

苏里格气田东区奥陶系马家沟上组合储层 特征及主控因素分析

白慧^{1,2}, 颜学成³, 王龙^{1,2}, 吴小宁^{1,2}, 冯敏^{1,2}, 王立社⁴, 陈治华^{1,2}, 黄丹^{1,2}

(1. 长庆油田分公司苏里格气田研究中心, 陕西 西安 710018; 2. 低渗透油气田勘探开发国家工程实验室, 陕西 西安 710018;
3. 长庆油田分公司第二采气厂, 陕西 榆林 719000; 4. 西安地质矿产研究所, 陕西 西安 710054)

摘 要:奥陶系顶部马家沟上组合(马五₁—马五₄)风化壳储层是苏里格气田东区下古生界主要产气储层, 其中马五₁₊₂及马五₄¹是该区块的主力产气层。在前人研究成果的基础上, 通过岩心观察、室内薄片分析及扫描电镜、阴极发光等测试分析认为: 苏里格气田东区马家沟上组合储层岩石类型以含膏粉晶-泥粉晶白云岩为主, 储集空间以膏模孔+溶缝为主; 储层受沉积、成岩、岩溶古地貌及构造共同控制, 沉积-成岩是白云岩储层的主控因素, 有利沉积相是储层发育的基础, 成岩作用决定了最终储层空间的形成, 构造对储层主要起到沟通渗滤作用, 而岩溶古地貌从宏观上控制着储集空间的发育程度和天然气储集保存状况。

关键词:苏里格气田; 奥陶系; 储层特征; 控制因素; 沉积-成岩作用

中图分类号: P618.130.2

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2015)01-0221-08

Analysis on the Main Controlling Factors and Characteristics of the Upper Combination of Ordovician Majiagou Formation in the Eastern Part of Sulige Gasfield

BAI Hui^{1,2}, YAN Xuecheng³, WANG Long^{1,2}, WU Xiaoning^{1,2}, FENG Min^{1,2},
WANG Lishe⁴, CHEN Zhihua^{1,2}, HUANG Dan^{1,2}

(1. Sulige Gasfield Research Center, Changqing Oilfield Company, Xi'an 710018, Shaanxi, China;
2. National Engineering Laboratory for Exploration and Development of Low Permeability Oil
and Gas Fields, Xi'an 710018, Shaanxi, China; 3. Gas Production Plant 2 of Changqing
Oilfield Company, Yulin 719000, Shaanxi, China; 4. Xi'an Institute of
Geology and Mineral Resources, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: On the top of the Ordovician, the weathering crust reservoir in the upper combination of Majiagou Formation (M5₁ and M5₄) is the main gas reservoir of Lower Palaeozoic in the eastern part of Sulige gasfield. The M5₁₊₂ and M5₄¹ are the major gas production reservoir in this gasfield. Based on previous researches, the authors conducted studies including core observation, indoor thin-section analysis, scanning electron microscope and cathode luminescence. Conclusions have been drawn that the main rock type is cream powder-mud powder crystal dolomite, and the

收稿日期: 2014-01-03; 修回日期: 2014-03-19

基金项目: 国家重大科技专项项目“长庆油田油气当量上产 5000 万吨关键技术研究”(2010E-1306)

作者简介: 白慧(1984-), 女, 陕西榆林人, 工程师, 从事气田开发地质研究工作。E-mail: bhui_cq@petrochina.com.cn

main reservoir space type is gypsum hole and karst seam; the reservoir is controlled by sedimentation, diagenesis, lava palaeo-geomorphology and tectonics; sedimentation and diagenesis are the main controlling factors, the favorable sedimentary facie is the basis of reservoir development; diagenesis determines the final formation of reservoir space; the structure of reservoir affects the reservoir communication and infiltration; the karst geomorphology controls the development degree of the reservoir space and reservoir preservation condition in a larger sense.

Keywords: Sulige gasfield; Ordovician; reservoir characteristics; controlling factors; sedimentation and diagenesis

苏里格气田东区位于鄂尔多斯盆地中央古隆起东侧,南部与靖边气田相接,面积数千平方千米。近几年,苏里格气田坚持“上下古立体开发”的开发思路,虽然在下古生界气藏取得了较好的开发效果,但对上组合(马五₁—马五₄)储层控制因素的认识仍需进一步深入研究。因此,有必要对该区块下古气藏马家沟上组合储层主控因素展开详细的分析,进而加深对储层地质条件的认识,为该区块下古气藏整体开发方案的编制及产能建设优化部署提供科学合理的依据。

1 区域地质概况

鄂尔多斯盆地位于华北地台西部,是一个矩形构造盆地,地跨陕、甘、宁、蒙、晋五省(区),总面积达 $37 \times 10^4 \text{ km}^2$,是我国第二大沉积盆地。奥陶纪古构造地貌呈现“一隆一坳”特征,隆即呈“L”形的中央古隆起;坳即米脂-延川凹陷(苏中堂等,2008)。早奥陶世加里东运动使盆地全面抬升为陆地,导致中奥陶统至下石炭统地层缺失,直至中石炭统又接受沉积,经受长达 130 Ma 余年的风化侵蚀和淋滤作用,最终形成了奥陶系岩溶地貌和碳酸盐岩岩溶储层(何自新,2003)。

依据沉积旋回,将奥陶系马家沟组自下而上分为马一—马六等 6 个岩性段,马五段大部分地区遭受风化剥蚀,使储层残缺不全,自上而下可分为马五₁—马五₁₀,其中马五₄段分为马五₄¹、马五₄²、马五₄³三个小层。将马五₁—马五₄称为上组合;马五₅—马五₁₀称为中组合;马四段称为下组合。根据盆地地质演化史及其构造特征,将盆地现今构造划分为伊盟隆起、渭北隆起、西缘逆冲带、天环坳陷、伊陕斜坡和晋西挠褶带 6 个一级构造单元(杨俊杰,1996;李宽量,2011)(图 1)。

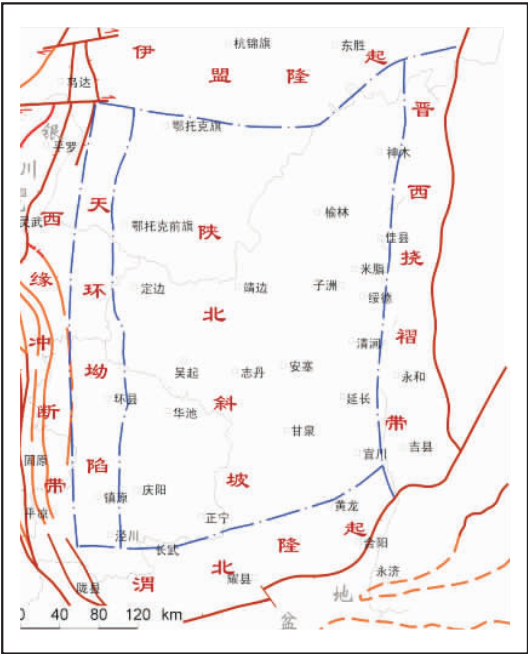


图 1 鄂尔多斯盆地构造单元分区及研究区位置图

Fig.1 Partition of tectonic elements and location of the study area in Ordovician, Ordos basin

苏里格气田东区地处内蒙古自治区鄂尔多斯市乌审旗和陕西省榆林市榆阳区境内,南接乌审旗和靖边气田,东邻榆林气田。区域构造位于鄂尔多斯盆地中央古隆起东侧,属于伊陕斜坡中北部。该区块下古生界气藏产气层位为奥陶系马家沟期沉积的以白云岩、膏岩为主的马五段,且以上组合开发为主,尤以马五₁₊₂、马五₄¹为主力产层。截止 2013 年底,该区块下古气藏开发井平均无阻流量为 $15.1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,单试求产平均无阻流量为 $19.1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,是上古气藏开发井的 2~3 倍,试气效果良好,具有较大的开发潜力。

2 储层特征

2.1 储层岩石类型

研究区奥陶系马家沟组沉积相为潮坪相,以潮间-潮上沉积环境为主。上组合储层为一套潮上蒸发环境碳酸盐沉积的产物,由于沉积环境较为局限,水体较浅,蒸发作用强烈,白云岩主要为泥-粉晶白云岩以及含硬石膏结核白云岩,且分布范围较广,连片性好。其次是泥晶白云岩、泥细晶白云岩。

通过对钻井岩心、岩石薄片、扫描电镜以及测井资料的分析鉴定,认为马五₁₊₂储层岩石类型主要为含石膏假晶和石膏结核泥粉-细晶白云岩,夹粗粉晶

白云岩和角砾白云岩;马五₄¹储层岩石类型主要为含球状硬石膏结核泥粉晶-细晶白云岩,夹有部分含石膏晶体泥粉晶白云岩等,富含可溶性极强的石膏(图 2)。

2.2 储集空间类型

根据岩心照片、铸体薄片以及扫描电镜样品观察分析表明,研究区马家沟组碳酸盐岩在漫长、复杂的地史演化过程中,经反复的成岩作用改造,原生孔隙基本不发育,上组合风化壳储层发育膏模孔、溶孔(洞)、溶缝、石膏晶模孔、晶间孔以及少量岩溶角砾间孔等储集空间,且以膏模孔、溶孔和溶缝为主。其中马五₁₊₂主要储集空间有膏模孔、溶孔,其次是晶间溶孔;马五₄储层最主要的储集空间有溶孔和裂缝,其次是膏模孔、晶模孔(表 1、图 3)。

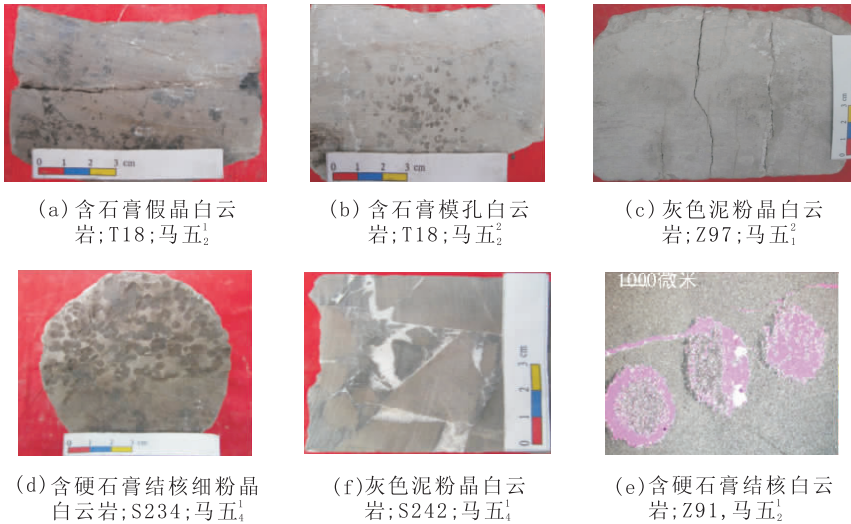


图 2 苏里格气田东区上组合储层各类岩心及薄片照片

Fig. 2 Thin section photographs in the eastern part of Sulige gasfield

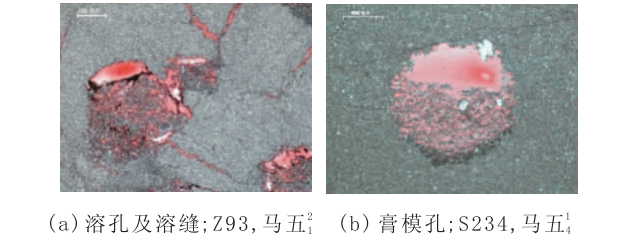


图 3 苏里格气田东区上组合储层主要储集空间类型图

Fig. 3 The main classification of interstices in the eastern part of Sulige gasfield

最有利的储集空间组合是膏模孔+溶缝,其次是膏模孔、溶孔。

表 1 苏里格气田东区上组合各层位储层特征表

Tab. 1 The reservoir characteristics in the eastern part of Sulige gasfield

层位	储层岩石类型	储集空间类型	储层孔隙组合类型
马五 ₁₊₂	含石膏假晶和石膏结核泥粉-细晶云岩,夹粗粉晶白云岩和角砾白云岩	膏模孔、晶模孔、溶缝、晶间孔及角砾间孔	膏模孔-溶缝型、晶间孔-晶模孔型、角砾间孔-溶缝型
	含球状硬石膏结核泥粉-细晶云岩	膏模孔、晶模孔、裂缝和晶间孔	膏模孔-裂缝型、晶间孔-晶间溶孔型、裂缝-微孔型

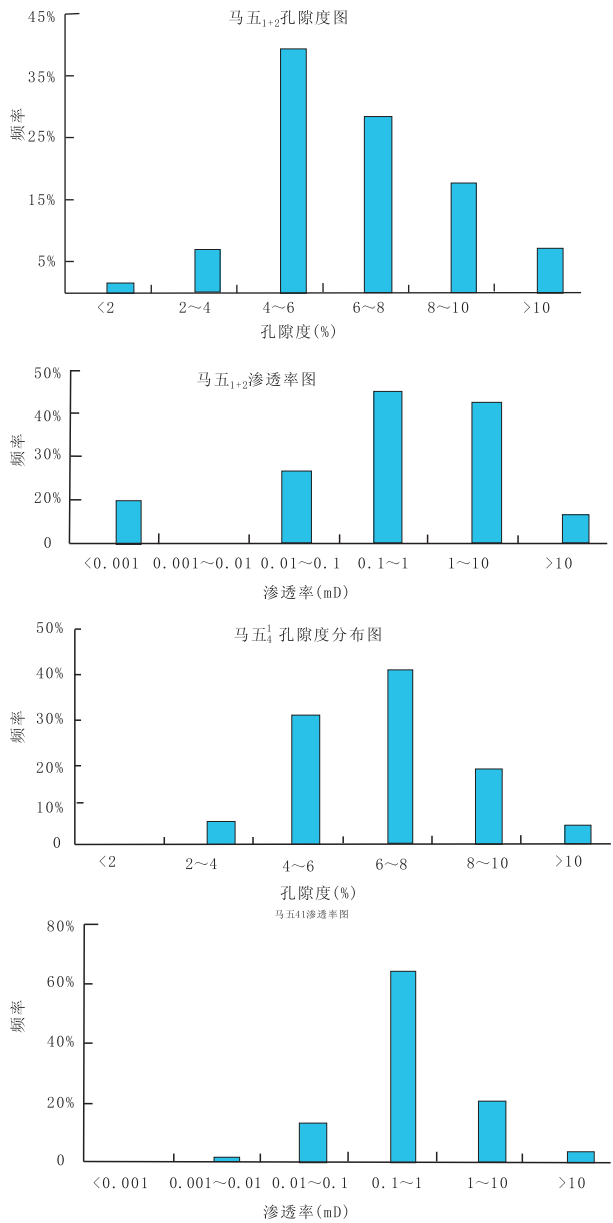


图4 苏里格气田东区上组合储层孔隙度、渗透率分布图

Fig. 4 Frequency of porosity and permeability in the eastern part of Sulige gasfield

2.3 储层物性特征

据岩心物性测试数据以及测井资料分析结果显示,研究区马家沟上组合储层孔隙度主要分布在2%~10%,平均值为6.46%;渗透率主要分布在0.01~10 mD,平均值为0.97 mD,表现出低孔低渗储层特性(图4)。其中马五₄¹储层物性较好,孔隙度值为6.82%,渗透率值为0.98 mD,为研究区上组合储层的主力产气层。

3 储层主要控制因素分析

3.1 沉积作用对储层发育的影响

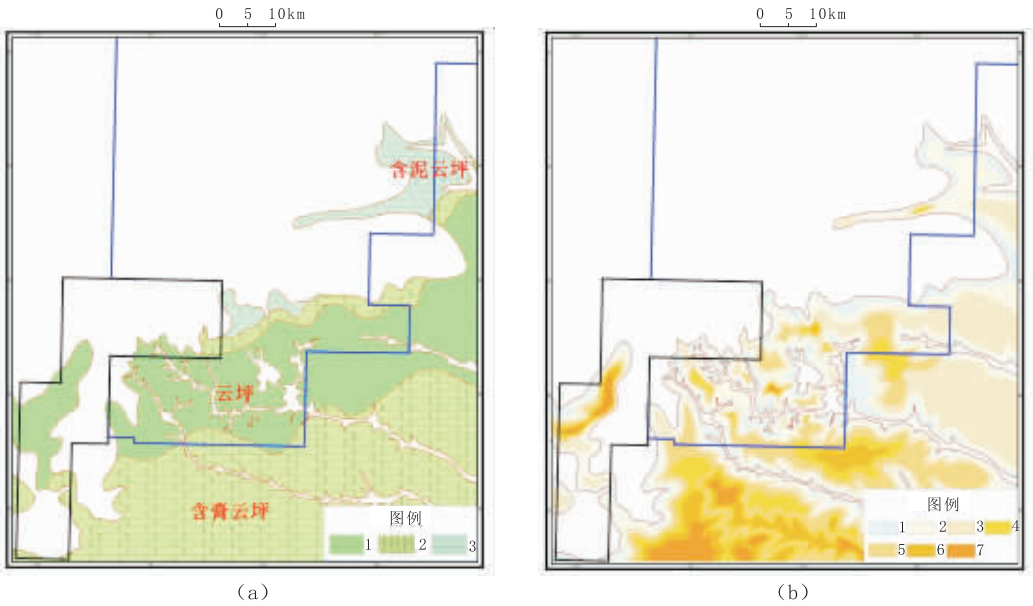
沉积作用对储层发育具有重要的控制作用,其决定了沉积环境范围内的岩石类型,且储层储集条件的好坏及后期改造均与沉积物类型和沉积环境有明显关系(王雷等,2005)。早奥陶世,研究区马五段储层处于潮坪环境中,上组合沉积时期是高频海平面变化的低水位时期,整体为一套潮上-潮间带碳酸盐蒸发沉积环境,海水进退及蒸发浓缩使膏云坪和云坪最为发育,且易溶膏盐矿物含量高,是有利的沉积微相。其次发育含泥云坪和灰云坪。在风化壳时期,准同生期白云岩位于岩溶斜坡,在岩溶作用下,产生丰富的溶蚀孔、洞、缝,为风化壳裂缝-溶孔型储层的发育奠定了物质基础。结合研究区上组合储层在整个盆地蒸发潮坪中所处的位置,以及岩心观察和薄片分析综合判断认为,马五₁₊₂白云岩主要分布在含膏云坪、云坪,灰云坪次之,在含泥云坪分布规模小(图5)。马五₄¹白云岩主要分布在含膏云坪,在剥蚀线附近的含泥云坪分布较少(图6)。

3.2 成岩作用对储层发育的影响

苏里格气田奥陶系遭受约130 Ma 风化剥蚀作用,使马家沟上组合进入表生成岩环境,处于古风化壳顶部,经表生岩溶作用改造,成岩作用类型具有多样性。这些作用强烈地改变碳酸盐岩的成分、结构、构造以及储层孔隙类型、数量和分布(时建超等,2013)。根据对储层物性的影响,成岩作用可分为建设性成岩作用和破坏性成岩作用。通过对研究区铸体薄片和阴极发光观察分析,认为研究区成岩作用有:建设性成岩作用主要类型有白云石化作用、去膏化作用、溶蚀作用;破坏性成岩作用主要类型有压实压溶作用、重结晶作用、去白云石化作用以及充填作用。其中,白云石化作用、溶蚀作用和充填作用对储层储集性的影响和控制作用最大。

3.2.1 建设性成岩作用

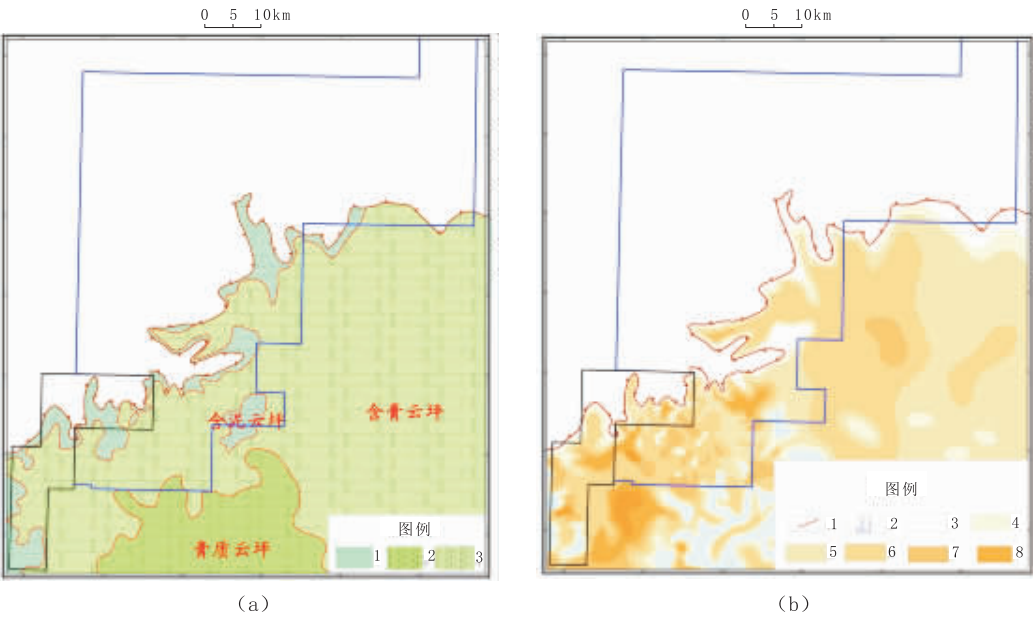
白云石化作用使碳酸盐岩孔隙度增大、岩石类型增多,不仅改善了储层的储集性能,还为以后的溶蚀作用创造了有利条件。白云化作用中的准同生蒸发泵白云化作用、成岩早期的回流渗透白云化作用、混合水白云化作用以及重结晶作用,对改善研究区储层储渗条件的贡献依次增强,使晶粒变粗、变大,



沉积相:1. 云坪;2. 膏质云坪;3. 含泥云坪;白云岩:1. 0m 区域;2. 0~2m 区域;3. 2~4m 区域;4. 4~6m 区域;5. 6~8m 区域;6. 8~10m 区域;7. 大于 10m 区域

图 5 (a)苏里格气田东区马五₁₊₂ 沉积相及(b)白云岩厚度图

Fig. 5 (a)Distribution of precipitation microfacies and (b)dolostone thickness of M5₁₊₂ in the eastern part of Sulige gasfield



沉积相:1. 含泥云坪;2. 膏质云坪;3. 含膏云坪;白云岩:1. 缺失线;2. 研究区域;3. 地层确实区域;4. 0~2m 区域;5. 2~4m 区域;6. 4~6m 区域;7. 6~8m 区域;8. 8~10m 区域

图 6 苏里格气田东区下古马五₄ 沉积相图(a)及白云岩厚度图(b)

Fig. 6 Distribution of precipitation microfacies(a) and dolostone thickness(b) of M5₄ in the eastern part of Sulige gasfield

形成泥-粉晶白云岩,甚至细晶白云岩,并产生晶间微孔(张宗林等,2008)。研究区马家沟上组合储层白云化模式主要为准同生蒸发泵白云化和渗透回流白云化。其中,准同生期白云岩多泥晶-粉晶,含泥较多,很多呈自形,无核心、无环带构造,常常与石膏伴生;成岩早期的渗透回流白云石化多为细-粉晶白云岩,晶体多呈他形,镶嵌接触,泥质含量较少,较干净,不含石膏或石膏少量。

溶蚀作用是促进储层孔隙发育的最主要的成岩作用,贯穿了从地表一浅埋藏成岩早期到风化壳期成岩作用直至深埋藏后生期成岩作用的整个过程,使原有孔隙空间得到改善,可形成有利的溶缝储层,并将溶模孔连通起来,从而提高了储层的储集性能。表生和浅埋藏成岩期溶蚀作用所形成的次生孔、缝、洞为天然气存储提供了空间,对白云岩化作用后储层的改造和最终形成至关重要(王雷等,2005)。研究区马家沟上组合处于表生成岩环境中,溶蚀作用选择性强,泥晶白云岩自身被溶解形成的空洞较少,而准同生期生成的石膏、硬石膏结核和单个晶体淋滤溶解,形成大量溶斑孔、膏模孔及次生溶缝,甚至溶洞,是研究区最主要的储集空间。

3.2.2 破坏性成岩作用

压实压溶作用、重结晶作用、去白云石化作用以及充填作用是最主要的破坏性成岩作用,使储层晶间孔和溶蚀孔缝减少,对储层起到破坏性作用。特别是充填作用,充填物对研究区碳酸盐岩溶蚀孔洞充填程度和对储层的储集性具有明显的控制作用,可造成溶蚀作用形成的溶蚀孔缝大量减少,使溶孔、溶缝及溶洞堵塞,并可以影响部分晶间孔,降低储层储集和渗流能力。研究区马家沟上组合储层溶蚀孔洞充填主要有以下6种:白云石充填型、方解石充填型、石膏充填型、泥质充填型、硅质充填型和复合充填型。

压实作用主要发生于研究区马家沟上组合浅埋藏环境,使岩石颗粒发生变形,颗粒或晶粒呈镶嵌状接触,导致储层变得更加致密,原生孔隙减少,仅有少量晶间微孔隙。压溶作用一般发育在成岩晚期较深埋藏环境中,形成横向、纵向缝合线构造,其内又发育溶解缝或张开缝。通过岩性观察,研究区马家沟上组合缝合线较发育,常呈充填、半充填状态存在,在岩层的横剖面上呈锯齿状和“几”字型形态;在平面上沿此裂缝破裂面上呈参差不平凹凸起伏的面。

去白云化作用可形成灰质白云岩及方解石晶体,且方解石晶体粗大,晶体之间缝合嵌镶状接触,充填了早期的溶孔、溶缝,不利于储层发育(苏中堂等,2008)。研究区去白云化作用在溶缝及溶蚀孔比较发育,呈团块状活条带状,方解石晶体干净,节理发育。

3.3 岩溶古地貌对储层发育的影响

早奥陶世亮甲山期末的怀远运动使盆地短暂抬升,而后发生早古生代最大一次海侵,形成了马家沟组碳酸盐岩夹蒸发岩地层;中奥陶世末,晚加里东运动使华北地台整体抬升,缺失了泥盆系、志留系和下石炭统沉积,至中石炭世又整体沉降,接受了中、上石炭统海陆交互的含煤系碎屑岩沉积,呈现岩溶高地-岩溶斜坡-岩溶盆地的古岩溶地貌,经历130 Ma的风化侵蚀和淋滤作用,顶部马家沟组构成区域性的风化壳岩溶,孔、洞、缝普遍发育,成为天然气储存的最佳空间和良好的油气运移通道,其上覆石炭系本溪组的含煤建造提供了良好的烃源环境,下伏马家沟期的膏岩层形成的盖层使其共同构成了良好的生储盖组合,从而为气藏的形成提供了良好的保存条件,最终形成了奥陶系岩溶地貌和奥陶系顶部古风化壳岩溶储层(苏中堂等,2011;姜在兴,2008;夏日元,1999)。

苏里格气田奥陶系马家沟组位于古岩溶斜坡上,遭受剥蚀程度不同,地层自东南向西北逐渐变老,呈现出西高东低,北高南低的分布特征。西北部一带为中央古隆起东侧相对较高部位,地层遭受剥蚀强烈,出露马五₅以下的较老地层;中部地区为岩溶斜坡地带及与残丘的过渡地区,出露马五₄₋₃。东南部多为残丘、沟槽地貌分布地区,残丘出露地层则主要为马五₁₋₂,沟槽出露层位为马五₂₋₄。

研究区马家沟上组合主要发育岩溶残丘及沟槽古地貌单元,在残丘边缘地带,溶蚀孔洞发育,以及溶蚀沟槽为天然气进入储层提供了通道,有效储层主要分布在岩溶残丘及沟槽与残丘的风化淋滤带,残丘的中部不易遭受淋滤作用,不能形成溶蚀孔洞,不利于储层的发育,在剥蚀线附近储层孔隙充填程度高,有效储层少有分布。在古岩溶的沟槽中,上覆的本溪组烃源岩深陷在古残丘之间,在地史的演化过程中,产生的油气就近运移到上述形成的储层中,保存下来,形成油气藏(代有金等,2005;李振宏等,2006;何自新等,2001)。因此,古残丘以及古残丘-古沟槽(洼地)之间的过渡地带最有利于成藏,是井

位部署的有利区。

3.4 构造对储层发育的影响

中奥陶世末加里东运动使鄂尔多斯盆地形成了特殊的古岩溶地貌,经印支、燕山运动后,原来西隆东洼的构造形态发生整体反转(杨俊杰,2002;赵俊兴,2012),形成了地层倾角小于 2° 的西洼东隆的西倾斜坡,平均坡降为 $3\sim 10\text{ m/km}$ 。研究区位于区域构造的西倾斜坡上,保持东高西低构造特征,在平缓西倾大单斜上发育多排轴向北东—南西的小幅度的鼻状构造,鼻状隆起的轴线走向为北东向,对有利储层的分布有一定的控制作用。鼻凹带与两侧的鼻隆带之间以及低幅背斜构造有利于天然气聚集,高产气井多分布于此部位,部分井试气无阻流量超过 m^3/d ,高于研究区气井的平均无阻流量。

根据研究区不同构造部位气井分布统计分析,马五₁₊₂有效储层在构造各部位分布较为均匀,而马五₄¹随着构造部位升高,有效储层的分布逐渐增多。可见,马五₁₊₂有效储层受构造控制作用弱,而马五₄¹有效储层受构造一定程度的控制。

根据不同构造部位渗透率分布分析,研究区马家沟上组合的孔隙度在各构造部位分布一致,说明构造运动并没有很大程度上改善储层的储集空间。但分布在各个层位构造高部位和低部位的渗透率值较大,说明构造运动强烈的部位在一定程度上改善储集空间的连通性,即构造对储层起到了沟通渗滤的作用。由此可见,构造作用对碳酸盐岩储集空间的形成和演化也具有重要意义。

4 结论

(1)研究区马五段为潮坪相,以潮间—潮上沉积环境为主,上组合储层白云化模式主要为准同生蒸发泵白云化和渗透回流白云化。主要发育云坪和膏云坪沉积微相,其次是灰云坪及泥云坪。

(2)该区马家沟上组合为风化壳溶孔型储层,主要岩石类型为含膏粉晶—泥粉晶白云岩,主要储集空间类型为古岩溶作用形成的溶孔(洞)、溶缝及膏模孔,最好的孔隙组合为膏模孔+裂(溶)缝。

(3)该区马家沟上组合气藏属于古地貌—岩性气藏,储层受沉积、成岩、岩溶古地貌及构造的共同控制,沉积—成岩是白云岩储层的主控因素,有利沉积相是储层发育的基础,成岩作用决定了最终储层空

间的形成,构造对储层主要起到沟通渗滤的作用,鼻隆和鼻翼有利于气井高产,而岩溶古地貌从宏观上控制着储集空间的发育程度和储集保存状况,高部位的古岩溶残丘及沟槽与残丘之间的风化淋滤带有利于井位部署。

参考文献(References):

- 苏中堂,陈洪德,赵俊兴,等.鄂尔多斯盆地靖边北部奥陶系马五₄₋₁段成岩作用特征[J].成都理工大学学报,2008,35(2):194-200.
- SU Zhongtang, CHEN Hongde, ZHAO Junxing, et al. The diagenesis character in member5-4-1 of Ordovician Majiagou Formation and its petroleum geology significance in the north of Jingbian gasfield, Ordos basin, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology, 2008, 35(2): 194-200.
- 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. The evolution and Petroleum of Ordos basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003.
- 杨俊杰,裴锡古.中国天然气地质学(第四卷)[M].北京:石油工业出版社,1996.
- YANG Junjie, PEI Xigu. Geology of China Natural Gas. Vol. 4[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1996.
- 李宽亮,张炜,田靖.鄂尔多斯盆地八连沟—金庄地区长6储层特征及影响因素分析[J].西北地质,2011,44(4):132-139.
- LI Kuanliang, ZHANG Wei, TIAN Jing. Influential Factors and Characteristics of Chang 6 Bed Reservoir in Balingou-Jinzhuan Area of Nanniwan Oil Field, Ordos Basin[J]. Northwestern Geology, 2011, 44(4): 132-139.
- 王雷,史基安,王琪,等.鄂尔多斯盆地西南缘奥陶系碳酸盐岩储层主控因素分析[J].油气地质与采收率,2005,12(4):10-13.
- WANG Lei, SHI Ji'an, WANG Qi, et al. Analysis on the southwestern margin of the basin Erdos Ordovician carbonate reservoir controlling factors[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2005, 12(4): 10-13.
- 时建超,孙卫,张创,等.碳酸盐岩储层特征及影响因素分析[J].西北大学学报(自然科学版),2013,43(3):455-460.
- SHI Jianchao, SUN Wei, ZHANG Chuang, et al. Characteristics and influential facts of the carbonatite reservoir: a case of M5₄¹ Gas reservoir in Shaan 200 borefield

- of Jingbian Gasfield[J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2013, 43(3): 455 - 460.
- 张宗林, 孙卫, 韩宗元, 等. 鄂尔多斯盆地靖边气田陕 200 井区马五₂ 储层特征[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2008, 38(6): 976 - 982.
- ZHANG Zonglin, SUN Wei, HAN Zongyuan, et al. Characteristics of M5₂ gas reservoir in Shaan 200 borefield of Jingbian Gas Field, Ordos Basin[J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2008, 38(6): 976 - 982.
- 苏中堂, 陈洪德, 林良彪, 等. 靖边气田北部下奥陶系统马五₄¹ 段古岩溶储层特征及其控制因素[J]. 矿物岩石, 2011, 31(1): 89 - 96.
- SU Zhongtang, CHEN Hongde, LIN Liangbiao, et al. Characteristics and Control Factors of Palaeokarst Reservoir of the Majiagou Formation of Lower Ordovician in Northern Jingbian Gas Field of Ordos Basin[J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 2011, 31(1): 89 - 96.
- 姜在兴. 沉积岩石学(卷 4)[M]. 北京: 石油工业出版社, 2008.
- JIANG Zaixing. Sedimentary petrology[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2008.
- 夏日元, 唐建生. 鄂尔多斯盆地奥陶系古岩溶地貌及天然气富集特征[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(2): 133 - 136.
- XIA Riyuan, TANG Jiansheng. Ordovician Palaeokarst Landform in Ordos Basin and Gas Enrichment Characteristics[J]. Oil & Gas Geology, 1999, 20(2): 133 - 136.
- 代金友, 何顺利. 鄂尔多斯盆地中部气田奥陶系古地貌研究[J]. 石油学报, 2005, 26(3): 37 - 43.
- DAI Youjin, He Shunli. Ordovician paleokarst landform of Central Gas Field in Ordos Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2005, 26(3): 37 - 43.
- 李振宏, 王欣, 杨遂正, 等. 鄂尔多斯盆地奥陶系岩溶储层控制因素分析[J]. 现代地质, 2006, 20(2): 229 - 307.
- LI Zhenhong, WANG Xin, YANG Suizheng, et al. Analysis of Control Factors of Ordovician Karst Reservoir in Ordos Basin[J]. Geoscience, 2006, 20(2): 229 - 307.
- 何自新, 郑聪斌, 陈安宁, 等. 长庆气田奥陶系古沟槽展布及其对气藏的控制[J]. 石油学报, 2001, 22(4): 35 - 38.
- HE Zixin, ZHENG Congbin, CHEN Anning, et al. The Trench Distribution and Control of the Ordovician Karst Reservoir in Changqing Gas Field[J]. Acta Petrolei Sinica, 2001, 22(4): 35 - 38.
- 赵俊兴, 李捷, 卢涛, 等. 苏里格地区马五段储层控制因素与成藏规律[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2012, 39(4): 388 - 394.
- ZHAO Junxing, LI Jie, LU Tao, et al. Reservoir controlling factors and accumulation regularity of Member 5 of Majiagou Formation in Sulige region of Ordos basin, china[J]. Journal of Chengdu University of Technology, 2012, 39(4): 388 - 394.
- 杨俊杰. 鄂尔多斯盆地构造演化与油气分布规律[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002.
- YANG Junjie. The Tectonic Evolution and Petroleum Distribution of Ordos basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002.