

鄂尔多斯盆地中东部奥陶系马家沟组 天然气成藏特征及勘探潜力

王禹诺¹, 任军峰^{2,3}, 杨文敬^{2,4}, 赵伟波^{2,3}, 丁雪峰^{2,4}, 黄正良^{2,3}

(1 中国地质大学(北京); 2 低渗透油气田勘探开发国家工程实验室)

(3 中国石油长庆油田公司勘探开发研究院; 4 中国石油长庆油田公司)

摘要 通过对鄂尔多斯盆地中东部奥陶系马家沟组沉积特征及源储配置关系的研究,分析了古隆起的演化对储层发育及天然气聚集的宏观控制作用,提出储层旋回性的发育及其与上古生界煤系烃源岩较好的源储配置关系,是形成多层系含气并在奥陶系顶部风化壳大面积天然气聚集的主要原因,同时认为下古生界海相烃源岩仍然具有一定的生烃能力,强调了奥陶系生成的天然气垂向或侧向运移对马家沟组中下组合成藏的重要性,预测中下组合中的构造-岩性复合圈闭勘探潜力大,是近期盆地地下古生界海相碳酸盐岩勘探的重要方向和接替领域。

关键词 鄂尔多斯盆地; 奥陶纪; 马家沟组; 碳酸盐岩储层; 天然气成藏; 成藏特征

中图分类号: TE122.3^{*1}

文献标识码: A

1 引言

鄂尔多斯盆地作为我国第二大沉积盆地,它是在太古代—古元古代结晶基底的基础上发展而来的多旋回叠合的克拉通盆地,早古生代寒武纪—奥陶纪沉积了广泛的海相碳酸盐岩地层。上世纪90年代在盆地中部奥陶系马家沟组发现并探明靖边气田,揭开了盆地下古生界海相碳酸盐岩天然气勘探的序幕。随着勘探及地质研究的持续深入,在奥陶系马家沟组已经发现了上、中、下三套含气组合^[1],上组合含气层为马家沟组五段1亚段至4亚段(简称马五₁₋₄亚段),中组合含气层为马五₅₋₁₀亚段,下组合含气层为马家沟组四段(简称马四段)—马家沟组一段(简称马一段)(图1),特别是近年来以中组合晶间孔型白云岩储层为代表的新层系勘探不断取得进展,含气范围也不断扩大,预计新增储量规模超千亿立方米,已经成为盆地碳酸盐岩天然气勘探新的接替层系。截至2014年底,鄂尔多斯盆地奥陶系已累计探明天然气地质储量逾6 500亿立方米,展现了盆地海相碳酸盐岩层系良好的勘探潜力。

本文拟从盆地中东部奥陶系基本成藏特征的系

统研究入手,以分析多种储集体的成因及分布规律为切入点,并关注奥陶系自身海相烃源岩的生烃潜力,重点分析马家沟组中下组合天然气成藏特征和有利成藏圈闭类型,指明下一步勘探方向,以期能对盆地中东部奥陶系天然气勘探部署有所启示。

2 区域地层发育特征

鄂尔多斯盆地自下而上发育元古界、古生界、中生界和新生界,沉积岩平均厚度约6 000 m,下古生界发育海相碳酸盐岩沉积建造,上古生界—中生界发育海陆过渡相—陆相碎屑岩沉积建造。在早古生代奥陶纪,由于近南北向中央古隆起(也称西部古隆起)的分隔作用,使得盆地西部与盆地中东部属祁连海和北海两大海域,地层发育特征存在显著的差别。盆地中东部主要发育下奥陶统冶里组、亮甲山组和马家沟组,以浅水碳酸盐岩台地相的白云岩及石灰岩沉积为主,而且由于后期遭受剥蚀,大部分地区顶部均出露马五段白云岩,仅局部地区残留马家沟组六段(简称马六段)石灰岩(图1);而盆地西部奥陶纪地层发育齐全,中下奥陶统主要为碳酸盐岩台地相和深水碳酸盐岩斜坡相的石灰岩及泥灰岩的沉积。

收稿日期: 2014-03-18; 改回日期: 2015-06-15

本文受“十二五”国家重大科技专项课题“鄂尔多斯盆地海相碳酸盐岩油气资源潜力、有利勘探区带评价与目标优选研究”(编号: 2011ZX05004-006)资助

王禹诺: 1991年生,中国地质大学(北京)地球科学与资源学院在读硕士研究生。通讯地址: 100083 北京市海淀区学院路29号; E-mail: 940419884@qq.com

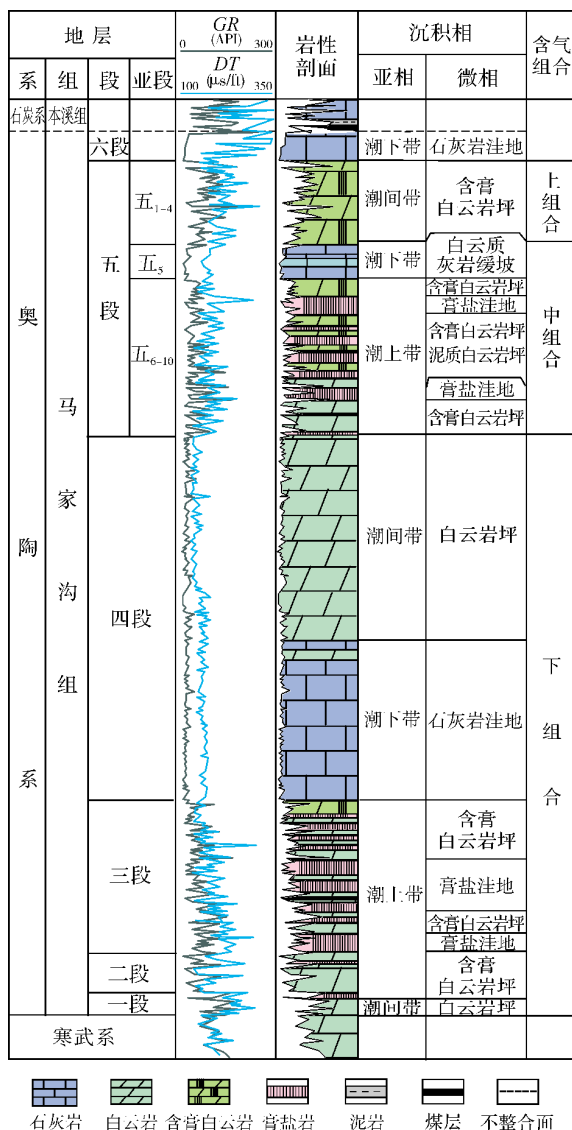


图1 鄂尔多斯盆地中东部奥陶系地层柱状图

中东部的下奥陶统马家沟组是盆地主要的海相碳酸盐岩含气层位,可划分为六个岩性段,其中马一段、马三段和马五段为膏质白云岩与膏盐岩发育段,马二段、马四段和马六段为石灰岩和白云岩发育段(图1)。马五段自上而下进一步划分为10个亚段,其中上组合的马五₁₋₂和马五₄亚段是靖边风化壳大气田的主力产层,而中组合马五₅₋₁₀亚段已经发现了局部高产的岩性圈闭气藏,有望形成新的接替层系。

3 烃源岩条件

勘探及研究表明,鄂尔多斯盆地的奥陶系天然

气来源于两套不同的烃源岩,一套为上古生界石炭系—二叠系海陆过渡相煤系烃源岩,另一套为下古生界海相碳酸盐岩烃源岩,这两套烃源岩对盆地奥陶系天然气成藏的贡献有所不同。

3.1 上古生界石炭系—二叠系海陆交互相煤系烃源岩

晚古生代晚石炭世—二叠纪,鄂尔多斯盆地在陆表海背景上沉积了近海平原海陆过渡相—陆相含煤碎屑岩沉积建造,地层中的煤层累计厚度一般为10~30 m,已有实验分析显示其有机碳含量达70.8%~83.2%^[2],分布范围广且厚度稳定,生烃能力强,是一套优质烃源岩,在晚侏罗世—早白垩世末期达到生排烃高峰,生气强度为 $(10\sim40)\times10^8\text{ m}^3/\text{km}^2$ 。从该套烃源岩的生烃强度平面分布图(图2)中可以看出,在盆地中东部存在两个强生烃中心,东部强生烃中心位于米脂—延川一带,西部强生烃中心位于定边—华池一带。奥陶纪末期,由于鄂尔多斯盆地整体抬升,遭受了约1.3亿年风化剥蚀,奥陶纪地层由东向西逐层向下剥蚀,至中央古隆起区则已剥蚀至马家沟组下组合,由此造成马家沟组上、中、下组合的不同层系依次与上古生界石炭系—二叠系煤系烃源岩直接接触,从而形成良好的上生下储的源储配置关系。此外,盆地中东部的马家沟组上组合及中央古隆起附近的中下组合已发现气藏的天然气成分主要为甲烷,且天然气的碳同位素普遍偏重,大部分样品 $\delta^{13}\text{C}_1$ 分布在 $-35\text{‰}\sim-31\text{‰}$,这些特征与上古生界苏里格气田的天然气特征高度相似,说明在上述地区,奥陶系不同层系中成藏的这部分天然气主要源自上古生界石炭系—二叠系煤系烃源岩^[2]。

3.2 下古生界奥陶系海相烃源岩

自靖边气田发现后,针对鄂尔多斯盆地下古生界生烃能力的研究较多^[3-10],但争议也较大。近年来,随着勘探的逐渐深入,在中央古隆起东侧远离奥陶系风化壳的马家沟组中下组合也相继获得好的含气显示,例如盆地东部的龙探1井及统74井(位置见图3)产气层段距奥陶系风化壳顶面近300 m,且中间被厚达百米左右的膏盐岩所分隔,天然气碳同位素明显偏轻,样品 $\delta^{13}\text{C}_1$ 主要分布在 $-40\text{‰}\sim-38\text{‰}$,表明为海相成因的天然气^[11],这个特征促使研究者对盆地奥陶系海相烃源岩进行了重新认识^[12-14]。

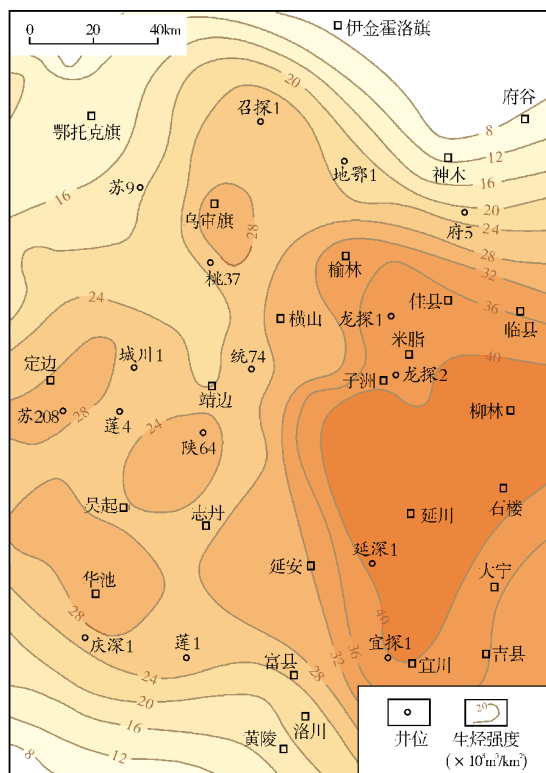


图2 鄂尔多斯盆地中东部上古生界烃源岩生烃强度(据文献[2])

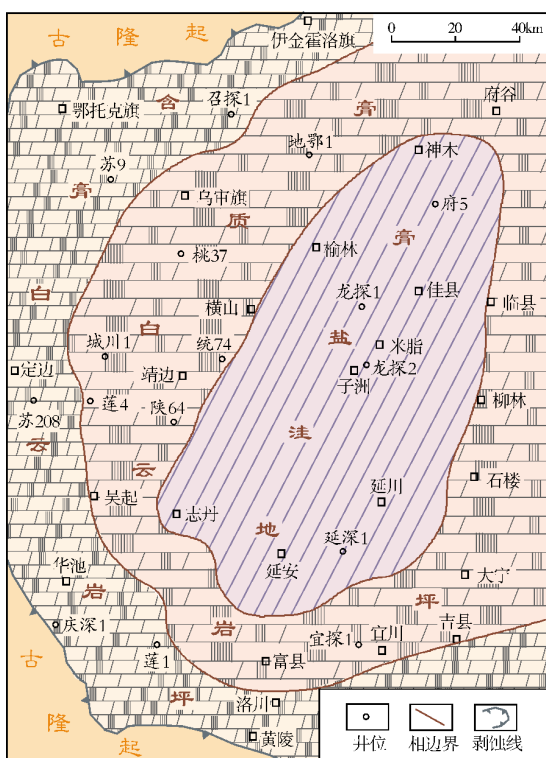


图3 鄂尔多斯盆地中东部奥陶系马家沟组三段沉积相图

盆地中东部马五段、马三段及马一段均为海退旋回沉积(图3),在研究区东部米脂地区发育缺氧、强还原环境的膏盐洼地,环盐洼地周缘则发育含藻类泥质白云岩及膏质白云岩沉积,这有利于形成有机质丰度较高的海相烃源岩层,而且,由于马家沟组沉积期频繁短周期的海侵—海退变化,造成了这种有利烃源岩发育层段在纵向上多层叠置出现。对于马家沟组的烃源岩条件分析已经有大量的数据,其中也不乏大量TOC大于1%的数据,但是受盆地长期集中于风化壳气藏勘探所局限,这些数据的利用大多针对的是马家沟组顶部马五₁₋₄亚段,它们与上古生界煤系地层距离一般不超过80m。因此,为避免此前样品采集层段的局限性,本次研究中主要选取的样品都来自马家沟组中下组合,且部分地层上覆的为膏岩层,这些数据的获取同时也是得益于近年来盆地的勘探逐渐向深层拓展,已经有大量探井钻遇或钻穿了马家沟组中下组合。有机质丰度统计表明,靖边西侧及米脂膏盐洼地周边地区发育奥陶系海相烃源岩,岩性以泥岩、膏质白云岩、泥质白云岩为主,有机碳含量一般为0.3%~1.68%,其中大于0.5%的样品超过30%,单层厚度一般为1~3m,累计烃源岩厚度10~20m(图4),具有一定的生烃能力。燕山运动末期该套烃源岩达到生排烃高峰期,生气强度为 $(1\sim23)\times10^8\text{m}^3/\text{km}^2$ 。从该套烃源岩的生烃强度平面图(图5)中可以看出,在盆地中东部存在两个生烃中心,北部生烃中心位于乌审旗一带,南部生烃中心位于志丹一带。该套烃源岩产生并排出烃类后,垂向或侧向运移至马家沟组中下组合的白云岩储层中,便可形成自生自储型天然气藏。

4 主要储集体类型

鄂尔多斯盆地奥陶系为一个完整的海侵—海退的沉积旋回,具有缓慢海侵、快速海退的特点。自早奥陶世冶里期—亮甲山期海侵开始,马家沟组表现为振荡性海侵—海退,晚奥陶世快速海退,盆地内部抬升为陆。由于马家沟组反复振荡的海侵—海退,形成了马一段、马三段和马五段海退旋回的蒸发台地相沉积和马二段、马四段和马六段海侵旋回的开阔台地相沉积。

马家沟组沉积的这种旋回性特点在马五时表现得非常显著,马五段根据其沉积特点与岩性组合可以自上而下划分为10个亚段,其中马五₅、马五₇、马五₉均

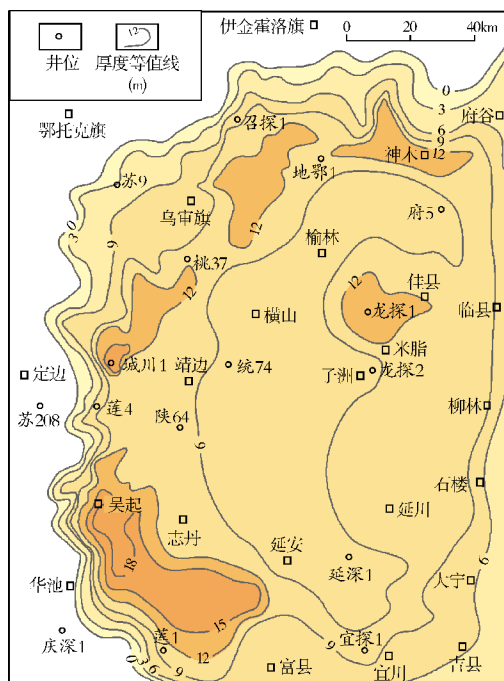


图 4 鄂尔多斯盆地中东部马家沟组中下组合中
烃源岩厚度图

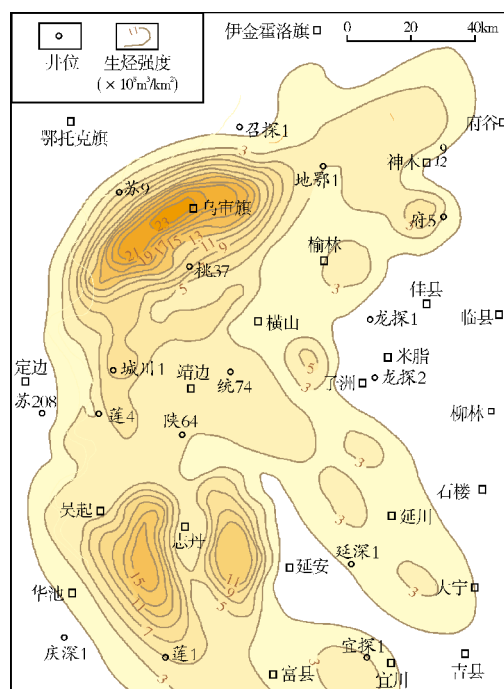


图 5 鄂尔多斯盆地中东部奥陶系烃源岩生烃强度图

为短期海侵沉积,岩性以厚层石灰岩、白云岩为主,而马五₄、马五₆、马五₈、马五₁₀为海退旋回,膏盐岩、含膏白云岩发育,纵向上表现为膏盐岩沉积旋回与

碳酸盐岩沉积旋回交替出现的特征。马家沟组纵向上的沉积旋回性特点有利于形成岩溶风化壳型及白云岩晶间孔型储集体,这为中东部地区多套含气组合的叠置发育奠定了基础。

4.1 马家沟组上组合风化壳溶孔型储层

马家沟期,由于近南北向展布的中央古隆起的分隔作用,加之这一时期气候干旱炎热,造成盆地东部凹陷区为蒸发盐盆,围绕着它,呈环带状发育了膏质白云岩坪、含膏白云岩坪(现今可以在马五段中见到大量的硬石膏结核以及板条状石膏晶体被溶蚀后所残留的孔隙)和环陆泥质白云岩坪沉积。马五₁₋₄沉积期,含硬石膏白云岩坪相带在盆地中部靖边地区近南北向展布,分布面积可达上万平方米,岩性以泥—细粉晶白云岩为主,并普遍含硬石膏结核等易溶矿物,分布范围基本与加里东风化壳期岩溶斜坡位置一致,该套地层经历风化壳期的淋滤溶蚀,易形成溶蚀孔洞型储层(图6a)。而且由于含膏层段的成层性好,形成的储层段平面上分布连续、稳定,这为风化壳气藏大面积的形成奠定了基础^[15]。

4.2 马家沟组中下组合白云岩晶间孔型储层

在马五段马五₅、马五₇、马五₉亚段所对应的海侵阶段,古隆起东侧水体较浅,形成了台内滩相的以颗粒灰岩沉积为主的浅水台地环境;在马五₆、马五₈、马五₁₀亚段所对应的海退阶段则处于蒸发环境,由于古隆起的间歇性暴露,来源于古隆起方向的大气淡水与来自东部膏盐洼地的富Mg²⁺流体在古隆起东侧地区混合,形成混合水白云石化环境,使得白云岩晶间孔发育(图6b)而有利于形成白云岩储层^[16]。同时,在马一段、马三段及马五₆、马五₈、马五₁₀亚段的膏盐岩发育段,由于发育含膏白云岩,所以,当上部地层被剥蚀,遭受了类似的风化淋滤作用、或者经历深部流体的溶蚀之后,也可形成与奥陶系顶部马五₁₋₄亚段类似的膏盐矿物溶蚀形成的溶模孔型储集体。

此外,马家沟组下组合马二段、马四段沉积时均处于盆地的海侵期,在靖西地区发育了与马五₅亚段类似的浅水台地颗粒滩相沉积,并形成了类似的混合水白云石化环境,这样,在白云石化及多期次多类型的岩溶作用下易于形成白云岩晶间孔型储层。

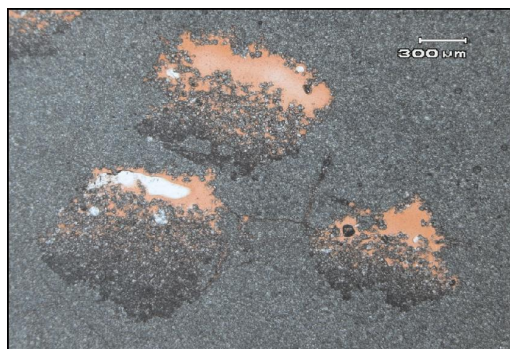


图6 鄂尔多斯盆地奥陶系马家沟组白云岩储层特征

5 主要成藏圈闭类型

如前所述,上古生界煤系烃源岩是奥陶系马家沟组上组合风化壳和靖边气田西侧马家沟组中组合成藏的主要气源,它与受到加里东期风化剥蚀的地层(呈现向古隆起方向的逐层接触的形式)构成上生下储的成藏组合,从而发育两种主要的圈闭类型^[17-19]。同时由于奥陶系自身烃源岩的贡献,在盆地东部远离奥陶系顶部风化壳的马家沟组中下组合,则发育受海相烃源岩供气的自生自储型岩性圈闭。

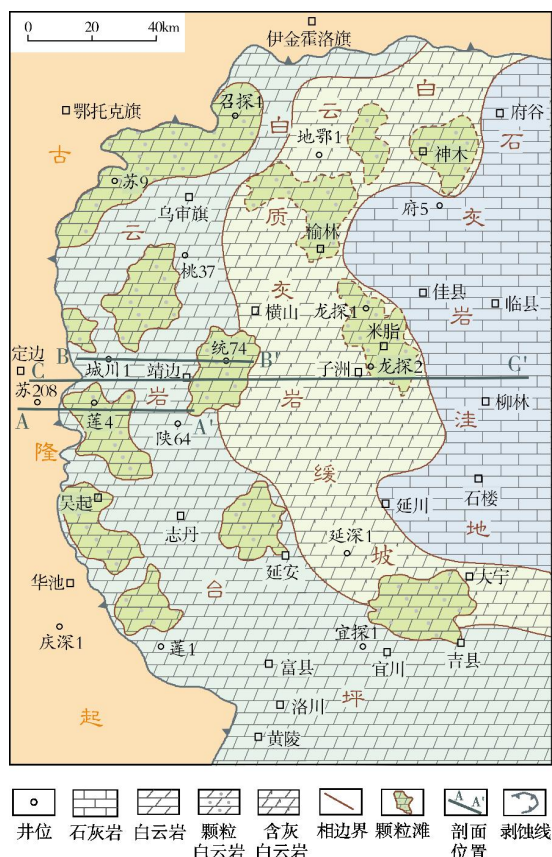
5.1 奥陶系顶部风化壳“垂向运移、沟槽遮挡”的上生下储型地层圈闭

奥陶系马家沟组上组合马五₁₋₄亚段以风化壳储层为主,它们与上覆的石炭系—二叠系煤系烃源岩地层直接接触,故此时的圈闭受古地貌形态、古沟槽切割及充填封堵等因素所控制。风化壳储层成层性好,而且横向上连通性好、大面积连片分布,上覆的石炭系铝土质泥岩是其直接盖层。另外,在晚燕山期东高西低的古构造格局下,马家沟组上组合马五₁₋₄亚段中发育的古侵蚀沟槽构成风化壳储层上倾方向

的致密遮挡,从而形成岩溶古地貌地层圈闭。在上古生界烃源岩的主生烃期,石炭系—二叠系煤系烃源岩的高强度生烃,在烃源岩、储层之间剩余压差的作用下,天然气向下运移、聚集成藏^[17],这种气藏的含气层位分布均匀,连片性好,气藏规模大。

5.2 靖边气田西侧“侧向运移、岩性遮挡”的上生下储型岩性圈闭

马家沟组中下组合中的白云岩的分布与沉积时的中央古隆起密切相关,如马五₅、马五₇、马五₈等亚段的沉积均处于短周期海侵,岩性的东西分异特征最为显著,受中央古隆起控制下的混合水白云石化作用的影响,各层段白云岩主要分布在近南北向的古隆起的东侧,即现今靖边以西地区。由于受到沉积相带东西分异的控制,白云岩向东相变为石灰岩类沉积(图7),之后受燕山期盆地东部抬升翘倾的影响,上倾方向的石灰岩可以形成岩性遮挡,而且东高西低的构造格局,有利于由上古生界煤系烃源岩生成的天然气的侧向运移,并在岩性相变部位受岩性遮挡而聚集成藏(图8)。



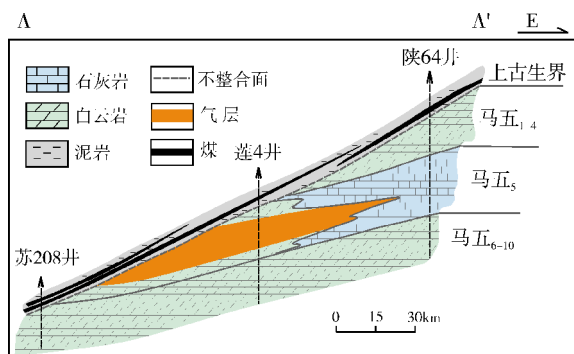


图8 鄂尔多斯盆地靖边气田西侧马家沟组中组合成藏模式图(据文献[19]修改)
剖面位置见图7

近几年的勘探表明,这种圈闭类型的气藏分布不连续,以局部的高产富集为特点。此外,马五₇、马五₈亚段沉积时为海侵期,区域上的岩性相变带要更靠近东部洼陷地区,一般在榆林—延安一线,此线以西区域基本以晶间孔型的白云岩为主,而且连通性很好。尽管在靖边气田西侧,马五₇、马五₈亚段中的白云岩储集体与上古生界煤系烃源岩直接接触,但是,由于它们在上倾方向的遮挡条件要远差于马五₆亚段,这就极大地限制了这两个层系在该区成藏的规模,这也可能是目前在马五₇、马五₈亚段探井试气结果基本以中低产为主的主要原因。从靖边气田西侧探井的天然气碳同位素分析结果来看,其 $\delta^{13}\text{C}_1$ 普遍大于 -32‰ ,明显偏重,表明它来源于上古生界煤系烃源岩,另有少部分气样的碳同位素 $\delta^{13}\text{C}_1$ 值处于 -35‰ ~ -33‰ 之间,则可能是混入了奥陶系海相烃源岩气源。

5.3 盆地东部“垂向运移、岩性遮挡”的自生自储型岩性圈闭

自龙探1井在马家沟组中下部试气获得低产气流、首次证实奥陶系存在海相烃源岩之后,近年来对盆地中东部、远离风化壳部位的马家沟组中下组合的勘探力度则加大了,近期部署的统74井获得了百万立方米的高产工业气流,气体成分以甲烷为主,气样的碳同位素 $\delta^{13}\text{C}_1$ 值为 -39.5‰ ,表明气藏为奥陶系内部的海相烃源岩生排烃运聚而成,这进一步显示了盆地中东部奥陶系马家沟组中下组合良好的勘探潜力。

如前所述,鄂尔多斯盆地奥陶纪马家沟期震荡性的海侵—海退为马家沟组烃源岩和储层的发育提

供了重要的物质基础。海退过程中形成的膏盐洼地为缺氧的强还原环境,在其周缘则有利于形成有机质丰度较高的白云质泥岩、泥质白云岩和膏质白云岩等,具有较好的生烃能力。海侵过程中以颗粒灰岩沉积为主的颗粒滩相发育,经混合水白云石化和表生岩溶作用,易形成晶间孔型白云岩储层。至燕山期,盆地东部抬升,同时奥陶系海相烃源岩也进入生排烃期,所产的烃通过马家沟组中下组合内部的孔隙层及裂缝,运移至其上倾方向、受致密石灰岩或膏盐岩遮挡的岩性圈闭中而聚集成藏(图9)。

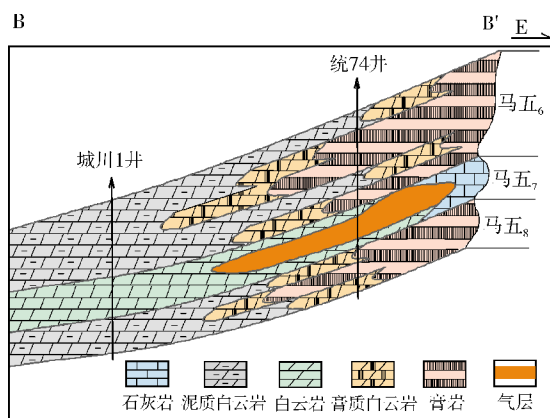


图9 鄂尔多斯盆地中东部马家沟组中组合成藏模式图
剖面位置见图7

根据奥陶系烃源岩生烃强度、晶间孔型白云岩储层分布及盆地东西向岩性相变带位置综合分析,初步认为在靖边气田东侧至榆林—延安一带都是自生自储型岩性气藏勘探的有利区带,有望成为鄂尔多斯盆地地下古生界新的勘探接替领域。

6 天然气成藏富集控制因素

鄂尔多斯盆地中东部地区奥陶系天然气的成藏,明显受控于上古生界煤系烃源岩和奥陶系海相烃源岩的供给,而中央古隆起的形成、多层系储层的发育及晚期的构造演化,都是盆地中东部奥陶系马家沟组中下组合天然气成藏的必要条件。

6.1 古隆起形成及演化是奥陶系储层形成及天然气成藏的宏观控制因素

6.1.1 沉积期的古隆起控制着整个马家沟期有利沉积相带的展布

由于近南北向中央古隆起的存在,使得盆地中

东部马家沟组沉积水体的深度从盆地东部洼陷区向古隆起方向逐渐变浅,造成整个马家沟组沉积期的相带分布具有围绕东部洼地呈环带状分布的特点。而且在临近古隆起部位,水体浅,水动力强,发育具有一定规模的滩相沉积,这为海侵期形成以马五₅亚段晶间孔为代表的白云岩储层创造了条件。

6.1.2 加里东风化壳期的古隆起控制了宏观的古地貌格局

古地磁数据表明,在奥陶纪—中石炭世,鄂尔多斯盆地一直处于赤道附近,古气候湿热多雨,这有利于古岩溶储集层的形成。从区域构造演化上看,在中加里东期—早海西期,由于秦岭海槽的闭合和华北板块的整体抬升,鄂尔多斯盆地呈现东北高、西南低的古构造格局,海水向盆地西南退出,盆地内大范围

遭受了长期的风化剥蚀及岩溶作用,自西向东依次发育岩溶高地—岩溶斜坡—岩溶盆地(图10)。

奥陶系马家沟组向中央古隆起(岩溶高地)方向地层逐段剥露,在顶部马五₁₊₂亚段中,含硬石膏结核白云岩普遍遭受长期风化淋滤,并在岩溶斜坡区形成大面积分布的风化壳储层;同时,分布于岩溶高地—岩溶斜坡区的马家沟组中下组合地层也同样遭受强烈表生岩溶作用和顺层大气淡水岩溶改造,有效地改善了中下组合白云岩晶间孔型储层的储集性能,从而形成马家沟组上、中、下组合多层系储层叠置发育的特点,这为后期天然气多层系成藏提供了储集空间。总体来说,加里东风化壳期的中央古隆起控制了宏观的岩溶古地貌格局,而古地貌又控制了马家沟组储层多层系的叠置发育。

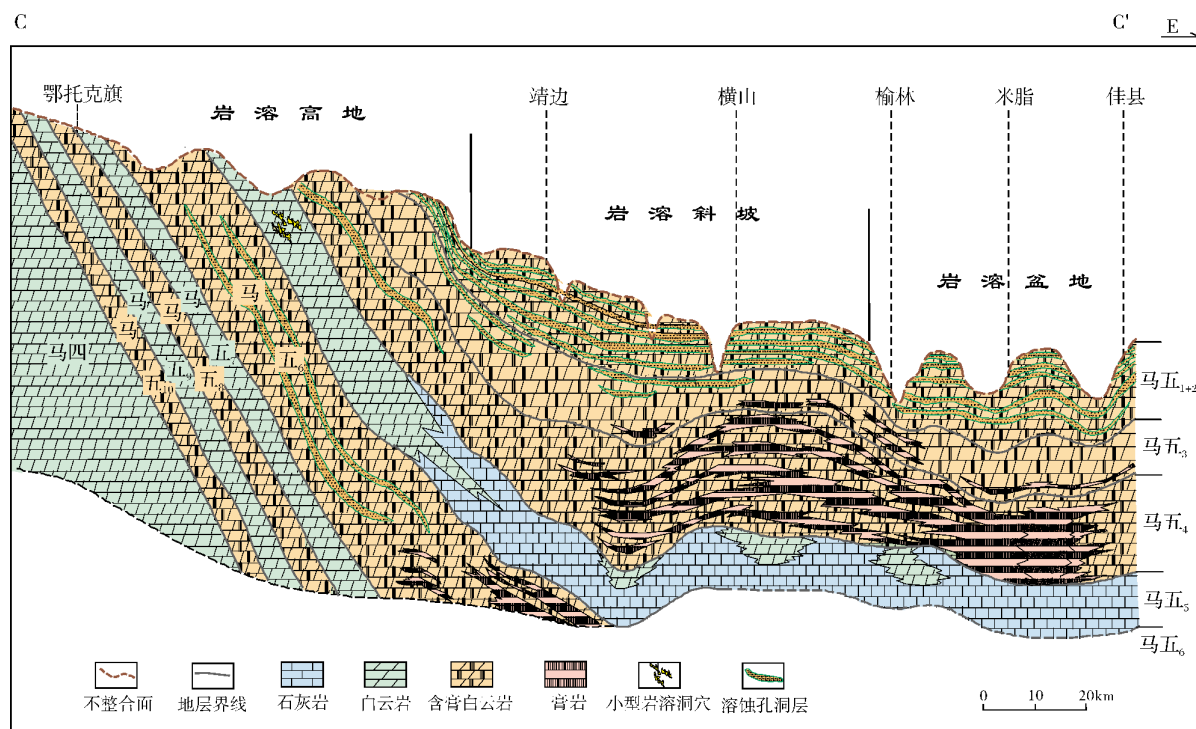


图10 鄂尔多斯盆地东西向前石炭纪岩溶特征剖面图

剖面位置见图7

6.1.3 加里东风化壳期的古隆起有利于形成良好的源储配置关系

风化壳期造成奥陶系马家沟组向古隆起方向逐段剥露,这对中下组合的成藏至关重要,在中央古隆起及其东侧的邻近地区,中下组合中的白云岩储层可以与上古生界煤系烃源岩直接接触,并形成南北向带状展布的供烃窗口,利于在东部抬升后上古生

界煤系烃源岩生成的天然气侧向供烃,向构造上倾部位大面积运聚成藏,这为奥陶系马家沟组中下组合成藏创造了条件。

6.2 多套储层叠置发育,形成盆地中东部地区多层系含气格局

如前所述,多套海侵—海退旋回的交替发育,在

奥陶系形成了纵向上叠合发育的多套碳酸盐岩储集体。这些储集体与上古生界煤系烃源岩及奥陶系海相烃源岩可以形成较好的源储配置关系,最终形成以马家沟组上组合马五₁₋₄亚段风化壳为主的地层圈闭气藏和中下组合岩性圈闭气藏这种多层系含气格局,且风化壳地层圈闭气藏呈大面积连片分布,而中下组合岩性圈闭气藏则呈局部的高产富集特点。

6.3 燕山期盆地东部抬升,形成中下组合上倾方向的有效岩性遮挡

由于马家沟组沉积相带整体具有围绕盆地东部洼地呈环带状展布的特点,因此相带间的东西分异特征非常明显,东西向的岩性相变普遍存在。

燕山期盆地东部大幅度抬升,导致古构造格局发生巨大变化,由原来的西高东低转变为东高西低。受此影响,下古生界构造层整体转变为向西单倾的相对单一的构造样式,这也基本奠定了盆地现今构造形态。构造翻转后,对靖西地区奥陶系中下组合的天然气成藏产生了两个方面的重要影响:首先,以中组合马五₅亚段为例,其区域岩性相变具有自西向东由白云岩向石灰岩过渡的趋势,东部抬升的古构造格局造成了致密的石灰岩处于构造的上倾方向,从而对其西侧的白云岩储集体构成了有效的岩性遮挡;其次,由于东侧的上倾,使得上古生界煤系烃源岩层与中下组合中的白云岩储层在风化壳界面附近由原来的上下接触关系变成一定程度的侧向接触关系,从而更有利于烃类气体向上倾方向的多套白云岩储集体中运移聚集。

6.4 低生烃强度下,中低渗储层更易成藏

盆地西部苏里格地区的马四段白云岩,晶间孔型储层物性好,单层厚度大,而且纵向上一般具有多层叠合发育的特点,自发现以来,勘探者一直都寄予了极大的希望,但是试气结果均产水,出气井也以气水同出为主,仅仅在巨厚白云岩体上倾方向(在盆地东部地区已经相变为石灰岩)的薄层白云岩发育区见到了含气显示,最高日产气量不超过5 000 m³。经分析认为,这一高渗储层难以有效成藏的关键就在于其储集性能好、厚度大、分布面积广,难以形成有效的岩性圈闭体,而仅能在厚层白云岩体东侧、局部具备好的岩性圈闭条件的薄层白云岩中聚集成藏。

6.5 构造-岩性复合圈闭是中下组合的勘探方向

盆地主体为一向西缓倾的单斜构造,由于南北向挤压作用的存在,在地层内部形成了一系列北东—南西走向的鼻隆构造,奥陶系岩性圈闭与这些鼻隆构造的叠合部位往往以高产井为主,如目前中组合马五₅亚段百万立方米以上高产井的分布就具有这一规律。而对于盆地中东部远离风化壳的马家沟组中下组合而言,由于上古生界煤系烃源岩长距离侧向运移较困难,所以气源以奥陶系海相烃源岩生烃为主,因而局部的构造—岩性复合圈闭则更易于天然气富集成藏。

7 结 论

(1)鄂尔多斯盆地中东部奥陶系存在两套不同类型的烃源岩供烃,其中一套为上古生界石炭系—二叠系海陆过渡相煤系烃源岩,大面积广覆式生烃,为盆地马家沟组上组合及靠近中央古隆起区靖边气田西侧马家沟组中组合的主力气源;另一套为奥陶系海相烃源岩,为盆地东部远离中央古隆起区的马家沟组中下组合天然气藏的重要气源。

(2)马家沟组振荡性海侵—海退为马家沟组不同类型储层的发育提供了重要的条件,混合水白云石化、多期次多类型岩溶作用及加里东期岩溶古地貌共同控制了马家沟组储层的多层系叠置发育。

(3)鄂尔多斯盆地奥陶系马家沟组发育三种类型圈闭:奥陶系顶部风化壳“垂向运移、沟槽遮挡”的上生下储型地层圈闭;靖边气田西侧“侧向运移、岩性遮挡”的上生下储型岩性圈闭;盆地东部“垂向运移、岩性遮挡”的自生自储型岩性圈闭。

(4)中央古隆起的形成及演化、加里东期的岩溶古地貌、以及燕山期的构造翘倾作用,共同控制了鄂尔多斯盆地奥陶系马家沟组天然气的富集与成藏。

参 考 文 献

- [1] 杨华,包洪平.鄂尔多斯盆地奥陶系中组合成藏特征及勘探启示[J].天然气工业,2011,31(12):11-20.
- [2] 杨华,刘新社,张道锋.鄂尔多斯盆地奥陶系海相碳酸盐岩天然气成藏主控因素及勘探进展[J].天然气工业,2013,33(5):1-12.
- [3] 杨俊杰.陕甘宁盆地地下古生界天然气的发现[J].天然气工业,1991,11(2):1-6.
- [4] 杨俊杰,裴锡古.中国天然气地质学(卷四:鄂尔多斯盆地)

- [M]. 北京:石油工业出版社, 1996.
- [5] 戴金星, 王庭斌, 宋岩, 等. 中国大中型天然气田形成条件与分布规律[M]. 北京:地质出版社, 1997.
- [6] 黄第藩, 熊传武, 杨俊杰, 等. 鄂尔多斯盆地中部气田气源判识和天然气成因类型[J]. 天然气工业, 1996, 16(6):1-5.
- [7] 李贤庆, 侯读杰, 胡国艺, 等. 鄂尔多斯盆地中部地区下古生界碳酸盐岩生烃潜力探讨[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2002, 21(3):152-157.
- [8] 王传刚, 王毅, 许化政, 等. 论鄂尔多斯盆地地下古生界烃源岩的成藏演化特征[J]. 石油学报, 2009, 30(1):38-45, 50.
- [9] 宁宁, 陈孟晋, 孙粉锦, 等. 鄂尔多斯盆地奥陶系风化壳古油藏的确定及其意义[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(2):280-286.
- [10] 李贤庆, 胡国艺, 张爱云, 等. 鄂尔多斯中部气田下古生界天然气的气源研究[J]. 现代地质, 2002, 16(2):191-198.
- [11] 杨华, 张文正, 咎川莉, 等. 鄂尔多斯盆地东部奥陶系盐下天然气地球化学特征及其对靖边气田气源再认识[J]. 天然气地球科学, 2009, 20(1):8-14.
- [12] 王传刚. 鄂尔多斯盆地海相烃源岩的成藏有效性分析[J]. 地学前缘, 2012, 19(1):253-263.
- [13] 米敬奎, 王晓梅, 朱光有, 等. 利用包裹体中气体地球化学特征与源岩生气模拟实验探讨鄂尔多斯盆地靖边气田天然气来源[J]. 岩石学报, 2012, 28(3):859-868.
- [14] 金强, 黄志, 李维振, 等. 鄂尔多斯盆地奥陶系烃源岩发育模式和天然气生成潜力[J]. 地质学报, 2013, 87(3):393-402.
- [15] 任军峰, 包洪平, 孙六一, 等. 鄂尔多斯盆地奥陶系风化壳岩溶储层孔洞充填特征及机理[J]. 海相油气地质, 2012, 17(2):63-69.
- [16] 吴东旭, 吴兴宁, 曹荣荣, 等. 鄂尔多斯盆地奥陶系古隆起东侧马家沟组中组合储层特征及成藏演化[J]. 海相油气地质, 2014, 19(4):38-44.
- [17] 杨华, 付金华, 魏新善, 等. 鄂尔多斯盆地奥陶系海相碳酸盐岩天然气勘探领域[J]. 石油学报, 2011, 32(5):733-740.
- [18] 付金华, 白海峰, 孙六一, 等. 鄂尔多斯盆地奥陶系碳酸盐岩储集体类型及特征[J]. 石油学报, 2012, 33(增刊2):110-117.
- [19] 黄正良, 陈调胜, 任军峰, 等. 鄂尔多斯盆地奥陶系中组合白云岩储层及圈闭成藏特征[J]. 石油学报, 2012, 33(增刊2):118-124.

编辑:黄革萍

Gas Accumulation Characteristics and Potential of Ordovician Majiagou Reservoirs in the Center-East of Ordos Basin

Wang Yunuo, Ren Junfeng, Yang Wenjing, Zhao Weibo
Ding Xuefeng, Huang Zhengliang

Abstract: Natural gas is rich in Ordovician Majiagou Formation in the center and east parts of Ordos Basin. Based on the study of sedimentary characteristics and the macroscopic control of tectonic evolution on reservoir development and gas accumulation, it is suggested that the good source-reservoir configuration relationship between the developing Majiagou cyclic reservoirs and the Upper Paleozoic coal measures as source rock is the cause of present multi-bedded gas-bearing reservoirs and wide gas accumulation in the weathering crust at the uppermost part of Ordovician strata. It is convinced that the Lower Paleozoic marine source rocks are of a certain hydrocarbon potential. It is emphasized that longitudinal or lateral migrations of Ordovician gas are important to hydrocarbon accumulation in the Middle and Lower Majiagou Assemblages, in which the potential structural-lithologic combined traps can be predicted to be prospective in recent.

Key words: Ordovician; Majiagou Fm.; Carbonate reservoir; Hydrocarbon accumulation; Accumulation characteristics; Ordos Basin

Wang Yunuo: Master degree in progress at China University of Geology (Beijing). Add: 29 Xueyuan Rd., Beijing, 100083, China