

# 鲁西隆起区奥陶系碳酸盐岩成岩环境演化

樊爱萍, 崔明明, 侯 乾, 雷子慧

(山东科技大学 山东省沉积成矿作用与沉积矿产重点实验室, 山东 青岛 266590)

**摘要:**根据野外剖面观察和室内薄片鉴定,鲁西隆起区岩石类型主要为碳酸盐岩,包括白云岩、石灰岩及其过渡类型,其次为蒸发岩和膏溶角砾岩。研究区经历了多期次、多类型的成岩作用。储层储集空间主要包括晶间孔、粒间和粒内溶孔、残余粒内孔和粒间孔、铸模孔、溶洞和裂缝。结合研究区地质背景、岩石学特征和成岩作用分析,将该区成岩环境划分为海水成岩环境、表生成岩环境和埋藏成岩环境。其中:表生成岩环境中发育的溶蚀作用是优质储层形成的关键;海水成岩环境和埋藏成岩环境中发育的白云石化作用对储层也起到了积极作用;而埋藏成岩环境中发育的胶结作用是造成储层物性变差的主要原因。

**关键词:**鲁西隆起区;奥陶系;碳酸盐岩;成岩作用;储层主控因素

中图分类号:P581

文献标志码:A

文章编号:1672-3767(2014)05-0001-09

## Evolution of Diagenetic Environment for Ordovician Carbonate in the West Shandong Rise

Fan Aiping, Cui Mingming, Hou Qian, Lei Zihui

(Key Laboratory of Depositional Mineralization & Sedimentary Minerals of Shandong Province,  
Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China)

**Abstract:** A study was made on the field section and thin section of rocks in the West Shandong Rise. The results show that the principal type of rocks in this area is primarily carbonate including dolomite, limestone and their transition type, then followed by evaporation rocks and gypsum breccia. The given area has experienced a multi-phased and multi-typed diagenesis. The dominant reservoir space consists of intracrystal porosity, intraparticle and dissolution porosity, moldic, vugs and fractures. The diagenetic environments can be divided into such types as marine, exodiagenesis and burial diagenetic environment according to the geological background, petrologic characteristics and diagenesis of the area. The dissolution occurred in the exodiagenesis environment has played a key role in the formation of high quality reservoir. The dolomitization developed in the marine and burial diagenetic environment has also helped the formation of reservoir. The cementation developed in burial diagenetic environment has remained the main cause for poor properties of reservoir.

**Key words:** West Shandong Rise; Ordovician; carbonatite; diagenesis; controlling factors of reservoir

碳酸盐岩是一种重要的油气储集岩,其储集空间绝大多数都是在沉积期后的成岩环境下形成的<sup>[1]</sup>。前人对该区沉积相、成岩、储层特征进行过研究<sup>[2-5]</sup>,认为该区储层物性主要受成岩作用控制,但针对研究区奥陶系碳酸盐岩的成岩环境,尤其是成岩环境与孔隙演化方面的研究尚未涉及。以鲁西隆起区奥陶系碳酸盐岩成岩作用为研究对象,通过野外剖面观测、室内薄片,结合沉积环境与成岩作用分析,探讨沉积物成岩过程

收稿日期:2013-04-28

基金项目:国家自然科学基金项目(40972043);教育部科学技术研究重点项目(211097);山东省中青年科学家基金项目(BS2009HZ020,2010BSE06022);山东省高校科学计划项目(G08LD01,J09LE04);山东科技大学科研创新团队计划项目(2010KYTD103)

作者简介:樊爱萍(1978—),女,陕西户县人,副教授,博士,主要从事储层地质学、油气地质学、岩石学方面的研究工作。  
E-mail: xiaofan781026@sina.com

中经历的各种作用类型和特征,如压实、胶结、交代、溶蚀作用等,分析成岩环境与孔隙演化历史,为储层预测提供科学依据。

### 1 沉积环境

鲁西隆起区位于山东省西南部,是华北地块的一个分区(图 1),东以郯城-庐江为界,西至聊城-兰考断裂,北接齐河-广饶断裂,南濒开封-郟城秦岭潜伏隆起带<sup>[6]</sup>。鲁西隆起区的沉积环境演化具有明显的继承性,突变环境较少,主要为蒸发台地和局限台地环境间相互转化(图 2)。三山子组沉积时期以蒸发台地相为主,两侧发育局限台地,仅小部分地区发育开阔台地相,此时岩性下部以中薄层白云岩为主,上部主要发育厚层含燧石结核及条带白云岩,发育有晶洞构造及古喀斯特角砾岩<sup>[7]</sup>;到东黄山期和北庵庄期,“怀远运动”的地壳抬升作用,导致研究区开始发生海退,沉积相从开阔台地向局限台地转化<sup>[8]</sup>;土峪期和五阳山期研究区发生面式海退,晚期又发生了一次大规模的面式海侵,沉积相包括局限台地和开阔台地,岩性主要为白云岩、藻灰岩和薄层灰岩<sup>[9]</sup>。

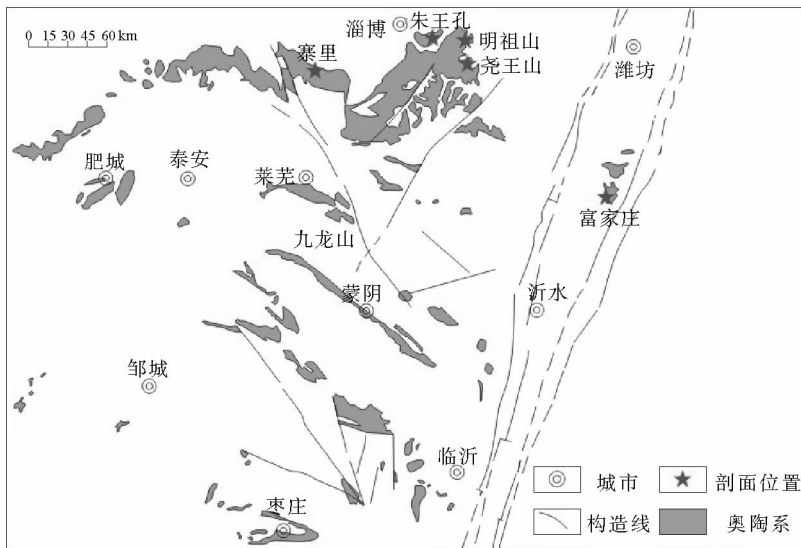


图 1 研究区位置图

Fig. 1 Geographical position of the study area

### 2 储层岩石学特征与储集空间

鲁西隆起区奥陶系岩性主要以白云岩、灰岩为主,其次为少量膏溶角砾岩。白云岩主要发育在三山子组上部、东黄山段、土峪段和阁庄段,沉积环境以局限台地为主,灰黄色、浅灰色,晶粒结构,少数具有颗粒结构,多为泥晶、粉晶,中晶和细晶次之,主要矿物为白云石和方解石,常见自生石英,一些白云石晶粒具有雾心亮边结构。灰岩出现在北庵庄、五阳段和八陡段,发育开阔台地,灰色,多为微晶灰岩,少量颗粒灰岩,其中颗粒以生物碎屑和鲕粒为主<sup>[10]</sup>,矿物以方解石为主。膏溶角砾岩与碳酸盐岩互层,呈纹层状、条带状,主要发育在东黄山段、北庵庄段、土峪段、阁庄段,出现在潮道、潮坪环境中,石膏溶解发生体积膨胀,产生巨大的挤压应力作用于围岩,造成围岩垮塌形成膏溶角砾岩,孔隙度较高(可达 15%~20%),储集性能优越<sup>[2]</sup>。

通过对野外露头和镜下薄片的观察分析,发现研究区的储集空间主要分为孔隙、裂缝和溶洞 3 类,并可进一步划分为晶间孔、粒间孔和粒内溶孔、残余粒内孔和粒间孔、铸模孔、溶洞和裂缝,其中晶间孔、裂缝和溶洞为主要储集空间。①晶间孔:这类孔隙主要发育在中、细晶白云岩的白云石晶粒之间,多数已被方解石充填,有效孔隙度不高(图 3(a))。②粒间孔:具体为粒间溶孔,主要出现在颗粒灰岩中,表现为嵌晶粒状胶

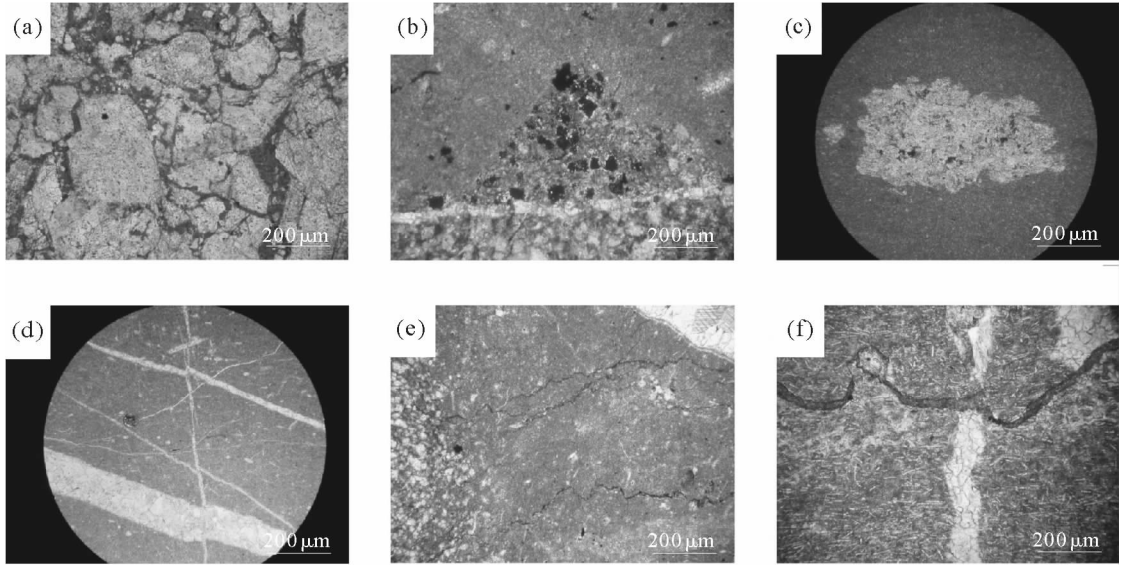


图 2 研究区奥陶系岩相柱状图

Fig. 2 Ordovician Petrographic profile of the study area

结物中间被溶蚀。③晶洞溶孔：主要是充填裂缝的中粗晶方解石或中细晶白云岩中的白云石晶体被溶蚀所形成的，可见有方解石、白云石晶粒呈不规则状或呈港湾状(图 3(b))。④溶洞：多和裂缝伴生，研究区发生多次大规模的区域抬升，地层经受长时期的风化剥蚀。构造运动结束后，岩溶作用很发育，形成大量溶蚀孔洞，对岩石储集性能的提高具有重要作用(图 3(c))。⑤裂缝：研究区的裂缝按照成因可分为构造缝和压溶缝。构造缝一般形状平直，有时多条构造缝会相互切割，构成发育的裂缝系统。这些裂缝张开度不一，最大宽度可达 15 mm 以上，多被方解石充填，少数为泥质充填。灰色泥晶白云岩中明显可见数条平直微裂缝交

叉发育(图 3(d)),往往为风化壳岩溶和埋藏溶蚀的水介质提供渗流溶蚀通道,对碳酸盐岩储集性能的改善起到重要作用<sup>[11]</sup>。压溶缝在露头 and 显微镜下呈不规则锯齿状,宽度从几厘米到 0.1 mm。压溶缝有粗细之分,细缝合线形成较早,常被后期发育裂缝错断或被晚期胶结物错断(图 3(e)),线内充填不溶有机质或泥质等充填物,粗缝合线连续性好,缝合线切穿胶结物,没有间断,内部充填白云石和方解石(图 3(f)上),当缝合线未被完全充填时,可以改善储层物性。



(a)鲁西淄川寨里剖面中晶白云岩,发育晶间孔隙被方解石充填×50 单偏光;(b)鲁西淄川寨里剖面裂缝附近的白云岩发生溶解作用,白云岩晶粒呈不规则状×50 正交偏光;(c)鲁西官庄剖面溶洞发育后期被充填×50 单偏光;(d)鲁西青州朱王孔剖面发育的构造裂缝,被切割成网格状后为方解石充填,多条构造裂缝相互切割,形成裂缝系统×50 单偏光;(e)鲁西淄川寨里剖面发育的缝合线,此类缝合线较细,只有少量泥质沉积物充填,缝合线远端切穿白云石展布×50 单偏光;(f)鲁西青州朱王孔剖面发育的宽缝合线切穿早期的脉状胶结充填物,晚期作为油气运移的通道,表现为沥青充填×50 单偏光

图 3 研究区主要储集空间类型图

Fig. 3 Types of reservoir space in the study area

### 3 主要成岩作用类型

奥陶系碳酸盐岩沉积期后,随着构造运动、成岩温度、压力和流体不断变化,导致成岩作用类型的多样性。通过露头观察,室内薄片研究及阴极发光等测试分析,揭示研究区破坏性成岩作用包括胶结作用和压实、压溶作用,建设性成岩作用有溶蚀作用、交代作用、破裂作用和新生形变作用。

#### 3.1 交代作用

本区存在三种交代作用,包括去膏化作用、白云石化作用和硅化作用。去膏化作用出现在潮坪环境中,往往表现为沉积期形成的石膏或硬石膏在同生期发生溶蚀,形成膏模孔,溶蚀使其边缘齿化,保留原始形态,全部为后期方解石和玉髓充填,方解石多为粗晶粒状,且较干净,玉髓呈隐晶状(图 4(a))。

白云石化作用在研究区三山子组 A、B 段、东黄山段、土峪段和阁庄段普遍发育,蒸发台地和局限台地均可发生,成因复杂。研究区马家沟组底部白云岩晶粒较细,以泥晶-粉晶为主,晶粒呈紧密镶嵌状接触(图 4(b)),夹有石膏、硬石膏等膏盐类矿物,岩层面上常见干裂、鸟眼构造等潮间-潮上带暴露标志,表明这类白云石和蒸发泵作用有关。部分泥晶-粉晶白云岩后期发生重结晶作用,晶粒粗大(图 4(c))。青州尧王山剖面中的云斑灰岩,其中的白云石晶粒粗大,自形程度高呈菱形,外形似砂糖状(图 4(d)),在其上部发育有薄层具有潮间-潮上带暴露标志的泥晶白云岩,可以初步推测砂糖状白云石的形成与高镁粒间水继续向下渗透交代部分石灰岩发生白云石化有关。镜下薄片观察发现,鲕粒灰岩白云石化具有选择性,即鲕粒部分发生白云石化,鲕粒间的方解石胶结物未见白云石化,与白云石化作用伴生的鲕粒的选择性溶蚀说明存在大气淡水的影响,为大气淡水与海水共同作用的混合白云化作用<sup>[12]</sup>。研究区发育埋藏白云石化作用,识别标志有:白云

石充填裂缝和缝合线,且离裂缝、缝合线越远白云化作用越弱(图 4(e)),表明白云石的形成晚于裂缝和缝合线;形成白云石时伴随有铁质矿物的析出(图 4(f)),表明成岩环境为还原环境,发生于地下一定埋深处<sup>[13]</sup>。

原始灰岩发生白云石化之后,岩石的物理和化学性质发生了质变,导致白云岩渗透率增加、抗压性增强、易溶蚀,使得同一地区、相同层位的白云岩储层普遍优于灰岩<sup>[14]</sup>,促使储层物性变好。

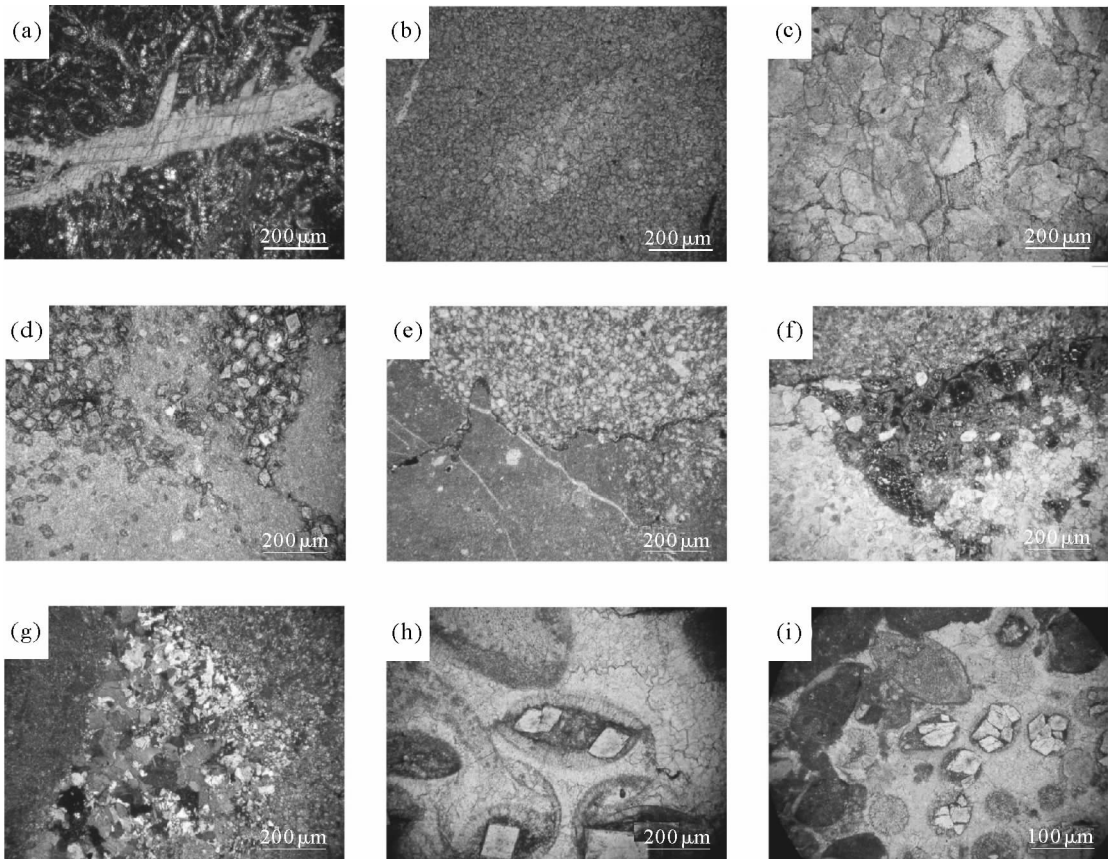
硅化作用主要在灰岩中出现,具有选择性特征,往往出现在方解石脉体发育的地方,表现为自生石英小晶体集合呈团块状,交代脉体中的方解石,表明硅化作用形成较晚(图 4(g))。

### 3.2 胶结作用

胶结物是碳酸盐岩成岩历史的重要记录,要成功恢复成岩历史,很大程度上取决于对胶结物原始晶形的认识。胶结作用主要出现在浅滩环境中,研究区胶结物主要为方解石,第一世代方解石呈纤维状、针状、栉壳状方解石围绕鲕粒,这种胶结物多发生在海底成岩阶段<sup>[15]</sup>;第二世代胶结物为柱状、叶片状、粒状方解石胶结物(图 4(h)),体积明显比第一期胶结物大,第三世代为镶嵌状胶结物,粒度相对较大,为埋藏期的产物。

### 3.3 压实、压溶作用

压实作用在本区表现为颗粒的排列更加紧密,有定向性,未见有破裂现象,可能与胶结作用发生较早有关,即在胶结作用或白云石化作用强烈的部位,压实作用受到抑制<sup>[16]</sup>。研究区压溶作用广泛存在,缝合线大



(a)鲁西青州尧王山发育去膏化作用,石膏溶解后形成膏溶孔,被后期方解石和玉髓充填×50 单偏光;(b)鲁西沂水官庄剖面粉细晶白云岩呈紧密镶嵌状接触,孔隙度较差×50 单偏光;(c)鲁西青州明祖山剖面粉细晶白云岩经后期重结晶作用,晶粒粗大×100 单偏光;(d)鲁西青州尧王山剖面部分灰岩发生白云化作用,形成的白云石晶粒粗大,外形似砂糖×50 单偏光;(e)鲁西淄川寨里剖面白云石充填裂缝、缝合线,且距缝合线越远白云石化作用越弱×50 单偏光;(f)鲁西青州尧王山剖面部分方解石交代白云石,残余有白云石晶形,铁质矿物析出,表明沉积环境为还原环境×50 单偏光;(g)鲁西青州尧王山剖面硅化作用,自生石英小晶体呈集合团块状交代脉体中的方解石×50 单偏光;(h)鲁西淄川寨里剖面第一世代胶结物呈纤维状、针状围绕鲕粒,第二世代胶结物为柱状、叶片状、粒状方解石胶结物×50 单偏光;(i)鲁西青州尧王山剖面鲕粒灰岩发生泥晶化作用,部分鲕粒内部结构难以识别×100 单偏光

图 4 研究区主要成岩作用类型图

Fig. 4 Types of diagenesis in the study area

量发育,根据缝合线厚度的变化,可以分为宽、窄两种。窄缝合线多为水平波状,延伸不远处出现分支,连续性较差,由于此类缝合线较细,只有少量泥质沉积物充填(图 3(e));宽缝合线则切穿脉体充填物或胶结物(图 3(f)),与窄缝合线相比连续性好,说明粗缝合线的形成晚于细缝合线,是成岩作用加强的产物。

### 3.4 溶蚀作用

鲁西隆起区奥陶系北庵庄和五阳山段储层经历了大气淡水淋滤溶蚀作用,其余各段均经历了埋藏溶蚀作用和构造抬升溶蚀作用。奥陶纪海平面发生周期性升降旋回变化,沉积物暴露,受到大气淡水淋滤改造,灰岩中介形虫优先溶解形成溶模孔隙,这种溶蚀作用多具选择性。埋藏溶蚀作用具非选择性特点,显示缝合线一侧出现局部溶蚀扩大的现象<sup>[17]</sup>以及胶结物中出现溶蚀的特点,埋藏溶蚀作用的流体一般认为是有机质热演化脱羧基过程中产生富 CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>S 的酸性流体,常沿节理、裂缝和原生孔隙流动并将它们扩大,早期形成的部分溶蚀空间被方解石、石英、铁矿物等充填<sup>[18-19]</sup>。构造抬升造成的溶蚀作用往往形成溶蚀孔洞缝、晶内溶孔和晶间溶孔。

### 3.5 破裂作用

破裂作用主要发育构造裂缝,研究区各层段地层构造裂缝广泛发育,在镜下可见未被完全充填的构造缝,对改善储层物性具有积极意义。

### 3.6 新生变形作用

本区新生变形作用表现为退变新生变形作用即泥晶化作用<sup>[20]</sup>和进变新生变形作用,镜下薄片观察发现研究区泥晶化作用有两种方式:一类泥晶化作用强烈,鲕粒或生物碎屑完全被泥晶充填,内部结构难以识别(图 4(i)),另一类泥晶作用发生在颗粒边缘,形成泥晶套,泥晶化的颗粒或泥晶套一般由稳定的矿物和高的有机质含量组成,相对比较耐溶,难以形成孔隙<sup>[21]</sup>。

进变新生变形作用即重结晶作用,表现为泥、粉晶方解石或白云石晶体增大、自形程度变好,可见泥质残余出现在晶间孔隙中。

## 4 储层成岩环境与孔隙演化

根据成岩作用特征,将研究区奥陶系碳酸盐岩成岩环境分为海水-淡水成岩环境、表生成岩环境和埋藏成岩环境,并进行了成岩演化历史的恢复(图 5)。

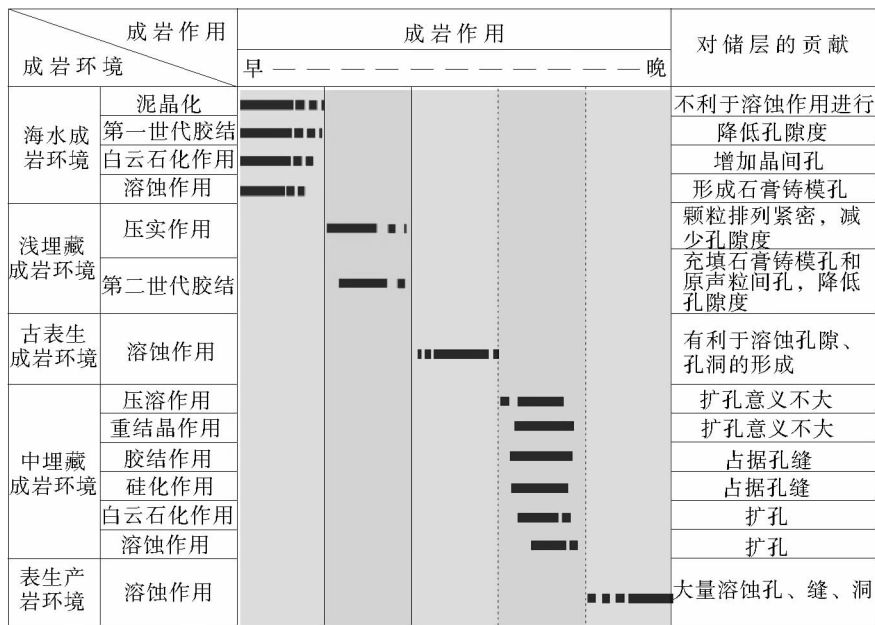


图 5 研究区奥陶系成岩作用序列及孔隙演化图

Fig. 5 Types diagenetic successions and porosity evolution of carbonate rocks in Ordovician in the study area

#### 4.1 同生期海水成岩环境

奥陶系沉积时期研究区为局限台地和蒸发台地环境,沉积主要由晶粒灰岩、晶粒白云岩和少量颗粒灰岩等组成。三山子组、东黄山段、土峪段和阁庄段沉积时海平面相对较低,气候干燥、蒸发作用强烈,沉积下来以后,水体由深变浅,蒸发作用增强,灰岩发生蒸发泵和回流渗透白云石化作用,形成泥、粉晶和中、细晶白云岩,还可伴生石膏沉积物。中、细晶白云岩中发育晶间孔;海平面再次下降,大气淡水作用于膏质白云岩,硬石膏遇水体积膨胀,产生巨大的应力作用于围岩,围岩破碎,地下流体沿着裂隙运移,加速石膏溶解,形成石膏铸模孔或围岩垮塌形成膏溶角砾岩,膏溶角砾岩孔隙发育,可作为优质储集层。

北庵庄段、五阳山段和八陡段沉积时海平面相对上升,海水变深,主要发育颗粒灰岩,此时常形成第一世代针状、栉壳状方解石胶结物以及菌藻类对颗粒的钻孔作用,颗粒发生泥晶化,可形成厚度不同的泥晶套,甚至颗粒完全泥晶化。胶结作用使得原生孔隙减少,泥晶化后颗粒耐溶,不利于后期溶蚀作用的发生;随着海平面的上升,北庵庄段、五阳山段和八陡段颗粒灰岩发育选择性溶蚀作用和混合水白云石化作用,对岩石储集性能的提高有积极作用。

#### 4.2 浅埋藏成岩环境

随着上覆沉积物增加,奥陶系岩层进入浅埋藏环境,成岩流体逐渐增温、密度增加,这一时期发育叶片-柱状方解石胶结物,同时石膏铸模孔被玉髓或方解石充填,该时期各类型成岩作用以破坏岩石物性为主。

#### 4.3 古表生期大气淡水成岩环境

早古生代晚期—晚古生代早期,华北板块整体抬升剥蚀,鲁西地区缺失晚奥陶世—泥盆纪沉积,形成加里东期运动不整合面<sup>[22]</sup>,进入古表生期大气淡水成岩环境,在此环境下,大气淡水下渗,为典型的大气水成岩系统,灰岩、白云岩等发生溶蚀作用,形成溶蚀孔隙和溶蚀孔洞,但部分溶蚀孔隙和溶蚀孔洞被后期胶结物充填。

#### 4.4 中埋藏成岩环境

经古表生期大气淡水成岩环境之后进入埋藏环境,随埋藏加深,成岩温度增加、成岩流体浓缩以及成岩环境更为封闭,重结晶作用发育,早期发育的泥、粉晶白云岩中的白云石晶体变大,有利于晶间孔的发育;此时,成岩流体中  $Fe^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  离子浓度增加,有利于白云石化作用的进行;同时压溶作用增强,形成粗缝合线,切穿颗粒和胶结物以及脉体充填物;胶结作用发育,充填剩余孔隙,形成晚期嵌晶状方解石胶结物;随着温度的增加,岩石中有机质成熟,排出的有机酸,一方面发生非选择性溶解作用,另一方面在其周围形成弱酸性环境,有利于  $SiO_2$  沉淀与交代<sup>[17]</sup>,发育硅化作用。这一成岩环境中胶结作用和硅化作用属破坏性成岩作用,重结晶、压溶、溶解作用和白云石化作用均有利于改善岩石物性。

#### 4.5 表生期成岩环境

中生代以后受构造运动影响,使本区隆升,形成现今的储集系统。中生代以后,由于褶皱、断裂构造运动的影响<sup>[2]</sup>,该地层被抬升至地表,进入表生成岩环境。

### 5 结论

1)鲁西隆起区为浅水高能的陆表海碳酸盐岩台地环境,主要发育蒸发台地相和局限台地相。岩石类型为碳酸盐岩,包括白云岩、石灰岩及其过渡类型,其次为蒸发岩和膏溶角砾岩;储集空间包括晶间孔、粒间和粒内溶孔、残余粒内孔和粒间孔、铸模孔、溶洞和裂缝,其中晶间孔、溶洞和裂缝为主要储集空间。

2)储层经历了7种类型的成岩作用。其中,破坏性成岩作用包括胶结作用和压实、压溶作用,建设性成岩作用有溶蚀作用、交代作用、破裂作用和新生形变作用。

3)结合薄片镜下分析,该区成岩环境分为海水成岩环境、表生成岩环境和埋藏成岩环境。其中,表生成岩环境中发育的溶蚀作用是优质储层形成的关键,海水成岩环境和中埋藏成岩环境中发育的白云石化作用对储层也起到了积极作用,而埋藏成岩环境中发育的胶结作用是造成储层物性变差的主要原因。

#### 参考文献:

[1]张秀莲.碳酸盐岩成岩研究的新方法:成岩综合柱状图[J].地质科学,1995,30(4):401-413.

- Zhang Xiulian. A new method in the study of carbonatite diagenesis-composite column of diagenesis[J]. Chinese Journal of Geology, 1995, 30(4): 401-413.
- [2] 张云峰, 李忠, 王清晨, 等. 鲁西隆起区奥陶系碳酸盐岩成岩作用及其对储集性的控制作用[J]. 地质科学, 2005, 40(2): 207-219.
- Zhang Yunfeng, Li Zhong, Wang Qingchen, et al. Diagenesis and its role on the reservoir of Ordovician carbonate rocks in the West Shandong rise[J]. Chinese Journal of Geology, 2005, 40(2): 207-219.
- [3] 张云峰, 王清晨, 李忠, 等. 鲁西地区奥陶系碳酸盐岩储集特征及主控因素[J]. 地质科学, 2006, 41(1): 144-149.
- Zhang Yunfeng, Wang Qingchen, Li Zhong, et al. Reservoir characters and key controlling factors of the Ordovician carbonate rocks in Western Shandong[J]. Chinese Journal of Geology, 2006, 41(1): 144-149.
- [4] 刘树根, 时华星, 王国芝, 等. 桩海潜山下古生界碳酸盐岩储层形成作用研究[J]. 天然气工业, 2007, 27(10): 1-5.
- Liu Shugen, Shi Huaxing, Wang Guozhi, et al. Formation mechanism of Lower Paleozoic carbonate reservoirs in Zhuanghai Buried hill[J]. Natural Gas Industry, 2007, 27(10): 1-5.
- [5] 许淑梅, 于建国, 王金铎, 等. 济阳拗陷桩海地区下古生界深埋藏溶蚀特征及储集意义[J]. 油气地球物理, 2007, 5(3): 51-57.
- Xu Shumei, Yu Jianguo, Wang Jinduo, et al. Buried modification characters of Paleozoic carbonate and its reservoir significance in Zhuanghai Area, Jiyang Depression[J]. Petroleum Geophysics, 2007, 5(3): 51-57.
- [6] 金振奎, 刘泽容, 石占中, 等. 鲁西地区断裂构造类型及其形成机制[J]. 石油大学学报: 自然科学版, 1999, 23(5): 1-5.
- Jin Zhenkui, Liu Zerong, Shi Zhanzhong, et al. The type of fracture structure and its formation mechanism in the Western Shandong[J]. Journal of the University of Petroleum: Nature Science, 1999, 23(5): 1-5.
- [7] 李庆平, 董仁国, 李秀章, 等. 鲁西寒武系-下奥陶统层序地层研究新进展[J]. 地层学杂志, 2005, 29(4): 376-380.
- Li Qingping, Dong Renguo, Li Xiuzhang, et al. New advances in the study of the Cambrian to Lower Ordovician sequence-stratigraphy in the West Shandong[J]. Journal of Stratigraphy, 2005, 29(4): 376-380.
- [8] 宋奠南. 对怀远运动的再认识[J]. 山东地质, 2001, 17(1): 19-23.
- Song Diannan. Re-recognition of Huaiyuan Movement[J]. Geology of Shandong, 2001, 17(1): 19-23.
- [9] 陈建强, 胡树庭, 杨欣德. 山东淄博地区奥陶系层序地层划分和层序界面的识别标志[J]. 现代地质, 2001, 15(3): 247-253.
- Chen Jianqiang, Hu Shuting, Yang Xinde. Ordovician sequence stratigraphy and the sequence boundary marks of Zibo, Shandong Province[J]. Geoscience, 2001, 15(3): 247-253.
- [10] 杨华, 王宝清, 孙六一, 等. 鄂尔多斯盆地古隆起周边地区奥陶系马家沟组储层影响因素[J]. 岩性油气藏, 2013, 25(3): 10-13.
- Yang Hua, Wang Baoqing, Sun Liuyi, et al. Influencing factors of reservoirs for Ordovician Majiagou Formation in the surrounding area of paleo-uplift in Ordos Basin[J]. Lithologic Reservoirs, 2013, 25(3): 10-13.
- [11] 黄文辉, 王安甲, 万欢, 等. 塔里木盆地寒武-奥陶系碳酸盐岩储集特征与白云岩成因探讨[J]. 古地理学报, 2012, 14(2): 197-208.
- Huang Wenhui, Wang Anjia, Wan Huan, et al. Discussion on characteristics of the Cambrian-Ordovician carbonate rocks reservoirs and origin of dolostones in Tarim Basin[J]. Journal of Palaeogeography, 2012, 14(2): 197-208.
- [12] 祝海华, 钟大康. 四川盆地龙岗气田三叠系飞仙关组储集层特征及成因机理[J]. 古地理学报, 2013, 15(2): 276-282.
- Zhu Haihua, Zhong Dakang. Characteristics and formation mechanism of the Triassic Feixianguan Formation reservoir in Longgang Gas Field, Sichuan Basin[J]. Journal of Palaeogeography, 2013, 15(2): 276-282.
- [13] 赫云兰, 刘波, 秦善, 等. 白云石化机理与白云岩成因问题研究[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2010, 46(6): 1015-1016.
- He Yunlan, Liu Bo, Qin Shan, et al. Study on the dolomitization and dolostone genesis[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2010, 46(6): 1015-1016.
- [14] 张学丰, 刘波, 蔡忠贤, 等. 白云岩化作用与碳酸盐岩储层物性[J]. 地质科技情报, 2010, 29(3): 81.
- Zhang Xuefeng, Liu Bo, Cai Zhongxian, et al. Dolomitization and carbonate reservoir formation[J]. Geological Science and Technology Information, 2010, 29(3): 81.
- [15] 马永生. 碳酸盐岩微相: 分析、解释及应用[M]. 北京: 地质出版社, 2006: 271.
- [16] 徐亮. 东营凹陷沙四段碳酸盐岩成岩作用研究[J]. 矿物岩石, 2012, 32(4): 74-78.
- Xu Liang. Research of diagenesis of carbonate rock in Sha 4 member of Dongying sag[J]. Journal of Mineralogy and Petro-



logy, 2012, 32(4): 74-78.

[17] 朱筱敏. 沉积岩石学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2007: 204.

[18] 时国, 田景春, 吴永良, 等. 南华北地区下古生界碳酸盐岩成岩作用及其对储层的影响[J]. 地质科技情报, 2010, 29(2): 11-14.

Shi Guo, Tian Jingchun, Wu Yongliang, et al. Lower Paleozoic carbonate diagenesis feature and controlling over reservoirs in Southern North China[J]. Geological Science and Technology Information, 2010, 29(2): 11-14.

[19] 李旻南, 傅恒. 川东北河坝地区嘉二段成岩作用特征及其与储层发育的关系[J]. 矿物岩石, 2013, 33(1): 108-114.

Li Minnan, Fu Hen. Relation between the characteristics of reservoir diagenesis and reservoir development for the second member of Jia Ling Jiang Formation in the Heba area of northeast Sichuan province[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2013, 33(1): 108-114.

[20] 强子同, 郭一华. 碳酸盐成岩作用与沉积矿产[J]. 矿物岩石, 1982, 3(1): 96-101.

Qiang Zitong, Guo Yihua. Diagenesis of carbonate and sedimentary mineral[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 1982, 3(1): 96-101.

[21] 杜叶龙, 李双应, 王冰, 等. 安徽无为-巢湖地区中下二叠统碳酸盐岩成岩作用[J]. 地质学报, 2011, 4(85): 544-549.

Du Yelong, Li Shuangying, Wang Bing, et al. Diagenesis of the Lower-Middle Permian carbonate in the Wuwei-Chaohu area, Anhui Province[J]. Acta Geologica Sinica, 2011, 4(85): 544-549.

[22] 林春明, 张志萍, 李艳丽, 等. 二连盆地白银查干凹陷早白垩世腾格尔组沉积特征及物源探讨[J]. 高校地质学报, 2009, 15(2): 226-239.

Lin Chunming, Zhang Zhiping, Li Yanli, et al. Sedimentary characteristics and source provenance in the Early Cretaceous Tenggeer Formation of Baiyinchagan Sag, Erlian Basin[J]. Geological Journal of China Universities, 2009, 15(2): 226-239.

(责任编辑: 高丽华)

## “沉积·资源·环境”研究专栏征稿

### 征稿范围:

- ◇地质基本科学问题、应用及发展
- ◇全球环境变化与沉积作用
- ◇盆地分析与板块运动
- ◇盆地运动学的新理论
- ◇能源的勘探与开发
- ◇大地构造沉积学
- ◇层控矿床
- ◇岩相古地理
- ◇生物成矿作用
- ◇流域开发与环境保护
- ◇层序地层与事件地质
- ◇油气储集层的成岩作用

欢迎相关领域专家、学者和工程技术人员踊跃投稿, 来稿请注明“沉积·资源·环境”专栏。稿件经专家评审通过后优先发表, 优稿优酬。

投稿平台: [http://xuebao.sdust.edu.cn/index\\_z.asp](http://xuebao.sdust.edu.cn/index_z.asp)

电子邮箱: [zkglhxx@163.com](mailto:zkglhxx@163.com); [zkzxxg@sdust.edu.cn](mailto:zkzxxg@sdust.edu.cn)

联系电话: 0532-86057859