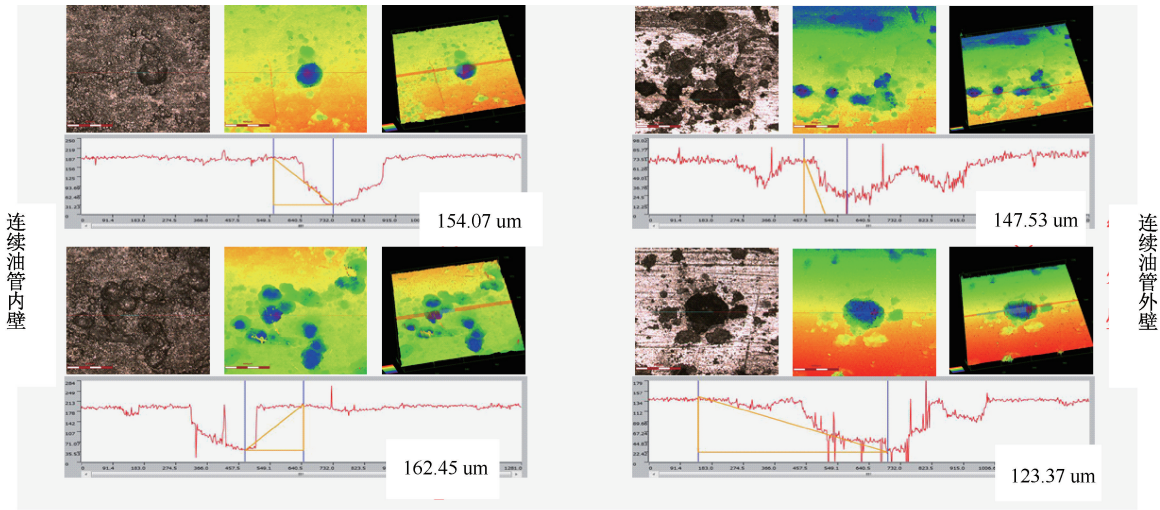


图 3 激光共聚焦显微镜对酸化后服役连续油管点蚀观察  
Fig. 3 Laser confocal microscopy for pitting after acidification

2.2 酸化施工对连续油管力学性能影响分析

大型酸化施工 2 井次后,对连续油管服役前后强度和延伸率进行检测,连续油管延伸率略有下降,由服役前的 23%降低至 17.53%,屈服强度由服役前 687 MPa 降低至 583 MPa,安全系数降低至 84.9%,抗拉强度由服役前的 727 MPa,降低为 708 MPa,安全系数降低至 97.7%,酸化 2 次施工后,连续油管的屈服强度以及延伸率影响加大,按照连续油管性能要求,安全系数高于 80%判断此盘连续油管禁止进行酸化以及高负荷需拉伸载荷施工,对施工安全风险较大,强度检测具体参数如表 4 所示。

从金相组织呈相图可以看出,酸化前后 CT90 连续油管金相组织无变化,因此酸化对钢级 CT90 连续油管材质影响较轻微(见图 4)。

表 4 连续油管服役前后强度及延伸率对比  
Table 4 Comparison of strength and elongation of coiled tubing before and after service

连续油管状态	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	延伸率/%
出厂检测	687	727	23.20
未服役	631	725	20.40
服役后	583	708	22.03

2.3 酸化后保养方法确定

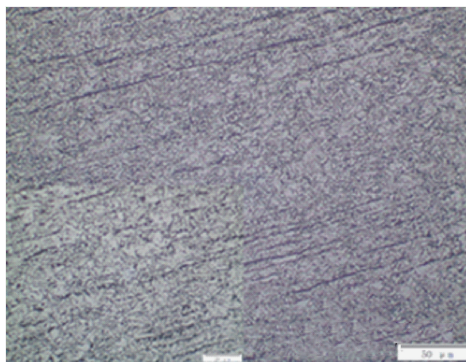
(1)酸化完成后,用  $\text{NH}_4\text{Cl}$  溶液替出连续油管 内酸液,之后使用清水替出连续油管内  $\text{NH}_4\text{Cl}$  溶液,最后应采用氮气进行管线吹扫,吹扫至出口无 水汽喷出<sup>[17-20]</sup>。吹扫管内液体所需氮气最小体积 为连续油管内容积的 2 倍。

(2)连续油管吹扫完成后,应泵入机油保养,通 过机油附着内壁保养连续油管内部,泵入机油量根 据连续油管内表面面积进行计算,内表面主要受管

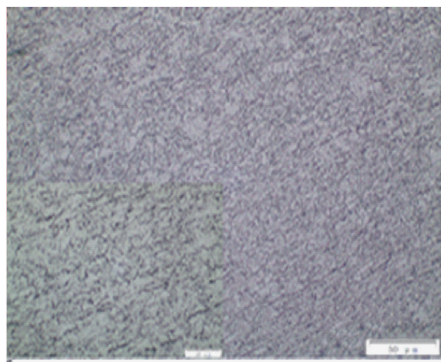


径、壁厚、长度等参数影响,最小注入附着厚度最低为1 mm。继续注入氮气至出口端有机油喷出。氮

气吹扫完成后,连续油管的两端应使用封帽或堵头进行封堵。



a.服役前50 μm



b.服役后50 μm

图4 服役前后金相组织对比图

Fig. 4 Comparison of metallographic organization before and after service

### 3 结论

(1)综合考虑施工连续油管管材强度、延伸率、施工成本和作业安全,建议优选 CT90 连续油管。

(2)连续油管酸化要合理优选酸液,优先采用环保酸,确保酸化效果同时要尽量减少地层污染,同时增加缓蚀剂,减少连续油管的腐蚀危害。

(3)酸化完成后,根据施工情况,建议利用 Stim-PRO 酸化解堵软件对本次酸化作业施工效果进行分析,评价酸化效果,大型酸化2井次,建议切割长度0.2~0.5 m 连续油管进行室内实验,判断酸化对管材腐蚀影响,通过对服役连续油管进行力学以及金相评估结果分析酸化次数,实验数据可以有效地防止连续油管由于酸液腐蚀造成应力损伤问题,引起落井事故发生。

(4)酸化后要用  $\text{NH}_4\text{Cl}$  溶液替出连续油管内酸液,然后用清水清洗连续油管,最后用氮气吹扫,提升连续油管寿命。

**致谢:**感谢冀东油田井下作业公司和钻采工艺研究院同意本文公开发表。

### 参考文献

- [1] 杨旭,何冶,李长忠,等.水平井连续油管酸化及效果评价[J].天然气工业,2004,24(7):45-48.  
YANG Xu, HE Ye, LI Changzhong, et al. Horizontal well coiled tubing acidizing and its effect evaluation [J]. Natural Gas Industry, 2004, 24(7): 45-48.
- [2] 闫凤林,李建君,巴金红,等.刘庄储气库X注采气井酸化效果综合评价[J].油气储运,2020,39(3):303-306.  
YAN Fenglin, LI Jianjun, BA Jinhong, et al. Comprehensive evaluation on acidizing effect of injection and production gas

Well X in Liuzhuang gas storage [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2020, 39(3): 303-306.

- [3] 邹洪岚,朱洪刚,唐晓兵.水平井连续油管拖动转向酸化技术在艾哈代布油田的应用[J].石油钻采工艺,2014,36(2):88-91.  
ZOU Honglan, ZHU Honggang, TANG Xiaobing. Application of coiled tubing withdrawing acidizing with diverting acid system in Ahdeb oil field, Iraq [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2014, 36(2): 88-91.
- [4] 徐克彬,马昌庆,陈迎春,等.水平井连续油管拖动选择性酸化工艺[J].石油钻采工艺,2014,36(6):79-82.  
XU Kebin, MA Changqing, CHEN Yingchun, et al. Selective acidizing technology by dragging coiled tubing in horizontal wells [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2014, 36(6): 79-82.
- [5] 郭富凤,赵立强,刘平礼,等.水平井酸化工艺技术综述[J].断块油气田,2008,15(1):117-120.  
GUO Fufeng, ZHAO Liqiang, LIU Pingli, et al. Overview of acidizing technology of horizontal well [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2008, 15(1): 117-120.
- [6] 郭兆光,赵旭升,赵学贵,等.连续油管酸化工艺在伊朗 Ahwaz 油田的应用[J].油气井测试,2006,15(2):64-65.  
GUO Zhaoguang, ZHAO Xusheng, ZHAO Xuegui, et al. Application of acid tech with continue tube in Iran Ahwaz oilfield [J]. Well Testing, 2006, 15(2): 64-65.
- [7] 张智,周泽宇,宋闯,等.高温高压下G3镍基合金油管酸化腐蚀的力学性能[J].天然气工业,2019,39(6):107-114.  
ZHANG Zhi, ZHOU Zeyu, SONG Chuang, et al. Mechanical performance of acid corrosion of G3 nickel-base alloy tubings at high temperature and pressure [J]. Natural Gas Industry, 2019, 39(6): 107-114.
- [8] 孙林,孟向丽,蒋林宏,等.渤海油田注水井酸化低效对策研究[J].特种油气藏,2016,23(3):144-147.

- SUN Lin, MENG Xiangli, JIANG Linhong, et al. Counter-measures of inefficient acidification in water injection wells of Bohai oilfield[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2016, 23(3): 144-147.
- [9] 曾明友, 杜娟, 刘凤和. 注水井酸液体系的研究[J]. 石油与天然气化工, 2013, 42(2): 177-180.
- ZENG Mingyou, DU Juan, LIU Fenghe. Research on acid fluid system of water injection well[J]. Chemical Engineering of Oil & Gas, 2013, 42(2): 177-180.
- [10] 杜全庆, 关键, 张童, 等. 南翼山油田注水井酸化酸液体系优化[J]. 油气井测试, 2020, 29(4): 45-50.
- DU Quanqing, GUAN Jian, ZHANG Tong, et al. Optimization of acid system for acidizing of water injection wells in Nanyishan oilfield[J]. Well Testing, 2020, 29(4): 45-50.
- [11] 郑桐. 地热井酸化压裂施工措施评价系统[J]. 油气井测试, 2022, 31(6): 34-39.
- ZHENG Tong. Evaluation system for construction measures of acid fracturing in geothermal wells[J]. Well Testing, 2022, 31(6): 34-39.
- [12] 张宏友, 陈晓祺, 王美楠, 等. 海上特低渗碳酸盐油藏酸化效果分析[J]. 油气井测试, 2019, 28(1): 67-71.
- ZHANG Hongyou, CHEN Xiaoqi, WANG Meinan, et al. Acidification effect of offshore ultra-low permeability carbonate reservoir[J]. Well Testing, 2019, 28(1): 67-71.
- [13] 敬路敏, 夏辉, 潘勇. 塔河油田酸压工艺及酸压效果分析[J]. 油气井测试, 2006, 15(6): 48-50.
- JING Lumin, XIA Hui, PAN Yong. Analysis for acidizing and fracture tech in Tahe oilfield and its effect[J]. Well Testing, 2006, 15(6): 48-50.
- [14] 谢俊峰, 付安庆, 秦宏德, 等. 表面缺欠对超级 13Cr 油管在气井酸化过程中的腐蚀行为影响研究[J]. 表面技术, 2018, 47(6): 51-56.
- XIE Junfeng, FU Anqing, QIN Hongde, et al. Influence of surface imperfection on corrosion behavior of 13Cr tubing in gas well acidizing process[J]. Surface Technology, 2018, 47(6): 51-56.
- [15] 邓洪达, 崔世华, 李春福, 等. 镍基合金 G3 在高含  $H_2S$  和  $CO_2$  环境中的腐蚀行为[J]. 腐蚀与防护, 2013, 34(4): 302-306.
- DENG Hongda, CUI Shihua, LI Chunfue, et al. Corrosion behavior of nickel base alloy G3 in high  $H_2S$  and  $CO_2$  containing environment[J]. Corrosion & Protection, 2013, 34(4): 302-306.
- [16] 李霄, 温庆伦. 含腐蚀坑连续油管极限腐蚀坑深度及剩余强度评估[J]. 石油矿场机械, 2016, 45(4): 5-7.
- LI Xiao, WEN Qinglun. Containing corrosion pit limit of coiled tubing corrosion pit depth and residual strength analysis[J]. Oil Field Equipment, 2016, 45(4): 5-7.
- [17] 鲜宁, 张平, 荣明, 等. 连续油管在酸性环境下的疲劳寿命研究进展[J]. 天然气与石油, 2019, 37(1): 63-67.
- XIAN Ning, ZHANG Ping, Rong Ming, et al. Progress on research in the fatigue life of the coiled tubing in sour service[J]. Natural Gas and Oil, 2019, 37(1): 63-67.
- [18] 刘银仓, 邱伟. 酸性气田连续油管作业防硫缓蚀剂研究与应用[J]. 石油化工应用, 2021, 40(3): 53-58.
- LIU Yincang, QIU Wei. Research and application of sulfur and corrosion inhibitors for continuous tubing operations in acidic gas fields[J]. Petrochemical Industry Application, 2021, 40(3): 53-58.
- [19] 董琴刚. 高含硫气井解堵用连续油管的腐蚀及防护[J]. 石油化工腐蚀与防护, 2020, 37(6): 25-29.
- DONG Qingang. Corrosion and protection of coiled tubing for blockage removal in high sulfur gas wells[J]. Corrosion & Protection in Petrochemical Industry, 2020, 37(6): 25-29.
- [20] 张合文, 崔明月, 鄢雪梅, 等. 连续油管拖动均匀酸化分支水平井[J]. 深圳大学学报(理工版), 2016, 33(3): 234-240.
- ZHANG Hewen, CUI Mingyue, YAN Xuemei, et al. Uniformly acidized lateral horizontal well with drawing coiled tubing[J]. Journal of Shenzhen University (Science and Engineering), 2016, 33(3): 234-240.

编辑 吴志力

第一作者简介: 蔡建平, 女, 1982 年出生, 工程师, 学士学位, 2011 年毕业于重庆科技学院石油工程专业, 现主要从事井下作业特种作业管理工作。电话: 15176546221, Email: 979349817@qq.com。通信地址: 河北省唐山市曹妃甸区井下作业公司, 邮政编码: 063200。