库车坳陷侏罗系克孜勒努尔组深部煤层特征及启示

赵亚汶[1*]，谢会文[1,2,3]，严德天[4]，王斌[1,2,3]，易艳[1,2]，李玲[1,2]，杨果[1,2,3]，程旺明[1,2]

1. 中国石油塔里木油田分公司，新疆 库尔勒 841000；
2. 中国石油天然气集团有限公司超深层复杂油气藏勘探开发技术研发中心，新疆 库尔勒 841000；
3. 新疆超深油气重点实验室，新疆 库尔勒 8410003；
4. 中国地质大学（武汉）资源学院，武汉 430074

* 通信作者，E-mail：zhaoyawen2022@foxmail.com

2024-12-27 收稿；2025-07-09 修回；2025-07-18 接受

基金项目：新疆维吾尔自治区“天池英才”项目（TC2025T01）；中国石油天然气集团有限公司科技项目（2023ZZ14YJ02）；中国石油天然气股份有限公司科技专项项目（2022KT0201）

中图分类号：P618.13　　文章编号：2096-8523(2025)05-0053-12　　doi: 10.19509/j.cnki.dzkq.tb20240785

摘　要：目前库车坳陷侏罗系克孜勒努尔组煤层的研究主要集中在浅部，有关深部煤层的研究较少。针对库车坳陷侏罗系克孜勒努尔组煤层煤岩特征、储层物性和含气性不明等问题，依托钻井资料，采用地震资料处理、连井分析、取样观察及气测孔渗、等温吸附实验等方法，对该区块煤层的几何分布特征、煤岩煤质特征、储层物性、吸附性和含气量等方面进行了研究。研究表明：①研究区克孜勒努尔组深部煤层以原生结构为主，有机显微组分以镜质组为主，平均占比达 62.20%，有机质类型均为Ⅲ型，中煤阶；整体属于中高挥发分、特低硫分、特低–低灰分的煤层；②深部煤层的气测孔隙度平均值为 7.10%，平均渗透率为 0.685×10^{-3} μm^2，其甲烷的吸附能力受镜质体反射率、水分含量和灰分产率的影响大；③库车坳陷侏罗系克孜勒努尔组埋深 2 000 ~ 5 000 m 的煤层主要分布在北部构造带内，面积达 2 800 km^2，单层厚度最高可达 22 m，实测深部煤层平均含气量 11.77 m^3/t，资源潜力巨大。对比浅部煤层，研究区克孜勒努尔组深部煤层受埋深影响明显，成熟度高并已规模产气，具备勘探潜力；含水饱和度是影响克孜勒努尔组煤层含气性的关键因素；含水饱和度低且有利于游离气富集的迪北缓坡平台将是库车坳陷煤岩气的有利目标区。

关键词：库车坳陷；克孜勒努尔组；煤层；煤储层特征

21 世纪初，美国在皮申斯盆地白河凸起进行了深部煤层气与致密砂岩气合采先导性试验，目的煤层埋深 1 560 ~ 2 560 m，煤层顶板为致密砂岩，65 口单井日均产气量在 10 890 m^3 左右，最高达 14 375 m^3，60% 来自煤层，为深层煤层气的开采提供了借鉴意义[1-5]。与此同时，国内的煤层气勘探开发也由高煤阶、浅层向中低煤阶和深层煤层拓展[5-9]，尤其是 2020 年以来大宁–吉县和准噶尔盆地五彩湾在 2 000 m 以深的煤层获得高产气流煤层气勘探开发的突破，展现了深层煤层气勘探开发的潜力[8-9]。但国内外煤层气研究主要集中在 1 500 m 以浅、构造相对简单的盆地内部，而对山前冲断带的深层煤层气的研究较少[7-23]。塔里木盆地北部的库车坳陷有丰富的天然气资源，是塔里木盆地天然气的主力产区[24-25]；同时煤层全区发育，煤层累计厚度上百米，单层厚度可达 22 m，以中低煤阶为主，但由于煤层埋深普遍大于 4 000 m，前人[17, 26-27]对库车坳陷煤层的研究主要集中在库拜煤田埋深 1 500 m 以浅的煤层，且以三叠系塔里奇克组为主，而对侏罗系克孜勒努尔组煤层的研究则以浅部煤层为主，而埋深

著录信息：赵亚汶，谢会文，严德天，等. 库车坳陷侏罗系克孜勒努尔组深部煤层特征及启示［J］. 地质科技通报，2025，44(5)：53-64.
ZHAO Yawen, XIE Huiwen, YAN Detian, et al. Characteristics and enlightenment of deep coal rocks in the Jurassic Kizilnur Formation of Kuqa Depression[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2025, 44(5): 53-64.

© Editorial Office of Bulletin of Geological Science and Technology. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license.　https://dzkjtb.cug.edu.cn

2 000 m 以深的煤层的储层特征则是勘探开发的空白区[27-29]。

为此，对库车坳陷侏罗系克孜勒努尔组深部煤层开展了地质研究工作。一是通过三维地震解释、储层反演和连井对比对库车坳陷侏罗系煤层进行初步的刻画；二是通过现场实测含气量、钻井岩心观察、取样测试、测井数据分析等方法，明确煤层物性、含气量特征，获得该区块的煤层分布特征、孔隙度、渗透性、吸附性和含气量等参数，以初步了解库车坳陷侏罗系克孜勒努尔组的煤层地质特征，为下一步的勘探开发提供地质依据。

1　地质背景

库车坳陷位于塔里木盆地北部(图 1a)，紧邻南天山造山带，东西长约 400 km，南北宽 50 ~ 90 km，面积约为 4×10^4 km^2[25]，主要经历了古生代被动大陆边缘、中生代台内坳陷和新生代天山逆掩−冲断 3 个重要的地质变革期[25, 30-31]；尤其是始新世末期印藏板块碰撞的远程效应，导致古天山造山带再生复活，产生由南向北的挤压应力场，导致坳陷内发育冲断−褶皱构造[25, 32]，断裂系统复杂；主要包括北部构造带、克拉苏−迪那构造带、乌什凹陷、拜城凹陷、阳霞凹陷、佳木−西秋构造带等二级构造单元[33-35]。其中北部构造带位于库车坳陷北部，总面积达 6 800 km^2[24]，呈条带状展布，具有典型的冲断构造变形特征。北部构造带受晚海西期、燕山期、喜山期构造运动影响，基底卷入形成多排阶梯式冲断构造，具有典型的冲断构造变形特征，断裂展布、构造复杂，整体平缓，倾角小于 20°(图 1b)。

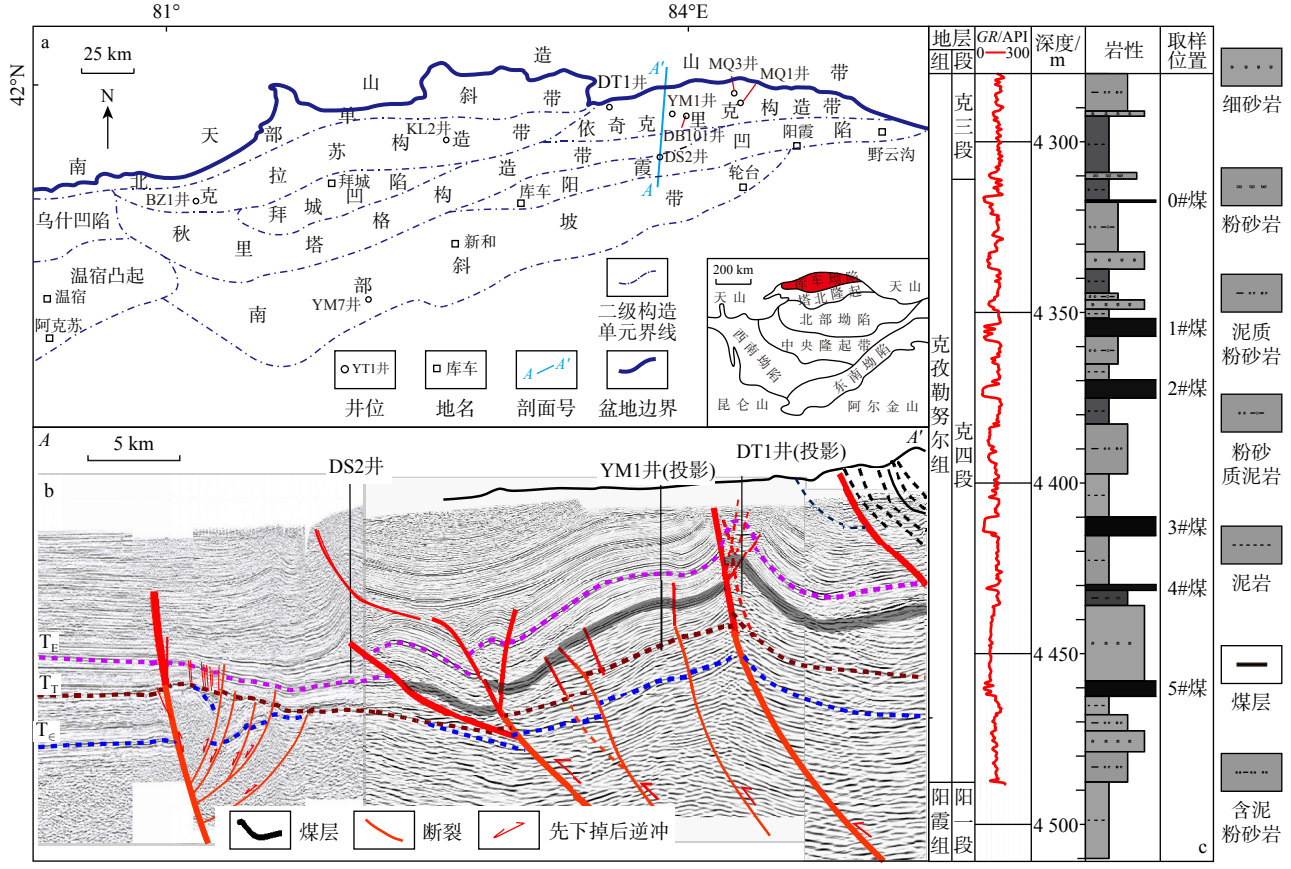


图 1　库车坳陷构造单元分布图 (a)（修改自王珂等[26]）、过 DS2 井南北向地震叠前深度偏移剖面 (b)（剖面位置见图 a）和克孜勒努尔组克三、四段（YM1 井）(c)（T_K. 白垩系地震界限，其他类推）

Fig. 1　Structural units in the Kuqa Depression (a), north-south seismic profiles passing through Well DS2 (b) and stratigraphic system of sections 3-4 in the Kizilnur Formation (c)

区内地层从上到下钻遇古近系库姆格列木群，白垩系舒善河组、亚格列木组，侏罗系齐古组、恰克马克组、克孜勒努尔组、阳霞组。其中侏罗系煤层在全区广泛发育，在库车坳陷东部最厚，纵向上分布层系多，集中发育在侏罗系克孜勒努尔组(图 1c)、阳霞组。目前在库车坳陷北部构造带完钻一口风险

探井 YM1 井和一口浅钻井(位置见图 1a)，目的层均是侏罗系的克孜勒努尔组煤层，其中 YM1 井克孜勒努尔组煤层埋深 4 350 ~ 4 465 m；明浅地区克孜勒努尔组煤层埋深 50 ~ 900 m。

2 采样与分析方法

基于岩心观察与宏观煤岩类型的划分，按约 1 m 间距对煤层进行了分层全煤心样采集，在迪北地区 YM1 井的 3 个可采煤层中，共获取了 11 份分层煤岩样品，其中 YM2-1 ~ YM2-6 为 YM1 井水平段 2#煤层的岩屑样，其余则为直井段岩心煤样(取样位置见图 1c，2#煤层的取样位置为投影位置)。与此同时，在浅钻井明浅地区侏罗系克孜勒努尔组的 5 套煤层中采集了 27 个煤样，并与前述样品进行对比分析。

所有采集的煤样均送至中国石油非常规油气重点实验室，经过破碎、缩分等制样工序，最终制成不同粒度的实验用煤样以满足后续研究需求。煤的工业分析、全硫测试、相对真密度、相对视密度、CO_2 吸附和柱塞样气测孔渗实验分别按照国家标准 GB/T30732-2014、GB/T214-2007、GB/T23561.2-2009、GB/T6949-2010、GB/T19587-2017 和 GB/T34533-2017 进行测试；煤的镜质体反射率测定、显微组分鉴定、X 衍射全岩及黏土矿物分析、核磁共振分析、台式扫描电镜、低温氮气吸附和微米 CT 扫描按照行业标准 SY/T5124-2012、SY/T5125-2014、SY/T5163-2010、SY/T6490-2014、SY/T5162-1997、SY/T6154-1995 和 SY/T7410.1-2018 进行测试；镜质体平均最大反射率按照国家标准 GB/T6948-2008 计算；煤的甲烷等温吸附和压汞实验按照国家能源局标准 NB/T10019-2015 和 NB/T14008-2015 进行测试。含气量的测定由中国石油非常规油气重点实验室在 YM1 井取心现场按照国家标准 GB/T19559-2008 进行测定。

3 结果与讨论

3.1 煤质煤岩特征

3.1.1 煤层分布特征

库车坳陷迪北和吐格尔明地区已有很多常规油气井钻穿克孜勒努尔组煤层，这为煤层分布的研究提供了钻井资料，再结合 6 000 多 km^2 的地震资料进行储层反演，确定了克孜勒努尔组煤层厚度和埋深叠合图(图 2)；发现库车坳陷侏罗系克孜勒努尔组埋深 5 000 m 以浅的煤层主要分布在北部构造带内，面积可达 2 800 km^2，累计有效厚度达 50 m，主要集中在库北、吐格尔明和迪北 3 个地区。其中克孜勒努尔组可分为 4 个层段，以克孜勒努尔组第四段(克四段)煤层发育最好、分布最为广泛，克四段主要发育 5 个煤组。以迪北段为例(图 2)，1#煤岩组区域上煤层累计厚度 6.5 ~ 21.0 m，单层厚度 1.0 ~ 8.0 m，层数 1 ~ 9 层，横向变化快，局部有碳质泥岩夹矸。2#煤岩组区域上煤层累计厚度 4.5 ~ 28.0 m，单层厚度 1.0 ~ 17.7 m，层数 2 ~ 6 层，在迪北段分布比较稳定，厚度 3.5 ~ 5.4 m(平均厚度 4.4 m)局部见碳质泥岩夹矸。3#煤岩组区域上煤岩累计厚度 5.0 ~ 22.0 m，单层厚度 0.5 ~ 22.0 m，层数 2 ~ 6 层，横向连续性发育；在 DT1 井附近发育最好，单层厚度可达 22 m，沿东西向发育稳定，向南至 YM1 井附近减薄至 5.0 ~ 7.8 m，局部见碳质泥岩夹矸。4#煤岩组区域上煤层累计厚度 1.1 ~ 9.6 m，单层厚度 1.0 ~ 9.6 m，层数 1 ~ 4 层，横向变化快，有碳质泥岩夹矸。5#煤岩组区域上煤层累计厚度 1.1 ~ 9.6 m，单层厚度 0.5 ~ 5.2 m，层数 1 ~ 3 层，横向变化快，南部不发育。

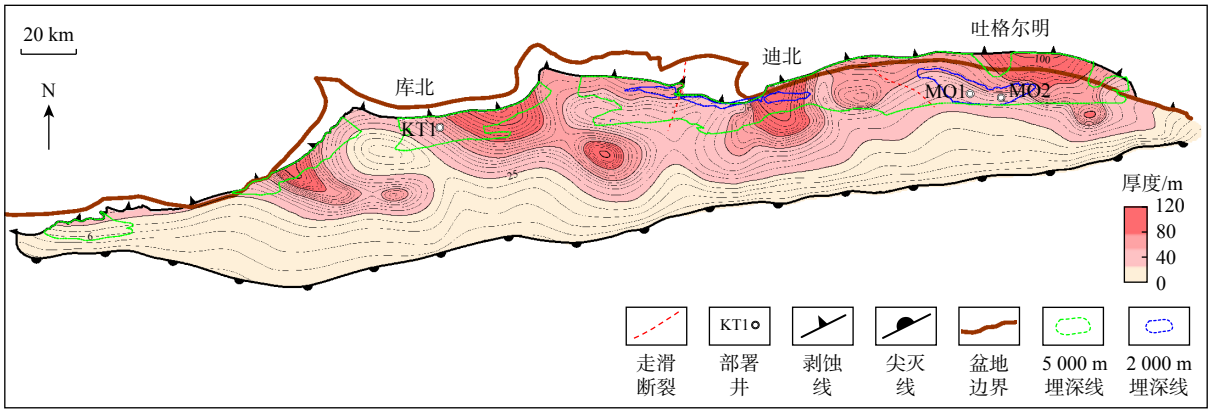


图 2 库车坳陷侏罗系克孜勒努尔组煤层累计厚度叠合埋深图

Fig. 2 Stacked map of cumulative thickness and burial depth of coal seams in the Jurassic Kizilnur Formation, Kuqa Depression

煤层厚度大且埋深浅的迪北和吐格尔明区块是库车坳陷下一步煤层气勘探的重点。

3.1.2　煤岩煤质特征

煤岩岩心观察发现，YM1 井克孜勒努尔组(J_2kz)煤层以块状构造为主，煤体结构以原生结构为主，煤体较完整；宏观煤岩类型以光亮型煤为主，煤样真密度 1.283 ~ 1.459 g/cm^3，视密度 1.223 ~ 1.355 g/cm^3，视密度平均值为 1.270 g/cm^3。明浅地区的克孜勒努尔组(J_2kz)煤层呈块状或层状构造，煤体结构以碎裂结构为主，局部煤岩破碎，缺失严重；宏观煤岩类型以半亮型煤为主，煤样真密度 1.286 ~ 1.515 g/cm^3，视密度 1.159 ~ 1.341 g/cm^3，视密度平均值为 1.229g/cm^3。

显微组分测试结果表明，YM1 井克孜勒努尔组煤层的有机组分占比高，平均占比为 97.7%，以镜质组为主(62.2%)、惰质组次之(30.0%)、壳质组极少(5.5%)，实测镜质体反射率 0.80% ~ 0.89%，平均值为 0.85%，为中阶煤(表 1)。明浅地区克孜勒努尔组煤层的有机组分占比高，平均占比为 98.4%，以镜质组为主(60.4%)、惰质组次之(34.5%)、壳质组极少(3.5%)，实测镜质体反射率 0.42% ~ 0.69%，平均值为 0.55%，为中低阶煤(表 1)。镜质组均以均质镜质体和基质镜质体为主，其次为胶质镜质体和碎屑镜质体，有部分结构镜质体和团块镜质体；惰质组主要为丝质体、半丝质体和粗粒体，其次为碎屑镜质体、微粒体和菌类体(图 3)；无机组分以黏土类为主，见高岭石，局部富集黄铁矿。干酪根类型指数 T_i 范围在−0.91 ~ −0.57，表明了深部和浅部煤层的干酪根类型均为Ⅲ型，具有很好的生气潜力[36]。

煤的工业分析结果表明，克孜勒努尔组煤层整体属于特低水分、特低灰分、特低硫、中高挥发分煤，中低煤阶(表 1)。其中 YM1 井克孜勒努尔组 1# 煤为特低水分、特低灰分、中高挥发分煤(表 1)。2#、3#和 5#煤层为特低水分煤、低灰分、中高挥发分煤(表 1)。明浅地区克孜勒努尔组煤层均为特低水分、特低灰分、特低硫、中高挥发分煤(表 1)。特低硫和淡水河流的沉积环境相匹配。

3.2　煤储层特征

3.2.1　煤岩孔渗特征

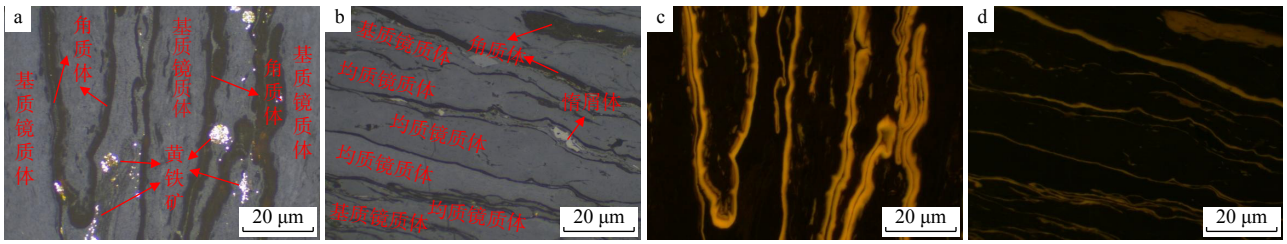
对 YM1 井侏罗系克孜勒努尔组煤层煤样进行

表 1　YM1 井和明浅地区克孜勒努尔组煤层的煤质实验结果

Table 1　Quality experimental results of coal seams of the Kizilnur Formation, Well YM1 and MQ area

区块	煤号	深度/m	镜质组	惰质组	壳质组	M_{ad}	A_d	V_{daf}	$S_{t,d}$	R_o/%
			占比/%							
YM1井	1	4352.00 ~ 4354.97	49.20 ~ 48.80 61.05	16.60 ~ 46.20 30.15	2.70 ~ 17.30 6.70	1.14 ~ 2.05 1.42	0.76 ~ 10.01 4.83	23.87 ~ 41.64 30.96	0.21 ~ 0.42 0.29	0.82 ~ 0.86 0.84
	2	4369.70 ~ 4375.10	61.80 ~ 75.20 69.83	18.80 ~ 33.80 25.33	1.40 ~ 3.90 2.38	1.32 ~ 1.69 1.52	13.32 ~ 24.41 17.53	27.02 ~ 35.82 29.83	/	0.80 ~ 0.86 0.84
	3	4409.90 ~ 4415.40	/	/	/	4.39	17.30	31.79	/	/
	5	4458.00 ~ 4462.50	42.20	52.80	3.50	1.07 ~ 1.82 1.45	1.96 ~ 26.42 14.19	29.25 ~ 34.40 31.83	0.48	0.89
	平均值		62.20	30.00	5.50	1.53	15.70	31.19	0.33	0.85
明浅地区	0	84.00 ~ 648.25	53.00 ~ 77.20 61.30	16.80 ~ 42.60 33.00	2.00 ~ 4.60 3.30	2.44 ~ 6.75 3.95	1.38 ~ 11.01 7.48	36.02 ~ 40.12 37.04	0.15 ~ 1.51 0.75	0.49
	1	153.85 ~ 710.00	41.40 ~ 77.80 59.50	13.60 ~ 54.20 34.80	1.40 ~ 6.40 3.30	2.79 ~ 7.82 4.92	2.26 ~ 14.83 7.17	27.64 ~ 41.04 33.09	0.13 ~ 0.62 0.33	0.47 ~ 0.64 0.56
	2	227.00 ~ 796.00	13.80 ~ 78.40 55.80	17.60 ~ 81.60 39.10	1.60 ~ 5.20 2.80	3.10 ~ 7.65 4.71	1.55 ~ 16.16 6.84	26.65 ~ 34.61 30.06	0.06 ~ 0.55 0.17	0.42 ~ 0.52 0.46
	3	268.40 ~ 841.05	36.80 ~ 85.80 63.10	8.20 ~ 57.63 31.80	1.60 ~ 3.80 2.40	2.32 ~ 5.91 4.52	2.42 ~ 32.57 7.61	24.63 ~ 37.78 30.81	0.11 ~ 1.47 0.32	0.48 ~ 0.69 0.62
	4	341.30 ~ 898.50	56.20 ~ 77.80 64.70	17.20 ~ 39.20 30.30	1.40 ~ 4.60 2.60	1.76 ~ 7.55 3.75	1.66 ~ 11.50 6.13	22.98 ~ 35.97 32.00	0.08 ~ 0.39 0.20	0.59 ~ 0.60 0.60
	平均值		60.43	34.54	2.64	4.13	6.57	31.56	0.28	0.55

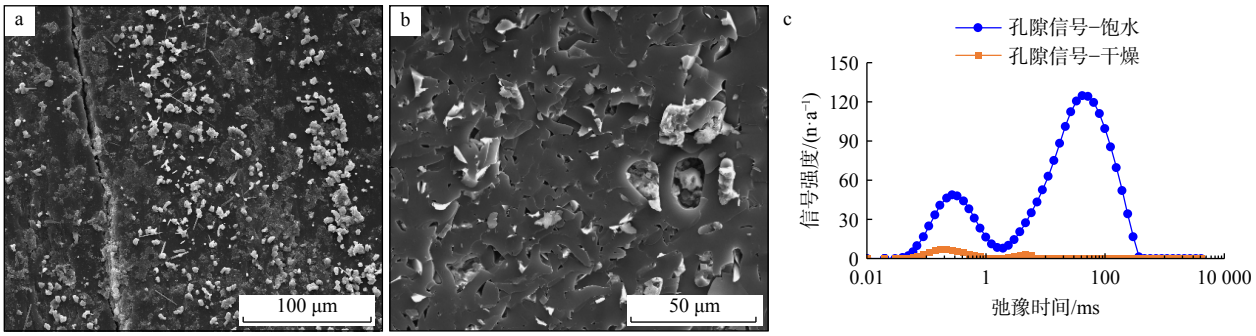
注：$\frac{49.20 \sim 48.80}{61.05}$. $\frac{\text{最小值} \sim \text{最大值}}{\text{平均值}}$；$M_{ad}$. 水分(空气干燥基)；$A_d$. 灰分(干燥基)；$V_{daf}$. 挥发分(干燥无灰基)；$S_{t,d}$. 全硫分(干燥基)；$R_o$. 镜质体反射率



a. 条带状基质镜质体、角质体，胶结莓球状黄铁矿等，c. a 的荧光照片，角质体发黄色荧光；b. 条带状均质镜质体、基质镜质体和角质体，胶结惰屑体；d. b 的荧光照片，角质体发弱黄色荧光

图 3　MY1 井克孜勒努尔组煤岩显微组分照片

Fig. 3　Microstructure of coal rocks in the Kizilnur Formation of Well MY1



a. 基质镜质体(或过渡组分)及其残留胞腔孔，发育层间裂隙，YM1-3；b. 结构镜质体(或过渡组分)及其残留胞腔孔，胞腔孔大多已变形，有的被高岭石、石盐充填，YM1-5#1；c. YM1-1 煤样核磁实验图

图 4　YM1 井克孜勒努尔组煤样的扫描电镜照片 (a, b) 及核磁分析图 (c)

Fig. 4　Energy spectrum photograph (a, b) and NMR analysis chart (c) of coal samples from the Kizilnur Formation in Well YM1

扫描电镜(图 4)发现：煤层储集空间类型多，微裂缝发育，原生孔、气孔较发育，以胞腔孔为主，充填、变形严重(图 4a, b)，垂直缝、层间缝较发育；核磁实验 T2 分布区间主要在 0.1 ~ 300 ms 之间，微小孔的峰主要分布在 0.1 ~ 1 ms 之间，中大孔主要分布在 10 ~ 200 ms 之间，孔隙表现出微小孔和中大孔发育的“双峰”特征。煤中以中大孔峰最为发育，其次是微小孔峰，裂隙峰不发育，孔隙连通性好，有利于游离气赋存(图 4c)。高压压汞法通常用来表征孔径大于 50 nm 的孔隙，根据高压压汞实验测试也可以看出(图 5a, b)：深部克孜勒努尔组煤层为分离平滑型，大孔和裂隙不发育；浅部煤层均以分离阶梯型为主，大中孔和裂隙发育。通过低温 N_2 吸附和 CO_2 吸附联测可以得到其比表面积数据(图 5c, d 和表 2)，深部煤层的比表面积和吸附量要小于浅部煤层。

YM1 井煤样的气测孔隙度为 4.43% ~ 8.89%，平均值为 6.34%；渗透率是制作柱塞在 90℃ 温度下通过稳态法测试得出渗透率为 0.276×10^{-3} ~ 1.490×10^{-3} μm^2，平均值为 0.685×10^{-3} μm^2。明浅地区的气测孔隙度分别为 6.80% ~ 16.45%，平均值为 12.36%；渗透率为 0.113×10^{-3} ~ 203.760×10^{-3} μm^2，平均值为 50.575×10^{-3} μm^2。前期已完钻埋深在 2 500 ~ 6 000 m 的 31 口井克四段煤层测井解释孔隙度主要分布范围为 3.85% ~ 10.00%，平均值约 7.00%，和实测的 YM1 井孔隙度相近。

3.2.2　储层吸附性和含气性

YM1 井克孜勒努尔组煤岩甲烷等温吸附实验兰氏体积为 11.08 ~ 13.32 m^3/t，均值为 12.28 m^3/t，兰氏压力均值为 3.24 MPa(实验温度 30℃)(图 6b)；明浅地区侏罗系克孜勒努尔组煤层获得的甲烷等温吸附实验测得的兰氏体积为 3.20 ~ 14.22 m^3/t，均值为 8.85 m^3/t(图 6a)；同时无论是浅层还是深层的煤岩样品，其吸附体积随着温度升高均呈降低趋势。

目前库拜煤田实测的埋深 1 500 m 以浅的克孜勒努尔组煤层含气量为 2.37 ~ 12.74 m^3/t[27-28]，均值为 7.04 m^3/t。现场进行的常规的 YM1 井克孜勒努尔组煤层的总含气量为 9.98 ~ 12.87 m^3/t(表 3)，均值为 11.77 m^3/t。但由于 YM1 井煤层取心深度在 4 350 ~ 4 500 m 之间，保压舱到地面时压力仅剩 2.90 MPa(预测煤层地层压力 56.8 ~ 61.2 MPa)，推测实际煤层的含气量要高于测试值。

3.3　启　示

3.3.1　煤储层特征的影响因素

侏罗系克孜勒努尔组整体的沉积环境属于辫状

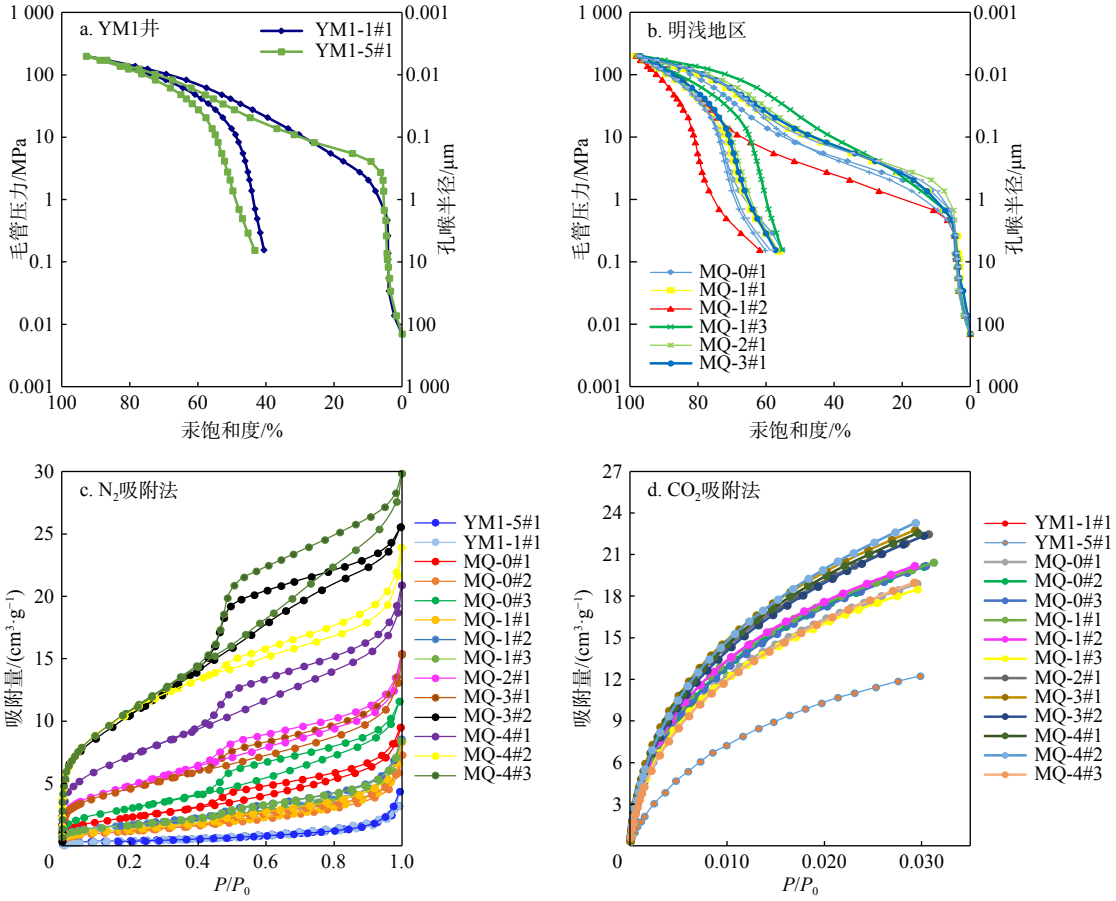


图 5　YM1 井和明浅地区 (MQ) 煤层高压压汞曲线 (a, b)、N_2 吸附法 (c) 和 CO_2 吸附法 (d) 对应的吸附曲线

Fig. 5　Curves from high-pressure mercury intrusion (a, b), N_2 adsorption (c), and CO_2 adsorption (d) for coal seams in Well YM1 and MQ area

表 2　YM1 和明浅地区煤层 N_2 吸附法和 CO_2 吸附法联测的孔隙结构数据

Table 2　Porosity-structure data from combined N_2 and CO_2 adsorption experiments for coal seams in Well YM1 and MQ area

井号或地区	平均深度/m		氮气吸附			低压CO_2吸附		
			吸附量/(cm³·g⁻¹)	比表面积/(m²·g⁻¹)	孔体积/(cm³·g⁻¹)	吸附量/(cm³·g⁻¹)	比表面积/(m²·g⁻¹)	孔体积/(cm³·g⁻¹)
YM1井	4353	范围	3.223 ~ 4.353	1.869 ~ 2.000	0.005 ~ 0.007	10.614 ~ 12.247	108.010 ~ 126.460	0.034 ~ 0.039
		平均	3.788	1.935	0.006	11.430	117.235	0.036
明浅地区	490	范围	5.596 ~ 29.860	2.283 ~ 39.156	0.009 ~ 0.044	9.116 ~ 23.288	94.151 ~ 240.660	0.029 ~ 0.071
		平均	11.577	11.404	0.018	18.995	195.453	0.057

河或曲流河三角洲沉积[24]，受河道迁移、决口及沼泽填平作用影响，煤层横向变化大，这是迪北和吐格尔明地区克孜勒努尔组煤层横向变化大的主要原因。而孔隙度和深度、成熟度等的关系图(图 7)表明孔隙度受深度和镜质体反射率的影响明显，和灰分、镜质组含量相关性差。与明浅地区浅部的煤层相比，YM1 井克孜勒努尔组煤层具有高的成熟度和视密度、低的孔隙度和渗透率、大孔和裂隙不发育，受埋藏深度的影响明显。

等温吸附实验的兰氏体积可以反映煤层的吸附甲烷能力。克孜勒努尔组煤层的镜质体反射率、挥发分产率、水分含量等参数和兰氏体积的关系图(图 8)表明，中低煤阶的兰氏体积受镜质体反射率(挥发分产率)、水分含量的影响大；与比表面积、灰分含量、镜质组含量相关性差。考虑同一煤层镜质体反射率相近，为了排除镜质体反射率，只选取 MQ3 井克孜勒努尔组 2#煤层的样品进行对比发现：同一套中低阶煤的兰氏体积受水分含量和灰分产率的影响最大，而受比表面积和镜质组含量的影响小(图 9)。中低阶煤兰氏体积和比表面积之间的弱相关性，和高阶煤的强相关性有明显不同[37]，推测是由于中低阶煤的水分含量干扰了比表面积对兰氏体积

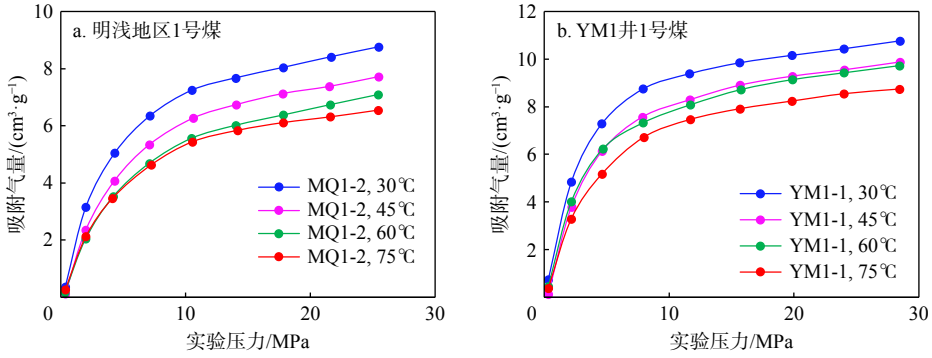


图 6　克孜勒努尔组 MQ1-2 (a) 和 YM1-1 (b) 煤样在不同温度下的等温吸附实验

Fig. 6　Isothermal adsorption experiments of MQ1-2 (a) and YM1-1 (b) coal samples from the Kizilnur Formation at different temperatures

表 3　YM1 井克孜勒努尔组煤岩现场含气量测试结果

Table 3　Gas content test results for coal seams in the Kizilnur Formation, Well YM1

序号	测试编号	取样深度/m	损失气/（$m^3 \cdot t^{-1}$）	解吸气/（$m^3 \cdot t^{-1}$）	残余气/（$m^3 \cdot t^{-1}$）	干燥无灰基总气量/（$m^3 \cdot t^{-1}$）
1	YM1-1	4352.34	3.93	7.99	0.18	12.87
2	YM1-2	4353.06	2.81	7.93	0.16	11.80
3	YM1-3	4353.75	2.65	8.78	0.16	12.54
4	YM1-4	4354.69	2.77	5.18	0.22	9.92
5	YM5-1	4459.76	2.70	8.34	0.11	11.70
6	YM5-2	4465.06	1.11	5.24	0.12	8.97

的影响。而深部煤层的吸附量和比表面积均小于浅部煤层，但其等温等压下的兰氏体积却大于浅部煤层，推断是浅部煤层高的束缚水含量(空气干燥基含水量 4.13%)(表 1)影响了其比表面积。煤层高的含水饱和度会降低有效孔隙，从而降低游离气含量，因此煤层的含水饱和度是影响煤层含气性的关键因素；受气水运移的影响，构造高部位的含水饱和度相对较低。库车北部构造带临近天山，含水层发育；位于断裂破碎带上的井压裂液返排率 100% 后仍日产水 108 m^3/d，推测其产出的地层水主要来自于上部含水层，考虑是断裂或压裂沟通了含水层。迪北−吐东地区逆冲断裂发育，远离断裂带并在构造高部位的井受含水层影响小。

基于克孜勒努尔组深部煤层镜质体反射率、深度和实测的含气量关系图发现，含气量和镜质体反射率、深度均呈负相关(图 10)，推测是地层高温对吸附气的负作用造成的。相比于鄂尔多斯的大吉区块[8]，库车北部构造带侏罗系克孜勒努尔组的煤阶低且含气性差，表明煤层厚度是影响煤层气资源丰度的关键因素。

3.3.2　煤层特征对比

LIU 等[36] 通过库车北部构造带 MN1 井克孜

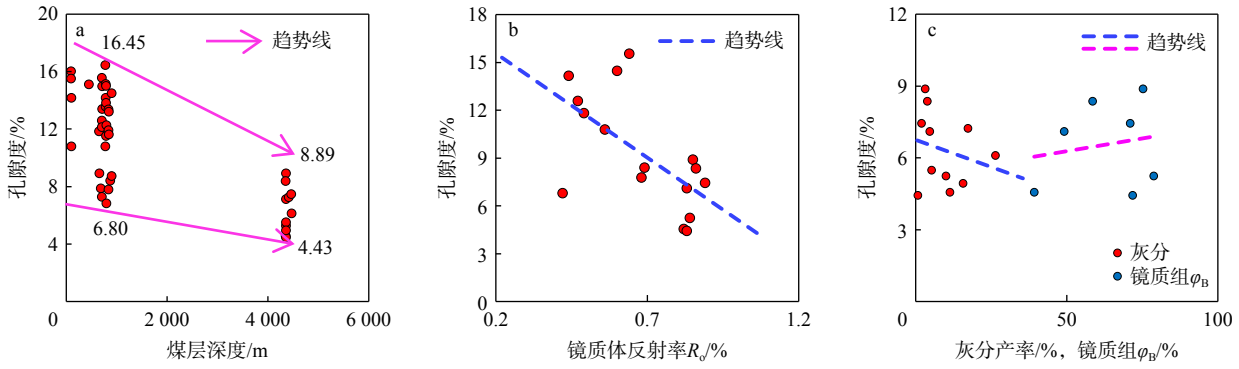


图 a 中数字分别代表浅部和深部煤层孔隙度的最大值和最小值

图 7　YM1 井和明浅地区克孜勒努尔组孔隙度和煤层深度 (a)、镜质体反射率 (b)、灰分产率及镜质组体积分数 (c) 的关系图

Fig. 7　Relationships among porosity and depth (a), macrinite reflectance (b), ash content and macrinite-group content (c) for coal seams in the Kizilnur Formation, Well YM1 and MQ area

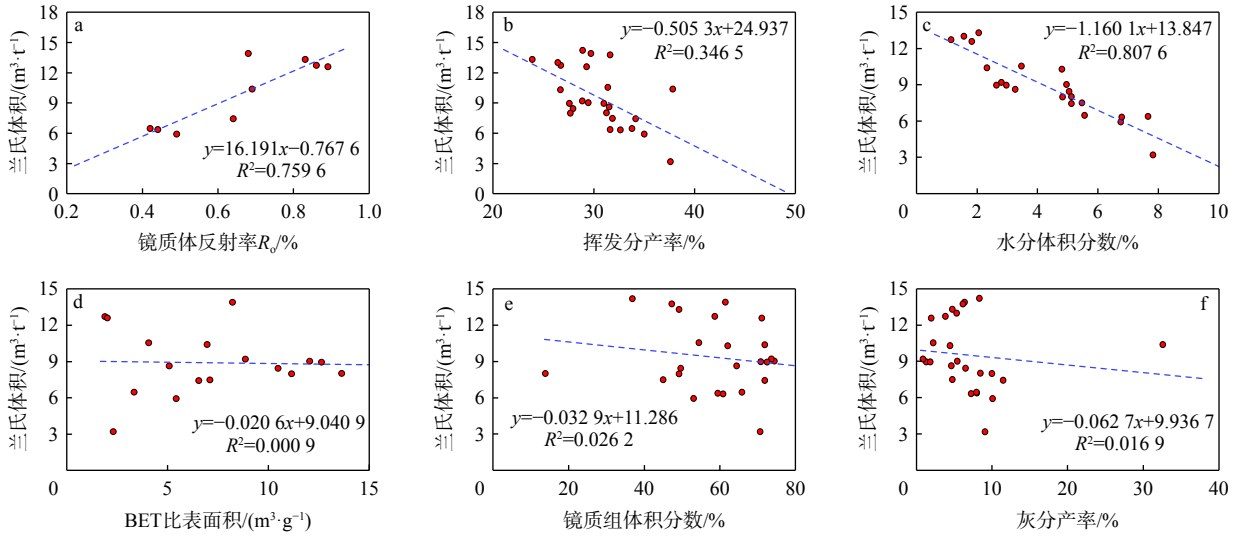


图 8　YM1 井和明浅地区克孜勒努尔组煤层兰氏体积和镜质体反射率 (a)、挥发分产率 (b)、水分体积分数 (c)、BET 比表面积 (d)、镜质组体积分数 (e)、灰分产率 (f) 的关系图

Fig. 8　Relationships among Lange volume of coal seams and reflectance (a), volatile yield (b), water content (c), BET specific surface area (d), macrinite-group content (e), ash content (f) in the Kizilnur Formation, Well YM1 and MQ area

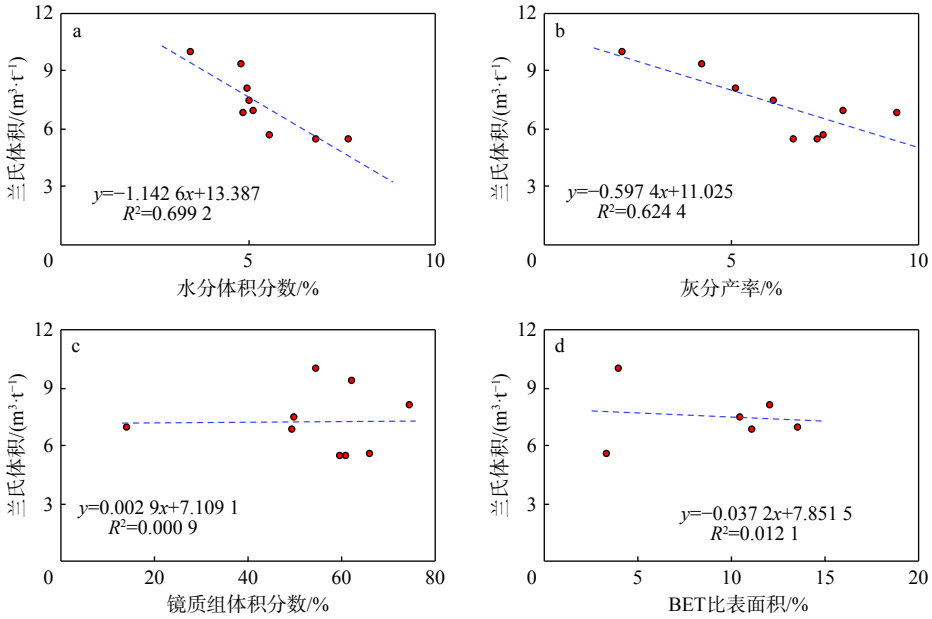


图 9　MQ3 井克孜勒努尔组 2 号煤层兰氏体积和水分体积分数 (a)、灰分产率 (b)、镜质组体积分数 (c)、BET 比表面积 (d) 的关系图

Fig. 9　Relationships among Lange volume and water content (a), ash content (b), macrinite-group content (c), BET specific surface area (d) of No.2 coal seams in the Kizilnur Formation, Well MQ3

勒努尔组煤样(埋深 380 m)进行生烃模拟发现: 镜质体反射率达到 0.70% 时, 开始规模生气, 生气量约 20 m^3/t, 镜质体反射率达到 1.00% 时, 生气量约为 45 m^3/t。YM1 井克孜勒努尔组深部煤层实测镜质体反射率平均值为 0.85%, 已进入规模生气阶段, 生气量为 30 ~ 40 m^3/t, 可以满足煤层的吸附; 而浅部煤层成熟度(R_o)0.55%, 还未进入规模生气阶段。对 YM1 井 3#煤层进行保压取心实测的含气量在压力泄漏(压力损失达 95%)的情况达到 11.77 m^3/t, 这也表明克孜勒努尔组煤层含气量要远大于 11.77 m^3/t; 虽然库车坳陷断裂发育, 但以泥岩和粉砂质泥岩为主的盖层对煤层气的保存起到了很好的封堵作用。

与准噶尔盆地白家海凸起、鄂尔多斯盆地大吉区块煤层地质特征[8-9, 38-42] 的对比表明(表 4): 北部构造带实测的含气量、兰氏体积和成熟度远低于鄂尔多斯盆地大吉区块本溪组煤层; 但克孜勒努尔组

煤层储层物性更好。和同为中低阶煤的白家海西山窑组煤层相比，其含气量接近，成熟度略高，兰氏体积高于白家海西山窑组煤层，但其孔隙度和渗透率略差。3 个地区深部煤层的煤体结构均以原生结构为主，有利于进行大规模的压裂措施。综合对比表明库车坳陷深部煤层具备勘探潜力，其勘探方向可以借鉴同为中低阶煤的白家海凸起煤岩气[10]的思路，将游离气占比高的煤层作为优先勘探目标。但克孜勒努尔组煤层的压力和温度普遍高于另外两个地区，尤其是地层高压(YM1 井预测的煤层地层压力为 56.8 ~ 61.2 MPa)直接增加了储层压裂和后期吸附气解析的难度。考虑深部煤层温度高、压力大和煤层的含水情况，深埋后又遭受构造抬升、处于高部位平台区且煤层厚的迪北缓坡平台是开展煤层气勘探的有利目标区，如 YM1 井和 DT1 井所在的平台区(图 1b)。

4 结 语

库车坳陷侏罗系克孜勒努尔组埋深 2 000 ~ 5 000 m 的煤层主要分布在北部构造带内，面积达 2 800 km^2，单层厚度最高可达 22 m，实测含气量 11.77 m^3/t；受埋深影响，克孜勒努尔组深部煤层煤体结构以原生结构为主、具有高成熟度、中孔低渗特征；对比大吉和白家海地区，其具备勘探潜力。

侏罗系克孜勒努尔组深部煤层属于特低−低灰分、中高挥发分、特低硫煤；其有机显微组分以镜质组为主，平均占比可达 62.2%，有机质类型均为Ⅲ型，中煤阶，具有很好的生气潜力，且目前已规模产气。

克孜勒努尔组煤层甲烷的吸附能力受镜质体反射率、水分含量的影响大，同一套煤层灰分产率会降低其甲烷的吸附能力；含水饱和度是影响中低阶煤含气性的关键。考虑深部煤层温度高、压力大和煤

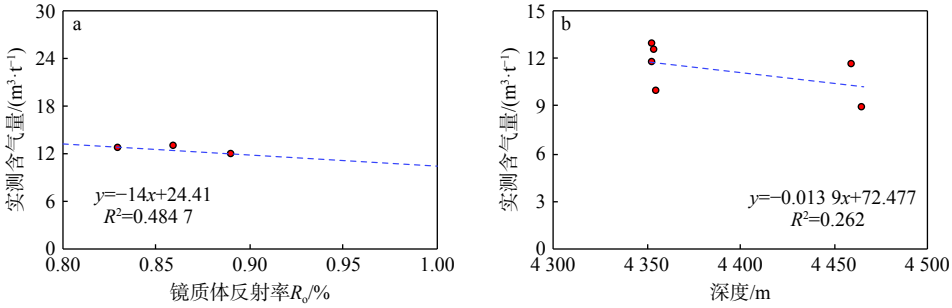


图 10　YM1 井克孜勒努尔组煤层实测含气量和镜质体反射率 (a)、深度 (b) 的关系图

Fig. 10　Relationships among gas content and macrinite reflectance (a), depth (b) for coal seams in the Kizilnur Formation, Well YM1

表 4　库车侏罗系克孜勒努尔组和准噶尔白家海凸起、鄂尔多斯大吉区块煤层地质特征对比

Table 4　Comparison of geological characteristics of coal seams in the Jurassic Kizilnur Formation of Kuqa, the Baijiahai Uplift of Junggar Basin, and the Daji Block of the Ordos Basin

地区地层	库车北部构造带深部侏罗系克孜勒努尔组（J_2kz）煤层	准噶尔盆地白家海凸起西山窑组（J_2x）煤层	鄂尔多斯盆地东缘大宁−吉县区块石炭系本溪组（C_1b）煤层
埋深/m	2000 ~ 5000	2200 ~ 3200	1865 ~ 2520
厚度/m	1.8 ~ 17，平均6.6	5 ~ 20，平均8.3	4 ~ 12，平均7.8
煤体结构	以原生结构为主，割理、裂隙较发育	以原生结构为主，煤体结构完整、力学强度好	以原生结构为主，割理、裂隙发育
盖层条件	顶板以泥岩、粉砂质泥岩为主，厚10 ~ 20 m；底板泥岩分布稳定，厚30 ~ 65 m	顶板泥岩厚30 ~ 70 m，底板泥岩厚5 ~ 30 m，较稳定	顶板灰岩厚度4 ~ 8 m，底板发育泥岩
成熟度/%	0.70 ~ 1.4，平均0.88	0.60 ~ 0.85，平均0.71	平均2.6，热演化程度相对较高
压力系数	1.15（邻井试油井口压力反推）	0.91 ~ 1.00	0.90 ~ 0.94
储层温度/℃	65 ~ 145（邻井预测温度）	66 ~ 78	61. 3 ~ 73. 4
等温吸附特征	兰氏体积（V_L）平均12.28 m^3/t，兰氏压力（P_L）平均3.24 MPa	兰氏体积（V_L）平均7.98 m^3/t，兰氏压力（P_L）平均5.80 MPa	兰氏体积（V_L）平均28.29 m^3/t，兰氏压力（P_L）平均3.06 MPa
含气量/(m^3·t^{-1})	11.77	14.77	15.00 ~ 26.00
孔隙度/%	5.49 ~ 8.36，平均6.96	5.00 ~ 13.33，平均8.76	0.49 ~ 6.11，平均 2.92
渗透率/10^{-3} μm^2	0.685	1.360	0.03 ~ 0.05

层的含水情况，含水饱和度低且有利于游离气富集的迪北缓坡平台将是库车坳陷煤岩气的有利目标区。

所有作者声明不存在利益冲突。

The authors declare that no competing interests exist.

参考文献：

[1] JOHNSON R C, FLORES R M. Developmental geology of coalbed methane from shallow to deep in Rocky Mountain Basins and in Cook Inlet-Matanuska Basin, Alaska, U. S. A. and Canada[J]. International Journal of Coal Geology, 1998, 35(1/2/3/4): 241-282.

[2] TONNSEN R R, MISKIMINS J. Simulation of deep-coalbed-methane permeability and production assuming variable pore-volume compressibility[J]. Journal of Canadian Petroleum Technology, 2011, 50(5): 23-31.

[3] NELSON C R. Deep coalbed gas plays in the U. S. Rocky Mountain region[C]// Anon. Proceedings of the AAPG Annual Meeting. Salt Lake City, Utah, USA: [s. n.], 2003: 5-8.

[4] KUUSKRAA V A, WYMAN R E. Deep coal seams: An overlooked source for long-term natural gas supplies[C]// Anon. SPE Gas Technology Symposium. Calgary, Alberta, Canada: SPE, 1993: SPE-26196-MS.

[5] 陈刚. 深部低阶含煤层气系统及其成藏机制: 以准噶尔盆地彩南地区为例 [D]. 江苏徐州: 中国矿业大学, 2014.
CHEN G. Deep low-rank coalbed methane system and reservoiring mechanism in the case of the cainan block in Junggar Basin[D]. Xuzhou Jiangsu: China University of Mining and Technology, 2014. (in Chinese with English abstract)

[6] 秦勇. 中国深部煤层气地质研究进展 [J]. 石油学报, 2023, 44(11): 1791-1811.
QIN Y. Progress on geological research of deep coalbed methane in China[J]. Acta Petrolei Sinica, 2023, 44(11): 1791-1811. (in Chinese with English abstract)

[7] LI H Y, LAU H C, HUANG S. Coalbed methane development in China: Engineering challenges and opportunities[C]// Anon. SPE/IATMI Asia Pacific Oil & Gas Conference and Exhibition. Jakarta, Indonesia: SPE, 2017: D012S036R098.

[8] 李曙光, 王红娜, 徐博瑞, 等. 大宁–吉县区块深层煤层气井酸化压裂产气效果影响因素分析 [J]. 煤田地质与勘探, 2022, 50(3): 165-172.
LI S G, WANG H N, XU B R, et al. Influencing factors on gas production effect of acid fractured CBM wells in deep coal seam of Daning-Jixian Block[J]. Coal Geology & Exploration, 2022, 50(3): 165-172. (in Chinese with English abstract)

[9] 郭绪杰, 支东明, 毛新军, 等. 准噶尔盆地煤岩气的勘探发现及意义 [J]. 中国石油勘探, 2021, 26(6): 38-49.
GUO X J, ZHI D M, MAO X J, et al. Discovery and significance of coal measure gas in Junggar Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2021, 26(6): 38-49. (in Chinese with English abstract)

[10] FU H J, TANG D Z, XU T, et al. Characteristics of pore structure and fractal dimension of low-rank coal: A case study of Lower Jurassic Xishanyao coal in the southern Junggar Basin, NW China[J]. Fuel, 2017, 193: 254-264.

[11] AYERS W B Jr. Coalbed gas systems, resources, and production and a review of contrasting cases from the San Juan and Powder River Basins[J]. AAPG Bulletin, 2002, 86(11): 1853-1890.

[12] PASHIN J C, GROSHONG R H. Structural control of coalbed methane production in Alabama[J]. International Journal of Coal Geology, 1998, 38(1/2): 89-113.

[13] PILLALAMARRY M, HARPALANI S, LIU S M. Gas diffusion behavior of coal and its impact on production from coalbed methane reservoirs[J]. International Journal of Coal Geology, 2011, 86(4): 342-348.

[14] CHEN S D, TANG D Z, TAO S, et al. Characteristics of in situ stress distribution and its significance on the coalbed methane (CBM) development in Fanzhuang-Zhengzhuang Block, southern Qinshui Basin, China[J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2018, 161: 108-120.

[15] FU H J, TANG D Z, XU T, et al. Preliminary research on CBM enrichment models of low-rank coal and its geological controls: A case study in the middle of the southern Junggar Basin, NW China[J]. Marine and Petroleum Geology, 2017, 83: 97-110.

[16] 李登华, 高煖, 刘卓亚, 等. 中美煤层气资源分布特征和开发现状对比及启示 [J]. 煤炭科学技术, 2018, 46(1): 252-261.
LI D H, GAO X, LIU Z Y, et al. Comparison and revelation of coalbed methane resources distribution characteristics and development status between China and America[J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(1): 252-261. (in Chinese with English abstract)

[17] FU H J, YAN D T, SU X B, et al. Biodegradation of early thermogenic gas and generation of secondary microbial gas in the Tieliekedong region of the northern Tarim Basin, NW China[J]. International Journal of Coal Geology, 2022, 261: 104075.

[18] XU H, TANG D Z, TANG S H, et al. Geologic and hydrological controls on coal reservoir water production in marine coal-bearing strata: A case study of the Carboniferous Taiyuan Formation in the Liulin area, eastern Ordos Basin, China[J]. Marine and Petroleum Geology, 2015, 59: 517-526.

[19] BURRA A, ESTERLE J S, GOLDING S D. Horizontal stress anisotropy and effective stress as regulator of coal seam gas zonation in the Sydney Basin, Australia[J]. International Journal of Coal Geology, 2014, 132: 103-116.

[20] PAPENDICK S L, DOWNS K R, VO K D, et al. Biogenic methane potential for Surat Basin, Queensland coal seams[J]. International Journal of Coal Geology, 2011, 88(2/3): 123-134.

[21] YAO Y B, LIU D M, YAN T T. Geological and hydrogeological controls on the accumulation of coalbed methane in the Weibei field, southeastern Ordos Basin[J]. International Journal of Coal Geology, 2014, 121: 148-159.

[22] TAO S, TANG D Z, XU H, et al. Factors controlling high-yield coalbed methane vertical wells in the Fanzhuang Block, southern Qinshui Basin[J]. International Journal of Coal Geology, 2014, 134: 38-45.

[23] MENG Y J, TANG D Z, XU H, et al. Geological controls and coalbed methane production potential evaluation: A case study in Liulin area, eastern Ordos Basin, China[J]. Journal of Natural Gas Science and Engineering, 2014, 21: 95-111.

[24] 田军, 杨海军, 吴超, 等. 博孜 9 井的发现与塔里木盆地超深层天然气勘探潜力 [J]. 天然气工业, 2020, 40(1): 11-19.
TIAN J, YANG H J, WU C, et al. Discovery of Well Bozi 9 and ultra-deep natural gas exploration potential in the Kelasu tectonic zone of the Tarim Basin[J]. Natural Gas Industry, 2020, 40(1): 11-19. (in Chinese with English abstract)

[25] 王珂, 杨海军, 李勇, 等. 塔里木盆地库车坳陷北部构造带地质特征与勘探潜力 [J]. 石油学报, 2021, 42(7): 885-905.
WANG K, YANG H J, LI Y, et al. Geological characteristics and exploration potential of the northern tectonic belt of Kuqa Depression in Tarim Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2021, 42(7): 885-905. (in Chinese with English abstract)

[26] 吴斌, 安庆, 杜世涛. 新疆库拜煤田煤层气多层合采特征煤层探索 [J]. 中国煤层气, 2019, 16(4): 9-13.
WU B, AN Q, DU S T. Exploration on coal seams with characteristics of CBM multi-layer drainage in Kubay coalfield in Xinjiang[J]. China Coalbed Methane, 2019, 16(4): 9-13. (in Chinese with English abstract)

[27] 马君慧, 李鑫, 田继军. 库拜煤田西部煤层气资源评价 [J]. 西部探矿工程, 2023, 35(5): 162-164.
MA J H, LI X, TIAN J J. Evaluation of coalbed methane resources in western Kubai coalfield[J]. West-China Exploration Engineering, 2023, 35(5): 162-164. (in Chinese)

[28] 李玲, 唐淑玲, 王斌, 等. 库车坳陷北部构造带克孜勒努尔组煤层煤岩学特征及煤相约束作用 [J]. 煤炭科学技术, 2025, 53(3): 124-138.
LI L, TANG S L, WANG B, et al. Coal petrography characteristics and coal facies constraints of Kezilenur Formation coal seams in the northern tectonic belt of Kuqa Depression[J]. Coal Science and Technology, 2025, 53(3): 124-138. (in Chinese with English abstract)

[29] 郭泽清, 王斌, 董才源, 等. 塔里木盆地库车坳陷北部构造带侏罗系煤岩气地质特征及有利区带评价 [J]. 天然气地球科学, 2025, 36(5): 953-972.
GUO Z Q, WANG B, DONG C Y, et al. Geological characteristics of Jurassic coal rock gas and evaluation of favorable zones in the northern structural belt of the Kuqa Depression, Tarim Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2025, 36(5): 953-972. (in Chinese with English abstract)

[30] 赵孟军, 鲁雪松, 卓勤功, 等. 库车前陆盆地油气成藏特征与分布规律 [J]. 石油学报, 2015, 36(4): 395-404.
ZHAO M J, LU X S, ZHUO Q G, et al. Characteristics and distribution law of hydrocarbon accumulation in Kuqa Foreland Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2015, 36(4): 395-404. (in Chinese with English abstract)

[31] 付晓飞, 杨勉, 吕延防, 等. 库车坳陷典型构造天然气运移过程物理模拟 [J]. 石油学报, 2004, 25(5): 38-43.
FU X F, YANG M, LU Y F, et al. Physical simulation on gas migration process of typical structure in Kuqa Depression[J]. Acta Petrolei Sinica, 2004, 25(5): 38-43. (in Chinese with English abstract)

[32] 魏国齐, 贾承造, 姚慧君. 塔里木盆地晚海西期逆冲-走滑构造与含油气性 [J]. 新疆石油地质, 1995, 6(2): 96-102.
WEI G Q, JIA C Z, YAO H J. Late Hercynian overthrust and strike-slip structure and oil & gas potential of the Tarim Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 1995, 6(2): 96-102. (in Chinese with English abstract)

[33] 姜潇俊, 史玲玲, 莫涛, 等. 深层-超深层致密砂岩储层特征及物性差异成因: 以库车坳陷博孜地区巴什基奇克组为例 [J]. 地质科技通报, 2025, 44(3): 151-164.
JIANG X J, SHI L L, MO T, et al. Characteristics and causes of physical property differences of deep and ultradeep tight sandstone reservoirs: A case study of the Bashijiqike Formation in the Bozi area of the Kuqa Depression[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2025, 44(3): 151-164. (in Chinese with English abstract)

[34] 刘宏坤, 艾勇, 王贵文, 等. 深层、超深层致密砂岩储层成岩相测井定量评价: 以库车坳陷博孜-大北地区为例 [J]. 地质科技通报, 2023, 42(1): 299-310.
LIU H K, AI Y, WANG G W, et al. Quantitative well logging evaluation of diagenetic facies of deep and ultra deep tight sandstone reservoirs: A case study of Bozi-Dabei area in Kuqa Depression[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2023, 42(1): 299-310. (in Chinese with English abstract)

[35] 张冠杰, 张滨鑫, 徐珂, 等. 塔里木盆地库车坳陷博孜区块超深层致密砂岩储层裂缝特征及其对油气产能的影响 [J]. 地质科技通报, 2024, 43(2): 75-86.
ZHANG G J, ZHANG B X, XU K, et al. Fracture characteristics of ultra-deep tight sandstone reservoirs in the Bozi Block, Kuqa Depression of Tarim Basin, and effects on oil-gas production[J]. Bulletin of Geological Science and Technology, 2024, 43(2): 75-86. (in Chinese with English abstract)

[36] LIU J L, YANG X Z, LIU K Y, et al. Differential hydrocarbon generation and evolution of typical terrestrial gas-prone source rocks: An example from the Kuqa Foreland Basin, NW China[J]. Marine and Petroleum Geology, 2023, 152: 106225.

[37] 王高成, 田文广, 章超, 等. 四川盆地大安区块深层煤岩气储层特征及勘探潜力 [J]. 天然气工业, 2025, 45(3): 68-81.
WANG G C, TIAN W G, ZHANG C, et al. Reservoir characteristics and exploration potential of deep CBM in the Da'an Block, Sichuan Basin[J]. Natural Gas Industry, 2025, 45(3): 68-81. (in Chinese with English abstract)

[38] 兰浩, 杨兆彪, 仇鹏, 等. 新疆准噶尔盆地白家海凸起深部煤层气勘探开发进展及启示 [J]. 煤田地质与勘探, 2024, 52(2): 13-22.
LAN H, YANG Z B, QIU P , et al. Exploration and exploitation of deep coalbed methane in the Baijiahai Uplift, Junggar Basin: Progress and its implications[J]. Coal Geology & Exploration, 2024, 52(2): 13-22. (in Chinese with English abstract)

[39] 邢丽茹, 张洲, 任峻杉, 等. 准噶尔盆地深部与浅部煤层气储层物性特征对比分析 [J]. 中国煤炭, 2024, 50(9): 9-17.
XING L R, ZHANG Z, REN J S, et al. Comparative analysis of physical properties of deep and shallow CBM reservoirs in Junggar Basin[J]. China Coal, 2024, 50(9): 9-17. (in Chinese with English abstract)

[40] 闫霞, 徐凤银, 聂志宏, 等. 深部微构造特征及其对煤层气高产“甜点区”的控制: 以鄂尔多斯盆地东缘大吉地区为例 [J]. 煤炭学报, 2021, 46(8): 2426-2439.
YAN X, XU F Y, NIE Z H, et al. Microstructure characteristics of

Daji area in east Ordos Basin and its control over the high yield dessert of CBM[J]. Journal of China Coal Society, 2021, 46(8): 2426-2439. (in Chinese with English abstract)

[41] 孙斌, 杨敏芳, 杨青, 等. 准噶尔盆地深部煤层气赋存状态分析 [J]. 煤炭学报, 2017, 42(增刊 1): 195-202.
SUN B, YANG M F, YANG Q, et al. Analysis on occurrence state of deep coalbed methane in Junggar Basin[J]. Journal of China Coal Society, 2017, 42(S1): 195-202. (in Chinese with English abstract)

[42] 陈河青, 杨兆彪, 李道清, 等. 新疆准噶尔盆地白家海凸起深部煤层气孔渗系统特征 [J]. 煤田地质与勘探, 2024, 52(6): 33-43.
CHEN H Q, YANG Z B, LI D Q, et al. Characteristics of the pore and seepage system of deep coalbed methane in the Baijiahai Uplift, Junggar Basin, Xinjiang[J]. Coal Geology & Exploration, 2024, 52(6): 33-43. (in Chinese with English abstract)

Summary for “库车坳陷侏罗系克孜勒努尔组深部煤层特征及启示”

Characteristics and enlightenment of deep coal rocks in the Jurassic Kizilnur Formation of Kuqa Depression

ZHAO Yawen[1*], XIE Huiwen[1, 2, 3], YAN Detian[4], WANG Bin[1, 2, 3], YI Yan[1, 2], LI Ling[1, 2], YANG Guo[1, 2, 3], CHENG Wangming[1, 2]

1. Tarim Oilfield Company, PetroChina, Korla Xinjiang 841000, China;
2. R & D Center for Ultra-Deep Complex Reservoir Exploration and Development, CNPC, Korla Xinjiang 841000, China;
3. Xinjiang Key Laboratory of Ultra-deep Oil and Gas, Korla Xinjiang 841003, China;
4. School of Earch Resources, China University of Geosciences (Wuhan), Wuhan 430074, China

* Corresponding author, E-mail: zhaoyawen2022@foxmail.com

Abstract: [**Objective**] Current research on the Jurassic Kizilnur Formation coal seams in the Kuqa Depression mainly focuses on shallow sections, with limited study of deep coal seams. [**Methods**] To address unknown coal-rock characteristics, reservoir properties, and gas content in the Jurassic Kizilnur Formation coal seams, the geometric distribution characteristics, the characteristics of coal rock and coal quality, reservoir properties, adsorption properties, and gas content of the coal seam in this block were studied based on the following methods, such as drilling data, seismic data processing, wellbore analysis, sampling observation, gas measurement, pore permeability, and isothermal adsorption experiments. [**Results**] The deep coal seams in the research area are predominantly composed of primary structures, with vitrinite as the major organic component (average 62.2%), indicating type Ⅲ organic matter. The coal is of medium rank, generally characterized by medium-to-high volatile matter, ultra-low sulfur, and low to very low ash content. The average gas porosity is 7.10%, and the average permeability is 0.685×10^{-3} μm^2. Furthermore, methane adsorption capacity is strongly influenced by macrinite reflectance, water content, and ash yield. In the Kuqa Depression, deep coal seams occur at burial depths of 2 000 – 5 000 m, are mainly distributed in the Northern Structural Zone, cover about 2 800 km^2, with a maximum single-layer thickness of 22 m. The average gas content of the deep coal seam measured is 11.77 m^3/t, indicating substantial resource potential. [**Conclusion**] Compared with shallow coal seams, the deep coal seams of the Kezilnur Formation in the study area are more strongly affected by burial depth, exhibit high maturation, and have achieved large-scale gas production, underscoring their exploration potential. Water saturation emerges as a critical factor controlling gas content in these seams. Notably, the Dibei gentle-slope platform in the Kuqa Depression offers particular advantages for CBM extraction due to favorable hydrological and geological attributes.

Key words: Kuqa Depression; Kizilnur Formation; coal seam; coal reservoir characteristic

Received: 2024-12-27; Revised: 2025-07-09; Accepted: 2025-07-18

doi: 10.19509/j.cnki.dzkq.tb20240785