

DOI 10.3969/j.issn.2095-4107.2020.06.005

北乌斯丘尔特盆地成藏组合分析与 油气资源潜力评价

孙丰楠^{1,2,3}, 张凯逊^{2,3}, 韩淑琴^{2,3}, 韩凤彬^{2,3}, 颜春凤⁴

(1. 中国石油大学(北京) 地球科学学院, 北京 102249; 2. 中国地质科学院 地质力学研究所, 北京 100081; 3. 自然资源部古地磁与古构造重建重点实验室, 北京 100081; 4. 北京油源恒业科技有限公司, 北京 102299)

摘要: 北乌斯丘尔特盆地是中亚地区油气资源丰富的盆地之一。根据北乌斯丘尔特盆地最新的数据资料, 应用含油气系统综合分析方法, 将盆地划分为 8 个成藏组合; 以成藏组合为评价单元, 利用统计法和类比法求取评价参数, 采取蒙特卡洛法模拟计算盆地未来 30 年油气待发现可采资源量潜力。结果表明: 北乌斯丘尔特盆地待发现石油、天然气和凝析油的可采资源量(均值)分别为 13.1474×10^7 t、 1.5472×10^{11} m³、 239.1×10^4 t, 合计 2.5812×10^8 t 油当量。最具潜力的含油气系统是滨里海—侏罗系含油气系统和中侏罗统—渐新统含油气系统; 区域上, 油气主要分布于北布扎奇隆起、库尔图克凹陷、切尔卡尔凹陷和苏多奇凹陷, 表现为“西油东气”; 层系上, 油气主要富集于中侏罗统和下白垩统。最有潜力的成藏组合为西部布扎奇侏罗系、西部布扎奇下白垩统和北乌斯丘尔特中侏罗统成藏组合。

关键词: 北乌斯丘尔特盆地; 成藏组合; 含油气系统; 油气分布规律; 资源评价; 蒙特卡洛模拟

中图分类号: TE122.1 文献标识码: A 文章编号: 2095-4107(2020)06-0043-10

0 引言

北乌斯丘尔特盆地位于中亚地区西部, 面积约为 26.3×10^4 km², 大部分位于哈萨克斯坦和乌兹别克斯坦境内, 一小部分延伸至土库曼斯坦境内^[1-2]。20世纪末以来, 中国石油公司陆续在中亚地区的一些中低勘探程度盆地开展研究并取得重大突破, 其中包括北乌斯丘尔特盆地^[3-4]。随中国在中亚地区油气输送管线的建成及“一带一路”油气战略的提出, 北乌斯丘尔特盆地成为中国石油公司中亚地区的重要战略选区目标之一^[5-6]。

尽管已有的中亚地区含油气盆地的专著(如朱伟林等^[1]、何登发等^[2])和 IHS^① 商业数据包较系统地论及北乌斯丘尔特盆地的基础地质特征和油气地质特征, 但对盆地的待发现油气资源潜力未有涉及。2010年, 美国地质调查局(USGS)再次评估北乌斯丘尔特盆地的油气资源潜力^[7], 将该盆地分为三个单元进行资源评价, 因评价单元的划分偏粗, 因此资源潜力的层系分布不具体。侯平等^[8]将北乌斯丘尔特盆地划分为 5 个成藏组合, 以发现过程法和类比法评估油气资源潜力, 发表的评价结果仅是全盆地的汇总结果, 而对具体成藏组合的资源潜力未有提及。余一欣等^[9-10]以成藏组合为单元评估北乌斯丘尔特盆地的资源潜力, 未论及评价参数选取的依据, 且对含油气系统的表征有待进一步深化。其他已有的研究或聚焦于中亚大区的区域地质特征和油气地质特征^[11-15]、或聚焦于北乌斯丘尔特盆地油气地质特征的某个具体方面^[16-19]。

考虑到公开文献中未见将盆地、含油气系统、成藏组合和资源评价集成为一体的系统研究, 且近年来

收稿日期: 2020-04-05; 编辑: 任志平

基金项目: 国家自然科学基金项目(91755104); 国家科技重大专项(2017X0500-5001-006); 中国地质调查局地质调查项目(DD20160113); 中国地质科学院地质力学研究所基本科研业务费(DZLXJK201902); 中国地质科学院地质力学研究所基本科研业务费(DZLXJK201707)

作者简介: 孙丰楠(1993-), 女, 硕士, 主要从事含油气盆地分析和资源评价方面的研究。

通信作者: 张凯逊, E-mail: zhangkaixun@126.com

① IHS Energy. North Ustyurt Basin[DB/OL]. Basin Monitor, 2019. Database available from IHS Energy Group, 15 Inverness Way East, Englewood, Colorado, 80112, USA.

油气藏数据资料有了更新、资源评价方法得到改进,因此有必要再次评估北乌斯丘尔特盆地的油气资源潜力。在盆地地质特征综合分析的基础上,精细刻画含油气系统和成藏组合,采用地质分析—统计模型资源潜力评价方法评估盆地待发现资源量,明确重点潜力区,为中国石油公司在中亚地区的油气战略选区提供参考依据。

1 地质背景

1.1 盆地构造

北乌斯丘尔特盆地发育在海西期拼贴和褶皱形成的非均质基底之上,主体部分的基底是贝加尔期褶皱系的北乌斯丘尔特地块。北乌斯丘尔特盆地位于咸海和里海之间,主体在哈萨克斯坦和乌兹别克斯坦境内,是一个呈 NW—SE 向延伸的三角形坳陷区域^[1-2]。盆地西北部狭窄,向里海海域延伸;东南部较宽,几乎包含整个咸海的水域。盆地西北侧为滨里海盆地,以乌斯丘尔特断层为界;盆地南部以北西西向的中曼格什拉克—乌斯丘尔特隆起带为界;盆地的西边界为阿格拉汉—阿特劳断裂;盆地东北部夹在乌拉尔褶皱带最南端的两个分支之间(见图 1)。北乌斯丘尔特盆地是在古劳亚大陆背景下形成的中生代盆地,按照 Bally & Snelson 分类方案属于克拉通盆地,按照 Klemme 分类方案属于大陆内部复合型盆地^[19-20]。

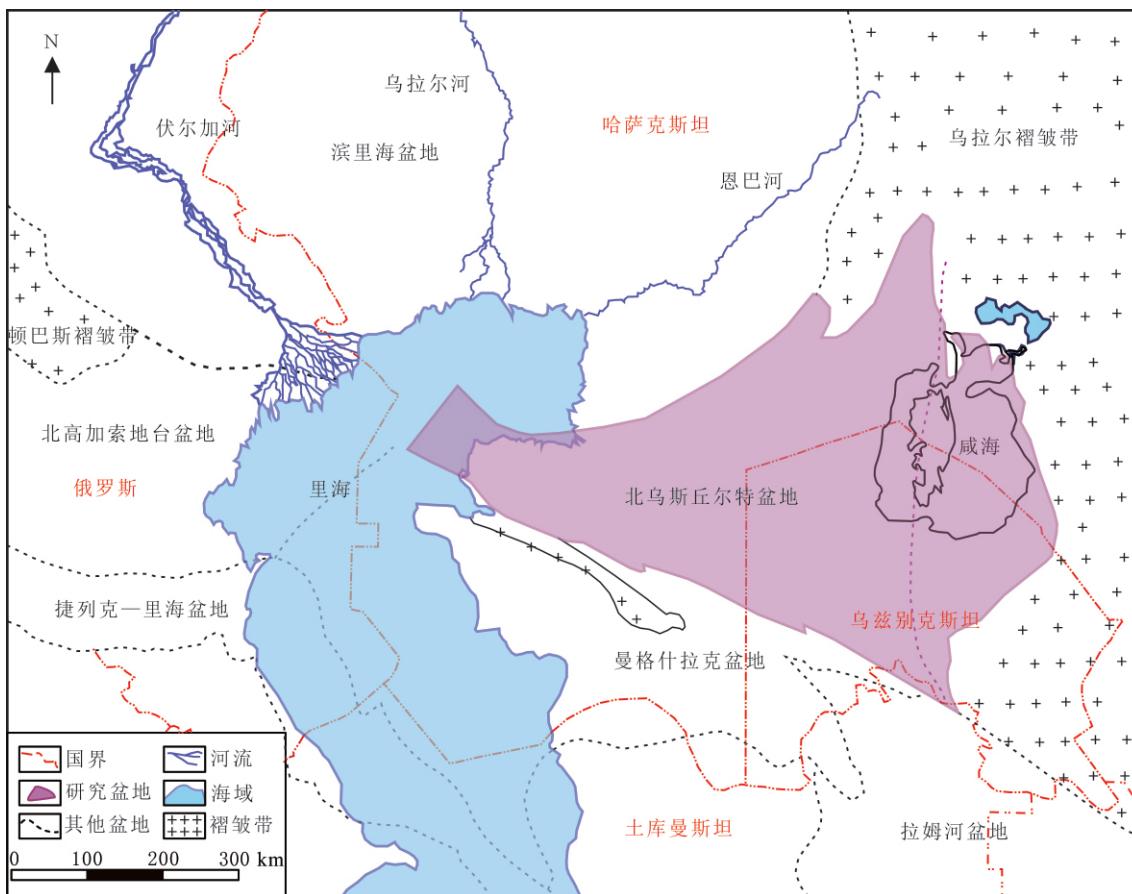


图 1 北乌斯丘尔特盆地位置
Fig. 1 Location map of the North Ustyurt Basin

1.2 构造单元划分

北乌斯丘尔特盆地自西向东可以划分为 3 个次盆:北布扎奇隆起、乌斯丘尔特次盆和东咸海次盆。乌斯丘尔特次盆内构造凹隆相间且呈南北向分布,根据沉积盖层和基底特征可划分为 14 个二级构造单元。东咸海次盆可划分为咸海—克孜尔库姆隆起和东咸海坳陷 2 个二级构造单元(见图 2)。

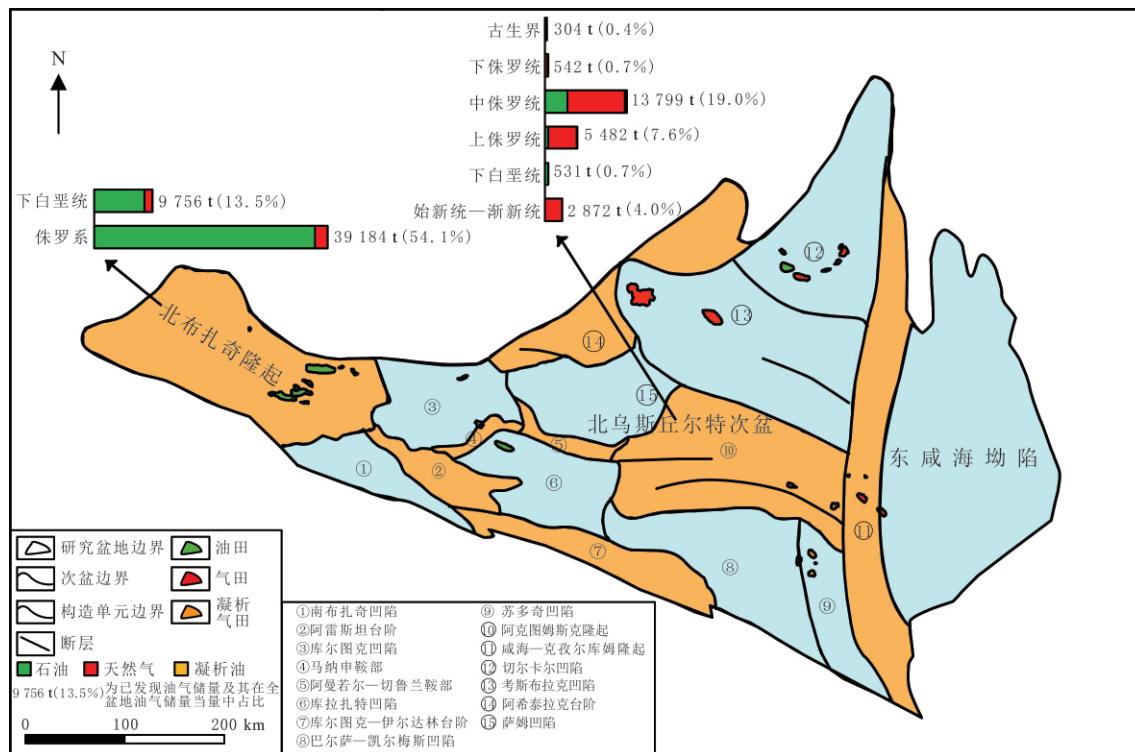


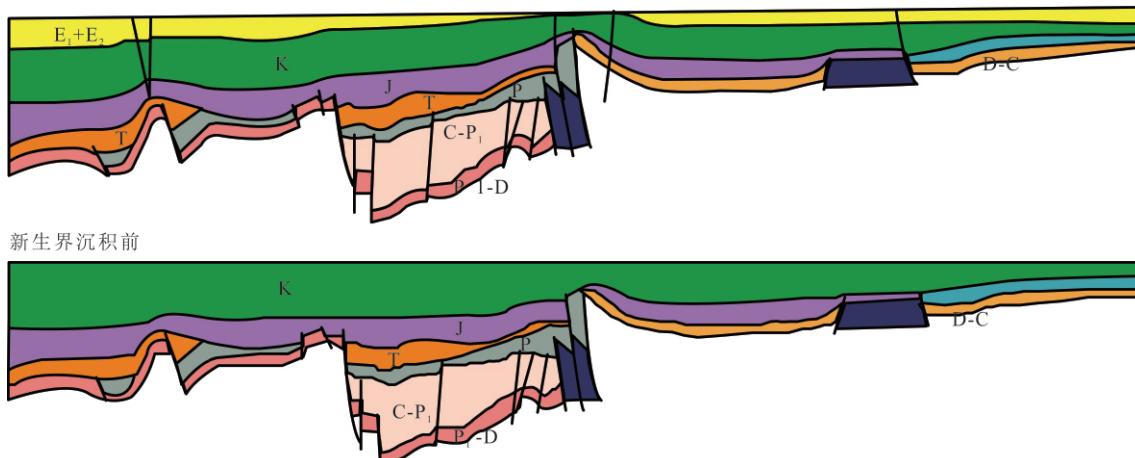
图2 北乌斯丘尔特盆地构造单元划分及油气分布

Fig. 2 General structure units and the distribution of oil and gas in the North Ustyurt Basin

1.3 构造演化

北乌斯丘尔特盆地是在前寒武纪陆块基础上发育起来的中新生代盆地^[9],构造演化经历6个阶段:基底形成期、被动陆缘期、裂谷期、后裂谷坳陷期、构造挤压期和新近纪以来坳陷期。根据过咸海某断裂带构造演化剖面(见图3),海相碎屑岩和陆相碎屑岩沉积并存^[16]。盆地上古生界被动大陆边缘的碳酸盐岩沉积于板块的边缘,晚石炭世—早二叠世,乌拉尔造山运动发生形变^[11];晚二叠世—早侏罗世,盆地南部隆升,北部普遍发育陆相沉积;早—中侏罗世,沉积河流相、湖泊相和浅海相碎屑岩,上覆上侏罗统海相碳酸盐岩;到早白垩世,局部隆升形成区域性不整合面,随后沉积海相碎屑岩和碳酸盐岩,直至古近纪^[12];上新世—全新世,退积作用使盆地进一步向西倾斜,以陆相沉积为主^[16]。

现今



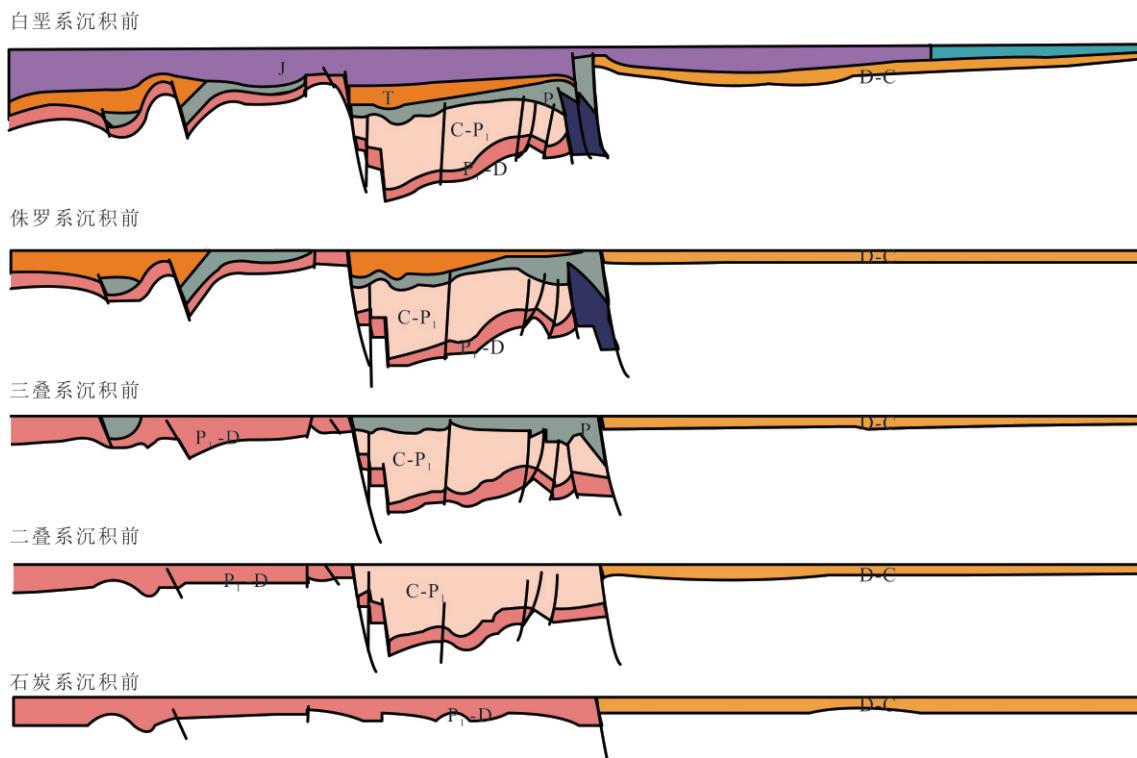


图3 北乌斯丘尔特盆地过咸海某断裂带构造演化剖面

Fig. 3 Tectonic evolution of a fault zone across the Aral Sea in North Ustyurt Basin

1.4 盆地沉积特征

在发生伸展断陷后,北乌斯丘尔特盆地又发生前陆反转,经历陆相向海相变迁的过程,主要地层系统包括上古生界、三叠系、侏罗系、白垩系和第三系(见图4)。

2 地质综合分析

2.1 油气分布规律

北乌斯丘尔特盆地油气田呈“西油东气”展布(见图5)。油田主要分布于盆地西北部的布扎奇隆起,包括北布扎奇、卡拉姆卡斯和卡拉让巴斯等;少量油田分布于中部的库拉扎特和库尔图克凹陷。气田主要分布于盆地的东部,其中东北部的考斯布拉克凹陷和切尔卡尔凹陷以干气为主,东南部苏多奇凹陷及其邻区主要为凝析气田。“西油东气”的油气分布特征与东部、西部的烃源岩类型和成熟度不同有关^[13-14]。

在构造上,油气田主要分布于凹陷、凸起及斜坡的边缘。北乌斯丘尔特盆地的圈闭多受构造活动的控制,类型以背斜型圈闭为主,仅有少量圈闭为砂岩尖灭型和不整合型。北布扎奇隆起主要发育近东西和北西向的逆冲断层,少量发育北东向的走滑断层。这些不同走向的断层相互切割,对油气聚集产生有利影响,如卡拉姆卡斯油田位于北西和北东向断层的交汇处^[21]。

在层系上,北乌斯丘尔特盆地从石炭系到始新统有油气发现。其中石油主要分布于中侏罗统(与滨里海盆地相似^[1])和下白垩统,两个层系的石油储量分别占全盆地石油储量的70%和22%;少部分石油分布于上侏罗统。天然气主要分布于始新统和上侏罗统,两个层系的天然气储量约占全盆地天然气储量的60%(见图2)。

2.2 油气富集主控因素

2.2.1 构造作用

古生代以来,⁴期主要构造活动形成北乌斯丘尔特盆地现今的油气格局,分别为乌拉尔挤压作用、二叠纪—三叠纪裂谷作用、基莫里期反转作用和古近系碰撞挤压作用。

从晚石炭世到早二叠世,乌拉尔挤压作用导致研究区古生界地层发生强烈变形,形成背斜构造和局部

逆冲断层,与区域性盖层组成有利的圈闭。从晚二叠世开始,北乌斯丘尔特陆块与周边地区形成北北东—南南西向的伸展格局,在上古生界和三叠系中形成一系列断块圈闭。晚三叠世后,随古特提斯洋关闭,强烈的区域性挤压作用使盆地再次发生构造抬升,局部形成不整合圈闭。最后一期强烈的构造活动发生在晚始新世,阿拉伯板块与欧亚板块的碰撞导致区域性挤压,北乌斯丘尔特盆地中新生界的大多数背斜构造的形成与这次构造事件有关,从而确立盆地油气构造格局。地层—构造型圈闭是盆地最重要的圈闭类型(见表1^[3]),盆地绝大部分的油气聚集在这类圈闭中。

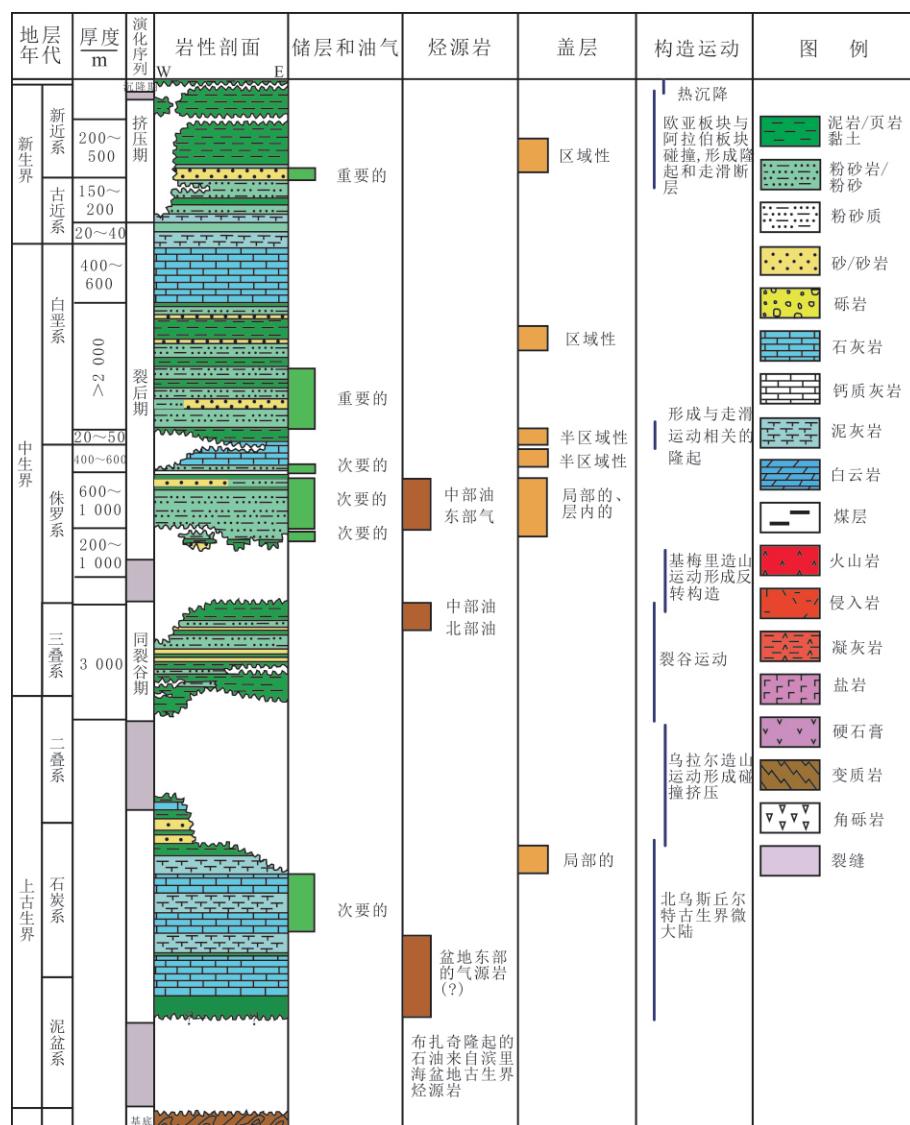


图4 北乌斯丘尔特盆地综合地层柱状图(据文献[2]修改)

Fig. 4 Comprehensive stratigraphic chart of North Ustyurt Basin(modified by reference [2])

表1 北乌斯丘尔特盆地油气储量所属区带类型

Table 1 Recoverable reserves of different play types in the North Ustyurt Basin

区带类型	油气可采储量					
	石油/10 ⁴ t	石油占比/%	凝析油/10 ⁴ t	凝析油占比/%	天然气/10 ⁸ m ³	天然气占比/%
地层—构造型	26 782	53.4	704	98.8	2 612	97.1
构造型	10 500	21.0	—	—	—	—
地层—构造—不整合型	9 600	19.1	0	1.2	50	1.9
构造—不整合型	3 310	6.5	—	—	25	1.0
合计	50 192	100	704	100	2 687	100

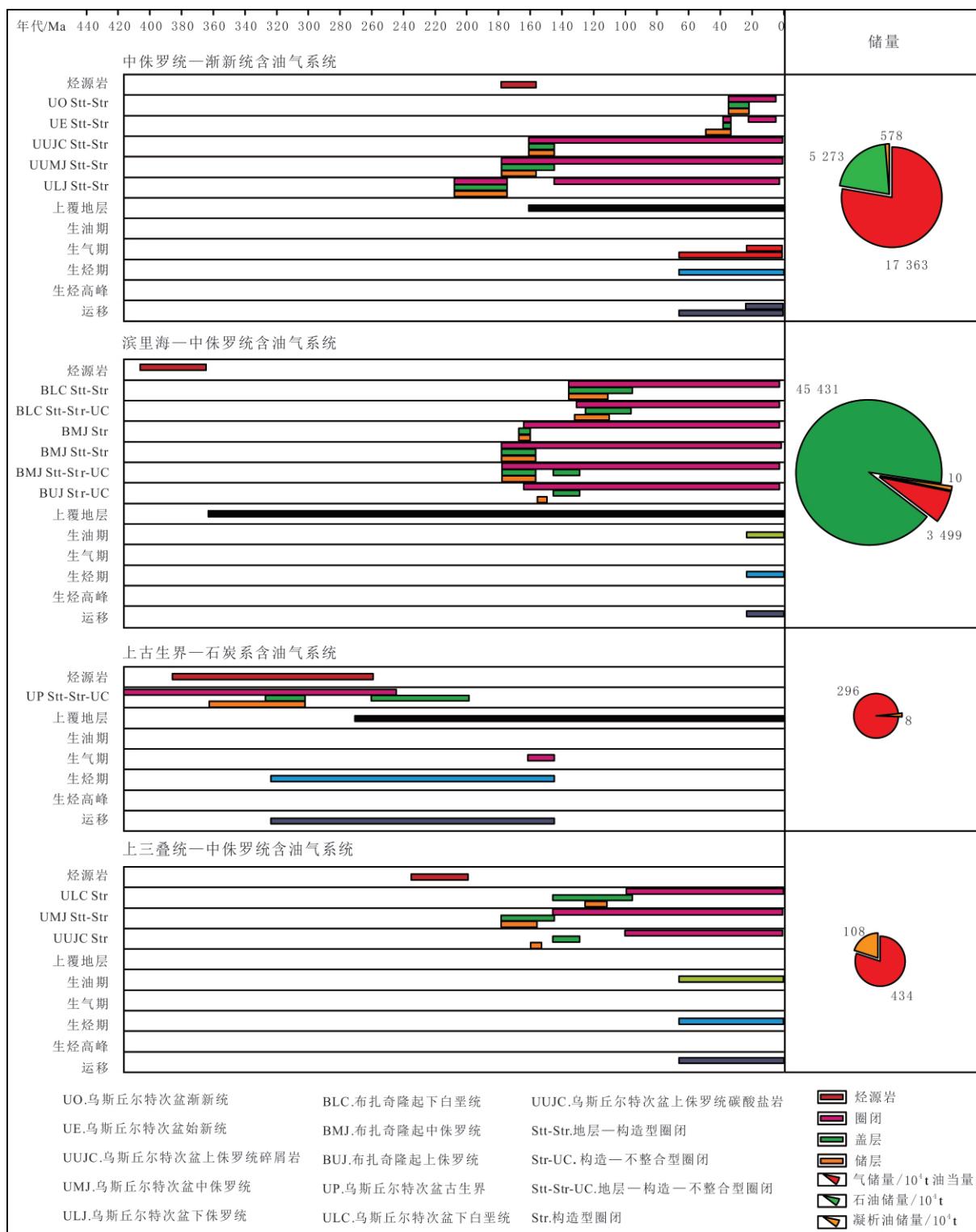


图 5 北乌斯丘尔特盆地含油气系统事件及油气储量示意

Fig. 5 Petroleum system and discovered oil and gas reserves in North Ustyurt Basin

2.2.2 源储配置关系

受3.0 km厚度的上二叠统—三叠统红层阻隔,布扎奇隆起地区油气可能来源于相邻的滨里海盆地重要烃源岩——中—上石炭统海相页岩,中侏罗统浅海相到海陆过渡相砂岩和粉砂质砂岩是最重要的储集层^[17]。储层埋深浅(1.0 km),孔隙度为23%~34%,渗透率为(30~1 700)×10⁻³ μm²,砂层和泥页岩互层分布,厚度为数米到40 m。良好的源储配置关系使油气局限分布于北布扎奇隆起的北斜坡及其顶

部,进一步验证该地区油气来源于滨里海盆地^[18]。

乌斯丘尔特次盆中下侏罗统湖相和陆相煤系泥页岩为东部地区主要烃源岩,以天然气为主;中侏罗统目前处于生油窗,部分可能进入生凝析气阶段;上侏罗统未达生油窗,部分可生湿气,可作为目前中东部潜山油藏的烃源岩^[3]。这些烃源岩生成的天然气经过垂向运移聚集在上覆侏罗系储集层中^[13-14]。

2.2.3 优势运移通道

北布扎奇隆起的油气来源于北侧滨里海盆地的中上石炭统海相页岩烃源岩,并在北布扎奇隆起北坡富集,受益于盆地而具有优势运移通道^[4]。当烃源岩成熟后,烃类物质经过初次运移,从滨里海盆地的上古生界地层(盐下层)开始排出;然后沿断层垂向运移至侏罗系(盐上层),经过长距离二次运移,沿中侏罗统古河谷沉积的砂岩疏导层侧向运移至北布扎奇隆起构造高点^[21]。

2.3 含油气系统和成藏组合划分

北乌斯丘尔特盆地发育3套主力烃源岩和2套次要烃源岩,分布于泥盆系、石炭系、古近系和侏罗系,识别滨里海—中侏罗统、中侏罗统—渐新统、上古生界—石炭系和上三叠统—中侏罗统4个含油气系统(见图5)。根据最新的数据资料,应用含油气系统综合分析方法,结合盆地已发现油气田分布、主要烃源岩和储层的分布范围,将盆地划分为8套成藏组合(见图6)。各成藏组合内已发现油气可采储量见表2。

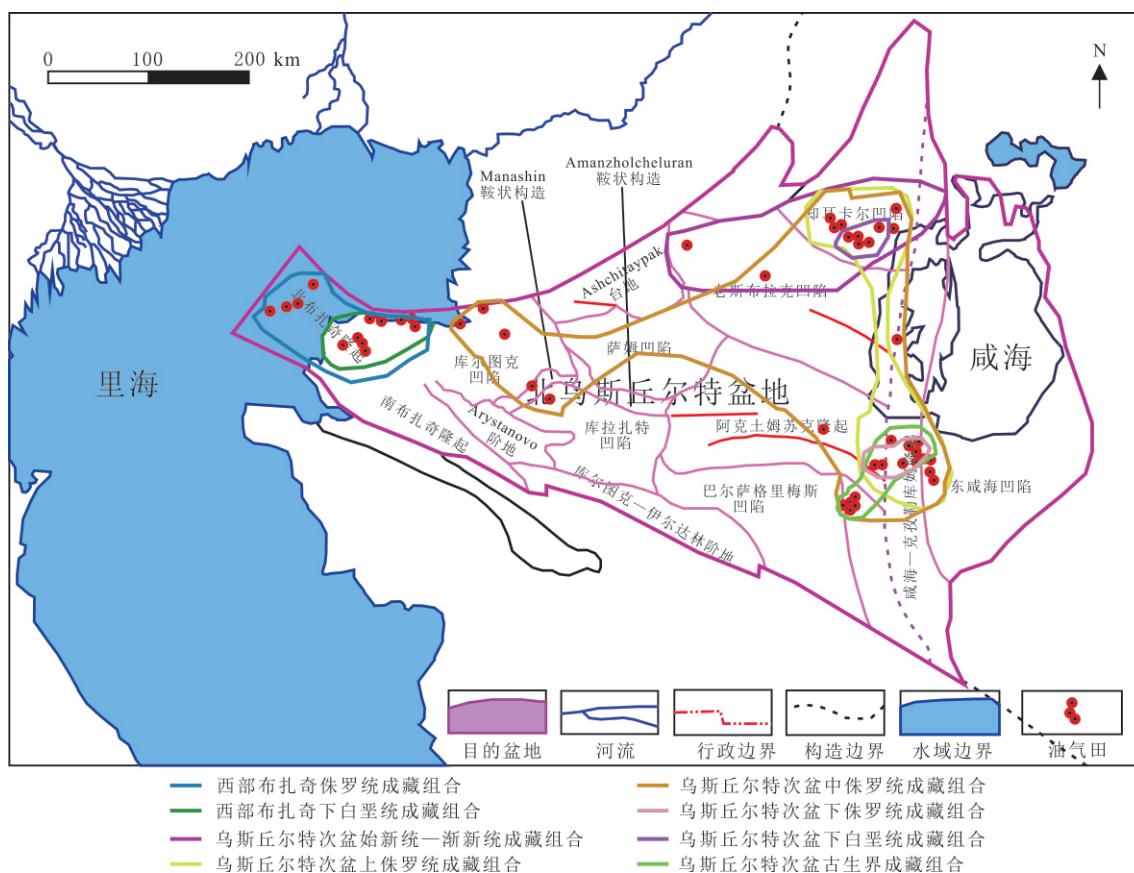


图6 北乌斯丘尔特盆地成藏组合分布
Fig. 6 The play distribution in the North Ustyurt Basin

3 油气资源潜力评价

以成藏组合为油气资源评价单元,评价各成藏组合的资源潜力及总结储集层和圈闭的特征,综合分析北乌斯丘尔特盆地的油气资源潜力。以西部布扎奇侏罗系成藏组合评价为例,已发现62个油藏和7个气藏。油藏采用传统的统计法求取评价参数;气藏采用类比法求取评价参数。

表2 北乌斯丘尔特盆地不同成藏组合可采储量
Table 2 Recoverable reserves of different plays in the North Ustyurt Basin

含油气系统	成藏组合	油气类型	个数	石油/ 10^4 t	天然气/ 10^8 m ³	凝析油/ 10^4 t	总计(油当量)/ 10^4 t
滨里海—中侏罗统	西部布扎奇侏罗系	油藏	62	37 065.5	238.5	—	38 980.9
	气藏	7	—	—	25.1	1.4	203.3
	西部布扎奇下白垩统	油藏	15	8 365.6	10.4	—	8 448.8
	气藏	7	—	—	161.7	8.2	1 307.0
中侏罗统—渐新统	乌斯丘尔特次盆始新统—渐新统	气藏	12	—	355.6	16.4	2 871.8
	乌斯丘尔特次盆下白垩统	油藏	2	511.6	2.4	—	530.7
	乌斯丘尔特次盆上侏罗统	油藏	2	529.3	2.0	—	545.7
	气藏	10	—	—	593.8	167.8	4 935.9
	乌斯丘尔特次盆中侏罗统	油藏	22	3 720.3	27.7	0	3 942.7
上三叠—中侏罗统	气藏	28	—	—	1 178.4	394.3	9 856.8
	乌斯丘尔特次盆古生界	气藏	9	—	54.0	107.8	541.6
上古生界—石炭系	乌斯丘尔特次盆下侏罗统	气藏	4	—	36.9	8.2	304.2
合计			180	50 192.3	2 686.5	704.1	72 469.4

1974年以来,已发现油藏的个数和规模呈下降趋势,采用勘探趋势外推法预测未来30年待发现个数低值、中值和高值分别为16、20和37个;推测最大规模的油藏已被发现,对未来30年待发现油藏规模的高值进行调整,最大油藏规模为 2.729×10^7 t(见表3)。在水晶球(Crystal Ball)软件中输入参数进行模拟,得到待发现油藏中石油储量(F95、F50、F5、平均值、中值)及天然气储量(F95、F50、F5、平均值、中值)。

表3 西部布扎奇隆起侏罗系成藏组合油藏评价参数
Table 3 Evaluation parameters for Jurassic oil play in West Buzachi Uplift

类型	1974~2019年			2020~2049年		
	年发现油藏数	气油比/(m ³ ·t ⁻¹)	规模/ 10^4 t	油藏总数	气油比/(m ³ ·t ⁻¹)	规模/ 10^4 t
低值	1	0	14	16	0	14
中值	2	31.13	46	20	31.13	46
高值	6	155.67	5 744	37	155.67	2 729

西部布扎奇侏罗系成藏组合中已发现的7个气藏位于Arman、Karaturun More和Karaturun South油田,与西部布扎奇下白垩统成藏组合中已发现的7个气藏(位于Kalamkas油田)分布区域相近,圈闭类型以构造型、地层—构造型圈闭为主,为砂岩—粉砂岩储层,下白垩统的砂岩渗透性略差于侏罗系的,物性在整体上相似,选取西部布扎奇下白垩统成藏组合为类比单元,获取评价参数后进行模拟计算。

北乌斯丘尔特盆地成藏组合待发现可采资源量评价结果见表4。盆地待发现可采石油、天然气和凝析油的资源量(均值)分别为 13.1474×10^7 t、 1.5472×10^{11} m³、 239.1×10^4 t,合计 2.5812×10^7 t,最有潜力的成藏组合为西部布扎奇侏罗系、西部布扎奇下白垩统、北乌斯丘尔特中侏罗统成藏组合。USGS2000将该盆地划分为6个评价单元,评价结果表明待发现石油资源量为 11.3430×10^7 t,天然气为 2.7581×10^{11} m³,凝析油为 5.5710×10^7 t,合计为 39.0600×10^7 t油当量。USGS2012评价结果表明待发现石油资源量为 4.6697×10^7 t,天然气为 1.3167×10^{11} m³,凝析油为 810.2×10^4 t,合计为 16.0528×10^7 t油当量。三次资源评价的差距主要体现在对上古生界成藏组合潜力的认识上。近10年的资源评价研究表明上古生界天然气资源潜力有限。

表4 北乌斯丘尔特盆地成藏组合待发现可采资源量评价
Table 4 Undiscovered oil and gas reserve of each play in the North Ustyurt Basin

含油气系统	成藏组合	类型	石油/ 10^4 t	天然气/ 10^8 m ³	凝析油/ 10^4 t	总计(油当量)/ 10^4 t
滨里海—中侏罗统	西部布扎奇	油藏	4 974.1	42.2	0	5 313.8
	侏罗系	气藏	0	78.0	1.4	627.6
	西部布扎奇下白垩统	油藏	3 111.9	32.6	0	3 373.8
中侏罗统—渐新统	北乌斯丘尔特始新统—渐新统	气藏	0	607.2	2.7	4 878.6
	北乌斯丘尔特下白垩统	油藏	427.0	18.1	0	573.0
	北乌斯丘尔特上侏罗统	油藏	2 199.2	13.8	0	2 309.7
上三叠—中侏罗统	北乌斯丘尔特上侏罗统	气藏	0	162.7	15.0	1 322.0
	北乌斯丘尔特中侏罗统	油藏	2 435.2	6.1	20.9	2 504.8
	北乌斯丘尔特下侏罗统	气藏	0	230.5	189.6	2 040.9
上古生界—石炭系	北乌斯丘尔特古生界	气藏	0	9.2	2.7	76.4
合计	油藏	13 147.4	112.8	20.9	14 075.1	
	气藏	0	1 434.4	218.2	11 736.8	
	总计	13 147.4	1 547.2	239.1	25 811.9	

4 结论

(1) 北乌斯丘尔特盆地滨里海—侏罗系含油气系统和中侏罗统—渐新统含油气系统是盆地最重要的含油气系统。油田主要分布于盆地西北部的布扎奇隆起,气田主要分布于盆地东部的考斯布拉克凹陷、切尔卡尔凹陷和苏多奇凹陷,具有明显的“西油东气”的特点。

(2) 盆地从石炭系到始新统石油主要分布于中侏罗统和下白垩统,分别占全盆地石油储量的70%和22%;天然气主要分布于始新统和上侏罗统,占全盆地天然气储量的60%。

(3) 盆地构造作用控制北乌斯丘尔特盆地的油气格局;良好的源储配置关系控制北乌斯丘尔特盆地油气时空分布;优势运移通道形成北布扎奇隆起富油区。

(4) 盆地待发现可采石油、天然气和凝析油的资源量(均值)分别为 $13.147.4 \times 10^7$ t、 $1.547.2 \times 10^{11}$ m³、 239.1×10^4 t,合计 $25.812.0 \times 10^7$ t油当量。最有潜力的成藏组合为西部布扎奇侏罗系、西部布扎奇下白垩统、北乌斯丘尔特中侏罗统成藏组合。

参考文献(References):

- [1] 朱伟林,王志欣,李进波,等.中亚—里海含油气盆地[M].北京:科学出版社,2016:365-404.
ZHU Weilin, WANG Zhixin, LI Jinbo, et al. Petroliferous basin of Central Asia-Caspian Sea [M]. Beijing: Science Press, 2016: 365-404.
- [2] 何登发,童晓光,杨福忠,等.中亚含油气区构造演化与油气聚集[M].北京:科学出版社,2016:180-213.
HE Dengfa, TONG Xiaoguang, YANG Fuzhong, et al. Tectonic evolution and hydrocarbon accumulation in Central Asia oil-bearing region [M]. Beijing: Science Press, 2016:180-213.
- [3] 陈学海,卢双舫,陈学洋,等.北乌斯丘尔特盆地含油气系统及勘探前景分析[J].特种油气藏,2017,24(1):31-36.
CHEN Xuehai, LU Shuangfang, CHEN Xueyang, et al. Petroleum system and exploration prospect analysis in North Ustyurt Basin [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2017,24(1):31-36.
- [4] 陈学海,卢双舫,薛海涛,等.地震属性技术在北乌斯丘尔特盆地侏罗系泥岩预测中的应用[J].中国石油勘探,2011,16(2):67-71.
CHEN Xuehai, LU Shuangfang, XUE Haitao, et al. Application of seismic attribute technology in Jurassic mudstone prediction in North Ustyurt Basin [J]. China Petroleum Exploration, 2011,16(2):67-71.
- [5] 郑宁来.中国与中亚国家油气合作[J].炼油技术与工程,2015,45(12):54.

- ZHENG Ninglai. Oil and gas cooperation between China and Central Asian Countries [J]. Refining Technology and Engineering, 2015,45(12):54.
- [6] 宋元威,王宁,刘喜祥,等.中亚油气资源分布及战略选区[J].中国石油化工,2016(增刊2):20-21.
SONG Yuanwei, WANG Ning, LIU Xixiang, et al. Distribution of Central Asian oil and gas resources and strategic selection [J]. China Petroleum & Chemical Industry, 2016(Supp. 2):20-21.
- [7] KLETT T R, SCHENK C J, CHARPENTIER R R, et al. Assessment of undiscovered oil and gas resources of the North Caspian Basin, Middle Caspian Basin, North Ustyurt Basin, and South Caspian Basin Provinces, Caspian Sea Area [J]. U. S. Geological Survey Fact Sheet, 2010(2010):3094.
- [8] 侯平,田作基,郑俊章,等.中亚沉积盆地常规油气资源评价[J].地学前缘,2014,21(3):56-62.
HOU Ping, TIAN Zuoji, ZHENG Junzhang, et al. Evaluation of conventional oil and gas resources in Central Asian sedimentary basins [J]. Earth Science Frontiers, 2014,21(3):56-62.
- [9] 余一欣,殷进垠,郑俊章,等.中亚北乌斯丘尔特盆地成藏组合划分与资源潜力评价[J].现代地质,2016,30(1):192-199.
YU Yixin, YIN Jinyin, ZHENG Junzhang, et al. Division of play and resource potential evaluation of the North Ustyurt Basin in Central Asia [J]. Modern Geology, 2016,30(1):192-199.
- [10] 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 enrichment rules and exploration potential in the North Ustyurt Basin in Central Asia [J]. Oil & Gas Geology, 2016,37(3):381-386.
- [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.
ABITKAZ Tusken, LI Jianghai, LI Honglin, et al. Tectonic evolution and hydrocarbon potential of basins in Central Asia and its adjacent regions [J]. Modern Geology, 2014,28(3):573-584.
- [12] 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(4):327-341.
- [13] 田纳新,殷进垠,陶崇智,等.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,2017,38(3):582-591.
TIAN Naxin, YIN Jinyin, TAO Chongzhi, et al. Petroleum geological characteristics and resource evaluation of key basins in the Middle East and Central Asia [J]. Oil & Gas Geology, 2017,38(3):582-591.
- [14] 苏艳.中亚含油气盆地油气成藏组合特征[D].北京:中国地质大学(北京),2013:28-32.
SU Yan. Characteristics of oil and gas accumulation in the petroliferous basins in Central Asia [D]. Beijing: China University of Geosciences(Beijing), 2013:28-32.
- [15] UNDERHILL J R. Understanding and unlocking petroleum plays and fields in Kazakhstan: introduction [J]. Petroleum Geoscience, 2012,18(3):251-251.
- [16] 韩雷.北乌斯丘尔特盆地构造及沉积演化规律研究[J].科学技术与工程,2011,11(28):6946-6951.
HAN Lei. Study on the tectonic and sedimentary evolution laws of the North Ustyurt Basin [J]. Science Technology and Engineering, 2011,11(28):6946-6951.
- [17] 朱毅秀,张伟.北乌斯丘尔特含油气区油气地质特征[J].内蒙古石油化工,2008,34(21):124-126.
ZHU Yixiu, ZHANG Wei. Petroleum geological characteristics of the North Ustyurt Basin petroleum system [J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2008,34(21):124-126.
- [18] GABRIELYANTS G A. North Ustyurt independent gas-oil region [J]. Petroleum Geology, 1994,10(28):278-280.
- [19] BALLY A W, SNELSON S. Facts and principles of world petroleum occurrence: realms of subsidence [M]//MIALL A. Facts and Principles of World Petroleum Occurrence. Calgary: Stacs Data Service Limited, 1980:9-94.
- [20] KLEMME H D. Petroleum basins-classifications and characteristics [J]. Journal of Petroleum Geology, 1980,3(2):187-207.
- [21] AFANASENKOV A P, SKVORTSOV M B, NIKISHIN A M, et al. Geological evolution and petroleum systems in the North Caspian Region [J]. Moscow University Geology Bulletin, 2008,63(3):131-139.

(Research Institute of Petroleum Exploration and Development , PetroChina Southwest Oil and Gas Field Company , Chengdu , Sichuan 610051 , China)

Abstract: The study of the sequence stratigraphic characteristics and sedimentary evolution model of the Qixia Formation, based on comprehensive integration of seismic data, drill cores and well log data, and divided into two third-order sequences(Sq1, Sq2), and the sequence stratigraphic framework have been built, the Sq1 transgressive system tract characterized by rapid transgression, resulting in an increase in space accommodate rate is greater than the growth rate of carbonate rocks, and some interval visible planktonic foraminifera, coccolith and calcium chondrules biological combination of deep water, indicating that the water deepened quickly caused by the process of transgression; the Sq1 high stand system tract is widely developed platform edge grain beach facies, as sea levels rise, the growth rate of high carbonate can make up for the rate of rising sea level's increase(accommodate space), at this point, carbonate growth in the platform margin beach is aggradation, and develope a set of thick layer of the distribution of the stable platform margin particles beach deposition. In conclusion, the paleogeomorphology of the Pre-Permian controlling the distribution of the sedimentary facies in the Qixia Formation, the early deposition of the Qixia Formation is overlapped gradually to the ancient uplift, the transgressive carbonate platform margin-slope-basin sedimentation model is developed in the middle to late stage, and Caledonian ancient uplift area and karst palaeogeomorphology high position control beach facies distribution.

Key words: Sichuan Basin; Middle Permian; Qixia Formation; sequence stratigraphy; platform margin; sedimentary evolution model

Analysis of petroleum play and resources evaluation in the North Ustyurt Basin/2020,44(6):43-52

SUN Fengnan^{1,2,3} , ZHANG Kaixun^{2,3} , HAN Shuqin^{2,3} , HAN Fengbin^{2,3} , YAN Chunfeng⁴

(1. School of Geosciences , China University of Petroleum(Beijing) , Beijing 102249 , China ; 2. Institute of Geomechanics , Chinese Academy of Geological Sciences , Beijing 100081 , China ; 3. Key Laboratory of Paleomagnetism and Tectonic Reconstruction , Ministry of Natural Resources , Beijing 100081 , China ; 4. Beijing Youyuan Hengye Technology Company Limited , Beijing 102200 , China)

Abstract: The North Ustyurt Basin is one of the petroliferous basins in Central Asia. On the basis of up to date data, eight plays were identified in this basin with an integrated approach of petroleum system analysis. Each play was regarded as an assessment unit for resources evaluation. Monte Carlo simulation was used to calculate recoverable oil and gas resources which could be discovered in next 30 years and parameters were determined with statistical and analog methods. Results show that the mean undiscovered recoverable resources in the North Ustyurt Basin are 13.1474×10^7 t of oil, 1.5472×10^{11} m³ of gas, and 239.1×10^4 t of condensate, i. e about 2.5812×10^8 t of oil equivalent. The Caspian-Jurassic and the Middle Jurassic-Oligocene petroleum systems account for the largest share of undiscovered petroleum resources. Oil and gas are areally distributed in the Beibudsaki Uplift, Kurtuk Trough, Cherkal Trough, and Sudoci Sag, which is characterized by oil in the west and gas in the east. Stratigraphically, oil and

• III •

gas are mainly accumulated in the Middle Jurassic and Lower Cretaceous. The most potential plays are developed in the Jurassic and Lower Cretaceous in Beibuzachi, and Middle Jurassic in Ustyurt.

Key words: North Ustyurt Basin; play; petroleum system; hydrocarbon distribution pattern; resource assessment; Monte Carlo simulation

Characteristics of iron mineral and the genesis of magnetite in Dataigou Iron Deposit/2020,44(6):53-60

WU Yue, WANG Yinfu, LIU Qi, AN Shuai, LIU Xin

(*Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, CGS, Shenyang, Liaoning 110032, China*)

Abstract: Through the mineral petrographic of Dataigou Iron ore and X-ray diffraction analysis, we understood the composition features of iron mineral. The causes of magnetite were discussed by the rare earth elements and electron microprobe analysis. According to the petrography of Dataigou Iron ore, the iron ore were mainly composed of green clay sericite schist, banded(containing iron) quartzite and containing magnete sericite(green clay) quartz schists. By the X-ray diffraction analysis, the type of iron ore was from hematite to hematite magnetite to magnetic transition. The oxidation was gradually weakened from shallow to deep in the process. According to REE analysis of magnetite in Dataigou Iron body, LREE relatively depleted, HREE relatively enrichment, Eu positive anomaly, it is indicated that the mineralization came from the seabed volcanic hydrothermal. Through the electron microprobe test analysis, we found that Dataigou Magnetite was low titanium resistance, only 0.005% to 0.089%, which was similar with TiO_2 content of magnetite in sedimentary-metamorphic deposit. The results of the casting point to $TiO_2 - Al_2O_3 - (MgO + MnO)$ diagram, inferred that the magnetite genesis should belong to volcanic-sedimentary metamorphic transformation deposits.

Key words: mineral composition; magnetite; REE; electron microprobe; genesis; Dataigou Iron

Distribution of cave-type reservoir of the Ordovician Ma 4 Member in Shilijahan Area, Northern Ordos Basin/2020,44(6):61-69

CHEN Yilai¹, DING Xiaoqi¹, QI Zhuangzhuang¹, JIA Huichong², ZHANG Wei², HE Hao³, LIU Xin¹

(1. *School of Energy, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China*; 2. *Research Institute of Exploration and Development, North China Company of SINOPEC, Zhengzhou, Henan 450000, China*; 3. *Second Oil Production Plant of Changqing Oilfield Company, CNPC, Qingcheng, Gansu 745100, China*)

Abstract: Based on the study of cave structure, this paper makes full use of logging data and seismic attributes to trace the vertical and horizontal distribution of caves, and to clarify the reservoir distribution of Ordovician Ma 4 Member in Shilijahan Area, Northern Ordos Basin. The results show that the cave structure of the Ma 4 Member can be divided into cave roof facies, cave unfilled facies, underground river filling facies and cave collapse facies. There are three layers of caves in the Ma 4 Member of Shilijahan