

靖边潜台南部中奥陶统马五 1~4 亚段 沉积演化特征研究

罗顺社^{1,2}, 霍勇^{1,2}, 罗军梅^{1,2}, 吕奇奇^{1,2},
尚飞^{1,2}, 淡卫东^{3,4}, 庞锦莲^{3,4}

1. 油气资源与勘探技术教育部重点实验室(长江大学), 湖北 荆州 434023; 2. 长江大学地球科学学院, 湖北 荆州 434023; 3. 长庆油田公司勘探开发研究院, 陕西 西安 710018; 4. 国家工程实验室, 陕西 西安 710018

摘要:鄂尔多斯盆地中奥陶统马家沟组由于受加里东运动影响而隆起抬升遭受风化, 形成良好的岩溶油气储层。因此, 对马五段上部马五 1~4 亚段的沉积微相研究对未来在该层位的油气勘探具有深远的意义。本文运用单因素分析多因素综合作图法结合钻井岩心资料、测井资料的细致分析、统计, 选取了白云岩含量、灰岩含量、膏盐含量及泥岩含量等单因素, 绘制出马五 1~4 各地层的沉积微相图。研究表明马五期的沉积格局为局限台地, 自西北向东南依次出现台内斜坡、台内浅凹、台内盆缘, 其沉积演化从马五 4 的低海平面期到马五 3 的海平面上升期再到马五 2 的顶盛期最后到马五 1 的海退期, 形成一个完整的海进海退沉积旋回, 并依据其沉积特征建立了各时期的沉积模式。

关键词:鄂尔多斯盆地; 马家沟组; 沉积演化; 碳酸盐岩

中图分类号: P594⁺. 2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2802(2011)04-0407-08

Sedimentary Evolution of Middle Ordovician Ma5 1~4 Submembers in the Southern Jingbian Tableland

LUO Shun-she^{1,2}, HUO Yong^{1,2}, LUO Jun-mei^{1,2}, LV Qi-qi^{1,2},
SHANG Fei^{1,2}, DAN Wei-dong^{3,4}, PANG Jin-lian^{3,4}

1. Key Laboratory of Exploration Technologies for Oil and Gas Resources, Ministry of Education, Yangtze University, Jingzhou 434023, Hubei; 2. College of Geoscience Yangtze University, Jingzhou 434023, Hubei; 3. Exploration and Development Research Institute of Changqing Oilfield, Xi'an, 710018, Shanxi; 4. National Engineering Laboratory, Xi'an, 710018, Shanxi

Abstract: The Majiagou formation, Middle Ordovician, in the Ordos Basin had become a nice karst reservoir since it was uplifted in the Caledonian movement and eroded. An elaborative study of micro-sedimentary facies is of great significance in the oil-gas exploration. The micro-sedimentary face maps of Ma5 1-4 submembers were compiled from statistics data of drilling cores and logging and detailed analyses of data obtained by single factor analyses (including contents of dolomite, limestone, gypsum and mudstone) and multifactor comprehensive mapping. The study has shown that the sedimentary framework of Ma5 members is restricted-platform, from the northwest to the southeast of the platform, it appears in turn as slope, shallow concave and the basin margin. A complete depositional cycle of transgression and regression was found in the sedimentary evolution, that is, the low sea level of Ma5-4 submember to the sea-level rising Ma5-3 submember then to the peak of the Ma5-2 submember and finally to the regression Ma5-1 submember. We established a depositional model for Ma5 1-4 submembers on the basis of their sedimentary characteristics.

Key words: Ordos Basin; Majiagou Formation; sedimentary evolution; Carbonate

鄂尔多斯盆地地下古生界奥陶统沉积了一套碳酸盐岩,其马家沟组马五段上部为盆地内主要的含油气层系。前人认为马五期为一个沉积的海退期^[1~4],但对其内部的沉积演化特征研究较少,本文正是基于这一点,对马五段上部地层的沉积演化规律进行了深入研究。

1 区域地质背景

鄂尔多斯盆地是一个面积约 $25 \times 10^4 \text{ km}^2$ 、南北走向的矩形凹陷盆地^[5],古生代时是华北地台西部的组成部分,中生代时受印支运动的影响,华北地台解体和西缘冲断带的左旋走滑作用,在挤压和剪切作用下发生弯曲凹陷,并于晚三叠纪开始演化为大型内陆湖泊盆地。根据现今区域构造特征,鄂尔多斯盆地可分为6个二级构造单元^[6]。

研究区位于鄂尔多斯盆地克拉通凹陷内部,靖边南部,整体处于伊陕斜坡构造带上^[6](图1)。北至大路沟、镰刀湾一带,南至富县,西至旦八镇,东至延安,南北长143.04 km,东西长113.76 km,面积达16272.2 km^2 。

中奥陶统马家沟期地层在鄂尔多斯盆地有广泛

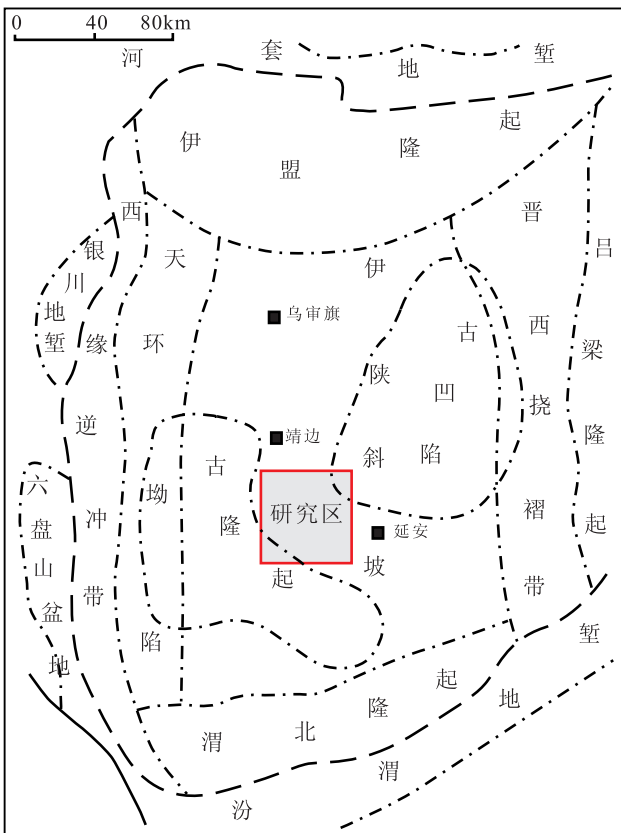


图1 鄂尔多斯盆地区域构造图

Fig.1 Regional structure diagram of the Ordos Basin

分布,最大厚度超过1000 m,自下而上划分为6个岩性段。马一段、马三段、马五段以白云岩、硬石膏岩和盐岩为主,夹少量石灰岩;马二段、马四段、马六段为石灰岩和白云岩,在补偿凹陷盆地内还有硬石膏产出。该组沉积后晚加里东运动使盆地抬升为陆,直至晚石炭世又接受沉积,其顶部经受了长达130 Ma的风化侵蚀和淋滤作用^[7,8],使顶部马家沟组构成区域性的风化壳岩溶层。形成复杂多变的溶蚀孔、洞、缝及其组合,成为天然气储存的最佳空间和良好的油气运移通道。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马五段当成一整段,而本次是以马五段上部4个亚段的地层为研究对象,地层薄,要求精度更大。

2 地层剖面分析

根据对研究区32口井,1160.6 m的岩心特征、薄片特征,测井资料的详细分析,对研究区目的层段的岩心进行了剖面相分析研究(图2),结果表明,目的层段的岩石类型有白云岩(含灰、灰质、膏质、含

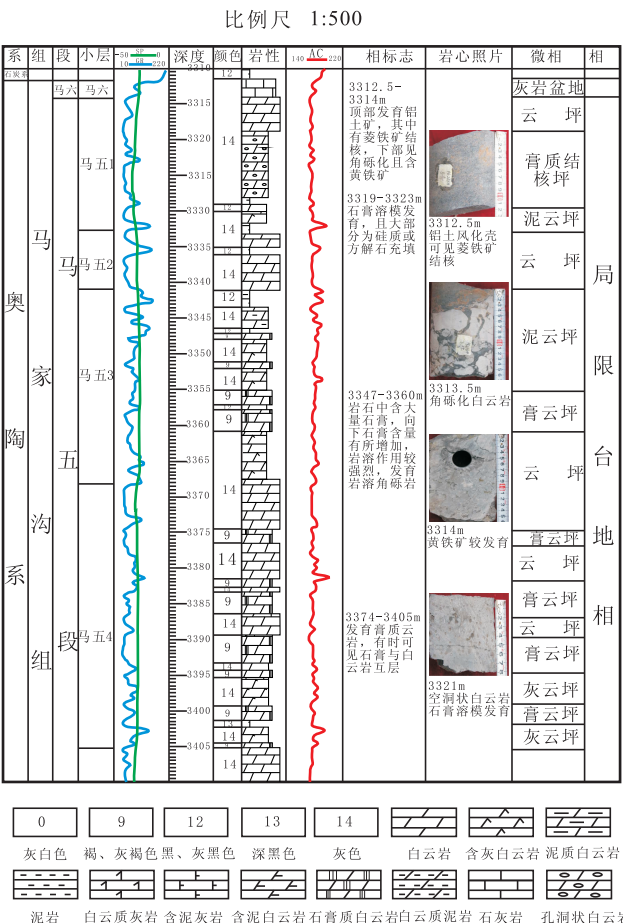


图2 研究区陕248井单井地层柱状图

Fig.2 Geologic column of Shan248 well in the study area

膏、含泥、泥质)、灰岩(白云质、含膏、膏质、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,多为膏云坪和膏盐盆地相沉积。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、鸟眼构造、示顶底构造、层状或缓波状叠层石构造。

经过大量的岩心、室内薄片和测井资料的分析研究,绘制了一条穿切研究区中部的联井剖面(图3),初步确定马家沟组马五1~4段的沉积相为局限台地相,并将其划分为云坪、泥云坪、膏云坪、膏质结核坪、灰云坪、灰盐盆地、膏盐盆地等7个沉积微相。

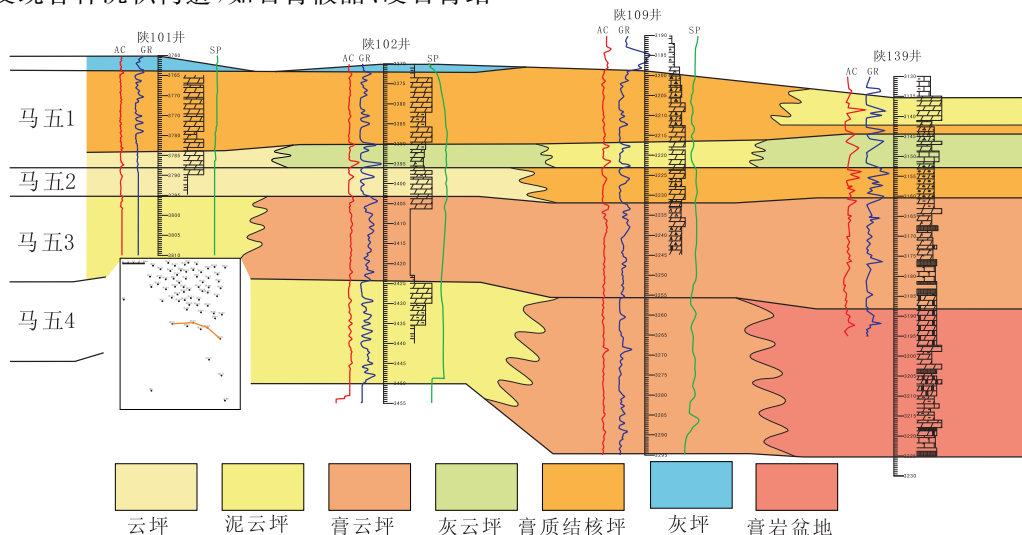


图3 研究区沉积微相对比图

Fig. 3 Sediment microfacies sections in the study area

3 马五4亚段沉积微相

单因素分析多因素综合作图法是冯增昭于20世纪70年代提出的定量的岩相古地理学方法论^[9],在编制定量岩相古地理图中起了决定性作用^[10~12]。通过对研究区层位各种资料的研究,结合鄂尔多斯奥陶系马五段的具体情况,我们选择泥岩、灰岩、石膏、白云岩为单因素,并绘制了各单因素图件。

3.1 单因素分析

3.1.1 白云岩含量(%)等值线图 本区白云岩颜色为灰黄色、灰白色、土黄色,中薄层状含泥质云岩纹理发育,常见鸟眼构造,而且白云岩常与萨勃哈环境形成的石膏、石盐晶体或石膏互层,化石稀少。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32口井钻井岩心的综合分析、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亚段白云岩含量等值线图(图4)。由图4可见,马五4中白云岩非常发育,中、西部相当大的区

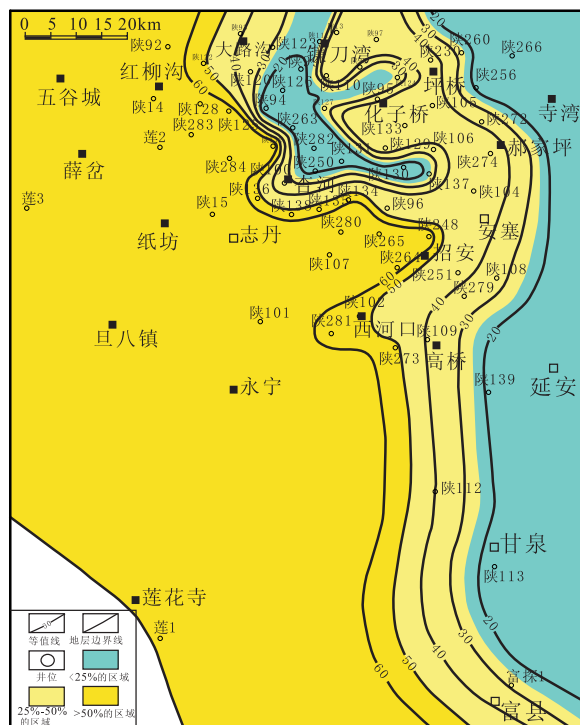


图4 靖边潜台南奥陶系马五4亚段准同生白云岩含量(%)等值线图

Fig. 4 Isoline map of penecontemporaneous dolostones content (%) of Ma5-4 of Ordovician in the southern Jingbian tableland

域含量大于50%，由中部向东西白云岩含量减少，东部地区含量均在25%以下。

3.1.2 泥岩含量(%)等值线图 研究区泥岩含量较少，多分布于底部，颜色以褐色和灰褐色为主，在地层中厚度不大，多呈夹层产出。由马五4亚段泥岩含量等值线图(图5)可以看出，泥岩含量较少，基本在30%以下，在中部地区呈带状分布，在东北小部分地区也发育少量泥岩。

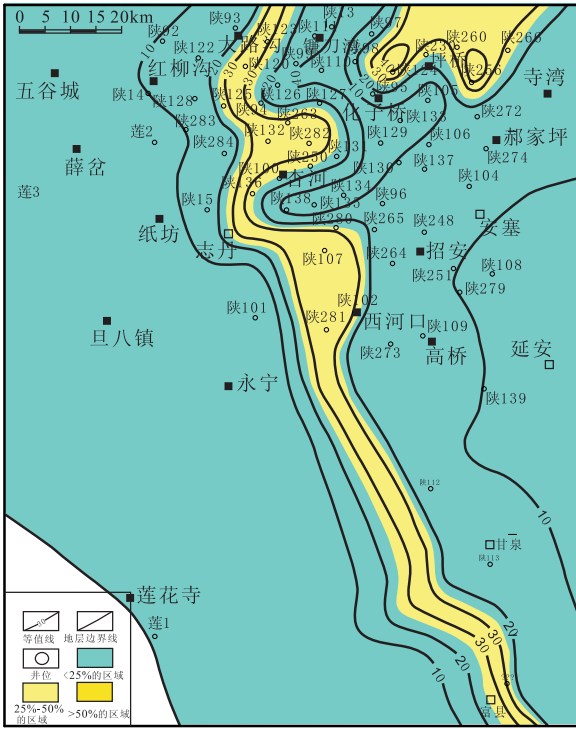


图5 靖边潜台南部奥陶系马五4亚段泥岩含量(%)等值线图

Fig. 5 Isoline map of mudstone content (%) of Ma5-4 of Ordovician in the southern Jingbian tableland

3.1.3 灰岩含量(%)等值线图 通过对各项资料的研究绘制出研究区马五4亚段灰岩含量等值线(图6)。由图可以看出，在研究区灰岩分布很少，普遍在10%以下，东部地区稍高，但也不超过30%。

3.1.4 石膏含量(%)等值线图 研究区膏岩较发育，主要以纹层状、条带状和团块状产出。纹层或条带受水体盐度的变化控制，盐度较高时以沉淀石膏为主，反之则以形成白云石为主，纹层状膏岩反映沉积时水体盐度的频繁变化。条带状膏岩反映沉积时水体盐度的间歇性变化，而块状膏岩反映沉积时水体盐度稳定在一个相对较高的水平。水体盐度的变化实质上反映的是当时的海平面和气候的变化。海平面逐渐降低、气候逐渐变干，则沉积物主要为石膏甚至石盐，海平面升高，则演变为白云岩甚至灰岩。

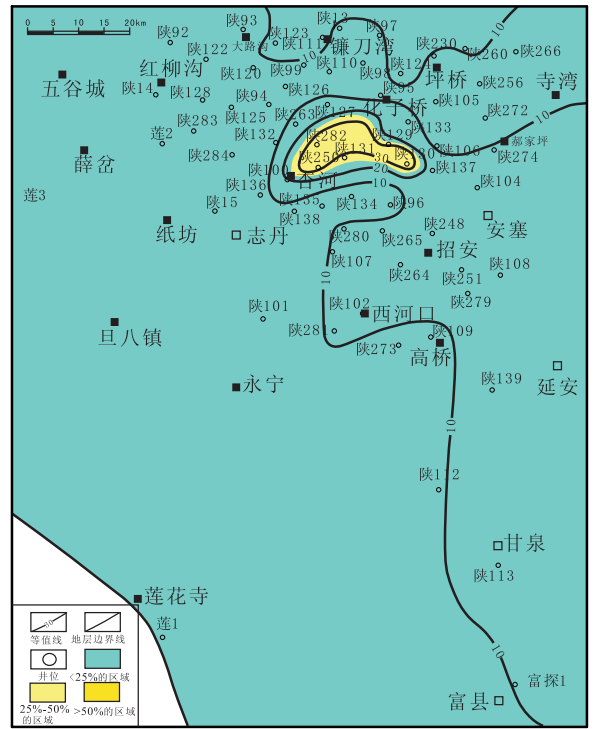


图6 靖边潜台南部奥陶系马五4亚段灰岩含量(%)等值线图

Fig. 6 Isoline map of limestone content (%) of Ma5-4 of Ordovician in the southern Jingbian tableland

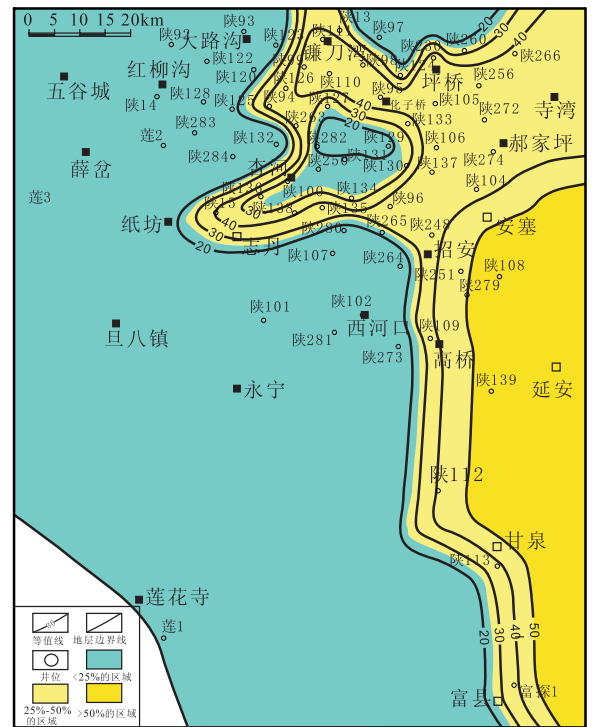


图7 靖边潜台南部奥陶系马五4亚段石膏含量(%)等值线图

Fig. 7 Isoline map of gypsum content (%) of Ma5-4 of Ordovician in the southern Jingbian tableland

由马五4亚段石膏含量等值线图(图7)可以看出,研究区石膏分布范围较广,并且含量较高,东部地区普遍在50%以上,东北部地区稍低。

3.2 多因素综合作图

综合以上各单因素基础图件,结合其它岩石特征、沉积构造和区域地质资料,全面分析、总结、判断,把石膏含量大于等于50%、其余均小于25%的区域,定为膏盐盆地。把石膏含量为25%~50%、白云岩含量为25%~50%,其余均小于25%的区域定为膏云坪。把泥岩含量为25%~50%、白云岩含量为25%~50%的,其余均小于25%的区域定为泥云坪。将白云岩含量大于等于50%,其余均小于25%的区域定为云坪。将灰岩含量大于等于50%,其余均小于25%区域定为灰岩盆地。将泥岩25%~50%、石膏含量为25%~50%,其余均小于25%的区域定为膏质结核坪。将灰岩含量为25%~50%、云岩含量大于等于50%的区域定为灰云坪。编绘出了鄂尔多斯盆地奥陶纪马五4亚段沉积微相图(图8)。

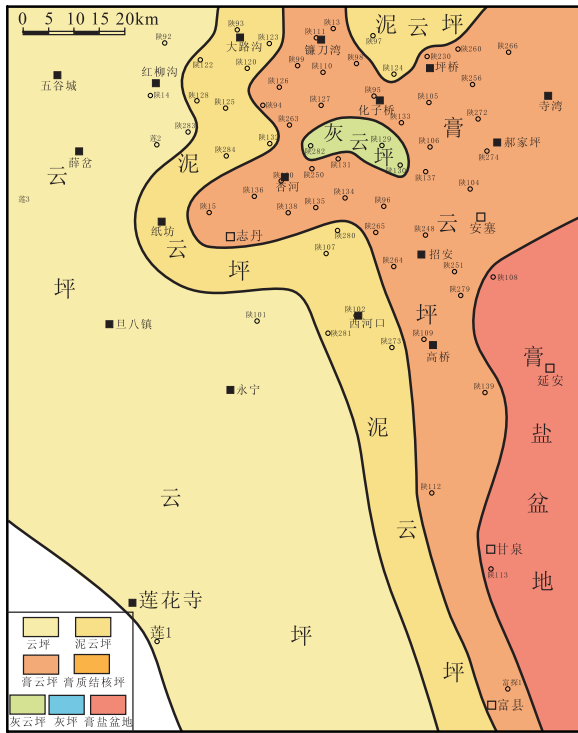


图8 靖边潜台南奥陶纪马五4亚段沉积微相平面图
Fig. 8 Distribution of sediment microfacies of Ma5-4 of Ordovician in the southern Jingbian tableland

由图8可知,马五4亚段沉积时期研究区处于低海平面时期,在蒸发气候的影响下,海水盐度普遍增大,岩石类型以发育膏质云岩和硬石膏岩为主,在沉积微相分布上以膏云坪微相最为发育。平面上看

除了陕113井—陕108井为膏盐盆地外,研究区从陕112井—陕109井—陕280井—陕15井—陕263井—陕111井连线以东区域基本处于膏云坪相带中,并呈连片状分布,仅陕282—陕130为灰云坪和陕97—陕124为泥云坪。从膏云坪向研究区西侧依次分布泥云坪以及云坪。泥云坪呈带状环绕膏云坪分布,而西部大部分地区则分布白云岩,这也从另一个方面证明了当时低海平面的沉积环境。

4 马五3至马五1亚段沉积微相

用前述同样的方法,编制出了鄂尔多斯马家沟组马五3、马五2、马五1亚段的各种单因素图及沉积相图,单因素图从略,各亚段沉积相图见图9、10、11。

4.1 马五3亚段沉积微相

由马五3沉积相分析(图9)得:马五3形成于海平面上升时期,海平面较马五4要高,盐度较马五4期要低,岩性组合上以泥质白云岩、膏质云岩为主,其次为膏岩、硬石膏岩及白云岩。在沉积相分布上几乎为局限蒸发相沉积。发育两个膏盐盆地,分布在陕113和陕108附近,且呈孤立状分布,膏云坪较马五4向盆地方向缩小主要分布在陕137井—陕131井—陕135井—陕101井—陕112井连线以东区域。同时泥云坪的面积向盆地扩大,特别是研究

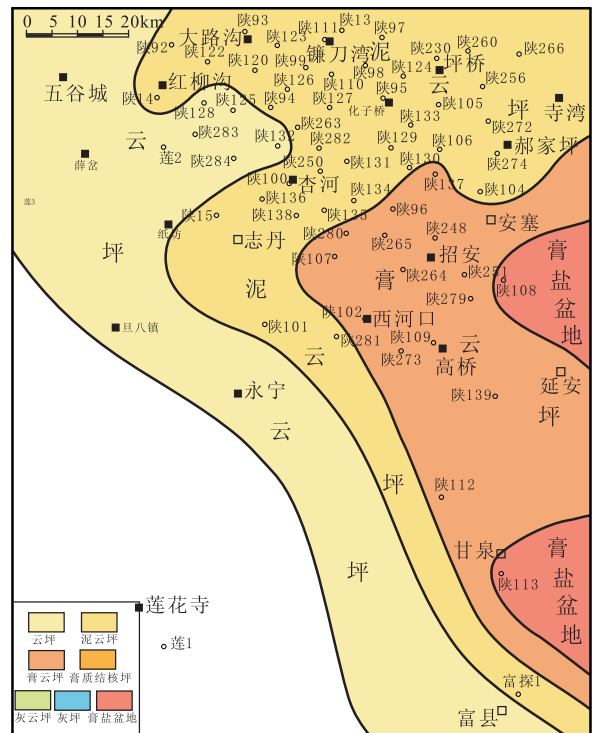


图9 靖边潜台南奥陶纪马五3亚段沉积微相平面图
Fig. 9 Distribution of sediment microfacies of Ma5-3 of Ordovician in the southern Jingbian tableland

区北部几乎全为泥云坪微相占据。此时期灰云坪不发育,研究区西部仍为云坪微相沉积。

4.2 马五2亚段沉积微相

由图10分析,马五2形成于高海平面时期。该时期沉积相的特点是以潮坪上部沉积为主,台内盆地仅发育灰岩盆地,分布在陕113-富探1井一带,呈孤立状分布。潮坪亚相以云坪微相为主,其次为泥云坪、膏质结核坪和灰云坪微相。陕15-陕107、陕131-陕137、陕120-陕126呈孤立状以及灰岩盆地的外围呈环状分布着灰云坪;在陕93-陕127-陕96-陕264一带发育着不规则形态的泥云坪;在陕122-陕14、陕98-陕256、陕109-陕139一带发育膏质结核云坪。由于此时盐度较低,没有一定量的硬石膏沉积,只在地势相对低洼处即水体局部地带盐度相对较高的地方以结核形态产出硬石膏。在遭受大气淡水的岩溶作用后这些产出硬石膏结核的地方形成硬石膏的溶模孔隙,可形成有利的储集层。

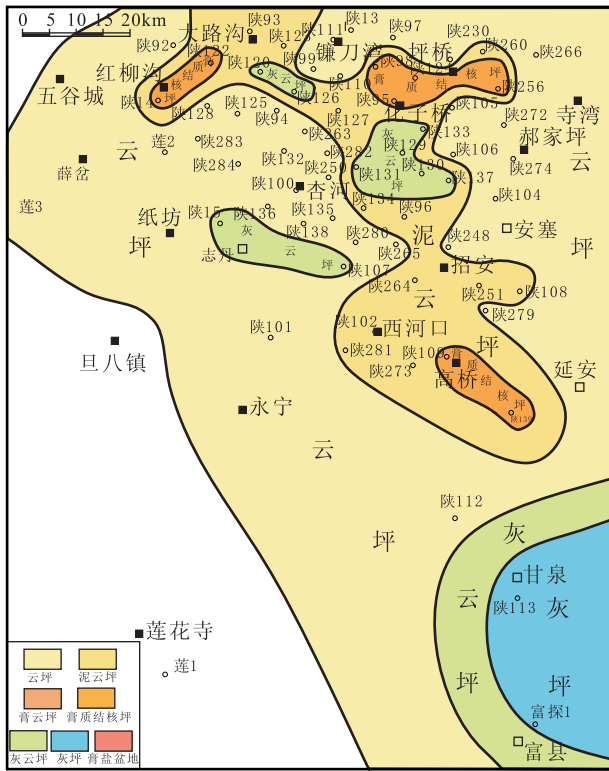


图10 靖边潜台南部奥陶系马五2亚段沉积微相平面图
Fig. 10 Distribution of sediment microfacies of Ma5-2 of Ordovician in the southern Jingbian tableland

4.3 马五1亚段沉积相

由图11可知,马五1形成于在马五3和马五2海平面上升后水体迅速下降的背景之下。该时期沉积相的显著特点是膏质结核坪发育面积较大,反映

水体又经过较强蒸发,盐度升高了。沉积微相多呈环带状和片状分布,在研究区的中上部镰刀湾-化子坪-谭家营-招安-陕109一带发育膏质结核坪;在陕93-陕136-陕273-陕266一带呈环状分布着泥云坪;陕139-陕112-陕113发育灰云坪,在研究区的西侧依然为云坪微相。

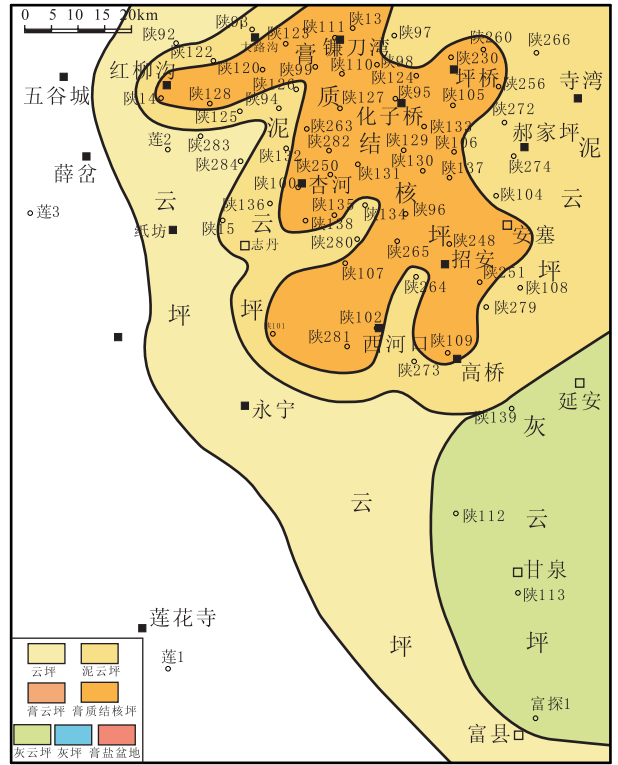


图11 靖边潜台南部奥陶系马五1亚段沉积微相平面图
Fig. 11 Distribution of sediment microfacies of Ma5-1 of Ordovician in the southern Jingbian tableland

5 沉积演化

综上所述,从马五4期至马五1期海平面经历了马五4低海平面,马五3和马五2的高海平面,以及马五1的低海平面的完整旋回过程,各沉积微相和亚相也呈有规律性的变化,即马五4时由于海平面极低,蒸发作用极强,盐度也很高,所以微相中以膏云坪或膏盐盆地为主,至马五3、马五2海平面上升,多发育云坪微相,再至马五1海平面下降后(比马五4期要高些),在盐度和蒸发强度不是很高的背景下,对形成膏质结核云坪有利,因此各时期的沉积相带展布、发育规律完全受海平面的升降旋回控制。

沉积模式已成为研究沉积相和沉积环境的重要方法。运用已知的沉积相和沉积环境的沉积模式,通过比较,可解释和鉴别未知的沉积环境。根据该地区区域地质背景及岩相古地理,结合本次沉积微

相的研究建立了马家沟组马五1至马五4从西北到东南的沉积相模式图(图12),将本区沉积格局定为

局限台地相,再细分为台内斜坡、台内浅凹、台内盆缘[6-8, 13, 14]。各亚相内的沉积微相各有不同。

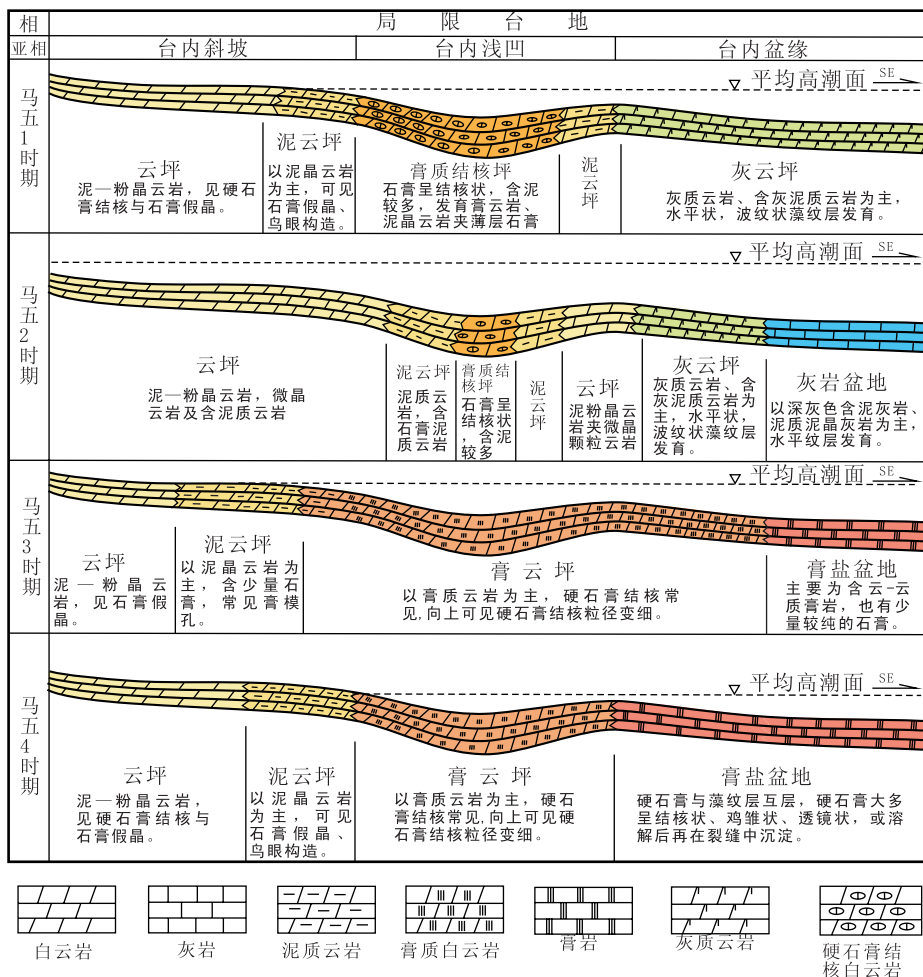


图12 鄂尔多斯盆地靖边潜台南奥陶系马五4-马五1沉积相模式

Fig. 12 Facies mode of Ma5 4-1 of middle Ordovician in the southern Jingbian tableland, Ordos basin

6 结 论

(1)研究区的岩石类型主要包括泥粉晶白云岩、灰岩、泥质云岩、灰岩、灰质云岩、泥灰岩、膏岩、云质膏岩、膏质云岩等岩石类型。

(2)通过对各井的岩心观察、统计,结合测井资料、薄片资料运用单因素分析多因素综合作图法绘制了泥岩、膏岩、白云岩、灰岩等各单因素图件,最后得出了马五1至马五4各亚段的沉积相平面图。

(3)通过对各亚段的沉积微相的研究,确定了研究区的古地理格局为局限台地,将其分为台内斜坡、台内浅凹、台内盆缘,并研究了马五4到马五1时期的沉积演化,即:由马五4的低海平面期到马五3的海平面上升期再到马五2的顶盛期最后到马五1的海退期,在各时期里其沉积微相有所差别。

(4)根据研究区马五4到马五1期沉积环境的特点,建立了符合本地区中奥陶世马五段上部各时期的沉积模式。

参考文献 (References):

[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.
Feng Zengzhao, Chen jixin, Zhang jisen. Lithofacies paleogeography of early paleozoic of Ordos[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991. (in Chinese)

[2] 冯增昭, 鲍志东, 张永生, 谭健. 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, Tanjian. Stratigraphy petrology lithofacies paleogeography of Ordovician in Ordos[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1998. (in Chinese)

[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. Stratigraphy petrology lithofacies paleogeography of Ordovician[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17(1): 1—8. (in Chinese with English abstract)
- [4] 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.
- Feng Zengzhao. Single factor analysis and comprehensive mapping method-methodology of lithofacies paleogeography[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1992, 10(3): 70—77. (in Chinese with English abstract)
- [5] 张敏, 王正允, 王丽云, 张紫光, 胥博文. 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.
- Zhang Min, Wang Zhengyun, Wang Liyun, Zhang Ziguang, Xu Bowen. Diagenesis and diagenetic facies of reservoir rocks of Majiagou Formation in southern Jingbian tableland, Ordos Basin[J]. Lithologic Reservoirs, 2009, 21(1): 27—33. (in Chinese with English abstract)
- [6] 侯方浩, 方少仙, 董兆雄, 赵敬松, 卢蜀秀, 吴诒, 陈娅娜. 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, Zhao Jingsong, Lu Shuxiu, Wu Yi, Chen Yana. 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)
- [7] 侯方浩, 方少仙, 赵敬松, 董兆雄, 李凌, 吴诒, 陈娅娜. 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.
- Hou Fanghao, Fang Shaoxian, Zhao Jingsong, Dong Zhaoxiong, Li Ling, Wu Yi, Chen Yana. Depositional environment model of middle Ordovician Majiagou formation in Ordos Basin[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2002, 7(1): 38—46. (in Chinese with English abstract)
- [8] 侯方浩, 方少仙, 赵敬松. 鄂尔多斯盆地奥陶系碳酸盐岩储层图集[M]. 成都: 四川人民出版社, 2002.
- Hou Fanghao, Fang Shaoxian, Zhao Jingsong. Atlas of carbonate rock reservoirs of Ordovician in Ordos Basin[M]. Chengdu: Sichuan People's Publishing House, 2002. (in Chinese)
- [9] 何幼斌, 罗进雄. 中上扬子地区晚二叠世长兴期岩相古地理[J]. 古地理学报, 2010, 12(5): 497—514.
- He Youbin, Luo Jinxiong. Lithofacies palaeogeography of the Late Permian Changxing Age in Middle and Upper Yangtze Region[J]. Journal of Palaeogeography, 2010, 12(5): 497—514. (in Chinese with English abstract)
- [10] 冯增昭. 单因素分析多因素综合作图法一定量岩相古地理重建[J]. 古地理学报, 2004, 6(1): 3—19.
- Feng Zengzhao. Single factor analysis and multifactor comprehensive mapping method-reconstruction of quantitative lithofacies palaeogeography[J]. Journal of Palaeogeography, 2004, 6(1): 3—19. (in Chinese with English abstract)
- [11] 冯增昭, 鲍志东, 吴茂炳, 金振奎, 时晓章, 骆艾荣. 塔里木地区奥陶纪岩相古地理[J]. 古地理学报, 2007, 9(5): 447—460.
- Feng Zengzhao, Bao Zhidong, Wumaobing, Jin Zhenkui, Shi Xiaozhang, Luo Airong. Lithofacies palaeogeography of the ordovician in Tarim area[J]. Journal of Palaeogeography, 2007, 9(5): 447—460. (in Chinese with English abstract)
- [12] 冯增昭, 鲍志东, 吴茂炳, 金振奎, 时晓章. 塔里木地区寒武纪岩相古地理[J]. 古地理学报, 2006, 8(4): 427—439.
- Feng Zengzhao, Bao Zhidong, Wu Maobing, Jin Zhenkui, Shi Xiaozhang. Lithofacies palaeogeography of the Cambrian in Tarim area[J]. Journal of Palaeogeography, 2006, 8(4): 427—439. (in Chinese with English abstract)
- [13] 赵澄林, 朱筱敏. 沉积岩石学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001.
- Zhao Chenglin, Zhu Xiaomin. Sedimentary petrology[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001. (in Chinese)
- [14] 何自新. 鄂尔多斯盆地演化与油气[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003.
- He Zixin. Evolution of Ordos Basin and hydrocarbon[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003. (in Chinese)