

塔河油田碳酸盐岩油藏井组 注水开发连通关系研究及应用

李桂云,田磊,黄米娜,芦海涛,任科,刘洪源
(中国石化西北油田分公司采油三厂,新疆轮台841600)

摘要:针对塔河油田碳酸盐岩缝洞型油藏井组试注阶段见效井组少、注采关系不明确等问题,在系统分析注水井及采油井在注水过程中各阶段生产动态变化的基础上,总结出建立井组连通、确定井间关系的3类方法:单元压差曲线、能量节点分析、高压注水创建井组能量平衡。单元压差曲线是针对多井注、一井采井组,通过压差曲线确定井间连通响应情况;能量节点分析是对油井能量指示曲线能量变化关键节点分析,确定井间注采关系;对于井间存在生产压差、注水无法启动井组,通过高压注水建立井组能量平衡,达到启动压差,实现井组连通。通过此3类方法,明确井间关系及动态响应情况,建立完善注采井网,科学指导井组注水开发,提升单元整体注水开发水平,促进塔河油田储量动用。

关键词:单元压差曲线;能量节点分析;井组能量平衡;注采井网;塔河油田

中图分类号:TE344

文献标识码:A

Study and application of connecting relationship during water injection of well groups in carbonate reservoirs, Tahe oil field

Li Guiyun, Tian Lei, Huang Mina, Lu Haitao, Ren Ke, Liu Hongyuan

(No.3 Oil Production Plant, SINOPEC Northwest Company, Luntai, Xinjiang 841600, China)

Abstract: In the initial attempt of water injection in carbonate fractured-vuggy reservoirs in the Tahe oil field, only a few wells were effective, and the relationship between water injection and production was unclear. Based on the systematic analyses of production dynamic variety during different stages of water injection wells and oil producing wells, three methods, including unit differential pressure curve, energy nodal analysis, and high-pressure water injection to balance well group energy, were summarized to establish well group link and make clear well relationship. Unit differential pressure curve deals with the well group which injecting in multiple wells and producing in a single well, and can determine the connective response among wells. Energy nodal analysis focuses on the changing points on energy indicating curves of oil wells, and shows the relationship between injection and production among wells. For those well groups with differential pressure and were not effective during water injection, we use high-pressure injection to balance energy and establish well group link. With these methods, we determined well relationship and dynamic response, established injection and production well group, guided the production of well group, promoted water injection development level, and enhanced Tahe oilfield reserves production.

Key words: unit differential pressure curve; energy nodal analysis; well group energy balance; water injection and production well group; Tahe oil field

1 研究概况

塔河油田碳酸盐岩缝洞型油藏储集体以孔、洞、缝为主,其中大型洞穴是主要的储集空间,裂缝既是储集空间,也是连通通道。油藏衰竭开发后通过注水补充能量保压开采,前期注水开发主要以单井注水替油挖潜井周剩余油为主^[1-3]。随着注水轮次的增加,井间剩余油减少,大量剩余油赋存在

井间。如何实现横向驱替,建立井网注采关系,挖潜井间剩余油,对于提高塔河油田储量动用至关重要。通过选取同一地质背景下油井进行单元试注水,建立了部分井组,但由于井间关系的复杂性及生产特征的差异性,导致部分井组间注采关系无法确定,甚至注水后邻井未有动态响应,井组无法建立连通,制约了塔河油田后期井组注水开发。笔者通过系统分析注水井、采油井各阶段生产动态,总

总结出确定井间注采关系的 3 类方法:单元压差曲线、能量节点分析、高压注水创建井组能量平衡,从而明确了井间连通响应情况,利于后期建立完善注采井网,科学指导井组注水开发,提升塔河油田储量动用程度。

2 井组注水开发连通关系研究

2.1 井组注水开发中存在的问题

塔河油田碳酸盐岩缝洞型油藏井组试注阶段存在见效井组少、有效期短和含水上升快等问题。针对未见效井组,未系统分析注水后未见效原因,即认为两井间存在不连通;对于已见效井组,对井间能量变化及受效情况分析认识不到位,注水参数与受效井生产情况不匹配,导致井组间有效期短甚至快速水窜,无法有效驱替井间剩余油,制约了井组开发,影响储量动用程度。

2.2 井组注水连通关系研究方法

在系统分析注水井及采油井在注水过程中各阶段生产动态变化的基础上,总结出建立井组连通、确定井间关系的 3 类方法:单元压差曲线、能量节点分析、高压注水创建井组能量平衡。通过此 3 类方法,可以建立井间连通,确定井组注采关系。

2.2.1 单元压差曲线应用

塔河油田注水开发过程中,同一区域注水井

多,存在多井注、一井采的情况,注采关系无法确定。通过计算注水前后各油井能量变化,绘制出单元压差曲线,通过变化规律确定井组连通关系。

单元压差曲线是由注水井和受效井的井间压差与受效井液面组成的曲线,其中井间压差是利用油井液面通过帕斯卡定律折算出流压作差所得。压差分为实测压差和理论压差,实测压差即通过实测液面折算出的流压差,理论压差是根据注水量理论液面恢复值折算出的流压差,理论压差大于实测压差即说明注水井存在注水外溢。帕斯卡定律:

$$P_{\text{泥}} = \frac{f_w \times 1.1 + (100 - f_w) \times \rho_o}{100} \times 9.8 \times \frac{H_{\text{地层}} - H_{\text{动}}}{1000} + P_{\text{套}}$$

式中: $P_{\text{泥}}$ 为压差,MPa; f_w 为含水率,%; ρ_o 为原油密度,g/cm³; $H_{\text{地层}}$ 为地层中深,m; $H_{\text{动}}$ 为动液面,m; $P_{\text{套}}$ 为套压,MPa。

以塔河油田十区南区块 A 井组为例,井组内油井 A1 和 A2 同时实施注水,邻井 A3 井受效,周期增油 1 000 t。A 井组生产曲线见图 1。

依托绘制的 A 井组单元压差曲线(图 2),将多井注、一井采井组响应关系进行分节点分析,明确井组关系:①A2井与A3井连通响应明显(曲线相

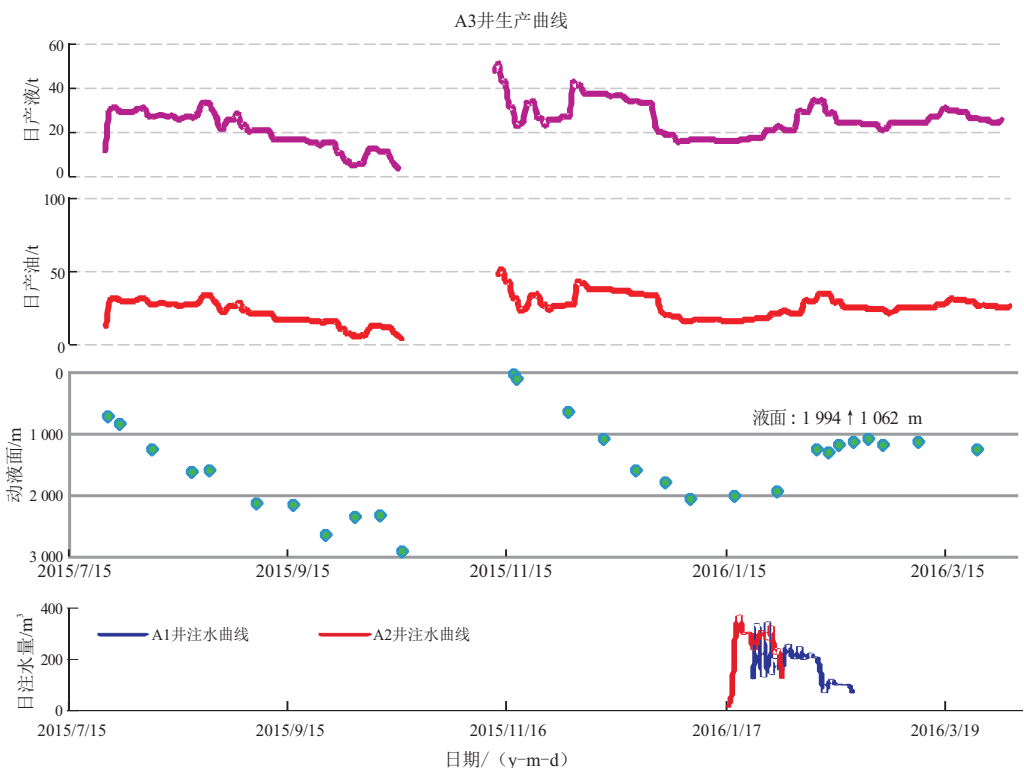


图 1 塔河油田 A 井组生产曲线

Fig.1 Production curves of well group A in Tahe oil field

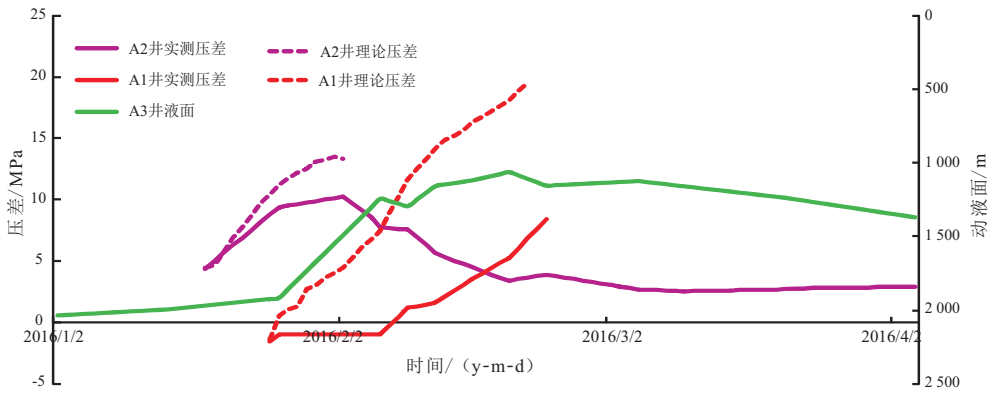


图 2 塔河油田 A 井组单元压差曲线

Fig.2 Unit differential pressure curves of well group A in Tahe oil field

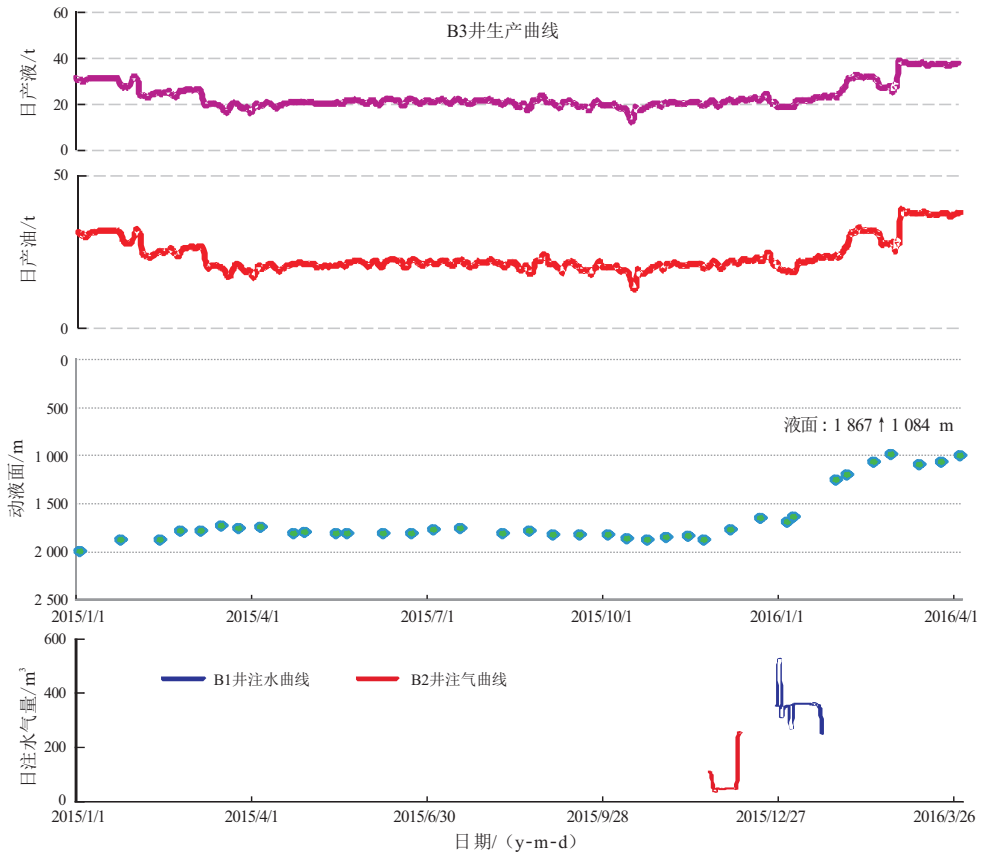


图 3 塔河油田 B 井组生产曲线

Fig.3 Production curves of well group B in Tahe oil field

关性程度高); ②A1 井与 A3 井连通响应不明确 (曲线相关性程度低)。从而明确了 A 井组下步开发对策: A2 井转单元注水, 保证 A3 井持续受效, 提高日油水平 15 t/d; A1 井本井注水替油生产, 预计日油水平 8 t/d, 提高了生产时效, 同时促进了井区平面储量动用。

2.2.2 能量节点分析

针对塔河油田部分低井控区注采井网不完善的问题, 通过对油井能量变化节点进行分析, 查找能量拐点出现原因, 明确注采关系, 指导注水开发。

以油井的能量指示曲线为切入点, 通过分析能量指示曲线, 找出能量变化关键对应节点, 确定井间注采关系, 高效建立井网。以塔河油田托甫台区块 B 井组为例, B1 井注水、B2 井注气, B3 井受效明显。B 井组生产曲线见图 3。

对塔河油田托甫台区块 B 单元进行能量节点分析(图 4), 能量指示曲线斜率代表能量变化情况, 斜率变大代表能量得到补充。B3 井能量指示曲线根据斜率变化分为 3 个节点: ①节点一 ($k_1 = 0.34$): B2 井注气, 根据 B3 井原始状态单位压降产

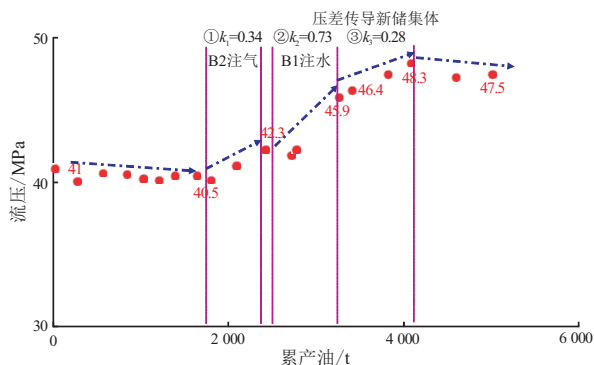


图 4 塔河油田 B3 井能量指示曲线

Fig.4 Energy indicating curves of well B3 in Tahe oil field

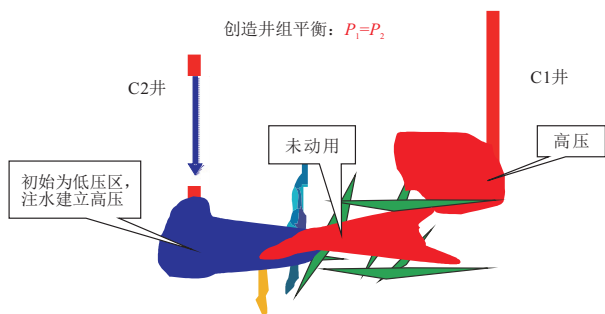


图 5 创建井组能量平衡

Fig.5 Creating symmetry energy equilibrium

液 2 248 t,折算理论 B3 井液面恢复 8.2 m/d,实际 B3 井恢复液面 7.4 m/d;②节点二($k_2 = 0.73$):B1 井注水期间,B3 井理论液面恢复 16.3 m/d,实际恢复 17.7 m/d;③节点三($k_3 = 0.28$):B1 井停止注水关井后液面持续下降,液柱压力由 82.3 MPa 下降至 59.7 MPa,B3 井流压由 45.9 MPa 上升至 48.3 MPa,井间压差动用井控未动用剩余油。

节点分析得出:①B2 井注气、B1 井注水后本井液面不恢复,原因为邻井 B3 井受效,后期 B1 井继续实施注水,驱替 B1 与 B3 井间剩余油;②B1 井注水较 B2 井注气对 B3 井效果要好,后期 B2 井开井继续评价,同时进一步论证 B2 与 B1 井间连通性。

2.2.3 高压注水创建井组能量平衡

塔河油田同一地质背景下的注水井组由于井间启动压差不够,无法建立井网连通。通过对井组能量压差进行分析,计算出注水所需最小启动压力,最后通过高压注水放大压差创建井组能量平衡,从而建立井网连通。创建能量平衡如图 5 所示。

以塔河油田托甫台区块 C 井组为例,前期生产过程中,C1 井为高压区,C2 井为低压区,C2 井常规注水,C1 井无动态响应(图 6)。后对井组压差进行分析,井网未连通为井间压差不够导致,对 C 井

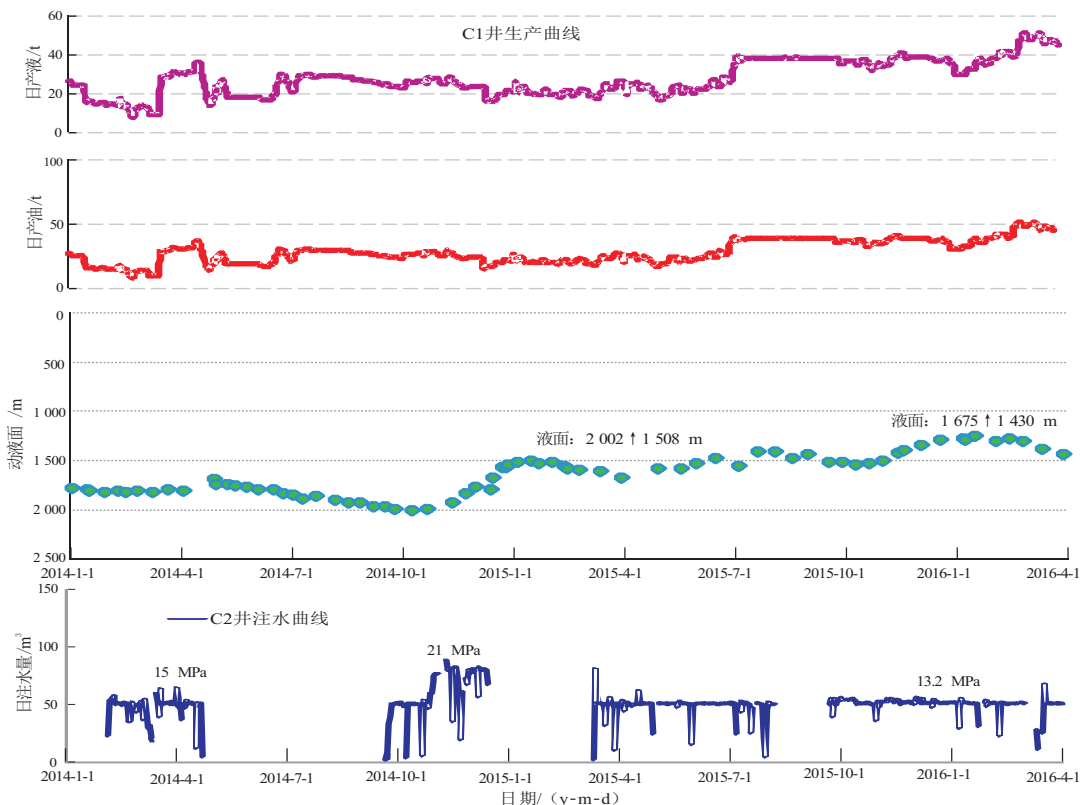


图 6 塔河油田 C 井组生产曲线

Fig.6 Production curves of well group C in Tahe oil field

表 3 现场应用效果对比
Table 3 Field application effect

井号	优化前		优化后		平稳运行数/天
	管线刺漏、堵塞数/次	占产数/天	管线刺漏、堵塞数/次	占产数/天	
X-3	3	11	0	0	155
X-15	5	23	0	0	134
X-24	3	9	1	1	73
X-04	1	3	0	0	116

线,提高了生产时效,单井堵塞占产天数由前期的 3 天降为 1 天。

在优化地面流程、引入排“毒”+正注的模式,推广滤网清洗制度等一系列工作之后,这些重点高产沥青质油井目前平稳运行的平均天数已接近 100 天。

6 结论

(1)塔河油田 X 区块奥陶系油井原油饱和烃含量过高,胶质和沥青质比例低是沥青质沉积的主

要原因。

(2)油井防堵技术包括药剂解堵、排“毒”+正注以及地面流程优化等。

(3)药剂解堵技术中采用 TP-07,现场应用效果良好,但是风险较高。

(4)排“毒”+正注的管理思路即先排“毒”再正注,正注完之后再排“毒”的模式,大大地降低了管线堵塞的次数。

(5)优化地面流程能有效避免沥青质析出聚集堵塞输油管线,可大幅度提高生产时效,避免油井管线堵塞刺漏。

参考文献:

- [1] 武继辉,孙军.油井清防蜡技术研究现状[J].油气田地面工程,2004,23(7):14.
- [2] 贾英,孙雷,孙良田,等.油藏中沥青质沉积机理研究[J].西南石油学院学报(自然科学版),2006,28(6):60-64.
- [3] 宋刚.塔河油田轻质油井井筒处理及工艺研究[D].成都:西南石油大学,2010.

(编辑 韩 彧)

(上接第 51 页)

组提高注入压力,在低压区 C2 井附近建立高压,放大井间压差后沟通了井间通道,从而达到构建井组能量平衡的目的,井间实现连通,实现动用井间剩余油的目的,周期增油 1 103 t(图 6)。

3 结论

(1)利用单元压差曲线,分析注水井组间压差变化规律,能够科学地分析“一注多采”、“一采多注”等复杂井组的水驱效率,从而指导水驱结构井网的合理布局,提升水驱开发效果。

(2)通过分析能量指示曲线,找出能量变化关键对应节点,能够精确把控注水见效的注采参数,从而有效指导后期注采参数优化,确保水驱开发持续有效。

(3)通过计算注水井组间能量压差,确定注水启动连通所需最小设计压力,后通过高压注水创建井组能量平衡,以此确定最优注采方案。

(4)该方法对于塔河油田碳酸盐岩油藏提升单元注水效果具有实用性和推广性,能够大幅度提升储量的动用程度。

参考文献:

- [1] 荣元帅,刘学利,杨敏.塔河油田碳酸盐岩缝洞型油藏多井缝洞单元注水开发方式[J].石油与天然气地质,2010;31(1):29-31.
- [2] 李生青,廖志勇,杨迎春.塔河油田奥陶系碳酸盐岩油藏缝洞单元注水开发分析[J].新疆石油天然气,2011;7(2):40-44.
- [3] 马旭杰,刘培亮,何长江.塔河油田缝洞型油藏注水开发模式[J].新疆石油地质,2011;32(1):63-65.

(编辑 韩 彧)