

doi: 10.19509/j.cnki.dzkq.2017.0619

代林呈,朱祥,李毕松,等.川东地区龙王庙组颗粒滩发育特征及分布规律[J].地质科技情报,2017,36(6):181-189.

# 川东地区龙王庙组颗粒滩发育特征及分布规律

代林呈<sup>1</sup>,朱祥<sup>1</sup>,李毕松<sup>1</sup>,王兴志<sup>2</sup>,曾德铭<sup>2</sup>

(1.中国石油化工股份有限公司勘探分公司研究院,成都610041;2.西南石油大学地球科学与技术学院,成都610500)

**摘要:**以川东地区龙王庙组颗粒滩为研究对象,在综合野外剖面、钻井、测录井、岩心和薄片等资料的基础上,对区内龙王庙组颗粒滩特征、分布规律和主控因素进行了研究。研究区颗粒滩岩石类型包括颗粒白云岩和颗粒灰岩,颗粒类型以砂屑为主,其次为鲕粒和砾屑。颗粒滩主要发育泻湖—颗粒滩、泻湖—颗粒滩—台坪、滩间海—颗粒滩3种向上变浅、粒度变粗的沉积序列。单个沉积序列中的颗粒滩厚度一般小于2m,纵向上具有良好的继承性,表现为多个单旋回薄单体的叠置;横向上,颗粒滩规模小,连续性较差,具有滩核向滩缘快速尖灭的特征;平面上,颗粒滩主要分布在古地貌高地核部和翼部,总体上呈点状沿北东向展布,平面连续性差。颗粒滩分布的主控因素为海平面升降变化和古地貌,海平面升降变化控制了颗粒滩的发育特征和叠置样式,古地貌决定了颗粒滩的横向连续性和平面分布特征。对比研究表明,围绕泻湖等台内较大洼地周围发育的古地貌高地为川东地区龙王庙组颗粒滩相储层发育有利区,纵向上主要分布于龙王庙组下段的上部与上段的中上部。

**关键词:**川东地区;龙王庙组;颗粒滩;分布规律;主控因素

中图分类号:P588.12

文献标志码:A

文章编号:1000-7849(2017)06-0181-09

颗粒滩相碳酸盐岩储层是世界油气勘探领域的主要研究对象之一,中东侏罗系加瓦尔油田、塔里木盆地奥陶系塔中油田以及四川盆地普光二叠系飞仙关组滩相气田等一系列大型油气田的发现显示颗粒滩相碳酸盐岩储层具有巨大的勘探潜力<sup>[1-4]</sup>。近期四川盆地寒武统龙王庙组油气勘探取得了重大突破,在川中磨溪—高石梯地区龙王庙组发现了中国迄今为止单体规模最大的海相碳酸盐岩整装气田<sup>[5-6]</sup>,这引起了国内外地质学者对四川盆地龙王庙组颗粒滩相碳酸盐岩储层的广泛关注。前期研究表明,该套储层主要受颗粒滩分布以及加里东—海西期表生岩溶作用的联合控制,颗粒滩是该套储层形成的物质基础<sup>[7]</sup>,可见四川盆地龙王庙组储层的发育与颗粒滩的分布密切相关。

现今勘探研究成果表明,颗粒滩的发育与分布主要受控于构造古隆起的形成与演化<sup>[8-9]</sup>、古水动力<sup>[10]</sup>、相对海平面变化<sup>[11-12]</sup>以及古微地貌<sup>[13-14]</sup>等因素。周进高等<sup>[15]</sup>通过对四川盆地寒武统龙王庙组颗粒滩发育规律进行研究,认为龙王庙组颗粒滩横向上沿膏岩湖两侧呈带状分布,平面上微地貌高地是滩体发育的有利区;马腾等<sup>[16]</sup>基于龙王庙组颗粒滩沉积特征的研究,认为次一级海平面升降变化

对滩体的垂向叠置样式和横向连续性具有重要影响。总体上,前人对于龙王庙组颗粒滩的研究主要集中于川中地区,而对川东地区龙王庙组颗粒滩的研究大多是在以四川盆地龙王庙组为研究对象时有所提及,研究程度相对较低,这严重制约了该区域龙王庙组颗粒滩相储层的预测与评价。

因此,笔者拟以川东地区野外剖面、钻井和测录井等资料为基础,对研究区龙王庙组颗粒滩的沉积特征和分布规律进行研究,探讨龙王庙组颗粒滩分布的主控因素,以期对川东地区龙王庙组的进一步油气勘探与开发提供有益的地质资料。

## 1 区域地质概况

川东地区位于扬子板块西北部,面积约为27000 km<sup>2</sup>,其范围界于北纬28°~32°40′、东经106°30′~110°之间,地理范围包括四川东部、陕西南部、湖北西部、贵州北部、云南东北部及重庆市辖区。川东地区在构造位置上主要位于川东高陡构造带,区域内以发育自西向东展布的NE—NNE向隔挡式褶皱构造为主要特征<sup>[17]</sup>。

川东地区寒武系发育良好,由下至上可划分为

收稿日期:2016-10-21

编辑:杨勇

基金项目:中国石化科技部项目“四川盆地组合油气富集规律与目标评价”(P16083)

作者简介:代林呈(1991—),男,助理工程师,主要从事沉积及储层地质学和研究工作。E-mail: dailc.ktnf@sinopec.com

筇竹寺组、沧浪铺组、龙王庙组、陡坡寺组和洗象池群。龙王庙组沉积于早寒武世晚期,与下伏沧浪铺组、上覆陡坡寺组均呈整合接触。岩性以颗粒白云岩、晶粒白云岩、颗粒灰岩和泥晶灰岩为主,局部区域发育膏岩、泥质云岩及泥质灰岩等,厚度一般 50~250 m,总体上具有西北薄东南厚的特征。

沉积相研究表明,川东地区龙王庙组属于海退背景下的碳酸盐岩台地沉积<sup>[17]</sup>,结合区域沉积背景和沉积特征,将研究区龙王庙组划分为局限台地相、

开阔台地相和潮坪相,并以局限台地相为主要相类型。局限台地相主要发育于研究区西部—西北部,岩性以颗粒白云岩和晶粒白云岩为主。开阔台地相主要分布于研究区东部如城口石溪河和习水良村—D1 井—石柱双流坝一线以东的地区,岩性以颗粒灰岩和晶粒灰岩为主。在研究区西北部双汇—沙滩一线以西地区,距离陆源碎屑物源区较近,受陆源碎屑注入影响严重,发育混积潮坪沉积(图 1)。

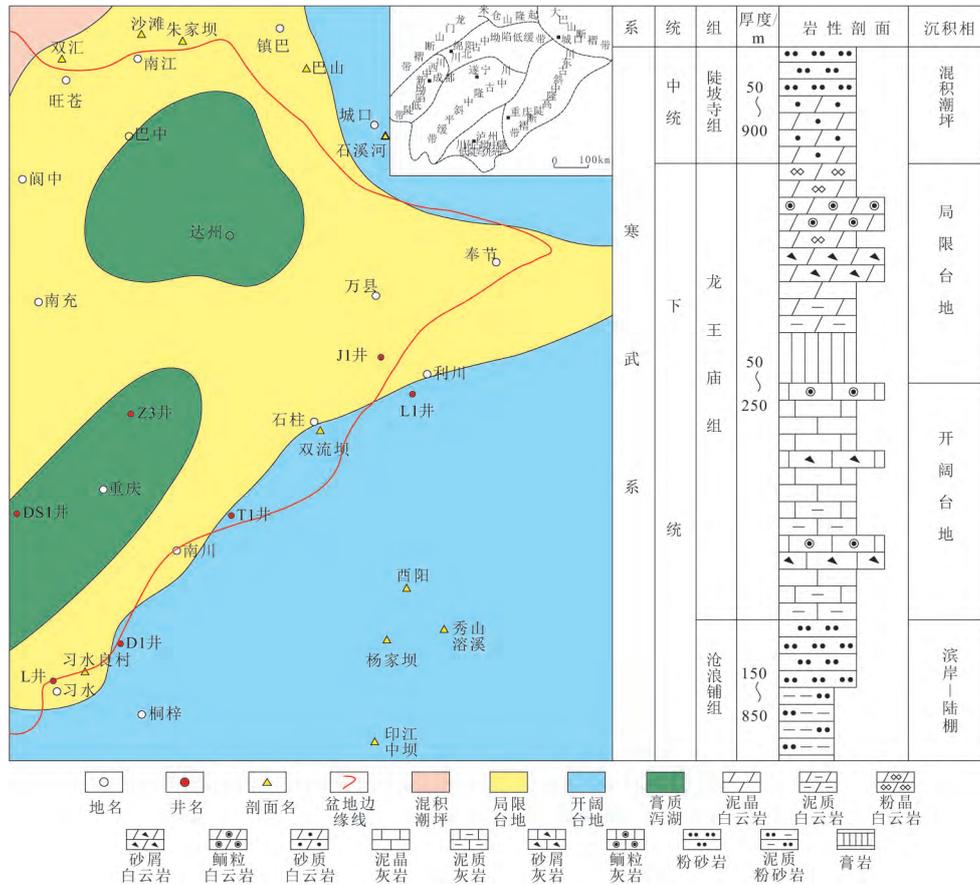


图 1 川东地区龙王庙组沉积相、地层剖面及构造位置图

Fig. 1 Sedimentary facies, stratigraphic characteristics and tectonic location of Longwangmiao Formation in eastern Sichuan Basin

## 2 颗粒滩岩石学特征

综合野外露头、岩心观察以及镜下薄片研究表明,川东地区龙王庙组颗粒滩岩石类型主要为颗粒白云岩和颗粒灰岩 2 种类型,颗粒类型以砂屑为主,其次为鲕粒和砾屑。根据颗粒成分,可划分出砂屑滩、鲕粒滩和砾屑滩 3 种。

### 2.1 颗粒白云岩

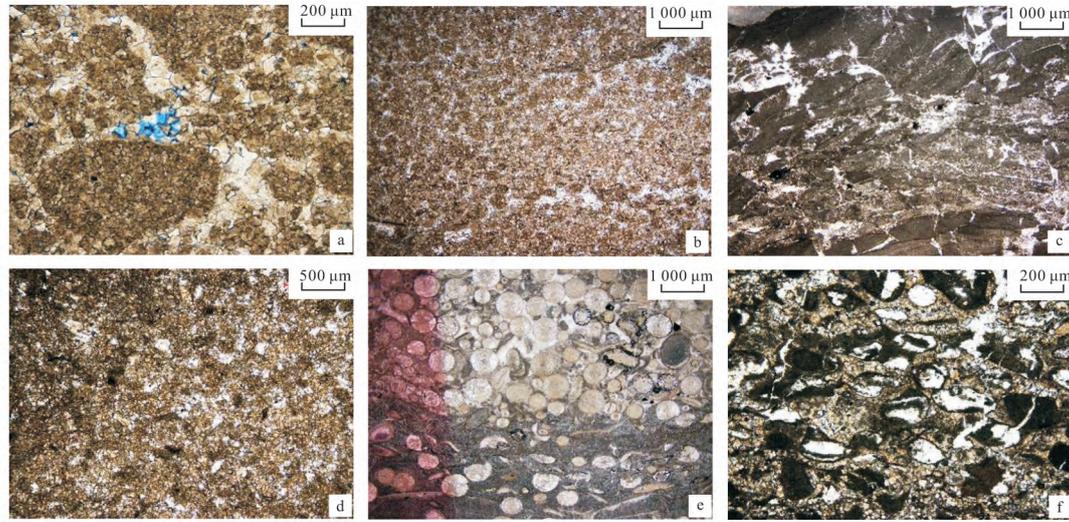
研究区颗粒白云岩以砂屑白云岩为主,其次为鲕粒白云岩,砾屑白云岩发育较少。砂屑白云岩呈灰—浅灰色,薄层—中厚层状,砂屑颗粒主要由泥—粉晶白云石组成,体积分数 50%~80%,粒径一般

0.5~1.2 mm,分选、磨圆中等—较好,多呈次棱角状或椭圆状(图 2-a)。鲕粒白云岩呈深灰—灰色,中厚层状,鲕粒主要由泥—粉晶白云石组成,体积分数 55%~75%,鲕径一般 0.8~1.2 mm,主要为正常鲕和单晶鲕,分选、磨圆较好,呈圆状或椭圆状(图 2-b)。部分砂屑和鲕粒间可见 2 期白云石胶结,第一期为马牙状白云石;第二期为粒状白云石,粒内溶孔、铸模孔发育,被白云石或方解石等近全充填。砾屑白云岩呈深灰—灰色,多以透镜状夹于砂屑白云岩中,砾屑主要由泥—粉晶白云石组成,体积分数 50%~60%,粒径一般 2~5 mm,分选、磨圆较差,多呈次棱角状(图 2-c)。颗粒白云岩类主要的储集空间包括

粒内溶孔、粒间溶孔、晶间溶孔和铸模孔,孔径一般 0.020~0.075 mm,被方解石和白云石等近半一近全充填,面孔率介于 1%~5%之间,最大可达 7%。

此外,在强烈白云石化、重结晶作用的影响下,颗粒的原始结构变得模糊,形成具有残余颗粒结构的粉一细晶白云岩,主要由粉一细晶白云石组成,多呈半自形,在镜下可见到颗粒的轮廓与痕迹,晶间孔

和晶间溶孔发育,但大部分被白云石等近半一近全充填,孔隙度一般 1%~2%(图 2-d)。这类晶粒白云岩处于颗粒白云岩发育的滩相旋回中,在镜下缺乏指示潮上暴露环境的沉积构造,如鸟眼孔和干裂,也没有与藻类伴生的弱水动能组结构特征,晶粒大小分异程度小,颜色整体偏浅,无泥质条带,与台坪亚相和泻湖亚相的泥粉晶白云岩区别明显。



a. 亮晶含砾砂屑白云岩,粒间溶孔发育,见 2 期白云石胶结物,第一期呈马牙状,第二期呈粒状,秀山溶溪剖面,单偏光;b. 亮晶鲕粒白云岩,分选、磨圆一般,鲕粒圈层结构较难识别,南江沙滩剖面,单偏光;c. 砾屑白云岩,分选、磨圆较差,岩性致密,镇巴巴山剖面,单偏光;d. 具残余砂屑结构的粉晶白云岩,颗粒结构已被破坏,仅见颗粒幻影,白云石以半自形为主,岩性致密,镇巴巴山剖面,单偏光;e. 鲕粒灰岩,分选、磨圆一般一较好,鲕粒核心经后期溶蚀作用被方解石等近全充填,岩性致密,秀山溶溪剖面,单偏光;f. 砂屑灰岩,分选、磨圆较差,呈次棱角状,粒内溶孔发育,被方解石等近全充填,石柱双流坝剖面,单偏光

图 2 川东地区龙王庙组颗粒岩特征

Fig. 2 Characteristics of grain rocks of Longwangmiao Formation in eastern Sichuan Basin

## 2.2 颗粒灰岩

研究区颗粒灰岩主要为鲕粒灰岩,次为砂屑灰岩。鲕粒灰岩呈深灰一灰色,中厚层状,鲕粒主要由泥一粉晶方解石组成,体积分数 50%~80%,鲕径一般 0.8~1.5 mm,主要为正常鲕,分选、磨圆较好,呈圆状或椭圆状(图 2-e);此外,部分鲕粒间可见 2 期白云石或方解石胶结,第一期呈马牙状;第二期呈粒状,粒间溶孔、粒内溶孔少见,被白云石等近全充填。砂屑灰岩少见,呈深灰一灰色,多以透镜状夹于鲕粒灰岩或泥晶灰岩中,体积分数 50%~70%,粒径一般 0.5~1.2 mm,分选、磨圆较差,多呈次棱角状(图 2-f)。颗粒灰岩储集空间主要为粒间溶孔、粒内溶孔和残余粒间孔,孔径一般 0.015~0.070 mm,被方解石和白云石等近半一近全充填,面孔率 1%~2%,储集性能整体弱于颗粒白云岩。

## 3 颗粒滩垂向沉积特征

受海平面升降变化的影响,研究区龙王庙组颗

粒岩具有明显的下细上粗的逆粒序和向上变浅的沉积特征,显示出典型的陆表海台地沉积特点<sup>[18]</sup>。一般下部为深水环境中形成的暗色细粒物质,向上逐渐过渡为浅灰一灰色颗粒岩,表明研究区沉积水体能量逐渐增强。结合颗粒滩的宏微观特征,在研究区龙王庙组可识别出 3 种与颗粒滩有关的垂向沉积序列(图 3)。

### 3.1 泻湖一颗粒滩

这类沉积序列是研究区龙王庙组颗粒滩主要的沉积序列,以发育向上变粗的反韵律层为特征,单滩体厚度一般小于 2 m,底部岩性渐变,顶部岩性突变,垂向上表现为多个薄滩体的叠置,形成具有一定厚度的颗粒岩段。单个沉积序列底部主要为深灰色泥质白云岩和泥晶白云岩的泻湖沉积物,向上过渡为由浅灰一灰色砂屑白云岩、鲕粒白云岩和具残余颗粒结构的粉一细晶白云岩组成的颗粒滩,滩体受垂向堆积作用的影响迅速向上生长,沉积水体变浅,最终暴露在海平面之上而终止发育。在向上变浅的颗粒滩中,受海平面升降变化及颗粒岩垂向堆积等因素的影

响,滩体顶部在同沉积期极易暴露于海面,受到同生岩溶作用影响,形成呈层状发育的孔隙性储层(图 3-A)。

### 3.2 泻湖—颗粒滩—台坪

这类沉积相序底部主要为深灰色泥质白云岩和泥晶白云岩的泻湖沉积物,向上过渡为浅灰—灰色的砂屑白云岩、鲕粒白云岩和具残余颗粒结构的粉—细晶白云岩组成的颗粒滩,随着海平面的缓慢下降,滩体逐渐处于潮上低能带,顶部沉积一套浅灰—灰色泥—粉晶白云岩的台坪沉积物。通过对单井和野外剖面的观察,台坪亚相可以由泻湖随海平面相对性下降向上变浅演化而成,也可由颗粒滩向上变

浅至潮上低能带演化而成,沉积物粒度由下至上具有细—粗—细的变化特征,形成典型的泻湖—台内滩—台坪的沉积相序(图 3-B)。

### 3.3 滩间海—颗粒滩

这类沉积相序在局限台地与开阔台地均有发育,底部主要为深灰色泥质、泥晶白云岩或泥质、泥晶灰岩的滩间海沉积物,向上过渡为由浅灰—灰色颗粒白云岩或颗粒灰岩组成的颗粒滩,颗粒岩以泥亮晶胶结为主,粒度较小,分选、磨圆一般—较差,单滩体规模小,厚度较薄,一般小于 2 m,垂向上沉积物粒度由下至上具有细—粗—细的变化特征(图 3-C)。

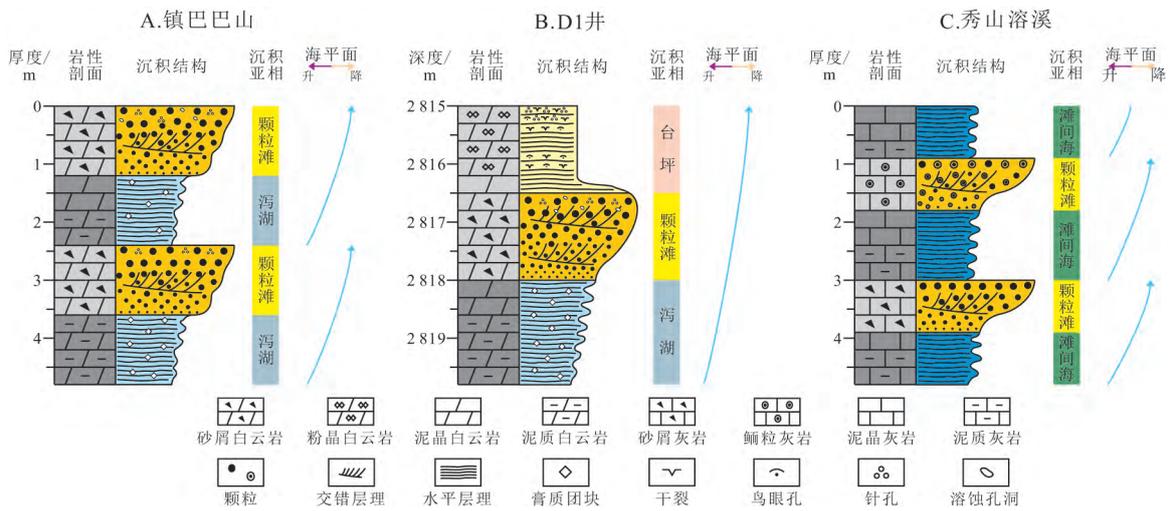


图 3 川东地区龙王庙组颗粒滩垂向沉积序列

Fig. 3 Sedimentary sequences of grain rocks banks of Longwangmiao Formation in eastern Sichuan Basin

## 4 颗粒滩分布特征

### 4.1 纵横向分布特征

龙王庙组沉积期,早加里东运动逐渐增强,海平面持续下降,研究区主要发育一套浅水碳酸盐岩台地沉积,可识别出泻湖—颗粒滩、泻湖—颗粒滩—台坪和滩间海—颗粒滩 3 种与颗粒滩有关的沉积序列,具有明显的下细上粗的逆粒序和向上变浅的沉积特征(图 3)。研究区单滩体规模一般较小,厚度多小于 2 m,下部主要为泻湖或滩间海等深水环境中形成的泥质白云岩、泥晶白云岩或泥质灰岩、泥晶灰岩,向上过渡为由颗粒白云岩、具残余颗粒结构的晶粒白云岩和颗粒灰岩组成的颗粒滩沉积物。单滩体沉积序列发育晚期如果海平面持续下降,颗粒滩可暴露于海平面之上,形成溶蚀孔洞发育的针孔层,或者演化为台坪环境,颗粒岩含量减少,晶粒白云岩含量增加。此外,在颗粒滩发育晚期,如果海平面快速上升,岩性向上突变,则沉积一套深灰色的泥晶白云岩或泥晶灰岩的泻湖或滩间海沉积物,作为下一个旋回的开始。

通过近南北向的对比剖面(图 4)可以看出,龙王庙组地层厚度变化较大,介于 100~250 m 之间,整体呈现出北薄南厚的特征。在研究区北部的镇巴巴山剖面一带,中上部岩性主要为泥晶白云岩夹砂屑白云岩和鲕粒白云岩,中下部则以泥晶灰岩为主,具有泻湖夹薄层颗粒滩的沉积特征。至城口石溪河剖面一带,岩性主要为灰质云岩、云质灰岩和泥晶灰岩,无颗粒岩沉积,发育灰云质泻湖和灰质泻湖微相。在研究区南部的 L1 井—石柱双流坝—D1 井一带,岩性主要为泥晶灰岩夹颗粒白云岩、颗粒灰岩和泥晶白云岩,颗粒以砂屑为主,其次为鲕粒,具有泻湖和滩间海夹薄—厚层颗粒滩的沉积特征,至 D1 井上部逐渐过渡为以泥粉晶白云岩沉积为主的云坪微相。总体上,由北向南研究区龙王庙组沉积相呈局限台地—开阔台地的规律分布,颗粒滩规模小且集中分布在龙王庙组中上部,颗粒类型以砂屑为主,其次为鲕粒,颗粒滩集中发育于镇巴巴山剖面、L1 井和 D1 井井区,在石柱双流坝剖面颗粒滩发育规模较小,多呈极薄层夹于泥晶灰岩中,城口石溪河剖面颗粒滩不发育。对比研究表明,颗粒滩在纵向上

具有良好的继承性,区内多以薄层状或透镜状夹于泻湖和滩间海中,在平面上横向连续性差,具有由滩核向滩缘快速尖灭的特征。

4.2 平面分布特征

根据研究区龙王庙组单井及野外剖面颗粒岩段的厚度(表 1),结合颗粒岩纵横向分布规律的认识,得出研究区龙王庙组颗粒岩厚度等值线图(图 5-B)。结合前人研究成果,将颗粒岩体积分数大于 30%的区域划为颗粒岩发育区,介于 30%~50%之间的区域划为颗粒岩较有利发育区,大于 50%的地区划为颗粒岩最有利发育区。从图 5-A 中可以看

出,研究区颗粒岩最有利发育区位于 N1 井—G2 井一带和习水良村—D1 井一带,颗粒岩体积分数一般 50%~60%,其中 D1 井井区颗粒岩厚度较大,体积分数约 62%。颗粒岩较有利发育区主要分布于南江沙滩—朱家坝剖面一带和镇巴巴山剖面附近,颗粒岩体积分数一般 30%~40%。此外,在城口石溪河剖面、石柱双流坝剖—L1 井一带和秀山溶溪剖面,颗粒岩少量发育,体积分数一般 5%~20%。总体上,研究区龙王庙组颗粒滩呈点状沿北东向展布,平面连续性差。

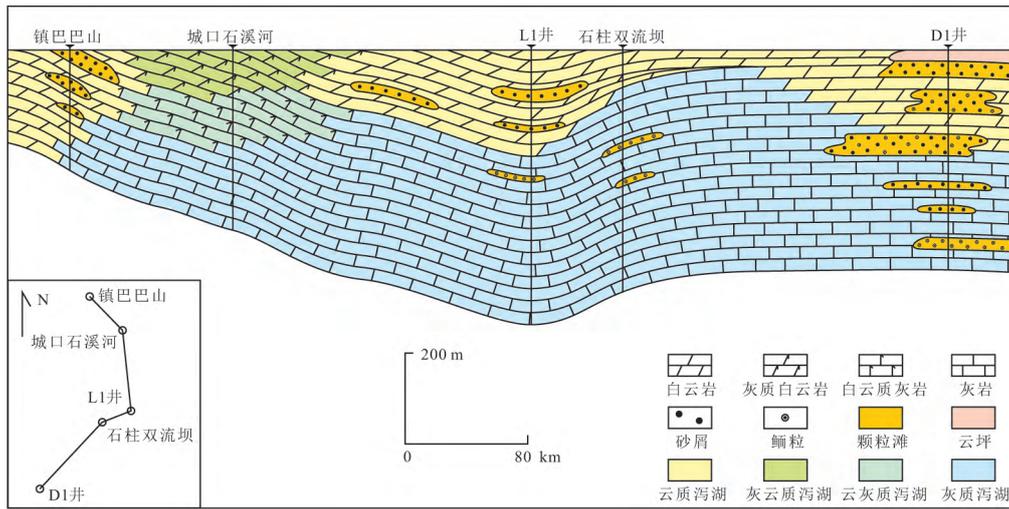


图 4 川东地区龙王庙组颗粒滩空间分布特征

Fig. 4 Spatial distribution of grain banks of Longwangmiao Formation in eastern Sichuan Basin

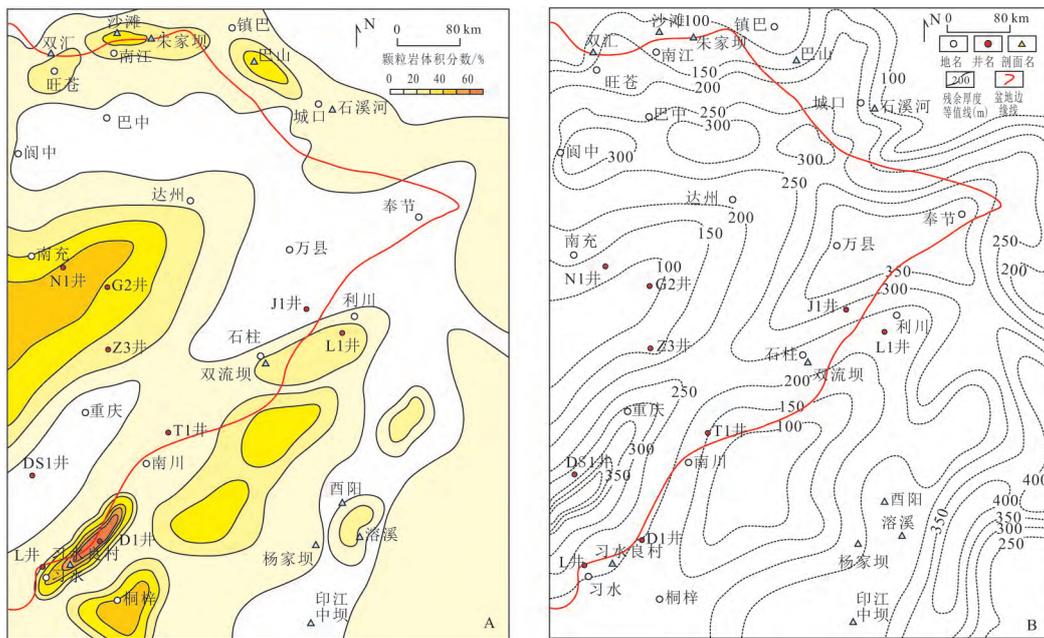


图 5 川东地区龙王庙组颗粒岩体积分数(A)等值线与地层残余厚度(B)

Fig. 5 Isoline map of grain rocks content (A) and residual strata thickness (B) of Longwangmiao Formation in eastern Sichuan Basin

表1 川东地区龙王庙组野外露头剖面和钻井颗粒岩统计

Table 1 Statistics of grain rocks in field outcrops and wells of Longwangmiao Formation in eastern Sichuan Basin

编号	单井(露头)	地层厚度/m	颗粒岩含量 $\varphi_B/\%$	编号	单井(露头)	地层厚度/m	颗粒岩含量 $\varphi_B/\%$
1	旺苍双汇	110.00	12	11	L1井	248.00	22
2	南江沙滩	128.00	34	12	习水良村	224.00	41
3	福成朱家坝	102.00	21	13	D1井	183.00	62
4	镇巴巴山	100.50	30	14	杨家坝	252.00	7
5	城口石溪河	148.40	4	15	酉阳	238.00	8
6	N1井	101.00	52	16	秀山溶溪	265.00	28
7	G2井	70.00	47	17	印江中坝	270.00	8
8	Z3井	139.00	32	18	J1井	389.00	2
9	DS1井	320.00	4	19	L井	92.00	29
10	石柱双流坝	208.00	20	20	T1井	177.00	18

## 5 颗粒滩分布主控因素

### 5.1 海平面升降变化对颗粒滩分布的控制

较强的水动力条件和较高的沉积环境能量有利于碳酸盐岩滩体发育,滩体沉积界面是否处于浪基面附近的高能界面主要受控于海平面升降变化引起的海水深度和水动力条件的变化,这对颗粒滩的发育特征和叠置样式具有重要影响<sup>[19-20]</sup>,总体上快速海侵—缓慢海退的海水变化模式更有利于颗粒滩的发育与演化<sup>[21-23]</sup>。

研究表明,川东地区龙王庙组由2个四级海平面快速海侵—缓慢海退组成的海平面变化旋回构成,并存在多个次一级的周期性海平面升降变化,具有多旋回高频率震荡的特点<sup>[17]</sup>。在一次海平面升降变化的过程中,初期的快速海侵使沉积界面处于浪基面之下,沉积能量相对变低,以沉积泥晶白云岩和泥晶灰岩等低能细粒碳酸盐岩为主,垂向上表现为泻湖和滩间海沉积特征。到海退期,海平面缓慢下降,沉积水体变浅,沉积界面处能量相对升高,颗粒滩开始发育,受海平面的持续下降和滩体垂向加积作用的影响,最终形成一个向上变浅的沉积序列。野外剖面和钻井岩心研究表明,区内单滩体厚度一般小于2 m,沉积能量相对较低,大部分滩体早期未暴露或暴露时间较短,同生岩溶作用不明显,针孔层发育不普遍。这是由于龙王庙组整体处于海退背景早期,加之研究区总体海水能量受周缘高地阻碍,水体能量受到一定程度损失<sup>[16]</sup>,颗粒滩发育于相对较深的高能界面附近,早期同沉积暴露缺乏。受次一级海平面周期性变化的影响,颗粒滩沉积界面间断性位于浪基面之下,纵向上表现为泥晶白云岩或泥晶灰岩等低能沉积物夹薄层颗粒滩的叠置。

### 5.2 古地貌对颗粒滩分布的控制

根据单井和野外露头等资料得出的川东地区龙王庙组残余厚度等值线图见图5-B,可以看出,区内龙王庙组地层厚度变化大,主要介于100~250 m

之间,部分地区厚度超过350 m,但分布较为稳定,总体呈现出西北薄东南厚,西北缘、北缘为古陆环抱、微地貌起伏明显的古地理格局。受研究区西北缘旺苍—南江—镇巴一带摩天岭微古陆<sup>[16]</sup>和北缘汉南古陆<sup>[24]</sup>的影响,该区域内地层厚度普遍较小,并向南逐渐增厚。区内古地貌差异特征明显,在重庆、万县—奉节一带发育古地貌洼地(地层残余厚度相对较大区域),在南江沙滩—镇巴巴山、习水良村—D1井—石柱双流坝等一带发育孤立分布的古地貌相对高地(地层残余厚度较小区域)。

综合分析可知,川东地区龙王庙组颗粒滩分布规律与古地貌关系密切,颗粒体积分数大于30%的地区与水下相对高地分布一致,其中颗粒滩最有利发育区位于古地貌高地翼部,颗粒滩较有利发育区主要位于古地貌高地核部和古地貌高地至古地貌洼地的斜坡过渡带,在古地貌洼地处颗粒岩发育程度最小,主要沉积泻湖或滩间海的细粒沉积物。

综上所述,浪基面附近的高能界面和古地貌相对高地对颗粒滩的发育奠定了基础,但海平面升降变化和古地貌起伏的配置关系导致不同时期不同位置的水体能量存在差异,这对颗粒滩的发育规模和分布规律影响显著。海侵期海平面快速上升,古地貌高地和洼地均处于浪基面之下,区内普遍沉积泥晶白云岩和泥晶灰岩等细粒碳酸盐岩(图6-A)。海退期,台内洼地仍处于浪基面之下,沉积水动力较弱,不利于颗粒滩发育,属于泻湖和滩间海沉积环境。在海退早期,浪基面最先达到古地貌高地核部,颗粒滩开始发育,随着海平面的逐渐下降和沉积物的不断堆积,位于古地貌高地核部区域的颗粒滩垂向加积到海平面附近时停止生长或向上过渡为台坪沉积(图6-B)。而其翼部区域在海退早期以发育泥晶白云岩和泥晶灰岩夹薄层颗粒岩为主,后期由于古地貌高地的垂向建造和颗粒滩发育造成的等效海退,其沉积界面逐渐处于浪基面之上,高能颗粒滩开始发育。至此,颗粒滩发育由古地貌高地核部的垂

向建造期过渡为古地貌高地翼部的侧向加积建造期(图 6-C)。由于古地貌高地翼部相比古地貌高地核部拥有更多的可容纳空间,并且波浪从广海传递至古地貌高地核部的浅水地区的过程中能量逐渐减小,故古地貌高地翼部颗粒滩更发育,形成的颗粒滩累计厚度也大于核部浅水地区,如位于古地貌高地翼部的 D1 井比位于古地貌高地核部的镇巴巴山剖面颗粒滩更加发育。此外,由于研究区古地貌高地孤立分布,平面连续性差,且地貌高地起伏差异明显,导致颗粒滩呈点状分布,不具有大面积连片分布的特征。

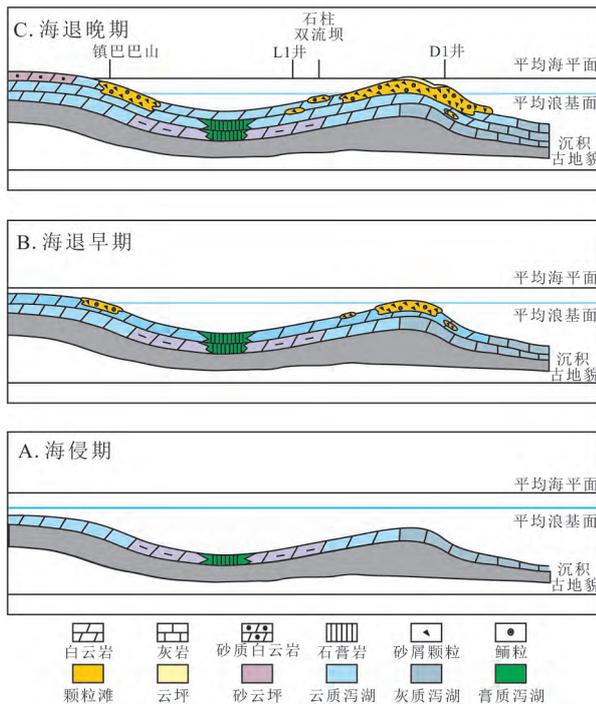


图 6 川东地区龙王庙组颗粒滩发育模式图

Fig. 6 Development model of grain bank of Longwangmiao Formation in eastern Sichuan Basin

## 6 讨论

2012 年,四川盆地中部磨溪构造带发现了龙王庙组特大型气田。研究表明,川中地区龙王庙组以发育颗粒滩相沉积为主,颗粒岩为颗粒白云岩,根据岩石的结构组分等特征又可进一步细分为砂屑白云岩、鲕粒白云岩、砾屑白云岩以及具残余颗粒结构的细—粉晶白云岩,储集空间主要包括粒间溶孔、粒内溶孔、晶间溶孔、晶间孔和铸模孔等,颗粒间多为亮晶胶结物充填,颗粒分选、磨圆较好—好。川东地区颗粒滩岩石类型和储集空间特征与川中地区基本一致,仅研究区东部及东南部主要堆积颗粒灰岩,颗粒间胶结物以泥亮晶为主,颗粒分选、磨圆中等—较好,颗粒岩的发育规模与储集物性也相对较差。总

体而言,川中地区龙王庙组颗粒岩形成于持续稳定的高能环境,川东地区龙王庙组颗粒岩形成于沉积水体频繁震荡的高能环境,两者沉积环境的差异对颗粒滩的发育特征及主控因素影响显著。

纵向上,川东和川中地区颗粒滩的发育均受到海平面升降变化的控制,颗粒岩具有明显的逆粒序与向上变浅的沉积特征。下寒武统龙王庙组地层由下至上经历了一次三级海平面下降的沉积旋回,其中包括了 2 次四级沉积旋回,对应了龙王庙组下段和龙王庙组上段地层。在 2 个四级沉积旋回的中晚期,伴随海平面的下降,川东与川中地区发育了大量的颗粒滩亚相(主要为台内滩),沉积了大套的颗粒碳酸盐岩,故川东地区龙王庙组颗粒滩相储层往往发育在龙王庙组下段的上部及上段的中上部。

平面上,川中地区龙王庙组颗粒滩的展布受控于水下古隆起。早寒武世龙王庙期由于乐山—龙女寺水下古隆起的影响,川中地区位于古隆起核部—翼部,长时间受到较强波浪作用的改造,从而堆积了范围较广、厚度较大的滩相沉积体。这类滩体的沉积及储层特征与台地边缘滩相似,不同的仅是相邻沉积相带为浅水区沉积产物,而后者向海方向则过渡为深水沉积。与之相比,川东地区龙王庙组颗粒滩的平面展布受控于沉积古地貌高地,形成的颗粒滩多呈台内点滩形式,随机分布,分布范围相对狭窄、持续时间也较短,因而单个滩体堆积的颗粒岩范围不大、厚度较小。但发育于在台内较大型洼地(如泻湖)周围的颗粒滩,具有相对稳定的厚度差异与相对高能的水动力条件,其滩体的沉积背景与发育特征与碳酸盐岩台地内部的古隆起边缘滩相似,但规模与储集性能不同。因此,围绕泻湖等台内较大型洼地周围发育的古地貌高地应为川东地区龙王庙组颗粒滩发育有利区。

## 7 结论

(1)川东地区龙王庙组颗粒滩岩石类型主要包括颗粒白云岩和颗粒灰岩,颗粒类型以砂屑为主,其次为鲕粒和砾屑。根据颗粒成分,可识别出砂屑滩、鲕粒滩和砾屑滩 3 种颗粒滩类型。

(2)受海平面升降变化影响,研究区龙王庙组颗粒滩主要发育泻湖—台内滩、泻湖—台内滩—台坪、滩间海—台内滩 3 种向上变浅、粒度变粗的沉积序列。单个沉积序列中的颗粒滩厚度一般小于 2 m,纵向上具有良好的继承性,表现为多个单旋回薄单体的叠置;横向上,颗粒滩规模小,连续性较差,具有由滩核向滩缘快速尖灭的特征;平面上,颗粒滩呈团块状沿北东向展布,平面连续性差。

表2 川中地区与川东地区龙王庙组颗粒滩特征

Table 2 Feature comparison of grain bank of Longwangmiao Formation in central Sichuan Basin and eastern Sichuan Basin

分布区域	川中地区	川东地区
主要控制因素	台地内部继承性水下古隆起,随海平面升降变化左右迁移	台地内的沉积地貌隆起区,多沿台内洼地(泻湖)边缘浪基面附近分布。不具有持续性,随海平面升降变化快速迁移
距离物源区的距离	较远,陆源物质难以到达	较近或较远,较近区陆源物质(研究区北部)较为丰富,较远区陆源物质难以到达
水体深度	浪基面附近较浅水区域	浪基面附近较深水区域
水体能量	高能,持续、稳定	较高—较低,短时间、不稳定
结构组分特征	以砂屑为主,少量鲕粒。大小一致、分选、磨圆好,粒间以亮晶为主;黏土泥、陆源碎屑等不溶残余物较少;晶粒以粉—细晶为主	砂屑、砾屑、鲕粒、豆粒均有。大小较为混杂,分选、磨圆好—较差,粒间细粒基质和亮晶均有,分布不均;黏土泥、陆源碎屑等不溶残余物较多;晶粒以泥—粉晶常见
沉积规模	中—厚层块状,单层及累计厚度大,易于长距离追踪对比	中—薄层状、透镜状,单层及累计厚度较小,相邻井及剖面难以较长距离追踪对比
成岩改造程度	白云石化、重结晶和溶蚀作用改造强	白云石化、重结晶作用和溶蚀作用改造较弱
储集性能	好—中等	中等—差

(3)海平面升降变化控制了龙王庙组颗粒滩的发育特征和叠置样式,研究区单滩体沉积厚度小,下部主要为深水沉积环境中形成的深色细粒沉积物,向上过渡为由颗粒白云岩和颗粒灰岩组成的颗粒滩,纵向上表现为多个薄滩体的叠置。古地貌决定了颗粒滩的横向连续性和平面分布特征,古地貌高地及其周缘斜坡部位有利于颗粒滩堆积。

(4)对比研究表明,围绕泻湖等台内较大型洼地周围发育的古地貌高地为川东地区龙王庙组颗粒滩相储层发育有利区,纵向上主要分布于龙王庙组下段的上部与上段的中上部。

#### 参考文献:

- [1] 陈景山,李忠,王振宇,等.塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩古岩溶作用与储集层分布[J].沉积学报,2007,25(6):858-868.
- [2] 蒋志斌,王兴志,张帆,等.四川盆地北部长兴组—飞仙关组礁、滩分布及控制因素[J].中国地质,2008,35(1):940-950.
- [3] Cantrell D. Cortical fabrics of Upper Jurassic ooids, Arab Formation, Saudi Arabia: Implications for original carbonate mineralogy[J]. Sedimentary Geology, 2006, 186(3/4): 157-170.
- [4] Sadooni F N. The nature and origin of Upper Cretaceous basin, southern Iraq, with consideration of possible hydrocarbon stratigraphic entrapment [J]. Cretaceous Research, 2005, 26: 213-224.
- [5] 金民东,谭秀成,李凌,等.四川盆地磨溪—高石梯地区下寒武统龙王庙组颗粒滩特征及分布规律[J].古地理学报,2015,17(3):347-357.
- [6] 黄文明,刘树根,张长俊,等.四川盆地寒武系储集层特征及优质储层形成机理[J].石油与天然气地质,2009,30(5):566-575.
- [7] 代林呈,王兴志,杜双宇,等.四川盆地中部龙王庙组滩相储层特征及形成机制[J].海相油气地质,2016,26(1):19-28.
- [8] 赵文智,沈安江,周进高,等.礁滩储集层类型、特征、成因及勘探意义:以塔里木河四川盆地为例[J].石油勘探与开发,2014,41(3):257-267.
- [9] 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.
- [10] Bergman K L, Westphal H, Janson X, et al. Controlling parameters on facies geometries of the Bahamas, an isolated carbonate platform environment[C]// Westphal H, Riegl B, Eberli G P. Carbonate depositional systems: Assessing dimensions and controlling parameters: The Bahamas, Belize and the Persian/Arabian Gulf. Berlin: Springer, 2010: 5-80.
- [11] 王兴志,张帆,马青,等.川东地区晚二叠世—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):249-254.
- [12] Palermo D, Ainger T, Nardon S, et al. Three-dimensional facies modeling of carbonate sand bodies: Outcrop analog study in an epicontinental basin (Triassic, southwest Germany)[J]. AAPG Bulletin, 2010, 94: 475-512.
- [13] 杨雪飞,王兴志,唐浩,等.四川盆地中部磨溪地区龙王庙组沉积微相研究[J].沉积学报,2015,33(5):972-982.
- [14] 刘宏,谭秀成,周彦,等.川东北黄龙场气田飞仙关组台缘滩型碳酸盐岩储层预测[J].石油学报,2009,30(2):219-224.
- [15] 周进高,房超,季汉成,等.四川盆地中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.
- [16] 马腾,谭秀成,李凌,等.四川盆地及邻区下寒武统龙王庙组颗粒滩沉积特征与空间分布[J].古地理学报,2015,17(2):213-228.
- [17] 任影,钟大康,高崇龙,等.川东及其周缘地区下寒武统龙王庙组沉积相[J].古地理学报,2015,17(3):335-346.
- [18] Hofmann A, Dirks P H G M, Jelsma H A. Shallowing-upward carbonate cycles in the Bellingwe greenstone belt, Zimbabwe: A record of Archean sea-level oscillations[J]. Journal of Sediment Research, 2004, 74: 64-81.
- [19] 李凌,谭秀成,夏吉文,等.海平面升降对威远寒武系滩相储层的影响[J].天然气工业,2008,35(5):19-21.
- [20] 丁熊,陈景山,谭秀成,等.川中—川南过渡带雷口坡组台内滩组合特征[J].石油勘探与开发,2012,39(4):444-451.
- [21] 谭秀成,李凌,刘宏,等.四川盆地中三叠统雷口坡组碳酸盐台地巨型浅滩化研究[J].中国科学:地球科学,2014,44(3):

457-471.

[22] Rurf M, Aigner T. Facies and poroper characteristics of a carbonate shoal (Muschelkalk, South German Basin): A reservoir analogue investigation [J]. *Journal of Petroleum Geology*, 2004, 27: 215-239.

[23] Palermo D, Aigner T, Nardon S, et al. Three-dimensional facies

modeling of carbonate sand bodies; Outcrop analog study in an epicontinental basin (Triassic, southwest Germany) [J]. *AAPG Bulletin*, 2010, 94: 475-512.

[24] 余谦, 牟传龙, 张海全, 等. 上扬子北缘震旦系—早古生代沉积演化与储层分布特征 [J]. *岩石学报*, 2011, 27(3): 672-680.

## Characteristics and Distribution of Grain Bank of the Lower Cambrian Longwangmiao Formation in Eastern Sichuan Basin

Dai Lincheng<sup>1</sup>, Zhu Xiang<sup>1</sup>, Li Bisong<sup>1</sup>, Wang Xingzhi<sup>2</sup>, Zeng Deming<sup>2</sup>

(1. Research Institute of Exploration Company, SINOPEC, Chendu 610041, China;

2. School of Geoscience and Technology, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China)

**Abstract:** This paper mainly studies the grain bank of the Lower Cambrian Lower Longwangmiao Formation in eastern Sichuan Basin. Based on the field outcrops, drilling and logging data, cores and thin sections, the paper studies the characteristics, distribution and the major controlling factors of grain bank of the Lower Cambrian Lower Longwangmiao Formation. The grain dolostone and grain limestone fall into two main rock types of grain bank in the research area. Sandsized intraclast is the main type of intraclasts, and oolite as well as gravel-sized intraclast follow in order. There are three upward shallowing and granularity coarsening sequences, including lagoon-grain bank-lagoon, lagoon-grain bank-platform interior flat and interact bank sea-grain bank-interact bank sea. Each vertical sequence is commonly no more than 2m. Tin banks are superimposed vertically in a relatively small scale, showing a good inheritance. In horizontal aspects, the grain banks are small in scale and poor in continuity. In plane, the grain banks are mainly patched shoals and distributed on the cores and wings of submarine highlands in the direction of north-east. The research of major controlling factors shows that the development characteristics and superimposed pattern of grain bank in Longwangmiao Formation are determined by the relative sea-level change and that the palaeogeomorphology determines the lateral continuity and planar distribution. Comparative research shows that the paleogeomorphology, developed around the large depression areas around the lagoon, is a favorable area for the grain beach reservoirs. Besides, the grain beach reservoirs are mainly distributed in the upper part of the Lower Longwangmiao Formation as well as in the central and upper part of Upper Longwangmiao Formation in eastern Sichuan Basin.

**Key words:** eastern Sichuan Basin; Longwangmiao Formation; grain bank; distribution; major controllings