

阿富汗—塔吉克盆地油气地质特征 及勘探方向

尹继全^{1,2}, 贾承造³, 王春生², 李奇燕², 周天伟²

(1 中国地质大学(北京)能源学院; 2 中国石油勘探开发研究院; 3 中国石油天然气股份有限公司)

摘要 阿富汗—塔吉克盆地整体为南北走向、隆坳相间的构造格局,划分为7大构造单元。以上侏罗统膏盐岩为滑脱层,盆地沉积盖层分为盐上、盐下两大构造层。盐上层系挤压变形强烈,盐下层系构造相对宽缓。盆地经历了裂谷、坳陷和碰撞挤压三个阶段。纵向上发育多套生储盖组合:中下侏罗统含煤碎屑岩、白垩系泥岩和碳酸盐岩、始新统海相泥岩是盆地的三套主力烃源岩;中上侏罗统碳酸盐岩、古新统生物灰岩以及白垩系、古近系砂岩是良好的储集层;上侏罗统膏盐岩是盐下层系的区域性盖层,白垩系和第三系发育泥岩、泥灰岩盖层。盐上层系勘探程度较高,圈闭以逆冲挤压背斜和断背斜为主,幅度大、规模小;盐下层系生储盖组合发育,圈闭以构造和构造-岩性圈闭为主,规模较大,具有形成大型油气藏的地质条件。西南吉萨尔隆起、卡菲尔尼甘隆起、奥比加尔姆隆起是盐下油气勘探的有利区带。

关键词 阿富汗—塔吉克盆地; 石油地质学; 地质特征; 膏盐层; 油气成藏; 油气勘探

中图分类号: TE121.1

文献标识码: A

1 概况

阿富汗—塔吉克盆地位于中亚的特提斯构造域富油气区带,地跨阿富汗、塔吉克斯坦、乌兹别克斯坦、土库曼斯坦等四个国家(图1),总面积 $12.5 \times 10^4 \text{ km}^2$,属于中生代形成的叠合前陆盆地^[1-2]。盆地北部边界为海拔5000m的吉萨尔山,东部边界为海拔6000~7000m的帕米尔高原,东南边界为海拔4000~7000m的兴都库什山脉,西部边界以吉萨尔山的西南分支(西南吉萨尔隆起)与阿姆河盆地(又称卡拉库姆盆地)^[3]相连(图1)。

盆地的油气勘探和发现集中在二十世纪九十年代以前,尤其是在1934—1991年的苏联时期,1991年后受技术和经济条件的限制,这里的勘探活动基本停滞。前期的勘探对象为山间坳陷的平原、斜坡及隆起区埋藏较浅的构造圈闭,而对深层则探索不足。截至目前,共发现油气田35个,累计探明天然气可采资源量 $2480 \times 10^8 \text{ m}^3$,石油可采资源量 $2500 \times 10^4 \text{ t}$ ^①,油气主要分布于盆地中部和北部的塔吉克斯坦、乌兹别克斯坦境内(图1),且尚未发现千亿方规模的大气

田。随着中亚油气合作勘探的推进,以及复杂山地和超深层的油气勘探技术的进步,阿富汗—塔吉克盆地的油气勘探预计将进入到一个新阶段。

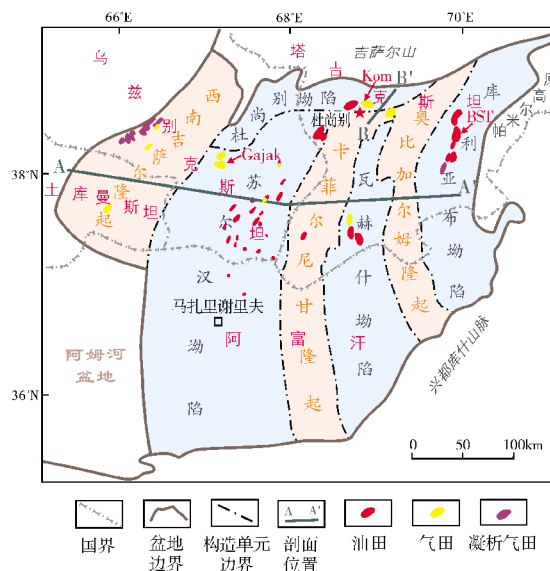


图1 阿富汗—塔吉克盆地位置及构造单元

收稿日期: 2015-08-31; 改回日期: 2015-10-10

本文受国家科技重大专项“海外含盐盆地油气成藏规律及重点探区目标优选”(编号:2011ZX05029-002)资助

尹继全: 1972年生,高级工程师,现在中国石油勘探开发研究院中亚俄罗斯研究所从事海外油气勘探、地震地质综合研究工作。通讯地址: 100083 北京市学院路20号910信箱; E-mail: yinjiqian@petrochina.com.cn

① IHS Energy. Afghan-Tajik Basin[DB]. 2009

前人的研究主要侧重于盆地及邻区的构造演化^[1-2,4-5]和油气地质条件介绍^{[2][6]},对油气成藏组合方面的研究则还不够深入。本文以IHS数据库、中亚合作勘探区块资料包以及其他资源评价资料为基础,对阿富汗—塔吉克盆地的油气地质特征、成藏组合和勘探方向进行了探讨,以期能为盆地区带评价和勘探目标优选提供借鉴。

2 盆地石油地质条件

阿富汗—塔吉克盆地形成于晚古生代褶皱基底之上,中生代以来经历了伸展裂陷到强烈挤压的演化过程(图2),沉积盖层由三套巨层序组成^{①[2][4-5]}。

(1)弧后裂陷阶段,二叠系—三叠系主要由陆相中—酸性火山岩和陆源红色碎屑岩组成(局部海相)(图2),盆地南部最厚约3000m,向北逐渐变薄至100m左右。

(2)拗陷阶段,中下侏罗统海陆交互相含煤碎屑岩遍布整个盆地;中侏罗世晚期—晚侏罗世早期海侵规模扩大,在盆地边缘沉积了大量的浅海相生物礁和生物碎屑灰岩;晚侏罗世晚期,暂时的海退在盆地中沉积了厚度较大的蒸发岩层系(图2);白垩纪开始,海侵规模扩大,白垩系—古近系发育海相碳酸盐岩和碎屑岩沉积(图2)。

(3)渐新世以来,阿拉伯板块与欧亚板块碰撞,海水向西南方向退出,在强烈的差异运动条件下,山前拗陷发育巨厚的陆相磨拉石沉积(图2)。

2.1 地层结构与构造样式

在现今的东西向区域地质剖面(图3)上,以上侏罗统蒸发岩(高尔达克组膏盐岩)为滑脱层,盐上、盐下两套层系具有不同的构造特征:盐上层系构造复杂,以逆冲构造为主,构造类型为线状不对称断背斜;盐下层系构造平缓,埋深大,受古构造背景控制,发育大型宽缓背斜或断背斜。

新近纪以来,受帕米尔构造楔挤压与西南吉萨尔隆起阻挡作用的影响,盆地东西两翼发生大规模逆冲变形,冲断方向在盆地的西部为南东向,在盆地的东部为北西向,以盆地中部的瓦赫什拗陷为界,盆地东部和西部的冲断带在几何形态上构成了对冲(图3),形成目前的山间盆地格局^[4,6]。盆地由多个近南北走向、隆拗相间的构造单元组成,从东到西依次为库利亚布拗陷、奥比加尔姆隆起、瓦赫什拗陷、卡菲尔尼甘

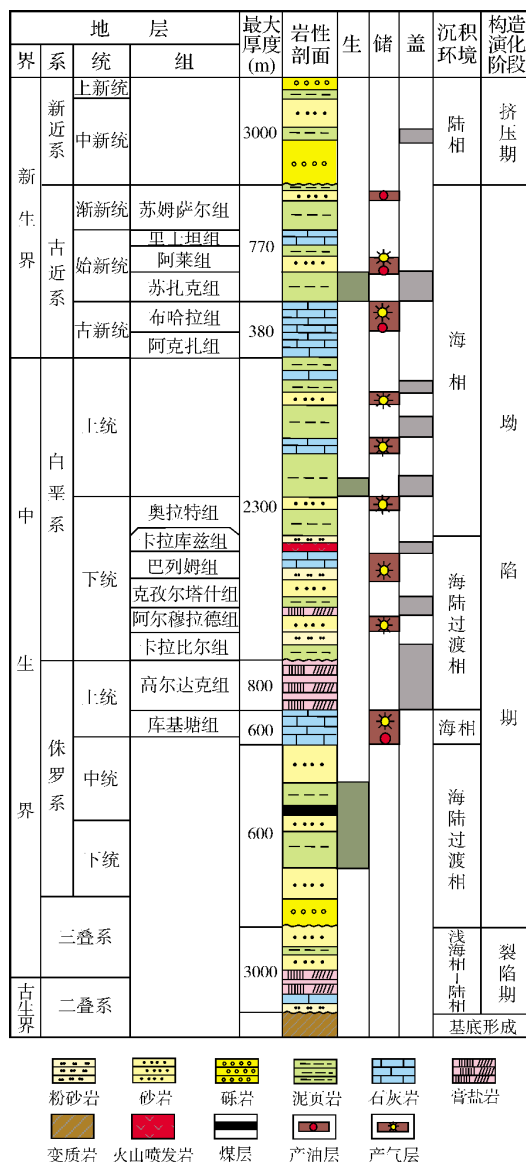


图2 阿富汗—塔吉克盆地地层综合柱状图
(据文献①改编)

隆起、苏尔汉拗陷和西南吉萨尔隆起(图3,图1)。平面上,各构造单元由北向南呈帚状撒开(图1),北部狭窄,挤压变形剧烈,南部宽缓,挤压变形较弱^②。

杜尚别拗陷位于盆地西北缘,呈东西走向,它以大型走滑断裂与南部诸构造单元相分隔(图1,图4)。由于该区上侏罗统发育泥岩夹硬石膏层,盐岩不发育,且新近纪以来没有遭受强烈的构造反转,故构造形态受基底地貌的控制明显(图4)。

② Klett T R, Ulmishek G F, Wandrey C J, et al. Assessment of Undiscovered Technically Recoverable Conventional Petroleum Resources of Northern Afghanistan[R]. USGS Open-File Report 1253, 2006: 1-244.

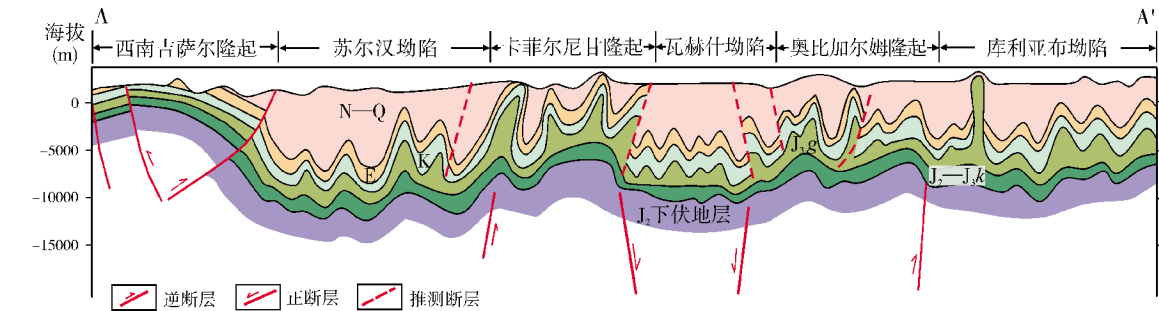


图3 阿富汗—塔吉克盆地东西向区域地质剖面
A—A'剖面位置见图1。J₃k 库基塘组; J₃g 高尔达克组

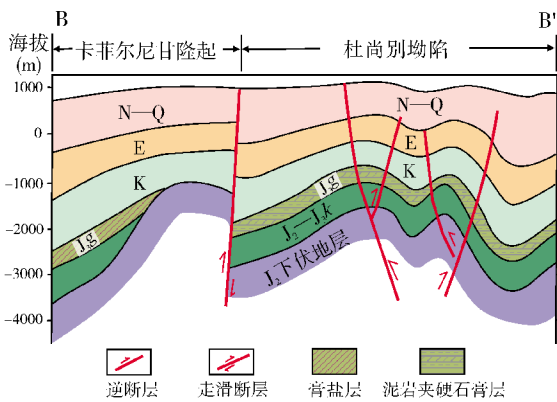


图4 阿富汗—塔吉克盆地地质剖面
B—B'剖面位置见图1。J₃k 库基塘组; J₃g 高尔达克组

2.2 生储盖条件

阿富汗—塔吉克盆地发育三套烃源岩^②(表1), 其中, 仅中下侏罗统含煤岩系处于成熟阶段, 以生气为主, 西南吉萨尔隆起、杜尚别坳陷的上侏罗统碳酸盐岩储层中的天然气均来自于这一含煤层系^③[7-9]。根据有限的油源对比资料^④, 盆地中古近系的油气主要来自于始新统和上白垩统烃源岩。

表1 阿富汗—塔吉克盆地主要烃源岩特征^②

层位	岩性	埋深 (m)	厚度 (m)	TOC (%)	干酪根 类型
始新统	泥岩	500~2500	10~180	11~19	I—II
上白垩统	泥岩、泥灰岩	1500~3500	40~180	2~3	II—III
中下侏罗统	含煤碎屑岩	6000~7000	100~700	0.3~1.6	II—III

从目前的油气产层看, 侏罗系—白垩系主要是产气层, 古近系主要是产油层^①[10-11](图2, 表2)。

3 油气成藏组合及有利区带

根据生储盖条件, 盆地可用上侏罗统蒸发岩(区域盖层)分隔为盐上、盐下两大成藏体系, 进一步按主要油气储层可划分为古近系、白垩系和侏罗系三套成藏组合^[9-11]。

3.1 古近系成藏组合

已发现的古近系油田, 平面上主要分布在苏尔汉坳陷、瓦赫什坳陷、库利亚布坳陷、卡菲尔尼甘隆起和杜尚别坳陷(图1), 油源来自始新统和上白垩统的海相泥岩, 而古新统的布哈拉组海相石灰岩和

表2 阿富汗—塔吉克盆地储集层特征^①

地层	岩性	沉积相	孔隙类型	有效厚度 (m)	孔隙度 (%)	渗透率 ($\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)	流体类型
古近系	苏姆萨尔组	砂岩	海相	孔隙	20~100	—	油
	阿莱组	石灰岩、砂岩	海相	裂缝	20~125	10~18	油
	布哈拉组	石灰岩、白云岩	海相	裂缝	25~70	5~30	油
白垩系	砂岩、粉砂岩	海陆过渡相	孔隙	30~150	10~20	8~200	气
侏罗系	石灰岩、白云岩	浅海台地相	裂缝	7~110	6~30	12~500	气

③ Blackbourn Geoconsulting. Petroleum Geology of Central and Eastern Kazakhstan and Other Basins of Southeast Central Asia[R]. 2008.

④ 中国石油勘探开发研究院中亚俄罗斯研究所. 阿富汗—塔吉克盆地原油的地球化学特征[R]. 2014.

白云岩(图2,表2)是主要的储集层,圈闭类型则为山间坳陷区与隆起区的背斜和断背斜。

库里亚布坳陷的BST油田(位置见图1)为古近系油气藏的一个典型(图5),其原油可采储量达19.46 MMboe^①(约合273×10⁴t)。由图5可见,该油藏圈闭为南北向线状断背斜构造,高部位被逆断层复杂化,西陡东缓,构造西翼发育一条沿构造长轴方向的逆冲断层,构造面积约3 km²。该油藏顶部具有气顶,布哈拉组碳酸盐岩储层孔隙度约5%,裂缝较发育,盖层为苏扎克组泥岩,厚度60~80 m。构造边界断裂及裂缝是油气运移的主要通道。

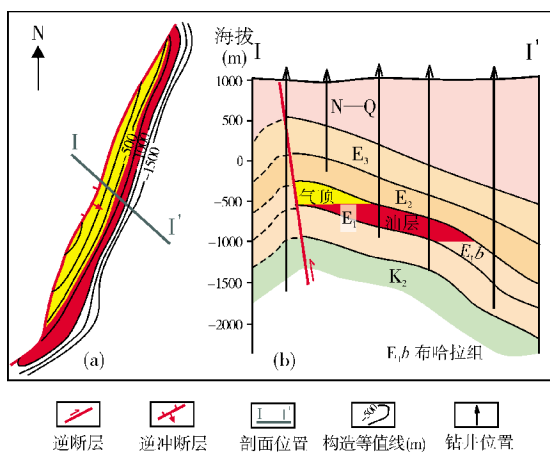


图5 库里亚布坳陷BST油田古近系顶面构造图(a)及油藏剖面图(b)(据文献①)

3.2 侏罗系—白垩系成藏组合

目前已发现的油气储量中,80%以上蕴藏在侏

罗系成藏组合中,上侏罗统碳酸盐岩是主要的含气层系,白垩系成藏组合目前发现的油气藏较少,而且主要与侏罗系气藏伴生,故本文将侏罗系、白垩系成藏组合作统一论述。

侏罗系—白垩系成藏组合以天然气藏、凝析气藏为主,已发现的凝析气田主要分布在西南吉萨尔隆起,天然气田主要分布在西南吉萨尔隆起、苏尔汉坳陷和杜尚别坳陷(图1)。根据上侏罗统蒸发岩盖层的分布,成藏组合平面上包括三种类型:一是杜尚别坳陷的膏盐层缺失区,侏罗系碳酸盐岩气藏和白垩系砂岩气藏并存(后文图6);二是苏尔汉坳陷的西斜坡和西南吉萨尔隆起带,侏罗系碳酸盐岩(主要是生物灰岩)气藏埋藏较浅,膏盐岩为盖层(后文图7);三是盆地中南部南北向构造单元的盐下深层,古地貌圈闭或古构造圈闭发育且埋深大,是未来风险勘探的重点。

杜尚别坳陷的Kom气藏(图6),圈闭类型为北东—南西走向的背斜,沿走向发育两条逆冲断层(图6a),下白垩统面积约4 km²,上侏罗统面积约5.3 km²。Kom气藏的烃源岩为中下侏罗统含煤层系。气藏纵向上发育多套储层:下白垩统砂岩有效厚度120~145 m,孔隙度17%~20%;中上侏罗统库基塘组中的碳酸盐岩储层厚度较薄,平均有效厚度14 m,平均孔隙度7.7%。盖层为下白垩统泥岩及上侏罗统库基塘组中的泥灰岩。由于上侏罗统高尔达克组膏盐岩盖层的缺失,油气藏发生调整,油气沿断层向上继续运移,在中下白垩统圈闭中聚集成藏(图6b),断层在白垩系成藏过程中起到了关键作用。该气田天然气可采储量为11.5 MMboe^①(约合21.1×10⁸m³)。

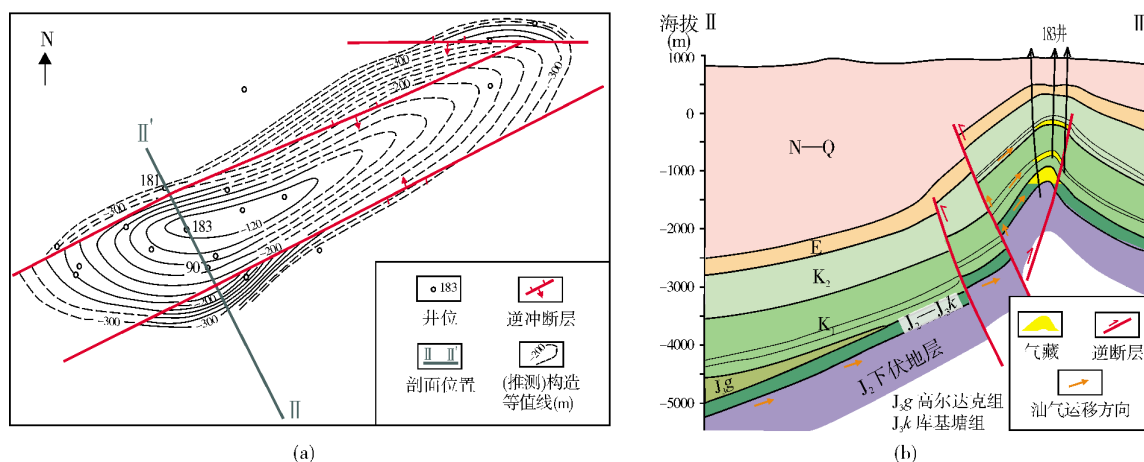


图6 杜尚别坳陷Kom气藏顶面构造图(a)及气藏剖面图(b)(据文献①)

在苏尔汉拗陷的西斜坡和西南吉萨尔隆起,地层埋藏较浅,逆冲构造发育,中下侏罗统的含煤层系、中上侏罗统的生物礁灰岩和上覆的膏盐岩盖层构成了优质的生储盖组合。以苏尔汉拗陷Gajak气田(图7)为代表,中下侏罗统含煤层系生成的天然气在逆冲断层上盘的挤压背斜中聚集,圈闭面积约

79 km²,顶面高点埋深为2 990 m,钻井揭示的碳酸盐岩地层厚度350~470 m(未钻穿),发育裂缝-孔隙型储层,储层平均孔隙度约为12%,渗透率 $50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,盖层为上侏罗统高尔达克组膏盐岩,断层下盘的膏盐岩起到侧向封堵作用。该气田天然气可采储量266.67 MMboe^①(约合 $452.8 \times 10^8 \text{ m}^3$)。

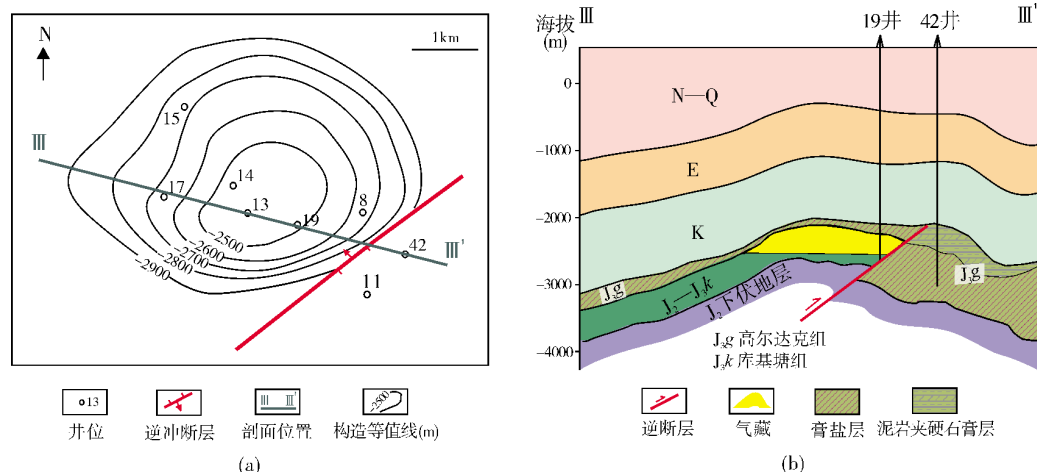


图7 苏尔汉拗陷Gajak气藏顶面构造图(a)及气藏剖面图(b)(据文献①)

3.3 有利区带和油气勘探方向

基于前述油气成藏分析,侏罗系的含煤层系—碳酸盐岩—膏盐岩这一生储盖组合,是阿富汗—塔吉克盆地油气勘探最有利的对象。受勘探技术限制,盆地盐下层系的油气勘探程度很低,目前已发现的盐下油气藏(图7)主要位于西南吉萨尔隆起和苏尔汉拗陷,其他构造单元尚处于地震资料采集和地质研究阶段。

从苏尔汉拗陷Gajak气藏的成藏条件看,盐下油气藏的有利勘探区带主要位于盆地隆起区以及拗陷的西部斜坡和北部斜坡。隆起区盐下油气成藏有利因素为:(1)受盐层滑脱影响,隆起区的盐下层系可能存在隐伏的大型背斜,有利于形成具有勘探价值的规模气藏;(2)受挤压应力作用,隆起区的中上侏罗统碳酸盐岩储层埋深相对较浅、裂缝发育,可以有效改善储层渗流性能;(3)受构造挤压和重力作用影响,膏盐层向隆起区流动,易形成较厚的膏盐岩盖层,油气保存条件优越。综合分析认为,西南吉萨尔隆起、卡菲尔尼甘隆起、奥比加尔姆隆起是盐下层系油气勘探的有利区带,可作为下一步勘探的重点。

对于盐上层系的白垩系、古近系成藏组合,前期在隆起区、拗陷区(埋藏较浅的背斜带)中的勘探程

度较高,但在隆起区与拗陷区之间的斜坡带的勘探程度则还很低,因此这里的中深层的构造-地层圈闭仍值得进一步探索。

4 结 论

(1)阿富汗—塔吉克盆地总体为南北走向、隆拗相间的山间盆地,平面上北窄南宽,北部埋深较浅,挤压变形强烈。纵向上,以上侏罗统膏盐岩为滑脱层,盐上层系逆冲构造发育,线状挤压背斜和断背斜也比较发育,盐下层系则构造平缓。

(2)盆地经历了裂陷、拗陷和碰撞挤压三个演化阶段,发育了三套烃源岩和多套储盖组合。中下侏罗统含煤碎屑岩、白垩系泥岩和碳酸盐岩、始新统海相泥岩是三套主力烃源岩;中上侏罗统碳酸盐岩、古新统生物灰岩、白垩系和古近系的砂岩是良好的储集层;上侏罗统膏盐岩是盐下层系的区域性盖层,白垩系和新生界发育多套泥岩、泥灰岩盖层。

(3)盐下层系中的生储盖组合发育,圈闭以构造圈闭和构造-岩性圈闭为主,规模较大,具有形成大型油气藏的地质条件。西南吉萨尔隆起、卡菲尔尼甘隆起、奥比加尔姆隆起是盐下油气勘探的有利区带,可作为下一步勘探的重点。

参考文献

- [1] 安作相, 胡征钦. 中亚含油气区[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993: 309-326.
- [2] 贾承造, 杨树锋. 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: 39-49.
- [3] 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.
- [4] 陈汉林, 陈沈强, 林秀斌. 帕米尔弧形构造带新生代构造演化研究进展[J]. 地球科学进展, 2014, 29(8): 890-902.
- [5] 罗金海, 周新源, 邱斌, 等. 塔里木—卡拉库姆地区的油气地质特征与区域地质演化[J]. 地质论评, 2005, 51(4): 409-415.
- [6] 王素华, 钱祥麟. 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, 2001, 37(1): 523-528.
- [7] Brookfield M E, Hashmat A. The geology and petroleum potential of the North Afghan platform and adjacent area (northern Afghanistan, with parts of southern Turkmenistan, Uzbekistan and Tajikistan)[J]. Earth-Science Reviews, 2001, 55(1/2): 41-71.
- [8] Otto S C. Mesozoic-Cenozoic history of deformation and petroleum systems in sedimentary basins of Central Asia: Implications of collisions on the Eurasian margin[J]. Petroleum Geoscience, 1997, 3(6): 327-341.
- [9] 朱毅秀, 刘洛夫. 南塔吉克盆地油气地质特征[J]. 新疆石油地质, 2007, 28(2): 257-261.
- [10] 高波, 龙胜祥, 刘彬, 等. 中国西部与中亚前陆盆地油气地质特征类比分析[J]. 天然气地球科学, 2007, 18(2): 187-191.
- [11] 塔斯肯, 李江海, 李洪林, 等. 中亚与邻区盆地群构造演化及含油气性[J]. 现代地质, 2014, 28(3): 573-584.

编辑: 董庸

Petroleum Geology Characteristics and Exploration Potential in Afghan-Tajik Basin

Yin Jiquan, Jia Chengzao, Wang Chunsheng, Li Qiyan, Zhou Tianwei

Abstract: Afghan-Tajik Basin is located in the Tethys petroliferous belt in central Asia. The generally NNE-trending basin can be divided into seven tectonic units with the uplift/depression in-between style. The sedimentary cover is divided into post-salt and pre-salt structural formations by the Upper Jurassic salt rock as décollement structure in the basin. The post-salt formation is heavily deformed but the pre-salt formation remains gentle relief. Owing to the rifting and the depression during early Jurassic to late Oligocene as well as the collision during Miocene to Quaternary, several favorable source-reservoir-cap assemblages develop in longitudinal, in which there are three sets of main hydrocarbon source rock, including Middle and Lower Jurassic coal-bearing clastic rock, Cretaceous marine mudstone and carbonate rock, and Eocene mudstone. Middle and Upper Jurassic Carbonate rock, Paleocene biogenic limestone and Cretaceous and Paleogene sandstone play the roles of the good reservoir rocks. The Jurassic carbonate reservoirs are sealed by the overlying gypsum-salt rock and the Cretaceous and Paleogene reservoirs are sealed by the overlying marine clays and marls. Most of up-salt traps are the thrust-related anticlines that are long and narrow in small scale. The sub-salt traps are structure-related or reefs-related ones that may distribute in large scale, which are regarded as being favorable to forming large oil and gas reservoirs. Some pre-salt plays are proposed.

Key words: Afghan-Tajik Basin; Petroleum geology; Geologic character; Gypsum-salt rock; Hydrocarbon accumulation; Exploration potential

Yin Jiquan, Senior engineer. Add: Department of Central Asia & Russia E & P, RIPED, 20 Xueyuan Rd., Beijing, 100083, China