

用层序地层学评价鄂尔多斯盆地奥陶系 碳酸盐岩油气聚集带

雷清亮

(中南石油地质局地质大队, 长沙 410117)

徐怀大

(中国地质大学, 北京 10083)

应用层序地层学基本原理对奥陶系碳酸盐岩含油气性的研究表明: 一方面构成奥陶系层序格架的不同单元, 具有各异的油气地质意义; 另一方面, 奥陶系层序格架又构成了一个多层次、多类型油气组合单元。使奥陶系形成了一个独自、封闭的油气聚集系统, 尽管它经历了后期多次构造作用的改造、破坏, 但其油气的重新聚集仍主要与两种不同级别沉积枢纽带的分布密切相关。

关键词 层序地层学 沉积枢纽带 碳酸盐岩 油气聚集带 鄂尔多斯 奥陶系

第一作者简介 雷清亮 男 38岁 高级工程师 地震地层学与层序地层学

鄂尔多斯盆地是我国重要的油气勘探基地之一, 靖边-横山一带奥陶系大气田的发现^[1], 进一步揭示了下古生界碳酸盐岩尤以下奥陶统碳酸盐岩为主的层位, 赋存有丰富的油气资源潜量。但许多与油气勘探相关联的基本问题, 仍需要进一步研究, 方能深化认识和提出有效的勘探思路。

一、层序格架与油气评价要素的基本关系

层序格架是指由体系域、准层序和层序边界等内部结构单元, 组成的一个完整层序框架。油气评价要素则是指与油气生成、运移、聚集、圈闭等有关联的不同地层单元。二者都是以地层研究为目的, 前者研究地层、岩石成因与形成时代; 后者通过地层研究油气成因, 成油年代(成油期)。因此, 层序格架具有与油气评价要素同等的意义。

(一) 体系域中生油岩、储集岩、盖层分布特征

鄂尔多斯盆地奥陶系下统作为一个完整的生、储、盖评价单元, 具有三重属性, 是生油岩, 又可形成储集岩和盖层。从地层的角度来分析生、储、盖层的分布规律, 可以看出, 除西缘的滞留盆地所发育的一套与泥、页岩及较深水的碳酸盐岩有关的生油层外, 碳酸盐岩台地区内的生油岩大部分赋存于海进体系域和早期高水位体系域之中。因为, 本区绝大部分海进体系域是由深灰色泥晶灰岩构成, 其沉积环境为潮下浅水或广海陆棚。此时碳酸盐产率较大、生物繁多、有机质含量高, 利于向生油岩转化。其中, 峰峰期的海进体系域和马家沟晚期海进体系域(相当 O_1m_4), 是本区两个最主要的生油层段, 并由此构成了两个完全不同的生、储、盖组合类型。

区内的储层与盖层的形成主要与高水位体系域晚期有关。当海平面变化位于高水位晚期阶段时,上升速率往往减慢或开始下降,沉积物由海进时的潮下沉积变为潮坪和潮上沉积。此时,伴之而发生的三个成岩作用,即淡水成岩作用、准同生白云岩化作用和浓缩蒸发作用,既可形成不同类型的成岩储层,也可形成由膏岩组成的盖层,后者在泻湖环境中尤为发育。

同一体系域可表现出不同的生、储、盖层单元。海进体系域和高水位体系域早期形成阶段,广泛的台地内部环境,以形成生油岩为主,但在台地边缘,由于形成礁、滩建造,又可形成储层。同理,高水位体系域在台内主要形成与成岩作用有关的储层和盖层,但在台地边缘受前积作用影响,它既可形成沉积型储层(如浅滩)也可形成生油岩。

(二) 准层序与生、储、盖组合

本区的自储区、近储式、跨越式、新生古储式4类生储盖组合*,均与向上变浅的准层序的不同形成条件有关。前两类生储盖组合,主要分布在一个或多个向上变浅准层序构成的体系域中,生储盖组合的岩石类型可根据向上变浅旋回的两个作用机制,进一步分为泻湖式生储盖组合和台坪式生储盖组合。泻湖式生储盖组合生油岩由海平面上升相对较快时的泥晶灰岩组成,储层和盖层则由海平面上升较慢或开始下降时所形成的准同生白云岩和膏岩层构成;台坪式生储盖组合形成时的海平面变化条件与前者一样,但储层主要与暴露相的发育有关,其盖层则主要是由下一个准层序的深水段形成。

由向上变浅旋回或准层序控制的两种不同生、储、盖组合的形成机制,主要是与台坪和泻湖环境的不同碳酸盐产率有关。泻湖环境的碳酸盐产率,可能低于台坪环境,因此,尽管受同一海平面变化的影响,但前者碳酸盐沉积物的生长,往往滞后于整个阶段中海平面变化,由此形成了缺失暴露相作用的但蒸发岩较发育的生、储、盖组合类型(图1)。Carozzi^[2]对这两种形成向上变浅层序的不同表现形式作了较好论述。

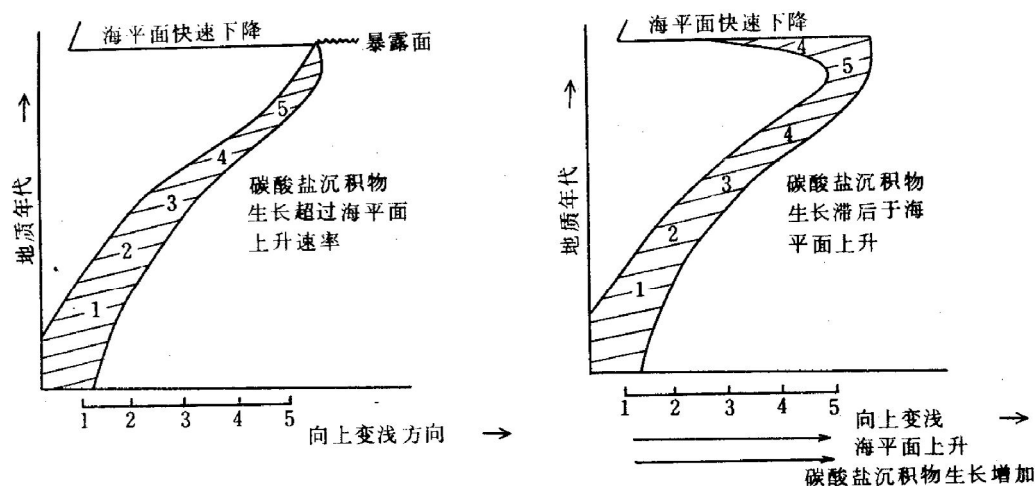


图1 两种不同的向上变浅的碳酸盐沉积旋回

(据 Carozzi, 1989^[2])

后两类生储盖组合,实际上也是一种大级别的向上变浅旋回的反映,主要与区域构造作用和海平面快速下降,并持续了一个较长的暴露期有关。

* 张福礼等. 鄂尔多斯盆地天然气形成条件及找气领域研究, 内部资料

(三) 层序边界与圈闭类型

夹持于两个区域不整合面(怀远运动侵蚀面和加里东运动侵蚀面)之间的奥陶系下统马家沟组和峰峰组,整体构成了一个Ⅰ级层序。层序顶界面,即加里东运动侵蚀面为Ⅰ型边界;底界面,即怀远运动侵蚀面为Ⅱ型边界。顶界面在其形成过程中的斜坡前缘侵蚀和区域性大气水体的向海方向运动,是形成本区地层、岩性圈闭的最重要因素。

大气水体作用在台内主要以溶蚀作用为主,常形成大小不等的溶蚀残丘和凹地。在地震剖面上,表现为低幅度构造,又称构造岩隆或风化壳型岩隆。在溶蚀残丘中,溶孔、溶洞、溶缝较发育,本身又构成了一个高地,因此是油气聚集较为有利的场所,属于古潜山式的圈闭类型。当大气水体作用接近海域处(台地边缘斜坡),溶蚀作用较台内弱,以混合水体的作用为主,由此形成了以混合白云岩化为主的白云岩成岩圈闭类型。

斜坡前缘侵蚀作用主要发生在盆地西部桌子山地区,侵蚀物主要以具有较好孔隙的塌积岩和浊积岩形式出现,并围限在深水相的岩石中,常形成以“扇体”控制的岩性圈闭类型。

总之,层序顶界面作为一个长期暴露于地表,受各种地质营力改造的古风化壳,在其后的埋藏地史中,已成为连通上、下古生界油气的重要通道和聚集、圈闭场所。它可形成与古风壳作用有关的各种地层、岩性的油气圈闭类型和生、储、盖组合,是本区最直观的油气勘探目的层。

二、早奥陶世碳酸盐岩台地演化与油气关系

根据露头、测井、岩芯资料,对本区奥陶系高分辨率的层序地层学研究表明,具有油气地质意义的早奥陶世碳酸盐岩台地,大致经历了由缓坡型台地向镶边台地最后到开阔台地的三个演化阶段(图2)。在缓坡型台地发育阶段,盆地的中、东部主要位于潮坪上部和潮上带,沉积物以薄层泥灰岩和蒸发岩为主,气候干燥,不利于生油岩的形成;西部,即桌子山以西,水体较深,且较闭塞,利于有机质的保存,并可向生油岩转化。因此,这一阶段时的油气赋存带主要集中在盆地西缘区。

镶边台地和开阔台地相带的展布,是由海平面上升速率与碳酸盐产率的不同配置关系所决定的。台地边缘藻礁丘沉积建造,以及与之伴生的泻湖式沉积建造的形成,是这一时期最具有油气地质意义的沉积单元。台地边缘相为一个很好的聚集层,两翼分别与泻湖区和盆地区的生油岩相接,顶部被开阔台地演化阶段的斜坡相沉积物所覆盖,加之位于沉积高点,便于油气运移,因此,构成了自成体系的油气圈闭单元。与边缘相相比,尽管泻湖区自身具有形成生、储、盖组合的能力,但控油气的条件差于边缘相,因此,从原型盆地的角度分析,盆地西部的边缘相带是最有利的地区。但这只是静态的分析,实际上,直至早三叠世,全区才进入成熟阶段^{*}。在经历数亿年地史演化过程后,无论是泻湖区的沉积物,还是台地边缘的藻礁丘建造,其原生孔隙均遭到不同程度的破坏,起控制作用的聚集期孔隙,主要与晚期成岩过程中的压溶作用、白云岩化作用、构造微裂缝及淡水成岩作用有关,尤以加里东风化壳所形成的溶蚀空间最为显著。

加里东风化壳的影响范围虽然遍布全区,但影响深度却较局限,在有峰峰组出现的地方,

^{*} 张福礼等. 鄂尔多斯盆地天然气形成条件及找气领域研究, 内部资料

一般在20—40m左右,尚未达到峰峰组下部的纯灰岩层段。同时,风化壳对下伏地层的影响,除形成一个渗滤溶蚀的主带外,在其下方还发生沉淀胶结作用,形成一个更为致密的封闭层。米脂凹陷上马家沟组中(O_1m_5)迄今仍保留上百米的岩盐层,可进一步说明由古风化壳作用形成的溶蚀作用带,在盆地腹部地区或在峰峰组出现的地区不会很深。因此,各种地质因素形成的次生孔隙发育带,是影响奥陶系油气聚集的重要因素。

三、礁相与次生孔隙发育关系

礁是寻找碳酸盐岩油气藏的重要骨架相之一。奥陶系礁主要发育在两类不同级别或规模的沉积枢纽带中(图3)。一类发育在台地向盆地过渡的边缘相;另一类则发育在泻湖向台坪过渡区。前者以个体大、隆起幅度高、各种标志清晰、成带、成串分布为特征,它们对整体相带展布及环境变迁起着重要作用,并决定了台地演化的类型。后者,个体小,起伏小,常呈半丘形,不能对整体环境构成影响。

从钻井资料来看,次生孔隙发育带往往与礁的分布有关,特别是礁前塌积岩相,更是次生孔隙发育的一个主带。天1井恰好打在礁前塌积部位的顶部,打出了高产气;反之,天深1井打在礁顶后侧,孔隙条件明显差,仅发现一般的气显示。靖边、定边、横山狭长地带发现的高产气区,从地震相分析都与次级沉

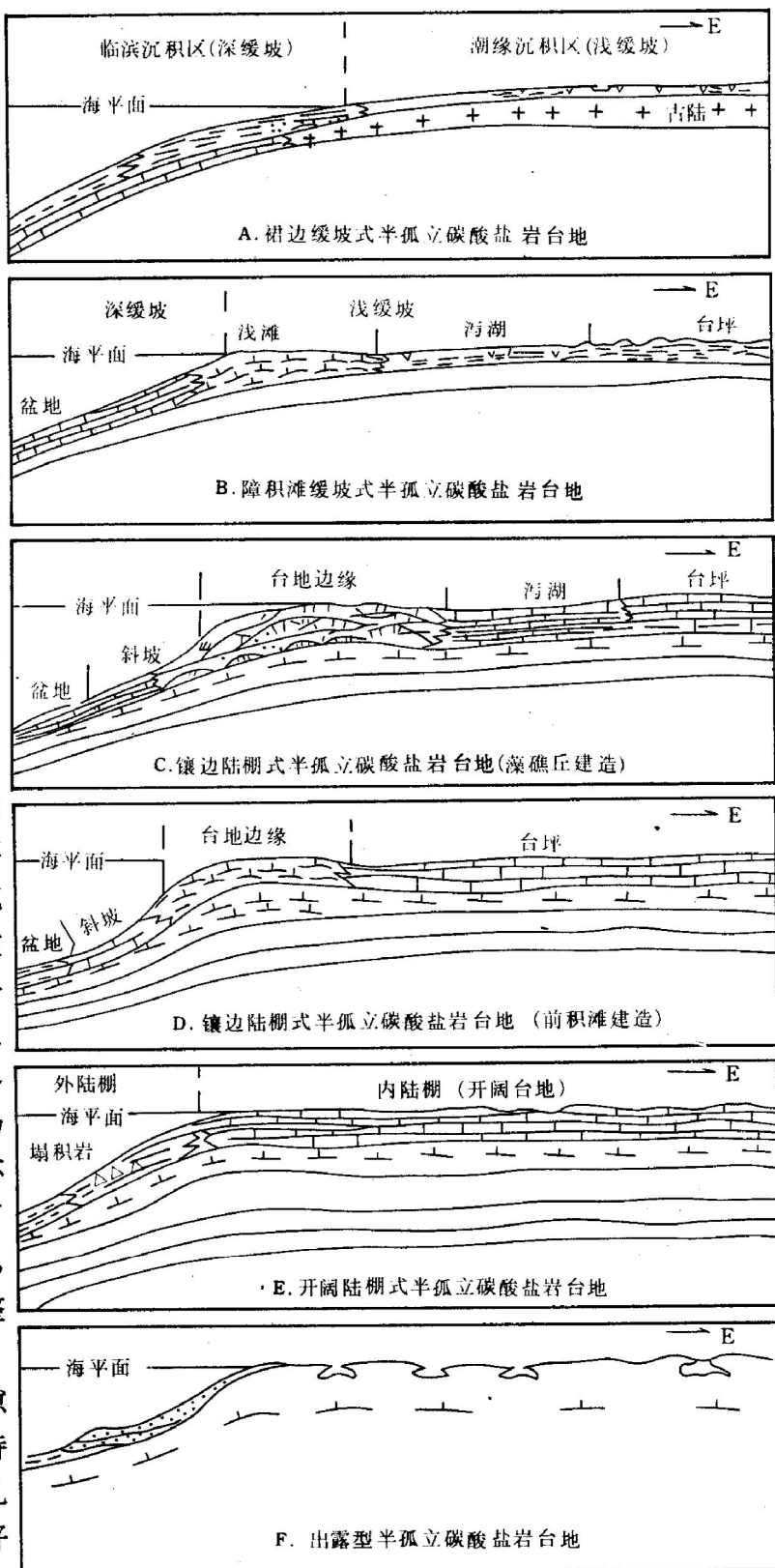


图2 早奥陶世碳酸盐岩台地演化序列

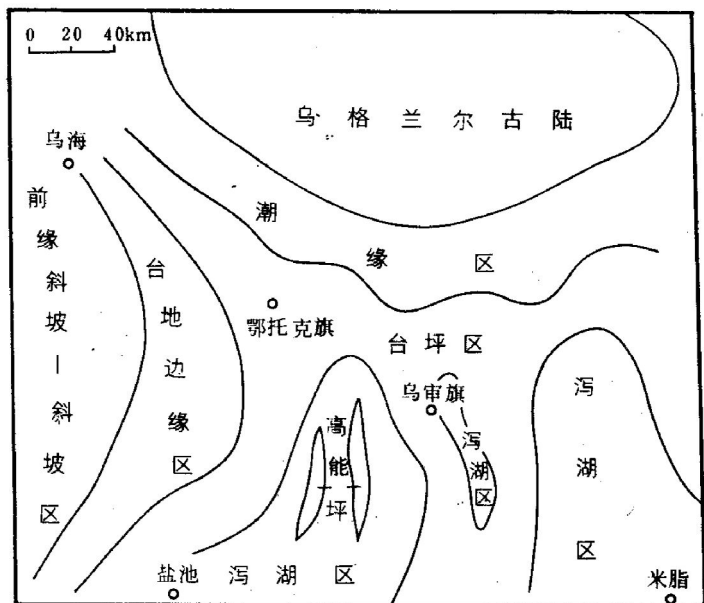


图3 早奥陶世马家沟早期地震相分析图

差或非渗透性等所致。造成这种地层横向和垂向变化的原因，一是由本身的沉积条件所控制；二是与后期构造作用对地层的重塑作用有关。由此，将这种地层型圈闭分为3亚类，即不整合圈闭、岩性圈闭和礁型圈闭。

下古生界碳酸盐岩油气藏是属于加里东运动侵蚀作用影响下的一种不整合圈闭类型。由于抬升幅度较为均一，因此，如何在构造平缓抬升区域内，有效地预测有利的不整合圈闭地带，一直成为研究的热点。作者认为，下古生界油气藏的形成与碳酸盐岩的岩石性质密切相关。因此，从碳酸盐岩本身的沉积相特征出发，寻找有利的含油气聚集带，指导下古生界地层圈闭型油气藏的勘探，可能更适合这一地区油气赋存特点。

有利于油气聚集的沉积相条件，主要与两种不同规模或级别的沉积枢纽带有关(图4)：

(1) 分布于西部的主级枢纽带，既是岩相转换带(台地边缘相向盆地相过渡)，又是构造单元转换带(稳定型向活动型转换)，由此决定了该带具有构造沉降速率及幅度大，

积枢纽带(泻湖向台坪的过渡带)的礁相控制有关。储层发育带(也是好的气显示或气层发育带)往往在单斜或隆起的翼部，被解释为差异溶蚀圈闭，即上倾方向岩石致密，下倾方向溶蚀发育。我们认为，造成差异溶蚀的原因，可能与礁的不同相带的孔渗条件有关，也就是说，下倾方向的溶蚀发育带是礁前塌积岩相的表征。

四、含油气聚集带评价

就现已揭示的下古生界(主要是奥陶系)油气圈闭类型而言，属于地层圈闭油气的范畴。也就是说，其储层的形成是因地层变化，如地层被削蚀、超覆、砂岩和多孔储集层的楔入或尖灭，侧向渗透性变

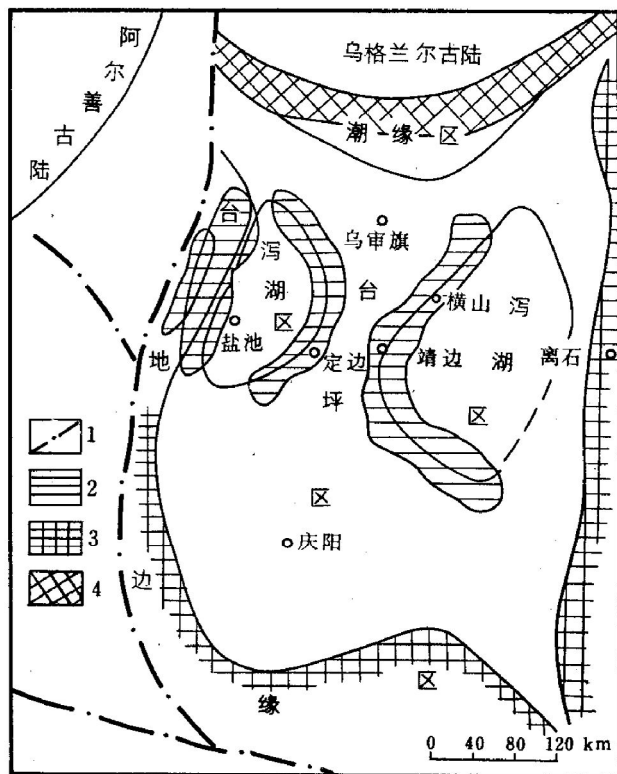


图4 鄂尔多斯盆地奥陶统油气远景评价图
1—断裂，2—油气聚集带，3—奥陶系露头区，
4—奥陶系缺失区

沉积速率高，相带变化频繁、复杂，油气源岩及储层发育，且保存条件好等优越条件。当沉积物处于埋藏状态时，受区域热场的影响压溶构造发育；当沉积物接近地表时，混合白云岩化作用加强。分布于台地内部的次级沉积枢纽带（泻湖向台地的变化带），它们主要是小规模的前积、退覆作用构成了利于油气聚集的沉积相单元和次生孔隙的发育单元。与单一的泻湖和台坪相比，次级沉积枢纽带是由双相叠置而成，因此，其油气地质意义较单相更为重要。

(2) 礁主要发育在上述两种沉积枢纽带中，形成不同类型的礁体。礁体除了在形成原生孔隙和有利的生、储、盖组合等方面具有优于其它岩类的特点外，更重要的是礁对海平面的变化更为敏感，间歇式沉积旋回的频率更高，经历了由追补沉积 (catch-up) 到并进沉积 (keep-up) 这么一种多次向上变浅的生长旋回，在成岩作用的变化过程中，形成了较好的次生孔隙和白云岩化作用带。

(3) 沉积枢纽带作为下古生界油气聚集主带的一个最直接证据是，在乌审旗一带发现较好的天然气显示，在靖边-横山一带打出的工业性高产气井。

最后需指出的是，鄂尔多斯盆地西部地区（东经 $37^{\circ}50'$ — $38^{\circ}40'$ ，北纬 $106^{\circ}30'$ — $107^{\circ}30'$ ）作为奥陶纪原型盆地的一个有利的含油气聚集带，应该引起我们足够的重视。对于该地区勘探靶区的选择，我们认为在 JC-145 线附近可能较好。一是该带在奥陶纪原型盆地中处于斜坡带，东与台地边缘藻礁丘相毗连，西接盆地相，生、储、盖的纵、横向组合配置关系较好；二是从地震资料来看，中奥陶统的上超反射大部分在该线附近尖灭，反映出古沉积坡折的特点（孙国凡等又称构造扇部隆起带），是油气运移、聚集、圈闭的最佳场所；三是它偏离西缘逆冲断裂带，构造作用较弱，且又有上覆中奥陶统的覆盖，油气的保存条件较好；四是坡折带的地震反射清晰，易于比较选择确定井位。

参 考 文 献

- 1 人民日报。陕甘宁盆地发现世界级大气田。1991年6月23日第1版
- 2 Carozzi A V. Carbonate rock depositional models— A microfacies approach. Englewood: Prentice Hall, 1989. 562—570

ASSESSMENT OF HYDROCARBON ACCUMULATION ZONE IN ORDOVICIAN CARBONATE ROCKS BY SEQUENCE-STRATIGRAPHY

Lei Qingliang

(Geological Brigade, Central-South Bureau of Petroleum Geology)

Xu Huaida

(China University of Geosciences, Beijing)

Abstract

The source rocks of Ordovician carbonate rocks in the Ordos Basin are mostly preserved in dark-grey micrite transgressive system tracts and early-stage high water-level system tracts. The

transgressive system tracts of Fengfeng and late Majiagou stages are two major oil-generation stages. The formation of reservoir and cap rocks was mainly related to the meteoric diagenesis, penecontemporaneous dolomitization, and condensing evaporation during the late stage of high water-level system tracts. The upward shallowing penesequence cycles within the sequences formed a series of "self-reservoiring and near-reservoiring" source-reservoir-caprock complexes. Ordovician deposition in the area underwent three platform evolution periods: gentle-slope platform, rimmed platform and open platform periods, and formed the main sedimental pivot belt in platform margins and secondary sedimental pivot belts within the platform. It has been proved that oil and gas distribution are related to the above mentioned pivot belts.