

新疆油田水平井分段完井注汽技术

易勇刚¹, 张传新¹, 于会永¹, 邬元月¹, 赵慧龙²

(1. 中国石油新疆油田公司工程技术研究院, 新疆克拉玛依 834000; 2. 中国石油新疆油田公司风城油田作业区, 新疆克拉玛依 834011)

摘 要:为改善新疆油田稠油热采水平井的注汽开发效果,进行了水平井分段完井分段注汽技术与现场试验。利用管外、管内热敏封隔器及配套工具设计了分段完井、注汽采油管柱,结合超稠油流变性试验与数值模拟技术完成了地层屏蔽有效性论证,优化了盲管段长度;实现了强制注汽,并有效防止 2 个注汽井段之间的汽窜,保证分段注汽效果。2011 年,新疆油田 9 口稠油水平井采用高温热敏封隔器进行水平井分段完井、分段注汽试验,施工成功率 100%,与常规双管笼统注汽的邻近水平井相比,分段完井的水平井首轮吞吐平均油汽比高 0.44,吸汽剖面得到改善,分段注汽效果明显。这表明稠油热采水平井分段完井及注汽采油技术是可行且实用的先进技术,为新疆油田超稠油高效开采提供了新的技术手段。

关键词:稠油油藏 分段完井 注蒸汽

中图分类号:TE357.44 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0890(2012)06-0079-05

Segregated Completion and Subsection Steam Injection for Horizontal Wells in Xinjiang Oilfield

Yi Yonggang¹, Zhang Chuanxin¹, Yu Huiyong¹, Wu yuanyue¹, Zhao Huilong²

(1. Engineering Technology Research Institute, Xinjiang Oilfield Company, PetroChina, Karamay, Xinjiang, 834000, China; 2. Fengcheng Oilfield Area, Xinjiang Oilfield Company, PetroChina, Karamay, Xinjiang, 834011, China)

Abstract: In order to improve steam absorption of horizontal wells, research and test on segregated completion and subsection steam injection were performed in Xinjiang Oilfield. The string for segregated completion and subsection steam injection were designed by using internal and external thermal packer and supporting tools, formation shielding effectiveness was demonstrated by combining super-heavy oil rheological experiments with numerical simulation, and blind pipe length were optimized. Mandatory segmented steam injection was implemented with effective prevention of steam channeling between two injection sections to ensure the effectiveness of segment steam injection. In 2011, Xinjiang Oilfield conducted the test of segregated completion and subsection steam injection on 9 heavy oil horizontal wells using high temperature resistant external casing packers with operation success rate of 100%. Compared with adjacent wells performance produced by commingled steam injection from traditional dual tubing, oil/steam ratio of horizontal wells using segregated completion is 0.44 higher after the first round of steam stimulation indicating good effect of subsection steam injection. This proves that segregated completion and subsection steam injection in horizontal wells of heavy oil recovery is feasible and practical and provides new technical support for the efficient exploitation of super-heavy oil in Xinjiang.

Key words: viscous oil reservoir; segregated completion; steam injection

新疆油田超稠油储量巨大,为提高单井产量,不断扩大水平井应用规模,截至 2011 年底,仅风城油田超稠油油藏已完成浅层稠油水平井 300 余口。蒸汽吞吐开采前期,水平井单井产能较高,在产能建设中发挥了巨大作用;中后期水平井产量递减迅速,常规笼统注汽工艺难以保证开采效果。开发实践

收稿日期:2012-04-23;**改回日期:**2012-10-16。

作者简介:易勇刚(1979—),男,四川仁寿人,2003 年毕业于西南石油学院石油工程专业,工程师,主要从事稠油热采方面的研究工作。

联系方式:(0990)6868095, yiyg@petrochina. com. cn。

基金项目:国家科技重大专项“蒸汽驱后稠油油藏提高采收率技术研究”(编号:2011ZX05009-004-05) 部分研究内容。

表明,采取常规笼统注汽方式,水平井只有 1/3 的井段吸汽^[1-2]。改善水平段吸汽效果的注汽技术主要有^[3-4]:水平井均匀注汽技术和分段注汽技术,但这两种技术都无法实现对地层的强制注汽。为了提高热采水平井水平段的动用程度,发挥水平井的生产潜力,开展了分段完井分段注汽技术的研究及现场试验。设计了一套分段完井分段注汽管柱,并根据稠油油藏的具体情况优化了盲管段长度,实现了热采水平井水平段强制分段注汽。

1 分段注汽管柱

分段完井分段注汽技术是分段完井工艺与分段注汽工艺的有机结合,利用管外封隔器^[1,5-6]+盲管将水平段完井管柱分为 2 段,利用管内封隔器坐封于盲管段中间位置,将井筒分成 2 个井段,可以实现分段强制注汽,达到提高水平段动用效果的目的。与常规分段注汽相比,分段完井分段注汽管柱最大的优势在于,可以避免 2 个注汽井段之间发生汽窜(见图 1)^[7]。

该管柱的具体结构如图 2 所示,其特点在于主管带液力反馈泵^[8],可以实现注采一体化;注汽时管内封隔器坐封于盲管段,主管和副管可以分注也可

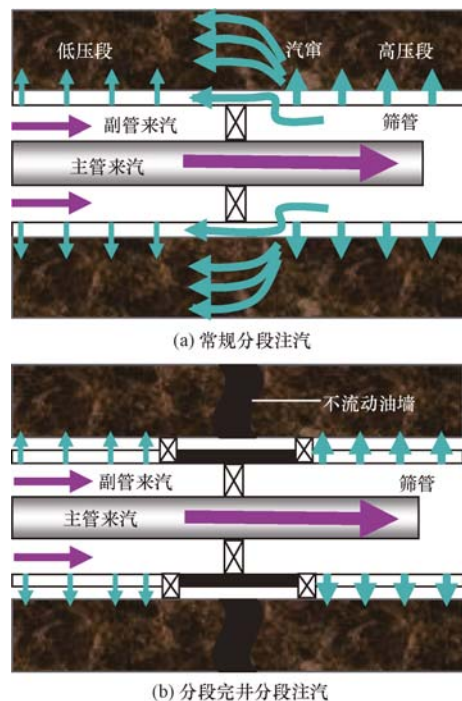


图 1 不同注气方式下的防窜机理示意

Fig. 1 Anti-channeling mechanism of different steam injection methods

以合注,有效调节 2 段的注汽量,注汽焖井后自喷采油,停喷后直接抽油生产;但该管柱不能满足测试要求。对于需要测试的井,注汽阶段不下液力反馈泵,转抽时下入液力反馈泵采油。

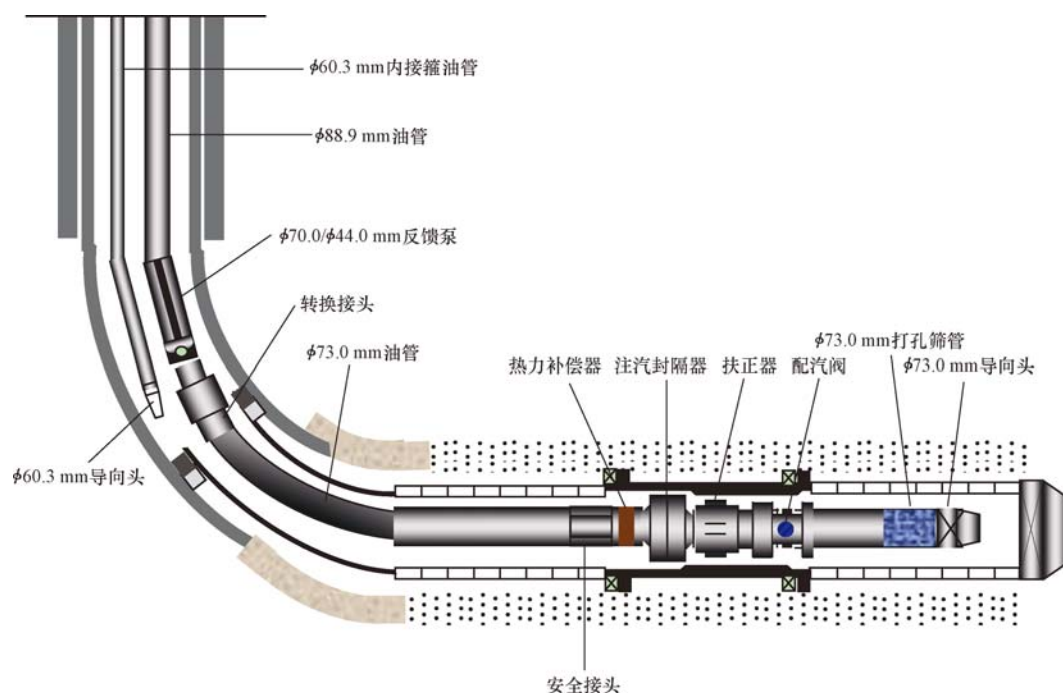


图 2 分段完井分段注汽管柱结构

Fig. 2 Structure of segregated completion and subsection steam injection string

2 盲管长度的确定

盲管段的长度制约着分段注汽的效果,盲管段过长会影响整个水平段的动用程度,盲管段过短则不能形成不流动的“油墙”,起不到有效封隔两段间地层的作用^[9]。利用 CMG 热采数值模拟软件,建立水平井分段注采模型,给定不同盲管长度,分别计算吞吐生产不同阶段的盲管段温度分布规律,结合稠油渗流特征试验结果^[10-11],判断不同盲管长度下,分注两水平段间原油能否达到渗流条件,确定有效屏障距离,从而确定合理的盲管长度。

2.1 水平井双管分段注采数学模型

根据重 32 井区地质概况,建立水平井双管分段注采模型^[12-13],总网格数为 $40\times 21\times 1$,并对完井段进行网格细分,注入蒸汽温度 $270\text{ }^{\circ}\text{C}$,干度 0.8,单井注汽量 $240\text{ m}^3/\text{d}$,之后每周期以 10% 递增,以 $100\text{ m}^3/\text{d}$ 定产液量生产,物性参数按照油藏实际数据进行计算。

2.2 盲管段长度优化

分别取盲管长度为 10,15,20,25 和 30 m,研究盲管长度对油层屏障效果的影响程度,室内试验结果如图 3 所示。由图 3 可知,原油温度低于 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时不易流动,由此可以确定有效屏障距离,见图 4。

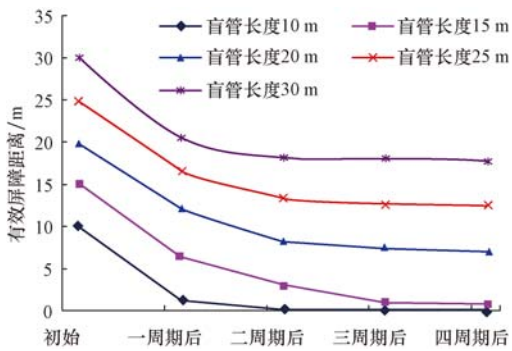


图 3 有效屏障距离与吞吐周期及盲管长度的关系
Fig. 3 Relationship between effective barrier length and stimulation cycles and blind tubing length

从图 3 可看出:1)盲管长度相同时,随着吞吐轮次的增加,有效屏障距离缩短,吞吐两周期之后,有效屏障距离趋于稳定;2)盲管长度大于 20 m 时,在水平井吞吐过程中,能够保持一定距离的有效屏障,防止分注时 2 段发生汽窜。考虑到盲管段过长会影响蒸汽波及范围,现场盲管段长度取 20~30 m。

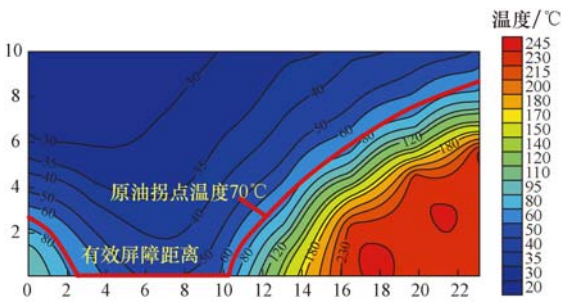


图 4 盲管长 20 m 时第三周期的盲管段地层温度分布
Fig. 4 Temperature distribution in blind tubing formation at the end of third cycle (blind tubing length is 20 m)

3 现场应用

3.1 目标区块油藏概况

新疆风城油田重 32 井区齐古组油藏位于准噶尔盆地西北缘乌夏断褶带上,属超稠油油藏。油层孔隙度 $23.0\%\sim 36.4\%$,平均 31.1% ;渗透率 $91\sim 29\,124\text{ mD}$,平均 $3\,297\text{ mD}$ 。油层段含油饱和度平均 69% ,中部深度 230 m ,原始地层温度为 $17.25\text{ }^{\circ}\text{C}$,原始地层压力 2.27 MPa ,压力系数 0.987。原油密度 $0.950\,4\sim 0.983\,6\text{ kg/L}$,平均 $0.962\,8\text{ kg/L}$; $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时原油黏度 $8\,000\sim 28\,500\text{ mPa}\cdot\text{s}$,平均 $13\,768\text{ mPa}\cdot\text{s}$ 。

3.2 井温测试情况分析

笼统注汽井 FHW1 井和分段完井分段注汽井 FZJ1 井的基本数据见表 1,对 2 口井进行井温剖面测试^[14],结果如图 5 所示。从图 5 可以看出:测试仪进入 FHW1 井水平段后,温度出现明显的单峰值,表明吸汽存在不均匀现象;FZJ1 井水平段的温度以盲管为界出现双峰值,表明水平段被强制分成两段吸汽,可见分段完井分段注汽对于调整温度剖面效果显著。

表 1 温度剖面测试井井身基础数据

Table 1 Wellbore structure data for temperature profile test					
m					
井号	井深	垂深	造斜井深	造斜段长	水平段长
FHW1	550.0	185	44.5	275.0	230.5
FZJ1	492.7	227	77.0	235.7	180.0

3.3 分段完井分段注汽生产效果分析

截至 2011 年底,新疆油田重 32 井区共有 9 口井实施了分段完井,并下入分段注汽管柱注汽,该区

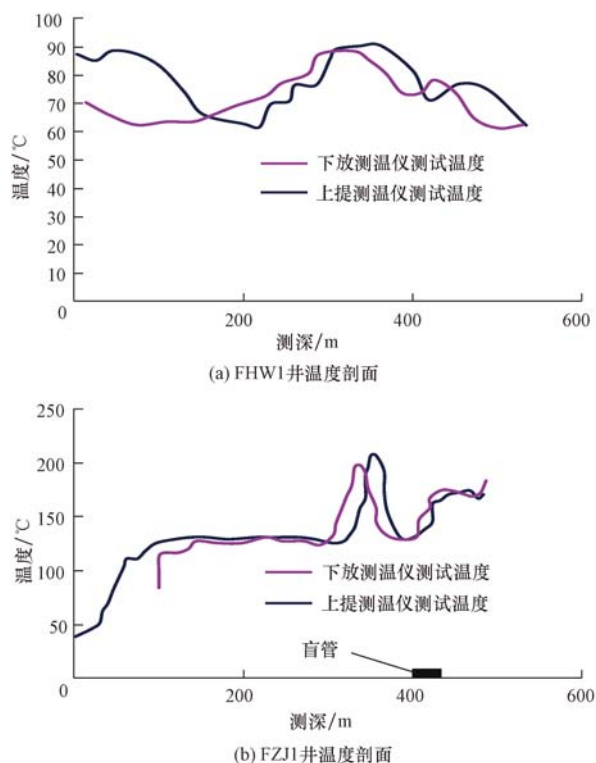


图5 FHW1井和FZJ1井温度剖面对比

Fig. 5 Comparison of temperature profile curves of Well FHW 1 and Well FZJ 1

表2 重32井区分段完井分段注汽稠油水平井首轮注汽及生产数据

Table 2 First cycle of steam injection and production data of heavy oil horizontal wells using segregated completion and subsection steam injection in Block Zhong 32

井号	注汽压力/MPa	注汽温度/°C	注汽干度	注汽速度/(t·d ⁻¹)	井段长度/m	周期注汽量/t	周期产液量/t	周期产油量/t	生产时间/d	油汽比
FZJ1	5.8	256.9	0.8	231.8	239.7	2 703.0	2 353.0	851.5	166	0.32
FZJ2	4.6	257.9	0.8	203.6	130.8	1 981.0	3 216.0	1 696.0	112	0.86
FZJ3	4.9	258.1	0.8	218.6	139.7	1 921.0	3 414.0	1 809.0	159	0.94
平均	5.1	257.6	0.8	218.0	170.1	2 201.7	2 994.0	1 452.0	146	0.71

3) 对于带泵的分段注汽管柱存在不能测试的问题,需试验空心抽油杆和空心抽油泵来解决测试通道的问题,实现注采一体化情况下的正常测试。

4) 目前已经实现了分两段完井两段注汽工艺,现场试验生产效果良好。为进一步提高水平段动用程度和适应长段水平井的开采要求,应开展分段完井多段注汽的技术研究。

参 考 文 献

References

- [1] 李锐,张熙. 热采水平井管外封隔器封隔材料高温力学性能试验[J]. 钻采工艺, 2009, 32(3): 86-87.
Li Rui, Zhang Xi. Mechanical property experiment of thermal

油藏埋深浅,平均 230 m,水平井位垂比 0.54~1.23,管柱带管内封隔器下入存在一定风险^[15]。经过严格的通井作业,管柱全部顺利下入;管柱上提时,由于受出砂影响,最大瞬时载荷高达 250 kN,远高于正常情况下的 60~70 kN,但管柱上提过程中没有出现砂卡管柱的情况,施工成功率 100%。

对该井区 15 口井的生产情况进行了统计,其中 3 口井实施了分段完井分段注汽,12 口水平井实施了笼统注汽。统计分析表明:在注汽条件相近的情况下,笼统注汽水平井周期油汽比 0.27;分段完井分段注汽水平井油汽比高达 0.71,油汽比笼统注汽井高 0.44(见表 2)。

4 结论与建议

1) 现场试验表明,通过合理的管柱设计,分段完井分段注汽技术可以有效调整水平段温度剖面,提高水平段的动用程度,及周期油汽比。

2) 首次给出了盲管段对地层实现有效封隔长度界限的设计方法,设计结果对储层流体性质相近的其他油藏有借鉴作用。

horizontal well external packer element material at high temperature[J]. Drilling & Production Technology, 2009, 32(3): 86-87.

- [2] 尹虎,刘辉,李黔,等. 提高稠油水平井注蒸汽效率的技术研究[J]. 石油天然气学报, 2011, 33(12): 119-123.

Yin Hu, Liu Hui, Li Qian, et al. Technical research on improving efficiency of steam injection in horizontal wells for heavy oil reservoirs[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2011, 33(12): 119-123.

- [3] 陈森,窦升军,游红娟,等. 风城 SAGD 水平井均匀配汽工艺研究与应用[J]. 石油钻采工艺, 2012, 34(2): 114-116.

Chen Sen, Dou Shengjun, You Hongjuan, et al. Research and application of uniform steam injection in SAGD horizontal wells of Fengcity Oilfield[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2012, 34(2): 114-116.

- [4] 张守军. 水平井分段优化注汽技术及其应用[J]. 大庆石油学院

- 学报, 2010, 34(4): 62-65.
- Zhang Shoujun. Optimized separated section steam injection technology for horizontal wells and its field application[J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 2010, 34(4): 62-65.
- [5] 张国文, 沈泽俊, 童征, 等. 遇油\遇水自膨胀封隔器在水平井完井中的应用[J]. 石油矿场机械, 2012, 41(2): 41-44.
- Zhang Guowen, Shen Zejun, Tong Zheng, et al. Application of oil\water-swelling packer to horizontal well completion[J]. Oil Field Equipment, 2012, 41(2): 41-44.
- [6] 孔涛, 赵建新, 张宏军, 等. ECP 在完井固井工艺中的应用与分析[J]. 石油钻采工艺, 2010, 32(5): 48-52.
- Kong Tao, Zhao Jianxin, Zhang Hongjun, et al. Application and analysis on external casing packer in well completion and cementing technology[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2010, 32(5): 48-52.
- [7] 刘慧卿, 张红玲, 王书林, 等. 井楼油田注汽井调剖参数优化设计方法研究[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2006, 30(6): 55-58.
- Liu Huiqing, Zhang Hongling, Wang Shulin, et al. Optimization design of profile control parameters for steam injection wells in Jinglou Oilfield[J]. Journal of China University of Petroleum: Edition of Natural Science, 2006, 30(6): 55-58.
- [8] 冯国强, 韩岐清, 滕国权, 等. 液力反馈泵无油管采油工艺杆柱力学分析[J]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2010, 32(1): 160-164.
- Feng Guoqiang, Han Qiqing, Teng Guoquan, et al. The roof bolt mechanic analysis of the pipeless hydraulic-feedback-type pumping technology[J]. Journal of Southwest Petroleum University: Science & Technology Edition, 2010, 32(1): 160-164.
- [9] 梅明霞, 周承诗, 王威, 等. 胜利油田稠油油藏水平井防砂工艺技术及应用[J]. 钻采工艺, 2008, 31(4): 47-48.
- Mei Mingxia, Zhou Chengshi, Wang Wei, et al. Application of horization well sand control technology in heavy oil reservoir of Shengli Oilfield[J]. Drilling & Production Technology, 2008, 31(4): 47-48.
- [10] 吴晓东, 师俊峰, 竺彪. 循环热流体开采稠油优化设计方法研究[J]. 石油钻探技术, 2006, 34(6): 1-3.
- Wu Xiaodong, Shi Junfeng, Zhu Biao. A study of recovering heavy-oil reservoir with hot fluids[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2006, 34(6): 1-3.
- [11] 张代燕, 彭军, 谷艳玲, 等. 稠油油藏启动压力梯度实验[J]. 新疆石油地质, 2012, 33(2): 201-204.
- Zhang Daiyan, Peng Jun, Gu Yanling, et al. Experimental study on threshold pressure gradient of heavy oil reservoir[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2012, 33(2): 201-204.
- [12] 王威, 赵春梅, 张鹰, 等. 辽河油田杜 84 块超稠油油藏水平井开采数值模拟[J]. 新疆石油地质, 1998, 19(3): 244-246.
- Wang Wei, Zhao Chunmei, Zhang Ying, et al. Numeric simulation of horizontal well in the super viscous oil reservoir in Block Du 84, Liaohe Oilfield[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1998, 19(3): 244-246.
- [13] 马鸿, 李国庆, 汪向东, 等. 浅层特稠油水平井注蒸汽开发数值模拟: 以克拉玛依油田九区为例[J]. 新疆石油地质, 2001, 22(1): 59-60.
- Ma Hong, Li Guoqing, Wang Xiangdong, et al. Numerical simulation for steam injection flood development in horizontal wells of extra-viscous oil in shallow buried reservoir: an example from District No. 9 in Karamay Oilfield[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2001, 22(1): 59-60.
- [14] 王卓飞, 魏新春, 江莉, 等. 浅层稠油热采水平井测试技术研究及应用[J]. 石油地质与工程, 2008, 22(6): 112-113.
- Wang Zhuofei, Wei Xinchun, Jiang Li, et al. The study and application of testing technology for thermal horizontal well in shallow heavy oil reservoir[J]. Petroleum Geology and Engineering, 2008, 22(6): 112-113.
- [15] 刘辉, 李黔, 尹虎, 等. 新疆油田浅层稠油水平井分段完井管柱下入技术[J]. 石油钻探技术, 2011, 39(4): 44-47.
- Liu Hui, Li Qian, Yin Hu, et al. Segmented completion string running technology of shallow heavy oil horizontal well in Xinjiang Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39(4): 44-47.

吐哈油田采用酸碱复合驱技术提高老油区水驱效率

吐哈油田主力老油区, 如温米、鄯善、丘陵等, 大多属于低渗透或特低渗透油藏, 且几乎全部已处于中高含水期, 采出程度高, 剩余油分布复杂, 进一步提高原油采收率难度大。特别在长期注水的情况下, 注水压力增高, 难度加大, 效果变差, 导致自然递减率长期居高不下。为解决注水井欠注问题, 提高水驱效率, 吐哈油田研究了酸碱复合驱技术, 并在温西 10-38 井进行了酸碱复合驱先导试验, 并在温米油区先后应用 15 井次。

酸碱复合驱技术的原理是: 向目的层注入酸液, 再注入碱液, 通过在地层条件下发生热化学反应, 解堵低渗层, 封堵高渗层, 并利用其混合气驱和热采作用, 增大注入水波及体积, 提高驱油效率, 实现降低注水压力、提高注水量的目的; 此外, 在注入的酸碱中还加入特殊活性剂, 可提高洗油效率, 进而提高原油采收率。

该技术在温西 10-38 井应用后, 降压增注效果明显, 注水压力由措施前的 22.5 MPa 降至 11.0 MPa, 注水量由每日 20 m³ 升至 50 m³。在温米油区应用 15 井次, 平均单井每日增注 21.6 m³, 注水压力平均单井降低 8.6 MPa, 取得了很好的应用效果。