

doi: 10.12029/gc20180503

张凯逊, 韩淑琴, 王宗秀, 陶崇智, 韩凤彬, 李春麟, 李小诗, Halilov Zailabidin, Takenov Nurgazy. 2018. 阿富汗—塔吉克盆地含油气系统特征与资源潜力[J]. 中国地质, 45(5): 920–930.

Zhang Kaixun, Han Shuqin, Wang Zongxiu, Tao Chongzhi, Han Fengbin, Li Chunlin, Li Xiaoshi, Halilov Zailabidin, Takenov Nurgazy. 2018. Characteristics of petroleum systems and resources potential in the Afghan–Tajik Basin[J]. Geology in China, 45(5): 920–930(in Chinese with English abstract).

阿富汗—塔吉克盆地含油气系统特征与资源潜力

张凯逊¹ 韩淑琴¹ 王宗秀¹ 陶崇智² 韩凤彬¹ 李春麟¹ 李小诗¹

Halilov Zailabidin³ Takenov Nurgazy⁴

(1. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081; 2. 中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083; 3. Kyrgyz Geophysical Expedition, Shopokov Town, Kyrgystan 724832. 4. Kyrgyz methodical expedition of geological and economic research, National Geological Agency of Kyrgyzstan, Bishkek, Kyrgyzstan)

摘要: 阿富汗—塔吉克盆地是中亚地区常规油气具有良好勘探潜力的前陆叠合盆地之一。基于最新的数据资料, 应用石油地质综合评价和含油气系统分析的方法, 本文研究了阿富汗—塔吉克盆地的油气分布规律及主控因素, 以成藏组合为评价单元, 评估了油气待发现可采资源量, 并探讨了油气资源潜力和将来勘探领域。研究表明, 盆地发育 2 套主力含油气系统, 分别为中下侏罗统一卡洛夫牛津阶含油气系统和始新统/下白垩统一古新统 Bukhara 含油气系统。区域上, 盆地的油气主要分布于西南吉萨尔隆起和苏尔汉坳陷, 盆地总体表现为“贫油富气”特征。其中, 74.0% 的天然气储量分布在西南吉萨尔隆起, 71.5% 的石油储量分布在苏尔汉坳陷, 几乎所有凝析油都分布于西南吉萨尔隆起。层系上, 油气在侏罗系、白垩系以及古近系分布, 但集中分布于侏罗系。油气分布整体表现出“盐上构造圈闭富油, 盐下地层圈闭聚气”的特征, 有利生储盖组合和局部构造控制盐下层系油气分布, 新生代构造运动等控制盐上层系油气分布和富集程度。资源评价结果表明, 阿富汗—塔吉克盆地待发现可采石油、天然气和凝析油的资源量分别为 202.74 MMbbl、8680.15 Bcf 和 126.65 MMbbl, 合计油当量 1776.09 MMboe, 最具有勘探潜力的成藏组合为中上侏罗统卡洛夫—牛津阶成藏组合。

关键词: 阿富汗—塔吉克盆地; 油气分布; 主控因素; 含油气系统; 资源评价

中图分类号: TE155 文献标志码: A 文章编号: 1000–3657(2018)05–0920–11

Characteristics of petroleum systems and resources potential in the Afghan–Tajik Basin

ZHANG Kaixun¹, HAN Shuqin¹, WANG Zongxiu¹, TAO Chongzhi², HAN Fengbin¹, LI Chunlin¹,
LI Xiaoshi¹, Halilov Zailabidin³, Takenov Nurgazy⁴

收稿日期: 2017–09–26; 改回日期: 2018–03–05

基金项目: 中国地质调查局项目“中亚地区能源潜力调查分析”(DD20160113)、中国地质科学院地质力学研究所基本科研业务费“低勘探程度含油气盆地资源潜力评价方法研究”项目(DZLXJK201707)和国家科技重大专项“南大西洋两岸盆地分析与油气资源评价”(2016ZX05033–001)联合资助。

作者简介: 张凯逊, 男, 1985 年生, 博士, 主要从事全球油气资源评价及储层地质学研究; E-mail: zhangkaixun@126.com。

通讯作者: 韩淑琴, 女, 1964 年生, 研究员, 主要从事矿床地质和全球矿产资源战略研究; E-mail: 13911037868@163.com。

(1. *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China*; 2. *Petroleum Exploration & Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China*; 3. *Kyrgyz Geophysical Expedition, Shopokov Town, Kyrgyzstan 724832*. 4. *Kyrgyz Methodical Expedition of Geological and Economic Research, National Geological Agency of Kyrgyzstan, Bishkek, Kyrgyzstan*)

Abstract: The Afghan–Tajik Basin is one of the most prospective superimposed foreland basins in Central Asia. Based on the updated data and using the method of comprehensive evaluation of geology and petroleum system analysis, the authors focused on the hydrocarbon distribution and the main controlling factors, evaluated the undiscovered recoverable resources, and discussed the potential of oil and gas resources and the future exploration areas. The results indicate that two petroleum systems are developed in Afghan–Tajik Basin, i.e., the Lower–Middle Jurassic–Callovian–Oxfordian petroleum system and Eocene/Lower Cretaceous–Bukhara petroleum system. In this region, oil and gas are mainly distributed in the southwest Gissar uplift and the Surhandarya depression. The basin is characterized by the richness of gas and lack of oil, about 74.0% of the natural gas reserves are distributed in the southwest Gissar uplift, 71.5% of the oil reserves are distributed in the Surhandarya depression, and almost all condensate reserves are distributed in southwest Gissar uplift. Stratigraphically, the hydrocarbon is mainly stored in Jurassic strata, followed by Cretaceous and Paleogene units. In the basin, the gas is rich in sub–salt stratigraphic trap, and the oil is concentrated in post–salt structural trap, and the distribution is controlled by the favorable reservoir–cap assemblage, effective source rocks and the Cenozoic tectonic movement. Petroleum resources assessment shows that the amounts of undiscovered oil, gas and condensate resources are respectively 202.74 MMbbl, 8680.15 Bcf and 126.65 MMbbl, with an oil equivalent account of 1776.09 MMboe. The Lower–Middle Jurassic–Callovian–Oxfordian play is the most favorable exploration target.

Key words: Afghan–Tajik Basin; hydrocarbon distribution; controlling factor; petroleum system; resource assessment

About the first author: ZHANG Kaixun, male, born in 1985, doctor, assistant researcher, engages in the research on global petroleum basin analysis and reservoir geology; E–mail: zhangkaixun@126.com.

About the corresponding author: HAN Shuqin, female, born in 1964, senior researcher, engages in the research on global mineral resources strategy and mineral deposit geology; E–mail: 13911037868@163.com.

Fund support: Supported by "Investigation and Analysis of Energy Potential in Central Asia" (No.DD20160113), "Assessment Method of Resource Potential in Low Exploration Degree Petroleum–bearing Basins" (DZLXJK201707) and National Science and Technology Major Project "Basin Analysis and Oil and Gas Resources Assessment across the South Atlantic" (2016ZX05033–001).

1 引言

中亚地区是世界上含油气最为丰富的地区之一(侯平, 2014), 阿富汗—塔吉克盆地则是中亚地区常规油气具有良好勘探潜力的前陆叠合盆地之一(安作相和胡征钦, 1993; 贾承造和杨树锋, 2001)。目前, 许多学者从多个方面对阿富汗—塔吉克盆地展开了系统研究, 包括板块构造演化、层序地层、油气地质特征以及油气分布规律等(Khain等, 1992; Simon, 1997; Burtman, 2000; 王素华和钱祥麟, 2001; 朱毅秀和刘洛夫, 2007; Karsten et al., 2011; 塔斯肯等, 2014; 尹继全等, 2015; 何登发等, 2016; 朱伟林等, 2016; 楚泽松, 2016; 韩凤彬等, 2017; 王宗秀等, 2017), 侯平等(2014)还对包括阿

富汗—塔吉克盆地在内的中亚各沉积盆地的常规油气资源进行了评价。但是, 受地区经济技术水平、油气田勘探开发以及资料丰富程度的限制, 目前对阿富汗—塔吉克盆地含油气系统及其资源潜力仍缺乏深刻的认识。因此, 有必要对阿富汗—塔吉克盆地的含油气系统和油气富集规律展开深入的研究。本文在前人研究基础上, 以IHS数据库(IHS Energy Group, 2016)最新的油气地质资料为基础, 采用石油地质综合研究和含油气系统分析的方法, 探讨了阿富汗—塔吉克盆地油气的分布特征及其主控因素。以成藏组合为评价单元, 评价了阿富汗—塔吉克盆地油气待发现可采资源量, 并进一步探讨了盆地的油气资源潜力和未来的勘探领域。阿富汗—塔吉克盆地的研究成果将为中亚地区以及类似前

陆盆地的油气勘探开发提供借鉴和参考。

2 区域地质概况及油气分布规律

2.1 区域地质特征

阿富汗—塔吉克盆地又称南塔吉克盆地,是形成于中新生代的叠合前陆盆地(安作相和胡征钦,1993),总面积约为 $12.5 \times 10^4 \text{ km}^2$,在行政区域上横跨阿富汗、塔吉克斯坦、乌兹别克斯坦三国,以盆内阿姆河和喷赤两条河流为边界,该盆地被分成两个区域,北部为塔吉克—乌兹别克,占盆地总面积的53.6%;南部为阿富汗,占盆地总面积的46.4%。

阿富汗—塔吉克盆地是位于吉萨尔和帕米尔褶皱系之间的山间坳陷,该盆地与周缘褶皱带以深断裂系统为界,包括西侧的拜松—库吉坦格断裂,北侧的吉萨尔—科克沙利断裂,东侧的达尔瓦兹断裂,南侧的阿利布尔兹—莫尔穆利断裂等(朱毅秀和刘洛夫,2007)。盆地四周环山,北面和西面为吉萨尔山脉及其西南支脉—库吉坦格套和拜松套山脉(属天山造山带),东面和南面是达尔瓦兹山脉、兴

都库什和帕罗帕米苏斯山脉(属帕米尔—兴都库什造山带),东北部以阿莱地堑与我国的塔里木盆地相通,西部与阿姆河盆地相邻(王素华和钱祥麟,2001;朱毅秀和刘洛夫,2007;何登发等,2016)。区域性逆冲断层将阿富汗—塔吉克盆地分隔成一系列近南北方向延伸、相间排列的坳陷和隆起,自东向西依次为:库利亚布坳陷、奥比加尔姆隆起、瓦赫什坳陷、卡菲尔尼干隆起、苏尔汉坳陷以及西南吉萨尔隆起(何登发等,2016)。另外,在盆地北部,可分出近东西走向的杜尚别坳陷(图1,图2)。

阿富汗—塔吉克盆地共经历了3个构造演化阶段(图3):

(1)二叠—三系纪的弧后前陆阶段,此时盆地基本定型,二叠—三叠系过渡层系在古生界海西期褶皱基底之上堆积,岩性主要为深海相陆源碎屑岩和火山喷发岩。

(2)侏罗纪—古近纪断陷—坳陷发育阶段,盆地在经历早侏罗世基梅里造山作用之后发生挤压变形,后进入相对稳定的沉降的沉陷阶段,在此期间,盆地

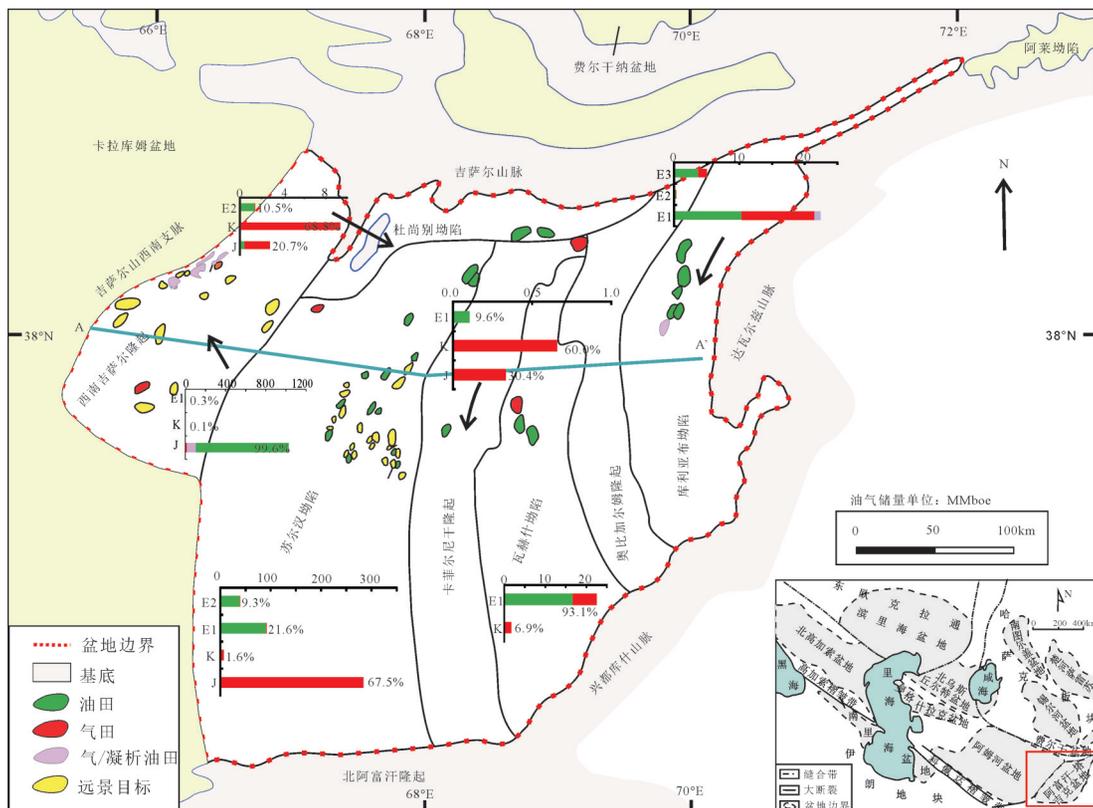


图1 阿富汗—塔吉克盆地位置及其构造单元
Fig.1 Location and structural map of Afghan-Tajik Basin

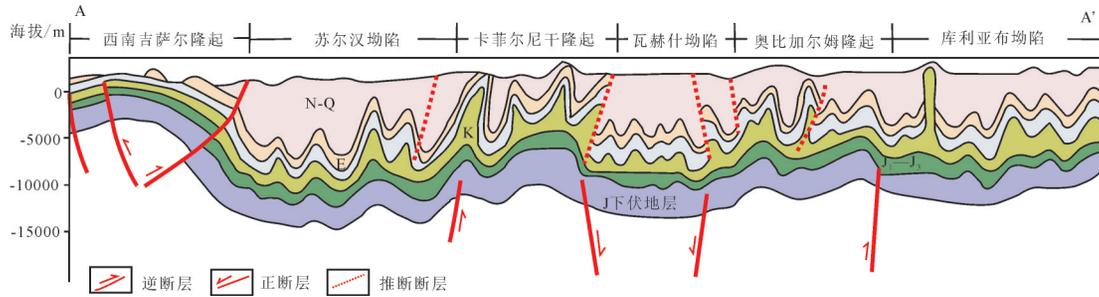


图2 阿富汗—塔吉克盆地东西向区域地质剖面(据尹继全,2015)
Fig.2 Regional geological cross-section A-A' of Afghan-Tajik Basin(after Yin Jiquan, 2015)

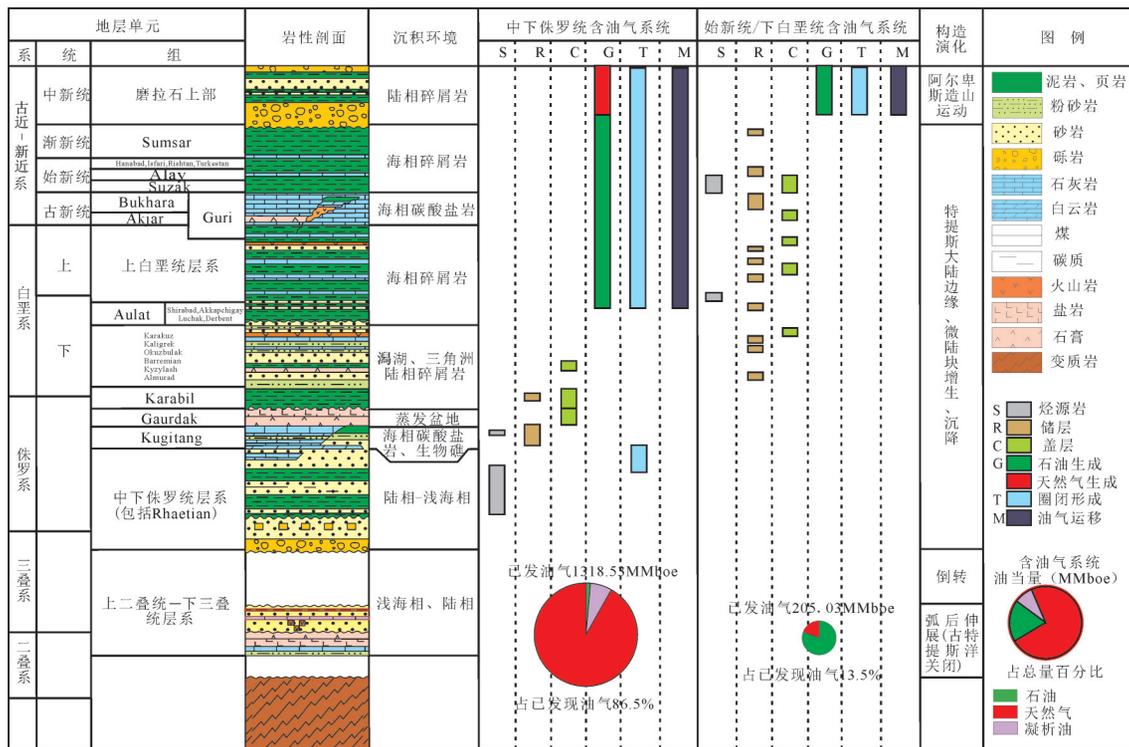


图3 阿富汗—塔吉克盆地综合地层柱状图(饼的大小代表储量的相对多少)(据 IHS 2016 修改)
Fig.3 Generalized stratigraphic chart and petroleum systems events in Afghan-Tajik Basin (Pie size represents the reserve size) (modified from IHS 2016)

遭受3次区域性的自西向东的海侵,沉积了一套海相—海陆交互相沉积。其中,早—中侏罗世至晚侏罗世时期沉积近海开阔盆地含煤岩系、蒸发台地盐岩和浅海碳酸盐岩;早白垩世至晚白垩世中晚期沉积潟湖相、海相碎屑岩和碳酸盐岩;晚白垩世末期至古近纪沉积了一套海相石灰岩、泥岩和砂岩。

(3) 渐新世末至今再生前陆盆地阶段,印度与欧亚板块持续碰撞,帕米尔造山带和吉萨尔造山带重新活动,在盆地周缘形成造山带,受造山运动的逆冲挤压作用影响,盆内发育大量逆冲断裂带及与其相

关的褶皱带,这些深断裂将盆地分割成隆拗相间的构造格局;此外,造山运动的逆冲作用促使盐上地层(白垩系—古近系)沿上侏罗统膏盐岩层发生滑脱作用,形成一系列复杂的滑脱褶皱构造带。盆地的构造变形主要发生在该阶段(王素华和钱祥麟,2001;朱毅秀和刘洛夫,2007;塔斯肯等,2014;何登发等,2016)。

2.2 油气分布规律

截至2016年底,阿富汗—塔吉克盆地内已发现67个油气田,其中在产油田14个,气田6个。探明石油储量183.11 MMbbl(百万桶),凝析油储量

91.02 MMbbl, 天然气储量 7496.62 Bcf (10 亿立方英尺), 折合成油当量为 1523.56 MMboe, 和相邻的阿姆河盆地一样, 阿富汗—塔吉克盆地是个富气贫油的盆地 (据 IHS, 2016 数据统计)。

阿富汗—塔吉克盆地的生储盖组合空间配置良好, 盆内油气资源富集 (朱毅秀和刘洛夫, 2007; 侯平等, 2014; 塔肯斯等, 2014; 何登发等, 2016)。区域上, 阿富汗—塔吉克盆地油气在盆内 6 个构造单元内分布, 只有在奥比加尔姆隆起尚未发现油气田 (图 1)。油气主要在西南吉萨尔隆起和苏尔汉拗陷富集, 其油气储量分别占总储量的 67.8% 和 27.9%; 其次是库利亚布拗陷和瓦赫什拗陷, 其油气储量占总储量的 1.8% 和 1.6%。探明储量上, 天然气储量的 74.0% 分布于西南吉萨尔隆起, 23.4% 分布于苏尔汉拗陷; 石油储量的近 71.5% 分布于苏尔汉拗陷, 10.5% 分布于西南吉萨尔隆起; 几乎所有的凝析油都分布于西南吉萨尔隆起 (图 4)。层系上, 油气高度富集于侏罗系, 其油气储量占油气总储量的

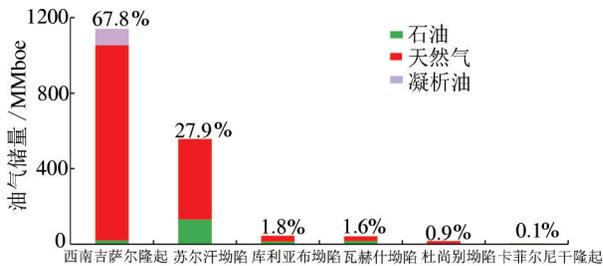


图4 阿富汗—塔吉克盆地不同构造单元油气储量区域分布
Fig.4 Regional distribution of the petroleum reserves in different tectonic units in Afghan-Tajik Basin

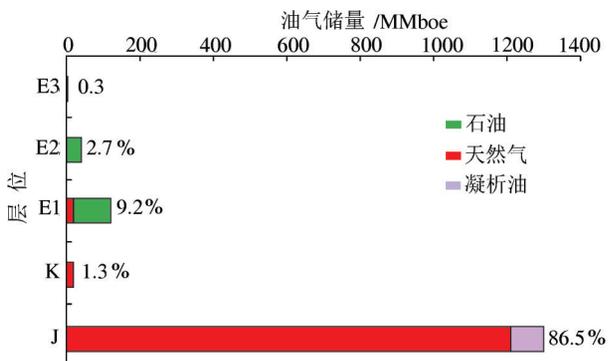


图5 阿富汗—塔吉克盆地油气储量层系分布
Fig.5 Stratigraphic distribution of the petroleum reserves in Afghan-Tajik Basin

86.5%, 其次是古新统和始新统, 分别占油气总储量的 9.2% 和 2.7%。古近系是主要产油层, 白垩系和侏罗系是主要产气层 (图 5)。此外, 不同构造单元内主力储层不同, 在西南吉萨尔隆起, 油气资源以天然气为主, 主要储于侏罗系; 在苏尔汉拗陷, 石油在古新统和始新统富集, 而天然气则主要储于侏罗系; 在库利亚布拗陷和瓦赫什拗陷, 石油和天然气主要储于古新统; 在卡菲尔尼干隆起和杜尚别拗陷, 油气资源以天然气为主, 主要储于白垩系, 其次是侏罗系 (图 1)。

2.2.1 区域盖层控制油气的层系分布

阿富汗—塔吉克盆地内的上侏罗统 Gaurdak 蒸发岩将盆内油气分为盐上层系 (白垩系—古近系) 和盐下层系 (侏罗系) (Khain 等, 1992), 盆内 89.9% 的石油储量储于盐上古近系, 10.1% 的石油储量储于盐下侏罗系; 96.8% 的天然气储量储于盐下侏罗系, 3.2% 的天然气储量储于盐上白垩系和古新统; 98.8% 的凝析油储量分布在侏罗系, 其他的主要分布在古新统。由此可见, 盐上古近系为主要产油层, 盐下侏罗系是主要的产气层和凝析油层, 盆地总体表现出“盐上富油 (含少量气), 盐下聚气”的特征。区域盖层控制阿富汗—塔吉克盆地的油气层系分布, 盖层之下的侏罗系储层油气最为富集, 其油气储量占总储量的 86.5%。

2.2.2 有利生储盖组合和局部构造控制盐下层系油气分布

盐下侏罗系油气富集, 除了具备良好的储盖组合之外, 还得益于 Gaurdak 厚层蒸发岩的有效封堵和中下侏罗统烃源岩的良好生烃条件 (尹继全, 2015)。中下侏罗统烃源岩是盆地内最主要的烃源岩, 生烃潜力巨大, 盆内大部分天然气均源自这套烃源岩。此外, 目前发现的盐下油气田圈闭类型主要为地层圈闭和地层—构造圈闭, 以生物礁或者断层复杂化的生物礁圈闭和不对称背斜 (或断背斜)—礁灰岩圈闭为主 (图 6)。据此可以判断, 良好的储盖组合和局部构造是控制盐下层系油气分布的重要因素。

2.2.3 新生代构造运动控制盐上油气的分布与富集

新生代构造运动影响烃源岩的生烃过程、油气运移和圈闭的形成。首先, 新生代的挤压作用使地层快速沉降, 下白垩统、始新统以及中下侏罗统烃

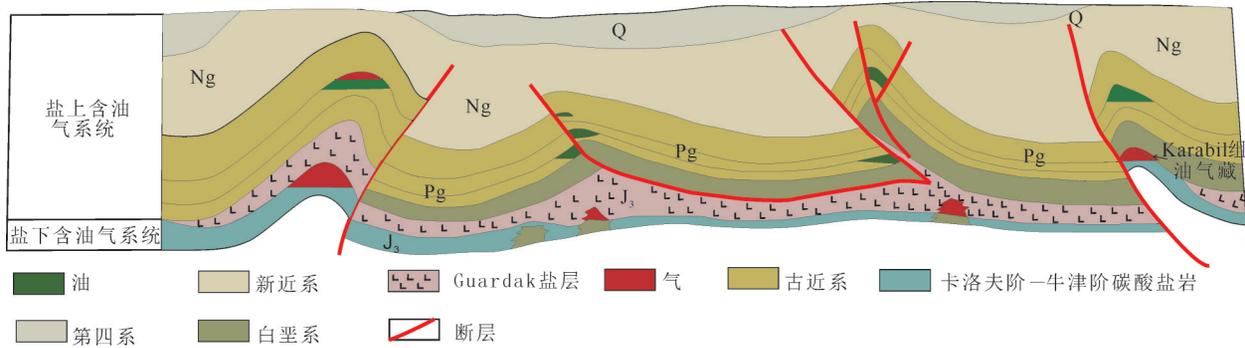


图6 阿富汗—塔吉克盆地油气成藏模式

Fig.6 Accumulation model for oil and gas in Afghan-Tajik Basin

源岩深埋并快速进入成熟生烃阶段。其次,受新生代造山运动的影响,盐上地层(白垩系—古近系)沿上侏罗统膏盐岩层发生滑脱作用,形成了一系列逆掩断层及被逆掩断层复杂化的背斜构造,为盐上层系油气聚集提供场所。盐上圈闭通常以断层圈闭、逆冲挤压背斜圈闭和断背斜圈闭为主,具有幅度大、规模小的特征。与此同时,膏盐岩层滑脱作用还导致盐下层系(侏罗系)发育隐伏的大型背斜滑脱褶皱构造带,形成一系列低幅且规模较大的背斜圈闭、断背斜圈闭或岩性—构造圈闭(图6),这些盐下圈闭可能具有巨大的油气潜力。除此之外,新生代的构造运动破坏早期形成的油气藏,促使油气沿断层再次运移至合适的圈闭形成新的油气藏(王素华和钱祥麟,2001;何登发等,2016)。

3 含油气系统特征与成藏组合分析

阿富汗—塔吉克盆地主要发育中下侏罗统、上白垩统和始新统3套主力烃源岩以及上侏罗统、下白垩统和古新统等次要烃源岩(图3)。由于缺少现今地球化学分析资料,限制了该盆地烃源岩或者含油气系统的研究精度,但是目前取得的统一认识是:中下侏罗统含煤层系以生气为主,少量生油,而始新统Suzak泥岩和下白垩统页岩和泥质碳酸盐岩处于生油窗内,以生油为主,但是却无法严格区分二者的主次。在烃源岩认识基础上,同时考虑上侏罗统Gaurdak蒸发岩对盐上盐下层系的影响,最终在阿富汗—塔吉克盆地内识别出2套主要的含油气系统:中下侏罗统—卡洛夫牛津阶含油气系统和始新统/下白垩统—Bukhara含油气系统。它们在空间上相互区分,但同时也有叠置和混合。

3.1 中下侏罗统—卡洛夫牛津阶含油气系统及其成藏组合

中下侏罗统含油气系统探明石油储量为18.51 MMbbl、天然气储量7260.35 Bcf,凝析油储量89.96 MMbbl,合计油当量1318.53 MMboe,占盆地探明总储量的86.5%(图3),主要分布于阿富汗—塔吉克盆地的乌兹别克斯坦和塔吉克斯坦部分(图7)。该含油气系统的烃源岩是盆地中潜力最大的烃源岩,为中下侏罗统页岩和煤层,烃源岩厚度在盆地边缘约为100 m,向盆地中心增加至600~700 m。有机碳含量从0.3%~1.6%到15%~25%,其大小取决于煤组分;干酪根类型为腐植型(III型),有机物以腐殖质为主,镜质体反射率0.1%~0.85%(IHS,2016)。烃源岩在晚白垩世开始生油,始新世进入生油高峰,新近纪末至第四纪期间,中下侏罗统烃源岩下降至5~8 km埋深处,进入了生气窗,盆地内的大部分天然气均源自这套烃源岩。需要特别指出的是,吉萨尔造山带气田气源主要来自西部的别什肯特凹陷,苏尔汗凹陷生烃灶对它的贡献目前尚不明确。储集层主要是上侏罗统卡洛夫阶—牛津阶Kugitang组碳酸盐岩和上提通阶—下贝利亚斯阶Karabil组的湖相砂岩,区域盖层为上侏罗统钦莫利阶—提塘阶(Gaurdak组)蒸发岩和页岩,烃源岩初次运移和二次运移发生于晚白垩世至上新世期间,圈闭形成于侏罗纪中晚期。该含油气系统具备良好生储盖组合,并且排烃时间和圈闭形成时间匹配较好,油气得以聚集并得到有效的保存。

中下侏罗统含油气系统包括2个成藏组合,分别为上侏罗统卡洛夫—牛津阶成藏组合和上提通—下贝利亚斯阶Karabil组成藏组合。上侏罗统卡

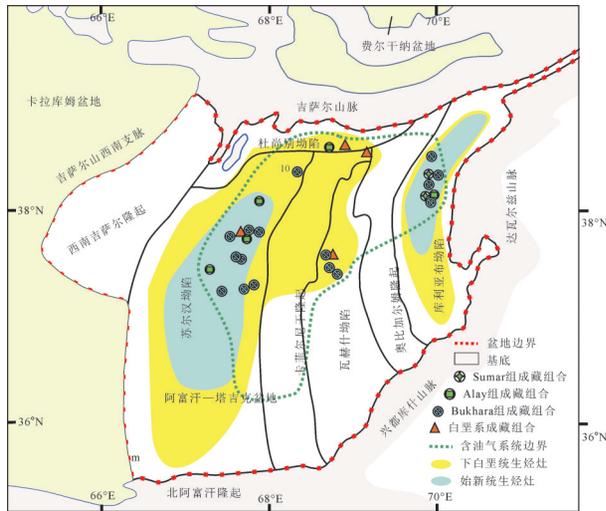


图8 阿富汗—塔吉克盆地始新统/下白垩统含油气系统成藏组合分布示意图

Fig.8 The plays distribution for Eocene/Lower Cretaceous–Bukhara petroleum system in Afghan–Tajik Basin

浅海碳酸盐岩。该组是盆地内的最重要石油产层。Bukhara组可进一步细分为Karatag, Aruktau和Tabakchi三个段,储层主要在后两个层段中发育,岩性为灰岩、白云岩互层(Tabakchi段)或者是石膏、白云岩和泥灰岩互层(Aruktau段)。Bukhara组厚度为26~123 m,最厚可达200 m,储层净厚度为25~70 m。碳酸盐岩孔隙度大小为5%~30%,平均为14.7%,渗透率为1.6~1200 md,平均为200 md。在塔吉克斯坦地区,古新统储层质量自东向西逐渐变好,这是因为沿着该方向白云岩的相对含量增加。盖层为下始新统Suzak组泥质灰岩、页岩和硬石膏,圈闭以背斜、断背斜、断层等构造圈闭为主。始新统Alay组成藏组合规模较小,仅发现5个油田,储层主要为Alay组浅海碳酸盐岩(灰岩、白云岩和泥质灰岩)。Alay组在吉尔吉斯斯坦、塔吉克斯坦、乌兹别克斯坦均有分布,在塔吉克斯坦其厚度为20~125 m,最厚可达200 m,储层净厚度为6~15 m,孔隙度范围10%~18%,平均为15.3%;渗透率范围11~40 md。圈闭类型以非对称背斜圈闭和断层圈闭为主,主要形成于中新世—上新世,上始新统Rishtan组泥岩和石膏为其有效盖层。渐新统Sumsar组成藏组合规模较小,仅发现2个油田,其储层为Sumar组浅海相砂岩,厚度为50 m,储层净厚度为12.6 m,盖层为中新统泥岩,圈闭形成于中新世,以不对称背斜圈闭为主。

4 待发现油气资源量评价及方法

本次资源评价是以含油气盆地综合研究、含油气系统分析和成藏组合表征为基础,油气地质研究成果是成藏组合划分和评价参数选取的基石。通过油气地质综合研究,确定拟评价成藏组合(Play)的时空分布特征,揭示油气分布特征、主控因素和成藏模式;把历史发现、钻井数据分配到相应的评价成藏组合中去,形成勘探发现序列;根据油气藏勘探历史和发现序列(中高勘探程度成藏组合)或地质类比法(低勘探程度成藏组合),选取关键评价参数,采用蒙特卡罗算法,估算待发现石油、天然气和凝析油可采资源量,评价结果以概率分布形式给出4个值:低值(F95)、中值(F50)、高值(F95)和均值。

4.1 待发现油气资源量评价方法

具体实施可分为四大步骤:油气地质综合研究、评价参数选取、蒙特卡罗法计算评价单元资源量和盆地资源量汇总(图9)(高济稷和白国平,2010;余一欣等,2015;王大鹏等,2016;田纳新等,2017)。油气地质综合研究是本次资源评价的基础,该步骤涉及区域地质、含油气盆地和含油气系统的研究以及成藏组合的划分和表征。基于区域地质和盆地的研究成果,通过油源对比,确定油气之间以及油气与烃源岩之间的亲缘关系,确定含油气系统的时空展布,进行含油气系统的划分。成藏组合是本次资评的基本单元,评估一个成藏组合的待发现可采资源量,需要3组参数,第一组是待发现油、气田的个数的低值、中值和高值;第二组是待发现油、气田储量规模的低值、中值和高值,第三组是油田的气油比和凝析油/天然气比的低值、中值和高值以及气田的凝析油/天然气比和油气比的低值、中值和高值。

在获得了上述的输入参数以后,转入机器运算,将上面的值输入计算程序,待发现油、气田的个数按三角分布、待发现油、气田的大小按对数正态分布生成模型,通过蒙特卡罗(Monte Carlo)模拟,得出待发现资源量的概率分布与最佳估值,以及若干特征分位点。最后进行盆地资源量汇总。

4.2 待发现油气资源量评价结果

基于阿富汗—塔吉克盆地含油气系统不同成藏组合已发现的油气藏个数和油气储量,本文对不

表 1 阿富汗—塔吉克盆地含油气系统不同成藏组合已发现油气探明和控制可采储量和待发现可采资源量
Table 1 Summary of the proved and probable recoverable reserves and undiscovered oil and gas resources of petroleum systems in Afghan-Tajik Basin

含油气系统	成藏组合	已发现 油气藏个数	已发现油气藏				未发现油气藏			
			石油/	天然气	凝析油	油当量	石油/	天然气	凝析油	油当量
			MMbbl	/Bcf	/MMbbl	/MMboe	MMbbl	/Bcf	/MMbbl	/MMboe
	渐新统 Sumsar 组	2	3.68	8.00		5.01	15.01		15.01	
始新统/下白垩统	始新统 Alay 组	5	24.89	2.52		25.31	15.14		15.14	
含油气系统	古新统 Bukhara/Guri 组	25	136.03	111.82	1.00	155.67	152.95	455.59	1.22	230.10
	白垩系	7		113.93	0.06	19.04		973.17	4.53	166.73
中下侏罗统	上提通-下贝利亚斯阶 Karabil 组	2		700.00	0.70	117.37		889.30	2.37	150.59
含油气系统	上侏罗统卡洛夫-牛津阶	26	18.51	6560.35	89.26	1201.16	19.64	6362.09	118.53	1198.52
合计		67	183.11	7496.62	91.02	1523.56	202.74	8680.15	126.65	1776.09

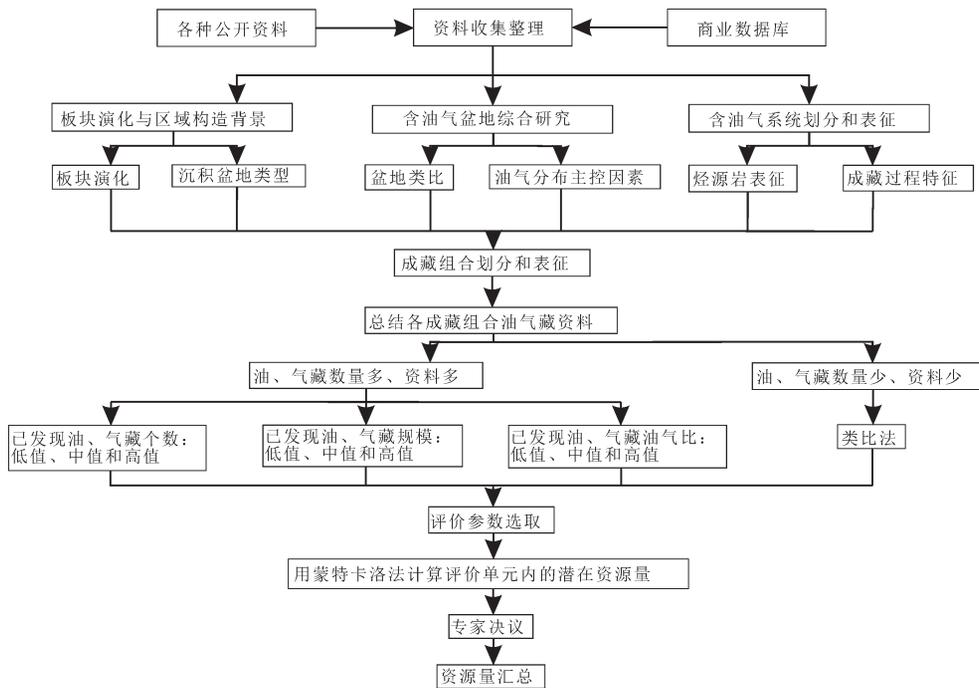


图9 油气资源潜力评价方法流程

Fig.9 Comprehensive assessment and method flow chart for plays in Afghan-Tajik Basin

同成藏组合的油气资源进行了评价,评价结果见表 1。阿富汗—塔吉克盆地待发现可采资源量为 1776.08 MMboe,其中石油、天然气和凝析油的资源量(平均值)分别为 202.74 MMbbl、8680.15 Bcf 和 126.65 MMbbl。按照待发现可采资源量的多少,6 个成藏组合可以分为 3 个级次:待发现可采资源量超过 1000 MMboe、介于 100~1000 MMboe 和介于 10~100 MMboe 油当量的成藏组合。其中,待发现

可采资源量超过 1000 MMboe 油当量的成藏组合只有 1 个,即上侏罗统卡洛夫—牛津阶成藏组合,其待发现可采资源量为 1198.52 MMboe 油当量;3 个成藏组合的待发现可采资源量介于 100~1000 MMboe 油当量,其中,古新统 Bukhara/Guri 组待发现可采资源量为 230.10 MMboe 油当量,白垩系为 166.73 MMboe 油当量,上提通—下贝利亚斯阶 Karabil 组成藏组合为 150.59 MMboe 油当量;渐新统 Sumsar 组

(15.01 MMboe)和始新统 Alay 组成藏组合(15.14 MMboe)的待发现可采资源量低于100 MMboe油当量。因此,阿富汗—塔吉克盆地最有潜力的成藏组合是上侏罗统卡洛夫—牛津阶成藏组合。

5 结 论

(1)阿富汗—塔吉克盆地发育2个含油气系统:中下侏罗统—卡洛夫牛津阶含油气系统和始新统/下白垩统—古新统 Bukhara 含油气系统。中下侏罗统含油气系统包括2个成藏组合,分别为上侏罗统卡洛夫—牛津阶成藏组合和上提通—下贝利亚斯阶 Karabil 组成藏组合;始新统/下白垩统含油气系统包括4个成藏组合,分别为白垩系成藏组合、古新统 Bukhara/Guri 组成藏组合、始新统 Alay 组成藏组合和渐新统 Sumsar 组成藏组合。

(2)区域上,阿富汗—塔吉克盆地的油气主要在西南吉萨尔隆起和苏尔汉坳陷富集,其油气储量分别占总储量的67.8%和27.9%,二者的油气储量和占总储量的94.7%。层系上,油气主要分布在侏罗系,其油气储量占油气总储量的86.5%,其次是古新统和始新统,分别占油气总储量的9.2%和2.7%,三者合占油气总储量的98.4%。不同构造单元内主力储集层系有所不同。

(3)油气分布整体表现出“盐上构造圈闭富油,盐下地层圈闭聚气”的特征,源盖条件和新生代构造运动控制油气分布与富集。其中,区域盖层控制油气的层系分布,有利的生储盖组合和局部构造控制盐下层系的油气富集程度,新生代构造运动影响烃源岩的生烃过程、油气运移和圈闭的形成,控制盐上层系的油气分布。

(4)以成藏组合为基本的评价单元,阿富汗—塔吉克盆地待发现可采石油、天然气和凝析油的资源量(均值)分别202.74 MMbbl、8680.15 Bcf 和126.65 MMbbl,合计油当量1776.09 MMboe。上侏罗统卡洛夫—牛津阶成藏组合是最有潜力的成藏组合,其次是古新统 Bukhara/Guri 组成藏组合、白垩系和上提通—下贝利亚斯阶 Karabil 组成藏组合。

致谢:在资料收集,文献调研整理过程中得到了中国石化石油勘探开发研究院殷进垠教授、王大鹏博士、刘静静博士的指导和帮助;在研究和成文过程中得到了中国石油勘探开发研究院刘丽博士

的指导与帮助;论文评审专家给予了很好的建议和具体修改意见,在此一并深表感谢。

References

- An Zuoxiang, Hu Zhengyin. 1993. Oil and gas zone of Central Asian[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 309–326(in Chinese).
- Abitkazy Taskyn, LI Jianghai, LI Honglin. 2014. Tectonic evolution and hydrocarbon potential of basins in Central Asia and its adjacent regions[J]. *Geoscience*, 28(3):573–584.
- Bai Guoping, Deng Chao, Tao Chongzhi, Wang Dapeng, Liu Junlan, Zhong Mihong, Zou Jianhong. 2013. Hydrocarbon distribution patterns and Controlling factors in North West Shelf, Australia[J]. *Geoscience*, 27(5):1225–1232(in Chinese with English abstract).
- Bai Guoping, Yin Jinyin. 2007. Distribution characteristics and accumulation model for oil and gas in Karakum Basin, Central Asia[J]. *Journal of Paleogeography*, 9(3):293–301(in Chinese with English abstract).
- Burtman V S. 2000. Cenozoic crustal shortening between the Pamir and Tien Shan and a reconstruction of the Pamir–Tien Shan transition zone for the cretaceous and Paleogene[J]. *Tectonophysics*, 319: 69–92.
- Chu Zesong, Yu Xinqi, Wang Zongxiu, Xikao Weifeng, Chen Zhengle, Han Shuqin, Yang Xinpeng. 2016. A comparison of uplifting history between Tianshan Mountains in China and Kyrgyz: Insights from fission track chronology[J]. *Geology in China*, 43(4): 1248–1257 (in Chinese with English abstract).
- Gao Jiji, Bai Guoping, Qin Yangzhen, Zhou Zhilong. 2010. Monte Carlo simulation—A case study of Marib–Shabwa Basin in Yemen[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 32(3):305–308(in Chinese with English abstract).
- Han Fengbin, Chen Zhengle, Han Shuqin, Wang Zongxiu, Zhang Kaixun, Xiao Weifeng, Nurgaz Takenov, Zailabidin Halilov, Li Chunlin, Yu Xinqi, Liu Xiu. 2017. New understanding of uranium deposit genesis in Mayly–Szi region on the northern margin of Fergana Basin: Cenozoic large–scale hydrocarbon escape and uranium mineralization[J]. *Geology in China*, 44(4): 810–811(in Chinese with English abstract).
- He Dengfa, Tong Xiaoguang, Yang Fuzhong, Li Zhi, Ma Delong, Li Di. 2016. Tectonic evolution and hydrocarbon accumulation in central Asia Region[M]. Beijing: Science Press: 289–309(in Chinese).
- Hou Ping, Tian Zuoji, Zheng Junzhang, Wang Zhaoming, Wu Yiping. 2014. Evaluation of conventional hydrocarbon resources in sedimentary basins of Central Asia region[J]. *Earth Science Frontiers*, 21(03):56–62(in Chinese with English abstract).
- Jia Chengzao, Yang Shufeng. 2001. Tectonic Geology and Gas in Basins, Northern Margin of Tethys[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 39–49(in Chinese).
- Karsten R, Kukowski N, Ratschbacher L. 2011. The interaction of two

- indenters in analogue experiments and implications for curved fold- and- thrust belts[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 302: 132-146.
- Khain V E, Lu Jingwei, Li Dagen. 1992. Tectonic and geodynamic background of oil and gas basins in the Soviet Union[J]. *Foreign Oil and Gas exploration*, 4(2):1-12.
- Klett T R, Ulmishak G F, Wandrey C J, Agena W F, the U.S. Geological Survey-Afghanistan ministry of mines and industry Joint oil and gas resource assessment team .2006. Assessment of undiscovered technically recoverable conventional petroleum resources of Northern Afghanistan[J]. *Open File Report United States Geological Survey*, 06-1253, 1-244. U.S. Geological Survey.
- Simon C O. 1997. Mesozoic- Cenozoic history of deformation and petroleum systems in sedimentary basins of Central Asia: implications of collisions on the Eurasian margin[J]. *Deformation and Petroleum System in Central Asia*, 3: 327-341.
- Tian Naxin, Yin Jinyin, Tao Chongzhi, Kong Fanjun. 2017. Petroleum geology and resources assessment of major basins in Middle East and Central Asia[J]. *Oil & Gas Geology*, 38(03):582- 591(in Chinese with English abstract).
- Wang Dapeng, Bai Guoping, Lu Hongmei, Tao Chongzhi, Wang Yifan, Zhang Minghui, Wang Wenyong, Lu Xiaoxin, Gao Lin, Guo Dong. Analysis of petroleum systems and resources evaluation in the Zagros Foreland Basin[J]. *Geoscience*, 30(2):361- 372(in Chinese with English abstract).
- Wang Suhua, Qian Xianglin. 2001. Cenozoic tectonics and oil- gas perspectives in Tadjik and Southwestern Tarim Depression[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 37(4):523-528.
- Wang Zongxiu, Li Chunlin, Pak Nikolai, Ivleva Elena, Yu Xinqi, Zhou Gaozhi, Xiao Weifeng, Han Shuqin, Halilov Zailabidin, Takenov Nurgazy, Yan Xili. 2017. Tectonic division and Paleozoic ocean-continent transition in Western Tianshan Orogen[J]. *Geology in China*, 44(4): 623-641(in Chinese with English abstract).
- Yin Jiquan, Jia Chengzao, Wang Chunsheng, Li Qiyan, Zhou Tianwei. 2015. Petroleum geology characteristics and exploration potential in Afghan- Tajik Basin[J]. *Marine Origin Petroleum Geology*, 20(4):43-48(in Chinese with English abstract).
- Yu Yixin, Yin Jinyin, Zheng Junzhang, Li Feng, Tao Chongzhi, Xu Xiaolong, Wu Hang. 2015. Division and resources evaluation of hydrocarbon plays in the Amu Darya Basin, Central Asia[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 42(6):750- 756(in Chinese with English abstract).
- Zhu Yixiu, Liu Luofu. 2007. Petroleum geology of south Tajikistan Basin in Central Asia[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 28(2):257-261(in Chinese with English abstract).
- Zhu Weilin, Wang Zhixin, Li Jinbo, Wang Weihong. 2016. Central Asia-Caspian Petroliferous Basin[M]. Beijing: Science Press: 1-411(in Chinese).
- 附中文参考文献**
- 安作相, 胡征钦. 1993. 中亚含油气区[M]. 北京:石油工业出版社, 309-326.
- 白国平, 邓超, 陶崇智, 王大鹏, 刘君兰, 仲米虹, 邹建红. 2013. 澳大利亚西北陆架油气分布规律与主控因素研究[J]. *现代地质*, 27(5): 1225-1232.
- 白国平, 殷进垠. 2007. 中亚卡拉库姆盆地油气分布特征与成藏模式[J]. *古地理学报*, 9(03):293-301.
- 楚泽松, 余心起, 王宗秀, 肖伟峰, 陈正乐, 韩淑琴, 杨鑫朋. 中吉天山隆升时代对比——裂变径迹年代学证据[J]. *中国地质*, 2016, 43(4): 1248-1257.
- 高济稷, 白国平, 秦养珍, 周志龙. 2010. 蒙特卡洛模拟法在也门马里卜-夏布瓦盆地中的应用[J]. *石油实验地质*, 32(3):305-308.
- 韩凤彬, 陈正乐, 韩淑琴, 王宗秀, 张凯逊, 肖伟峰, Nurgazy Takenov, Zailabidin Halilov, 李春麟, 余心起, 刘秀. 费尔干纳盆地北缘 Mayly-Szi 地区铀矿成因新认识: 新生代大规模油气逸散与铀成矿[J]. *中国地质*, 2017, 44(4): 810-811.
- 何登发, 童晓光, 杨福忠, 李智, 马德龙, 李涤. 2016. 中亚含油气区构造演化与油气聚集[M]. 北京:科学出版社, 289-309.
- 侯平, 田作基, 郑俊章, 王兆明, 吴义平. 2014. 中亚沉积盆地常规油气资源评价[J]. *地学前缘*, 21(3):56-62.
- 贾承造, 杨树锋. 2001. 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, 39-49.
- 塔斯肯, 李江海, 李洪林, 李维波, 毛翔, 王洪浩. 2014. 中亚与邻区盆地群构造演化及含油气性[J]. *现代地质*, 28(3):573-584.
- 田纳新, 殷进垠, 陶崇智, 孔凡军. 2017. 中东-中亚地区重点盆地油气地质特征及资源评价[J]. *石油与天然气地质*, 38(3):582-591.
- Khain V E, 鲁金伟, 李大艮. 1992. 苏联含油气盆地的大地构造和地球动力学背景[J]. *国外油气勘探*, 4(2):1-12.
- 王素华, 钱祥麟. 2001. 塔西南与塔吉克盆地新生代构造与油气聚集[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 37(4):523-528.
- 王大鹏, 白国平, 陆红梅, 陶崇智, 王一帆, 张明辉, 王文庸, 卢小新, 高琳, 郭栋. 2016. 扎格罗斯盆地含油气系统分析与资源潜力评价[J]. *现代地质*, 30(2):361-372.
- 王宗秀, 李春麟, Pak Nikolai, Ivleva Elena, 余心起, 周高, 肖伟峰, 韩淑琴, Halilov Zailabidin, Takenov Nurgazy, 鄢犀利. 2017. 西天山造山带构造单元划分及古生代洋陆转换过程[J]. *中国地质*, 44(4): 623-641.
- 尹继全, 贾承造, 王春生, 李奇燕, 周天伟. 2015. 阿富汗-塔吉克盆地油气地质特征及勘探方向[J]. *海相油气地质*, 20(04):43-48.
- 余一欣, 殷进垠, 郑俊章, 李锋, 陶崇智, 徐小龙, 吴航. 2015. 阿姆河盆地成藏组合划分与资源潜力评价[J]. *石油勘探与开发*, 42(6): 750-756.
- 朱毅秀, 刘洛夫. 2007. 南塔吉克盆地油气地质特征[J]. *新疆石油地质*, 28(2):257-261.
- 朱伟林, 王志欣, 李进波, 王伟洪. 2016. 中亚-里海含油气盆地[M]. 北京:科学出版社, 1-411.