

50.8 mm 速度管柱气井可投捞式井下节流技术

卢履盛¹, 陈志杰², 吴颖³, 方正², 华莹², 邵振鹏²

1. 中国石油集团川庆钻探工程有限公司试修公司 四川成都 610052

2. 中国石油集团测井有限公司华北测试分公司 河北廊坊 065007

3. 中国石油集团海洋工程有限公司油气技术分公司 天津 300450

项目支持: 中国石油集团渤海钻探工程有限公司油气井测试分公司科研项目“苏里格气田2”速度管柱缆绳作业工艺优化研究”(CS202405K)

引用: 卢履盛, 陈志杰, 吴颖, 等. 50.8 mm 速度管柱气井可投捞式井下节流技术[J]. 油气井测试, 2026, 35(1): 37-43.

Cite: LU Lusheng, CHEN Zhijie, WU Ying, et al. 50.8 mm velocity string gas wells with retrievable downhole throttling technology[J]. Well Testing, 2026, 35(1): 37-43.

摘要 常规节流器在外径、坐封方式、胶筒密封性等方面不能满足 50.8 mm 速度管柱气井的井下节流式生产。依据 50.8 mm 速度管柱的内部结构特点, 采用有限元分析方法对节流器本体外径尺寸、坐封弹簧直径和刚体位移距离进行仿真分析, 改进节流器外径、弹簧直径和钢体位移距离; 配套相应尺寸的加重杆、震击器等工具, 设计可投捞式井下节流工具串; 制定节流器投放和打捞作业流程, 形成一套 50.8 mm 速度管柱气井可投捞式井下节流技术。该技术在苏里格气田苏 XX 等井现场应用 50 井次, 节流器投捞作业成功率 100%, 有效提高气井携液能力, 减小或防止水合物堵塞风险, 确保积液停产气井恢复正常生产, 为保障气田的安全稳定生产提供技术支撑。

关键词 井下节流; 速度管柱; 排液采气; 节流器; 水合物; 连续油管; 结构优化

中图分类号: TE37 文献标识码: B DOI: 10.19680/j.cnki.1004-4388.2026.01.005

50.8 mm velocity string gas wells with retrievable downhole throttling technology

Retrievable downhole choking technology for gas wells with 50.8 mm velocity strings

LU Lusheng¹, CHEN Zhijie², WU Ying³, FANG Zheng², HUA Ying², SHAO Zhenpeng²

1. CNPC Chuanqing Drilling Engineering Company Testing and Workover Company, Chengdu, Sichuan 610052, China

2. Huabei Well Testing Branch, China National Logging Corporation, Langfang, Hebei 065007, China

3. Petroleum Production Technology Branch of CNPC Offshore Engineering Co., Ltd., Tianjin 300450, China

Abstract: Conventional downhole chokes are inadequate for gas wells equipped with 50.8 mm velocity strings due to limitations in outer diameter, setting mechanisms, and sealing integrity. Based on the internal structural characteristics of 50.8 mm velocity strings, key parameters, including the choke body's outer diameter, setting spring diameter, and rigid body displacement, were simulated and optimized by using finite element analysis method. Complementary tools, such as appropriately sized sinker bars and jars, were integrated, and a complete retrievable downhole choking tool string were designed. Furthermore, standardized operational procedures for choke deployment and retrieval were established, forming a comprehensive retrievable downhole choking technology for gas wells with 50.8 mm velocity strings. This technology has been successfully implemented in 50 well-treatments within the Su XX well block in Sulige Gas Field, achieving a 100% success rate in choke deployment and retrieval operations. Field applications demonstrate that this technology significantly enhances the liquid-carrying capacity of gas wells, effectively mitigates the risk of hydrate blockage, and restores normal production in wells previously shut-in due to liquid loading. This provides robust technical support for the safe and stable operation of the gas field.

Keywords: downhole choking; velocity string; liquid unloading; choke; hydrate; coiled tubing; structural optimization

随着苏里格气田持续开发, 地层压力逐渐下降, 生产压差逐渐减小, 造成老井产气量逐年下降。当气量低于临界携液气量时便不能正常携液, 而液滴在井筒下部不断积聚, 最终减小了单井气产量,

造成气井积液甚至水淹, 气井不能正常生产^[1-2]。一般采取的措施有气举排液、泡沫排液、水力泵、电潜泵等排液工艺, 这些方式从作业时长、人员、环境、安全等方面考虑, 综合成本较高, 一定程度上会

污染储层,不适用大范围应用。为了长期有效地提高气井排液效率,恢复气井生产能力,延长气井寿命,逐步形成了以连续油管作为气井生产管柱的速度管柱排液采气技术。

速度管柱排液采气技术具有可带压作业、不污染储层、经济性好、见效快的优点,国内以连续油管作为速度管柱的技术已在各油田推广应用^[3-5],卢秀德等^[6]报道了国内第一次采用 50.8 mm 连续油管在 114.3 mm 生产油管内作速度管柱实例,排水采气效果明显。刘智恪等^[7]报道了 2018 年长庆油田开展 50.8 mm 连续采气管柱工艺试验,气井携液能力提高 30%,生产时间延长 1.5 年,完井周期降低 24 h 以内,可满足快速建产的目的。近年来,苏里格地区逐渐应用 50.8 mm 速度管柱作为生产管柱完井来提高气井携液能力和连续生产效果。但投产初期对于低压集输条件的地面管线存在井口超压、水合物堵塞等隐患^[8-10],而井下节流技术是消除隐患及低成本开发的主要手段。

针对井下节流的主要工具,孙艳萍等^[11]研制了适用于 73.02 mm 油管的 56 排水型可溶节流器,解决了井下节流器因卡定机构腐蚀抱死、胶筒老化变形计节流器上方积液严重等原因导致节流器无法打捞的问题。马广等^[12]提出了一种适用于 73.02 mm 油管的免钢丝绳投捞的全生命周期井下节流器,在排水采气后期将气嘴推落到防砂罩中,节流器可转化为柱塞坐落器进行生产。张影^[13]研制了机械式可调节流器,实现井下节流气嘴等效嘴径调节。吕维平等^[14]研发了 73 mm 机械式多功能节流器,安装于完井管柱尾端,实现带压下连续油管、节流降压生产等措施。许定江等^[15]针对西南油气田超高压含硫气藏,研制了节流压差达到 105 MPa 的新型抗硫固定式节流器。杨俊科^[16]提出了在连续油管底部安装固定式气嘴的井下节流条件下速度管柱复合排采技术,并指出目前 50.8 mm 连续油管速度管柱无配套节流器,速度管柱内投放节流器技术并不成熟,施工成功率低。综上,现有的气井节流技术主要是针对常规尺寸油管而设计的,对于 50.8 mm 速度管柱生产气井缺少与之匹配的井下节流器及相关配套的井下节流技术。

本文根据现场 50.8 mm 速度管柱生产实际需求,采用有限元分析方法进行了仿真分析,改进优化了现有节流器结构,优化了合理的外径、弹簧直径及钢体位移距离,优化了节流器坐封卡瓦结构,

配套了相应尺寸的加重杆、震击器、投捞器等工具,设计了投放、打捞节流器的管串结构和作业流程,形成了 50.8 mm 速度管柱气井可投捞式井下节流技术。

1 井下节流器结构优化

井下节流技术是将可投捞式节流器通过钢丝作业方式安装于速度管柱的适当位置,依靠节流器气嘴实现井下的节流降压^[17-20]。天然气通过节流器气嘴出口处后温度会降低,由于节流器是在井内深处,再利用地热对节流后的天然气加热,使得节流后气体温度高于水合物形成的初始温度,这样在井筒内、井口和集输管线便不会形成水合物堵塞,也能降低地面集输管线压力,实现连续稳定生产。

1.1 结构优化设计

依据 50.8 mm (壁厚 4.0 mm) 速度管柱的内部结构特点,采用有限元分析方法对节流器本体外径尺寸、坐封弹簧直径和刚体位移距离进行仿真分析,设计了三种方案对节流器本体的关键参数进行有限元仿真分析,方案设计见表 1。

表 1 仿真分析方案设计

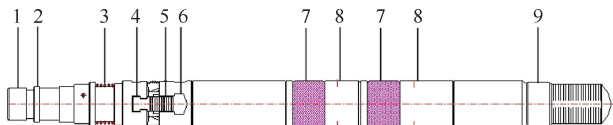
Table 1 Simulation scheme design

设计参数	外径/mm	坐封弹簧直径/mm	刚体位移距离/mm
方案一	39	2.0	42
方案二	38	2.5	42
方案三	37	3.0	44

仿真分析结果表明,方案三整体性能最优,通过在常规压差式节流器的基础上,将节流器外径缩减至 37 mm,坐封弹簧直径增加至 3 mm,刚体位移距离增加至 44 mm,用以加大弹簧对卡瓦块的推力及刚体挤压胶筒的作用距离,提高卡瓦咬合力及确保胶筒被充分挤压膨胀,可以有效提高节流器本体的密封效果。

在此基础上,持续改进优化节流器坐封卡瓦结构,现场实验期间将节流器从 2 块卡瓦坐封结构改进升级为 3 块卡瓦,使节流器卡瓦受力更加均衡、坐封效果更好,有效预防节流器在连续油管中上窜或下掉,长距离磨损胶皮导致节流器失效,使节流器在 50.8 mm 速度管柱中达到更好的密封效果。

优化改进后的节流器结构由工作筒、打捞头、卡瓦、胶筒、防沙罩等组成,具体的结构组成见图 1。



1-工作筒;2-打捞头;3-弹簧;4-上卡瓦座;5-卡瓦;6-下卡瓦座;
7-胶筒;8-刚体;9-防砂罩。

图1 节流器密封本体结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of the sealing body structure of the restrictor

1.2 主要技术参数

节流器主要技术参数为:总长 560 mm, 外径 37 mm, 内通径 10 mm, 耐压 70 MPa, 耐温 120 ℃, 打捞颈 22.5 mm。节流器密封本体实物见图 2。



图2 节流器密封本体实物图

Fig.2 Physical diagram of the valve seat sealing body

1.3 工作原理

节流器内部由活塞、活塞内管、活塞外筒形成密封空气包,其内部压力为 1 atm。当节流器在井下坐封时,利用密封空气包的内部压力与连续油管的管内压力所形成的压力差来推动活塞与活塞内管、活塞外筒做相向运动,推动钢体挤压胶筒使其膨胀,紧紧贴合在连续油管内壁。同时,卡瓦被弹簧推开卡在连续油管内壁,防止节流器坐封后因上下压力不平衡所形成的上顶力而发生位移。当节流器解封时,锁定机构解锁,卡瓦回收进下卡瓦座,活塞、活塞内管、活塞外筒整体下行,作用在胶筒上的挤压力被释放,胶筒从压缩膨胀状态恢复至原始状态。在上提工具串时拉动卡瓦使其收缩,以便于节流器打捞作业顺利完成。

1.4 室内试验

试验主要是利用室内实验平台模拟 50.8 mm 速度管柱气井可投捞式井下节流器在井下的工作状态,包含密封本体坐封、密封承压、打捞等状况,检验其能否满足现场工况要求。

1.4.1 试验内容

(1)密封本体坐封载荷试验,测试密封本体在 6 MPa 管内压力下,能否压涨胶筒密封油管与工具间环空,分别模拟 6 MPa 与 15 MPa 两种井内压力下胶筒的压涨程度。

(2)测试本体卡瓦是否满足设计要求,上部环空承压测试时密封本体无明显位移。

(3)测试节流器上部环空承压性能是否满足设

计要求。

(4)测试节流器打捞性能,承压测试后密封本体是否能顺利打捞。

1.4.2 试验器材级介质

本次室内试验主要的试验介质为清水,利用室内实验平台模拟 50.8 mm 速度管柱气井可投捞式井下节流器在井下的工作状态,试验所需器材见表 2。

表2 试验器材数据表

Table 2 Data sheet of test equipment

序号	名称	规格型号	数量/长度
1	打压设备	BHDC-300-150	2套
2	配套油管及盲堵	50.8 mm	3.0 m
3	震击器		1套
4	打捞器		1套
5	管钳	120 cm 管钳	2把
6	活动扳手	20 cm 活动扳手	1把
7	游标卡尺	0~200 mm	1把
8	钢板尺	0~600 mm	1把

1.4.3 试验过程

(1)试压管路组装,将密封本体整体放入试压管中,用钢板尺计量密封本体底部距试压管端口距离,记录测量距离(实测距离为 328 mm)。测量完毕后将试压管两端密封。试验管路组装见图 3。



图3 试验管路组装图

Fig.3 Assembly diagram of test pipeline

(2)密封本体坐封,对试压管线内部注压到 6 MPa,利用密封本体内部与外部压力差,压涨胶筒完成坐封,坐封完成后,再次测量工具底部距试压管端口距离,测量距离为 342 mm,既 6 MPa 坐封压力,胶筒压缩距离 14 mm。

(3)再次封闭试压管两端,进行注压,注压到 15 MPa,并再次测量工具底部距试压管端口距离,实测距离为 344 mm,既 15 MPa 坐封压力,胶筒压缩距离为 16 mm。

(4)密封承压试压,对密封承压试压装置进行阶段性注压,5 MPa 稳压 5 min,10 MPa 稳压 5 min,20 MPa 稳压 5 min,35 MPa 稳压 15 min,工具整体无位移,无泄漏。

(5)节流器打捞检测,将震击器和打捞器组装成打捞工具串,在人力的作用下,将节流器密封本体从试压管线中打捞出来。打捞出节流器密封本体实物见图 4。



图 4 打捞出节流器密封本体实物图

Fig. 4 Physical image of the sealing body of the throttle valve that was retrieved

2 可投捞式井下节流工具串设计

将绳帽、加重杆、震击器、投捞器、节流器等工具用钢丝下入连续油管速度管柱内预定位置,坐封后起出节流器以上工具串,实现井下节流。

2.1 工具串结构设计

可投捞式井下节流工具串结构设计如图 5 所示,从上到下依次为:绳帽+加重杆+万向节+加重杆+万向节+加重杆+震击器+投捞器+节流器。

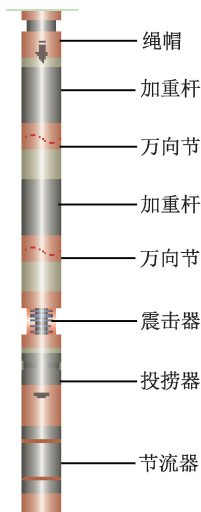


图 5 可投捞式井下节流工具串结构示意图

Fig. 5 Schematic diagram of the structure of the retrievable downhole throttling tool string

2.2 工具串部件主要功能

(1)绳帽。上端带有 90°锥端打捞颈,下端具有内螺纹,可以连接钢丝和井下工具串。

(2)加重杆。用于克服盘根的摩擦力和井内压力产生的上顶力使钢丝作业工具能够到达井下一定的深度,并依靠自身重量可以施加向上或向下的力完成井下控制工具的投捞。

(3)万向节。用于给井下节流工具串提供弯曲,调节工具串与连续油管倾斜方向一致,保证钢丝作业正常进行。

(4)震击器。用于在打捞井下装置而需要较强的作用力时提供远大于钢丝拉力的震击力,或在井下装置的投捞过程中剪断销钉以完成作业。

(5)投捞器。用于投放或打捞带有外打捞颈的工具或仪器的一种投捞工具,通过向上或向下震击实现脱手。

2.3 作业流程

2.3.1 节流器投放

(1)通井。选用直径稍小于连续油管内径的通井规进行通井作业,清除管内蜡、锈垢等杂质,通井深度在节流器投放深度以下 50 m,并在节流器坐封位置上下 20 m 反复通井三次,保证井下节流工具串顺利入井。

(2)工具串投放。工具串连接完成后放入防喷管,关闭泄压阀门,缓慢打开试井阀门,防止管内气体冲击造成工具损坏或者节流器提前坐封。工具串下放速度控制在 80 m/min 以内。

(3)节流器坐封。记录好工具串正常下放时的张力,坐封操作时,先将下放速度调整至 120 m/min,然后进行刹车,依靠惯性产生的震击使节流器和投捞器分离。节流器靠内部活塞位移将胶筒挤压膨胀,坐封在连续油管内壁。此时再缓慢下放,读取张力比正常下放速度时的张力小 50 kg 以上时,可判断节流器坐封完好。

(4)工具串回收。井下节流器坐封后,先缓慢上提工具串,离开节流器坐封位置 30 m 后方可加速。上提至井口后,通过试关清蜡阀门等方式确认工具串完全提至防喷管内方可完全关井泄压,待泄压后取出投送工具串,观察工具串完整无损坏,表明节流器投放过程完成,反之需要分析或打捞后重新进行投放作业。

2.3.2 节流器打捞

(1)通井。在进行打捞作业时,首先确保节流

器的上下压力平衡,然后选用直径稍小于连续油管
内径的通井规(一般为 38 mm)进行通井作业,清除
管内蜡、锈垢等杂质,通井至遇阻位置,记录该深度。
通井目的:一是为了保证打捞工具串顺利入
井;二是为了探明井内节流器目前的位置,为下步
工作提供指导。

(2)打铅印。选用直径 38 mm 的铅印进行打铅
印作业,工具串下放至通井遇阻深度上部 20 m 处后
刹车,再缓慢上提,记录张力。记录完毕后,再以
60~80 m/min 的速度下放至遇阻,上提工具串至井
口后,起出铅印,观察铅印侧面和底部痕迹,以此判
断井内遇阻位置的情况。

(3)打捞节流器。首选同型号上击剪销的投捞
器进行打捞,抓住节流器打捞颈后,缓慢上提观察
张力的数值变化。由于节流器坐封不能移动,上提
张力比记录的张力大于 50 kg 以上即可判断抓住节
流器。最后通过震击器震击作用将节流器解封,工
具串提出井口。

3 现场应用

苏 XX 井是鄂尔多斯盆地伊陕斜坡上的一口开
发井,完钻井深 3 498.00 m,最大井斜 33.22°,最大
井斜深度 771.50 m。下入速度管柱之前因井内积
液严重,间开生产,但仍未解决本井积液严重无法
正常生产的问题。根据产能建设需要,苏 XX 井于
2024 年 3 月 20 日下入 50.8 mm 速度管柱,外径
50.8 mm 连续油管底带堵塞器下深位置 3 358.70 m。

3 月 25 日投放井下节流器,节流器坐封深度
1 800.00 m,气嘴直径 2.0 mm。施工过程见表 3。

表 3 苏 XX 井施工记录

Table 3 Construction record of well Su XX

时间	施工简述
13:30	连接通井规工具串,记录井口压力:油压 19.31 MPa,套压 19.26 MPa。
14:30	外径 38 mm 通井规通井至 3 340.00 m 无异常,在 1 800.00 m 上下 20 m 反复通井 3 次无异常。
15:20	通井规工具串起出井口。
15:30	连接井下节流器工具串,放入防喷管内,关闭泄压阀门,缓慢打开试井阀门。
15:36	利用钢丝下入工具串,初始下放速度 30 m/min,记录张力 48 kg。 在 1 790 m 处记录张力 149 kg,调整下放速度至 120 m/min,刹车,下放至 1 802 m 处张力开始减少,继续下放至 1 804 m 处张力减至 58 kg 后开始缓慢上提,上提过程中张力逐渐增大,至 1 800.00 m 张力增至 151 kg 不再增加,判断节流器坐封,坐封深度 1 800.00 m。
16:40	井口泄压,上提钢丝,起出投捞器以上工具串。

苏 XX 井速度管柱井下节流器投放作业后携液
能力显著增强,恢复持续稳定生产,日产气量达
 $1.20 \times 10^4 \text{ m}^3$,井口油压降至 2.0 MPa,满足地面集输
要求,该井作业前后的生产动态曲线见图 6。可投
捞式井下节流技术在苏里格气田 50.8 mm 速度管
柱气井应用 50 井次,投放时一次坐封成功率 95%,
作业成功率 100%,密封性能良好,打捞成功率
100%。现场应用证明,气井采用可投捞式节流器进
行井下节流后,井口压力降低至 2.2~4.0 MPa,能够
满足地面集输管线的压力要求,有效防止水合物生
成,实现快速投产,大幅提升气井产能建设效率。

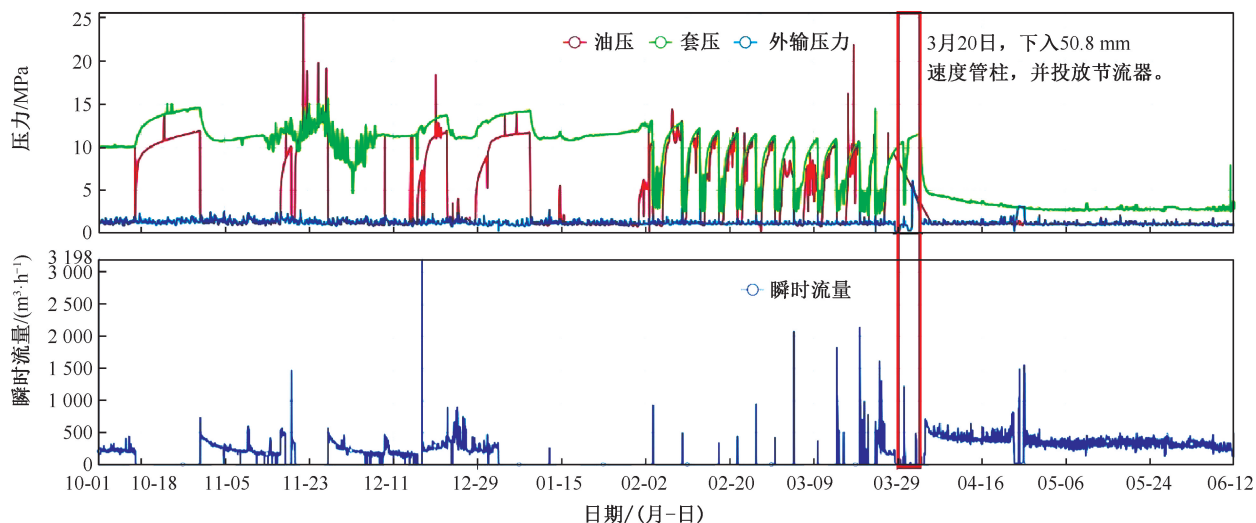


图 6 苏 XX 井生产动态曲线

Fig. 6 Production dynamic curve of well Su XX

4 结论

(1)通过改进节流器的外径、弹簧直径,钢体位移距离,优化坐封卡瓦数量,确保胶筒被充分挤压膨胀,有效提高节流器在50.8 mm速度管柱中坐封的可靠性和成功率。节流器外捞捞颈的结构使得井内节流器捞颈处不易沉积泥沙等脏物,保障了后期打捞成功率。在井下节流工具串结构设计中增加万向节,可以提升工具串在大斜度井中的施工质量。

(2)经现场苏里格气田50口井成功应用,验证了50.8 mm速度管柱可投捞式井下节流技术可有效降低井口压力及防止水合物生成,确保气井正常运行,提升产能建设效率。

(3)50.8 mm速度管柱生产气井可以参考速度管柱井下节流器坐封技术,设计速度管柱专用井下卡定器,实现长时间井下压力监测,进而评价以速度管柱作为生产管柱气井的产气能力和储层特征,为气田开发建设提供必要参数。

致谢:感谢相关单位领导和技术人员在本文写作发表期间给予的帮助和支持。

参考文献

- [1] 杨华,魏新善.鄂尔多斯盆地苏里格地区天然气勘探新进展[J].天然气工业,2007,27(12):6-11.
YANG Hua, WEI Xinshan. New progress achieved by natural gas exploration in Sulige area[J]. Natural Gas Industry,2007,27(12):6-11.
- [2] 翟中波,房伟,俞天军,等.鄂尔多斯盆地南缘X井区连续油管速度管柱工艺及其应用[J].大庆石油地质与开发,2022,41(4):82-89.
ZHAI Zhongbo, FANG Wei, YU Tianjun, et al. Technique and application of drainage gas recovery by coiled tubing velocity string in well block X in southern margin of Ordos basin[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing,2022,41(4):82-89.
- [3] 符东宇,李祖友,鲁光亮,等.基于泡沫流体管流模型的速度管柱排采工艺优化——以川西坳陷中浅层气藏为例[J].大庆石油地质与开发,2020,39(2):72-79.
FU Dongyu, LI Zuyou, LU Guangliang, et al. Optimization of the velocity-string drainage-production technology based on the foam-fluid tube-flow model: a case study on the middle-shallow gas reservoirs in western Sichuan depression[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2020,39(2):72-79.
- [4] 陈锐.速度管排液采气工艺选井条件[J].新疆石油天然气,2022,18(4):67-73.

- CHEN Rui. Well selection conditions of velocity string fluid drainage and gas production technology[J]. Xinjiang Oil & Gas,2022,18(4):67-73.
- [5] 廖迪,刘旭辉,杜宇成,等.速度管柱携气性能数值模拟[J].科学技术与工程,2021,21(26):11151-11157.
LIAO Di, LIU Xuhui, DU Yucheng, et al. Numerical simulation on gas carrying performance of velocity string[J]. Science Technology and Engineering,2021,21(26):11151-11157.
- [6] 卢秀德,刘刚,杨光炼.50.8 mm连续油管作速度管串在天然气井的应用[J].油气井测试,2010,19(3):44-45.
LU Xiude, LIU Gang, YANG Guanglian. Applying 50.8 mm coiled tubing to be speeding string in gas well[J]. Well Testing,2010,19(3):44-45.
- [7] 刘智恪,胡福平,李磊,等.一体化速度管柱在小井眼气井压后投产中的应用[J].内蒙古石油化工,2024,50(7):25-28.
LIU Zhike, HU Fuping, LI Lei, et al. The application of integrated speed pipe column in the post-completion production of small-diameter well gas wells[J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry,2024,50(7):25-28.
- [8] 伍坤一,张露露,林宇,等.四川某气田集输管线积液影响规律研究[J].西南石油大学学报(自然科学版),2024,46(1):136-146.
WU Kunyi, ZHANG Lulu, LIN Yu, et al. A study on the law of liquid accumulation influence in southern Sichuan wet gas pipeline[J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition),2024,46(1):136-146.
- [9] 温庆,张文娟,邹尼波,等.井下节流技术在西南油气田致密气开发中的应用[J].天然气勘探与开发,2023,46(3):109-116.
WEN Qing, ZHANG Wenjuan, ZOU Nibo, et al. Application of downhole throttling technology to tight gas development in Petrochina southwest oil & gasfield company[J]. Natural Gas Exploration and Development,2023,46(3):109-116.
- [10] 周舰.产水气井井下节流技术应用条件分析[J].天然气勘探与开发,2019,42(4):109-114.
ZHOU Jian. Analysis of application conditions for downhole throttling technology in water-producing gas wells[J]. Natural Gas Exploration and Development, 2019,42(4):109-114.
- [11] 孙艳萍,赵勇,王维,等.56排水型可溶节流器的研制与应用[J].石油机械,2024,52(12):81-88.
SUN Yanping, ZHAO Yong, WANG Wei, et al. Development and application of 56 drainage type soluble throttle device[J]. China Petroleum Machinery,2024,52(12):81-88.
- [12] 马广,姜辛,刘豪,等.新型井下节流器的性能分析[J].机电工程技术,2021,50(1):131-134.
MA Guang, JIANG Xin, LIU Hao, et al. Performance analysis of a new type of underground throttler[J].

- Mechanical & Electrical Engineering Technology, 2021, 50 (1): 131-134.
- [13] 张影. 气井井下可调节流器的设计及应用[J]. 采油工程, 2023 (2): 60-63.
ZHANG Ying. Design and Application of downhole adjustable chock in gas well[J]. Oil Production Engineering, 2023 (2): 60-63.
- [14] 吕维平, 刘家炜, 尹俊禄, 等. 多功能井下节流器研制及在长庆致密气井的应用[J]. 钻采工艺, 2022, 45 (2): 100-105.
LYU Weiping, LIU Jiawei, YIN Junlu, et al. Development and application of multifunctional downhole throttle in Changqing tight gas wells[J]. Drilling and Production Technology, 2022, 45 (2): 100-105.
- [15] 许定江, 江源, 杨云山, 等. 105 MPa 抗硫井下节流器研制及数值模拟实验[J]. 钻采工艺, 2021, 44 (4): 81-85.
XU Dingjiang, JING Yuan, YANG Yunshan, et al. Lab experiment and numerical modeling of sulfur-resisting downhole choke under 105 MPa differential pressure[J]. Drilling & Production Technology, 2021, 44 (4): 81-85.
- [16] 杨俊科. 井下节流条件下速度管柱复合排采技术研究[J]. 内蒙古石油化工, 2023, 49(9): 88-91.
YANG Junke. Research on the speed tubing column composite production and recovery technology under underground flowing conditions [J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2023, 49(9): 88-91.
- [17] 蒋茂琴, 杨恢旻, 冯兆阳, 等. 致密气田地面集输工艺优化与井下节流工艺方案标准化设计[J]. 化工设计通讯, 2024, 50 (3): 31-33.
JIANG Maoqin, YANG Huimin, FENG Zhaoyang, et al. Optimization of surface gathering and transportation technology in tight gas field and standardized of downhole throttling technology scheme [J]. Chemical Engineering Design Communications, 2024, 50 (3): 31-33.
- [18] 吴磊, 柴兴军, 陈春锋, 等. 井下节流积液规律研究[J]. 石油化工应用, 2023, 42 (7): 52-54.
WU Lei, CHAI Xingjun, CHEN Chunfeng, et al. Research on the rule of downhole throttling and fluid accumulation [J]. Petrochemical Industry Application, 2023, 42 (7): 52-54.
- [19] 李佳欣, 蔡家铁, 陈欣然, 等. 天然气井井下节流器研究现状及应用前景[J]. 石油矿场机械, 2022, 51 (5): 73-77.
LI Jiaxin, CAI Jiatie, CHEN Xinran, et al. Application status and prospects of downhole throttle in gas wells[J]. Oil Field Equipment, 2022, 51 (5): 73-77.
- [20] 韩此此, 安永生, 郭萍, 等. 苏里格气田节流气井积液规律分析[J]. 科学技术与工程, 2022, 22 (30): 13266-13272.
HAN Zizi, AN Yongsheng, GUO Ping, et al. Analysis on liquid loading regulation in throttling gas wells in Sulige gas field[J]. Science Technology and Engineering, 2022, 22 (30): 13266-13272.

编辑 邵振鹏

第一作者简介: 卢履盛, 男, 1973 年出生, 工程师, 本科, 2011 年毕业于重庆科技学院石油工程专业, 现主要从事致密气项目管理工作。电话: 17723309707, Email: Luls_sc@cnpc.com.cn。通信地址: 四川省成都市成华区荆翠中路 88 号, 邮政编码: 610057。