

# 川西孝泉构造

## 中侏罗统“次生气藏”特征及成藏机理探讨

周 文

(成都地质学院 610059)

本文根据川西孝泉构造的地质特征,讨论了该构造中侏罗统“次生气藏”特征及成藏机理。研究表明,该气藏的形成与断裂、裂缝及地层压力等因素有关。

**关键词** 四川盆地西部 天然气运移 次生气藏 成藏机理

**作者简介** 周文 男 29岁 讲师 石油天然气地质勘探开发

近年来,川西拗陷内孝泉构造侏罗系气藏的发现引起人们对浅层“次生气藏”勘探的关注,这一发现揭示了四川盆地陆相“红层”良好的勘探远景,对该类气藏特征的认识及成藏机理的研究无疑对今后的勘探十分必要。

### 1 孝泉构造地质特征概述

孝泉构造位于川西龙门山推覆带的山前褶皱带,为一北东-南西向背斜(图1)。目前已钻探19口井,中侏罗统地层获气井9口。据地震资料解释,在上三叠统地层中发育四条逆断层。

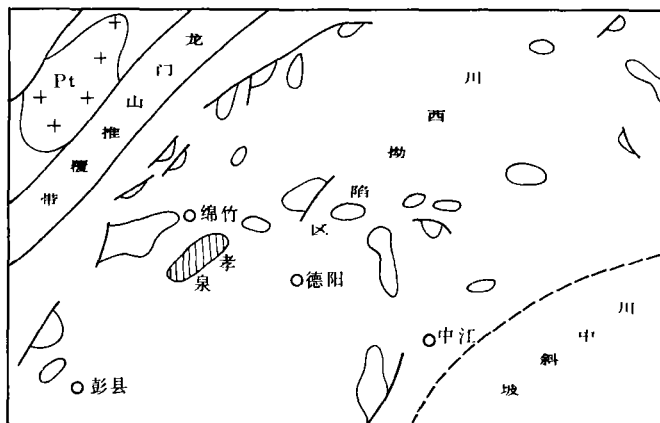


图1 孝泉构造位置

侏罗系地层为陆相红色碎屑岩沉积。岩性主要为棕红色泥岩、泥质砂岩、砂质泥岩、砂岩,多为互层状。该套地层纵向上分为四组(图2):

地层时代				剖面	厚度(m)	主要岩性	生油层	产层
系	统	组	段					
侏罗系	上统	蓬莱镇	J <sub>3b</sub>		300   500	棕红色砂质泥岩夹砂岩, 下见砾岩		
			J <sub>2h</sub>		360   520	棕红色砂质泥岩夹砂岩		
	中统	沙溪庙	J <sub>2s</sub>		800   1200	上部棕红色砂质泥岩夹砂岩 下部泥岩夹砂岩		
			J <sub>2x</sub>					
		千佛岩	J <sub>2q</sub>   J <sub>2b</sub>		200   150	杂色泥岩夹砂岩,底部有薄层灰岩		
三叠系	上统	须家河	五		150   200	黑色泥页岩夹薄层砂岩		
			四		> 200	砂岩、砂质砾岩为主,夹黑色泥页岩		

图2 孝泉地区地层柱状简图

中统:千佛岩—白田坝组(有人划为下统),以杂色泥岩为主夹砂岩,底部有薄层灰岩;沙溪庙组,为棕红色砂质泥岩、泥岩和砂岩互层,系主要产层分布段;遂宁组,以棕红色砂质泥岩为主夹砂岩,主要产层分布段。

上统:蓬莱镇组(或莲花口),以棕红色砂质泥岩为主夹砂岩,中、下部见砾岩层。

川西地区从上三叠统沉积末期至今,主要构造运动有:上三叠统须家河组期末的印支运动,主要表现为区域地层抬升、海相及海陆过度相沉积结束,随之发生沉降,结束了四川盆地的海相沉积史,转为内陆沉积;喜山运动为本区影响最大的构造运动,它不仅结束了盆地的沉积史,更主要由于龙门山的推覆作用,使川西地区地层强烈变形、褶皱、断裂,是目前背斜圈闭的形成期。

## 2 孝泉构造“次生气藏”基本特征

### 2.1 天然气分布特征

根据井下的油气显示及产层分布,该构造为“次生气藏”,天然气分布特征如下:

1)工业气层均分布于侏罗系中统各组中,上统蓬莱镇组未发现气层。

2)中侏罗统各组段含气层段多、横向分布极不稳定,相邻井显示层位可以不同。如川93、川32井以沙溪庙组为好,而川104、川106井,不仅沙溪庙组有气显示,而且上部遂宁组气显示也强烈。

3)据王胜(1986)对白马关构造侏罗系气显示统计,72%以上的气显示与断裂和裂缝关系密切。孝泉构造中侏罗地层裂缝发育,许多显示与裂缝发育带有关。

4)中侏罗统“次生气藏”普遍显示高压异常,已获工业气流井压力系数均在1.6以上,钻井常见井涌、井喷现象。这一特征与下伏上三叠统气藏相似。就整个川西来说,中侏罗统地层普遍为常压状态,而且孝泉构造远距含气带的井,地层压力也较低,如川103井地层压力系数仅为1.44,而产气井川105地层压力系数为1.77,这说明“次生气藏”富集带与超压带密切相关。

5)目前已获气井主要分布于构造东南翼和北倾没端。“次生气藏”分布明显不受现今构造圈闭控制(图3),相反,这一分布特征与高压区分布及裂缝、断裂分布呈密切关系(见后)。

## 2.2 储层特征

储层岩性主要为长石岩屑石英砂岩、岩屑砂岩。据9口井岩心物性资料统计,储层平均孔隙度为3.0%,渗透率平均为 $0.08 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,含水饱和度在30~50%之间。显然,该套储层为典型的致密砂岩储层。由于各段砂岩成因上的差别及成岩作用改造程度不同,其物性变化也不同。统计结果表明(表1):下沙溪庙储层最好,平均孔隙度为10.22%,而千佛岩及白田坝组砂岩储层最差,平均孔隙度为1.95%,其它各组段相近。

表1 侏罗系各组段孔隙度

地 层		样品数	煤油法孔隙度(%)		备 注
层 位	代 号		分布区间	平均	
蓬莱镇	J <sub>3p</sub>	8	1.81~4.11	2.64	岩心样品
遂宁组	J <sub>2h</sub>	64	1.43~4.37	2.59	岩心样品
上沙溪庙	J <sub>2s</sub>	79	1.41~7.85	3.56	岩心样品
下沙溪庙	J <sub>2x</sub>	8	6.66~15.36	10.22	部分岩屑
千佛岩	J <sub>2q</sub> j <sub>1b</sub>	8	1.03~2.73	1.95	岩心样品

据铸体薄片及电镜扫描观察,储层主要孔隙类型是(见图4):

粒间溶孔:主要是碳酸盐岩胶结物溶蚀形成,较为发育。

粒内溶孔:主要为长石、岩屑内不完全溶蚀而形成,个别溶蚀完全者可形成铸模孔。

粒间孔:发育于碎屑颗粒之间原生粒间孔仅在遂宁组顶部砂层中见到。

晶间微孔:粘土杂基晶间孔或者自生矿物的晶间孔。

粒间缝隙:发育于粒间的微裂缝。

构造裂缝:构造应力作用产生的破裂,缝中常见方解石及石英充填物。据5口井岩心裂缝资料统计,裂缝主要发育于砂岩层中,泥质砂岩次之,再者为砂质泥岩、泥岩最差(图4)。

裂缝密度最高可达 11.62 条/m(表 2),裂缝宽度分布(图 5)约 60% 小于 0.1mm,最大可达 10mm 左右。分布呈递减指数函数关系。

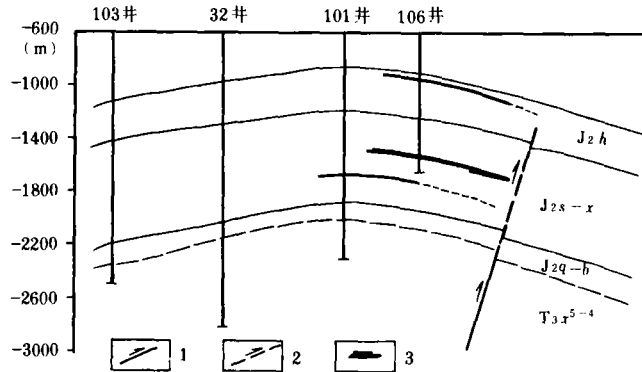


图 3 孝泉构造中侏罗统“次生气藏”构造横剖面图

1.地质解释逆断层;2.推测逆断层;3.工业气层

层位	深井(m)	气显示	岩性剖面	测井曲线			岩心分析				裂缝	测试结果		
				RD	RS	AC	φ	K	Sw	压汞		溶孔	裂缝密度	产状
遂宁组	1530-1560			RD (Ω·m)	RS (Ω·m)	AC (μs/m)	煤油法	吊称法	单径向	Smin	晶间	2.6	—	—
上沙溪庙组	1830-1870			GR (r/t)	RD	SP	泥岩样	泥岩样	单径向	Smin	晶间	2.6	—	盖层

图 4 孝泉构造川孝 108 井储层综合图

(据尹凤岭、刘纪伟,1989 修改)

表 2

井号	层位	井段 (m)	岩心长(m)	裂缝密度(条/m)
川 108 井	J <sub>2s</sub>	1541.81~1873.56	6.17	19.3
川 112 井	J <sub>2s</sub>	1888.75~1900.00	1.35	9.63
川 113 井	J <sub>2s</sub>	1901.73~1919.62	1.98	11.62
川 110 井	J <sub>2s</sub>	1841.47~1859.45	3.41	11.16
川 111 井	J <sub>2x</sub>	2420.5~2519.45	8.97	3.9

储层孔隙分布以小喉道为主,压汞的最小非饱和孔隙体积在 25% 以上(图 4,6),排驱压力一般在 3.5MPa 以上。

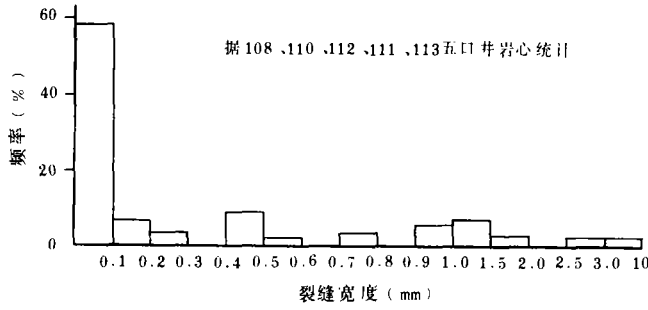


图 5 孝泉构造侏罗系地层裂缝宽度分布直方图

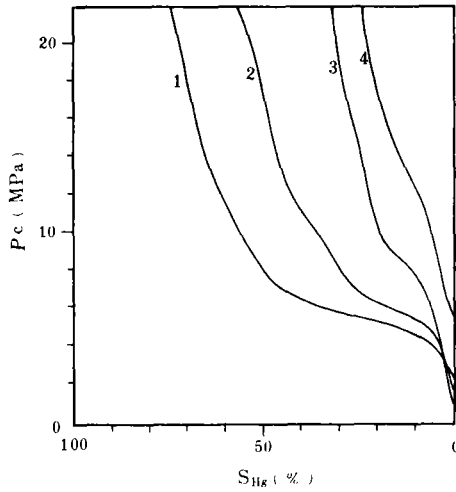


图 6 川西中侏罗统砂岩储层典型毛管压力曲线

(据尹凤岭、刘纪伟,1988)

1.  $\varphi=5.22\%$   $K=0.055 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$

2.  $\varphi=4.78\%$   $K=52.43 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$

3.  $\varphi=1.36\%$   $K=0.01 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$

4.  $\varphi=1.97\%$   $K=0.15 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$

### 2.3 盖层特征

作为气层直接盖层的是地层剖面中裂缝不发育的泥岩层。如川108井气层顶部为一套厚约7m的裂缝不发育泥岩(图4),测井资料显示,自然伽玛中高值,电阻率相对低值,声波时差值较低。

中侏罗统地层剖面中泥岩,虽然取心所得实测孔隙度值与砂岩储层相近或偏高,但渗透率则很低,压汞资料所得泥岩突破压力值5.0MPa以上。因此,只要泥岩不被裂缝所破坏,是可以作为气层盖层的,剖面中常见泥岩层(主要为薄泥岩层)被裂缝贯穿,这样的泥岩则不能封闭下部储层天然气。

### 2.4 生储盖组合特征

孝泉地区侏罗系红色沉积,其中泥岩是不具备生油能力的,就其内(J<sub>2</sub>b)所夹暗色泥岩的有机碳平均含量仅为0.274%。小于生油岩下限标准。因此,侏罗系气藏气源应来自下部老地层,通过油源对比(表3),表明“次生气藏”气来自下伏须家河组。长期勘探研究表明,上三叠统地层中储集有丰富的天然气,孝泉构造的川93、川32井在该套地层中获工业气流,证实其地层中的黑色泥页岩及煤层是良好的生油岩。

由于生与储盖层分属不同时代、不同区域地质背景的地层,据张书麟、王庭斌(1986)的意见,其为跨越式生储盖组合类型。

表3

	井号	层位	井深(m)	类型	比重	饱和烃(%)	芳烃(%)	饱/芳	主峰碳数
	凝析油对比	川104井	J <sub>2</sub> h	1537.81	轻质油	0.7936	88.37	11.63	7.59
川96井		T <sub>3</sub> x <sup>5</sup>	2625.00~2630.20	凝析油	0.7425	96.06	3.94	24.38	nC <sub>6</sub>
川37井		T <sub>3</sub> x <sup>4</sup>	3332.30~3383.00	凝析油	0.7408	96.08	3.92	24.51	nC <sub>7</sub>
川4井		T <sub>3</sub> x <sup>2</sup>	3156.00	轻质油	0.8201	89.44	10.56	8.47	nC <sub>11</sub>
天然气对比	井号	层位	井深(m)	CH <sub>4</sub> (%)	C <sub>2</sub> <sup>+</sup> (%)	CO <sub>2</sub> (%)	C <sub>1</sub> /C <sub>2</sub> -C <sub>5</sub>	C <sub>1</sub> /C <sub>2</sub> -C <sub>3</sub>	δC <sub>13</sub> (‰)(PDB)
	川104井	J <sub>2</sub> h	1537.81	93.78	3.85	0.81	0.96	25.35	-32.999
	川96井	T <sub>3</sub> x <sup>5</sup>	2625.00~2630.20	87.99	10.91	0.25	0.89	8.65	-36.812
	川37井	T <sub>3</sub> x <sup>4</sup>	3332.30~3383.00	91.62	7.54	0.17	0.92	12.85	-36.600
	大2井	J <sub>2</sub> s-J <sub>1</sub> b	1760.00~1825.00	93.83	5.25	0.20	0.95	23.71	-33.900

(据王胜,1986)

## 3 “次生气藏”成藏机理探讨

前已述及中侏罗统“次生气藏”中天然气来自下伏上三叠统地层(喜山运动前,可能部分

存在须家河组气藏),因此这种气藏的形成过程中,渗滤通道和封闭条件至关重要。据油气分布特征,天然气在浅层中侏罗统地层中的储集并非单一层状,而是多层富集。

### 3.1 地层中存在的断裂及断裂带内的裂缝是油气向上运移的通道

沟通中侏罗统储层与下伏上三叠统地层的通道只能是断层。虽然在中侏罗统地层中未解释出断层,但我们认为下伏上三叠统地层中至少两条断层应向上延伸(图3,7)。原因是:其一,上三叠统地层之上为干佛岩组及白田坝组厚约200m的地层,以泥岩为主,系下伏须家河气藏的良好封盖,如果仅靠地层裂缝(纵向延伸一般不超过几米)不能造成几十米厚的泥岩贯穿而使天然气串层运移到浅部地层,加上沙滩庙组及遂宁组中存在的大量泥岩隔层,发生这样的垂向运移更加困难,造成这样沟通的条件只能是断层。其二,下部天然气要富集中遂宁组地层中,断裂至少要断开沙溪庙组,这样才能解释遂宁组顶部存在的工业性气层。其三,从沙溪庙组压力系数分布圈(图8)可知,超高压区与“次生气藏”分布范围相一致,也与推测的逆断层分布有关。

### 3.2 上三叠统地层的超高压是天然气向上运移的主要动力

区域上,中侏罗统地层为常压系统,而上三叠统则是一套超压块体。孝泉构造须家河组目前的地层压力系数高达1.89。一旦断裂将下伏超压地层与上覆常压地层连通时,下部地层中超压天然气,在压力差的作用下克服阻力沿通道向上运移和富集。由于浅部侏罗系储层的分布局限(多为透镜状)或孔渗条件差而对流体的限流,造成浅部储层超压。就目前“次生气藏”的压力分布来看,显然由于地质原因未与周围地层达到压力平衡。

天然气的这一运移和富集过程可以利用 Ronchet 理论加以说明(计算参数见表4)。

表4

项目	中侏罗(J <sub>2s</sub> )	上三叠统(T <sub>3x</sub> )
储层埋深(m)	1500	3200
储层突破压力(10 <sup>5</sup> Pa)	60.00	33.33
平均孔隙度(%)	4.00	4.00
裂缝宽度(mm)	0.50	0.50
平均含气饱和度(%)	45.00	45.00
最小主应力(10 <sup>5</sup> Pa)	358.30	358.30
抗张强度(10 <sup>5</sup> Pa)	33.00	33.00
运移前地层压力(10 <sup>5</sup> Pa)	150.00	640.00
目前地层压力(10 <sup>5</sup> Pa)	170.00	434.70

1)对于被流体张开的一条裂缝,孔隙中流体压力  $p_b$  必须超过最小压应力  $S_3$  和最薄弱点处的岩石抗张强度  $K$  之和。即:

$$p_b \geq S_3 + K \quad (1)$$

流体从上三叠统地层运移进入裂缝,其压力降为  $640 - 33.33 = 606.67(10^5 \text{Pa})$ ,根据孝泉上三叠统实际资料,  $S_3 + K = 391.3(10^5 \text{Pa})$  远小于  $606.67(10^5 \text{Pa})$ ,所以超压流体能使裂缝保持张开。

要使天然气从3200m深处运移到1500m处,按天然气地层条件下密度  $0.4\text{g/cm}^3$  计算,

需上举力(不考虑浮力)约 108(10<sup>5</sup>Pa)。上下之间压力差为  $\Delta p = 606.67 - 108 - 150 = 348.67(10^5 \text{Pa})$ 。在浅层处,裂缝中流体压力为 498.67(10<sup>5</sup>Pa) > S<sub>3</sub>+K,也能保持裂缝开启条件。

运移结束后,随着浅层地层压力增加,逐渐上下层之间达到一定平衡。

2)天然气注入储层的定量条件是:

$$p_g' \geq p_p' + \sigma_{\text{毛}}' \quad (2)$$

式中  $p_g'$ ——油气注入地层前的压力(10<sup>5</sup>Pa)( $\Delta p$ )

$p_p'$ ——注入地层的流体压力(10<sup>5</sup>Pa)

$\sigma_{\text{毛}}'$ ——注入地层的岩石毛管阻力(10<sup>5</sup>Pa)

将侏罗系储层参数代入,则有:

$$p_p' + \sigma_{\text{毛}} = 150 + 60 = 210(10^5 \text{Pa}) < p_g'(\Delta p)' = 348.67(10^5 \text{Pa})$$

因此,运移而来的天然气有足够的能量注入储层。首先进入的是那些孔喉半径大的储层。根据注入能量估计(348.67-210=138.67×10<sup>5</sup>Pa),天然气能够注入约大于 0.04μm 孔喉半径连通的孔隙地层。

### 3.3 断裂及裂缝发育带控制了“次生气藏”的分布

为确定侏罗系平面裂缝发育带,利用 Murray(1968)作图法编制了孝泉构造沙溪庙组顶面构造曲率分布图(图7),曲率的高低与裂缝发育呈正比关系,即:

$$\Phi_f = \frac{T}{2} \left( \frac{dz^2}{dx^2} \right) \quad (3)$$

式中:Φ<sub>f</sub>——裂缝孔隙度(%)

T——变形层厚度(m)

$\frac{dz^2}{dx^2}$ ——变形层弯曲曲率

图7表明,现今工业性气井均位于高曲率(1/R>0.03)的裂缝发育区。实钻资料表明,高曲率带中钻井显示裂缝发育(见表2、图4、表5)。如川105井钻遇1833.00~1838.80m时出现井喷,岩屑录井见裂缝中充填次生方解石自形晶体约5%,与J<sub>2</sub>h层混合测试产气达 57×10<sup>4</sup>m<sup>3</sup>/d。

表5

井号	层位	井段(m)	裂缝显示	
			钻井显示	岩屑录井
川93井	J <sub>2x</sub>	1991.00~1992.00	放空,0.23	见方解石晶簇
川105井	J <sub>2h</sub>	1551.60~1567.20		见半透明自形晶方解石
川105井	J <sub>2s</sub>	1833.00~1838.80	井涌、井喷	见约5%的方解石晶体
川109井	J <sub>2h</sub>	1765.50~1778.00		见透明方解石晶体
川108井	J <sub>2s</sub>	1541.81~1873.56		取心见缝81条
川106井	J <sub>2s</sub>	1531.70~1541.00	井涌	见较多方解石晶体
		1905.00~1922.50	井涌	见较多云解石晶体

事实上,天然气运移而来时,首先聚集于断裂带附近的储层中,逐步向外扩散。因此断裂带应



是“次生气藏”富集的有利场所。

### 3.4 超高压异常是“次生气藏”主要特征之一及寻找这类气藏的重要标志

根据平衡泥浆比重估算的中侏罗统地层压力系数编绘的等值图(图8),说明工业性气井主要分布于断裂带周围,压力系数约在1.6以上的区域中。地层压力是由断裂带逐步向四周递减而过渡为常压状态。如川32井,中侏罗统地层不产气,压力近为常压(1.20),川109井为高产气井, $J_2h$ 层实测地层压力(1770m)为 $366 \times 10^{-1}$ MPa,压力系数约1.8左右,为高压异常。

综上,在勘探“次生气藏”过程中,可以通过研究地层压力分布特点来判断有利区块。通过上述分析,我们可以对“次生气藏”形成机理作如下解释(图9):

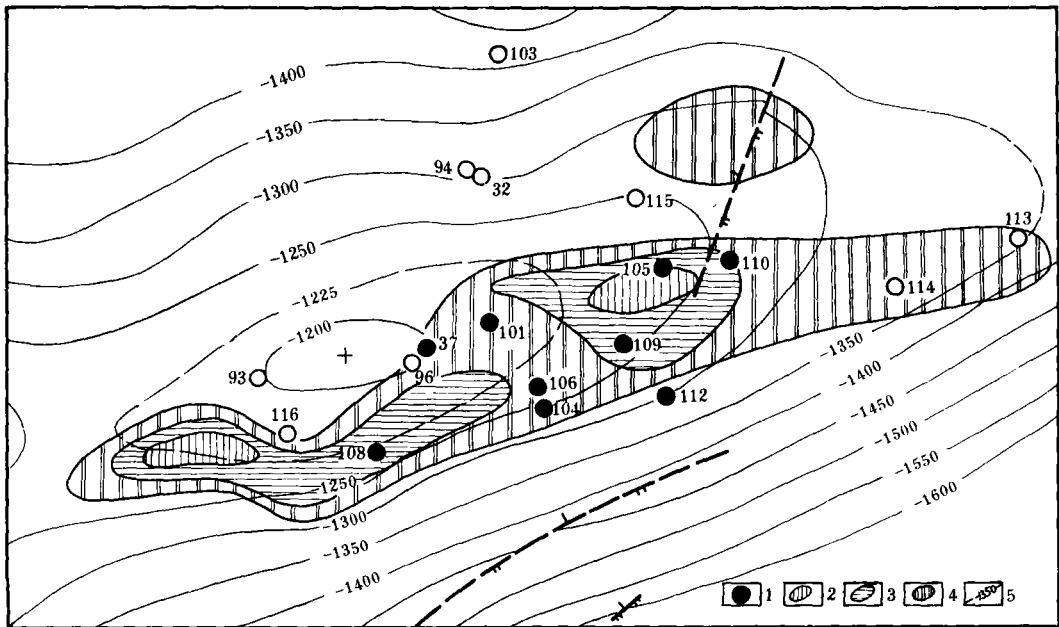


图7 孝泉构造沙溪庙组顶面构造曲率分布图

1. 工业气井; 2.  $1/R \geq 0.05$ ; 3.  $1/R: 0.05 \sim 0.04$ ; 4.  $1/R: 0.04 \sim 0.03$ ; 5. 等高线。

1) 中侏罗统至白垩系沉积期,上三叠统中生油岩演化成熟,油气大量生成,有部分经初次运移进入本统内储集层,形成早期气藏。

2) 由于喜山运动,地层褶皱、断裂,使孝泉构造形成。同时由于断裂作用,部分地破坏了上三叠统气藏的圈闭条件,使天然气在压差作用下,运移进入断裂带(附近裂缝带),并保持裂缝开启。

3) 在上下层压力差作用下(有浮力等作用),天然气沿断裂裂缝带向上运移,并注入中侏罗统不同层段的砂岩储层中。随后沿这些地层的裂缝发育带向外扩展,形成多层不均一富集。

4) 由于天然气在浅层的富集,形成局部超压异常。当上三叠统天然气由运移后压力降

低,浅层压力的升高,天然气能量不足于克服运移阻力时或不能支撑裂缝开启时,运移结束。

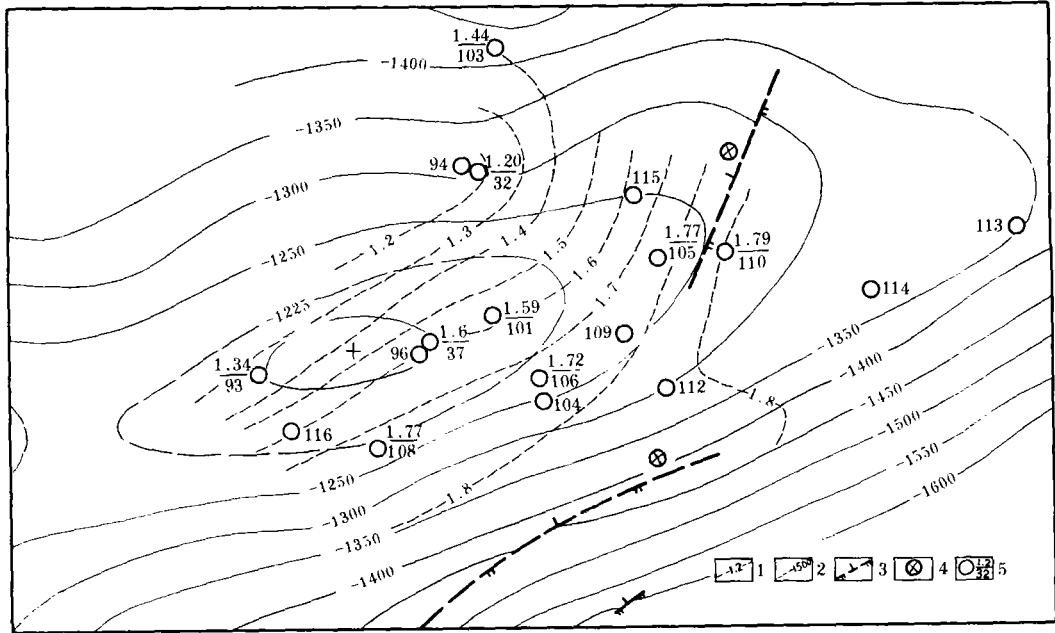


图8 孝泉构造中侏罗统地层压力系数等值线

(压力系数部分根据泥浆比重估算)

1. 等压线; 2. 等高线; 3. 推测逆断层; 4. 建议井; 5. 压力系数/井号。

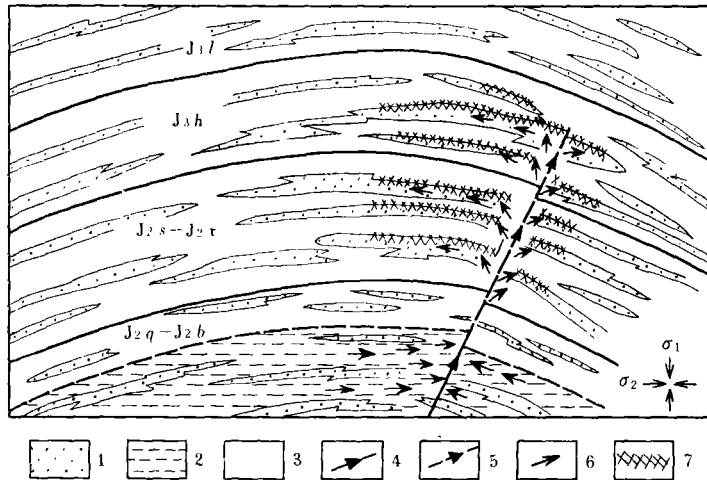


图9 孝泉构造须家河组天然气(油)沿断裂及裂缝运移并富集于侏罗系储层解释图

1. 砂岩; 2. 泥岩(生油岩); 3. 棕红色泥岩; 4. 逆断层; 5. 推测逆断层; 6. 油气运移方向; 7. 裂缝

#### 4 “次生气藏”发育的有利地带评价原则

1. 准确确定出既断开须家河组地层又断开上部侏罗系地层的断层(断层不能通天,最好消失在侏罗系地层剖面中有效盖层以下),这样的断裂是形成“次生气藏”的条件之一。

2. 在断裂带附近,用适当方法确定出裂缝相对发育带,这些地带是有利勘探区(包括断裂带)。

3. 首先选择的探区必须是在上三叠统有充足气源的区域。

4. 钻探过程中应注意地压检测,一但发现高压异常层段,即进行中测,提高气田发现率。在一个区块内有一定探井后,应加强地质研究,特别是地压研究,结合其它资料,确定出气藏有利分布范围。

本文引用了西南石油地质局综合研究大队的部分原始资料,在此感谢。

(收稿日期:1990年3月8日)

#### 参 考 文 献

1. 王允诚. 裂缝的分布规律及其在油气运移和勘探开发中的作用, 新疆石油地质 1984;(4)
2. Rouchet J D. Stress Fields—A Key of the oil Migration, AAPG 1981;(165)

## IN APPROACHING THE CHARACTERISTICS AND THE FORMATIVE MECHANISM OF SECONDARY GAS POOLS IN MIDDLE JURASSIC SERIES WITHIN THE XIAOQUAN STRUCTURE OF WEST SICHUAN

Zhou Wen

(Chengdu Institute of Geology)

#### Abstract

On the basis of tectonic and geological analysis, the characteristics and the formative mechanism of the Jurassic secondary gas pools within the Xiaoquan Structure of West Sichuan are discussed in this paper. The researches suggest that such a type of gas pools is related to the geological factors of fault, fracture and formation pressure etc.