

元坝气田长兴组礁滩相气藏 复杂气水关系成因

李宇平, 范小军, 郝景宇, 潘磊, 王银

(中国石油化工股份公司勘探分公司)

摘要 元坝气田以上二叠统长兴组礁滩相隐蔽性岩性气藏为主。元坝西北部整体含气性较好,气产量高,但东部和南部气水关系复杂,多个圈闭见水,气产量多为中低产。不同岩性的气藏,其气水界面与气藏高度变化较大。通过地质、测井、物探的联合分析认为,优质储层的形成分布特征、成藏富集的规律特点、裂缝与构造的良好匹配是控制复杂气水关系的主要因素。分析表明,元坝西北部的礁带是最有利的勘探区。这一分析结果与高产富集带的预测、含气性的检测及测试结果具有高度的吻合性。

关键词 四川盆地;元坝气田;晚二叠世;长兴组;气水关系;礁滩相储层;主控因素

中图分类号: TE122.3*3

文献标识码: A

元坝长兴组礁滩相大气田是继普光气田之后,中国石化勘探分公司在我国南方发现的埋藏最深(约7000 m)的亿吨级大型整装海相气田^[1]。元坝长兴组气田的勘探表明,气藏的气水关系复杂。为了提高元坝气田礁滩相气藏的勘探成功率,有必要明确其复杂的气水关系及其控制因素。

自元坝气田勘探突破以来,前人的研究主要集中在沉积^[2-6]、储层^[7-13]、气藏^[2,14-19]等方面,而对气水关系方面的研究则相对较少,主要有尹正武等^[20]开展过关于元坝地区礁滩相气藏气水的地球物理识别研究,总体来说,对元坝气田超深层礁滩相气藏复杂气水关系的成因及主控因素认识还不够深入。本研究通过对元坝气田地质、测井、物探等资料的联合分析,以及30多口井测试成果的分析,试图结合岩性圈闭及气藏分布规律,理清气藏复杂气水关系的成因,明确主控因素,以提高隐蔽性岩性油气藏勘探的成功率。

1 气藏分布特征

元坝气田在构造上位于四川盆地北部的川北坳

陷(图1),受西北部九龙山背斜构造带、东北部通南巴背斜构造带、南部川中低缓构造带三个三级构造遮挡^[1-2,4-6],断裂不发育,沉积了一套上二叠统长兴组台地边缘礁滩相地层^[3-5],主要为一大型礁滩相隐蔽性岩性气藏^[11,16-17]。

1.1 气藏的平面分布

钻井资料、三维地震资料及沉积相综合研究表明,整个元坝地区在长兴期被一条NW—SE向的相变线分割为台地边缘相与陆棚相两个沉积相带(图1)。陆棚相带的岩性致密,以深灰色含泥灰岩为主,储层不发育;而台地边缘相带的礁滩主体沉积中,早期发育了生物碎屑滩储层(长兴组一段)、晚期发育了礁盖白云岩储层(长兴组二段),并具有“早滩晚礁,前礁后滩,向东北向迁移”的沉积特征^[1,13]。在沉积相展布规律控制作用下,台地边缘礁滩主体区的气层厚度沿NW—SE的圈闭走向呈三排条带状分布(图1)。第一排(I号礁带)位于YB9井礁体至YB103H井礁体,为NW向长条状,长宽比大于10,其中YB9井、YB107井、YB10井和YB103H井均见水层,但是气水

收稿日期: 2014-03-25; 改回日期: 2015-03-03

本文受中国石油化工股份有限公司重点项目“元坝地区长兴组和飞仙关组储层描述与预测”(编号:P09024)的资助

李宇平: 1969年生,博士,高级工程师。主要从事石油地质综合研究工作。通讯地址: 610041 四川省成都市高新区吉泰路688号 中国石化西南科研办公基地。E-mail: liyp.ktnf@sinopec.com

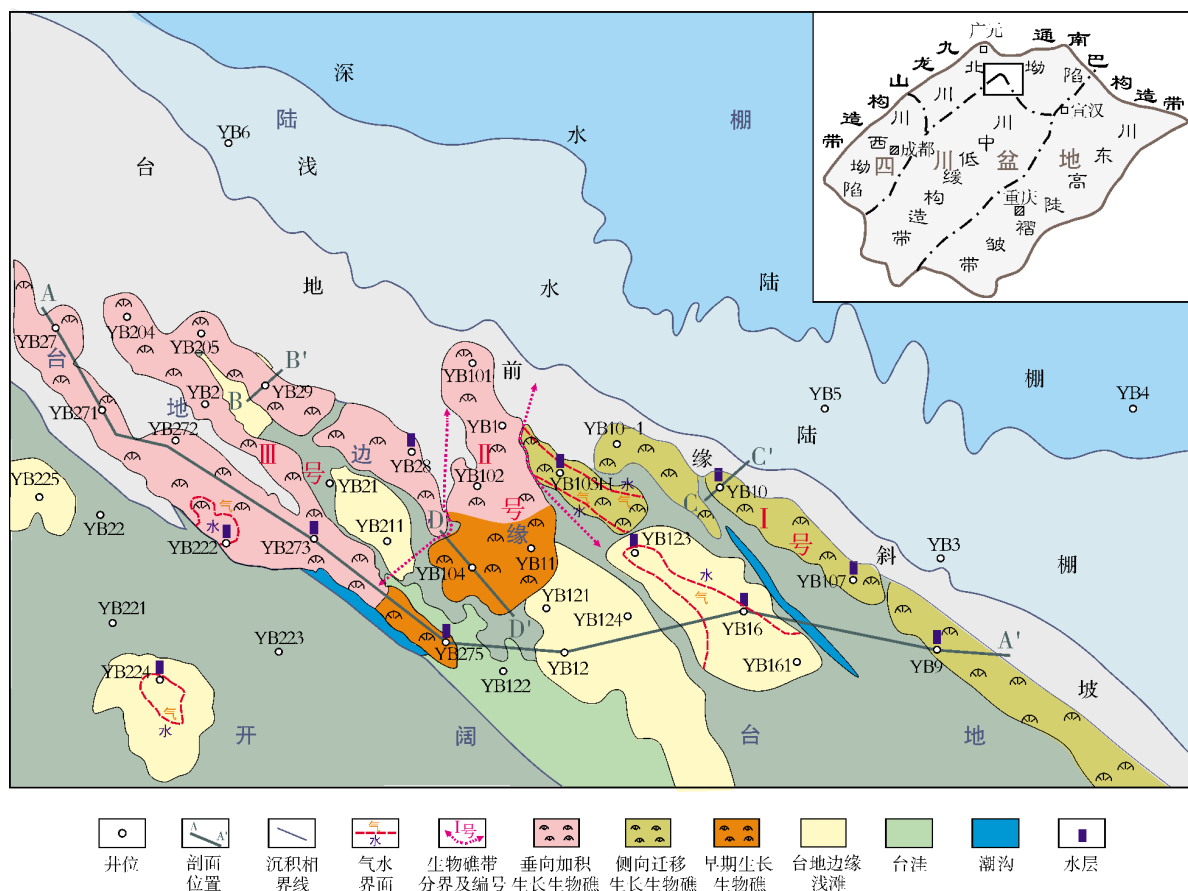


图 1 元坝气田上二叠统长兴组礁滩气藏分布图

界面不一致,为相互独立的气藏;第二排(Ⅱ号礁带)位于 YB101 井礁体,近 S—N 向,长宽比约为 2,南宽北窄,呈指状延伸;第三排(Ⅲ号礁带)位于 YB27 井礁体至 YB28 井礁体,为 NW—SE 向长条状,其中 YB28 井、YB222 井、YB273 井和 YB275 井均见水层。台地边缘浅滩区主要分布于元坝东部(“1”字头井号区)的 YB12—YB124 井区和 YB123—YB16 井区,以及元坝西部(“2”字头井号区)的 YB224 井区、YB211 井区和 YB225 井区,其中 YB123 井、YB16 井、YB224 井均见水层,分布于礁滩主体后侧(图1)。总体上,元坝长兴组气藏平面上呈 NW—SE 向分布,它是在一定的古构造高背景下,主要由沿台地边缘展布的长兴组生物礁滩及礁后生物碎屑滩叠置连片而成的似层状岩性气藏,具有“一礁、一滩、一气藏”的分布特征。元坝西北部的含气性整体较好,元坝东部和南部的局部地区则气水关系复杂。

1.2 气藏的纵向分布

元坝地区长兴组台缘礁滩复合体储层可划分为上下两段,下部为一段,中上部为二段。总体上,二段的气藏主要位于二段的中上部及顶部(图2)。部分井的长兴组顶面即为储层顶面,如 YB1 井、YB101 井;也有部分井的长兴组二段储层距长兴组顶面有 10m 左右,如 YB102 井。台地边缘浅滩相气层主要发育于长兴组一段,与台地边缘礁滩相(长兴组二段)气层呈叠置连片分布。结合气藏特征分析,元坝长兴组气藏主要以弹性气驱为主,部分为边(底)水驱动,不同岩性气藏的气水界面、气藏高度变化较大,总体上具有高气低水的特征(图2)。通过元坝长兴组多口井岩心沥青含量的统计,识别出古油水界面均低于现今气水界面(图2)。分析认为,元坝地区长兴组古油藏裂解成气阶段及后期调整过程中,天然气向高部位发生了运移调整。

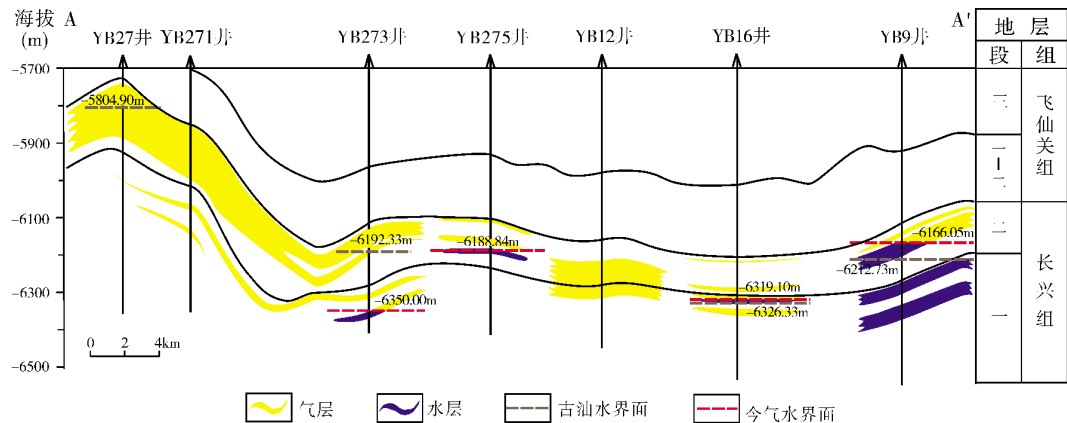


图2 元坝气田上二叠统长兴组气藏剖面图
A—A'剖面位置见图1

2 气藏复杂气水关系的主控因素

2.1 优质储层对气水分布的控制

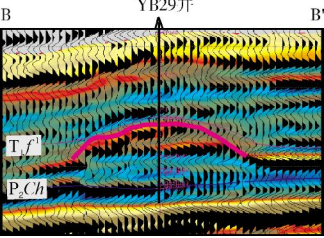
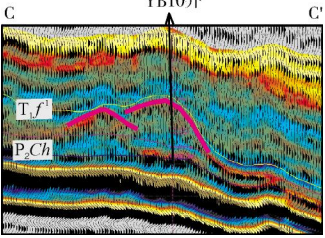
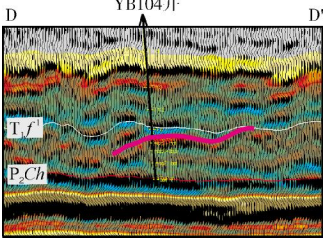
元坝地区长兴期台地边缘礁滩复合体储层的发育与生物礁的生长密切相关,储层发育的优劣则与生物礁生长的规模有关。生物礁生长后期,随着海平面的相对下降以及生物礁的快速生长,生物礁顶部接近或暴露于海平面,由此形成暴露浅滩相储层。根据生物礁的生长特征,可划分出三种生物礁生长模式(图1,表1)。

垂向加积生长模式 主要发育在Ⅱ号和Ⅲ号礁带的北部,生物礁生长具有垂向加积特征,礁体规模较大,礁盖储层厚度大、物性好。Ⅱ号、Ⅲ号礁带中大部分的井,测试获高产工业气流。

侧向迁移生长模式 主要发育在Ⅰ号礁带一带,生物礁生长具有侧向迁移、平行生长的特征,礁盖储层厚度中等、物性好。测试以中低产气为主。

早期生长模式 主要发育在Ⅱ、Ⅲ号礁带的中南部,生物礁带倾末端的礁体发育在长兴期中期,至晚期演化为局限环境沉积,储层厚度较薄,但物性好。测试结果表明,这一类型模式的井中同样可以获得高产。

表1 元坝气田长兴组生物礁生长模式与储层特征对照表

生长模式	垂向加积生长模式	侧向迁移生长模式	早期生长模式
典型剖面			
生长特征	生物礁以垂向加积生长为主	生物礁以侧向迁移生长为主	早期生物礁,晚期局限环境
储层特征	储层厚度大(90~140m),物性好(Ⅰ类和Ⅱ类储层占30%~50%)	储层厚度中等(30~60m),物性较好(Ⅰ类和Ⅱ类储层占20%~30%)	储层厚度较薄(30m左右),但物性好(Ⅰ类和Ⅱ类储层占50%)
平面分布	Ⅱ号、Ⅲ号礁带北部	Ⅰ号礁带	Ⅱ号、Ⅲ号礁带中南部

B—B'、C—C'、D—D'剖面位置见图1。T₁f 飞仙关组;P₂ch 长兴组

结合元坝长兴组礁滩储层厚度与产能关系的统计分析(表2),生物礁带的储层在整体上较浅滩相储层厚度更大,物性更好,其中尤以垂向加积模式和

早期生长模式形成的生物礁(Ⅱ、Ⅲ号礁带)储层中的Ⅰ、Ⅱ类储层更发育,储层连通性更好,油气输导效率更高。元坝的长兴组气藏,西北部礁带的以含

气为主,东部礁带的以气水伴生为主。由于礁滩相储层非均质性较强,储集体纵横向岩性变化快,气水分布受优质储层分布的控制,便形成了岩性控制型气水分布模式,使得气水分布在优质储层控制下发生了调整,形成了现今的气水分布状态。

表 2 元坝气田长兴组台地边缘礁盖储层厚度与油气测试结果关系表^[19]

礁带位置	井号	礁盖储层厚度(m)	生物礁生长模式	测试结论
I号礁带	YB9井	30	侧向迁移	含气水层
II号礁带	YB104井	30	早期生长	高产
III号礁带	YB29井	120	垂向加积	高产
	YB205井	120	垂向加积	高产
	YB27井	120	垂向加积	高产
	YB271井	90	垂向加积	高产
	YB204井	100	垂向加积	高产

2.2 油气富集规律对气水分布的影响

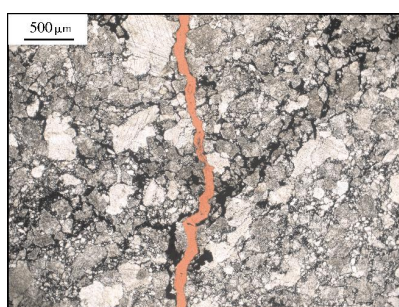
前期的研究成果^[1-2]表明,元坝长兴组气藏的气源主要来自下伏的吴家坪组(P_2w)/龙潭组(P_2l)烃源岩。烃源岩于印支末期进入生烃门限,形成岩性古油藏;晚侏罗世古油藏的烃开始裂解,至白垩纪最大埋深期,基本裂解成古气藏;而中晚白垩世(中燕山期)以来,元坝西北部发生了较明显的隆升,油气向西北

部进行二次运移,加上上覆的嘉陵江组—雷口坡组厚层膏盐盖层分布稳定,保存条件较好,最终使得现今气藏得以调整定位,从而形成了一个岩性圈闭即为一个独立气藏的格局。

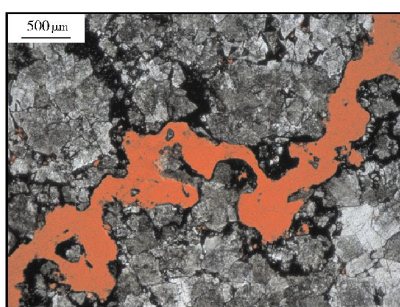
结合不同岩性圈闭的气藏特征分析,元坝西北部—北部礁带的礁体圈闭(如YB27礁体圈闭),其气藏高度、油气充注度、圈闭闭合幅度等参数,均远远高于元坝东部的礁滩圈闭(表3)。再通过沥青含量在岩心中的分布统计,可见元坝西北部YB27井区沥青含量(约占80%以上,图3a和3b)明显高于元坝东部YB9井区的沥青含量(约占10%,图3c)。这进一步证实了元坝西北部为长兴组古油藏的中心,它具有油气充注程度高、气藏规模大、气驱水能力强、整体以含气为主的特点;相比之下,南部和东部油气充注能力则较弱,大部分圈闭含水。

表 3 元坝气田长兴组岩性气藏特征表

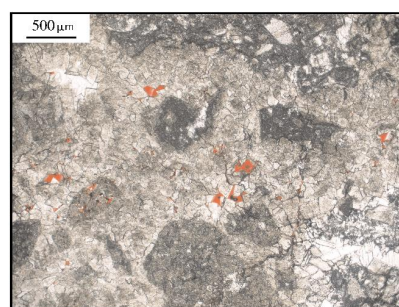
分布位置	圈闭类型	圈闭名称	气藏高度(m)	闭合幅度(m)	气充注度(%)
西北部	礁体	YB27圈闭	549	570	96.32
北部	礁体	YB101圈闭	134	320	41.88
北部	礁体	YB103H圈闭	79	150	52.67
西部	浅滩	YB224圈闭	51	148	34.46
东部	浅滩	YB123圈闭	69	243	28.40
东部	礁体	YB9圈闭	53	290	18.28



(a) 深灰色含灰质白云岩。中期压溶缝被沥青充填,后期构造缝未被充填。YB27井,岩心薄片



(b) 中晶白云岩。中期压溶缝被沥青充填,经溶蚀扩大又形成了溶蚀缝,且未被充填。YB27井,岩心薄片



(c) 生物碎屑白云岩。晶间孔隙发育,发育小部分裂缝,被少量沥青部分充填。YB9井,岩心薄片

图 3 元坝气田长兴组典型井岩心中沥青充填特征

2.3 裂缝与古今构造位置的匹配对气水分布的调整

通过对元坝长兴组古今构造的分析可知,元

坝西北部在古构造(图4a)和今构造(图4b)上均处于高部位,再结合元坝多口井的钻井岩心(图3,表4)和成像测井^[2]等综合研究可知,元坝长兴组发育多期裂缝,且在元坝西北部的构造相对高部

位,裂缝尤为发育,裂缝的发育与构造位置具有较好的匹配关系。发育的储层裂缝,不仅可作为油气运聚的通道,而且也可与有效孔隙配置,构建有效的储集空间,利于油气富集;加上构造位置相对较

高,气藏富集程度高,气水分异能力更强,因此圈闭的较高位置大都以纯气区为主,含水区带范围相对较小(仅在圈闭低部位分布),故元坝西北部含气性整体较高。

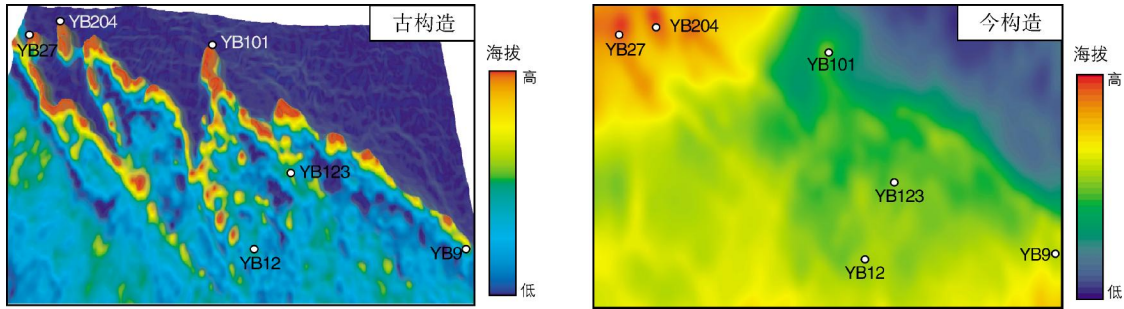


图4 元坝气田长兴组古今构造地势图

表4 元坝气田长兴组不同构造部位储层裂缝统计表

分布位置	构造部位	井号	取心回次	岩心长度(m)	裂缝(条)	裂缝密度(条/m)	裂缝宽(mm)
西部	高部位	YB27井	第5—第10	17.94	187	10.42	0.1~15
		YB204井	第13	8.65	89	10.29	0.1~10
东部	低部位	YB123井	第22	2.93	20	6.83	0.1~10
		YB123井	第2	3.61	2	0.55	0.5~3

3 含气性检测

综合利用振幅、频率、波阻抗等多属性开展信息融合处理,预测出元坝长兴组的有利高产富集带主要沿生物礁相带展布。根据拉梅常数乘密度($\lambda \cdot \rho$)图能有

效地识别礁滩储层中含气和含水情况,再结合储层展布特征与测试情况,对元坝长兴组储层的含气性进行了检测(图5)。从含气性检测结果看,元坝西北部整体含气性较好,东部—南部则局部多含水。这一结果很好地佐证了前述对气水复杂性主控因素分析的合理性。

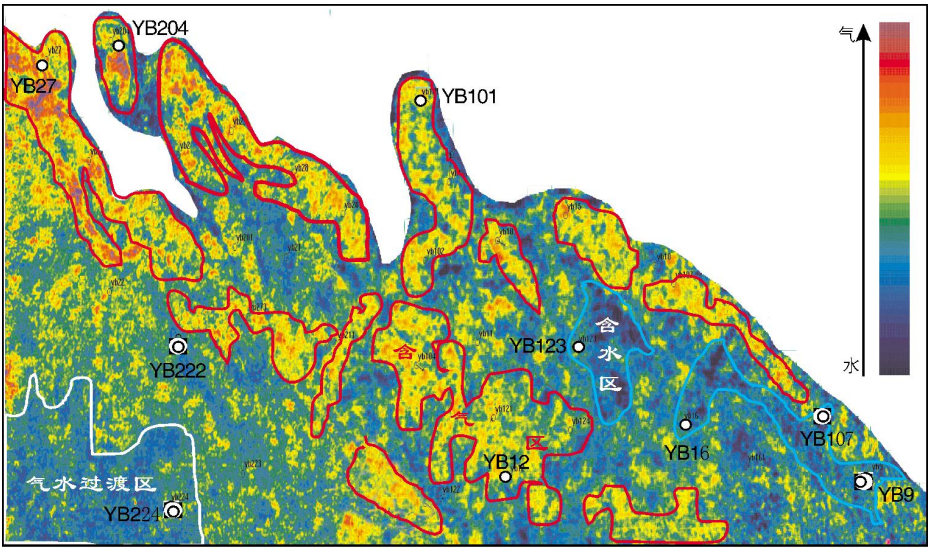


图5 元坝气田长兴组拉梅常数乘密度($\lambda \cdot \rho$)平面图

橙黄色为天然气富集区,浅黄色为含气区,蓝色为水区,绿色为不含气区

4 结 论

优质储层的形成分布特征、成藏富集的规律特点、裂缝与古今构造的良好匹配,控制了元坝地区长兴组礁滩岩性气藏西北部礁带整体含气性较好,测试多为高产工业气流,东部、南部的局部地区多见水,测试以中低产为主。研究成果与高产富集带预测、含气性检测及测试结果具有高度的吻合性,综合分析认为元坝西北部礁带为最有利的勘探区。

参 考 文 献

- [1] 郭旭升,郭彤楼,黄仁春,等. 中国海相油气田勘探实例之十六:四川盆地元坝大气田的发现与勘探[J]. 海相油气地质, 2014, 19(4): 57-64.
- [2] 范小军. 川东北元坝地区长兴组与飞仙关组天然气成藏差异性成因[J]. 天然气工业, 2012, 32(6): 15-20.
- [3] 曹清古,刘光祥,张长江,等. 四川盆地晚二叠世龙潭期沉积环境及其源控作用分析[J]. 石油实验地质, 2013, 35(1): 36-41.
- [4] 段金宝,黄仁春,程胜辉,等. 川东北元坝地区长兴组—飞仙关组碳酸盐岩台地沉积体系及演化[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2008, 35(6): 663-668.
- [5] 马永生,牟传龙,郭旭升,等. 四川盆地东北部长兴组沉积特征与沉积格局[J]. 地质论评, 2006, 52(1): 25-29.
- [6] 郭彤楼. 川东北元坝地区长兴组—飞仙关组台地边缘层序地层及其对储层的控制[J]. 石油学报, 2011, 32(3): 387-394.
- [7] 范小军,黄勇,厚东琳,等. 储层物性与产能的关系——以元坝长兴组礁滩相储层为例[J]. 天然气技术与经济, 2011, 5(4): 29-32.
- [8] 黄勇,张汉荣,范小军. 元坝地区长兴组生物孔隙特征及控制因素[J]. 西南石油大学学报: 自然科学版, 2013, 35(1): 79-85.
- [9] 郭旭升,郭彤楼,黄仁春,等. 普光—元坝大型气田储层发育特征与预测技术[J]. 中国工程科学, 2010, 12(10): 82-90.
- [10] 蒲勇. 元坝地区深层礁滩储层多尺度地震识别技术[J]. 天然气工业, 2011, 31(10): 27-31.
- [11] 蔡希源. 川东北元坝地区长兴组大型生物礁滩体岩性气藏储层精细刻画技术及勘探实效分析[J]. 中国工程科学, 2011, 13(10): 28-33.
- [12] 郭彤楼. 元坝气田长兴组储层特征与形成主控因素研究[J]. 岩石学报, 2011, 27(8): 2381-2391.
- [13] 胡东风. 普光气田与元坝气田礁滩储层特征的差异性及其成因[J]. 天然气工业, 2011, 31(10): 17-21.
- [14] 冯明刚,严丽,王雪玲,等. 元坝气田长兴组气藏有效储层物性下限标准研究[J]. 石油实验地质, 2012, 34(5): 535-538.
- [15] 戴建全. 川东北元坝地区长兴组—飞仙关组气藏勘探潜力评价[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2010, 37(4): 419-423.
- [16] 胡东风. 川东北元坝地区隐蔽气藏的勘探突破及其意义[J]. 天然气工业, 2010, 30(8): 9-12.
- [17] 郭彤楼. 元坝深层礁滩气田基本特征与成藏主控因素[J]. 天然气工业, 2011, 31(10): 12-16.
- [18] 张元春,邹华耀,李平平,等. 川东北元坝地区长兴组流体包裹体特征及油气充注史[J]. 新疆石油地质, 2010, 31(3): 250-251.
- [19] 范小军. 超深层礁滩岩性气藏中高产井成因分析——以川东北元坝地区长兴组礁滩相储层为例[J]. 石油实验地质, 2014, 36(1): 70-76.
- [20] 尹正武,凡睿,陈祖庆,等. 生物礁滩岩性气藏含气面积的圈定方法——以元坝气田长兴组气藏为例[J]. 石油实验地质, 2012, 34(5): 499-505.

编辑:赵国宪

Origin of Complicated Gas-Water Relation of Upper Permian Changxing Reef-shoal Facies Reservoirs in Yuanba Gas Field, Sichuan Basin

Li Yuping, Fan Xiaojun, Hao Jingyu, Pan Lei, Wang Yin

Abstract: Upper Permian Changxing subtle reef-shoal facies gas reservoirs are developed in Yuanba Gas Field, Sichuan Basin. High-yield wells are concentrated in the northwestern part of Yuanba area where pure gas is preponderant but water areas are present in many gas traps in the eastern and the southern parts of Yuanba where middle-to low-yield gas wells are common. Different lithologic gas reservoirs are characterized by different gas-water interfaces and heights. Based on geological, logging and geophysical analysis, it is shown that the features of high-quality reservoirs, the enrichment regularity of gas accumulation and the well-matched fractures with structures are the main factors controlling the complicated gas-water relation. It is pointed out that the reef belt in the northwestern Yuanba probably is the most favorable area for exploration. This analysis result well coincides with the past predication of gas-enriching areas and gas potential zones.

Key words: Late Permian; Gas-water relation; Reef-shoal facies reservoir; Controlling factor; Yuanba Gas Field; Sichuan Basin

Li Yuping: DSc., Senior Engineer. Add: SINOPEC Exploration Branch Corp., 688 Jitai Rd., Chengdu, Sichuan, 610041, China