

引用格式: 张福顺, 郑启明, 胡瀚文, 等. 塔西南石炭系卡拉沙依组烃源岩评价与优选[J]. 油气藏评价与开发, 2024, 14(4): 647-656.

ZHANG Fushun, ZHENG Qiming, HU Hanwen, et al. Evaluation and optimal selection of Carboniferous Kalashayi Formation source rocks in southwestern Tarim Basin[J]. Petroleum Reservoir Evaluation and Development, 2024, 14(4): 647-656.

DOI: 10.13809/j.cnki.cn32-1825/te.2024.04.015

塔西南石炭系卡拉沙依组烃源岩评价与优选

张福顺¹, 郑启明², 胡瀚文¹, 姚威^{1,3}, 张坦^{1,3}, 马红强^{1,3}

(1. 中国石化石油勘探开发研究院, 北京 102206; 2. 北京派特杰奥科技有限公司, 北京 100044;

3. 中国石化石油勘探开发研究院无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214126)

摘要: 塔西南地区石炭系油气显示丰富, 为明确塔西南石炭系卡拉沙依组烃源岩生烃潜力, 通过干酪根镜鉴、有机碳测试及盆地模拟等技术方法, 对卡拉沙依组烃源岩进行研究评价, 结果显示: 卡拉沙依组烃源岩主要为Ⅲ型干酪根, TOC(总有机碳)含量介于0.2%~2.8%, 平均值为1.0%, R_o (镜质体反射率)均超过0.7%。但烃源岩热演化过程存在差异, 巴楚地区石炭系烃源岩仅在海西晚期一次生烃, 麦盖提斜坡石炭系烃源岩存在海西晚期和喜山期两期生烃, 结合烃源岩厚度、TOC、成熟度和生排烃史等多种因素, 认为麦盖提斜坡区卡拉沙依组烃源岩均已成熟并持续生烃, 西部山前带烃源岩品质及生烃强度最优。

关键词: 塔西南; 石炭系; 卡拉沙依组; 烃源岩评价; 热模拟

中图分类号: TE122

文献标识码: A

Evaluation and optimal selection of Carboniferous Kalashayi Formation source rocks in southwestern Tarim Basin

ZHANG Fushun¹, ZHENG Qiming², HU Hanwen¹, YAO Wei^{1,3}, ZHANG Tan^{1,3}, MA Hongqiang^{1,3}

(1. Sinopec Petroleum Exploration and Production Research Institute, Beijing 102206, China; 2. Petroleum Geology Technology Co., Ltd., Beijing 100044, China; 3. Wuxi Institute of Petroleum Geology, Sinopec Petroleum Exploration and Production Research Institute, Wuxi, Jiangsu 214126, China)

Abstract: The study explores the abundant oil and gas reserves in the Carboniferous of the southwestern Tarim Basin, with a specific focus on the source rocks of the Carboniferous Kalashayi Formation. By conducting kerogen identification, total organic carbon (TOC) testing, and thermal simulation, the research revealed that these mudstone source rocks primarily consist of Type III kerogen. Their TOC ranged from 0.2% to 2.8%, averaging 1.0%. The thermal maturity of the rocks, indicated by a vitrinite reflectance (R_o) greater than 0.7%, varied across different areas. The hydrocarbon generation history of these source rocks was also examined. In the Magaiti slope, the rocks underwent two phases of hydrocarbon generation: one during the Late Hercynian period and another during the Himeyama period. In contrast, in the Bachu bulge, there was only one hydrocarbon generation phase, occurring during the Late Hercynian period. The source rocks in the Magaiti slope are considered mature and are still generating hydrocarbons, influenced by factors such as source rock thickness, TOC, maturity, and the history of hydrocarbon generation and excretion. Furthermore, the source rocks in the western piedmont zone were identified as having the best quality and the highest hydrocarbon generation intensity.

Keywords: southwestern Tarim Basin; Carboniferous; Kalashayi Formation; source-rock evaluation; thermal simulation

全球常规天然气可采资源量约为 $470.5 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 非常规天然气可采资源量约为 $3922 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 是常规天然气可采资源量的 8.3 倍。非常规天然气产量呈迅猛上升态势, 2017 年全球页岩气产量约为 $4937 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占据全球天然气总产量的 13.4%。中国页岩气分布区域广、层系多、类型

多样, 主要发育在南方的川、滇、黔、桂、渝、湘、鄂、赣、苏、皖和北方的陕、晋、豫、冀、蒙、辽等省份^[1-3]。董大忠等^[4]研究认为早古生代发育海相沉积, 晚古生代—中生代发育海陆过渡相与湖相煤系沉积, 中生代发育陆相沉积^[5-7]。目前, 中国页岩气多产自四川盆地及周缘的海相

收稿日期: 2024-01-05。

第一作者简介: 张福顺 (1969—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事石油地质、沉积层序及储层演化等方面工作。地址: 北京市昌平区百沙路 197 号, 邮政编码: 102206。E-mail: zhangfs.syky@sinopec.com

通信作者简介: 郑启明 (1982—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事层序地层、油气成藏方面工作。地址: 北京市西城区三里河路 6 号, 邮政编码: 100044。E-mail: 31684081@qq.com

基金项目: 中国石化科技部科技攻关项目“塔里木盆地古生界碎屑岩油气成藏条件与区带优选”(P21049-2)。

页岩,形成了长宁、威远、昭通、涪陵等国家级示范区和泸州、巫溪等重要勘探潜力区,累计页岩气探明储量为 $2.74 \times 10^{12} \text{ m}^3$,截至2021年,页岩气产量为 $230 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。^[8]

塔西南地区晚古生代发育海陆过渡相,石炭系发育黑色页岩、碳质泥岩及煤层^[9-10],具备非常规油气藏发育的潜力。回顾塔西南地区油气勘探历程,石炭系探明油气藏有巴什托油气田、亚松迪气田、田河气田等,多为寒武系烃源岩大断裂带上的构造-岩性油气藏^[11]。自2000年后,塔西南古生界碎屑岩勘探从巴楚隆起向南部麦盖提斜坡拓展,仅在罗西1井、玉中2井等石炭系获得了良好的油气显示,但并未发现工业油气流或规模油气藏,使油气勘探陷入瓶颈期。对于上古生界勘探目的层而言,除了色力布亚和玛扎塔格等大的通源断裂沟通油源,多数断裂都没有断穿到寒武系^[12],导致寒武系的油气很难向上运移到上古生界层系。勘探实践已经证实以寒武系为源岩的勘探方向和理念需要调整,必须跳出以单一的远源寒武系为烃源岩的勘探理念,开展石炭系烃源岩的深入分析和研究。塔西南地区石炭系卡拉沙依组见到良好的油气显示,钻井显示卡拉沙依组下段低位域三角洲砂岩普遍未见含水显示,油气显示活跃在水进体系域暗色泥岩夹的薄层泥质粉砂岩或粉砂质泥岩中。据西北石油局玉中2井油源对比结果证实石炭系卡拉沙依组油气来源于自身源岩的贡献,而不是来源于寒武系源岩。油气显示及油源对比显示:石炭系卡拉沙依组的油气很可能是自生自储的源内致密气或者页岩气,最近中石油勘探1井的突破已经证实了石炭系一二叠系烃源岩的存在和贡献^[13]。该套层系目前的研究程度很低^[14],还没有系统的研究和评价,因此,研究聚焦塔西南石炭系卡拉沙依组这套新的烃源岩层系,利用野外剖面实测资料和盆内钻井岩心分析,从沉积相、烃源岩厚度、TOC(总有机碳)、 R_o (镜质体反射率)、埋深等方面系统进行评价,指明有利的分布区带,进而为新的油气突破拓展方向。

1 地质概况

广义上的塔西南包括塔西南坳陷带、麦盖提斜坡和巴楚隆起3个一级构造单元(图1a)。麦盖提斜坡位于巴楚隆起的南部地区,喜马拉雅晚期构造运动将其最终定型为南倾的单斜形态^[15],麦盖提斜坡主要发育新生界和古生界的地层,三叠系、侏罗系和白垩系地层普遍缺失。塔西南石炭系是在泥盆系填平补齐的砾岩-粗碎屑岩沉积之后,发育的一套稳定的碳酸盐岩-碎屑岩沉积,自下而上主要包括巴楚组、卡拉沙依组和小海子组(图1b)^[16-17]。研究主要依托于麦盖提斜坡的钻井岩心资料 and 山前坳陷带的野外剖面样品对重点烃源岩层系卡拉沙依组开展烃源岩特征、生烃潜力的评价和分析。

2 烃源岩发育特征

卡拉沙依组自下而上为上泥岩段、砂泥岩段和含灰岩段,烃源岩层系主要发育在砂泥岩段。砂泥岩段下部岩性组合以灰色中细粒岩屑砂岩为主,代表着三角洲沉积,中上部地层在巴楚隆起、麦盖提斜坡和塔西南山前带表现出明显差异性。巴楚隆起—麦盖提斜坡区为浅海陆棚相沉积,富含煤层、碳质泥岩、暗色泥岩,沉积上主要为潟湖—潮坪相,在山前带地区主要发育灰黑色泥岩、灰质泥岩、含灰质泥岩等(图2)。

从烃源岩厚度和分布来看,麦盖提斜坡带烃源岩厚度分布多介于100~180 m,在和田河一带厚度最大,超过200 m,沉积厚度中心主要集中在麦盖提斜坡的东部,从东到西呈现出逐渐减薄的趋势^[18-23]。在塔西南山前带发育有喀什和叶城两大沉积中心,烃源岩沉积厚度超过300 m,烃源岩厚度自喀什和叶城两大中心向盆地方向减薄(图3)。

3 烃源岩地球化学特征

研究收集了巴参1、巴探2、巴探3、巴探8、和田1、玉北1、皮山北2井等12口钻井石炭系卡拉沙依组暗色泥岩样品43份,对暗色泥岩、碳质泥岩和煤岩样品进行了针对性取样,重点开展了干酪根镜鉴、有机碳测试、 R_o 测试、热模拟等分析测试。

3.1 烃源岩类型

从12口钻井石炭系烃源岩干酪根鉴定成果的薄片观察结果来看:石炭系巴楚组及卡拉沙依组暗色泥岩中,镜质组和惰质组均呈碎屑状,次生组分以固体沥青为主,充填于孔隙、裂隙中,具有弱的褐红色荧光。

通过对巴麦地区主要钻井石炭系卡拉沙依组暗色泥岩组分统计分析,发现巴探5、玛北1、玉北1和皮山北2井暗色泥岩中镜质组组分基本含量超过60%,惰质组组分含量低于25%;巴参1、麦4等钻井的镜质组组分含量低于60%,惰质组组分含量多数低于25%,部分分布介于25%~45%。从镜下鉴定和组分定量统计结果来看:玉北1、皮山北2、玛北1和巴探5井中,石炭系卡拉沙依组暗色泥岩干酪根组分以镜质组为主,其次为惰质组组分,藻类等组分含量很低,为Ⅲ型干酪根;巴参1、麦4井等钻井,石炭系卡拉沙依组暗色泥岩干酪根组分镜质组和惰质组组分含量差不多,但次生组分沥青含量较高,干酪根类型主要为Ⅱ₂-Ⅲ型,偏Ⅲ型,并已经进入了成熟演化阶段(图4),而与之相对应的在塔西南山前带野外露头剖面石炭系烃源岩的干酪根主要类型是Ⅱ-Ⅲ型,偏Ⅱ型,

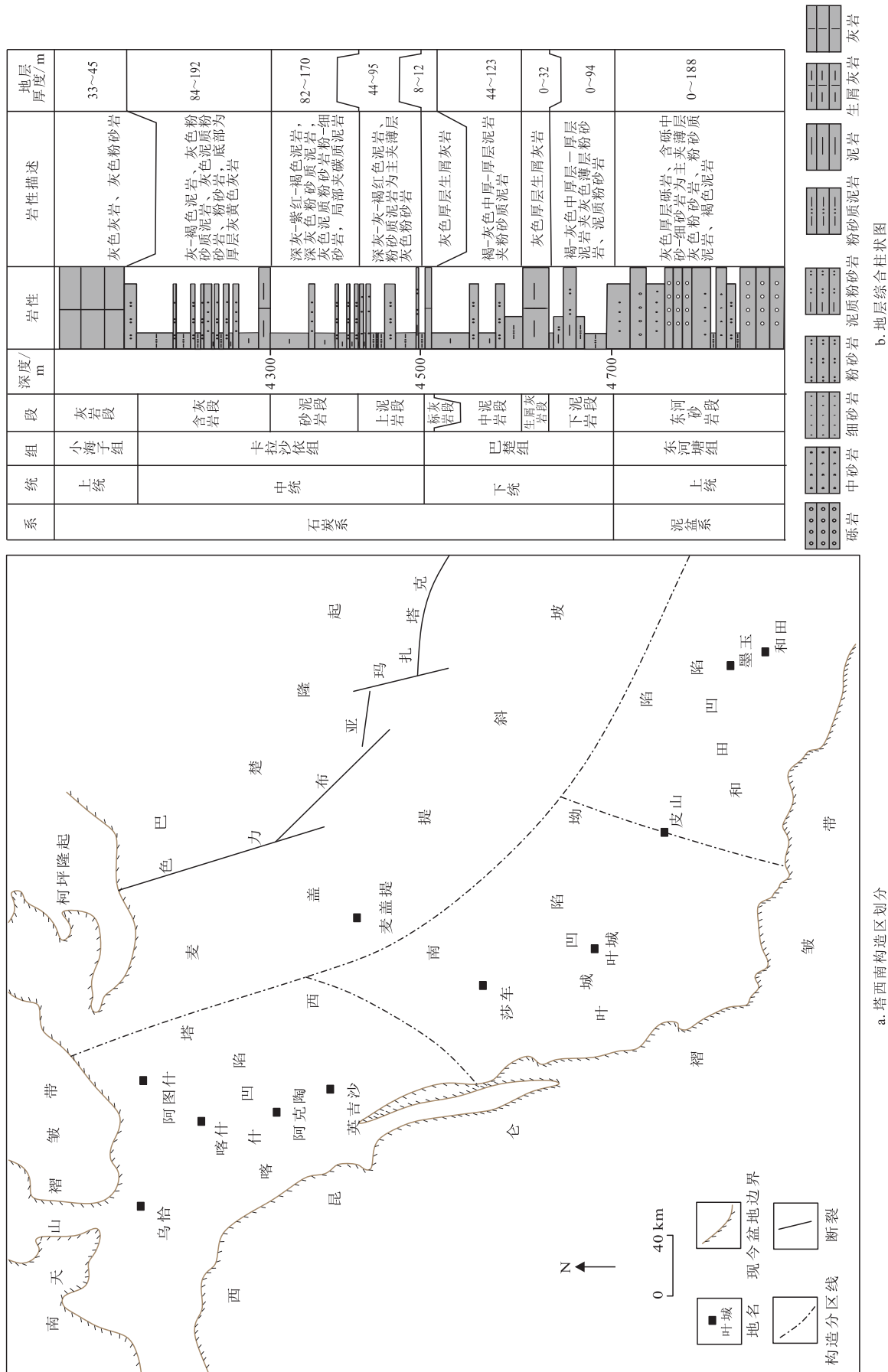


图1 塔西南构造区划分和地层综合柱状图

Fig.1 Tectonic division of southwestern Tarim Basin and strata comprehensive bar chart

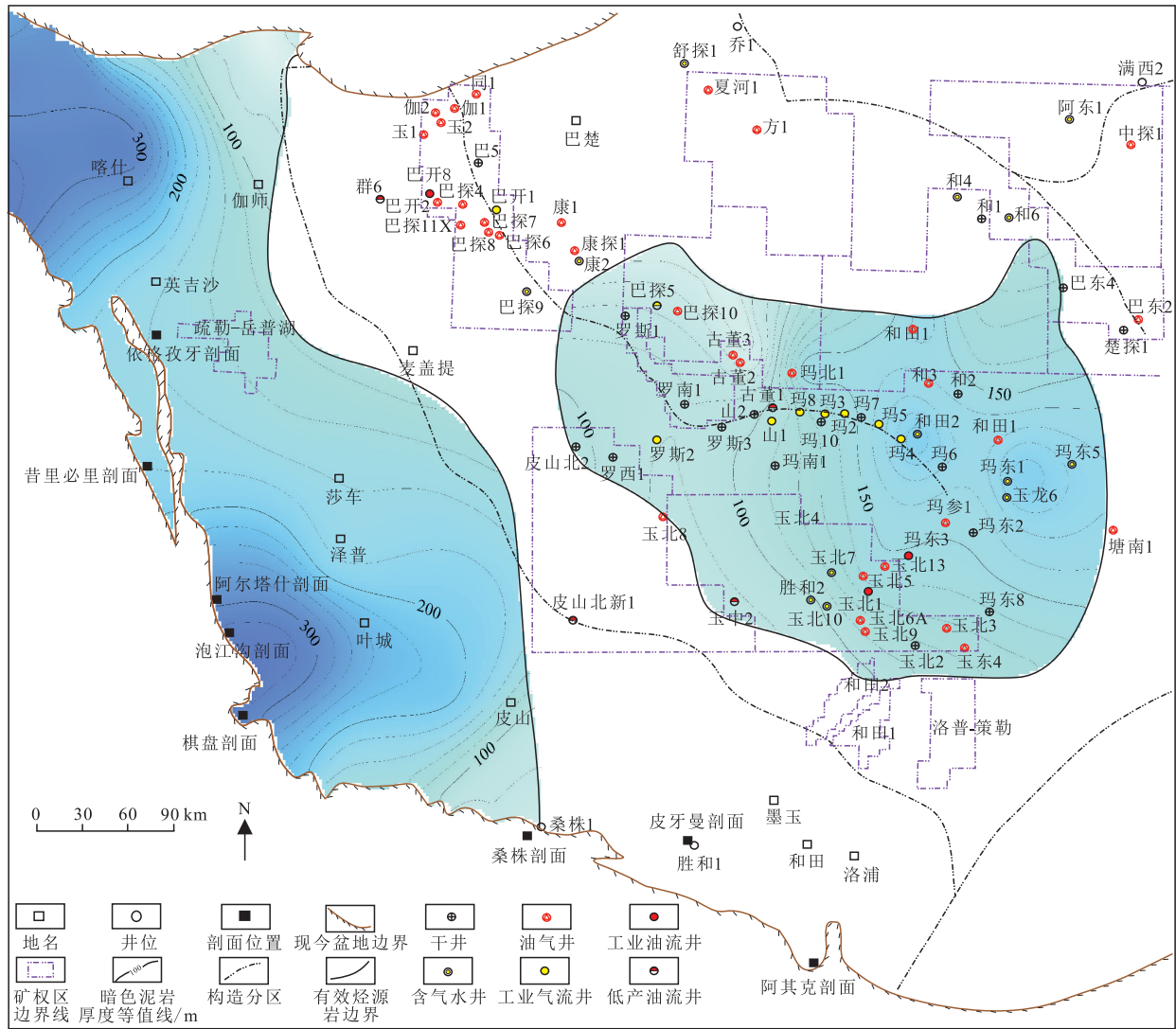


图3 塔西南地区石炭系卡拉沙依组烃源岩厚度和分布

Fig. 3 Thickness in hydrocarbon source rock Carboniferous Karashayi Formation of southwestern Tarim Basin

表1 塔西南地区石炭系卡拉沙依组烃源岩干酪根类型对比

Table 1 Kerogen types of Carboniferous Kalashayi Formation source rocks in southwestern Tarim Basin

	岩相	分布地区	干酪根类型	姥植比	C24/C26
潮坪—潟湖	煤、碳质泥岩 暗色泥岩	巴麦地区	II ₂ -III型, 偏III型	一般小于1	一般大于0.6
陆棚	泥岩、灰质泥岩	塔西南 坳陷及山前带	II-III型, 偏II型	一般大于1	一般小于0.6

(S_1+S_2)、氢指数(I_H)和氧指数(I_O)均偏低。巴楚隆起上巴探10、巴探11X和玛北1井等暗色泥岩实测 T_{max} 主要分布介于429~439℃,已经达到生烃门限,属于成熟烃源岩; S_1+S_2 值分布介于0.01~12.23 mg/g,平均值分布介于0.68~2.91 mg/g; I_H 分布介于30~171 mg/g,平均值介于64~94 mg/g; I_O 分布介于5~366 mg/g,平均值介于16~154 mg/g,整体表现为III型成熟烃源岩特征。麦盖

提斜坡上皮山北2井暗色泥岩的实测 T_{max} 主要分布介于441~460℃,平均温度为453℃,属于高成熟烃源岩; S_1+S_2 值分布介于0.03~1.61 mg/g,平均值为0.79 mg/g; I_H 分布介于34~66 mg/g,平均值为49 mg/g; I_O 分布介于2~82 mg/g,平均值为29 mg/g。综上所述,由于演化程度较高,研究区 S_1+S_2 等值均低于巴楚隆起的烃源岩参数^[24-26](表3)。

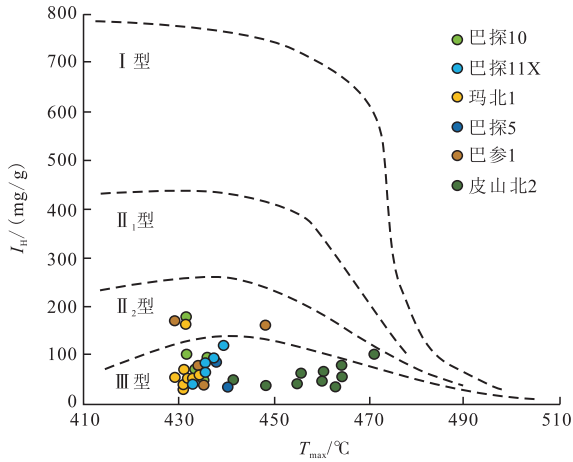
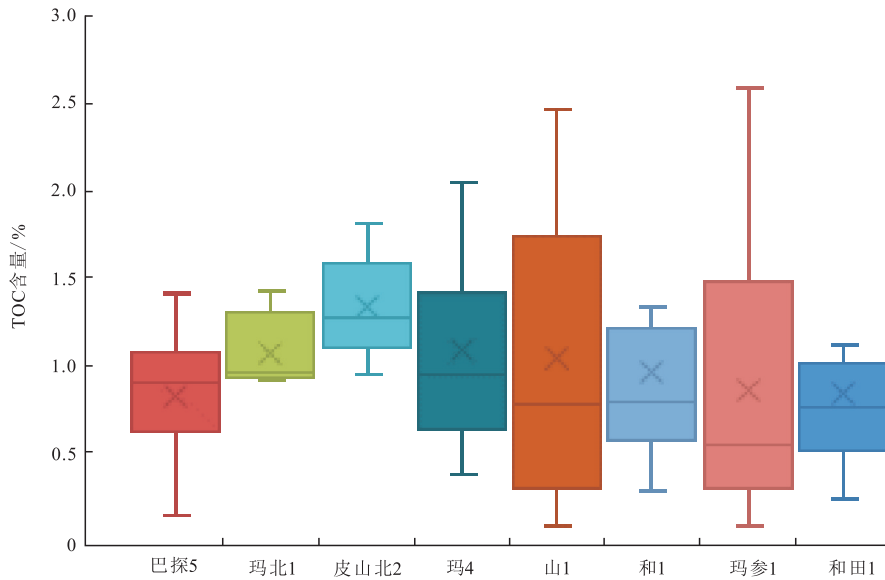


图4 塔西南地区石炭系卡拉沙依组暗色泥岩干酪根类型
Fig. 4 Kerogen type discrimination chart of dark mudstone of carboniferous Karashayi Formation in southwestern Tarim

表2 塔西南地区重点钻井石炭系卡拉沙依组烃源岩 TOC 统计

Table 2 TOC statistics of Carboniferous Kalashayi Formation source rocks in southwestern Tarim Basin

井名	TOC 含量/%			样品数量/个
	最大值	最小值	平均值	
巴探5	1.42	0.15	0.84	23
玛北1	1.43	0.93	1.08	4
皮山北2	1.83	0.95	1.34	5
玛4	2.06	0.38	1.10	18
山1	2.48	0.09	1.05	16
和1	1.35	0.29	0.97	18
玛参1	2.59	0.09	0.87	34
和田1	1.13	0.25	0.86	20



注: 顶底为最大值和最小值; 箱状为主要数据范围; x 号为众数值; 横线为平均值。

图5 塔西南石炭系卡拉沙依组暗色泥岩 TOC 含量箱状图

Fig. 5 Boxplot of TOC content in dark mudstone of Carboniferous Karashayi Formation in southwestern Tarim Basin

表3 塔西南地区重点钻井石炭系卡拉沙依组烃源岩热解参数

Table 3 Pyrolysis parameters of Carboniferous Kalashayi Formation source rocks in southwestern Tarim Basin

井号/剖面	岩性	井深/m	样品数量	$(S_1+S_2)/(mg/g)$		$T_{max}/^{\circ}C$		$I_H/(mg/g)$		$I_O/(mg/g)$	
				最大值 ~ 最小值	平均值	最大值 ~ 最小值	平均值	最大值 ~ 最小值	平均值	最大值 ~ 最小值	平均值
棋盘	灰黑色泥岩	露头	7	0.01 ~ 0.49	0.11	320 ~ 544	483	5 ~ 44	19	50 ~ 356	163
昔力必里	灰黑色灰质泥岩	露头	4	0 ~ 0.02	0.01	294 ~ 522	435	0 ~ 1	0	26 ~ 59	50
阿尔塔什	灰黑色含灰质泥岩	露头	6	0 ~ 0.15	0.03	445 ~ 509	481	0 ~ 20	6	45 ~ 380	239
巴探10	暗色泥岩	2 212 ~ 2 300	6	0.02 ~ 12.23	2.91	431 ~ 436	434	52 ~ 171	94	5 ~ 43	16
巴探11X	暗色泥岩	4 366 ~ 4 400	4	0.03 ~ 1.62	0.90	432 ~ 439	435	38 ~ 118	73	37 ~ 366	154
玛北1	暗色泥岩	2 860 ~ 3 113	11	0.01 ~ 1.86	0.68	429 ~ 434	432	30 ~ 163	64	11 ~ 127	33
皮山北2	暗色泥岩	5 923 ~ 6 100	6	0.03 ~ 1.61	0.79	441 ~ 460	453	34 ~ 66	49	2 ~ 82	29

注: S_1+S_2 为生烃潜量, 单位 mg/g; T_{max} 为最大热解温度, 单位 $^{\circ}C$; I_H 为氢指数, 单位 mg/g; I_O 为氧指数, 单位 mg/g。

4 烃源岩埋藏史—热史

巴楚隆起卡拉沙依组烃源岩 R_o 值分布介于0.7%~1.0%,处于成熟演化阶段;麦盖提斜坡卡拉沙依组烃源岩 R_o 值分布介于1.0%~2.0%,处于高成熟—过成熟阶段;塔西南坳陷卡拉沙依组烃源岩 R_o 值基本超过2.0%,处于过成熟阶段(图6)。

由于巴楚—麦盖提地区古隆起差异空间演化造成了该地区沉降、埋藏史差异,导致了石炭系烃源岩生烃史差异。加里东早期—海西早期,该地区整体上呈南高北低,剥蚀量介于100~300 m;海西中期—印支期,该地区转变为南北高,中间低,剥蚀量介于0~400 m;燕山期—喜山期早期,整体表现为东北高,西南低;喜山运动中晚期,“巴楚隆起和麦盖提斜坡”形成现今格局,剥蚀量介于2 000~3 500 m。

针对二次生烃有利区域,计算研究区内烃源岩的生

烃强度:

$$q = h\rho k\omega(\text{TOC})10^6 \quad (1)$$

式中: q 为生烃强度,单位 $10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$; h 为烃源岩的平均厚度,单位m; ρ 为烃源岩密度,单位 t/m^3 ; k 为现今演化阶段下烃源岩的产烃率,单位 m^3/t ; $\omega(\text{TOC})$ 为烃源岩的残余有机碳含量,%。

研究区内,石炭系卡拉沙依组烃源岩中煤层密度一般取 $1.3 \text{ g}/\text{cm}^3$,泥岩密度一般取 $2.4 \text{ g}/\text{cm}^3$,山前带暗色泥岩的厚度介于100~200 m,巴楚隆起—麦盖提斜坡烃源岩厚度介于50~150 m。通过计算,喀什、叶城和和田河一带生烃强度最高,基本超过 $15 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$,麦盖提斜坡带生烃强度略低,介于 $(5 \sim 15) \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ (图7)。

5 烃源岩综合评价

研究综合分析了石炭系烃源岩的有机碳、成熟度和沉积厚度等因素,把塔西南地区石炭系烃源岩划分了两

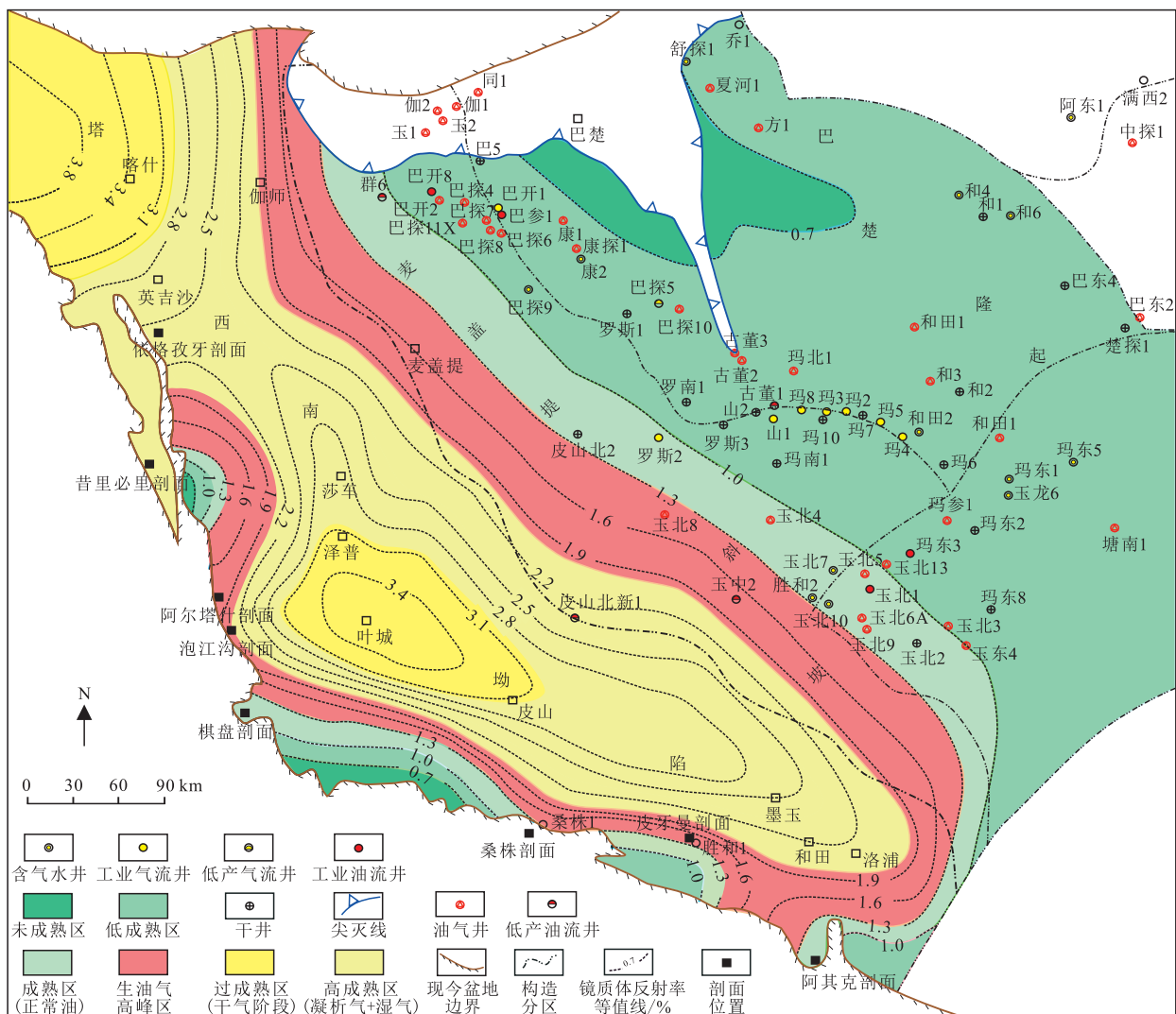


图6 塔西南地区石炭系卡拉沙依组烃源岩现今 R_o 分布

Fig. 6 Current R_o distribution of carboniferous Kalashay Formation source rock in southwestern Tarim Basin

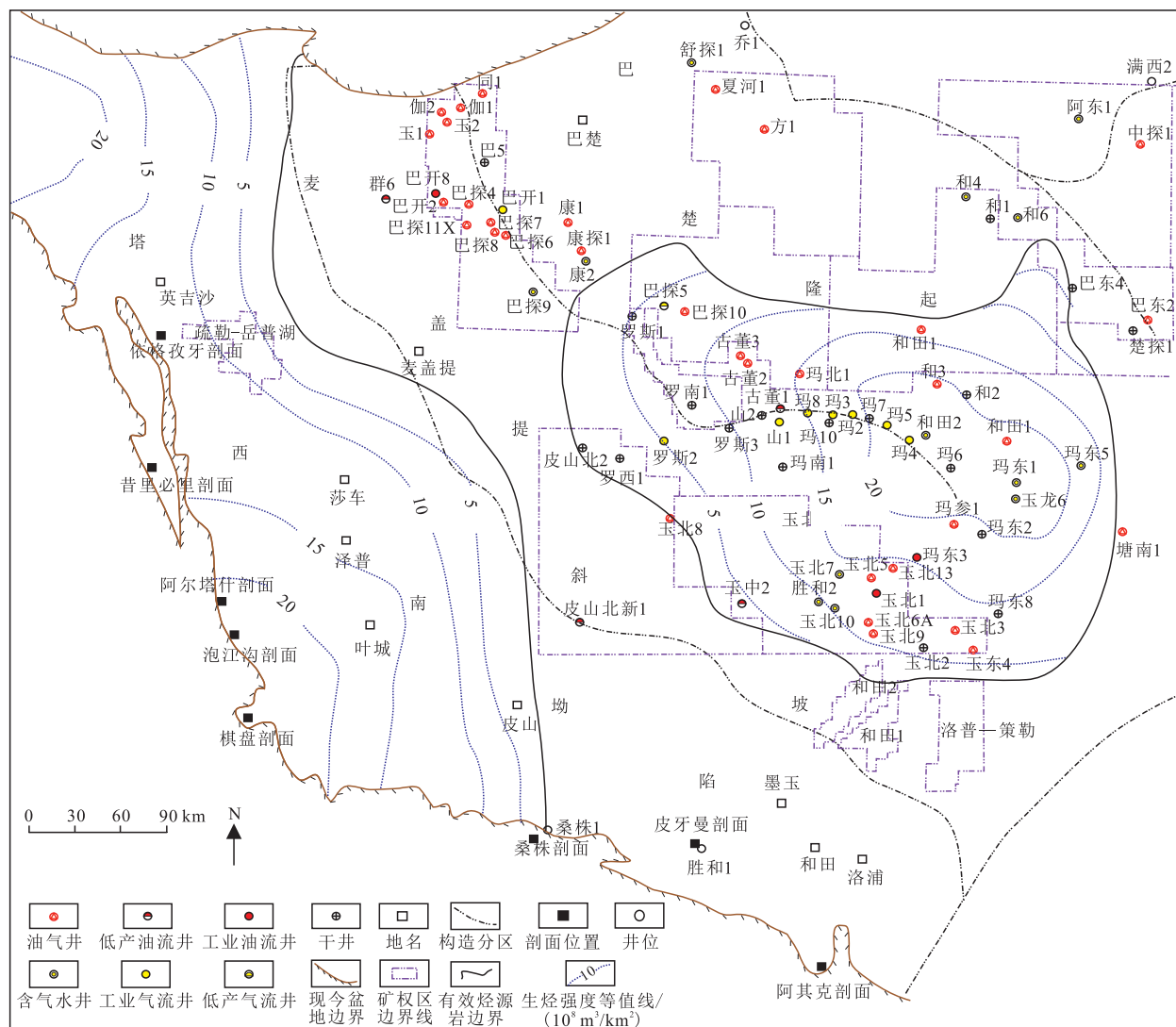


图7 塔西南地区石炭系卡拉沙依组烃源岩生烃强度分布

Fig. 7 Generation intensity of distribution carboniferous Kalashay Formation source rock in southwestern Tarim Basin

类有效区(图8): I类有利区主要分布在塔西南地区西部边缘,石炭系烃源岩为浅海陆棚相沉积,沉积中心在叶城凹陷,厚度分布介于160~320 m,沉积厚度大,TOC含量介于1.0%~3.4%,有机质丰度高,干酪根类型主要为I型,为典型的海相优质烃源岩,热演化程度高,目前基本处于湿气—干气阶段,喜山期仍然排烃;II类有利区主要分布在玉北东北部,为潟湖相沉积,烃源岩厚度介于100~160 m,厚度较大,TOC含量介于1.0%~2.0%,有机质丰度较高,干酪根类型主要为III型,以生气为主,喜山期开始进入规模生烃阶段,目前正处于成熟—高成熟演化阶段。

6 结论

1) 石炭系卡拉沙依组发育潮坪潟湖相和深水陆棚

相2套烃源岩,前者主要分布于巴楚隆起和麦盖提斜坡区,后者分布在塔西南坳陷,沉积中心在叶城凹陷。

2) 从干酪根类型、TOC、 R_o 等生烃指标综合分析认为,卡拉沙依组2种类型的烃源岩都达到烃源岩标准,其中,深水陆棚相烃源岩要优于潮坪潟湖相烃源岩。

3) 烃源岩层内部和近源的粉砂岩储集体中油气显示活跃,砂岩反而没有油气,表明该套烃源岩可能属于源内生烃的非常规油气藏。

4) 按照喜山期生烃范围,结合烃源岩厚度、TOC、成熟度、埋深等因素,优选了桑株西、莎车西2个I类区,玉北地区为II类有利区,提出了近源和源内油气勘探的新方向。

参考文献

[1] 贾承造. 论非常规油气对经典石油天然气地质学理论的突破及意义[J]. 石油勘探与开发, 2017, 44(1): 1-11.

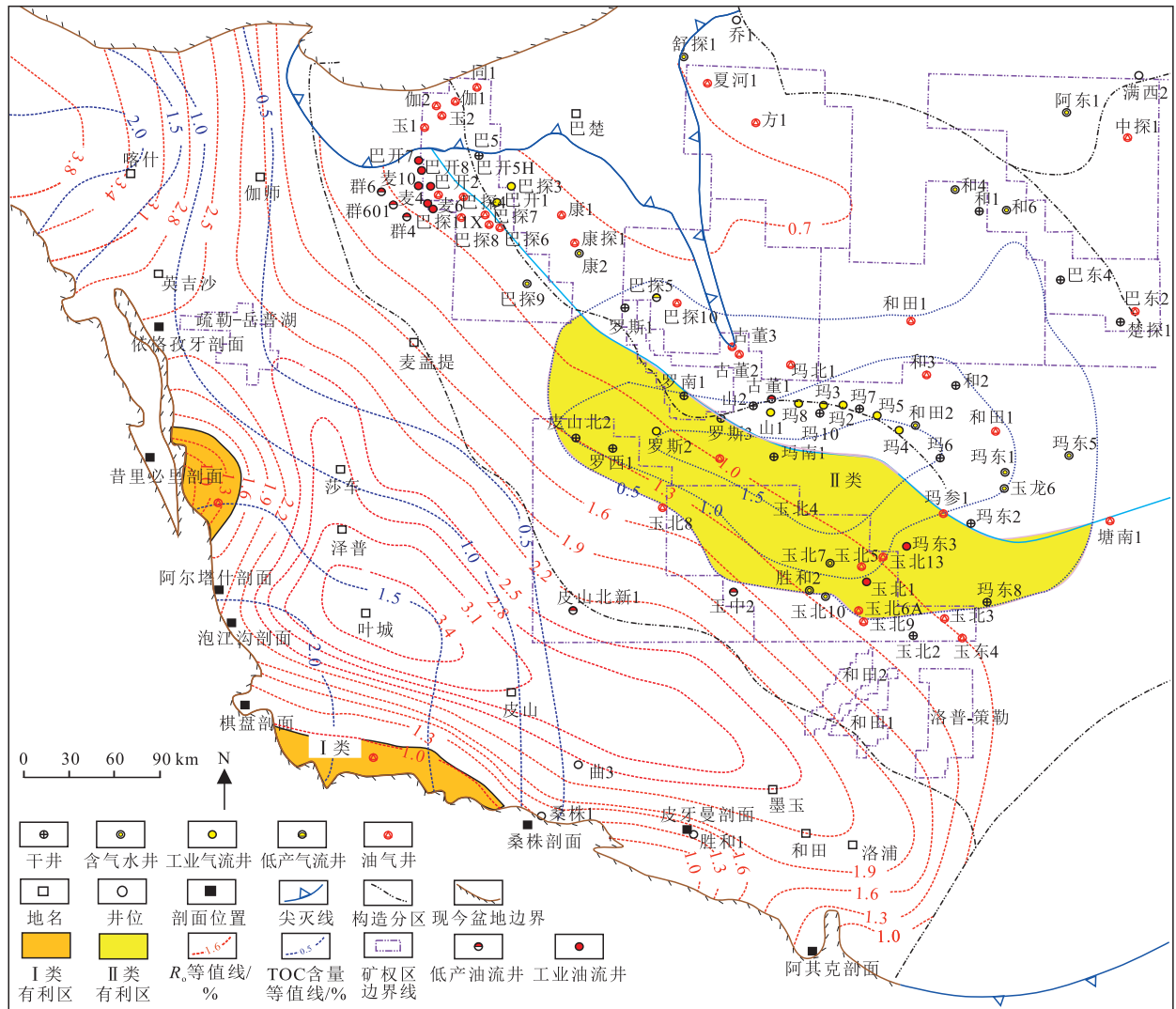


图8 塔西南地区石炭系卡拉沙依组烃源岩有利区评价

Fig. 8 Evaluation of favorable areas for hydrocarbon source rocks of Carboniferous Karashayi Formation in southwestern Tarim Basin

JIA Chengzao. Breakthrough and significance of unconventional oil and gas to classical petroleum geological theory[J]. Petroleum Exploration and Development, 2017, 44(1): 1-11.

[2] 邹才能, 董大忠, 王玉满, 等. 中国页岩气特征、挑战及前景(一)[J]. 石油勘探与开发, 2015, 42(6): 689-701.

ZOU Caineng, DONG Dazhong, WANG Yuman, et al. Shale gas in China: characteristics, challenges and prospect (I) [J]. Petroleum Exploration and Development, 2015, 42(6): 689-701.

[3] 赵文智, 董大忠, 李建忠, 等. 中国页岩气资源潜力及其在天然气未来发展中的地位[J]. 中国工程科学, 2012, 14(7): 46-52.

ZHAO Wenzhi, DONG Dazhong, LI Jianzhong, et al. The resource potential and future status in natural gas development of shale gas in China[J]. Strategic Study of CAE, 2012, 14(7): 46-52.

[4] 董大忠, 高世葵, 黄金亮, 等. 论四川盆地页岩气资源勘探开发前景[J]. 天然气工业, 2014, 34(12): 1-15.

DONG Dazhong, GAO Shikui, HUANG Jinliang, et al. A discussion on the shale gas exploration & development prospect in the Sichuan Basin[J]. Nature Gas Industry, 2014, 34(12): 1-15.

[5] 张金川, 杨超, 陈前, 等. 中国潜质页岩形成和分布[J]. 地学前沿, 2016, 23(1): 74-86.

ZHANG Jinchuan, YANG Chao, CHEN Qian, et al. Deposition and distribution of potential shales in China[J]. Earth Science Frontiers, 2016, 23(1): 74-86.

[6] 方志雄. 中国南方常压页岩气勘探开发面临的挑战及对策[J]. 油气藏评价与开发, 2019, 9(5): 1-13.

FANG Zhixiong. Challenges and countermeasures for exploration and development of normal pressure shale gas in southern China[J]. Petroleum Reservoir Evaluation and Development, 2019, 9(5): 1-13.

[7] 卢双舫, 马延伶, 曹瑞成, 等. 优质烃源岩评价标准及其应用: 以海拉尔盆地乌尔逊凹陷为例[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 2012, 37(3): 535-544.

LU Shuangfang, MA Yanling, CAO Ruicheng, et al. Evaluation criteria of high-quality source rocks and its applications: Taking the Wuexun Sag in Hailaer Basin as an example[J]. Journal of Earth Sciences (Acta of China University of Geosciences), 2012, 37(3): 535-544.

[8] 贾承造. 中国石油工业上游前景与未来理论技术五大挑战[J]. 石油学报, 2024, 45(1): 1-14.

- JIA Chengzao. Prospects and five future theoretical and technical challenges of the upstream petroleum industry in China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2024, 45(1): 1-14.
- [9] 田雷, 崔海峰, 刘军, 等. 塔西南坳陷早、中寒武世岩相古地理格局分析[J]. *东北石油大学学报*, 2016, 40(6): 18-25.
TIAN Lei, CUI Haifeng, LIU Jun, et al. Analysis on the paleogeographic framework of the early-middle Cambrian in southwest depression of Tarim Basin[J]. *Journal of Northeast Petroleum University*, 2016, 40(6): 18-25.
- [10] 韩睿. 塔西南地区阿尔塔什剖面石炭系混合沉积及层序地层研究[D]. 桂林: 桂林理工大学, 2023.
HAN Rui. Mixed deposition and sequence stratigraphy of Carboniferous in Altash section, southwestern Tarim Basin[D]. Guilin: Guilin University of technology, 2023.
- [11] 崔海峰, 田雷, 刘军, 等. 塔西南坳陷麦盖提斜坡油气成藏模式[J]. *中国石油勘探*, 2016, 21(6): 34-42.
CUI Haifeng, TIAN Lei, LIU Jun, et al. Hydrocarbon accumulation pattern of reservoirs in Maigaiti Slope, Southwest Tarim depression[J]. *China Petroleum Exploration*, 2016, 21(6): 34-42.
- [12] 程晓敢, 黄智斌, 陈汉林, 等. 西昆仑山前冲断带断裂特征及构造单元划分[J]. *岩石学报*, 2012, 28(2): 2591-2601.
CHENG Xiaogan, HUANG Zhibin, CHEN Hanlin, et al. Fault characteristics and division of tectonic units of the thrust belt in the front of the West Kunlun Mountains[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2012, 28(2): 2591-2601.
- [13] 王清华, 杨海军, 李勇, 等. 塔西南山前地区恰探1井石炭系一二叠系重大突破与勘探前景[J]. *中国石油勘探*, 2023, 28(4): 34-45.
WANG Qinghua, YANG Haijun, LI Yong, et al. Major breakthrough in the Carboniferous-Permian in Well Qiatan 1 and exploration prospect in the piedmont southwestern Tarim Basin[J]. *China Petroleum Exploration*, 2023, 28(4): 34-45.
- [14] 廖晓, 王震亮, 范昌育, 等. 低勘探程度地区烃源岩综合评价——以塔里木盆地西南坳陷石炭系烃源岩为例[J]. *西北大学学报(自然科学版)*, 2018, 48(2): 261-267.
LIAO Xiao, WANG Zhenliang, FAN Changyu, et al. The comprehensive evaluation of source rock in low-exploration area: A case study on the Carboniferous source rock in southwest Sag of Tarim Basin[J]. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 2018, 48(2): 261-267.
- [15] 刘高波, 施泽进, 余晓宇. 巴楚-麦盖提的区域构造演化与油气分布规律[J]. *成都理工大学学报(自然科学版)*, 2004, 31(2): 157-161.
LIU Gaobo, SHI Zejin, SHE Xiaoyu. Regional tectonic evolution and distribution of Bachu-Markit[J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 2004, 31(2): 157-161.
- [16] 方爱民, 马建英, 王世刚, 等. 西昆仑-塔西南坳陷晚古生代以来的沉积构造演化[J]. *岩石学报*, 2009, 25(12): 3396-3406.
FANG Aimin, MA Jianying, WANG Shigang, et al. Sedimentary tectonic evolution of the southwestern Tarim Basin and west Kunlun orogen since Late Paleozoic[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2009, 25(12): 3396-3406.
- [17] 郭齐军, 赵省民. 塔河地区石炭系沉积特征[J]. *石油与天然气地质*, 2002, 23(1): 99-102.
GUO Qijun, ZHAO Xingmin. Depositional characteristics of carboniferous in Tahe region[J]. *Oil & Gas Geology*, 2002, 23(1): 99-102.
- [18] 刘占红, 陈荣, 宋成兵, 等. 塔里木盆地石炭系卡拉沙依组旋回地层与层序地层综合研究[J]. *地球科学(中国地质大学学报)*, 2012, 37(5): 1051-1065.
LIU Zhanhong, CHEN Rong, SONG Chengbing, et al. Cyclostratigraphy and sequence stratigraphy on Carboniferous Karashayi Formation of Tarim Basin, China[J]. *Journal of Earth Sciences (Acta of China University of Geoscience)*, 2012, 37(5): 1051-1065.
- [19] 韩睿, 张尚锋, 罗顺社, 等. 碎屑岩与碳酸盐岩混合沉积模式——以新疆塔西南地区上石炭统卡拉乌依组为例[J]. *断块油气田*, 2023, 30(2): 269-276.
HAN Rui, ZHANG Shangfeng, LUO Shunshe, et al. Mixed sedimentary model of clastic rocks and carbonate rocks: A case study of Karawuyi Formation of Upper Carboniferous in southwest Tarim, Xinjiang[J]. *Fault-Block Oil & Gas Field*, 2023, 30(2): 269-276.
- [20] 巩高阳, 张尚锋, 罗顺社, 等. 塔里木盆地西南缘生物礁特征——以阿尔塔什剖面石炭系和什拉甫组为例[J]. *海洋地质前沿*, 2023, 39(4): 66-75.
GONG Gaoyang, ZHANG Shangfeng, LUO Shunshe, et al. Characteristics of Carboniferous reef in Heshilafu Formation at Altash section in the southwestern margin of Tarim Basin[J]. *Marine Geology Frontiers*, 2023, 39(4): 66-75.
- [21] 德勒达零, 穆哈泰. 塔西南坳陷石炭一二叠纪沉积与古地理特征的关系[J]. *新疆石油学院学报*, 2000, 12(3): 4-8.
DILIDAI, MUHATA. Study the relationship between depositional characteristics and paleogeographical features in Carboniferous-Permian of southwestern Tarim Basin[J]. *Journal of Xinjiang Petroleum Institute*, 2000, 12(3): 4-8.
- [22] 廖晓. 塔里木盆地西南坳陷中生代构造演化特征及对油气成藏的控制作用[D]. 西安: 西北大学, 2019.
LIAO Xiao. Meso-Cenozoic tectonic evolution characteristics and its controlling effects on hydrocarbon accumulation in the Southwest Depression of Tarim Basin[D]. Xi'an: Northwest University, 2019.
- [23] 刘军, 田雷, 杨丽莎, 等. 塔里木盆地塔西南坳陷古生界成藏条件特殊性与油气勘探意义[J]. *天然气工业*, 2023, 43(9): 61-72.
LIU Jun, TIAN Lei, YANG Lisha, et al. Particularity of Paleozoic Hydrocarbon Accumulation Conditions in the Southwest Tarim Depression and its implications for petroleum exploration[J]. *Natural Gas Industry*, 2023, 43(9): 61-72.
- [24] 曾昌民, 张亮, 雷刚林, 等. 塔西南坳陷烃源岩生标特征对比及沉积环境指示意义[J]. *新疆地质*, 2011, 29(3): 319-323.
ZENG Changmin, ZHANG Liang, LEI Ganglin, et al. Biomarkers characteristics of source rocks of southwest Tarim Depression and its signification for sedimentary environment[J]. *Xinjiang Geology*, 2011, 29(3): 319-323.
- [25] 胡健, 王铁冠, 陈建平, 等. 塔西南坳陷周缘原油地球化学特征与成因类型[J]. *石油学报*, 2015, 36(10): 1221-1233.
HU Jian, WANG Tieguan, CHEN Jianping, et al. Geochemical characteristics and origin patterns of oils in periphery of southwestern Tarim Basin[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2015, 36(10): 1221-1233.
- [26] 徐兴友, 张林晔, 陈致林, 等. 塔西南胜利探区和参1井天然气来源[J]. *特种油气藏*, 2003, 11(3): 47-49.
XU Xingyou, ZHANG Linhua, CHEN Zhilin, et al. Natural gas source in Hecan 1 of southwest Tarim Basin[J]. *Special Oil and Gas Reservoirs*, 2003, 11(3): 47-49.