牛 娜¹, 毕有益¹, 山俊杰¹, 金武军², 张本艳¹ ¹中国石化西南油气分公司勘探开发研究院, 四川 成都

收稿日期: 2022年5月10日; 录用日期: 2022年6月16日; 发布日期: 2022年6月23日

新场须二气藏产水识别及动态特征研究

摘 要

新场须二气藏气井测试产能差异较大,气井生产存在不同规律的出水,部分气井长期气水同产、部分气井生已发生水侵后难以复产。通过分析水化学特征、产水气井动态特征、测井模型等方法,开展气井产水识别,总结出产水气井三种动态特征,即低产水型、持续上升型、冲高回落型,分析出气井产水的主要原因是一是不合理的工作制度加速边底水的锥进,二是地层压力下降,压力波及至周围水淹体,三是"5·12"大地震导致位于大规模断裂系统附近的气井纵向上下部雷口坡组气层水侵入,气井水化学特征发生变化,但矿化度未发生变化,从而为有水气藏的开发提供借鉴。

关键词

须二气藏,产水识别,产水动态

Water Production Identification and Dynamic Characteristics of Second Member in Xu Jiahe Formation

Na Niu¹, Youyi Bi¹, Junjie Shan¹, Wujun Jin², Benyan Zhang¹

Received: May 10th, 2022; accepted: Jun. 16th, 2022; published: Jun. 23rd, 2022

Abstract

The test productivity of second member in Xu Jiahe formation for Xin Chang gas field is quite dif-

文章引用: 牛娜, 毕有益, 山俊杰, 金武军, 张本艳. 新场须二气藏产水识别及动态特征研究[J]. 地球科学前沿, 2022, 12(6): 826-840. DOI: 10.12677/ag.2022.126081

²中国石化石油勘探开发研究院,北京

¹Exploration and Production Research Institute, Southwest Branch Company, Sinopec, Chengdu Sichuan

²Petroleum Exploration and Production Research Institute, Sinopec, Beijing

ferent, and the gas wells have different regularities of water production. Some gas wells have long-term co-production of gas and water, and some gas wells are difficult to resume production after water invasion. By analyzing water chemical characteristics, dynamic characteristics of water-producing gas wells, logging models, the water production identification of gas wells was carried out, and three dynamic characteristics of water-producing gas wells were summarized, namely low water production type, continuous rising type, and rising and falling type. The main reasons for water production were as followed. First, the unreasonable working system accelerated the coning of edge and bottom water. Second, with the formation pressure dropped, the pressure spread to the surrounding flooded bodies. Third, the water intrusion of the Lei Koupo formation gas reservoir in the vertical lower parts of the nearby gas wells changed the chemical characteristics of the gas well water, but the salinity did not change, which provided a reference for the development of water-bearing gas reservoirs.

Keywords

Second Member in Xu Jiahe Formation, Water Production Identification, Water Production Dynamics

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0). http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/



Open Access

1. 引言

新场须二气藏储层主要以裂缝 - 孔隙型储层为主,在裂缝发育区,气井产量较高,在裂缝欠发育地区,气井产量相对较低,目前每个裂缝系统为独立的开发单元,各个裂缝系统之间无统一的气水界面,平面上气井测试产能差异较大,开发过程中出水类型复杂。气井在生产过程中,动态特征不一,主要表现为部分气井不产地层水,部分气井长期气水同产,部分气井发生水侵后,气井产量难以复产。气井产水对生产动态影响较大,见水后产量、油压递减快,严重影响气藏采收率和开发效益。

目前,对于川西须二气藏地层水来源、气藏开发动态特征、开发对策已有了初步认识。张数球提出 须二气藏受裂缝控制,根据裂缝发育程度将气藏分析裂缝最发育、较发育、不发育区三类,分析不同类型气藏的动态特征及开发对策[1],王旭根据川西须家河组气藏气井压力恢复监测特征曲线及试采时的稳产能力,将气井分为强能量补充型、缓慢供给型以及封闭衰竭型三类,并提出了相应的开采对策[2];宫亚军、康保平、楼章华、张世华等分析了新场须二气藏水化学动态特征及成因[3] [4] [5] [6],但仍存在须二气藏气水分布规律不清,不同裂缝系统气井动态特征差异大,对气井产水识别、动态特征以及产水原因未进行系统梳理。因此有必要从地质、测井、地球物理、气藏工程、水化学等多学科角度来对新场须二地区气井产水类型开展识别,明确产水动态类型、剖析产水原因,为后续开发提供借鉴。

2. 地质概况

新场构造整体为 NEE 向长轴复式背斜,构造南北两翼表现为南陡北缓。整体发育近 SN、EW、NE 三组不同走向的逆断层。沉积微相属水下分流河道、水下分流间湾,次沉积微相类型为河口坝、远砂坝、度状砂。主力产层为 TX_2^2 、 TX_2^4 砂组。储层为碎屑砂岩,基质储层孔隙度主要分布范围是 2%~5%,平均孔隙度 3.89%,裂缝或含裂缝的储层分布孔隙度 1%~7%,平均值 3.44%,基质型储层的渗透率分布在

0.01 mD~0.1 mD 之间,平均渗透率为 0.06 mD,裂缝或含裂缝的储层渗透率分布范围为 0.1 mD~50 mD,平均为 21.27 mD。断层上盘及构造高部位含气性较好,整体无明显含水特征,南北两翼构造低部位存在含气性变差的风险。 TX²2 砂组在新场构造高部位含气性较好,基本无水,近孝泉地区及构造相对低部位产水,不同断块气水界面不一致(-4175 m~4350 m),为边水气藏。气藏压力系数为 1.44~1.73,平均 1.64,属高压气藏;地温梯度 2.22℃~2.72℃/100m,正常地温系统,整体为受岩性-构造控制的裂缝-孔隙型、似层状、高压、边水气藏。

3. 气井产水识别

目前新场须二气藏产水主要分为凝析水、地层水两种类型。凝析水在地下是气态,具有矿化度较低,产水量低,离子中 HCO^3 -浓度相对较高的特征,以 $NaHCO_3$ 型水为主;地层水分布于致密砂岩储层相对较大的孔隙中或裂缝体系中,可自由流动,呈现高矿化度、高 $C\Gamma$ 浓度、低 HCO^3 -浓度,盐化系数高, $CaCl_2$ 型水为主。

3.1. 水化学特征识别

根据对新场须二气藏气井水样统计,分析矿化度范围、诺瓦克相图特征,对气井开展水化学特征识别。

1) 矿化度识别

新场地区须二段气井凝析水矿化度较低,大多小于 1000 mg/L,地层水矿化度 $58,000\sim120,000$ mg/L 之间,平均值为 95,227 mg/L。

2) 诺瓦克相图识别

本文根据 1996 年美国水文地质学家诺瓦克提出的诺瓦克系数判定法来判定地层水的来源。该方法以气田水中常见的阳离子和阴离子为基础,根据六组离子当量系数判别系数: Na/Ca、Na/Mg、Mg/K、Ca/Mg、(Na + K)/(Ca + Mg)和 Na/K,在坐标中绘制出诺瓦克相图(图 1)。

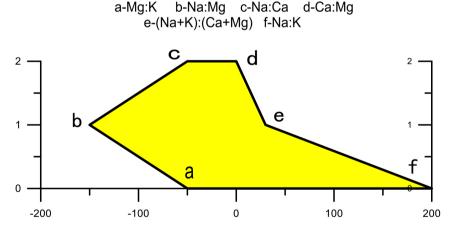


Figure 1. Novak's phase diagram 图 1. 诺瓦克相图示意图

根据新场地区气井诺瓦克相图在不同生产时间的变化图来看,其诺瓦克相图特征符合四川盆地地层水水化学相图标志剖面中的 T_3X 的相图特征(表 1),且相图形态基本不变,表明新场须二段地层水水化学性质较稳定,气井地层水的来源未发生变化,均来自同层内的地层水[7] [8]。

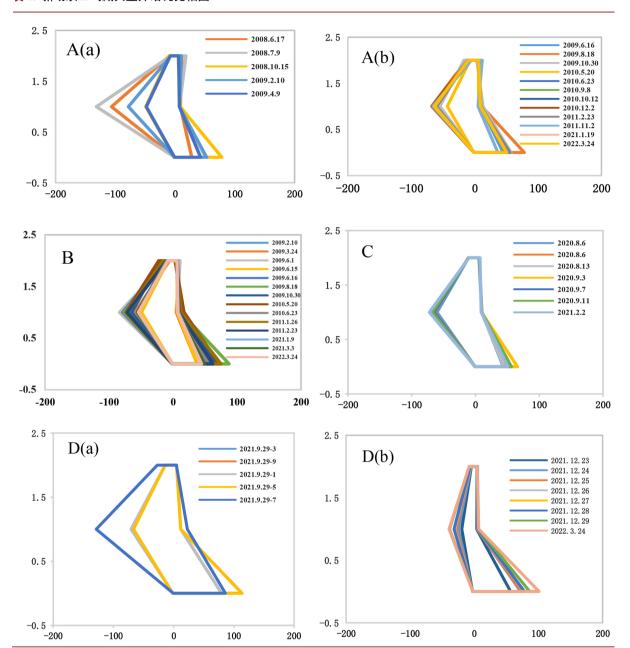


Table 1. Novak's phase diagram of type well in Xin Chang gas field 表 1. 新场须二气藏典型井诺瓦克相图

3.2. 产水动态特征识别

新场须二气藏气井生产过程中,地层水入侵在采气曲线上有明显的变化特征,主要分为三个阶段, 典型井如图 2 所示。

- ① 预兆阶段: 气井压力、气产量、水产量无明显变化,矿化度含量明显上升,由几十上升到几千、几万毫克每升;
 - ② 显示阶段: 井口压力、气产量波动,水量开始上升,矿化度含量上升至与地层水一致;
 - ③ 出水阶段: 井口压力、产量大幅度下降, 气井出水增多。

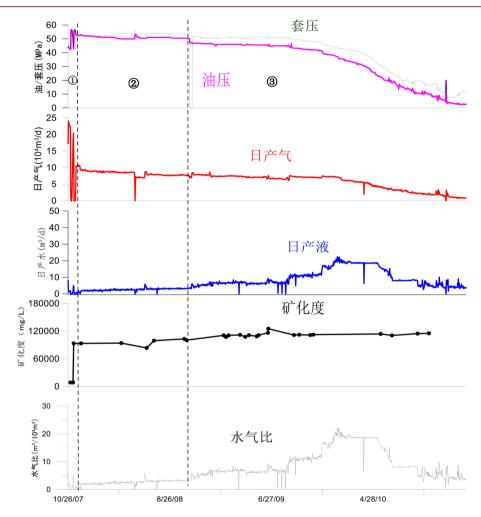


Figure 2. Water production dynamic curve of second number formation in Xin Chang gas field 图 2. 新场须二气藏产水动态曲线

3.3. 测井识别

通过对须二段储层气井水井测井响应特征分析可知,须家河致密砂岩气层测井响应特征符合气层的基本特征,比如:声波时差大、低中子、低密度,相对高电阻率等特征。在研究中发现,由于须二段储层岩屑成分含量高,骨架难以确定,依据常规测井计算孔隙度精度不高,然后利用储层孔隙度差值识别气层的难度较大。为此,本文选取泥岩段中子声波曲线重合的技术,利用中子、声波曲线之间的包络面积来识别致密砂岩的含气特性。通过高产井 E 井(无阻流量 100 万方/天以上)、中产井 F 井(无阻流量 10~50 万方/天)、及低产井 G 井(无阻流量 5 万方/天以下)的产能与中子声波叠合关系图(图 3)可以看出,产量从高到低,中子、声波包络面积依次减小,说明,利用该方法可以有效识别气层含气特征。

由于须二段储层钻井井眼不规则,往往出现明显的扩径现象,造成密度测井在测量过程中难以贴紧 井壁,而中子、声波测井受影响相对较低,中子曲线质量明显好于密度测井,因此,新场须二气藏识别 气层主要应用声波和中子测井曲线。

由不同测井仪器的测量原理可知,当储层孔隙含气时中子值变小、声波时差值变大,因此,储层处两条曲线之间有一定的包络面积。泥岩段孔隙被束缚水充填,几乎不含气,因而可以假定泥岩中子、声波曲线值不受气体影响,两者之间可以在一定刻度下重合,而有效储层处只要有气体存在,曲线就会有

一定的差异,即出现明显的包络面积。在确保泥岩处中子、声波曲线重合后,储层段两曲线包络面积的大小,指示含气丰度高低。因此,选择泥岩作为基线,确保声波、中子在泥岩处重合,然后通过公式 $Fgas = (ac - ac_{base}) - 5*(cnl - cnl_{base})$,将中子声波包络面积换算成曲线数值大小,进行流体的准确识别,从而识别出气层及水层。

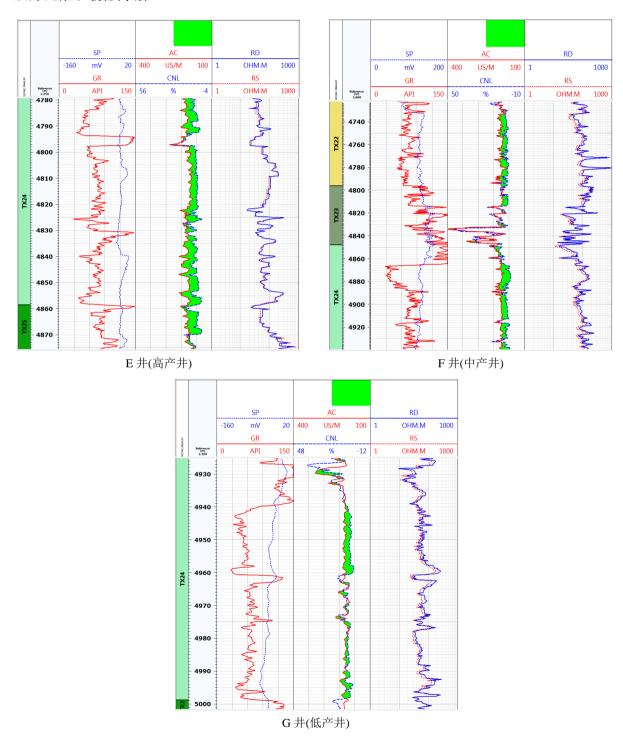


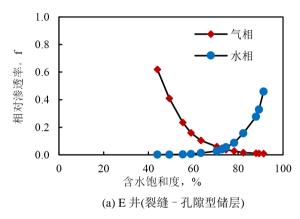
Figure 3. Superposition diagram of productivity and neutron acoustic wave **图 3.** 产能与中子声波叠合关系图

4. 产水动态

4.1. 气井产水变化因素

1) 裂缝发育程度

新场须二气藏储层以非润湿相的亲水石英、岩屑为主,主要分为裂缝-孔隙型、孔隙型两类。在裂缝发育区,储层以裂缝-孔隙型储层为主,两相共渗区范围较大,裂缝越发育,气相渗透率越高,气井产量较高。裂缝欠发育区,储层主要为孔隙型,两相共渗区较窄(图 4),气相渗透率较低,气井产能较低[9] [10]。



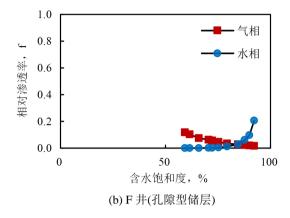


Figure 4. Relative permeability curve 图 4. 相渗曲线

2) 垂向和水平渗透率比值

通过对新场须二气藏 4 口井共 17 个岩心样品,垂直与水平渗透率的比值统计表明(表 2),二者比值对气井见水时间影响明显。垂向渗透率与水平渗透率比值越高,气井见水时间提前,产水上升速度也越快。

Table 2. Core physical parameters of second number of Xu Jiahe 表 2. 须二气藏岩心物性参数表

编号	层位	样号	岩性	垂向/水平渗 透率比值	投产日期	见水日期	见水时间(d)
1	TX_2^2	H-1	岩屑石英砂岩	207.37		2008/9/25	336
2	TX_2^2	H-2	岩屑石英砂岩	3.79	2007/10/25		
3	TX_2^2	H-3	岩屑石英砂岩	4.12	2007/10/25		
4	TX_2^4	H-4	岩屑石英砂岩	1.35			
5	TX_2^2	J-1	岩屑石英砂岩	32.77			
6	TX_2^4	J-2	岩屑石英砂岩	20.60	2008/11/11	2011/12/1	1115
7	TX_2^5	J-3	岩屑石英砂岩	0.00			
8	TX_2^2	B1-1	岩屑石英砂岩	4.01			
9	TX_2^2	B-2	岩屑石英砂岩	24.76	2000/10/20	2011/1/14	441
10	TX_2^3	B-3	岩屑石英砂岩	0.88	2009/10/30		
11	TX_2^4	B-4	岩屑石英砂岩	1.67			

Continued										
12	TX_2^4	K-1	岩屑石英砂岩	0.56						
13	TX_2^4	K-2	岩屑石英砂岩	255.08						
14	TX_2^4	K-3	岩屑石英砂岩	0.45	投产即产水					
15	TX_2^4	K-4	岩屑石英砂岩	0.91	投产即产水					
16	TX_2^7	K-5	岩屑石英砂岩	365.36						
17	TX_2^7	K-6	岩屑石英砂岩	48.38						

4.2. 气井产水动态类型

按照产水动态特征,新场须二气藏产水气井总体上分为两大类三小类,第一种是以产凝析水为主,气井整体产水量小,矿化度较低,为低产水型,第二种以产地层水为主,分为产水持续上升型、产水冲高回落型。

4.2.1. 低产水型

这类气井整个生产过程中产凝析水,气井生产对开发影响较小,凝析水产水量少而稳定,水气比低。 凝析水在地层条件下以气态或雾状液滴方式与天然气共存,当采至井筒或地面后因压力和温度降低凝析 成液态水。

低产水型气井典型井如 L 井(图 5),投产后产水量较低,水气比 0~0.57 方/万方,矿化度含量小于 500 mg/L,不产地层水,生产过程中整体无人为调整工作制度,生产过程中储层自然解堵后产量上涨,并持续稳定生产至今,整体上来看产水对气井生产影响不大。

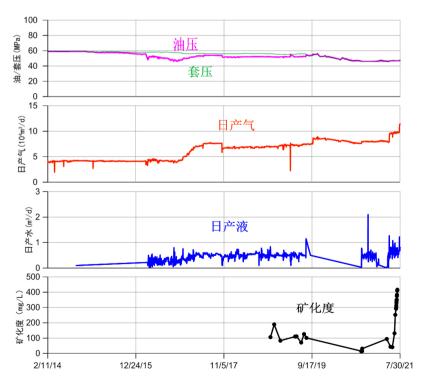


Figure 5. Production curve of well L 图 5. L 井生产曲线

4.2.2. 持续上升型

这类气井产能高,携液能力强,气井产水后,能长期稳定气水同产。该类井储层类型主要是以含裂缝的孔隙型储层,以斜缝、高角度缝为主,因此产量较高。生产动态特征主要表现为初期产凝析水或者少量地层水,后期随着地层能量的下降,地层水侵入井筒,气水同产(见图 6)。

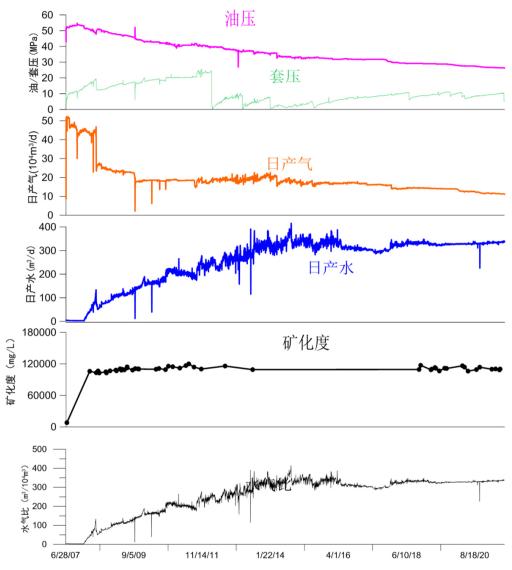


Figure 6. Production curve of well A 图 6. A 井生产曲线

气井能稳定气水同产主要原因是气井产气量高于气井临界携液流量,产量高,地层能量足,能将井底地层水排出。由于新场须二气藏无统一的气水界面,且为边水气藏,不同断裂系统气井气水原因不同,相应的出水开采对策也不同。

位于 F1 断裂系统的 A 井、B 井相邻,自投产已稳定生产 15 年。A 井构造位置较高,B 井位于 A 井北部构造相对低部位,作为 A 井的排水井,B 井在一定程度上减缓了 A 井北部水体的入侵强度(图 7)。这种同一断裂系统高部位采气、低部位排水的"区域治水"方法为后期开发部署提供了借鉴。

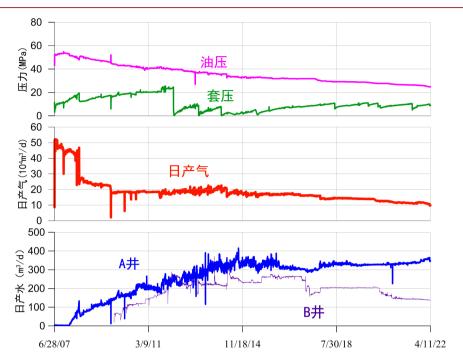


Figure 7. Water production curve of well A and well B 图 7. A、B 井产水曲线

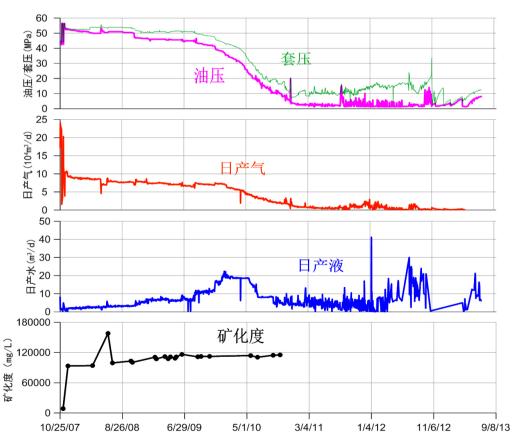


Figure 8. Production curve of well H 图 8. H 井生产曲线

4.2.3. 冲高回落型

这类气井投产初期产量高地层能量充足可携液气水同产,随着产量及地层压力下降,以及人为提产、"5·12"大地震等外界因素,加速地层水入侵,导致气井水淹,难以复产,呈现冲高回落的特征,典型井如图 8。

根据总结梳理新场须二气藏产水异常原因,主要有一下几种类型:① 人为提高工作制度,加速水侵速度;② 地层压力下降,压力波及到已发生水淹的水体;③ "5·12"大地震导致其他层地层水纵向侵入。

① 提产,加速水侵,导致气井水淹。

典型井如 H 井,该井自投产表现为气水同产特征,生产初期水量增加缓慢。2008 年 9 月、2009 年 8 月生产制度调整,加快水侵速度,造成气井快速水淹。虽然该井离 F69 断层仅 30 m,但断层规模较小,未断至海相地层(图 9),因此 2008 年 "5·12" 地震对气井生产影响不大。

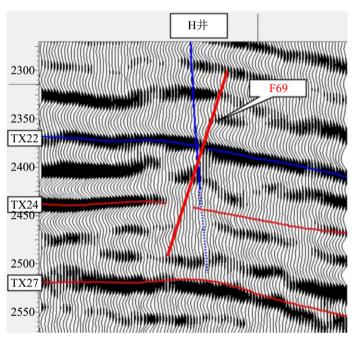


Figure 9. Seismic profile through well H 图 9. 过 H 井地震剖面

根据 H 井相渗曲线(图 10), 气驱水过程中,含水饱和度下降,气相渗透率上升缓慢,说明气体驱动解除水的影响很难[11] [12] [13],因此,当有地层水侵入地层,一旦发生水淹时,再用提产措施靠气驱水,封闭气解封阻力大,存在较强的水锁反应,难以恢复到水淹之前产量。因此在生产中,应避免人为激动调整工作制度,减缓水侵速度,避免发生水锁。

② 地层压力波及范围扩大至邻近水淹井区, 随后水侵, 发生水淹。

该类井典型井如 M (见图 11),自投产以来在,产气量 5 万方/天~10 万方/天,2015 年 10 月 19 日开始自然递减,在 2018 年 3 月 28 日提产后,产量压力呈三阶梯式增长,2020 年初开始呈现产量、压力递减较快的水侵特征。呈现三阶梯增长后又递减的原因是由于 M 井区附近发育 F1 断裂以及 H-G 等多个裂缝系统,其中高部位的 F1 断裂 E 井区在 M 投产前已水淹;低部位 H 裂缝系统于 2009 年底水淹,当压力波及范围扩大,沟通了 H 裂缝系统相对高部位或 F1 断裂下盘裂缝系统中局部富气单元,导致水侵。因此在开发中,应避免人为调产[14] [15] [16],降低压力降速度,减缓地层压力波及周边水淹体。

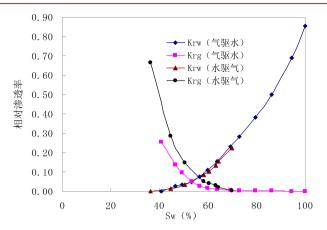


Figure 10. Relative permeability curve of well H 图 10. H 井相对渗透率曲线

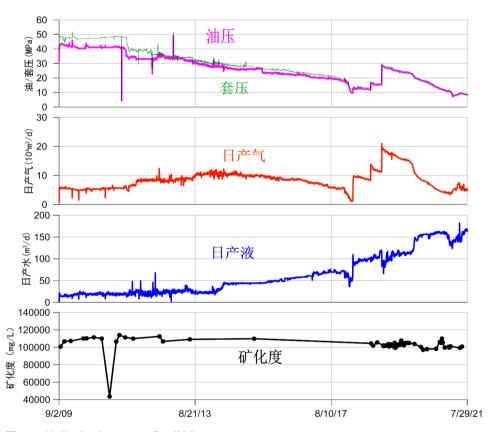


Figure 11. Production curve of well M 图 11. M 井生产曲线

③ 地震,纵向上其它层地层水混入,导致大幅产水量增加。

对于新场须二段气井地层水,部分井在生产过程中,由于地震和其他层的地层水跨层混入,导致产水量增加。地层水的来源一是来自下部地层的雷口坡组,二是来自上部地层的须四段。

F1 断裂带附近的三口高产井 E 井、N 井、A 井,产水动态特征均为前期产凝析水(矿化度<1000 mg/L),后期产地层水(矿化度>100,000 mg/L)的特点,由于"5·12"地震,加剧了水侵速度,对气井生产影响较大(图 12)。

F1 断裂规模较大(表 3),上断至须五段地层,下断至雷口坡组海相地层。须二段断距 20~100 m,断裂附近地层形变大,断褶裂缝体顺 F1 断裂连通性好。水样诺瓦克相图分析,水样化学特征的变化趋势与下伏海相雷口坡组地层水特征相似。因此推测 "5·12" 地震使 F1 断裂短时间重新活动开启,造成雷口坡组海相地层水沿断层混入,造成水样化学特征出现异常,震后断裂再次闭合,水化学特征逐渐恢复到原地层水特征,但水样总矿化度 "5.1 地震"前后未发生明显突变(表 4、表 5)。

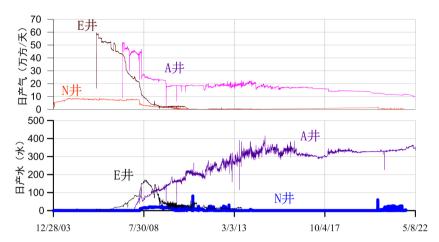


Figure 12. Production curve of well E, well N, and well A 图 12. E、N、A 并采气曲线

Table 3. Gas well spacing elements of F1 fault system 表 3. F1 断裂系统气井断距要素表

断层	断距	延伸长度(m)	走向	倾向	井号	过靶点垂直断 层处距离(m)	无阻流量 (万方/天)
					Е	65	高产井
F1	20~100	5.78	近 SN	近E	N	65	中产井
					A	45	高产井

Table 4. Statistical table of water sample elements of F1 fault system typical wells **表 4.** F1 断裂系统典型井水样元素统计表

	与 F1 断层 距离(m)	日期	地层水离子含量									
井号			阳离子(mg/l)				阴离子(mg/l)		微量元素 (mg/l) 总矿化度		水型	监测单位
₩ <u>, [</u>	⊬∟ -1 (III)		K^{+}	Na ⁺	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Br^-	(mg/l)		
Α.	550	2008/6/17	2260	59,100	3470	183	99,400	77.3	1370	165,000	CaCl ₂	西南石油局
A		2008/7/9	1132	43,352	2072	67	73,229	27.1	1169.6	120289.28	CaCl ₂	西南石油局
N	590	2008/6/17	1390	48,200	3860	378	83,300	65.4	1160	138,000	CaCl ₂	西南石油局
IN		2008/7/9	1149	49,534	1816	58.6	80,311	42.6	1184	133,422	CaCl ₂	西南石油局
Е	440	2008/6/17	1750	60,200	4230	75.20	91,300	46.4	1200	160,000	NaHCO ₃	西南石油局
		2008/7/9	1148	42,846	2124	101.4	73,239	51.97	1055	120066.17	CaCl ₂	西南石油局

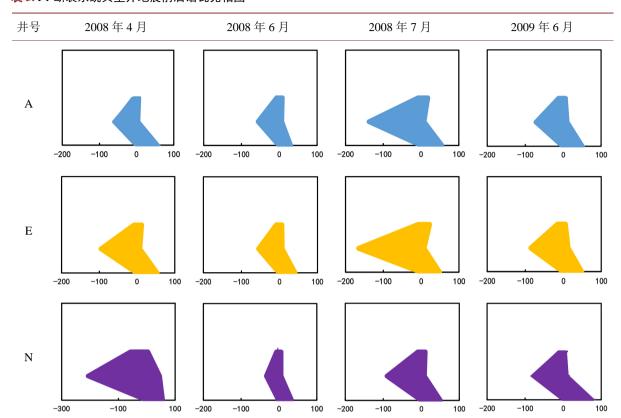


Table 5. Novak phase diagram of F1 fault system typical wells before and after earthquake 表 5. F1 断裂系统典型井地震前后诺瓦克相图

5. 结论

- 1) 新场须二气藏气井产水类型主要分为凝析水、地层水,按照水化学特征、产水动态、测井法可以识别出地层产水的特征,新场地区气井地层水矿化度 58,000~120,000 mg/L 之间,平均值为 95,227 mg/L;且须二段地层水水化学性质稳定,来源较为一致,属于层内地层水,在生产过程中大部分井的地层水来源层位并没有发生变化。
- 2)按照产水动态特征,分为两大类三小类,第一种是以产凝析水为主,气井整体产水量小,矿化度较低,为低产水型,对生产影响较小;第二种以产地层水为主,分为产水持续上升型、产水冲高回落型。当产量高于临界携液流量小于临界产量,液体可从井底带出,气井产水呈现持续上升型且长期气水同产,当由于外界因素发生水侵,产量高于临界产量,发生水淹,呈现冲高回落的特征。
- 3) 新场须二气藏产地层水气井发生水侵后基本上都难以复产,随之发生水淹,造成水侵的原因主要是三个:一是提产导致边底水水体锥进速度加快,二是随着气藏开发,地层压力波及至周围水淹体,三是"5·12"大地震导致位于大规模断裂带附近的气井纵向上其他层位水入侵。
- 4) 在边底水气藏开发中,应控制好合理的工作制度,即生产压差,以延长无水采收期;对于气水同产气井,应同时考虑临界产量、临界携液流量,既要避免边底水锥进,还要考虑气井带液能力,寻求合理的工作制度以提高有水气藏的采收率。

参考文献

[1] 张数球. 川西地区新场须二气藏开发对策探讨[J]. 油气藏评价与开发, 2012, 2(2): 27-29.

- [2] 王旭. 川西地区须二气藏产水气井动态特征及开采对策[J]. 中外能源, 2018, 23(5): 49-56.
- [3] 宫亚军, 沈忠民, 刘四兵, 吕正祥. 川西坳陷新场地区须家河组地层水的地化特征研究[J]. 四川地质学报, 2010, 30(1): 72-74.
- [4] 康保平,黄小燕,郭淑萍,李振. 川西坳陷须二气藏气田水成因、运移及其成藏演化[J]. 石油与天然气地质,2018. 39(2): 309-317.
- [5] 楼章华, 苏一哲, 朱蓉, 刘一锋, 徐士林, 李王鹏. 四川盆地新场构造带上三叠统须家河组二段地层水化学动态特征及其成因[J]. 石油与天然气地质, 2021, 42(4): 841-851.
- [6] 张世华, 田军, 叶素娟, 杨映涛, 付菊. 断层输导型天然气成藏模式的动态成藏过程——以川西坳陷新场构造带上三叠统须二段气藏为例[J]. 地质勘探, 2019, 39(7): 49-56.
- [7] 熊亮,康保平,史洪亮,江伟,汪娟. 川西大邑气藏气田水化学特征及其动态运移[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2011, 33(5): 84-88.
- [8] 王鹏, 陈刚, 范厚江. 川西坳陷中段须家河组产出水判别及地球化学差异[J]. 宜宾学院学报, 2019, 19(6): 1-4+14.
- [9] 董平川, 马志武, 赵常生. 储层相对渗透率评价方法[J]. 大气石油地质与开发, 2008, 27(6): 55-58.
- [10] 刘晓鹏, 刘燕, 陈娟萍, 胡爱平. 鄂尔多斯盆地盒 8 段致密砂岩气藏微观孔隙结构及渗流特征[J], 天然气地球科 学, 2016, 27(7): 1225-1234.
- [11] 高树生,候吉瑞,杨洪志,熊伟,胡志明.川中地区须家河组气藏低渗透砂岩气藏产水机理[J].天然气工业,2012,32(11):40-42.
- [12] 陈建勋,杨胜来,邹成,梅青燕,周源,孙丽婷.川中须家河组低渗有水气藏渗流特征及其影响因素[J].天然气地球科学,2019,30(3):400-406.
- [13] 王丹丹, 李浩, 赵向原, 吉明艳. 新场气田储层裂缝特征及其与动态气水分布的关系[J]. 石油实验地质, 2016, 38(6): 748-756.
- [14] 罗炫,杨通水,杨曦. 致密凝析有水气藏断层特征及其对开发效果的影响——以安岳气田须二气藏为例[J]. 石油钻采工艺,2018,40(4):477-482.
- [15] 高军, 杜志敏, 敖科. 涩北一号气田出水动态分析[J]. 新疆石油地质, 2010, 31(1): 75-77.
- [16] 任世林,徐守成,杨杰,张小青.元坝气田超深层生物礁气藏产水类型识别与开发对策[J].天然气勘探与开发,2020,43(1):36-43.