

胜采四区注水系统降管损、控含水的工程方法

孔令一 郭振海 崔汝东 孙玉龙 程政淳

胜利油田分公司胜利采油厂

DOI:10.12238/jpm.v3i8.5202

[摘要] 针对四区注水系统管损较大的现象,从流体力学的角度,分别在布局、长度、内径(结垢)、水质方面进行原因分析并提出优化建议,二排东、西注水管网优化后,长度减少0.42km,配水间压力由12.5MPa提升至13.5MPa,管网效率由79.5%提升至82.1%,并探索形成抑制碳酸盐垢结垢、降管损的日常管理手段,如管网内温度控制在45度以下。针对注水系统高耗水、高库存的问题通过理论公式计算及主要非均质条件界定,创新提出高含水单元、大压差压驱、提注、提液、控含水分类实施的工程条件:当 $4 < \text{韵律层间渗透率级差} < 5$ 时,随着注采比增大,储层生产始终保持线性达西流,表现为综合含水下降,产量增加。依此优选沙二83单元(层间渗透率级差4.1)ST2-1X176注水井试验,整个过程中油井的含水整体稳定、略有下降,为老油田开发提供一种工程方法思路。沙二 8^{3-5} 单元82小层上部发育稳定的泥岩层,83小层下部发育稳定的灰质泥岩,自成体系具备大规模大压差压驱、提注、提液、提效条件。

[关键词] 管损; 流体力学; 长度; 结垢; 非均质; 大压差; 提注; 提液; 渗透率级差; 线性达西流
中图分类号: K826.16 **文献标识码:** A

Engineering method of pipe loss reduction and water content control

Lingyi Kong Zhenhai Guo Rudong Cui Yulong Sun Zhengchun Cheng

Shengli oil production plant of Shengli Oilfield Company

[Abstract] In view of fluid mechanics, from the perspective of layout, length, internal diameter (scale), water quality cause analysis and optimization Suggestions, two row of east and west water injection pipe network optimization, length reduction of 0.42km, water distribution pressure from 12.5MPa to 13.5MPa, pipe network efficiency from 79.5% to 82.1%, and explore the formation of daily management means to inhibit carbonate scale scale, pipe loss, such as pipe network temperature control below 45 degrees. For water injection system of high water consumption, high inventory through the theoretical formula calculation and main heterogeneous conditions, innovation proposed high water content unit, large pressure difference pressure drive, infusion, liquid, water control classification of engineering conditions: when $4 < \text{rhythm layer permeability difference} < 5$, with the injection ratio increases, reservoir production always keep linear to west flow, as comprehensive water content decline, the production increase. According to the ST2-1X176 injection well test of Unit 83 (4.1), the water content of the oil well in the whole process is stable and slightly decreased, providing an engineering method for the development of old oil fields. The stable mudstone layer in the upper part of the small layer of unit 8^{3-5} of Sha 2 and the stable gray mudstone in the lower part of the small layer have the self-formed system for large-scale large pressure and differential pressure flooding, infusion, liquid lifting and efficiency improvement.

[Key words] tube damage; fluid mechanics; length; scaling, heterogeneous; large pressure difference; infusion; extraction; permeability level difference; linear reach west flow

1 胜采四区注水系统概况

管理四区共有注水站2座,胜七注水站、胜229精细注水站,水源来自坨六采出水站,水质为III级,水井开井113口,地面注水管线长26.8km。

胜七注设计注水规模 $2.2 \times 104 \text{m}^3/\text{d}$,设计注水压力16MPa,

目前实际注水量为 $1.32 \times 104 \text{m}^3/\text{d}$,实际运行泵压13.8MPa,站内已建离心式注水泵4台(2用2备)。包括4条注水干线管线,配水间共23座,23条注水支干线,118条单井注水管线。

其中二排东、二排西注水干线,管损问题尤为突出。二排东注水干线投产于1989年,后期对注水管线进行了局部更新,管线

规格共有Φ245×18、Φ168×13、Φ114×11三种规格。管辖注水间9座,注水井32口,注水量为3254m³/d,配水间平均压力为12.57MPa,单井平均压力为12.0MPa,管损为1.8MPa。二排西注水干线投产于1989年,管线规格共有Φ245×18、Φ168×13两种规格。实际注水量为2893m³/d。管辖注水间3座,实际注水量为2893m³/d,配水间平均压力为13.3MPa,单井平均压力为11.8MPa,管损为2.0MPa。

胜采管理四区注聚管线共两段,有注聚井20口,由于管线结垢堵塞严重造成的欠注、管损等问题日益加剧,已调查的17口井的压力损失数据中,9口管损超过1MPa,最高达到2.5MPa。

2 降管损方法分析

根据流体力学中的沿程阻力损失公式:

$$P = \lambda \cdot \frac{l}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \cdot \rho \quad (1)$$

式中: l ——管线长度;

D ——管线内径;

v ——液流流速;

λ ——摩擦阻力系数;

ρ ——水的运动粘滞系数。

因为 $v = Q/A = 4Q/\pi D^2$ (2)

把公式(2)代入(1)中,可得:

$$P = \frac{\lambda v}{\pi^2 g} \cdot \frac{8Q^2 l}{D^5} \quad (3)$$

由公式(3)可看出,在流量一定时,管损与管线的长度、注入水的运动粘滞系数成正比关系,与内径成反比关系,而注水管线的内径的缩小很大程度上与结垢有着直接关系。

2.1二排东、西注水管网布局不合理、注水管线过长导致管损大

注水干线	配水间	注水井(口)	配水间压力(MPa)	注水量(m ³ /d)
二排东注水干线	37288配水间	3	12.45	165
	2224配水间	9	12.63	794
	S244配水间	3	12.66	616
	N2632配水间	4	12.85	451
	S2N10配水间	3	12.45	369
	N2N6配水间	1	12.55	43
	2220配水间	5	12.56	278
	2217配水间	1	0	0
	22165配水间	3	12.43	538



图1-1 二排东注水干线末端

二排东注水干线末端的22165、S2N10、S2N6、2220配平均注水压力12.5MPa,其中末端的22165配与胜七注水站直线距离为1.18千米,而管网因绕行S244配水站,管线长度为2.56千米,因注水管网布局不合理,造成末端配水间管损达到1.3MPa。

二排西注水干线中段管辖的N2632、2224配水间所辖的注水井位于配水间的一侧,未处于注水井的负荷中心,布局不合理,导致单井注水管线较长,末端管损大。

配水间	注水井	管径(mm)	管材	内防	长度(m)	投产时间
N2632配水间	ST2-1-240	Φ89×8	钢管	无	380	2017
	ST2-1-244	Φ76×7	钢管	无	435	2008
	ST2-2-217	Φ76×7	钢管	无	70	2017
2224配水间	ST2-2N202	Φ76×7	钢管	无	300	2017
	ST2-2-225	Φ76×7	钢管	无	195	2012
	ST2-2-263	Φ89×8	钢管	无	265	2014
	ST2-2-266	Φ89×8	钢管	无	462	2016
	ST2-3-237	Φ76×7	钢管	无	654	2016
	ST2-2-284	Φ76×7	钢管	无	867	2017
	ST2-2-273	Φ89×8	钢管	无	760	2018
	ST2-2-284	Φ89×8	钢管	无	867	2019
	ST2-2-222	Φ76×7	钢管	无	53	2018
ST2-2-223	Φ76×7	钢管	无	36	2018	



图1-2 二排东注水干线中段

2.2二排东、西注水管网优化

将二排东注水干线所辖的22165、S2N10、S2N6、2220配水间调整至二排西注水干线;将二排西注水干线所辖的2124配水间调整至二排东注水干线。调整后长度减少0.42km,配水间压力由12.5MPa提升至13.5MPa,管网效率由79.5%提升至82.1%新建十井式、五井式撬装配水阀组各1座,取消N2632、2224配水间,所辖的注水井就近接入新建的撬装配水阀组,预计减少单井管线2.74km,预计管损将减少到0.8-1.4MPa。受益的主要单元区块为胜二区沙二8³⁻⁵块。

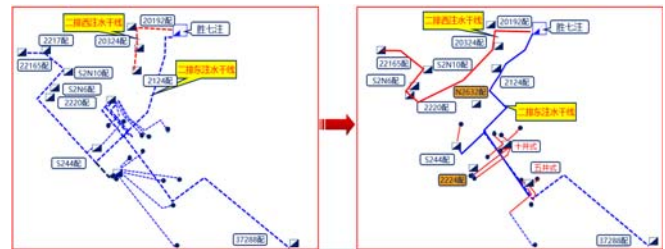


图1-3 二排东、西注水干线优化图

3 大压差提注、提液、控含水理论方法分析

3.1 大压差提注、提液、控含水机理

对于多层油藏合采或非均质性较厚油层单层开采, 油藏含水达到一定数值后, 可将油藏简化为两种普通情形去分析, 即水层和油层。根据达西渗流定律, 可推导出油藏含水率、井底流压、产油量、产液量之间的相互关系式, 即:

$$f_w = \frac{Q_w}{Q_o + Q_w} = \frac{J_w(P_w - P_{wf})}{J_o(P_o - P_{wf}) + J_w(P_w - P_{wf})} = \frac{J_w P_w - J_w P_{wf}}{J_o P_o + J_w P_w - (J_o + J_w) P_{wf}} \quad (1)$$

对(1)式关于井底流压求导, 得

$$\frac{df_w}{dP_{wf}} = \frac{J_o(P_w - P_o)}{[J_o P_o + J_w P_w - (J_o + J_w) P_{wf}]^2} \quad (2)$$

(2)式说明:

①当 $P_w > P_o$ (水层压力 > 油层压力) 时, 有 $\frac{df_w}{dP_{wf}} > 0$,

则降低井底流压 P_{wf} 生产时(提液), 则全井含水率下降, 反之, 增大井底流压 P_{wf} 生产, 含水率反而上升。

②当 $P_w < P_o$ 时(水层压力 < 油层压力), 有 $\frac{df_w}{dP_{wf}} < 0$,

则降低井底流压 P_{wf} 生产时, 则全井含水率上升, 反之, 增大井底流压 P_{wf} 生产, 含水率反而下降。

③当 $P_w = P_o$ 时(包括油水同层), 则全井含水率不随流压的改变而改变。

$$Q_o = J_o(P_o - P_{wf}) = J_o(P_o - P_t) + \frac{J_o}{J_t} Q_t = \frac{J_o J_w}{J_t} (P_o - P_w) + \frac{J_o}{J_t} Q_t \quad (3)$$

通过理论计算, 不论油水层相互压力如何变化, 产油量随提液量(降低井底流动压力)的增大而增大, 特别是第一种情况, 提液再配合大压差提注共同实施, 提高驱替压力梯度后, 水相动能增加打破已形成的平衡状态, 有效动用剩余油, 为胜利采油厂高含水区块通过实施大压差提注、提液, 实现增产提供理论基础。

3.2 主要非均质性界定达西渗流

渗透率级差是影响多层合采开发效果的最重要的非均质性影响因素, 通过该指标研究可以界定开发矛盾构成(层内非均质、层间非均质)、达西渗流方程是否能够保持。

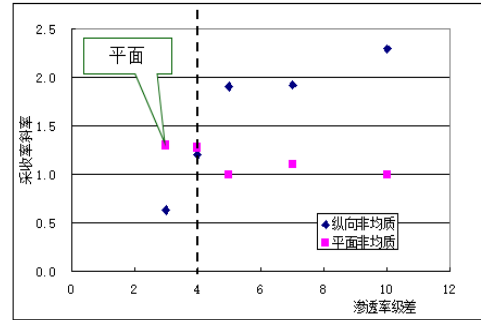


图5-1 不同平面及纵向非均质影响采收率对比

表1 达西线性渗流和高速非达西渗流时水推速度对比

注采井距 /m	实际水推速度 /mm·s ⁻¹	达西线性渗流水推		高速非达西渗流水推速度/mm·s ⁻¹			
		速度/mm·s ⁻¹	n = 0.5	n = 0.6	n = 0.7	n = 0.8	
279	1.06	0.2389	8.9247	4.3265	2.0974	1.0168	
212	3.48	0.3145	10.2383	5.1015	2.5419	1.2666	

图5-2 《疏松砂岩油藏大孔道中高速非达西渗流对产能的影响分析》 崔传智、杨勇等

通过不同平面及纵向非均质影响采收率对比图(图5-1)可得: 当纵向渗透率级差 < 4 时, 以平面非均质为主; 当纵向渗透率级差 > 4 时, 以纵向非均质为主。

引入雷诺数, 依据达西线性渗流和高速非达西渗流时水推速度对比(图5-2), 当 $Re < 0.2 \sim 0.3$ 为达西渗流; 当 $Re > 0.2 \sim 0.3$ 非达西渗流, 一旦出现高速非达西流造成高渗带流动速度加快, 含水上升快, 水驱效果变差。

$$Re = \frac{\sqrt{K/\phi} \rho v}{\mu}$$

$Re < 0.2 \sim 0.3$ 达西渗流

$Re > 0.2 \sim 0.3$ 非达西渗流

因此, 应把在一定非均质条件下, 出现高速非达西流时的注采比, 作为注采比上限。

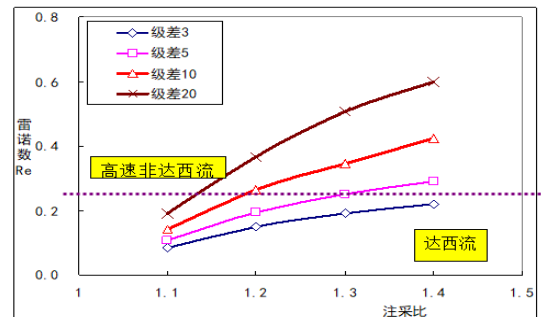


图5-3 不同注采比、渗透率级下差雷诺数Re曲线

通过不同注采比、渗透率级下差雷诺数Re曲线, 得出渗透率级差 < 5 时, 随着注采比增大, 始终为线性达西, 即当流量较大时或注采比较大时, 流量与压差始终保持达西直线渗流方程关系,

不会发生严重水窜和大孔道水淹情况;渗透率级差>5后,随着注采比增大,储层中出现非达西流。

综上,创新提出高含水单元、大压差压驱提注、提液、控含水分类实施的工程条件:当4<层间渗透率级差<5时,随着注采比增大,储层生产始终保持为线性达西流,表现为综合含水下降,产量增加。

4 结论、认识及建议

二排东、西注水干线通过优化,长度减少0.42km,配水间压力由12.5MPa提升至13.5MPa,管网效率由79.5%提升至82.1%,受益的主要单元区块为胜二区沙二⁸⁻⁵块。

结垢在管径、摩擦阻力系数、粘滞系数三个方面影响管损,而且结垢与腐蚀也往往相伴相生,通过结垢(加剧)形成机理精细刻画、从温度、酸碱度、聚合物浓度、流量方面摸清对碳酸盐垢结垢的影响规律、探索抑制结垢、降管损日常管理手段。

通过理论计算得出,不论油水层相互压力如何变化,产油量随提液量(降低井底流动压力)的增大而增大,特别是第一种情况,为胜利采油厂高含水区块通过实施大压差提注、提液,实现增产提供理论基础。

通过主要非均质条件界定,创新提出高含水单元、大压差压

驱提注、提液、控含水分类实施的工程条件:当4<层间渗透率级差<5时,随着注采比增大,储层生产始终保持为线性达西流,表现为综合含水下降,产量增加。

依此优选沙二⁸⁻⁵单元(层间渗透率级差4.1)ST2-1X176注水井试验,整个过程中油井的含水整体稳定,略有下降。其中ST2-1X211井压驱前日液22.4方,日油0吨,含水100%,压驱后液量398.9方,油量7.9吨,含水98.01%,其他井都由于出砂导致短期内停井。考虑该单元层间距小,实现精细分层困难以及油井出砂的问题,结合注水管网改造提升工程,调整思路是将沙二82和83分为两套,整体轮替温和提压开发。

[参考文献]

- [1]崔传智.疏松砂岩油藏大孔道中高速非达西渗流对产能的影响分析[J].石油天然气学报,2009,31(03):122-125+129+8.
- [2]廖柠,黄坤,孔令圳,吴锦.基于动态实验的玻璃钢原油管道结垢规律研究[J].中国安全生产科学技术,2017,13(09):35-40.
- [3]刘振,王丽玲.环道实验研究碳酸钙结垢规律[J].当代化工,2014,43(07):1181-1184.
- [4]张晓磊,李尚海.聚合物对三元复合注入体系结垢的影响[J].油气田地面工程,2012,31(08):15-16.

中国万方数据库简介:

万方数据成立于1993年,在原万方数据(集团)公司的基础上,由中国科学技术信息研究所联合中国文化产业投资基金、中国科技出版传媒有限公司、北京知金科技投资有限公司、四川省科技信息研究所和科技文献出版社等五家单位共同发起成立——“北京万方数据股份有限公司”。

万方数据是国内较早以信息服务为核心的股份制高新技术企业,经过20年来快速稳定的发展,万方数据目前拥有在职员工近千人,其中硕士以上学历约占25%,专业技术人员占70%,已经发展成为一家以提供信息资源产品为基础,同时集信息内容管理解决方案与知识服务为一体的综合信息内容服务提供商,形成了以“资源+软件+硬件+服务”为核心的业务模式。

万方数据以客户需求为导向,依托强大的数据采集能力,应用先进的信息处理技术和检索技术,为决策主体、科研主体、创新主体提供高质量的信息资源产品。在精心打造万方数据知识服务平台的基础上,万方数据还基于“数据+工具+专业智慧”的情报工程思路,为用户提供专业化的数据定制、分析管理工具和情报方法,并陆续推出万方医学网、万方数据企业知识服务平台、中小学数字图书馆等一系列信息增值产品,以满足用户对深层次信息和分析的需求,为用户确定技术创新和投资方向提供决策支持。

在为用户提供信息内容服务的同时,作为国内较早开展互联网服务的企业之一,万方数据坚持以信息资源建设为核心,努力发展成为中国优质的信息内容服务提供商,开发独具特色的信息处理方案和信息增值产品,为用户提供从数据、信息到知识的全面解决方案,服务于国民经济信息化建设,推动全民信息素质的提升。