

山西襄汾奥陶系岩石学特征及沉积环境分析

邱艳生

(湖北省区域地质矿产调查所)

提要 山西襄汾地区奥陶系只有下、中统,主要由碳酸盐岩与蒸发岩组成,燧石及陆源碎屑岩少见。同位素资料表明 $\delta^{18}\text{O}$ 较低(平均 -5.832‰PDB), $\delta^{13}\text{C}$ (平均 -1.210‰PDB)变化较小,表示古盐度的指数 Z 多大于 120。微量元素表明碳酸盐岩沉积于近陆环境,受大气淡水影响强烈。沉积环境主要是潮上(膏泻湖)、潮间坪、潮下局限海及开阔海。峰峰期后最大的海退结束了本区海相沉积史。

关键词 碳酸盐岩 蒸发岩 沉积环境 奥陶系 山西襄汾

作者简介 邱艳生 男 28 岁 助工 沉积学

襄汾奥陶系剖面在于南辛店、古城两地,位于吕梁山南部,其西部山区奥陶系出露完好,地质构造较简单,是华北地台西部碳酸盐岩及蒸发岩沉积相与环境研究的理想场所(图 1)。

1 沉积特征与岩石类型

1.1 矿物成分与微量元素特征

碳酸盐岩中以方解石、白云石为主,混有少量玉髓、微晶石英、伊利石及长石。蒸发岩则由硬石膏与石膏组成。

所作的 8 种微量元素数据表明灰岩中的 Mn 含量低于白云岩,由表 1 可见, Mn 含量到晚期越少。Sr 含量在含粘土灰岩及灰岩中一般较高,含粘土灰岩或灰岩形成时捕获了 Sr。此外,通过 8 种元素聚类分析得知, Mn 与 Co、Ni、V、Cr、Fe 为正相关;而后者在含粘土的白云岩中更富集。

Sr/Ba 在灰岩中略高于白云岩,为 0.96—1.21,后者在 0.47—0.96 间,表明在本区沉积成岩过程中显然有淡水加入。方解石的 Sr/Ca 可判断成岩深度(Baker, 1982; Arthur 等, 1983)。O₂x² 的 61 层 Sr/Ca 为 1.2×10^{-3} , 计算的成岩深度为 50m 左右;而 O₂s¹ 的 C6 层为 1.0×10^3 , 深度则为 30m 左右。本区 Fe/Mn 为

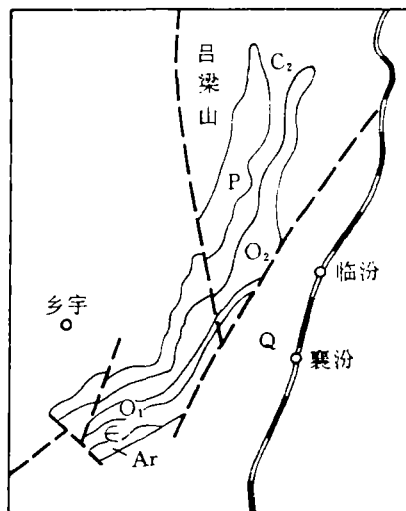


图 1 襄汾西部地区地质略图

Fig. 1 Sketch geological map of Western Xiangfen, Shanxi Province

22.3—47.3,表明一方面发生了大量淡水淋滤或混合,另一方面Fe还来源于含铁矿物的成岩蚀变。Sr的浓度为20—600 $\mu\text{g/g}$ 时白云石的形成与混合水有关(Veizer et al, 1974)。本区白云岩Sr浓度为32—88 $\mu\text{g/g}$ 。16层、29层、41层、47层及80层几种岩石从其Sr浓度、岩石特征(块状、较清洁、自形程度高)与形成时期看,主要是晚期成岩(准同生期后)的产物。

1.2 碳、氧同位素特征

碳酸盐岩 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值为 -1.210% (PDB), $\delta^{18}\text{O}$ 为 -5.832% (PDB)。间接判断古盐度的方法目前多用Z值,即用它们来区分侏罗纪及以后岩石的海相或淡水相。其经验公式如下(Keith和Weber, 1964):

$$Z = 2.048(\delta^{13}\text{C} + 50) + 0.498(\delta^{18}\text{O} + 50)$$

$Z < 120$ 时为淡水, >120 时为海相。由于本区奥陶系碳酸盐岩 $\delta^{13}\text{C}$ 变化较小,仍可大致以Z值判断海相与淡水相。计算表明Z值多大于120(表1)。

表1 碳酸盐岩分析数据一览表

Table 1 Analytic data of Carbonate rocks

样号	分析项目 岩石名称	扫描电镜 (%)				微量元素分析 (μg/g)										同位素分析				X衍射分析		
		Mg	Ca	Fe	O	Co	Ni	Mn	Fe	Cr	V	Sr	Ba	Fe/Mn	Sr/Ba	δ ¹³ C (‰ PDB)	δ ¹⁸ O (‰ PDB)	Z	t (°C)	有序度	D值	白云岩中Ca的mol%
ELR6-2	粘土质粉细晶云岩	15.27	52.10	1.38	31.24															0.75	2.450	56.5
ELR16	细一中晶竹叶云岩					1.6	1.60	140	3700	15	37	32	54	40.7	0.50	-1.541	3.535	122.14	35.6	0.92	2.882	51.0
ELR29	细一中晶云岩	22.30	44.98	0.18	32.54	0.5	1.0	130	2900	1	34	59	55	22.3	0.90	-2.533	-8.539	117.71	41.5	0.89	2.885	51.5
ELR39	含粘土粗晶云岩	24.39	42.67	0.60	33.03																	
ELR41	含粘土细一中晶云岩	20.98	45.29	1.42	32.20	1.2	2.0	170	4900	4	68	88	92	23.5	0.95	-2.710	-4.952	119.73	35.9	0.70	2.885	51.0
EHR47	粉一细晶云岩	22.10	45.29	0.60	32.52	1.2	2.5	140	3500	6	35	43	92	25.7	0.47	-1.253	-4.734	122.67	37.1	0.92	2.885	51.0
EHR61-1	泥晶灰岩	0.70	62.51	0.30	35.21	0.3	1.2	28	830	0.3	30	84	70	23.6	1.21	-0.675	-10.063	120.83	70.8		3.074	
EHR65-1	泥晶灰岩	0.09	69.53	0.60	29.14	0.6	1.7	5.5	2500	2	29	73	76	47.3	0.96	-0.034	-4.550	124.64	40.6		3.034	
EHR71	灰质细一粉晶云岩	21.43	45.52	0.60	32.58														0.72	2.887	52.0	
EHR80	细晶云岩	21.67	45.79	0.99	32.54	0.4	1.1	77	2100	4	35	55	67	27.2	0.92	+0.225	-4.845	125.34	40.1	0.95	2.895	51.5
EHR86	粉晶云岩	23.95	44.23	0.60	32.78																	
EHR89	粉一泥晶云岩	23.77	43.35	0.50	32.93																	

经沙克萊頓(Shackleton, 1974; 王英华等, 1989)修改的计算古温度的经验公式是:

$$t(^{\circ}\text{C}) = 16.9 - 4.38(\delta_{\text{C}} - \delta_{\text{w}}) + 0.10(\delta_{\text{C}} - \delta_{\text{w}})^2$$

此处 δ_{C} 为碳酸盐的 $\delta^{18}\text{O}$, δ_{w} 为古海水的 $\delta^{18}\text{O}$ 。该式对中生代以来的海水温测定比较有效,但对于中生代以前的碳酸盐岩,由于各种成岩作用影响,计算的水温准确性有一定问题,一般偏高。这里得出的温度是假定古海水 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 -0.08% (Craig, 1965)而计算出来的,它仅反映各岩石形成时水温的相对变化,多半与有大气淡水参与的重结晶有关。由表1可知,随温度升高及淡水加入程度增大, $\delta^{18}\text{O}$ 下降。 $\delta^{13}\text{C}$ 在零值附近,且多为负值,说明碳同位素较为稳定,可能当时处于受淡水影响的开阔的海洋环境。自下而上靠近中、下统间不整合面 $\delta^{13}\text{C}$ 下降,而29层、41层Z值小于120。可见不整合面下的岩石不止一次接受淡水。

1.3 岩石类型特征

本区奥陶系总厚度 634.92m,以碳酸盐岩及蒸发岩为主,另见少量粘土岩、中统底部见石英质砾岩及白云岩屑砂砾岩(图 2)。现就主要岩类及成因扼要分析如下。

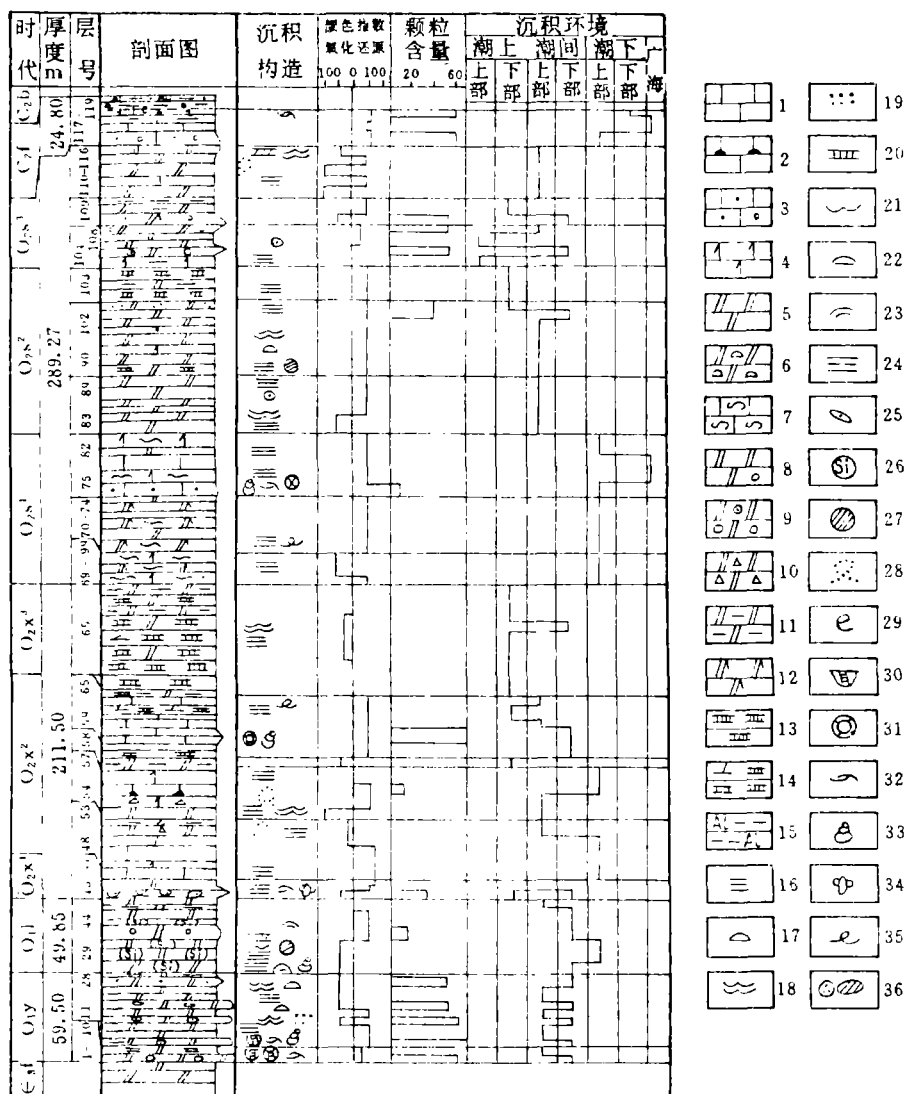


图 2 山西襄汾奥陶系沉积特征柱状图

1. 灰岩 2. 球粒灰岩 3. 砂砾屑灰岩 4. 云质灰岩 5. 白云岩 6. 竹叶状砾屑云岩 7. 云斑灰岩 8. 砂砾屑云岩
9. 鲕粒云岩 10. 角砾状云岩 11. 泥质云岩 12. 灰质云岩 13. 石膏岩 14. 云质膏岩 15. 铝土岩 16. 水平层理
17. 透镜状层理 18. 波状层理 19. 逆程序层理 20. 交错层理 21. 波痕 22. 波状叠层石 23. 半球状叠层石
24. 层纹石 25. 鸟眼构造 26. 礁石团块 27. 溶孔 28. 石膏假晶 29. 生物屑 30. 三叶虫碎片 31. 棘皮类
32. 介形虫 33. 蚊足类 34. 双壳类 35. 遗迹化石 36. 石英、云母砾岩

Fig. 2 Sedimentary features column of the Ordovician in Xiangfen, Shanxi Province

1.3.1 竹叶状砾屑灰岩

发育于 O_{1y} 。大部分已白云石化,底部常见冲刷面。砾屑呈扁平状,磨圆中等到高,分选较差居多。部分砾屑边缘具红褐色氧化圈。砾屑侧面长 0.2—6cm,宽 0.2—2cm。砾屑含量 50—60%,大多顺层排列,少数低角度斜交层面(叠瓦状)。该类岩由及其上覆岩层可见粒序层理、波状层理及透镜状层理。它沉积了潮间带,部分圆度高的可能位于潮汐通道。

1.3.2 (含)云灰岩及云斑灰岩

发育于 O_2x^2 及 O_2s 。其中的方解石为泥晶,少数为粉晶。白云石为粉—细晶,少数为中晶。有的岩石中白云石具铁质环带或雾心亮边与亮心雾边。部分云灰岩中方解石为亮晶,充填在裂隙及溶孔中,为后期交代成。云斑(云)灰岩主要见于 O_2s^1 。其中的云斑多顺层发育,呈豹斑状分布。岩层中发育水平层理及遗迹化石(部分为云斑充填)。这类岩石常位于泥—粉晶白云岩之下,可能是潮下上部低能环境经回流渗透白云石化形成。

1.3.3 泥晶及粉晶白云岩

泥晶白云岩见于 O_2x^1 、 O_2s^2 及 O_2s^3 。粉晶白云岩见于 O_2x 及 O_2s 。其层厚较薄,且常与硬石膏岩互层。两类白云石表面较污浊,他形一半自形粒状镶嵌。含有少量粘土。常见水平层理及藻纹层构造、硬石膏假晶及多眼构造。其厚度不大稳定,常发生变形与膏溶垮塌。两类岩石是潮上及潮间上部低能带产物,准同期经历蒸发泵作用形成。

1.3.4 晶粒白云岩

包括细晶、中晶及中—粗晶白云岩。发育于 O_1 、 O_2x^2 及 O_2s 。白云石有序度 0.70—0.95,平均 0.84,其自形程度也较高。岩石伴有不等量的粘土。 O_1 的细—中晶白云岩中有雾心亮边及铁质环带的自形白云石(图版 1)。这类岩石 Z 值多大于 120,表示成岩前后受大气淡水及地下水淋滤,而留下雾心及环带。 O_{1y} 的部分细—中晶白云岩具交代残余结构。其原岩均为灰岩,准同期后经回流渗透及混合水作用形成。

1.3.5 燧石岩

见于 O_{1l} ,其上部更富。多呈团块状,不均匀分布于较粗粒白云岩中(占 2—3%)。部分呈小条带及交代叠层石出现。岩石主要由玉髓组成,次为微晶自生石英。早期交代叠层石,保留其结构而发生白云石化;晚期硅质交代白云石。其硅化作用同大气淡水与海水充分混合有关。

1.3.6 硬石膏(石膏)岩

见于 O_2x^2 、 O_2x^3 及 O_2s^2 。厚—巨厚层。有纹层状、块状及角砾状。晶体呈板状、柱状及粒状(图版 2)。纹层状硬石膏见于潮上云坪上的洼地及潮间泻湖。块状硬石膏由巨厚层的粘状晶体组成,为共生—准同期潮上洼地环境中蒸发作用形成。而角砾状石膏则是后期地表溶蚀而成,有人称膏溶角砾岩。

2 沉积环境及演化

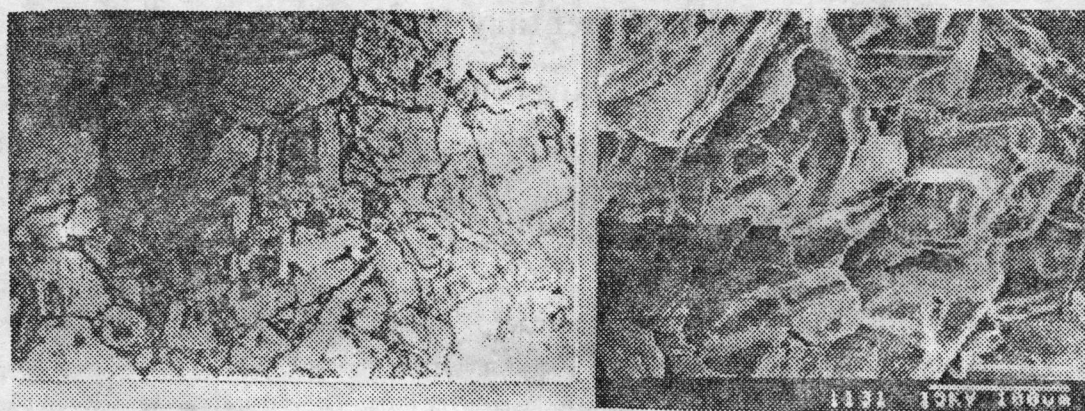
2.1 冶里期

继承晚寒武世沉积格局。华北地台西部为鄂尔多斯陆地,北、东、南部为局限海到开阔海,不存在“内蒙古陆”与“胶辽古陆”(冯增昭,1989)。奥陶纪华北地台处于北纬 0—15°(武守诚,1988)。本区 O_{1y} 时为华北地台西部鄂尔多斯陆地东缘潮坪环境。无陆源碎屑沉积,主要发育潮间坪,普遍见竹叶状砾屑云岩、砂屑云岩,与含泥细晶云岩互层。后者常见波状及透镜状层

理。此期气候炎热,部分砾石暴露于水面以上经氧化而具红褐色氧化圈。

2.2 亮甲山期

O_1l 早期海水深度有所增大,出现潮下局限海,发育藻成因的叠层石。晚期海水深度变小,本区处于潮间—潮上环境,发育有内碎屑白云岩及叠层石。由于淡水与海水混合,使本区细—中晶及粗晶白云石与燧石发育。末期因怀远运动上升为陆,遭受侵蚀。



1. 竹叶云岩中的环带白云石,单偏光,×100,冶里组。 2. 硬石膏岩中的板柱状晶体,下马家沟组。

2.3 早马家沟期

O_2x^1 底部为黄褐色石英质(砂)砾岩及白云岩屑砂砾岩,沉积在略有起伏的下伏岩层面上,为海侵初期产物。其上为准同生的薄层泥—粉晶白云岩,反映潮上云坪环境。 O_2x^2 时海侵扩大,为潮下局限海。随后沉积速率加大,海水变浅,为潮间上部泻湖到潮上下部膏云坪。 O_2x^3 开始时沉降停止,海水更浅,为潮上膏云坪,形成硬石膏与白云石的沉积互层。

2.4 晚马家沟期

O_2s^1 时海侵又开始,范围更大。本区下降为潮下局限浅海,海浪作用与潮汐作用不大,出现水平虫管及腹足类、介形虫及海百合(茎)等生物。水平层理发育。白云石化具选择性,出现云斑(云)灰岩。 O_2s^2 时沉降减慢,环境变为潮间泻湖及潮上膏云坪。由于振荡运动,海水进退,造成碳酸盐及硬石膏的韵律沉积。 O_2s^3 时振荡运动明显,后期缓慢海退。为潮上云坪到潮间坪,发育云灰岩、鲕(藻)粒云岩及含泥云岩。

2.5 峰峰期

O_2f 时海侵又开始,这次比早马家沟期规模更大。本区下降为浅海。这次为华北地台奥陶纪最后一次且规模最大的海侵。环境能量较低,沉积了较纯的灰岩。末期发生最大规模的海退。随华北地台其他地区上升为陆,海相沉积到此结束。

感谢李汉瑜教授的热情关心与指导。耿爱琴讲师、郝蜀民工程师等参加了剖面的实测,庄春清绘图件,在此一并致谢。

参 考 文 献

刘英俊等,1984,元素地球化学,科学出版社。

沉积地球化学应用讲座编写组, 1988, 微量元素研究在沉积学中的应用(2), 岩相古地理, 第5期, 51—58页。

武守诚, 1988, 中国板块演化与油气盆地, 石油实验地质, 10卷3期及4期。

陈继洲, 1988, 山西省临汾西山地区奥陶系沉积相, 岩相古地理, 第5期, 23—36页。

王英华等, 1989, 华北地台早古生代碳酸盐岩岩石学, 北京: 地震出版社。

冯增昭等, 1990, 华北地台早古生代岩相古地理, 北京: 地质出版社。

Arthur, M. A., et al., 1983, Stable Isotopes in Sedimentary Geology, SEPM Short Course No. 10.

Petrology and Sedimentary Environments of the Ordovician in Xiangfen, Shanxi Province

Qiu Yansheng

(Hubei Survey of Regional Geology and Mineral Resources)

Abstract

There are only Lower and Middle Ordovician in Xiangfen district, which are mainly composed of carbonate rocks and evaporites. The siliceous and clastic rocks are very little. The carbonate rocks include limestones and dolostones. According to origin and texture, carbonate rocks are divided into grain limestone, lime-mud limestone, finely crystalline limestone, dolomite-mottled limestone, gypsum-dissolved breccia limestone, mud-sized crystalline dolostone, muddy mud-slit-sized crystalline dolostone, finely-coarsely crystalline dolostone. Detailed description and genetic analysis in the paper are made for the main rock types. Mud-silt-sized crystalline dolostone is commonly associated with gypsum. This dolomite resulted from supratidal (gypsum) dolomite flats or gypsum lagoons by penecontemporaneous evaporative pumping. Coarse-grained dolomite were mainly formed in post-penecontemporaneous mixed waters and seepage reflux dolomitization. In Liangjiashan Formation of Lower Ordovician (O_1), siliceous rocks (chert) are found accompanying with post-penecontemporaneous dolostones. They occur as lumps, nodules and ribbons. The study shows they resulted from silicification, which was later than dolomitization. There are laminated, massive and brecciated gypsum, formed by evaporation and by dissolution.

The stable isotope data indicates that the average $\delta^{18}O$ value of carbonate rocks is -5.832% (PDB), showing a great influence of meteoric waters on them. The average $\delta^{13}C$ value is -1.216% (PDB), varying in a narrow range. The Z value indicating paleosalinity is usually bigger than 120. It shows that most of carbonate rocks were deposited in marine environments, but influenced by meteoric waters. The Fe/Mn value of carbonate rocks varies from 22.3 to 47.3. Sr/Ba value varies from 0.50 to 1.21, but most of them are less than 1, showing a near-continental sedimentation and an intense meteoric water influence on the carbonate rocks.

On the basis of the study of petrology and facies indicators, sedimentary environments of every formation (5 in all) are analysed. It shows that Xiangfen area in Ordovician experienced two wide-spread regressions (in the late Early Ordovician and late Middle Ordovician) and a wide-spread transgression (in the early Middle Ordovician). The sedimentary environments were mainly supratidal flats (including gypsum lagoons), intertidal zones, subtidal restricted seas and open seas. The largest regression in late Middle Ordovician after Fengfeng Stage ended the marine sedimentary history of Xiangfen area in Ordovician.