

鄂尔多斯地区马家沟组层序岩相古地理特征

苏中堂^{1,2} 陈洪德^{1,2} 欧阳征健^{1,2} 金学强³

(1. 油气藏地质及开发工程国家重点实验室(成都理工大学), 四川 成都 610059; 2. 成都理工大学沉积地质研究院, 四川 成都 610059; 3. 宁夏国土资源调查监测院, 宁夏 银川 750021)

摘要: 依据野外露头、岩心观察、测井等资料综合分析将鄂尔多斯地区马家沟组划分为 6 个三级层序和 12 个体系域, 在此基础上对马家沟组层序地层学特征进行分析, 采用体系域压缩法编制了层序岩相古地理图。结果表明: 盆地沉积演化受西南缘祁连海和东部华北海共同影响, 两者在 OSQ4(奥陶系马家沟组第 4 个层序, 下同)期完全贯通, 西南缘具陆缘海沉积特征, 东部为陆表海沉积。OSQ1、OSQ2、OSQ3、OSQ5 海侵体系域局限台地发育, 高位期局部形成膏盐岩湖; OSQ4、OSQ6 海侵、高位期均为开阔台地相, 西南缘高位期发育台地边缘滩和台地边缘生物礁。OSQ1、OSQ3、OSQ5 高位体系域白云岩及 OSQ6 高位体系域西南缘生物礁和颗粒滩可成为重要的油气储集体, OSQ3、OSQ5 高位体系域发育的膏盐岩形成了 2 套重要的区域盖层。

关键词: 层序岩相古地理; 层序地层; 沉积相; 马家沟组; 鄂尔多斯地区

中图分类号: P531; P539.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2012)03-0623-11

岩相古地理研究通过重塑地质历史中海(湖)陆格局、恢复沉积演化来指导资源勘查, 如何编制出准确的岩相古地理图是地质工作者思考的重点之一, 尤其在目前以岩性油气藏勘探为主的阶段^[1-4]。近些年兴起的不同尺度层序岩相古地理编图由于其等时性和勘探实用性, 已成为油气勘探中日趋成熟的技术, 在指导岩性油气藏勘探实践中逐渐发挥出愈来愈重要的作用^[1-4], 很多学者运用这一技术编制出的古地理图极大地推动了编图水平的提高, 在指导资源勘查方面发挥出了重要作用^[5-14]。鄂尔多斯地区作为中国西部海相油气勘探的重要盆地之一, 蕴含丰富的油气资源^[15], 马家沟组是重要的海相层系之一。冯增昭等^[16]运用单因素综合作图法研究马家沟期岩相古地理, 用“陆外有坪, 坪外为海, 坪中有湖, 海中有滩”概括其特征, 董兆雄等^[17]认为马家沟期鄂尔多斯地区为台地沉积, 不仅有台缘障壁岛, 还有台内岛屿和洼地, 有别于经典的“威尔逊模式”。本文尝试运用层序岩相古地理编图技术重新分析鄂尔多斯地区

马家沟期古地理特征, 为盆地海相岩性油气藏油气勘探提供依据。

1 地质背景

鄂尔多斯地区主要位于陕西北部, 包括内蒙、甘肃、宁夏、山西部分地区, 面积约 $25 \times 10^4 \text{ km}^2$, 呈竖矩形夹持于阴山和秦岭山脉之间, 是中国发育时间最长的多期叠合克拉通盆地。早古生代, 鄂尔多斯地区位于华北板块西部, 其北部为古亚洲洋, 西南部为秦祁海, 盆地具内部稳定、周缘活动的特点。马家沟组沉积期盆地为隆坳相间格局, 盆地西南部发育中央古隆起, 北部横亘伊盟隆起, 盆地海相沉积地层, 主要受东部华北海和西南部秦祁海的影响^[18](图 1)。依据岩性组合特征, 通常将盆地内马家沟组自下而上分为 6 个岩性段, 分别为马一至马六段, 在盆地西缘桌子山地区三道坎组、桌子山组和克里摩里组与马家沟组同期沉积, 在盆地南缘平凉地区该套地层相当于麻川组、水泉岭组和三道沟组。

收稿日期: 2011-10-09; 改回日期: 2012-02-19

基金项目: 国家重大专项“大型油气田及煤层气开发”(2008ZX05002)资助。

作者简介: 苏中堂, 男, 1981 年生, 博士, 讲师, 主要从事储层沉积学方面的教学与科研工作; E-mail: xiongwei3279@sina.com。

通讯作者: 欧阳征健, 男, 1976 年生, 博士后, 主要从事造山带与盆地地质研究; E-mail: ouyangzhengjian@126.com。

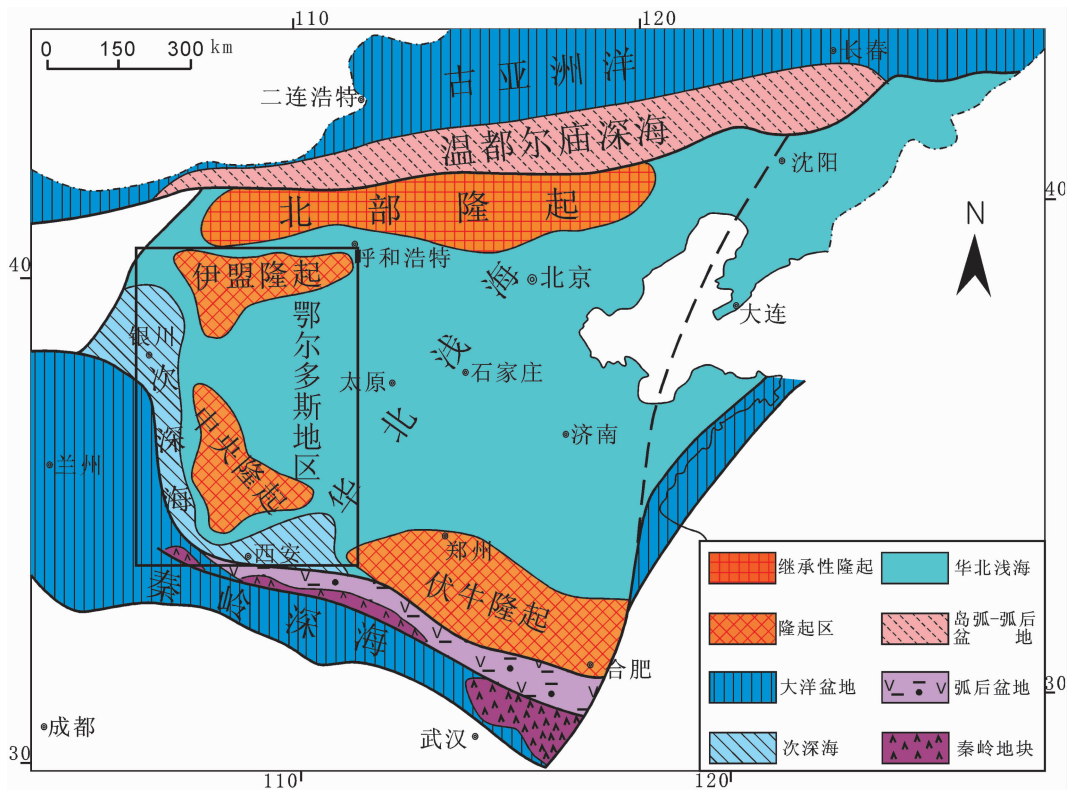


图 1 鄂尔多斯地区马家沟期岩相古地理格架(据文献[18]略改)

Fig.1 Lithofacies paleogeographic framework of Majiagou period in Ordos Basin (after reference [18])

2 马家沟组层序地层

早奥陶世亮甲山组沉积之后,受怀远运动影响,盆地短暂抬升,新一期快速海侵开始了马家沟组的沉积,加里东运动使盆地整体抬升,缺失了中晚奥陶世至早石炭世沉积,因此,该套地层与下伏亮甲山组平行不整合接触,顶部在盆内与晚石炭世/早二叠世地层呈角度不整合接触,在盆地西南缘与中统平凉组不整合接触。笔者通过盆地周缘 13 条野外露头、27 口区域探井岩心观察及 60 多口钻井测井资料等综合分析,根据盆地演化、区域构造及层序界面特征,结合前人研究成果^[14,19-20],将鄂尔多斯地区奥陶系马家沟组划分为 1 个超层序和 6 个三级层序,分别命名为 OSQ1-OSQ6(图 2)。从年代地层学上讲,超层序延续时间为 17.7 Ma,OSQ1-OSQ6 平均每个层序延续时间为 2.95 Ma。从层序底界面性质看,OSQ1 层序底界面为 I 型,其余层序底界面皆为 II 型。

3 马家沟组层序岩相古地理特征

3.1 编图思路与方法

依据野外露头、岩心观察、测井等资料综合分析,进行详细的层序地层学研究,建立层序地层格架,选取体系域为编图单元,采用体系域压缩法进行岩相古地理图件的编制。这种方法既克服了传统以岩石地层单元编图“同时异相”的难题,又回避了以层序界面为依据所编制的瞬时古地理格局时效性差的弱点,使所编制的图件既反映实际地质体的古地理特征,具有相对等时特性,因而所编制的古地理图件更加精确,同时满足资源勘查的需求,在实际应用中更具价值。笔者以层序体系域为等时地层单元,在编制体系域内地层等厚图等基础地质图件,同时兼顾碳酸盐岩及特殊岩性分布等因素的基础上,选取优势相为编图要素,编制了鄂尔多斯地区马家沟组层序-岩相古地理图,详细刻画该时期盆地沉积特征和物质分布规律,并分析盆地马家沟组岩相古地理演化过

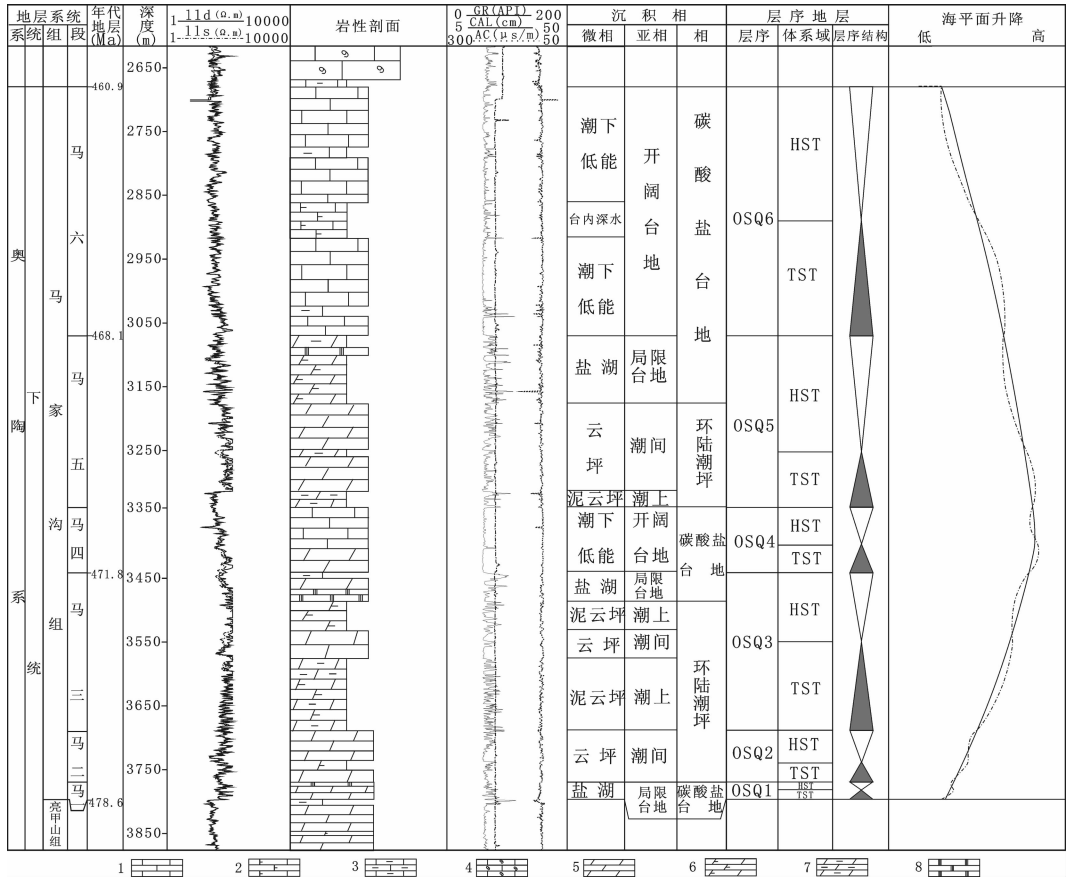


图 2 鄂尔多斯地区马家沟组沉积相和层序地层综合柱状图(以 CT1 井为例)
 1—灰岩;2—含泥灰岩;3—泥质灰岩;4—生屑灰岩;5—白云岩;6—含泥白云岩;7—泥质白云岩;8—膏盐岩
 Fig.2 Comprehensive column of sedimentary facies and sequence stratigraphy of Majiagou Formation in Ordos Basin (exemplified by CT1)
 1—Limestone;2—Muddy limestone;3—Argillaceous limestone;4—Bioclastic Limestone;5—Dolomite;
 6—Muddy dolomite;7—Argillaceous dolomite;8—Gypsum rock

程,预测沉积过程中的有利地质体。

3.2 层序岩相古地理特征

3.2.1 OSQ1 层序岩相古地理特征

①层序结构 OSQ1 层序厚 0~140 m,属 I 型层序,层序界面为 I 型不整合,可划分为海侵(TST)和高位(HST)两个体系域,表现为 TST<HST 快速海进缓慢海退沉积旋回的产物。海侵体系域:怀远运动之后,盆地内开始早古生代最大一次海侵,该体系域超覆在亮甲山组或寒武系之上,由于海平面上升快,可容纳空间迅速增加,形成了灰云岩、云岩及泥质云岩的进积—加积序列,最大海泛期在区域上广泛沉积 CS 凝缩段薄层泥质云岩或泥岩。高位体系域:伴随海平面上升速率减缓并转向下降,可容纳空间递增减缓甚至减少,早期,可容纳空间递增速率与碳酸

盐堆积速率接近,碳酸盐岩以加积作用为主,主要发育白云岩;晚期,海平面持续下降,同时可容纳空间迅速减少,形成向上变浅的进积序列,区域上主要形成泥微晶含膏云岩及层状膏盐岩。

②古地理特征 OSQ1 层序相当于马一段沉积期,盆地西南缘超覆在亮甲山组之上,盆地东部覆盖于寒武系之上。海侵体系域:盆地北部和中部横亘中央古隆起,海水尚未完全浸没,东西部海域没有贯通,环绕中央古隆起发育环陆潮坪,其东缘、西南缘发育不同的沉积体系组合。古隆起东缘吴旗—安塞—柳林一带为陆表海沉积,受华北海影响,主要沉积一套含泥云岩、泥质云岩,局部含膏质结核,为潮坪—局限台地相组合。古隆起西南缘受秦祁海影响,主要发育灰岩、灰质云岩、白云岩、含泥云岩、泥云岩

的空间岩相组合，局部发育膏盐岩层，为潮坪—局限—开阔台地—台地边缘斜坡—陆棚—盆地的沉积体系组合(图3左)。高位体系域：沉积格局与海侵体系域相似，古隆起东缘、西南缘沉积体系组合分别与海侵期相同，但海相沉积面积增大，沉积相带向隆起迁移，隆起剥蚀区逐渐缩小。与海侵体系域最大的差别在盆地东缘，东部榆9井—龙探2井一带形成盐湖，发育厚层状石膏、膏质云岩及盐岩的岩相组合(图3右)。

3.2.2 OSQ2 层序岩相古地理特征

①层序结构 OSQ2 层序厚 0~110 m,属 II 型层序，层序界面为岩性岩相转换面，可划分为海侵(TST)和高位(HST)两个体系域，整体表现为 TST<HST 快速海进缓慢海退沉积旋回的产物。海侵体系域：是继 OSQ1 短暂海退之后，又一次海侵的开始。海平面上升快，可容纳空间迅速增加，形成

了灰云岩、云灰岩及泥质云岩、泥质灰岩的进积—加积序列，最大海泛期在区域上广泛沉积 CS 凝缩段薄层泥质云岩或泥质灰岩。高位体系域：高位早期，可容纳空间递增速率与碳酸盐堆积速率接近，碳酸盐岩以加积作用为主，主要发育白云岩、灰云岩、灰岩；高位晚期，海平面持续下降，同时可容纳空间迅速减少，形成向上变浅的进积序列，区域上形成泥微晶含膏云岩、白云岩及灰云岩，局部形成膏盐层。

②古地理特征 OSQ2 层序相当于马二段沉积，沉积物叠置在 OSQ1 层序之上。海侵体系域：海水依旧没有侵没中央隆起，东部华北海和西部秦祁海尚未连通，围绕古隆起周缘形成潮坪环境，隆起东缘为华北海海域，吴旗—安塞—柳林一带为典型陆表海沉积，形成一套泥云岩、灰云岩、云灰岩及泥灰岩组合，为局限台地相沉积。隆起西南缘形成白云岩、灰云岩、灰岩、泥灰岩的沉积组合体，从隆起向秦祁

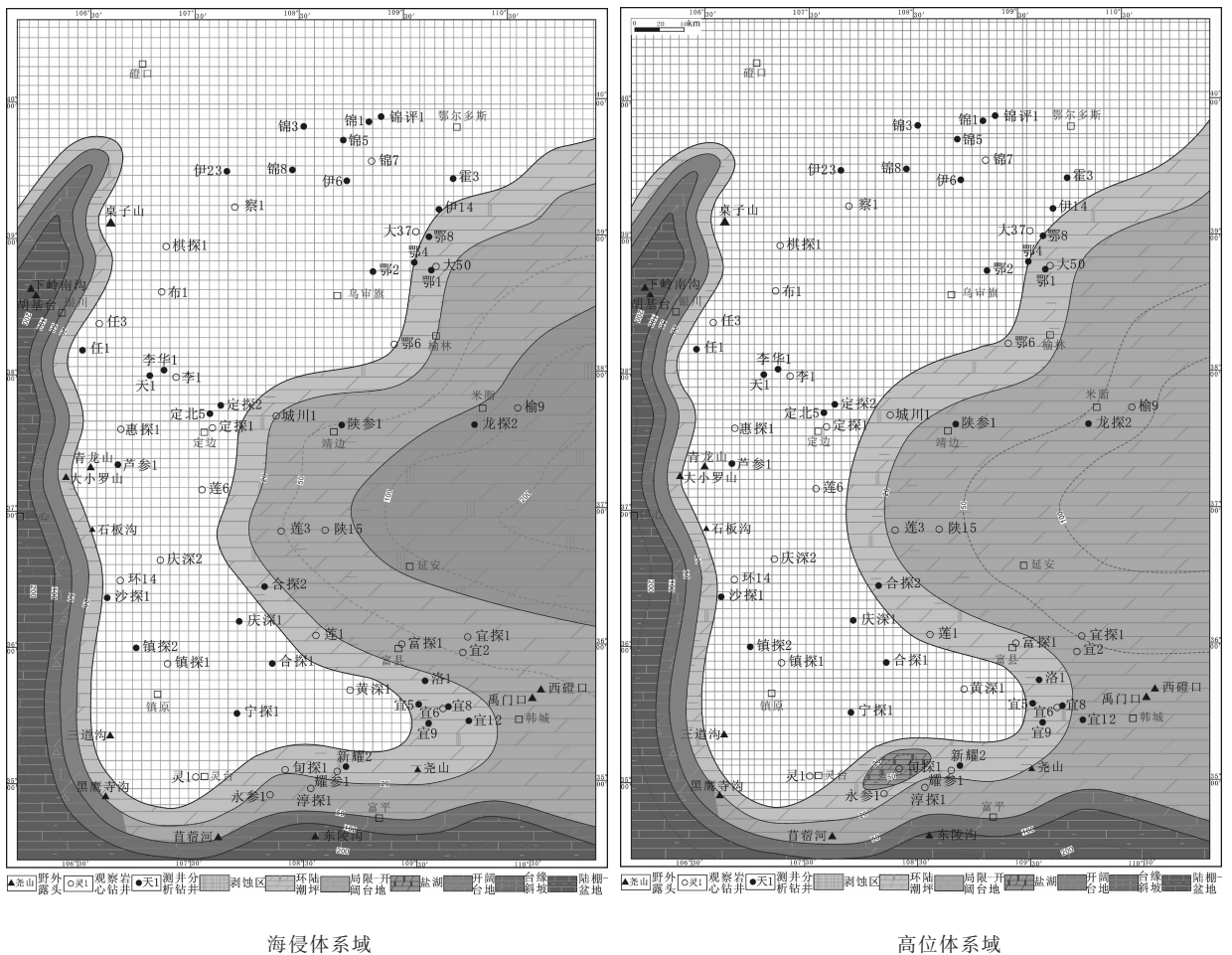


图3 鄂尔多斯地区马家沟组 OSQ1 层序海侵体系域和高位体系域岩相古地理图
Fig.3 Lithofacies and palaeogeography of TST and HST in OSQ1 of Majiagou Formation, Ordos Basin

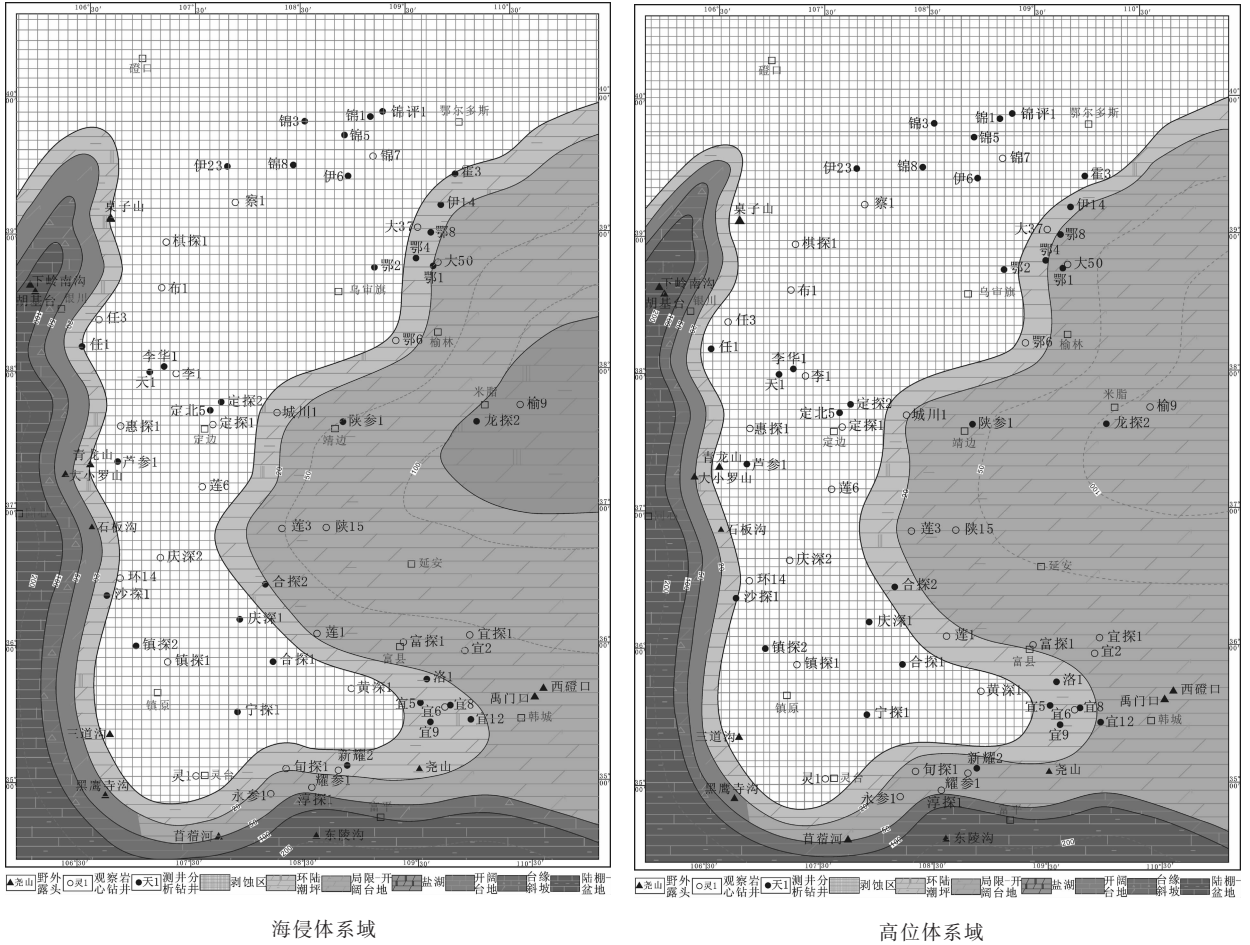


图 4 鄂尔多斯地区马家沟组 OSQ2 层序海侵体系域和高位体系域岩相古地理图
 Fig.4 Lithofacies and palaeogeography of TST and HST in OSQ2 of Majiagou Formation, Ordos Basin

海,依次发育潮坪—局限—开阔台地—台地边缘斜坡—陆棚—盆地的完整海相沉积体系(图 4 左)。高位体系域:沉积格局与海侵体系域相似,古隆起东缘、西南缘沉积体系组合分别与海侵期相同,但海相沉积面积增大,沉积相带向隆起迁移,隆起剥蚀区继续缩小。在隆起东缘榆 9 井—龙探 2 井一带形成盐湖,发育层状石膏盐岩及膏质云岩,盐湖面积较 OSQ4 高位体系域小(图 4 右)。

3.2.3 OSQ3 层序岩相古地理特征

①层序结构 OSQ3 层序厚 0~160 m,属 II 型层序,层序界面为岩性岩相转换面,可划分为海侵(TST)和高位(HST)两个体系域,东西部海域在定边—惠探 1 井一带连通,整体表现为 TST>HST 缓慢海进快速海退沉积旋回的产物。海侵体系域:是继 OSQ2 小幅海退之后,又一次较大规模海侵的开始。

海平面整体上升较慢,可容纳空间逐渐增加,形成了白云岩、含泥灰云岩及含泥云岩、泥质云岩的进积—加积序列,最大海泛期在区域上广泛沉积 CS 凝缩段薄层泥质云岩、泥质灰岩和瘤状灰岩。高位体系域:高位早期,可容纳空间递增速率与碳酸盐堆积速率接近;高位晚期,海平面持续下降,同时可容纳空间迅速减少;碳酸盐岩先以加积作用为主,后形成向上变浅的进积序列,主要发育白云岩、泥云岩、含膏云岩及层状膏盐岩。

②古地理特征 OSQ3 层序相当于马三段沉积,沉积物叠置在 OSQ2 层序之上。海侵体系域:海侵规模逐渐增大,此时东部华北海和西部秦祁海已连通,中央古隆起在惠探 1 井—定边一带淹没水下,海面之上被分为两个隆起剥蚀区,分别位于盆地西南部环县—镇原—正宁一带和盆地北部鄂托克前旗以

北。围绕两隆起区发育环陆潮坪,盆地东部、西南缘沉积环境迥然不同。盆地东部定边以东为华北海沉积海域,可能由于此时天气炎热,在靖边—榆9井一带盐岩发育,形成盐湖环境,其余地区海水局限,发育含膏云岩、白云岩及含泥云岩组合。盆地西缘为秦祁海沉积域,海水相对畅通,主要发育灰岩、泥灰岩及瘤状灰岩组合,从隆起区向西南部秦祁海依次发育潮坪—局限—开阔台地—台地边缘斜坡—陆棚—盆地的完整海相沉积体系(图5左)。高位体系域:沉积格局与海侵体系域相似,盆地东部、西南缘的沉积体系组合分别与海侵期相同,但海相沉积域增大,沉积相带向隆起迁移,隆起剥蚀区继续缩小。在盆地东部陕参1井—龙探2井—榆9井一带形成盐湖,发育厚层状石膏盐岩及膏质云岩,此时盐湖湖域为整个马家沟期最大,成为碳酸盐沉积膏盐盖层最发育的时期(图5右)。

3.2.4 OSQ4 层序岩相古地理特征

①层序结构 OSQ4 层序厚 0~320 m,属 II 型层序,层序界面为岩性岩相转换面,此时东西部海域完全连通,整体表现为 TST≈HST 海进—海退速率近似相等的特征。海侵体系域:是继 OSQ3 小幅海退之后,最大一次规模海侵的开始。海平面上升快,可容纳空间迅速增加,形成了含泥云岩、灰云岩、灰岩及泥质灰岩的进积—加积序列,最大海泛期在区域上广泛沉积 CS 凝缩段薄层泥质云岩或泥灰岩。高位体系域:高位早期,可容纳空间递增速率与碳酸盐堆积速率接近;高位晚期,海平面持续下降,同时可容纳空间迅速减少;碳酸盐岩先以加积作用为主后形成向上变浅的进积序列,主要发育灰岩、泥灰岩、泥质云岩、白云岩,含膏云岩。

②古地理特征 OSQ4 层序相当于马四段沉积,沉积物叠置在 OSQ3 层序之上。海侵体系域:东部

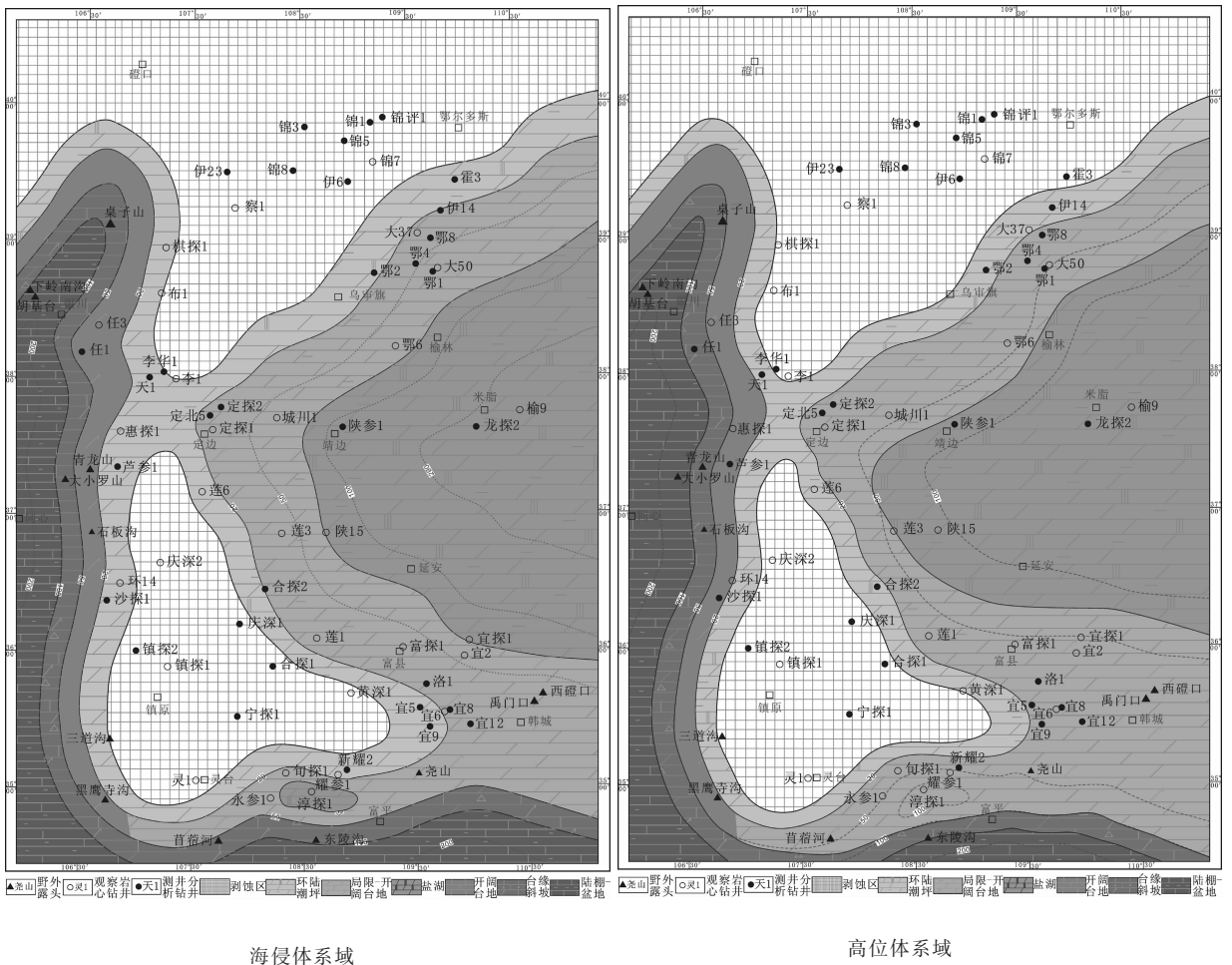


图5 鄂尔多斯地区马家沟组 OSQ3 层序海侵体系域和高位体系域岩相古地理图
Fig.5 Lithofacies and palaeogeography of TST and HST in OSQ3 of Majiagou Formation, Ordos Basin

华北海和西部秦祁海完全连通,仅存西南部隆起和北部隆起,围绕古隆周缘形成潮坪环境,盆地东部与西南缘沉积体系存在差异。盆地东部发育云灰岩、灰岩、白云岩、泥质灰岩、泥质云岩,为开阔台地沉积环境。盆地西南缘主要形成灰岩、灰云岩、云灰岩组合,从盆地向秦祁深海依次发育潮坪—开阔台地—台地边缘斜坡—陆棚—盆地沉积体系(图 6 左)。高位体系域:沉积格局与海侵体系域相似,盆地东部、西南缘沉积体系组合分别与海侵期相同,但海相沉积面积增大,沉积相带向隆起迁移,隆起剥蚀区继续缩小。在盆地西南部平凉银洞官庄、苜蓿河等地局部发育内碎屑点滩(图 6 右)。

3.2.5 OSQ5 层序岩相古地理特征

①层序结构 OSQ5 层序厚 0~410 m,属 II 型层序,层序界面为岩性岩相转换面。该层序海域沉积区较 OSQ7 减小,隆起剥蚀区逐渐增大,整体表现为 TST<HST 快速海进缓慢海退沉积旋回的产物。海

侵体系域:是继 OSQ4 最大海侵之后,又一次小规模海侵的开始。海平面上升快,可容纳空间迅速增加,形成了灰云岩、云灰岩及泥质云岩及灰岩、泥质灰岩的进积—加积序列,最大海泛期在区域上广泛沉积 CS 凝缩段薄层泥质云岩、泥质灰岩及瘤状灰岩。高位体系域:高位早期,可容纳空间递增速率与碳酸盐堆积速率接近,高位晚期,海平面持续下降,同时可容纳空间迅速减少,形成向上变浅的进积序列,区域上形成泥微晶含膏云岩,白云岩、灰云岩及膏盐层岩相组合。

②古地理特征 OSQ5 层序相当于马五段沉积,沉积物叠置在 OSQ4 层序之上。海侵体系域:海平面较 OSQ4 有所下降,但东部华北海和西部秦祁海依旧连通,围绕古隆起周缘形成环陆潮坪环境。盆地东部主要受华北海影响,形成一套白云岩、灰云岩、含泥云岩及膏盐岩组合,为局限台地相沉积,靖边—榆 9 井一带形成一盐湖。盆地西南缘形成含膏云岩、

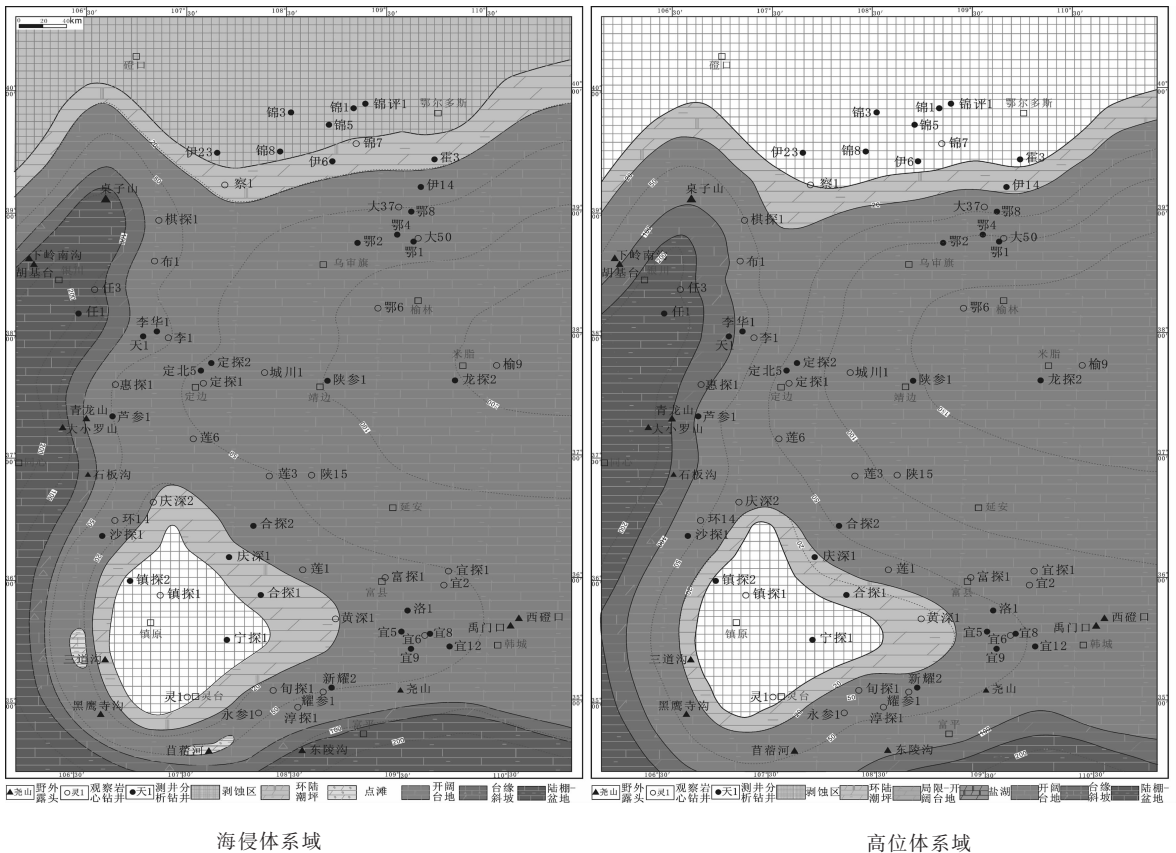


图 6 鄂尔多斯地区马家沟组 OSQ4 层序海侵体系域和高位体系域岩相古地理图
Fig.6 Lithofacies and palaeogeography of TST and HST in OSQ4 of Majiagou Formation, Ordos Basin

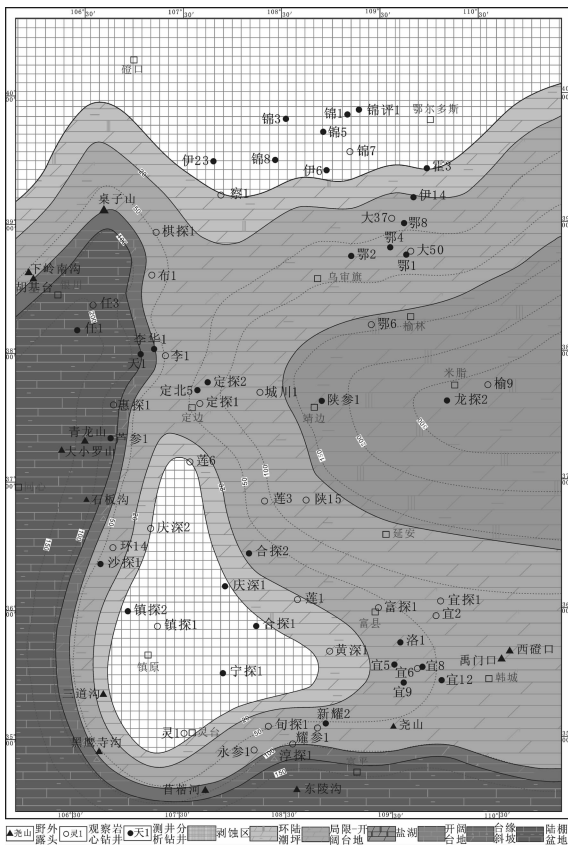
白云岩、灰云岩、灰岩、泥灰岩的沉积组合体,表明海水在部分地带局限,从盆地向西南部秦祁海,依次发育潮坪—局限—开阔台地—台地边缘斜坡—陆棚—盆地的完整海相沉积体系(图7左)。高位体系域:沉积格局与海侵体系域相似,盆地东部、西南缘沉积体系组合分别与海侵期相同,但海相沉积面积增大,沉积相带向隆起迁移,东部盐湖向西延伸至城川1井附近,隆起剥蚀区继续缩小(图7右)。该时期盐湖面积仅次于OSQ6层序高位期,为马家沟期第二次东部盐岩盖层发育时期。

3.2.6 OSQ6 层序岩相古地理特征

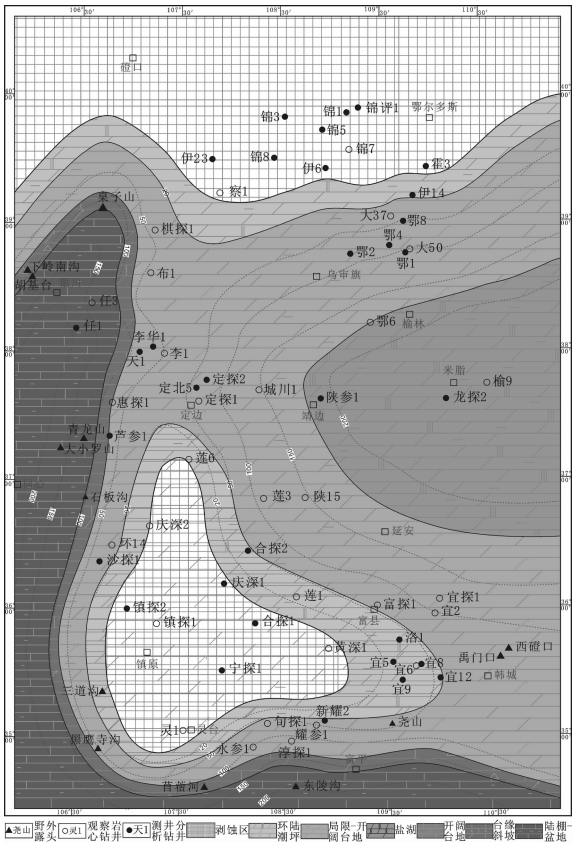
①层序结构 OSQ6 层序厚 0~350 m,属 II 型层序,层序界面为岩性岩相转换面,该层序主要发育在盆地西南缘,盆地东部局部地区残存,从西南缘向盆地内部层序具超覆变薄的特点,表现为 TST>HST 缓慢海进快速海退沉积旋回的产物。海侵体系

域:是继 OSQ5 小幅海退之后,又一次小规模海侵的开始。海平面缓慢上升,可容纳空间逐渐增加,形成了灰云岩、灰岩、泥质灰岩及瘤状灰岩的进积—加积序列,最大海泛期在区域上广泛沉积 CS 凝缩段薄层泥质灰岩或瘤状灰岩。高位体系域:伴随海平面上升速率减缓并转向下降,可容纳空间递增减缓甚至减少,碳酸盐岩先以加积作用为主后形成向上变浅的进积序列,主要发育灰岩、泥灰岩,顶部出现含泥云岩及白云岩。

②古地理特征 OSQ6 层序相当于马六段沉积,沉积物叠置在 OSQ5 层序之上。海侵体系域:东部华北海逐渐退出鄂尔多斯地区,仅在东部韩城—子长—米脂一带以东残存海相沉积,形成一套灰云岩、灰岩组合,为开阔台地环境产物。盆地西南缘受秦祁海影响,发育灰岩、泥质灰岩及瘤状灰岩沉积,从盆地内部向西、向南逐渐过渡到深海环境,形成开



海侵体系域



高位体系域

图7 鄂尔多斯地区马家沟组 OSQ5 层序海侵体系域和高位体系域岩相古地理图
Fig.7 Lithofacies and palaeogeography of TST and HST in OSQ5 of Majiagou Formation, Ordos Basin

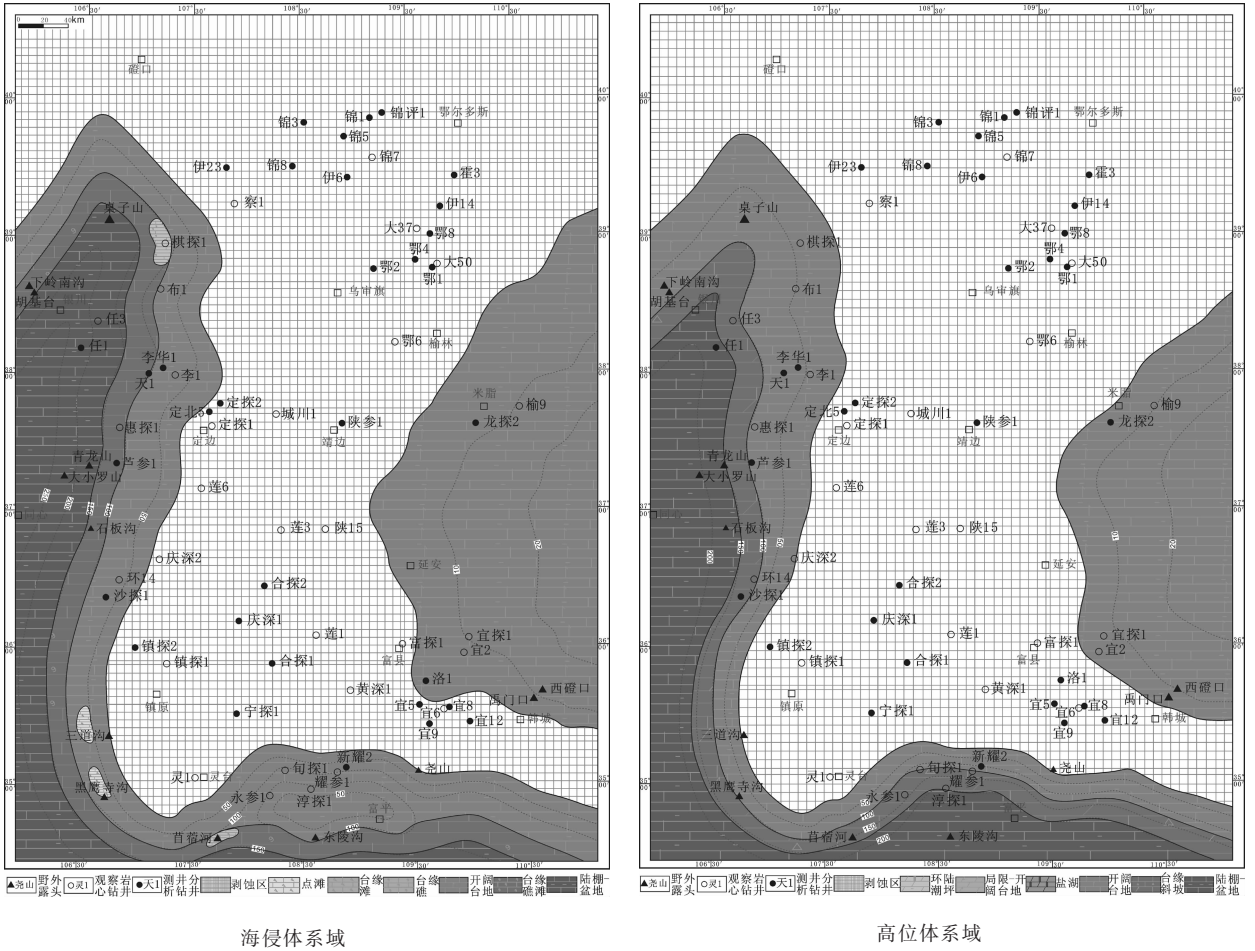


图 8 鄂尔多斯地区马家沟组 OSQ6 层序海侵体系域和高位体系域岩相古地理图

Fig.8 Lithofacies and palaeogeography of TST and HST in OSQ6 of Majiagou Formation, Ordos Basin

阔台地—台地边缘斜坡—陆棚—盆地沉积体系组合(图 8 左)。高位体系域:盆地东部沉积格局与海侵体系域相似,海相沉积稍微增大,沉积相带向盆内迁移。盆地西南缘沉积体系与海侵期有所差别,典型的台地边缘礁滩相带在该时期开始形成,盆地西缘棋探 1 井一带发育台缘生物礁,盆地南缘苜蓿河剖面一带形成台地边缘碎屑滩,台地演化为镶边台地,沉积体系组合为开阔台地—台地边缘礁滩—陆棚—盆地沉积体系组合(图 8 右)。

4 结论

鄂尔多斯地区马家沟期为一次大的海平面升降旋回,可划分为 6 个三级层序,OSQ1 为 I 型层序,其余均为 II 型层序,每个层序划分出 TST 和 HST 两个体系域。盆地沉积演化受西南缘祁连海和东部华北海共同影响,两者在 OSQ4 期完全贯通,西南

缘具陆缘海沉积特征,形成相域较窄的潮坪—局限—开阔台地—台地边缘斜坡—陆棚—盆地的完整海相沉积体系,东部为陆表海沉积,主要发育潮坪和局限(开阔)台地相沉积体。OSQ1、OSQ3、OSQ5 高位体系域白云岩及 OSQ6 高位体系域西南缘生物礁和颗粒滩可成为重要的油气储集体,OSQ3、OSQ5 高位体系域盐湖发育的膏盐岩形成了 2 套重要的区域盖层。

参考文献(References):

[1] 陈洪德,侯明才,林良彪,等. 不同尺度构造—层序岩相古地理研究思路与实践[J]. 沉积学报, 2010, 28(5):894—905.
Chen Hongde, Hou Mingcai, Lin Liangbiao, et al. Research idea and practice of tectonic—sequence lithofacies paleogeographic in diverse scales[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2010, 28(5): 894—905 (in Chinese with English abstract).
[2] 田景春,陈洪德,覃建雄,等. 层序—岩相古地理图及其编制[J].地

- 球科学与环境学报, 2004, 26(1):6-12.
- Tian Jingchun, Chen Hongde, Qin Jianxiong, et al. Case study of sequence-based lithofacies-paleogeography research and mapping of south China[J]. Journal of Earth and Environment, 2004, 26(1):6-12(in Chinese with English abstract).
- [3] 侯中建, 陈洪德, 田景春, 等. 层序岩相古地理编图在岩相古地理分析中的应用[J]. 成都理工学院学报, 2001, 28(4):376-382.
- Hou Zhongjian, Chen Hongde, Tian Jingchun, et al. The application of sequence lithofacies and paleogeography mapping to the analyses of lithofacies-paleogeography [J]. Journal of Chengdu University of Technology, 2001, 28(4):376-382 (in Chinese with English abstract).
- [4] 王多云, 郑希民, 李凤杰. 含油气区岩相古地理学的几个问题[J]. 沉积学报, 2003, 21(1):131-134.
- Wang Duoyun, Zheng Ximin, Li Fengjie. Some problems on lithofacies paleogeography in oil and gas area[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(1):131-134 (in Chinese with English abstract).
- [5] 戴荔果, 郑荣才, 李爽, 等. 川东-渝北地区飞仙关组层序-岩相古地理特征[J]. 中国地质, 2009, 36(1):110-119.
- Dai Ligu, Zhen Rongcai, Li Shuang, et al. Sequence-based lithofacies and paleogeography of Lower Triassic Feixianguan Formation in eastern Sichuan and northern Chongqing area [J]. Geology in China, 2009, 36 (1):110-119 (in Chinese with English abstract).
- [6] 林良彪, 陈洪德, 朱利东, 等. 川东嘉陵江组-雷口坡组层序岩相古地理[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2010, 37(4):446-451.
- Lin Liangbiao, Chen Hongde, Zhu Lidong, et al. The sequence-based lithofacies-paleogeography of Jialingjiang Formation and Leikoupo Formation in eastern Sichuan Basin, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology(Science & Technology Edition), 2010, 37(4):446-451(in Chinese with English abstract).
- [7] 胡忠贵, 郑荣才, 胡明毅, 等. 川东邻水-渝北地区石炭系层序-岩相古地理特征[J]. 中国地质, 2010, 37(5):1383-1392.
- Hu Zhonggui, Zhen Rongcai, Hu Mingyi, et al. Sequence-based lithofacies and paleogeography of Carboniferous Huanglong Formation in Linshui(eastern Sichuan)-northern Chongqing area [J]. Geology in China, 2010, 37(5):1383-1392(in Chinese with English abstract).
- [8] 徐胜林, 陈洪德, 林良彪, 等. 川东南地区飞仙关组层序岩相古地理特征[J]. 中国地质, 2009, 36(5):1055-1064.
- Xu Shenglin, Chen Hongde, Lin Liangbiao, et al. Sequence-based lithofacies and paleogeography of Lower Triassic Feixianguan Formation in southeastern Sichuan Basin [J]. Geology in China, 2009, 36(5):1055-1064(in Chinese with English abstract).
- [9] 徐强, 刘宝珺, 何汉漪, 等. 四川晚三叠世生物礁层序地层岩相古地理编图[J]. 石油学报, 2004, 25(2):47-50.
- Xu Qiang, Liu Baojun, He Hanyi, et al. Sequence stratigraphy lithofacies and paleogeography mapping for the Late Permian reef in Sichuan Basin [J]. Acta Petroli Sinica, 2004, 25 (2):47-50 (in Chinese with English abstract).
- [10] 陈洪德, 覃建雄, 王成善, 等. 中国南方二叠纪层序岩相古地理特征及演化[J]. 沉积学报, 1999, 17(4):510-521.
- Chen Hongde, Qin Jianxiong, Wang Chengshan, et al. Sequence-based lithofacies and paleogeographic characteristics and evolution of Permian in South China[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17 (4):510-521(in Chinese with English abstract).
- [11] 柯光明, 郑荣才, 石和. 苏北盆地古近纪构造-层序岩相古地理特征与演化[J]. 中国地质, 2006, 33(6):1305-1311.
- Ke Guangming, Zheng Rongcai, Shi He. Lithofacies and paleogeography of Paleogene tectonic sequences in the Subei basin and their evolution[J]. Geology in China, 2006, 33(6):1305-1311 (in Chinese with English abstract).
- [12] 胡明毅, 魏国齐, 胡忠贵, 等. 四川盆地中二叠统栖霞组层序-岩相古地理[J]. 古地理学报, 2010, 12(5):515-526.
- Hu Mingyi, Wei Guoqi, Hu Zhonggui, et al. Sequence-lithofacies palaeogeography of the Middle Permian Qixia Formation in Sichuan Basin[J]. Journal of Palaeogeography, 2010, 12(5):515-526 (in Chinese with English abstract).
- [13] 赵宗举, 吴兴宁, 潘文庆, 等. 塔里木盆地奥陶纪层序岩相古地理[J]. 沉积学报, 2009, 27(5):939-955.
- Zhao Zongju, Wu Xingning, Pan Wenqing, et al. Sequence lithofacies paleogeography of Ordovician in Tarim Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2009, 27 (5):939-955 (in Chinese with English abstract).
- [14] 姚泾利, 赵永刚, 雷卞军, 等. 鄂尔多斯地区西部马家沟期层序岩相古地理 [J]. 西南石油大学学报 (自然科学版), 2008, 30(1):33-38.
- Yao Jingli, Zhao Yonggang, Lei Bianjun, et al. Sequence lithofacies paleogeography of western Ordos Basin in Majiagou stage, Ordovician [J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science&Technology Edition), 2008, 30 (1):33-38 (in Chinese with English abstract).
- [15] 许效松, 汪正江. 中国中西部海相碳酸盐盆地油气资源[J]. 新疆石油地质, 2002, 23(5):366-372.
- Xu Xiaosong, Wang Zhengjiang. On oil and gas resources in marine carbonate basin of Central-Western China [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2002, 23(5):366-372(in Chinese with English abstract).
- [16] 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. Lithofacies Paleogeography of Majiagou Age of Ordovician in Ordos Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17 (1):1-8 (in Chinese with English abstract).
- [17] 董兆雄, 姚泾利, 孙六一, 等. 重新认识鄂尔多斯南部早奥陶世马家沟期碳酸盐台地沉积模式[J]. 中国地质, 2010, 37(5):1327-1335.
- Dong Zhaoxiong, Yao Jingli, Sun Liuyi, et al. The carbonate platform sedimentary model of southern Ordos basin[J]. Geology in China, 2010, 37(5):1327-1335(in Chinese with English abstract).

- [18] 许效松, 门玉澎, 张海全, 古陆、古隆与古地理[J]. 沉积与特提斯地质, 2010, 30(3):1-10.
Xu Xiaosong, Men Yupeng, Zhang Haiquan. Old land, old uplift and palaeogeography [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2010, 30(3):1-10(in Chinese with English abstract).
- [19] 雷卞军, 付金华, 孙粉锦, 等. 鄂尔多斯地区奥陶系马家沟组层序地层格架研究——兼论陆表海沉积作用和早期成岩作用对相对海平面变化的响应[J]. 地层学杂志, 2010, 34(2):145-153.
Lei Bianjun, Fu Jinhua, Sun Fenjin, et al. Sequence stratigraphy of the

- Majiagou Formation, Ordos Basin: Sedimentation and Early Diagenesis Related to Eustatic Sea-level Changes [J]. Journal of Stratigraphy, 2010, 34(2):145-153(in Chinese with English abstract).
- [20] 田景春, 彭军, 覃建雄, 等. 长庆气田中区“马家沟组”高频旋回层序地层分析[J]. 油气地质与采收率, 2001, 8(1):31-34.
Tian Jingchun, Peng Jun, Qin Jianxiong, et al. The analysis of high frequency cycle sequence stratigraphy of Middle Changqing Gas Field [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2001, 8(1):31-34(in Chinese with English abstract).

Sequence-based lithofacies and paleogeography of Majiagou Formation in Ordos Basin

SU Zhong-tang^{1,2}, CHEN Hong-de^{1,2}, OUYANG Zheng-jian^{1,2}, JIN Xue-qiang³

(1. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, CDUT, Chengdu 610059, Sichuan, China;

2. Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 3. Ningxia Institute of Land and Resource Investigation and Monitoring, Yinchuan 750021, Ningxia, China)

Abstract: The Majiagou Formation in Ordos Basin can be divided into 6 third-order sequences and 12 system tracts on the basis of field profile, core and well log. In this paper, characteristics of sequence stratigraphy of Majiagou Formation were analyzed, sequence-based lithofacies and paleogeography were also compiled by means of condensation of mapping units of sedimentary system tracts. It is indicated that the basin sedimentary evolution was controlled by the North China Sea and the Qilian Sea, with the former being an epeiric sea and the latter being an epicontinental sea. OSQ1, OSQ2, OSQ3 and OSQ5 are mainly restricted platforms in TST, and some areas are anointed lakes in HST; open platform is the main facies of OSQ4 and OSQ6 whether in TST or HST; reef and shoal are formed in HST of southwest margin. Dolomites of HST in OSQ1, OSQ3, OSQ5 and southwest reef and shoal might be important oil-gas reservoirs, and gypsum of HST in OSQ3 and OSQ5 forms 2 major regional caps of Ordos Basin.

Key words: sequence-based lithofacies and paleogeography; sequence stratigraphy; sedimentary facies; Majiagou Formation; Ordos

About the first author: SU Zhong-tang, male, born in 1981, doctor, lecturer, engages in the study of reservoir sedimentology; E-mail: xiongwei3279@sina.com.