

普光气田新类型储层 ——飞仙关组砾屑碳酸盐岩的沉积特征及模式

周凯¹, 王美格², 尹青^{1,3}, 黄佩¹

(1 中国石化中原油田勘探开发研究院; 2 中国石化中原油田物探研究院)

(3 中国石化中原油田博士后流动站)

摘要 以四川盆地普光气田下三叠统飞仙关组砾屑碳酸盐岩为研究对象,根据砾屑成分、发育规模、颗粒大小、磨圆程度等方面的差异,将砾屑碳酸盐岩分为砾屑灰岩和砾屑白云岩。研究结果表明,普光地区飞仙关组小型砾屑灰岩多为异地搬运后沉积形成的,它的形成与浊流有关;而大型砾屑白云岩多为未经过搬运(或经短距离搬运)、岩崩塌后沉积形成的。普光气田飞仙关组斜坡带砾屑碳酸盐岩沉积模式中,碳酸盐台地为砾屑灰岩提供物质来源;上斜坡一般发育大型砾屑白云岩,是储层发育的有利地带;下斜坡处发育薄层砾屑灰岩,储层发育条件差。

关键词 四川盆地; 普光气田; 飞仙关组; 碳酸盐岩; 斜坡带; 沉积模式

中图分类号: TE122.2*1

文献标识码: A

1 概况

四川盆地普光气田下三叠统飞仙关组主要为一套台地边缘高能鲕滩沉积(图1,图2),前人的大量研究主要集中在残余鲕粒结晶白云岩、糖粒状白云岩和粉细晶白云岩这三种储层类型上^[1-3]。普光气田飞仙关组台缘鲕粒滩的储量已基本探明,目前面临最严峻的问题是能否在成熟探区寻找到新的勘探领域以进行资源补充。本文通过研究认为普光地区下三叠统飞仙关组除了上述三种主要储层类型之外,还发育砾屑碳酸盐岩储层,这是新发现的储层类型,且都分布在探明储量的空间范围之外。

砾屑碳酸盐岩是碳酸盐碎屑流常见的岩石类型,主要发育在具有一定坡度的台地边缘斜坡带附近。碳酸盐台地斜坡是位于碳酸盐台地和陆棚之间的一个坡折地带,在这个带上易形成碳酸盐碎屑流沉积,这是因为碎屑流的形成一般需要一定的地形坡度及诱发运移的动力,如断层、地震和风暴作用等,这样才能造成碳酸盐碎屑物质发生异地搬运作用,使得深水斜坡环境中发育浅水沉积物,并且碳酸

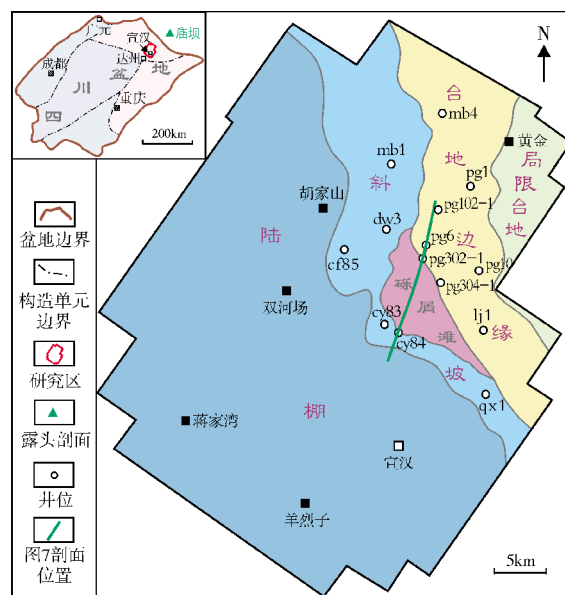


图1 普光地区飞仙关组一段—二段沉积相平面图

盐碎屑呈裙带状围绕台地分布^[4-8]。

前人曾在不同地区对砾屑碳酸盐岩的特征、分类、成因机制,以及与古地貌的关系等方面进行了大

收稿日期: 2017-06-27; 改回日期: 2018-03-04

本文受国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”(编号:2016ZX05017-001)和中石化科技重大专项“四川盆地海相大型气田目标评价与勘探关键技术”(编号:P16082)联合资助

周凯: 1984年生,工程师,2006年毕业于长江大学资源勘探工程专业,获学士学位,现主要从事天然气勘探研究工作。通讯地址: 450018 河南省郑州市郑东新区祥盛街绿地原盛国际2号楼3单元; E-mail: 125881369@qq.com

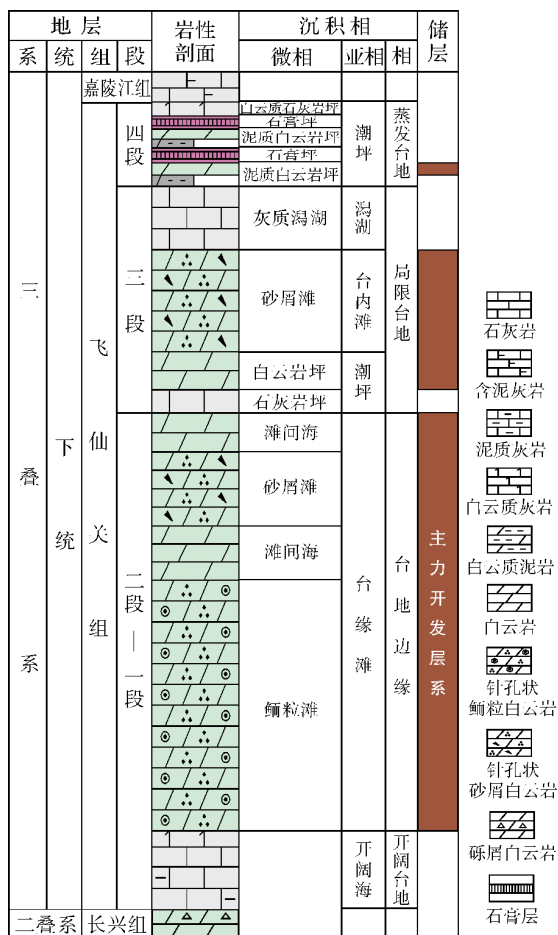


图2 普光气田飞仙关组综合岩性柱状图

量研究^[9-12]。王一刚等^[13]认为深水沉积中砾屑灰岩的发育与碳酸盐斜坡有关;时志强等^[14]认为同生期弱固结的碳酸盐软泥被风暴打碎而形成同生砾屑,一定的古地形坡度又加剧了碳酸盐沉积物重力流的发育;陈小军等^[15]认为砾屑白云岩是早期形成的白云岩在水体相对较深的潮间带,经构造运动的切割及淡水溶蚀改造,再经充填、沉淀和成岩作用而形成的;李南豪^[16]认为由于浅埋藏后表层干裂,内部干化失水而收缩,再经淡水渗透溶蚀等作用而形成了砾屑白云岩。

本文通过研究区大量岩心、岩屑、薄片和三维地震资料的综合分析,并结合区域沉积背景,明确了研究区的砾屑碳酸盐岩包括砾屑灰岩和砾屑白云岩两种类型,它们主要发育在台地前缘斜坡带,笔者还建立了普光地区斜坡带砾屑碳酸盐岩沉积模式,这对川东北地区飞仙关组天然气的勘探开发具有重要意义。

2 砾屑碳酸盐岩特征与沉积作用

本文通过对台地前缘斜坡带钻井取心及室内镜下岩石薄片的研究,根据砾屑成分、发育规模、颗粒大小、磨圆程度等方面的差异,对砾屑灰岩和砾屑白云岩的沉积特征及沉积作用过程进行了分析。

2.1 砾屑灰岩

砾屑灰岩出现在台地与陆棚之间的、水体较深的环境中,即在下斜坡地带(如研究区 cy84 井—cy83 井—cf85 井一带,位置参见图 1)的飞仙关组一段中发育,常以不规则薄—厚层状、透镜状夹于大套的泥晶灰岩、泥质泥晶灰岩中,单层厚 0.05~5 m 不等,颜色较围岩浅(图 3a)。其颗粒类型有砾屑、砂屑和鲕粒等,粒径一般 0.5~10 cm,含量变化大,成分杂,主要来自于浅水区的鲕粒灰岩、生物(碎屑)灰岩和白云岩组成(图 3b, 3c),大多数为板片状、不规则状,分选、磨圆差;砾间充填物以灰泥基质为主。钻井岩心可见明显鲍马序列(图 3d),底部与下伏地层之间呈侵蚀突变接触,下部颗粒多以点或缝合线接触,中部为基质支撑,上部几乎无颗粒的存在,总体具正粒级递变。这些特征反映了砾屑灰岩是由于重力流或风暴作用下,经过异地搬运后沉积形成的,为碳酸盐岩重力流中的浊流成因。

2.2 砾屑白云岩

砾屑白云岩主要出现在台地边缘与下斜坡之间,相对水体较浅,紧邻高能相带,即在上斜坡带(如研究区 pg302-1 井—pg304-1 井一带,位置参见图 1)的飞仙关组一段中发育。砾屑白云岩储层主要是砾石支撑的白云岩(图 3e, 3f),砾屑成分主要有细晶白云岩和鲕粒白云岩两种,矿物成分主要为白云石(大于 85%),少量泥质(含量约占 15%),岩石白云石化强烈,以细晶白云岩构成角砾,大小悬殊,边界清晰,砾石一般为棱角状、次棱角状,有部分细小角砾似砂屑大小,呈次棱角—次圆状。砾内溶孔发育,局部连通,呈沟、缝、港湾状,砾内溶孔局部充填连晶方解石,有机质呈斑点状不均匀浸染在白云石之间。基质由泥晶、粉晶白云石组成,也有少量有机质浸染基质(图 3g, 3h)。此类砾屑白云岩中的砾石以未经过搬运或经短距离搬运的为主,为碳酸盐岩重力流中的岩崩塌积成因。

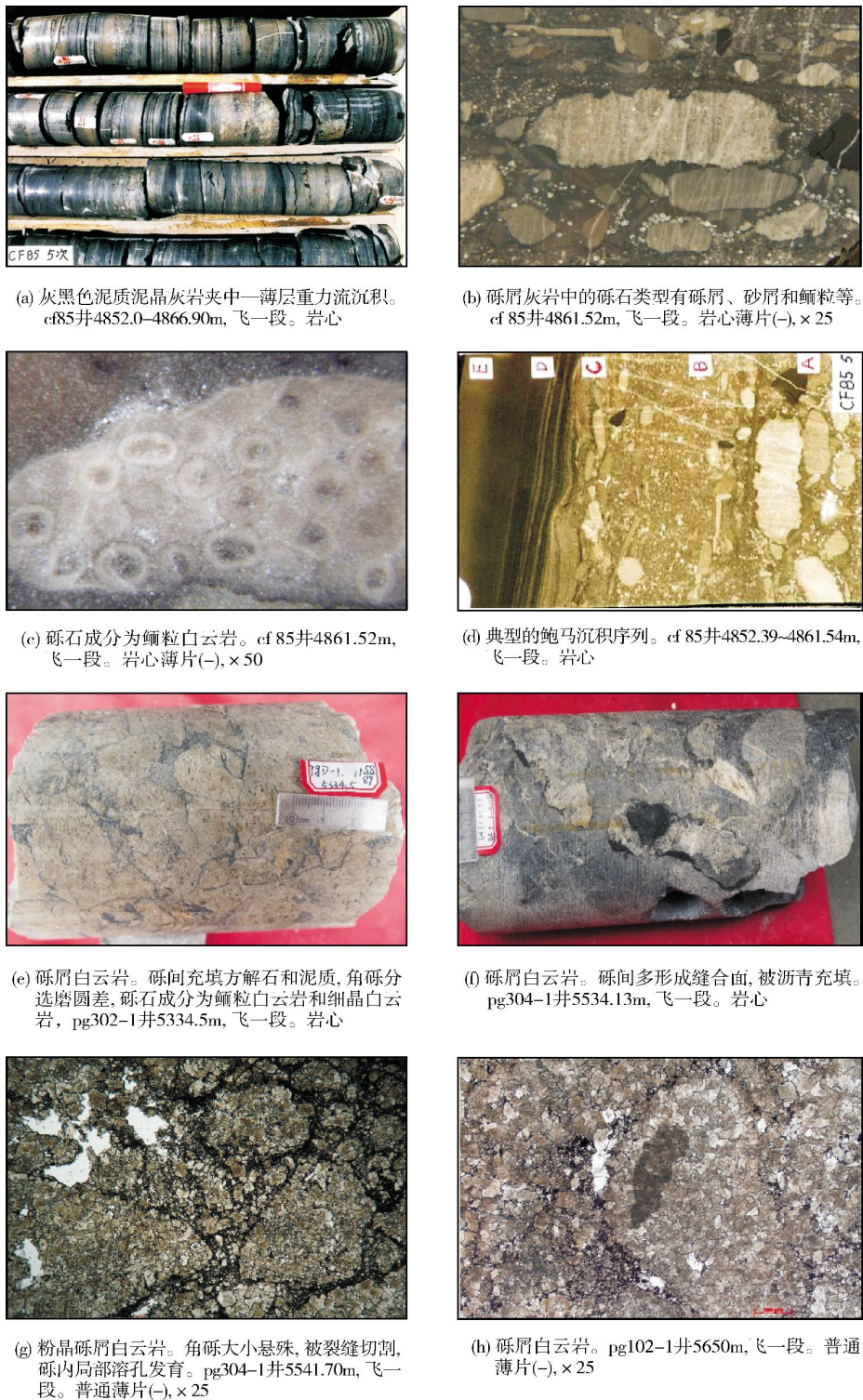


图3 普光地区飞仙关组斜坡带砾屑碳酸盐岩岩性特征

3 斜坡带砾屑碳酸盐岩沉积模式

普光地区飞仙关组的沉积体系可划分为局限台

地、台地边缘、斜坡、陆棚等四大类(图1), 其中, 碳酸盐斜坡为浅水碳酸盐台地至陆棚之间的过渡带, 包含上斜坡和下斜坡。高振中等^[17]根据斜坡的坡度

将碳酸盐岩深水重力流沉积体系分为陡坡型、沟槽型和缓坡型3种模式。

普光地区飞仙关组呈现加积为主的碳酸盐岩斜坡沉积,斜坡坡度在 20° 左右^[18]。在地震剖面上飞仙关组斜坡沉积的倾斜前积反射特征显示较弱。台地边缘浅滩横向上的发育位置基本不变,但在纵向上呈现多期叠置,具厚度大、平面分布范围窄的特征。受峨眉地裂运动的影响^[19],普光地区发育基底大断

裂,因而其所形成的斜坡坡度与沟槽型模式下的斜坡坡度相当。通过野外考察发现,飞仙关组砾屑碳酸盐岩在川东北斜坡带广泛分布,显示了一些重力流或风暴沉积的特征(如图4a,4b)。砾屑呈扁平状,其成因是,处于早期成岩阶段、尚未固结的泥晶灰岩,在风暴或重力流作用下被冲击打碎而垮塌,而后以微晶灰岩砾屑的形式重新沉积成岩,因而常以透镜体状夹层发育在薄层泥晶灰岩层中(如图5)。



(a) 薄—纹层泥晶灰岩中砾屑滩沉积,见底部冲刷构造



(b) 重力流沉积,可明显看到滑塌砾石

图4 川东北城口庙坝剖面飞仙关组台地前缘斜坡砾屑滩沉积特征

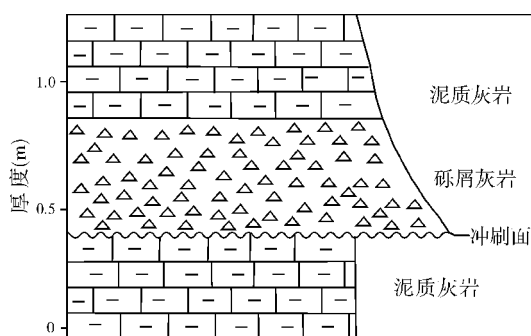


图5 川东北城口庙坝剖面飞仙关组台地前缘斜坡重力流沉积模式图

参考野外露头的砾屑碳酸盐岩发育模式,根据普光地区钻井及地震响应特征、砾屑碳酸盐岩分布、重力流沉积特征、大地构造背景和斜坡地形等,本文建立了普光地区斜坡带沉积模式,如图6所示,把斜坡带划为上斜坡和下斜坡两种沉积亚相带。其中,上斜坡紧邻台地边缘(鲕粒滩),水体浅,坡度大,发育厚层砾屑白云岩;下斜坡紧邻陆棚,为深水斜坡,坡度较缓,发育薄层状砾屑灰岩(图6)。

3.1 上斜坡

上斜坡紧邻台地,相当于台地前缘斜坡,水体浅,

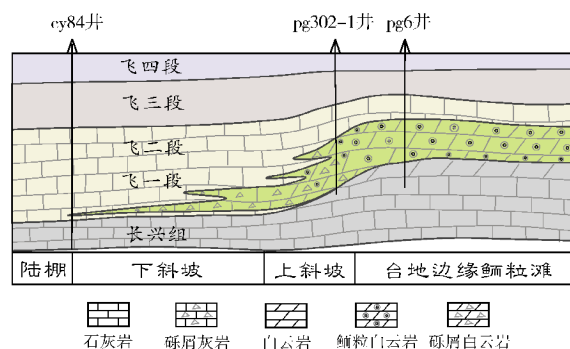


图6 普光地区飞仙关组斜坡带沉积模式图
钻井位置参见图1

因重力流或风暴作用而形成滩前塌积岩。岩性主要为砾屑白云岩、砾屑灰岩及少量的泥质条带灰岩,砾屑主要由来自于台地边缘浅水区的鲕粒白云岩、泥晶白云岩等组成,其次为鲕粒灰岩、泥晶灰岩;砾屑分选差,见滑塌构造、泥纹层及斜层理,反映台地前缘上斜坡的沉积特征。砾屑滩主要发育于台地前缘斜坡的上斜坡,纵向上位于飞仙关组一段的下部,储层的地震反射特征与台地边缘鲕粒滩储层类似,为低频、强—弱振幅、亚平行—斜交板状反射结构(图7)。离台地边缘越近,储层厚度越大,地震反射特征越明显。

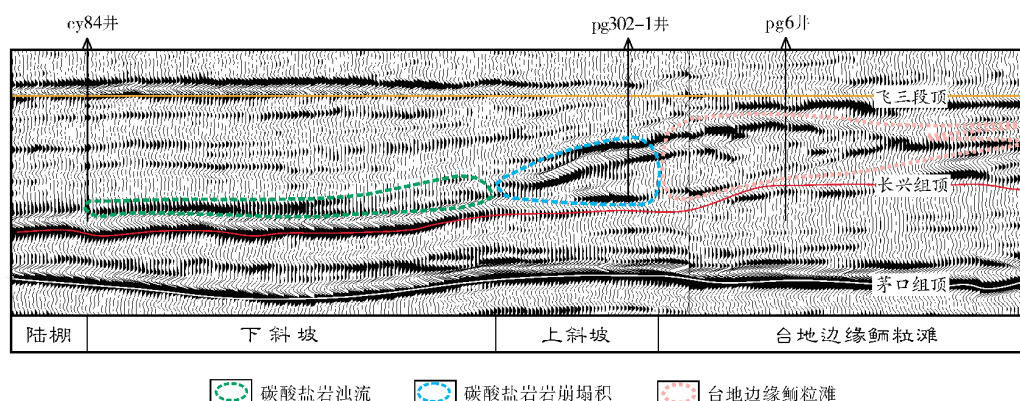


图7 普光地区飞仙关组斜坡带地震反射特征

剖面位置见图1

3.2 下斜坡

下斜坡为深水斜坡,地形坡度逐渐变缓,该环境水体深度大,水动力条件差,水体循环基本停滞,处于氧化界面以下的还原状态,几乎无底栖生物的存在;同时发育许多垂直斜坡走向的小水道,它们不仅是重力流沉积的搬运通道,也是重力流沉积物的主要沉积场所。下斜坡主要发育于飞仙关组一段下部,以深灰色薄层泥晶灰岩、泥质泥晶灰岩、条带状灰岩及瘤状灰岩沉积为主,由于受风暴、地震等因素影响,偶尔发生滑塌作用,在飞一段底部普遍发育浊流成因的薄层状砾屑灰岩。大段岩性特征与陆棚类似,地震反射特征表现为高频、中弱振幅、好连续性、平行反射结构(图7),不具备发育大规模储集体的沉积背景。

4 砾屑碳酸盐岩勘探意义

野外露头及研究区内的钻井岩心观察表明,普光地区飞仙关组沉积早期古地形差异大,台地前缘斜坡带具备砾屑碳酸盐岩发育的有利条件。近陆棚区的下斜坡带主要发育小型砾屑灰岩,为碳酸盐岩浊流成因,其储层厚度较薄,物性较差。例如dw3井和cy84井(位置参见图1),钻遇储层厚度为40.5m和3.0m,孔隙度介于2.0%~4.6%,平均2.8%。dw3井砾屑灰岩储层段中试气,日产天然气 $2.2 \times 10^4 \text{ m}^3$,证实了斜坡带砾屑碳酸盐岩具有较大勘探潜力。而上斜坡紧邻台地边缘带,主要以发育大型砾屑白云岩为主,搬运距离较短,以碳酸盐岩岩崩塌积成因为主,是台地边缘浅滩的延伸。上斜坡砾屑白云岩与台地边缘储层的储集空间类型相似,主要以粒间溶孔和

粒内溶孔为主,且越靠近高能相带,储层厚度越大、物性越好。例如pg304-1井和pg302-1井(位置参见图1)均钻遇砾屑白云岩储层,储层厚度为196.2m和165.0m,孔隙度介于2.3%~11.3%之间,平均为4.8%。本次研究利用地震资料刻画出了斜坡带砾屑碳酸盐岩储层的分布范围,它的有利面积达 87.45 km^2 (图1中的砾屑滩),资源量估算达 $890 \times 10^8 \text{ m}^3$,可列为下步重点勘探方向。

5 结论

(1)普光地区飞仙关组斜坡带发育砾屑碳酸盐岩,主要有砾屑灰岩和砾屑白云岩两种类型。砾屑灰岩粒径变化大,成分杂,为异地搬运后沉积所形成,多数表现为浊流成因;砾屑白云岩中的砾石一般为棱角状、次棱角状,为未经过搬运或经短距离搬运的岩崩塌积成因。

(2)普光地区飞仙关组碳酸盐台地提供物质来源,碳酸盐斜坡中的上斜坡紧邻台地,因重力流或风暴作用形成滩前塌积岩,含有大量来自于台地边缘浅水区的鲕粒白云岩砾屑,是储层发育的有利地带。下斜坡为深水斜坡,坡度逐渐变缓,普遍发育碎屑流成因的薄层状砾屑灰岩,储层发育条件差。

(3)普光地区飞仙关组斜坡带储层与台地边缘滩的地震反射特征相似,呈现低频、强—弱振幅、差连续性、杂乱反射结构。经综合评价,在飞仙关组沉积早期台缘地形坡度较大的地带发育砾屑滩,存在白云石化作用,具备储层发育条件,预测斜坡带(上斜坡+下斜坡)砾屑滩有利圈闭面积 87.45 km^2 ,可作为下一步的重点增储领域。

参考文献

- [1] 马永生. 中国海相油气田勘探实例之六: 四川盆地普光大气田的发现与勘探[J]. 海相油气地质, 2006, 11(2): 35-40.
- [2] 李向峰, 张春生, 刘富艳, 等. 普光气田飞仙关组储层沉积体系及沉积相特征[J]. 海相油气地质, 2010, 15(3): 19-22.
- [3] 程锦翔, 郭彤楼, 谭钦银, 等. 川东北宣汉—达县地区长兴组—飞仙关组礁滩储层特征及其控制因素[J]. 沉积与特提斯地质, 2011, 31(3): 64-70.
- [4] Walker R G, James N P. Facies models: Response to sea-level change[M]. Coniglio M, Dix G R. Carbonate slopes. Newfoundland: Geological Association of Canada, 1992: 349-374.
- [5] 刘宝珺, 叶红专, 蒲心纯. 黔东、湘西寒武纪碳酸盐重力流沉积[J]. 石油与天然气地质, 1990, 11(3): 235-246.
- [6] 李宇平, 王振宇. 塔中地区奥陶系碳酸盐重力流沉积[J]. 新疆石油地质, 1997, 18(3): 231-233.
- [7] 赵永胜, 王多义, 胡志水. 四川盆地西缘早三叠世早期碳酸盐重力流沉积与环境[J]. 沉积学报, 1994, 12(2): 1-9.
- [8] Cozzi A. Facies patterns of a tectonically-controlled Upper Triassic platform-slope carbonate depositional system(Carnian Preaips, Northeastern Italy)[J]. Facies, 2002, 47(1): 151-178.
- [9] 蒋德和. 湘南晚泥盆世余田桥期碳酸盐碎屑流沉积[J]. 岩相古地理, 1989, 44(6): 1-9.
- [10] 牛新生, 王成善, 张玉修. 松潘地区白龙江隆起泥盆纪至三叠纪碳酸盐碎屑流沉积及其古地理意义[J]. 世界地质, 2010, 29(1): 33-44.
- [11] 杜叶龙, 李双应, 贾志海, 等. 再论安徽沿江地区中二叠统栖霞组砾屑灰岩的成因[J]. 地质论评, 2012, 58(3): 426-433.
- [12] 万秋, 李双应, 王松, 等. 鄂西地区茅口组重力流沉积特征及古地理意义[J]. 沉积学报, 2011, 29(4): 704-711.
- [13] 王一刚, 文应初, 洪海涛, 等. 四川盆地及邻区上二叠统一下三叠统海槽的深水沉积特征[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(5): 702-714.
- [14] 时志强, 安红艳, 伊海生, 等. 上扬子地区早三叠世异常碳酸盐岩的分类与特征[J]. 古地理学报, 2011, 13(1): 1-10.
- [15] 陈小军, 罗顺社, 李任远, 等. 燕山地区冀北拗陷雾迷山组角砾云岩的成因[J]. 海洋地质动态, 2010, 26(5): 20-26.
- [16] 李南豪. 川东中石炭统碳酸盐潮坪角砾云岩成因类型及其与油气富集的关系[J]. 石油与天然气地质, 1981, 2(1): 28-36.
- [17] 高振中, 罗顺社, 何幼斌, 等. 鄂尔多斯地区西缘中奥陶世等深流沉积[J]. 沉积学报, 1995, 13(4): 16-26.
- [18] 王一刚, 文应初, 洪海涛, 等. 四川盆地北部晚二叠世—早三叠世碳酸盐岩斜坡相带沉积特征[J]. 古地理学报, 2009, 11(2): 143-156.
- [19] 罗志立. 峨眉地裂运动观对川东北大气区发现的指引作用[J]. 新疆石油地质, 2012, 33(4): 401-407.

编辑: 黄革萍

Sedimentary Characteristics and Depositional Model of A New Type of Reservoir in Feixianguan Formation, Pu Guang Gas Field

Zhou Kai, Wang Meige, Yin Qing, Huang Pei

Abstract: By the observation of the drilling core, it is found that a new type of reservoir, named gravel-sized grain carbonate rocks, is mainly distributed in the Feixianguan Formation of Pu Guang Gas Field in the foreslope of platform. Based on the analysis of gravel composition, development scale, grain size and degree of roundness, it could be divided into calcirudite and dolorudite. It is shown that small scale calcirudite is mainly formed by long distance transportation and with relationship to the turbidity current; and large scale dolorudite is mainly formed by no moving or by short distance transportation and with relationship to the collapsing sediment. In the sedimentary model of gravel-sized grain carbonates in slope belt in Feixianguan Formation of Pu Guang Gas Field, the source of calcirudite is from the carbonate platform, and the big scale dolorudite is usually distributed in the upper slope belt where the favorable reservoir is well developed, but the thin calcirudite is distributed in the lower slope where the reservoir is not developed.

Key words: Feixianguan Formation; Carbonate rock; Slope zone; Sedimentary model; Pu Guang Gas Field; Sichuan Basin

Zhou Kai: Engineer, mainly engaged in natural gas exploration and research work. Add: 3 Units, Green Park Shing International Building 2, Xiangsheng Street, Zhengdong New District, Zhengzhou, Henan 450018, China