

致密气井下节流工艺技术应用与研究

赵丹, 杨辉, 毛珍, 唐书傲, 宗允贞

西南油气田分公司川中油气矿, 四川 遂宁

收稿日期: 2023年12月5日; 录用日期: 2024年3月18日; 发布日期: 2024年3月28日

摘要

川中金秋致密气田具有低渗透、低产能的特点, 在气田开采及集输过程中, 由于井口压力高, 井口压力与管道输压差大, 地面易形成水合物, 导致输气量减少, 出现管线堵塞现象, 严重影响气田生产的正常运行, 为此开展井下节流技术的研究与应用具有重要的实际意义。为解决此类问题, 同时为后续优化简化地面采输流程、提高开发经济效益, 本研究针对川中致密气田气井生产特征和管柱特点, 特别是致密气在生产过程中持续出砂, 且砂粒很细, 节流器的防砂工艺进行技术攻关, 成功研制2 3/8in新型活动式井下节流器及配套作业工具, 并在致密气井开展井下节流工艺现场应用20余井次, 同时持续跟踪气井生产情况, 制定合理的维护制度。结果表明, 安装了井下节流器的气井, 改为井下节流工艺生产后实现井筒节流降压, 有效避免水合物的生成, 取消地面加热装置, 优化简化地面建设和后期运行成本, 实现致密气规模效益开发。

关键词

致密气, 水合物, 井下节流, 效益开发

Application and Research of Downhole Throttling Technology for Tight Gas Wells

Dan Zhao, Hui Yang, Zhen Mao, Shu'ao Tang, Yunzhen Zong

Central Sichuan Oil and Gas Distract of Petrochina Southwest Oil and Gas Field Company, Suining Sichuan

Received: Dec. 5th, 2023; accepted: Mar. 18th, 2024; published: Mar. 28th, 2024

Abstract

The Jinqiu tight gas field in central Sichuan is characterized by low permeability and low productivity. In the process of gas field exploitation and gathering and transportation, because of high wellhead pressure and large difference between wellhead pressure and pipeline pressure, hy-

drate is easy to form on the surface, therefore, the research and application of downhole throttling technology is of great practical significance. It will lead to the decrease of gas transmission and pipeline blockage. In order to solve these problems, and to optimize and simplify the surface production and transportation process and improve the economic benefits of development, this study aims at the production characteristics and string characteristics of gas wells in Chuanzhong tight gas field, in particular, the dense gas continuously sanded out in the production process, and the sand particles were very fine, the sand control technology of the throttles was studied, and a new type of downhole throttling device of 2 3/8in was successfully developed. The downhole throttling technology has been applied more than 20 times in the field of tight gas wells, at the same time, the production situation of gas wells has been continuously followed, and a reasonable maintenance system has been formulated. The results show that the downhole throttling process can effectively reduce the pressure and reduce the formation of hydrate and cancel the surface heating device in gas wells with downhole throttling, optimizing and simplifying the ground construction and later operation costs, to achieve tight gas scale benefit development.

Keywords

Tight Gas, Hydrate, Downhole Throttling, Benefit Development

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

金秋致密气田沙溪庙组气藏, 埋深 1800~2400 m, 温度 65.12℃~72.79℃, 压力系数 0.43~1.18, 属低压~常压气藏。6、8、9 号砂组压力系数 0.72~1.17, 地层压力在 14~26 MPa 之间, 低压~常压气藏; 7 号砂组, 压力系数 0.46~0.47, 低压气藏。天然气甲烷含量 90%左右, 不含硫化氢, 低含二氧化碳 (0.016%~0.059%), 微含凝析油。在致密气开采中, 由于井口压力高, 井口压力与管道输压压差大, 地面易形成水合物, 导致输气量减少, 出现管线堵塞现象, 严重影响气田生产的正常运行[1]。井下节流工艺即是把井下油嘴及其配套工具通过绳索作业方式座放在油管中设计位置, 气井生产时, 天然气经过井下油嘴节流后, 压力、温度降低, 而降温降压后的天然气又会在井筒中充分吸收地热, 使其温度重新升高, 破坏水合物生成条件[2]。当到达井口时, 天然气温度较高, 压力较低, 地面无需再节流, 也无需水套炉加热生产即可实现水合物的有效防治。针对致密气气井研制出一种适合金秋致密气田沙溪庙组气藏的井下节流器, 通过地温对节流后的天然气加热, 使节流后气流温度高于该压力条件下的水合物形成温度, 同时降低地面管线压力, 避免水合物的生成[3]。通过井下节流技术有效降低井口及输气管线压力, 提高管线的安全系数, 改善水合物形成条件, 实现水合物的有效预防, 节约地面加热装置, 简化地面流程, 最终实现快速安全投产, 可实现无人值守, 节省人力物力成本[4]。

2. 地面集输系统现状

2.1. 地面集输方式

气藏主要采用气液混输、集中脱水脱烃模式生产(见图 1)。各节流、输送环节存在水合物形成风险, 目前主要采用地面加热, 水套炉(见图 2)或者电加热装置(见图 3), 并辅助水合物抑制剂加注、调整增压机工况降低管网压力等措施, 保障正常生产运行。

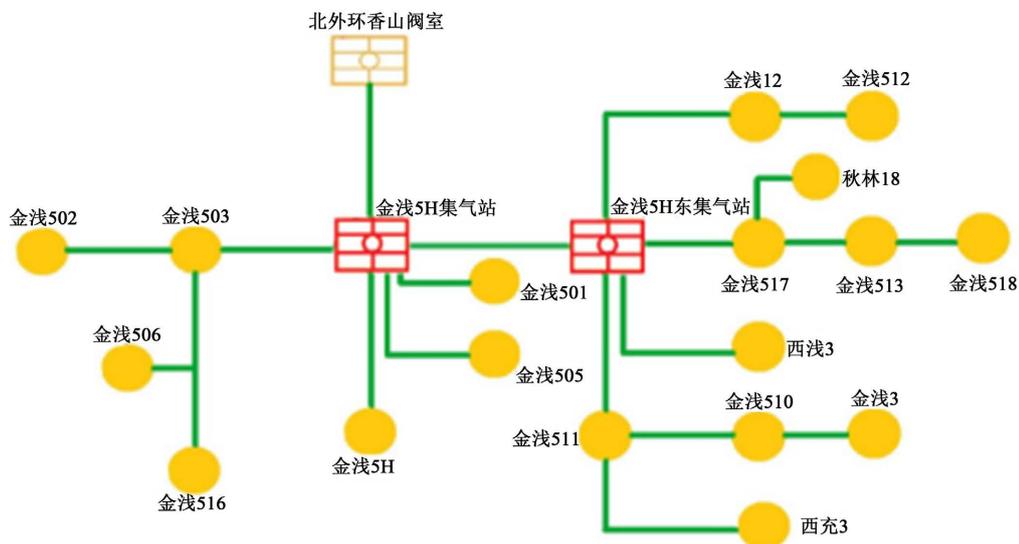


Figure 1. Structure diagram of solid bubble row device

图 1. 金浅 5H 集气站集输管网图



Figure 2. Water jacket heating furnace

图 2. 水套加热炉



Figure 3. Electric heating device

图 3. 电加热装置

2.2. 工艺局限性

为抑制水合物生成，主要使用电加热和水套炉两种加热装置。传统工艺局限性：(1) 未能有效防止水合物堵塞：致密气区块场站在冬季运行中，由于环境温度低、电加热装置功率不够，地面易出现冰堵，

特别是临时排采流程，无地面加热装置，地面冰堵更为严重，带来一系列制约生产的问题，如车配合进行解堵工作，耗时耗力；常采用两端放空解堵，外输管线中的放空气量大；冰堵未解决前，采取关井措施，影响气井产能发挥。(2) 投入及运行成本高，测算目前两种加热模式两年“设备 + 运行”费用：电加热两年费用约 98.66 万元，水套炉两年费用约 119.7 万元。(3) 管理难度大，井站人力资源紧张，日常运维管理工作较多，法有效预判是否冰堵，管理带来不确定性，置冰堵需到现场放空拖液，安排车辆转运油水，耗费大量时间、人力[5]。

3. 节流器研制

3.1. 工艺原理

井下节流工艺通过井下节流器把配产油嘴投放到一定深度的井下油管中，高温高压的天然气流体经过节流效应后压力和温度有了明显的下降，实现井筒中节流降压，同时充分利用地热能量天然气到达井口后高于水合物形成温度，有效防止了水合物的产生，从而取消井口加热装置，实现气井安全、平稳生产(见图 4)。

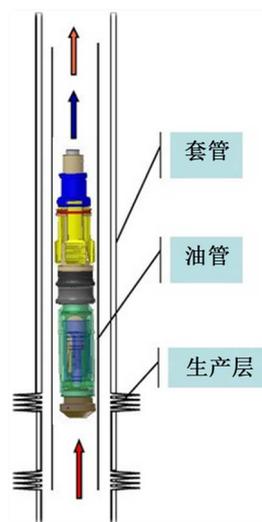


Figure 4. Schematic diagram of downhole throttling technology
图 4. 井下节流工艺示意图

3.2. 设计及试验

3.2.1. 设计方案

致密气造以“段内多簇 + 大排量 + 变粘滑溜水 + 高强度连续加砂”为特色的水平井体积压裂技术，撑剂选用 70/140 目石英砂 + 40/70 目覆膜石英砂组合，返排砂主要为 70/200 目石英砂。排率差异较大，分布在 1.03%~59.28%之间，整体返排率较低(见表 1)。设计的难点在于致密气在生产过程中持续出砂，且砂粒很细，节流器的防砂工艺技术。

针对川中致密气完井管柱未预置节流工作筒，产凝析油和水，投产初期出砂等特点，设计了 2 3/8in 新型活动式井下节流器，在防砂工艺方面创新设计偏心油嘴，油嘴底座侧面开设进气孔，改变进气方式，同时增加防砂网目数，有效抵挡返排砂，避免砂粒沉积在节流器上部造成打捞困难。节流器本体材质 40CrNiMoA 高强度合金钢，在同尺寸规格的前提下，抗拉性能和抗扭性能更好，屈服强度更高，材料硬度也更高，密封胶筒部件采用氟橡胶，抗凝析油效果好，防砂部件采用 YG8 硬质合金钢，具有高硬度和良好的耐磨性能，抗冲蚀效果好。

Table 1. Reconstruction parameters of tight gas reservoir**表 1.** 致密气储层改造参数

类型	I 类储层	II 类储层	备注
缝长, m	120~140	130~150	
导流能力, D·m	6~8	3~6	
簇间距, m	8~10	6~8	平均单井, 加砂 4000~8000 t, 液体 14,000~23,000 m ³
加砂强度, t/m	4~5	3~4	
用液强度, m ³ /m	14~16	12~14	
排量, m ³ /min	18	18	

3.2.2. 性能试验

试验环境: 机械厂工房, 50.64 mm 油管短节, 液压泵(见图 5)。

工具反复进行投捞试验、密封承压测试以及整体功能性测试, 确保投捞正常、承压可靠;

座封: 3~4 次振击, 剪断铜销钉, 顺利完成丢手, 座封可靠;

密封: 分别 10 MPa、15 MPa、20 MPa、25 MPa、30 MPa、35 MPa 稳压 5 分钟(见图 6), 均能封得住;

打捞: 打捞器能顺利的抓住节流器打捞颈, 并且将卡瓦回收。

试验结论: 满足下得去、锚得住、封的可靠、捞得出的性能。厂内测试各项性能指标满足设计要求, 具备了入井现场试验条件。



Figure 5. Performance test device

图 5. 性能试验装置



Figure 6. The performance test pressed 35 MPa

图 6. 性能试验打压 35 MPa

3.3. 研制成果

节流器型号：HWX47-35 (见图 7)；
承压：35 MPa；
耐温：120℃；
材质：40CrNiMoA；
适用油管规格：2 3/8in (内径 50.64 mm)；
最大刚体外径：47 mm；
卡瓦张开外径：53 mm；
密封胶筒外径：47 mm；
密封胶筒硬度：SH85 ± 5；
防砂滤网目数：120 (致密气返出砂为 70/200 目石英砂)。



Figure 7. Schematic diagram of downhole throttle
图 7. 井下节流器示意图

4. 技术应用效果

4.1. 选井原则

管柱类型：考虑到连续油管管柱内有焊接缝，影响节流器密封，目前分公司范围内暂无连续油管下入井下节流器的应用，因此连续油管生产井暂不考虑井下节流工艺，选择金属油管完井进行井下节流工艺试验。

斜/井深：通过对致密气井井况模拟计算及经验综合考虑，井下节流器下深位置在 1400~1800 m；考虑钢丝作业条件，井斜要小于 30°。

实际工况极限节流压差预计 20 MPa，目前活动式井下节流器能承受最大压差 35 MPa，工具性能满足致密气井应用条件。

产量情况：2 寸 3 节节流器中心杆通径为 8 mm，节流器前压力大概在 15~16 MPa 左右，最大产气量在 15 万方左右[6]。

井口压力：目前致密气井输压在 3.5~5 MPa 之间，井口压力高于输压 4 MPa 以上节流易产生水合物，井口压力选择 8 MPa 以上的气井[7]。

4.2. 现场实施情况

实施准备中，对井下节流工艺设计参数优化、施工作业组织等方面进行多轮论证，制定了详细的井下节流工艺实施方案。

施工过程中，致密油气项目部提前沟通联系，积极协调施工队伍入场时间、开关井等事宜，尽量缩短关井时间，确保施工过程严格按照方案设计进行。

生产运行中，成立致密气井下节流工作小组，运行周报及施工计划，跟踪评价井下节流器入井实施效果。

截至目前，已完成 25 口井 34 井次的节流器投放及维护作业，现场施工投放及打捞作业成功率达 100%。

4.3. 实施效果及经验

4.3.1. 工艺效果

致密气已应用活动式井下节流工艺的 25 口井, 油整体上产量稳定, 节流后套压递减呈线性递减规律, 套压递减速度分布在 0.1~1.1 MPa/Mon, 平均递减速度 0.36 MPa/Mon。气藏 25 口井下节流工艺气井生产平稳, 有效避免井口冬季发生水合物堵塞情况, 验证了致密气生产采用井下节流工艺适应性, 达到了井下节流现场试验的预期效果[8]。

4.3.2. 秋林 20H 试验效果

投产初期出现冰堵现象, 改为井下节流工艺后实现井筒节流降压, 避免水合物的生成, 生产效果好, 并有效节约能耗, 降低生产成本。

秋林 20H 井未下入节流器之前生产波动较大, 输气管线多次出现冰堵, 日产气从 1.5 至 $4.5 \times 10^4 \text{ m}^3$ 不等, 3 月 15 日采用井下节流工艺后, 油嘴 4.7 mm, 生产平稳, 日产气稳定在 $4.4 \times 10^4 \text{ m}^3$ 左右。5 月 17 日维护改为 5.3 mm 油嘴后, 日产量在 $5.2 \times 10^4 \text{ m}^3$, 生产稳定(见图 8)。

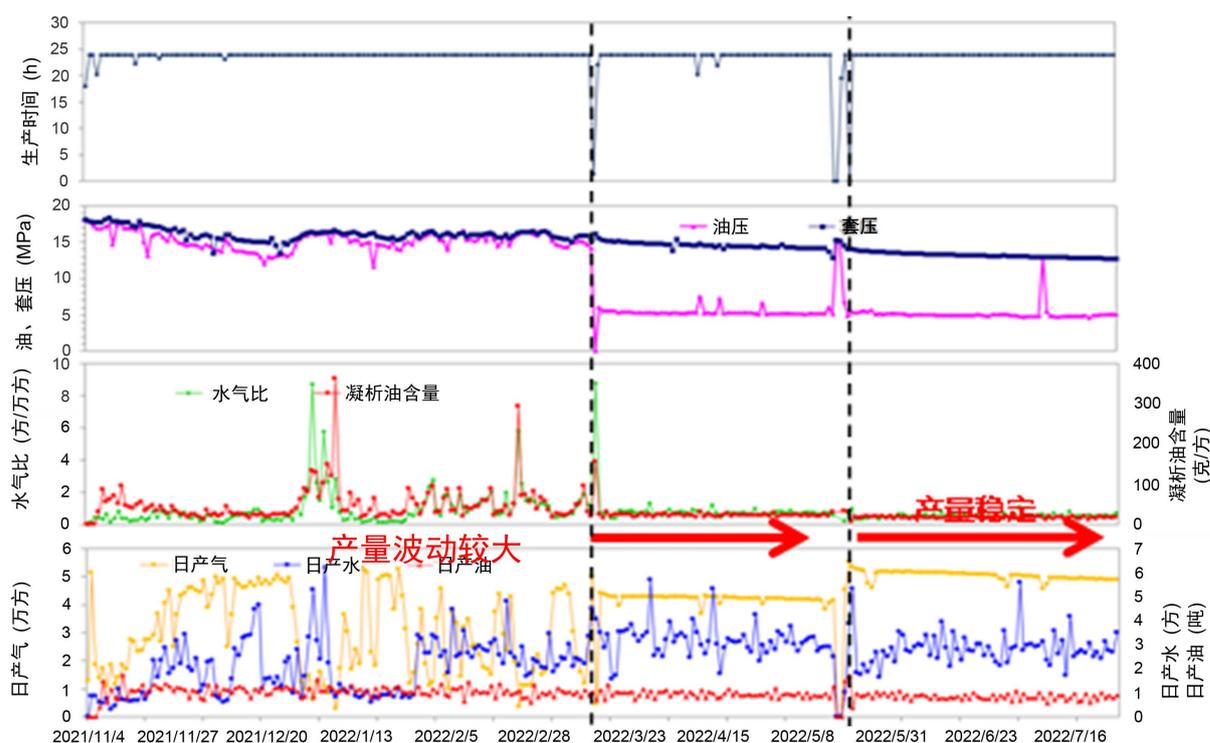


Figure 8. Qqiulin20H gas production curve diagram

图 8. 秋林 20H 采气曲线图

4.3.3. 工具适应性分析

金浅 12-6-H1 口井生产 6 个月, 起出验证井下节流器适应性。

该井 2022 年 12 月 23 日首次下入活动式节流器(见图 9), 嘴径 7.0 mm, 定产 8 万/天, 采用井下节流工艺后, 生产油压 4.5 MPa, 日产气量 9 万方/天, 生产平稳。

2023 年 6 月 28 日, 顺利完成节流器维护, 起出节流器胶筒完好, 无明显变形, 卡瓦无明显磨损(见图 10), 工具适应好, 现场试验表明, 新型活动井下节流器座放可靠, 顺利维护, 满足金秋气田致密气藏应用需求。



Figure 9. Drop downhole throttle of Jinqian12-6-H1

图 9. 金浅 12-6-H1 入井节流器



Figure 10. Remove downhole throttle of Jinqian12-6-H1

图 10. 金浅 12-6-H1 捞出节流器

5. 结论

(1) 金秋气田沙二气藏开发方案推荐采用地面节流工艺并开展井下节流试验,主体采用地面工艺防治水合物生成,在开井初期采用稳定产量及注乙二醇方式防治水合物。通过现场试验,井下节流工艺适应致密气井生产,建议致密气井推广应用井下节流工艺,简化地面工艺流程、降低后期运行成本,推动致密气规模效益开发。

(2) 摸索维护周期,降低井下节流工艺成本,分区块优选典型并按不同入井应用时间,起出节流器检查节流器工况。根据 2 个月、4 个月、6 个月的周期维护情况,井下节流器使用工况良好,可适当将维护周期延长至 8~9 个月,通过延长节流器井下工作周期,降低维护频次,削减维护费用。

(3) 持续开展技术攻关,提高井下节流工艺应用水平,攻关井下节流工艺井生产动态管理技术,掌握气藏的生产动态,制定科学的生产制度,提高气藏的采收率。

参考文献

- [1] 牟春国,胡子见,王惠. 井下节流技术在苏里格气田的应用[J]. 天然气勘探与开发, 2010, 33(4): 61-65.
- [2] 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.
- [3] 金大权,杨志伦,张春雨,等. 致密砂岩气藏水平井生产技术对策[J]. 天然气勘探与开发, 2016, 39(4): 44-47.
- [4] 陈汝培,余汉成. 井下节流工艺在低渗透气田的应用[J]. 天然气与石油, 2009, 27(2): 1-4.
- [5] 郑兴升,吴永春,吴轶君,等. 苏里格气田井下节流技术难题及对策[J]. 化工管理, 2021(36): 84-85.
- [6] 张卓,石兴,王兴艳,等. 井下节流气井井底流压计算方法研究[J]. 石油化工应用, 2015, 34(6): 31-34.
- [7] 邓创国,赵玉,郑俊栎,等. 涩北气田井下节流工艺技术[J]. 天然气技术, 2010, 4(6): 52-54.
- [8] 胡丹,侯治民,腾汶江,等. 新型活动式节流器的研制及应用[J]. 石油钻采工艺, 2014(3): 123-125.