

# 镇北油田某侏罗系油藏水驱规律及合理注水政策研究

张鹏飞<sup>1</sup>, 张燕<sup>1</sup>, 何传健<sup>1</sup>, 何丽红<sup>2</sup>, 袁涛<sup>1</sup>

1. 长庆油田公司第十一采油厂, 甘肃 庆阳 745000

2. 庆城县驿马中学, 甘肃 庆阳 745000

**摘 要 :** 镇北油田某侏罗系油藏自2019年投入开发, 主力开发层系延6、延7、延8, 具有平均有效厚度低、有效驱替系统建立快, 见水见效周期短等特点, 近两年井口年产油2.5万吨。随着近几年开发, 受有效厚度小、注水敏感等因素影响, 该区油井含水上升速度加快, 油藏出现较大递减, 并有进一步加大趋势, 开发形势不容乐观。本文从合理注水强度、注采比、采液强度、采油速度等方面剖析了该区侏罗系油藏递减加大的主控因素, 总结出该区合理的开发技术政策, 指导油藏开发调整。

**关 键 词 :** 层状油藏; 注采调控; 合理; 注水政策

## Study on Water Flooding Law and Reasonable Water Injection Policy in a Jurassic Reservoir in Zhenbei oilfield

Zhang Pengfei<sup>1</sup>, Zhang Yan<sup>1</sup>, He Chuanjian<sup>1</sup>, He Lihong<sup>2</sup>, Yuan Tao<sup>1</sup>

1. The 11th Oil Production Plant of Changqing Oilfield Company, Qingyang, Gansu 745000

2. Yima Middle School, Qingcheng County, Qingyang, Gansu 745000

**Abstract :** A Jurassic reservoir in Zhenbei Oilfield has been put into development since 2019, and the main development layer is extended 6, 7 and 8. It is characterized by low average effective thickness, fast establishment of the effective displacement system, and short water effect cycle. The annual output of the wellhead is 25,000 tons of oil in the past two years. With the development in recent years, due to the influence of small effective thickness and sensitive water injection, the water content of the oil well in this area has been accelerated, and the reservoir has decreased greatly, and there is a trend of further increase. The development situation is not optimistic. This paper analyzes the main control factors of increasing Jurassic reservoir from the aspects of reasonable water injection strength, injection-production ratio, liquid extraction strength and oil recovery speed, summarizes the reasonable development technology policy in this area, and guides the reservoir development and adjustment.

**Keywords :** layered reservoir; injection and production control; reasonable; water injection policy

### 一、背景现状

#### (一) 开发概况

##### 1. 地质概况

镇北某侏罗系油藏于2019年开始建立, 主要开发延6、延7、延8层, 属岩性-构造油藏, 以260m×260m正方形反九点井网注水开发<sup>[1]</sup>。平均有效厚度3.8m, 岩芯分析孔隙度14.9%, 岩芯分析渗透率15.3mD, 动用含油面积 $^{*} \times \text{km}^2$ , 动用地质储量 $^{*} \times 10^4 \text{t}$ , 动用可采储量 $^{*} \times 10^4 \text{t}$ , 标定采收率20.1%。

##### 2. 开发现状

2019年开始大规模建产, 整体低含水采油期维持了30个月左右, 目前综合含水37.3%, 采出程度18.37%, 处于中含水高采出稳产阶段。

从分层开采现状统计来看, 延6层日产油44t, 产量占比63.8%; 平均油层厚度3.5m, 延7、延8层日产油25t, 产量占比36.2%, 平均油层厚度4.3m。

#### (二) 稳产面临的形势

##### 1. 油层薄, 无明显边低水

从延6、延7油藏剖面连通图来看, 镇北油田某侏罗系油藏延6、延7油藏无规模边底水, 表明该区域侏罗系油藏天然能量不充足, 开发初期为弹性能驱动, 注水后, 油藏由自然弹性驱动逐渐转变为人工水压驱动<sup>[2]</sup>。

##### 2. 注水见效快, 含水上升风险大

镇北油田某侏罗系油藏注水见效快, 统计该区侏罗系油藏注水与动液面关系曲线, 从曲线上可以看出, 延6油藏同步注水2个月后才开始见效, 延7油藏注水4个月后才开始见效, 含水上率呈上升趋势。目前综合含水37.3%, 含水上率2.2%, 呈上升趋势<sup>[3]</sup>。延6油藏注水敏感, 注水见效快, 局部见注入水, 2023年以来见注入水4口, 损失产能5.4t。

3. 镇北油田某侏罗系油藏侏罗系含水上升风险大, 需探索合理注采技术政策

经2021年以来的对注采对应进行完善, 水驱控制程度由74.1%

作者简介: 张鹏飞(1987-), 男, 汉族, 甘肃正宁人, 高级职称, 本科生, 研究方向: 油气藏增产与改造、提高采收率等。

提升至74.6%，水驱动用程度由84.0%提升至83.4%，水驱状况保持稳中有升，从吸水剖面测试来看，整体剖面吸水较为均匀，表明该区剖面矛盾并不突出<sup>[4]</sup>。延6油藏油层平均厚度5.1m，注水见效快，储层注水敏感加之局部采液强度较高，在相对完善的注水对应基础上，后期开发矛盾可能转为注水平面矛盾，有多方向含水上升风险。需持续优化并论证合理注采技术政策<sup>[5]</sup>。

### （三）开发指标及开发特征

#### 1. 水驱状况及变化特征

一是水驱控制程度由2022年同期的74.1%提升至目前的74.6%，提升了0.5%，水驱动用程度由2022年同期的84.0%下降至目前的83.4%，下降了0.6%，可见水驱状况保持平稳。二是2023年测试5口井，平均吸水厚度7.55m，水驱动用程度83.4%，其中可对比井2口，不可对比井2口，可对比井计算水驱动用程度由去年同期的87.2%下降至目前的82.2%，不可对比井计算水驱动用程度由去年同期的76.5%上升至目前的84.7%。通过测试的吸水剖面形态来看，剖面吸水整体较为均匀。

#### 2. 压力保持水平有所下降

2023年压力测试7口，其中6口为二流量测试；2022年压力测试5口，其中2口二流量测试，3口为井下关井测试。从测试结果计算来看，压力保持水平有所下降，该区侏罗系油藏原始地层压力14.44MPa，目前压力保持水平由去年同期的90.7%下降至目前的90.2%，压力保持水平趋于合理。

#### 3. 含水上升加快，含水上率偏高

一是目前综合含水37.3%，含水上率2.2%，呈上升趋势。二是延6油藏注水敏感，注水见效快，局部见注入水，2023年以来见注入水4口，损失产能5.4t。从6口见水井的见水特征曲线可以看出，见水类型均呈现空隙型见水特征。

#### 4. 两项递减减小

对比近两年递减指标变化，年自然递减由去年同期的16.1%下降至目前的9.6%，标定自然递减由去年同期的5.6%下降至目前的2.1%，2022年以来通过精细注水调整以及剖面治理，递减减小，油藏稳产形势趋于好转<sup>[6]</sup>。

## 二、合理技术政策研究

### （一）合理压力保持水平

共用三种方法进行论证计算该油藏合理压力保持水平。方法一为油藏特征法，即根据类似侏罗系油藏的注水开发经验，合理地层压力保持水平在85%~90%较为合理，计算合理压力保持水平为85.0%；方法二为原油粘度法，即合理的地层压力保持水平为 $0.9P_b + P_{\text{生产压差}}$ ，计算合理压力保持水平为86.7%；方法三为80%静水柱压力法，即80%静水柱压力法即80%的同等深度的静水柱压力，计算合理压力保持水平为92.5%<sup>[7]</sup>。对以上三种方法综合比较取平均值，综合以上3种方法综合确定镇北油田某侏罗系油藏合理的压力保持水平为88.1%。该区压力保持水平有所下降，该区侏罗系油藏原始地层压力14.44MPa，目前压力保持水平由去年同期的90.7%下降至目前的90.2%，对比合理压力保持水平，目前压力

保持水平仍然偏高。

### （二）合理注水强度

一是通过矿场实践统计求证。从含水上升幅度与注水强度关系图可以看出，当注水强度 $\leq 2.7\text{m}^3/\text{m.d}$ 时，含水上幅度较小；从单井产能与注水强度关系图可以看出，当注水强度在 $\geq 2.1\text{m}^3/\text{m.d}$ 之间时，单井产能较高。综上，镇北油田某侏罗系油藏区合理注水强度保持在 $1.4\sim 1.7\text{m}^3/\text{m.d}$ 之间。

二是通过油藏工程法计算求证。根据注采平衡原理，采油井日产量确定后，计算注水井的日注水量，通过将采油井单井日产量、原油密度、注采比、注采井数比几个参数代入后计算延6油藏合理注水强度为 $1.7\text{m}^3/\text{m.d}$ ，计算延7油藏合理注水强度为 $1.5\text{m}^3/\text{m.d}$ 。目前延6、延7油藏注水强度基本合理，延8油藏因滞后注水目前处于加强注水阶段，后续根据油藏变化持续调整优化<sup>[8]</sup>。

三是矿场实践应用探索。桐53-34井前期频繁套返，大法兰和套管短节因为压力高刺漏，对应水井桐52-35井2022年6月延7层配注由 $12\downarrow$ 至 $4\text{m}^3/\text{d}$ ，注水强度由 $1.85\downarrow 0.77\text{m}^3/\text{m.d}$ 后，该井快速响应，配注调整5天后，套管压力下降，目前该井生产运行保持平稳。

### （三）合理注采比

#### 1. 油藏工程及矿场实践统计

一是通过矿场实践统计求证。从注采比与含水上升幅度关系图可以看出，当注采比 $\leq 1.3$ 含水上幅度较小；从注采比与压力保持水平关系图可以看出，当注采比在 $\geq 1.2$ 之间时，单井产能较高。综上，镇北油田某侏罗系油藏区合理注水强度保持在 $1.2\sim 1.3\text{m}^3/\text{m.d}$ 之间。

二是通过油藏工程法计算求证。根据物质平衡原理，代入 $R$ —注采比； $C_t$ —综合压缩系数， $1/\text{MPa}$ ； $V$ —油层体积， $\text{km}^3$ ； $\Delta P$ —压差， $\text{MPa}$ ； $f_w$ —含水率，小数； $q_0$ —日产油， $\text{t/d}$ ； $q_w$ —日产水， $\text{m}^3$ ； $B_0$ —原油体积系数； $B_w$ —水体积系数等参数，计算延6油藏合理注采比1.17，延7油藏合理注采比1.05。根据水油比关系法，代入 $R$ —注采比； $f_w$ —含水率，小数； $q_0$ —日产油， $\text{t/d}$ ； $q_w$ —日产水， $\text{m}^3$ ； $B_0$ —原油体积系数； $M$ —注采井数比。计算延6油藏合理注采比1.24，延7油藏合理注采比1.12。结合两种评价方法，镇北油田某侏罗系油藏区侏罗系油藏合理注采比为1.1~1.3。

三是矿场实践应用探索。该区初期注采井网不完善，储层能量下降快，导致2021年产量递减快，其后开展剖面治理，加大注水强度至1.8，井组见效明显，但综合含水也随之上升，2022年为控制含水上升，多口井配注下调，控制注采比在1.1~1.3，目前含水趋于稳定<sup>[9]</sup>。

#### 2. 注水政策同其他指标矿场相关性研究

一是注水强度、注采比与压力保持水平相关性。根据注水强度与压力变化曲线可以看，经过历年的注水调整，目前注水强度在 $1.5\text{m}^3/\text{m.d}$ 左右时，压力保持水平趋于合理；从注采比与压力变化曲线可以看出，注采比在0.9左右时，压力保持水平趋于合理。

二是注水强度、注采比与含水上幅度相关性。从注水强度与含水上幅度关系图可以看出，注水强度小于 $1.6\text{m}^3/\text{m.d}$ 时，

含水上升幅度较慢；从注采比与含水上升幅度关系图可以看出，注采比小于1.0时，含水上升幅度较慢。

三是注水强度、注采比与递减相关性。从注水强度与标定递减关系曲线可以看出，通过近年的注水调整，目前注水强度在 $1.5\text{m}^3/\text{m.d}$ 左右，标定递减较小；注采比在1.0左右，标定递减较小。

#### （四）合理采液强度

从采液强度与含水上升幅度关系图可以看出，采液强度小于 $0.7\text{m}^3/\text{m.d}$ 时，含水上升幅度小；从采液强度与单井日产油关系图可以看出，采液强度为 $0.5\text{m}^3/\text{m.d}$ 时，单井日产油能力较为合理。结合采液强度与日产油关系图，采液强度控制在 $0.5\text{—}0.7\text{m}^3/\text{m.d}$ 比较合理。目前仍有11口井油层厚度平均为4.9m，日产液平均 $7.1\text{m}^3$ ，11口井平均采液强度达 $1.4\text{m}^3/\text{m.d}$ ，仍需对11口井采液强度进行优化。

#### （五）合理采油速度

一是通过油藏工程法计算求证。根据流动系数、井网密度与采油速度的关系，代入N地质储量， $10^4\text{t}$ ； $v_0$ 合理采油速度； $\Delta P$ 油藏压降，MPa；A含油面积， $\text{km}^2$ ；Rot油井数/总井数；a计算系数；n井网密度，井/ $\text{km}^2$ ；k有效渗透率；h油层厚度； $\mu$ 地层原油粘度，mPa.s。回归计算出合理采油速度，镇北油田某侏罗系油藏区侏罗系油藏合理采油速度为1.2%。

二是通过经验公式法计算。代入 $V_0$ —采油速度，%；K—渗透率， $10^{-3}\mu\text{m}^2$ ；h—有效厚度，m； $\mu$ —原油粘度，mPa.s； $\eta$ —井网密度，well/ $\text{km}^2$ 。1.0301。结合油藏工程法、经验公式法综合确定镇北油田某侏罗系油藏油藏合理的采油速度范围 $1.0\text{—}1.2\text{m}^3/\text{d/m}$ 。

### 三、现场应用

#### （一）精细注采调控

镇北油田某侏罗系油藏区建产以来配注调整55井次，持续以加强注采对应关系研究为重点，开展镇北油田某侏罗系油藏区注采继续政策的持续优化并跟踪评价。2023年坚持温和注水，其中加强注水7井次，控制注水18井次，注水强度 $2.21\downarrow 1.57\text{m}^3/\text{m.d}$ ，油藏年自然递减由 $15.9\%\downarrow 9.0\%$ ，标定自然递减由 $5.6\%$ 下降至目前的 $2.1\%$ ，2022年以来通过精细注水调整以及剖面治理，递减大幅减小，油藏稳产形势趋于好转<sup>[10]</sup>。

其中典型井桐 TF-37井2019年8月投注，注水介质清水。对应采油井6口，除桐 TF-38套破外，2022年来该井组综合含水由 $9.8\uparrow 21.2\%$ ，平均动液面由 $934\uparrow 531\text{m}$ ，桐 TF-37今年8月控制注水后井组含水上升趋于稳定，目前桐 TF-37日配注 $12\text{m}^3$ ，日注 $12\text{m}^3$ （延6层日注 $4\text{m}^3$ ），累计注水量 $17947\text{m}^3$ 。典型井桐 TF-37井于2019年7月投产，生产层位延6<sub>2</sub>，投产初期日产 $5.76\text{m}^3/4.47\text{t}/9.5\%$ ，动液面613m；2022年9月该井见水见效，液量由 $4.52\uparrow 5.64\text{m}^3$ ，含水由 $8.0\uparrow 16.2\%$ ，动液面由 $842\uparrow 173\text{m}$ ，其后及时调整该井对应水井配注，桐 TE-37延6<sub>2</sub>层配注由 $6\downarrow 4\text{m}^3/\text{d}$ ，目前该井日产 $5.22\text{m}^3/3.61\text{t}/17.7\%/27489\text{mg/L}$ ，动液面已从 $173\text{m}\downarrow 369\text{m}$ ；累计产油4825t，累计产水543m<sup>3</sup>。

#### （二）持续优化注水采技术政策

一是以加强注采对应关系研究重点，该油藏自开发以来，历经多次调整，先是投产产能快速递减，加强了注水，并对5口注水井进行补孔，进一步完善注采对应。随后油井开始见效见水，个别井点含水上升过快，遂借鉴区域其他类型油藏的开发特征，对合理注水政策进行论证，进行了多轮次的注水调整，且以控制注水为主，经过多轮次的精细注水调整，目前油藏含水上升速度得以遏制，油藏递减见效，后续仍然需要开展镇北油田某侏罗系油藏区注采继续政策的持续优化并跟踪评价。后续优选两个井组开展水驱前缘或井间连通性测试，评价注水优势方向。二是完善注采层系补孔3口，实施重复压裂1口，实现措施引效，提高单井产量。三是开展补孔分注1口，单层增注1口，持续改善剖面水驱状况，提升水驱开发效果。

### 四、结论认识

一是镇北油田某侏罗系油藏侏罗系薄层层状油藏无明显边底水，自然能量不充足，需要注水开发；

二是该区注水敏感，见水见效快，延6油藏同步注水2个月开始见效，延7油藏注水4个月开始见效，含水上升风险大；

三是通过论述，镇北油田某侏罗系油藏区侏罗系油藏合理开发技术政策为：压力保持水平控制在91.3%，采油速度控制在1.2%，注采比控制在 $1.0\text{—}1.3\text{m}^3/\text{m.d}$ ，注水强度控制在 $1.5\text{—}1.7\text{m}^3/\text{m.d}$ ；

四是针对此类薄层层状油藏更应该精细注采调整，实现油藏高效管控，2021年该区实施剖面治理5井次，配注调整24井次。2022年配注调整10井次，2023年注水调整25井次；

五是该区目前延6、延7油藏注采技术政策基本合理，延8油藏因滞后注水目前处于加强注水阶段，后续根据油藏变化持续调整优化。

### 参考文献

- [1]胡天宝，毛建文，任晓明，等. 彭阳油田侏罗系油藏开发特征及稳产技术研究[C]//第十二届宁夏青年科学家论坛石化专题论坛. 2016:5.
- [2]陈德照，吴勤博，杨颀，等. TBC侏罗系油藏控水稳油对策研究[J]. 中国石油和化工标准与质量，2023.
- [3]吴娟丽. 华庆油田白153井区长6油藏储层特征研究[D]. 西安石油大学，2014.
- [4]陈德照，吴勤博，杨颀，等. TBC侏罗系油藏控水稳油对策研究[J]. 中国石油和化工标准与质量，2023.
- [5]陈磊，王皓立，邹焰，等. Y267延8侏罗系油藏控水稳油技术研究[J]. 内蒙古石油化工，2023,49(1):77-80.
- [6]赵辉，周美红，郭文娟，等. 侏罗系油藏储层连通性研究及应用[J]. 石油化工应用，2020,39(3):4.
- [7]安娜，杨学武，李金国，等. 靖安低渗透油藏气驱提高采收率研究[J]. 中国科技期刊数据库，工业A,2022(5):4.
- [8]汪刚，王学峰，赵杰，等. 白豹油田白111区块延10油层组开发存在的问题及政策调整[J]. 油气井测试，2020,29(2):6.
- [9]余杰. 陕北斜坡中部A区CH8油藏成藏控制因素研究[D]. 西安石油大学，2021.
- [10]杨金峰，李忠洋，彭瑞强，等. 侏罗系油藏黏弹自调控剂调控剂技术研究与应用[J]. 石油化工应用，2024,43(1):58-61.