Advances in Geosciences 地球科学前沿, 2017, 7(3), 305-312
Published Online June 2017 in Hans. http://www.hanspub.org/journal/ag
https://doi.org/10.12677/ag.2017.73033

Microfacies Analysis and Depositional Environment of a Carbonate Shoal in the Longwangmiao Formation, Central Sichuan Basin

Xianfu Luo[1], Liu Du[1], Wei Jiang[1], Dawei Ren[1], Da Gao[1,2*]

[1]School of Geosciences, Yangtze University, Wuhan Hubei
[2]Basin Analysis Center, Yangtze University, Wuhan Hubei
Email: 1609737935@qq.com, *gaoda18@gmail.com

Received: May 14th, 2017; accepted: Jun. 3rd, 2017; published: Jun. 6th, 2017

Abstract

In order to reveal the depositional environment of the sand shoal of the Longwangmiang Formation, we made an integrated microfacies analysis in both qualitative and quantitative aspects by using core and thin section data of the Longwangmiao Formation in central Sichuan Basin. The result shows that four types of microfacies can be recognized which are dolorudstones (MF1), intraclasts dolograinstone (fine and silt-size crystalline dolomite with sandy structure ghost) (MF2), ooid dolograinstone (MF3), and dolopackstone (with binding structure) (MF4). Combining with the quantitative analysis of graindolomite, the carbonate sands and ooids (MF2-3) were products of a shallow ramp (inner ramp with high energy). MF1 represents redeposition induced by storm wave occurred in a middle ramp. MF4, representing low-energy shoal, was generated in the low-energy middle ramp and in the sag or lagoon that were barricaded by inner-ramp shoals.

Keywords

Carbonate Microfacies, Grain-Size Analysis, Carbonate Ramp, Sand Shoal, Longwangmiao Formation, Sichuan Basin

川中地区龙王庙组颗粒滩的微相分析与沉积环境

罗贤富[1]，杜　柳[1]，江　维[1]，任大伟[1]，高　达[1,2*]

[1]长江大学地球科学学院，湖北 武汉
[2]长江大学沉积盆地研究中心，湖北 武汉

*通讯作者。

文章引用: 罗贤富，杜柳，江维，任大伟，高达. 川中地区龙王庙组颗粒滩的微相分析与沉积环境[J]. 地球科学前沿, 2017, 7(3): 305-312. https://doi.org/10.12677/ag.2017.73033

Email: 1609737935@qq.com, *gaoda18@gmail.com

收稿日期：2017年5月14日；录用日期：2017年6月3日；发布日期：2017年6月6日

摘　要

为了揭示川中地区龙王庙组颗粒滩的沉积环境，利用钻井岩心及薄片资料，开展了定性及定量的碳酸盐岩微相分析。研究表明，龙王庙组颗粒滩发育4种微相类型：砾屑云岩微相(MF1)、砂屑云岩(残余砂屑结构的细粉晶云岩)微相(MF2)、鲕粒云岩微相(MF3)和(黏结状)球粒云岩微相(MF4)。结合颗粒云岩的粒度分析表明，砂屑云岩(残余砂屑结构的细粉晶云岩)微相(MF2)和鲕粒云岩微相(MF3)沉积环境位于浅缓坡(内缓坡高能带)；砾屑云岩微相(MF1)代表着中缓坡带的风暴作用再沉积；(黏结状)球粒云岩微相(MF4)为低能滩，发育于中缓坡低能带和内缓坡的低能洼地或潟湖。

关键词

碳酸盐岩微相，粒度分析，碳酸盐缓坡，颗粒滩，龙王庙组，四川盆地

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial International License (CC BY-NC).
http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/
Open Access

1. 引言

川中磨溪－高石梯地区发现了四川盆地迄今单体规模最大的特大型海相碳酸盐岩整装气藏[1] [2]。关于龙王庙组的沉积与储层特征已开展大量研究，前人研究表明，川中地区龙王庙组储集层主要是在颗粒滩白云岩的基础上叠加了加里东期－海西期的风化壳岩溶改造所形成滩相岩溶型储层[3]。但是关于颗粒滩的沉积环境和早寒武世的古地理背景仍存在争议，如部分学者认为属于局限台地台内滩[4]，另一部分学者认为其发育于碳酸盐缓坡的内缓坡[2] [3]。精细深入的微相研究是确定龙王庙组颗粒滩的沉积环境重要基础，进而有助于颗粒滩相储层的精确预测。本文利用川中地区的钻井、岩心和薄片资料，对龙王庙组颗粒滩开展精细的定性的和定量的微相分析，以确定沉积环境。研究结果对于深入理解川中地区龙王庙组颗粒滩的沉积特征和沉积环境具有重要意义。

2. 区域地质概况

早寒武世时期，四川盆地整体为浅海碳酸盐台地，西侧为康滇古陆，向东南方过渡为半深海斜坡和江南盆地[4]。早古生代，川中地区发育规模较大的古隆起(图 1)。研究区构造上位于发育于震旦纪的高石梯－磨溪古隆起之上，在早寒武世龙王庙组沉积前该古隆起表现为向东倾没的斜坡[5] [6]，为龙王庙组浅水碳酸盐岩沉积的发育奠定了基础，在古地形相对较高的地区，由于波浪和潮汐的共同作用易发育颗粒滩。龙王庙组颗粒滩的岩相类型包括灰色－深灰色颗粒云岩、残余砂屑结构的结晶云岩和砾屑云岩。川中地区钻井揭示龙王庙组厚度介于 80~120 m，纵向上可划分为 2 个四级层序或沉积旋回，颗粒滩主要分布在各层序的中上部[3]。

3. 微相分析

根据研究区内 20 口钻井取心和 120 件薄片的观察分析，识别出川中地区龙王庙组颗粒滩的 4 种微相

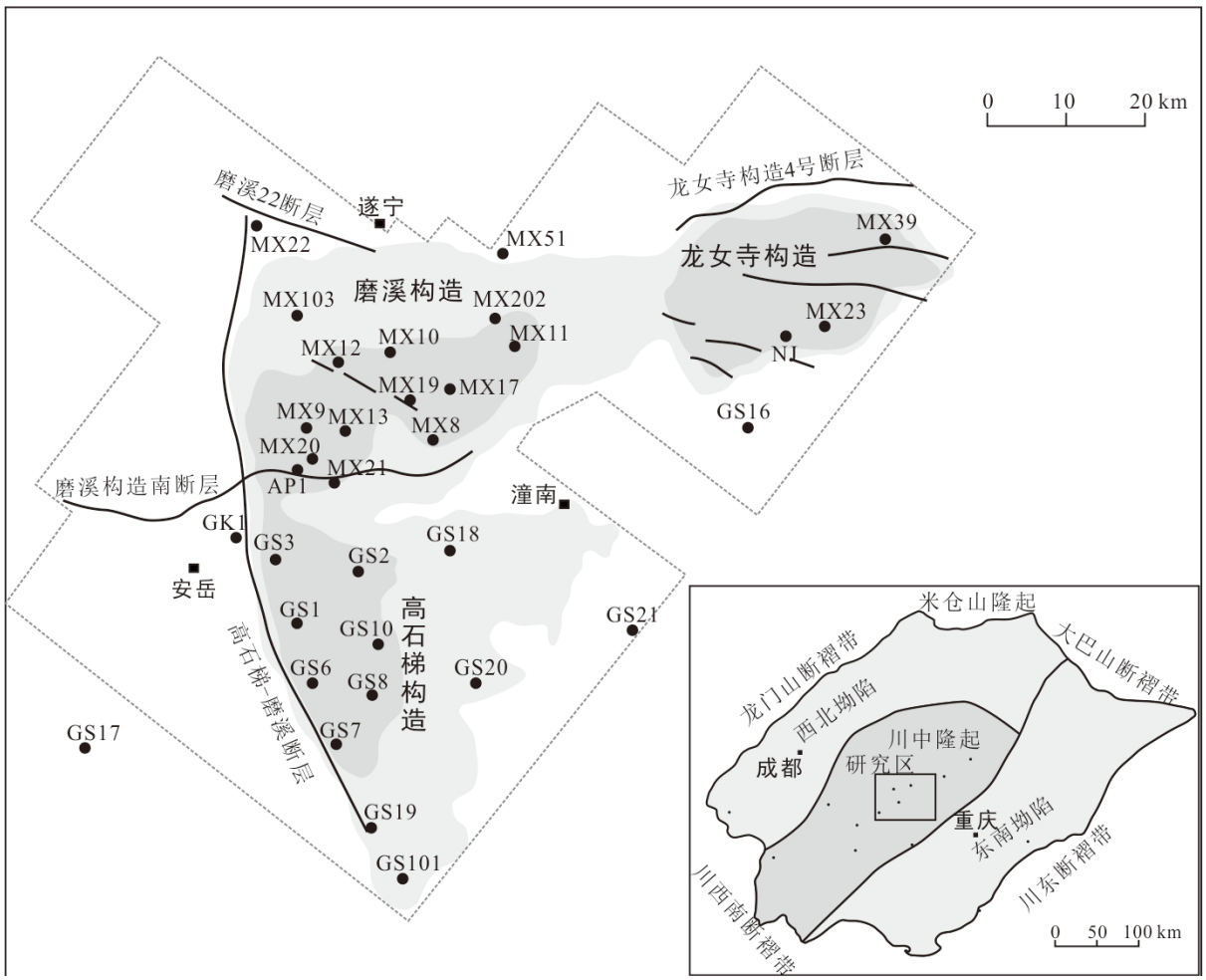


Figure 1. Location and structure of the study area (Modified from Wei [5])
图 1. 研究区位置及构造纲要图(据魏国齐等[5]修改)

类型(MF1~MF4)，这些微相类型分别能与 Flügel 修订的镶边碳酸盐缓坡的 30 种标准微相类型(RMF1~RMF30)中的 4 种有良好的对应[7]。

3.1. 砾屑云岩微相(MF1)

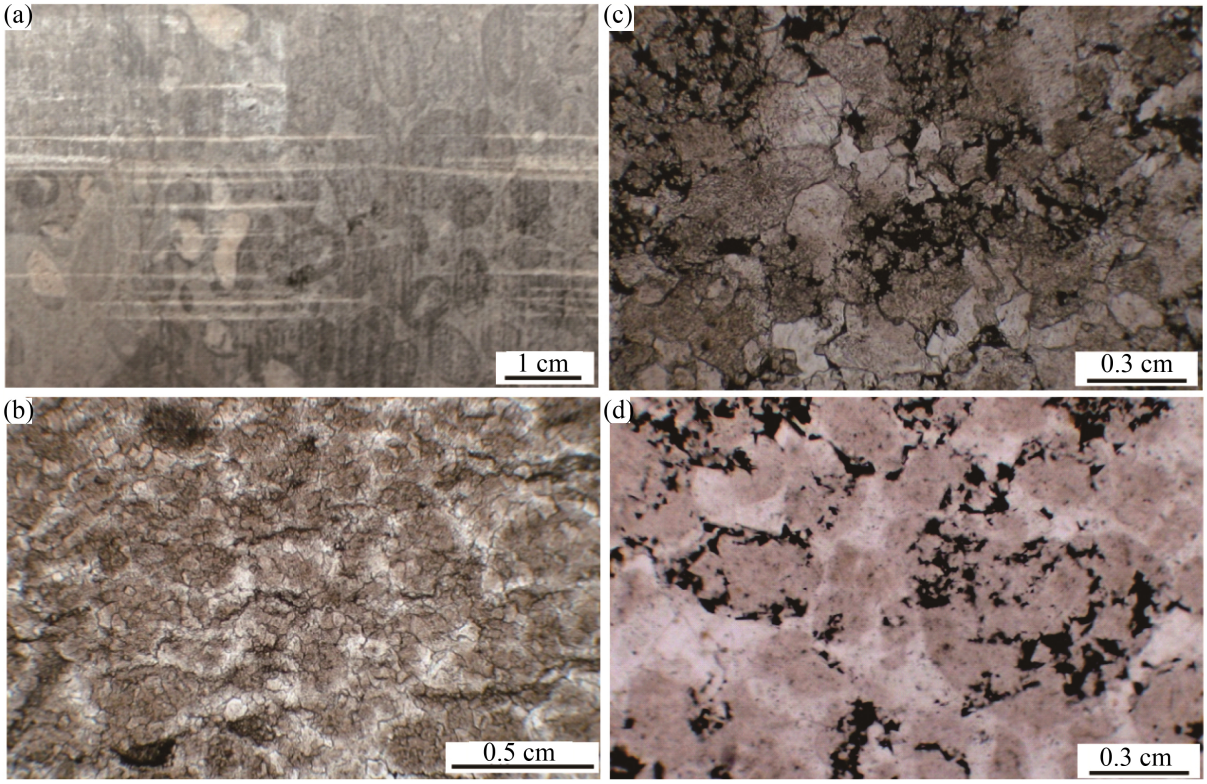
描述：砾屑在岩心上呈薄层夹层状产出于暗色泥晶云岩和泥质条带泥晶云岩中，单层厚度 0.1~0.2 m (图 2(a))。部分岩心呈砾屑颗粒支撑结构，部分砾屑漂浮于泥晶基底中，砾屑颗粒含量约 30%~60%，砾屑分选中等、磨圆度为次圆状。粒间部分为白云石胶结、部分为泥晶白云石基质，可见少量较小的球粒和内碎屑(0.2~0.3 mm)。相当于标准微相 RMF9。

解释：该微相形成于风暴浪基面之上的浅海，沉积机制为风暴作用导致的碎屑流沉积。

3.2. 砂屑云岩微相(残余颗粒结构的细粉晶云岩)(MF2)

描述：部分样品砂屑结构清楚(图 2(b))，还有一部分样品在单偏光镜下整体为细粉晶(图 2(c))，在薄片与载物台之间加垫白色打印纸后能分辨原始颗粒结构(图 2(d))。颗粒类型主要包括暗色泥晶构成的球度较高的内碎屑或似球粒，分选较好，砂屑粒径主要集中在 0.2~0.3 mm。相当于标准微相 RMF30。

解释：较高的颗粒含量、较好的分选和磨圆程度共同反映持续高能的水动力，沉积环境为浪基面之



(a) 砾屑云岩(MF1)，砾屑呈薄层夹层状产出，分选中等，磨溪 17 井(4681.6 m)；(b) 砂屑云岩(MF2)，颗粒较为清晰，分选好，圆度中等，磨溪 13 井(4597.2 m)；(c). 砂屑云岩(MF2)，整体为细粉晶结构，磨溪 13 井(4584.9 m)；(d) 砂屑云岩，与(c)属于同一视域，加垫白色打印纸，砂屑颗粒结构清晰，磨圆中等，分选中等，磨溪 13 井(4584.9 m)。

Figure 2. Characteristics of dolorudstones (MF1) and intraclasts dolograinstone (fine and silt-size crystalline dolomite with sandy structure ghost) (MF2)
图 2. 砾屑云岩微相(MF1)与砂屑颗粒云岩微相(残余颗粒结构的细粉晶云岩) (MF2)特征图版

上的高能砂屑滩。

3.3. 鲕粒云岩微相(MF3)

描述：颗粒支撑，颗粒分选好、外形浑圆，粒径主要分布在 0.3~1.0 mm (图 3(a) and 图 3(b))。鲕粒含量>80%。由于受到泥晶白云石化作用，极少部分鲕粒尚保留圈层结构。粒间为粉晶白云石胶结物，呈环边状发育于鲕粒边缘，常见残余粒间孔及少量沥青充填。相当于标准微相 RMF29。

解释：分选好的鲕粒反映受强烈波浪和潮汐影响的持续高能水动力背景和快速的沉积速率，沉积环境为浪基面或平均低潮面之上的为浅水高能鲕粒滩。

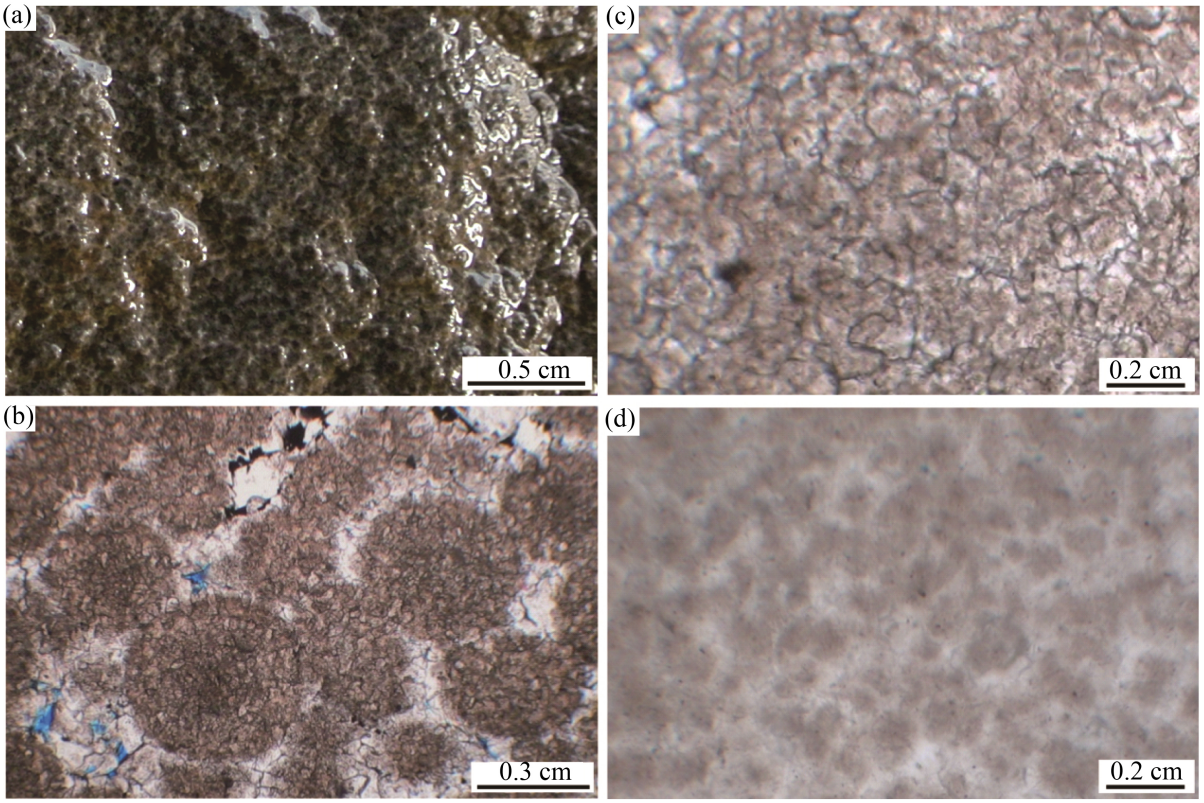
3.4. (黏结状)球粒云岩微相(MF4)

描述：单偏光镜下多呈泥晶结构(图 3(c))，垫白色打印纸才呈现出颗粒结构(图 3(d))。颗粒支撑，颗粒含量>60%，粒径主要为~0.1 mm，次圆状至圆状或椭圆状。颗粒类型为球粒及粪球粒，也常见黏结状结构，颗粒黏连在一起呈一整片。颗粒间主体为亮晶白云石胶结，可见泥晶基质。相当于标准微相 RMF13。

解释：较细的以球粒为主的颗粒代表稳定的弱－中等水动力，沉积环境为受障壁的低能潟湖。

4. 高能颗粒滩微相的粒度分析

在定性的微相分析基础上，对两种反映高能颗粒滩的微相类型(MF2 和 MF3)开展了基于薄片图像的



(a). 被水浸湿的鲕粒云岩(MF3)，高石 6 井(4546.7 m)；(b). 鲕粒云岩(MF3)，分选好，颗粒边界清晰，同心层不清晰，可见残余粒间孔亮晶胶结，高石 6 井(4546.7 m)；(c). 黏结状球粒云岩(MF4)，整体为泥－粉晶结构，磨溪 13 井(4631.5 m)；(d)与(c)属于同一视域，加垫白色打印纸，明显的黏结状球粒结构，球粒间主体为亮晶白云石胶结，部分含泥晶基质，磨溪 13 井(4631.5 m)。

Figure 3. Characteristics of ooid dolograinstone (MF3) and dolopackstone (with binding structure) (MF4)
图 3. 鲕粒云岩微相(MF3)及黏结状球粒云岩微相(MF4)特征图版

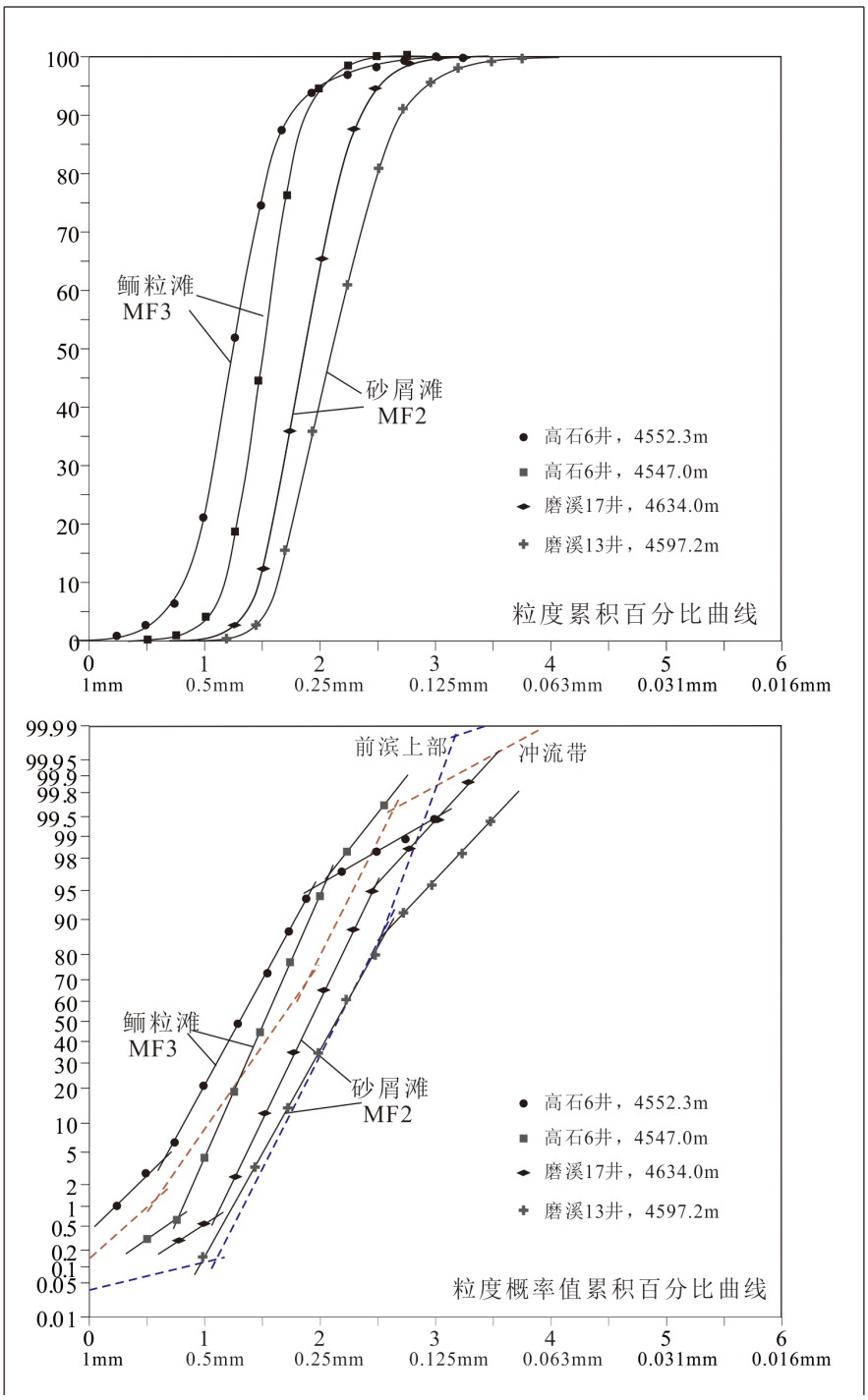
粒度分析。选取了 9 个薄片样品，每个薄片样品逐一量取 300~400 个点，并对薄片量取的粒度使用公式($\varphi1 = \varphi2 \times 0.9027 + 0.3815$)进行校正，对校正后的结果分别制作粒度累积曲线和概率累积曲线，图像叠加后显示相同微相粒度曲线重合度高，分别选取 4 个样品代表以上 2 种微相的粒度分析图叠加如(图 4)。

从累积百分比曲线来看：总体各曲线均呈现平滑的“S”形，各曲线趋势大致一样，整体粒度跨度不大，集中在一个较小的范围内。鲕粒云岩的累积百分比曲线整体位于砂屑云岩百分比曲线左侧，即鲕粒云岩微相(MF3)的粒度大于砂屑云岩微相(MF2)的粒度，与薄片的观察一致。

从概率累积百分比曲线来看：鲕粒云岩微相包含 3 个斜率明显不同的粒度次总体，粗尾部分即滚动组分占颗粒总体的 0.5%~3%，细尾部分组分即悬浮组分占颗粒总体的 3%~5%，跳跃组分斜率较大；砂屑云岩微相包含 2 个或 3 个斜率明显不同的粒度次总体，滚动次总体约占到 0.1%~0.5%，悬浮次总体约占到 5%~10%，其余为跳跃次总体。

5. 沉积环境解释

前人对于龙王庙组的颗粒滩的沉积环境解释不尽相同，包括局限台地台内滩[4]、内缓坡颗粒滩[2]和风暴潮坪[9]。通过定性的和定量的微相分析，发现龙王庙组的颗粒滩可以依据粒度和颗粒类型进一步划分为砾屑滩(MF1)、砂屑滩(MF2)、鲕粒滩(MF3)和球粒滩(MF4)等 4 种亚类。砂屑滩和鲕粒滩均具有很好的分选性、中砂级的粒度、次圆－圆的磨圆度，粒度概率累积百分比曲线样式与碎屑岸环境中的冲流带和前滨带很相似，并且与塔中地区良里塔格组的台缘鲕粒滩和台缘生屑－砂屑滩的曲线接近[10]，因此它



(冲流带、前滨上部的概率累积百分比曲线(彩色虚线)引自维谢尔[8])

Figure 4. Grain-size analysis of intraclasts dolograinstone (fine and silt-size crystalline dolomite with sandy structure ghost) (MF2) and ooid dolograinstone (MF3) of shoal deposits of the Longwangmiao Formation

图 4. 川中地区龙王庙组砂屑滩微相与鲕粒滩微相的粒度分析图

们的沉积环境应为正常浪基面之上的、受波浪和潮汐持续扰动的浅水高能环境。结合粒度分析认为，鲕粒滩与砂屑滩相比，具有相对更粗的粒径、更高的滚动组分和更低的悬浮组分，因此鲕粒滩的沉积水体

更浅、沉积水动力更强。结合区域地质背景分析，认为应它们属于内缓坡高能带(浅缓坡)。砾屑滩中颗粒的粒径最大、分选中等－差，微相特征及沉积序列与宋金民等[9]描述的发育于川中地区下寒武统风暴岩特征相同，应解释为典型的风暴作用沉积，沉积于风暴浪基面之上的浅缓坡－中缓坡带。球粒滩在龙王庙组也是普遍发育的，属于典型的低－中能潟湖沉积，发育于中缓坡环境或内缓坡滩间洼地及潟湖环境。

总体上，研究区龙王庙组沉积区属于内缓坡－中缓坡交互沉积区，特别是向龙王庙组的上部，过渡到以内缓坡沉积为主。早寒武世龙王庙组沉积期，四川盆地内的德阳－安岳裂陷槽发育趋于萎缩至消亡，川中地区具有平缓的古地理背景[1] [11] [12]，为发育碳酸盐缓坡提供了良好的条件。川中地区主要以内缓坡－中缓坡沉积为主，向川东南地区过渡为地形凹陷的较深水沉积区，以发育泥质灰岩、泥质云岩、膏质云岩和膏泥岩为主，又被称为川东台内凹陷区[13]或内缓坡台内凹[14]。

6. 结论

川中地区龙王庙组颗粒滩包括 4 种微相：砾屑云岩微相(MF1)、砂屑颗粒云岩(残余砂屑结构的细粉晶云岩)微相(MF2)、鲕粒云岩微相(MF3)和(黏结状)球粒云岩微相(MF4)。

结合粒度分析认为砂屑滩(MF2)和鲕粒滩(MF3)均发育于正常浪基面之上的内缓坡高能带，与碎屑滨岸的前滨带环境类似，鲕粒滩沉积水动力更强；砾屑滩(MF1)为发育于风暴浪基面之上的碎屑流沉积；球粒云岩的沉积水动力为最弱(MF4)；球粒滩则主要发育于中缓坡和内缓坡的低能带。

致　谢

感谢中国石油勘探开发研究院廊坊分院和中国石油西南油气田公司对项目研究的支持，感谢匿名审稿专家提出的意见和建议。

基金项目

国家自然科学基金(41502104)、长江大学大学生创新创业计划项目(2016017)、长江大学长江青年基金项目(2015cqn30)。

参考文献 (References)

[1] 杜金虎, 邹才能, 徐春春, 等. 川中古隆起龙王庙组特大型气田战略发现与理论技术创新[J]. 石油勘探与开发, 2014, 41(3): 268-277.

[2] 周进高, 房超, 季汉成, 等. 四川盆地下寒武统龙王庙组颗粒滩发育规律[J]. 天然气工业, 2014, 34(8): 27-36.

[3] 金民东, 曾伟, 谭秀成, 等. 四川磨溪－高石梯地区龙王庙组滩控岩溶型储集层特征及控制因素[J]. 石油勘探与开发, 2014, 41(6): 650-660.

[4] 冯增昭, 彭勇民, 金振奎, 等. 中国早寒武世岩相古地理[J]. 古地理学报, 2002, 4(1): 1-12.

[5] 魏国齐, 杨威, 杜金虎, 等. 四川盆地高石梯－磨溪古隆起构造特征及对特大型气田形成的控制作用[J]. 石油勘探与开发, 2015, 42(3): 257-265.

[6] 许海龙, 魏国齐, 贾承造, 等. 乐山－龙女寺古隆起构造演化及对震旦系成藏的控制[J]. 石油勘探与开发, 2012, 39(4): 406-416.

[7] Flügel, E. (2004) Microfacies Analysis of Limestone: Analysis, Interpretation and Application. 2nd Edition, Springer-Verlag, Berlin.

[8] Visher, G.S. (1969) Grain Size Distributions and Depositional Processes. *Journal of Sedimentary Research*, **39**, 1074-1106.

[9] 宋金民, 刘树根, 赵异华, 等. 川中地区中下寒武统风暴岩特征及沉积地质意义[J]. 石油学报, 2016, 37(1): 30-42.

[10] 付坤荣, 黄理力, 祝怡, 等. 塔中地区晚奥陶世碳酸盐台地边缘与台地内部的沉积差异——定性和定量的碳酸盐岩微相综合分析[J]. 沉积学报, 2017.

[11] 刘树根, 孙玮, 罗志立, 等. 兴凯地裂运动与四川盆地下组合油气勘探[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2013, 40(5): 511-520.

[12] 魏国齐, 杨威, 杜金虎, 等. 四川盆地震旦纪－早寒武世克拉通内裂陷地质特征[J]. 天然气工业, 2015, 35(1): 24-35.

[13] 姚根顺, 周进高, 邹伟宏, 等. 四川盆地下寒武统龙王庙组颗粒滩特征及分布规律[J]. 海相油气地质, 2013, 18(4): 1-8.

[14] 杜金虎, 张宝民, 汪泽成, 等. 四川盆地下寒武统龙王庙组碳酸盐缓坡双颗粒滩沉积模式及储层成因[J]. 天然气工业, 2016, 36(6): 1-10.

期刊投稿者将享受如下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：http://www.hanspub.org/Submission.aspx
期刊邮箱：ag@hanspub.org