

中亚阿姆河盆地天然气成藏控制因素

张长宝¹, 罗东坤¹, 魏春光²

[1. 中国石油大学(北京), 北京 102249; 2. 中国石油 勘探开发研究院, 北京 100083]

摘要: 中亚阿姆河盆地构造变形复杂, 发育多种类型圈闭和气藏, 不同类型气藏主控因素既有共性, 又有一定的差异性。为了明确盆地气藏分布规律, 寻找下一步勘探接替领域, 利用油藏及单井产能资料、地球物理资料, 结合区域石油地质特征、沉积背景、储层特征对研究区气藏特征进行了全面剖析。研究认为, 阿姆河盆地气藏形成的共性控制因素包括两个方面: 平面上, 气藏分布受古隆起和礁滩体的发育控制, 古隆起的地貌背景为礁滩体的发育提供构造背景, 且容易发生暴露溶蚀, 形成有效的储集空间, 同时构造高部位, 为油气运移的优势指向区, 有利于油气聚集成藏; 纵向上, 气藏的分布受断裂、不整合和渗透性砂体等输导体系及圈闭封闭条件控制。两方面三个关键因素共同控制了气藏的空间分布。通过主控因素的分析, 认为下部成藏组合的勘探应在古隆起背景下礁滩体发育区与断裂/不整合输导体系和膏岩盖层叠合发育区寻找有利靶区, 而上组合则应在古隆起背景下礁滩体发育区与下部膏岩尖灭区以外的白垩系泥岩盖层发育叠合区开展勘探。

关键词: 礁滩体; 断层; 古隆起; 气藏; 阿姆河盆地

中图分类号: TE122.3

文献标识码: A

Controlling factors of natural gas accumulation in the Amu Darya Basin, Central Asia

Zhang Changbao¹, Luo Dongkun¹, Wei Chunguang²

[1. China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China; 2. Research Institute of Petroleum Exploration & Development, PetroChina, Beijing 100083, China]

Abstract: Amu Darya Basin in Central Asia features in complex structural deformations and multiple types of traps for natural gas accumulation. The major factors controlling gas accumulation in various reservoirs have both similarities and differences. In order to reveal reservoir distribution and select new targets for next phase of exploration in the Basin, reservoir and single well production data and geophysical data are integrated with regional geological characteristics, depositional settings and reservoir property to analyze the reservoir characteristics in the targeted area. It is suggested that two common controlling factors have played main roles in the formation of the natural gas reservoirs in the region. Laterally, gas reservoir distribution were controlled by the development of paleo-highs and reef complex, and the paleo-highs provided favorable structure settings for hydrocarbon accumulation and formation of effective reservoir spaces from exposure and dissolution. Meanwhile, the structural highs are the preferential target areas for hydrocarbon migration and accumulation. Vertically, gas reservoir distribution was controlled dominantly by trap conditions and carrier systems like faults, unconformities and permeable sandstones. These factors jointly controlled the spatial distribution of natural gas reservoirs. Based on the analysis, it is recommended that exploration of the lower play should be focused on the target areas with well-developed reef complex within paleo-highs, fault/unconformity carrier systems and evaporite cap rocks. In contrast, exploration of the upper plays should be focused on areas where well-developed reef complex within paleo-highs are overlain by the Cretaceous mudstone seals outside the pinch-out areas of the lower evaporates.

Key words: reef complex, fault, paleo-high, gas reservoir, Amu Darya Basin

中亚阿姆河盆地是世界著名的大型含油气盆地之一, 在地域上分别属于土库曼斯坦、乌兹别克斯坦、阿富汗和伊朗4个国家, 主体位于土库曼斯坦境内, 总面积 $42.7 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。到目前为止, 盆地内已发现油气田

300多个, 气田和凝析气田约占85%。阿姆河右岸区块就位于阿姆河盆地东北部, 该区块是中亚管线的主要气源地区。阿姆河右岸区块构造演化复杂、构造样式多变、圈闭和气藏性质多样, 气藏分布主控因素不

收稿日期: 2015-05-20; 修订日期: 2015-08-04。

第一作者简介: 张长宝(1972—), 男, 高级经济师、博士生, 油气资源评价与经济评价。E-mail: zhangchangbao@cnpcint.com。

基金项目: 国家科技重大专项(2011ZX05059)。

清,很大程度上制约了区块未来可持续发展^[1]。因此,亟需提高对成藏规律的认识,摸清全盆地气藏成藏的主控因素,指导阿姆河右岸区块下一步勘探工作。

在阿姆河盆地,曾围绕含油气系统开展过深入的研究工作,认为盆地内包含中-下侏罗统、上侏罗统和下白垩统3套含油气系统,或者归纳为侏罗系-白垩系总油气系统^[2]。含油气系统理论和方法于20世纪90年代中期由美国引入,指的是一套烃源岩所生油气到单一聚集的圈闭为一套油气系统^[3]。而对于阿姆河盆地而言,油气主要产于上侏罗统的碳酸盐岩和下白垩统的砂岩储层中,但烃源岩并不是一套,而是中-下侏罗统、上侏罗统、下白垩统都具有贡献,难以分清。因此,根据3套烃源岩划分的油气系统没有实际意义。另外,阿姆河右岸区块是阿姆河盆地油气最富集的区域,区块内包含了阿姆河盆地所有的典型构造和气藏类型,因此阿姆河右岸区块的油气成藏主控因素代表了整个盆地的主控因素。鉴于以上原因,本文从阿姆河盆地石油地质特征研究出发,立足于阿姆河右岸区块丰富的勘探开发资料数据,脱离“源控论”的束缚,分别从平面和纵向上阐述了阿姆河盆地天然气成藏的主要控制因素,以及这些因素如何控制气藏的空间分布特征。

1 盆地石油地质特征

阿姆河盆地位于中亚构造区的中西部,通常称作卡拉库姆地块,主体位于中朝-塔里木板块的西北部。盆地主要经历了4个发育阶段,分别是前中生代基底发育阶段、侏罗纪盆地初期沉陷阶段、白垩纪持续稳定沉陷阶段和古近纪-新近纪抬升改造阶段^[4-6]。主干断裂为近东西向和近南北向展布的一组共轭断层,把盆地分割成隆-坳相间的多个次级构造单元(图1),同时还有很多小断层广泛分布^[7]。阿姆河右岸区块位于土库曼斯坦东北部,区块北部边界与乌兹别克斯坦相邻。

与全球大部分大陆边缘含油气盆地相似,阿姆河盆地沉积地层包括古生界基底、二叠系-三叠系过渡层和中-新生界沉积盖层三大构造层^[8]。盆地稳定广泛沉积开始于侏罗纪,期间发生了两次大的海进与海退。从侏罗纪到第四纪,大部分地区连续沉积,局部存在沉积间断及剥蚀不整合面(图2)。自下而上沉积了中-下侏罗统含煤碎屑岩、上侏罗统卡洛夫阶-牛津阶碳酸盐岩和基末利阶-提塘阶蒸发岩及碎屑岩、白

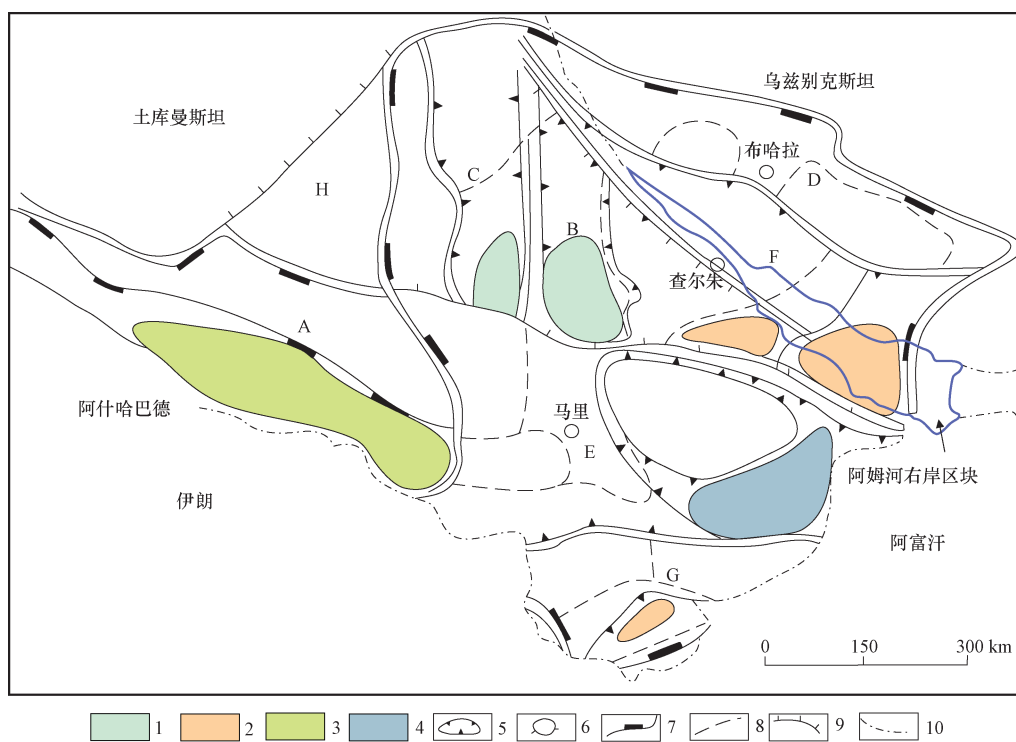


图1 阿姆河盆地构造单元划分和烃源岩分布及阿姆河右岸区块位置示意图

Fig. 1 Distribution of tectonic units & source rock of Amu Darya Basin and the location of the Amu Darya Right Bank Block

1. 中-下侏罗统烃源岩; 2. 上侏罗统烃源岩; 3. 下白垩统烃源岩; 4. 中-下侏罗统与上侏罗统烃源岩; 5. 坳陷; 6. 隆起; 7. 一级构造单元; 8. 次级构造单元; 9. 断层; 10. 国界线
- A. 科佩特山前坳陷; B. 扎翁古兹坳陷; C. 别乌尔杰什克-希文坳陷; D. 布哈拉台阶; E. 木尔加布坳陷; F. 查尔朱台阶; G. 巴德赫兹-卡拉比尔坳陷; H. 中央卡拉库姆隆起

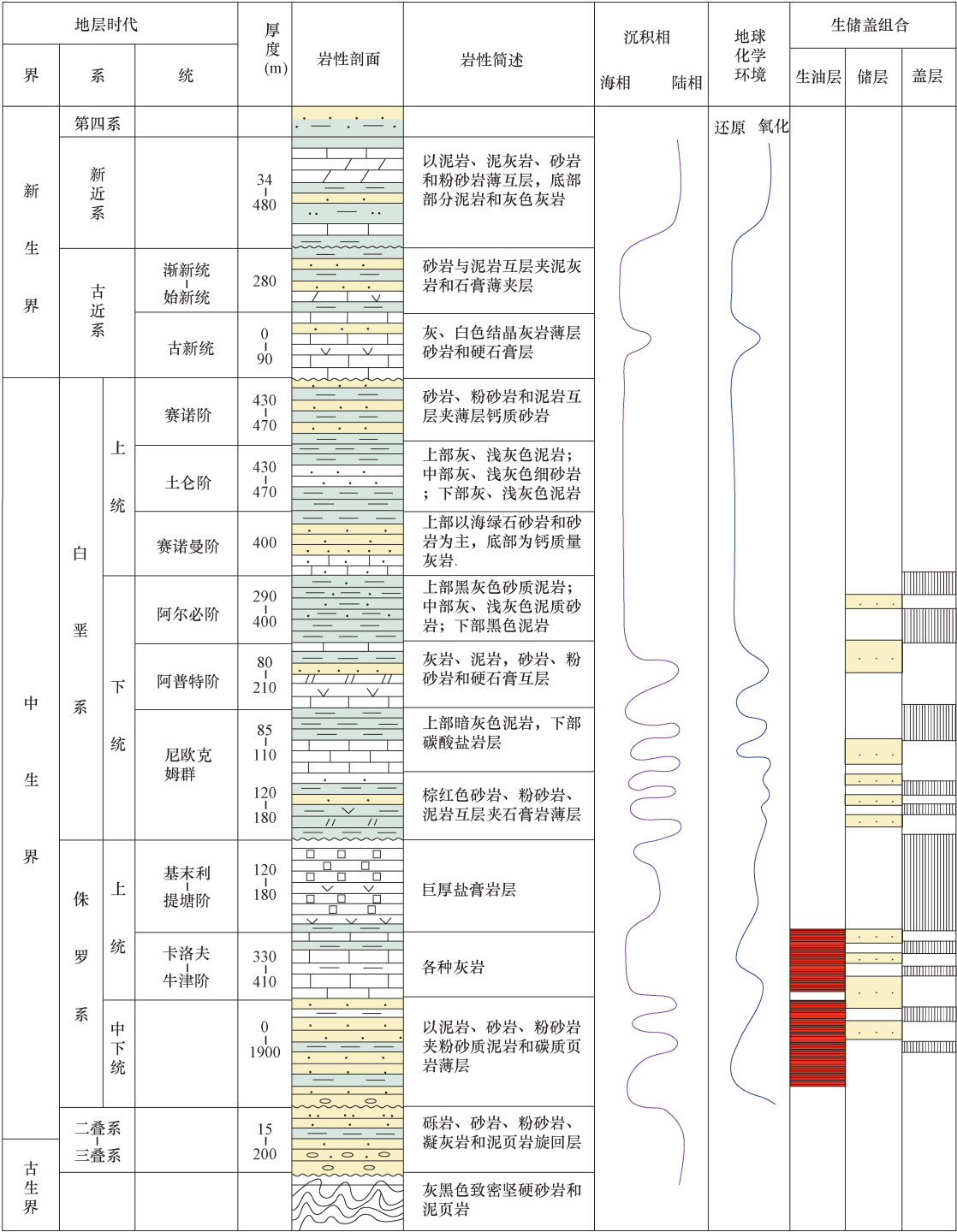


图 2 阿姆河盆地地层综合柱状图

Fig. 2 Composite stratigraphic columnar section of Amu Darya Basin

丕系碎屑岩、古近系碳酸盐岩和碎屑岩以及新近系碎屑岩^[9]。

阿姆河盆地发育 3 套烃源岩,分别是中-下侏罗统陆相腐殖型含煤系地层、上侏罗统海相碳酸盐岩和泥质灰岩地层以及下白垩统海相泥岩地层。主要烃源岩是中-下侏罗统的煤系地层,而上侏罗统和下白垩统为次要烃源岩^[10],其平面分布范围见图 1。上侏罗统碳酸盐岩和下白垩统碎屑岩是盆地内主要的含油气储集层,大部分油气储量都集中在这两套地层中^[11]。

卡洛夫阶-牛津阶分为 5 个小层: XVhp, XVa1, Z, XVa2 和 XVI 层。其中, XVhp 层、XVa1 层和 XVa2 层是主要储层。另一套分布较广的储层是下侏罗统含煤碎屑岩,该目的层勘探程度较低,有可能成为潜在的盆地储量的接替层位。盆地发育两套区域性盖层(图 2 红色方框):一是上侏罗统基末利-提塘阶膏盐沉积,该地层广泛分布,上侏罗统含油气地层就位于这套区域性盖层之下;另一套区域性盖层是下白垩统阿尔必阶下部的泥页岩。

2 气藏平面分布控制因素

2.1 构造隆起是气藏形成的有利地区

含油气盆地内大多数构造隆起区都富集油气,其中生烃中心附近继承性古隆起为气藏形成和富集最有利的地区^[12]。阿姆河右岸区块从构造上可以分为查尔朱隆起、坚基兹库尔隆起、卡拉别克坳陷、桑迪克雷隆起、别什肯特坳陷和西南吉萨尔山前冲断带等 6 个构造单元(图 3 中构造带 A—F)。目前发现的气田多具有古隆起背景,且构造高部位气田规模

更大^[13],已发现气田位置和范围如图 3 所示(1—19 为气田编号,名称见图中标注),构造隆起带及其所包含气田的对应关系详细归纳在表 1。

从表 1 中可以看出,已发现的 19 个主要气藏圈闭中,构造圈闭有 14 个,其中与古隆起发育有关的圈闭 9 个,与礁滩体发育有关的圈闭 5 个。显然,构造古隆起是区内天然气聚集成藏的主要地区。例如,在坚基兹库尔隆起形成萨曼杰佩气田、麦捷让气田及雅希尔杰佩气田(图 3 中气田 4,7,8),其中萨曼杰佩气田一直处于构造高部位,发育继承性的构造圈闭,为坚基兹库尔隆起上规模最大的气田。别列

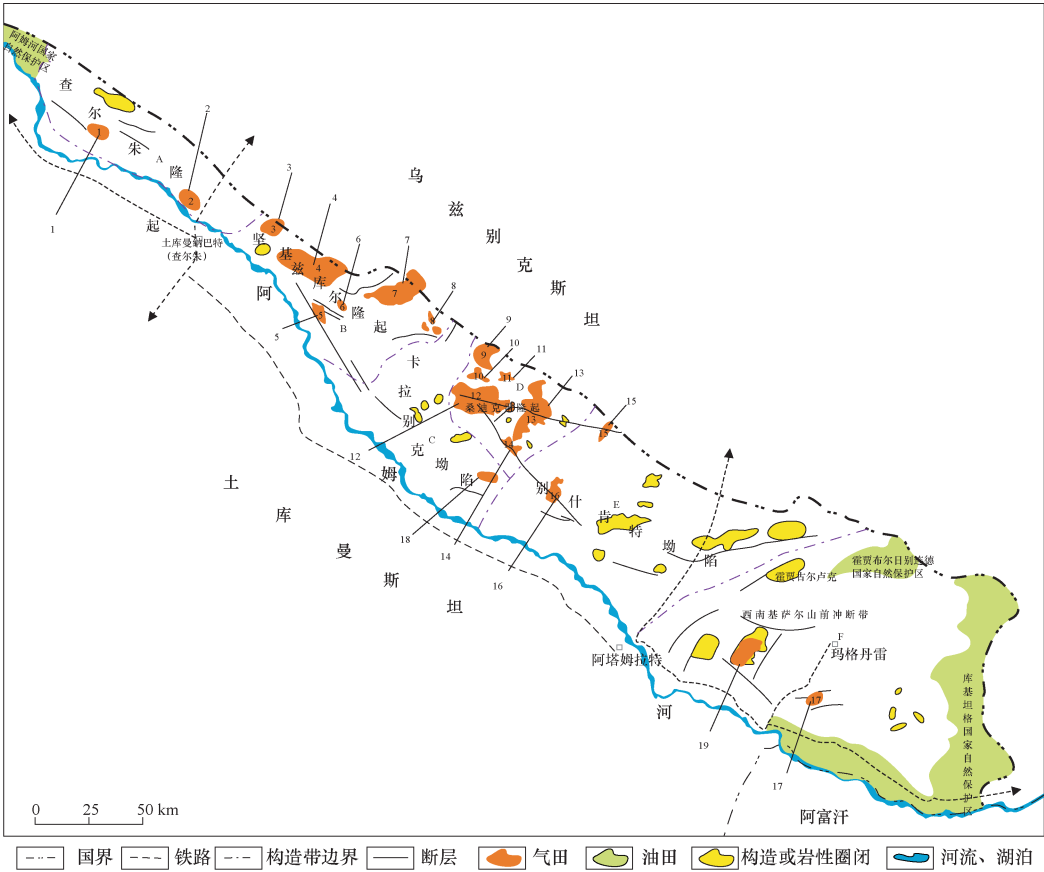


图 3 阿姆河右岸地区古隆起与天然气藏分布关系

Fig. 3 Relationship between gas reservoir and paleo-highs in the right bank block of Amu Darya Basin
A. 查尔朱隆起;B. 坚基兹库尔隆起;C. 卡拉别克坳陷;D. 桑迪克雷隆起;E. 别什肯特坳陷;F. 西南吉萨尔山前冲断带
(注:1—19 为气田编号。)

表 1 阿姆河右岸圈闭形成时期及与基底古隆起关系

Table 1 Timing of traps and their relationship with paleo-highs in right bank block of the Amu Darya Basin

圈闭类型			阿尔卑斯构造运动的影响	典型圈闭(油气藏)
岩性圈闭	与小型基底构造高相关		生物礁圈闭	圈闭改造定型
构造圈闭	与基底古隆起相关	继承性	基底古隆起上的披覆构造	圈闭改造定型
		继承性差	基底古隆起上的披覆构造	圈闭改造定型
	与基底古隆起无关		未形成圈闭	形成圈闭

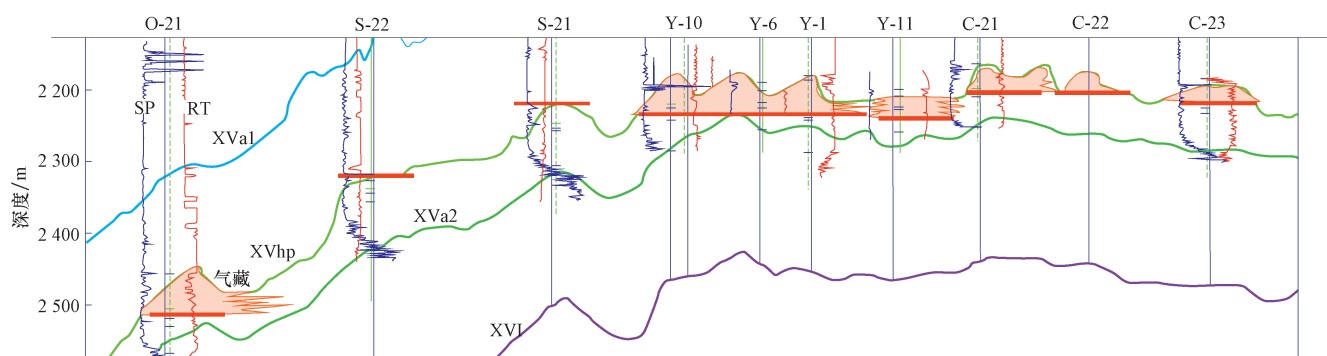


图4 桑迪克雷隆起气藏剖面

Fig. 4 Gas reservoir profile in S-uplift

克特列-皮尔古伊、恰什古伊-扬古伊及鲍塔-坦格古伊-乌兹恩古伊气田位于桑迪克雷隆起上(图3中气田9—气田13;表1),其中,别列克特列-皮尔古伊气田一直处于构造高部位,发育继承性构造圈闭,有利于天然气捕集并形成大型气田。

2.2 礁滩体富集油气

礁滩体通常被称作油气勘探的“甜点”,具有极高的油气富集程度。礁滩体气田群存在两种典型的气藏类型,即生物礁气藏和生屑滩气藏,其中生物礁型气藏占主要地位^[14-15]。滩体中部颗粒岩发育,先天发育较多的粒间孔,多为高产井;滩体边部颗粒岩含量较少,储层较薄,多为低产井;滩间部位泥质含量较多,上覆较厚的膏盐层,多为干井。礁间的潮道对烃类侧向限制起到一定的作用,气藏通常被局限于某些礁块范围以内。断层和微裂缝的发育加剧了储层的非均质性,使得单井产能差异较大。不同气田间气-水界面不同,其压力及产能也存在很大的差异。

桑迪克雷构造的别列克特列-皮尔古伊气田(图3中气田12)整体为一个大的背斜构造,天然气长期运移和聚集的优势地区指向构造带内的继承性隆起。但是气田内的生物碎屑滩各自独立发育,在整体背斜构造内具有复杂的气-水系统。气-水系统的形成与生屑滩圈闭对天然气成藏的控制有关^[16],基本上一个生屑滩圈闭形成一个独立的气藏,具有独立的气-水界面(图4)。岩性体圈闭中的气藏,侧向上被洼地泥质碳酸盐岩和膏盐岩封堵,上覆方向上被超覆蒸发岩遮挡,一滩一藏,形成独立的气-水系统。

阿姆河右岸生物礁滩体圈闭成藏过程经过了3个阶段。第一阶段为牛津期(晚侏罗世早期),发育生物礁沉积,存在相当大的孔隙-溶洞空间,具有很高的容积性。第二阶段为基末利期(晚侏罗世中期),区域性蒸发岩沉积形成了渗透差的硬石膏和盐层,对流体形成有效遮挡。第三阶段为新近纪—第四纪,区域性隆起快速形成,背斜发育,并使古构造-岩性圈闭最终定

型。新构造运动造成早期正断层的活化和反转,沟通烃源岩和储层,有利于气藏大规模形成,生物礁滩和断层共同作用成为高产气田的控制因素。此外,礁滩体岩性圈闭的形成与盆地基底构造高部位密切相关,在基底高部位或者区域性断裂上方容易形成水下隆起或者水下坡折带,适合生物礁生长,并在膏盐沉积后形成圈闭^[17]。这些岩性油气藏面积不大,但储层物性好,油气丰度高,周围膏盐封堵,形成高产油气田。

3 气藏纵向分布控制因素

3.1 断裂与输导层造成油气阶梯状运移

阿姆河盆地的构造格局总体为从南向北抬升的不对称箕状盆地,油气主要从南部坳陷向北部台阶和隆起区运移(图5)。油气运移通道包括断层、地层不整合、地层尖灭线、渗透性砂体和复合输导体系。侏罗系烃源岩的油气运移模式有两种:一是由生烃中心向四周构造高部位侧向运移;二是穿过高尔达克组蒸发岩垂向运移。烃类垂向运移的路径和量值等信息至关重要,断裂与渗透性输导层共同作用形成运移阶梯,影响气藏的空间分布^[18-20]。

盆地中部盐下低隆是油气侧向运移的首要目标。中部由于膏盐盖层封堵作用,油气垂向运移受阻,以侧向运移为主,在侏罗系碳酸盐岩中聚集成藏,如雅士拉气田和克克杜马拉科油田(图5,红色表示气田位置,箭头代表运移方向)。盆地中部断层发育区,天然气沿断层发生垂向运移,进入白垩系及更浅储层中聚集成藏,如马莱气田。通常,这些断层都属于区域性的基底断裂。在阿姆河盆地的中部,特别是列佩捷克-克里弗盐底劈构造东部地区,白垩系烃源岩还没有达到生烃门限,因此油气聚集主要通过断裂沟通盐下的气源^[21-23]。基底正断层新近纪以来的反转活化沟通了中-下侏罗统气源,成为天然气的重要运移通道。这一时期是构造定型期,造成了早期油气藏重新调整聚集,是气藏形成高峰期。

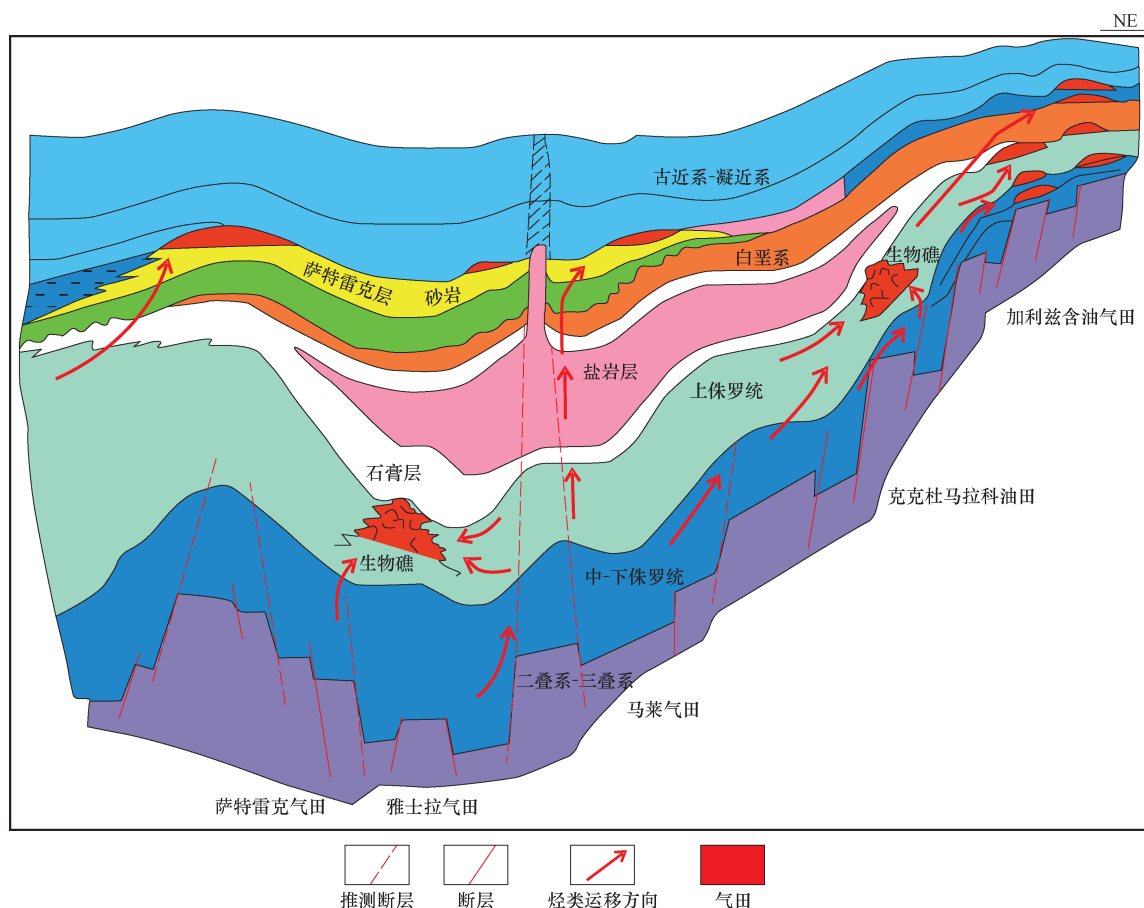


图5 阿姆河盆地油气运聚模式

Fig. 5 Hydrocarbon migration and accumulation model in Amu Darya Basin

3.2 封闭条件决定圈闭有效性

封闭条件包括两个方面:盖层条件和侧向封堵条件^[24-26]。阿姆河盆地的区域性盖层控制了天然气最终在哪个地层中聚集成藏。盆地内发育两套区域性盖层,分别是上侏罗统基末里阶—提塘阶膏盐层和下白垩统阿尔必阶下部的泥页岩。基末里阶—提塘阶膏盐层遍及阿姆河盆地的中部和东部,最大厚度超过1 500 m。在蒸发岩中心以中厚层状盐岩沉积为主,而在边缘带则主要为硬石膏。以膏盐岩盖层为界,盖层控制了油气分布范围,可大体将阿姆河盆地分为“盐下”和“盐上”两套主要成藏组合(图6):一套是上侏罗统蒸发岩盖层和下伏卡洛夫阶—牛津阶碳酸盐岩组成盐下成藏组合,主要分布在盆地的中东部^[27],相当于图中的“膏盐发育区”;另一套是由阿尔必阶下部的海相泥、页岩层和尼欧克姆群、阿普第阶储集层组成的盐上成藏组合,主要分布在盆地西部和南北边缘,相当于图中的“膏盐缺失区”。

白垩系及其以上油气田基本位于盆地的边缘,也多分布在上侏罗统膏盐岩的尖灭线之外(图6),其蒸发岩主要由硬石膏组成,厚度急剧减少至100 m以下,并夹有渗透性较好的碎屑岩和碳酸盐岩,因而侏罗系

天然气能运移至盐上地层聚集。而中—下侏罗统成藏组合则不十分理想,缺失可靠的区域性和局部性盖层,保存条件差,仅在局部地带发现小型气田,勘探成功率较低。

对于斜坡带局部的单个圈闭而言,圈闭的有效性是能否成藏的关键,除了需要具有一定构造幅度的构造圈闭,侧向封堵是不可或缺的成藏要素^[28]。比如奥贾尔雷等气田位于坳陷斜坡带(图3中气田18),圈闭上倾方向巨厚的盐丘和上覆的膏盐盖层,对油气侧向封闭作用十分明显。侧向盐岩、上覆膏盐层和下伏致密灰岩的组合,形成了完美的立体封堵,确保了圈闭的有效性。而当构造斜坡带上倾方向未形成有效的盐岩封堵时,造成构造圈闭幅度很小,试井结果常常为微气井、干井或产水井。

4 结论

1) 影响阿姆河盆地气藏平面分布最主要的控制因素有两个。第一,继承性的古构造隆起区是最为有利的天然气聚集区。这些古隆起大部分形成于二叠纪—三叠纪,在新近纪以后重新活动,直接影响了盆地沉积盖层的构造格局和分布特征,从而决定了天然气的主要运

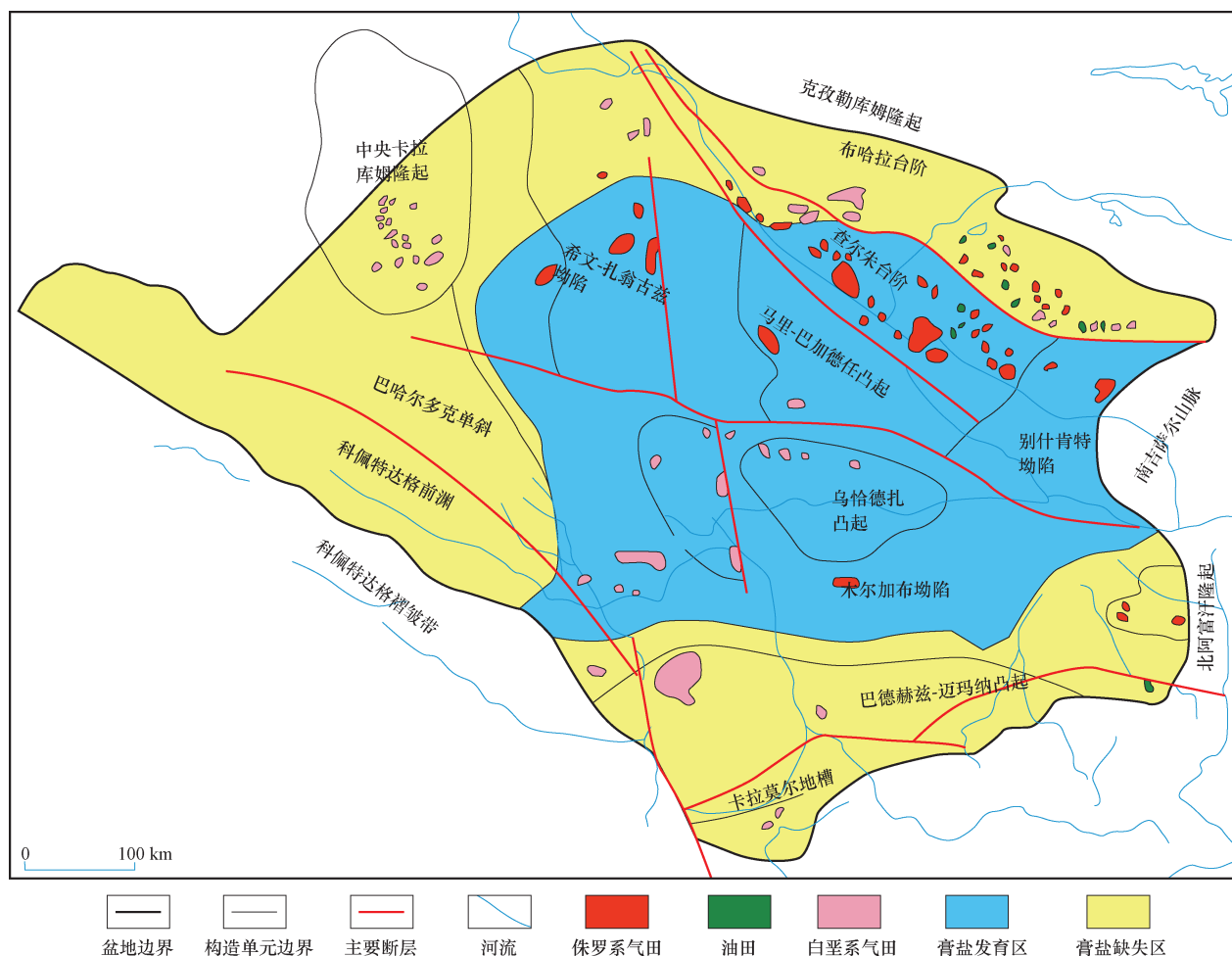


图6 阿姆河盆地油气田与区域性盖层分布

Fig. 6 Distribution of oil & gas fields and regional cap rock in Amu Darya Basin

聚方向。第二,储层的非均质性,特别是礁滩体的发育和分布特点决定了天然气局部富集程度。礁滩体是气藏丰度最高、最为有利的钻探目标圈闭类型之一。

2) 区域性盖层对天然气成藏非常关键,断层和输导层控制油气垂向运移。封堵层对油气的封闭程度直接影响了圈闭的有效性,阿姆河盆地发育的两套区域性盖层决定了其各自所封盖的油气成藏组合及评价单元的分布范围。而盐岩的侧向封堵作用同样必要,是斜坡带圈闭能够成藏的首要条件。盆地内烃类垂向运移的主控因素包括运移通道和圈闭有效性两个方面。其中,以反转断层为主的断裂系统和输导层共同构成了油气运移的阶梯状通道,沟通了从烃源岩到圈闭的运移路径。

参考文献

- [1] 何雨丹,魏春光. 中亚阿姆河盆地构造演化及其对油气藏的控制作用[J]. 地球物理学进展,2014,29(3):1143-1147.
He Yudan, Wei Chunguang. Tectonic evolution and its vital role for oil and gas reservoir in Amu Darya Basin[J]. Progress in Geophysics, 2014, 29(3): 1143-1147.
- [2] 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-Darya Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33(4): 515-520.
- [3] Magoon L B, Dow W G. The petroleum system-from source to trap [M]. Tulsa: AAPG Memoir 60, 1994: 1-655.
- [4] Boris A, Natal' in, Celal S A M. Late Palaeozoic to Triassic evolution of the Turan and Scythian platforms: The pre-history of the Palaeo-Tethyan closure[J]. Tectonophysics, 2005, 404: 175-202.
- [5] Brookfield M E, Hashmat A. The geology and petroleum potential of the North Afghan platform and adjacent areas [J]. Earth Science Review, 2001, 55: 41071.
- [6] Kravchenko K N, Koshelev N I, Kravchenko N E, et al. The regional structure of the turanian platform and its development [J]. Tectonophysics, 1976, 36(1-3): 263-273.
- [7] 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.
- [8] Simon C. Mesozoic-Cenozoic history of deformation and petroleum systems in sedimentary basins [J]. Petroleum Geoscience, 1997, 3: 327-341.
- [9] 罗金海,车自成. 中亚与中国西部侏罗纪沉积盆地的成因分析

- [J]. 西北大学学报(自然科学版), 2001, 31(2): 167-170.
- Luo Jinhai, Che Zicheng. Formation and comparative analysis of Jurassic sedimentary basins in Central Asia and western China[J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2001, 31(2): 167-170.
- [10] 方杰, 徐树宝, 吴蕾, 等. 阿姆河右岸地区侏罗系海相烃源岩生烃潜力[J]. 海相油气地质, 2014, 19(1): 8-18.
- Fang Jie, Xu Shubao, Wu Lei, et al. Hydrocarbon generation potential of Jurassic source rocks in right bank of Amu Darya[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2014, 19(1): 8-18.
- [11] 郑荣才, 陈浩如, 王强, 等. 土库曼斯坦阿姆河盆地卡洛夫-牛津阶储层特征及控制因素分析[J]. 岩石学报, 2014, 3: 779-788.
- Zheng Rongcai, Chen Haoru, Wang Qiang, et al. The reservoir characteristics and their controlling factors of Callovian-Oxfordian carbonates in Amu Darya Basin[J]. Acta Petrologica Sinica, 2014, 3: 779-788.
- [12] 韩克猷, 孙玮. 四川盆地海相大气田和气田群成藏条件[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(1): 10-18.
- Han Keyou, Sun Wei. Conditions for the formation of large marine gas fields and gas field clusters in Sichuan Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(1): 10-18.
- [13] 聂明龙, 吴蕾, 徐树宝, 等. 阿姆河盆地别什肯特坳陷及其邻区构造成因与勘探意义[J]. 天然气工业, 2013, 33(11): 45-50.
- Nie Minglong, Wu Lei, Xu Shubao, et al. Genetic mechanism and exploration significance of tectonic action in the Bieshikent depression and its adjacent area in the Amu-Darya Basin[J]. Natural Gas Industry, 2013, 33(11): 45-50.
- [14] 郭旭升, 黄仁春, 付孝悦, 等. 四川盆地二叠系和三叠系礁滩天然气富集规律与勘探方向[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(3): 295-302.
- Guo Xusheng, Huang Renchun, Fu Xiaoyue, et al. Gas accumulation and exploration direction of the Permian and Triassic reservoirs of reef-bank facies in Sichuan Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(3): 295-302.
- [15] 许永哲, 王玉华, 陈雷, 等. 川东北元坝地区长兴组生物礁滩体系分频特征研究[J]. 石油实验地质, 2013, 35(6): 651-656.
- Xu Yongzhe, Wang Yuhua, Chen Lei, et al. Spectral decomposition characteristics of reef-bank reservoirs of Changxing Formation in Yuanba area, northeastern Sichuan Basin. Petroleum Geology & Experiment, 2013, 35(6): 651-656.
- [16] 刘勇, 杨洪志, 刘义成, 等. 阿姆河右岸基尔桑地区牛津阶生物礁储层特征及控制因素[J]. 天然气工业, 2013, 33(3): 10-14.
- Liu Yong, Yang Hongzhi, Liu Yicheng, et al. Characteristics and main controlling factors of the Oxfordian biohermal reservoirs in Girsan of Amu Darya Right Bank, Turkmenistan[J]. Natural Gas Industry, 2013, 33(3): 10-14.
- [17] 徐明华, 李瑞, 张世荣. 阿姆河右岸区块碳酸盐岩气藏勘探实践-以麦捷让构造区为例[J]. 天然气工业, 2011, 31(4): 24-27.
- Xu Minghua, Li Rui, Zhang Shirong. Gas exploration practice of carbonate rocks in in Metajanblock of Amu Darya right bank area[J]. Natural Gas Industry, 2011, 31(4): 24-27.
- [18] Pratsch J C. Vertical hydrocarbon migration: A major exploration parameter[J]. Journal of Petroleum Geology, 1991, 14(4): 429-444.
- [19] 刘畅, 陈冬霞, 董月霞, 等. 断层对南堡凹陷潜山油气藏的控制作用[J]. 石油与天然气地质, 2015, 36(1): 43-50.
- Liu Chang, Chen Dongxia, Dong Yuexia, et al. Control of faults on hydrocarbon accumulation of buried hill reservoirs in the Nanpu Sag, Bohai Bay Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2015, 36(1): 43-50.
- [20] 吴国强, 吕修祥, 周心怀, 等. 新生代郑庐断裂活动在莱州湾地区的响应[J]. 石油实验地质, 2013, 35(4): 407-413.
- Wu Guoqiang, Lü Xiuxiang, Zhou Xinhui, et al. Response of Cenozoic Tan-Lu fault activity in Laizhou Bay area, Bohai Sea. Petroleum Geology & Experiment, 2013, 35(4): 407-413.
- [21] 聂明龙, 吴蕾, 孙林, 等. 阿姆河盆地查尔朱阶地及邻区盐相关断裂特征与油气地质意义[J]. 石油与天然气地质, 2013, 34(6): 803-808.
- Nie Minglong, Wu Lei, Sun Lin, et al. Salt-related fault characteristics and their petroleum geological significance in Zarzhu terrace and its adjacent areas, the Amu Darya Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(1): 10-18.
- [22] 周杰, 严磊, 向泽燕, 等. 如何消除巨厚盐岩对下伏地层构造解释的影响[J]. 断块油气田, 2011, 18(4): 457-460.
- Zhou Jie, Yan Lei, Xiang Zeyan, et al. How to eliminate the influence of thick salt rock on structural interpretation of underlying formation[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2011, 18(4): 457-460.
- [23] 汪功怀, 邓明霞, 宋萍, 等. 东濮凹陷沙三上盐间泥岩裂缝油气藏地震识别及描述[J]. 断块油气田, 2011, 18(4): 461-464.
- Wang Gonghuai, Deng Mingxia, Song Ping, et al. Seismic identification and description technique for upper Es₃ fractured mudstone reservoir with salt interbed in Dongpu Depression[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2011, 18(4): 461-464.
- [24] 金之钧. 从源-盖控烃看塔里木台盆地油气分布规律[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(6): 763-770.
- Jin Zhijun. A study on the distribution of oil and gas reservoirs controlled by source-cap rock assemblage in unmodified foreland region of Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(6): 763-770.
- [25] 尹志军, 谭建财, 娄国泉, 等. 高邮凹陷真武-吴堡断裂带断层封闭性综合评价[J]. 断块油气田, 2012, 19(01): 32-34, 43.
- Yin Zhijun, Tan Jiancai, Lou Guoquan, et al. Comprehensive evaluation on fault sealing in Zhenwu-Wubao fault zone of Gaoyou Sag[J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 2012, 19(01): 32-34, 43.
- [26] 王学军, 苏惠, 曾溅辉, 等. 东濮凹陷西部斜坡带长垣断层封闭性及其输导模式[J]. 油气地质与采收率, 2012, 19(4): 5-9.
- Wang Xuejun, Su Hui, Zeng Jianhui, et al. Fault sealing and oil-gas migration patterns of Changyuan on western slope, Dongpu depression[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2012, 19(4): 5-9.
- [27] 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, 2010, 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.
- [28] 王香增. 延长探区天然气勘探重大突破及启示[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(1): 1-9.
- Wang Xiangzeng. Major breakthrough of gas exploration in Yangchang blocks and its significance[J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(1): 1-9.