

超高压气井井下节流技术应用和 设计方法

于洋 王威林 彭杨 谭昊 董宗豪 周玮

中国石油西南油气田公司工程技术研究院, 四川 成都 610017

摘要: 井下节流技术是利用井下节流器防止水合物生成的采气工艺技术。目前,超高压气井多采用地面井口加热、多级节流的集输工艺,存在地面节流工艺流程复杂、人员操作不便等问题,现有的井下节流器最大节流压差 70 MPa,限制了超高压气井的应用。针对上述问题,提出井下+地面双级节流和井下双级节流两种方案。以川渝地区某超高压气井为例,通过建立模型,进行双级节流方案的可行性论证,研究表明:1)采用井下+地面双级节流,低配产时,地面节流后温度低于地面水合物生成温度,地面还需配备水套炉,高配产时,地面节流后温度高于地面水合物生成温度,地面不需要额外配备水套炉;2)井下安装两个节流油嘴,计算节流后温度高于水合物生成温度,确保不会生成水合物,井下双级节流方案可行;3)通过合理设计,井下两个节流油嘴尺寸的差异不会导致其中一个节流油嘴失效,可以达到井下双级节流的目。研究成果可为超高压气井井下节流技术的现场应用提供依据。

关键词: 超高压;井下节流;双级;水合物;压降;温降

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2020.06.013

Application and Design Method of Downhole Throttling Technology in Ultra-High Pressure Gas Wells

Yu Yang, Wang Weilin, Peng Yang, Tan Hao, Dong Zonghao, Zhou Wei

Engineering Technology Research Institute of PetroChina Southwest Oil and Gas Field Company, Chengdu, Sichuan, 610017, China

Abstract: Downhole throttling technology is a gas production technology that uses downhole throttler to prevent hydrate formation. At present, surface wellhead heating and multi-stage throttling gathering and transportation technology are widely accepted in ultra-high pressure gas wells. Yet, there are such issues as complex surface throttling process and inconvenient operation by personnel. The maximum throttle pressure difference of the existing downhole throttler is 70 MPa, which limits the application of ultra-high pressure gas wells. To address the above problems, two schemes of Underground Plus Ground Two-Stage Throttling and Two-Stage Underground Throttling are proposed. Taking an ultra-high pressure gas well in Sichuan-Chongqing area as a case, the feasibility of two-stage throttling scheme is demonstrated by

收稿日期:2020-09-15

基金项目:“十三五”国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”“四川盆地大型碳酸盐岩气田开发示范工程”(2016 ZX 05052)

作者简介:于洋(1990-),女,河北栾城人,工程师,硕士,主要从事采气工艺方面的研究工作。E-mail:yuyang08@petrochina.com.cn

modelling. The results show that: (1) With Underground Plus Ground Two-Stage Throttling, when the production is low, the temperature after ground throttling is lower than the surface hydrate formation temperature, and a heating device is required. At high production rates, the temperature after ground throttling is higher than the surface hydrate formation temperature, and no extra heating devices is required. (2) When two throttling nozzles are installed downhole, the calculated temperature after throttling is higher than the hydrate formation temperature to ensure that no hydrate is generated in the wellbore. Therefore, the downhole two-stage throttling is feasible. (3) With optimum design, the sizing difference of two downhole throttling nozzles will not lead to the failure of another throttling nozzle. So, the target of downhole two-stage throttling can be well met. The research results can provide basis for field application of downhole throttling technology in ultra-high pressure gas wells.

Keywords: Ultra-high pressure; Downhole throttling; Two-stage; Hydrate; Pressure drop; Temperature drop

0 前言

天然气井下节流技术是将地面节流移至井下适当位置,使其在实现井筒节流降压的同时,充分利用地温对节流后的天然气进行加热,达到防止水合物生成的目的,目前已成为一种有效的天然气开采方式。与地面节流工艺相比,井下节流工艺不仅施工作业相对简单,而且大大减少了对地面水套炉的投资建设,节约了单井生产成本。井下节流技术已经在我国辽河、四川、长庆、华北和大庆等油气田得到了较为成功的应用。英国北海、墨西哥湾的多口高温高压气井已经成功采用,说明井下节流技术具有广泛的应用前景^[1-5]。

随着天然气勘探开发的深入,超高压气井越来越多,地层压力高达 130 MPa。目前的超高压气井多采用地面井口加热、多级节流的集输工艺^[6]。在生产过程中存在如下问题:井口压力高,地面节流工艺及流程复杂,存在安全隐患;每次开关井各级均需人员操作,现场生产组织及开关井操作不便;在节流过程中各级压力、流量分配不合理,当天然气的温度低于对应压力下水合物生成温度时,极易在井口、节流管汇及地面集输流程形成水合物,造成设备损坏^[7-13]。

超高压气井井下节流压差大(80~100 MPa),现有井下节流器的最大节流压差为 70 MPa,不能满足生产要求。因此开展超高压气井双级节流方案的研究尤为重要,有必要从井下节流技术的理论入手,对超高压气井双级节流方案的可实施性进行论证。

1 管流与嘴流模型

井下节流设计基于节流压降模型和节流温降模型进行设计。

1.1 节流压降模型

临界流是指流体在油嘴孔道里被加速到声速时的

流动状态。在临界状态下,油嘴下游压力变化对气井产量没有影响。相对密度为 0.6 的天然气,当节流后压力与节流前压力之比小于 0.546 时,为临界流,否则为亚临界流^[14-15]。

对于亚临界流状态,气嘴直径直接按式(1)计算:

$$d = \sqrt{\frac{q_{sc}}{0.408p_1}} \frac{\sqrt[4]{\gamma_g T_1 Z_1}}{\sqrt{\frac{k}{k-1} \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}} \quad (1)$$

式中: p_1 、 p_2 为天然气节流前、后的压力,MPa; q_{sc} 为气体体积流量, $10^4 \text{ m}^3/\text{d}$; d 为节流孔眼直径,mm; k 为气体绝热指数; T_1 为节流前温度,K; Z_1 为节流前气体的偏差系数; γ_g 为天然气相对密度。

对于临界流,气嘴直径按式(2)计算:

$$d = \sqrt{\frac{q_{max}}{0.408p_1}} \frac{\sqrt[4]{\gamma_g T_1 Z_1}}{\sqrt{\frac{k}{k-1} \left[\left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{2}{k-1}} - \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}} \right]}} \quad (2)$$

1.2 节流温降模型

当单位质量气体稳定流动时,能量守恒方程为:

$$\left(H_1 + \frac{1}{2}v_1^2 + gz_1 + q \right) - \left(H_2 + \frac{1}{2}v_2^2 + gz_2 + w_s \right) = 0 \quad (3)$$

式中: H_1 、 H_2 为节流前后气体比焓,J/kg; v_1 、 v_2 为节流前后气体的流速,m/s; z_1 、 z_2 为节流前后的位置,m; q 为气体与周围环境的热交换,J/kg; w_s 为气体所做的轴功,J/kg; g 为重力加速度,m/s²。

2 双级节流器设计思路

双级节流因为存在两次降压降温过程,设计时需考虑以下三点:

1) 两个节流油嘴如何分配整个节流压差,首选节流压降等分的设计方案。

2) 两个节流油嘴之间的距离,可根据温度恢复度来确定两个节流油嘴之间的距离,保证节流后的温度高于对应压力条件下水合物的生成温度。

3) 两个节流油嘴尺寸相互之间的影响,考虑两个节流油嘴尺寸的差异是否会导致另一个节流油嘴失效^[16-18]。两个节流油嘴示意图见图1,两个节流油嘴深度设计步骤见图2。

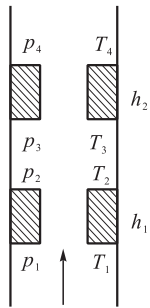


图1 两个节流油嘴示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the doubling throttle nozzles

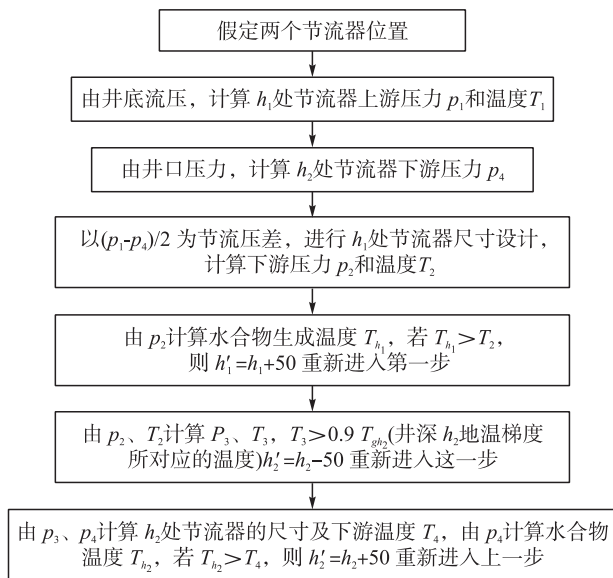


图2 两个节流油嘴深度设计步骤图

Fig. 2 In-depth design steps of the doubling throttle nozzles

3 双级节流论证

以超高压含硫气井 ST 10 井为例建立模型,气井基本参数如下:井深 7 640.88 m,地层压力 131 MPa,地层温度 157.46 °C,配产 $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,地面采气集输系统的压力约为 10 MPa。

3.1 井下+地面双级节流

采用井下节流器配以地面“安全”油嘴的做法,主要是用井下小尺寸节流器控制产量,用地面大尺寸油嘴保障场站的安全^[19-20]。节流器设计下入深度 1 800 m,井下+地面双级节流设计结果见表1,在配产 $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的条件下,井下一级节流后,地面仍有 44.5 MPa 的节流压差,导致地面节流温降较大,地面节流后温度明显低于地面水合物生成温度。于是考虑增大产气量,重新进行设计,找出“临界”产量。当产气量低于 $52 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 时,地面节流后温度仍低于地面水合物生成温度,地面须配备水套炉。当产气量高于 $52 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 时,地面节流后温度高于地面水合物生成温度,不需要额外配备水套炉。

3.2 井下双级节流

以 ST 10 井为例,配产为 $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,以两个节流器平均分配整个节流压差为原则,根据双级节流设计方法,第一级、第二级节流器位置分别安装在 2 800 m、2 400 m。两级节流器尺寸接近,确保两个节流器所承受的压差均不超过 70 MPa。从表 2 井下双级节流设计结果和图 3、图 4 井下双级节流井筒压力、温度分布图可以看出,第一级节流前后温度变化较小,第二级节流后温度降低,随着不断从地层吸收热量,井筒温度逐渐升高。两级节流后的温度均高于水合物生成温度,井筒内不会生成水合物。采用上述双级节流方案,井口温度为 27.3 °C (>地面生成水合物温度 14.3 °C),井口也不会生成水合物。因此,ST 10 井采用井下双级节流方案可行。

表1 井下+地面双级节流设计结果表

Tab. 1 Design results of underground plus ground two-stage throttling

产气量 / ($10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	井下节流 器尺寸 / mm	地面油 嘴尺寸 / mm	下入深 度 /m	井下节流 前压力 / MPa	井下节流 后压力 / MPa	地面节流 前压力 / MPa	地面节流 后压力 / MPa	地面节流 前温度 / °C	地面节流 后温度 / °C	地面生成 水合物温 度 /°C
15	3.2	5.0	1 800	122.8	60.4	54.5	10	31.9	-13.0	14.3
30	4.5	8.0	1 800	115.0	47.2	40.1	10	43.1	-2.1	14.3
52	6.0	10.9	1 800	116.3	46.4	40.1	10	55.2	13.9	14.3
60	6.5	11.5	1 800	113.9	46.1	39.9	10	63.9	18.2	14.3

表 2 井下双级节流设计结果表

Tab. 2 Two-stage underground throttling design results

节流级数	油嘴尺寸/mm	下入深度/m	节流前压力/MPa	节流后压力/MPa	节流压差/MPa	节流前温度/°C	节流后温度/°C	对应井深生成水合物温度/°C	井口温度/°C	地面生成水合物温度/°C
第一级	3.3	2 800	123.6	67.2	56.4	86.8	86.8	30.1	27.9	14.3
第二级	3.7	2 400	66.2	12.3	53.9	78.7	41.2	16.3	27.9	14.3

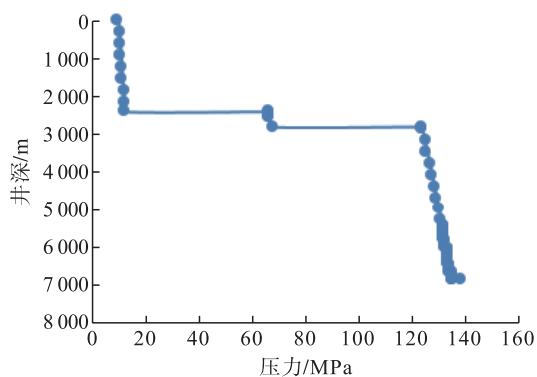


图 3 井下双级节流井筒压力分布图

Fig. 3 Pressure distribution of underground two-stage throttling downhole

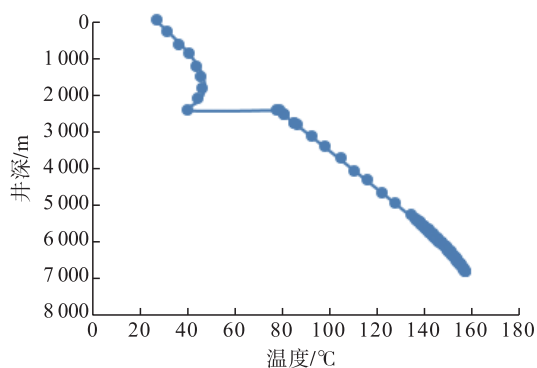


图 4 井下双级节流井筒温度分布图

Fig. 4 Temperature distribution of underground two-stage throttling downhole

4 双级节流油嘴尺寸对节流的影响

井下下入两个节流油嘴,考察两个节流油嘴尺寸的差异是否会导致其中一个节流油嘴失效。通过合理的

表 3 不同节流油嘴尺寸组合节流压降变化表(产气量 $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 第二级节流油嘴尺寸 5.5 mm)Tab. 3 Throttling pressure drop changes of different throttling nozzle size combinations (gas production = $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, second-stage throttling nozzle = 5.5 mm)

不同节流油嘴尺寸组合方式	第一级尺寸/mm	第一级压差/MPa	占节流总压降比例/(%)	第二级尺寸/mm	第二级压差/MPa	占节流总压降比例/(%)
1	5.0	25.0	48.1	5.5	27.0	51.9
2	5.5	15.5	44.9	5.5	19.0	55.1
3	6.0	11.0	28.2	5.5	18.0	71.8
4	6.5	7.5	30.6	5.5	17.0	69.4
5	7.0	5.2	24.2	5.5	16.2	75.8

设计,是否可以起到两级节流的作用。对比“下大上小”和“下小上大”两种技术方案。

考察当第二级(较浅)节流油嘴尺寸小于第一级(较深)节流油嘴尺寸,第一级(较深)节流油嘴是否还有节流作用。对比以下两种组合方式,计算不同节流油嘴尺寸组合的节流压差的变化情况。

1) 第一组产气量 $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 在第二级节流油嘴尺寸保持不变的条件下,逐步增大第一级节流油嘴尺寸。

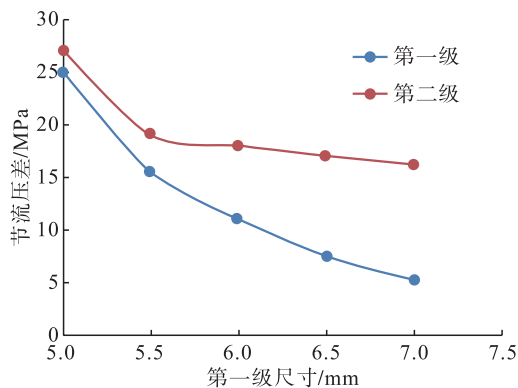
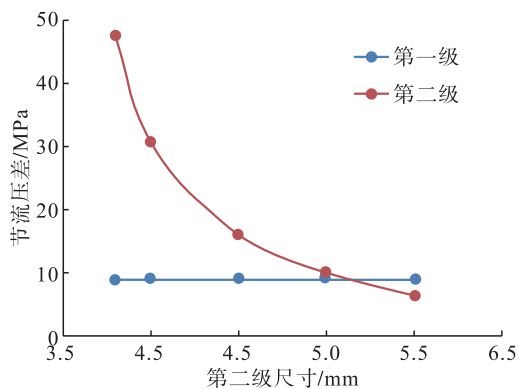
2) 第二组产气量 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 在第一级节流油嘴尺寸保持不变的条件下,逐步减小第二级节流油嘴尺寸。

表 3~4 为不同两级节流油嘴尺寸组合节流压降变化表,计算结果表明,在第二级节流油嘴尺寸小于第一级节流油嘴尺寸,第一级节流油嘴仍具有节流作用,且随第一级节流油嘴尺寸的增大,第一级节流压差降低。图 5 为节流压差变化趋势,当第一级节流油嘴尺寸保持不变的条件下,第二级节流油嘴从 5.5 mm 缩小至 3.8 mm,第一级节流压差受影响较小,保持在 9 MPa,图 6 为节流压差变化趋势。可见,第一节节流压差不受第二级节流油嘴尺寸变化的影响。

当第一级节流油嘴尺寸 5 mm,第二级节流油嘴尺寸 5.5 mm 时,即“下小上大”的节流方案,一、二级节流压降的比例接近 1:1,可确保第一级节流长期有效,且小直径节流油嘴的位置可确保气井流量顺利通过大直径的二级节流油嘴。而“下大上小”的节流方案,当第一级节流油嘴尺寸大于第二级节流油嘴尺寸 1 mm 时,随着产气量的降低,第一级节流压差占节流总压降的比例也从 30.6% 下降到 22.7%,当产量继续减低时,该级节流将会失效转为一级节流。

表4 不同节流油嘴尺寸组合节流压降变化表(产气量 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 第一级节流油嘴尺寸 5 mm)Tab.4 Throttling pressure drop changes of different throttling nozzle size combinations (gas production = $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, first-stage throttling nozzle size = 5.5 mm)

不同节流油嘴尺寸组合方式	第一级尺寸/mm	第一级压差/MPa	占节流总压降比例/(%)	第二级尺寸/mm	第二级压差/MPa	占节流总压降比例/(%)
1	5	9	58.0	5.5	6.5	42.0
2	5	9	47.3	5.0	10.0	52.7
3	5	9	36.0	4.5	16.0	64.0
4	5	9	22.7	4.0	30.5	77.3
5	5	9	15.9	3.8	47.5	84.1

图5 节流压差变化图(产气量 $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 第二级节流油嘴尺寸 5.5 mm)Fig.5 Throttling pressure difference (gas production = $15 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, second-stage throttling nozzle size = 5.5 mm)图6 节流压差变化图(产气量 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 第一级节流油嘴尺寸 5 mm)Fig.6 Throttling pressure difference (gas production = $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, first-stage throttling nozzle size = 5.5 mm)

5 结论

1) 超高压气井采用井下+地面双级节流方案, 存在一个“临界”产量, 在配产低于“临界”产量时, 在生产过程中地面会生成水合物, 需配备水套炉。在配产高于“临界”产量时, 在生产过程中地面不会生成水合物, 地面不需要额外配备水套炉。

2) 超高压气井井下双级节流方案, 井筒和井口均不会生成水合物, 井下双级节流方案可行, 这种方案可降低气井投资, 减化地面流程, 为川渝地区安全生产发挥积极作用。

3) 采用提出的设计原则和方法, 通过合理的井下节流设计, 产量较低时可采用井下双级节流, 产量较高时, 可采用井下+地面双级节流。

4) 井下安装两个节流油嘴都有节流的作用, 更推荐“下小上大”的双级节流方案, 确保气井流量顺利通过上部油嘴, 两级节流压降比接近 1:1, 两级节流油嘴的间距设计根据节流后温度应高于节流油嘴后的压力所对应的水合物生成温度为依据, 完善了井下双级节流技术方案, 为超高压气井井下节流技术现场应用提供理论依据。

参考文献:

- [1] 窦益华, 闫新, 郑杰, 等. 油气井井下节流工艺研究综述[J]. 石油化工应用, 2020, 39(2): 1-7.
Dou Yihua, Yan Xin, Zheng Jie, et al. Summary of Research on Downhole Throttling Technology of Oil and Gas Wells [J]. Petrochemical Industry Application, 2020, 39(2): 1-7.
- [2] 刘小江, 王华军, 梅明华, 等. 神木气田井下节流工艺应用优化[J]. 石油化工应用, 2016, 35(5): 91-92.
Liu Xiaojiang, Wang Huajun, Mei Minghua, et al. Application Optimization of Downhole Throttling Technology in Shenmu Gas Field [J]. Petrochemical Industry Application, 2016, 35(5): 91-92.
- [3] 周兴付, 杨功田, 李春, 等. 高压气井井下节流工艺设计方法研究[J]. 钻采工艺, 2007, 30(1): 57-59.
Zhou Xingfu, Yang Gongtian, Li Chun, et al. Research on Downhole Throttling Technology in High Pressure Gas Wells [J]. Drilling & Production Technology, 2007, 30(1): 57-59.
- [4] 朱达江, 林元华, 朱红钧, 等. 利用井下节流技术防止水合物形成[J]. 断块油气田, 2010, 17(4): 477-479.
Zhu Dajiang, Lin Yuanhua, Zhu Hongjun, et al. Preventing

- Hydrate Generation with Downhole Throttling Technique in Gas Well [J]. *Fault-Block Oil and Gas Field*, 2010, 17 (4): 477-479.
- [5] 蒋林. 井下多级节流降低高温高压气井环空带压风险的研究[D]. 成都:西南石油大学, 2016.
- Jiang Lin. Research on Downhole Multi-stage Throttling to Reduce the Annulus Pressure Risk of High Temperature and High Pressure Gas Wells [D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2016.
- [6] 刘奇林, 唐瑜, 罗召钱, 等. 川西北地区超高压含硫气井安全地面集输工艺[J]. *天然气工业*, 2017, 37(7): 101-107.
- Liu Qilin, Tang Yu, Luo Zhaoqian, et al. The Surface Gathering and Transportation Technology Suitable for Ultrahigh Pressure Sulfur Gas Wells in the Northwestern Sichuan Basin [J]. *Natural Gas Industry*, 2017, 37 (7): 101-107.
- [7] 刘永辉, 周宇驰, 王嘉, 等. 苏里格气田井下节流参数优化[J]. *长江大学学报(自科版)*, 2015, 12(14): 66-70.
- Liu Yonghui, Zhou Yuchi, Wang Jia, et al. Optimization of Downhole Choke Parameters in Sulige Gas Field [J]. *Journal of Yangtze University (Natural Science Edition)*, 2015, 12 (14): 66-70.
- [8] 雷群. 井下节流技术在长庆气田的应用[J]. *天然气工业*, 2003, 23(1): 81-83.
- Lei Qun. Application of Downhole Choking Technology in Changqing Gas Field [J]. *Natural Gas Industry*, 2003, 23 (1): 81-83.
- [9] 余江, 赵松, 何明, 等. 川中磨溪气田嘉二气藏高压井下节流工艺现场试验效果跟踪[J]. *钻采工艺*, 2006, 29(3): 58-59.
- Yu Jiang, Zhao Song, He Ming, et al. Experimental of High Pressure Downhole Throttling Technology in Moxi Reservoir of Centre Sichuan Gas Field [J]. *Drilling & Production Technology*, 2006, 29 (3): 58-59.
- [10] 余朝毅, 李川东, 雷振中, 等. 井下节流工艺技术在气田开发中的应用[J]. *钻采工艺*, 2003, 26(增刊): 52-56.
- She Chaoyi, Li Chuandong, Lei Zhenzhong, et al. Application of Subsurface Choke Technology in Chuanyu Gas Field Development [J]. *Drilling & Production Technology*, 2003, 26 (Suppl): 52-56.
- [11] 王京舰, 王一妃, 管磊磊, 等. 神木气田产水气井井下节流参数优化设计[J]. *断块油气田*, 2017, 24(1): 101-104.
- Wang Jingjian, Wang Yifei, Guan Leilei, et al. Optimal Design of Downhole Throttling Parameters for Water Produced Gas Well in Shenmu Gas Field [J]. *Fault-Block Oil and Gas Field*, 2017, 24 (1): 101-104.
- [12] 易俊, 张宝, 薛旭周, 等. 高温高压凝析气井井下节流工艺优化设计[J]. *长江大学学报(自然科学版)*, 2019, 16(7): 45-49.
- Yi Jun, Zhang Bao, Xue Xuzhou, et al. Optimization Design of Downhole Throttling Process in High Temperature and High Pressure Condensate Gas Wells [J]. *Journal of Yangtze University (Natural Science Edition)*, 2019, 16 (7): 45-49.
- [13] 何明格, 马发明, 陈艳. 智能井下节流器控制系统设计[J]. *天然气与石油*, 2013, 31(5): 82-85.
- He Mingge, Ma Faming, Chen Yan. Design of Intelligent Downhole Throttle Control System [J]. *Natural Gas and Petroleum*, 2013, 31 (5): 82-85.
- [14] 李士伦. 天然气工程[M]. 2版. 北京:石油工业出版社, 2002:132-134.
- Li Shilun. *Natural Gas Engineering* [M]. 2nd ed. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002: 132-134.
- [15] 孟祥民. 天然气气井井下节流技术应用研究[D]. 大庆:东北石油大学, 2012.
- Meng Xiangmin. Study on Downhole Throttling Technology in Natural Gas Wells [D]. Daqing: Northeast Petroleum University, 2012.
- [16] 叶长青, 刘建仪, 吴革生, 等. 气井井下双节流油嘴设计方法[J]. *天然气工业*, 2007, 27(10): 73-74.
- Ye Changqing, Liu Jianyi, Wu Gesheng, et al. Design of Downhole Double-Throttling Choke for Gas Wells [J]. *Natural Gas Industry*, 2007, 27 (10): 73-74.
- [17] 叶长青, 李大鹏, 郑丽, 等. 井下节流工艺在广安气田的应用[J]. *天然气勘探与开发*, 2013, 36(2): 64-66.
- Ye Changqing, Li Dapeng, Zheng Li, et al. Application of Downhole Throttle Technology in Guang'an Gasfield [J]. *Natural Gas Exploration and Development*, 2013, 36 (2): 64-66.
- [18] 王威林, 何轶果, 叶长青. 井下节流工艺在川渝地区的应用[J]. *石油石化节能*, 2012, 2(12): 25-27.
- Wang Weilin, He Yiguo, Ye Changqing. Application of Underground Choke Process in Chuanyu Area [J]. *P Energy Conservation in Petroleum & Petrochemical Industry*, 2012, 2 (12): 25-27.
- [19] 宋中华, 张士诚, 王腾飞, 等. 塔里木油田高压气井井下节流防治水合物技术[J]. *石油钻探技术*, 2014, 42(2): 91-96.
- Song Zhonghua, Zhang Shicheng, Wang Tengfei, et al. Downhole Throttling Technology for Gas Hydrate Prevention in Deep Gas Wells of Tarim Oilfield [J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2014, 42 (2): 91-96.
- [20] 王发清, 曹建洪, 曹献平, 等. 井下节流技术在塔里木油田的应用评价[J]. *钻采工艺*, 2017, 40(4): 106-107.
- Wang Faqing, Cao Jianhong, Cao Xianping, et al. Application of Downhole Throttling Technology in Tarim Oilfield [J]. *Drilling & Production Technology*, 2017, 40 (4): 106-107.