

文章编号:0253-9985(2008)05-0548-09

普光气田台地建造过程及其礁滩储层高精度层序地层学研究

马永生¹, 储昭宏²

(1. 中国石油化工股份有限公司 油田事业部, 北京 100728;

2. 中国石油化工股份有限公司 南方勘探分公司 研究院, 四川 成都 610041)

摘要:普光气田及近年来川东北地区一系列重大发现, 实现了按海相深层构造-岩性复合气藏和岩性气藏勘探思路寻找大型礁滩气藏的目标。应用沉积学、层序地层学和地震沉积学的理论和方法, 系统研究普光气田上二叠统长兴组至下三叠统飞仙关组典型的镶边型碳酸盐岩台地建造过程及巨厚礁滩和鲕滩复合体的发育和分布规律发现: 普光气田长兴组台缘礁及开阔台地生屑滩和飞一、飞二段台缘和开阔台地鲕滩的垂向加积过程构筑了四川盆地和国内厚度最大的镶边型碳酸盐岩台地。普光气田长兴礁起源于二级层序海泛期的陆棚环境, 它建造成台地镶边, 在地震剖面上表现为丘状空白反射; 普光气田飞仙关组台缘及台内鲕滩形成于二级层序高位期早期, 在地震剖面上表现为丘状杂乱-不连续强反射。长兴礁及礁后沉积为后继飞仙关组鲕滩的形成提供了浅水高能背景。从碳酸盐岩层序地层学角度, 普光气田长兴组和飞仙关组由5个三级层序组成, 而每个三级层序又由2~3个四级层序组成。碳酸盐岩沉积学和层序地层学的结合揭示了普光碳酸盐台地的演化过程。随着探井的钻探, 碳酸盐岩高精度层序地层学揭示出普光气田礁、滩白云岩储层对称的高频旋回特征。在每一旋回内, 孔隙度随自然伽马和电阻率的减小、白云石晶体的变粗而增大。普光气田台地建造过程及高频层序内储层孔隙度分布特征, 不仅为拓展今后礁滩勘探提供了理论依据, 还对后继气藏开发具指导意义, 是实现碳酸盐岩气藏勘探、开发一体化的重要研究内容。

关键词:海相深层; 碳酸盐岩台地; 高精度层序地层学; 优质储层; 普光气田; 四川盆地

中图分类号:TE121.3

文献标识码:A

Building-up process of carbonate platform and high-resolution sequence stratigraphy of reservoirs of reef and oolitic shoal facies in Puguang gas field

Ma Yongsheng¹, Chu Zhaohong²

(1. Exploration and Production Department, SINOPEC, Beijing 100728, China;

2. SINOPEC South Company, Chengdu, Sichuan 610041, China)

Abstract: Puguang gas field and other major discoveries in northeastern Sichuan Basin obtained in recent years prove the correctness of the strategy searching for large gas pools in reservoirs of reef and oolitic shoal facies according to the exploration idea of structural-lithologic combination gas pools and lithologic gas pools occurring in deep marine sequences. Theories and methodologies of sedimentology, sequence stratigraphy and seismic sedimentology are applied to systematically study the building-up process of carbonate platforms and the formation and distribution of super-thick complexes of reef and oolitic shoal facies in sequences from the Upper Permian Changxing Formation to the Lower Triassic Feixianguan Formation. It is discovered that the vertical superimposition of platform-margin reef and open platform bioclastic shoal of the Changxing Formation and the platform-margin and open platform oolitic shoal in the first and second members of Feixianguan Formation resulted in the lar-

收稿日期: 2008-08-08。

第一作者简介: 马永生(1961—), 男, 博士、教授级高级工程师, 海相油气勘探。

gest and thickest carbonate platform in Sichuan Basin and China. The Changxing Formation reef was formed on continental shelf during marine transgression of second-order sequence and is represented by mounded blank reflections on seismic profile. The Feixianguan Formation platform-margin and intra-platform oolitic shoal was formed at the early HST of second-order sequence and is represented by mounded chaotic-discrete strong reflections. The Changxing Formation reef and post-reef deposits provided a high energy shallow water environment for the formation of the successive Feixianguan Formation oolitic shoal. Carbonate sequence stratigraphic research shows that the Changxing Formation and the Feixianguan Formation can be divided into 5 third-order sequences, each of which can be subdivided into 2 to 3 fourth-order sequences. Integrated study of carbonate sedimentology and sequence stratigraphy reveals the evolution of Puguang carbonate platform. High-resolution sequence stratigraphic research of the carbonates based on drilling data reveals the symmetrical high-frequency cyclic features of the dolomite reservoirs of reef and shoal facies. Reservoir porosity increases along with the decreasing of gamma ray and resistivity and the coarsening of dolomite crystalline in each cycle. The building-up process of the platform and the characteristics of reservoir porosity distribution in the high-frequency sequences provide not only the necessary theoretical bases for further exploration of carbonate sequences of reef and shoal facies, but also a guide to gas development. They constitute an important part of the integrated research of exploration and development of carbonate oil/gas pools.

Key words: deep marine sequence; carbonate platform; high-resolution sequence stratigraphy; high-quality reservoir; Puguang gas field; Sichuan Basin

普光气田位于四川盆地东北部中石化宣汉-达县探区内,其现今构造位置位于大巴山前缘推覆构造带、川东断褶带和川中平缓构造带的交汇部位。

普光气田的发现实现了勘探领域从浅层、中浅层到深层和超深层的稳步迈进。普光气田的岩性气藏勘探思想使得储层发育相带的研究成为勘探突破的重中之重。普光气田本身的巨厚优质礁滩储层(如普光6井最大储层厚度达443 m)在实现了对于礁滩勘探首先应是厚层礁滩勘探的同时,也为今后寻找更多的礁滩气藏奠定了根基。继普光气田发现后,依据碳酸盐岩储层沉积学和地震沉积学,在追溯南方20世纪礁滩勘探成果的过程中结合当今物探技术,通过以中石化宣汉-达县探区海相深层大普光气田长兴组和飞仙关组巨厚礁滩和鲕滩叠合体及中石化元坝探区海相超深层长兴组大面积礁滩和飞仙关组大面积鲕滩为典型特征的川东北长兴组-飞仙关组沉积格局的厘定(图1),指明了川东北海相深层和超深层领域构造-岩性复合气藏、岩性气藏和构造气藏等勘探发现和勘探突破目标(马永生等,2007)。

随着“川气东送工程”的全面推进和旨在提交探明储量的探井、评价井、三维高精度地震的部署以及大量储层取心、薄片和钻测井资料的积累,面向海相深层气藏“勘探开发一体化”的储层精细刻

画及深入研究的重要性日益增强。本文在普光气田的地震、钻测井和薄片资料的基础上,综合利用碳酸盐岩层序地层学和储层沉积学原理和方法^[1-7],建立了普光气田镶边台地勘探尺度上的层序格架和连井对比剖面以及开发尺度上的礁、滩高频对称层序格架,它们不仅系统揭示了普光气田长兴组礁滩和飞仙关组鲕滩时空演化的内在联系,为今后礁滩和鲕滩复合体勘探提供理论指导,而且礁滩储层高精度层序格架内的储层孔隙度分布规律对后继气藏开发层段的优选具有指导意义。

1 普光气田长兴-飞仙关组镶边台地建造过程

1.1 普光气田长兴-飞仙关组镶边台地层序格架的建立

综合普光气田钻测井、取心和三维地震资料,利用碳酸盐岩层序地层学和储层沉积学原理,可建立普光气田长兴-飞仙关组镶边台地层序格架(图2)。由于台地背景低位域的缺乏^[8],三级层序边界通常为上一层序顶部、代表高位晚期的纯灰岩或蒸发岩和下一层序底部以及代表海泛事件的泥灰岩或灰岩间的岩性突变带。

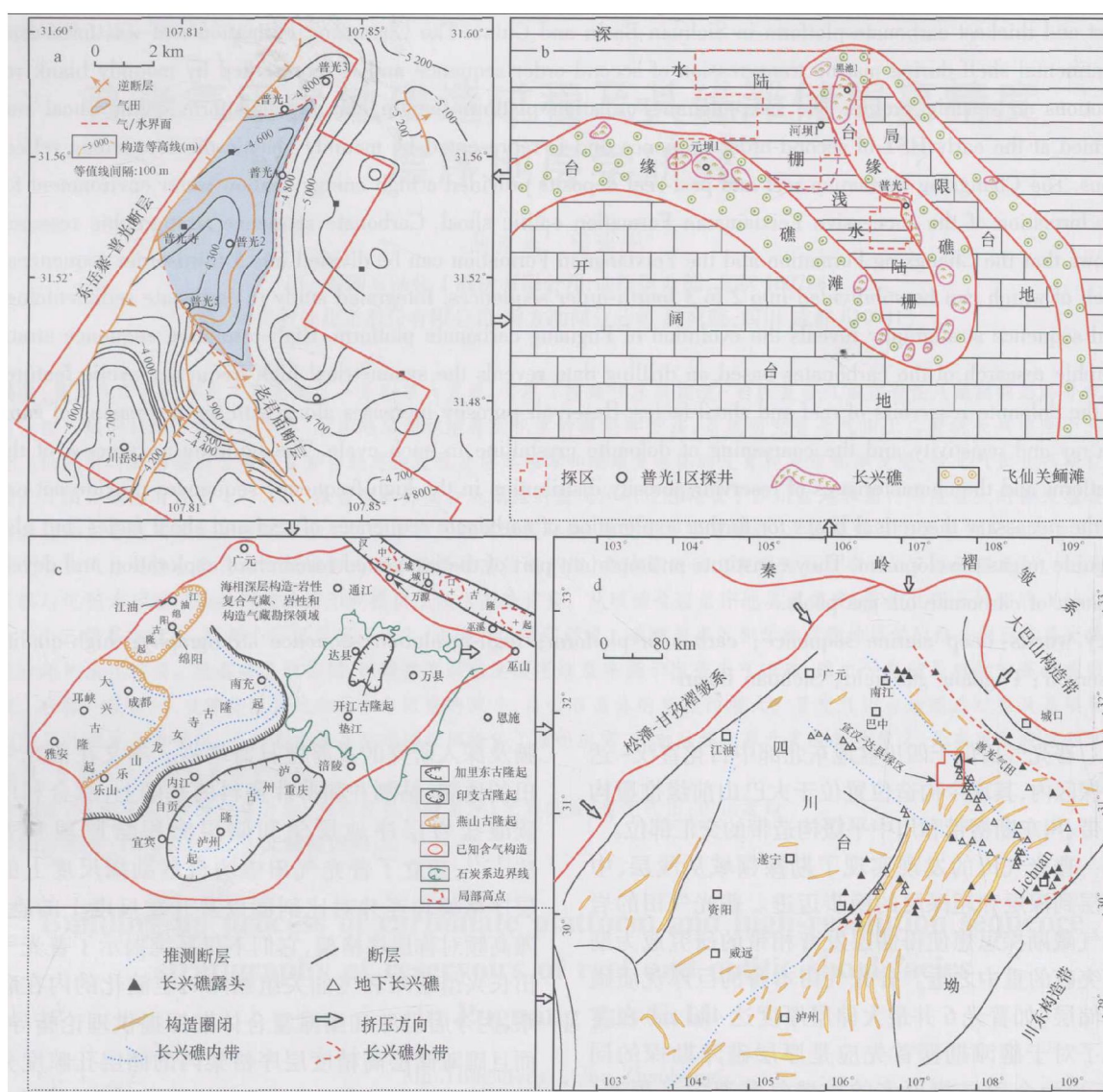


图1 南方海相深层普光气田的发现及川东北长兴期沉积格局的厘定

Fig.1 Discovery of Puguang gasfield in deep carbonates, and determination of Changxing sedimentology framework in NE Sichuan Basin

[普光构造-岩性复合气藏发现并普光1井飞仙关组埋深比构造高部位的川岳84井低约1300 m(a);海相深层普光气田的发现突破了四川盆地以围绕古隆起寻找构造油气藏的思路禁锢,使得川东北和川北海相深层和超深层构造-岩性复合气藏、岩性气藏成为重大勘探突破区(c);普光气田的岩性气藏性质表明有利的储层发育相带是油气勘探突破的关键,川东北长兴-飞仙关组“典型镶边型碳酸盐岩台地-陆棚-缓坡型台地”沉积格局(b)的厘定不仅在勘探思路和礁滩规模上也和川东构造带中浅层小规模礁滩构造气藏勘探(d)形成鲜明对比,而且指明了四川盆地海相深层大型礁滩和鲕滩复合体的勘探方向(如图中元坝1井、河坝1井和黑池1井等)。]

普光气田的长兴-飞仙关组被包括在一个二级层序之内,形成该层序的主要可容纳空间与峨嵋地裂运动引起的盆地范围内的构造沉降有关^[9]。它的时间跨度约为15 Ma,其上覆地层为下三叠统嘉陵江组,下伏地层为下二叠统茅口组。层序的下部地层为吴家坪组或同期的龙潭组,形

成于初次海泛时期。前者主要由开阔台地相碳酸盐岩组成;后者主要由富有机质滨岸沼泽相碎屑岩-局限台地相混积碳酸盐岩组成^[10]。层序中部地层为长兴组或同期异相大隆组,它们形成于最大海泛时期。长兴组以(含)生屑灰岩、礁灰岩或泥晶灰岩为主要沉积特征;而大隆组相当于二级

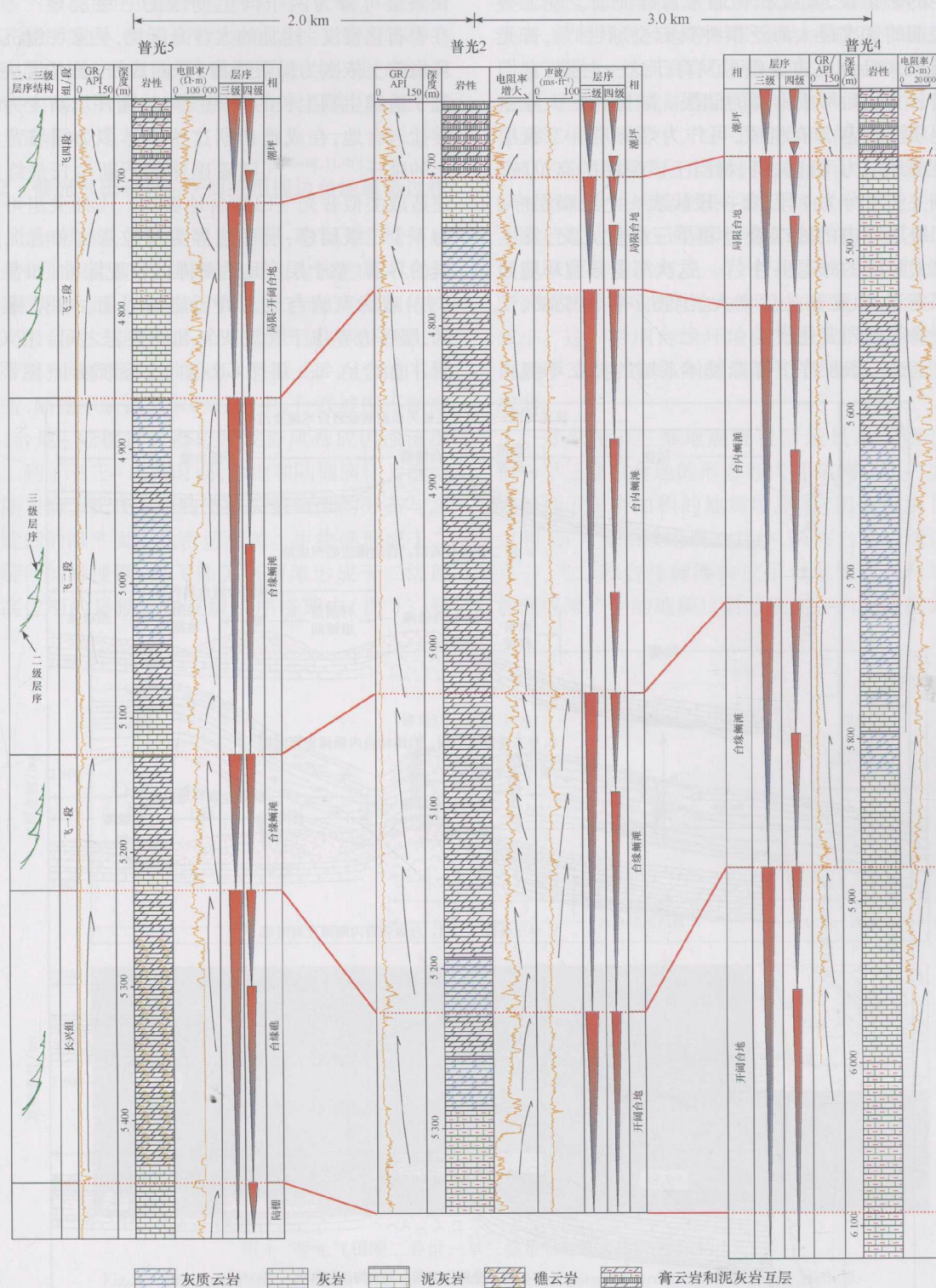


图2 普光气田普光5井—普光2井—普光4井长兴至飞仙关组层序划分对比

Fig. 2 Stratigraphy sequence division and correlation of Changxing Fm. and Feixianguan Fm. in Well Puguang 5, Puguang 2 and Puguang 4 in Puguang gasfield

层序的密集段,其沉积物通常富硅泥质。晚二叠世晚期的这次最大海泛事件具有全球性^[11],普光气田长兴组台地边缘礁也发育于这一时期,它们经白云石化后形成重要的储层。陆棚相区大隆组硅泥质沉积富含有机质,可作为烃源层。二级层序上部地层为飞仙关组,相当于该层序的高位域。飞仙关组可分为4段,每一段代表一个三级层序。在二级层序内的晚二叠世和早三叠世之交,发生一次大幅度的海退事件^[12]。这次海退导致环境如水深变浅、浊度和盐度增大、生物多样性锐减、气候干燥等剧烈变化^[13]。

上述二级层序下部海侵体系域的吴家坪组和

长兴组可分为两个向上变浅的三级层序^[14-19]。在中石化宣汉-达县的大普光区块,吴家坪组沉积环境向上依次为局限浅海、开阔浅海;长兴组从适宜于造礁生物生长的开阔浅海陆棚环境演变为碳酸盐岩台地,在成礁初期这些礁体多为缓坡背景上的礁丘^[10,12,20-24],随着礁体的不断生长最终能建造成类似普光气田的台地镶边。飞仙关组可分为4个三级层序,层序边界为鲕粒灰岩和含泥灰岩的界面(整个层序均为鲕滩的情况除外,如普光2井)或为灰岩与大套白云岩的界面。在陆棚相区,层序边界位于含泥灰岩和纯灰岩之间。在GR测井曲线上,每一层序GR值向上逐渐减小(图3)。

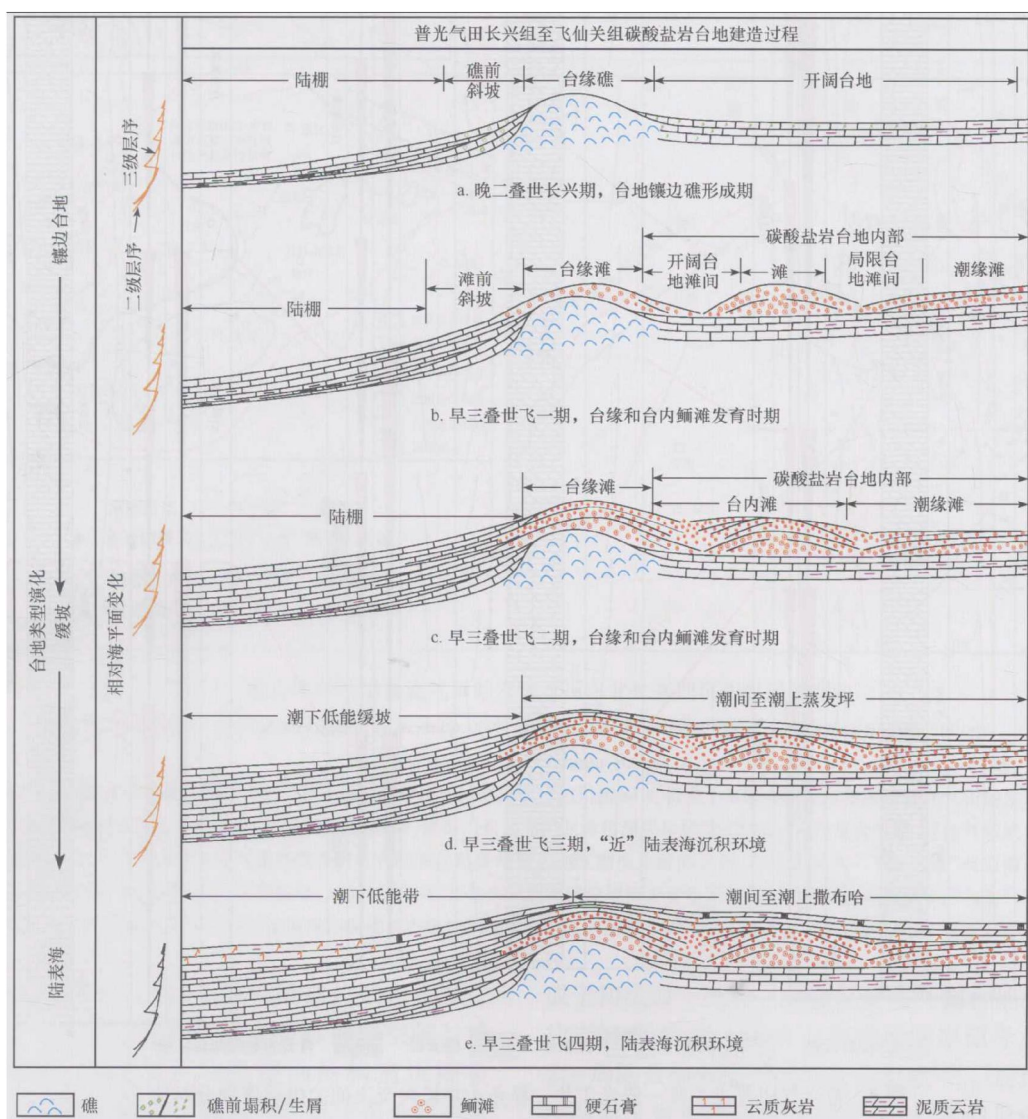


图3 普光5、普光2、普光4井单井相分析及其连井层序地层格架

Fig. 3 Single-well facies analysis and well-across sequence stratigraphic frameworks of Well Puguang 5, Puguang 2 and Puguang 4

这些三级层序的时间跨度约为1~2 Ma。在每一个三级层序内,根据GR反映的岩性变化可将每个三级层序划分为2~3个四级层序,每一层序约为0.5~1 Ma(图3)。对每一个四级层序,其GR值向上逐渐减小。

1.2 普光气田长兴-飞仙关组镶边台地建造过程

总体来说,长长期礁滩、飞一期和飞二期鲕滩的垂向加积建造了以普光气田为代表的川东北典型镶边型台地。向陆棚方向,该台地沉积相依次为局限台地、开阔台地、台地边缘、斜坡和陆棚,该相带展布类似于经典的威尔逊模式。在台地不断建造、陆棚不断被充填的过程中,台缘坡度不断减小,台地-陆棚过渡部位常发育风暴成因浊流沉积。到了飞三-飞四时期,台地和陆棚演化为统一的陆表海。长兴组礁和飞仙关组鲕滩的分布与二级旋回的海平面变化密切相关。生物礁形成于二级旋回的海侵期;而飞仙关组鲕滩形成于二级旋回高位期的早期。在三级层序格架内(图3),长

兴礁将台地和陆棚分开,形成陆棚、礁前斜坡、台缘礁、礁后开阔台地等相带分异;在礁顶和礁后的台地背景上,分别发育了飞一、飞二段台缘和台内鲕滩,平面上形成陆棚、台缘滩、台内滩、滩间和潮坪滩等相带。其中,飞一段台缘滩的厚度要小于临近的台内滩而大于潮坪滩,这是由于台缘滩不断被海流侵蚀然后堆积在其后侧的台内滩上使之不断抬高的缘故;而潮坪环境较低的能量不足以形成厚层鲕滩。与飞一段相比,飞二段的滩间不断被鲕粒填平,台地地形和海水能量的差异逐渐减小。这一时期台缘环境能量最大,相应地鲕滩也最厚,从台缘到台内潮坪方向鲕滩厚度逐渐减薄。

普光气田三维地震资料清楚显示了晚二叠世一早三叠世台地的形态和内部结构(图4)。台地包括了3个加积的地震层序,它们分别由长兴组和飞一、飞二段组成。其中,长兴台地边缘礁和飞一、飞二段台缘鲕滩构成了台地镶边。台地边缘礁或滩产生的地震反射分别向台内和陆棚方向

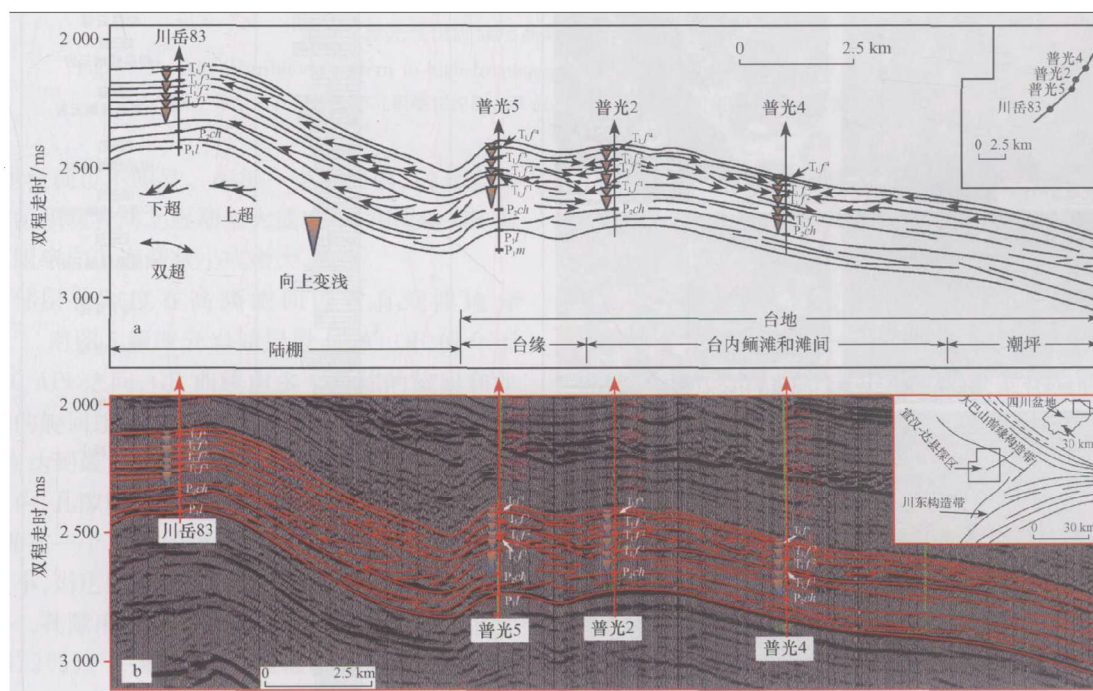


图4 普光气田晚二叠世一早三叠世台地形态和内部结构

Fig. 4 The Late Permian - Early Triassic platform style and internal structure in Puguang gasfield

a. 沿台地倾向展布的晚二叠世一早三叠世镶边台地及礁、鲕滩地震反射素描图,图中井位上的短实线代表地层边界;

b. 图4a的地震解释剖面,其中台地和陆棚间的相变带形成普光气田侧向封堵

T_1f^1 . 下三叠统飞一段底; T_1f^2 . 下三叠统飞二段底; T_1f^3 . 下三叠统飞三段底; T_1f^4 . 下三叠统飞四段底;

P_2ch . 上二叠统长兴组底; P_1l . 下二叠统梁山组底; P_1m . 下二叠统茅口组底

下超,其中台缘礁表现为丘状空白反射,而台缘或台内鲕滩则表现为丘状杂乱-不连续强反射。从图4b地震剖面上可推知,礁形成后台地和陆棚间的地形高差最大可达200 m左右,礁前坡度从成礁前的 0.8° 增加到成礁后的 5° 。尽管台地和陆棚间的坡度可由差异压实引起,但礁的丘状反射形态以及礁前斜角仍能反映台地的原始形态。礁前斜坡至陆棚相区的连续强反射代表含泥灰岩和纯灰岩之间的岩性界面,而泥灰岩的沉积时间对应于礁成长速率的最大时期。根据台地的地震反射特征,可将台地划分为3个相带:①上凸的台地边缘,宽约2 km;②上凸的台内滩和下凹的滩间,丘状鲕滩产生的反射向两侧的滩间下超;③台缘斜坡,斜坡沉积物产生的反射向陆棚下超。台地礁

滩地震反射特征的识别为探井和评价井的部署提供了有力证据。南中国海印度尼西亚卡里曼丹中部渐新世 Kerendan 台地^[25]与普光气田台地形态和结构十分相似。

2 普光气田长兴组礁和飞仙关组鲕滩高频层序旋回及其孔隙度分布特征

不同于上述向上变浅的、不对称的三级或四级层序,综合薄片资料、电阻率和自然伽马测井可得,普光气田礁滩可划分成多个对称的高频旋回(图5,图6),它们被解释为成因层序^[26,27]。由于岩性呈渐变性,这些层序的边界常常不容易识

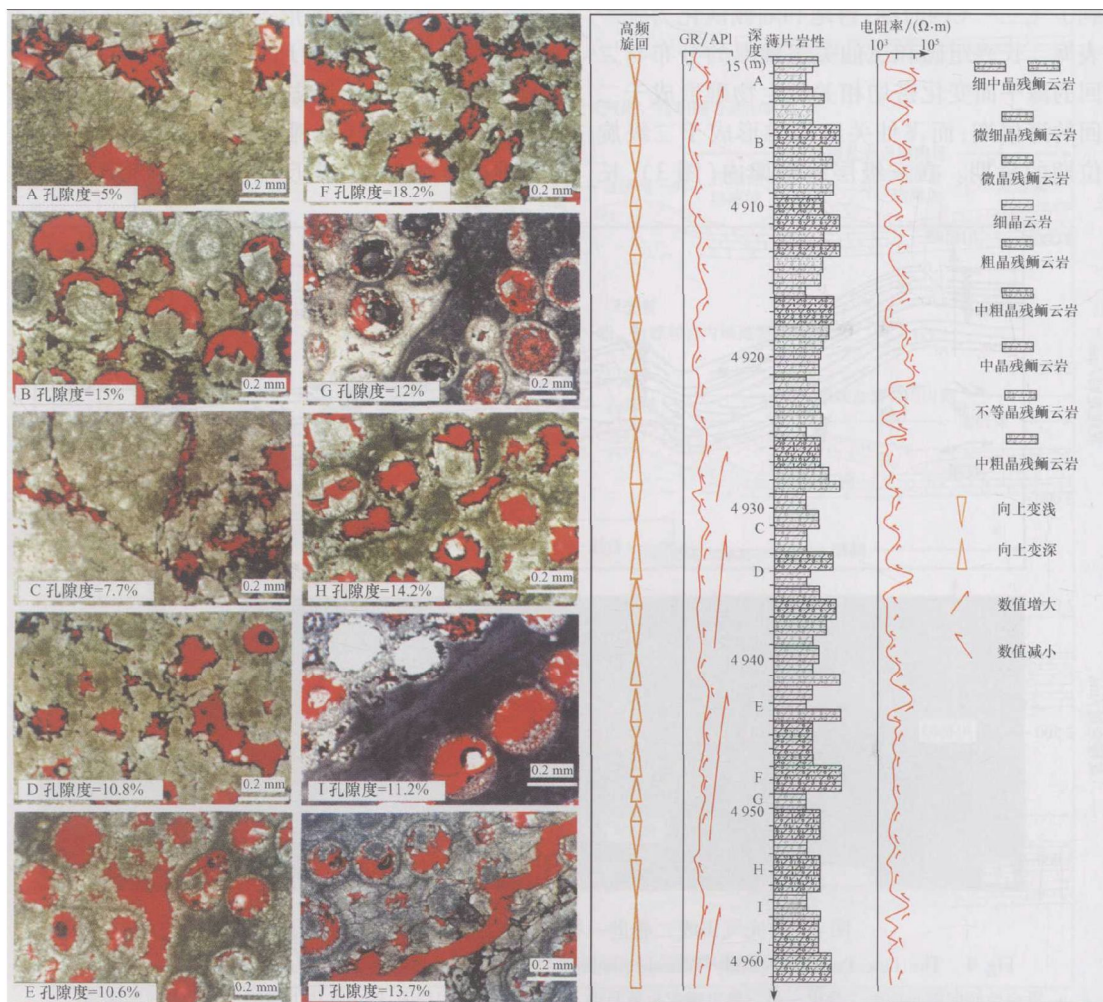


图5 普光气田鲕滩储层高频旋回内的孔隙分布特征

Fig. 5 Porosity distribution pattern in high-frequency cycles of ooid shoals of Puguang gasfield
(孔隙度受白云石晶体粒度和沉积微相控制,GR值和电阻率测井均可反映旋回内孔隙度的变化。)

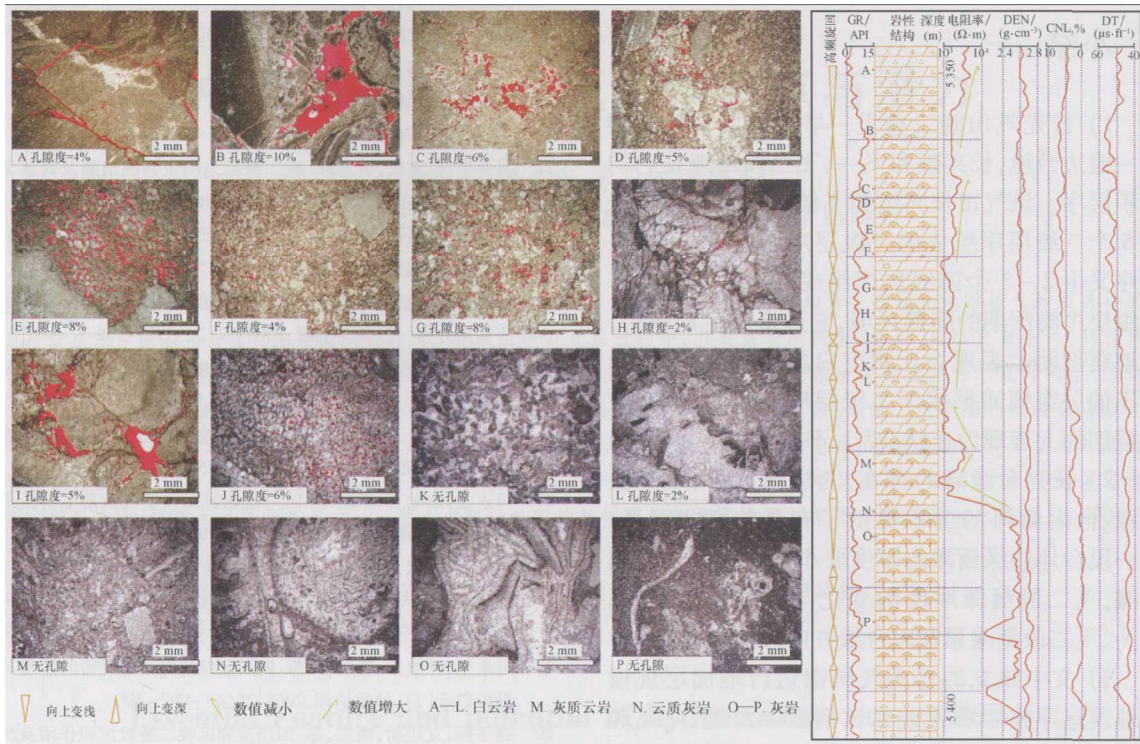


图6 普光气田礁滩储层高频旋回内的孔隙分布特征

Fig. 6 Porosity distribution pattern in high-frequency cycles of reef-related reservoir of Puguang gasfield

(孔隙度受白云石化程度和沉积微相控制,GR值和电阻率测井均可反映旋回内孔隙度的变化。)

别,洪泛面也不明显。在每一半旋回内,白云岩晶粒或沉积颗粒向上逐渐增大或减小,相应地 GR 值和电阻率向上逐渐减小或增大。

储层孔隙度在高频旋回内常有规律地分布^[28]。对图5 鲕滩白云岩储层段,它的 GR 值介于 7~10 API 之间,GR 曲线由多个对称的旋回和非对称的旋回组成,每一旋回的 GR 值向上逐渐增大,当达到最大值后然后逐渐减小;在每一对称的旋回内,孔隙度的变化规律和 GR 值的变化规律相反,即在一个对称的沉积旋回内孔隙度先向上逐渐减小,当达到最小值后开始向上逐渐增大(如图 5H—I,孔隙度从 13.7% 减小到 10.6% 然后增大到 11.2%)。一般来说,储层段的孔隙度随 GR 值增大而减小(如从图 5F 中的 18.2% 增大到图 5E 中的 10.6%)。通过比较各个对称沉积旋回的最小孔隙度不难发现,它们的孔隙度向上逐渐降低,这反映了沉积环境的能量总体上向上降低,而蒸发强度向上逐渐增大。每一沉积旋回的白云岩晶粒粒径或鲕粒含量和孔隙度的变化方式相似,即

孔隙度越大,晶体粒径越大,杂基越少。另外在图 5 的沉积旋回中,电阻率随着 GR 值的增大而增大,随着晶粒粒度的减小而增大。

对与礁有关的白云岩储层段(图6),其下部对称旋回内的孔隙度变化趋势和岩石组构的关系和图5 相同(如图 6G—L 中的孔隙度变化);但对于该储层段上部的旋回,孔隙度变化趋势却与 GR 值变化一致,这点与图5 中正好相反,即在一个沉积旋回内孔隙度向上逐渐增大,在旋回中部达到最大值然后向上逐渐减小,到旋回顶端达到最小(如图 6A—F 中孔隙度的变化)。图6 中最上端沉积旋回顶端的孔隙度小于其下方旋回顶端的孔隙度(如图 6A 中为 4%,图 6D 中为 5%)。同样,较粗的颗粒(如图 6B 中的砾屑云岩和图 6E 中的海绵体)对应于沉积旋回中最大的 GR 值。这些都与图5 中孔隙度-岩石组构-GR 值之间的关系相反,这表明较低能的沉积环境和蒸发作用引起的过白云石化^[29,30]会减小孔隙。图6 中下部层段灰岩由于未发生白云石化,故孔隙不发育。

3 小结

1) 普光气田晚二叠世—早三叠世台地类型为一镶边台地,长兴礁和飞一、飞二段鲕滩是它的加积层序。该气田长兴组和飞仙关组包括在一个由5个三级层序组成的二级层序之内,这些三级层序又由2~3个四级层序组成。长兴礁起源于二级层序海泛期的陆棚环境,它建造成台地镶边,在地震剖面上表现为丘状空白反射;而台缘及台内飞仙关组鲕滩形成于二级层序高位期早期,在地震剖面上表现为丘状杂乱—不连续强反射。

2) 长兴台缘礁的存在,为后继飞一、飞二段台缘、台内鲕滩的沉积提供了有利的高能背景。飞一段台地边缘鲕滩的厚度要小于其相邻的台内鲕滩,飞二段鲕滩厚度的变化与这一情况相反。飞一、飞二段鲕滩累厚向台缘方向总体增大。

3) 文中建立的普光气田镶边台地储层规模的地震层序格架和连井对比剖面以及礁、滩高频对称层序内的储层孔隙度分布模式,不仅为拓展盆地今后的勘探范围提供了理论依据,同时对后继气藏开发层段的优选具有指导意义,为实现勘探、开发一体化提供了有效的研究方法。

参考文献

- Wilson J L. Carbonate facies in geologic history [M]. New York: Springer-Verlag, 1975. 471
- Vail P R, Mitchum R M, Thompson S. Global cycles of relative changes of sea level [A]. AAPG Memoir 26, 1977. 99 ~ 116
- Vail P R. Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy, part 1: seismic stratigraphy interpretation procedure [J]. AAPG Studies in Geology, 1987, 27: 1 ~ 10
- Sarg J F. Carbonate sequence stratigraphy [A]. In: Wilgus C K, Hastings B S, Ross C A, et al, eds. Sea-level changes—an integrated approach [C]. SEPM Special Publication No 42, 1988. 155 ~ 181
- Handford C R, Loucks R G. Carbonate depositional sequences and systems tracts—responses of carbonate platforms to relative sea level changes [A]. In: Loucks R G, Sarg J F, eds. Carbonate sequence stratigraphy—recent development and applications [C]. AAPG Memoir 57, 1993. 3 ~ 41
- 马永生. 碳酸盐岩储层沉积学 [M]. 北京: 地质出版社, 1999. 77 ~ 80
- 马永生, 译. 碳酸盐岩微相 [M]. 北京: 地质出版社, 2006
- 芮琳. 扬子区的二叠系 [J]. 地层学杂志, 1981, 5: 263 ~ 275
- 罗志立. 试论上扬子地台的峨嵋地裂运动 [J]. 地质论评, 1988, 34(1): 11 ~ 24
- 李书舜, 刘大成. 四川地区晚二叠世沉积环境与生物礁 [J]. 沉积学报, 1988, 6(3): 112 ~ 117
- 陈中强. 二叠纪末期的全球淹没事件 [J]. 岩相古地理, 1995, 15(3): 70 ~ 76
- 吴亚生, 范嘉松, 金玉珂. 晚二叠世末的生物礁出露及其意义 [J]. 地质学报, 2003, 77(3): 289 ~ 296
- 金若谷, 沈桂梅, 须湘官, 等. 四川广元二叠系—三叠系界线粘土岩沉积特征及成因探讨 [J]. 1986, 5(2): 107 ~ 118
- 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): 179 ~ 185
- 马永生, 牟传龙, 郭彤楼, 等. 四川盆地东北部长兴组沉积特征和沉积格局 [J]. 地质评论, 2006, 52(1): 25 ~ 29
- 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
- 马永生, 蔡勋育, 李国雄. 四川盆地普光大型气藏基本特征及成藏富集规律 [J]. 地质学报, 2005, 79(6): 858 ~ 865
- 马永生, 傅强, 郭彤楼. 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
- 马永生, 郭旭升, 郭彤楼, 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, 25(4): 476 ~ 480
- 强子同, 文应初, 唐杰, 等. 四川及邻区晚二叠世沉积作用及沉积盆地的发展 [J]. 沉积学报, 1988, 8(1): 79 ~ 90
- 范嘉松, 张维, 马行, 等. 鄂西二叠纪生物礁的基本特征及其发育规律 [J]. 地质科学, 1982, 17(3): 274 ~ 282
- 吴熙纯, 刘效曾, 杨仲伦, 等. 川东上二叠统长兴组生物礁控储层的形成 [J]. 石油与天然气地质, 1990, 11(3): 283 ~ 296
- 雷卞军, 强子同, 陈季高, 等. 川东上二叠统生物礁成岩作用与孔隙演化 [J]. 石油与天然气地质, 1991, 12(4): 364 ~ 375
- 王生海, 强子同. 四川华蓥山涧水沟上二叠统生物礁 [J]. 石油与天然气地质, 1992, 12(2): 147 ~ 154
- Saller A H, Vijaya S. Depositional and diagenetic history of the Kerendian carbonate platform, Oligocene, Central Kalimantan, Indonesia [J]. Journal of Petroleum Geology, 2002, 25: 123 ~ 150
- Homewood M, Lafont F. Best practices in sequence stratigraphy [J]. Elf EP Mem, 2000, 25: 81
- Homewood M, Eberli G P. Genetic stratigraphy on the exploration and production scales [J]. Elf EP Mem, 2000, 24: 290
- James W, Jennings J, Lucia F J. Predicting permeability from well logs in carbonates with a link to geology for interwell permeability mapping [J]. SPE 71336, 2001: 1 ~ 16
- Borkhataria R, Aigner T, Pöppelreiter M C, et al. Characterisation of epeiric “layer-cake” carbonate reservoirs: Upper Muschelkalk (Middle Triassic), the Netherlands [J]. Journal of Petroleum Geology, 2005, 28: 119 ~ 146
- Borkhataria R, Aigner T, Koos J, et al. An unusual, muddy, epeiric carbonate reservoir: the Lower Muschelkalk (Middle Triassic) of the Netherlands [J]. AAPG Bulletin, 2006, 90: 61 ~ 89

(编辑 李 军)