

# 土库曼斯坦阿姆河盆地卡洛夫—牛津阶沉积相特征

徐文礼<sup>1</sup> 郑荣才<sup>1</sup> 费怀义<sup>2</sup> 王 强<sup>2</sup> 吴 蕾<sup>3</sup>

(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. 川庆钻探工程公司地质勘探开发研究院, 四川 成都 610051; 3. 中国石油(土库曼斯坦)阿姆河天然气公司, 土库曼斯坦 巴格德雷)

**摘要:**以岩心描述、薄片和古生物鉴定为依据, 结合测井相和地震相特征和区域构造—沉积背景, 对土库曼斯坦阿姆河盆地卡洛夫—牛津阶沉积相特征进行研究, 确定该地层单元属于碳酸盐台地沉积体系, 识别出蒸发台地、局限台地、开阔台地、台地边缘礁滩、前缘缓斜坡、盆地等 6 种沉积相类型。以连井沉积相剖面对比、沉积相平面分布特征和纵向演化分析为基础, 进一步揭示出该盆地卡洛夫—牛津阶经历了台地前缘缓斜坡、台地边缘礁滩、开阔台地、局限台地、蒸发台地等交替发育构成多期次海进—海退旋回演化和“开放性宽缓型镶边缓斜坡台地”沉积模式。

**关键词:**碳酸盐台地; 沉积相模式; 卡洛夫—牛津阶; 阿姆河盆地

**中图分类号:** P534.52      **文献标志码:**      **文章编号:** 1000-3657(2012)02-0954-

## 1 区域地质概况

主体位于乌兹别克斯坦南部、土库曼斯坦东北部及阿富汗西北部的阿姆河盆地, 又称卡拉库姆盆地或阿姆达林盆地, 面积为  $42 \times 10^4 \text{ km}^2$ , 是中亚地区最重要的含油气盆地之一<sup>[1]</sup>。该盆地构造上位于中亚构造域中西部<sup>[2,3]</sup>, 属于图兰台地东南部的一个大型中生代叠合沉积盆地(图 1), 地史上一度属于劳亚域与冈瓦纳域之间的特提斯域<sup>[4,5]</sup>。盆地主体呈北西—南东走向的、南西冀窄陡而北东冀较宽缓的箕状。根据基底起伏和沉积盖层的构造形态, 将盆地划分为西南部科佩特山前拗陷带、中央卡拉库姆隆起带和东北部阿姆河拗陷带等 3 个一级构造单元<sup>[6,7]</sup>, 盆地内主要发育北西向和北东向的两组断裂, 控制了区域构造—沉积格局和储层及盖层的分布<sup>[8]</sup>。

研究区位于土库曼斯坦阿姆河右岸, 分 A、B 2 个区块(图 1), 区域构造处于阿姆河盆地查尔朱阶地。根据构造和岩性特征, 阿姆河盆地被划分为基底、过

渡层和盖层 3 个构造层系: 基底由古生界的火成岩和变质岩组成, 埋深变化大, 最浅处的卡拉库姆隆起不足 2 000 m, 最深的北卡拉比里拗陷可达 14 000 m 以上; 基底之上广泛发育了二叠系—三叠系陆源碎屑岩组成的过渡层, 由北向南变厚, 在盆地南缘的科佩特山前拗陷最大厚度可达 12 000 m; 广泛发育的地台盖层由侏罗系、白垩系和古近系碳酸盐岩、蒸发岩和砂岩、泥岩、煤层互层组成<sup>[9-11]</sup>。油气储层主要发育于中—上侏罗统卡洛夫—牛津阶, 与下伏中侏罗统海岸平原—潟湖沼泽相的含煤碎屑岩系呈超覆不整合接触关系, 与上覆下白垩统基末利阶高尔达克组的高伽马泥岩层或厚层膏盐岩层为连续沉积。其本身为一套较深水碳酸盐岩缓斜坡—浅水台地相的碳酸盐岩沉积组合<sup>[11-14]</sup>, 自上而下被划分为灰岩石膏层(XVac 层)、层状灰岩层(XVp 层)、块状灰岩层(XVm 层)、礁上层(XVhp 层)、生物礁层(XVa1 层)、致密层(Z 层)和礁下层(XVa2) 7 个岩性段(图 2)。

收稿日期: 2012-03-01; 改回日期: 2012-06-11

基金项目: 国家重大专项“大型油气田及煤层气开发”子项目“海相碳酸盐岩层序地层与沉积体系特征及储层预测”(2008ZX05030-003-02)资助。

作者简介: 徐文礼, 男, 1982 年生, 博士生, 从事油气藏地质研究; E-mail: xuwenli5@163.com。

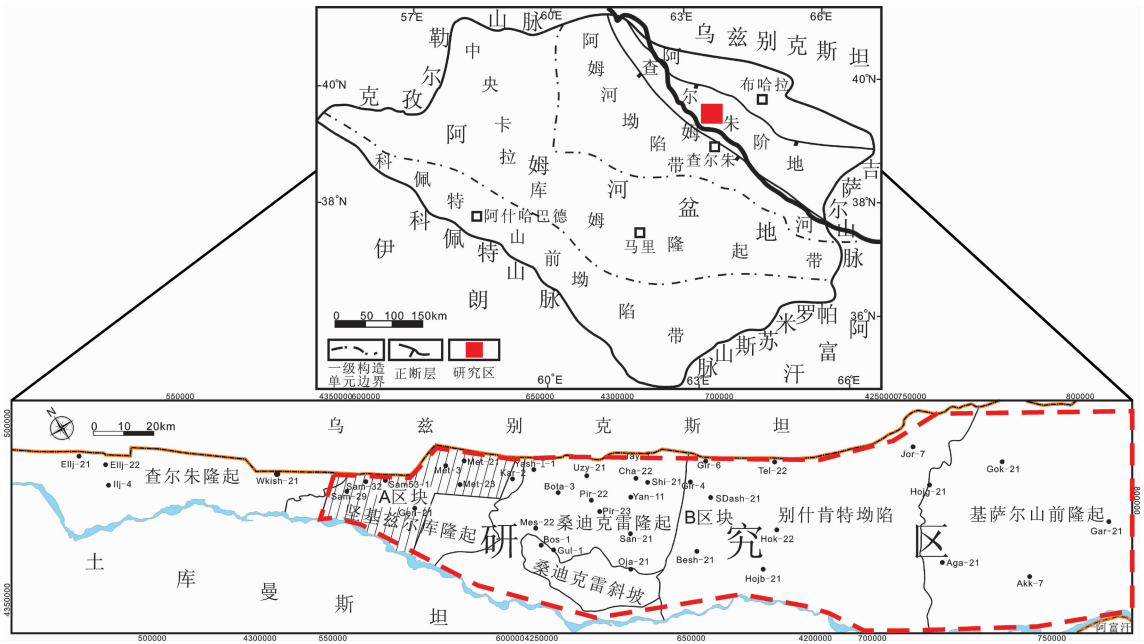


图 1 阿姆河右岸地区区域构造略图(据 Thomas Meisel 等, 1995)

Fig.1 Regional structural map of the Amu darya right bank area (from Thomas Meisel, 1995)

## 2 沉积相特征

### 2.1 沉积相标志

#### 2.1.1 岩石学标志

(1)微晶灰岩类:岩石为灰色-深灰色,由微晶方解石组成,中-薄层状为主,亦见厚层块状,不含或含少量有孔虫、海百合等生物碎屑(图 3-A)。该类岩石一般形成于水体较稳定能量较低的环境中。

(2)颗粒灰岩类:岩石为灰色或褐灰色,颗粒由内碎屑、鲕粒、球粒或团粒、生物碎屑、核形石等一种或多种组成,其中常含有一些造礁生物如厚壳蛤、珊瑚、苔藓虫等(图 3-B)。形成环境分为两种:一是形成于水体能量较低的浅滩边缘环境,(灰)泥质含量相对较多;二是形成于水体能量较高的台地边缘浅滩和台内浅滩环境,构成滩的主体,部分发育于礁间,颗粒间常被亮晶方解石胶结。

(3)生物礁灰岩类:主要为粘结礁灰岩。造礁生物以厚壳蛤为主,次为珊瑚、苔藓虫等(图 3-C),附礁生物包括瓣鳃、有孔虫、海百合等。沉积环境为台地边缘或前缘上斜坡。

(4)塌积角砾岩:岩性为灰色角砾状的生物碎屑灰岩,角砾直径 2 mm~5 cm,棱角分明,角砾间为基质支撑结构,显示其为陡坡带碎屑流快速堆积作用

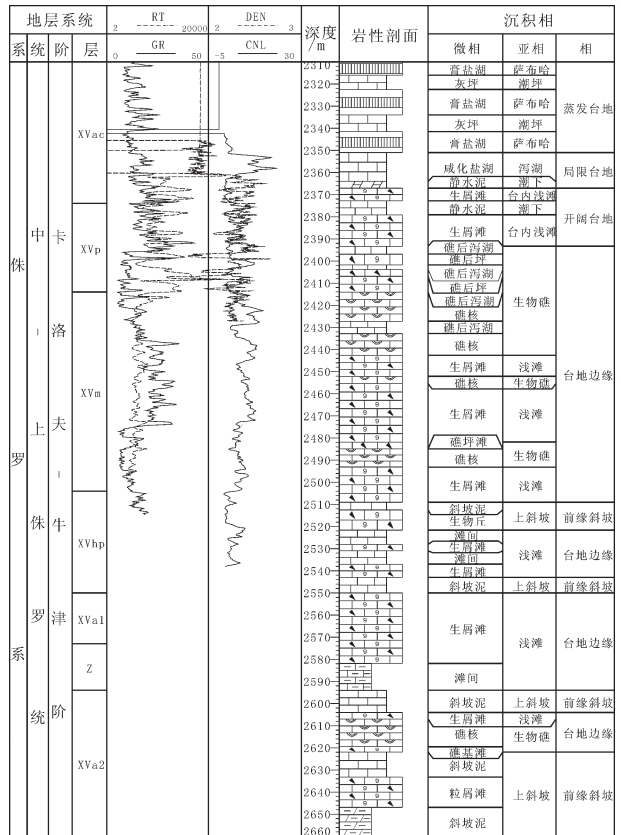


图 2 阿姆河盆地卡洛夫—牛津阶沉积相柱状图(据 Sam53-1 井)

Fig.2 Comprehensive column of Callovian-Oxfordian sedimentary facies in Amu Darya basin(from Sam53-1 well)

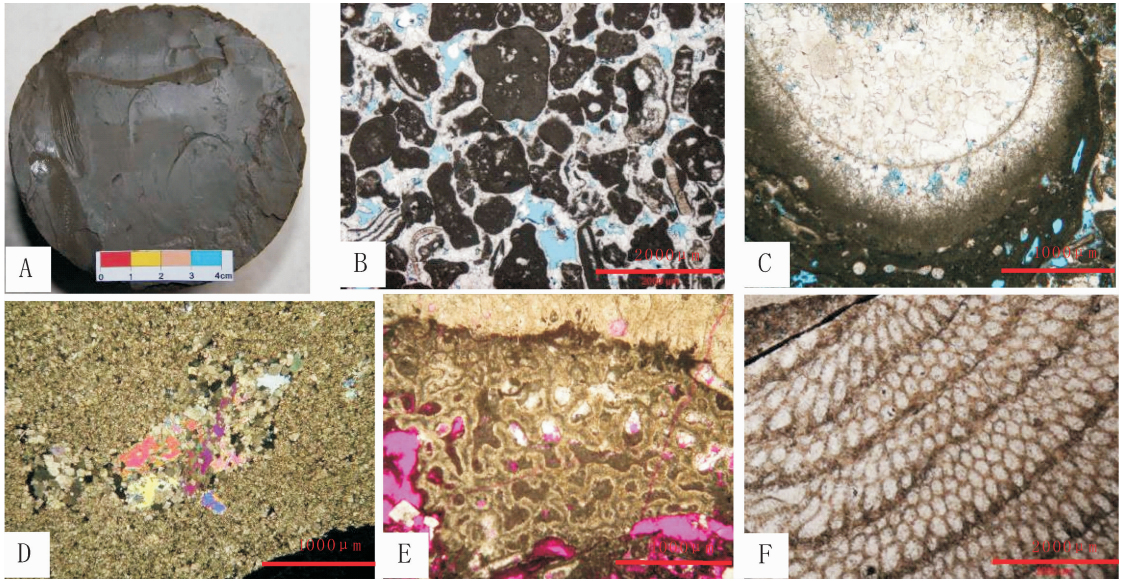


图 3 卡洛夫-牛津阶典型岩石类型及古生物特征

A—灰色泥-微晶灰岩,台缘滩间微相,Sam45-1井,2 424.62 m 井段,XVm,钻井岩心;B—亮晶生屑砂屑灰岩,生屑为有孔虫、棘皮、苔藓虫、红绿藻组合,前缘缓斜坡坡内浅滩相,Met-22井,2 666.5 m 井段,XVm层,铸体薄片(-);C—厚壳蛤礁灰岩,台缘生物礁相,Sam53-1井,2 454.76m 井段,XVm,铸体薄片(-);D—硅化膏化粉晶云岩,局限台地潟湖微相,Sam53-1井,2521.64 m 井段,XVhp层,普通薄片(+);E—脑纹海绵礁灰岩,台缘生物礁相,Sam53-1井,2 459.42 m 井段,XVm,铸体薄片(-);F—苔藓虫碎片,台缘浅滩相,Aga-21井,3 612.90m 井段,XVhp层,铸体薄片(-)

Fig.3 Typical rock types and paleontology of Callovian-Oxfordian carbonates

A—Gray micrite, inter-shoal, Well Sam45-1, 2424.62m, microphoto of drill core; B—Sparry bioclastic calcarenite, organism assemblage of foraminifera, echinoderms, bryozoan, red algae and green algae, shoal of platform slope, Well Met-22 well, 2666.5m, stained by blue epoxy, plainlight; C—Rudist bivalve reef limestone, platform margin reef facies, Well Sam53-1, 2454.76m, stained by blue epoxy, plainlight; D—Silicified and gypsic micrite dolomite, lagoon of restricted platform, Well Sam53-1, 2521.64m, crossed nicols; E—Sponge reef limestone, platform margin reef facies, Well Sam53-1, 2459.42m, XVm, stained by blue epoxy, plainlight; F—Bryozoan fragments, platform edge shoal, Well Aga-21, 3612.90m, stained by blue epoxy, plainlight

的产物。沉积环境为局部发育的台地前缘上斜坡。

(5)白云岩类:主要为微-粉晶白云岩、灰质白云岩和云质灰岩等(图 3-D),分布在局限台地的泻湖微相中的白云岩,按其结构特征可确定形成于准同生期,可用蒸发泵白云岩化模式加以解释,即在干旱炎热的气候条件下,在礁、滩顶部或受障壁的潟湖-潮坪环境下,由蒸发浓缩形成的高镁卤水交代灰泥所引起的准同生白云岩化,因此是台地暴露的标志。

(6)硬石膏岩类:该类岩石表明当时的沉积环境是属于干旱炎热的气候条件,是典型的蒸发环境产物。

### 2.1.2 古生物标志

研究区卡洛夫-牛津阶总体上以原生的造礁生物、附礁生物及生物碎屑为主,其中造礁生物主要为厚壳蛤(图 3-C),其次为海绵(图 3-E)、层孔虫、珊瑚、苔藓虫(图 3-F)等;附礁生物主要为有孔虫、腕

足、腹足、藻类、棘屑等;生物碎屑包括有孔虫、腕足、腹足、藻类、棘皮、双壳、介形虫、海绵骨针、放射虫等,它们多充填于灰泥、生物礁孔隙或堆积于浅滩中。研究表明在不同相带其生物类型大体形似只是其丰度略有区别,比如台地边缘相带具有高丰度的底栖有孔虫、腕足、腹足、藻类、棘皮、双壳等,而前缘斜坡相带具有高丰度的海绵骨针、放射虫等。对于同一种生物,不同相带其生长及分布特征也不相同,如台地边缘的苔藓虫骨架更大,与砂屑、生屑以及其他造礁生物共同生长、繁殖,组成抗浪格架,显示高能环境特点,为典型的造礁动物,而前缘斜坡的苔藓虫多为碎片,分布于灰泥之中,显示水体能量较低、水体较深的沉积环境。

### 2.1.3 测井相标志

通过钻井测井相岩-电转换模型分析,证实自

然伽马等测井曲线能表现出相应的多旋回变化特征,为碳酸盐岩测井相分析提供了条件,以伽马曲线为代表的测井相类型有如下几种(图 4)。

(1)箱型:自然伽马曲线较为平缓,相对于围岩呈箱型,并且曲线顶底都是突变接触性质,该类型自然伽马值相对最低,生物礁以稳定的垂向加积为主,反映台地边缘生物礁厚度大,沉积水动力较强,为典型的台缘礁核微相的测井响应特征。

(2)钟型:自然伽马曲线较为平滑,值由上往下逐渐减小,顶底接触性质不一,前者渐变、后者突变,相对于上下围岩呈钟型的曲线形态。此种类型的自然伽马曲线形态是对向上变深、粒度变细沉积序列的响应,也代表了水动力条件逐渐减弱的沉积环境,钟型测井曲线对应的沉积微相为浅滩亚相的滩间和生屑滩微相。

(3)漏斗型:漏斗形与钟型的曲线形态刚好相反,自然伽马值由上往下逐渐增加,顶底接触性质也不一致,表现为前者突变、后者渐变,相对于上下围岩呈漏斗型的曲线形态。而漏斗型的自然伽马曲线形态是对向上变浅、变粗沉积序列的响应,也代表了沉积水动力条件逐渐增强的环境中生物碎屑滩的连续沉积,漏斗型测井曲线对应的沉积微相为前缘斜坡上斜坡亚相的斜坡泥与生屑滩微相。

(4)尖指型:曲线表现为尖峰或圆滑的指形形态,自然伽马值变化幅度较大,大部分为高值,局部夹有中低值,代表了水动力相对较弱,对应的沉积微相为前缘斜坡或开阔台地等相带的滩间微相,局部

夹有薄层的生屑滩微相。

2.1.4 地震相标志

不同沉积相类型地震相响应特征有一定的差异性,特别是礁、滩异常体的差异性更明显,特点如下:

(1)台地边缘相位于台地与斜坡的转折部位,地层厚度变化较大,在地震剖面上表现为同相轴波状变化,振幅强弱、频率、相位也是变化的。出现丘状的异常体,通常为生物礁;透镜状异常体,通常为台地边缘浅滩的表现。

(2)斜坡相在地震剖面上一般显示为低频的平行连续反射,在此背景上存在强振幅杂乱反射,地层较台地和台地边缘相薄。通常在强振幅、杂乱反射背景上出现丘状或杏仁状或不规则状的礁滩异常体,地层增厚。

(3)礁、滩异常体的识别标志(图 5):

①地震反射类型是识别礁、滩的重要标志,礁、滩体通常以独特的反射外形和反射边界与围岩背景相区别,包括丘状、透镜状、杏仁状、蠕虫状等反射外形。其内部反射特征为中强振幅杂乱或无反射,与围岩反射特征截然不同。两侧地层有上超趋势、顶底界面振幅可强可弱,顶部振幅弱并存在气云现象;

②台内礁一般呈透镜状,厚度薄,规模相对较小;台地边缘礁呈中高振幅的丘状倾斜反射,台地边缘礁在地震剖面上具有“顶部强振幅,内部低频、弱振幅、杂乱、透镜状反射结构,向海一侧陡,向陆一侧较平缓”的反射特征;而斜坡上的塔礁一般呈孤立的、隆起幅度相对较高的丘状;点礁一般呈块状、杏

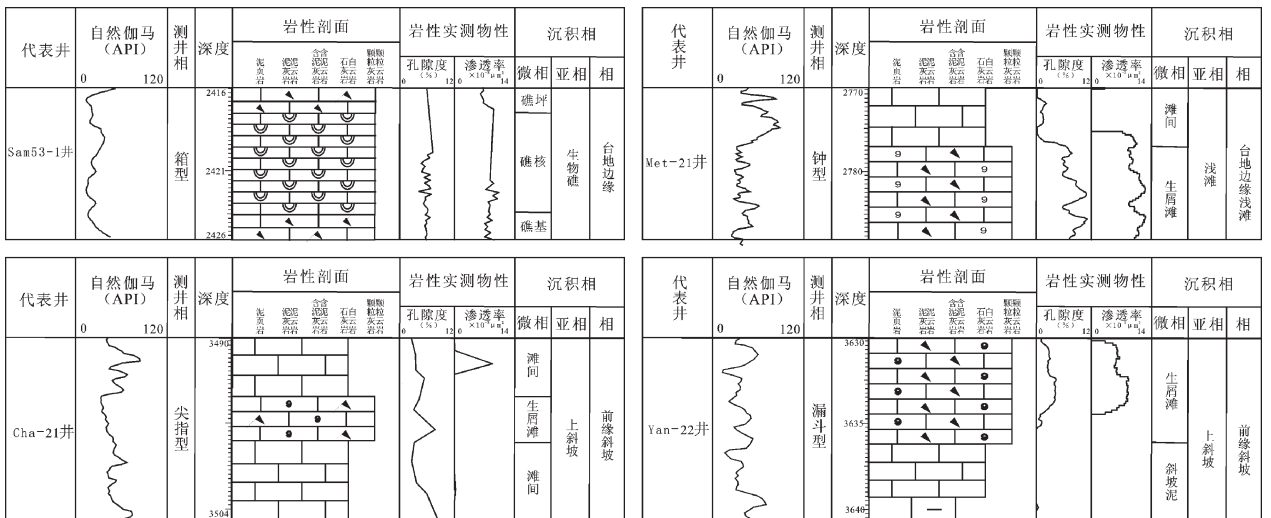


图 4 卡洛夫—牛津阶测井相模式图  
Fig.4 Logging facies diagram of Callovian-Oxfordian carbonates

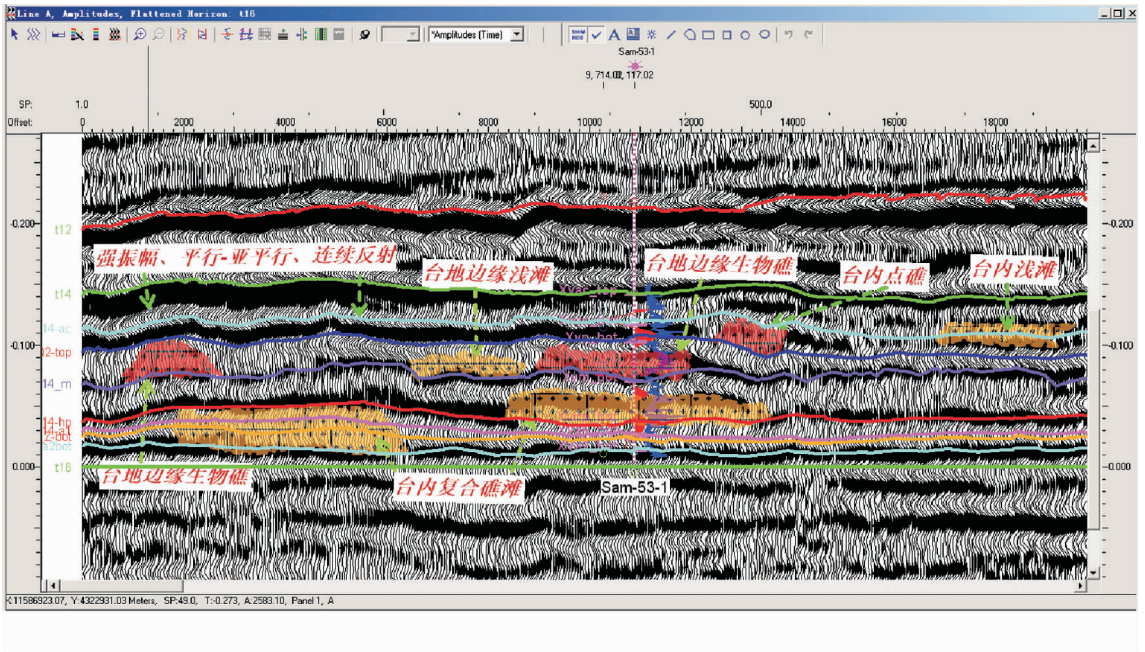


图 5 萨曼杰佩地区地震相剖面及沉积相类型解释图  
 Fig.5 Seismic profiles and types of sedimentary facies in Samandep

仁状、不规则状；浅滩一般呈蠕虫状、波状等外形；

③在上覆膏盐层存在变形的生物礁、滩发育区，顶部膏盐层厚度往往比两侧不发育礁滩的地区薄，大致与礁、丘的突起呈镜像对称关系，这种异常体一般是斜坡上的生物礁、滩和生物丘的反射特征；

④滩相一般呈透镜状或扁豆状，隆起幅度比生物礁小；由于滩相储层物性变好，振幅逐渐增强；滩体内厚度差异往往导致杂乱或短轴状中-弱反射强度；

(4)盆地相沉积发生在浪基面之下低能量沉积环境中，其地震相特征为连续的视高频平行反射波，频率、相位、振幅均匀，两个反射波之间可能出现无反射带。

## 2.2 沉积相类型

通过 18 口取心井岩心观察与描述，结合室内薄片资料和非取心井的测井资料解释，对研究区卡洛夫-牛津阶沉积相类型进行了识别和划分，主要的沉积相类型和特征如下。

### 2.2.1 蒸发台地

蒸发台地，又被称之为萨勃哈，发育在低海平面时期，包括蒸发潮坪和蒸发潟湖等沉积亚相和微相。仅发育于西部的 XVac 层中，岩性以具晶粒结构的块状硬石膏岩为主，夹膏质微晶白云岩和泥灰岩。反映台地内与广海之间连通性差，气候炎热干旱，蒸发

作用强烈，因此，以广泛发育蒸发岩为显著特征。

### 2.2.2 局限台地

局限台地是相对闭塞的浅水沉积环境，水动能较低，包括潮坪和潟湖等沉积亚相和微相。主要发育于西部的 XVac 层和 XVp 层，岩性主要为薄层状灰-深灰色微晶灰岩和颗粒微晶灰岩互层组合，含少量生物碎屑。由于局限台地水体浅，地势平坦，海平面轻微的升降就会造成台地大面积出露或淹没于海平面，造成局限台地中潮坪和蒸发作用很发育，碳酸盐泥及颗粒在盐度较高且富含镁离子的咸化海水作用下，容易发生准同生白云石化作用。因此，局限台地相的岩相特征之一是潮坪中的微晶白云岩广泛发育。

### 2.2.3 开阔台地

开阔台地海水循环良好，水体深数米到数十米，水体循环活跃且盐度正常。生物类型较丰富，包括腹足类、瓣鳃类、棘皮类、有孔虫和各种藻类等，于西部地区的各层位广泛发育，由旋回交替的开阔台地潮下和台内浅滩等沉积亚相和微相组成，其中潮下亚相岩性组合往往为单一的微晶灰岩和含生屑微晶灰岩，反映潮下亚相为低能沉积环境。而台内浅滩类型丰富，包括有生屑滩、砂屑滩、鲕滩和滩间微相，岩性为分选较好和具有微-亮晶胶结结构的砂屑灰岩、

鲕粒灰岩、生物屑灰岩、球粒灰岩、核形石灰岩和复合颗粒灰岩等,反映台内浅滩沉积环境的能量较高。

2.2.4 台地边缘礁滩相

该相带位于开阔台地与台地前缘斜坡之间,水动力作用改造强烈的高能带,是深水沉积和浅水沉积的变换带,是水动力最强的一种沉积环境。海底沉积物受到充分筛选,位于正常浪底和平均海平面之间,以沉积生物礁灰岩和颗粒灰岩为主。发育台地边缘生物礁和台地边缘浅滩两种亚相类型。

(1)台地边缘浅滩亚相:台地边缘浅滩水深从 20 m 到高出水面,海水循环良好,氧气充足,盐度正常,但由于底质处于移动状态,故不适于底栖固着型海洋生物栖息繁殖。该环境由于受到波浪和潮汐作用的共同控制,水动力条件极强,主要堆积的是以颗粒占绝对优势的滩相沉积体,灰泥组极少。岩性主要为分选好和具有等厚环边亮晶胶结结构的生物屑灰岩、砂屑灰岩、生屑砂屑灰岩、鲕粒灰岩等,在浅滩之间的低能带沉积少量的微晶灰岩和含颗粒微晶灰岩。

(2)台地边缘生物礁亚相:该亚相沿台地边缘成群成带分布,垂向上与生物碎屑滩密切共生,或以台地边缘浅滩为生长基座。研究区生物礁主要有丘礁和点礁 2 种类型,以厚壳蛤骨架礁灰岩和粘结礁灰岩为主,少量为珊瑚礁灰岩和珊瑚-厚壳蛤骨架礁灰岩。生物格架组分包括厚壳蛤、珊瑚、苔藓、藻类等,格架间由泥晶方解石充填,常与生物滩共生,构成礁、滩复合体。

2.2.5 台地前缘缓斜坡相

阿姆河盆地卡洛夫—牛津阶碳酸盐台地以前缘

发育有具备深水陆棚性质的非常宽缓的斜坡为显著特征,其沉积环境可从浪基面之上一直向前延伸到浪基面以下的盆地相沉积区,但一般位于含氧海水下限之上,包括上斜坡和下斜坡 2 个亚相。上斜坡主要发育微晶生屑砂屑灰岩、微晶生屑灰岩、复合颗粒灰岩、凝块石灰岩和微晶灰岩等,下斜坡以微晶灰岩为主,夹少量颗粒或含颗粒微晶灰岩及泥灰岩。

2.2.6 盆地相

盆地相主要分布在研究区的东部地区,具有厚度薄的欠补偿沉积特征。研究区内有 2 种盆地相沉积类型:其一为早期的深海盆地,位于大陆坡之下,水体深,能量低,岩性主要为暗色微晶灰岩和泥灰岩组合,富含有机质和泥质纹层;其二为晚期的闭塞海湾盆地,此类型与深海盆地有差异,成因与牛津阶末期海平面大规模下降所导致的前期盆地海水循环强烈受限而直接转化为具有深潟湖性质的闭塞海湾盆地有关,水体能量极低,生物化石少见,岩性主要为仅厚 10~20 m 的薄层高伽马泥岩,夹少量薄层灰黑色泥-微晶灰岩和泥灰岩。按海湾盆地内连续充填的基末利阶石膏层厚度比超覆浅水台地的同期石膏层厚约 450 m,如忽略石膏层的压实率,可推测这一具深潟湖性质的闭塞海湾盆地最大水深可达 450 m。

2.3 沉积相模式

研究区卡洛夫—牛津阶位于亚热带地区,生物礁、滩建造对碳酸盐台地的形成起了主导作用。根据生物礁、滩生长演化过程,结合研究区的单井、测井和地震等资料,并且综合塔克和顾家裕的相模式分类方案<sup>[15,16]</sup>,提出以台地前缘发育宽缓斜坡为特色的

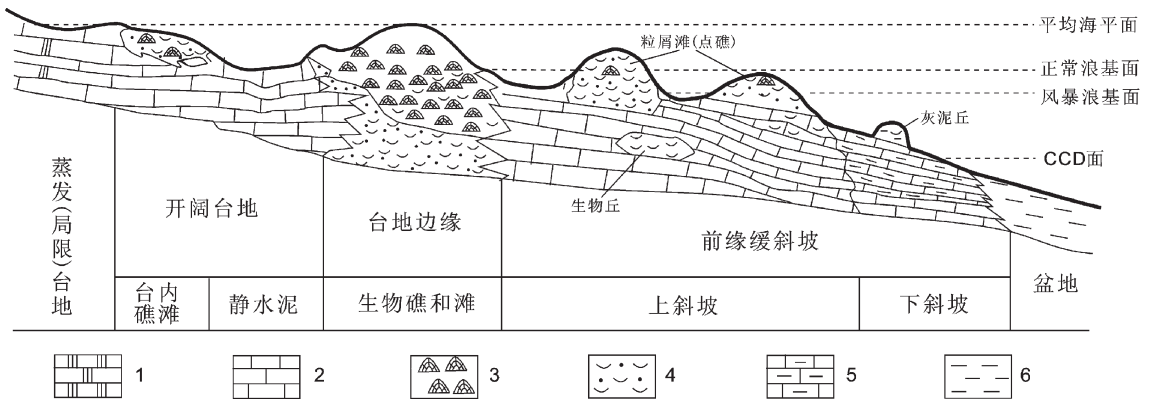


图 6 阿姆河盆地卡洛夫—牛津阶缓斜坡台地沉积相模式图

1—膏岩;2—微晶灰岩;3—生物礁灰岩;4—生屑(砂屑)灰岩;5—泥灰岩;6—泥岩

Fig.6 Depositional model of Callovian-Oxfordian platform with gentle slope in Amu Darya basin

1—Micrite; 2—Gypsum; 3—Reef limestone; 4—Bioclastic limestone; 5—Marl; 6—Mudstone

“开放型镶边缓斜坡台地”沉积模式(图 6),模式中由浅变深的相带展布格局早期为局限台地→开阔台地→台地边缘生物礁滩→台地前缘缓斜坡→深海盆地;晚期为蒸发台地→局限台地→闭塞海湾盆地(深潟湖)。

### 3 沉积演化序列与展布特征

#### 3.1 沉积演化序列

据卡洛夫-牛津阶沉积相平面展布和纵向演化特点,可将研究区划分为浅水台地(A 区块)和深水斜坡-盆地(B 区块)2 个沉积相区,其中,位于西部的浅水台地相区以前卡洛夫阶滨海平原相碎屑岩含煤建造为沉积超覆面,自下而上由台地前缘缓斜坡→台地边缘礁、滩→台地前缘缓斜坡→台地边缘礁、滩→开阔台地→局限或蒸发台地组成了 2 个区域性海侵-海退沉积演化序列;而位于中、东部的深水斜坡-盆地相区以前卡洛夫阶的滨、浅海细碎屑岩建造为沉积超覆面,自下而上由台地前缘缓斜坡→深水盆地→台地前缘缓斜坡→闭塞海湾盆地组成 2 个与浅水台地相区相对应的区域性海侵-海退沉积演化序列。从整个研究区沉积环境的演化特点来看,西部的浅水台地相区受海平面变化影响较中、东部深水斜坡-盆地相区更明显,岩性、岩相和沉积厚度变化更大,如以 Sam53-1 井区为例,由下而上 XVI~XVa2 层为台地前缘缓斜坡上部夹台地边缘生物礁和浅滩微相的白云质微晶灰岩、粉-细晶灰质云岩夹生屑灰岩组合,Z~XVa1 层为台地边缘浅滩微相的生屑灰岩组合,XVhp 层为台地前缘缓斜坡上部夹台地边缘浅滩微相的含生物屑微晶灰岩夹白云质生物屑灰岩和生物屑灰质白云岩、粉-细晶白云岩或灰岩的不等厚互层组合,XVm 层为台地边缘生物礁、浅滩微相的生屑灰岩与礁灰岩不等厚互层组合,XVp 层为开阔台地相台内浅滩微相的生屑灰岩与潮下静水泥微相的微晶灰岩不等厚互层组合,XVac 层为局限-蒸发台地潟湖-潮坪微相的微晶灰岩、(含)膏质微晶白云岩与膏盐岩薄互层组合(图 2)。

由上述单井卡洛夫-牛津阶沉积相分析结果表明:研究区卡洛夫早期开始接受海侵,速度较快,主要沉积了较深水的前缘缓斜坡和盆地相沉积;卡洛夫中-晚期开始进入缓慢海退过程,由于海平面升降变化小幅度但很频繁,致使台地前缘缓斜坡与台地边缘礁、滩相带频繁交替发育,由此构成了卡洛夫

期区域性快速海侵-缓慢海退旋回过程;牛津阶早期受全球性大规模海侵影响,沉积环境由台地边缘向台地前缘缓斜坡过渡,局部进入深水盆地沉积环境,区域上整体表现为海平面大幅度上升和快速海侵,形成向上变深的相序列;牛津中期为海平面持续下降过程,同样因受海平面升降变化幅度小但很频繁的影响,进入旋回交替的台地边缘礁、滩和开阔台地台内浅滩广泛发育期,形成了阿姆河盆地最重要的礁、滩相储层发育层位;牛津阶晚期进一步受海平面大幅度下降和干旱炎热气候影响,水循环受限和强烈咸化,前期的浅水台地沉积相区迅速向蒸发台地转化,出现广泛发育的膏化、准同生白云石化和块状膏盐岩沉积,形成封隔性极好的区域性盖层。而深水斜坡-盆地相区同样因受海平面大幅度下降和海水循环强烈受限影响,原地转化为具深潟湖性质的闭塞海湾盆地和进入强烈欠补偿沉积状态。

#### 3.2 沉积相剖面展布特征

卡洛夫-牛津阶之上的基末利阶高尔达克组为一套巨厚和稳定的蒸发岩建造,以该套蒸发岩底界作为卡洛夫-牛津阶区域等时对比标志,进行了多条近东-西向和近南-北向连井剖面沉积相对比,结果表明该盆地卡洛夫-牛津阶地层具有东厚西薄,沉积盆地的水体具有自西北向东南逐渐加深的演化特点。

如图 7 所示,剖面上沉积相展布具有明显的分带性,如在 Sam-29 井、Sam-10 井和 Gen-21 井一带处于地势较高,水体较浅位置,主要发育蒸发(局限)台地、开阔台地、台地边缘礁滩和前缘上斜坡相,蒸发(局限)台地、开阔台地和台地边缘礁滩尖灭在 Ber-22 井区西侧;Ber-22 井—Akk-7 井一带地势较低,水体较深,主要发育前缘斜坡和盆地相,晚期转化为广泛发育的闭塞海湾盆地,水体最深位置在 Hojb-5—Aga-21 井之间,并在前缘上斜坡中发育多套坡内礁、滩微相沉积。

#### 3.3 沉积相平面展布与演化特征

反映碳酸盐岩平面沉积相展布特征的地质因素较多,如地层厚度、颗粒岩厚度或厚度百分比、白云岩厚度或厚度百分比、生物的丰度及种属、岩石的颜色、沉积构造和特殊矿物的含量等,对它们的研究综合分析是确定沉积相类型及其平面展布特征的关键。以单井相标志和连井沉积相剖面对比为基础,通过编制地层等厚图、颗粒岩等厚图和优势相分布图

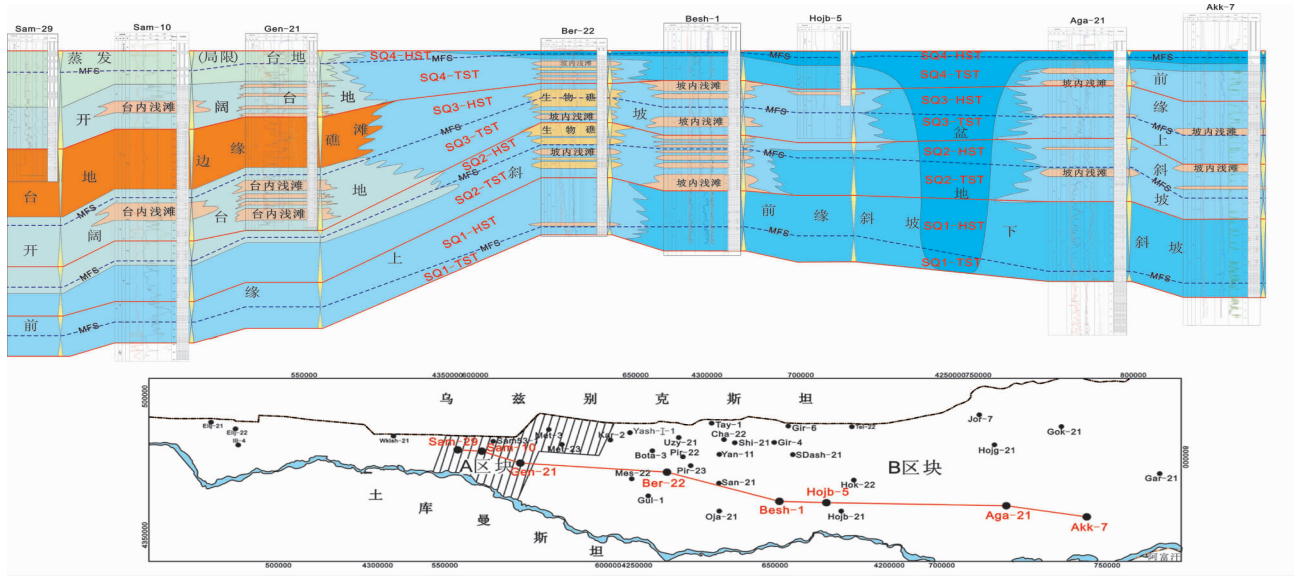


图 7 卡洛夫—牛津阶 Sam-29 井—Gen-21 井—Ber-22 井—Akk-7 井沉积相剖面对比图

Fig.7 Facies profile correlation panel of Callovian-Oxfordian carbonates through Well Sam-19, Gen-21, Ber-22 and Akk-7

等能反映沉积环境特征的单因素图件，结合地震相特征，可较为深入地揭示研究区卡洛夫—牛津阶各岩性段沉积相平面展布特征和演化规律。

### 3.3.1 XVI—Z 层沉积相平面展布特征

此二岩性段沉积期具有类似的相带展布格局，自中、东向西部水体逐渐变浅的趋势明显，呈现出深水盆地→前缘缓斜坡→开阔台地碳酸盐岩相带平面展布的格局。西部为开阔台地沉积相区，中、东部为前缘缓斜坡和盆地沉积相区，而台地边缘礁滩相带于该时期不甚发育，仅在研究区南部的阿盖雷地区发育有环孤立台地分布的台地边缘浅滩相带(图 8-A)。

### 3.3.2 XVa1—XVm 层沉积相平面展布

此三岩性段沉积期的相带展布特征总体上继承了前期的格局，主要的差别为台地边缘礁、滩相带于 XVa1 层开始广泛发育，规模逐渐扩大，至 XVm 层礁、滩相沉积达最大规模，面积覆盖整个西部地区浅水台地的边缘，其西则为更广阔的开阔台地沉积相区，中、东部进入相带分异更为清晰的台地前缘缓斜坡和盆地沉积相区，在开阔台地和前缘缓斜坡内也广泛发育一定规模和星散分布的台内和坡内礁、滩相沉积(图 8-B)。

### 3.3.3 XVp—XVac 层沉积相平面展布

此二岩性段沉积期受海平面持续大幅度下降影

响，依然保持了西浅东深的相带展布格局，但沉积相类型与前期迥然不同，特点研究区西部主要为蒸发—局限台地—开阔台地沉积相区，中、东部为水循环受限的、具有深潟湖性质的闭塞海湾沉积相区(图 8-C)，而原于台地边缘广泛发育的礁滩相带和台地前缘缓斜坡相带不再发育，被具有沉积斜坡性质的潮下静水泥沉积取代。

## 4 结论

(1)以岩心观察和室内薄片鉴定为基础，通过岩石学、古生物、测井及地震等沉积相标志的深入研究，结合区域沉积背景，认为阿姆河盆地卡洛夫—牛津阶属于碳酸盐台地沉积体系，可进一步划分出蒸发台地、局限台地、开阔台地、台地边缘礁滩、前缘缓斜坡、盆地等沉积相类型，建立了以具备宽缓台地前缘缓斜坡为特色的“开放型镶边缓斜坡台地”沉积模式。

(2)研究区卡洛夫—牛津阶地层分布呈东厚西薄，南厚北薄的箕状，沉积相东—西分带性清晰，研究区西部地区主要发育开阔台地和台地边缘礁、滩相沉积，在中、东部地区主要发育台地前缘缓斜坡和盆地相沉积。

(3)以单井沉积相分析及连井剖面沉积相对比为基础，通过编制地层等厚图、颗粒灰岩等厚图和优



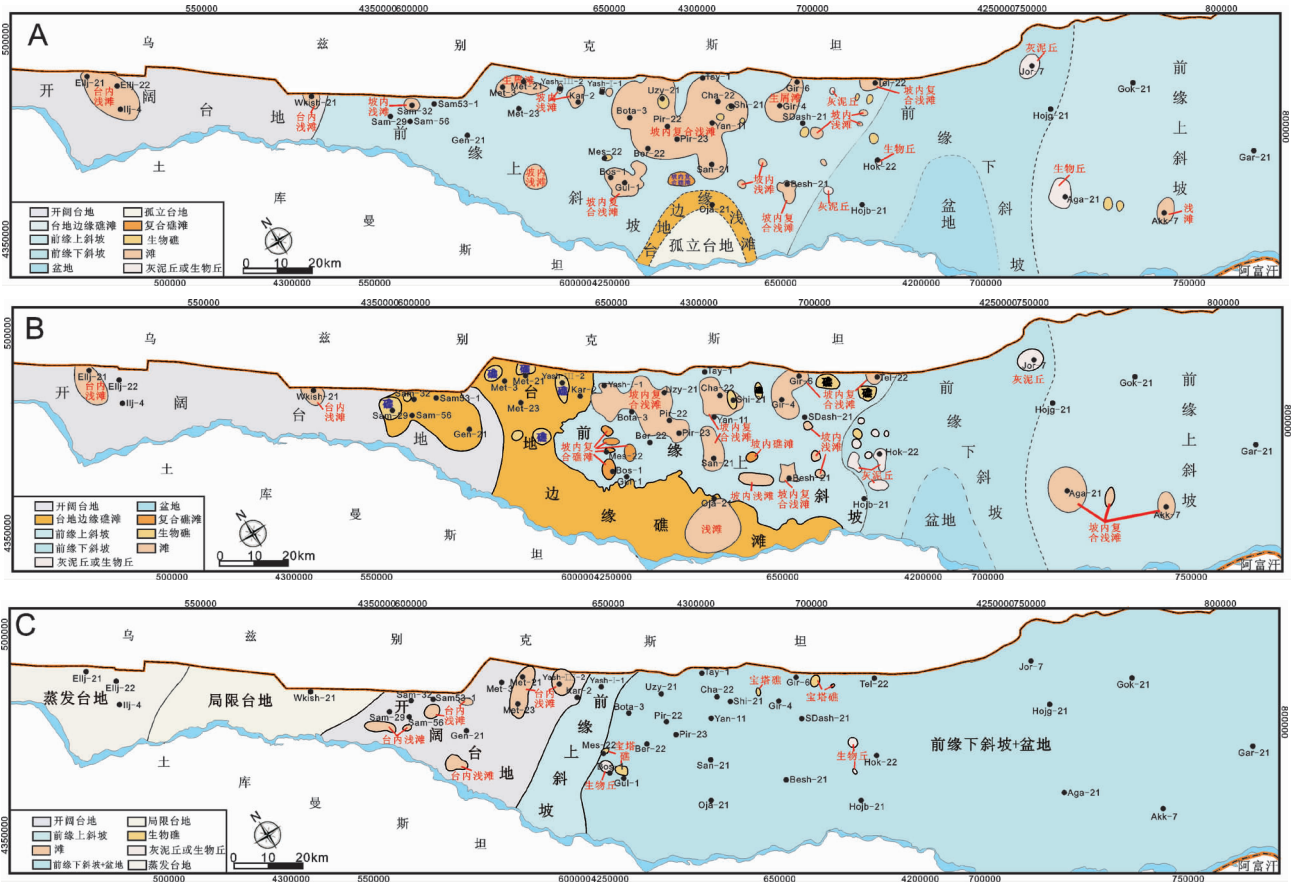


图8 阿姆河盆地卡洛夫-牛津阶沉积相平面展布和演化图

A—XVI—Z层沉积相平面展布图; B—XVa1—XVm层沉积相平面展布图; C—XVp—XVac层沉积相平面展布图

Fig.8 Plane distribution and evolution of Callovian-Oxfordian sedimentary facies in Amu Darya basin

A—Plane facies distribution during the deposition of XVI—Z section; B—Plane facies distribution during the deposition of XVa1—XVm section; C—Plane facies distribution during the deposition of XVp—XVac section

势相分布图等, 结合地震相特征, 较精细地描述了卡洛夫-牛津阶2个区域性快速海进-缓慢海退旋回过程和各岩性段的沉积相平面展布特征。

参考文献(References):

[1] 郭永强, 刘洛夫, 朱胜利, 等. 阿姆达林盆地含油气系统划分与评价[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(4):515-520.  
Guo Yongqiang, Liu Luofu, Zhu Shengli, et al. Classification and assessment of petroleum system in Amu-Daria Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33 (4):515-520 (in Chinese with English abstract).

[2] 安作相, 胡征钦. 中亚含油气地区 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1993.  
An Zouxian, Hu Zhenqin (translator). Oil and Gas Area of Mid-Aisa [M]. Beijing. Petroleum Industry Press, 1993 (in Chinese with English abstract).

[3] 车自成, 罗金海, 刘良. 中亚与中国西北地区含油气盆地基本类

型及成因分析[J]. 地球学报, 1997, 18(2):113-121.  
Che Zicheng, Luo Jinhai, Liu Liang. The basic structure classification and genetic analyses of oil and gas-bearing basins in Central Asia and Northwestern China [J]. Acta Geoscientia Sinica, 1997, 18(2): 113-121(in Chinese with English abstract).

[4] 贾承造, 杨树锋, 陈汉林, 等. 特提斯北缘盆地群构造地质与天然气[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001:1-16, 136-143 .  
Jia Chengzao, Yang Shufeng, Chen Hanlin, et al. Structural Geology and Natural Gas in the Northern Magin Basin Group [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001: 1-16, 136-143 (in Chinese with English abstract).

[5] 丘东湖, 谢渊, 李晓清, 等. 亚洲特提斯域岩相古地理与油气聚集地质特征[J]. 海相油气地质, 2009, 14(2):41-50.  
Qiu Dongzhou, Xie Yuan, Li Xiaoqing, et al. Geological characteristics of lithofacies paleogeography and hydrocarbon accumulation in Asian Tethyan Tectonic Domain[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2009, 14 (2):41-50 (in Chinese with English abstract).

- [6] 徐文世, 刘秀联, 余志清, 等. 中亚阿姆河含油气盆地构造特征[J]. 天然气地球科学, 2009, 20(5):744-748.  
Xu Wenshi, Liu Xiulian, Yu Zhiqing, et al. Geological structure of Amu-Darya Basin in Central Asia[J]. Natural Gas Geoscience, 2009, 20(5):744-748(in Chinese with English abstract).
- [7] Ulmishkek G F. Petroleum geology and resources of the Amu-Darya Basin, Turkmenistan, Uzbekistan, Afghanistan, and Iran [R]. USGS, 2004:1-38.
- [8] 张志伟, 何永焱, 王春生, 等. 中亚地区阿姆河盆地查尔朱、布哈拉阶地叠构造特征及演化[J]. 海相油气地质, 2010, 15(4):48-56  
Zhang Zhiwei, He Yongyao, Wang Chunsheng, et al. Structural characteristics and evolution of Chardzhou and Bukhara Terraces in Amu-Darya Basin, Middle Asia [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2010, 15(4):48-56(in Chinese with English abstract).
- [9] Thomas Meisel, Urs Krahenbuhl, Michael A. Nazarov. Combined osmium and strontium isotopic study of the Cretaceous-Tertiary boundary at Sumbar, Turkmenistan; A test for an impact volcanic hypothesis[J]. Geology, 1995, (5):313-316.
- [10] 齐宝权, 冉志兵, 王学琴, 等. 阿姆河右岸区块石灰岩储层识别及流体性质判断[J]. 天然气工业, 2011, 30(5):21-25.  
Qi Baoquan, Ran Zhibing, Wang Xueqin, et al. Identification of limestone reservoirs and prediction of their fluid properties in the Amu Darya Right Bank Block, Turkmenistan [J]. Natural Gas Industry, 2011, 30(5):21-25(in Chinese with English abstract).
- [11] 张兵, 郑荣才, 刘合年, 等. 土库曼斯坦萨曼杰佩气田卡洛夫—牛津阶碳酸盐岩储层特征[J]. 地质学报, 2010, 84(1):117-125.  
Zhang Bing, Zheng Rongcai, Liu Henian, et al. Characteristics of carbonate reservoir in Callovian-Oxfordian of Samandep Gasfield, Turkmenistan [J]. Acta Geologica Sinica, 2010, 84 (1):117-125(in Chinese with English abstract).
- [12] 董霞, 郑荣才, 吴蕾, 等. 土库曼斯坦萨曼杰佩气田储层成岩作用与孔隙演化[J]. 岩性油气藏, 2010, 22(2):54-61.  
Dong Xia, Zheng Rongcai, Wu Lei, et al. Diagenesis and porosity evolution of carbonate reservoirs in Samandep Gas Field, Turkmenistan [J]. Lithologic Reservoirs, 2010, 22 (2):54-61 (in Chinese with English abstract).
- [13] 李浩武, 童晓光, 王素花, 等. 阿姆河盆地侏罗系成藏组合地质特征及勘探潜力[J]. 天然气工业, 2011, 30(5):6-12.  
Li Haowu, Tong Xiaoguang, Wang Suhua, et al. An analysis of geological characteristics and exploration potential of the Jurassic play, Amu Darya Basin[J]. Natural Gas Industry, 2011, 30(5):6-12 (in Chinese with English abstract).
- [14] 郑荣才, 赵灿, 刘合年, 等. 阿姆河盆地卡洛夫—牛津阶碳酸盐岩阴极发光性及其研究意义[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2010, 37 (4):377-385.  
Zheng Rongcai, Zhao Can, Liu Henian, et al. Cathodoluminescence and its significance of the Callovian-Oxfordian carbonate rocks in Amu Darya basin, Turkmenistan [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2010, 37 (4):377-385 (in Chinese with English abstract).
- [15] 顾家裕, 马锋, 季丽丹. 碳酸盐岩台地类型、特征及主控因素[J]. 古地理学报, 2009, 11(1):21-27  
Gu Jiayu, Ma Feng, Ji Lidan. Types, characteristics and main controlling factors of carbonate platform [J]. Journal of Palaeogeography, 2009, 11 (1):21-27 (in Chinese with English abstract).
- [16] Tucker M E. Shallow-marine carbonate facies and facies models. In: Brenchley P J, and Williams B P J, ed. Sedimentology: Recent Developments and Applied Aspects. Spec. Publ. Geol. Soc. Lond. 1985, 18:139-161.

## The sedimentary facies of Callovian–Oxfordian Stage in Amu Darya basin, Turkmenistan

XU Wen-li<sup>1</sup>, ZHENG Rong-cai<sup>1</sup>, FEI Huai-yi<sup>2</sup>, WANG Qiang<sup>2</sup>, WU Lei<sup>3</sup>

(1. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China; 2. Geological Exploration & Development Research Institute, Chuangqing Drilling Engineering Co., Ltd., CNPC, Chengdu 610051, Sichuan, China; 3. CNPC (Turkmenistan) Amu Darya River Gas Company, Bagiyatlyk, Turkmenistan)

**Abstract:** Based on core observations, identification of thin sections and paleontology, in combination with logging facies, seismic facies and regional depositional background, the authors have reached the conclusion that Callovian–Oxfordian carbonates in Amu Darya basin of Turkmenistan are carbonate platform deposits. Six types of sedimentary facies can be recognized, i.e., evaporative platform, restricted platform, open platform, platform–edge reef–shoal, platform fore–edge slope and platform basin facies. According to the facies correlation sections of the wells as well as the plane distribution and vertical evolution of sedimentary facies, the authors revealed the evolution characteristics of Callovian–Oxfordian sedimentary facies. The sedimentary environment changed from platform edge ramp, platform–edge reef–shoal, open platform and restricted platform into evaporative platform in turn, which constituted the multi–phase transgressive–regressive cycles. Finally, the depositional model of “platform with open, rimmed and gently dipping slope” has been established.

**Key words:** carbonate platform; depositional model; Callovian–Oxfordian; Amu Darya basin

---

**About the first author:** XU Wen–li, male, born in 1982, doctor candidate, engages in the study of sedimentology; E–mail: xuwenli5@163.com.