

# 东胜气田射流泵排采工艺制度优化

熊坤

中石化华北油气分公司采气二厂 内蒙古鄂尔多斯 017400

通讯作者: Email: 68555349@qq.com

项目支持: 中石化华北油气分公司科研项目“东胜气田锦30井区气藏精细描述与开发技术对策研究”(KJGLB-2022-09)

引用: 熊坤. 东胜气田射流泵排采工艺制度优化[J]. 油气井测试, 2025, 34(2): 29-35.

Cite: XIONG Kun. Optimization of jet pump drainage and gas production process system in Dongsheng gas field[J]. Well Testing, 2025, 34(2): 29-35.

**摘要** 针对东胜气田射流泵排采工艺现场应用中频繁出现射流泵泵芯堵塞及工作制度不合理的问题,通过对堵塞成因进行深入分析,明确泵芯堵塞的主要原因;系统优化柱塞泵泵压、喷嘴喉管面积比、喷嘴喉管尺寸三项参数组合,并形成制度优化方案。结果表明,管柱腐蚀物和循环液未充分净化是导致了泵芯堵塞异常增多的主要原因,且有针对性的制定了水质净化及防腐阻垢制度优化对策,泵芯堵塞频次大幅下降,4口井平均生产时率由措施前的48.77%提高至91.75%;同时,优化后的工作制度能有效提高射流泵排采效果,3口井日产量增加 $0.43 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,实现了高产液气井连续稳产增产,整体应用效果较好。该优化方法为东胜气田高含水气藏开发提供了技术支持。

**关键词** 东胜气田;射流泵;高含水;排水采气;堵塞;喷喉组合;制度优化

**中图分类号**: TE375 **文献标识码**: B **DOI**: 10.19680/j.cnki.1004-4388.2025.02.005

## Optimization of jet pump drainage and gas production process system in Dongsheng gas field

XIONG Kun

(No. 2 Gas Production Plant, SINOPEC North China Oil and Gas Company, Ordos, Inner Mongolia 017400, China)

**Abstract:** In view of the frequent problems of pump core blockage and unreasonable working system of jet pumps in the on-site application of jet pump drainage and production process in Dongsheng gas field, through in-depth analysis of the causes of blockage, the main reasons for pump core blockage are clarified; The system optimizes the combination of three parameters, namely the pump pressure of the plunger pump, the area ratio of the nozzle to the throat, and the size of the nozzle to the throat, and forms a system optimization plan. The results show that the corrosion products of the pipe column and the insufficient purification of the circulating liquid are the main reasons for the abnormal increase in pump core blockages. Moreover, targeted optimization countermeasures for water quality purification and anti-corrosion and scale prevention systems have been formulated. The frequency of pump core blockages has decreased significantly, and the average production time rate of the four wells has increased from 48.77% before the measures to 91.75%. Meanwhile, the optimized working system can effectively improve the drainage and production effect of the jet pump. The daily gas production of the three wells increased by  $0.43 \times 10^4 \text{ m}^3$ , achieving continuous stable and increased production of high-yield liquid and gas wells. The overall application effect is good. This optimization method provides technical support for the development of high-water-cut gas reservoirs in the Dongsheng gas field.

**Keywords:** Dongsheng gas field; jet pump; high water content; drainage and gas extraction; blockage; nozzle-throat combination; system optimization

鄂尔多斯盆地东胜气田具有储层埋深大、压力系数低、单井产气量低、液气比高及产出液含凝析油、含固相颗粒、腐蚀性强等复杂工况的特征<sup>[1-3]</sup>。平均单井日产气 $1.0 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ ,平均水气比 $8.6 \text{ m}^3/10^4 \text{ m}^3$ ,为盘活产水量 $20 \sim 50 \text{ m}^3/\text{d}$ 气井的产能,于2021年在东胜气田开始引入井下无电缆、无可动部件、排液排砂能力强的射流泵排采工艺,有效解决了泵芯频繁堵塞及工艺效果不达预期的

现场难题<sup>[4-5]</sup>。

射流泵具有结构简单,井下无运动部件,安装和维护难度小,运行安全可靠且运行费用低廉等优点<sup>[6-7]</sup>。其工作原理和结构也决定了其可携砂生产,但是射流泵在工作中也暴露出一些不足,主要表现为:

- (1) 泵芯易结垢出现卡泵芯情况。
- (2) 气液混合过程中,能量利用率低且损失严

重,导致射流混合效率低,制约其在东胜气田的实际推广应用。

针对射流泵卡泵问题,本文深入开展堵塞原因分析,明确了堵塞物主要成分,及造成泵芯频繁堵塞的主要原因。对于应用效果差问题,现有研究大部分集中在喷嘴距、喉管与喷嘴面积比、扩散角和喉管长径比上。本文在已有研究成果基础上<sup>[8-9]</sup>,明确柱塞泵泵压、喷嘴喉管面积比、喷嘴喉管尺寸,控制着射流泵排水采气能力,通过优化三类参数组合,形成制度优化三认识,有效的提升了气井生产时率、产气量、产水量。

## 1 工艺制度优化

2022年后开始射流泵泵芯频繁堵塞,其中8口井堵塞频率高,累计关井124 d,平均堵塞间隔20 d,导致气井生产时率低,产能无法充分释放。通过检修堵塞位置主要集中在喷嘴前滤杯及喷嘴位置,造成产量下降,注入压力升高无法正常运行,需要起泵芯处理井筒。鉴于此,有必要对频繁出现的泵芯堵塞情况进行深入分析,并针对性提出工艺制度优化方法<sup>[10-12]</sup>,以保障气井稳定生产。

### 1.1 堵塞物分析

现场对A、B、C、D井四口堵塞频繁井在滤杯与柱塞泵入口处的堵塞物进行取样分析(见图1、图2),可以看出泵芯堵塞主要物质为腐蚀产物,同时在柱塞泵入口处可见黏土、结垢物质堵塞。

(1)从滤杯取样堵塞物主要为黑色、褐色片状物,均能用磁铁吸附,分析腐蚀产物是泵芯堵塞的主要物质。

(2)在柱塞泵入口处对动力液取样,悬浮物未见明显大颗粒状物质,主要为泥质物质,部分井为红褐色(类似铁锈),同时存在磁铁吸附现象。

(3)通过单井生产跟踪,气井初期一般为结垢物质堵塞,后期逐渐出现腐蚀产物堵塞,以A井为例,投产24 d开始出现黏土物质堵塞,其主要成分为 $\text{SiO}_2$ ,占比75.0%,而生产300 d后逐步出现腐蚀物堵塞。

综合分析,堵塞物主要为地层产出物+腐蚀产物,且初期主要出现结垢物堵塞,后期开始逐渐出现腐蚀产物堵塞。

### 1.2 堵塞原因分析

通过对比泵芯频繁堵塞气井与基本未发生堵塞气井的生产特征差异,堵塞频繁气井存在以下共

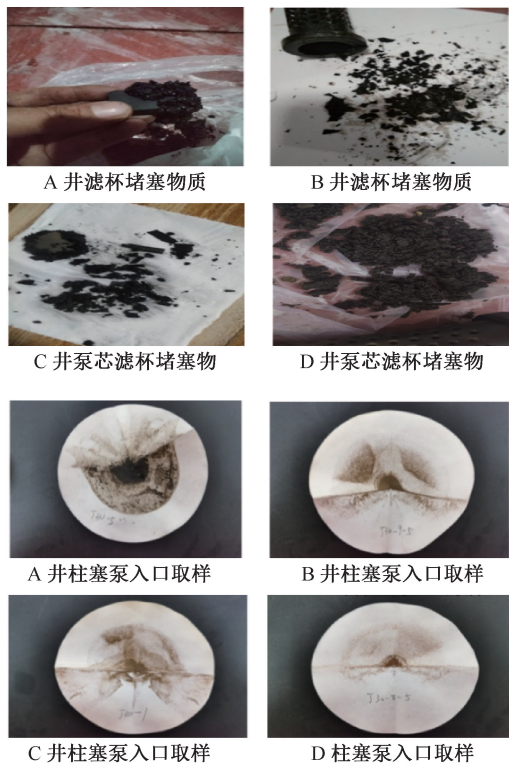


图1 四口井分别在滤杯处及柱塞泵入口处堵塞物照片  
Fig. 1 Photos of blockages at the filter bowl and plunger pump inlet in four gas wells respectively



图2 A井投运后不同阶段堵塞物质分析  
Fig. 2 Analysis of blockage substances at different stages after the operation of well A

同特征:

#### 1.2.1 腐蚀因素

通过东胜气田腐蚀机理研究, $\text{O}_2$ 分压是腐蚀的主要影响因素(见图3):

(1)对腐蚀产物XRD分析显示:外壁面主要为 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,判断注入氮气中残余 $\text{O}_2$ 导致外壁面腐蚀。

(2)通过高温高压动态腐蚀速率测试,腐蚀速率随温度的增大而 $\text{O}_2$ 分压的升高而快速增加,氧分压达到0.3 MPa后,腐蚀速率增大的幅度略有变

缓,并随氧分压的继续升高呈线性增加。

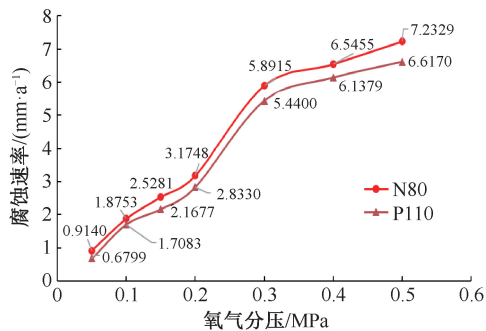


图3 氧分压对 N80/P110 钢腐蚀速率

Fig. 3 The effect of oxygen partial pressure on the corrosion rate of N80/P110 steel

而造成 O<sub>2</sub> 腐蚀的主要原因是气井因低压高产水无法自主携液生产,部分气井需通过频繁制氮气举辅助排液,导致气举井井筒氧聚集(见图4),目前东胜气田现有制氮气举车氮气纯度约 95%(O<sub>2</sub> 浓度达到 5%左右)。

经过梳理,目前 4 口堵塞泵芯频繁气举井均为单管射流泵(气、地层水、动力液混合经大环空排出),其中 3 口井前期存在频繁气举情况,提原管柱作业中记录显示 3 口频繁气举井存在严重的油管外壁腐蚀,与东胜气田制氮气举腐蚀环空管材机理相符,分析认为套管内壁腐蚀物被单管射流泵带至地面水罐,是泵芯堵塞物质来源。

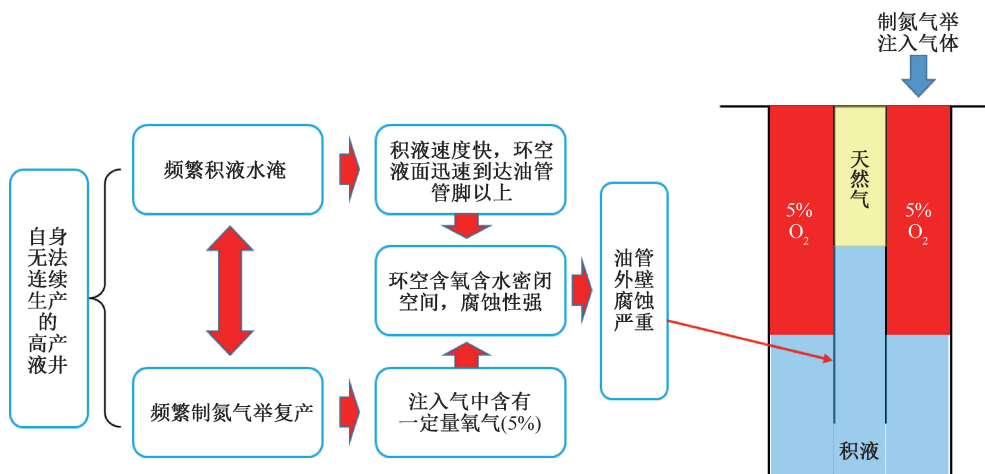


图4 制氮气举腐蚀油套环空管材机理

Fig. 4 The mechanism of nitrogen gas production corroding the oil sleeve annular pipe

### 1.2.2 循环液未充分净化

改造前地面流程污水罐均为 15 m<sup>3</sup>,容积小,无法实现产出液的充分沉降,同时低压过滤器过滤效果不理想,入井动力液悬浮物质多,分析认为套管腐蚀产物碎屑未充分沉降,被携带至井内逐渐聚集,造成泵芯堵塞<sup>[13]</sup>。

针对此问题进行地面流程改造,对原 15 m<sup>3</sup> 高架污水罐、低压过滤器基础,更换为 2 具 50 m<sup>3</sup> 污水沉降罐,混合液先进 50 m<sup>3</sup> 高架罐后再进 50 m<sup>3</sup> 缓存罐(内部结构具备降低溶解氧能力),柱塞泵从 50 m<sup>3</sup> 缓存罐中下部取水,经两级沉降尽可能降低悬浮物含量后,进入柱塞泵(见图5)。

通过对比两种射流泵井地面流程的差异,主要表现为循环液净化处理程度不同,导致循环液的净化程度也明显不一样。

改造流程后实现双罐逐级沉降,并增加了循环液的沉降时间,同时,在沉降罐内各加装 1 m 隔板将

沉降罐分为 4 个单元后,循环液经过双级沉降后大幅提升了沉降效率,循环液明显变清澈且无杂质。

鉴于以上对比分析,结合堵塞物分析的结果,分析认为造成泵芯堵塞主要为:

(1) 套管腐蚀产物及细黏土未充分沉降,在滤杯位置造成堵塞。

(2) 反循环洗井、起泵芯过程套管腐蚀产物循环至油管,正循环洗井不彻底,造成杂质堵塞。

(3) 通过沉降系统的升级改造可有效沉降产出液中的腐蚀产物及黏土、结垢类物质,有效净化循环入井液,降低卡泵芯风险。

### 1.3 防腐阻垢措施

采取“药剂+循环洗井”阻垢防卡技术思路,依据水质、垢样分析结果,针对性加注缓蚀剂,有效腐蚀产物的生成,目前主要为同时采用高温阻垢剂、分散剂的方式降低泵芯堵塞频率<sup>[14]</sup>,经实际生产效果验证,可以起到明显降低泵芯堵塞频率作用,从

应用效果看4口频繁泵芯堵塞井堵塞次数由2~7次/3月降至基本无堵塞发生(见表1)。

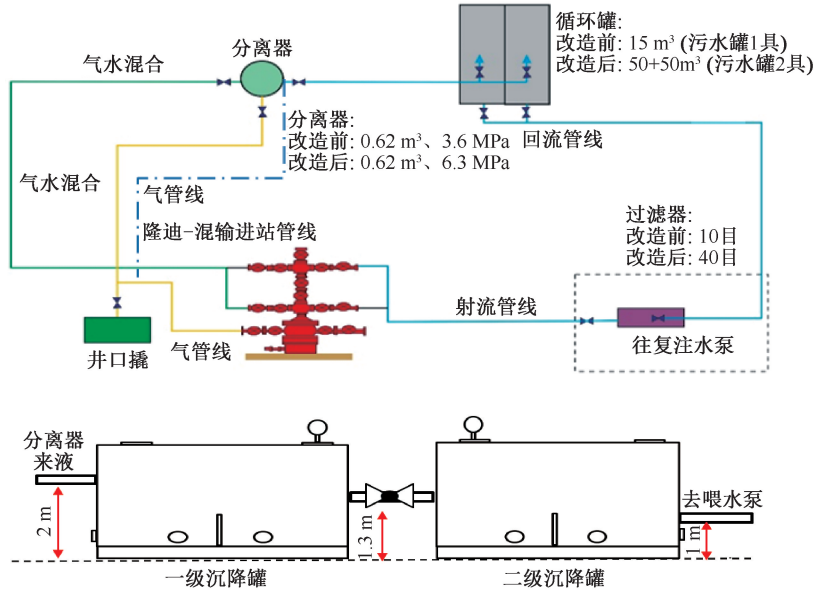


图5 射流泵地面流程示意图及污水罐双级沉降示意图

Fig. 5 Schematic diagram of ground process of jet pump and two-stage settlement of sewage tank

表1 4口井措施优化前后堵塞对比表

Table 1 Comparison table of blockage before and after optimization of measures for four wells

井号	日产水量/ (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	实际加量/ (kg·d <sup>-1</sup> )	实际加注比例/ (g·m <sup>-3</sup> )	措施前		措施后	
				生产时率/%	堵塞频率	生产时率/%	堵塞频率
A井	5.0	1.7	340	89.9	7次/3月	100	无
B井	10.0	2.5	250	60.5	2次/3月	93	1次/3月
C井	4.6	1.3	283	20.9	7次/3月	86	无
D井	22.0	7.9	359	23.8	7次/3月	88	无
合计				48.77	23次/3月	91.75	1次/3月

## 2 现场应用优化

基于气水两相无因次流量比( $M$ )计算方程,结合生产实践,形成制度优化三点认识:

(1)射流泵工艺井产气量、产水量与地面柱塞泵泵压正相关,泵压越高,排量越高,对应的产气量、产水量越高(见图6、表2),同时考虑到采气树耐压等级及柱塞泵性能,推荐注入压力维持在26~28 MPa。

(2) $M < 0.25$ 时,喷喉面积比( $R$ )越大,吸入口压力越小,有利于提升气井产量(见图7、表3)。

(3) $M > 0.25$ 时,喷喉面积比( $R$ )越小,吸入口压力越小,有利于提升气井产量(见图8、表4)。

结合制度优化三点认识,先后对A、C、D三口井参数进行优化调整试验(见表5),日产气量由 $0.78 \times 10^4 \text{ m}^3$ 上升至 $1.2 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,日产水量由 $31.6 \text{ m}^3$ 上升至 $57 \text{ m}^3$ 。

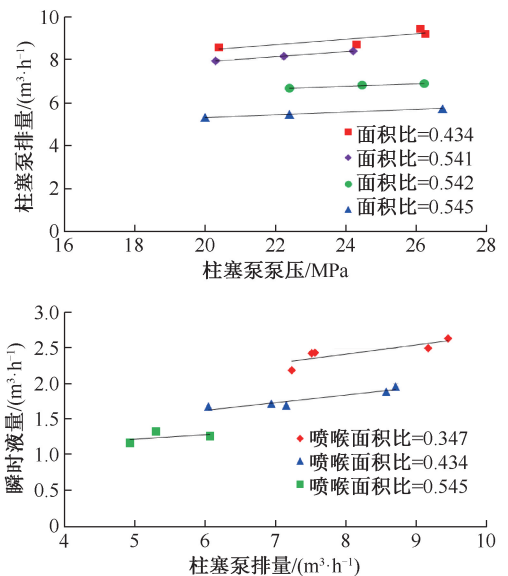


图6 柱塞泵泵压与排量、柱塞泵排量与瞬时产量关系  
Fig. 6 The relationship between plunger pump pressure and displacement, plunger pump displacement and instantaneous production

表 2 柱塞泵泵压与排量、柱塞泵排量与瞬时产量关系表

Table 2 The relationship between plunger pump pressure and displacement, plunger pump displacement and instantaneous production

序号	喷喉面积比	喷喉组合 /mm	流量比	柱塞泵吸入压力/MPa	柱塞泵注入压力/MPa	动力液排量 /( $m^3 \cdot h^{-1}$ )	日产气 / $m^3$
1			0.210	4.7	26.1	9.4	6 642
2			0.231	5.4	26.3	9.187	6 741
3	0.434	3.59/5.45	0.272	9.2	24.3	8.7	7 003
4			0.209	10.4	20.4	8.6	6 832
5			0.185	1.5	24.2	8.4	5 698
6	0.541	3.59/4.88	0.186	4.2	22.2	8.16	5 544
7			0.175	5.6	20.3	7.94	4 443
8			0.205	0.6	26.2	6.88	5 599
9	0.542	3.21/4.36	0.198	2.0	24.5	6.82	5 404
10			0.219	6.5	22.4	6.66	5 237
11			0.276	7.0	26.7	5.72	4 027
12	0.545	3.21/4.36	0.282	11.3	22.4	5.45	4 637
13			0.279	13.2	20.0	5.3	5 026

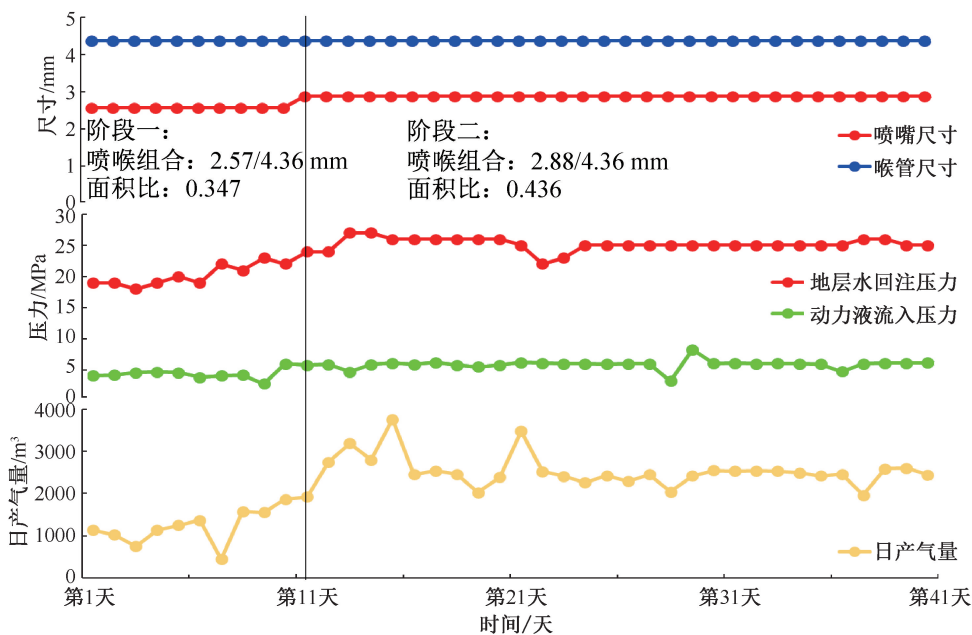


图 7 A 井调整制度前后生产动态曲线

Fig. 7 Production dynamic curve of well A before and after adjusting the system

表 3 A 井生产制度优化前后生产情况对比表

Table 3 Comparison table of production situation before and after system optimization of well A

阶段	喷喉面积比	喷喉组合 /mm	运行天数 /d	柱塞泵注入压力/MPa	柱塞泵排量 /( $m^3 \cdot h^{-1}$ )	生产状况	日产气 / $m^3$	日产水 / $m^3$
一	0.347	2.57/4.36	15	22	4.0	稳定生产	1 340	5
二	0.436	2.88/4.36	26	24	5.5	稳定生产	3 850	18

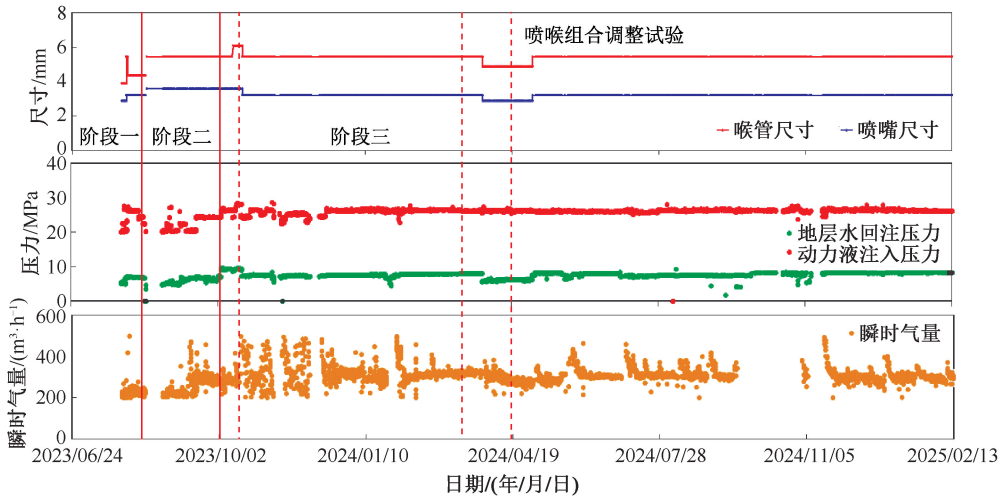


图8 D井调整制度前后生产动态曲线

Fig. 8 Production dynamic curve of well D before and after adjusting the system

表4 D井生产制度优化前后生产情况对比表

Table 4 Comparison table of production situation before and after system optimization of well D

阶段	喷喉面积比	喷喉组合/mm	运行天数/d	柱塞泵注入压力/MPa	生产状态	日产气/ $\text{m}^3$	日产水/ $\text{m}^3$
一	0.545	2.88/3.9	5	19~27	稳定生产	5 040	22
		3.21/4.36	13	22~27	稳定生产	5 400	20
		3.59/4.88	16	20~24	稳定生产	5 280	20
二	0.434	3.59/5.45	32	20~26	波动	6 912	34
		3.59/6.09	6	24~28	周期停喷	5 091	11.1
三	0.347	3.21/5.45	196	24~26	前期波动后期稳定	6 170	21
		2.88/4.88	45	26.2	稳定生产	6 730	23

表5 三口井参数优化前后效果对比表

Table 5 Comparison table of effects before and after parameter optimization of three wells

序号	井号	优化前生产情况					优化后生产情况					日增气/ $\text{m}^3$	是否有效
		喷喉组合/mm	泵注入压力/MPa	动力液排量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$	日产气/ $\text{m}^3$	日产水/ $\text{m}^3$	喷喉组合/mm	泵注入压力/MPa	动力液排量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$	日产气/ $\text{m}^3$	日产水/ $\text{m}^3$		
1	A	2.57/4.36	22	4.0	1 340	5.0	2.88/4.36	24.0	5.5	3 850	18	2 510	有效
2	C	3.21/5.45	25	6.0	1 417	4.6	3.59/6.09	21.5	7.1	1 864	16	447	有效
3	D	2.88/3.9	19~27	5.3	5 040	22.0	2.88/4.88	26.2	6.1	6 370	23	1 330	有效
合计					7 797	31.6				12 084	57	4 287	

### 3 结论

(1) 针对泵芯频繁堵塞井的取样化验分析,堵塞物主要成分为腐蚀产物+地层产出物。

(2) 造成泵芯频繁堵塞的原因为:①套管腐蚀产物及细黏土未充分沉降,在滤杯位置造成堵塞;②反循环洗井、起泵芯过程套管腐蚀产物循环至油管内,正循环洗井不彻底,造成杂质堵塞。

(3) 通过水质净化措施升级+防腐阻垢制度优化,泵芯堵塞频次大幅下降,生产时率提高

至91.75%。

(4) 总结射流泵工艺生产制度优化原则,明确柱塞泵泵压、喷喉管面积比、喷喉管尺寸,控制着射流泵排水采气能力,通过优化三类参数组合,先后对3口井进行参数优化,日产气提高 $0.43 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,日产水提高 $25.4 \text{ m}^3$ 。

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、张培、蒋文才、周瑞立、杨俊科、赵润冬、梅哲等人在论文修改、现场试验与应用方面做出的贡献。

## 参考文献

- [1] 郭瑞祥,向欣,刘雄辉,等.射流泵在苏里格气田的应用[J].中国石油和化工标准与质量,2020(11):104-105.  
GUO Ruixiang, XIANG Xin, LIU Xionghui, et al. Application of jet pump in Sulige gas field[J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2020(11):104-105.
- [2] 冯展.射流泵在延川南煤层气田排采中的应用[J].化工设计通讯,2020,46(7):37-39.  
FENG Zhan. Application of jet pump in the drainage and extraction of Yanchuan south coalbed gas field[J]. Chemical Engineering Design Communications, 2020,46(7):37-39.
- [3] 韩红旭,贾建鹏,白建文,等.苏里格气田快速排液技术[J].油气井测试,2020,29(1):35-42.  
HAN Hongxu, JIA Jianpeng, BAI Jianwen, et al. Rapid drainage technology in Sulige gas field[J]. Well Testing, 2020,29(1):35-42.
- [4] 胡述明.喷射泵在低压天然气采输中的应用[J].石油矿场机械,2011,40(8):62-64.  
HU Shuming. Application of jet pumps in low pressure gas production and transportation[J]. Oil Field Equipment, 2011,40(8):62-64.
- [5] 李思颖,田伟,贾友亮,等.致密气藏排水采气实践及思考[J].石油科技论坛,2022,41(3):58-66.  
LI Siying, TIAN Wei, JIA Youliang, et al. Practice and thinking of tight gas drainage recovery[J]. Petroleum Science and Technology Forum, 2022,41(3):58-66.
- [6] 赵云斌,彭良群,孟国平,等.射流泵举升工艺在A低渗透油田开发应用研究[J].精细与专用化学品,2022,30(12):50-53.  
ZHAO Yunbin, PENG Liangqun, MENG Guoping, et al. Application of jet pump lifting technology in a low permeability oilfield[J]. Fine and Specialty Chemicals, 2022,30(12):50-53.
- [7] 孙妍.喷射泵性能计算及防汽蚀装置性能研究[D].大连:大连理工大学,2011:7-11.  
SUN Yan. The performance calculation of jet pump and research on the performance of a cavitation-prevent device[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2011:7-11.
- [8] 王小兵,屈平亮,苏宏益.基于喉嘴距的液固射流泵泵效数值分析[J].油气田地面工程,2019,38(8):7-12.  
WANG Xiaobing, QU Pingliang, SU Hongyi, et al. Pump efficiency numerical analysis of liquid-solid jet pump based on throat mouth distance[J]. Oil-Gas Field Surface Engineering, 2019,38(8):7-12.
- [9] 梁爱国,刘景植,龙新平,等.射流泵内流动的数值模拟及喉管优化[J].水泵技术,2003(1):3-6.  
LIANG Aiguo, LIU Jingzhi, LONG Xinping, et al. Numerical simulation and throat optimization of flow inside jet pump[J]. Pump Technology, 2003(1):3-6.
- [10] 朱劲木,梁爱国,龙新平.射流泵性能的数值计算[J].武汉大学学报(工学版),2002(6):7-10.  
ZHU Jinmu, LIANG Aiguo, LONG Xinping. Numerical calculation of performances of jet pump[J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2002(06):7-10.
- [11] 陈文徽,韩歧清,李少甫,等.浅谈射流泵内部流场数值模拟研究现状[J].化工设计通讯,2016(6):88.  
CHEN Wenhui, HAN Qiqing, LI Shaofu, et al. Status of jet pump internal numerical simulation study[J]. Chemical Engineering Design Communications, 2016(6):88.
- [12] 梁新玉,张乃禄,姚景超,等.射流泵智能采油控制系统的研发与应用[J].石油工业技术监督,2022,38(1):17-20.  
LIANG Xinyu, ZHANG Nailu, YAO Jingchao, et al. Development and application of intelligent control system for jet pump oil production[J]. Technology Supervision in Petroleum Industry, 2022,38(1):17-20.
- [13] 赵群,王红岩,李景明,刘洪林.快速排采对低渗透煤层气井产能伤害的机理研究[J].山东科技大学学报(自然科学版),2008(3):27-31.  
ZHAO Qun, WANG Hongyan, LI Jingming, et al. Study on mechanism of harm to CBM well capability in low permeability seam with quick drainage method[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology(Natural Science), 2008(3):27-31.
- [14] 杨雪龙,龙新平,徐茂森,等.喷嘴位置对新型环形射流泵性能的影响[J].排灌机械工程学报,2014,32(7):563-566.  
YANG Xuelong, LONG Xinping, XU Maosen, et al. Effects of nozzle location on new type annular jet pump performance[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2014,32(7):563-566.

编辑 邵振鹏

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,现主要从事采气管理及气田开发技术工作。电话:13880449576,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。