

文章编号: 1000-0550(2003)01-0106-07

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^①

侯方浩¹ 方少仙¹ 董兆雄¹ 赵敬松¹ 卢蜀秀¹ 吴 诒² 陈娅娜³

1(西南石油学院 四川南充 637001) 2(广西地质研究所 南宁 520023) 3(杭州石油地质研究所 杭州 320023)

摘 要 鄂尔多斯盆地位于华北地台西部,中奥陶统马家沟组含硬石膏的白云岩是盆地中主要的储层与产层之一。奥陶纪由于西侧贺兰裂谷再次开启,裂谷肩部发生抬升,以及南侧逆冲断层的左行走滑作用,在盆地西部和南部形成一“L”形隆起,又称中央隆起。在隆起东侧由均衡补偿作用伴生一西缓东陡的边侧拗陷(盆地),称(内)陆棚盆地亚环境。通过沉积相研究,建立了两个马家沟组的沉积模式。其一为东西向穿越(内)陆棚盆地中心的陆棚沉积模式,该模式中的(内)陆棚盆地与中央隆起之间为水下凸起—洼地亚环境,其东为开阔内陆棚亚环境。马一时、马三时、马五时(内)陆棚盆地发育为含白云岩的硬石膏岩,石盐岩盆地,盆缘主要发育白云岩—硬石膏岩坪,马五时西缘硬石膏岩—白云岩坪发育,是天然气藏主要分布区。以上表明沉积时气候干热,海平面下降,具深拗陷海水浓缩成盐特征。马二时、马四时气候湿热,海平面上升,(内)陆棚盆地发育成石灰岩白云岩盆地,周围盆缘发育为(含)白云岩—石灰岩坪。水下凸起—洼地亚环境于马三时和马五时发育白云岩;马四时发育石灰岩,南延则过渡为白云岩、石灰岩的浅滩。东侧的开阔内陆棚亚环境,主要发育微晶—亮晶颗粒石灰岩、白云岩夹硬石膏岩、风暴岩。马六时,中央隆起以东根据残留地层推测应属于石灰岩陆棚环境。中央隆起以西地区,除较早期在西北角因有陆源碎屑注入发育成混积陆棚和斜坡环境外,其余时期主要发育为石灰岩、白云岩陆棚,各类重力流碳酸盐岩斜坡及碳酸盐碎屑和陆源硅质碎屑混积的浊积岩和深水泥岩海槽环境。其二为鄂尔多斯盆地“L”型隆起的南部,马家沟组一直处于继承性缓坡环境,为此建立了末端变陡的缓坡模式。早期为含硬石膏岩的白云岩缓坡,中、后期演化为交替发育的石灰岩—白云岩缓坡,或白云岩—石灰岩缓坡与白云岩缓坡环境。

关键词 鄂尔多斯盆地 马家沟组 沉积模式 内陆棚盆地 缓坡

第一作者简介 侯方浩 男 1932年出生 教授 沉积与储层地质

中图分类号 P588.245 **文献标识码** A

1 概述

鄂尔多斯盆地位于华北地台西部,为一矩形构造盆地,面积约 $2.5 \times 10^5 \text{ km}^2$ (图 1)。中奥陶世末加里东运动使华北地台抬升为陆,盆地内中奥陶统马家沟组上部地层经受了长达 1.3 亿多年的风化侵蚀,发育成风化壳为主的储层及大型天然气藏。

奥陶纪紧邻鄂尔多斯盆地西侧的贺兰裂谷扩张引起的均衡作用导致裂谷肩部翘升,在盆地偏西部形成一个大型隆起,位置在今盐池、定边、庆阳、黄陵一带,由于盆地南侧逆冲断层派生的左行走滑影响使隆起南端在宁县一带向东转折至黄陵,致使隆起在平面上呈“L”形,面积约 $5.0 \times 10^4 \text{ km}^2$,又称中央隆起。当裂谷肩与裂谷达到均衡时,为取得补偿,在其东侧又由均衡

调节作用伴生一个补偿性边侧拗陷,或称边侧盆地,其位置在今榆林—绥德—延川一带(参见图 1)。因其发育于华北地台最西部内陆棚的内部,称之为(内)陆棚盆地亚环境。奥陶纪中央隆起的形成与演化不仅控制鄂尔多斯盆地古地貌、古构造以及沉积环境与岩相的展布,对下古生界烃源岩的分布和天然气聚积亦起重要作用。

中奥陶统马家沟组在鄂尔多斯盆地有广泛分布,最大厚度超过 1 000 m,其地层划分与华北地台相似,自下而上可划分为马一段至马六段共六个岩性段^[1,2]。与华北地台比较,除白云岩普遍较发育外,最特殊的是在(内)陆棚盆地中,马一段、马三段、马五段以发育硬石膏岩、石盐岩、白云岩的蒸发岩组合为特色,马二段、马四段则发育以白云岩为主,次为硬石膏岩与石灰岩

① 本文为“九五”国家重点科技攻关大中型气田勘探开发研究子课题,(编号:99-110-03-02-01)成果的部分内容,并得到西南石油学院(油气藏地质及开发工程国家重点实验室)的资助。

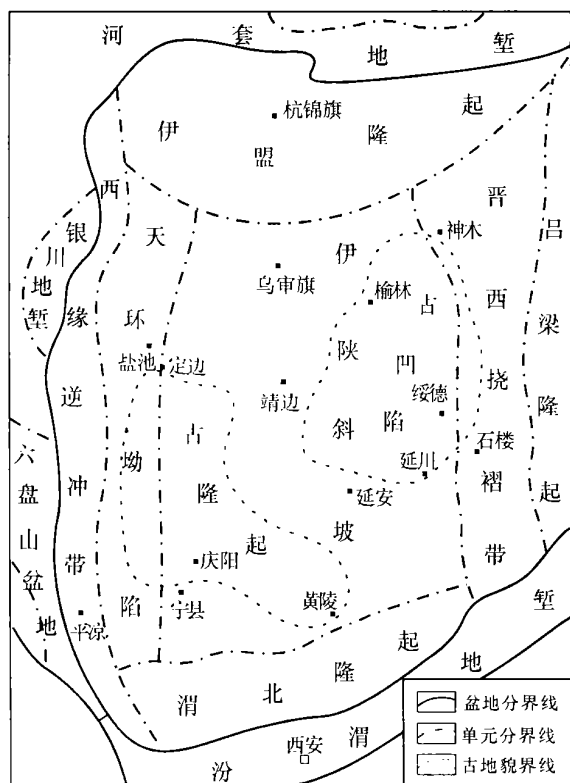


图 1 鄂尔多斯盆地构造单元划分及中奥陶统中古地貌图

(据张吉森、张军、徐黎明^①,略作修改)

Fig. 1 Ordos basin tectonic unites division

(Adopted from Zhangjisen, et al. 1995)

的岩石组合。如位于(内)陆棚盆地中心位置的榆 9 井,自马二段以上至马五段共取心 710 cm,其中石盐岩 412 m,硬石膏岩近 200 m,白云岩 80 余米,而石灰岩 < 10 m

2 沉积模式

根据地面及井下沉积环境与相的详细研究,以“L”形中央隆起为基础,分别建立了两个沉积环境模式^[3]。一个是通过盆地中部横跨盆地呈东西向展布的陆棚沉积模式(图 2);另一个是“L”形中央隆起以南,即现今渭北隆起区,由北向南至秦岭海槽方向缓倾斜的末端变陡的缓坡沉积模式(图 3) 前者穿越了马家沟组天然气田的主要产区,是本文研究的重点

2.1 东西向陆棚沉积模式

“L”形中央隆起在马家沟期可能发生过沉积作用,但因长期剥蚀,现已无马家沟组地层存在。他将陆棚分隔为东西两部分。

中央隆起往东依次可划分为水下凸起—隆间洼地、(内)陆棚盆地和开阔内陆棚三个亚环境。水下凸起—隆间洼地亚环境处于波浪作用带时,水下凸起上形成生物屑砂屑(砾屑)白云岩或石灰岩浅滩沉积组合,

能量减弱时形成细晶—粉晶白云岩;洼地中主要形成含生物、砂屑的白云岩、石灰岩。(内)陆棚盆地亚环境处于干热气候及低海平面时,盆地主体以发育硬石膏岩、石盐岩、白云岩组合为特征,具明显的“深拗陷”海水浓缩成因^[4];反之则主要发育为白云岩—石灰岩盆地。其盆缘坪西侧宽阔,东侧狭窄,主要为微晶—粉晶白云岩、(含)硬石膏质(结核)粉晶白云岩、硬石膏岩、微—粉晶石灰岩、少量石盐岩,也是表生期形成岩溶角砾岩主要分布区。开阔内陆棚亚环境因其环境较开阔,主要形成颗粒石灰岩、含颗粒石灰岩,次为微—粉晶白云岩及少量硬石膏岩、风暴岩,其主体已在研究区外。

西部陆棚毗邻贺兰海槽,向西以斜坡与深水海槽相连。陆棚区狭窄,相变快,除桌子山地区三道坎组(相当于马二段和马三段)有陆源碎屑混积外,马家沟期主要为碳酸盐沉积区。斜坡环境主要发育石灰岩和白云岩粗碎屑重力流沉积组合。海槽环境主要发育碳酸盐碎屑与陆源硅质碎屑混积的浊积岩,还有正常深水黑色页岩、笔石页岩与微晶石灰岩。

陆棚沉积环境与岩相的特征与分布见图 2 图中详细地模拟了不同高度海平面时期各亚环境中的沉积特征及纵、横向演化规律。

2.2 南北末端变陡缓坡沉积模式

鄂尔多斯盆地南部的末端变陡缓坡环境模式中,将缓坡划分为潮缘、浅缓坡、深缓坡、深水等四个亚环境。潮缘亚环境以微、粉晶白云岩、石灰岩为主,夹硬石膏岩,常含砂屑、生物屑。浅缓坡亚环境发育生物屑、内碎屑的微晶石灰岩或白云岩,也有含颗粒或颗粒石灰岩、白云岩,局部有生物丘和礁发育。深缓坡亚环境以发育微晶石灰岩为主,次为白云岩,有时含介形虫等化石、球粒、团粒、粉屑、砂屑、生物屑等。间或见风暴砾岩。深水亚环境因与陡斜坡—海槽相连,处于深缓坡的下倾部分,应发育重力流沉积岩和原地沉积的微晶石灰岩与白云岩,但目前尚无钻井资料。

缓坡沉积亚环境及岩相特征与分布详见图 3 图中也模拟了不同高度海平面时期各亚环境的沉积特征及纵、横向演化规律。

3 马家沟组沉积环境与岩相发育特征

寒武纪末兴凯运动使鄂尔多斯盆地中、北部上升为陆,因而区内大部分缺失下奥陶统冶里组、亮甲山组沉积,仅在最东部柳林剖面见有 34 m 冶里组白云岩以及可能为残留厚度 54.3 m 的亮甲山组白云岩。但

① 张吉森,张军,徐黎明. 陕甘宁盆地天然气田地质构造和目标选择. 1995

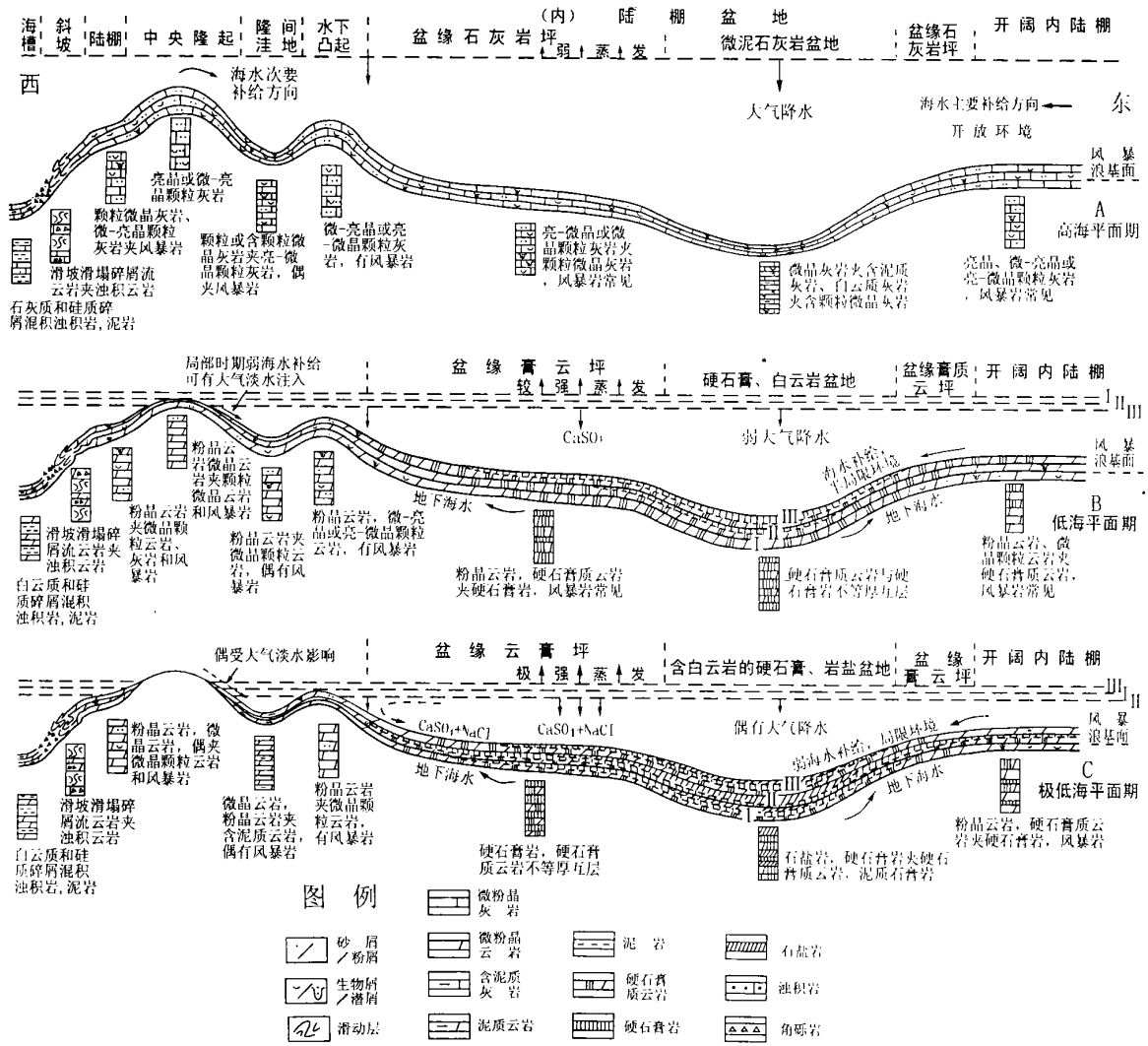


图 2 陆棚沉积模式图

Fig. 2 The sedimentary model of shelf

在南部的缓坡分布区该两组白云岩发育完整 马家沟组除西部桌子山地区无马一段沉积外,盆地中有广泛的发育。

马家沟组分为六个段,其沉积环境与岩相发育与展布特征如下。

3.1 马一段沉积环境与岩相发育特征

马家沟早期即马一时,华北地台开始发生海侵,但由于处于干旱炎热气候期,海平面较低,海水含盐度高,愈向西部、北部含盐度愈高,马一段地层中除发育白云岩外,还夹有硬石膏岩。由于鄂尔多斯盆地不仅处于华北地台西端,而且西北和北部邻陆,加之西南边出现的“L”形中央隆起及南面的缓坡,均对海水起阻隔和消能作用(见图 4),致使进入东部陆棚区(内)陆棚盆地的海水不断浓缩,形成白云岩、硬石膏岩和石盐岩的沉积组合。该盆地主体因而发育为白云岩硬石膏岩盐岩盆地,重卤水在坳陷中心即榆 9 井一米脂地区聚积,成为硬石膏岩、石盐岩厚度最大地区。环绕(内)陆

棚盆地周围的盆缘区海水含盐度低于盆地主体,因而发育为白云岩硬石膏岩盆缘坪。开阔内陆棚亚环境范围主要在研究区之外,故不予讨论。

西部陆棚主要为白云岩发育区,其外侧为紧邻贺兰海槽的斜坡环境,因无钻井资料,推测可能为重力流碳酸盐岩沉积环境(见图 4)。

马一时在鄂尔多斯盆地南部即今渭北隆起区,继承早奥陶世发育起来的缓坡环境,但受干热气候的影响,主要形成含硬石膏岩的白云岩缓坡(见图 4)。

3.2 马二段沉积环境与岩相发育特征

马二时随西侧贺兰裂谷扩张作用略有加强,“L”形中央隆起亦稍有抬升,但马二时华北地台为基底沉降和气候湿热的海侵期,因此东部陆棚区(内)陆棚盆地沉积范围有所扩大,此时海水主要来自东方,次为东南方,含盐度远较马一时低,而且东侧盆缘含盐度低于西侧和西南侧,盆地中心偏于东侧且较小,盆缘范围宽阔(图 5)。盆地中心发育为含硬石膏岩的白云岩石灰

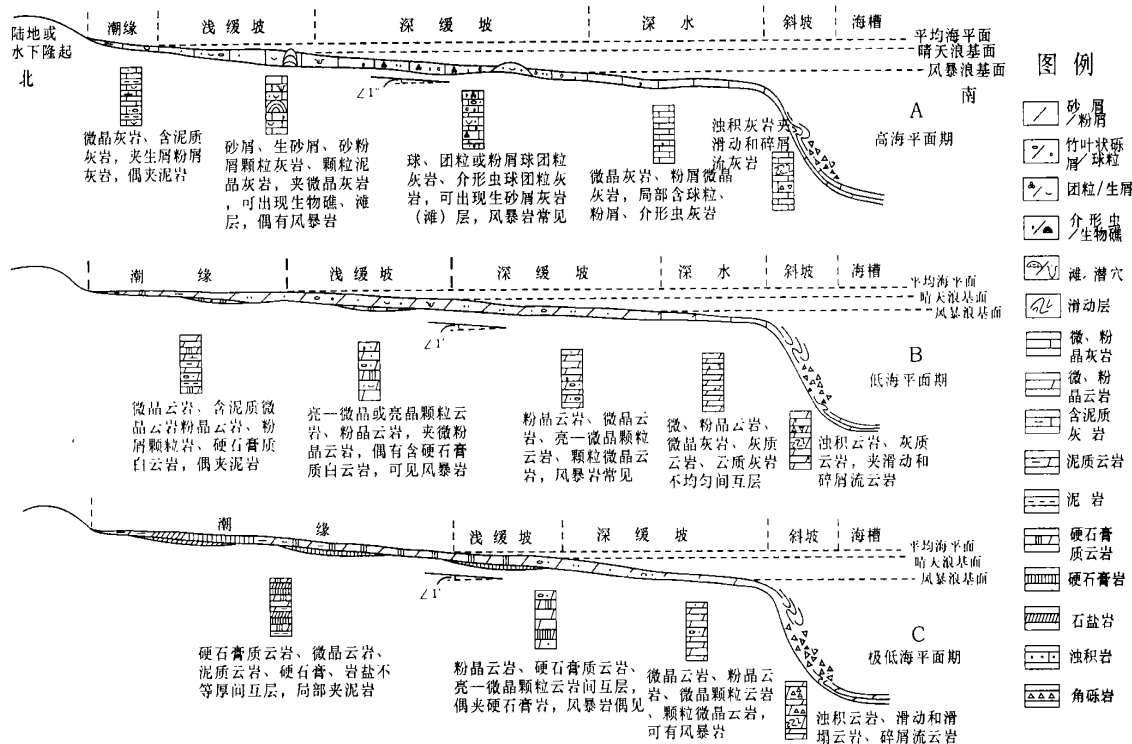


图 3 末端变陡缓坡沉积模式图

Fig. 3 The sedimentary model of distally steepened ramp

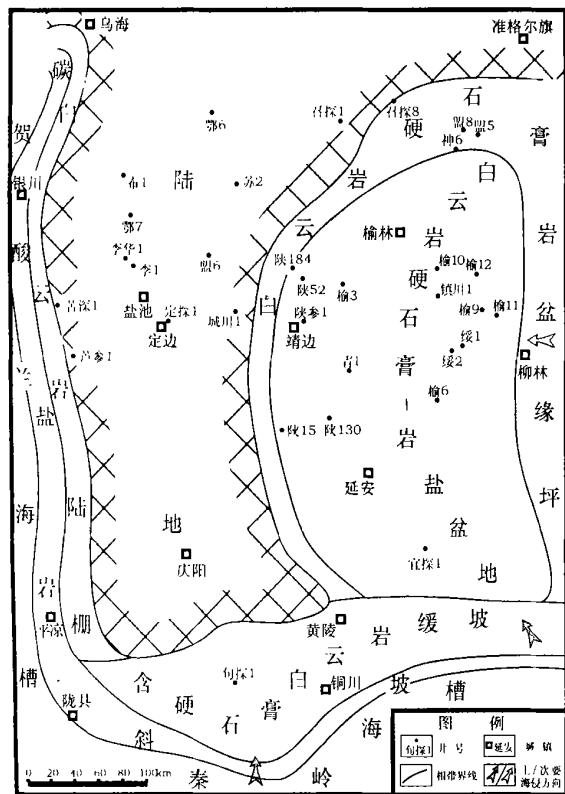


图 4 鄂尔多斯盆地中奥陶统马家沟组马一段沉积环境和岩相展布图

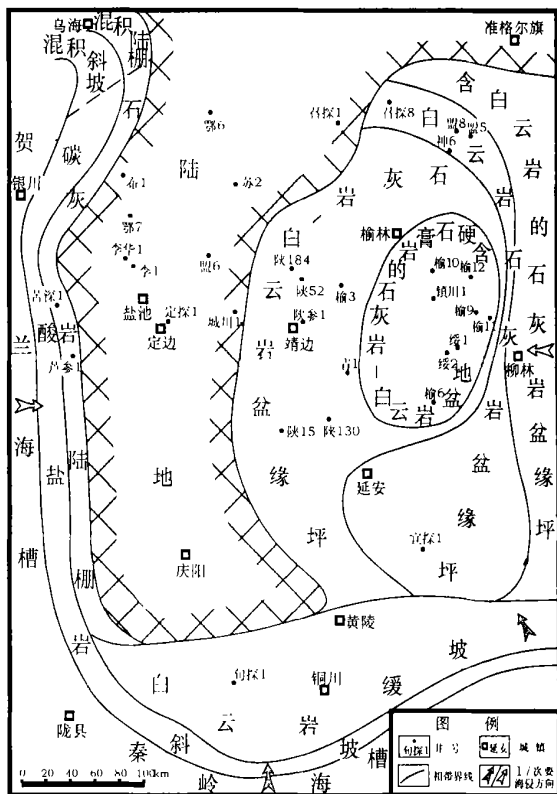


图 5 鄂尔多斯盆地中奥陶统马家沟组马二段沉积环境和岩相展布图

Fig. 4 The sedimentary environments and lithofacies map of Majiagou formation 1 member of middle Ordovician in Ordos basin

Fig. 5 The sedimentary environments and lithofacies map of Majiagou formation 2 member of middle Ordovician in Ordos basin

岩盆地;向东侧依次发育有白云岩石灰岩盆缘坪以及含白云岩的石灰岩盆缘坪,向西侧主要发育成石灰岩白云岩盆缘坪。

西部陆棚马二时演化为石灰岩陆棚和斜坡。但在最西北角的桌子山地区,受来自伊蒙古陆陆源碎屑注入的影响,发育成混积陆棚和混积斜坡。其外侧斜坡环境因无钻井资料,推测可能仍以重力流碳酸盐沉积岩发育为主(见图 5)。

鄂尔多斯盆地南部继承了马一时的缓坡环境,但以发育石灰岩—白云岩缓坡为特征(见图 5)。

3.3 马三段沉积环境与岩相发育特征

马三时由于贺兰裂谷扩张急剧加强,裂谷肩部急剧抬升,“U”形中央隆起基本定形,其西翼变得较陡,相应地作为边侧拗陷的(内)陆棚盆地的下陷幅度加大,成为“深拗”盆地,加之气候转为干热,海平面又急剧下降,处于快速海侵缓慢海退的特殊时期,海水含盐度高并不断浓缩,致使“深拗”海水浓缩成盐,在其中心的榆 9 井形成硬石膏岩、石盐岩夹白云岩蒸发岩组合,发育为含白云岩的硬石膏岩盐盆地。由于此时海水来自南方和东南方,因而环绕膏盐盆地的北部、东部和南部盆缘,从召探 1 井至柳树剖面再至宜探 1 井、

富探 1 井,海水含盐度明显降低,沉积形成的石盐岩急剧减少,白云岩急剧增多,转而发育为硬石膏岩白云岩盆缘坪。西侧盆缘因海水循环差,盐度较高,因而发育为白云岩硬石膏岩盆缘坪。马三时在中央隆起与(内)陆棚盆地之间出现了水下凸起—隆间洼地亚环境,受中央隆起的淡水影响,主要为白云岩沉积区(图 6)。

西部陆棚区除桌子山地区仍处于混积陆棚及混积斜坡环境外,因海水盐度增高,已发育为白云岩陆棚,往西侧可能仍然发育重力流碳酸盐岩为主的斜坡—海槽环境(见图 6)。

鄂尔多斯盆地南部,仍为继承性缓坡环境,由于海水盐度高,故而演化为白云岩缓坡(见图 6)。

3.4 马四段沉积环境与岩相发育特征

马四时是华北地台最大的海侵期,气候又转为湿热,鄂尔多斯盆地的陆棚区主要为石灰岩分布区。海水由东、南、西三方入侵,在(内)陆棚盆地的拗陷中心,包括榆 9 井、镇川 1 井、陕参 1 井和青 1 井区,因水体深,循环较差,含盐度相对较高,除石灰岩外还有较多的白云岩形成,最终发育成为白云岩石灰岩盆地。其内盆缘主要发育为含白云岩的石灰岩盆缘坪,向外盆缘则过渡为石灰岩盆缘坪(图 7)。从图 7 可以看出,中央隆起

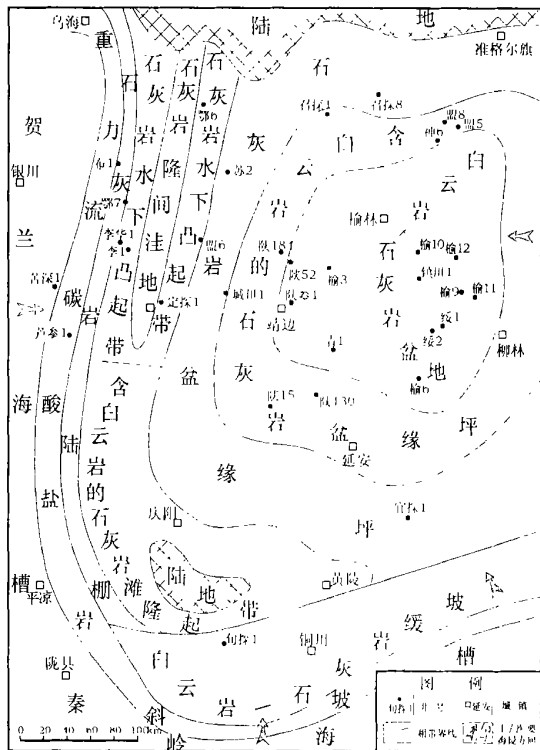
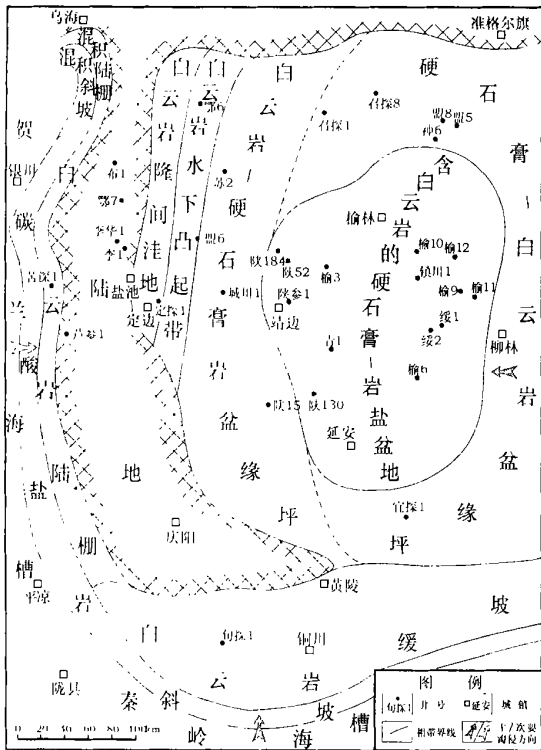


图 6 鄂尔多斯盆地中奥陶统马家沟组马三段沉积环境和岩相展布图

图 7 鄂尔多斯盆地中奥陶统马家沟组马四段沉积环境和岩相展布图

Fig. 6 The sedimentary environments and lithofaciesmap of Majiagou formation 3 member of middle Ordovician in Ordos basin

Fig. 7 The sedimentary environments and lithofaciesmap of Majiagou formation 4 member of middle Ordovician in Ordos basin

带绝大部分被淹没,仅残存南端一小块陆地,此时的水下凸起—隆间洼地在北段主要为石灰岩发育区,向南段则过渡为白云岩、石灰岩分布区。位于原中央隆起现已转变为水下凸起的李 1 井、李华 1 井和天深 1 井,马四段沉积厚度大,李 1 井岩心与薄片资料显示颗粒石灰岩发育,可能形成于浅滩环境;在原来的水下凸起带,由鄂 6 井向南经盟 6 井、定探 1 井,是马四段沉积厚度最大的区带,定探 1 井厚度大于 410m,有壳背朝上分布的具滩相生态特征的腕足颗粒石灰岩发育,鄂 6 井颗粒石灰岩占地层厚度的 20% ~ 30% [2]。根据以上分析,马四时,两列水下凸起带的北段可能石灰岩浅滩比较发育,南段的白云岩—石灰岩浅滩也比较发育。

西部陆棚主要为石英岩沉积区,毗邻的斜坡环境中应发育各类重力流石灰岩。鄂尔多斯盆地南部缓坡则演化为白云岩—石灰岩缓坡环境(见图 7)。

3.5 马五段沉积环境与岩相发育特征

马五时华北地台的古气候又周期性转变为干热,盆地基底复又抬升,海平面下降,又表现出快速海侵和缓慢海退的特征,类似于马三时的“深坳成盐”时期再次出现。(内)陆棚盆地的深坳中心位于榆 6 9 10 11 12 井和镇川 1 井及绥 1 2 井区,再次发育成为含白云岩的硬石膏岩盐盆地。其中榆 9 井厚度 374.6 m,

镇川 1 井为 353.6 m,是鄂尔多斯盆地马五时沉积最厚区块。膏盐盆地的内盆缘发育为含石盐岩的白云岩硬石膏岩盆缘坪,向西侧因海水盐度较高,过渡为硬石膏岩白云岩盆缘坪,向东侧因海水盐度较低,而过渡为含石灰岩硬石膏岩的白云岩盆缘坪。水下凸起演化为白云岩水下凸起—浅滩;隆间洼地也是白云岩发育区(图 8) 西部陆棚又演化为白云岩沉积区,其外侧紧邻贺兰海槽的斜坡发育了各类粗碎屑重力流白云岩。斜坡脚和海槽内为碳酸盐碎屑和陆源硅质碎屑沉积的浊积岩类深水泥岩沉积区。鄂尔多斯盆地南部又再次恢复到类似马三时的白云岩缓坡环境(图 8)。

根据地震剖面显示,中央隆起带在马五期其两侧反射层均向隆起缓慢上超,表明马五期曾有沉积地层发育,但因马家沟末期长达一亿三千多万年的剥蚀,已将隆起带上的马五段地层剥蚀殆尽。

3.6 马六段(相当于峰峰组)沉积环境与岩相发育特征

马六时华北地台气候又转为湿热,再度发生海侵,鄂尔多斯盆地陆棚区发育为石灰岩陆棚环境。由于加里东运动后一亿三千多万年漫长的剥蚀,目前东部棚仅有 7 口井见到残厚 4~17 m 不等的马六段石灰岩地层,其它地区均已被剥蚀(图 9)。

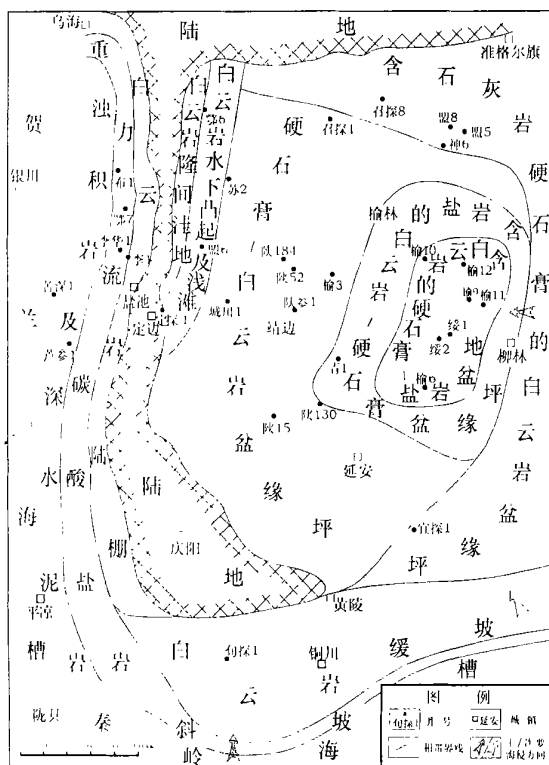


图 8 鄂尔多斯盆地中奥陶统马家沟组马五段沉积环境和岩相展布图
Fig. 8 The sedimentary environments and lithofaciesmap of Majiagou formation 5 member of middle Ordovician in Ordos basin

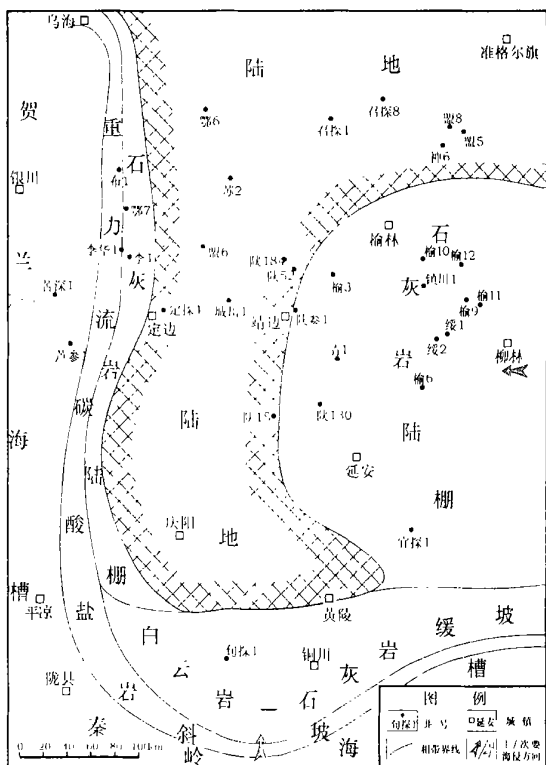


图 9 鄂尔多斯盆地中奥陶统马家沟组马六段沉积环境和岩相展布图
Fig. 9 The sedimentary environments and lithofaciesmap of Majiagou formation 6 member of middle Ordovician in Ordos basin

西部石灰岩陆棚之外则依然发育为重力流石灰岩斜坡以及钙屑浊积岩和深水泥岩组成的海槽环境(见图 9)

鄂尔多斯地台南侧则演化为白云岩—石灰岩缓坡(见图 9)

参考文献 (References)

- 1 中国地层典编委会编. 中国地层典, 奥陶系 [M]. 北京: 地质出版社, 1996 [Editorial Department of Chinese Stratigraphy. Chinese Stratigraphy-Ordovician [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996]
- 2 冯增昭, 鲍志东, 张永生. 鄂尔多斯奥陶纪地层岩石岩相古地理 [M]. 北京: 地质出版社, 1998 [Feng Zengzhao, Bao Zhidong, Zhang Yongsheng. Stratigraphy, Lithofacies and Palaeogeography of Ordos [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1998]
- 3 侯方浩, 方少仙, 赵敬松等. 鄂尔多斯盆地中奥陶纪马家沟组沉积环境模式 [J]. 海相油气地质, 1995, 7(1): 8-47 [Hou Fanghao, Fang Shaoxian, Zhao Jinsong, *et al.* Model of Majagou Formation (Middle Ordovician) Environment in Ordos Basin [J]. Oil & Gas Geology in Sea Facies, 1995, 7(1): 8-47]
- 4 Reading H G 著, 周明鉴等译. 沉积环境和相 [M]. 北京: 科学出版社, 1987. 253~254 [Reading H G ed, Translated by Zhou Mingjian. Sedimentary Environments and Facies [M]. Beijing: Sciences Press, 1987. 253~254]

The Developmental Characters of Sedimentary Environments and Lithofacies of Middle Ordovician Majiagou Formation in Ordos Basin

HOU Fang-hao¹ FANG Shao-xian¹ DONG Zhao-xing¹
LI Ling¹ LU Shu-xiu¹ WU Yi² CHEN Ya-na³

¹(Southwest petroleum institute, Nanchong, Sichuan 637001) ²(Guangxi institute of geology, Nanning 530023)

³(Hangzhou institute of Petroleum Geology, Hangzhou 310023)

Abstract Ordos basin is located in the west of north China platform, middle Ordovician Majiagou formation is one of most important nature gas reservoirs. In Ordovician the overspread of the southern Helan rift and left strike slipping of the southern overthrust led to rift shoulders being warped and rise in the west and south of Ordos basin, and "L" sharp uplift or names of center uplift was formed. At the same time, as a result of equilibrium activity, in the east of the basin formed an unsymmetrical compensation basin (depression), which is named inner shelf basin. Two different sedimentary models are presented, one is sedimentary model of shelf and another is sedimentary model of distally steeped ramp.

The sedimentary model of shelf is extend from east to west and pass through the center of inner shelf basin, which runs through main natural gas reservoirs area of Majiagou formation. The east part of three sub environments, that is to say, inter uplift lacuna and under-water uplift, inner shelf basin, open inner shelf, the latter most located out of the research area. In Majiagou 1, 3, 5 members depositional stage, the climate was dry and sea level was fall by the evaporation, the L-sharp uplift was close to the sea level or above it, or became the eroded area, the inner shelf basin became semi-restricted or restricted environment. In the center of the basin deposited anhydrite, halite and some dolomite compounds, in the basin marginal flat was deposited dolomite interbedded with anhydrite. In 2, 4 stages, the climate was moist and sea level raised, the inner shelf basin became dolomite limestone-deposited limestone or dolomite limestone. In Majiagou 6 stage, because most of stratigraphy few wells, there is limestone shelf sedimentary environment. The west shelf lies on the L-sharp uplift, in all of the Majiagou stage was deposited limestone or dolomite. The steep slope, along Helan rift margin, developed carbonate gravity flow stones. However, in submarine trough developed turbidites mixed with carbonate and silicon debris.

The distally steepened ramp developed in all of Ordovician lies on the south of L-sharp uplift, that is to say, present Weibei uplift area. In 1, 3, 5 members depositional stage, there is dolomite distally steepened ramp. However, in members 2, 4, 6 present dolomite-limestone distally steepened ramp.

According to the sedimentary model, in this paper present lithofacies paleogeography map from 1 to 6 member of Majiagou formation.

Key words Ordos basin, Middle Ordovician, Majagou formation, sedimentary model, lithofacies paleogeography map