

陈小炜, 牟传龙, 周恩恩, 等. 鄂尔多斯西缘中晚奥陶世大坪阶—艾家山阶岩相古地理[J]. 中国地质, 2014, 41(6): 2028–2038.
Chen Xiaowei, Mou Chuanlong, Zhou Kenken, et al. Lithofacies–paleogeography of middle–late Ordovician Daping stage–Aijiashan stage on the western margin of the Ordos Basin[J]. Geology in China, 2014, 41(6): 2028–2038(in Chinese with English abstract).

鄂尔多斯西缘中晚奥陶世大坪阶 —艾家山阶岩相古地理

陈小炜^{1,2} 牟传龙^{1,2} 周恩恩^{1,2} 康建威^{1,2} 王启宇¹ 葛祥英¹ 梁 薇¹

(1. 成都地质矿产研究所, 四川 成都 610081; 2. 国土资源部沉积盆地与油气资源重点实验室, 四川 成都 610081)

摘要:鄂尔多斯西缘地区位于华北板块的边缘,在中晚奥陶世经历了明显的构造转型,其大陆边缘的性质由被动大陆边缘转向活动大陆边缘。构造属性的改变也导致了盆地性质的转换,鄂尔多斯西缘沉积盆地的性质从大坪期—达瑞威尔期被动陆缘盆地向艾家山期的弧后盆地转换。岩相古地理研究表明,中晚奥陶世该地区的沉积类型可划分出滨岸相、潮坪相、缓坡相、蒸发台地相、开阔台地相、陆棚相、斜坡相和盆地相,其中的陆棚相还可以分出碳酸盐岩陆棚、碎屑岩陆棚以及混积陆棚相。大坪期—达瑞威尔期以稳定的陆表海沉积为主,沉积一套陆棚相的碳酸盐岩夹碎屑岩。进入晚奥陶世的艾家山期,在加里东期构造运动的不断挤压抬升影响下,海水逐渐退出鄂尔多斯盆地地区,贺兰地区发生了强烈的凹陷,形成了一个相对封闭的以黑色泥页岩为主深水盆地,为该时期的一个重要烃源岩沉积区。

关键词:鄂尔多斯;奥陶系;构造演化;沉积环境;岩相古地理

中图分类号: P531 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000–3657(2014)06–2028–11

近年来,围绕鄂尔多斯盆地及周缘地区早古生代海相地层开展的研究相对丰富^[1–7],且实践表明其海相的油气勘探前景较为光明,但是对鄂尔多斯西南缘尤其是贺兰地区及其周缘地区的重要时间阶段的古地理仍缺乏有针对性的研究。笔者认为,构造控制了盆地的形成和性质,盆地作为物质充填的载体,它也必然限制了沉积环境的特征以及古地理展布和演化的规律,因而盆地的沉积充填序列和沉积式样,最终决定了原始的油气基本地质条件。且鄂尔多斯西缘尤其是贺兰山及其周缘地区的中晚

奥陶世大陆边缘的属性、盆地性质的改变对物质运移、聚集、充填过程的影响、包括与优势油气相带的形成之间的关系等等,仍需进一步梳理;因此,按照新的国际地层划分对比表并结合中国的实际,笔者对中晚奥陶世华北板块边缘性质发生改变的重要时间节点对沉积环境的影响开展研究,从大坪阶、达瑞威尔阶和艾家山阶这三个时间单元来开展古地理相的编图工作,并力求理清该地区原始的油气基本地质条件的形成与构造、环境之间的制约关系。

收稿日期:2013–11–04;改回日期:2014–05–12

基金项目:国家重大科技专项“全国油气基础地质编图”(2008ZX05043–005)及中国地质调查局项目“中国岩相古地理编图”(1212010916060)资助。

作者简介:陈小炜,男,1979年生,工程师,主要研究方向:沉积学与岩相古地理;E-mail:cxw826@163.com。

通讯作者:牟传龙,男,1965年生,研究员,博士生导师,主要从事沉积地质与油气地质研究;E-mail:cdmchuanlong@163.com。

1 构造及地层背景

鄂尔多斯西缘毗邻秦祁昆构造结合带,秦祁昆结合带的构造演化以及走廊地区、贺兰地区的盆地演化关系前人已有很多相关论述^[8-11],它在中—晚奥陶世为大陆边缘性质,从被动陆缘向活动陆缘转变的特征已经成为多数学者的共识。因此,鄂尔多斯西缘及其毗邻地区的盆地演化先后经历了震旦纪—中奥陶世的被动大陆边缘和晚奥陶世—志留纪的活动大陆边缘两个构造期次;前者相应形成走廊被动陆缘盆地和贺兰盆地,该时期发育从碎屑岩潮坪到浅水碳酸盐陆棚的沉积环境;后者形成走廊弧后盆地,中奥陶世晚期—晚奥陶世该地区开始发生强烈的凹陷,发育一套深水斜坡相滑塌沉积以及浊积岩沉积。直到晚奥陶世晚期开始,由于受加里东运动的影响,随着海平面逐步下降直至海水退出华北地区。

鄂尔多斯西缘以及邻近地区的地层划分与对比前人研究较多^[12-15],综合前人的成果,并结合本次研究的一些重点剖面以及编图的思路,将鄂尔多斯西缘及其相邻地区的地层对比划分如表1所示。此次研究涉及的奥陶纪三个阶段:大坪阶、达瑞威尔

阶、艾家山阶的地层出露均比较完整,分属华北板块内的鄂尔多斯西缘地区中下奥陶统亦发育相对完整,仅在贺兰山地区以及西南缘的陇县地区缺失部分特马豆克阶—大坪阶底部地层,华北板块外缘的邻近区则缺失下奥陶统底部的特马豆克阶地层;由于加里东运动的影响使得研究区的大部分地区普遍缺失晚奥陶世晚期的沉积。

2 沉积相类型划分及其岩石特征

根据笔者对鄂尔多斯西缘地区为期4年的研究,包括对20余条野外剖面考察以及和50多条钻井岩心资料进行岩石学、古生物学、沉积构造和沉积层序等特征的分析,并结合测井、地震及区域地质特征,将鄂尔多斯西缘地区中晚奥陶世大坪阶—桑比主要阶划分出滨岸相、潮坪相、缓坡相、开阔台地相、陆棚相、斜坡相和盆地相等7个沉积相类型。

2.1 滨岸相

滨岸相作为无障壁的碎屑海体系主要分布于阿拉善古陆东侧的贺兰山地区达瑞威尔期的米钵山组上部,呈北东向狭长带状分布;岩性以浅灰色砂质板岩、含砾长石石英砂岩(图1-a)、粉砂岩夹薄板状砂质灰岩、粉屑灰岩及其透镜体为主,由于该

表1 鄂尔多斯西缘奥陶系地层划分对比(据文献[14]修改)

Table 1 Stratigraphic division and correlation of the Ordovician in west Ordos Basin

时代	统	国际	中国	陕西淳化	陕西陇县	宁夏同心	内蒙乌海	内蒙余太	
奥陶系	上统	赫南特阶	赫南特阶						
		凯迪阶	钱塘江阶	铁瓦殿组				蛇山组	
			桑比阶	艾家山阶	平凉组	背锅山组	磨盘井组	公乌苏组	白彦花组
	中统	达瑞威尔阶	达瑞威尔阶	马家沟组	三道坎组	龙门洞组	狼嘴子组	拉什忠组	乌兰胡洞组
		大坪阶	大坪阶			徐家圈组	乌拉力克组		
						米钵山组	克里摩里组	二哈公组	
	下统	弗洛阶	弗洛阶	亮甲山组		天景山组	桌子山组	三道坎组	山黑拉组
		特马豆克阶	特马豆克阶	冶里组					

注:竖条阴影部分表示地层缺失。

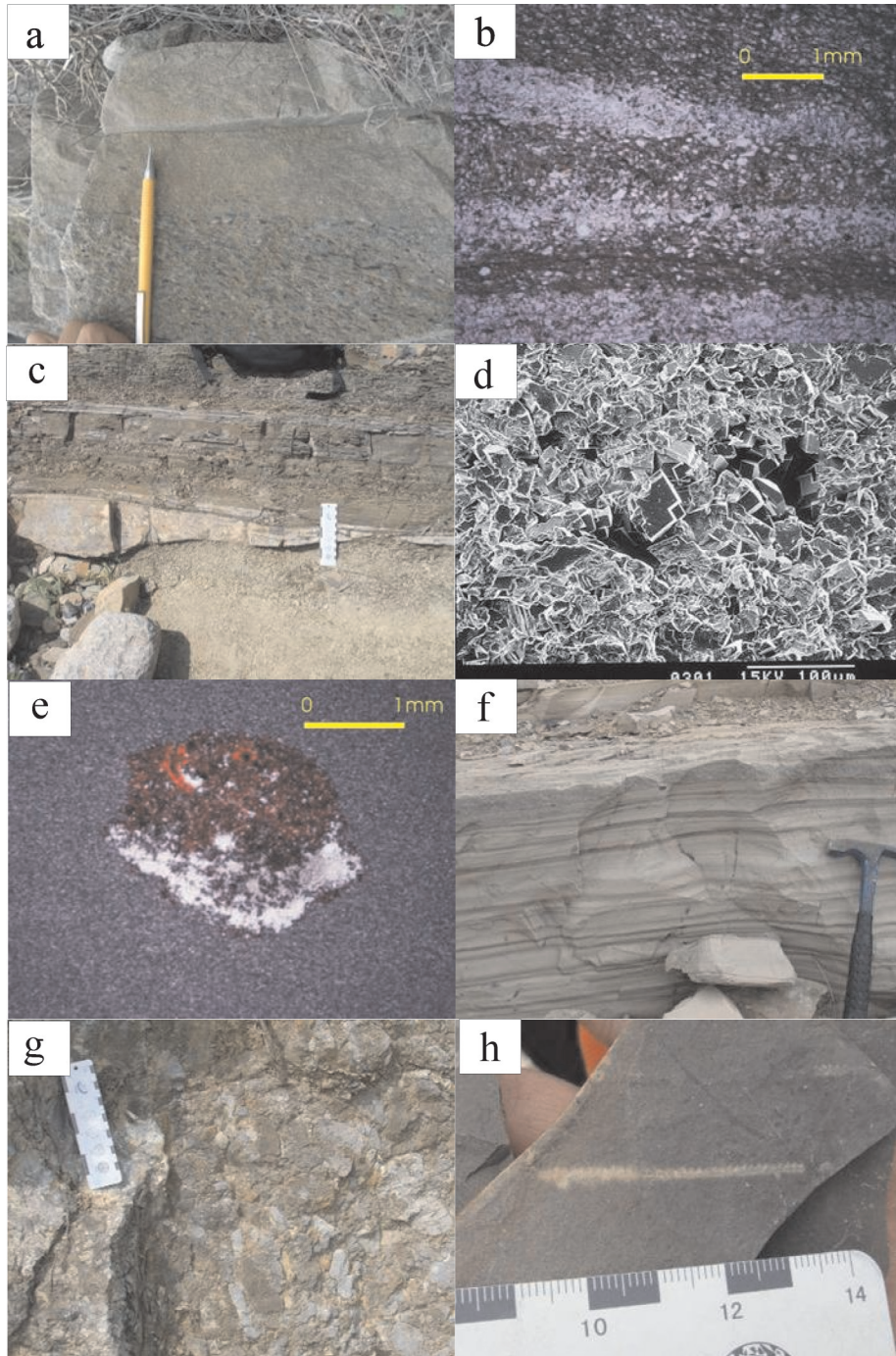


图1 研究区内有关岩石的岩性及沉积构造特征

a—宁夏榆树沟中奥陶系含砾长石英砂岩;b—锦9井马家沟组纹层状粉泥质粉砂岩;c—陇县龙门洞组砂屑灰岩中的波状冲刷面;d—陕233 马家沟组灰质白云岩;e—陕241 马家沟组含石膏鸟眼构造;f—内蒙乌海克里摩里组泥晶灰岩中的水平层理;g—陇县龙门洞组角砾状灰岩;h—桌子山地区乌拉力克组含笔石页岩

Fig.1 Lithologic characters and sedimentary structures of rocks related to the study area

a—Conglomeratic feldspar quartz sandstone of the middle Ordovician period in Yushugou, Ningxia; b—Grain layer argillaceous siltstone of Majiagou Formation in Jin 9; c—Waves wash surface in the calcarenite of Longmendong Formation in Longxian County; d—Gypsiferous birdeye structure of Majiagou Formation in Shaan 233; e—Calc dolomite of Majiagou Formation in Shaan 241; f—Horizontal bedding in micritic limestone of Kelimoli Formation in Wuhai, Inner Mongolia; g—Brecciola of Longmendong Formation in Longxian County; h—Graptolite-bearing shale of Wulalike Formation in Zhuozishan area

相带属于比较靠近西侧阿拉善古陆物源区的近岸沉积,因此其岩石的成分成熟度、结构成熟度均较高;发育冲洗交错层理、板状交错层理、平行层理以及局部见潮汐层理,且有向上粒度变大、碳酸盐成分增加的变浅趋势;该相带与陆棚相呈连续展布,在贺兰山地区这两个相带之间没有发现明显的岩相分界线,但是由于其与阿拉善古陆毗邻,根据其岩性及沉积构造特征我们有理由相信在古陆的周缘仍然存在一个滨岸相带。

2.2 潮坪相

研究区的潮坪相主要发育于中奥陶世的大坪—达瑞威尔期的马家沟组、桌子山组、米钵山组下部,多以碳酸盐潮坪为主,分布在该时期华北板块内部的庆阳陆、杭锦旗陆之间以及阿拉善陆等古陆或古隆起的周缘,并且受到的外部海域的障壁作用以及潮汐作用影响明显的海岸体系。大坪期潮坪相在研究区分布广泛,以水动力条件较弱的低能环境,如潮上泥云坪、灰云坪等为主,岩性以泥质白云岩、泥质灰岩以及灰质白云岩等组合的形式出现,近岸地区的潮上带泥质成分的比例较大,朝外海方向则以发育相对高能的潮间带含生屑泥晶灰岩为主;由于受潮汐作用的影响,岩石中常发育潮汐层理、脉状层理以及一些透镜状层理,鄂尔多斯部分地区可见叠层石、干裂纹等一些代表潮坪环境的标志,泥云岩、粉砂质泥岩中可见纹层构造(图1-b)、条带状构造,多见方解石脉,同时在样品中见少量粉砂石英和少量长石。达瑞威尔期的潮坪相岩性以泥灰岩、薄层状灰岩为主,同样可见脉状层理以及叠层石的发育,白云岩化作用以及准同生白云岩减少。

2.3 缓坡相

研究区的缓坡相沉积主要出现在晚奥陶统艾家山阶的平凉组、龙门洞组等,沿着阿拉善与鄂尔多斯古陆的周缘向盆地内部延伸,从鄂尔多斯陆边缘的海岸到盆地之间为平缓的坡地,无浅水坡折带,相对高能带位于滨线附近,缺乏连续分布的礁,但是有浅滩存在。该地区缓坡相的岩性以碳酸盐岩夹粉砂岩、砂屑灰岩、页岩、砾屑灰岩等组合形式出现。在鄂尔多斯西南缘还出现了末端变陡的缓坡模式,见大量的灰岩、泥质粉砂岩甚至是砂屑灰岩的角砾,垮塌现象明显,沉积环境明显变深,见滑

动形成的包卷层理、局部见砂屑灰岩的粒序层理。末端变陡的坡折带之上的相对浅水的地区见有泥灰岩、砂屑灰岩、灰岩、泥质粉砂岩等组成小型双向交错层理、脉状层理。砂屑灰岩中局部见粒序层理,层间见波状冲蚀面(图1-c)。上部韵律层中泥灰岩所含比例向上增多,砂屑灰岩中混入的砂质比例增加,说明在局部的滩相高能区形成的灰岩砂屑经过一定距离的搬运后混入了部分陆源碎屑物质。

2.4 开阔台地相

开阔台地相主要是出现于达瑞威尔期的鄂尔多斯盆地与外海畅通的广阔浅水区,其沉积界面多位于低潮面和浪基面之间,盐度正常,水深为数米至数十米,具中等能量,以马家沟组上部、三道坎组以及龙门洞组下部为代表。主要岩石类型为生物屑泥晶灰岩、灰质白云岩(图1-d)、生物屑亮晶胶结灰岩和结晶灰岩等,偶见鸟眼构造(图1-e),以中—厚层状为主,局部夹有少量泥质夹层;主要的沉积构造为水平层理、波状层理和虫迹;化石较为丰富,可见一些介形虫、软体动物、棘皮动物、三叶虫和腕足类,在其内部发育一些规模不大的点礁或点滩沉积。

2.5 陆棚相

鄂尔多斯西缘的浅海陆棚包括海岸体系的外侧或者是台地体系到大陆坡内边缘这一宽阔的广海陆棚区。陆棚相广泛发育于中晚奥陶统大坪阶—艾家山阶,包括了桌子山组、克里摩里组天景山组上部以及米钵山组等,从岩性组合分类还可分为碳酸盐陆棚相、碎屑岩陆棚相、以及混积陆棚相。

碳酸盐陆棚相:主要出现在大坪—达瑞威尔阶的地层之中,该相带位于开阔鄂尔多斯大陆架的外缘以及走廊被动陆缘盆地的内部,常紧邻于鄂尔多斯碳酸盐台地边缘或潮坪沉积体系之外,海底位于正常波基面之下,但间歇风暴可影响到海底沉积物,盐度正常,循环良好,水深数十米至百余米,水体能量弱。主要以泥晶灰岩、砾屑灰岩、生物碎屑灰岩为主,夹少量泥页岩的组合为主,水平层理(图1-f)、浪成砂纹层理发育,砾屑灰岩中局部层位的砾屑表面较光滑,呈竹叶状、椭圆状,整体呈无定向性的杂乱排列,多为风暴作用的产物。

碎屑岩陆棚相:主要出现在达瑞威尔期的阿拉善东缘,与碎屑岩滨岸带呈连续展布,岩石类型以粉砂岩、页岩等为主,中间夹有少量来自于阿拉善

古陆方向的砂砾岩,也可见少量自生的碳酸盐沉积,在正常情况下无风暴作用,海水的水流速度比较缓慢,更多是一些细粒、悬浮沉积,见水平层理。

混积陆棚相:该相主要出现于达瑞威尔期—艾家山期,在达瑞威尔期贺兰山一带的混积陆棚的形成,是因为其位置处于两个不同物质成分海域的中间,它出现于靠近阿拉善的陆源碎屑滨浅海陆棚相与鄂尔多斯西侧的碳酸盐岩陆棚之间的过渡混合沉积区;而这两个时期的走廊地区、阿拉善北缘地区的浅海海域则是在一个相对稳定的碳酸盐岩浅海中,间歇性的有来自于克拉通内部或岛弧上的陆源碎屑物质的注入而形成的混积陆棚。它们的共同特征都是以灰岩、生物碎屑灰岩、泥灰岩及页岩互层出现,或者是薄板状泥晶灰岩、泥质条带灰岩夹砂砾岩的形式出现,见波状冲刷面以及水平层理发育。

2.6 斜坡相

斜坡相位于陆棚或是鄂尔多斯西南缘缓坡相的外侧,由大陆斜坡很快进入深水盆地,主要发育在河西走廊一带的香山群、米钵山组和西南缘上奥陶统平凉组、贺兰山地区的山宇沟组及其相当的地层。沉积物主要有远洋或半远洋沉积和重力流沉积间互组成。由于不同的沉积格局,形成了不同的深水岩石组合,平凉地区、贺兰地区以陆源泥质岩为主夹陆屑和碳酸盐重力流沉积,见粒序层理、波状层理发育,鲍马序列明显,地层中见大量深水内潮汐作用形成的交错层理^[6],主要岩性有页岩、泥岩、深灰—黑色泥晶灰岩、粉砂岩、砂砾岩和角砾状灰岩(图1-g)等,并夹有凝灰岩沉积,代表区内下古生界水体快速变深的沉积,岩性、沉积构造、古生物等特征都反映为深水斜坡的沉积环境。

2.7 盆地

研究区的盆地相主要指的是在斜坡之下以细粒悬浮沉积物为主的相对深水的区域,其主要出现在走廊南山一带的祁连洋盆以及贺兰山地区的深水凹陷盆地,在宁夏—内蒙古地区的乌拉力克组、山宇沟组等均有发育,表现为一套黑色、灰黑色含笔石炭质页岩(图1-h)、含钙质页岩等,乌海地区的黑色页岩厚度可达30 m,其沉积物还包括细粒远源浊流、等深流、远洋钙质软泥、硅质放射虫软泥、深海结核等物质,页理纹层发育。

3 岩相古地理

3.1 中奥陶世大坪期

中奥陶世大坪期的华北板块内部仍处于一个相对稳定的碳酸盐陆表海沉积环境,贺兰地区及其周缘仅存在三个面积较小的古陆,分别是西侧的阿拉善古陆、鄂尔多斯北部的杭锦旗古陆,以及鄂尔多斯盆地西南缘由于早奥陶世以后的构造隆升作用所形成“L”型的庆阳古陆。由于受到外部海域一些浅滩的障壁作用影响,各个古陆的周缘向以贺兰山地区的银川—吴忠一带为沉降中心的外海延伸,均展布着较大面积的潮坪相沉积区;以内蒙古查干池—吉兰太—磴口一线为西界,磴口—鄂托克前旗—平凉为东界的贺兰地区,则是以浅海陆棚相为主,其中发育较多的浅滩相沉积,受到风暴作用的影响明显,该环境常以一些薄板状、瘤状灰岩、生物碎屑灰岩、白云岩等为主,夹有页岩、粉砂岩、砾屑灰岩以及砂质灰岩为辅的主要岩相特征,如同心的米钵山组、乌海的克里摩里组下段以及桌子山组是以薄板状灰岩、含角石的泥灰岩为主,局部含燧石条带,而往南东方向的陇县的三道坎组则以瘤状灰岩出现较多。鄂尔多斯盆地内部受到南、北两个古陆的围限,在盆地中部的志丹—米脂一带形成了一个相对闭塞的蒸发台地环境,岩性主要为白云岩、含膏白云岩、膏岩和盐岩、泥质白云岩等,是中晚奥陶世研究区的一个重要的盖层。

由于祁连洋和古亚洲洋洋盆处于伸展张期,研究区内的华北板块的外缘,被南侧的走廊被动大陆边缘盆地、北边的华北北缘被动大陆边缘盆地内的浅海陆棚环境所占据,陆棚相的生物碎屑灰岩、竹叶状灰岩发育,局部发育白云岩及砂质灰岩,岩性与贺兰山地区的浅海环境大致相同。河西走廊的陆棚环境以南则进入到祁连洋的深海盆地区,该环境残留至今的部分岩性主要以硅质页岩、含凝灰质页岩为主,沉积物种还包括有远洋钙质软泥、硅质放射虫软泥等。

3.2 中奥陶世达瑞威尔期

奥陶纪的海侵继续扩大,并在达瑞威尔期达到了最大的海泛期。三个古陆的大小范围基本上沿袭了大坪期的格局,此时的贺兰山周边地区以及鄂尔多斯盆地内部的海域范围略有扩大,随着海平面

上升到一定程度并稳定下来后,陆源碎屑物质的注入也随之减少,这也为潮坪环境向碳酸盐台地环境的发展转换提供了稳定的条件。大坪期的潮坪范围仅缩小至杭锦旗古陆以及庆阳古陆的周缘,主要为一套灰岩夹页岩的组合,其中潮汐层理、叠层石等潮坪相的典型特征较为常见。而随着阿拉善古陆的不断向东靠近,来自于它的陆源物质的供给也在增加,哈克图湖(查干池)—吉兰太一线的潮坪相也逐步向碎屑岩的滨岸—陆棚相演化。原来位于鄂尔多斯盆地中的潮坪相则向碳酸盐台地演变,并最终形成以白云岩、灰岩为主的开阔台地,而它向外海方向延伸的西、西南一侧,则仍然是以磴口—鄂托克前旗—平凉为东界的灰岩、泥灰岩和泥页岩的碳酸盐陆棚环境,从达瑞威尔期中后期起,由于华北板块西南缘的构造属性逐步由被动陆缘向活动陆缘转变,贺兰山地区则开始逐步发生凹陷,沉积中心的位置开始变深,碳酸盐陆棚的水体变深,坡度增大因此出现了一些角砾状灰岩和页岩夹层。贺兰山地区同时接受来自东、西两侧不同物质组分环境中形成的沉积物的补给,进而形成了既有灰岩、泥灰岩又有粉砂岩、含砾砂岩和页岩等成分的混积陆棚,较为典型的是位于内蒙巴伦别立的贺兰山地区沉积了1300多米厚的米钵山组长石石英砂岩、板岩以及灰岩的组合,以及苏峪口的石英砂岩夹灰岩,其范围限于吴忠—阿拉善左旗—吉兰太一带。

研究区西北端的华北北缘被动陆缘带,以及华北板块南侧的走廊被动陆缘带上碳酸盐陆棚环境的水体环境相对上一阶段较深,主要沉积一套薄板状泥晶灰岩和页岩;河西走廊一带的陆棚向南经由斜坡逐步进入到深海大洋盆地,该洋盆的沉积物组分基本和大坪期的一致,均以硅质页岩、泥页岩为主。

3.3 晚奥陶世艾家山期

晚奥陶世艾家山期,华北板块边缘的构造属性发生重大转变,古亚洲洋和祁连洋洋壳由拉张变为向华北板块俯冲,华北板块边缘也由被动大陆边缘转变为活动大陆边缘,在这样的大背景下,贺兰山及其周缘地区的盆地性质有了实质性的变化,进而使得其古地理格局也随之发生重大改变。在加里东期的构造运动的不断挤压抬升影响下,此时的鄂尔多斯盆地大部分地区已经隆升为陆地剥蚀区,杭锦旗陆与庆阳陆互相连为一体形成更大的鄂尔多斯陆,阿拉善古陆的范围也有所扩大,其东侧的界

限推测已经到了内蒙敖伦布拉格一带。华北板块内部的海水已经退至查干池—临河再到鄂托克前旗—平凉的三角地带以及鄂尔多斯南缘地区。由于与陆地毗邻海域的海水深度的增加,碳酸盐台地被淹没而停止发育,再加上挤压隆升作用周边大面积的陆地抬升剥蚀,提供了更多的陆源碎屑物质,这就导致了该海域的碳酸盐台地逐步向碳酸盐缓坡发展的逆向演化(图1)。

由于贺兰山地区的迅速凹陷下沉,在吴忠—乌海一带形成了一个相对封闭的深水盆地,岩性以黑色泥页岩夹泥质粉砂岩为主,页岩盆地与缓坡之间则存在一个斜坡,这其中的等深流、浊流以及内波作用较为常见,在陇县段家峡地区可见大量滑塌作用形成的角砾状灰岩、来自于浅水缓坡的砂屑灰岩以及一些凝灰质的砂屑灰岩发育,说明该时期的贺兰山地区的凹陷下沉的同时也常常伴随着强烈的火山活动,层段内发育一些小型交错层理、包卷层理以及粒序层理,岩性以灰岩、粉砂岩、含笔石的黑色页岩的互层为主,如乌海的桌子山地区比较典型。由于水体的变深以及周边隆起的围限,在贺兰山凹陷带形成大面积的、低能的、欠补偿的缺氧还原性沉积环境,其中斜坡相的黑色页岩层段(平凉期的页岩)与深水盆地相内的黑色页岩(乌拉力克组)一起成为该时期的有利烃源岩。

在祁连山地区的白银—会宁一线由于板块间的碰撞、喷发和隆起作用,形成了走廊南山岛弧带。岛弧带的南西一侧仍为祁连洋盆,而北东一侧的陆棚环境由于岛弧带碎屑物质的注入,其岩性中的砂岩成分所含比例有所增加,发育灰岩、泥灰岩与砂岩、粉砂岩的组合。由于此时的弧后盆地的沉降中心向吴忠—银川一带转移,陆棚相的北东方向则依次进入到一个以含角砾状灰岩、砂质灰岩、粉砂岩以及页岩为主的斜坡环境,以同心康喇叭地区内波作用引起的发育小型双向交错层理的中—薄层状砂岩、粉砂岩为代表。与此同时,研究区西北侧的华北北缘则进入到出现含碎屑物质的潮坪—陆棚的混积环境当中。

4 烃源岩区与沉积环境之间关系的讨论

现代油气勘探的经验表明,海相的含油气盆地

表2 内蒙古老石旦地区奥陶系碳酸盐岩碳氧同位素分析数据

Table 2 Analytical data of carbon isotopes, oxygen isotopes of the Ordovician carbonate rocks in Laoshidan area of Inner Mongolia

品号	样品名称	取样地点	层位	$\delta^{13}C_{PDB}/\text{‰}$	$\delta^{18}O_{PDB}/\text{‰}$
HNP7-B6	砂质灰岩	乌海老石旦	O3l	-0.60	-10.07
HNP4-B3	砂质灰岩	乌海老石旦	O3l	-0.80	-9.87
HNP2-B1	砂质灰岩	乌海老石旦	O3l	-0.73	-10.44
-----	黑色炭质页岩	乌海老石旦	O3w	黑色页岩未做同位素分析	
LSP15-B16	泥晶灰岩	乌海老石旦	O2k	0.79	-6.66
LSP14-B15	泥晶灰岩	乌海老石旦	O2k	0.45	-6.44
LSP14-B14	砾屑灰岩	乌海老石旦	O2k	0.03	-6.59
LSP13-B13	泥晶灰岩	乌海老石旦	O2k	0.51	-6.45
LSP13-B12	泥晶灰岩	乌海老石旦	O2k	0.43	-6.74
LSP11-B10	泥晶灰岩	乌海老石旦	O2k	0.40	-6.50
LSP10-B9	泥晶灰岩	乌海老石旦	O1z	0.54	-7.07
LSP8-B8	泥晶灰岩	乌海老石旦	O1z	0.47	-7.00
LSP7-B6	泥晶灰岩	乌海老石旦	O1z	0.69	-7.26
LSP6-B5	泥晶灰岩	乌海老石旦	O1s	0.21	-7.65
LSP3-B2	泥晶灰岩	乌海老石旦	O1s	-1.27	-8.25
LSP2-B1	含生屑灰岩	乌海老石旦	O1s	-0.84	-8.29

注:O_{1s}为下奥陶统三道坎组,O_{1z}为中奥陶统桌子山组,O_{2k}为中奥陶统克里摩里组,O_{3w}为上奥陶统乌拉力克组,O_{3l}为上奥陶统拉什忠组。

表3 鄂尔多斯西缘艾家山阶平凉组烃源岩有机质丰度(据文献[17]修改)

Table 3 Organic matter abundance of Pingliang source rock of Aijiashan stage in west Ordos Basin

评价对象	TOC 含量/%			“A”含量/10 ⁻⁶			(S1+S2)/(mg.g ⁻¹)			HC 含量/10 ⁻⁶		
	范围	平均值	评价	范围	平均值	评价	范围	平均值	评价	范围	平均值	评价
鄂尔多斯西缘露头	0.05~1.76	0.137(139)	中	21~1259	232(28)	中	0.04~2.16	0.42(33)	好	33~784	276(8)	好
鄂尔多斯西缘钻井	0.15~1.20	0.58(13)	好	24~1263	380(45)	中	0.37	0.37(1)	好	17~852	347(18)	好

中的烃源岩富集层位多为深于浪基面以下的斜坡或者是盆地环境,因为只有在低能的环境下,附着大量有机质的漂浮的粘土才能沉淀下来,而在斜坡与盆地的深水环境中的还原环境又避免或延缓了有机质的氧化作用,使得泥岩中得以生成大量的腐殖质层,为烃源岩的形成提供了良好的条件。而华北板块在更多的时期内均处于浪基面以上的陆表海环境,在中晚奥陶世以后,由于板块边缘的碰撞挤压等构造作用影响,华北西南缘的贺兰山地区发生强烈凹陷进而形成斜坡—盆地的深水环境,才使得在研究区内的平凉—乌海—阿拉善左旗的三

角凹陷带形成了一定规模的富含有机质黑色页岩,平均厚度80~90 m。纵观该地区奥陶系典型剖面的碳酸盐岩沉积物的碳氧同位素变化特征,这些环境背景的变迁过程也得到了进一步的印证,且通过分析中晚奥陶世的贺兰山地区的烃源岩的特点,认为黑色页岩是形成于相对深水的环境,并且其有机质含量还相对较高^[17],艾家山期斜坡—盆地相的黑色页岩构成了研究区的有利烃源岩层段。

因此,如果从沉积学的角度去认识一个地区的油气的基本地质条件时,我们就应该溯源其所在盆地在构造作用下是如何形成、是何种性质的盆地,

因为盆地是物质的堆积空间,因而决定了盆地的沉积充填序列和沉积式样,最终决定了原始的油气基本地质条件及其空间组合,这种规律总结为“构造控盆,盆地控相,相控油气基本地质条件”^[18],基于这种规律的基础上,以富烃沉积区或生油气古地理环境为重点^[19],对华北西缘的贺兰山地区的开展系统的岩相古地理研究与编图,理清其生、储、盖的组合形式,或许能为今后研究区内海相油气勘探取得突破提供更为科学的依据。

5 结 论

(1)鄂尔多斯西缘盆地的性质从大坪期—达瑞威尔期被动陆缘盆地向艾家山期的弧后盆地转换,在明确这两个不同属性的沉积盆地对沉积相制约作用的基础上,通过对其沉积学特征的研究,将鄂尔多斯西缘地区中晚奥陶世大坪阶—桑比阶主要划分出滨岸相、潮坪相、缓坡相、开阔台地相、陆棚相、斜坡相和盆地相等7个沉积相类型。

(2)编制了鄂尔多斯西缘及其邻近地区大坪阶、达瑞威尔阶和艾家山阶三个时期的岩相古地理图,贺兰地区从大坪期—艾家山期经历了从碳酸盐陆棚向黑色页岩盆地转换的由浅变深的过程,并在艾家山期达到了最大海水深度。

(3)通过分析中晚奥陶世的鄂尔多斯西缘贺兰山地区的烃源岩的特点,形成于相对深水环境平凉组黑色页岩有机质含量相对较高,艾家山期斜坡—盆地相的黑色页岩构成了研究区的有利烃源岩层段。

参考文献(References):

- [1] 王鸿祯. 中国古地理图集[M]. 北京: 地图出版社, 1985.
Wang Hongzhen. Atlas of the Palaeogeography of China[M]. Beijing: SinoMaps, 1985(in Chinese)
- [2] 李安仁, 刘文均, 张锦泉, 等. 鄂尔多斯盆地早奥陶世沉积特征及其演化[J]. 成都地质学院学报, 1993, 20(1): 17-26.
Li Anren, Liu Wenjun, Zhang Jinquan, et al. Sedimentary characteristics and evolution of early Ordovician in Ordos Basin[J]. Journal of Chengdu Institute of Geology, 1993, 20(1): 17-26(in Chinese with English abstract).
- [3] 冯增昭, 鲍志东. 鄂尔多斯奥陶纪马家沟期岩相古地理[J]. 沉积学报, 1999, 17(1): 1-8.
Feng Zengzhao, Bao Zhidong. Lithofacies Paleogeography of Majiagou Age of Ordovician in Ordos Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17(1): 1-8(in Chinese with English abstract).
- [4] 付金华, 郑聪斌. 鄂尔多斯盆地奥陶纪北海和祁连海演变及岩相古地理特征[J]. 古地理学报, 2001, 3(4): 25-34.
Fu Jinhua, Zheng Congbin. Evolution between North China Sea and Qilian sea of the Ordovician and the characteristics of lithofacies palaeogeography in Ordos basin[J]. Journal of Palaeogeography, 2001, 3(4): 25-34(in Chinese with English abstract).
- [5] 侯方浩, 方少仙, 董兆雄, 等. 鄂尔多斯盆地中奥陶统马家沟组沉积环境与岩相发育特征[J]. 沉积学报, 2003, 21(1): 106-112.
Hou Fanghao, Fang Shaoxian, Dong Zhaoxiong, et al. The developmental characters of sedimentary environments and lithofacies of middle Ordovician Majiagou Formation in Ordos basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(1): 106-112(in Chinese with English abstract).
- [6] 陈孟晋, 汪泽成, 孙粉锦. 鄂尔多斯西缘前陆盆地油气地质[M]. 北京: 石油工业出版社, 2006: 1-229.
Chen Mengjin, Wang Zecheng, Sun Fenjin. Petroleum Geology of the Foreland Basins in Western Ordos Basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2006: 1-229(in Chinese).
- [7] 陈洪德, 侯明才, 赵俊兴, 等. 鄂北下古生界层序储层特征与气藏分布[R]. 中石油华北分公司研究报告, 2007.
Chen Hongde, Hou Mingcai, Zhao Junxing, et al. Sequence Reservoir Characteristics and Distribution of Gas Pool in Lower Paleozoic in Northern Ordos[R]. Research report of north China branch of PetroChina, 2007(in Chinese).
- [8] 许效松, 刘宝珺, 徐强, 等. 中国西部大型盆地分析及地球动力学[M]. 北京: 地质出版社, 1997.
Xu Xiaosong, Liu Baojun, Xu Qiang, et al. Large-scale Basin Analysis and Geodynamics in Western China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997(in Chinese).
- [9] 杜远生, 朱杰, 韩欣, 等. 从弧后盆地到前陆盆地——北祁连造山带奥陶纪—泥盆纪的沉积盆地与构造演化[J]. 地质通报, 2004, 23(9/10): 911-917.
Du Yuansheng, Zhu Jie, Han Xin, et al. From the back-arc basin to foreland basin—Ordovician—Devonian sedimentary basin and tectonic evolution in the North Qilian orogenic belt[J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23(9/10): 911-917(in Chinese with English abstract).
- [10] 周立发, 赵重远, 郭忠铭. 阿拉善及邻区沉积盆地的形成与演化[M]. 西安: 西北大学出版社, 1996: 27-38.
Zhou Lifa, Zhao Chongyuan, Guo Zhongming. Formation and Evolution of the Sedimentary Basin in Alxa and its Adjacent Region[M]. Xi'an: Northwestern University Press, 1996: 27-38(in Chinese).
- [11] 杨宗让. 早古生代秦—祁—昆古洋盆及两侧陆缘板块构造格局和演化[J]. 西安地质学院学报, 1997, 19(1): 36-42.
Yang Zongrang. Plate tectonic framework and evolution of the Qinling—Qilian—Kunlun paleo-ocean and its adjacent continental margins during the early Paleozoic[J]. Journal of Xi'an Geological

- Institute, 1997, 19(1): 36–42(in Chinese with English abstract).
- [12] 顾其昌.宁夏回族自治区岩石地层[M].湖北武汉:中国地质大学出版社,1996:1–132.
- Gu Qichang.Lithostratigraphy in Ningxia Autonomous Region[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1996: 24–29(in Chinese).
- [13] 马润华.陕西省岩石地层[M].武汉:中国地质大学出版社,1998:1–291.
- Ma Runhua. Lithostratigraphy in Shanxi Province[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1998: 1–291(in Chinese).
- [14] 陈旭,戎嘉余,张元动,等.奥陶纪年代地层学研究综述[J].地层学杂志,2000,24(1):18–26.
- Chen Xu, Rong Jiayu, Zhang Yuandong, et al. Acommentary on Ordovician Chronostratigraphy[J].Journal of Stratigraphy, 2000, 24(1): 18–26(in Chinese with English abstract).
- [15] 李文厚,陈强,李智超.鄂尔多斯地区早古生代岩相古地理[J].古地理学报,2012,14(1):86–99.
- Li Wenhou, Chen Qiang, Li Zhichao. Lithofacies palaeogeography of the early Paleozoic in Ordos area[J]. Journal of Palaeogeography, 2012, 14(1): 86–99 (in Chinese with English abstract).
- [16] 李向东,何幼斌,王丹.宁夏中奥陶统香山群徐家圈组内波和潮汐沉积[J].古地理学报,2009,11(5):513–523.
- Li Xiangdong, He Youbin,Wang Dan. Internal- wave and internal-tide deposits of the middle Ordovician Xiangshan Group Xujiajuan Formation, Ningxia[J]. Journal of Palaeogeography 2009, 11(5),513–523 (in Chinese with English abstract).
- [17] 王传刚.鄂尔多斯盆地海相烃源岩的成藏有效性分析[J].地学前缘,2012,19(1):253–263.
- Wang Chuangang. Availability analysis of oil pool forming for marine source rock in Ordos Basin[J]. Earth Science Frontiers, 2012, 19(1): 253–263(in Chinese with English abstract).
- [18] 牟传龙,许效松.华南地区早古生代沉积演化与油气地质条件[J].沉积与特提斯地质,2010,30(3):24–29.
- Mou Chuanlong, Xu Xiaosong. Sedimentary evolution and petroleum geology in South China during the early Palaeozoic[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2010, 30(3): 24–29 (in Chinese with English abstract).
- [19] 冯增昭.从定量岩相古地理学谈华南地区海相地层油气勘探[J].古地理学报,2005,7(1):1–11.
- Feng Zengzhao. Discussion on petroleum exploration of marine strata in South China from quantitative lithofacies palaeogeography[J]. Journal of Palaeogeography, 2005, 7(1): 1–11 (in Chinese with English abstract).
- [20] 李向东,何幼斌,刘训,等.宁夏中奥陶统香山群徐家圈组大地构造环境分析[J].中国地质,2011,38(2):374–383.
- Li Xiangdong, He Youbin, Liu Xun, et al. An analysis of the tectonic setting of Xujiajuan Formation of Middle Ordovician Xiangshan Group in Ningxia[J]. Geology in China, 2011, 38(2): 374–383(in Chinese with English abstract).
- [21] 霍勇,罗顺社,庞秋维.鄂尔多斯台地靖边潜台南部中奥陶统马五12岩相古地理[J].中国地质,2012,39(1):86–95.
- Huo Yong, Luo Shunshu, Pang Qiuwei. Lithofacies Paleogeography of Middle Ordovician Ma512 in Jingbian tableland, Ordos platform[J]. Geology in China, 2012, 39(1): 86–95(in Chinese with English abstract).
- [22] 苏中堂,陈洪德,欧阳征健,等.鄂尔多斯地区马家沟组层序岩相古地理特征[J].中国地质,2012,39(3):623–633.
- Su Zhongtang, Chen Hongde, OuYang Zhengde, et al. Sequence-based lithofacies and paleogeography of Majiagou Formation in Ordos basin[J]. Geology in China, 2012, 39(3): 623–633(in Chinese with English abstract).
- [23] 邓昆,周立发,曹欣,等.香山群狼嘴子组硅质岩地球化学特征及形成环境[J].中国地质,2007,34(3):497–505.
- Deng Kun, Zhou Lifa, Cao Xin, et al. Geochemical characteristics and tectonic setting of cherts in the Langzuizi Formation of the Xiangshan Group[J]. Geology in China, 2007, 34(3): 497–505(in Chinese with English abstract).

Lithofacies–paleogeography of middle–late Ordovician Daping stage– Aijiashan stage on the western margin of the Ordos Basin

CHEN Xiao–wei^{1,2}, MOU Chuan–long^{1,2}, ZHOU Ken–ken^{1,2}, KANG Jian–wei^{1,2},
WANG Qi–yu¹, GE Xiang–ying¹, LIANG Wei¹

(1. *Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 600081, Sichuan, China;*

2. *Key Laboratory for Sedimentary Basin and Oil and Gas Resources, MLR, Chengdu 600081, Sichuan, China*)

Abstract: The western Ordos Basin and its adjacent areas, which belong to the west of north China plate, experienced a transformation process from passive continental margin to active continental margin. The transformation of tectonic attributes also led to the changes of the basin's nature: the passive continental margin basin in the western Ordos was converted into back–arc basin during the period of Daping stage–Aijiashan stage. According to the study of lithofacies–paleogeography in west Ordos Basin, 8 depositional facies can be recognized in the middle–late Ordovician period: shore, tidal flat, gentle slope, evaporative platform, open platform, shelf, slope and basin. The shelf could be classified into 3 sub–facies, i.e., carbonate shelf, clastic shelf and mixed carbonate–clastic shelf. A set of shelf carbonate rocks of clastic rocks was deposited in the western Ordos Basin during Daping stage–Darriwilian stage. Nevertheless, in the Aijiashan stage, Helanshan region subsided intensively and turned into a closed, black shale basin, with the influence of the Caledonian tectonic movement and the gradual seawater withdrawal from the Ordos Basin. It is therefore held that the black shale basin might have been an important depositional area of hydrocarbon source rocks in this stage.

Key words: Ordos; Ordovician; tectonic evolution; sedimentary environment; lithofacies paleogeography

About the first author: CHEN Xiao–wei, born in 1979, engineer, engages in the study of sedimentology, lithofacies and paleogeography; E–mail: cxw826@163.com.

About the corresponding author: MOU Chuan–long, male, born in 1965, senior researcher, supervisor of doctor candidates, engages in the study of sedimentary geology and petroleum geology. E–mail: cdmchuanlong@163.com.