

文章编号:1672-9854(2010)-01-0021-06

川东北元坝地区三叠系飞仙关组 储层地质模型

冯冲,傅强

(同济大学海洋地质国家重点实验室)



冯冲

摘要 依据对川东北元坝地区飞仙关组沉积岩石学特征、储集空间类型及物性分布特征的综合研究,对该地区的储层特征加以抽象和概念化,建立了飞仙关组储层地质模型。地质模型揭示元坝地区海相碳酸盐岩储层段均发育在台地边缘沉积区。其中,台地边缘浅滩最为发育,台地边缘斜坡次之,未见台地边缘生物礁。飞仙关组一段至二段下部为台地边缘斜坡沉积,二段上部至三段为台地边缘浅滩沉积。认为飞仙关组二段和三段的鲕滩沉积储集岩为下一阶段勘探开发的重点,其中飞仙关组二段孔隙—裂缝性储层的勘探开发潜力尤为巨大。

关键词 川东北地区;飞仙关组;储集层特征;地质模型

中图分类号:TE112.23 **文献标识码**:A

冯冲 1985年生,同济大学在读硕士。研究方向为石油地质。通讯地址:200092上海市四平路1239号

元坝地区位于开江—梁平海槽西南方向,南邻铁山气田。近年来,四川盆地东北部地区下三叠统飞仙关组中,先后在当时的开江—梁平海槽西北侧的铁山坡、普光、渡口河、罗家寨,西南侧的高峰场和铁山等处发现多个大中型气田^[1]。2003年以来,以普光气田勘探思路及勘探技术为指导,综合研究认为元坝地区具有发育长兴组—飞仙关组礁滩储层的沉积背景^[2],发现了元坝长兴组—飞仙关组礁滩地震异常体,特别是元坝1-侧1井在长兴组试气获工业天然气流,元坝2井在长兴组—飞仙关组钻遇良好油气显示,使元坝地区成为近期勘探的重点目标^[3-4]。针对某一沉积类型或成因类型的储层,把它代表性的储层特征(非均质性、连续性等)抽象出来,加以典型化和概念化^[5],建立川东北元坝地区三叠系飞仙关组的储层地质模型,希望对该地区的油气勘探起到预测和指导作用。

1 沉积及岩石学特征

1.1 沉积特征

元坝地区三叠系飞仙关组位于开江—梁平海槽

以西的连陆镶边地台之上^[1],主要发育蒸发台地、开阔台地、陆棚斜坡和盆地(海槽)相共4类沉积相带(图1),其岩相古地理格局基本沿袭了二叠系长兴组的浅水陆棚格局^[6-7]。飞仙关期全区海平面总体变浅,鄂西及广元—旺苍深水陆棚逐渐变浅,梁平和开江浅水陆棚也逐渐变浅^[8]。飞仙关组早期(飞仙关组一段至二段)为台地前缘斜坡环境,沉积大套泥质灰岩和泥晶灰岩,飞仙关组二段末期沉积少量鲕粒灰岩;飞仙关组三段为台地边缘浅滩和开阔台地,沉积大套鲕粒灰岩;飞仙关组四段沉积时期,开江—梁平海槽关闭,演化成为一个均一的潮坪环境,主要沉积的是泥页岩、白云岩、白云质灰岩和膏岩^[9-11]。

1.2 岩石学特征

通过元坝地区5口钻井岩心详细观察及镜下700余张铸体薄片的显微鉴定研究,元坝地区飞仙关组的岩石类型主要可以分为三类,下部的泥灰岩、泥晶灰岩,中部的鲕粒灰岩^[12]、灰岩、含泥灰岩和上部的石膏岩与含泥白云岩互层(表1)。

根据勘探实践确认,元坝地区飞仙关组储层段

收稿日期:2009-08-25

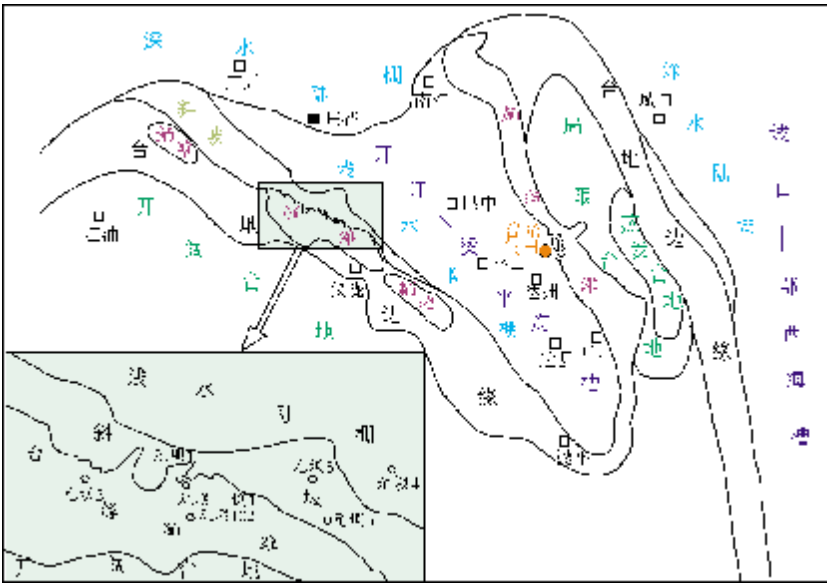


图1 川东北元坝地区飞仙关组早期沉积相图

表 1 川东北元坝地区飞仙关组岩性资料

井 位	岩 性
元坝 1 井	一至二段:陆棚斜坡沉积的泥晶灰岩、泥灰岩、含白云质灰岩; 三段:浅滩沉积的泥晶灰岩、砂屑灰岩、鲕粒灰岩、鲕粒砂屑灰岩; 四段:上部蒸发台地沉积的石膏岩和含泥白云岩,下部局限台地潟湖沉积含泥灰岩、泥灰岩
元坝 2 井	一段:台地前缘上斜坡沉积的石灰岩、含泥灰岩、含白云质灰岩; 二段:开阔台地鲕粒滩沉积的鲕粒灰岩、泥晶灰岩、含白云质灰岩; 三段:局限台地相的含泥灰岩、石灰岩; 四段:蒸发台地蒸发坪的石膏岩、含泥白云岩
元坝 3 井	一段:台地前缘斜坡沉积的泥粉晶灰岩; 二段:开阔台地鲕粒滩和滩间海沉积的鲕粒灰岩、砂屑灰岩、泥粉晶灰岩; 三段:上部局限台地沉积的石灰岩、泥灰岩、含泥灰岩,下部开阔台地滩间鲕粒灰岩; 四段:局限台地潟湖沉积的石灰岩、膏质灰岩、泥灰岩
元坝 4 井	一段:台地前缘上斜坡沉积石灰岩、泥灰岩、含泥灰岩; 二段:开阔台地鲕粒滩沉积鲕粒灰岩、泥晶灰岩、泥灰岩; 三段:上部局限台地沉积的石灰岩、泥灰岩、含泥灰岩,下部开阔台地滩间鲕粒灰岩; 四段:上部蒸发台地沉积泥质白云岩、含泥白云岩,下部局限台地沉积的泥灰岩、含泥灰岩
元坝 5 井	一段:台地前缘上斜坡沉积的石灰岩、泥灰岩、含泥灰岩 二段:台地沉积区开阔台地鲕粒滩和滩间海沉积的鲕粒灰岩、石灰岩 三段:开阔台地滩间海沉积的石灰岩、泥灰岩、含泥灰岩、含鲕粒灰岩 四段:蒸发台地膏质白云岩坪环境沉积,白云岩、石灰岩与石膏岩不等厚互层

主要发育在飞仙关组二段上部和飞仙关组三段的鲕粒灰岩、泥晶灰岩、含白云石灰岩中。其中主要储集岩为鲕粒灰岩、溶孔鲕粒灰岩、鲕粒砂屑灰岩等与鲕粒滩相关的岩石。部分储层见于飞仙关组一段的泥晶灰岩、泥灰岩(元坝 3 井、元坝 4 井)。

2 储层特征

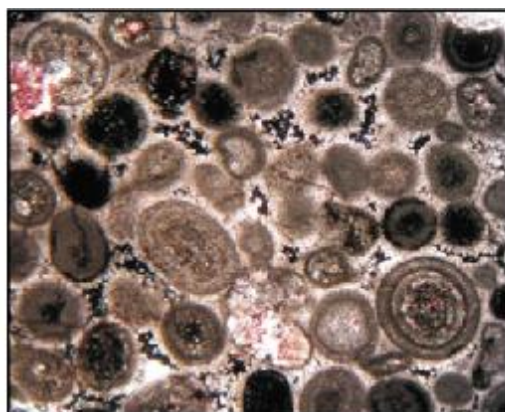
2.1 储集空间类型

根据钻井岩心、铸体薄片及扫描电镜观察,储集

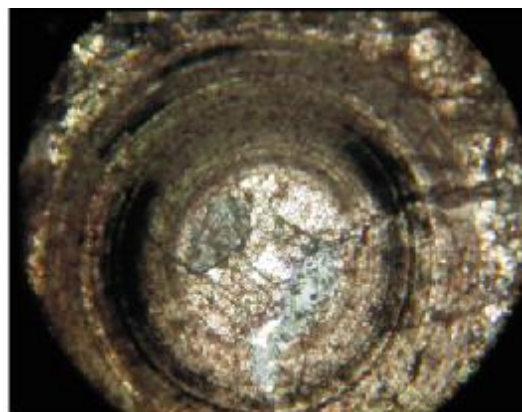
体中储集空间主要包括粒间溶孔、晶间溶孔、粒内溶孔、铸模孔,约占总孔隙的98%,少量微裂缝和晶间孔,约占总孔隙的2%。

粒间孔和粒间溶孔 由鲕粒灰岩鲕粒间胶结物

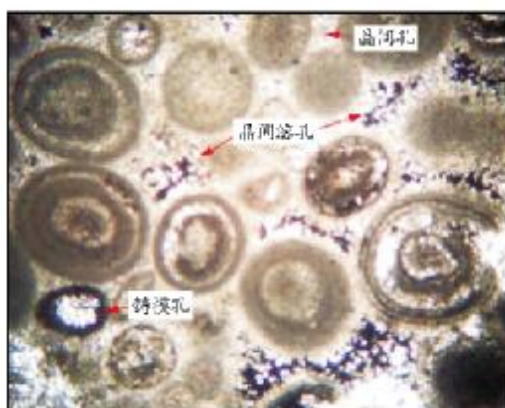
或部分鲕粒溶蚀扩大形成,是飞仙关组二段和三段储层最主要的储集空间之一,发育于鲕粒灰岩中。由薄片照片可以看出,鲕粒灰岩粒间溶孔发育,但部分为沥青质完全或不完全充填(图2a)。



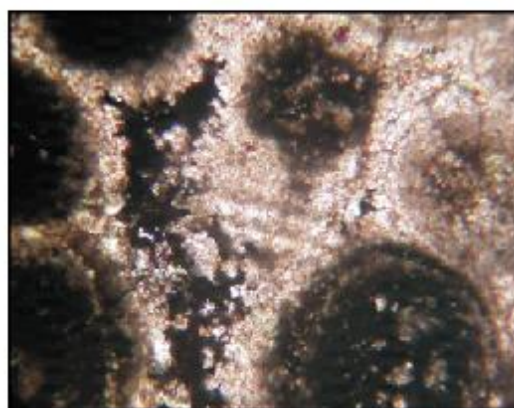
(a) 鲕粒灰岩,粒间方解石充填,次生溶孔发育。6400m。正交偏光,4×10



(b) 鲕粒灰岩粒内溶孔。6395m。正交偏光,4×10



(c) 亮晶鲕粒灰岩,粒间亮晶方解石充填。6399m。正交偏光,4×10



(d) 鲕粒灰岩,粒间亮晶方解石胶结,孔隙被沥青质充填。6426m。正交偏光,4×10



(e) 灰色鲕粒灰岩,水平层理发育,未充填。6456.78~6456.90m。岩心



(f) 泥灰岩,见沥青充填的微裂缝。6391.75m。正交偏光,10×4

图2 川东北元坝2井飞仙关组二段石灰岩镜下特征

粒内容孔和铸模孔 由鲕粒的选择性溶蚀作用形成的,为飞仙关组二段储层的主要孔隙类型之一。若颗粒被完全溶蚀,则形成铸模孔,颗粒的外形和轮廓仍然可以辨认。鲕粒灰岩鲕粒内容孔和铸模孔发育,但部分为沥青质完全或不完全充填(图2b)。

晶间孔和晶间溶孔 发育在粒间亮晶方解石胶结物中,以方解石晶体作为孔隙格架,被溶蚀扩大后形成晶间溶孔。由薄片照片可以看出,鲕粒灰岩晶间溶孔发育,但部分为沥青质完全或不完全充填(图2c,2d)。由该段岩心照片可以看出,鲕粒灰岩溶孔十分发育,溶孔最大 $1.0 \times 1.0 \text{ mm}$,最小 $0.1 \times 0.1 \text{ mm}$,一般 $0.5 \times 0.5 \text{ mm}$,溶孔没有被充填,溶孔密度 7 个/cm。

裂缝 通过对元坝地区取心岩心观察,除飞仙关组二段水平裂缝较为发育外(图2e),整体反映裂缝不发育,岩心见较多缝合线构造,都被泥质或有机质、沥青质完全充填(图2f)。水平微裂缝缝宽 $0.01 \sim 3 \text{ mm}$,平均 0.2 mm ,裂缝密度 $1 \sim 52.6$ 条/m,平均 17.5 条/m,开启度 56%。

薄片镜下观察的孔、洞、缝统计结果表明,飞仙关组三段的储集空间主要为鲕粒粒间孔和晶间孔,微裂缝不发育;飞仙关组二段的储集空间主要除粒间孔、晶间孔发育外,粒间溶洞、晶间溶孔、铸模孔也较为发育,且水平裂缝发育;飞仙关组一段的主要储集空间为晶间孔和少量微裂缝。

2.2 储层物性特征

飞仙关组三段孔隙度范围 $2.0\% \sim 5.5\%$, 加权平均值 3.131% , 渗透率范围 $(0.001 \sim 2.971) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 加权平均值为 $0.503 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$; 飞仙关组二段孔隙度范围 $0.760\% \sim 12.380\%$, 加权平均值 2.856% , 渗透率范围 $(0.002 \sim 1.641) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 加权平均值为 $1.641 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$; 飞仙关组一段孔隙度范围 $1.080\% \sim 7.250\%$, 加权平均值 1.899% , 渗透率范围 $(0.010 \sim 8.863) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 加权平均值为 $0.312 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (表2)。按照川东北地区上二叠统一下三叠统储集岩分类标准,飞仙关组二段为Ⅱ类较好储层,飞仙关组三段为Ⅱ类中等储层,飞仙关组一段为Ⅱ类较差储层。

3 储层地质模型及储层分析

3.1 储层地质模型

油藏描述中应用的储层地质模型通常可以分为

表2 川东北元坝地区飞仙关组储层段物性统计

层 段		孔隙度 (%)		渗透率 (×10 ⁻³ μm ²)	
		范 围	加权平均值	范 围	加权平均值
飞仙关组	三段	2.000-5.500	3.131	0.001-2.971	0.503
	二段	0.760-12.380	2.826	0.002-52.210	1.641
	一段	1.080-7.250	1.899	0.010-8.863	0.312

三大类,即概念模型,静态模型和预测模型。体现了不同开发阶段不同开发研究任务所要求的、不同精细程度的储层地质模型。

本文所建的储层地质模型属概念模型。通过对元坝地区飞仙关组储层沉积岩石学、沉积相特征^[13]、储集空间类型及物性分布特征的综合研究^[14],对该地区的储层特征加以抽象和概念化。综合研究认为,研究区飞仙关组储层主要受制于沉积和成岩两大主控作用,其储层地质模型可以概括为鲕粒滩为基础,鲕粒灰岩为骨架,溶蚀孔洞为储集体,储层分布受控于沉积相环境(图3)。

3.2 岩性

元坝地区飞仙关组储层的岩性主要为鲕粒灰岩、溶孔鲕粒灰岩,沿着开江—梁平海槽的西南侧分布,厚度薄、连片性好,分布范围广,纵向上主要分布在飞仙关组二段顶部和三段的中部。

3.3 储集空间

埋藏溶蚀作用是元坝地区飞仙关组优质储层中次生孔隙形成的主要影响因素。三叠系飞仙关组及其下伏的上二叠统的暗色泥晶灰岩、灰质泥页岩和硅质岩等,在向液态烃和气态烃的转换过程中会释放出大量的有机酸和其他腐蚀性组分的地层水。当这些具有强烈溶解能力的地层水沿断裂和裂缝运移到台地边缘鲕粒滩储层中时,就会产生大规模的溶解作用,形成较多的粒间溶孔、粒内容孔和晶间溶孔^[1,15]。据统计,溶蚀作用产生的溶蚀孔占储层总孔隙的78%,局部面孔率可达5%,是储层的主要储集空间类型。

3.4 物性

飞仙关组的孔隙度范围整体在上 $1.899\% \sim 3.131\%$, 而渗透率为 $(0.312 \sim 1.641) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 整体上属于低孔低渗的孔隙—裂缝型或缝洞型储层(图4)。

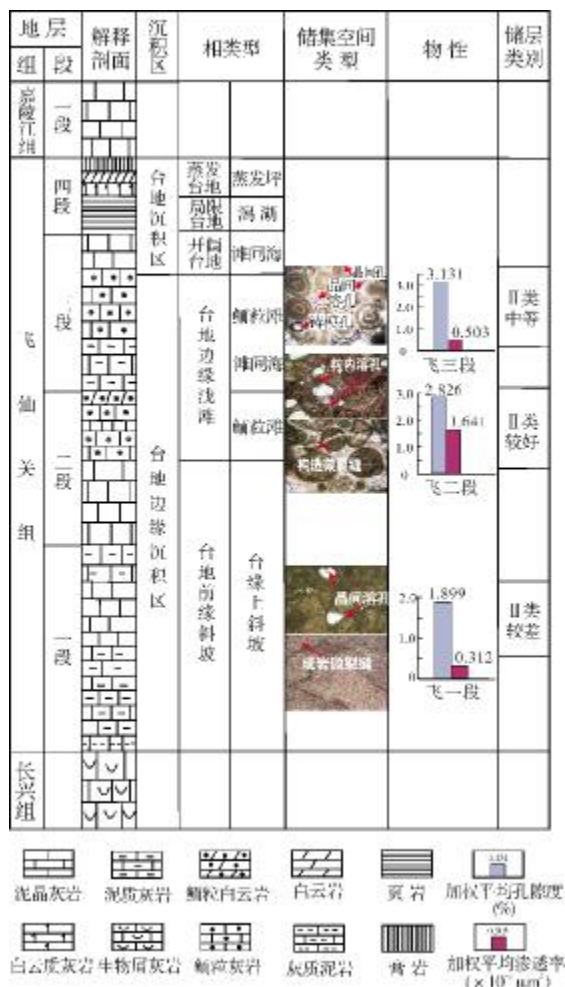


图 3 川东北元坝地区飞仙关组储层地质模型

对比飞仙关组三段与二段,可以看出二段的加权平均孔隙度为2.826%,在略小于三段和略大于一段加权平均孔隙度的情况下,其加权平均渗透率明显大于飞仙关组三段和飞仙关组一段的渗透率。这与储层段各自储集空间相对应,飞仙关组二段溶孔和裂缝较为发育,渗透率相对偏高,暗示研究区裂缝发育程度是其储层优劣的重要因素。

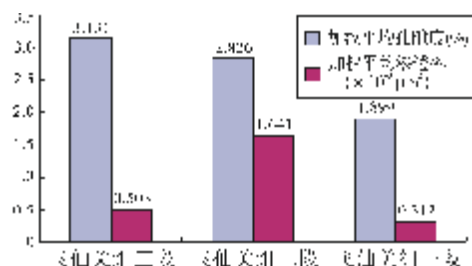


图 4 元坝地区飞仙关组储层段加权孔隙度—渗透率对比图

3.5 分布与沉积环境关系

三叠系飞仙关组开江—梁平海槽西南侧的元坝地区为缓坡沉积环境(图5),台地边缘发育浅滩及斜坡,浅滩岩性为鲕粒灰岩,厚度薄,平面分布范围宽,斜坡岩性为泥晶灰岩、泥灰岩及瘤状灰岩。勘探实践表明元坝地区飞仙关组海相碳酸盐岩储层段均发育在威尔逊碳酸盐岩相沉积模式的台地边缘沉积区^[16],以台地边缘浅滩最为发育,台地边缘斜坡次之,未见台地边缘生物礁。

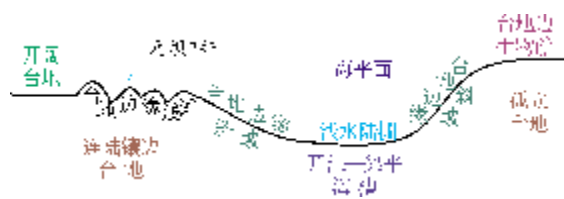


图5 元坝地区飞仙关组沉积环境简图

4 结论与建议

元坝地区海相碳酸盐岩储层段均发育在台地边缘沉积区,台地边缘浅滩最为发育,台地边缘斜坡次之,未见台地边缘生物礁气藏。其中,飞仙关组一段至二段下部为台地边缘斜坡沉积,储集岩以泥晶灰岩为主,晶间孔、晶间溶孔及微裂缝发育,综合评价为Ⅱ类偏差储层;飞仙关组二段上部为台地边缘浅滩沉积,储集岩以鲕粒灰岩为主,少量鲕粒白云岩,除粒间孔、粒间溶孔、晶间孔、晶间溶孔发育外,水平裂缝也较为发育,综合评价为Ⅱ类较好储层;飞仙关组三段台地边缘浅滩沉积储集岩也以鲕粒灰岩等与鲕滩相关的岩石为主,储集空间以鲕粒粒间孔和晶间孔为主,综合评价为Ⅱ类中等储层。

飞仙关组二段和三段的鲕滩沉积储集岩为下一阶段勘探开发的重点, 其中飞仙关组二段孔隙-裂缝性储层的开发潜力尤为巨大。

参考文献

- [1] 王兴志,张帆,蒋志斌,等. 四川盆地东北部飞仙关组储层研究[J]. 地学前缘,2008,15(1):117-122.
- [2] 马永生,郭旭升,郭彤彬,等. 四川盆地普光大型气田的发现与勘探启示[J]. 地质论评,2005,51(4):477-480.
- [3] 段金宝,黄仁春,程胜辉,等. 川东北元坝地区长长期一飞仙关期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.

- [4] 谢增业,田世澄,单秀琴,等. 川东北飞仙关组鲕滩天然气富集成藏特征及勘探前景[J]. 石油勘探与开发,2005,32(2): 37-40.
- [5] 袁亦楠. 储层地质模型[J].石油学报,1991,12(4):55-62.
- [6] 马永生,牟传龙,郭旭升,等. 四川盆地东北部长兴期沉积特征与沉积格局[J]. 地质论评,2006,52(1):25-30.
- [7] 马永生,牟传龙,郭彤楼,等. 四川盆地东北部长兴组层序地层与储层分布[J]. 地学前缘,2005,12(3):181-187.
- [8] 牟传龙,马永生,谭钦银,等. 四川通江—南江—巴中地区长兴组—飞仙关组沉积模式[J]. 地质学报,2007,81(06): 820-825.
- [9] 马永生,牟传龙,郭彤楼,等. 四川盆地东北部飞仙关组层序地层与储层分布[J]. 矿物岩石,2005,25(4):73-79.
- [10] 周琦,卓胜广,魏国齐,等. 四川盆地北部下三叠统飞仙关组层序地层分析[J]. 地层学杂志,2008,32(4):406-409.
- [11] 王兴志,张帆,马青,等. 四川盆地东部晚二叠世—早三叠世飞仙关期礁、滩特征与海平面变化[J]. 沉积学报,2002,20(2):73-78.
- [12] 苏立萍,罗平,罗忠,等. 川东北飞仙关组鲕粒滩储层特征研究[J]. 天然气工业,2005,25(6):14-17.
- [13] 王一刚,刘兴刚,徐丹丹,等. 四川盆地北部下三叠统飞仙关组碳酸盐蒸发台地相[J]. 古地理学报,2005(3):10-14.
- [14] 黄先平. 川东北地区下三叠统飞仙关组储层综合研究[D]. 西南石油学院,2004:18-38,98-117.
- [15] 曾伟,黄先,杨雨,等. 川东北地区飞仙关组储层中的埋藏溶蚀作用[J]. 天然气工业,2006(11):4-6.
- [16] 赵澄林,朱晓敏. 沉积岩石学[M]. 北京:石油工业出版社,2001.

编辑:金顺爱

Geological Model of Lower Triassic Feixianguan Reservoir in Yuanba Area, Northeast Sichuan

Feng Chong, Fu Qiang

Abstract: The sedimentography characteristics, types of reservoir space and distributional characteristics of physical property in Lower Triassic Feixianguan Formation reservoir in Yuanba area of Northeast Sichuan are researched comprehensively and a geological model of Feixianguan Oil Reservoir is built through abstraction and conceptualization of the sedimentary characteristics. The geological model reveals that the marine facies carbonate reservoir is well development in the sedimentary areas of platform margin which includes slope, reef and shoal sedimentary areas. Among them, the oil reservoir in the platform-margin shoal are well developed, that in platform-margin slope area ranks the second but reef in platform-margin area is not found developed. The 1st Member to the lower 2nd Member of Feixianguan reservoir belongs to slope facies and the upper 2nd Member to the 3rd Member is shoal facies. It is suggested that the oolitic shoal reservoir rock developed in the 1st and the 2nd Members are favorable to future exploration, especially the 2nd Member of porosity-fracturing reservoir that have good potential.

Key words: Triassic; Feixianguan Formation; Reservoir characteristics; Geological model; Northeast Sichuan

Feng Chong: male, Master degree in progress at State Key Laboratory of Marine Geology, Tongji University, 1239 Siping Rd., Shanghai, 200092 China