

中东-中亚地区重点盆地油气地质特征及资源评价

田纳新,殷进垠,陶崇智,孔凡军

(中国石化石油勘探开发研究院,北京 100083)

摘要:根据区域地质-盆地-含油气系统-成藏组合的研究思路,总结了不同类型盆地油气成藏特征和富集规律,评价重点盆地资源潜力。研究认为,中东-中亚地区经历了地体群南离北聚的板块构造演化过程,发育了克拉通盆地、裂谷盆地、被动大陆边缘盆地和前陆盆地等4类主要的原型盆地。平面上,油气主要分布于阿拉伯板块西北部中生代古被动大陆边缘和东欧地台东南缘等稳定构造区的边缘,以及扎格罗斯褶皱带和斯基夫-图兰构造带等活动构造区相对稳定的构造带;层系上,主要分布在石炭系、二叠系、侏罗系、白垩系和新近系;发育碳酸盐岩和碎屑岩两大类储集层,以前者为主,已发现储量占80.45%。在地质综合评价基础上,以成藏组合为评价单元,完成了8个重点盆地71个成藏组合待发现资源量的定量计算评价,优选了I、II类有利成藏组合。

关键词:成藏组合;油气盆地;油气地质;资源评价;中东-中亚

中图分类号:TE122.3

文献标识码:A

Petroleum geology and resources assessment of major basins in Middle East and Central Asia

Tian Naxin, Yin Jinyin, Tao Chongzhi, Kong Fanjun

(Petroleum Exploration & Production Research Institute, SINOPEC, Beijing 100083, China)

Abstract: Through the study of regional geology, basin geology, petroleum system, play, hydrocarbon accumulation characteristics was delineated in various type of basins, and resources potential in major basins were evaluated. The plates of the Middle East and Central Asia experienced a divergent tectonic evolution in the south and a convergent evolution in the north. Four prototype basins are recognized: Cratonic basin, rift basin, passive margin basin and foreland basin. On the plane view, oil and gas are distributed in the Mesozoic paleo-passive margin in the northwest of Arabian plate, the southeastern margin of Eastern Europe platform, and the relatively stable areas in tectonically active zones such as the Zagros fold belt and Skiff-Turan tectonic belt. Stratigraphically, petroleum reserves are largely confined to five reservoir intervals: Carboniferous, Permian, Jurassic, Cretaceous and Neogene. Carbonate and clastic rocks contain the bulk of the petroleum reserves, with the former accounting for 80.45%. Based on the integrated geological assessment, this paper evaluates resources potential of 71 plays in 8 major basins. By taking the “play” as the assessment unit, and then type I and II favorable accumulation areas are determined in the Middle East and Central Asia region.

Key words: play, oil and gas basin, petroleum geology, resource evaluation, Middle East and Central Asia

中东-中亚地处亚洲中西部,主要指阿拉伯半岛及其向北东至阿姆河、锡尔河流域一带,面积约 $9.6 \times 10^6 \text{ km}^2$ 。区内发育27个沉积盆地,其中19个已发现油气藏。截至2013年底,19个主要含油气盆地探明油气可采储量约1 871 462 MMboe(百万桶油当量),其中石油可采储量(含凝析油)1 149 536 MMbbl(百万桶),天然气可采储量4 331 Tcf(亿立方米)。中东-

中亚是世界油气资源最为富集的地区,也是我国利用海外油气资源的重要战略区。

前人对中东-中亚及邻区区域构造地质与沉积盆地形成做了大量的研究^[1-16],但对该区不同类型盆地油气富集规律和资源潜力定量评价的研究较少。本文通过区域地质-盆地-含油气系统-成藏组合的系统研究,深化不同类型盆地油气地质特征与富集规律研

收稿日期:2016-05-26;修订日期:2017-02-03。

第一作者简介:田纳新(1968—),男,博士、高级工程师,海外含油气盆地资源评价。E-mail:tiannx.syky@sinopec.com。

基金项目:国家科技重大专项(2016ZX05033-001)。

究,评价了重点盆地成藏组合的资源潜力,优选出有利目标区,为中国油公司在该区开展油气勘探开发工作提供依据。

1 中东-中亚区域地质概况

中东-中亚地区主要由处于北方的东欧克拉通、西伯利亚克拉通与南方的阿拉伯克拉通、印度克拉通以及夹持于其间的褶皱带所组成。

该区的构造演化与盆地形成受控于古亚洲洋(乌拉尔洋)和特提斯洋反复的“开”、“合”和“南离北聚”过程的结果^[1]。根据主要构造特征及演化特点,将中东-中亚地区主要构造划分为东欧地台南缘-哈萨克板块、斯基夫-图兰构造区、特提斯褶皱区和阿拉伯板块4个一级构造单元(图1)。

东欧地台南缘-哈萨克板块是早古生代晚期一晚古生代早期由西伯利亚古陆和波罗的(东欧)古陆核增生、联合形成的古大陆,包括东欧地台南缘、乌拉尔

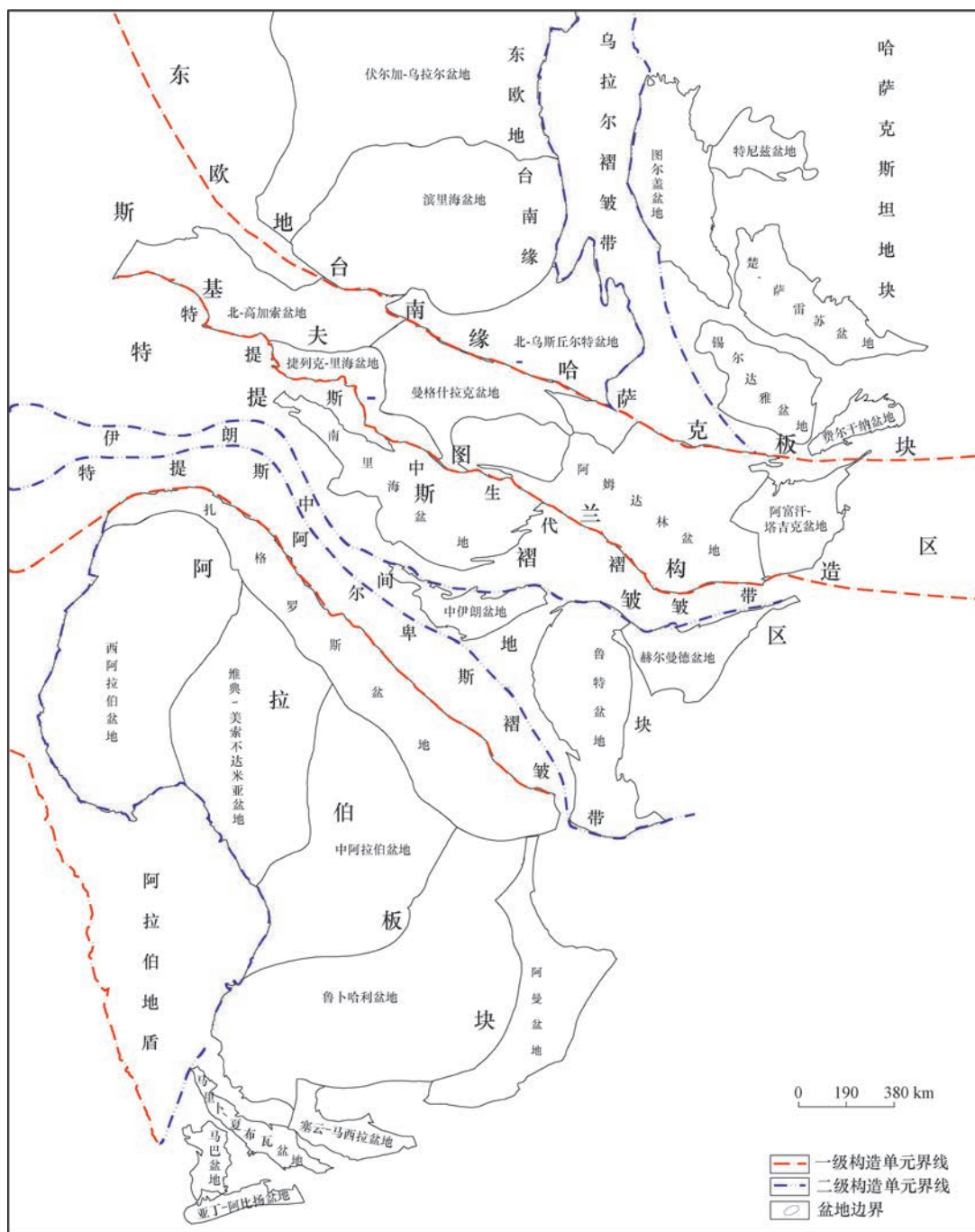


图1 中东-中亚构造分区

Fig. 1 Tectonic provinces in Middle East and Central Asia

褶皱带、哈萨克斯坦地块^[2-3]。

斯基夫-图兰构造区是在古特提斯活动大陆边缘基础上发展起来的年轻地台,由古特提斯向欧亚大陆俯冲过程中逐渐拼贴于欧亚大陆南缘的地块所组成,在二叠纪—三叠纪才成为欧亚大陆的增生块体^[4-6]。

特提斯褶皱区是通常所称的特提斯构造域的主体^[7-8],由北、南两个褶皱带和夹持于二者之间的一系列中间地块所组成。北带为特提斯中生代褶皱带,南带是新特提斯洋消减、中-新生代大陆(或大陆碎块)最终拼合的地带^[9-15]。

阿拉伯板块包括扎格罗斯盆地、阿拉伯盆地群和阿拉伯地盾。扎格罗斯盆地和阿拉伯盆地群在早寒武世时期为一克拉通边缘裂谷盆地,晚二叠世由于古特提斯洋的开启进入被动大陆边缘演化阶段,晚白垩世至古近纪由于特提斯洋的关闭而进入前陆盆地发展阶段^[16]。

根据主力烃源岩发育期和主要圈闭形成期盆地所处大地构造环境,将中东-中亚地区27个盆地划分为4种主要类型:克拉通盆地、裂谷盆地、被动大陆边缘盆地和前陆盆地(图1)。克拉通盆地主要形成于晚古生代,分布于东欧地台东南缘和哈萨克斯坦板块,包括滨里海盆地、伏尔加-乌拉尔盆地、锡尔达雅盆地、楚-萨雷苏盆地和特尼兹盆地;裂谷盆地分布于哈萨克板块西南缘和阿拉伯板块南缘,主要有北乌斯丘尔特盆地、阿姆达林盆地、曼格什拉克盆地、图尔盖盆地、塞云-马西拉盆地、马里卜-夏布瓦盆地、马巴盆地和亚丁-阿比扬盆地;被动陆缘盆地分布于阿拉伯板块东北缘,多为中生代被动陆缘,包括西阿拉伯盆地、维典-美索不达米亚盆地、中阿拉伯盆地、鲁卜哈利盆地和阿曼盆地;前陆盆地多形成于新生代,主要分布于特提斯褶皱带,包括费尔干纳盆地、阿富汗-塔吉克盆地、北高加索盆地、捷列克-里海盆地、南里海盆地、中伊朗盆地、鲁特盆地、赫尔曼德盆地和扎格罗斯盆地。

2 中东-中亚地区油气地质特征

2.1 烃源岩

发育古生界—新生界多套以海相为主的烃源岩(表1),主要形成于古生代克拉通和中生代被动陆缘、裂谷-裂后拗陷层系。

1) 古生界烃源岩

中东地区主要为志留系兰多维列统烃源岩,广泛发育于波斯湾巨型盆地区,是在志留纪早期全球性海侵造成的缺氧环境下沉积的一套富含笔石等生物化石

的浅海陆棚相黑色页岩,又称热页岩。在波斯湾盆地的大多数地区已经入生气阶段。

中亚地区以上泥盆统一石炭系烃源岩为主,主要分布于滨里海盆地和楚-萨雷苏盆地。滨里海盆地属东欧板块板内裂谷-裂后拗陷阶段沉积的浅海相泥岩和泥灰岩,在盆地边缘尚处于生油阶段,盆地中央拗陷区进入湿气-干气阶段;楚-萨雷苏盆地为哈萨克斯坦陆地板内沉积的浅海-海陆交互相泥岩。

2) 中生界烃源岩

中生界烃源岩广泛发育。三叠系烃源岩主要分布于中亚曼格什拉克盆地,为一套裂谷期形成的潟湖-海相碳酸盐岩、泥岩。侏罗系烃源岩分布最广,中亚地区主要为裂谷-裂后拗陷形成的陆相-三角洲-海相的泥页岩,是重要的气源岩。中东地区主要形成于中-晚侏罗世被动大陆边缘拗陷阶段,为浅海-深水盆地相泥岩、页岩和灰质泥岩,处于生油阶段。白垩系烃源岩主要分布于中东阿拉伯盆地群被动大陆边缘拗陷阶段形成的浅海陆棚相页岩和碳酸盐岩,处于生油阶段。

3) 新生界烃源岩

主要分布在扎格罗斯、费尔干纳、南里海和阿富汗-塔吉克4个新生代前陆盆地中。其中南里海盆地中新统烃源岩、阿富汗-塔吉克盆地始新统烃源岩是盆地内的重要烃源岩,主要处于生油阶段。

2.2 储集层

除也门马里卜-夏布瓦盆地和塞云-马西拉盆地局部发育基岩裂缝储集层外,中东-中亚地区主要发育古生界、中生界和新生界3大套(表2),碳酸盐岩和碎屑岩两大类储层,以碳酸盐岩为主(已发现储量占80.45%)。碳酸盐岩主要形成于中亚晚古生代克拉通期、中生代侏罗纪裂谷期海相生物礁(阿姆达林盆地)和中东晚二叠世—晚白垩世被动陆缘期,碎屑岩主要形成于中东古生代克拉通期和中亚中-新生代裂谷期。

据IHS^[18]已发现的油气储量统计(储量数据来源相同),中亚地区从古生界至第四系都有油气发现,古生界以碳酸盐岩为主,储量占比98.93%;中生界发育碳酸盐岩和碎屑岩,储量占比分别为69.56%和30.43%;新生界主要为碎屑岩,储量占比92.53%(表3)。

中东地区油气储量主要分布于碳酸盐岩储层中,碎屑岩储层所占储量较少。古生界、中生界和新生界已发现储量中,碳酸盐岩储量占比分别为90.19%,79.03%,85.70%。

表 1 中东 – 中亚重点含油气盆地烃源岩特征^[16-18]

Table 1 Source rock characteristics of major basins in Middle East and Central Asia^[16-18]

盆地	地层单元	岩性	厚度/m	有机质类型	TOC/%	R _o /%
滨里海	中泥盆统	泥质碳酸盐岩、硅质页岩	85 ~ 150	I – II 型	2.8	1.0 ~ 1.5
	上泥盆统一下石炭统	页岩、泥质碳酸盐岩	10 ~ 260, 平均 80	I 型或 II 型	南部 0.4 ~ 13.8/4.4, 北部、西北部 1.5 ~ 1.8	成熟 – 高成熟
	上石炭统	泥质碳酸盐岩、页岩	10 ~ 20	I 型或 II 型	南部 6.0 ~ 8.0, 东部 2.0 ~ 4.0, 北部、西北部很低	成熟 – 高成熟
阿姆达林	中 – 下侏罗统	含煤页岩、粉砂岩、泥岩	约 300	III 型	1.5	1.15 ~ 3.60
	上侏罗统	页岩	5 ~ 30	II 型	2.5 ~ 5.0	1.25 ~ 2.25
	下白垩统	页岩	10	III 型	1.5 ~ 3.0	0.50 ~ 0.85
北乌斯丘尔特	上三叠统一下侏罗统	页岩、泥灰岩、粉砂岩	—	III 型	0.2 ~ 1.1	
	中侏罗统	页岩、含煤页岩	—	III 型	0.3 ~ 6.5	0.30 ~ 3.10
扎格罗斯	志留系	泥岩	> 100	II 型	1.0 ~ 4.3/2.5	高成熟
	三叠系	页岩、碳酸盐岩、泥灰岩	500			0.75 ~ 1.30
	中侏罗统	泥岩	20 ~ 500, 平均 > 100	II 型	1.2 ~ 7.6/5.0	成熟 – 高成熟
	上侏罗统	泥岩、碳酸盐岩	30 ~ 300	II 或 III 型	3.0 ~ 9.0	成熟
	白垩系	泥岩、页岩	平均 > 300	I 或 II 型, I 型	1.5 ~ 11.0	成熟
	始新统一渐新统	碳酸盐岩	平均 320	II 型	1.0 ~ 12.0/5.0	成熟
西阿拉伯	志留系	泥岩	—	II 型	1.5 ~ 6.0/4.0	高 – 过成熟
	三叠系	碳酸盐岩	—	I 型	4.0	成熟
	白垩系	碳酸盐岩	—	II 型	3.0 ~ 14.3	成熟
马里卜 – 夏布瓦	白垩系	泥岩	50 ~ 1700	I 型或 II 型	0.1 ~ 7.0/2.1	0.54
	侏罗系	泥岩	10 ~ 150	II 型	0.4 ~ 19.5/1.7	0.60
鲁卜哈利 (古生界)	志留系	泥岩	2.44 ~ 37.10	II 型	1.6 ~ 8.6/2.2	0.70 ~ 2.47
塞云 – 马西拉	侏罗系	泥岩	—	I 型或 II 型	1.0 ~ 10.0	成熟

注: TOC 为有机碳含量, 最小值 ~ 最大值/平均值; R_o 为镜质体及射率。

2.3 盖层

中东 – 中亚地区发育下二叠统、上侏罗统、中新统、寒武系底部、三叠系、下侏罗统和始新统等 7 套区域性蒸发岩及泥岩盖层, 以前三者最为重要, 对油气纵向聚集层位分布有着重要的控制作用。下二叠统空谷阶盐岩在中亚地区滨里海盆地全盆分布, 是古生界最重要的区域性盖层。上侏罗统蒸发岩广泛发育于中东波斯湾巨型盆地和也门马里卜 – 夏布瓦盆地, 中亚地区阿姆达林盆地基莫里 – 提塘阶主要为硫酸盐岩层。中新统蒸发岩主要为扎格罗斯盆地加奇萨兰组局限海 – 蒸发盆地相硬石膏和盐岩层。

2.4 成藏模式与主控因素

中东 – 中亚地区主要发育克拉通盆地、被动大陆

边缘盆地、裂谷盆地和前陆盆地等 4 种主要类型的含油气盆地, 每类盆地有其独特的油气成藏模式与主控因素。

1) 克拉通盆地

以滨里海盆地为代表的发育有下伏裂谷层系的克拉通边缘盆地, 泥盆纪一早石炭世裂谷期形成了盆地主要的烃源岩, 早二叠世空谷期形成了全盆分布的蒸发岩, 将沉积地层划分为盐下和盐上两套体系。

盐下层系古隆起带以生物礁体和构造油气藏为主, 盐岩封盖, 礁 – 滩 – 溶控储, 油气以侧向短距离运移或沿断层垂向运移至石炭系碳酸盐岩储集层中^[19]。斜坡带以构造 – 岩性油气藏为主, 盐岩封盖, 礁体和岩溶储层控制油气富集, 油气呈阶梯式运聚成藏^[20] (图 2)。油气成藏主控因素包括: ①广泛发育的烃源岩及其晚期规模生烃是油气藏形成的物质基础; ②古

表2 中东-中亚重点含油气盆地储集层特征^[16-18]Table 2 Reservoir characteristics of major basins in Middle East and Central Asia^[16-18]

盆地	地层	岩性	净厚度/ft	平均孔隙度/ %	平均渗透率/ (10 ⁻³ μm ²)
滨里海	泥盆系	碎屑岩(盆地东部)	—	16.0	—
		碳酸盐岩	北部 89.0	9.5 ~ 10.0	11
	石炭系	碳酸盐岩	60.0 ~ 144.0	9.2 ~ 10.2	10 ~ 223
		碳酸盐岩	52.0 ~ 470.0	8.9 ~ 13.1	25 ~ 216
	上石炭统一下二叠统	碎屑岩	平均 40.2	8.0 ~ 32.0	0.2 ~ 972
	上二叠统一三叠系	碎屑岩	平均 30.8	6.0 ~ 50.0	0.6 ~ 7 340
	侏罗系—白垩系	碎屑岩	平均 21.3	18.0 ~ 41.0	24 ~ 187
阿姆达林	上白垩统	砂岩、碳酸盐岩	7.0 ~ 75.0	13.0 ~ 30.0	18 ~ 50
	下白垩统	砂岩、灰岩	7.0 ~ 262.0	13.0 ~ 24.0	12 ~ 814
	上侏罗统	碳酸盐岩	10.0 ~ 430.0	13.0 ~ 23.0	10 ~ 500
	中-下侏罗统	砂岩	13.0 ~ 92.0	13.0 ~ 23.0	40 ~ 320
北乌斯丘尔特	始新统	砂岩	8.0 ~ 35.0	26.0 ~ 32.0	240 ~ 762
	下白垩统	砂岩	5.0 ~ 21.0	23.0 ~ 29.0	40 ~ 365
	中侏罗统	砂岩	4.0 ~ 112.0	9.0 ~ 60.0	6 ~ 1 694
	下侏罗统	砂岩	—	20.0	115
	石炭系	碳酸盐岩、砂岩	—	14.0	90
扎格罗斯	始新统一中新统	碳酸盐岩	46.0 ~ 465.9	13.1 ~ 22.7	13.5 ~ 525
	古新统	碳酸盐岩	72.5	14.0	10
	上白垩统(西北部)	碳酸盐岩	116.2 ~ 141.8	12.9 ~ 14.7	1 ~ 25
	白垩系(东南部)	碳酸盐岩	506.3 ~ 768.7	8.0 ~ 9.1	—
	侏罗系(西北部)	碳酸盐岩	82.0	19.0	—
	三叠系	碳酸盐岩	58.5	10.7	20
	泥盆系	碎屑岩	120.0	12.0	—
西阿拉伯	三叠系	白云岩	60.7 ~ 249.3	9.9	10
	侏罗系(帕米莱德地堑)	白云岩	85.3	13.4	—
	白垩系	砂岩、碳酸盐岩、白云岩	148.4 ~ 202.7	13.0 ~ 25.9	35 ~ 75
	古近系	石灰岩	33.9	38.7	41
	中新统	碳酸盐岩	89.2	25.5	—
	三叠系	砂岩	282.7	11.5	1 000
	中新统	石灰岩	16.0	30.0	—
	奥陶系	砂岩	42.5	8.0	5
	石炭系	砂岩	66.0	10.0	1 000
	二叠系	砂岩	36.8	14.3	—
马里卜-夏布瓦	白垩系	碳酸盐岩	16.0 ~ 33.0	12.0	—
	侏罗系	碎屑岩	16.0 ~ 328.0	19.8	498
	侏罗系	碳酸盐岩、碎屑岩	16.0 ~ 66.0	9.0	30
	基底	火成岩	157.0 ~ 325.0	1.0	—
鲁卜哈利	二叠系	碳酸盐岩、碎屑岩	200.0	6.0	0.2
	奥陶系	碎屑岩	—	6.0 ~ 7.0	—
塞云-马西拉	白垩系	碳酸盐岩、碎屑岩	7.5 ~ 531.0	19.1	1 270
	侏罗系	碳酸盐岩、碎屑岩	13.0 ~ 33.0	12.5	800
	基底	火成岩	—	—	—

注:ft 为英尺,1ft=0.304 8 m。

表 3 中东 - 中亚不同层系两类储层已发现油气可采储量统计

Table 3 Distribution of discovered recoverable reserves from carbonate and clastic reservoirs in Middle East and Central Asia

地区	层系	碳酸盐岩		碎屑岩		其他		合计储量/ MMboe
		储量/MMboe	占比/%	储量/MMboe	占比/%	储量/MMboe	占比/%	
中亚	新生界	3 956	7.36	49 737	92.53	58	0.11	53 751
	中生界	108 963	69.56	47 657	30.43	16	0.01	156 636
	古生界	61 831	98.93	629	1.01	41	0.07	62 501
中东	新生界	171 974	85.70	28 688	14.30	0	0	200 662
	中生界	765 765	79.03	203 166	20.97	9	0	968 940
	古生界	386 906	90.19	41 934	9.78	133	0.03	428 973
合计		1 499 395	80.12	371 811	19.87	257	0.01	1 871 462

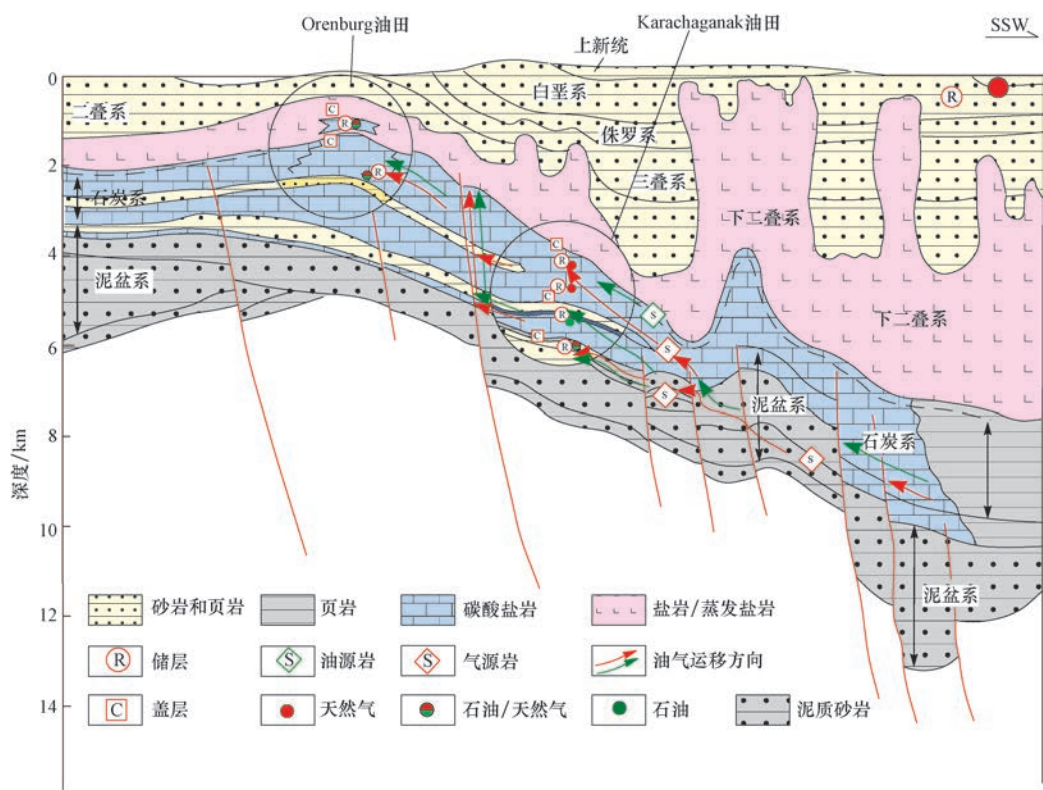


图 2 滨里海盆地北部 - 西北部断阶带成藏模式

Fig. 2 Hydrocarbon accumulation model in the north and north-west step-fault zone of the Pre-Caspian Basin

隆起和斜坡带大面积发育的礁滩体为油气聚集提供了有效储集空间, 巴什基尔期风化淋滤作用形成的风化壳大大改善了储层物性; ③有效盖层的分布是控制盐下油气成藏的重要因素。

盐上层系油气来源于盐下, 因此, 高效盐窗和盐边/断裂等运移通道是盐上油气运聚成藏的关键, 盐构造活动期与盐下烃源岩排烃高峰期相匹配是油气成藏的必要条件。

2) 被动陆缘盆地

主要指中东地区东北部发育的维典 - 美索不达米亚、中阿拉伯和鲁卜哈利等中生代沉积盆地, 为中生代

古被动陆缘盆地(现今已不面向大海)。盆地构造环境相对稳定, 可形成大型穹窿背斜或基底披覆构造, 有利于大型油气藏的形成。

除下志留统发育海相热页岩外, 中侏罗统一下白垩统持续发育被动陆缘背景形成的海相烃源岩和台缘区大型碳酸盐岩礁滩相优质储层。烃源岩灶展布、大型构造和大规模有利储集体控制了油气的分布。油气以短距离侧向运移成藏为主, 烃源岩灶及其周缘的大型古隆起构造带为有利成藏区。

3) 裂谷盆地

广泛发育于中亚地区古特提斯域北缘, 如北乌斯

丘尔特、曼格什拉克、阿姆达林、图尔盖盆地,以及中东地区阿拉伯板块南缘,如马里卜-夏布瓦、塞云-马西拉和马巴盆地等。

此类盆地多经历了断陷-拗陷沉积演化,发育蒸发岩盖层,油气成藏具有“断-坳叠置、多源多灶、盐岩封盖、晚期成藏”的特点^[21-22]。大型断裂带附近、高隆起和拗陷内的低凸起,以及斜坡带等是油气成藏的有利部位(图3)。

4) 前陆盆地

以扎格斯盆地、南里海盆地和费尔干纳盆地等为代表的前陆盆地,具有前前陆和前陆沉积双层结构。前前陆盆地演化阶段的被动陆缘盆地或弧后裂谷,一般为古生代或中生代沉积的海相泥、页岩和碳酸盐岩,

构成前陆盆地主力烃源岩。前陆盆地的油气分布与富集受控于烃源岩灶、盖层和油气运移方式。

如扎格斯盆地,油气以近源垂向运移为主。平面上,油气主要富集于烃源岩及其周缘地区,层系上高度富集于区域盖层之下的储集层(图4)。由于构造活动强烈,有效的盖层是保证褶皱带内构造圈闭油气得以保存的关键。

2.5 油气分布特点

平面上,中东-中亚地区的油气分布非常不均。阿拉伯板块西北部中生代古被动大陆边缘和东欧地台东南缘等稳定构造区的边缘,以及扎格斯褶皱带和斯基夫-图兰构造带等活动构造区相对稳定的构造带

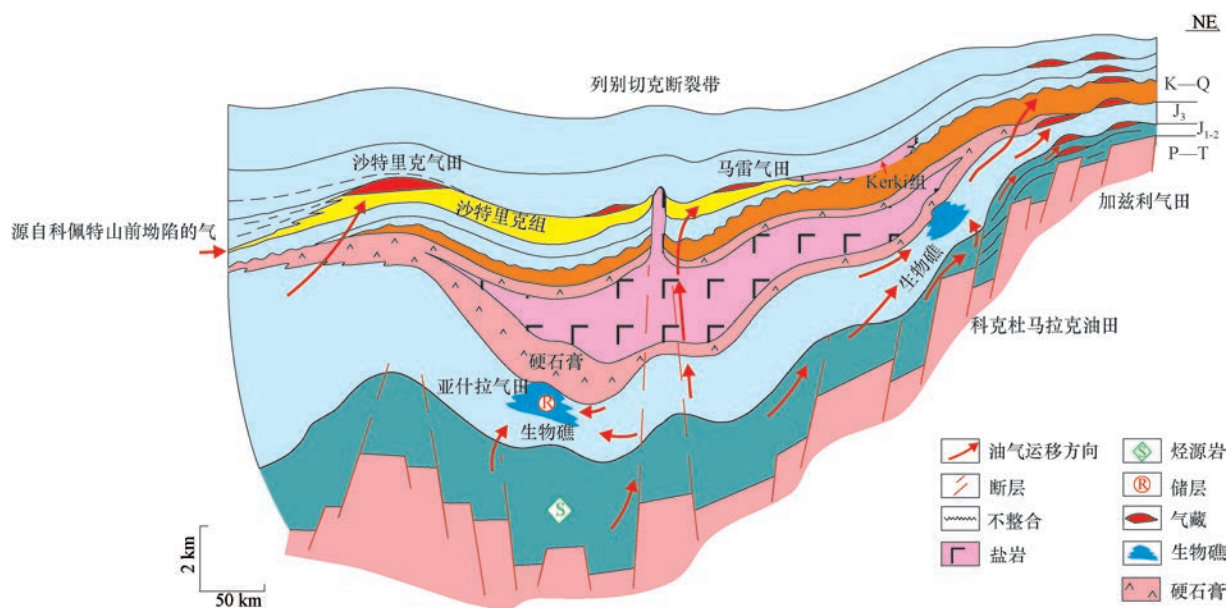


图3 阿姆达林盆地油气成藏模式

Fig. 3 Hydrocarbon accumulation model of the Amu Darya Basin

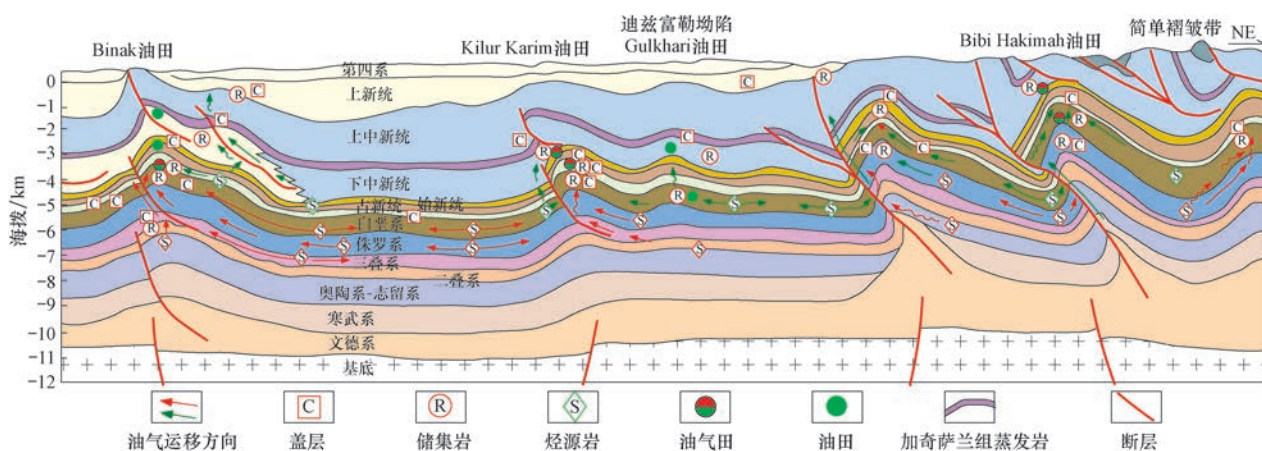


图4 扎格斯盆地油气成藏模式

Fig. 4 Hydrocarbon accumulation model of the Zagros Basin

油气较富集。对不同类型盆地已发现油气储量的统计表明,被动陆缘盆地最多,为 1 290 754 MMboe,占比 68.97%;前陆盆地次之,为 367 845 MMboe,占比 19.66%;裂谷和克拉通盆地储量分别为 147 494 MMboe 和 65 368 MMboe,占比分别为 7.88% 和 3.49%。其中,中阿拉伯盆地、扎格罗斯盆地、鲁卜哈利盆地、阿姆达林盆地和滨里海盆地等 5 个盆地油气最富集,已发现储量分别占中东中亚地区已发现油气 2P 可采储量的 55.5%,16.25%,10.23%,6.67%和 3.48%。

纵向上,寒武系—第四系均有分布,以白垩系、侏罗系、二叠系、新近系和石炭系为主(表 4)。寒武系至下古生界发现油气储量非常少,占比均小于 1%;白垩系、侏罗系和二叠系是油气储量最富集的 3 个层系,分别占中东中亚油气总储量的 36.69%,23.13% 和 22.29%。其中,侏罗系和白垩系以石油为主,二叠系以天然气为主。

3 重点盆地油气资源评价

3.1 资源评价

本文参考美国地质调查局(USGS)的油气资源评

价方法^[23-24],以成藏组合为评价单元,在对重点盆地成藏规律研究的基础上,通过统计评价单元内已发现油气藏的数量和规模,确定评价对象的待发现资源评价参数,最后运用蒙特卡罗模拟估算待发现油气资源量。本次评价选取中东-中亚具有代表性的 8 个重点含油气盆地,包括中亚的滨里海盆地、北乌斯丘尔特盆地、阿姆达林盆地,中东的扎格罗斯盆地、鲁卜哈利盆地、西阿拉伯盆地、塞云-马西拉盆地、马里卜-夏布瓦盆地,并划分出 71 个成藏组合作为评价单元。评价油气藏数据来源于中国石化海外油气数据库和 IHS 数据库资料,油气资源评价流程请参阅相关文献^[25-27]。

评价结果表明,中东-中亚地区 8 个盆地的待发现油气总资源量为 154 377 MMboe,其中石油为 48 104 MMbbl,天然气为 567 503 Bcf,凝析油为 11 690 MMbbl,尚有巨大的油气资源勘探潜力(表 5)。

3.2 勘探领域

为进一步优选有利的成藏组合,明确油气勘探方向,引入成藏组合资源丰度概念,即成藏组合的待发现油气资源量与其分布面积比值,将待发现油气资源丰度大于 1 000 MMboe/(10⁴km²)的评价为 I 类勘探目

表 4 中东-中亚已发现油气可采储量层系分布
Table 4 Distribution of discovered recoverable reserves in different reservoir layers in Middle East and Central Asia

层系	已发现油气可采储量			储量占比/%
	石油/MMbbl	天然气/MMboe	油气当量/MMboe	
第四系	537	191	728	0.04
新近系	182 457	62 902	245 358	13.11
古近系	5 647	2 679	8 326	0.44
白垩系	560 426	126 131	686 569	36.69
侏罗系	290 937	141 833	432 770	23.12
三叠系	919	5 329	6 248	0.33
二叠系	75 012	342 075	417 087	22.29
石炭系	30 259	30 648	60 907	3.25
泥盆系	110	341	451	0.02
志留系	36	175	212	0.01
奥陶系	1 858	7 911	9 769	0.52
寒武系	1 350	1 697	3 048	0.16

表 5 中东-中亚重点盆地待发现油气资源量计算结果
Table 5 Undiscovered resources for the major basins in Middle East and Central Asia

盆地	石油/MMbbl	天然气/Bcf	凝析油/MMbbl	油当量/MMboe
阿姆达林盆地	367	140 758	458	24 284
北乌斯丘尔特盆地	1 200	5 424	18	2 122
滨里海盆地	7 563	46 346	2 069	17 357
西阿拉伯盆地	3 003	12 167	179	5 210
扎格罗斯盆地	32 725	328 902	7 595	95 138
鲁卜哈利盆地	1 947	32 454	1 357	8 713
马里卜-夏布瓦盆地	584	1 287	14	812
塞云-马西拉盆地	715	165	0	743

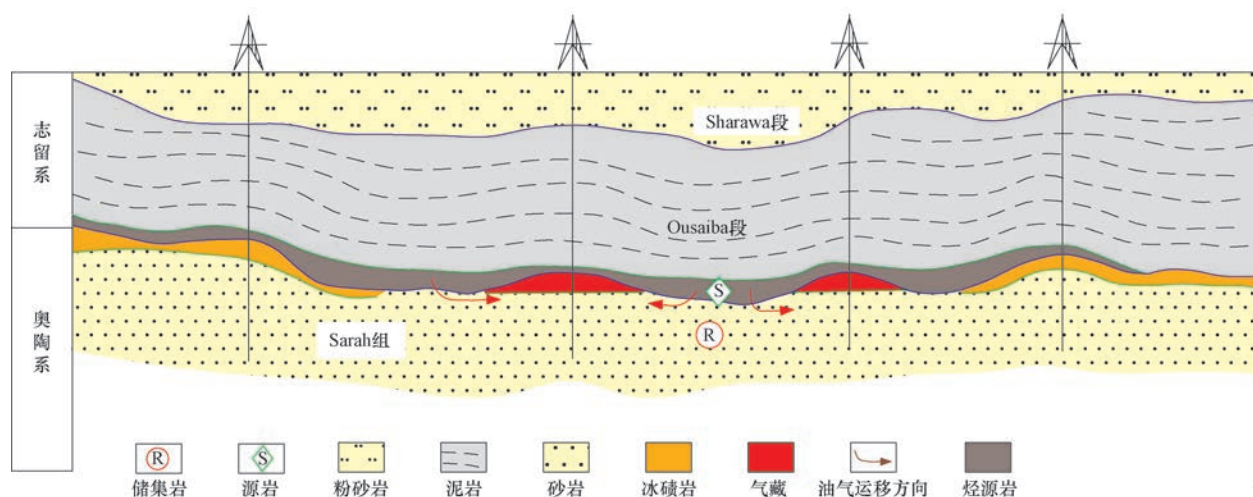


图5 鲁卜哈利盆地地下古生界上生下储近距离运聚成藏模式

Fig. 5 Hydrocarbon accumulation model with short migration distance in the Lower Paleozoic in the Rub' al Khali Basin

标区,待发现油气资源丰度大于 $300 \text{ MMboe}/(10^4 \text{ km}^2)$ 的评价II类勘探目标区。

I类勘探目标区主要有2个盆地5个领域,分别为扎格罗斯盆地坳陷区内的侏罗系、白垩系、新生界及法尔斯隆起二叠系/三叠系 Deh Ram 群以及阿姆达林盆地木尔加布坳陷的侏罗系。近几年,这5个领域都表现出了良好的油气勘探趋势,发现了很多大油气田,油气勘探风险较小、油气资源潜力大,是未来油气勘探重点关注的目标。2004年阿姆达林盆地木尔加布坳陷侏罗系发现了储量约 $400 \times 10^{12} \text{ ft}^3$ 的 Galkynysh 气田,储量规模位居全球已发现油气田第四位,是21世纪目前最大的油气发现。

II类勘探目标区包括滨里海盆地南部隆起带盐下维宪阶-巴什基尔阶,北乌斯丘尔特盆地西部北布扎奇中侏罗统,西阿拉伯盆地辛加地堑古近系 Chilou 组,马里卜-夏布瓦盆地侏罗系和塞云-马西拉盆地白垩系等5个成藏组合。滨里海盆地南部隆起带盐下维宪阶-巴什基尔阶埋藏深度大,钻井等勘探工作量少,属低勘探程度目标区,油气勘探潜力大,其他4个成藏组合属于“小而肥”的勘探目标区,有着较好的油气勘探前景。

此外,阿拉伯板块广泛发育志留系兰多维列统烃源岩与其上下砂岩层构成的成藏组合(图5),可形成上生下储和下生上储运聚成藏模式,目前发现油气储量很少,近几年虽有天然气藏发现,其商业可开发性有待进一步评价。

4 结论

1) 中东-中亚地区经历了地体群南离北聚的板

块构造演化过程,发育了克拉通坳陷、裂谷、被动大陆边缘和前陆等4类主要的原型盆地。

2) 油气主要分布于“两缘两带”:即阿拉伯板块东北部中生代古被动大陆边缘、东欧地台东南缘、扎格罗斯褶皱带和斯基夫-图兰构造带。层系上,主要分布在石炭系、二叠系、侏罗系、白垩系和新近系,以碳酸盐岩为主。

3) 通过待发现资源量定量计算评价,认为扎格罗斯盆地坳陷区内的侏罗系、白垩系、新生界及法尔斯隆起二叠系/三叠系 Deh Ram 群,阿姆达林盆地木尔加布坳陷的侏罗系为I类有利成藏组合;滨里海盆地南部隆起带盐下维宪阶-巴什基尔阶,北乌斯丘尔特盆地西部北布扎奇中侏罗统,西阿拉伯盆地辛加地堑古近系 Chilou 组,马里卜-夏布瓦盆地侏罗系和塞云-马西拉盆地白垩系等为II类有利成藏组合。

参考文献

- [1] 金之钧,殷进根. 亚洲石油地质特征与油气分布规律[M]. 北京:中国石化出版社,2007,8-12.
Jin Zhijun, Yin Jinyin. Petroleum geology feature and hydrocarbon distribution in Asia[M]. Beijing: Sinopec Press, 2007, 8-12.
- [2] Korobkin V V, Buslov M M. Tectonics and geodynamics of the western central Asian belt (Kazakhstan Paleozooids) [J]. Russian Geology and Geophysics, 2011, 52(12): 1600-1618.
- [3] 朱伟林,李江海,崔早云,等. 全球构造演化与含油气盆地. [M]. 北京:科学出版社,2014:31-39.
Zhu Weilin, Li Jianghai, Cui Hanyun, et al. Global tectonic evolution and petroliferous basins [M]. Beijing: Science Press, 2014: 31-39.
- [4] 李春昱,王荃. 我国北部边陲及邻区的古板块构造与欧亚大陆的形成[C]//唐克东. 中国北方板块构造文集(第一集). 1983:3-16.
Li Chunyu, Wang Quan. Paleo plate tectonics and formation of ancient Eurasia for the north border of China and its adjacent areas

- [C]//Tang Kedong. Symposium of northern plate tectonics of China (The first). 1983;3-16.
- [5] 安作相. 中亚含油气区[M]. 北京:石油工业出版社,1991:1-24.
An Zuoxiang. The Central Asia petroliferous region[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1991:1-24.
- [6] 游国庆,王志欣,郑宁,等. 中亚及邻区沉积盆地形成演化与含油气远景[J]. 中国地质,2010,37(4):1175-1182.
You Guoqing, Wang Zhixin, Zheng Ning, et al. Formation, evolution and petroleum prospects of Central Asia and its adjacent regions[J]. Geology in China, 2010, 37(4):1175-1182.
- [7] 甘克文. 特提斯域的演化和油气分布[J]. 海相油气地质,2000,5(3):21-29.
Gan Kewen. Tectonic evolution and hydrocarbon distribution of the Tethyan tectonic domain[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2000, 5(3):21-29.
- [8] 叶和飞,罗建宁,李永铁,等. 特提斯构造域与油气勘探[J]. 沉积与特提斯地质,1999,20(1):1-27.
Ye Hefei, Luo Jianing, Li Yongtie, et al. Tethyan tectonic domain and petroleum exploration[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 1999, 20(1):1-27.
- [9] 丘东洲,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 Xiaoping, et al. Geological characteristic of lithofacies paleogeography and hydrocarbon accumulation in Asian Tethyan tectonic domain[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2009, 14(2):41-50.
- [10] 丘东洲. 亚洲特提斯域油气聚集地质特征[J]. 沉积与特提斯地质,2007,27(2):1-7.
Qiu Dongzhou. Geological characteristics of the hydrocarbon accumulation in the Tethyan tectonic domain[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2007, 27(2):1-7.
- [11] 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.
Jia Chengzao, Yang Shufeng, Chen Hanlin, et al. Tectonic geology and natural gas of north Tethys margin basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001.
- [12] Dunnington H V. Aspects of Middle East oil geology[C]. Geological Principles of World Oil Occurrences Proceedings. Alberta: Banff, 1974:89-156.
- [13] Natal'in B A, Sengör A C. Late Palaeozoic to Triassic evolution of the Turan and Scythian platforms: The pre-history of the Palaeo-Tethyan closure[J]. Tectonophysics, 2005, 404(3-4):175-202.
- [14] Lyberis N, Manby G. Oblique to orthogonal convergence across the Turan block in the post-miocene[J]. AAPG Bulletin, 1999, 83(7):1135-1160.
- [15] Haynes S J, Reynolds P H. Early development of Tethys and Jurassic ophiolite displacement[J]. Nature. 1980, 283(5747):561-563.
- [16] 朱伟林,白国平,李劲松,等. 中东含油气盆地. [M]. 北京:科学出版社,2014:15-31.
Zhu Weilin, Bai Guoping, Li Jinsong, et al. Petroliferous basins in the Middle East[M]. Beijing: Science Press, 2014:15-31.
- [17] 刘洛夫,朱毅秀. 滨里海盆地及中亚地区油气地质特征[M]. 北京:中国石化出版社,2007:83-212.
Liu Luofu, Zhu Yixiu. Petroleum geology in the Precaspian Basin and Central Asia[M]. Beijing: China Petrochemical Press, 2007:83-212.
- [18] IHS Energy Group. International petroleum exploration and production database [DB]. IHS Energy Group, 15 Inverness Way East, Englewood, Colorado, U. S. A. 2014.
- [19] 田纳新,闫绍彬,惠冠洲. 滨里海盆地南部隆起带盐下层系油气成藏主控因素[J]. 新疆石油地质,2015,36(1):116-120.
Tian Naxin, Yan Shaobin, Hui Guanzhou. Controlling factors of petroleum accumulation in pre-salt strata in south uplift of Pre-Caspian Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2015, 36(1):116-120.
- [20] 吴婧,田纳新,石磊. 滨里海盆地北部-西北部盐下油气成藏主控因素[J]. 武汉理工大学学报,2015,37(1):109-115.
Wu Jing, Tian Naxin, Shi Lei. The major controlling factors of sub-salt petroleum accumulation in north-northwest margin of Pre-Caspian Basin[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2015, 37(1):109-115.
- [21] 张长宝,罗东坤,魏春光. 中亚阿姆河盆地天然气成藏控制因素[J]. 石油与天然气地质,2015,36(5):766-773.
Zhang Changbao, Luo Dongkun, Wei Chunguang. Controlling factors of natural gas accumulation in the Amu Daya Basin, Central Asia[J]. Oil & Gas Geology, 2015, 36(5):766-773.
- [22] 余一欣,殷进垠,郑俊章,等. 中亚北乌斯丘尔特盆地油气富集规律与勘探潜力[J]. 石油与天然气地质,2016,37(3):381-386.
Yu Yixin, Yin Jinyin, Zheng Junzhang, et al. Hydrocarbon accumulation rules and exploration potential in the North Ustyurt Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2016, 37(3):381-386.
- [23] Schmoker J W, Klett T R. U. S. Geological Survey assessment model for undiscovered conventional oil, gas, and NGL resources: The seventh approximation [CD] // U. S. Geological Survey World Petroleum Assessment Team, eds. U. S. Geological Survey World Petroleum Assessment 2000: Geological Survey Digital Data Series DDS-60, 4 CD-ROMs, 2000.
- [24] Charpentier R R, Klett T R. Monte Carlo simulation model [CD] // U. S. Geological Survey Assessment Methodology Team, eds. U. S. Geological Survey World Petroleum Assessment 2000: U. S. Geological Survey Digital Data Series DDS-60, 4 CD-ROMs, 2000.
- [25] 张鹏,张金川,刘鸿,等. 东濮凹陷北部沙三中亚段页岩油成藏地质条件与有利区优选[J]. 山东科技大学学报(自然科学版), 2016, 35(3):1-7.
Zhang Peng, Zhang Jinchuan, Liu Hong, et al. Geological conditions for accumulation and favorable area selection of shale oil in mid-submember of Es³ Formation, Northern Dongpu Depression[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology (Natural Science), 2016, 35(3):1-7.
- [26] 余一欣,殷进垠,郑俊章,等. 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,2015,42(6):750-756.
Yu Yixin, Yin Jinyin, Zheng Junzhang, et al. Division and resources evaluation of hydrocarbon plays in the Amu Darya Basin, Central Asia[J]. Petroleum Exploration and Development, 2015, 42(6):750-756.
- [27] 王大鹏,白国平,陆红梅,等. 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,2016,30(2):361-372.
Wang Dapeng, Bai Guoping, Lu Hongmei, et al. Analysis of petroleum systems and resources evaluation in the Zagros Foreland Basin[J]. Geoscience, 2016, 30(2):361-372.