

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2020.01.015

塔里木盆地西南坳陷二叠系页岩油气地质条件分析

侯啓东^{1,2}, 任收麦^{3*}, 郭天旭², 周志², 金继浩¹, 王浩^{1,2}, 刘一珉^{1,2}

(1. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083; 2. 中国地质调查局油气资源调查中心, 北京 100083; 3. 中国地质调查局, 北京 100037)

摘 要:二叠系泥页岩是塔里木盆地西南坳陷重要的烃源岩层系, 阿克莫木、柯克亚、柯东 1、杜瓦等地区或钻井的油气均源自二叠系, 然而其页岩油气地质条件研究鲜见报道。笔者在分析研究区构造和沉积发育及其演化特征的基础上, 重点研究了二叠系泥页岩的厚度、分布、地球化学和储层特征等页岩油气地质条件, 探讨了构造、沉积与泥页岩生烃之间的演化关系, 研究结果表明: ①塔西南坳陷二叠系泥页岩累计厚度介于 50~400 m, 主要分布在叶城凹陷和田凹陷, 沉积环境以浅海陆棚相和海陆过渡相为主, 第四纪喜山运动对二叠系泥页岩的生烃演化具有重要的促进作用。②塔西南坳陷二叠系泥页岩具有良好的页岩气生成和储集条件, 是塔里木盆地页岩气勘查的潜在层系; 叶城凹陷和田凹陷是塔西南坳陷页岩油气勘查的有利区, 需进一步加强钻探验证工作。

关键词:塔西南坳陷; 二叠系; 页岩油气; 地质条件; 有利区

中图分类号: P618.13

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2020)01-0168-10

Analysis of Geological Conditions of Permian Shale Oil and Gas in the Southwestern Depression of the Tarim Basin, Northwest China

HOU Qidong^{1,2}, REN Shoumai³, GUO Tianxu², ZHOU Zhi², JIN Jihao¹, WANG Hao^{1,2}, LIU Yimin^{1,2}

(1. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Oil & Gas Survey, China Geological Survey, Beijing 100083, China; 3. China Geological Survey, Beijing 100037, China)

Abstract: Permian shale is an important source rock in the depression of southwestern Tarim Basin. Oil and gas from such fields as Akemomu, Kekeya, Kedong1 and Duwa1 are originated from the Permian system, while research on its shale geological conditions is rarely reported. Based on the comprehensive analysis of the tectonic and sedimentary development and its evolution characteristics, the authors focused on the thickness, distribution, geochemistry and reservoir characteristics of the Permian shale, and also discussed the coupling relationship between evolution of tectonic, sedimentary and hydrocarbon generation. The results show that the accumulated thickness of Permian shale is between 50 and 400 m, mainly distributed in Yecheng sag and Hetian sag with shallow sea shelf facies and sea-land transitional facies. The Quaternary Himalayan move-

收稿日期: 2019-10-25; **修回日期:** 2019-11-28

基金项目: 十三五国家科技重大专项“大型油气田及煤层气开发”下设子任务“不同类型页岩气资源评价参数体系研究”(2016ZX05034002), 中国地质调查局地质调查项目“南方页岩气资源潜力评价”(DD20160181)

作者简介: 侯啓东(1995-), 男, 在读硕士生, 主要从事页岩气调查评价工作。E-mail: houqidong123@outlook.com

*** 通讯作者:** 任收麦(1973-), 男, 博士, 研究员, 主要从事构造地质和页岩气调查评价工作。E-mail: realshaw@vip.sina.com

ment plays an important role in promoting the hydrocarbon generation of the Permian shale. Comprehensive analysis suggests that the Permian shale in the southwestern Tarim depression has good conditions of shale gas generation and reservoir, and is the potential stratum shale gas exploration. The Yecheng sag and Hetian sag are favorable for shale oil and gas exploration, which needs to be further drilled and verified.

Keywords: Southwest depression in Tarim Basin; Permian; shale oil and gas; geological conditions; potential area

塔里木盆地西南坳陷具有丰富的油气资源,勘探潜力巨大,是塔里木盆地重要的油气资源勘探开发区(康玉柱等,2018)。自1997年开始在叶城凹陷发现柯克亚凝析油气田之后,本地区陆续发现喀什凹陷的阿克莫木、叶城凹陷的柯东1油藏和田凹陷的胜和1井等多个油气田和高产油气井,探明石油地质储量为 $3\,237.02\times 10^4\text{ t}$,探明天然气地质储量为 $1\,020.57\times 10^8\text{ m}^3$ 。2010年柯东1井于白垩系砂岩获高产工业油气流,是塔西南地区30多年来的首次重大突破(何登发等,2013)。

前人对比研究了塔西南地区二叠系烃源岩和柯克亚油田原油中的生物标志物特征、库车坳陷与塔西南坳陷油气地质特征和油气来源差异性,认为二叠系泥页岩是柯克亚油田和塔西南山前带的主力烃源岩(肖中尧等,2002;邢厚松等,2012;何登发等,2013),和田凹陷普司格组具有较好的生烃潜力(王静杉等,2007)。烃源岩热演化及生烃史模拟显示,新近纪以来塔西南叶城凹陷内部有大规模油气生成和排出(郑涛等,2013)。前人研究表明,塔西南坳陷二叠系泥页岩具有良好的生油气前景,但勘探程度相对较低,尤其是以非常规勘查思路对二叠系泥页岩的研究鲜见报道。笔者在分析研究区构造和沉积发育及其演化特征的基础上,重点研究了二叠系泥页岩的厚度、分布、地球化学和储层特征等页岩油气地质条件,探讨了构造、沉积与泥页岩生烃之间的耦合关系,以期提出塔西南坳陷二叠系页岩油气勘查有利区。

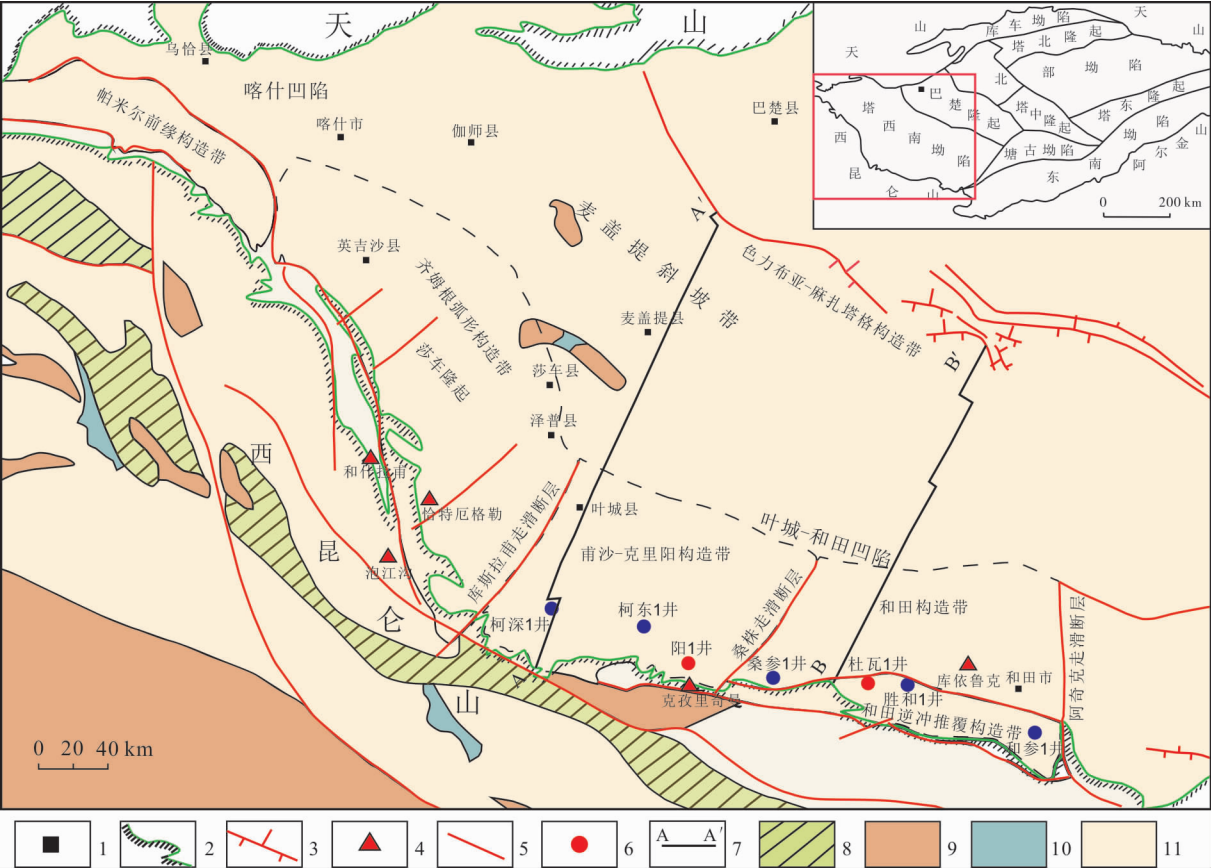
1 区域地质概况

塔西南坳陷位于塔里木盆地的西南部,是盆地的一级构造单元,北东方向延伸至色力布亚-麻扎塔格构造带,西南至西昆仑山构造带北东边缘,面积约为 $12.5\times 10^4\text{ km}^2$,是下部古生界与上部中生界相叠置的复合型前陆坳陷(图1)。受北部库斯拉甫

逆断裂和南部西昆仑山前的康西瓦逆断裂控制,塔西南坳陷具有“南北分带、东西分段”的特点,自西向东可划分为帕米尔前缘构造带、齐姆根弧形构造带、甫沙-克里阳构造带、和田构造带及其南部的和田逆冲推覆构造带,自北向南包括麦盖提斜坡带、喀什凹陷和叶城-和田凹陷(康玉柱,2009;何登发等,2013)。

塔西南坳陷发育寒武纪、奥陶纪、志留纪、泥盆纪、石炭纪、二叠纪、古近纪和新近纪地层,缺失中生代地层。早古生代地层主要发育在西昆仑山裸露区和盆地覆盖区,下部岩性为一套海相沉积的厚层白云岩,上部岩性为泥岩与砂岩互层、中层灰岩。泥盆系也主要发育在西昆仑山裸露区和盆地覆盖区,地层沉积厚度较小,岩性为一套浅海相沉积的厚层粉砂岩。石炭系和二叠系主要发育在西昆仑山裸露区和叶城-和田凹陷,石炭系岩性为一套海相沉积的粉砂岩、灰色块状灰岩和深灰色泥岩与中粒砂岩互层,下二叠统为克孜里奇曼组,岩性主要为灰色厚层块状灰岩、泥质粉砂岩,最大厚度达450 m;中上二叠统为普司格组(棋盘组),岩性主要为暗色泥页岩、砂质和灰质泥页岩,自西向东厚度减薄,沉积厚度约500~1 500 m。新生代地层在盆地及周缘造山带广泛发育,古近系岩性为河流-浅湖相沉积的土黄色泥岩、浅黄色细砂岩和浅黄色泥岩互层和白云岩,新近系岩性为河流相沉积的灰色粉砂岩和褐红色泥岩(图2)。寒武系、奥陶系和二叠系是塔西南坳陷的三套主力烃源岩。

研究区位于塔西南坳陷的叶城-和田凹陷,二叠系整体保存较好,为页岩气保存提供了基础(陈汉林等,2018)。通过野外剖面观察与实地测量,叶城凹陷棋盘组泥页岩在和什拉甫剖面厚187 m,恰特厄格勒剖面厚125 m,炮江沟剖面厚120 m;和田凹陷普司格组泥页岩在阳1井、杜瓦1井等多口井钻揭显示平均厚度约为120~300 m,其中阳1井最厚达467 m,二者有可能是该区主力烃源岩。



1. 地名;2. 造山带边界;3. 逆断层;4. 野外剖面;5. 断裂;6. 井位;7. 剖面线;8. 寒武-泥盆系;9. 石炭-二叠系;10. 侏罗-白垩系;11. 中-新生界

图 1 塔里木盆地西南坳陷地质图

Fig. 1 Geological map of the southwestern depression of the Tarim Basin

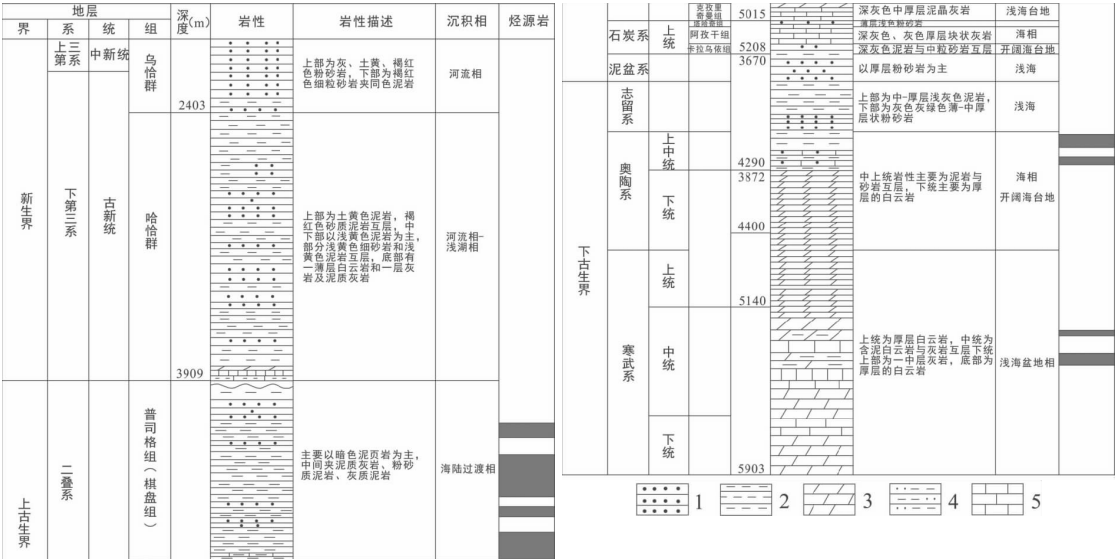


图 2 塔西南坳陷地层综合柱状图

Fig. 2 Stratigraphic column in the southwestern depression of the Tarim Basin

2 样品采集和测试分析

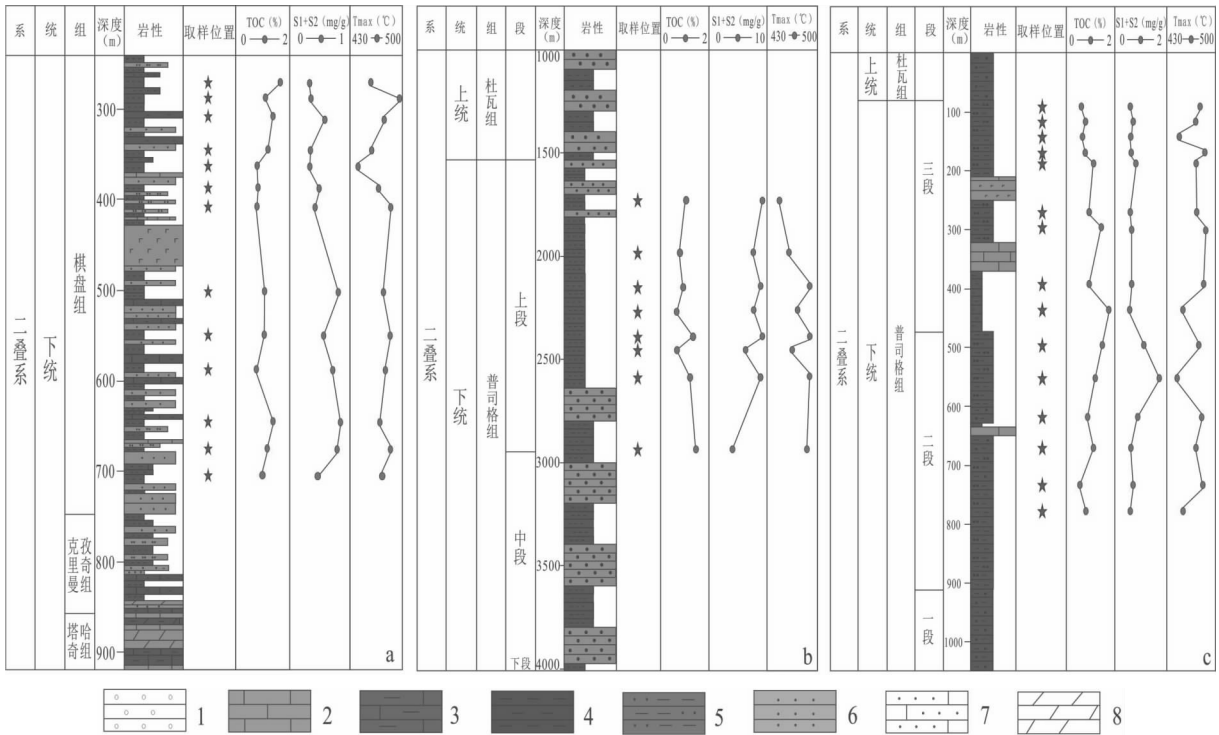
本次研究在塔西南坳陷炮江沟剖面、阳 1 井和杜瓦 1 井采集 36 个泥页岩样品用于有机地球化学和岩石矿物学特征分析。有机地化样品测试在长江大学地球化学实验室完成,总有机碳检测仪器为美国力可公司生产的 CS-230 碳硫分析仪,检测方法依据 GB/T 19145-2011;岩石热解检测仪器为 OGE-VI 油气评价工作站,检测方法依据 GB/T 18602-2011。岩石矿物学特征分析在中国地质调查局油气资源调查中心非常规重点实验室完成,氦离子抛光仪为德国徕卡公司生产的 Leica EM TIC3X,场发射扫描电镜仪器为德国蔡司公司生产的 Zeiss Merlin Compact,X 衍射全岩矿物检测仪器为荷兰帕纳科生产的 Panalytical X'Pert PRO MPD,检测方法依据 SY/T6201-2010。

3 测试结果分析

3.1 地球化学特征

3.1.1 有机质丰度

总有机碳含量是烃源岩丰度评价的重要指标,是衡量生烃强度和生烃量的重要参数(王祥等,2010)。36 个泥页岩样品的有机碳含量(TOC)分布在 0.51%~5.11%,平均值为 1.16%。炮江沟剖面的 TOC 平均含量最高,绝大多数样品 TOC 大于 1%,平均值为 1.26%;阳 1 井的 TOC 相对杜瓦 1 井和炮江沟剖面较低,平均值为 1.03%(图 3、图 4)。据中国湖相烃源岩有机质丰度评价标准(黄第藩等,1984),0.6%~1.0% 为中等烃源岩,大于 1.0% 为好烃源岩,该区大部分烃源岩达到中等-好烃源岩,对页岩气的生成和储集均较有利。



1. 砾岩;2. 灰岩;3. 泥质灰岩;4. 泥岩;5. 砂质泥岩;6. 砂岩;7. 灰质砂岩;8. 白云岩

a. 炮江沟剖面;b. 阳 1 井;c. 杜瓦 1 井

图 3 二叠系有机地球化学剖面图

Fig. 3 Permian organic geochemical profile map

3.1.2 有机质类型

烃源岩有机质类型是生烃特征研究中的重要内容,岩石热解分析法是判断有机质类型的主要方法

之一。氢指数和 $T_{\max}$ (热解峰温)图版投影表明,二叠系泥页岩炮江沟剖面样品有机质类型主要为 II 型干酪根,其中大部分样品主要为 II₂ 型,部分为 III 型

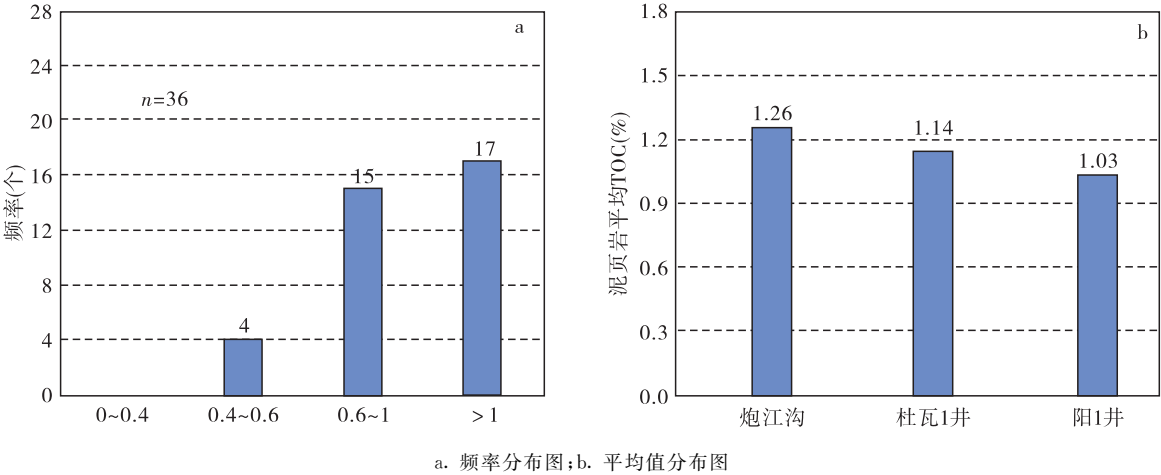


图 4 二叠系泥岩样品 TOC 分布直方图

Fig. 4 TOC distribution histogram of Permian mudstone samples

干酪根;杜瓦 1 井和阳 1 井样品有机质类型主要为Ⅲ型干酪根,少数为Ⅱ₂型干酪根(图 5)。其中,二叠系棋盘组泥页岩为浅海陆棚相有机质类型以Ⅱ型干酪根为主,混有部分Ⅲ型干酪根,普司格组泥页岩为湖相,有机质类型以Ⅲ型干酪根为主,部分为Ⅱ₂型干酪根,有机质类型较好,可作为良好的页岩气储层。

响页岩气的资源潜力。36 个泥页岩样品的镜质体反射率(R_o)为 0.8%~2.0%,平均值为 1.39%(图 6),78% 的样品最大热解峰温(T_{max})数据大于 490℃,达到成熟-高成熟阶段,有机质开始进入高成熟生气阶段(图 7)。

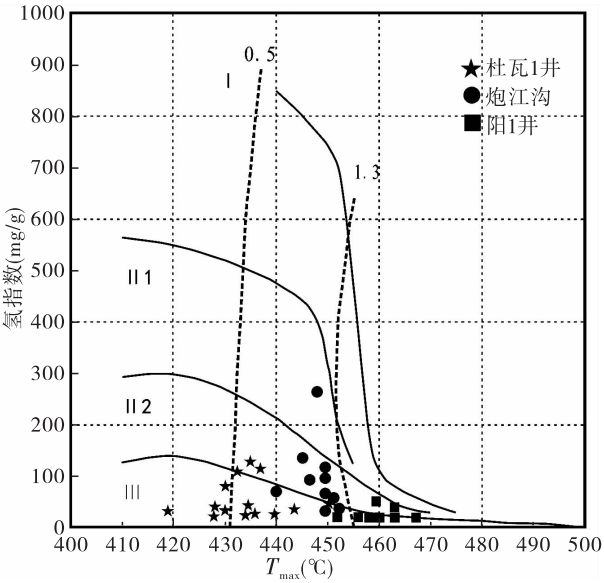


图 5 塔西南凹陷二叠系泥页岩氢指数与 T_{max} 图版

Fig. 5 Hydrogen index and T_{max} chart of Permian shale in southwestern Tarim Depression

3.1.3 有机质成熟度

页岩有机质成熟度(R_o)是页岩气成藏的主控因素之一,也是干酪根演化成熟的重要指标参数,影

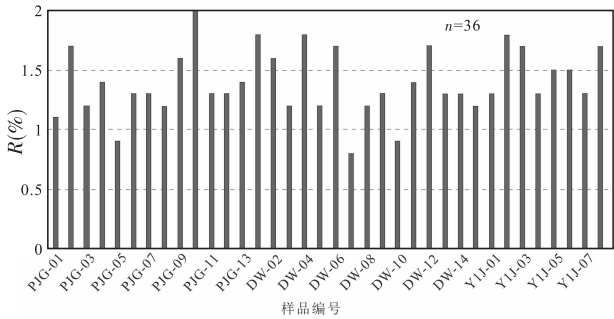


图 6 塔西南凹陷二叠系泥页岩样品有机质成熟度分布直方图

Fig. 6 Histogram of organic matter maturity distribution of Permian shale samples in the southwestern Tarim depression

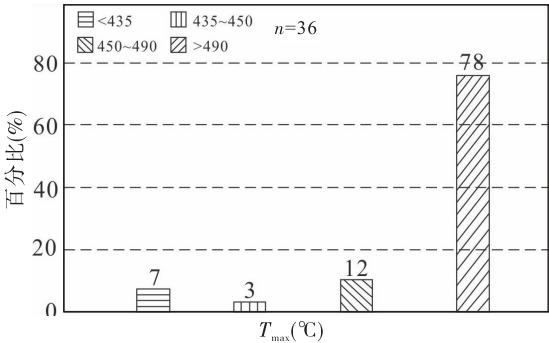


图 7 塔西南凹陷二叠系泥页岩样品最高热解峰温分布直方图

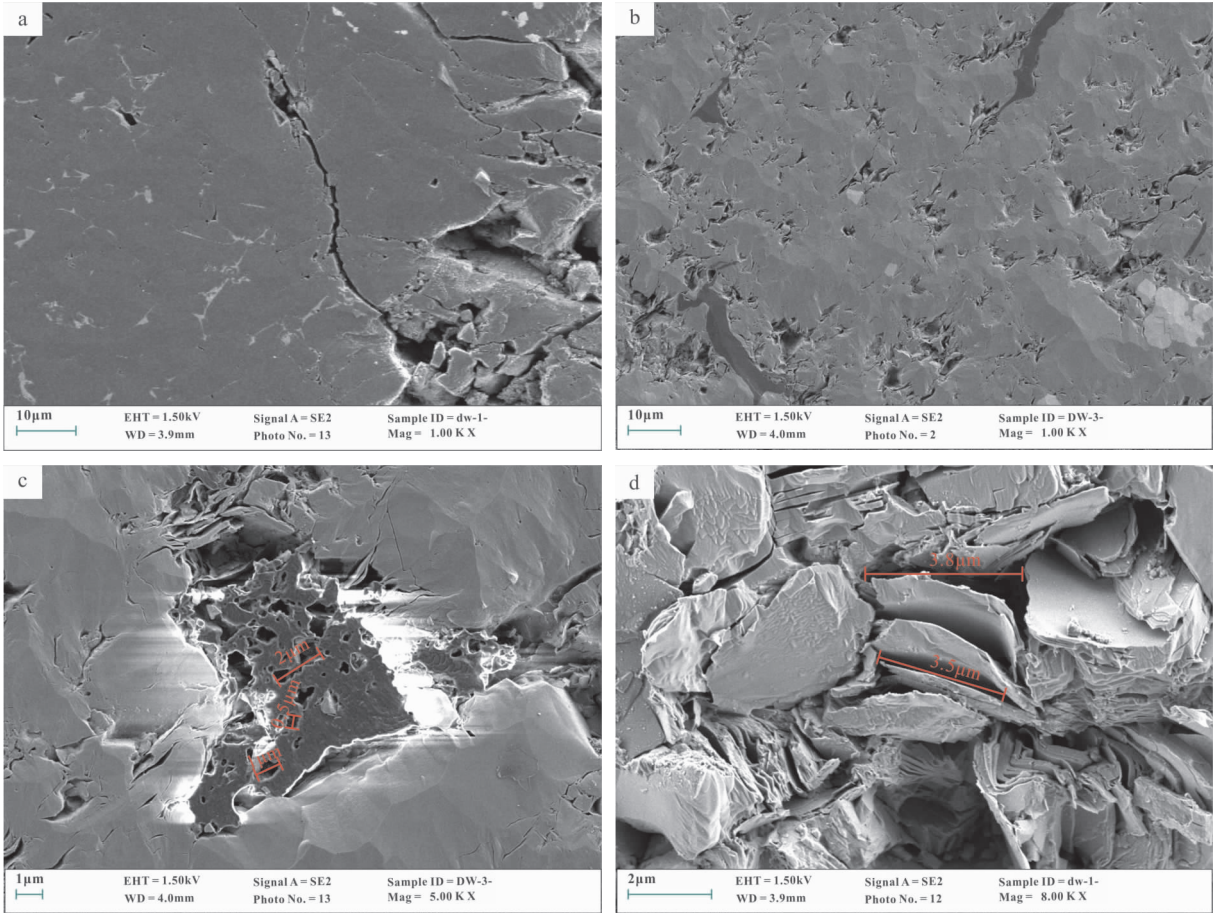
Fig. 7 Histogram of distribution maximum pyrolysis peak temperature of Permian shale in southwestern Tarim depression

3.2 页岩储层物性

3.2.1 储集空间

泥页岩的储集空间分为裂缝和孔隙 2 类,具体包括构造裂缝、层间页理缝、泥质中的微裂缝和孔隙、有机质孔隙等(JARVIE D M et al. ,2007)。通过扫描电镜研究发现,泥页岩中构造裂缝较发育,部分裂缝长度达 10 μm 以上(图 8a),杜瓦 1 井二叠系普司格组泥页岩中有机质含量高,分布广泛,约占整

个岩石 25%~30%的面积百分比(图 8b),发育有机质孔,多呈圆形、椭圆形、或不规则状,孔隙大小多数在 1 μm 以下(图 8c),其次发育黏土矿物粒间孔,呈薄片片状或纤维状,片层之间发育明显的狭缝形孔或楔形孔,孔径大小一般为 1~3 μm ,个别可达数微米(图 8d)。塔西南坳陷二叠系泥页岩发育的有机质孔和黏土矿物粒间孔为页岩气的富集提供了良好的储集空间。



a. 微裂缝(杜瓦 1 井,579.8 m,Ro:1.2);b. 有机质(杜瓦 1 井,648.2 m,Ro:1.4);c. 有机质孔(杜瓦 1 井,739 m,Ro:1.5);
d. 黏土矿物粒间孔(杜瓦 1 井,739 m,Ro:1.5)

图 8 塔西南坳陷二叠系泥页岩扫描电镜照片

Fig. 8 Scanning electron microscope image of Permian shale in the southwestern Tarim depression

3.2.2 脆性矿物含量

页岩的矿物组成在一定程度上决定了页岩产生裂缝的能力,对后期的压裂改造非常重要(LOUCKS R G et al. ,2009)。15 个二叠系泥页岩样品矿物成分主要为石英、斜长石、方解石、白云石和黏土矿物,石英含量为 16.1%~31.8%,平均为

20.8%;斜长石含量为 4.2%~9.3%,平均为 5.6%;方解石含量为 14.6%~37.6%,平均为 21.8%;白云石含量为 5.5%~19.4%,平均为 13.7%;黏土矿物含量为 12.5%~46.7%,平均为 33.5%(图 9)。全岩中石英、斜长石、方解石等脆性矿物平均质量分数为 53.3%~87.5%,平均值为

66.5%,与美国 Eagle Ford 页岩脆性矿物含量相当,利于后期压裂改造。

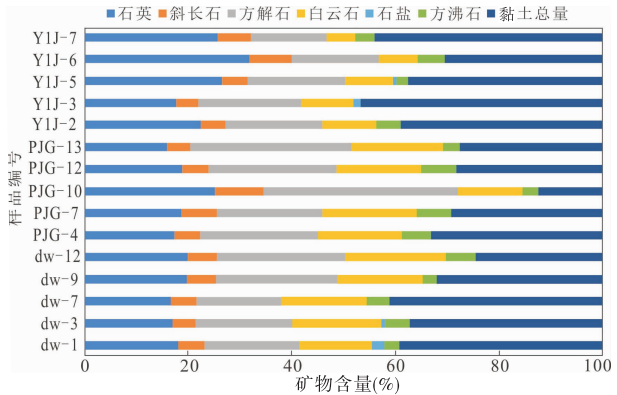


图 9 塔西南凹陷二叠系泥页岩矿物组成

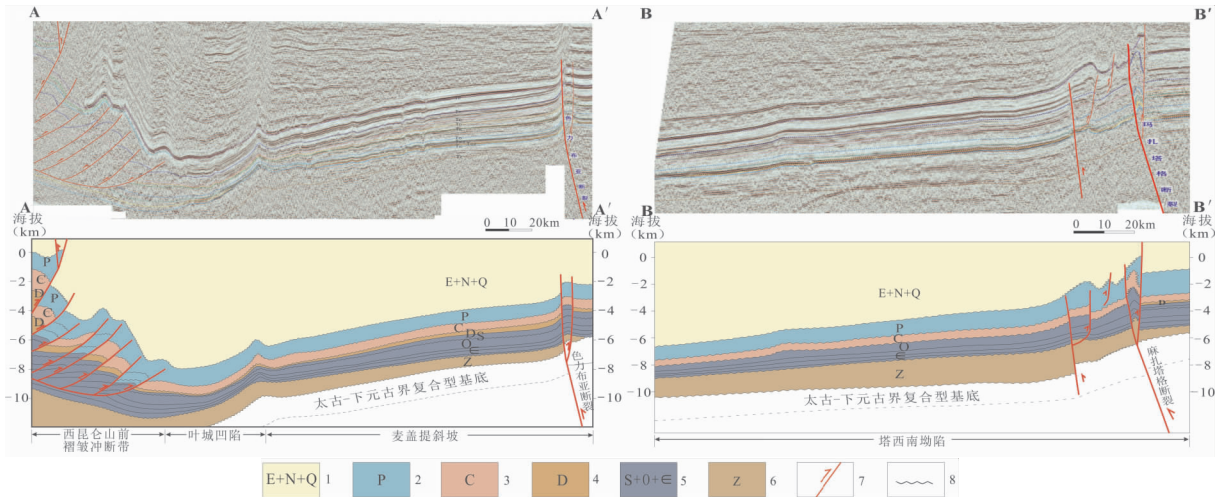
Fig. 9 Mineral composition and percentage content of Permian shale in the southwestern Tarim depression

4 讨论

4.1 构造-沉积-生烃演化特征

构造-沉积演化与页岩的生烃演化在时空上的匹配对页岩气成藏非常重要(GUO Tianxu et al., 2019)。二叠纪早期,塔西南坳陷海水入侵,由海变陆,自西向东逐渐形成以碳酸盐岩为主的台地相沉

积;中期海水逐渐从凹陷西南方向退出,台地相沉积逐渐被以暗色泥页岩和砂岩为主的海陆过渡相沉积取代;晚期受华力西运动影响(郑孟林等,2014),西昆仑山造山带向盆地逆冲推覆,二叠系泥页岩受周边构造挤压埋深增大开始生烃(图 10、图 11)。三叠纪时期,受印支运动影响,西昆仑山隆升,三叠系基本被剥蚀殆尽,二叠系泥页岩持续生烃,但生烃范围局限于叶城凹陷内(程顶胜,1998)。侏罗纪—白垩纪时期,受燕山运动区域断陷沉降控制和构造抬升作用影响,二叠系泥页岩热演化在该时期基本停滞。古近纪晚期—新近纪时期,在喜山运动影响下,西昆仑山和南天山发生强烈隆升,塔西南坳陷处于 2 个造山带同时挤压的构造环境,坳陷内二叠系地层持续沉降,埋深增大,泥页岩热演化程度逐渐增加,进入生气阶段(图 11)(郭刚等,2014)。第四纪时期,构造活动进一步加强,大规模冲断推覆作用使上覆地层沉积厚度不断增大,二叠系泥页岩在该时期进入快速演化阶段,开始大量生气,叶城-和田凹陷生气强度最大可达到 $11.05 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ (王向利等, 2010)。综上所述,喜山运动对二叠系泥页岩的生烃演化具有重要的促进作用,尤其是二叠系以来持续沉降接受连续沉积的地区有望作为页岩油气勘查的有利地区。



1. 新生代;2. 二叠系;3. 石炭系;4. 泥盆系;5. 早古生代;6. 震旦系;7. 逆冲断裂;8. 不整合

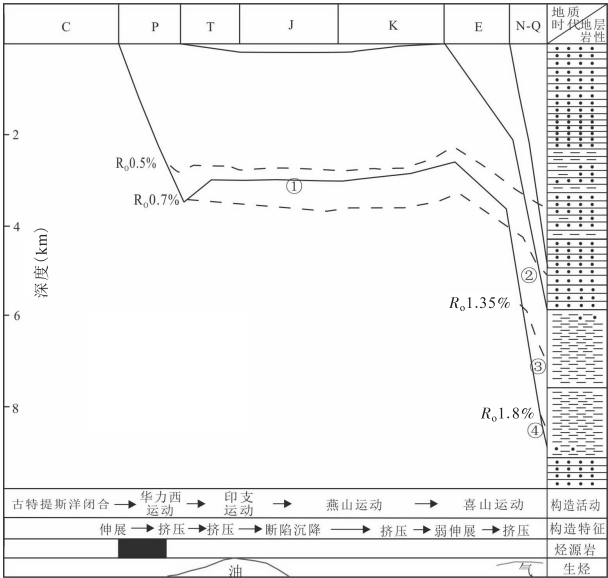
图 10 塔西南坳陷构造剖面图

Fig. 10 Structural cross section of the southwestern Tarim depression

4.2 页岩气有利区优选

与美国 Barnett 页岩、四川盆地二叠系龙潭组

和志留系—奥陶系五峰-龙马溪组、鄂尔多斯盆地二叠系山西组和太原组、山西盆地二叠系山西组和太原



①. 低成熟阶段;②. 生油阶段;③. 凝析油-湿气阶段;④. 干气阶段

图 11 塔西南坳陷东南缘二叠系烃源岩构造-沉积-生
烃演化(据郑涛等,2013;何登发等,2013 修改)

Fig. 11 History of burial and thermal evolution
of Permian source rocks

表 1 与中美典型地区页岩气地质条件对比表

Tab. 1 Contrast of shale – gas geological conditions between typical areas of China and America

地区	页岩名称	沉积相	层系	TOC(%)	Ro(%)	泥页岩厚度(m)	有机质类型	天然微裂缝	地表条件
美国	Barnett	海相	下石炭统	4.5	0.5~2.0	10~150	Ⅱ型	局部发育	前陆盆地
四川	五峰-龙 马溪组	海相	志留系-奥陶系	1.1~8.4	1.2~3.1	18~120	Ⅰ型和Ⅱ ₁ 型	局部发育	山地或丘陵
四川	龙潭组	海陆过渡相	二叠系	0.17~5.93	1.6~2.6	15~200	Ⅲ型	局部发育	盆地
鄂尔 多斯	山西组和 太原组	海陆过渡相	二叠系	0.07~9.6	2.22~3.38	13~164	Ⅰ型、Ⅱ型 和Ⅲ型	局部发育	盆地
山西	山西组和 太原组	海陆过渡相	二叠系	0.26~6.42	1.06~2.44	2~126.2	Ⅱ ₂ 型	局部发育	盆地
贵州	龙潭组	海陆过渡相	二叠系	0.53~17.3	1.57~2.66	10~50	Ⅲ型	局部发育	山地或丘陵
研究区	棋盘组 and 普司格组	海相、海陆 过渡相	二叠系	0.51~5.11	1.0~2.0	50~400	Ⅱ型和Ⅲ型	局部发育	前陆盆地

表 2 叶城凹陷和田凹陷二叠系岩性对比表

Tab. 2 Comparison of Permian lithology between Yecheng sag and Hetian sag

系	统	叶城凹陷	和田凹陷	主要岩性
二 叠 系	上统		杜瓦组 P_3d	P_3d :黄褐色泥质砂岩、粉砂质泥岩、灰质泥岩
	中统	达里约尔组 P_2d		$P_{2-3}p$:暗色泥页岩、泥质灰岩、粉砂质泥岩、灰质泥岩
		棋盘组 P_2q	普司格组 $P_{2-3}p$	P_2d :灰绿色、灰红色粉砂岩、泥页岩
				P_2q :灰黑色、紫红色、灰绿色泥页岩、泥质粉砂岩夹生屑灰岩
	下统	克孜里奇曼组 P_1k 塔哈奇组(上段) P_1t^2		P_1k :深灰色中厚层泥晶生屑灰岩,夹泥岩、泥质粉砂岩 P_1t^2 :浅灰色、灰色厚层块状灰岩、生物碎屑灰岩

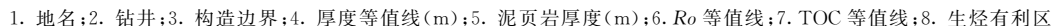


Fig. 12 Prediction of favorable hydrocarbon generation area of Permian shale in the southwestern Tarim depression

(2)构造-沉积-生烃演化综合分析表明,喜山运动对二叠系泥页岩的生烃演化具有重要的促进作用,叶城凹陷炮江沟一带和和田凹陷南部在二叠纪以来持续沉降接受连续沉积,是塔西南坳陷页岩油气勘查的有利区。建议加强该区的页岩气资源调查,部署钻探,获取更多的页岩气参数,预测分布规律,评价资源潜力。

HE Dengfa, LI Desheng, HE Jinyou, et al. Comparison in petroleum geology between Kuqa depression and Southwest depression in Tarim Basin and its exploration significance

- nificance[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2013, 34(2): 201-218.
- 肖中尧,唐友军,侯读杰,等.柯克亚凝析油气藏的油源研究[J]. *沉积学报*,2002,20(4):716-720.
- XIAO Zhongyao, TANG youjun, HOU dujie, et al. Study on Oil Source of Kekeya Condensate Oil-Gas pool[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2002, 20(4): 716-720.
- 邢厚松,李君,孙海云,等.塔里木盆地塔西南与库车山前带油气成藏差异性研究与勘探建议[J]. *天然气地球科学*, 2012, 23(1):36-45.
- XING Housong, LI Jun, SUN Haiyun, et al. Differences of Hydrocarbon Reservoir Forming between Southwestern Tarim Basin and Kuche Mountain Front[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2012, 23(1): 36-45.
- 王静彬,高志前,康志宏,等.塔里木盆地塔西南坳陷和田凹陷普司格组烃源岩沉积环境及有机地球化学特征[J]. *天然气地球科学*,2017,28(11):1723-1734.
- WANG Jingbin, GAO Zhiqian, KANG Zhihong, et al. The sedimentary environment and geochemical characteristics of the source rocks in the Pusige Formation in Hetian Sag, southwestern Tarim Basin, China[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2017, 28(11): 1723-1734.
- 郑涛,徐耀辉,王进.塔西南坳陷二叠系烃源岩热演化及生烃史模拟[J]. *石油天然气学报*,2013,35(5):33-37.
- ZHENG Tao, XU Yaohui, WANG Jin. Thermal evolution and hydrocarbon generation history simulation of Permian hydrocarbon source rocks in southwest Tarim depression[J]. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2013, 35(5): 33-37.
- 陈汉林,李康,李勇,等.西昆仑山前冲断带的分段变形特征及控制因素[J]. *岩石学报*,2018,34(7):1933-1942.
- CHEN Hanlin, LI Kang, LI yong, et al. The segmentation deformation of the thrust belt in front of Western Kunlun, western China, and its controlling factors[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2018, 34(7): 1933-1942.
- 王祥,李玉华,张敏,等.页岩气形成条件及成藏影响因素研究[J]. *天然气地球科学*,2010,21(2):350-356.
- WANG Xiang, LIU Yuhua, ZHANG Min, et al. Conditions of Formation and Accumulation for Shale Gas[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2010, 21(2): 350-356.
- 黄第藩,李晋超,张大江.干酪根的类型及其分类参数的有效性、局限性和相关性[J]. *沉积学报*,1984,2(3):18-33.
- HUANG Difan, LIU Jinchao, ZHANG Dajiang. Kerogen types and study on effectiveness, limitation and interrelation of their identification parameters[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1984, 2(3): 18-33.
- 郑孟林,王毅,金之钧,等.塔里木盆地叠合演化与油气聚集[J]. *石油与天然气地质*,2014,35(6):925-934.
- ZHENG Menglin, WANG Yi, JIN Zhijun, et al. Superimposition, evolution and petroleum accumulation of Tarim Basin[J]. *Oil and Gas Geology*, 2014, 35(6): 925-934.
- 程顶胜. 烃源岩有机质成熟度评价方法综述[J]. *新疆地质*, 1998,(5):428-432.
- CHENG Dingsheng. Review of source rock maturity evaluation by organic petrology method[J]. *Xinjiang Geology*, 1998,(5): 428-432.
- 郭刚,许应石,欧健.新疆塔里木盆地西南缘盆山结合带新生代盆地演化与青藏高原北缘隆升的关系[J]. *西北地质*, 2014,47(4):13-23.
- GUOGang, XU Yingshi, OU Jian. Evolution of Cenozoic Basin in Basin-range Junction Belt of Southwestern Tarim Basin and Its Relation with Uplift of North Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Northwestern Geology*, 2014, 47(4): 13-23.
- 王向利,高小平,刘幼骥,等.塔里木盆地南缘铁克里克断隆结晶基底特征[J]. *西北地质*,2010,43(4):95-112.
- WANG Xiangli, GAO Xiaoping, LIU Youqi, et al. Crystal Basement Feature of Tiekeli Fault-Uplift at Southern Margin of Tarim Basin[J]. *Northwestern Geology*, 2010, 43(4): 95-112.
- 李玉喜,张金川,姜生玲,等.页岩气地质综合评价和目标优选[J]. *地学前缘*,2012,19(5):332-338.
- LI Yuxi, ZHANG Jinchuan, JIANG Shengling, et al. Geologic evaluation and targets optimization of shale gas[J]. *Earth Science Frontiers*, 2012, 19(5): 332-338.
- 郭少斌,黄磊.页岩气储层含气性影响因素及储层评价—以上扬子古生界页岩气储层为例[J]. *石油实验地质*, 2013,35(6):601-606.
- GUO Shaobin, HUANG Lei. Gas-bearing influential factors and evaluation of shale gas reservoir: A case study of Paleozoic shale gas reservoir in Upper Yangtze region[J]. *Earth Science Frontiers*, 2013,35(6): 601-606.
- JARVIE D M, HILL R J, RUBLE T E. Unconventional shale gas systems: The Mississippian Barnett Shale of north central Texas as one model for thermogenic shale-gas assessment[J]. *AAPG Bulletin*, 2007, 91(4): 475-499.
- LOUCKS R G, REED R M, RUPPEL S C. Morphology genesis and distribution of nanometer-scale pores in siliceous mudstones of the Mississippian Barnett shale[J]. *Journal of Sedimentary Research*, 2009, 79: 848-861.
- GUO Tianxu, REN Shoumai, LUO Xiaorong. Accumulation conditions and prospective areas of shale gas in the Middle Jurassic Dameigou Formation, northern Qaidam Basin, Northwest China[J]. *Geological Journal*, 2018, 53: 2944-2954.