

靖边潜台西侧奥陶系马家沟组 马五 4 段沉积微相研究

罗顺社¹,金姗姗^{1,2},郝放³,范俊^{1,2},霍勇¹,吕奇奇¹

(1 长江大学地球科学学院,湖北荆州 434023;2 中国石油辽河油田分公司,辽宁盘锦 124010;

3 中国石油大港油田分公司,天津 300280)

摘要:鄂尔多斯盆地靖边奥陶系马五 4 段为该区天然气主力产层之一,对其储层地质特征的详细研究对进一步勘探与开发具有重要的意义。以鄂尔多斯盆地靖边气田西部马五 4 段为研究对象,在总结前人研究的基础上,综合应用岩心、测录井以及分析化验资料,以沉积岩石学理论为指导,以单因素分析多因素综合作图法为方法论,进行沉积相类型识别、沉积相平面展布及演化等研究。认为马五 4 段沉积环境为一个气候干热、海平面低、海水咸化、经常暴露的低能沉积环境,即局限台地相沉积,可进一步分为云坪、灰云坪、含膏云坪、膏云坪、泥云坪 5 个微相。且从马五₄期至马五₁期海平面相对上升,各沉积微相和亚相也呈有规律性的变化。

关键词:鄂尔多斯盆地;靖边潜台;马家沟组;沉积相

中图分类号:P512.2;TE121.32 文献标识码:A

鄂尔多斯盆地为一个大型的含油气盆地,中部奥陶系广泛分布于地下,其上为上古生界和中生界覆盖。前人认为马五期为一个沉积的海退期^[1-3],并对马家沟组沉积环境进行较多研究,但对马五 4 的沉积微相关注相对较少,基于此,本文在总结前人的基础上,综合应用岩心、测录井以及分析化验资料,对区内马家沟组马五 4 沉积微相特征进行详细的分析和研究。

1 区域地质概况

鄂尔多斯盆地地跨陕、甘、宁、蒙、晋五省(区),是一个矩形构造盆地,面积达 25×10^4 km²^[4],它位于华北地台西部,属于东部太平洋构造域和西部特提斯构造域两大地质块体调整带上

的叠合盆地,矿产资源十分丰富,是我国重要的天然气生产基地。奥陶纪古构造面貌呈现出“一隆一拗”的特征,“隆”即中央古隆起和“拗”即米脂—延川拗陷。中奥陶世末的晚加里东运动使华北地块整体抬升,经历了约 150 Ma 的沉积间断,盆地主体缺失晚奥陶世至早石炭世的沉积。燕山运动中期盆地差异沉降,南北隆升、东抬西冲,经喜马拉雅期发展完善。根据现今构造及演化历史,分为 6 个一级构造单元:盆地中部是伊陕斜坡,向东为晋西挠褶带,向西依次为天环拗陷、西缘冲断构造带,北部为伊盟隆起,南面为渭北隆起^[5]。

研究区就位于伊陕斜坡的西北部、靖边潜台西侧(图 1)。北至乌拉庙,南至高桥,西至城川,东至南塔、响水一带,南北长 262.8 km,东西长 135.6 km,面积达 35 635.7 km²。

马家沟群是鄂尔多斯奥陶系的主体,在鄂尔多斯全区均有分布,其顶底界面均为区域不整合,是一个独立的沉积地层单元。它包括 6 个段,即

收稿日期:2011-08-15

作者简介:罗顺社(1961—),男,博士,教授,主要从事沉积学方面的教学和综合研究工作。E-mail:327413573@qq.com

马家沟一段、二段、三段、四段、五段和六段,这6个段之间均为整合接触^[6]。其中鄂尔多斯盆地靖边奥陶系马五₄亚段为该区天然气主力产层之一,因此,对其进行沉积相的研究无论是在理论还是实际上都具有深远的意义。前人对本段地层的研究均是将其当成一个整体,为了更好的研究区内沉积构造与演化,将其分为3个小层,自下而上分别为马五₃层、马五₂层、马五₁层,地层薄,要求精度更大。

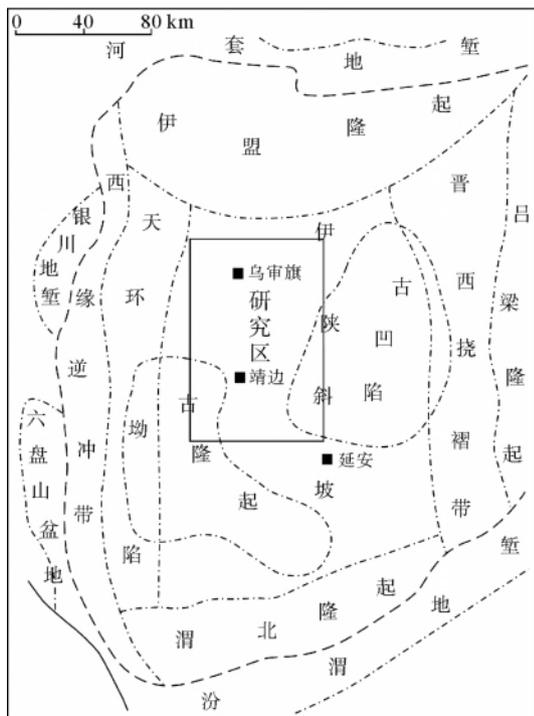


图1 鄂尔多斯盆地区域构造

Fig. 1 Regional tectonic map of Ordos Basin

2 地层剖面分析

综合研究区167口井的岩心特征、薄片特征及测井资料等,对目的层段的岩心进行了较为全面的剖面相分析研究(图2),对该地区的沉积相有了初步的认识。

研究区马五₄亚段的岩石类型有白云岩(含灰、灰质、含膏、膏质、含泥、泥质)、灰岩(含云、白云质、含膏、膏质、含泥、泥质)、膏岩(白云质、灰质、泥质)和少量的泥岩,颜色以灰、灰白、浅灰色为主,灰白色、白色的膏质云岩、膏岩等岩石类型

反映了当时沉积水体的盐度相对较大,蒸发作用较强,多为膏云坪。褐灰色、灰白色的泥晶白云岩反映沉积时气候干旱炎热,沉积物经常露出水面,形成准同生的白云岩。经过岩心观察还发现各种沉积构造,如石膏假晶、硬石膏结核、鸡笼状构造和缝合线构造。

经研究初步确定马家沟组马五₄亚段的沉积相为局限台地相,并将其划分为云坪、含膏云坪、膏质云坪、灰云坪、泥云坪5个沉积微相。

3 马五₄层沉积微相

单因素分析多因素综合作图法是在20世纪70年代由冯增昭教授提出来的,他一直倡导并采用该方法论,且取得了一系列的成果^[7]。本文采用单因素分析多因素综合作图法,综合应用岩心、测录井以及分析化验资料,绘制研究区马五₃层、马五₂层、马五₁层沉积微相平面图。

结合鄂尔多斯奥陶系马五₄的具体情况,选择了灰岩、石膏、白云岩为单因素,以马五₄亚段为研究对象,地层薄,要求精度更大,因此,本次对单因素界限做相对调整,特别是对石膏单因素的界线有较大改动,并绘制各单因素图。白云岩含量以70%、80%、90%为界线绘制各单因素图,对灰岩含量以10%、20%、30%、40%为界线绘制各单因素图,对膏岩含量以10%、20%、30%为界线绘制各单因素图。把石膏含量 $\geq 30\%$ 、白云岩含量 $\geq 50\%$ 的区域,定为膏云坪;把白云岩含量 $\geq 50\%$ 、石膏含量在30%~10%的区域定为含膏云坪;把灰岩含量在25%~50%、云岩含量 $\geq 50\%$ 的区域定为灰云坪;把白云岩大于50%和陆源泥含量25%~50%的地区,定为泥云坪;把白云岩含量 $\geq 75\%$ 的地区定为云坪^[8]。

3.1 单因素作图

3.1.1 白云岩含量(%)等值线图

研究区马五₄发育白云岩类型主要有云岩、含膏云岩、与膏质云岩、泥质云岩硬石膏岩互层,灰质云岩。颜色以灰色、灰白色为主,中薄层状含泥质云岩纹理发育,化石稀少。有时混有陆源碎屑物质,常含有石膏结核或晶体。岩石普遍发育纹层状构造、鸟眼、干缩缝等沉积构造,常与泥质

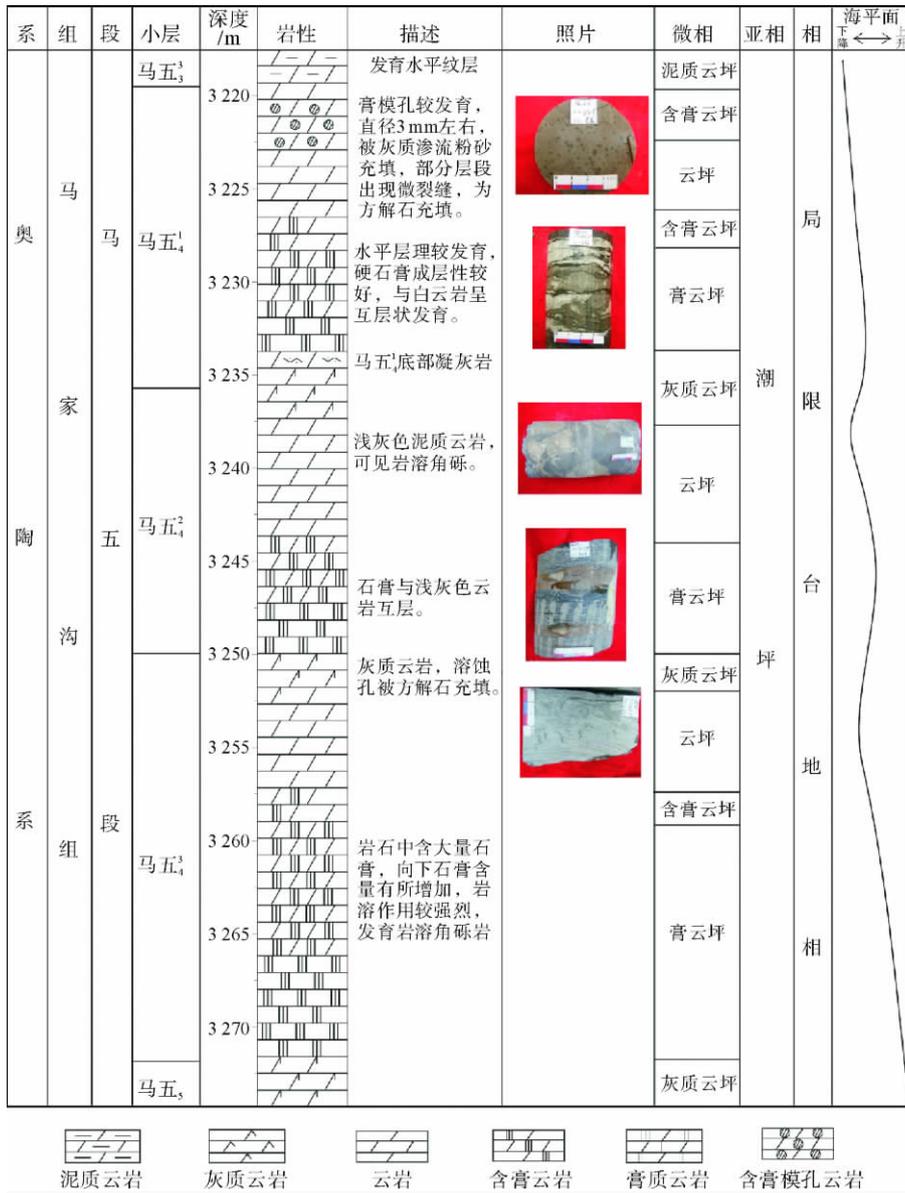


图 2 陕 159 井单井柱状图

Fig. 2 Column diagram of well Shan159

白云岩、膏质白云岩互层。该类泥晶白云岩是在潮上带由于蒸发泵作用,海水被吸进沉积物的上部经蒸发浓缩,从而使碳酸钙沉积物发生白云化作用而形成泥晶白云岩,是一种典型的准同生白云岩,反映了局限蒸发环境。根据研究区钻井岩心的综合分析和统计及镜下薄片资料、测井资料的研究,绘制出鄂尔多斯盆地奥陶系马五₄层白云岩含量等值线图(图 3)。

由图 3 可以看出:研究区马五₃层中白云岩较发育,在研究区中西部,桃利庙—沙尔利—石窑

沟—楼坊坪一带,云岩含量等值线图为一个 NS 向展布的带状高值区,含量大于 80%,由西北部向东南部白云岩含量逐步减少。

3.1.2 灰岩含量(%)等值线图

研究区马五₃层石灰岩主要岩石类型包括具残余砂屑结构灰岩、晶粒结构灰岩、角砾状灰岩等。具残余砂屑结构灰岩隐约可见残余砂屑结构,多为椭圆形,扁平状,黏土质含量较高,孔隙不发育。晶粒石灰岩多呈细晶结构,重结晶较强,岩性致密少孔。发育溶塌角砾、岩溶角砾。

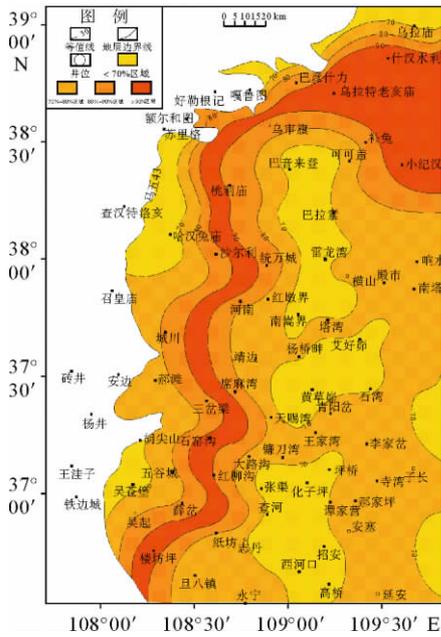


图3 靖边潜台西侧奥陶系马五₃ 准同生白云岩含量(%)等值线图

Fig. 3 Isoline map of penecontemporaneous dolostone content(%) of Ma₅³ of Ordovician in west of Jingbian Tableland

通过对各项资料的研究绘制出研究区马五₃ 灰岩含量等值线(图4)。由图可以看出,研究区灰岩分布很少,普遍在10%~20%之间,西部地

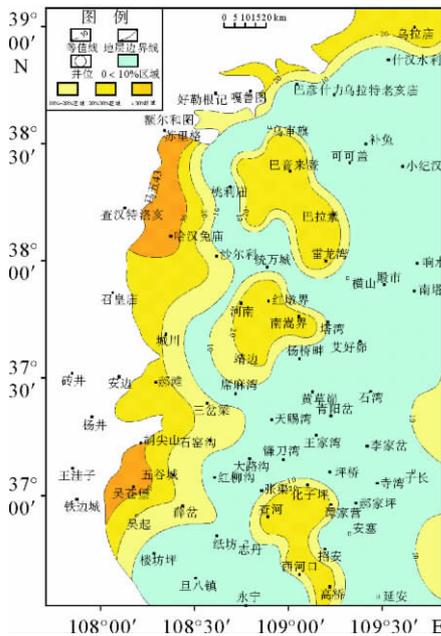


图4 靖边潜台西侧奥陶系马五₃ 灰岩含量(%)等值线图
Fig. 4 Isoline map of limestone content(%) of Ma₅³ of Ordovician in west of Jingbian Tableland

区稍高,在哈汗兔庙和胡尖山—吴苍堡一带,灰岩含量等值线图为一个NS向展布的带状高值区,但含量也不超过40%。

3.1.3 石膏含量(%)等值线图

研究区石膏较发育,岩石类型包括了石膏与云岩之间的几种过渡类型,如含膏云岩、膏质云岩等。石膏的含量越高,则岩石的颜色越浅;云岩的含量越高,则岩石的颜色越深。石膏在岩心中主要呈白色,滴稀盐酸不起泡;显微镜下,石膏晶体主要呈放射状、针状、长柱状和板状等产出。由于石膏和白云岩的沉淀是受水体的盐度控制的,海平面逐渐降低、气候逐渐变干,盐度较高时以沉淀石膏为主,反之则以形成白云石为主^[9]。

由于受环境影响,常见石膏结核,后经海水变浅,暴露于地表,遭受大气淡水淋滤作用,这些结核被溶解或被交代,石膏经去膏化作用后被方解石充填,去膏化形成的方解石较干净,不连片;部分成为膏模孔,膏模孔大小一般在3~4 mm左右。

通过对研究区多口井的资料统计、分析,绘制出研究区马五₃ 层石膏含量等值线图(图5)。可以看出,研究区石膏较发育,中东部大部分地区石膏含量大于10%,其中巴音来登—巴拉素—黄蒿

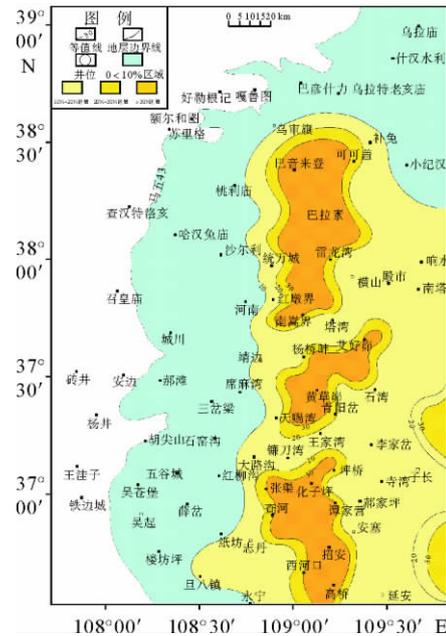


图5 靖边潜台西侧奥陶系马五₃ 石膏含量(%)等值线图
Fig. 5 Isoline map of gypsum content(%) of Ma₅³ of Ordovician in west of Jingbian Tableland

界一带、艾好峁—天赐湾一带和化子坪—招安—高桥一带石膏含量大于 30%，西部地区石膏含量很低。

3.2 多因素综合作图

综合以上各单因素基础图件,结合其他岩石特征、沉积构造和区域地质资料,去粗取精,即可编制出研究区奥陶系马五₃层沉积微相图(图 6)。

从图 6 可以看出,靖边潜台西侧马五₃层整体为一套潮上蒸发环境沉积,处于低海平面时期,在蒸发气候的影响下,海水盐度普遍增大,岩石类型以发育云岩和含膏云岩为主,在沉积微相分布上以含膏云坪微相最为发育。自西北向东依次发育灰云坪、云坪、含膏云坪、膏云坪 4 个沉积微相。其中西部哈汗兔庙和吴苍堡一带发育少量灰云坪;中西部云坪发育广泛,在含膏云坪四周呈环状弧形展布;中东部发育大面积含膏云坪,在蒸发气候的影响下,海水盐度逐渐增大,膏云坪较发育。

相图,单因素图从略,各小层沉积相图见图 7、8。

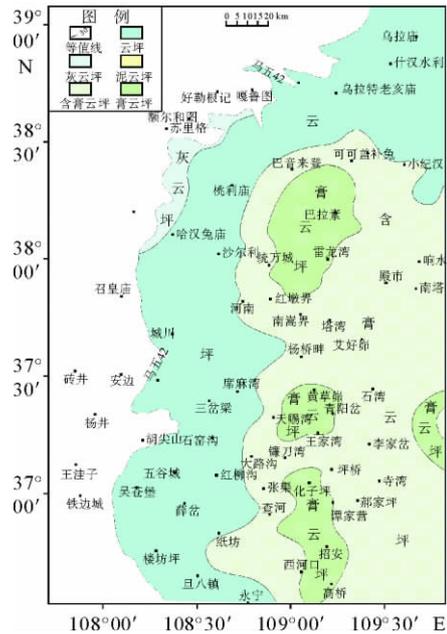


图 7 靖边潜台西侧奥陶系马五₃沉积微相平面图

Fig. 7 Microfacies Map of Ma₅₃ of Ordovician in west of Jingbian Tableland

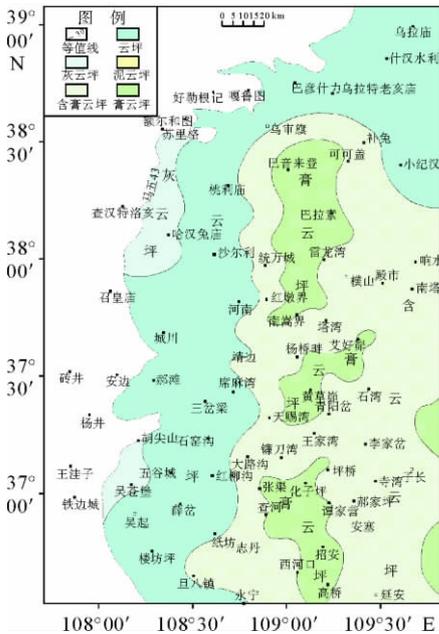


图 6 靖边潜台西侧奥陶系马五₃沉积微相平面图

Fig. 6 Microfacies Map of Ma₅₃ of Ordovician in west of Jingbian Tableland

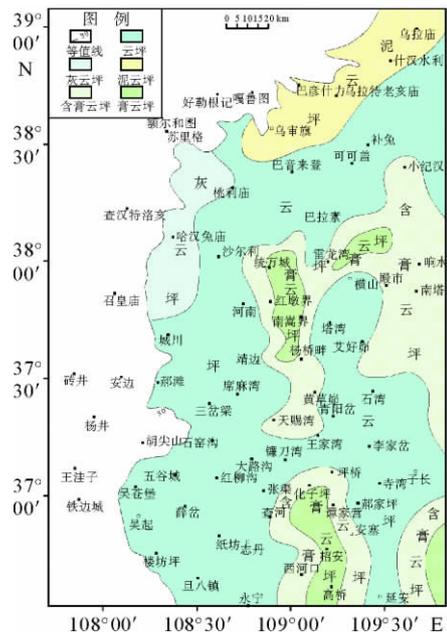


图 8 靖边潜台西侧奥陶系马五₄沉积微相平面图

Fig. 8 Microfacies Map of Ma₅₄ of Ordovician in west of Jingbian Tableland

4 马五₄层至马五₁层沉积微相

用前述同样的方法,编制出了鄂尔多斯马家沟组马五₂层、马五₁层的各种单因素图及沉积微

4.1 马五₂层沉积微相

从图 7 可以看出,靖边潜台西侧马五₂层整体上与马五₃层相同,均为低海平面的潮上蒸发

环境沉积,但相比之下,水体较马五₄层浅,岩石类型以发育云岩和含膏云岩为主,在沉积微相分布上以含膏云坪微相最为发育。自西向东依次发育灰云坪、云坪、含膏云坪、膏云坪四个沉积微相。其中西部哈汗兔庙一带发育条带状灰云坪;从东北部乌拉庙经沙尔利直到西南部旦八镇发育云岩,在含膏云坪四周呈环状弧形展布;东南部发育大面积含膏云坪,其中巴拉素—雷龙湾、黄草岭—王家湾和化子坪—高桥一带石膏含量大于30%,发育膏云坪。

4.2 马五₄层沉积微相

从图8可以看出,靖边潜台西侧马五₄层水体较马五₃层更浅,岩石类型以发育云岩和含膏云岩为主,在沉积微相分布上以云坪微相最为发育。顶部乌拉庙—乌拉特老亥庙—乌审旗一带发育东北至西南向泥云坪;西部桃利庙—哈汗兔庙一带发育少部分灰云坪,沉积微相上为南北向条带状发育;中西部云坪较发育,在含膏云坪四周呈环状弧形展布;中东部发育含膏云坪,含膏云坪地势相对低洼处即水体局部地带盐度相对较高的地方蒸发作用强烈,沉积了大量以薄层石膏、膏质云岩为主的膏云坪沉积,在统万城—黄蒿界一带和招安—高桥一带,膏岩含量图为一近NS向展布的椭圆状高值区。

5 沉积演化

研究区整个马五₄沉积期海平面较低,在蒸发气候的影响下,海水盐度普遍增大,岩石类型以发育膏质云岩和云岩为主,在沉积微相分布上以膏云坪微相最为发育。前人研究马五₅层主要发育大范围灰岩,马五₄层形成时期海平面相对上升,岩性组合上以灰白色泥质云岩与膏质云岩、硬石膏岩互层为主,发育大范围含膏云坪;马五₄层形成时期海平面较马五₃层有所下降,岩性组合上以灰、灰白色泥质云岩与膏质云岩、硬石膏岩互层,夹薄层灰质云岩为主。平面上看马五₄层含膏云坪微相较马五₃层向东缩小,同时云岩的面积向东扩大;马五₄层形成时期海平面较马五₂层还要浅,岩性组合上以灰色泥晶白云岩与深灰色白云质泥岩、泥质白云岩或硬石膏岩互层为主。

平面上看马五₄层较马五₂层云岩面积变大,含膏云岩面积变小。

综上所述,在马五海退大环境下^[10],从马五₃期至马五₄期海平面相对下降,各沉积微相和亚相也呈有规律性的变化,即马五₃时由于海平面较高,但蒸发作用已经增强,盐度也高,所以微相呈现大面积膏云坪或含膏云坪,至马五₂海平面下降,含膏云坪面积逐渐缩小,直至马五₄小层,海平面相对较低,微相上膏云坪或含膏云坪面积相对较少,因此,各时期的沉积相带展布以及发育规律完全受海平面的升降旋回控制。

6 结论

(1)靖边潜台西侧奥陶系马家沟组马五₄段岩石类型主要包括包括泥粉晶白云岩、泥质云岩、灰质云岩、膏质云岩、含膏云岩、膏岩等岩石类型。

(2)研究区马家沟组马五₄段沉积环境为一个气候干热、海平面低、海水咸化、经常暴露的低能沉积环境,即局限台地相沉积,可进一步分为以及云坪、灰云坪、含膏云坪、膏云坪。

(3)通过对研究区马五₄期的沉积环境研究,认为从马五₃期至马五₄期海平面相对下降,各沉积微相也呈有规律性的变化。

参考文献:

- [1] 冯增昭,陈继新,张吉森.鄂尔多斯地区早古生代岩相古地理[M].北京:地质出版社,1991.
- [2] 冯增昭,鲍志东,张永生,等.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.
- [3] 辛勇光,周进高,邓红婴.鄂尔多斯盆地南部奥陶统马家沟组沉积特征[J].海相油气地质,2010,15(4):1-5.
- [4] 张敏,王正允,王丽云,等.靖边潜台南部地区马家沟组储集岩的成岩作用及成岩相[J].岩性油气藏,2009,21(1):27-33.
- [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.
- [6] 侯方浩,方少仙,赵敬松,等.鄂尔多斯盆地中奥陶统马家沟组沉积环境模式[J].海相油气地质,2002,7(1):38-46.
- [7] 冯增昭,鲍志东.鄂尔多斯奥陶纪马家沟组岩相古地理[J].沉积学报,1999,17(1):1-8.
- [8] 姚泾利,魏新善,张道锋,等.硬石膏结核白云岩沉积微相—以鄂尔多斯盆地东部马五₃小层为例[J].石油勘探与开发,2010,37(6):690-695.

- [9] 冯增昭. 单因素分析综合作图法—岩相古地理学方法论[J]. 沉积学报, 1992, 10(3): 70-77. 系马家沟组沉积环境与岩相古地理研究[J]. 天然气地球科学, 2009, 20(3): 316-324.
- [10] 史基安, 邵毅, 张顺存, 等. 鄂尔多斯盆地东部地区奥陶

SEDIMENTARY FACIES OF THE ORDOVICIAN MA 5₄ IN THE WESTERN PART OF JINGBIAN PLATFORM

LUO Shunshu¹, JIN Shanshan^{1,2}, HAO Fang³, FAN Jun^{1,2}, HUO Yong¹, LV Qiqi¹

(1 School of Geosciences, Yangtze University, Jingzhou 434023, Hubei, China; 2 CNPC Liaohe Oilfield Company, Panjin 124010, Liaoning, China; 3 CNPC Dagang Oilfield Company, Tianjin 300280, China)

Abstract: The Ordos Basin is one of the major hydrocarbon-bearing basins in China with the Ordovician carbonate rocks as the major gas reservoir. The Member Ma₅₄ of the Ordovician is a main producing reservoir in the west Jingbian Gas Field of the Basin. As a carbonate dominated reservoir, it is critical to study the reservoir properties for better exploration and development. This paper is devoted to the sedimentary facies of the Ma₅₄ member of the west Jingbian Gas Field on the basis of previous studies and the comprehensively use of the present materials including drilling cores, logging and testing data, and the mapping method upon single factor analysis and multifactor analysis. Types of sedimentary facies and their distribution pattern are carefully studied. The Ma₅₄ was deposited in a low energy environment of a restricted platform under a dry and hot climate and the sea level was low then. The platform was even exposed to air sometimes. It can be further classified into five microphases: dolomitic flat, gypsum dolomite flat, gypsum-bearing dolomite flat, gypsum dolomite flat and pelitic dolomite flat. There was shifting of microfacies and subfacies from Ma₅₄³ to Ma₅₄¹ while the sea level rose relatively.

Key words: The Ordos Basin; The Jingbian Platform; The Majiagou Formation; sedimentary facies