

山西省临汾西山地区奥陶系沉积相

陈 继 洲

(地矿部第二地质大队)

临汾西山为吕梁山南延山岭,其东缘以大断与汾河地堑相接,山边陡峭,基岩裸露,奥系剖面十分清楚,因该区近代剧烈上升,地表保留了奥陶系多个层位的石膏矿产,是研究华北奥系蒸发沉积和华北西部奥陶系沉积相的优良剖面。

七十年代后期以来,不少生产、教学、科研单位,先后在此区进行了许多工作,笔者曾参与该区奥陶系沉积相剖面的测制和研究工作^①,现综合有关资料,对其沉积相作一初步探讨

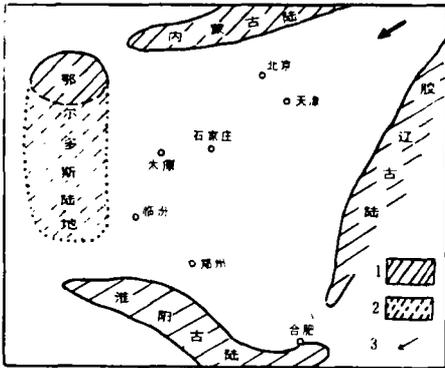


图1 奥陶纪华北地台略图

1. 古陆; 2. 陆地; 3. 主要海源。

Fig. 1. Sketch map of the Ordovician North China Platform.

1 = old land; 2 = land; 3 = the main source of sea water.

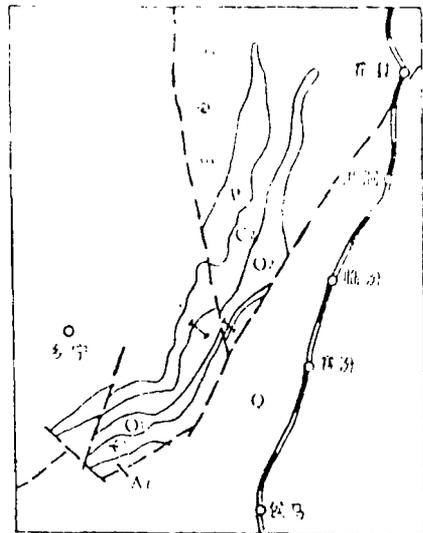


图2 临汾西山地区地质略图

Fig. 2. Schematic geological map of the Xishan area, Linfen.

① 参加剖面野外工作的还有:梁庆驹、王军生、关汉屏、杨秀德、谭朝刚、谢之恒、巫应富、展峻山、黄大元、罗纪兴等

一、概 述

表 1 临汾西山奥陶系对比表

Table 1 Correlation of the Ordovician strata in the Xishan area, Linfen

山西地矿局 区调队		山西地矿局 213 队		地矿部 第二地质大队		本 文	
中 奥 陶 统 O ₂	上马家沟组二段	中 奥 陶 统 O ₂	马 家 沟 组	七段	上奥陶统 O ₂ 峰峰组二段	中 奥 陶 统 O ₂	峰峰组
	一段			六段	下上马家沟组一段		三段
	中马家沟组三段			五段	上马家沟组二段		二段
	二段			四段	上马家沟组一段		一段
	一段			三段	下马家沟组二段		三段
	下马家沟组三段			二段	下马家沟组一段		二段
	二段			一段	贾汪组		一段
下奥陶统 O ₁	亮甲山组	下奥陶统 O ₁	亮甲山组	亮甲山组	下奥陶统 O ₁	亮甲山组	亮甲山组
	冶里组		冶里组	冶里组		冶里组	冶里组

奥陶纪时,华北地台为广阔的碳酸盐台地(图 1),水体不深。早奥陶世末,“淮远运动”(李四光)使地台受到广泛影响,南部上升较剧,下奥陶统地层受到剥蚀,在中统下马家沟组底部形成底砾岩。由南向北“淮远运动”的影响逐渐减弱,但直到北部的唐山、北京一带,仍能发现其影响的踪迹。“淮远运动”以后,华北地台才成为比较标准的碳酸盐台地,广泛的海侵把全区淹没,在总的沉降过程中,振荡运动也比较频繁,海水进退幅度增大,特别是南部和西部边缘地区,受到较大的影响。同时地台内部

也发生了进一步的分异,伴随地台西部、西南边缘下陷的同时,内部也形成了一些凹陷和相对隆起。在干燥的气候条件下,随海水的进退,便形成了广布地台的碳酸盐岩—蒸发岩沉积。蒸发沉积因各区环境不同,发育各异。本区地处碳酸盐台地西部,蒸发沉积在多个层位发育。

剖面位于临汾,襄汾西部接近乡宁县境,奥陶系露头沿西山东缘分布,有乡村公路至山下,地层分布及剖面位置如图 2。本区奥陶系划分对比如表 1。

二、沉积相分析

(一)主要岩石类型及沉积标志

1. 主要岩石类型:本区奥陶系以碳酸盐岩和蒸发岩(硬石膏岩)为主,主要是石灰岩、白云岩、石膏岩。因结构、构造特征和次要组份含量的不同,进一步可分为许多类型。各岩类划分及沉积环境、剖面分布如表 2。

2. 沉积标志:①生物标志:有正常浅海及广盐度的生物,如三叶虫、腕足类、角石、海百合、瓣鳃类、腹足类、藻类(有柱状、穹状叠层藻、藻层纹、藻团粒等)、介形虫等。还有丰富的遗迹化石(以水平和垂直钻孔为主,少数斜交钻孔)。正常浅海的生物多成碎屑混杂产出,广盐类浅水生物常为小个体、种属单一的密集群体出现。②沉积构造、结构标志:有平行层理、透镜状层理、微波状层理、毫米水平纹层,大小不一的浅水波痕、波状面、冲刷面,普遍分布的

“竹叶状”特征的各种砾屑及砂屑、鲕粒、藻团粒、干缩裂纹及干缩角砾等。

表 2 临汾西山奥陶系各岩类表划分、沉积环境及其分布表

Table 2 Rock types, sedimentary environments and the distribution in the Ordovician strata in the Xishan area, Linfen

岩石类型		沉积环境			分布层位	备注
		潮上	潮间	潮下		
石灰岩	泥—粉晶石灰岩			—	O _{2f} , O _{2sm} ³ O _{2sm} ²	
	纹层状泥晶石灰岩			—	O _{2sm} ¹ , O _{2sm} ³ O _{2sm} ² , O _{2f}	
	生物碎屑石灰岩		—	—	O _{2sm} ² , C _{3f}	
	“竹叶状”砾屑石灰岩		—	—	O _{1y} , C _{3f}	
	砾屑砂屑石灰岩		—	—	O _{2sm} ²	
	“云斑”白云质石灰岩			—	O _{2sm} ¹	系虫管成岩 白云岩化
	白云质石灰岩			—		成岩白云岩化
白云岩	泥—粉晶白云岩	—			O _{2sm} ¹⁺²⁺³ , O _{1l} O _{2sm} ¹⁺²⁺³ , O _{1y}	
	结晶白云岩	—		—	O _{2sm} ¹ O _{1l} , O _{1y} , C _{3f}	成岩白云岩
	纹层状白云岩	—		O _{2sm} ¹⁺²⁺³ O _{2sm} ¹⁺²⁺³	部分可能为 成岩白云岩
	含燧石白云岩		—	—	O _{2sm} ¹ O _{1l}	
	团粒白云岩		—		O _{2sm} ²⁺³ O _{2sm} ³	
	鲕粒白云岩		—		O _{2sm} ²⁺³	
	“竹叶状”砾屑白云岩		—		O _{1l} , O _{1y} C _{3f}	
	灰质白云岩			—	O _{2sm} ¹ O _{2sm}	成岩白云岩
	泥质白云岩	—			O _{2sm} ²⁺³ , O _{1l} O _{2sm} ¹⁺²⁺³ , O _{1y}	
白云质泥岩	—			O _{2sm} ²⁺³ , O _{2sm} ¹⁺²⁺³ O _{1l} , O _{1y}		
硬石膏岩	瘤状硬石膏岩	—			O _{2sm} ²⁺³ , O _{2sm} ²⁺³	
	藻层纹硬石膏岩	—			O _{2sm} ³ , O _{2sm} ²	
	纹层状硬石膏岩	—			O _{2sm} ³ , O _{2sm} ²	O _{2sm} ¹ 中也 可能有
底砾岩		—			O _{2sm} ¹	

这里应说明的是：(1)以钻孔为主的遗迹化石，以水平虫管最多，单管和简单的分枝(1—2次)到复杂的分枝如树枝状的都有。一般小型的(直径≤5mm)比较简单，大型的(直径约10mm)较复杂。次为垂直虫管，少数斜交虫管，它们常混合出现。(2)柱状叠层藻多产于“竹叶状”砾屑石灰岩间的石灰岩薄层中和膏盐层段顶底板的纹层状石灰岩中，从岩性组合看，均是环境改变的潮间过渡环境。在藻类发育的碳酸盐岩中，未见其它生物化石。(3)干缩角砾

及干缩裂纹,岩层断面上可见纹层状岩层断开,呈规则的矩形角砾,断续相连,砾间充填物岩性特征极为相似,无一般干裂常见的楔形断面和不同物质充填的特征,常出现在藻层纹之上,可能为短暂的干旱、环境差异不大的潮上环境形成。(4)冲刷面呈不规则波状起伏面,最大起伏可达5cm,其上均见“竹叶状”砾屑白云岩或砾屑、砂屑石灰岩。有的冲刷面明显切过下伏岩石的水平纹层,应是潮间潮沟环境的产物。

沉积岩相及沉积标志分布综合如表3。

表3 临汾西山奥陶系综合沉积特征简表
Table 3 General sedimentary features of the Ordovician strata in the Xishan area, Linfen

地 层		厚度 m	柱状图	岩性返回	沉积序列	沉积环境	
中石炭统	本溪组	C ₂ b	煤	石灰岩、白云岩、石膏			
奥陶统	马家沟组	O ₂ f	27	白云岩、砂岩	海退	局限浅海	
	上马家沟组	O ₂ m	90	白云岩、砂岩	海退	潮间—潮上	
		O ₂ n	15	白云岩、砂岩	向上变浅	局限潮下	
	下马家沟组	O ₂ m	96	白云岩、砂岩	潮间—潮上 白云岩 沉积	潮间—潮上	
		O ₂ n	79	白云岩、砂岩	海退	局限潮下	
	亮甲山组	O ₁ m	67	白云岩、砂岩	潮上 白云岩	潮上	
		O ₁ n	82	白云岩、砂岩	向上变浅 海退 向上变浅 海退 向上变浅	局限潮下—潮上	
		O ₁ x	50	白云岩、砂岩	深槽海退 潮上—白云岩	潮上	
	下奥陶统	亮甲山组	O ₁ l	60	白云岩、砂岩	海退	潮上—潮间—潮下
		冶甲组	O ₁ v	51	白云岩、砂岩	海退	潮下—潮间
上奥陶统	(西山组)	O ₁ f				潮下—潮间	

(二)沉积相分析

上寒武统凤山组,为本区奥陶系下伏地层,上部由多个“竹叶状”砾屑白云岩与泥质白云岩、灰岩互层,顶部夹生物碎屑灰岩,本层韵律频繁,“竹叶状”砾屑灰岩的层厚小,单层多小于20cm,“竹叶状”砾屑为扁平砾石,有较好的磨园度,多近顺层排列,具紫红色氧化圈。基质成分相同,结晶略粗,其底有的具冲刷面。生物碎屑灰岩,主要为三叶虫屑、少量棘屑和介形虫,并混有藻斑点、藻团粒,有的混有腕足类碎屑,杂乱堆积而成。下部见柱状叠层藻夹于两层“竹叶状”砾屑灰岩中,这期环境应为振荡频繁的潮下浅水—潮间带强动氧化环境。

1、下奥陶统治冶里组:结晶白云岩夹“竹叶状”砾屑白云岩、砾屑灰岩、上部夹泥质白云岩,中部呈频繁的互层状,上、下部“竹叶状”砾屑较少。“竹叶状”砾屑特征与上述凤山组相似。但“竹叶状”底部常见冲刷面(图3、图4),有的顶部具波状面(图5),但本组生物碎屑甚少发现。成岩白云岩发育,大多已完全变成白云岩,生物极少发现的原因,可能是白云岩化比较彻底,重结晶较粗,改变了原岩结构所致。冶里期基本上继承了凤山期的沉积格局,仍为潮下浅水—潮间的动荡环境。

2、亮甲山组:主要为结晶白云岩,中、粗晶,厚层状为主,以叠层藻发育和富含燧石结核、条带、条纹为特征。顶部结晶较细,含泥质(水云母)、为薄层状、纹层状。上部夹一层混乱排列的角砾状白云岩。下部叠层藻多为微波状,上部多见穹状、柱状及不规则状。这种不规则形状如同花朵般,可能为穹状、柱状藻破碎堆积再受到白云岩化和硅质交代所成。常见藻层纹、叠层藻被硅质(黑色燧石)交代(图6、7)。有的燧石结核见黑、白、绿等色组成环带状,显

示出胶体周期沉淀特征。结核团块的大小从数毫米至数米不等。局部燧石在岩层中超过一半,白云岩呈不规则残留状分布。中部燧石结核和条带中见形状不规则的小型石英晶洞和晶孔,孔壁生长有小石英晶簇。本区燧石比其它地区发育,交代特征也更明显。晶洞晶孔是次生产物。本组白云岩多是成岩白云化重结晶生成,未见其它生物化石。



图3 冶里组上部“竹叶状”砾屑白云岩及冲刷面

Fig. 3. "Edgewise" dolerudites and the scour surface in the upper part of the Yeli Formation.

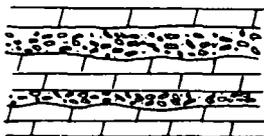


图4 冶里组上部“竹叶状”砾屑白云岩及冲刷面

Fig. 4. "Edgewise" dolerudites and the scour surface in the upper part of the Yeli Formation.

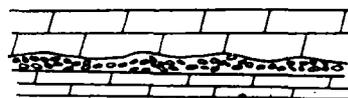


图5 冶里组上部“竹叶状”灰岩顶部波状面

Fig. 5. Wavy surface on the top of "edgewise" calcirudites at the bottom of the Yeli Formation.



图6 亮甲山组上部(65层)燧石交代藻纹

Fig. 6. The algal laminae replaced by chert in the upper part (the 65th bed) of the Liangjiashan Formation.



图7. 亮甲山组中部(56层)白云岩燧石结核及沿藻代代的燧石条纹

Fig. 7. Chert nodules from dolostones and chert bands replaced along algae in the middle part (the 56th bed) of the Liangjiashan Formation.

从藻类生物和岩石结构、构造特征看,中、下部厚层白云岩,含微波状叠层藻,应属局限潮下至低能潮间环境,上部“竹叶状”砾屑和柱状、穹及不规则状叠层藻应是能量较高的潮间环境的产物,顶部纹层状泥质白云岩则可能是潮上环境同生白云岩化而成。亮甲山组反映出从一个局限潮下一潮间—潮上的缓慢的海退过程。

3. 中奥陶统下马家沟组:

(1)一段:由下向上为底砾岩—纹层状粉晶白云岩、泥质白云岩—硬石膏岩。纹层状白云岩下部含有陆源石英、长石碎屑;硬石膏岩下部似为纹层状,上部为瘤状。在本区此段厚度变化很大,从几米至50余米。石膏厚度一般为几米,局部构造挤压膨胀,可厚达100m(侯村)^①。底砾岩分布广、变化大,其下侵蚀面明显。砾

石为亮甲山组白云岩和燧石,次棱角状,略有磨圆,含陆源石英、长石砂屑,白云岩胶结,这种以下伏岩石为主的底砾岩,灰质胶结物又经早期成岩白云岩化,具潮坪海滩岩性质。此段构

① 罗僧抱《山西石膏矿的时空分布及成矿条件分析》建材地质 1986,第1期。

成一个特殊的成膏旋回,海浸缓慢,长期停滞在潮间至潮上蒸发坪环境,在侵蚀面上,发育了很不均匀的膏化,局部潮上浅水体,可能有石膏沉积。

(2)二段至三段:由三个碳酸盐岩—硬石膏韵律组成,一、二两个韵律及第三韵律下部石灰岩为二段,第三韵律上部膏岩系为三段。三套石灰岩岩性想念相似,与所夹的两个厚度较薄的云膏岩层,构成“三厚两薄”的景观。

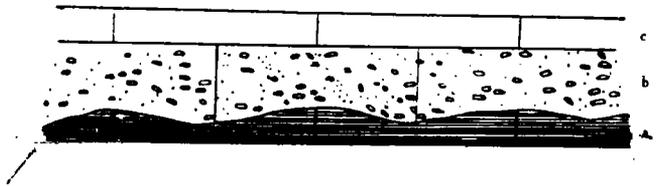


图8 下马家沟组第二段底部冲刷面(1:10)

a. 毫米纹层状泥晶灰岩; b. 砾屑(含砾屑)石灰岩、底部冲刷面切断下伏岩石纹层; c. 泥、粉晶石灰岩。

Fig. 8. Scour surface at the bottom of the second member of the Lower Majiagou Formation (1:10)
a=mm-sized laminated micritic limestone; b=calcirudites, at the bottom of which the scour surface cuts off the laminae in the underlying strata; c=mud and silty limestone.

石和腹足类,中部生物遗迹(水平虫管为主,次为垂直虫管)相当发育。石灰岩顶部为白云岩,中见柱状叠层藻、膏模孔、干缩裂纹及大型波痕(波长近1.5m,波高>10cm)。其上为瘤状硬石膏。

第三韵律,下部石灰岩以泥晶为主,与一、二韵律相似,但生物碎屑和虫管都大大减少,中、上部生物扰动构造增多。

三段:即三韵律上部膏岩系。由十三个白云岩(或泥云岩)—硬石膏韵律组成。硬石膏有纹层状、瘤状、块状、藻层纹状。韵律厚度一般为3—5m,个别<3m或>5m。基本含膏韵律(图10)为:A. 白云岩(或泥云岩);B. 白云岩瘤状硬石膏岩;C. 块状硬石膏岩;D. 纹层状、藻层纹状硬石膏岩;E. 杂色含膏云泥岩。有的韵律抽C层,个别缺D层、E层。白云岩多为泥晶,有的含鲕粒、砂屑,有的含藻团粒、叠层藻,有的具纹层状,有的含泥质。B层白云质瘤状硬石膏岩,有的为团块状,有的似砾状、结核状、肠状,有的为“鸡笼铁丝”状。

三段顶部有厚约10m的泥质白云岩,毫米水平纹层发育,具膏模孔,风化后显叶片状,中夹中厚层白云岩,此层底部见砂屑。

第一韵律(图9),从一段缓慢海进开始的潮上云膏坪至二段第一韵律沉积序列为:底部见毫米纹层及规模不大的冲刷面、扁平砾石、砂屑(图8),向上含有不多的生物屑、少量水平和斜交虫管。中部纹层和虫管(水平、斜交为主)发育,并见微波状层理。上部虫管大为减少,见纹层和叠层藻,顶部发育有大型波状面、柱状叠层藻及膏模孔。之上是硬石膏为交代叠层藻纹状,可能有瘤状。

第二韵律(图9)与第一韵律相似,但中、下部灰岩中更富含多种生物碎屑,并见个体完整的角

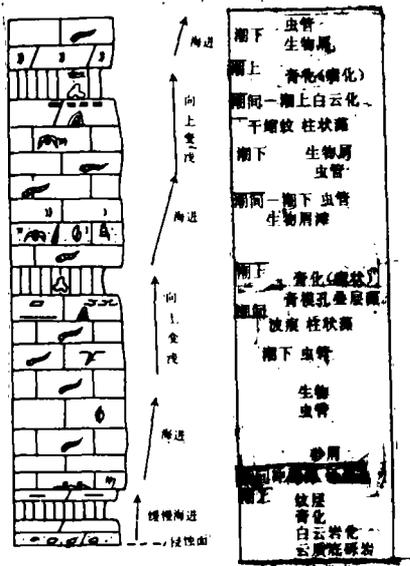


图9 下马家沟组第一段沉积序列
Fig. 9. Sedimentary sequence of the first member of the Lower Majiagou Formation.

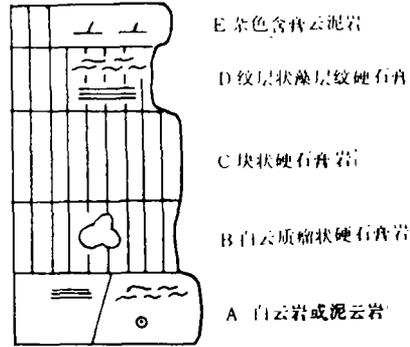


图10 下马家沟组第三段含膏韵律剖面结构
Fig. 10. Profile of Gypsiferous rhythmites in the third member of the Lower Majiagou Formation.

上述二、三段三个碳酸盐—蒸发岩(硬石膏)韵律,从下部碳酸盐的结构、构造生物特征看,是局限潮下低能环境,向上渐变为不厚的潮间带及潮上带,韵律下部碳酸盐岩的沉积特征表明初期沉降较快,至中期沉降与沉积渐趋平衡,以后沉积速度大于沉降速度,形成向上变浅

的沉积序列,构成完整的从低能局限潮下至潮上的碳酸盐向上变浅序列(图9、表3)。在低纬度炎热干燥的碳酸盐台地上,从潮下至潮上时,就成为如萨布哈一样的环境,使灰质沉积物发生白云石化及膏化,交代生成藻层纹状和形形色色的瘤状石膏。

第三韵律膏岩系(即第三段)底部向上变浅序列不明显,而此段膏岩系厚度大,有多次成膏韵律,成膏期长,同时此层在相当大的范围内可以对比。

下马家沟组的岩相和沉积序列特征,在山西西部吕梁山地区及其东西两侧,均较稳定。

4. 上马家沟组,分为三段,构成两个成膏旋回。

(1)第一段:主要为白云质灰岩,中部夹白云岩,具纹层状,含少量燧石条带。此段常含生物碎屑,偶见三叶虫、腕足类、腹足类化石,以水平或近水平为主的虫管有的比较清楚,有的不太清楚。此段不均匀成岩白云岩化,形成斑块状(“云斑”),此种白云岩化斑块主要是白云质、少量泥质、灰质,结晶比基质细,形状不规则,斑块略近顺层分布。这可能因虫管及搅乱的虫迹比较疏松,含少量泥质,且互相连通,给白云质的渗透交代提供了更好的条件,较之均匀的石灰岩更易交代。燧石薄条带沿层分布,条带内可见与白云岩一致的纹层,说明这也可能是成岩交代生成的。

总的说来,此段岩相上下变化不大,缺乏各种比较动荡的沉积标志。从区域上看,岩相也较稳定,含大量以角石为主的多门类生物化石。唯本区成岩白云石化作用较强、虫管较多,生物含量亦相对少些,显出海流和潮汐作用影响微弱的潮下局限浅海特征。

(2)第二段为膏岩系,由九个白云岩—硬石膏韵律组成,单个韵律厚5—19m,完整的含膏韵律(图11)为:A. 纹层状、藻层纹白云岩,B. 含膏模孔泥晶白云岩,C. 含柱状叠层藻膏模孔白云岩,D. 纹层状硬石膏,E. 薄层云泥岩(含水云母)。韵律下部的白云岩均为准同生白云岩,多含藻斑点。有的韵律缺C层,有的白云岩具小波痕,有的含泥质。D. 层纹层状硬石膏与

潮间至潮上萨布哈环境,有时为能量较高的潮间鲕粒滩。

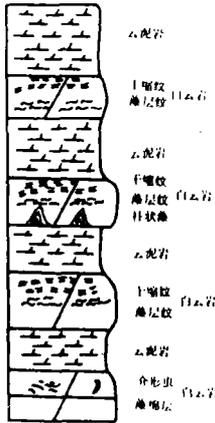


图 13 上马家沟组三段上部膏岩系底部白云岩与云泥岩韵律

Fig. 13. Dolostone-dolomitic mudstone rhythmites at the bottom of the gypsum series in the upper part of the third member of the Upper Majiagou Formation.

可以看出(表 4 表 5、图 14):

1. $\delta^{18}O$: 在地表剖面中,下统 $> -6\%$ 、峰峰组略低于 -6% ,而马家沟组显出较高的负异常,均 $< -8\%$ 。其原因,首先是奥陶纪地层较老, $\delta^{18}O$ 含量偏低,如以峰峰组浅海碳酸盐的 $\delta^{18}O$ 值(平均 -6.24%)作标准比较,上、下马家沟组各段 $\delta^{18}O$ 较低的原因,可能反映出古海水温度较高,据赛弗林(1973)等资料,本区中奥陶世位于北纬 15° 左右,地处热带,海域水浅温度高。同时部分还可能受淡水注入的影响。个别样品采自脱白云石化灰岩,因后期地表水淋滤作用, $\delta^{18}O$ 最低,为 -11.57% 。

亮甲山组和冶里组 $\delta^{18}O$ 值平均 $> -6\%$ 。其中(冶里组中)唯一的一件 $\delta^{18}O$ 最低的 (-8.186%)却正是石灰岩(含白云质)。在马家沟组中仅有三件大于 -8% (为 -7% 多),均为白云岩(成岩),其余灰岩均低于 -8% ,这说明成岩白云化增高了 $\delta^{18}O$ 的含量,可能是成岩白云化过程中受到 $\delta^{18}O$ 的含量高(温度也较高)的碳酸镁溶液的交代作用。

2. $\delta^{13}C$: 在地表剖面中变化范围更大,似乎无规律性,但仔细研究发现:

(1)峰峰组石灰岩从区域上可视为正常浅海或接近正常浅海的石灰岩,并非细菌强烈作用的还原环境,两件特高负异常 (-8.05% 和 -8.776%)难以完满解释,沉积时淡水掺杂或成岩后地下水的影响均不可能使 $\delta^{13}C$ 减少这么多,而另外两件岩性、环境与之相似,却代表正常浅海特征。

5. 峰峰组:泥晶灰岩为主,部分粉晶,一般质纯,多为厚层状,底部具毫米纹层,中部偶见微波状层理,含藻层纹、藻斑点、藻砂屑、凝块石,局部含有少量细小生物碎屑,有三叶虫、介形虫、腕足类、海绵骨针等,多混在藻砂屑中,此组岩相变化少,为稳定的局限浅海沉积。在华北地区,此组岩相稳定,水动力条件不强,陆源物质带入少,水体中 Mg^{++} 含量也较低,浅海生物较多,因而灰质沉积较纯。相比之下,本区生物少,泥晶多,具局限浅海特征。

三、同位素特征

本区奥陶系地表和地下剖面^①碳酸盐碳氧同位素和石膏的硫同位素资料,在一定程度上反映了沉积环境和后生变化。

(一)碳氧同位素

从地表及地下剖面碳酸盐 $\delta^{13}C$ 、 $\delta^{18}O$ 分析

① 地下剖面在临汾东南大王,地层、岩相与西山地区完全可以对比。

表4 临汾西山奥陶系地表剖面 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 统计表
Table 4 The $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ values for the carbonates from the Ordovician surficial sections in the Xishan area, Linfen

层 段	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$		$\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$		样 品 数	岩 石	备 注	
	变化范围	平均值	变化范围	平均值				
峰峰组	-0.123~ -8.776	-4.405	-5.693~ -6.998	-6.240	4	石灰岩	两件 $\delta^{13}\text{C}$ 特高负异常	
上马家沟组 三段	上部 (含青岩系)	-0.207~ -3.629	-1.575	-7.434~ -11.507	-9.525	3	石灰岩、 白云岩	
	下部 (石灰岩)	-1.166~ -2.480	-1.717	-7.606~ -9.104	-8.309	3	石灰岩	
上马家沟组 二段	-0.706~ -5.603	-2.539	-7.309~ -9.779	-8.566	3	白云岩	一件 $\delta^{13}\text{C}$ 高负异常	
下马家沟组 二段	-0.623~ -2.072	-1.594	-8.313~ -9.414	-8.832	7	石灰岩	多数 $\delta^{13}\text{C}$ 小于-1‰	
亮甲山组	-1.520~ -3.461	-2.685	-4.631~ -6.662	-5.276	6	白云岩		
冶里组	-0.256~ -1.125	-0.837	-4.240~ -8.186	-5.574	7	白云岩	一件 $\delta^{18}\text{O}$ 低为灰岩	

表5 临汾大王奥陶系上马家沟组深部剖面 $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 统计表
Table 5 The $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ values for the Carbonates from the Ordovician subsurface sections of the Upper Majiagou Formation in the Dawang area, Linfen

层 段	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$		$\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$		样 品 数	岩 石	备 注
	变化范围	平均值	变化范围	平均值			
上马家沟组 三段上部	-1.253~ -2.837	-1.532	-8.320~ -12.923	-10.048	4	白云岩、石灰岩	
上马家沟组 二段	-0.491~ -1.877	-0.984	-6.865~ -13.251	-8.694	8	白云岩、石灰岩	
上马家沟组 一段	-0.430~ -0.859	-0.653	-8.584~ -11.715	-10.400	3	白云岩、石灰岩	

(2)上、下马家沟组各段中,一般 $>-2\text{‰}$ 。小于 -2‰ 的几件样品,均在膏岩系中或膏岩系下,多有藻类发育,可能为沉积时还原作用较强, $\delta^{13}\text{C}$ 含量减少。

(3)亮甲山组 $\delta^{13}\text{C}$ 普遍比各段更低,变化也不大,其原因显系该组藻类和硅质交代发育,沉积时受细菌分馏作用的影响及成岩期硅质交代时溶液酸度较大。减少了 $\delta^{13}\text{C}$ 含量。

(4)冶里组 $\delta^{13}\text{C}$ 值表明是较正常的海相沉积,一般的成岩白云岩化对其无显著影响。

3. 与深部剖面比较:深部剖面仅有上马家沟组资料。① $\delta^{13}\text{C}$ 仅1件 $<-2\text{‰}$,基本上与地表剖面的一般值相近,并略有减少。该剖面深部受火成岩侵入影响,下部石灰岩已大理岩化重结晶,说明强烈热变质作用对 $\delta^{13}\text{C}$ 影响不大。② $\delta^{18}\text{O}$ 比地表更为偏低,上马家沟组三段在井下为次生剖面,硬石膏已被淋滤,故 $\delta^{18}\text{O}$ 减少;二段膏岩热变质较少,也未受地表水淋滤,为原生剖面,与地表相近;一段已完全大理岩化,强烈热变质, $\delta^{18}\text{O}$ 最低,说明在受到高温的热液时更富集 $\delta^{18}\text{O}$ 。

(二)硫同位素

据奚家琨资料^①，下马家沟组第三段各类石膏岩的 $\delta^{34}\text{S}$ 为 27.8—29.8‰，平均 28.9‰，其中瘤状、藻层纹状者略高。上马家沟组第二段为 24.8~26‰，平均 24.4‰，其中仍以瘤状石膏略高，与下马家沟组三段相比，明显偏低，这反映了成膏环境的不同，不仅因下马家沟组第三段藻类发育，因藻层阻隔，其下几厘米即变为缺氧环境，细菌还原作用促使饱和硫酸盐溶液分馏，形成的石膏中富集更多的重硫，比上马家沟组二段潮间浅水泻湖沉积的石膏 $\delta^{34}\text{S}$ 更高。潮上萨布哈交代生成的石膏比沉积的更偏于还原环境。与前面沉积相分析相符。

四、沉积演化简史

本区奥陶纪时沉积了厚度超过 568m^② 的海相碳酸盐岩和蒸发岩地层，有三次较显著的海侵和五次海退，海侵一次比一次强，海水也更深，显出海域在扩大。具有在总的沉降背景下，有节奏的停顿或短暂上升的特点。

早奥陶世初的冶里期，本区地处华北奥陶纪碳酸盐台地浅海西部边缘，继承了晚寒武世晚期的沉积格局，为台地边缘潮下一潮间环境，宽阔的潮坪带中，潮汐作用影响强烈，在炎热的强氧化环境中，沉积了较多的具紫红色氧化圈的磨圆度较好的砾屑及海洋生物碎屑。河流作用微弱，极少有陆源物质。

到了亮甲山期，海水深度有所增加，成为半闭塞的局限潮下浅海，潮汐作用减弱，蓝绿藻生长繁盛，沉积了藻层纹发育的碳酸盐。后期，海水开始后退，成为以潮间为主的环境，发育了内碎屑角砾及大型柱状、穹状叠层藻。最后，经过潮上云坪环境，富含泥质的灰质沉积物，受到早期成岩白云化。以后受“怀远运动”影响，上升成陆，受到剥蚀。

中奥陶世早期，即下马家沟期，分为三个阶段，形成海侵—海退旋回。

第一阶段：海侵开始，在起伏的侵蚀面上，堆积了极不均匀的底砾岩，缓慢的海侵，使本区长时间处在潮间至潮上萨布哈环境，未发现河流作用的影响，在底砾岩和其上的泥质白云岩中见有风成作用的陆源石英、长石砂屑。全部灰质沉积物均在成岩早期受到白云石化和膏化。局部地区有潮间水池，形成石膏沉积。

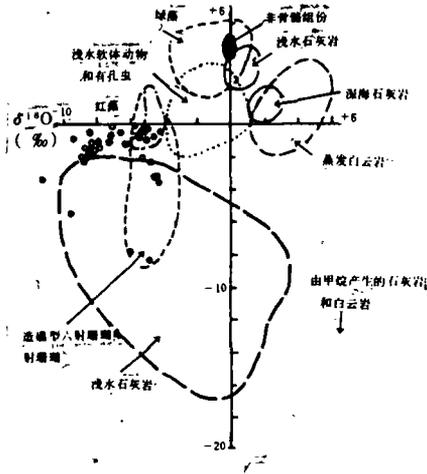


图 14 下、中奥陶统碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ 在 J. D. 米里曼碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ 分布图中的位置
Fig. 14. The positions of the $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ values for the Lower and Middle Ordovician carbonates in the Milliman diagram showing the distribution of the $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ values for carbonates.

① 奚家琨《山西省临汾中奥陶统膏盐沉积环境及形成机理》。陕西地质 1986 第一期。

② 下奥陶系亮甲山顶部和中奥陶系蜂峰组顶部有剥蚀。

第二阶段:海侵扩大,海水逐渐加深,经短暂的潮间环境到局限潮下环境,留下了冲刷沟、砾屑、砂屑及水平虫管、垂直虫管发育的碳酸盐沉积记录,在此期间,华北中奥陶世海气候炎热、生物丰富,本区虽是局限浅海,受大的海浪、风影响不大,但碳酸盐的快速堆积,使堆积速度逐渐地从小于沉降速度变为大于沉降速度,海水逐步变浅,成为潮间带和潮上萨布哈,这个过程相对较短,形成了不厚的潮间带和碳酸盐沉积在成岩早期发生膏化和白云岩化。

这个阶段在总的沉降背景下,发生了两次显著的时间不长的沉降速度减慢,而使碳酸盐沉积速度大于沉降速度,形成两次向上变浅的碳酸盐沉积序列。

第三阶段:当第三次沉降停顿,碳酸盐堆积过快逐步变浅,并且由停顿转为上升,使本区在下马家沟晚期较长期的处在潮上萨布哈环境,藻席发育,灰质沉积物都受到强烈的早期成岩白云岩化和膏化,形成了以多种瘤状石膏为主的石膏岩,是本区石膏矿产出的主要层位。末期,膏化作用减弱,主要为白云岩化。

中奥陶世上马家沟期,有两次明显的海进和海退旋回。

第一阶段:再一次发生海侵,这次海侵范围更大,本区再度下降成为局限浅海,海水深度比下马家沟期更深,在海浪作用、潮汐作用影响不大的浅海中,沉积了较纯的灰质沉积,比较安静的浅海,发育了多门类生物,并在碳酸盐沉积物上保留了不少以水平或近水平虫管为主的遗迹相化石。末期沉积速度大于沉降速度,再次沉积了向上变浅的碳酸盐岩—硬石膏岩沉积序列组合,而进入第二阶段。

第二阶段:由沉降速度减慢转为幅度不大的上升,变成潮间—潮上水深不大的水池—泻湖,在炎热干旱的蒸发环境中,沉积了碳酸盐和石膏,这个期间不大的振荡升降,海水带入(生物也随之带入),形成多个碳酸盐—石膏韵律沉积,是本区石膏产出的重要层位。

第三阶段:初期,再次海侵,本区又下降成为潮下局限浅海环境,沉积了与下马家沟组相似的灰质沉积,海水不深,受潮汐和风浪作用的影响较小。以后海水渐渐退去,成为潮间潮上蒸发坪,绝大多数灰质沉积物均在成岩早期发生白云岩化,局部膏化。初期为藻层纹和干缩裂纹发育的潮上云泥坪,以后为潮间鲕粒滩与潮上蒸发坪交替的环境。这个阶段潮间—潮上浅水池(泻湖)不发育,同时潮上蒸发坪时间不长。石膏沉积、膏化作用均不很发育,形成的石膏厚度也不大。此层在区内多受后期淋滤,成为次生剖面。

峰峰期:海水在华北地台上再度海侵,本区又再次下降成为浅海。这是奥陶纪最后一次、也是华北地台最后一次和范围最大的海侵。海水又比前几次海侵又略有加深,但本区基本上仍属局限浅海,受潮汐作用和风浪、河流作用影响很小,沉积了更纯净的灰质沉积物。

末期,本区同华北地台大部分地区一样,上升为陆地,结束了海相沉积史。在晚奥陶世—早石炭世漫长的时代,遭受了长期剥蚀,使本区海退的记录未能保存。

总的说来,本区早、中奥陶世经历了三次较大的海侵(下马家沟早期、上马家沟早期、峰峰期)、和四次较明显的海退(早奥陶世末、下马家沟晚期、上马家沟后期和峰峰后期),形成了多旋回的碳酸盐—蒸发岩沉积,碳酸盐岩主要为局限潮下的灰质沉积,蒸发岩主要是潮上蒸发坪的成岩早期白云岩化及膏化和潮间—潮上泻湖沉积产物。

六、结束语

1. 本区中奥陶世局限潮下浅海—潮坪蒸发沉积,代表了山西西部吕梁山区及其东西侧

地区,与华北地台东部地区(河北及太行山西侧)相比,各段潮下浅海碳酸盐沉积具明显的局限环境,其间可能有水下高地阻隔,这对地台西部蒸发沉积发育有重要意义。

2. 这种局限潮下浅海海退成为潮间一潮上带时,各带均显出能量不高的特征。在炎热干燥的气候下,蒸发沉积一般更为发育,使本区多层位沉积了丰富的石膏矿产,由于各蒸发沉积时期环境各异,形成的石膏类型也不同。

3. 安静的局限潮下环境,陆源物质带入很少,沉积了较纯的石灰岩,是良好的建筑原料,特别是峰峰组的纯质灰岩,不少地区质量更优,可用作铝氧熔剂及生产维尼纶原料的电石灰岩,是优良的化工用石灰岩。

4. 本区蒸发沉积只达到硫酸盐(石膏)沉积阶段,从沉积相及环境分析,不可能有石盐沉积。临汾东南大王 503 孔深部剖面,在上马家沟组二段石膏岩中,局部有少量石盐团块产出,从产状和 Br 含量近于零看,应是经过改造的次生产物(该区其它钻孔均未见石盐)。原岩仅可能是潮上(或潮间)咸水池局部浓缩沉积。

5. 本文地层划分是在生物地层的基础上,考虑地壳运动和海陆升降的反映——沉积旋回进行划分。下马家沟组一段为缓慢海侵初期、停滞的潮间、潮上云膏坪环境,并未构成一个独立的沉积旋回。上马家沟组第三段蒸发沉积应属于上马家沟沉积旋回晚期阶段,不应作为岩相、古生物面貌完全不同的峰峰组早期。

本区马家沟组的碳酸盐向上变浅序列比较典型,限于理论水平,误谬之处,祈望指正。

参 考 文 献 略

Ordovician Sedimentary Facies in the Xishan Area, Linfen, Shanxi Province

Chen Jizhou

(No. 2 Geological Party, Ministry of Geology and Mineral Resources)

Abstract

The Lower and Middle Ordovician in the Xishan area, Linfen, Shanxi Province consist of carbonate rocks intercalated with evaporites. The carbonate rocks in various formations and members are accounted as the restricted subtidal shallow-water deposits. The subsiding rates were once slowed down for several times during subsidence. The greater depositional rates than the subsiding rates are responsible for the shallowing-upwards sedimentary sequences from restricted subtidal carbonates to supratidal sabkhas and the sequences from restricted subtidal carbonates to intertidal lagoons.

During the Yeli stage of the early Early Ordovician, the area was in periplatformal subtidal-intertidal environments in which tidal action operated intensely. More well-rounded "edgewise" gravel fragments and bioclasts with purplish red oxidized haloes were laid down in the scorching and strongly oxidizing environments. Up to the beginning of the Liangjiashan stage, the larger-scale transgression made the area a restricted shallow sea where water oscillation became weak, the algae flour-

ished and the stromatolitic algae and the carbonates with the algal laminae were accumulated. And during the late stage, the area was graded into intertidal and supratidal environments and uplifted and eroded at last due to the regression. The uplifting has now been referred to as the "Huaiyuan Movement".

Three periods of Middle Ordovician may be distinguished, i. e., the Lower Majiagou, Upper Majiagou and Fengfeng periods. The Lower Majiagou period may further be subdivided into three stages; Stage 1 during which slow-moving transgression resulted in the formation of intertidal and supratidal sabkha environments over a long period of time and the development of early diagenetic dolomitization and gypsification in the study area. The intertidal pools occurred in parts of the area where the gypsum deposits were formed. Stage 2 during which the enlargement of the transgression led to the formation of the restricted intertidal shallow sea in the area. As a result of rapid accumulation of the carbonates, the sedimentary rates were greater than the subsiding rates for three times in the course of the overall subsidence, thus resulting in the formation of the typical shallowing-upwards sedimentary cycles of the carbonates, i. e., the cycles from subtidal restricted shallow sea through intertidal sabkha to supratidal sabkha. Stage 3 during which the area was characterized by the long-term supratidal environments, well-developed algal mats, strong dolomitization and gypsification, so that various nodular gypsolith and algal laminated gypsolith were formed.

The Upper Majiagou period may still be subdivided into three stages; stages 1 and 2 when the area displayed the transgressive-regressive cycles and was in the environments from subtidal restricted shallow sea to intertidal-supratidal lagoon in which carbonates and gypsum were precipitated. At the beginning of stage 3, the area began to descend in a short time and became a subtidal restricted shallow sea again. Afterwards, it ascended once again to develop into a locally-gypsified intertidal-supratidal evaporite flat.

During the Fengfeng period, the area sank into a restricted shallow sea. At the end of the period, it was subjected to erosion due to rising. Therefore, the regressive sediments failed to be preserved.

The isotopic data have revealed that the $\delta^{18}\text{O}$ values for the Ordovician carbonates are relatively low, and those for the Majiagou Formation exhibit more higher negative anomaly. The limestones affected by diagenetic dolomitization tend to increase in the $\delta^{18}\text{O}$ values, whereas influenced by igneous rocks in the depth of the crust, the $\delta^{18}\text{O}$ values tend to be still lower. The $\delta^{13}\text{C}$ values are the lowest both in the Liangjiashan Formation where the algae were developed and in or beneath the gypsum series, and may not be affected by diagenetic dolomitization and hydrothermal metamorphism. The $\delta^{34}\text{S}$ values are generally higher, among which those for gypsum in the late Lower Majiagou period are higher than those in the middle Upper Majiagou period, indicating the different gypsum-forming environments.

Compared with the eastern part of the North China Platform, the environments in the area in which subtidal shallow-marine carbonate sediments occur are apparently restricted, indicating that every member in the area might have been separated by submarine rises. This is of great importance to the evaporite deposits in the western platform. The shallowing-upwards subtidal restricted shallow-marine sedimentary sequences should occur principally on the margins of the basin and the gypsum on the top of the sequences should be regarded as the gypsified deposits in the supratidal sabkha or the deposits in the intertidal haline pools. These environments, generally speaking, are not suitable to the formation of halite.