

川 东 北 铁 山 坡 构 造 飞 仙 关 组 气 藏 特 征 *

饶 雷

(中国石油西南油气田公司川东北气矿)

饶雷.川东北铁山坡构造飞仙关组气藏特征.天然气工业,2007,27(5):32-35.

摘 要 铁山坡构造位于四川省宣汉县、万源市境内,区域构造位置属四川盆地川东北中隆高陡构造区双石庙构造群的西北部,为黄金口构造带北段的一个主体构造。该构造为南北两个反向逆断层夹持的断隆,存在 3 个局部高点。综合地震、地质、钻井、测井、岩心、测试及岩屑、气水的物化资料,研究了该构造下三叠统飞仙关组气藏的构造、储层、成藏特征。结果认为,该构造飞仙关组储层属台地边缘鲕滩相,经同生白云化、成岩溶蚀作用和造山运动,使得储层内孔、洞、缝比较发育;以粉晶灰岩及亮晶鲕粒云岩、石灰岩为主的储层物性较好,但非均质性也较强;气藏气水界面、含气面积准确,属裂缝—孔隙型储集空间、含气丰度高的大型气藏。越靠近该构造南翼,则储层孔隙越发育、有效储层厚度越大。

主题词 四川盆地 东北 铁山坡构造 早三叠世 气藏 构造 沉积相 储集层 特征

铁山坡构造位于四川省宣汉、万源县境内,区内地形复杂,属高山区,最高海拔为 1581 m,最低为 353 m,相对高差 120 m,交通不便。区域构造位置属四川盆地川东北中隆高陡构造区双石庙构造构造群西北部,为黄金口构造带北段的一个主体构造。其东南为老君场向斜,西北为北西向的五龙场背斜,西南端与罗家坪背斜正鞍相接,东北端与固军坝构造南翼鼻突相邻。地面构造简单、完整,出露侏罗系沙溪庙组砂泥岩地层。

铁山坡构造于 1999 年开始钻探。1998 年渡口河构造飞仙关组获得天然气探明储量后,将铁山坡构造飞仙关组地震资料与其对比,发现同样具有地震强振幅异常。于是在全竹坪高点偏西翼钻探坡 1 井,1999 年 8 月 28 日钻至井深 3484.08 m,对 $T_1 f^{3-1}$ 中测获高产工业气流($36.58 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$)。2000 年 3 月 12 日钻至 $P_1 m^1 A$,井深 4647.56 m 完钻。对

$T_1 f^{3-1}$ (下段)井深 3527.4~3579.5 m 射孔测试,产水 $13.75 \text{ m}^3/\text{d}$ 。对 $T_1 f^{3-1}$ (上段)井深 3400~3460 米射孔测试,产气 $26.72 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。2000 年 5 月 14 日后陆续又钻了坡 2、3、4、5 井,其中坡 3 井飞仙关组为干层,坡 2、4、5 井均获工业性气流。

一、气藏构造特征

1.构造总体形态

铁山坡地面构造是一个北东向高陡背斜,两翼不对称,西北翼较东南翼缓,地表断裂不发育。地腹由于受大巴山和川东褶皱带两组不同方向挤压力的作用,使得构造复杂、断层发育。飞三段顶界构造和储层顶界构造为两翼受断层夹持的断垒构造,长约 13.05 km,宽约 1.65 km。由北向南有 3 个高点:金竹坪高点、坡 2 井断高、黄草坪高点(见表 1)。

表 1 铁山坡构造飞——飞三段储层顶构造要素表

序号	圈闭名称	高点位置		高点海拔 (m)	最低圈闭 线海拔(m)	闭合度 (m)	轴长(km)		构造 走向
							长	短	
1	金竹坪高点	L470	T370	-2821	-3300	15.14	8	1.65	NE
	金竹坪北高点	L470	T370	-2821	-2850	0.7	2	0.4	NE
	金竹坪南高点	L370	T340	-2829	-2850	0.4	1	0.4	NE
2	坡 2 井断高	L290	T300	-3100	-3400	4.02	2.35	1.25	NE
3	黄草坪高点	L130	T260	-3085	-3250	1.42	1.9	0.9	NE

* 本文为中国石油西南油气田公司 2004 年重点开发前期项目《铁山坡气田飞仙关气藏开发方案》研究成果。

作者简介: 饶雷,1965 年生,工程师;主要从事物探及石油地质综合研究工作。地址:(635000)四川省达州市南外镇工行大厦川东北气矿勘探开发科。电话:(0813)2699659。E-mail:raolef@petrochina.com.cn

2.剖面特征

地腹构造断裂发育,飞仙关组两翼均为断层所夹持,横剖面形态表现为断垒,其西北翼较平缓,东南翼较陡(见图 1)。

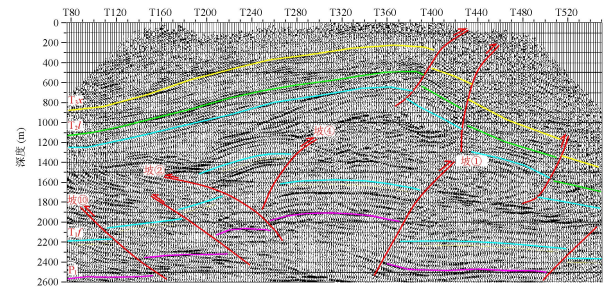


图 1 铁山坡气田黄草坪高点三维地震偏移剖面

3.断层特征

铁山坡构造地腹断裂较为发育,但对构造起主要控制作用的是东南、西北两翼的倾轴逆断层。它们沿构造走向延伸,相向而倾,切割构造,形成断垒(见表 2)。

4.裂缝特征

岩心观察、统计结果表明,储层裂缝以压溶缝、溶蚀缝及构造缝为主。其中有效缝主要为张开的构造小平缝和溶蚀缝,缝间部分彼此相交,相互连通,构成良好的流体渗流通道。构造北端坡 4 井有效缝发育最差,坡 2 井有效缝发育最好,坡 1 井有效缝发育程度介于二者之间。

表 2 铁山坡构造断层要素表

断层名称	性质	所在构造部位	与构造轴关系	断层长度(km)	断距(m)	消失层位		产状	
						向上	向下	倾向	倾角(°)
坡①	逆	东南翼	平行	15.3	600~2280	嘉陵江组	奥陶系	北西	60~75
坡②	逆	西北翼	平行	14.7	450~1580	嘉陵江组	奥陶系	南东	45~67
坡④	逆	黄草坪高点东南翼	平行	3.9	200~850	嘉陵江组	二叠系	北西	40~75
横①	逆	西南段	斜交	3.5	50~220	嘉陵江组	二叠系	北东	15~35
横②	逆	东北段	垂直	1.2	250~300	嘉陵江组	二叠系	南西	30~45

FMI 测井也显示储层裂缝仅在局部较发育。坡 1、2 井 FMI 显示储层在局部存在不规则溶蚀现象,偶极横波声波成像、斯通利波变密度及其反射强度均表现储层裂缝较发育,但以微细裂缝为主。总体而言,储层裂缝不甚发育。

二、气藏储层特征

川东北地区飞仙关组仅 $T_1 f^4$ 段与下伏三段分层明显,岩性组合、电性特征、生物化石类型、地层厚度均较稳定,且区域对比性好。 $T_1 f^1$ 、 $T_1 f^2$ 、 $T_1 f^3$ 三段因飞二段泥页岩相变为石灰岩难以细分,统称之 $T_1 f^{3-1}$ 段。其底界与下伏二叠系长兴组呈整合接触,上与 $T_1 f^4$ 一起与三叠系嘉陵江组呈整合接触。

铁山坡各井飞仙关组地层厚度在 400 m 左右,其中 $T_1 f^4$ 厚度为 22.5~36 m, $T_1 f^{3-1}$ 厚度 375.5~325.5 m。岩性 $T_1 f^4$ 主要为紫红色泥岩和灰褐色、灰绿色云岩、泥云岩、泥灰岩及灰白色石膏。 $T_1 f^{3-1}$ 主要为一套灰色、褐灰色、灰褐色粉晶石灰岩及亮晶鲕粒白云岩、石灰岩。横①号断层以北坡 1、4 井发育不同厚度的石膏,石膏与白云岩的互层的厚度由南往北逐渐增加。

1.飞仙关组沉积相特征

飞仙关期的沉积环境是继承长兴期沉积环境的基础上发展起来的。铁山坡地区西靠开江—梁平海槽,东邻鄂西海槽,飞仙关期属夹于两海槽之间的碳酸盐岩台地。其沉积相可细分为以下 3 个微相(图 2)。

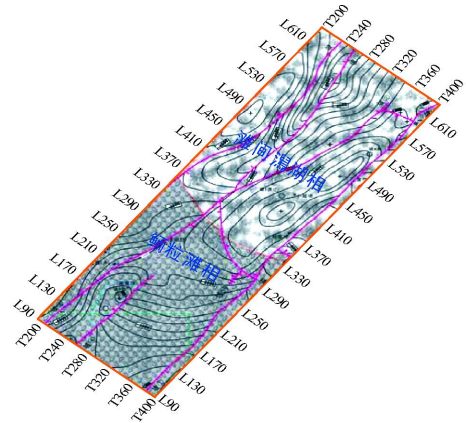


图 2 铁山坡构造飞仙关组沉积微相展布图

(1)边缘鲕滩相。它分布于迎浪一面的前缘地带,属台地边缘高能环境,其沉积过程受风浪控制。鲕滩中有大量砂屑共生,原沉积鲕粒含量较少,以亮晶胶结为主,鲕滩沉积物淘洗充分、质纯,颗粒含量

高,分选好,间歇暴露地表的淡水淋滤作用使沉积物易产生后生变化,白云化程度高、储层改造十分彻底,是最好的沉积微相。铁山坡构造南段(坡 2、5 井区)就属于边缘鲕滩相。

(2)滩间潟湖相。它分布于鲕粒滩背浪面(滩后)一方,属于相对低能环境,其沉积过程中主要受潟湖内潮汐及微风浪控制,分选一般较差,存在大量灰泥或细粉晶方解石。因潟湖内的蒸发作用,普遍存在大量的石膏等蒸发矿物,与白云岩互层状分布。主要岩石为泥—细粉晶石灰岩、团粒、豆粒石灰岩及鲕粒云岩、石膏及膏质白云岩,是较差的沉积微相。铁山坡构造北段(坡 1、4 井区)就属于滩间潟湖微相。

(3)潟湖潮坪相。它分布于潟湖边缘,横向上远离鲕粒滩。主要岩性为泥—细粉晶白云岩、石膏及石膏质白云岩,是最差的沉积微相。

2. 飞仙关组储集空间类型及特征

铁山坡构造飞仙关组储层孔隙、溶洞比较发育,孔隙类型多,总体上可以分为孔、洞、缝、喉四大类 14 亚类。其中以粒间(内)溶孔、晶间溶孔为主,次为铸模孔、砾间(内)溶孔、体腔孔。据岩心观察,溶孔、溶洞分布不均,局部富集呈“炭渣”、“蜂窝”状。据溶孔统计,平均每米 9.08 个,局部密度每米达 171 个。洞径一般 2~5 mm,个别 12 mm。形状以椭圆形为主,部分为不规则多边形。溶洞主要发育在粉晶白云岩、残余砂(砾)屑粉晶白云岩中,多属孔隙性溶蚀洞。

4 口井(坡 1、2、3、4 井)取心(进尺 319.88 m,岩心长 314.55 m,收获率 98% 以上)物性分析结果如下。

(1)孔隙度:最大 21.76%,最小 0.25%。其中孔隙度小于 6% 的岩心样品占 72.14%。单井情况也是如此,坡 2 井最好,孔隙度小于 2% 的样品占 32.4%;坡 1 井孔隙度小于 2% 的样品占 63.8%;坡 4 井小于 2% 的孔隙度样品占 62.34%;坡 1、2、4、井平均孔隙度 4.71%。

(2)渗透率:经岩心分析对比,储层渗透性由北向南逐渐变好。如北端的坡 4 井渗透率最大 $9.82 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;平均 $1.11 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;中间的坡 1 井渗透

率最大 $19.7 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;南端的坡 2 井渗透率最大 $169 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均 $11.64 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。试井资料解释而得的渗透率也是这个趋势。综上,该构造飞仙关组储层属于低—中渗型储层。

(3)孔隙结构:通过样品薄片压汞、铸体分析,溶孔在岩石上多呈不规则状或次圆状;在薄片上为不规则多边形和溶蚀港湾状,孔隙喉道主要为片状晶间隙,少部分呈管状,压汞资料表现为较高孔隙度,一般 4%~12%,最高可达 21.76%,最大连通孔喉半径平均 6.98 μm ,饱和中值半径 1.04 μm ,说明孔隙主要为粗—细孔,孔喉为大—小喉,在铸体上,孔隙直径分布频率总体略偏细,以直径 20~80 μm 之间的晶间孔为主,溶蚀扩大的非选择性溶孔较少,为典型粗—细孔,中喉型储层,其孔隙结构好,纵向上非均质性强。

储层孔喉分选较差。分选系数 3.63~1.45,平均 2.37。歪度系数 1.56,具粗歪度、偏于大孔。平均毛细管压力曲线表明 I、II 类储层分选较好,属粗歪度;III、IV 类储层分选较差,属细歪度。

岩心压汞排驱压力最大 200 MPa,最小 0.0099 MPa,平均 6.76 MPa。其中孔隙度小于等 2% 的排驱压力,最大 7.63 MPa,最小 0.0099 MPa,平均 1.3 MPa;孔隙大于 6% 的排驱压力都小于 1 MPa,表明孔隙度小于等于 2% 的孔隙连通性好,且这部分样品中值压力较低,平均 7.16 MPa;束缚水饱和度为 30%~1.67%,平均 11.9%。这些均说明,孔隙连通性、渗透性均较好。

3. 飞仙关组储层分类及分布特征

(1)储层分类。据碳酸盐岩分类标准,飞仙关组储层可分为四类:I 类孔隙度大于等于 12%,II 类孔隙度介于 6%~12%,III 类孔隙度介于 2%~6%,IV 类孔隙度小于 2%。依岩心和测井解释数据,各井各类储层孔隙及厚度见表 3。

(2)储层分布。纵向上,储层主要位于 $T_1 f^{3-1}$ 中下部,多个储渗段与致密层相间分布,其中坡 5 井连续性较好,而坡 1、2、4 井连续性较差。

表 3 铁山坡构造各井各类储层孔隙及厚度统计表

井号	$T_1 f^{3-1}$ 钻厚 (m)	I 类储层		II 类储层		III 类储层		储层总厚 (m)
		孔隙度(%)	厚度(m)	孔隙度(%)	厚度(m)	孔隙度(%)	厚度(m)	
坡 1 井	352.5	14.08	3.77	8	20.87	4.09	64.32	263.54
坡 2 井	360(未完)	15.05	23.48	8.69	50.29	3.69	68.71	217.52
坡 4 井	346.5(未完)		无	7.84	7.78	3.87	21.36	317.36
坡 5 井	412.5	13.5	61.62	9.53	123	4.03	45.38	230.00

横向上,Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类储层在构造南端最发育,如坡 5 井Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类储层总厚度达 230 m,发育程度(与地层钻厚的比)达 61.25%。向构造北端储层逐渐变差,如坡 4 井,Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类储层总厚仅 29.14 m,且无Ⅰ类储层。

地震预测结果与实钻资料非常吻合。储层也是南厚北薄。坡 2~5 井区厚 120~240 m,孔隙度 4%~7.5%。

三、气藏流体、压力系统、气水关系特征

(1)流体

气藏甲烷含量 77.8%,H₂S 含量 14.3%,CO₂ 含量 6.32%,乙烷、丙烷、氮、氦、氢含量极少,属富含 H₂S,中含 CO₂ 的干气气藏。气藏存在边水,水的氯根含量较低(10553~18127 mg/L)。密度为 1.025~1.066 g/cm³,总矿化度 29~50.7 g/L,Na₂SO₄ 水型。

(2)压力系统

横①号断层将气藏分为南北两区,地层和储层横向分布不连续,缺少南北连通的地质条件。

南区坡 2 井产纯气,气层顶海拔-3321.47 m,北区坡 1 井下储层产水,水层底海拔-3192.58 m。说明气层顶比水层底还低 200 m。横①号断层使两边的储层不连通,应为两个独立的压力系统,坡 2、5 井地层压力分别为 49.5 MPa 和 49.4 MPa,且坡 2、5 井间储层联系分布,无地层缺失和断层遮挡。因此两井应属于同一压力系统。

北区坡 1、4 井上、下储层为非同一压力系统,而上储层为同一压力系统(见表 4)。

表 4 坡 1、4 井上、下储层压力对比表

项目	坡 1 井		坡 4 井	
	上储层	下储层	上储层	下储层
中部井深(m)	3430	3486.97	3457	3457
中部井深海拔(m)	-2998.11	-3052.46	-2997.86	-2997.86
地层压力(MPa)	48.6	47.869	48.619	47.977

坡 1 井气层中部,上储层比下储层高 55 m,而地层压力比下储层高 0.731 MPa,且上、下储层间有一层石膏封隔,充分证明上下储层不是一个压力系统。

坡 4 井地层压力计算结果也是这样。“上储层”用气柱压力方程求得石膏层顶部井深 3457 m 处地

层压力为 48.619 MPa;“下储层”用水柱压力方程求得同一海拔地层压力为 47.977 MPa。“下储层”压力比“上储层”压力低 0.624 MPa。

用气柱压力方程分别求得坡 1、4 井“上储层”同一海拔-2980 m 处地层压力为 48.546 MPa 和 48.565 MPa,两者相差仅 0.019 MPa,且气质相近,证明坡 1、4 井上储层为同一压力系统。

(3)气水关系

南区坡 5 井测井资料解释及完井测试证实产气,坡 2 井测井资料解释为气水同产,气水界面位于井深 4180 m 附近,对应海拔-3502.77 m,确定气水界面海拔为-3500 m。

北区坡 1 井测井资料解释“上储层”为气层,“下储层”为水层,试验结果均得到证实。坡 4 井上、下储层情况同坡 1 井。由于坡 1、4 井“上储层”未见地层水的迹象,且上、下储层间石膏分布连续,封隔作用良好,将上、下储层分成两个独立的压力系统,故无法求得“上储层”的气水界面,只得暂借坡 2 井气水界面处的拟压力系数进行估算,其值为海拔-3518.44~-3523.58 m,因此将北区“上储层”的气水界面也定为海拔-3500 m。

四、结束语

基于以上对铁山坡飞仙关组鲕滩储层的认识,在今后的开发井部署中应遵循以下原则。

(1)“稀井高产”的原则,开发井选择在飞仙关组鲕滩储层厚度大、储层渗透率高、能获得高产量的气藏有利部位。

(2)合理的井底距是保证铁山坡气田整体均匀开发的基础。

(3)在钻井工程上采用水平井或大斜度井方式揭开储层,提高单井井口产能。

(4)完井工艺上应采用耐蚀不锈钢油管,尽量减轻 H₂S 对油管的腐蚀。

(5)在各个环节上必须重视安全生产,充分考虑到 H₂S 气体的危害性。

成文中,参考了王一刚、刘义成、王罗兴、伍丽红、唐必锐等的内部科研报告,在此一并致谢!

参 考 文 献

[1] 王一刚,等.川东北部飞仙关组鲕滩气藏成藏条件及储层预测方法[R].2000 年 7 月.
[2] 刘义成,等.铁山坡气田飞仙关气藏开发方案(可行性研

究报告)[R].2005 年 8 月 .

[3] 王罗兴,等 .川东北飞仙关组鲕滩气藏地震响应特征及勘探展望[R].2000 年 9 月 .

[4] 伍丽红,等 .铁山坡气田三叠系飞仙关组气藏天然气探明储量报告[R].2001 年 10 月 .

[5] 唐必锐,等 .铁山坡构造三维地震详查报告[R].2004 年 9 月 .

(修改回稿日期 2007-03-11 编辑 居维清)