

# 南泥湾 294 井区注水见效规律分析及调整措施研究

康园园<sup>1</sup>,王守军<sup>2</sup>,吕建国<sup>2</sup>

(1. 延安大学 石油学院,陕西 延安 716000;2. 陕西省川庆钻探  
工程有限公司 长庆钻井总公司第二工程项目部,陕西 西安 710000)

**摘要:**南泥湾采油厂 294 井区属于特低孔、超低渗储层,通过分析油井的注水见效规律,为后期实施调整措施提供依据。首先通过计算注水区与非注水区的 5 个注水效果评价指标并进行对比,可知注水在一定程度上是见效的。然后结合月总递减率和见水见效历时对单井的注水见效规律进行分析,将注水区块油井的见效程度分为五类:见效明显井、见效一般井、注采反映不明确井、不见效井和水淹井。其中注水反映不明确和注水不见效所占比例高达一半以上,还有 10 口水淹井。最后针对注水效果不理想的井提出治理建议,包括洗井酸化、完善射孔层位、调整注采井网以及空气空气泡沫驱。

**关键词:**南泥湾 294 井区;注水;见效规律;空气泡沫驱

**中图分类号:**F407.22 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-602X(2017)04-0022-04

南泥湾采油厂 294 井区长 6 储层孔隙度平均值为 8.75%,渗透率平均值为  $0.51 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,该地区均属于特低孔、超低渗储层。该区含评 15 和赵 12 两个注水区,其余井区目前均依靠天然能量开采,研究区从 2011 年 1 月开始注水,截止到 2015 年 5 月,评 15 井区共有 73 口采油井,10 口注水井,累积产油 70543.84 t。赵 12 井区共有 69 口采油井,26 口注水井,累积产油 61555.67 t。目前明显见到注水效果的油井所占比例仅为 12.87%,注水反映不明确和注水不见效所占比例为 50% 左右,水淹井 10 口左右,分析认为是沉积微相、注水强度、注采对应关系等因素影响着注水见效特征,最后针对注水效果不理想的油井提出治理建议。

## 1 区块注水开发效果评价

注水开发效果评价的分析指标包括水驱储量控制程度、水驱储量动用程度、采油速度、含水上升率以及综合递减率等<sup>[1]</sup>,通过理论计算将其结果与注水指标评价标准对比可判断注水区的注水效果不是很理想,与邻区松 700 井区相比较,效果也不如后

者,但是与非注水区相比较,注水区的剩余油可采储量的采油速度远大于非注水区的值,含水上升系数小于、年产油量综合递减率均小于非注水区,可见注水在一定程度上还是有效的,而且评 15 的注水效果整体好于赵 12 的注水效果(表 1)。

表 1 注水区及非注水区注水开发指标对比统计表

评价指标	评 15 区 (%)	赵 12 区 (%)	非注水区 (%)	松 700 井区 (%)
水驱储量控制程度	60.2	54.1	—	76
水驱储量动用程度	37.9	29.8	—	47.9
剩余油可采储量的采油速度(取平均值)	1.84	1.47	0.47	—
含水上升率系数	1.286	1.506	1.62	—
年产油量综合递减率(取平均值)	6.46	8.68	12.02	—

备注:“—”为无原始数据,无法计算

上面分析了整个区块的注水效果,下面将针对单井的见水见效展开分析。

## 2 单井注水见效规律分析

引入月总递减率来定量判断受效类型,月总递减率的公式如下:

$$D = (Q_0 - Q_1) / Q_0$$

其中  $Q_0$ —上月月产油量, t;  $Q_1$ —本月月产油量, t。  $D$  如果为正, 则月产油量降低;  $D$  如果为负,

则月产油量增加。

根据每口井的月总递减率和见水见效历时并结合每口井的单井生产曲线变化特征从定量和定性角度对见效类型进行归类, 把本区油井按受效程度分为五类: 见效明显井、见效一般井、注采反映不明确井、不见效井和水淹井(表 2)。

表 2 油井注水见效分类表

类别	井数 (口)	所占比例 (%)	见水历时 (d)	月总递减率(%)		注采井距 (m)	水线推进速度 (m/d)
				受效前	受效后		
注水明显见效	13	12.87	97	7.7	-30	178.57	1.91
注水见效一般	27	26.73	378	2.2	-25.9	193	0.569
注采反映不明确	42	40.61	-	-	-	-	-
注水不见效井	9	8.92	-	-	-	-	-
水淹井	10	10.89	-	-	-	-	-

备注:“—”为无原始数据,无法计算。

### 2.1 I 类注水见效明显井

此类井共 13 口, 所占比例为 12.87%, 其主要特征为: 油井见水历时短, 见效后产液量、产油量上升, 部分井受效一段时间后又开始缓慢地进入递减阶段。据统计此类井受效前的平均月总递减率为 7.7%, 受效后的平均月总递减率为 -30%。

这类型井受效快的原因主要为: (1) 注采井距较小, 注入水水线推进速度快, 注采井距为 157.2 ~ 207.93 m, 平均注采井距为 178.57 m, 水线推进速度为 1.048 ~ 5.412 m/d, 平均水线推进速度为 1.91 m/d; (2) 油井大多处于水下分流河道微相, 油水井主要产层对应射开且微相组合良好。

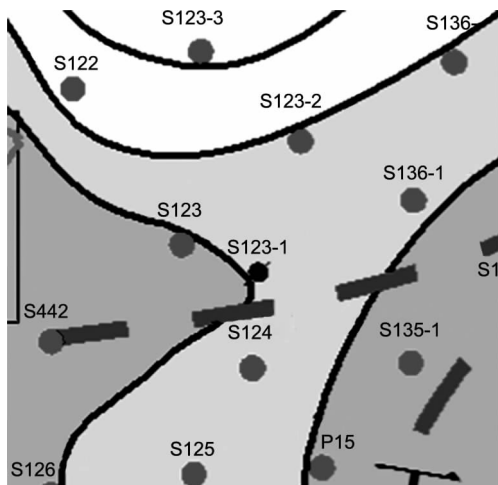


图 1 松 123-1 注水井组的长 611 沉积微相平面图

如松 123-2, 中心注水井松 123-1(图 1)投注 5 个月该井见效, 受效前月总递减率为 1.3%, 受效后的月总递减率为 -25%, 受效明显, 分析原因认为其一该井位于水下分流河道, 渗透性好; 其二此处有微裂缝的存在, 位于裂缝侧向的该井受效明显, 而位于裂缝主方向的松 123 井水淹, 表明了注入水沿着主裂缝方向推进快的特征; 其三该井与注水井之间的注采对应关系好, 同样位于裂缝侧向的松 124 井注水后完全不见效, 主要是因为注采不对应, 即上注下采<sup>[2]</sup>。

### 2.2 II 类注水见效一般井

此类受效井共 27 口, 所占比例为 26.73%, 其主要特征为: 油井见水历时长, 见效后产油量、产液量稳定, 部分井稳定一段时间后又开始缓慢地下降。据统计, 此类井受效前的平均月综合递减率为 0.022, 受效后的平均月综合递减率为 -0.259。

这类型井受效快的原因主要为注采井距中等, 注入水水线推进速度较慢, 注采井距为 151.2 ~ 267.12 m, 平均注采井距为 193 m, 水线推进速度为 0.379 ~ 1.113 m/d, 平均水线推进速度为 0.569 m/d。

注采井距基本相当的情况下, 因所处于不同相带时, 油井的见效特征迥异。如注采见效一般的松 614-3 井, 位于水下天然堤相带中, 注采井距 185.7 m, 注水井投注 16 个月见效; 而见效明显的松 615-9, 位于水下分流河道相带中, 注采井距 207.9 m, 注入

水投注2个月后就见效。

### 2.3 注采反映不明确

此类井共42口,所占比例为40.61%,注水井投注前后油井的产液量、产油量、含水率以及月综合递减率变化无规律可循,递减不同程度得到减缓。

### 2.4 IV类注水不见效井

此类井共9口,所占比例为8.92%,其主要特征为:单井产液、产油不随注水量的变化而变化,产油曲线类似于自然能量开发曲线。

造成注水反映不明确和注水不见效的原因主要有注采不对应和注水强度低。

如松135-1井,虽然处于有利的相带,且周围有2口注水井(松123-1和松329-3),但注采不对应,与注水井松123-1是上注下采,与注水井松329-3是下注上采,故注水效果不太好,这种情况建议后期完善注采对应关系,及时补层补孔。

再如注水井赵12井,长期日注量低于 $3\text{ m}^3$ ,其周围6口采油井中有4口为注水反映不明确井,1口为注水不见效井,这是由于研究区油层孔隙度、渗透率低,吸水能力低,再加上存在启动压力,注入水渗流速度低,注水井周围压力升高幅度大<sup>[3]</sup>,单井注水强度逐年降低,这就导致油井的产液能力降低,故需提高油层的注水量以实现注采平衡,从而提高油井产量。

### 2.5 V类暴性水淹井

此类井共10口,所占比例为10.87%,其特征为:注水后,产油量下降,产液量和产水急剧上升,含水率高达90%以上。

本区块引起井水淹的原因主要包括裂缝的存在、采油井的月产液量、注水井的注水量这三方面。由于各口井水淹的情况总体是相似的,都是上述原因的综合,但各种因素的作用程度却是不同的。南泥湾采油厂长6储层裂缝有两种,一种是天然裂缝,其主裂缝方向在 $NE60-80^\circ$ 之间;二是人工裂缝,其主裂缝方位主要以近北东方向。裂缝的存在直接影响注水推进的方向性和油井见效的周期性<sup>[2]</sup>。统计油井水淹情况,10口水淹井中其中6口是由于裂缝的存在造成的。如松123,该井自2007年1月份开始生产后,含水较为稳定,在40%~62.9%,平均含水率为45.7%,后于2008年1月份关井,于2013年12月重新开井生产,一开井立刻水淹,含水100%,生产层位长6-2-2。其周围只有一口注水井松123-1井,该注水井从2012年7月开始注水,

所以推断松123井和松123-1井之间存在微裂缝,即存在北西向裂缝。空气泡沫驱的成功应用也证明了这一认识,后来该中心注水井松123-1井采用空气泡沫驱,空气泡沫驱的堵水效果明显,松123的含水已下降为15%。

据统计,3口水淹井是由于月产液量大造成的。单井产液强度过大的话,井底流压减小,井筒周围的水发生窜流造成水淹<sup>[5]</sup>,水淹形成之后,会使得产液量上升而产油量下降,对于这种情况,建议暂时关井压水锥,开井后严禁强采强排,产液量不得高于 $20\text{ m}^3$ 。

综合以上分析,见效不明显井呈零星分布,集中在南部和东南部;而水淹井则主要分布在东南部和中部地区,表明这些区域裂缝较发育,且主要呈近东西向及北东向展布;见效一般井分布广泛,以东北部地区居多。

## 3 调整措施

根据油井的不同见水见效规律以及影响因素,对注水见效不明显井、不见效井、水淹井及相关注水井提出针对性措施,以提高注水效率。

### 3.1 洗井酸化增注

研究区的合理注水压力不超过10 MPa,合理注水量为 $5\sim 8\text{ m}^3$ 。截至2015年6月,赵12井区的平均单井日注量为 $3.16\text{ m}^3$ ,比合理注水量低很多,加之目前的累积注采比仅为0.27,远不能保持注采平衡,但其注水压力为9 MPa,已经没有多少上升的空间,这主要是因为长期注水开发和频繁修井作业过程中,携带入地层的杂质经常造成严重的地层堵塞,所以出现注不进去的现象,注水量下降。建议对日注量长期低于 $3\text{ m}^3$ 的注水井进行洗井酸化从而达到增注的目的。

### 3.2 完善射孔层位

由于油井、水井射孔或油井转注时间不统一,每次射孔只考虑了局部井组的连通性,没有通盘考虑,从而导致了射孔不完善,注采对应率低,注水不见效或见效不明显等问题。建议全面复查射孔层位,理顺注采对应关系,通过补孔提高注采对应率,经统计,共补孔57井层。

### 3.3 调整注采井网

研究区目前是反七点井网,其优点是平面波及系数比较高,但是对于超低渗油藏,压裂投产井,并且裂缝为具有方向性的垂直缝时,反七点井网水淹

往往具有方向性,其它方向注入水推进半径有限,油井不见效。鉴于注水区的目前较差的注水效果,建议将赵12注水井区裂缝线方向即NEE方向的严重水淹油井转注或关井,共转注油井12口,形成沿裂缝方向的注水井排,充分利用裂缝高吸水能力和水线推进均匀的特点,将反七点注采井网开采方式转变为沿裂缝方向线状注水,向裂缝侧向驱油的开采方式,提高水驱波及体积,促进侧向油井见效<sup>[4]</sup>,提高油井产量。目前,此措施在安塞油田得到成功应用。

### 3.4 空气泡沫驱

空气泡沫驱技术综合了空气驱油和泡沫驱油的双重优势,它不仅具有调剖和驱油的双重功能,而且还克服了空气驱易气窜的缺点<sup>[5]</sup>。

评15空气泡沫站自2015年7月14日建成开始运行,结合实际运行情况,经动态分析,空气泡沫驱在评15区域已经开始见到效果,空气泡沫注入井6口,受益油井30口,其中4口油井注水时综合含水率为100%,目前为15%。但由于注入时间较短,注入量较少,目前增产效果还不明显,但空气泡沫驱的堵水效果已经在该区域体现出来,结合空气泡沫驱油相比注水驱油驱油效率高、最终采收率高、堵水不堵油等特点,在研究区仍十分有前景,目前需保证

平稳运行,进一步验证效果后可在南泥湾采油厂其它区域推行。

## 4 结论

(1)研究区的注水区见效井数占40%,可见在注水在一定程度上见效。

(2)针对存在的问题提出了相应的治理建议:洗井酸化、完善射孔层位、调整注采井网以及空气泡沫驱,其中空气泡沫区在堵水方面效果显著。

### 参考文献:

- [1]王洋,王建,徐宁蔚. 苏北低渗透注水开发油田开发效果评价[J]. 油气藏评价与开发,2011,1(5): 34-39.
- [2]杨正茂,孙秀武. 腰英台油田注水见效规律分析[J]. 油气藏评价与开发,2011,1(4): 40-43.
- [3]朱维耀,孙玉凯,王世虎,等. 特低渗透油藏有效开发渗流理论和方法[M]. 石油工业出版社,2010: 39-44.
- [4]李怒军,柳良仁,熊维亮. 安塞油田特低渗透油藏有效驱替压力系统研究及注水开发调整技术[J]. 石油勘探与开发,2002,29(5): 62-65.
- [5]杨德华. 空气泡沫驱油机理研究[J]. 内蒙古石油化工,2015(20): 143-145.

[责任编辑 李晓霞]

## Study on Water Injection Effect Law Analysis and Adjustment Measures in 294 Well Area in Nanniwan Oilfield

KANG Yuan-yuan<sup>1</sup>, WANG Shou-jun<sup>2</sup>, LV Jian-guo<sup>2</sup>

(1. College of Petroleum Engineering and Environment Engineering, Yan'an University, Yan'an 716000, China;

2. Second Engineering Project Department of Changqing Drilling Engineering Co., Ltd, Xi'an 710000, China)

**Abstract:** The 294 well area of Nanniwan oilfield belongs to ultra-low porosity and ultra-low permeability reservoir. Through the analysis of the water injection effect law of the oil well, it provides the basis for the later implementation adjustment measures. First of all, by calculating and contrasting the five water injection effect evaluation indexes of water injection area and non-water injection area, it can be seen that water injection was effective to some extent. Then combined with the monthly total decline rate and the water effect duration, the water injection effect law of single well was analyzed, The effectiveness of the oil wells in the water injection block was divided into five categories, which were obvious effective wells, generaleffective wells, wells without clear injection-production reflects, no effectness wells and flooded wells. Water flooding fuzzy reflects and water flooding wells account for more than half of the proportion. And there are 10 flooded wells. Finally, the treatment suggestions for the well water injection effect are proposed, including well washing acidizing, improving perforating horizon, adjusting injection well network and air foam flooding.

**Key words:** 294 well area in Nanniwan oilfield; water injection; law of effect; air foam flooding