

华北地台东部下古生界白云岩的类型及储集性

金振奎 冯增昭

(石油大学,北京)

提 要 华北地台东部下古生界的白云岩可分为泥—粉晶白云岩和细—粗晶白云岩。前者包括含石膏的和不含石膏的,后者包括等晶粒的和不等晶粒的。含石膏的和不含石膏的泥—粉晶白云岩分别是干旱和潮湿气候潮上带蒸气发泵浓缩白云化的产物,等晶粒细—粗晶白云岩主要分布于平行不整合面之下,乃混合水白云化之产物,不等晶粒细—粗晶白云岩由早期的白云岩重结晶形成。

白云岩中的孔隙类型多样,其储集性受白云石含量和颗粒大小以及粘土含量等因素影响。

关键词 华北地台 下古生界 白云岩类型 储集性

第一作者简介 金振奎 男 30岁 博士研究生 沉积学

概述

华北地台东部(即吕梁山以东的地区)包括晋、冀、鲁、京、津的全部以及内蒙、吉、辽、苏、豫、皖的部分地区。区内下古生界包括寒武系和奥陶系的中、下统,缺失志留系和上奥陶统。寒武系分三统,下统又分辛集组、馒头组和毛庄组,中统分徐庄组和张夏组,上统分崮山组、长山组和凤山组。奥陶系下统分冶里组和亮甲山组,中统分马家沟一组、二、三、四、五组和马家沟六组(冯增昭等,1990)。除中、下奥陶统之间为平行不整合外,其余各组之间均为整合接触。

在区内的下古生界中,白云岩很发育,下寒武统到中奥陶统均有分布,但主要见于辛集组、馒头组、毛庄组、凤山组、冶里组、亮甲山组和马家沟一、三、五组。下寒武统和马家沟一、三、五组的白云岩以泥粉晶白云岩为主。在凤山组、冶里组和亮甲山组中,既有泥粉晶白云岩,又有细—粗晶白云岩(即“砂糖状白云岩”),两者常呈不等厚互层,以后者为主。

对工区内的白云岩,以前曾做过一些工作(冯增昭,1979;冯增昭等,1990),本次则是在这些工作的基础上对白云岩的类型、成因及油气储集性能作更进一步的研究。

1 白云岩的类型及特征

工区内的白云岩,按其晶粒大小,可分为两大类,即泥—粉晶白云岩和细—粗晶白云岩,前者又可分为含石膏和不含石膏两种,后者分为等粒与不等粒两种。

1.1 泥—粉晶白云岩

由泥—粉晶白云石组成,晶粒几微米到三十几微米。据石膏的有无,可分为含石膏泥—粉

晶白云岩和不含石膏泥—粉晶白云岩。

1.1.1 含石膏泥—粉晶白云岩

呈浅灰、褐黄色，中薄层，水平纹理发育，常见泥裂和鸟眼构造，泥质含量较高（一般为 5%~10%），含石膏，并与铁丝鸡笼状及层纹状石膏岩共生。石膏呈结核状或分散的小晶体。石膏小晶体常常溶蚀，并充填粉—细晶方解石，形成石膏假晶（图版 1.1）。在地层深处，石膏多转变为硬石膏。阴极发光下白云石呈浅红色。据两块样品分析，该类白云岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 为 $-4.77\text{‰} \sim -6.01\text{‰}$ ，平均 -5.39‰ ； $\delta^{13}\text{C}$ 为 $0.42\text{‰} \sim 2.21\text{‰}$ ，平均 1.13‰ ；（图 1）。

主要分布于工区西部的马家沟一、三、五组，以山西临汾地区发育最好。此外，在山东聊城的下奥陶统和辽宁锦州地区的下寒武统也有出现。其岩性及构造特征与波斯湾地区潮上带现代准同生白云岩相似，故应也是干旱气候下潮上带的准同生白云岩。

1.1.2 不含石膏泥—粉晶白云岩

呈浅灰、褐黄色，中薄层，水平纹理发育，常见鸟眼和叠层石构造，但不含石膏，也不与石膏岩共生。17 块样品分析结果为见图 1，表 1。该类白云岩常被风浪打碎而形成砂、砾屑，砂、砾屑或分散于覆于泥—粉晶白云岩之上的颗粒石灰岩中，或单独形成砂屑白云岩和砾屑白云岩，说明泥—粉晶白云岩形成于成岩作用早期。

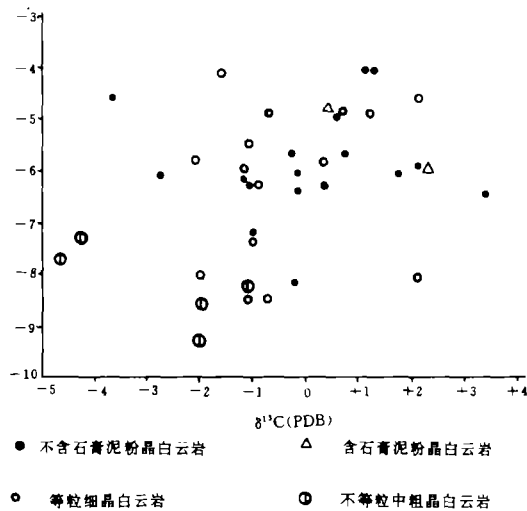


图 1 华北地台东部下古生界各类白云岩的氧、碳同位素分布

Fig. 1 Distribution of carbon and oxygen isotopes of dolostones of the Lower Paleozoic in the eastern North-China Platform.

表 1 华北地台东部下古生界白云岩的阴极发光特征及微量元素含量表

Table 1 Cathodoluminescence feature and trace elements contents of dolostones of the Lower Paleozoic in the eastern North-China Platform

岩石类型	层位	阴极发光	Fe ²⁺ + Fe ³⁺ (%)	Mn ²⁺ (%)	Sr ²⁺ (ppm)
不含石膏泥—粉晶白云岩	汶 O ₁ -30-3	浅红色	0.04	0.05	<100
等粒细晶白云岩	汶 O _{1r} -5-1	红色	0.36	0.05	<100
	汶 O _{1r} -5-2	红色	0.29	0.01	<100
	汶 O _{1r} -14-1	红色	0.34	0.05	<100
	汶 O _{1r} -14-2	红色	0.25	0.04	<100
	汶 O _{1r} -14-3	红色	0.54	0.11	<100
	汶 O _{1r} -16-1	红色	0.50	0.12	<100
	汶 O _{1r} -16-2	深红色	0.74	0.11	<100
不等粒粗晶白云岩	汶 O ₁ -1-1	浅红色	0.14	0.01	
	汶 O ₁	橙色	0.01	0.06	

该类白云岩广泛分布于下寒武统及中、下奥陶统,以山东新汶地区发育较好,其岩性及构造特征与巴哈马台地潮上带的现代准同生白云岩的相似,也应属潮湿气候下潮上带的准同生白云岩。

1.2 细—粗晶白云岩

包括细晶、中晶和粗晶白云岩,以细晶白云岩为主,中晶和粗晶白云岩较少。细—粗晶白云岩多呈中厚层及块状,由于晶粒较粗,白云岩表面呈砂糖状,故也常称之为“砂糖状白云岩”。

按照白云石晶粒大小的均一程度,还可分为等晶粒和不等晶粒细—粗晶白云岩。

1.2.1 等晶粒细—粗晶白云岩

由大小基本一致的白云石组成,且多为细晶白云岩。岩石中白云石呈自形、半自形或他形。自形和半自形白云石常见,特别是当白云化不完全时(图版 1.2.3)。自形和半自形的白云石常具雾心亮边。当其原岩中有砾屑、鲕粒、生屑等颗粒时,其轮廓常清晰可见。阴极发光下呈红到暗红色,单个白云石发光均一或呈规则的菱形环带,Fe 含量较高(表 1)。15 块样品分析结果见图 1,表 1。

主要分布于上寒武系和下奥陶统,是“三山子白云岩”(冯增昭,1979)的主要岩石类型。

1.2.2 不等晶粒细—粗晶白云岩

由大小差别悬殊的白云石组成,且大小不一的白云石常分别聚集成斑状(图版 1.4,5)。通常,岩石由两种白云石斑组成。斑可由粉晶、细晶、中晶或粗晶白云石组成。斑可大可小,大者达数厘米或更大,在露头上肉眼可见,小者可由一个或几个白云石晶体组成,在显微镜下才能观察到。较粗斑中的白云石多呈它形。其它特征见图 1,表 1。

主要分布于下奥陶统之间的平行不整合面之下的亮甲山组和冶里组,而且其内淋滤孔隙发育,孔洞内充填亮晶方解石。

2 白云岩的成因

2.1 泥—粉晶白云岩的成因

含石膏泥—粉晶白云岩形成于干旱气候下的潮上带,其岩性特征与波斯湾地区潮上带现代准同生白云岩的相似,其成因也相似,即为潮上带蒸发泵浓缩白云化的产物(IIsü and Siegenthaler, 1969)。

不含石膏泥—粉晶白云岩的岩性特征与巴哈马台地潮上带现代准同生白云岩的一致,因此成因也是相同的,即为潮上带蒸发泵浓缩白云化的产物。白云岩中未见石膏等蒸发矿物,可能是由于气候潮湿,雨水较多,石膏不易形成或形成后即被溶解所致。

波斯湾地区现代准同生白云岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 为 2.5%~3.7%(Kinsman and Patterson, 1973),巴哈马台上的现代准同生白云岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 为 0.04%~4.1%(均为 PDB 标准)(Supko, 1977)与现代准同生白云岩相比,工区内的泥—粉晶白云岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 显然是很低的。这很可能是后期在淡水影响或较高温度下重结晶造成的。现代潮上带准同生白云岩中的白云石是高钙、有序性差的“原白云石”,而且大小一般为几微米,而工区内泥—粉晶白云岩中的白云石普遍较粗,可达三十几微米,表明工区内的泥—粉晶白云岩的确发生了不同程度的重结晶。

2.2 细—粗晶白云岩的成因

2.2.1 等晶粒细—粗晶白云岩的成因

岩石中白云石晶粒大小基本一致,自形、半自形的常见,常见生长环带。在白云化不完全时常见菱形白云石交代灰泥或颗粒,并含方解石包裹体(图版 I. 3)。因此,白云石应是通过交代石灰岩、而不是由早期的白云石重结晶形成的。其 $\delta^{18}\text{O}$ 为 -8.49% ~ -4.09% (多为 -6.51% ~ -4.09%), Sr^{2+} 含量 $<100\text{ppm}$ 。表明白云岩很可能是混合水白云化的产物。 $\delta^{18}\text{O}$ 的变化可能主要是由于海水与淡水以不同比例混合引起的。

混合水白云岩的形成与平行不整合面及潮坪沉积密切相关。工区内下古生界的等晶粒细一粗晶白云岩绝大部分集中在上寒武统到下奥陶统内(即“三山子白云岩”),位于中、下奥陶统之间的平行不整合面之下。自南而北,平行不整合面之下缺失的地层逐渐减少。

河南禹县和洛阳龙门以南,马家沟一组直接覆于上寒武统之上,缺失下奥陶统至上寒武统顶部地层;向北至河北井径,下奥陶统厚 110m,亮甲山组上部缺失;呼和浩特—平山—无棣一线以北,中、下奥陶统之间仍为平行不整合,但其北部地区已不明显,下奥陶统基本齐全,厚 200 多米。与此平行不整合相对应,“三山子白云岩”的底界自南而北层位变高;在河南临汝,其底在崮山组内;在河北井径,其底在凤山组内;至河北易县、北京西山和辽宁朝阳地区,其底在亮甲山组内。尽管自南而北,“三山子白云岩”的底界逐渐抬升,但其厚度却变化不大,一般在 100m 左右。局部地区达 200 多米。在工区北缘厚度变小并趋于尖灭。可能是因自南而北,随着地壳的逐渐抬升,淡水与海水混合带逐渐向北推移,从而形成了“三山子白云岩”。

在寒武系和奥陶系的其他组段,也见少量等晶粒细晶白云岩。这些白云岩往往分布于潮坪沉积之下,可能是潮坪之下混合水白云化形成的。

2.2 不等晶粒细一粗晶白云岩

该类白云岩中白云石晶粒大小差别悬殊,而且多呈它形,阴极发光杂乱,表明白云岩曾发生过重结晶,据残余的泥粉晶白云石云斑以及细晶白云石云斑可知,其原岩可为泥—粉晶白云岩或细晶白云岩。不等晶粒细一粗晶白云岩分布于中、下奥陶统之间的平行不整合面之下,其内淋滤孔隙发育,而且其 $\delta^{18}\text{O}$ 很低,为 -9.27% ~ -7.32% , $\delta^{13}\text{C}$ 也全是较低的负值,因此,重结晶很可能是在表生条件下受淡水影响而发生的。

3 白云岩的油气储集性

华北地台东部下古生界白云岩的类型多样,其储集性差别比较大。对 130 多块白云岩样品的测试结果表明,其孔隙度为 0.1% ~ 25.0% ,渗透率 $<0.01\sim 8069\text{md}$ 。分别讨论如下:

3.1 孔隙类型

工区下古生界的白云岩中的孔隙多种多样,按成因可分三大类,即干缩孔隙、溶蚀孔隙和应力孔隙。干缩孔隙包括鸟眼孔和干缩缝;溶蚀孔隙包括晶内孔、晶间孔、孔洞、铸模孔;应力孔隙主要指岩石受构造应力作用而形成的裂缝。

晶内孔大小为几微米到几十微米(图版 I. 6)。单一白云岩石晶体中晶内孔含量可达 20% 。晶内孔一般是白云石受淋滤而形成的。

晶间孔形态较规则,呈多面体(几个白云石之间)或板状(两个白云石之间)(图版 I. 7)。分布均匀,其含量可高达 25% ,主要是白云石晶体间的方解石被溶解形成。

孔洞是指白云岩中由多个白云石晶体部分或全部溶解而形成的孔隙,其大小一般为毫米级到厘米级,形态不规则。

铸模孔是指石膏晶体溶解而形成的孔隙，主要分布于含石膏泥—粉晶白云岩中。

通过岩心观察，发现白云岩中最常见的含油孔隙是晶间孔和裂缝。

3.2 影响储集性的一些因素

白云岩的储集性受许多因素影响，其中有白云石的含量、白云石的大小和粘土含量等。

白云石的孔隙度与白云石的含量有关。随着石灰岩白云化程度的增高，白云石的含量增高，其孔隙度也随之增大，但当白云化接近完全，白云石含量接近 100% 时，孔隙度则再次降低（图 2）。这是由于白云石开始交代石灰岩时，白云石与石灰岩之间存在狭窄的缝隙。云斑石灰岩的铸体薄片观察发现，云斑中的面孔率一般为百分之几，而非云斑部分则为零，注入的塑料分布在白云石晶体周围，呈线条状。白云石的含量越高，这类孔隙越多，故孔隙度越高。但当白云化接近完全时，就会在形成的孔隙中沉淀白云石，从而使白云岩的孔隙度降低。据此可以推测，在白云岩和石灰岩过渡带中的云斑石灰岩，含灰和灰质白云岩的孔隙度是较高的。

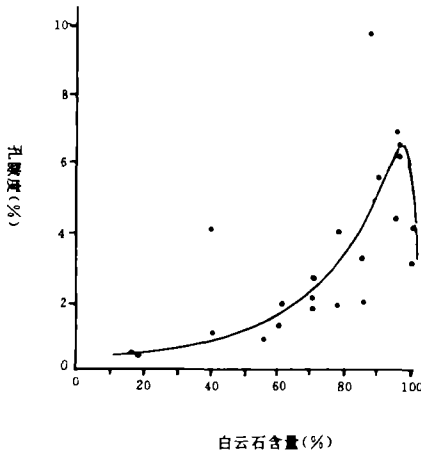


图 2 山西临汾马家沟四、五组白云石含量与孔隙度的关系

Fig. 2 Relationship between porosity and content of dolomite. Samples from the Majiagou Formations IV and V, Linfen, Shanxi Province

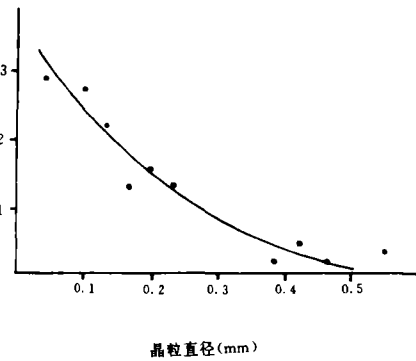


图 3 山西临汾亮甲山组白云石晶粒大小与孔隙度的关系

Fig. 3 Relationship between porosity and size of dolomite crystals. Samples from the Liangjiashan Formation, Linfen, Shanxi Province.

白云石晶粒的大小也影响孔隙度。一般随晶粒增大，孔隙度有降低的趋势，粉晶白云岩的孔隙度较细晶白云岩的高，而细晶白云岩的又往往较中粗晶白云岩的高（图 3）。这是由于白云岩中的白云石是呈镶嵌接触的，白云石之间一般存在狭窄的缝隙（图版 1.7）。体积一定时，白云石越小，缝隙越多，孔隙度越大。据华北油田及长庆油田的岩心观察，粉晶白云岩的储集性一般是各类白云岩中最好的。泥晶白云岩的储集性一般比粉晶白云岩的差，可能由于晶粒太小，晶粒间的缝隙（晶间孔）也就很小。孔隙直径小于 0.1 μ m 时，就成为微毛细管孔隙，即“死孔隙”。据压汞分析，粉晶白云岩中孔隙的孔喉半径普遍较泥晶白云岩的大。例如 1 块粉晶白云岩的最大孔喉半径达 1.0 μ m，中值孔喉半径为 0.75 μ m；而泥晶白云岩则分别为 0.18 μ m，和 0.

12 μm 。因此,粉晶白云岩的储集性更好。

有些白云岩含有泥质,在碎屑岩中,泥质含量越高,储集性越差。对白云岩来说也是如此。粘土矿物对白云岩储集性的破坏作用有三个方。首先,粘土矿物堵塞孔隙,使孔隙度和渗透率降低(图版1.8)。粘土矿物多是沉积的,但有一些是次生的。其次,粘土矿物的存在不利于白云岩的溶蚀,这主要是由于粘土堵塞孔隙不利于水的流动所致。第三,粘土矿物的存在使白云岩的脆性降低,因而不利于裂隙的形成。从图4中可以看出,含粘土的粉晶白云岩中,孔隙度 $>3\%$ 的约占42%;而不含粘土的则占64%;(据华北油田岩心观察,孔隙度 $>3\%$ 才能成为良好的储集岩)。可见粘土含量的高低对白云岩的储集性影响较大。

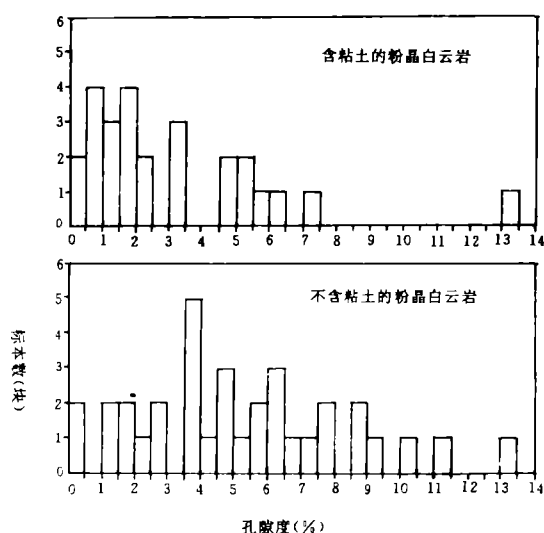


图4 含粘土的与不含粘土的粉晶白云岩的孔隙度分布。标本取自华北油田中奥陶统。

Fig. 4 Porosity distribution of clayey and non-clayey microcrystalline dolostones. Samples from the Middle Ordovician of the North-China Oilfield.

杨承运、高怀林、王旭东等参加了部分野外工作;王英华、吴胜和、王泽中、田海芹等给予了大力支持;北京大学同位素实验室、地质大学电子探针室、长庆油田电镜室分别承担了同位素分析、电子探针分析、电镜扫描等工作。特此致谢。

收稿日期:1991年5月11日

参 考 文 献

- [1] 冯增昭等,1990,华北地台早古生代岩相古地理,地质出版社
- [2] 冯增昭,1979,华北地台早奥陶世岩相古地理新探,地质科学,4期,302~313页。
- [3] Hsü K. J., and Siegenthaler C., 1969, *Sedimentology*, V. 12, p. 11~25
- [4] Kinsman D. J. J. and Patterson R. J., 1973, *A. A. P. G. Bull.* V. 57, p. 788~789
- [5] Supko P. R., 1977, *Jour. Sed. Petrology*, V. 47, p. 1063~1077

Types and Reservoiring Performance of Dolostones of the Lower Paleozoic in Eastern North-China Platform

Jin Zhenkui Feng Zengzhao

(University of Petroleum, Beijing)

Abstract

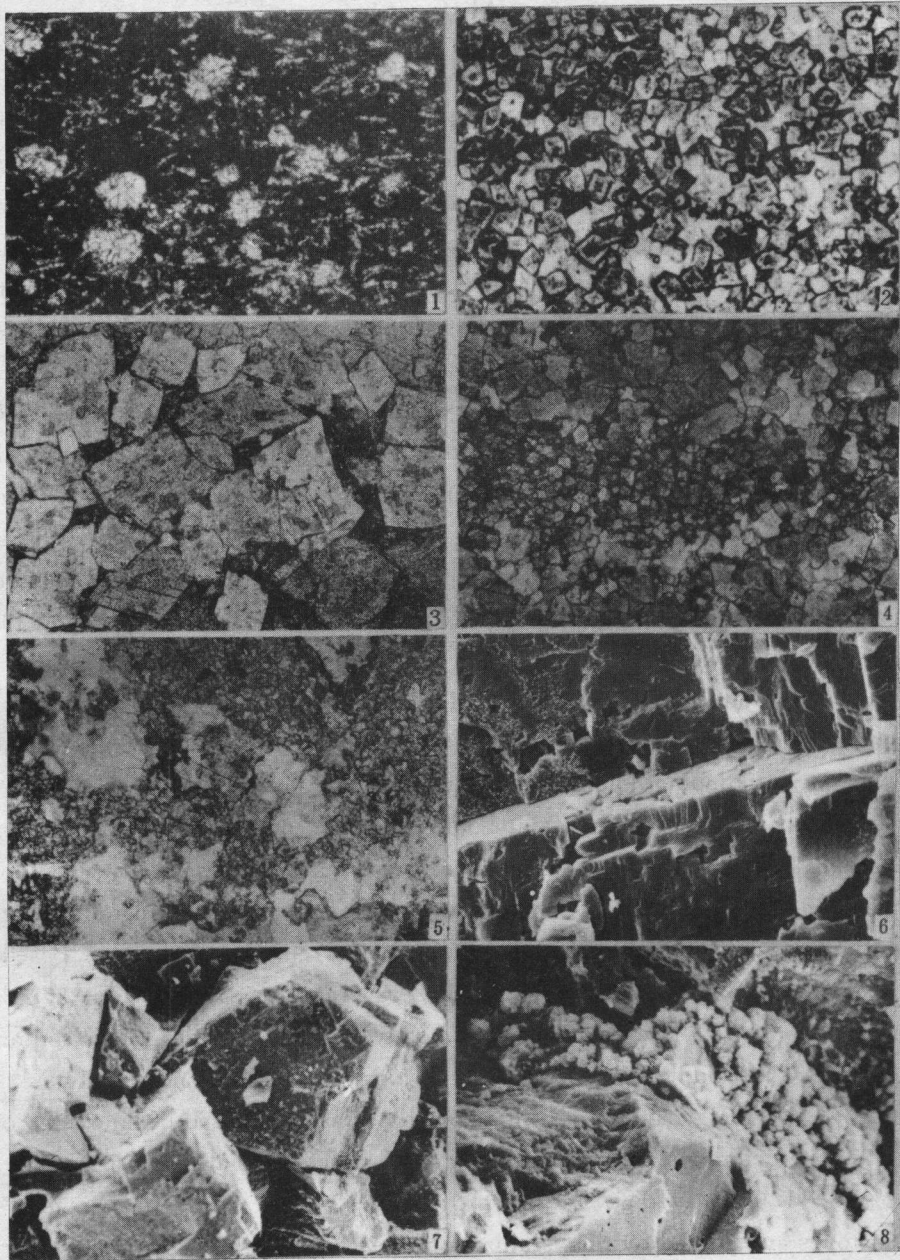
Dolostones are very common in the Lower Paleozoic of eastern North-China Platform, and can be divided into mud-silt-sized crystalline dolostones and fine-coarse crystalline dolostones. The former includes gypsiferous and non-gypsiferous; the later includes equal-crystal and unequal-crystal fine-coarse crystalline dolostones.

Gypsiferous mud-silt-sized crystalline dolostones are well laminated, show bird's-eyes and mudcracks, contain gypsum crystals or nodules, and are associated with chicken-wire or laminated gypsum rocks. Based on the analysis of two samples, their $\delta^{13}\text{C}$ is 0.42‰~2.21‰, average 1.13‰(PDB); $\delta^{18}\text{O}$ is -6.01‰~-4.77‰, average -5.39‰(PDB). The low $\delta^{18}\text{O}$ results from recrystallization in fresh water and/or under high temperatures. These dolostones are similar to the Sabkha penecontemporaneous dolostones in the Persian Gulf, and are formed in supratidal flats by evaporative pumping dolomitization under arid climate. Non-gypsiferous mud-silt-sized crystalline dolostones are similar to the gypsiferous ones in texture and structure, but do not contain gypsum and are not associated with gypsum rocks. Based on the analysis of 17 samples, their $\delta^{13}\text{C}$ is -3.69‰~-3.41‰, average 0.03‰; $\delta^{18}\text{O}$ -8.17‰~-4.04‰, average -5.91‰. The low $\delta^{18}\text{O}$ also results from recrystallization in fresh water and/or under high temperatures. These dolostones are similar to the supralittoral penecontemporaneous dolostones on the Bahamian Platform, and are formed in supratidal flats by evaporative pumping dolomitization under humid climate.

Equal-crystal fine to coarse crystalline dolostones are composed of dolomites of basically the same size. Euhedral and semi-euhedral dolomites are common, especially when dolomitization is incomplete. Some dolomites show dirty centers and clean marging, and may contain calcite inclusions. These dolomites are formed directly by replacing limestones. Based on analysis of 15 samples, the $\delta^{13}\text{C}$ is -2.11‰~2.10‰, average -0.40‰; $\delta^{18}\text{O}$ -8.49‰~-4.09‰, average -5.53‰. These dolostones are mostly distributed under the disconformity between the Lower and Middle Ordovician, and are formed by dorag dolomitization.

Unequal-crystal fine-coarse crystalline dolostones are composed of dolomites of greatly different size. The dolomites are commonly anhedral. Based on analysis of 5 samples, the $\delta^{13}\text{C}$ is -4.72‰~-1.08‰, average -2.83‰; $\delta^{18}\text{O}$ -9.27‰~-7.32‰, average -8.31‰. These dolostones are formed by recrystallization of earlier dolostones in fresh water.

Porosities of dolostones in the Lower Paleozoic can be divided into intracrystal pores, intercrystal pores, vugs, cast pores, fissures, bird's-eye pores and shrinking fissures. The reservoiring performance of the dolostones are controlled by many factors, such as the content and size of dolomites, and clay content of the dolostones, non-clayey silt-sized crystalline dolostones show the best reservoiring performance.



1. 泥—粉晶白云岩。含石膏假晶,具鸟眼构造。假晶细小,杂乱排列。假晶及鸟眼充填方解石。山东汶南,马家沟三组底部,单偏光,×35。 2. 等晶粒细晶白云岩。白云石多呈自形,具雾心亮边。山西临汾,亮甲山组,单偏光,×40。 3. 等晶粒中晶白云岩。白云石内含方解石包裹体,且多呈自形或半自形。白云石之间为未白云化的灰泥。徐州贾汪,长山组,单偏光,×50,染色。 4. 不等晶粒中晶白云岩。内含细晶白云石斑。山西临汾,亮甲山组,单偏光,×25。 5. 不等晶粒粗晶白云岩。粗晶白云石呈他形,其间为泥粉晶白云石。山西临汾,亮甲山组,单偏光,×30。 6. 晶内孔,分布于细晶白云石中。山西临汾,亮甲山组,扫描电镜,×1000。 7. 晶间孔,分布于细晶白云石之间。山西临汾,亮甲山组,扫描电镜,×260。 8. 粘土矿物,呈絮状,分布于白云石之间,堵塞孔隙。山西临汾,亮甲山组,扫描电镜,×1000。