

礁滩复合型气藏物质聚集分布及储层特征研究

——以川东北地区普光气田长兴组—飞仙关组为例

倪新锋^{1,2} 陈洪德^{2,3} 韦东晓¹

(1. 中国石油勘探开发研究院杭州地质研究所, 浙江 杭州 310023;

2. 成都理工大学沉积地质研究院, 四川 成都 610059;

3. “油气藏地质及开发工程”国家重点实验室, 四川 成都 610059)

摘要:四川盆地普光气田在近期获得重大突破,普光气田礁滩复合型气藏物质聚集模式及储层特征的深入研究对于川东北地区乃至整个四川盆地的碳酸盐岩有利勘探区的预测具有一定的指导意义。受开江—梁平台盆(inter-platform basin)的控制,普光地区长兴组—飞仙关组在台盆东侧发育了类似于威尔逊相模式的碳酸盐岩沉积体系,主要发育台地蒸发岩、局限台地、开阔台地、台地边缘礁滩、斜坡和台盆沉积相,但陆棚相不甚发育。古地理的分异主要围绕开江—梁平台盆的发育、发展及填平补齐的过程而演化。储层沉积微相及微观地质特征研究表明,台地边缘礁滩相为该区储层发育最有利的相带,海绵障积白云岩、海绵骨架礁灰岩、鲕粒白云岩及残余鲕粒白云岩等为最主要的储集岩类型。优质储层的发育主要受沉积相带展布,后期的白云石化、溶蚀作用以及构造作用的控制。

关键词:普光气田;礁滩;储层;长兴组;飞仙关组;台盆;川东北

中图分类号:P618.130.2*1 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2007)06-1045-10

近期获得重大突破的普光大气田位于四川盆地东北部宣汉—达县地区,构造位置处于川东断褶带的东北段双石庙—普光北东向构造带的北部^[1],是处于台地边缘高能带上的构造—岩性气藏,这一重大发现为川东北,乃至整个中国的油气勘探提供了借鉴。因此,对普光气藏的沉积相及储层特征研究具有重要的理论意义,而且对川东北长兴组生物礁(滩)气藏以及飞仙关组鲕粒气藏的进一步勘探具有重要的实践意义。

1 物质聚集分布特征及沉积模式

1.1 沉积特征

通过对露头剖面、钻井岩心、录井剖面、测井曲线等资料综合分析,认为普光地区长兴组—飞仙关组主要发育台地蒸发岩、局限台地、开阔台地、台地边缘礁滩、斜坡和台盆沉积相(图1~2)。

(1)台地蒸发岩:该相带包括膏坪、云坪、泥坪,以膏坪亚相为主。该相带在飞四段发育且分布较广,飞二段上和长兴组上部局部发育(图2)。

(2)局限台地:该相带以沉积泥晶灰岩、白云质泥晶灰

岩、泥质灰岩、叠层石灰岩、白云岩、泥(页)岩及膏岩、粉砂岩、粉砂质泥岩为主,各种潮汐层理如透镜状层理、脉状层理及波状层理极为丰富。该相带内主要发育潮坪和潟湖亚相,普遍分布于飞三段中(图2)。

(3)开阔台地:该相带位于台地边缘生物礁、浅滩与局限台地之间,水体较浅,普遍发育于长兴组及飞仙关组三段中,由台内浅滩及滩间亚相组成(图2)。岩性主要为灰、深灰色泥晶灰岩、含砂屑泥晶灰岩、含泥灰岩及少量泥灰岩,成分以泥晶灰岩为主,少量砂屑及生屑颗粒,颗粒间为杂基支撑,基底式胶结。

(4)台地边缘礁滩:广泛发育于长兴组—飞仙关组中,普光地区主要发育于普光2、4、5、6井区台地边缘,发育有生物礁及浅滩亚相(图1~2)。这是由于受开江—梁平台盆的控制,在其边缘形成一圈高能带,并且川东北长兴组—飞仙关组经历了一次较大的海平面升降过程,长兴组生物礁的形成和分布与海侵有关,而飞仙关组鲕粒滩的形成和分布与海退过程有着密切的联系。

①台地边缘浅滩是碳酸盐台地上浅水和台地外侧台缘

收稿日期:2007-04-17;改回日期:2007-07-15

基金项目:“十五”国家重大科技攻关项目(2004BA616A-06-02)资助。

作者简介:倪新锋,男,1978年生,博士,主要从事层序地层及盆地分析研究;E-mail:norriss2166@126.com。

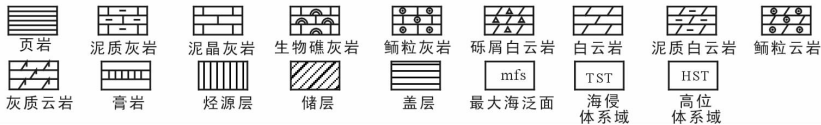
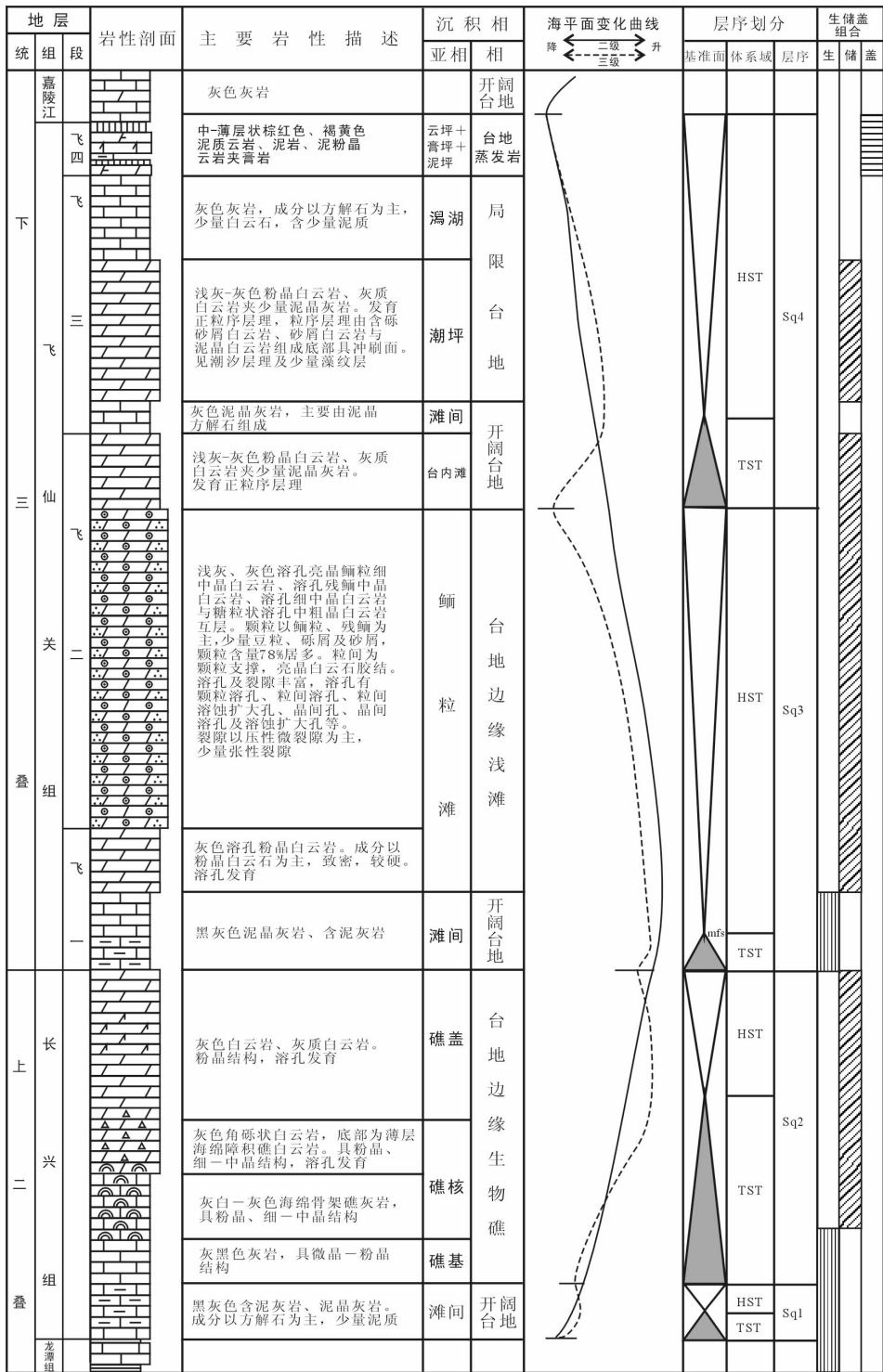


图1 普光气田长兴组—飞仙关组层序综合柱状图

Fig.1 Integrated column of stratigraphic sequences of the Changxing and Feixianguan formations in the Puguang gas field

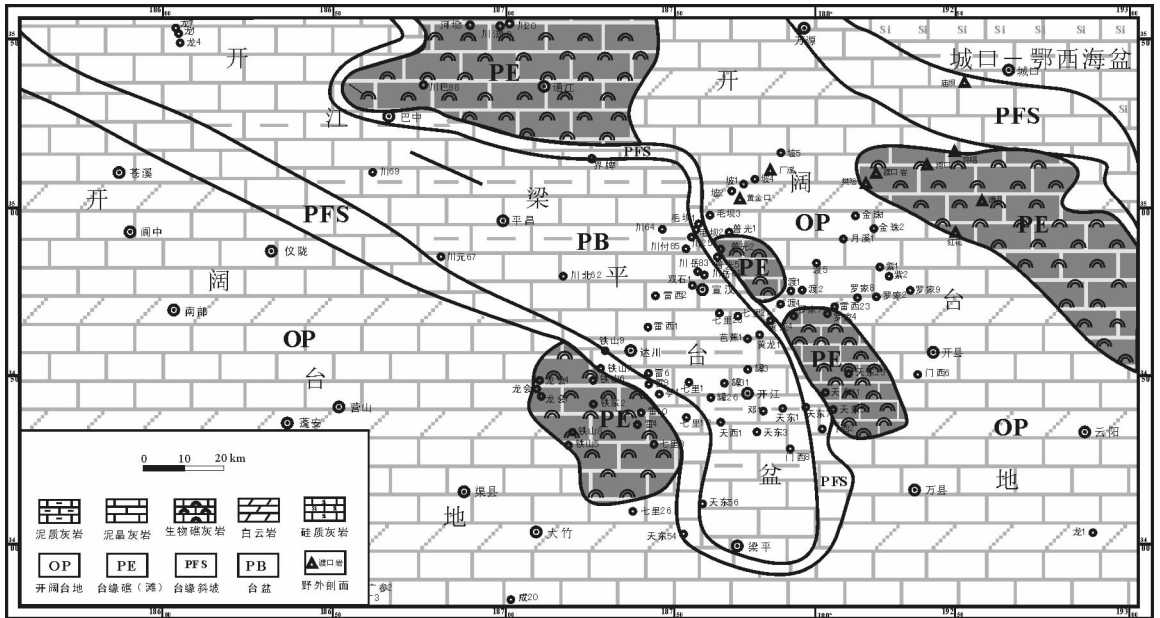


图 4 川东北地区晚二叠世长兴期岩相古地理图

Fig.4 Late Permian Changxingian lithology-paleogeographic map of NE Sichuan

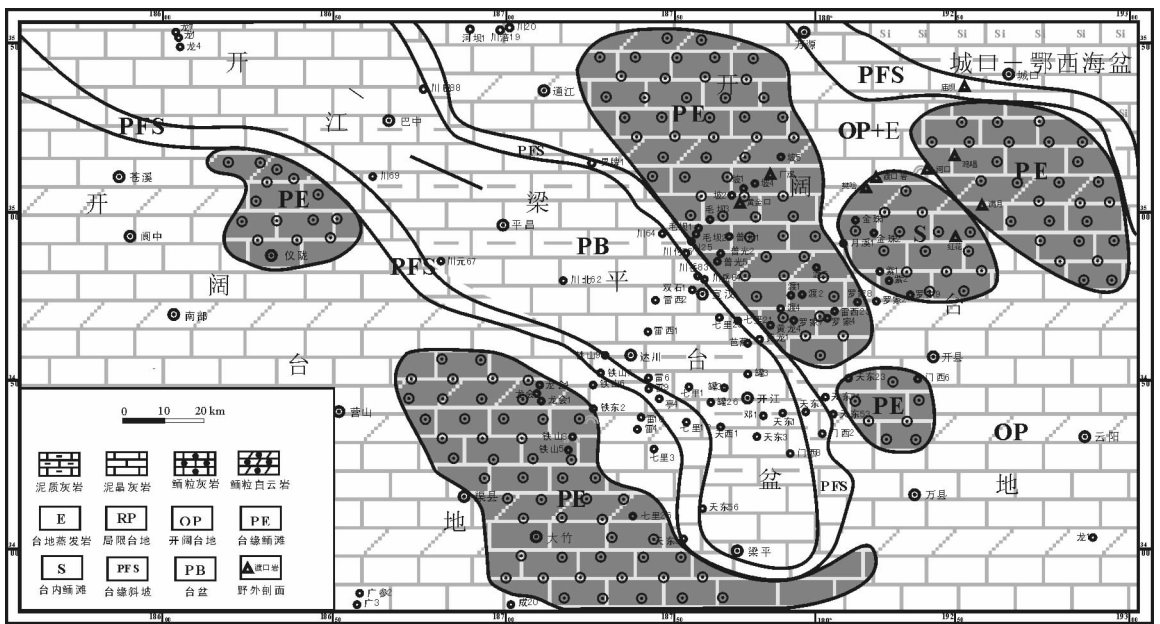


图 5 川东北地区早三叠世飞仙关早期和中期岩相古地理图

Fig.5 Lithology paleogeographic map of the Early Triassic early and middle Feixianguan Formation in NE Sichuan

环境,水体相对较深,沉积时海水能量小,以沉积灰岩为主,沉积水体的深度 200~300 m,位于氧化界面之下,碳酸盐岩补偿界面之上^[4],与典型深水型盆地略有不同。在开江—梁平台盆两侧发育两条边缘礁滩相带,是长兴组—飞仙关组礁滩

复合型气藏发育的有利相带。普光气田处于该台盆东侧,其内毛坝 1 井、普光 1~6 井、坡 1、2 井及渡 1~4 井等地区为碳酸盐台地沉积环境,以沉积生物礁灰岩和鲕粒白云岩为主,在普光 5、6 井区沉积了生物礁灰岩,并且可以区分出礁基、

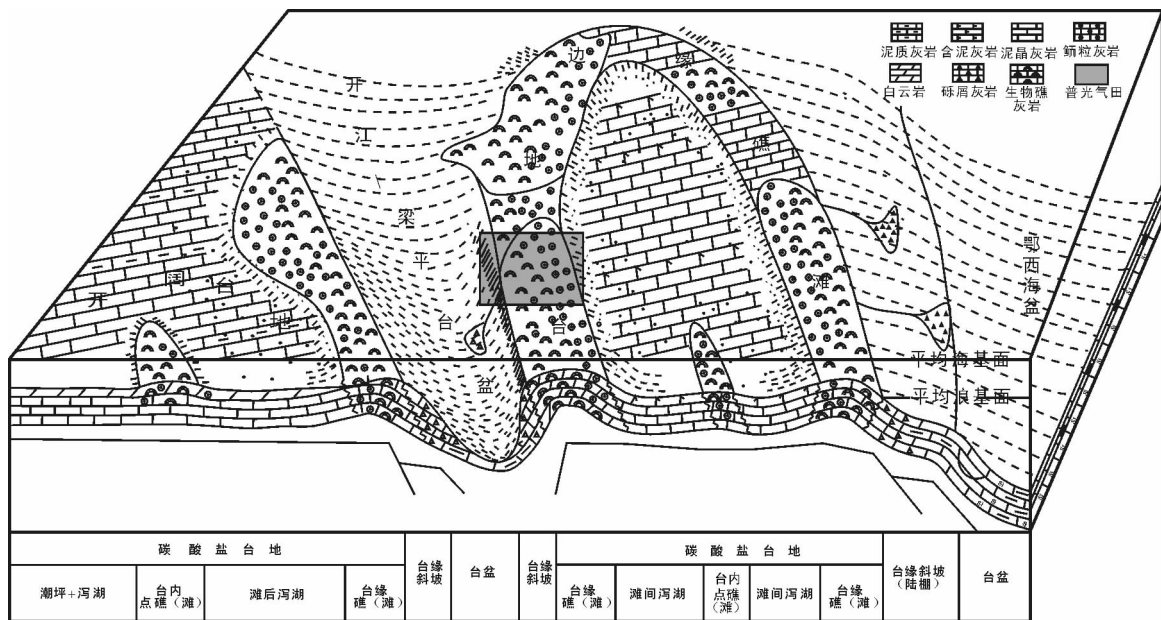


图 6 川东北地区长兴组—飞仙关组沉积模式

Fig.6 Depositional model of the Changxing and Feixianguan formations in NE Sichuan

礁核及礁盖微相，其中礁盖受后期暴露后白云岩化作用，形成大量生屑白云岩(图 2)；由于沉积时水体极浅，蒸发作用强，海水盐度较高，极易发生白云岩化和溶蚀作用，在普光 2 井区沉积了巨厚的鲕粒针孔状白云岩(图 2)。地震剖面上，西部地区沉积物具有平行反射特征，东部浅滩沉积物呈透镜状，具有杂乱反射特征，浅滩与台盆之间有一定的地形起伏，幅度不大，为斜坡(图 2)。

2 储层类型及特征

长长期—飞仙关期，由于地裂运动的影响，随着开江—梁平台盆的发育、发展和填平补齐作用，研究区内礁(滩)、鲕滩在纵、横向上呈有规律的抬升和迁移^[49,10]。并且，长兴组生物礁气藏和飞仙关组鲕滩气藏都具有岩性圈闭的共同特征。气藏的储层主要是与礁、滩相发育有关的各种颗粒岩、泥粒岩或鲕粒岩，经选择性白云石化和埋藏溶解作用形成的各种次生孔、洞、缝的储渗体，它们被周围致密岩体的包围、封堵及上覆含泥质、膏质岩层封盖而形成圈闭。从上二叠统至下三叠统飞仙关组纵横向的沉积岩性分布，构成了礁、滩气藏完整的生、储、盖组合(图 1)。普光气田长兴—飞仙关组储层沉积微相及微观地质特征研究表明，该层段主要发育开阔台地相、台地边缘礁滩相、台地蒸发岩相等 3 种沉积相，其中台地边缘礁滩相为该区最有利的储层微相，优质储层的发育受该沉积微相带的严格控制^[12,13]。

长兴组生物礁滩是川东北地区的一个重要储层，具有产能较高、稳产期长、规模成藏的特点。该储层往往发育于台地

向盆地过渡的台地边缘相带，是二叠系长兴组特有的储集岩类型^[14]。岩石类型以生物灰岩、生物碎屑灰岩、溶孔亮晶生屑白云岩、残余生屑细—中晶白云岩等(图 7-a,b)。主要的储集空间为晶间孔、粒内孔、粒间溶孔、铸模孔、溶洞等，是溶蚀和白云岩化两种成岩作用的产物。长兴组在成像测井图上既表现出孔隙发育的特征，同时又有较好的溶蚀孔发育，形成孔隙—裂缝型储层(图 8)。储层孔隙度较高，为 1.1%~23.1%，平均值为 7.33%，渗透率为 $0.0183 \times 10^{-3} \sim 9664.887 \times 10^{-3} \mu m^2$ ，平均值为 $173.0 \times 10^{-3} \mu m^2$ 。但不同岩类的孔隙度、渗透率仍有所差别，如白云岩、灰质白云岩、云质灰岩、灰岩平均孔隙度分别为 6.3%，4.3%，2.2%，1.68% 左右，渗透率分别为 $29.1 \times 10^{-3} \mu m^2$ ， $22.6 \times 10^{-3} \mu m^2$ ， $15.1 \times 10^{-3} \mu m^2$ ， $9.1 \times 10^{-3} \mu m^2$ 左右，由此反映出白云岩的储集性好于灰岩^[7]。

与长兴组生物礁类似，飞仙关组鲕粒白云岩储层也主要发育于台地边缘隆起的高地处。岩性为鲕粒白云岩、残余鲕粒白云岩、砂屑砾灰岩、砂屑泥晶白云岩和白云化鲕粒灰岩等，其中鲕粒白云岩和残余鲕粒白云岩是最主要的两种类型(图 7-c,d,e)。飞仙关组储层物性以中孔中渗、高孔高渗储层为主，储集性能较好^[15]。飞仙关组储层段孔隙度 2%~28.86%，平均 8.11%，主要为 6%~12%。渗透率变化大，最小值 $0.0112 \times 10^{-3} \mu m^2$ ，最大值可达 $3354 \times 10^{-3} \mu m^2$ ；以大于 $1.0 \times 10^{-3} \mu m^2$ 占优势，具有较好的渗透性。主要的储集空间为孔隙与裂缝及其组合，是后生成岩作用的产物。飞仙关组储层孔隙较发育，主要有与溶蚀作用有关的孔隙(溶孔、溶洞、溶缝)和晶间孔及极少量的原生粒间孔(图 7-e,f)。溶蚀孔(洞)占总孔隙

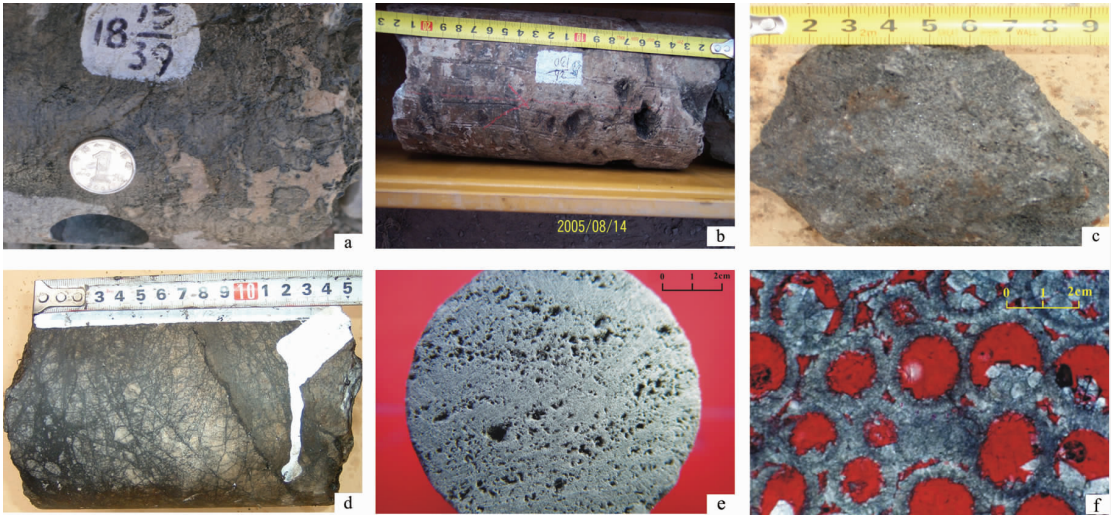


图 7 普光气田长兴组—飞仙关组储层特征

a—毛坝 3 井, 长兴组, 海绵骨架礁灰岩; b—普光 6 井, 长兴组, 溶孔含砾砂屑细晶白云岩; c—普光 2 井, T_1f_2 , 5058.2 m 粗晶溶孔白云岩, 呈砂糖状; d—普光 2 井, T_1f_2 , 4907.3 m, 碎裂残鲕粗晶白云岩; e—普光 1 井, 5427.78 m, 飞仙关组, 粉晶鲕粒白云岩中超大溶孔; f—普光 2 井, 飞仙关组, 亮晶灰质鲕粒云岩, 粒内溶孔和鲕模孔

Fig.7 Reservoir characters of the Changxing Formation—Feixianguan Formation in the Puguang gas field

a—Well Maoba3: Changxing Formation, sponge skeletal limestone; b—Well Puguang6: Changxing Formation, pebbly, psammitic, finely crystalline dolostone with solution pores; c—Well Puguang2: T_1f_2 , 5058.2 m, saccharoidal, macrocrystalline dolostone with solution pores; d—Well Puguang2: T_1f_2 , 4907.3 m, cataclastic, relic oolitic, macrocrystalline dolostone; e—Well Puguang1: 5427.78 m, Feixianguan Formation, exceedingly large solution pores in very finely crystalline oolitic dolostone; f—Well Puguang2: Feixianguan Formation, sparry lime oolitic dolostone, intraparticle solution pores and oomoldic pores

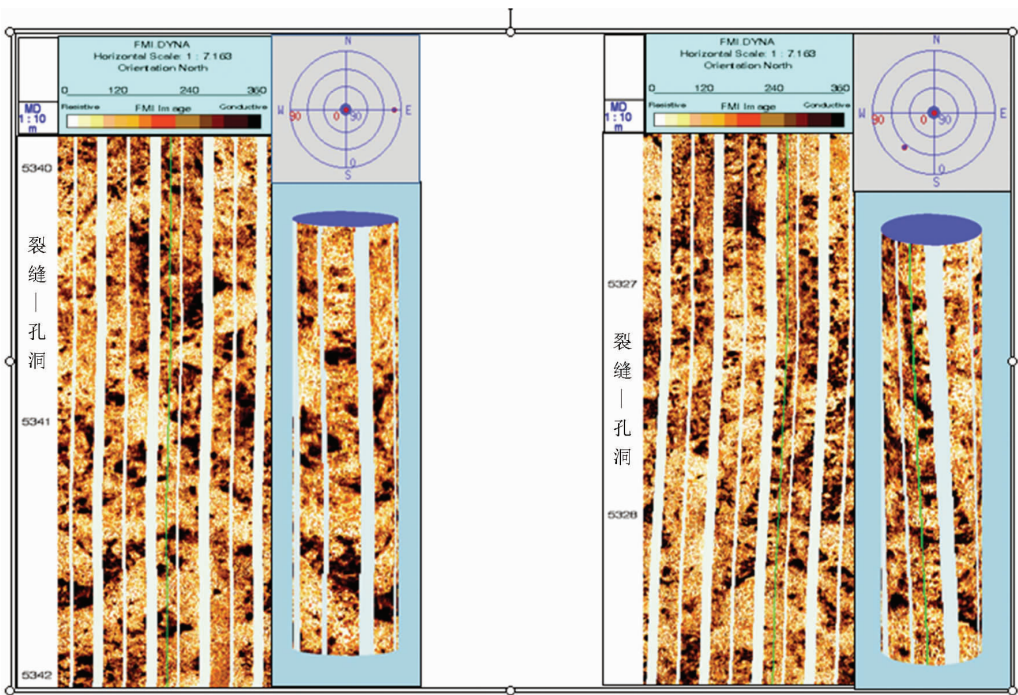


图 8 普光 6 井长兴组成像测井图①

Fig.8 Imaging well logging of the Changxing Formation of well Puguang 6

① 蔡勋育, 等. 中下扬子北缘地区气藏描述技术研究, 中石化南方勘探开发分公司内部资料.

的80%以上,晶间孔占10%~15%。裂缝对储层起到一定的改善作用,主要包括压性微裂隙和张性裂隙两种类型。

3 储层发育的主控因素

3.1 有利的沉积相是优质储层发育的物质基础

在碳酸盐岩储层的形成与演化中,沉积作用是基础,它不仅决定了储层的大致分布范围,还影响着成岩作用的类型、强度及储层内部的孔隙结构等。普光礁滩复合型气藏位于碳酸盐台地边缘,主要发育有台地边缘生物礁、暴露浅滩等,为台地边缘高能环境下沉积的产物,主要有礁灰岩、生屑灰岩、鲕粒白云岩、残余鲕粒白云岩、糖粒状残余鲕粒白云岩,有利于储层的形成与发育。从普光1、2井取心井段白云石含量与孔隙度的关系(图9)和白云岩与岩心分析孔隙度的关系(图10)可以看出,储层主要分布在白云石含量大于95%的岩石类型中,并且以糖状残余鲕粒白云岩储集性能最好,

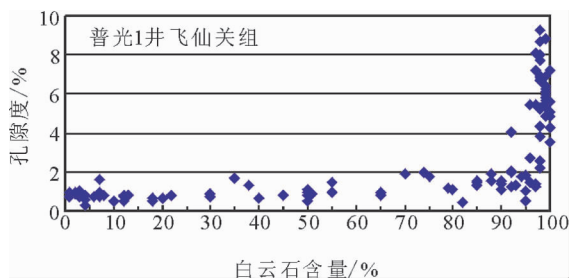


图9 白云石含量与孔隙度的关系

Fig.9 Relationship between the dolomite content and porosity of rocks

次为含砾屑鲕粒白云岩、残余鲕粒白云岩等,灰岩等储集条件总体较差。

3.2 白云石化作用及溶蚀作用是优质储层发育的两大关键因素

长兴组—飞仙关组优质白云岩储层的形成与复杂的成岩后生变化关系密切。成岩白云石化作用、后期的溶蚀作用,是形成优质白云岩储层的主要成岩作用,埋藏成岩白云石化作用和后期溶蚀作用合理的相辅相成配置,是控制飞仙关组及长兴优质储层发育和时空展布规律的主要因素。在形成飞仙关组鲕粒白云岩或晶粒白云岩储层的过程中,起关键作用的溶蚀作用发生在成岩白云石化之后的深埋藏成岩环境中。因此,在有利的礁及滩相鲕粒岩沉积的基础上,成岩变化中的多期溶蚀是储集性控制的关键因素。

3.3 构造作用促成了礁及鲕粒储层裂缝的产生、缝洞系统的形成和产能的提高

研究表明,构造运动,尤其是燕山、喜山期构造运动,会使地层产生强烈的褶皱挤压和断裂,由此产生多种有效的构造裂缝。有效构造裂缝的产生,可进一步增加储层空间,改善储集体的渗滤能力,同时这种裂缝与孔洞沟通的地方,十分容易形成缝洞系统发育带,为埋藏溶蚀作用创造条件,从而形成优质有效储集体,为气藏最终成藏奠定基础。

4 结论

(1)受川东北古地理格局控制尤其是开江—梁平台盆的影响,普光气田长兴组—飞仙关组在台盆东侧发育了类似于威尔逊相模式的碳酸盐岩沉积体系,主要发育台地蒸发岩、局限台地、开阔台地、台地边缘礁滩、斜坡和台盆沉积相,但陆棚相

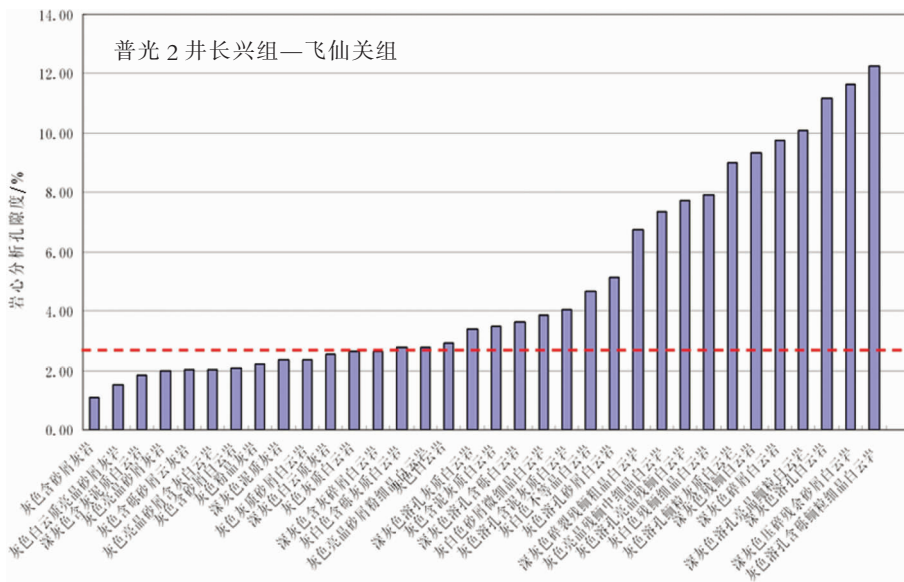


图10 白云岩与岩心分析孔隙度的关系

Fig.10 Relationship between the dolomite content and porosity of rocks

不甚发育,可能是台盆深度小、宽度窄、相变快引起的。

(2)储层沉积微相及微观地质特征研究表明,台地边缘礁滩相为该区储层发育最有利的相带。海绵障积白云岩、海绵骨架礁灰岩、鲕粒白云岩及残余鲕粒白云岩等为最主要的储集岩类型。储层物性以中孔中渗、高孔高渗储层为主。储集性较好,非均质性较强;储集空间以溶蚀孔(洞)占绝对优势,占总孔隙的80%以上。

(3)有利储层发育主要受沉积相带展布,以及后期的白云石化、溶蚀两大关键作用的控制,并且构造作用促成了礁及鲕粒储层裂缝的产生、缝洞系统的形成和产能的提高。

致谢:本文地球物理及测试分析资料由中石化南方勘探开发分公司提供,特此感谢。

参考文献(References):

- [1] 蔡立国, 饶丹, 潘文蕾, 等. 川东北地区普光气田成藏模式研究[J]. 石油实验地质, 2005, 27(5):462-467.
Cai Liguang, Rao Dan, Pan Wenlei, et al. The evolution model of the Puguang gas field in Northeast of Sichuan [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2005, 27 (5):462-467 (in Chinese with English abstract).
- [2] 马永生, 郭旭升, 凡睿. 川东北普光气田飞仙关组礁滩储集层预测[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(4):60-64.
Ma Yongsheng, Guo Xusheng, Fan Rui. Reservoir prediction of Feixianguan Formation in Puguang Gas Field, Northeast Sichuan Province[J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(4): 60-64(in Chinese with English abstract).
- [3] 李登华, 唐跃, 殷积峰, 等. 川东黄龙场构造上二叠统长兴组生物礁特征与潜伏礁预测[J]. 中国地质, 2006, 33(2):427-435
Li Denghua, Tang Yue, Yin Jifeng, et al. Features of organic reefs in the Upper Permian Changxing Formation and prediction of hidden reefs in the Huanglongchang structure, eastern Sichuan [J]. Geology in China, 2006, 33(2):427-435(in Chinese with English abstract).
- [4] 魏国齐, 陈更生, 杨威, 等. 川北下三叠统飞仙关组“槽台”沉积体系及演化[J]. 沉积学报, 2004, 22(2):254-260.
Wei Guoqi, Chen Gengsheng, Yang Wei, et al. Sedimentary system of platformal trough in Feixianguan Formation of lower Triassic in northern Sichuan and its evolution [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22(2):254-260(in Chinese with English abstract).
- [5] 王志兴, 张帆, 马青, 等. 四川盆地东部晚二叠世—早三叠世飞仙关组礁、滩特征与海平面变化[J]. 沉积学报, 2002, 20(2):249-254.
Wang Xingzhi, Zhang Fan, Ma Qing, et al. The characteristics of reef and bank and the fluctuation of sea-level in Feixianguan period of late Permian—Early Triassic, East Sichuan basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2002, 20 (2):249-254 (in Chinese with English abstract).
- [6] 牟传龙, 谭钦银, 余谦, 等. 川东北地区上二叠统长兴组生物礁组成及成礁模式[J]. 沉积与特提斯地质, 2004, 24(3):65-71.
Mou Chuanlong, Tan Qinyin, Yu Qian, et al. The organic reefs and their reef-forming model for the Upper Permian Changxing Formation in northeastern Sichuan [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2004, 24(3):65-71(in Chinese with English abstract).
- [7] 马永生, 牟传龙, 郭旭升, 等. 四川盆地东北部长期沉积特征与沉积格局[J]. 地质论评, 2006, 52(1):25-29.
Ma Yongsheng, Mou Chuanlong, Guo Xusheng, et al. Characteristics and framework of the Changxingian sedimentation in the northeastern Sichuan Basin[J]. Geological Review, 2006, 52(1): 25-29(in Chinese with English abstract).
- [8] 范嘉松, 吴亚生. 川东二叠纪生物礁的再认识[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23 (1):12-18.
Fan Jiasong, Wu Yasheng. Restudies on Permian reefs in eastern Sichuan[J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(1):12-18(in Chinese with English abstract).
- [9] 王一刚, 张静, 杨雨, 等. 四川盆地东部上二叠统长兴组生物礁气藏形成机理[J]. 海相油气地质, 1997, 5(1/2):145-152.
Wang Yigang, Zhang Jing, Yang Yu, et al. Mechanics of the organic reefs gas pool in Changxing Formation of Upper Permian in East Sichuan[J]. Marine Petroleum Geology, 1997, 5(1/2):145-152 (in Chinese with English abstract).
- [10] 王一刚, 文应初, 张帆, 等. 川东地区上二叠统长兴组生物礁分布规律[J]. 天然气工业, 1998, 18(6):10-15.
Wang Yigang, Wen Yinchu, Zhang Fan, et al. Distribution law of the organic reefs in Changxing Formation of Upper Permian in East Sichuan [J]. Natural Gas Industry, 1998, 18 (6):10-15 (in Chinese with English abstract).
- [11] 马永生, 牟传龙, 谭钦银, 等. 关于开江—梁平海槽的认识 [J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(3):326-331.
Ma Yongsheng, Mou Chuanlong, Tan Qinyin, et al. A discussion on Kaijiang—Liangping ocean through [J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(3) :326-331(in Chinese with English abstract).
- [12] 张静, 王一刚. 四川宣汉河口地区飞仙关早期碳酸盐蒸发台地边缘沉积特征[J]. 天然气工业, 2003, 23(3):19-22.
Zhang Jing, Wang Yigang. Characteristics of carbonate evaporation tableland edge deposition in early Feixianguan epoch at Hekou region of Xuanhan in Sichuan [J]. Natural Gas Industry, 2003, 23 (3):19-22(in Chinese with English abstract).
- [13] 彭平, 文敏, 孟琳. 川东地区飞仙关组沉积模式对储层展布特征的影响[J]. 天然气勘探与开发, 2004, 27(2):5-10
Peng ping, Wen Ming, Meng Lin. Influences over reservoir spreading characteristics by sedimentation models of Feixianguan Formation in East Sichuan region [J]. Natural Gas Exploration & Development, 2004, 27(2):5-10(in Chinese with English abstract).
- [14] 马永生, 傅强, 郭彤楼, 等. 川东北地区普光气田长兴—飞仙关气藏成藏模式与成藏过程[J]. 石油实验地质, 2005, 27(5):455-461.
Ma Yongsheng, Fu Qiang, Guo Tonglou, et al. Pool forming pattern and process of the Upper Permian—Lower Triassic, the Puguang gas field, Northeast Sichuan basin, China [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2005, 27 (5):455-461 (in Chinese with English abstract).

- [15] 蔡勋育, 马永生, 李国雄, 等. 普光气田下三叠统飞仙关组储层特征[J]. 石油天然气学报, 2005, 27(1):43-45.
Cai Xunyu, Ma Yongsheng, Li Guoxiong, et al. Characteristics of

reservoir of Lower Triassic Feixianguan Formation in Puguang Gas Field[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2005, 27(1):43-45(in Chinese with English abstract).

Distribution and accumulation of materials in shoal-reef compound gas deposits and reservoir characteristics——A case study of the Changxing-Feixian Formation in the Puguang gas field, northeastern Sichuan

NI Xin-feng^{1,2}, CHEN Hong-de^{2,3}, WEI Dong-xiao¹

- (1. Hangzhou Institute of Geology, Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Hangzhou 310023, Zhejiang, China; 2. Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 3. State Key Laboratory of Oil/ Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu 610059, Sichuan, China)

Abstract: The Puguang gas field is the biggest and deepest gas field recently found in the Sichuan basin, southwestern China. Recently a major breakthrough has been made in this gas field. The intensive study of the model of accumulation of materials in the shoal-reef compound gas deposit of the field has certain guiding significance for the prediction of favorable exploration areas of carbonate rocks in northeastern Sichuan and even the whole Sichuan basin. Controlled by the Kaijiang-Liangping inter-platform basin, a carbonate sedimentary system similar to Wilson's facies model is developed in the Changxing Formation and Feixianguan Formation in the Puguang area at the east side of the inter-platform basin, where there mainly occur platform evaporates, restricted platform, open platform, platform-margin reef-shoal, slopes and inter-platform basin sedimentary facies, but continental shelf facies is not well developed. The paleogeographic differentiation mainly evolved centering around the development and filling of the Kaijiang-Liangping inter-platform basin. The study of the sedimentary microfacies and microscopic geological characteristics of the reservoirs indicates that the platform-margin shoal reef facies is the most favorable facies belt for the development of reservoirs in the area and that sponge baffle dolomite, sponge skeletal reef limestone, oolitic dolomites and relic oolitic dolomite are main reservoir rock types. The development of favorable reservoirs are mainly controlled by the distribution of the sedimentary facies belt and later dolomitization, dissolution and tectonic processes

Key words: Puguang gas field; reef shoal; reservoir; Changxing Formation; Feixianguan Formation; inter-platform basin; northeastern Sichuan

About the first Author: Ni Xin-feng, male, born in 1978, Ph.D, specializes in sequence stratigraphy and oil basin analysis; E-mail: norriss2166@126.com.