

文章编号: 0253-9985(2006)03-0405-08

鄂尔多斯盆地奥陶系储层展布及勘探潜力

席胜利, 李振宏, 王 欣, 郑聪斌

(中国石油天然气股份有限公司 长庆油田公司 勘探开发研究院, 陕西 西安 710021)

摘要: 鄂尔多斯盆地奥陶系沉积时期, 处于“三隆两鞍两坳陷”的古构造格局。3个隆起在平面上呈“L”型展布, 共同控制着奥陶系的沉积相带, 并控制着不同类型储层的区域展布。奥陶系主要的储集类型包括东部坳陷的盐下储集体、古隆起斜坡带的风化壳岩溶储集体、古隆起鞍部的马家沟组四段白云岩储集体、古隆起西部的中奥陶统重力流储集体和古隆起南部斜坡带的生物礁储集体。风化壳岩溶是最有利的储集体, 在该储集体中目前已发现靖边大气田。其他 4 种类型储集体的勘探虽然还未取得实质性进展, 但结合储层特征及油气运聚分析, 仍存在较大的勘探潜力, 是开拓鄂尔多斯盆地地下古生界油气勘探新领域的关键所在。

关键词: 重力流; 生物礁; 膏盐岩; 风化壳; 奥陶系; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: TE112.2 **文献标识码:** A

Distribution and exploration potential of Ordovician reservoir in Ordos basin

Xi Shengli, Li Zhenhong, Wang Xin, Zheng Congbin

(Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Changqing Oilfield Company, PetroChina, Xi'an, Shaanxi 710021)

Abstract The Ordovician in Ordos basin had been deposited in a “three uplifts-two saddles-two depressions” paleotectonic framework. The three uplifts were horizontally distributed as the letter “L” and together controlled the sedimentary facies of Ordovician and the regional distributions of different types of reservoirs. The main reservoir types in Ordovician include sub-salt reservoirs in the eastern depression, residuum karst reservoir on the slope zone of the palaeohigh, dolomite reservoirs in the 4th member of Majiagou Formation on the saddle of the palaeohigh, Middle Ordovician gravity flow reservoirs in the western part of the palaeohigh, and bioherm or reef reservoirs on the southern slope zone of the palaeohigh. Among these reservoir types, the residuum karst reservoirs are the most favorable, and the large Jingbian gas field has been discovered in this reservoir type. Based on analysis of reservoir characteristics and hydrocarbon migration and accumulation, it is believed that the other 4 types of reservoirs still have relatively large exploration potentials, though no substantial progress has been made in exploration, thus they would be the key frontiers for exploration in the Lower Paleozoic in Ordos basin.

Key words gravity flow; bioherm; gypsum-halite; residuum; Ordovician; Ordos basin

鄂尔多斯盆地地下古生界的天然气勘探自 1989 年 6 月陕参 1 井的勘探成功以来, 主要集中于盆地中部, 勘探目的层是以靖边气田为代表的奥陶系顶部风化壳岩溶储层。伴随着勘探的进一步深入、天然气需求量的不断增大, 能否找到新的储集层系、开辟新的勘探领域显得至关重要。本文以鄂尔多斯盆地奥陶系的沉积格局为基础, 详细分

析了各储集层系的区域展布及特点, 并结合油气运聚探讨了其各自的勘探潜力。

1 奥陶系沉积格局

鄂尔多斯盆地奥陶系沉积时期, 存在着“三隆两鞍两坳陷”的沉积格局(表 1, 图 1)。三隆主要

收稿日期: 2005-12-31

第一作者简介: 席胜利(1965—), 男, 高级工程师、博士, 石油与天然气勘探
基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2001CB209104)

表 1 鄂尔多斯盆地奥陶系地层划分

Table 1 Stratigraphic division of Ordovician in Ordos basin

西部 (南部)				中东部				
地层				地 层				
系	统	组		段	组	统	系	
奥陶系	上统	背锅山组		缺失		上统	奥陶系	
	中统	蛇山组	龙门洞组			中统		
		公乌素组						
		拉什仲组	平凉组					
		乌拉力克组						
	下统	克里摩里组	三道沟组	马六段	峰峰组	下统		
		桌子山组	水泉岭组	马五段	马家沟组			
				马四段				
		三道坎组	麻川组	马三段				
				马二段				
				马一段				
				亮甲山组				
		缺失		冶里组				

指北部的伊盟隆起、西南部的中央古隆起以及东南部的韩城古隆起;二鞍主要指 3 个隆起之间的 2 个衔接部位;二坳陷主要指盆地东部的米脂坳陷以及盆地西、南部的秦祁海槽。这 3 个隆起在平面上组成了“L”型,共同控制着华北海、祁连海和秦岭海的分布,也控制着 3 个海域的联合与分

离,同时还控制着奥陶系沉积厚度的变化和沉积相带的展布。

奥陶纪初次海侵的冶里-亮甲山期,海侵方向由东南向西北,沉积范围仅限于鄂尔多斯地区的东、南缘^[1,2]。盆地东部的偏关冶里组剖面中发现的树笔石,柳林三川河剖面冶里组中发现的南方型三叶虫,从古生物方面提供了这一时期沉积古地理环境的证据^[3,4]。笔石在南方奥陶系地层中为代表性的古生物,岩性以页岩为主,故称笔石页岩相地层;北方则发育三叶虫及头足类古生物,岩性以灰岩及白云岩为主,而称介壳灰岩相地层。在北方地层中发现南方型的古生物,这说明冶里-亮甲山期华北海和秦岭海之间存在一定的连通性。而祁连海域没有涉及鄂尔多斯盆地主体,主要是由于中央古隆起-伊盟隆起的分隔作用。

马家沟(简称马)期是奥陶纪的又一次海侵。此时的海侵特征是 3 个海域同时发生海侵;只是由于 3 个隆起的存在,在不同时期它们分别起着沟通或分隔的作用。海侵初期马一期,在晋西一带的华北海底部有碎屑岩沉积,尽管很薄,但代表了海侵初期的沉积特征。祁连海的海域在盆地西北部的桌子山一带有数十米的碎屑岩沉积,南段仅是白云岩当中含有陆屑的石英颗粒。秦岭海域在盆地的南缘是由亮甲山组的燧石条带白云岩经风化残积的燧石角砾组成的泥砾岩。至奥陶纪马二、马三期(马二期是奥陶纪海侵的第一次高潮期),华北海海域的沉积是以潮坪白云岩及潮下坪

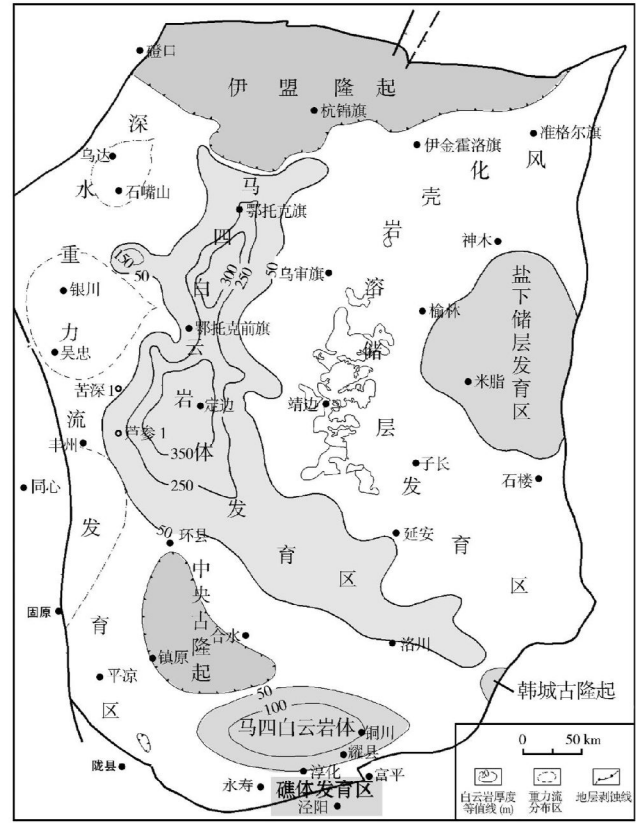


图 1 鄂尔多斯盆地奥陶系岩溶储层平面分布
Fig. 1 Plane distribution of Ordovician karst reservoirs in Ordos basin

灰岩为主,而祁连海和秦岭海始终是正常海的灰岩沉积。中央古隆起至韩城古隆起之间缺失马一、马二及马三段沉积,说明在这一时期两个隆起的存在阻隔了华北海与祁连海、秦岭海的沟通,从而形成了两个不同的沉积岩性区。马四期是奥陶纪海侵的第二次高潮,3个海域连成一片。虽然中央古隆起至韩城隆起之间沉积较薄,但已代表了3个海域连通后的产物。马四段以上的沉积,在华北海表现出海退的沉积序列,恢复了潮坪相的沉积,一直到早奥陶世末海水全部退出华北地区。祁连海域和秦岭海域仍为正常海相灰岩的沉积,而且继续接受中奥陶世和晚奥陶世的沉积,只是在沉积序列上表现为退覆式而已。由于古隆起的存在及其不同时期海侵、海退的作用,使鄂尔多斯地区奥陶系的沉积具有不同的沉积类型和不同的岩石分布区,为鄂尔多斯盆地奥陶系不同类型储层的平面展布奠定了基础。

2 储层平面展布及其特征

受古构造格局及不同时期沉积相带的控制,鄂尔多斯盆地奥陶系的储层类型主要包括东部米脂坳陷的盐下储集体、古隆起与米脂坳陷之间的风化壳岩溶储集体、古隆起鞍部的马四段白云岩储集体、中央古隆起西部的中奥陶世深水重力流储集体以及中央古隆起-韩城古隆起南部的生物礁储集体。

2.1 盐下储集体

鄂尔多斯盆地东部早奥陶世属膏盐湖沉积,奥陶纪马家沟期马一、马三、马五段是蒸发盐岩沉积的鼎盛时期,膏盐岩面积达 $5 \times 10^4 \text{ km}^2$ (图 2)。受气候和海平面变化的影响,膏盐湖沉积与潮坪沉积交替出现,从而形成了白云岩与膏盐岩相互夹持的剖面序列。马五段中下部、马四段上部、马三段、马二段中上部普遍发育准同生白云岩、重结晶白云岩级生物碎屑、鲕粒滩和风暴滩相残余颗粒白云岩等储集岩类。

白云岩储层以晶间孔、晶间溶孔、膏盐晶模孔、针状溶孔、斑状溶孔为主,并有成岩缝、构造缝、岩溶缝伴生。除斑状溶孔充填程度较高外,其他孔隙基本未充填或半充填,孔隙面孔率一般 $1\% \sim 6\%$,最高可达 $8\% \sim 10\%$ 。根据孔隙、裂缝的数量、产状及组合关系,可将膏盐岩下伏白云岩

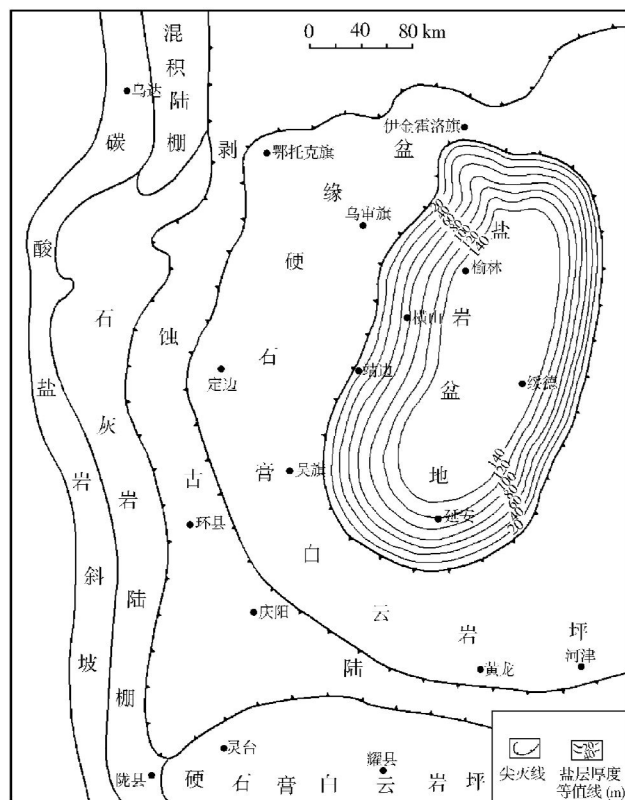


图 2 鄂尔多斯盆地奥陶系马三段沉积相

Fig. 2 Sedimentary facies of the third member of Ordovician Ma jiagou Formation in Ordos basin

储层分为孔隙型、裂隙-孔隙型和裂缝型 3 种类型。储层孔隙度一般为 $1\% \sim 8\%$,最高可达 13% 。

2.2 风化壳岩溶储集体

奥陶纪马五期,由于海退,岩相古地理呈现陆一坪一滩一海的四重格局。尤其是在膏盐湖的周缘,含膏云坪、云坪相广泛分布。在这些含膏云坪、云坪环境之中,由于准同生白云化作用,形成云坪型准同生白云岩。白云石为泥晶、粉晶结构,晶体之间缝合镶嵌接触,致密而均匀,孔隙结构不理想,储集性能较差。但由于在加里东抬升期,中部马五段准同生白云岩进入表生成岩环境,遭受风化、淡水溶蚀及膏盐矿物溶解。特别是中央古隆起的云坪相准同生白云岩分布区,古风化壳期位于靖边-志丹岩溶斜坡,岩溶发育,产生丰富的溶蚀孔、洞、缝及铸模孔、晶间溶孔、风化裂缝,可以形成裂缝-溶孔型、晶间孔型储层。因此盆地东部膏盐湖周缘,特别是毗邻中央古隆起一侧的云坪型准同生白云岩分布区为风化壳岩溶储层发育的有利区域 (图 3)^[5~12]。

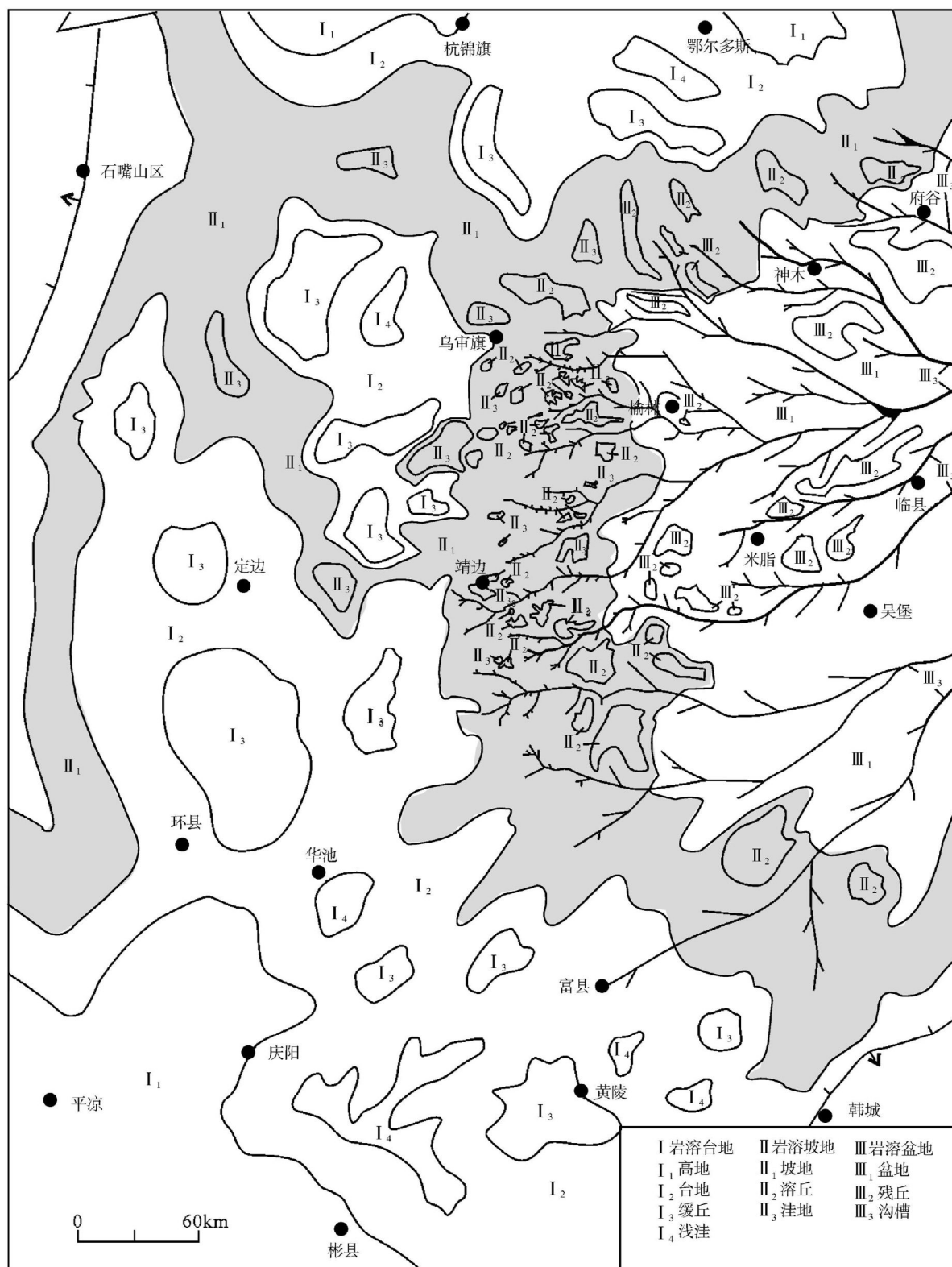


图 3 鄂尔多斯盆地奥陶纪岩溶古地貌划分

Fig. 3 Ordovician paleokarst geomorphology in Ordos basin

2.3 马四段白云岩储集体

鄂尔多斯盆地奥陶系沉积时期处于“三隆两鞍一坳陷”的沉积格局, 古隆起鞍部受频繁海水进

退的影响, 白云岩体发育。特别是天环坳陷北段白云岩体, 南北长约 200 km, 东西宽约 40 ~ 80 km, 总面积约 10 000 km², 呈现出一个超大型储集体的轮廓。对于这一特殊白云岩体的成因,

目前主要认为是混合水白云岩化和后期的热水改造作用。混合水白云岩化主要是由于当斜坡相的地层沉积时,古隆起处于暴露状态,自然降水沿着斜坡下降,在鞍部与海水混合。这种混合水的离子强度减弱, Ca^{2+} / Mg^{2+} 比降低,从而促使灰岩白云岩化。天环北段处于祁连海和北海联通的枢纽地带,自然是混合水白云岩化发育的理想区域。白云岩化过程中,以海洋渗透水、潜流水为主体,兼及陆海的回流渗透水的影响,具有多期次、多旋回、多类型的特征。热水白云岩化主要是由于后期深埋藏期的改造作用。天环北段紧邻西缘断褶带,后期构造活动强烈,断裂发育。断裂活动沟通了深部的热水和浅部的冷水,致使交代白云岩的发生。大量冷、热水水质分析结果资料表明, Ca^{2+} 与 Mg^{2+} 的运移总是随地下水的流动而流动。当水温在 45°C 以上时, Ca^{2+} 的含量随水温升高而升高, Mg^{2+} 的含量则趋向于稳定在一定范围内。由于地层深部的热水和浅部的冷水因比重的不同和在静压力作用下而产生对流,上部的冷水把大量从泥质岩层中粘土矿物转换(蒙脱石相变为伊利石)和压实、压溶等成岩作用释出的 Mg^{2+} 带到深部,而深部的热水又把大量 Ca^{2+} (富 Ca^{2+} 热卤水和石膏溶解的 Ca^{2+}) 带到浅部。对流作用长期进行,总的趋向是下部(老)地层贫 Ca^{2+} 、富 Mg^{2+} ,上部(新)地层则多 Ca^{2+} 、少 Mg^{2+} 。根据铸体薄片鉴定和岩心分析,白云岩面孔率可达 $3\% \sim 9\%$,基质孔隙度可达 $4\% \sim 13\%$ 。经过各种裂缝沟通后,白云岩具有极高的孔渗能力。

2.4 深水重力流储集体

位于中央古隆起至韩城古隆起的西、南斜坡脚下,为深水沉积物。沉积物主要为粘土岩及碎屑岩、浊流、重力流、等深流的沉积体。目前,在西缘中奥陶统的地层中发现 3 个海底扇沉积体系,即桌子山、同心和石板沟海底扇;在平凉地区中奥陶统地层中发现了等深流沉积体。桌子山及贺兰山海底扇已经出露于地表,对油气勘探无实际意义。而同心和石板沟海底扇已经延伸到天环坳陷之内,对西部的油气勘探将具有现实的意义。芦参 1 井、苦深 1 井的资料证明了海底扇的客观存在。芦参 1 井砂岩厚 286 m,没有夹层,是一个完整的砂岩块体,岩性为灰色、浅灰色灰质或含灰质粉砂岩及细砂岩,碎屑中石英含量 $36\% \sim 70\%$,岩

屑 $2\% \sim 26\%$,长石微量 (1%),颗粒呈次圆状、分选中等,基底-孔隙型 Ca 质和粘土胶结,致密。向北至苦深 1 井,砂体变薄,厚 112 m,而且其间夹有泥质灰岩和砂质泥岩的夹层,不再是一个完整的砂岩块体,于井深 3 923 ~ 3 927 m 气测全烃含量 $3\,765 \times 10^{-6} \sim 22\,781 \times 10^{-6}$ 、甲烷含量 $3\,600 \times 10^{-6} \sim 21\,794 \times 10^{-6}$,井深 2 924 ~ 2 925 m 取心结果裂缝及溶洞发育,但多为方解石充填,综合解释为裂缝段。南面的环县石板沟剖面,砂岩体已经解体成砂页岩的互层,单个砂体最厚也仅有 22 m,岩石性质基本近似,为灰、黄绿色细层,石英含量 $45\% \sim 65\%$,灰岩、泥岩、粉砂岩、千枚岩的岩屑占 $12\% \sim 36\%$,长石、云母少量,泥、灰质胶结。从以上资料来分析,海底扇进入覆盖区的主体在芦参 1 井一带,也就是说,该海底扇的砂岩体以芦参 1 井为中心继续向盆地内部延伸。砂体的延伸方向和砂体所处的位置决非偶然的,是与奥陶系沉积时西部沉积盆地向台地内延伸的深洼槽相对应,二者的走向也基本一致。

2.5 生物礁储集体

中央古隆起-韩城古隆起的南斜坡是一个先缓而后变陡的斜坡。该斜坡由早奥陶世演化到中奥陶世,由缓变陡的特征最明显。众所周知,中奥陶统平凉组是以页岩而著称,而在该斜坡则是石灰岩沉积,成厚层至块状,成份纯。这种石灰岩需要的沉积条件是“清、浅、暖”。只有在缓坡的情况下才具备这种条件。在缓坡的下倾方向陡坡至坡脚一带就已经被碎屑岩所替代了。如渭北的中奥陶统碳酸盐岩台地,到永寿县一带坡度变陡,沉积物由碳酸盐岩而逐渐被碎屑岩所代替。此区的碳酸盐岩储集层由于近隆起核部是缓坡,退覆带较宽,由古隆起渗流下来的自然降水与海水混合,促使灰岩白云岩化。另一方面,上倾方向具备“清、浅、暖”的碳酸盐岩台地。这种台地适宜生物的生长,尤其是在碳酸盐岩台地的陡缓变化带上,因不断承受广海海水的冲击,海水新鲜,营养丰富,适宜造礁生物的生长,有可能在这种陡缓斜坡的变化带上找到生物礁型油气藏。在渭北地区中奥陶统碳酸盐岩地层中,见有大量的由礁体上垮落下来的珊瑚块体,这足以证明斜坡上曾有过礁体的形成。

3 油气勘探潜力分析

鄂尔多斯盆地奥陶系的 5 种主要储集体,除了在风化壳岩溶体系中已经找到了靖边大气田外,其他 4 种储集类型都还没有获得突破。但从生储盖体系来看,它们仍存在较大的勘探潜力,是

盆地下古生界天然气勘探取得进一步突破的关键所在。

3.1 盐下储集体

从国外盐下油气藏的研究来看,不少研究者用“流体封存箱”理论解释了生、储、盖一体化的成藏组合系统^[13~15]。这一理论认为:在盐下通常容

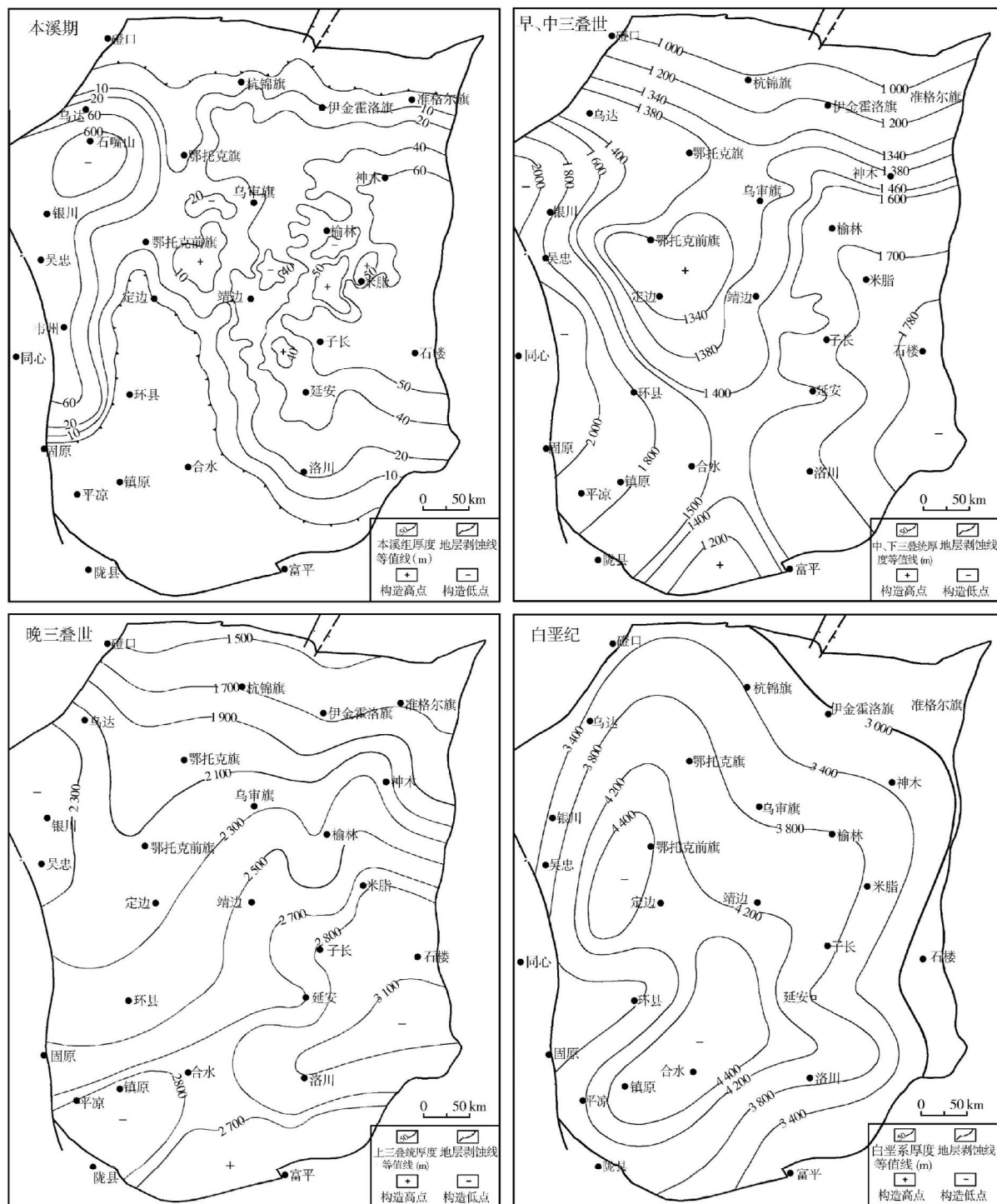


图 4 鄂尔多斯盆地奥陶系顶面构造演化

Fig. 4 Diagram showing structural evolution on top of Ordovician in Ordos basin

易形成多个独立的水文地质体系,每个体系常构成立体的成岩封闭体系,也就是生、储、盖一体化体系。因其顶、底板和边板由膏盐岩和致密岩组成,其间的碳酸盐岩即是生烃层又是储集层,从而形成自生自储型储集体系。一般箱内流体与箱外流体不发生交换,常在箱内形成异常压力,促使箱内流体对流,并在温、压相对较低的顶部导致烃类析出而成藏。鄂尔多斯盆地东部盐下碳酸盐岩与膏盐岩组合,具有形成流体封存箱的地质条件。巨厚的盐层是良好的封盖层,可作为箱体的顶、底板;盐间碳酸盐岩是有利的生储岩系。该区同一深度的地层静压力比其他井区高出 10 MPa,显示出盐下具有异常压力的存在。盐下含水层多为盐度较高的水,物化特征与盐上具有明显的差异,表明存在着不同的水力系统。由此可以认为,该区具备形成“流体封存箱”的条件,具有良好的天然气勘探前景。

3.2 马四段白云岩体

鄂尔多斯盆地奥陶系沉积后,经历了长达 1 亿多年的沉积间断,形成了一广泛分布的风化壳型不整合面。这一不整合面是后期油气运移的有利通道。奥陶系顶面在后期的演化过程中,其起伏形态主要经历了 3 个阶段,即石炭纪本溪期一早中三叠世的中部高、东西低阶段、晚三叠世一早侏罗世的西北高、东南低阶段和中晚侏罗世—现今的东部高、西部低阶段(图 4)。根据有机质热演化模拟研究,鄂尔多斯盆地石炭—二叠系煤系烃源岩开始排烃的时间大约为晚三叠世,与当时构造起伏形态相配套。早期生成的油气主要向盆地西北部运移,马四段白云岩体是油气初始运聚的有利相带。后期由于构造面貌的变化,位于白云岩体中的油气必然发生调整向盆地东部运移。但只要具有好的圈闭条件,该区域仍是寻找整装高产大气田的主要区带。

3.3 深水重力流

芦参 1 井海底扇的存在,将会在西部增加一个新的天然气勘探领域。这不仅仅是它延伸到台地内,更重要的是它发育于泥质岩中的向东倾伏的砂岩块体,也是一个独立的圈闭体。另外,平凉中奥陶统的等深流出露于地表,但由平凉向东北

随即进入覆盖区,也同样对盆地西南部的油气勘探有重要的意义。

3.4 生物礁

生物礁的孔隙类型主要包括生长的骨架孔隙、受溶解作用增大的孔隙,特别是礁体出露水面受淡水淋滤而形成的孔隙。鄂尔多斯南部中奥陶世台缘生物礁滩东起铜川,经耀县、淳化,西至永寿。在铜川、耀县露头剖面见生物礁顶部恰好位于加里东风化壳部位,生物礁中混合水及压实流体白云石化白云岩受古岩溶改造,多溶蚀孔洞。铜川至淳化的礁带已暴露,而淳化至永寿一带的礁及其北侧的礁后滩仍深埋地腹,受古岩溶改造的礁顶部白云岩段可作为勘探目标^[16~19]。

4 结论

鄂尔多斯盆地奥陶系的古构造格局控制了沉积相带的展布,从而控制了不同类型储层的区域分布。风化壳岩溶主要发育于古隆起斜坡带,是最有利的储集体,目前在储集体中已经找到了靖边大气田。盐下储集体、马四段白云岩储集体、深水重力流储集体以及生物礁型储集体是潜在的储集层系,具有良好的勘探潜力,是下一步进行区域勘探的重点。

参 考 文 献

- 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,1998:1~144
Feng Zengzhao, Bao Zhidong, Zhang Yongsheng et al. Stratigraphy and rocks and lithofacies palaeogeography of Ordovician in Ordos basin[M]. Beijing Geological Publishing House, 1998: 1-144
- 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,1991:5~120
Feng Zengzhao, Chen Jixin, Zhang Jisen. Lithofacies palaeogeography of Early Paleozoic of Ordos[M]. Beijing Geological Publishing House, 1991: 5-120
- 张文堂.华北及东北南部早及中寒武世三叶虫的分类及新属、新科的记述[J].古生物学报,1963,4(4):3~47
Zhang Wentang. A classification of the Lower and Middle Cambrian trilobites from north and northeastern China with description of new families and new Genera[J]. Acta Palaeontologica Sinica, 1963, 4(4): 3-47

- 4 孙肇才, 谢秋元. 叠合盆地发展特征及其含油气性——以鄂尔多斯盆地为例 [J]. 石油实验地质, 1980, 6(1): 14~22
Sun Zhaocai, Xie Qiuyuan. Evolutional characteristics of complex basins and their hydrocarbon potentials—the Ordos basin as an example [J]. Petroleum Geology & Experiment, 1980, 6(1): 14~22
- 5 贾振远, 蔡忠贤, 肖玉茹. 古风化壳是碳酸盐岩一个重要的储集层(体)类型 [J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1995, 20(3): 283~289
Jia Zhenyuan, Cai Zhongxian, Xiao Yuru. Palaeoweathering crust—an important reservoir (body) type of carbonate rocks [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1995, 20(3): 283~289
- 6 郑聪斌, 冀小林, 贾疏源. 陕甘宁盆地中部奥陶系风化壳古岩溶发育特征 [J]. 中国岩溶, 1995, 14(3): 280~288
Zheng Congbin, Ji Xiaolin, Jia Shuyuan. Palaeokarst features of Ordovician weathering crust in the center of Shangannan basin [J]. Carsologica Sinica, 1995, 14(3): 280~288
- 7 郑聪斌, 王飞雁, 贾疏源. 陕甘宁盆地中部奥陶系风化壳岩溶及岩溶相模式 [J]. 中国岩溶, 1997, 16(4): 351~361
Zheng Congbin, Wang Feiyan, Jia Shuyuan. Karst rock of weathered crust of Ordovician and its karstification mode in central Shangannan basin [J]. Carsologica Sinica, 1997, 16(4): 351~361
- 8 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. Distributive configuration of ancient valley-trough on Ordovician erosion surface in Changqing gas field and its control over gas accumulations [J]. Acta Petrolei Sinica, 2001, 22(4): 35~38
- 9 拜文华, 吕锡敏, 李小军, 等. 古岩溶盆地岩溶作用模式及古地貌精细刻画——以鄂尔多斯盆地东部奥陶系风化壳为例 [J]. 现代地质, 2002, 16(3): 292~298
Bai Wenhua, Lu Xinyu, Li Xiaojun, et al. The mode of palaeokarstification and the fine reconstruction of the palaeogeomorphology in the karst basin—taking Ordovician karst in eastern Ordos basin for example [J]. Geoscience, 2002, 16(3): 292~298
- 10 夏日元, 唐建生, 关壁珠, 等. 鄂尔多斯盆地奥陶系古岩溶地貌及天然气富集规律 [J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(2): 133~136
Xia Riyuan, Tang Jiansheng, Guan Bizhu, et al. Ordovician palaeokarst landform in Ordos basin and gas enrichment characteristics [J]. Oil & Gas Geology, 1999, 20(2): 133~136
- 11 袁志祥. 鄂尔多斯盆地塔巴庙地区奥陶系风化壳岩溶相特征 [J]. 成都理工学院学报, 2002, 29(3): 279~284
Yuan Zhixiang. Characters of karst facies of the Ordovician weathered crust of Tabamiao area in Ordos basin [J]. Journal of Chengdu University of Technology, 2002, 29(3): 279~284
- 12 李振宏, 郑聪斌. 古岩溶演化对油气储集空间的影响——以鄂尔多斯盆地奥陶系为例 [J]. 天然气地球科学, 2004, 15(3): 247~252
Li Zhenhong, Zheng Congbin. Evolution process of palaeokarst and influence to reservoir—a case for Ordovician of Ordos basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2004, 15(3): 247~252
- 13 王宝清, 徐论勋. 山西兴县奥陶系碳酸盐岩岩溶储层特征 [J]. 石油与天然气地质, 1994, 15(4): 299~307
Wang Baoqing, Xu Lunxun. Characteristics of Ordovician carbonate karst reservoir in Xingxian, Shanxi [J]. Oil & Gas Geology, 1994, 15(4): 299~307
- 14 范嘉松. 世界碳酸盐岩油气田的储层特征及其成藏的主要控制因素 [J]. 地学前缘, 2005, 12(3): 23~30
Fan Jiasong. Characteristics of carbonate reservoirs for oil and gas fields in the world and essential controlling factors for their formation [J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12(3): 23~30
- 15 吕修祥, 金之钧. 碳酸盐岩油气田分布规律 [J]. 石油学报, 2000, 21(3): 8~12
Lu Xixiang, Jin Zhijun. Distribution patterns of oil-gas fields in the carbonate rock [J]. Acta Petrolei Sinica, 2000, 21(3): 8~12
- 16 宋来明, 彭仕宓, 穆立华, 等. 油气勘探中的碳酸盐岩古岩溶研究方法综述 [J]. 煤田地质与勘探, 2005, 33(3): 15~18
Song Laiming, Peng Shirui, Mu Lihua, et al. Methods of carbonate paleokarst investigation in the oil and gas exploration [J]. Coal Geology & Exploration, 2005, 33(3): 15~18
- 17 蒲仁海, 徐怀大. 鄂尔多斯盆地奥陶系丘形反射的解释及其与礁的关系 [J]. 地质论评, 1998, 44(5): 522~527
Pu Renhai, Xu Huaida. Interpretation of seismic reflection mounds in Ordovician carbonate rocks and its relation to reefs in the Ordos basin [J]. Geological Review, 1998, 44(5): 522~527
- 18 吴熙纯, 李培华, 金香福, 等. 鄂尔多斯南部奥陶系古岩溶带对天然气储层的控制 [J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(4): 294~299
Wu Xichun, Li Peihua, Jin Xiangfu, et al. Control of Ordovician paleokarst zones in south Ordos on gas reservoirs [J]. Oil & Gas Geology, 1997, 18(4): 294~299
- 19 董兆雄, 赵敬松, 方少仙. 鄂尔多斯盆地南部奥陶纪末端变陡缓坡沉积模式 [J]. 西南石油学院学报, 2002, 24(1): 50~54
Dong Zhaoxiong, Zhao Jingsong, Fang Shaoxian. Sedimentary models of distally steepening ramp of Ordovician in southern Ordos basin [J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2002, 24(1): 50~54

(编辑 李 军)