

引用格式:陈强,李文厚,孙娇鹏,等.鄂尔多斯盆地南缘岐山曹家沟奥陶系剖面地层和沉积特征[J].油气藏评价与开发,2022,12(1):246-254.
CHEN Qiang, LI Wenhou, SUN Jiaopeng, et al. Ordovician stratigraphy and sedimentary characteristics of Caojiagou section in Qishan County, southern margin of Ordos Basin[J]. Petroleum Reservoir Evaluation and Development, 2022, 12(1): 246-254.
DOI:10.13809/j.cnki.cn32-1825/te.2022.01.021

鄂尔多斯盆地南缘岐山曹家沟奥陶系剖面 地层和沉积特征

陈强¹,李文厚²,孙娇鹏²,张倩²,梁积伟¹,李智超³

(1.长安大学地球科学与资源学院,陕西 西安 710054;2.西北大学地质学系,陕西 西安 710069;
3.长安大学土地工程学院,陕西 西安 710054)

摘要:陕西岐山曹家沟剖面位于鄂尔多斯盆地南缘,交通便利、出露良好、地层齐全、沉积类型多样,是一条重要的奥陶系剖面。对曹家沟剖面进行了详细介绍,下奥陶统冶里组以泥质白云岩为主,亮甲山组以含硅质团块晶粒白云岩为特征,发育叠层石,均为潮坪相沉积。中奥陶统马家沟组主要为中薄层—中厚层的粉细晶云岩、灰岩,属开阔台地—台地前缘斜坡相沉积,峰峰组主要为中薄层—纹层状白云岩,发育大量薄层的碳酸盐碎屑流和浊流沉积,属较深水的台地前缘斜坡相重力流沉积。上奥陶统平凉组为一套大陆斜坡相类复理石的韵律沉积,唐王陵组为大陆斜坡相泥石流环境下的冰水沉积,具有典型的冰坠石构造。

关键词:地层特征;深水沉积;冰川沉积;奥陶系;曹家沟剖面;鄂尔多斯盆地

中图分类号:TE121

文献标识码:A

Ordovician stratigraphy and sedimentary characteristics of Caojiagou section in Qishan County, southern margin of Ordos Basin

CHEN Qiang¹, LI Wenhou², SUN Jiaopeng², ZHANG Qian², LIANG Jiwei¹, LI Zhichao³

(1. School of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710054, China; 2. Department of Geology, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710069, China; 3. School of Land Engineering, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710054, China)

Abstract: The Caojiagou section in Qishan County, Shaanxi Province is located in the southern margin of the Ordos Basin. The well-exposed section deposited complete Ordovician strata and developed various sedimentary types, and its location has convenient transportation. In this paper, the stratigraphy and sedimentary characteristics of the Caojiagou section are introduced in detail. The lower Ordovician Yeli Formation is mainly composed of argillaceous dolomite and Mount Liangjia Formation is characterized by crystal dolomite intercalated with siliceous mass and develops stromatolites, all of which belong to tidal flat facies. The Middle Ordovician Majiagou Formation consists of medium-thin and medium-thick layers of silty-fine dolomite and limestone, belonging to open platform and platform front slope facies deposits. The Fengfeng Formation is mainly composed of medium-thin layer laminated dolomite with a great quantity of thin carbonate debris flow and turbidity current deposits, which represent the gravity flow deposit of the front slope of the platform in the deep-water environment. The Upper Ordovician Pingliang Formation mainly consists of a set of flyschoid rhythmic deposits of the continental slope facies. The Tangwangling Formation represents the debris flow environment of the continental slope and develops the ice-water deposits with typical ice-rafted dropstones.

Keywords: stratigraphic characteristics; deep-water deposition; glacial deposition; Ordovician; Caojiagou section; Ordos Basin

收稿日期:2021-05-31。

第一作者简介:陈强(1980—),男,博士,讲师,主要从事沉积学的科研教学工作。地址:陕西省西安市雁塔路126号,邮政编码:710054。

E-mail: qchen@chd.edu.cn

基金项目:陕西省自然科学基金基础研究计划项目“鄂尔多斯西南缘奥陶系碳酸盐重力流成因机制及构造古地理意义”(2021JM-158);国家科技重大专项“鄂尔多斯盆地南部早古生代岩相古地理、构造演化与天然气富集关系研究”(2011ZX05005-004-07HZ);中央高校基本科研业务费资助项目“鄂尔多斯西南缘早古生代重力流沉积及其对秦岭洋俯冲的响应”(0009-2014G1271062)。

鄂尔多斯盆地位于华北地块西部,是我国第二大沉积盆地,因含有丰富的煤、石油、天然气、铀等多种能源矿产而闻名。同时,盆地周缘露头发育、地层齐全、沉积类型多样、沉积现象丰富,一直吸引着广大地质工作者的关注^[1-8]。岐山地区位于鄂尔多斯盆地南缘,南隔渭河地堑与北秦岭—祁连褶皱带相望,区内发育蓊县系、震旦系、寒武—奥陶系、二叠—三叠系、侏罗系等地层(图1),且均有相对应的野外露头剖面,是研究鄂尔多斯盆地乃至华北地区的地层、沉积演化及其与造山带关系的有利地区。

奥陶系是鄂尔多斯盆地构造-沉积演化和天然气成藏的一个关键层位,近年来,除了区域性的研究工作^[1-2,5-7,9-10],部分学者针对岐山地区开展了相应的工作。周书昌等^[11]、梁积伟等^[12]对岐山曹家沟剖面平凉组深水沉积环境进行了研究;刘溪等^[13]、赵迪等^[14]对马家沟组沉积环境进行了分析,但观点不同;杨甫等^[15]对平凉组碎屑锆石及其物源特征进行了探讨;戴霜等^[16]通过牙形刺对地层对比划分进行了研究。这些工作在丰富区域资料的同时,也因地层划分问题造成了结论的偏差。因此,笔者基于岐山曹家沟实测剖面,对奥陶系地层及其沉积特征进行了厘定和分析。

1 剖面介绍

岐山曹家沟奥陶系剖面位于陕西省岐山县东北20 km,自蒲村镇向北沿麟游县—眉县的G342国道出露,由于自然切割、采石场开挖,特别是2016年公路改造,露头被进一步揭露,使得奥陶系地层连续出露。剖面起点位于岐山县曹家沟村北约1 km,坐标N34°32'18",E107°45'4",终点位于麟游县上永安村,坐标N34°35'44",E107°46'6",全长约7 km。剖面向南断续出露寒武系、震旦系和蓊县系地层,向北被二叠系不整合覆盖,奥陶系自下而上可划分为下奥陶统冶里组和亮甲山组、中奥陶统马家沟组和峰峰组、上奥陶统平凉组和唐王陵组(图2)。西侧崛山森林公园内的西崛山剖面中上奥陶统连续发育,可作为曹家沟剖面的补充。

2 下奥陶统

2.1 冶里组

冶里组主要岩性为土黄色、灰紫色、灰色中薄层泥岩、泥质白云岩、粉细晶白云岩。下部泥质含量

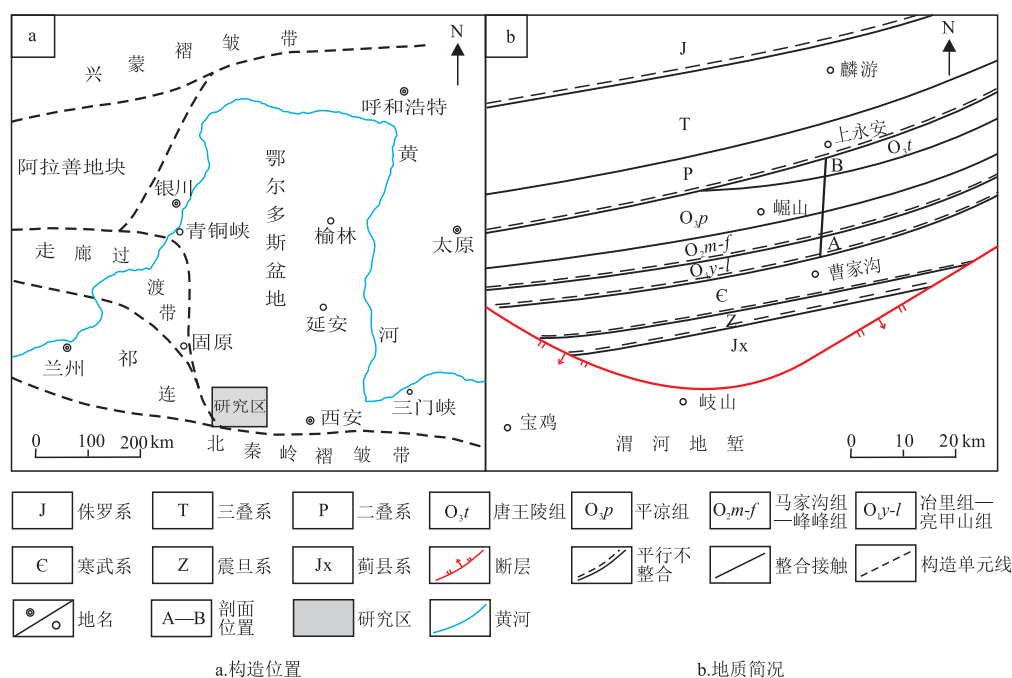


图1 鄂尔多斯盆地南缘岐山地区地质简况(据梁积伟等^[12]修改)

Fig. 1 Geological profile of Qishan area, southern margin of Ordos Basin (modified from LIANG Jiwei, et al^[12])

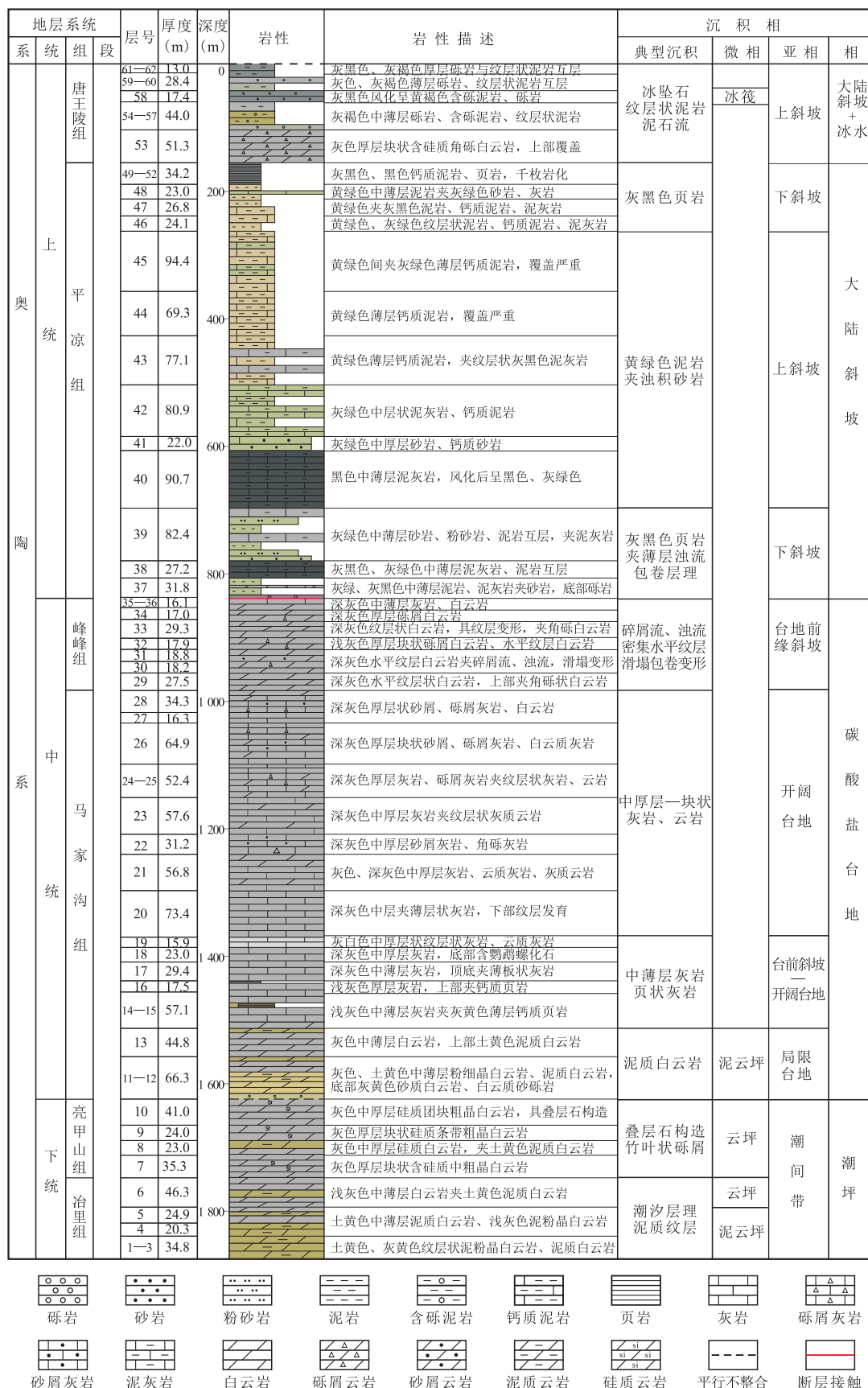


图2 岐山曹家沟剖面奥陶系地层综合柱状剖面

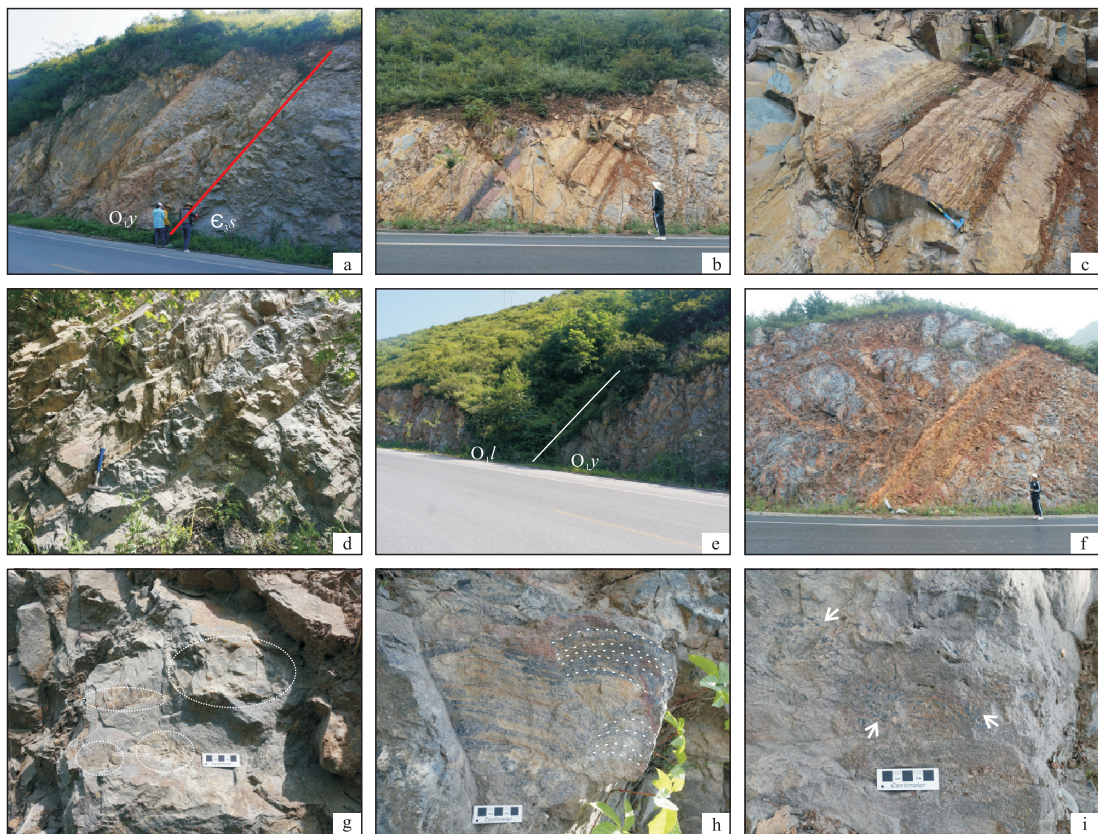
Fig. 2 Ordovician comprehensive stratigraphic columnar section of Caojiagou section, Qishan

高,纹层发育,具潮汐层理,上部云质含量高,厚度增大,为粉细晶白云岩与泥质白云岩互层(图3a—图3d),地层总厚度为126.3 m,劈理较为发育。下以厚层块状晶粒白云岩的结束,中薄层土黄色泥质白云岩的出现与下伏上寒武统三山子组断层接触(图3a)。

沉积环境上,冶里组整体上属潮坪相沉积,表现为向上水体逐渐变深的演化趋势。冶里组下部以纹层状泥岩和泥质白云岩为主,水平纹层发育,局部见潮汐层理、鸟眼构造,反映了潮间带上部的泥云坪沉积环境。冶里组上部为中厚层白云岩与中薄层泥质白云岩不等厚互层,构成多个白云岩—泥质白云岩的旋回,反映了潮间带下部云坪的沉积序列。

2.2 亮甲山组

亮甲山组主要岩性为浅灰、灰色中厚层—块状含燧石条带或团块细晶—中粗晶白云岩,夹一套土黄色泥质白云岩,发育少量的硅化叠层石(图3e—图3i),地层总厚度为123.3 m。下以中薄层泥质白云岩结束、大套厚层块状晶粒白云岩和硅质团块的出现与冶里组整合接触,岩性特征易于区分(图3e)。硅质条带或团块在亮甲山组中上部尤为发育,以灰白色、灰色、灰黑色为主,大体呈顺层状分布(图3g、图3h)。白云岩为细晶—中粗晶,越靠近硅质团块或硅质团块越发育,则白云岩的晶粒越粗,通常为中粗晶,风化后外观上多呈砂糖状,可见明显的晶间孔及



注:a.冶里组土黄色泥质白云岩与三山子组灰色粗晶白云岩断层接触,界线两侧岩性差异明显,层序基本完整;b.冶里组下部土黄色夹灰紫色泥质白云岩,潮间带沉积;c.冶里组泥质白云岩,发育波状、脉状、透镜状等潮汐层理,潮间带沉积;d.冶里组上部灰色粉细晶白云岩与土黄色泥质白云岩互层,潮间带沉积;e.亮甲山组厚层含硅质团块白云岩与冶里组中薄层白云岩、泥质白云岩整合接触,以亮甲山组厚层块状白云岩、硅质团块出现作为划分标志;f.亮甲山组中厚层含硅质晶粒白云岩夹土黄色泥质白云岩,潮间带沉积;g.亮甲山组厚层块状含硅质团块粗晶白云岩,发育晶间孔,风化后晶粒多呈砂糖状;h.亮甲山组硅化叠层石,潮间带沉积;i.亮甲山组含硅化砾屑粗晶白云岩,风化显著,溶蚀孔洞发育。

图3 岐山曹家沟剖面下奥陶统地层及沉积特征

Fig. 3 Lower Ordovician stratigraphy and sedimentary characteristics of Caojiagou section, Qishan

溶孔发育,储层物性好(图3g、图3i)。

沉积环境上,岐山曹家沟剖面亮甲山组上部发育较明显的波状、半球状叠层石,直径20~30 cm,高10~20 cm,叠层石顶部发育有竹叶状硅质砾屑,砾屑大小1~2 cm(图3g、图3i),通常反映潮间带下部高能沉积环境。亮甲山组中部夹少量土黄色纹层状泥质白云岩(图3f),与冶里组特征基本一致,代表了间歇性海退期的潮间带上部泥云坪沉积,综合分析,曹家沟剖面亮甲山组整体上属潮间带沉积。

区域上,冶里组和亮甲山组在鄂尔多斯盆地东南部广泛分布,岩性岩相基本一致,但《陕西省岩石地层》将其合并入三山子组^[17]。冶里组作为奥陶纪海侵的初始产物,泥质含量普遍比较高,单层厚度较薄。亮甲山组皆为一套厚层块状的含硅质团块白云岩,以中厚层、含硅质团块、砂糖状晶粒为特征,其岩性特征与三山子组白云岩并不一致,且两者为不整合接触。因此,冶里组和亮甲山组与寒武系三山子组岩性划分标志明显,区域分布稳定且很好对比^[1-2,6-7],应该单独划分,同时也避免了三山子组跨越奥陶系。

3 中奥陶统

3.1 马家沟组

马家沟组主要岩性为中薄层—中厚层的灰色、深灰色粉细晶云岩、灰岩等,底部少量土黄色泥质白云岩,整个剖面马家沟组岩性单调、云化显著,以大套白云岩为特征,地层总厚度为640.9 m(图2)。底部以一套中薄层含砂砾白云岩、白云质砂岩与下伏亮甲山组厚层块状含燧石团块粗晶白云岩平行不整合接触,界限清晰,可见薄层风化壳(图4a、图4b)。马家沟组底部为土黄色中薄层含砂砾质白云岩、含砂泥质白云岩,砾石含量5%~20%,成分以燧石为主,分选磨圆差,呈棱角状,粒度多为毫米级,大者1~3 cm。马家沟组与下伏亮甲山组为区域性平行不整合接触,该不整合面在鄂尔多斯中东部普遍存在,对下伏亮甲山组晶粒白云岩溶蚀孔洞的发育具有建设性作用,可形成良好的储集空间。

沉积环境上,岐山曹家沟剖面马家沟组底部以土黄色中薄层泥质白云岩为主,代表局限台地泥云坪沉积,向上则快速演变为中薄层—中厚层灰岩、灰质云岩、砾屑灰岩,夹大量页片状灰岩、纹层状灰岩(图4c、图4d),反映水体快速加深的过程,整体属开

阔台地—台地前缘斜坡较深水的沉积环境,上部以厚层—块状的白云质灰岩、灰质白云岩为特征,反映了开阔台地的沉积环境(图4e)。

3.2 峰峰组

峰峰组,又称马家沟组六段,主要岩性为薄层—纹层状粉细晶白云岩夹多层中薄层砾屑白云岩,地层总厚度144.8 m。下以大套中厚层灰质白云岩结束,纹层状白云岩出现与马家沟组整合接触,上与马家沟组断层接触。在西崮山剖面峰峰组与上覆平凉组为连续沉积,峰峰组为纹层状白云岩,平凉组为中薄层灰岩夹凝灰岩、硅质岩。

沉积环境上,该段纹层状白云岩也曾被认为是潮坪相的藻纹层沉积^[6,14]。但峰峰组白云岩中的纹层十分平直、细密,厚度通常在1~2 mm以内(图4f—图4j)。同时发育大量砾屑白云岩,通常呈薄层状,少量中层或厚层,薄层中砾屑通常为毫米级,中厚层的砾屑为厘米级,砾屑含量变化较大,零星砾屑多呈漂浮状,形态多为棱角状,大小混杂,成分主要为内碎屑,内部具明显的水平纹层,与下伏纹层状白云岩相同(图4g、图4h)。这些砾屑白云岩具典型的碎屑流沉积特征,属于深水重力流沉积^[13,18-19]。同时,还可见到厚度1 cm的碳酸盐浊流沉积(图4j)、滑塌变形构造(图4k、图4l)等。因此,曹家沟剖面峰峰组整体上属于较深水的碳酸盐台地前缘斜坡相沉积。

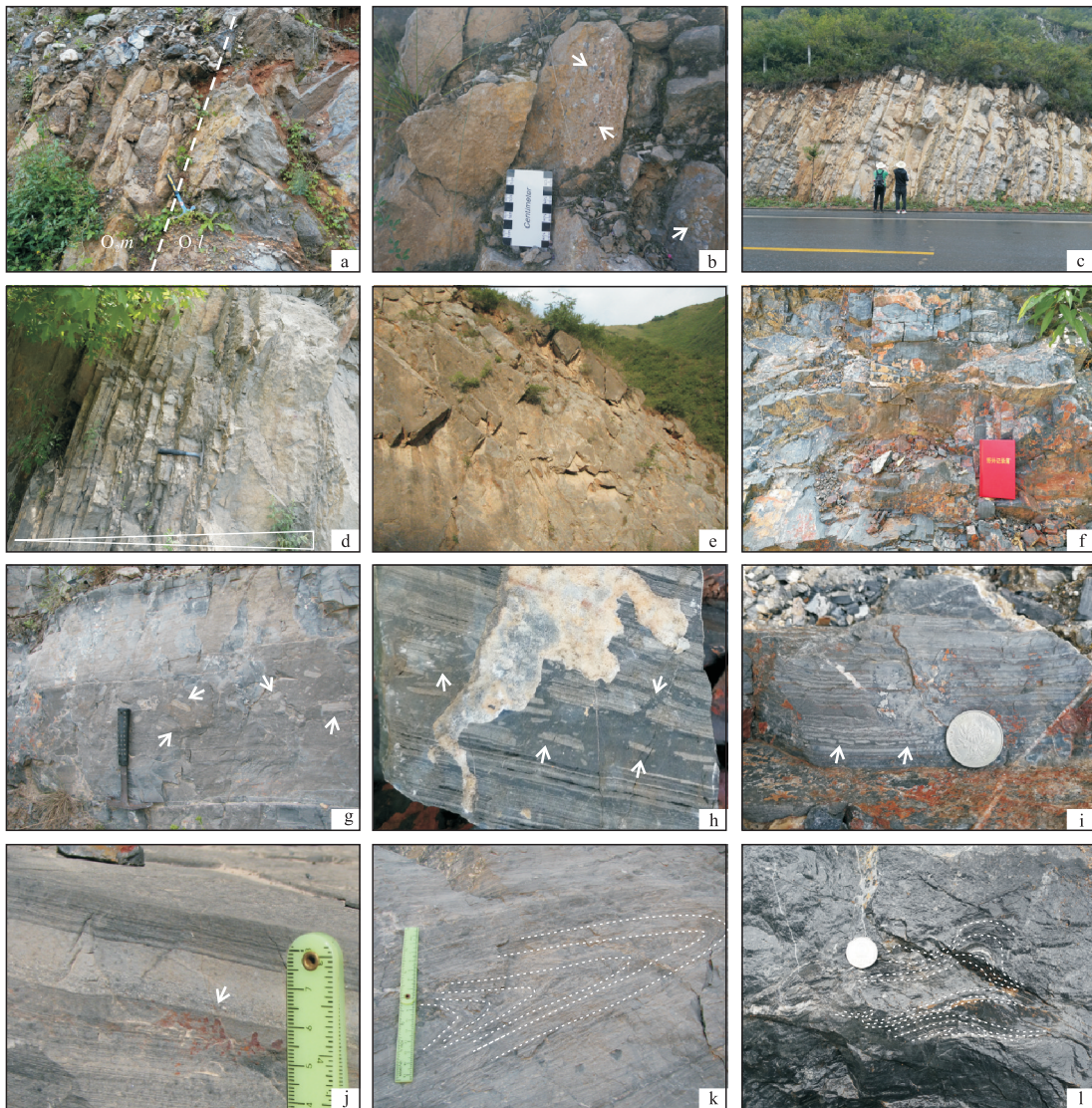
从地球化学分析上看,马家沟组碳氧同位素较下奥陶统略有增加,范围为-2.06‰~0.83‰,平均值为-0.39‰,氧同位素变化不大,范围为-7.55‰~-3.87‰,平均值为-5.19‰,Sr(锶)含量略有增加,整体不高,平均值为 134.73×10^{-6} ,但Sr/Ba(锶/钡)比值较高,范围变化为4.13~138.05,平均值为44.78,说明其水体相对较浅,古盐度较高,明显受到盆地内部高蒸发环境的影响。峰峰组碳同位素明显降低,范围为-6.17‰~0.16‰,平均值为-1.92‰,氧同位素略有增加,范围为-10.68‰~-1.94‰,平均值为-4.19‰;Sr含量变化大,范围为 53.94×10^{-6} ~ 1212.77×10^{-6} ,平均值为 314.07×10^{-6} ,但Sr/Ba比值减少,范围为1.15~33.92,平均值为14.51,说明其水体加深,盐度减小。

区域上,马家沟组在鄂尔多斯盆地及整个华北地区都有广泛分布,但岐山剖面明显不同于华北地区以厚层灰岩为主的岩性特征^[20],同时与鄂尔多斯

盆地内部马家沟组六段构成3个沉积旋回的序列特征也明显不同^[7],岐山曹家沟剖面马家沟组以白云岩、灰质白云岩为主,分段不清晰。沉积环境上,鄂尔多斯盆地马家沟组整体属浅水碳酸盐台地沉积,一、三、五段为局限台地,并大量发育膏盐岩沉积,二、四、六段为开阔台地^[1-2,7]。渭北隆起的富平、泾阳一带以纹层状白云岩为主,发育叠层石、鸟眼、石膏

假晶等沉积构造,代表了局限台地潮坪沉积^[2]。而岐山地区马家沟组则表现为相对较深水的碳酸盐台地—斜坡相沉积,特别是峰峰组表现更为明显。

从区域位置上看,岐山地区位于鄂尔多斯盆地南缘靠外的位置,与外侧广海相连,仅在马家沟组底部海侵初期发育少量局限潮坪沉积。从沉积特征看,盆地内部马家沟组普遍发育的泥质白云岩、膏盐



注:a.马家沟组中薄层砂砾质白云岩与亮甲山组厚层晶粒白云岩平行不整合接触,可见薄层风化壳;b.马家沟组底部含砂砾白云岩,砂砾成分为灰色、灰白色的燧石,棱角状,分选差;c.马家沟组下部中薄层灰岩与页岩间互,碳酸盐台地—斜坡沉积;d.马家沟组下部中薄层灰岩—薄层页岩构成向上变细的序列,碳酸盐台地—斜坡沉积;e.马家沟组上部厚层块状白云质灰岩,开阔台地沉积;f.峰峰组纹层状白云岩,外观呈中薄层状,台地前缘斜坡相深水沉积;g.峰峰组漂砾质白云岩,砾屑为纹层状白云岩,台地前缘斜坡相碎屑流沉积;h.峰峰组纹层状白云岩夹薄层漂砾质白云岩,台地前缘斜坡相碎屑流沉积;i.峰峰组断续状、阶梯状纹层白云岩砾屑,台地前缘斜坡相碎屑流启动阶段;j.峰峰组纹层状白云岩夹薄层砂屑云岩,具粒序层理,台地前缘斜坡相浊流沉积;k.峰峰组纹层状白云岩滑塌变形,台地前缘斜坡相滑塌沉积;l.峰峰组纹层状白云岩包卷变形,台地前缘斜坡相滑塌沉积。

图4 岐山曹家沟剖面中奥陶统地层及沉积特征

Fig. 4 Middle Ordovician stratigraphy and sedimentary characteristics of Caojiagou section, Qishan

岩、鸟眼、假晶等浅水沉积特征在曹家沟剖面均未见到,而是发育中厚层灰岩、灰质云岩和中薄层灰岩甚至是页片状灰岩,代表了开阔台地—台地前缘斜坡的沉积环境。而前人所谓的叠层石大都是平直而细密的水平层理,是低能安静的深水环境下缓慢沉积的产物。最显著的是纹层状云岩中大量中薄层碳酸盐碎屑流和浊流的夹层,以及滑塌变形的发育(图4f—图4l),均反映了相对远源的重力流沉积背景^[13,18-19],说明了中奥陶世马家沟期鄂尔多斯盆地南

部的构造—沉积格局已发生明显分异。

4 上奥陶统

4.1 平凉组

平凉组主要岩性为黄绿色、灰绿色、灰黑色泥岩、页岩、泥灰岩、泥质粉砂岩夹少量中细粒砂岩,为一套厚度巨大的韵律沉积(图5a—图5f),地层总厚度683.9 m。平凉组与下伏马家沟组为断层接触关



注:.a.平凉组黄绿色泥岩与马家沟组厚层灰岩断层接触,发育断层角砾,界线两侧岩性差异显著;b.平凉组灰绿、灰黑色泥岩构成的韵律沉积,大陆斜坡相深水沉积;c.平凉组灰绿色泥岩夹薄层浊流沉积,具粒序层理及冲刷面;d.平凉组灰绿色粉砂质泥岩中的包卷层理,大陆斜坡相滑塌变形沉积;e.平凉组底部中薄层灰岩夹薄层黄色凝灰岩和黑色硅质岩,台地前缘斜坡相深水沉积;f.平凉组厚层砾屑灰岩夹层,砾屑成分为灰岩,大小混杂,棱角状,颗粒支撑,台地前缘斜坡相碳酸盐碎屑流沉积;g.唐王陵组底部块状含硅质团块白云岩,与下伏平凉组泥页岩界线被覆盖;h.唐王陵组下部含砾泥岩,砾石以硅质岩、白云岩为主,棱角状,大小混杂,呈漂浮状,冰水沉积;i.唐王陵组纹层状含砾泥岩、砾屑互层;j.唐王陵组砾岩中同沉积变形的黑色泥岩砾石,大陆斜坡相泥石流沉积;k.唐王陵组纹层状泥岩中的硅质岩砾石,压弯纹层,冰筏沉积;l.唐王陵组含砾泥岩中直立的白云岩砾石,压弯纹层,冰筏沉积。

图5 岐山曹家沟剖面上奥陶统地层及沉积特征

Fig. 5 Upper Ordovician stratigraphy and sedimentary characteristics of Caojiagou section, Qishan

系(图5a),界线两侧岩性差异显著,以大套厚层灰岩结束、黄绿色泥岩出现划界。在西崑山剖面平凉组与峰峰组整合接触,底部发育一套中薄层的灰岩夹砾屑灰岩、凝灰岩、硅质岩的组合(图5e、图5f),因此曹家沟剖面平凉组并未见底。

沉积环境上,曹家沟剖面平凉组以中薄层的灰黑色泥页岩、泥灰岩为主夹多层砂岩及少量砾屑灰岩,水平纹层发育,地表风化色虽以黄绿色多见,但新鲜面则皆为灰黑色,反映了安静低能的还原环境。砂岩通常呈中薄层,发育鲍马序列,可见粒序层理,包卷层理,底部具冲刷面,属斜坡底部的浊流沉积(图5b—图5d)。砾屑灰岩仅在底部发育,砾屑大小混杂,粒度可达几至十几厘米,成分以块状灰岩为主,属台缘斜坡的碎屑流沉积。平凉组自剖面底部向上灰岩、砾屑灰岩减少,泥页岩、浊积砂岩增加,反映了水体加深的过程,整体上沉积厚度大,反映了半深海相泥灰质共生的大陆斜坡沉积环境。

从地球化学分析上看,平凉组碳同位素明显增加,范围为 -0.58% ~ 1.32% ,平均值为 0.48% ,氧同位素明显降低,范围为 -12.37% ~ -10.07% ,平均值为 -11.12% ,说明其受到成岩作用的明显影响。Sr含量进一步增加,变化范围为 83.40×10^{-6} ~ $1\ 337.57\times 10^{-6}$,平均值 515.91×10^{-6} ,但Sr/Ba比值显著减少,范围为 0.11 ~ 11.90 ,平均值为 2.02 ,说明随水体进一步加深,盐度降低,与沉积相分析一致。

区域上,加里东运动造成鄂尔多斯盆地主体隆升并遭受风化剥蚀,仅在西南缘发育有平凉组沉积^[1,2,7],虽然区域上均以深水沉积为特征,但差异显著。东侧富平一带以薄板状泥晶灰岩夹滑塌砾屑灰岩为特征^[21],代表碳酸盐台地前缘斜坡沉积,西侧平凉一带以笔石页岩为特征^[22],代表深水海槽沉积,岐山一带以泥页岩、泥灰岩为特征,代表过渡状态的大陆斜坡沉积。鄂尔多斯西缘同期的乌拉力克组以灰黑色灰泥页岩和泥页岩为主,属深水斜坡—海槽相沉积,该层位是鄂尔多斯下古生界最主要的烃源岩发育层位,TOC含量多在 0.4% 以上,且已有多口井试气获工业气流,显示了较好的页岩气勘探潜力^[23,24]。

4.2 唐王陵组

唐王陵组主要岩性为灰绿色、灰褐色、深灰色、灰黑色砾岩、副砾岩(含砾泥岩)、粉砂质泥岩、砂岩

泥质砂岩等(图5h—图5l),地层总厚度 154.1 m 。砾岩、副砾岩多呈中厚层或块状,砾石大小混杂,含量变化较大,一般在 5% ~ 30% ,高者可达 50% ~ 80% ,砾石的成分主要为硅质岩、白云岩、硅质白云岩和少量泥岩。泥岩多为中薄层,普遍含粉砂质或砂质,纹层发育。垂向上由砾岩、砂岩、纹层状泥岩构成向上变细的基本层序(图5h—图5j)。唐王陵组底部为一套厚层块状含硅质角砾白云岩(图5g),厚 51.3 m ,据此与下伏平凉组分界,上被二叠系石盒子组砂岩不整合覆盖,界限清晰。区域上,唐王陵组主要分布在陕西礼泉唐王陵—岐山曹家沟一带,岩性稳定,但形成时代和成因存在着较大的分歧^[25-28]。

沉积环境上,唐王陵大套纹层状泥岩、含砾泥岩、砾岩的组合反映了快速堆积的环境,砾岩底面具冲刷面,砾石分选磨圆差,杂基支撑,砾石中具同沉积软变形的泥质砾屑,纹层可见滑塌变形(图5i、图5j),反映了大陆斜坡相水下泥流、泥石流沉积背景。在泥岩或纹层状泥岩中,可见大量呈漂浮状的砾石,砾石大小为几至十几厘米,最大可达 30 cm ,以棱角状为主,可见直立状砾石楔入并压弯下伏泥岩纹层、上覆纹层绕过砾石的现象,具有典型的冰坠石沉积特征(图5k、图5l),反映了唐王陵组兼有冰水沉积的性质,是大陆斜坡相泥石流沉积背景上叠加的冰筏沉积。

5 结论

1) 岐山曹家沟剖面下奥陶统治里组、亮甲山组分别为一套泥质白云岩、硅质团块晶粒白云岩的组合,为海侵初期的潮坪相沉积。

2) 中奥陶统马家沟组主体为一套碳酸盐岩,为开阔台地—台地前缘斜坡相沉积,底部以砂砾岩与下奥陶统不整合接触;峰峰组以纹层白云岩夹碎屑流、浊流沉积为特征,为较深水的台地前缘斜坡相沉积,岐山地区中奥陶统与盆地主体的浅水碳酸盐台地沉积明显不同。

3) 上奥陶统平凉组主要为一套灰黑色泥质、泥灰质页岩,为大陆斜坡相深水沉积;唐王陵组主要为砾岩、含砾泥岩,为大陆斜坡相泥流、泥石流沉积,并具典型的冰筏沉积特征。

参考文献

- [1] 李文厚,陈强,李智超,等.鄂尔多斯地区早古生代岩相古地理[J].古地理学报,2012,14(1):85-100.
LI Wenhou, CHEN Qiang, LI Zhichao, et al. Lithofacies

- paleogeography of the Early Paleozoic in Ordos area[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2012, 14(1): 85-100.
- [2] 李文厚,张倩,陈强,等.鄂尔多斯盆地及周缘地区早古生代沉积演化[J]. *西北大学学报(自然科学版)*, 2020, 50(3): 456-479.
- LI Wenhou, ZHANG Qian, CHEN Qiang, et al. Sedimentary evolution of Early Paleozoic in Ordos Basin and its adjacent areas[J]. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 2020, 50(3): 456-479.
- [3] 李文厚,张倩,李克永,等.鄂尔多斯盆地及周缘地区晚古生代沉积演化[J]. *古地理学报*, 2021, 23(1): 39-52.
- LI Wenhou, ZHANG Qian, LI Keyong, et al. Sedimentary evolution of the late Paleozoic in Ordos Basin and its adjacent areas[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2021, 23(1): 39-52.
- [4] 李文厚,庞军刚,曹红霞,等.鄂尔多斯盆地晚三叠世延长长期沉积体系及岩相古地理演化[J]. *西北大学学报(自然科学版)*, 2009, 39(3): 501-506.
- LI Wenhou, PANG Jungang, CAO Hongxia, et al. Depositional system and paleogeographic evolution of the late Triassic Yanchang Stage in Ordos Basin[J]. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 2009, 39(3): 501-506.
- [5] 郭艳琴,李文厚,郭彬程,等.鄂尔多斯盆地沉积体系与古地理演化[J]. *古地理学报*, 2019, 21(2): 293-320.
- GUO Yanqin, LI Wenhou, GUO Bincheng, et al. Sedimentary systems and palaeogeography evolution of Ordos Basin[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2019, 21(2): 293-320.
- [6] 何自新,杨华,袁效奇.鄂尔多斯盆地地质剖面图集[M].北京:石油工业出版社,2004.
- HE Zixin, YANG Hua, YUAN Xiaoqi. Atlas of geology profile in Ordos Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004.
- [7] 冯增昭,王英华,张吉森,等.华北地台早古生代岩相古地理[M].北京:地质出版社,1990.
- FENG Zengzhao, WANG Yinghua, ZHANG Jisen, et al. Lithofacies palaeogeography of Early Paleozoic of North China Platform[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1990.
- [8] 郭英海,刘焕杰,权彪,等.鄂尔多斯地区晚古生代沉积体系及古地理演化[J]. *沉积学报*, 1998, 16(3): 44-51.
- GUO Yinghai, LIU Huanjie, QUAN Biao, et al. Late Paleozoic sedimentary system and paleogeographic evolution of Ordos area [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1998, 16(3): 44-51.
- [9] 腾格尔,刘文汇,徐永昌,等.海相沉积有机质的碳同位素记录及其环境意义——以鄂尔多斯盆地为例[J]. *石油勘探与开发*, 2004, 31(5): 11-16.
- Tengger, LIU Wenhui, XU Yongchang, et al. Organic carbon isotope record in marine sediment and its environmental significance: An example from Ordos Basin, NW China[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2004, 31(5): 11-16.
- [10] 陈强,张慧元,李文厚,等.鄂尔多斯奥陶系碳酸盐岩碳氧同位素特征及其意义[J]. *古地理学报*, 2012, 14(1): 117-124.
- CHEN Qiang, ZHANG Huiyuan, LI Wenhou, et al. Characteristics of carbon and oxygen isotopes of the Ordovician carbonate rocks in Ordos and their implication[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2012, 14(1): 117-124.
- [11] 周书昌,冯乔,赵伟,等.鄂尔多斯盆地南缘岐山剖面中奥陶统平凉组沉积环境分析[J]. *沉积与特提斯地质*, 2011, 31(4): 28-33.
- ZHOU Shuchang, FENG Qiao, ZHAO Wei, et al. Sedimentary environments of the Middle Ordovician Pingliang Formation in the Qishan section, southern Ordos Basin[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2011, 31(4): 28-33.
- [12] 梁积伟,马晓军,刘亚兰,等.鄂尔多斯盆地南部岐山地区上奥陶统平凉组深水沉积特征及古地理分析[J]. *西北地质*, 2019, 52(1): 66-74.
- LIANG Jiwei, MA Xiaojun, LIU Yalan, et al. Deep-water sedimentary characteristics and paleogeographic analysis of the Pingliang Formation in Qishan Area, southern Ordos Basin[J]. *Northwestern Geology*, 2019, 52(1): 66-74.
- [13] 刘溪,任战利,李文厚,等.鄂尔多斯盆地西南缘岐山地区中奥陶统沉积特征及沉积环境研究[J]. *地质科学*, 2017, 52(3): 931-942.
- LIU Xi, REN Zhanli, LI Wenhou, et al. A study on the Middle Ordovician sedimentary characteristics and environment of Qishan region at the southwest margin of Ordos Basin[J]. *Chinese Journal of Geology*, 2017, 52(3): 931-942.
- [14] 赵迪,李荣西,赵帮胜,等.鄂尔多斯盆地西南缘岐山地区马家沟组岩相和沉积环境分析[J]. *地质论评*, 2019, 65(S1): 115-116.
- ZHAO Di, LI Rongxi, ZHAO Bangsheng, et al. Petrography and sedimentary environment of the carbonate of Majiagou Formation in Qishan area on the south margin of Ordos Basin [J]. *Geological Review*, 2019, 65(S1): 115-116.
- [15] 杨甫,陈刚,陈强,等.鄂尔多斯盆地西南缘上奥陶统平凉组碎屑岩锆石 U-Pb 年龄及物源分析[J]. *地质论评*, 2015, 61(1): 172-182.
- YANG Fu, CHEN Gang, CHEN Qiang, et al. U-Pb dating of detrital zircon from Upper Ordovician Pingliang Formation in southwest margin of the Ordos Basin and provenance analysis [J]. *Geological Review*, 2015, 61(1): 172-182.
- [16] 戴霜,薛春玲,陈中阳,等.鄂尔多斯西南缘陕西岷山剖面马家沟组牙形刺兼论马家沟组顶界的穿时性[J]. *微体古生物学报*, 2020, 37(4): 317-327.
- DAI Shuang, XUE Chunling, CHEN Zhongyang, et al. Upper ordovician conodonts of the Majiagou Formation in the Jueshan section, Shaanxi, southwestern Ordos Basin, and the diachroneity of the top boundary of the Majiagou Formation[J]. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 2020, 37(4): 317-327.
- [17] 马润华.陕西省岩石地层[M].武汉:中国地质大学出版社,1998.
- MA Runhua. Stratigraphy (lithostatic) of Shaanxi Province[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1998.
- [18] 陈强.鄂尔多斯西南缘下古生界岩相古地理研究[D].西安:西北大学,2011.
- CHEN Qiang. Research on the lithofacies paleogeography of the Lower Paleozoic in the southwestern margin of Ordos[D]. Xi'an: Northwest University, 2011.
- [19] 陈强,李文厚,李智超,等.鄂尔多斯西南缘奥陶系碳酸盐重