

气顶油气田气顶气窜研究

王彬* 朱玉凤

(新疆石油管理局地质勘探开发研究院)

王彬等. 气顶油气田气顶气窜研究. 天然气工业, 2000; 20(3): 79~82

摘要 文章以夏子街油田三叠系油气藏为例, 讨论了油气藏油井气窜特征及其机理。该油气田由于是开发初期, 注水工作滞后、初期采油速度偏高、地层压力下降快等因素引起气顶气窜。通过对气窜的研究, 结合数值模拟技术和类比法, 确定了油气藏油井气窜的划分标准, 建立了油藏油井气窜机理模型和气顶气窜类型。研制了一套适合本油气田气窜气量的劈分方法, 并讨论了气顶气窜以及气顶不同的开发方式对油藏的影响。

主题词 气顶油藏 油井 气窜 气顶驱 三叠纪

夏子街油田三叠系油气藏为一套正旋回陆源碎屑沉积的块状油气藏, 岩性为砾岩、砂质砾岩及部分岩屑砂岩, 储集层属于特厚层、低容量、特低渗透、微细孔隙、中等程度敏感性、非均质性较强的储集层。气顶气主要分布在夏子街油田夏18—36井区夏21断块、夏18断块、X1080断块克下组和白口泉组, 克下组自上而下分 S_7^1 、 S_7^2 、 S_7^3 、 S_7^4 、 S_7^5 、 S_8 等6个砂层组。夏子街油田自1992年油藏投入开发以来, 先后有27口发生气窜, 严重影响原油生产; 通过论证, 油藏开发要获得经济效益必须油气同采。

气窜井判别标准

克拉玛依油田克一乌大断裂上盘各油气藏基本上都属于不带气顶的饱和油藏, 开发初期由于各种原因造成注水不及时, 注水开发后, 又由于注水速度低, 地层压力下降快, 导致油藏严重脱气, 统计这些油气藏无因次生产气油比与无因次压力之间的关系, 经分析得回归公式为:

$$GOR_D = (p_R/p_b)^{-4.3} \quad (1)$$

式中: GOR_D 为无因次气油比(任一时刻生产气油比与原始溶解气油比之比值); p_R 为任一时间油藏地层压力, MPa; p_b 为油藏饱和压力, MPa。

将夏子街油田夏18~36井区白口泉组、克下组油气藏开发早期数据点入图中, 发现夏子街油田也遵循这个规律。说明夏子街油田任意时刻的地层压

力代入上述公式计算的气油比为该地层压力下的最高溶解气气油比。

夏子街油田中下三叠统油藏射孔方案数值模拟得出地层压力维持在饱和压力的0.8倍以上油气藏开发效果较好, 以地层压力维持在饱和压力的0.8倍的气油比为正常井最高生产气油比($310 \text{ m}^3/\text{t}$)。取目前克下组油气藏地层压力代入上式计算得的生产气油比为高气油比井的最高生产气油比, 即气油比 $310 \sim 570 \text{ m}^3/\text{t}$ 为高气油比井。假设夏子街油田不带气顶时, 数值模拟得油藏开发采用自然衰竭开采方式时, 单井溶解气产量很难超过 $5000 \text{ m}^3/\text{d}$; 结合油气热值, 则气窜井为日产气大于 5000 m^3 、气油比大于 $1000 \text{ m}^3/\text{t}$ 。气油比 $570 \sim 1000 \text{ m}^3/\text{t}$ 为油气井。因此, 根据日产气量和气油比情况制定出油气藏气窜井的划分标准: ①气窜井, 日产气 $\geq 5000 \text{ m}^3$ 、气油比 $\geq 1000 \text{ m}^3/\text{t}$; ④油气井, 气油比 $570 \sim 1000 \text{ m}^3/\text{t}$; ④高气油比井, 气油比 $310 \sim 570 \text{ m}^3/\text{t}$; ④正常井, 气油比 $< 310 \text{ m}^3/\text{t}$ 。

气窜类型

根据气窜划分标准, 分析油井射孔位置与油气界面的位置关系, 结合生产动态资料, 得出油井气窜主要有四种类型: 纵向窜、横向窜、横纵向窜、射开气层(见图1)。在这几种类型中, 每种气窜类型并不是独立存在的, 而是与其它类型相互作用, 并受井组注水的影响, 构成复杂的混向潜流。

* 王彬, 1967年生, 工程师; 1990年毕业于西南石油学院, 已公开发表论文多篇; 现从事天然气开发研究工作。地址: (834000) 新疆克拉玛依市。电话: (0990) 6884024。

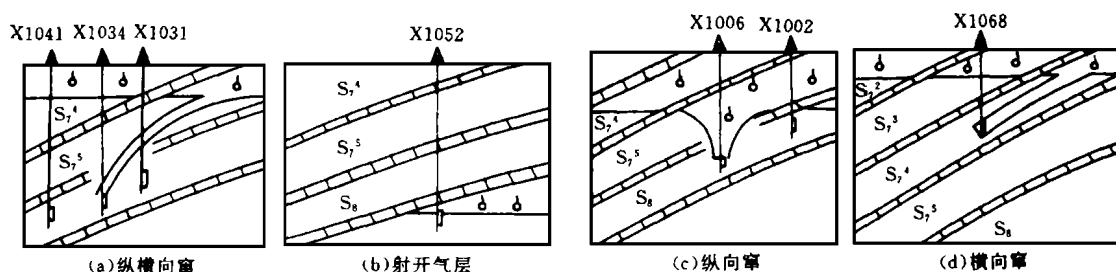


图 1 油气藏油井气窜机理图

1. 纵向窜

纵向窜是在油层地层压力下降时, 气顶气沿着储集物性好的方向垂直向下窜。这种类型既可发生在相互连通的砂层组之间, 也可以发生在同一砂层组之内, 主要特征是气窜呈透镜体分布。在平面上, 主要发生在夏 21 断块东部, 该区域泥岩隔层不发育, 克下组油水井从射孔井段顶部到油气界面之间有隔层的井有 19 口, 只占断块总井数 37.78%, 大部分井隔层完全缺失, 气窜沿储集物性好、隔层不发育、压降大的方向纵向窜。纵向窜气井 7 口, 占气窜井数 25.92%。

2. 横向窜

横向窜主要指同一砂层组内, 在油层压力下降、气窜沿平行隔层的同一韵律层推进时, 遇上油井而发生气窜。这种类型一般发生在砂层组之内, 泥岩隔层相对稳定, 油井固井质量好, 不可能发生砂层组之间的纵向窜。夏 18 断块砂层组之间的泥岩隔层稳定, 最大隔层厚度达 20 m。因此, 横向窜主要发生在夏 18 断块, 共有 13 口井, 占气窜总井数的 48.15%。

3. 横纵向窜

横纵向窜主要指同一砂层组内, 在油层压力下降时, 气窜在沿平行隔层的同一韵律层推进途中, 天然气又沿纵向储集层物性好, 压力降大的方向纵向窜。这种类型既有横向窜的特征, 又有纵向窜的特征; 既可发生在砂层组内部, 又可发生在砂层组之间, 这种类型主要与储集物性的好坏和压降方向有关, 横纵向窜都发生在夏 21 断块, 占气窜井的 7.41%。

4. 射开气层

在油藏开发过程中, 接近油气界面附近的油井,

直接射开了气层, 这类井主要在 X1080 断块百口泉组, 共有 5 口井, 占气窜井的 18.52%。

气窜气量的劈分方法

目前, 国内外确定油井气窜气量的方法主要有平均生产气油比法、矿场统计法和物质平衡法。

1. 平均生产气油比法

运用油藏油井生产资料, 计算出油藏平均生产气油比, 用平均生产气油比与当前产油量计算出的气量是溶解气量。对于饱和油气藏, 在生产过程中, 生产气油比往往比初期大得多, 有时大几倍。因此, 这种方法劈分的气量误差较大。

2. 矿场统计法

确定单井发生气窜的时间, 将单井发生气窜前的最高气油比作为基数, 利用单井生产气油比与基数之差来计算气量。其计算公式为:

$$Q_g = Q_o(GOR_2 - GOR_1) \quad (2)$$

式中: GOR_1 为发生气窜前最高生产气油比, m^3/t ; GOR_2 为发生气窜后生产气油, m^3/t ; Q_o 为目前的产油量, t/d ; Q_g 为气窜气量, m^3/d 。

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_g \quad (3)$$

式中: i, n 为发生气窜的开始与终止时间; Q 为气窜期的累积气窜量, $10^8 m^3$ 。

3. 物质平衡法^[1]

根据物质平衡原理, 溶解气累积产气量等于油藏溶解气地质储量减去地下剩余油中的溶解气与滞留在油层中的游离气量之和。

$$Q_p = Q_s - (Q_{s1} + Q_{s2}) \quad (4)$$

式中: Q_p 为溶解气累积产量, $10^8 m^3$; Q_s 为油藏溶解气地质储量, $10^8 m^3$; Q_{s1} 为地下剩余油中的溶解气量, $10^8 m^3$; Q_{s2} 为滞留在油层中的游离气量, $10^8 m^3$ 。

应用 PVT 资料, 求出地下剩余油中溶解气油比

(R_s), 则在地下剩余油中的溶解气量为:

$$Q_{s1} = (N - N_p) R_s \times 10^{-4} \tag{5}$$

式中: N 为石油地质储量, 10^4t ; N_p 为累积采油量, 10^4t ; R_s 为地下溶解气油比, m^3/t 。

根据油气相对渗透率曲线, 可以得到地层原油中脱出游离气开始流动时的含气饱和度(S_{gc}), 则滞留在油层中的游离气量可以用容积法储量计算公式估算, 即

$$Q_{s2} = 0.01A_0h\varphi S_{gc}/B_g \tag{6}$$

式中: A_0 为含油面积, km^2 ; h 为油层平均有效厚度, m ; φ 为油层平均有效孔隙度, %; S_{gc} 为游离气开始流动时的含气饱和度, %; B_g 为天然气体积系数。

气顶油藏累积气窜气量为:

$$Q_{pg} = Q_{pc} - Q_p \tag{7}$$

式中: Q_{pg} 为累积气窜气量, 10^8m^3 ; Q_{pc} 为累积伴生气量, 10^8m^3 。

上述三种方法各有优劣, 目前利用夏子街油田动态资料, 总结出一种适合本油田气窜气量劈分的一种方法——无因次压力与气油比关系法, 该法已用于油田气窜气量的劈分。

4. 夏子街油气田劈分方法

夏子街油田有一部分油井远离气顶, 生产一直正常。根据其生产动态资料, 统计克下组、百口泉组油气藏生产比较正常的油井的生产气油比, 求出生产气油比与无因次地层压力的关系(见图 2), 其关系为:

克下组

$$p_R/p_e = 3 \times 10^{-5} GOR^2 - 0.0139GOR + 2.1727 \tag{8}$$

百口泉组

$$p_R/p_e = 8 \times 10^{-6} GOR^2 - 0.0066GOR + 1.6942 \tag{9}$$

式中: p_e 、 p_R 为原始地层压力、不同生产时间的地层压力, MPa ; GOR 为气油比, m^3/t 。

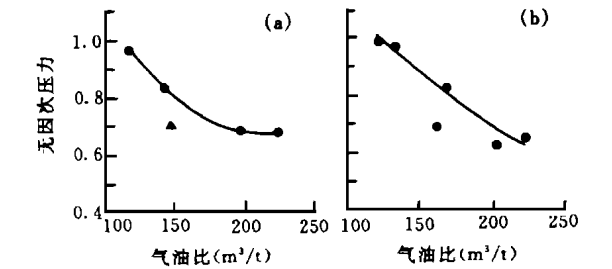


图 2 无因次压力与生产气油比关系图

利用以上关系可计算出不同无因次压力下的生产气油比, 将不同无因次压力下的气油比作为溶解气生产气油比, 从而计算出溶解气量。那么, 超出计算溶解气量之外的气量即为气窜气量。根据上述方法的劈分, 夏子街油田到目前共累积产气窜气量 $5.11 \times 10^8\text{m}^3$, 气顶气采出程度为 13.93%, 符合夏子街油田油气生产动态特征。

气顶开发对油藏的影响

1. 气顶气窜对油藏的影响

气顶气窜对油藏的影响是一个复杂的过程, 对夏子街油田来说, 主要分三个阶段, 第一阶段, 气窜气给油井补给能量, 并在油气藏前缘形成混相驱, 促进原油生产; 第二阶段, 利用天然气易溶于原油的特性, 携带部分原油到地面; 第三阶段, 是指油井主要产气窜气, 携带微量的油。气窜对油井的影响主要是第三阶段, 使油井变成了气井; 对整个油藏来说, 从油气界面非均匀推进开始就产生影响。

利用克下组油气藏正常井年产量与无因次压力作关系, 利用该关系计算出油藏正常生产时产油量, 利用计算值与实际值相比较, 可得出油井气窜对油藏的影响。到 1997 年底, 克下组气窜共累积少产原油 $8.81 \times 10^4\text{t}$ (见表 1), 损失原油采收率 1.32%。1992、1993 年由于生产工作制度不合理和气顶弹性能量的作用, 使油井产油量大于正常井折算产油量。

表 1 气窜对油藏影响程度表

年份	产油量 (10^4t/a)	折算产油量 (10^4t/a)	损失量 (10^4t)	损失采收率 (%)
1992	15.95	13.93	- 2.02	
1993	14.02	11.35	- 2.67	
1994	8.00	8.47	0.47	0.07
1995	6.15	7.34	1.19	0.18
1996	5.86	9.21	3.35	0.50
1997	6.3	10.1	3.80	0.57
合计			8.81	1.32

2. 气顶开发对油藏的影响

利用数值模拟技术, 考虑油气之间是否屏蔽注水、注水时间、采气层位、采气量四种方式讨论气顶开发对油藏的影响。

根据模拟结果, 气顶开发对油藏的影响有以下特点: ① 气顶开发尽量采用屏蔽注水, 并达到注采平衡, 若不注水, 克下组油气藏到废弃含水率时, 将损失原油 $21.38 \times 10^4\text{t}$, 损失原油采收率 3.2%; ④气顶

为天然气工业度身定做的 SH 采输气站场监控软件包

刘 伟*
(电子科技大学)

钟瑾瑞 陈开明
(四川石油管理局)

刘 伟等. 为天然气工业度身定做的 SH 采输气站场监控软件包. 天然气工业, 2000; 20(3): 82~ 86

摘 要 SH 采输气站场监控(组态)软件包, 是综合当前国际流行的各种监控软件的优点, 结合我国油气工业的实际情况, 开发出来的一套适用于我国石油天然气采输气站场的监控软件包。由于“SH 采输气站场监控(组态)软件包”采用了组态的方式来生成应用系统, 因而不需要再面对现场进行繁琐的编程了, 所以它具有价格便宜和适应面广的优势, 完全适合我国国情, 可以迅速在我国各油气田普及和推广应用, 也可以使整个石油天然气行业的采、输、集气站场管理标准化。

主题词 天然气工业 采气 输气 监视控制 软件包 运行环境 性能

自 80 年代以来, 计算机开始担负石油天然气生产监控工作, 由于当时计算机软硬件条件的限制, 建成的系统造价高昂, 功能单一, 界面死板, 操作管理不方便, 而且大多是适用于工厂装置的 DCS 系统, 真正满足于采、输、集气站场的小型监控系统十分少见, 给整个石油天然气行业的管理带来极大的不便。

进入 90 年代以后, 计算机性能日新月异, 各种工业上应用的数据采集系统也日趋成熟, 硬件的价格也下降到可以大范围推广的地步, 因此, 决定一个系统成败的关键已经转为自动控制软件的性能优劣上来了。目前国际上流行的自控软件品种繁多, 功能强大, 使用方便, 然而在国内的推广应用并不广泛, 其主要原因一是价格过高, 一般一个小型系统的软件许可费用就高达上万元; 二是不适应中国的国情, 这些软件更主要的功能在于控制, 对于国内石油

天然气行业这种数据采集较多, 控制较少的应用而言, 并不太适应。因此开发一套适合于石油天然气工业应用的监控软件就成为是一个监控系统成败的关键。SH 采输气站场监控(组态)软件包是综合了当前流行的各种国内外监控软件的优点, 结合了当前天然气生产的实际需求, 开发出来的一套适用于我国石油天然气采输气站场的监控软件包, 也是 1992 年研制的 SH 配气站自动控制系统的升级换代产品。由于 SH 采输气站场监控(组态)软件包采用了组态的方式来生成应用系统, 因而不需要再面对现场进行繁琐的编程, 因而具有价格便宜和适应面广的优势, 完全适合我国国情, 可以迅速在我国各油气田普及和推广应用, 也可以使整个石油天然气行业的采、输、集气站场管理标准化。该软件包已于 1999 年 5 月 7 日在四川石油管理局川东开发公司两路配气站

开发应尽早注水, 注水时间推迟一年, 就将损失原油产量 $1.67 \times 10^4 \text{t}$, 损失原油采收率 0.25%; ④采气应远离主力油层, S_7^4 以下砂层组动用气顶气, 对油藏采收率影响很大; $\frac{1}{4}$ 气顶动用应采用小产气量生产, 随产气量的增加, 损失原油采收率将增大。

综上所述, 夏子街油田气顶气窜或气顶开发将损失油藏采收率, 因此, 天然气的生产应根据最佳经济开发指标来确定。原则上采用注水保压, 不动用

气顶气的开发方式, 尽量减轻气顶开发对油藏的影响。

参 考 文 献

1 陈元千. 油、气藏的物质平衡方程式及其应用. 北京: 石油工业出版社, 1983

(收稿日期 2000- 02- 28 编辑 韩晓渝)

* 刘 伟, 1972 年生, 1995 年毕业于电子科技大学计算机系, 现在电子科技大学应用数学系计算机教研室任计算机室主任, 成都市华西工程检测技术研究所副所长。地址: (610054) 成都市建设北路 2 段 4 号附 6 号。电话: (028) 3202166。

equilibrium thermodynamic model of the gas-liquid-solid three-phase in oil-gas system is set up and according to the material balance equation a relevant numerical calculation model is also developed in the paper. Through calculating an example it is shown that this model is of a good convergence and stability.

SUBJECT HEADINGS: Thermodynamics, Phase equilibrium, Model, Gas phase, Liquid phase, Parameter, Calculation

Mei Haiyan (*female*), born in 1965, is a graduate student studying for a doctorate in the China University of Science and Technology. Now she is mainly engaged in the research on the reservoir engineering, fluid phase state and organic solid precipitates. Add: The Department of Petroleum Engineering, the Southwest Petroleum Institute, Nanchong, Sichuan (637001), China Tel: (0817) 2643060

.....

A RESEARCH ON GAS CHANNELINGS IN GAS-CAP OIL RESERVOIR

Wang Bin and Zhu Yufeng (Geological Exploration and Development Research Institute of Xinjiang Petroleum Administration). *NATURAL GAS IND.* v. 20, no. 3, pp. 79 ~ 82, 5/25/2000. (ISSN 1000-0976; In Chinese)

ABSTRACT: By taking the Triassic oil and gas reservoir in Xiazijie oil field as an example, the properties and mechanisms of gas channelings in oil wells in the reservoir are discussed in the paper. Because the oil and gas field is in the initial stage of development, the gas-cap gas channelings have occurred as a result of delayed water injection, slightly high oil production rate and rapid formation pressure drop. Through a research on the gas channelings in the oil wells in the reservoir and in combination with the numerical simulation technique and analogy method, the standard of dividing the gas channelings and their types are determined and their formation mechanism model is set up in the paper. Being suitable for the oil and gas field, a set of methods of cleaving the channeling gas amounts are developed and the influences of the gas-cap gas channelings and different gas-cap development schemes on the oil reservoir are discussed in the article also.

SUBJECT HEADINGS: Gas-cap oil reservoir, Oil well, Gas channeling, Gas cap drive, Triassic Period

Wang Bin (*engineer*), born in 1967, graduated from the Southwest Petroleum Institute in 1990 and has published several papers in the public periodicals. Currently he is engaged in the research on natural gas development. Add: Kelamayi, Xinjiang (834000), China Tel: (0990) 6884024

.....

SH SUPERVISORY CONTROL SOFTWARE PACKAGE SUITED TO THE GAS PRODUCTION AND TRANSMISSION STATIONS IN NATURAL GAS INDUSTRY OF CHINA

Liu Wei (University of Electronic Science and Technology of China), Zhong Jinrui and Chen Kaimin (Sichuan Petroleum Administration). *NATURAL GAS IND.* v. 20, no. 3, pp. 82 ~ 86, 5/25/2000. (ISSN 1000-0976; In Chinese)

ABSTRACT: The SH supervisory control (configuration) software package is a set of the software package suited to the natural gas production and transmission stations in China, developed by integrating the advantages of the various prevailing supervisory control softwares in the world at present and according to the practical situation of the oil and gas industry of China. Because, for the SH software package, the configuration mode is adopted to generate the application system, it is not necessary to make the complicated programming according to the site situation, therefore, it has such advantages as low cost and wide adaptability and it can be rapidly spreaded and popularized in all oil and gas fields in China, enabling the management of the production, transmission and gathering stations in whole oil and gas industry to realize standardization.

SUBJECT HEADINGS: Natural gas industry, Gas recovery, Gas transportation, Supervisory control, Software package, Performance

Liu Wei, born in 1972, graduated in electronic computer from University of Electronic Science and Technology of China in 1995. Now he is chief of the Computer Section of the Department of Applied Mathematics, UESTC and deputy director of Chengdu Huaxi Research Institute of Engineering Detection Technique. Add: (610054), China Tel: (028) 3202166

.....

JUDGING THE DESIGN OF SCADA SYSTEM OF OIL AND GAS PIPELINE FROM THE SCADA SYSTEM FOR SHAAN-JING GAS TRANSMISSION LINE PROJECT

Yao Wei, Qi Guocheng and Wei Wei (Beijing Natural Gas Gathering and Transmission Company). *NATURAL GAS IND.* v. 20, no. 3, pp. 86 ~ 89, 5/25/2000. (ISSN 1000-0976; In Chinese)

ABSTRACT: Shaan-Jing (Shaanxi-Beijing) gas transmission pipeline is the first long-distance, large diameter and high-pressure pipeline on the land in China up till now. The supervision, operation and management of whole pipeline are realized by adopting prevailing SCADA system in the world. Based on the