



准噶尔盆地中生代“下煤上铀”地层结构的沉积机理

吴兆剑 韩效忠 李紫楠 胡航 来强

引用本文:

吴兆剑, 韩效忠, 李紫楠, 等. 准噶尔盆地中生代“下煤上铀”地层结构的沉积机理[J]. 煤炭科学技术, 2023, 51(12): 52–64.

WU Zhaojian, HAN Xiaozhong, LI Zinan. Sedimentary mechanism analysis of “Lower Coal and Upper Uranium” strata structure in Junggar Basin, Northern China[J]. Coal Science and Technology, 2023, 51(12): 52–64.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12438/cst.2023-0786>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

准噶尔盆地南缘沉积控制下含煤层气系统构成研究

Study on composition of coalbed methane system under sedimentary control in southern margin of Junggar Basin

煤炭科学技术. 2019(1) <http://www.mtkxjs.com.cn/article/id/9a03fe00-2a32-41e1-88a1-bdc6db17e59b>

准噶尔盆地南缘富CO₂低阶煤层气藏的形成机理研究

Study on formation mechanism of CO₂-enriched CBM reservoirs in low-rank coal seams from southern Zhunggar Basin

煤炭科学技术. 2021, 49(3): 175–180 <https://doi.org/10.13199/j.cnki.cst.2021.03.024>

准噶尔盆地东部中侏罗世煤中记录的古野火事件

Wildfires recorded in Middle Jurassic coals in Eastern of Junggar Basin in Xinjiang, China

煤炭科学技术. 2022, 50(7): 261–270 <http://www.mtkxjs.com.cn/article/id/476a7314-5dd5-494f-95d6-183552657aa5>

准噶尔盆地南缘急倾斜储层煤层气多层合采产出模拟研究

Simulation study of multilayer coalbed methane production in steeply inclined reservoirs in the southern edge of Junggar Basin

煤炭科学技术. 2022, 50(7): 199–205 <http://www.mtkxjs.com.cn/article/id/a315fb4e-c911-45d0-8757-401a99ce2442>

沁水盆地霍州矿区石炭-二叠纪煤中微量元素地球化学特征及沉积环境分析

Geochemical characteristics and sedimentary environment analysis of trace elements in Carboniferous–Permian coal in Huozhou Area, Qinshui Basin

煤炭科学技术. 2022, 50(9): 138–146 <http://www.mtkxjs.com.cn/article/id/63e7979e-fd89-4d70-b123-0c7f1697bd6c>

准噶尔煤田阜康矿区小黄山煤矿煤的矿物学特征

Mineralogical characteristics in No. 6 coal seam from Xiaohuangshan Coal Mine of Fukang Mining Area, Junggar Coal Field

煤炭科学技术. 2021, 49(6): 242–250 <http://www.mtkxjs.com.cn/article/id/084efe6a-efa3-4320-892f-1ae9a4e85979>



关注微信公众号，获得更多资讯信息



移动扫码阅读

吴兆剑, 韩效忠, 李紫楠, 等. 准噶尔盆地中生代“下煤上铀”地层结构的沉积机理[J]. 煤炭科学技术, 2023, 51(12): 52–64.

WU Zhaojian, HAN Xiaozhong, LI Zinan, *et al.* Sedimentary mechanism analysis of “Lower Coal and Upper Uranium” strata structure in Junggar Basin, Northern China[J]. Coal Science and Technology, 2023, 51(12): 52–64.

准噶尔盆地中生代“下煤上铀”地层结构的沉积机理

吴兆剑, 韩效忠, 李紫楠, 胡航, 来强

(中煤地质集团有限公司, 北京 100040)

摘要: 中国北方中生代含煤盆地常见煤、铀共伴生发育, 且煤及煤系砂岩型铀矿表现为特征的“下煤上铀”的地层结构。为精确约束沉积要素在中生代含煤盆地煤及煤系砂岩型铀矿富集成藏(矿)中的作用, 探讨煤、铀共伴生的沉积机理, 优选准噶尔盆地东部发育“八道湾组煤–八道湾组铀”“西山窑组煤–头屯河组铀”两套“下煤上铀”地层结构的准东煤田及其邻区, 聚焦侏罗系构造–沉积演化, 通过典型地震剖面的构造解译和连井剖面的细致解析, 重点开展等时地层对比和地层层序分析, 精细刻画早侏罗世八道湾组至晚侏罗世奇古组的沉积相类型和沉积体系变化规律。结果表明: ①准噶尔盆地东部准东煤田及其邻区侏罗系的沉积演化具有明显的旋回性, 是一个顶、底面为区域性不整合面所限, 由多个退积–进积的3级沉积旋回组成的完整2级沉积序列; ②盆地退积–进积沉积演化的旋回性是“下煤上铀”地层结构发育的主要原因, 它通过可容纳空间变化控制了沉积环境的转变和物质的空间配置, 且进积比退积对应更强的聚煤作用和更适宜的铀储层砂体; ③高级别的沉积旋回具备更强的强迫性, 制约在2级旋回中处于退积环境的八道湾组的“下煤上铀”规模远小于处于进积环境的西山窑–头屯河组。沉积序列分析可用于含煤盆地的聚煤作用分析和铀储层铀成矿远景预测, 特别是铀成矿新区新层位的预测。

关键词: 煤系砂岩型铀矿; 下煤上铀; 可容纳空间; 沉积旋回

中图分类号: P536

文献标志码: A

文章编号: 0253–2336(2023)12–0052–13

Sedimentary mechanism analysis of “Lower Coal and Upper Uranium” strata structure in Junggar Basin, Northern China

WU Zhaojian, HAN Xiaozhong, LI Zinan, HU Hang, LAI Qiang

(China Coal Geology Group Co., Ltd., Beijing 100040, China)

Abstract: Coal and sandstone-type uranium deposits in the Mesozoic coal-bearing basins in Northern China often show the stratigraphic structure of “lower coal and upper uranium”, indicating a good co-occurrence relationship between coal and uranium deposit. In order to precisely restrict the role of sedimentary factors in coal accumulation and uranium enrichment, and to explore the sedimentary mechanism of coal and uranium co-occurrence, we selected the Zhundong coalfield and its adjacent areas in the eastern Junggar Basin, where there are two sets of “lower coal and upper uranium” strata, as the research object. Based on the stratigraphic sequence analysis and isochronous stratigraphic framework construction, detailed sedimentary characterization of coal measure strata and an in-depth discussion of sedimentary evolution law are carried out. The results show that the Jurassic strata in the Zhundong coalfield and its adjacent areas is a complete second-order sequence consistent of multiple third-order depositional cycles of retrogradation-progradation, and the top and bottom are limited by regional unconformities. The retrogradation-progradation sedimentary cycle is the main reason for the superposition of coal measure strata and uranium reservoir. It controls the change of sedimentary environment and the spatial configuration of materials by accommodating spatial changes, and progradation corresponds to stronger coal accumulation and better uranium reservoir sand body than ret-

收稿日期: 2023–05–20

责任编辑: 常琛

DOI: 10.12438/cst.2023-0786

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2023YFC2906701); 国家自然科学基金资助项目(42202088)

作者简介: 吴兆剑(1987—), 男, 湖北监利人, 高级工程师, 博士。E-mail: wuzhj06@126.com

rogradation. Moreover, The second-order sedimentary cycle has stronger compulsion than the third-order sedimentary cycle, which restricts “lower coal and upper uranium” formation structure of Badaowan Formation in the regressive environment in the second-order cycle to be much smaller than that in Xishanyao-Toutunhe Formation in the progradative environment. All these results will provide a theoretical basis for the prospect prediction of uranium mineralization in other coal-bearing basins, especially for the identification of new uranium reservoirs and new prospect areas.

Key words: sandstone type uranium deposit; lower coal and upper uranium; accommodation; sedimentary cycle

0 引言

中国北方中生代盆地是典型的油气、煤炭及煤系砂岩型铀矿资源叠加发育的能源盆地^[1]。近几十年的煤、铀勘查实践表明, 尽管这些中生代盆地含煤、铀地层时代差异较大, 如中西部准噶尔、伊犁、鄂尔多斯等盆地含煤、铀地层为侏罗系, 东部如二连、松辽等盆地含煤、铀地层为白垩系, 但不管是侏罗纪还是白垩纪含煤、铀地层, 煤系地层和铀储层均毫无例外地表现为特征的“下煤上铀”的空间叠置关系^[1-7]。

前人对煤、铀紧密共生机理, 特别是聚煤作用产生的有机质对后生蚀变流体中铀的还原富集的制约^[5,8-11]等开展了大量研究。如刘正邦等^[2]通过鄂尔多斯盆地东胜地区铀储层酸解烃的分析, 认为煤及煤层气是铀矿物沉淀富集的重要还原剂, 煤层及煤层厚度变化可作为该区砂岩型铀矿勘查的重要标志; 罗晶晶^[10]通过对大营矿煤屑有机质的分析, 指出煤屑有机质中的腐殖酸能通过还原、吸附、阳离子交换和配位、微生物降解等作用, 导致铀的富集成矿。这些研究聚焦于煤层有机质在铀的还原富集等方面的作用和机理, 但尚未解释煤铀共生为何几乎总是呈现出“下煤上铀”的地层结构。

同时, 前人也认识到铀储层自身的沉积是铀成矿的基础, 并对盆地铀储层沉积特征开展了大量工作, 提出了“铀储层砂体非均质性制约铀的沉淀富集”^[12-16], “辫状河道亚相、辫状河三角洲平原亚相、三角洲平原或前缘亚相的分流河道微相等是砂岩型铀成矿的优势沉积相”^[1,14,17-20]等一系列观点。但总体而言, 前人主要从有利于后生流体改造的角度来刻画铀储层自身沉积特征, 较少将煤系地层与有利铀成矿的储层作为一个整体来考虑其沉积演化过程及沉积制约机理。

近年来, 相关单位在准噶尔盆地东部准东煤田及其邻区发现了喀木斯特、帐篷沟等一系列铀矿床(点), 为研究“下煤上铀”地层结构沉积机理积累了丰富素材。据此, 在地层对比划分和等时地层格架构建的基础上, 精细刻画准东煤田及其邻区八道湾组—齐古组的沉积特征, 详尽解析煤系地层和含铀岩

系整体的沉积演变规律, 深入探讨“下煤上铀”空间配置的内在驱动力, 以期对其他含煤盆地的铀成矿远景预测, 特别是对铀成矿新区新层位的识别提供理论依据。

1 地层特征

1.1 地层结构

新疆准东煤田位于准噶尔盆地东部(图 1a), 是我国最大的整装煤田, 蕴含巨量的煤炭资源^[21-22], 区内煤系地层主要为西山窑组, 其次为八道湾组。铀矿勘查发现, 煤田区内存在多套铀矿(化)层(图 1b), 主要为以帐篷沟铀矿点为典型代表的八道湾组铀矿层(图 1c)和以喀木斯特铀矿床为典型代表的头屯河组铀矿层(图 1d), 同时在部分地段西山窑组顶部砂岩层中也发现了伽马异常显示(图 1e)。总体而言, 该区发育“八道湾组煤—八道湾组铀”“西山窑组煤—头屯河组铀”两套“下煤上铀”地层结构。

1.2 层序界面识别

层序界面的识别是地层对比和等时地层格架构建的基础。削截、顶超、上超、下超等地震标志可用于地震层序界面的识别, 古风化壳、河床滞留沉积(冲刷面)、岩性岩相突变面、沉积旋回、凝缩段等地质或电性标志则可用于沉积地质界面的识别^[24-25]。

1.2.1 地震层序界面

地震剖面揭示了准东煤田区侏罗系内部及其顶底的 3 个地震层序界面: ①T/J 界面, 可见八道湾组底界面对应相对弱振幅的波峰反射, 界面上可见上超现象(图 2a); ②J_{2x}/J_{2t} 界面, 西山窑组顶界面对应相对弱振幅的波峰反射, 界面上覆地层中可见下超现象(图 2b); ③J₃/K₁ 界面, 在白垩系吐谷鲁群(K₁tg)底部可见明显的削截现象(图 2c)。

1.2.2 地质层序界面

地震层序界面一般为良好的地质层序界面, 如下侏罗统八道湾组上超面, 对应巨厚砾岩层和下伏三叠系砂泥岩间的岩性突变面, 但并非所有地质层序界面均能在地震剖面上显示。通过对喀木斯特和帐篷沟地区侏罗系钻孔岩心编录和电测曲线的分析, 识别出 3 个地质层序界面: ①头屯河组底部砂砾岩

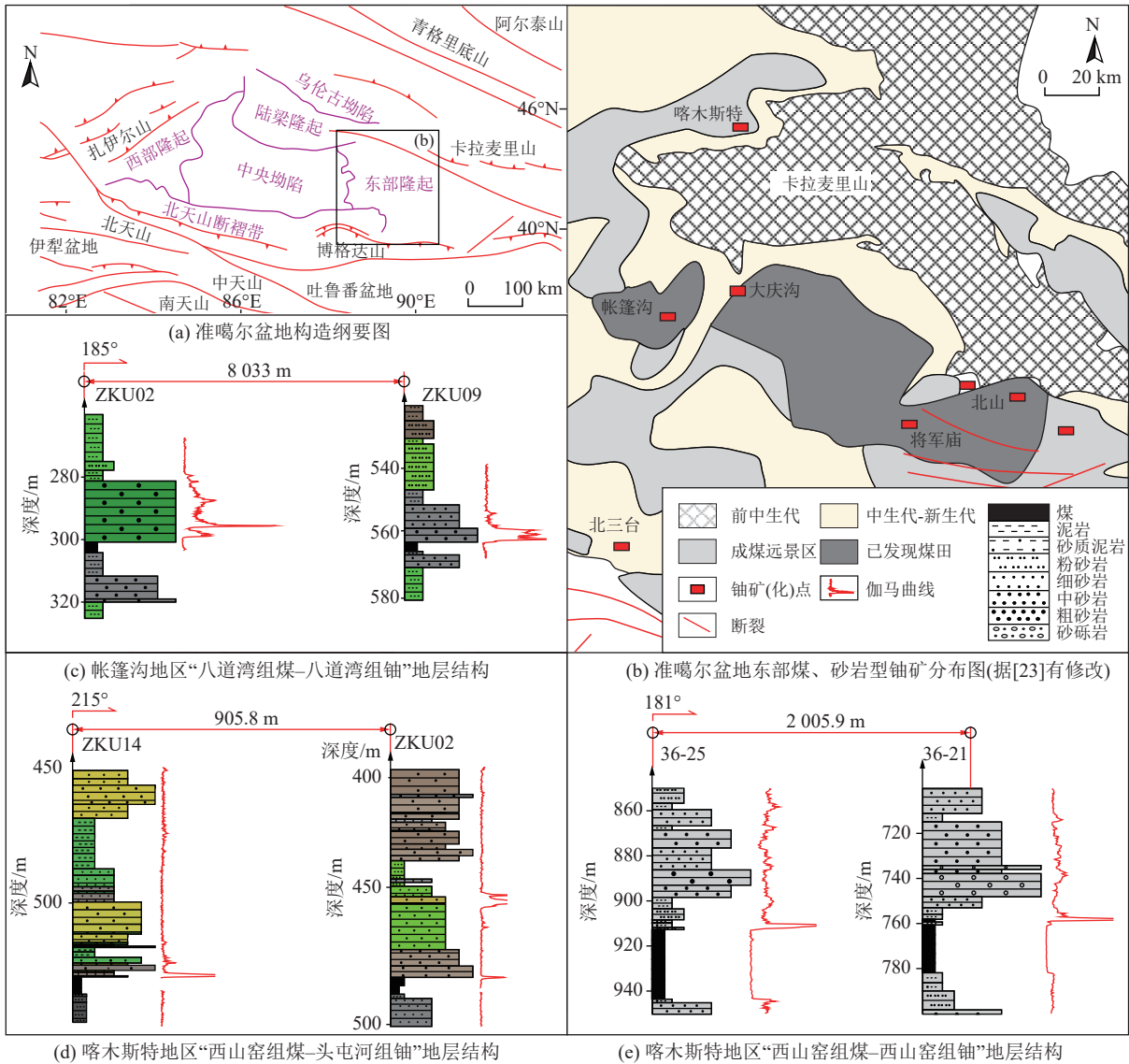


图 1 准噶尔盆地东部煤、铀平面分布及垂向分布

Fig.1 Plane and vertical distribution characteristics of coal and uranium in eastern Junggar Basin

与下伏西山窑组含煤泥岩层间的突变面 (图 3a); ②西山窑组底部砂体与三工河组泥岩之间的突变面 (图 3b); ③三工河组内部砂砾岩与下伏泥岩层间的突变面 (图 3c)。

1.3 等时地层格架构建

在前人等时地层格架和地层划分方案基础上 [26-29], 综合准东煤田及其邻区地震层序界面和沉积地质层序界面的发育特征, 在盆地东部侏罗系及顶底共识别出 5 个层序界面, 分别为 SB1-SB5, 划分出 4 个 3 级层序 (表 1)。其中 SB1、SB5 为 2 级层序界面, 对应区域上稳定发育的地震不整合面, 为受区域构造运动控制的沉积旋回; SB2、SB3、SB4 为 3 级层序界面, 主要对应局部发育的河道冲刷面等, 界面上下岩性、电性等表现出明显突变, 为受局部构造运动控制的沉积旋回。

2 沉积演化分析

2.1 沉积相类型

沉积相分析在等时地层格架的约束下进行。利用钻井岩心、测井等资料, 综合分析了准噶尔盆地卡拉麦里山前带侏罗纪不同沉积期的典型沉积特征, 确定该区侏罗系的主要沉积相类型 (图 4 和表 2)。其中辫状河三角洲平原亚相以发育厚层的砾质或含砾砂质辫状河道为主, 顶部发育粉砂岩和泥岩, 砾石次棱角-次圆状, 分选差, 与冲积扇相扇中亚相特征较为相似, 但辫状河道厚度相对较小, 旋回数量也较少, 电测曲线为齿化明显的钟状 (图 4a); 辫状河三角洲前缘亚相广泛存在, 典型特征为向上变粗的反韵律旋回, 沉积微相包括水下分流通河道、分流间湾、河口坝等 (图 4b); 曲流河三角洲平原也发育

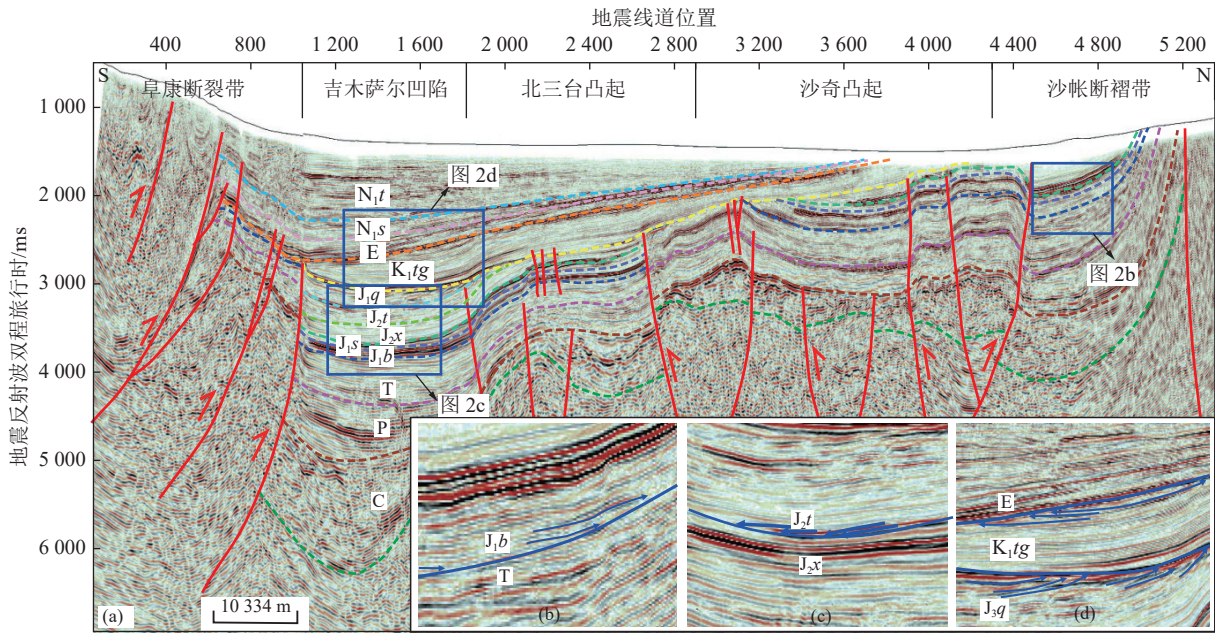


图 2 准噶尔盆地东部 2019-SN07 地震剖面^[31]
Fig.2 Seismic profile 2019-SN07 in eastern Junggar Basin^[31]

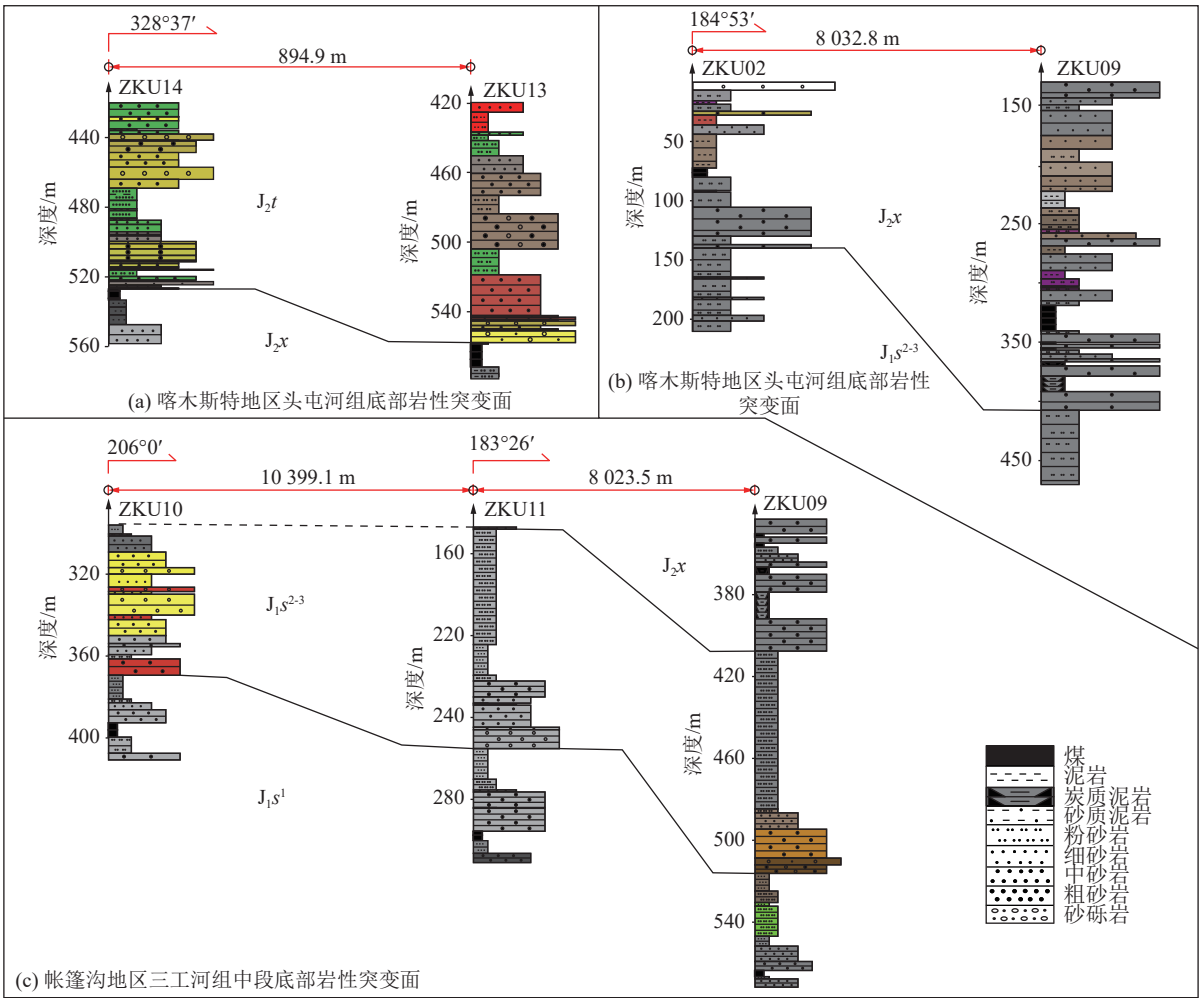


图 3 典型地质层序界面
Fig.3 Typical geological interfaces

表 1 准噶尔盆地东部层序地层划分方案
Table 1 Sequence stratigraphic division scheme in eastern Junggar Basin

传统地层划分方案			层序地层划分方案		
系	组(群)	段	二级层序	三级层序	层序界面
白垩系	吐谷鲁群				SB5
	奇古组				
侏罗系	头屯河组	上段	Sq-sets	SQ4	
		下段			
	西山窑组	上段			SB4
		中段		SQ3	
		下段			
	三工河组	上段			SB3
		中段		SQ2	
		下段			SB2
	八道湾组	上段		SQ1	
		中段			
		下段			
三叠系					SB1

向上变粗的反韵律旋回,但沉积粒度整体偏细,常见煤系地层,主要发育分流河道、分流间湾、泥炭沼泽等微相(图 4c);辫状河沉积相呈多个向上变细的正韵律旋回,其中心滩砂体电测曲线形态为箱形,辫状河道为钟形,而泛滥平原泥岩、粉砂岩电测曲线为低值的齿状(图 4d);曲流河沉积表现为向上变细的正韵律旋回,以砂地比极小、垂向加积厚层泛滥平原为典型特征,包括滞留沉积、边滩、泛滥平原微相等(图 4e);滩坝微相和滨浅湖泥多见波状层理和水平层理,有机质含量一般较高,垂向上以加积为主,电测曲线为低且平缓的微齿状,地震剖面上表现为强振幅、内部平行的席状体;而湖沼微相多见炭质泥岩夹煤层,为滨浅湖淤积背景下的低能环

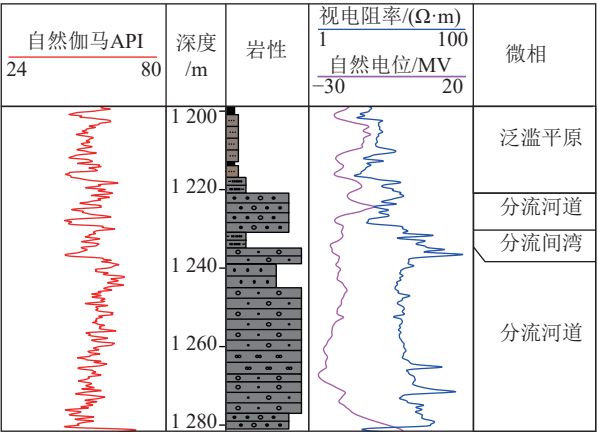
境沉积,电测曲线上煤层以低伽玛、高电阻的特征与上下地层明显区分。

2.2 沉积演化规律

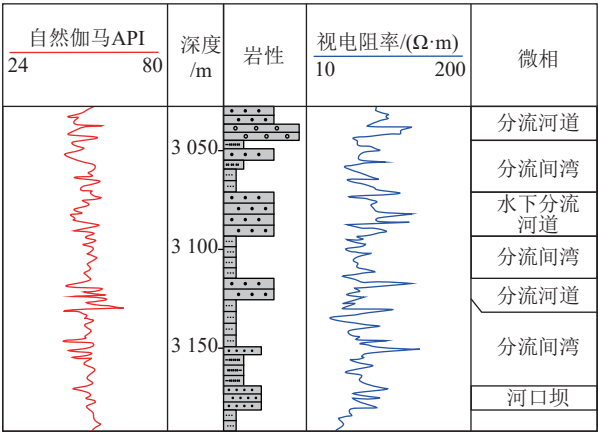
在明确沉积相类型的基础上,通过帐篷沟铀矿点和喀木斯特铀矿床典型钻孔连井剖面的对比研究,深入探讨八道湾组-齐古组的沉积演变规律。

2.2.1 SQ1 沉积期

据帐篷沟地区 402-103 连井剖面(图 5)可知, SQ1 表现进积-退积的 3 级沉积序列,但在 2 级沉积序列中整体处于退积环境。其中八道湾组下段为扇三角洲-辫状河三角洲粗碎屑沉积;随着可容纳空间的增大,八道湾组中段演变为辫状河三角洲前缘-滨浅湖细粒沉积;之后湖退进积,随着可容纳空间减小,



(a) 北 3 台地区 b2040 井八道湾组下段辫状河三角洲平原沉积



(b) 白家海凸起彩 34 井八道湾组上段辫状河三角洲前缘和前三角洲沉积

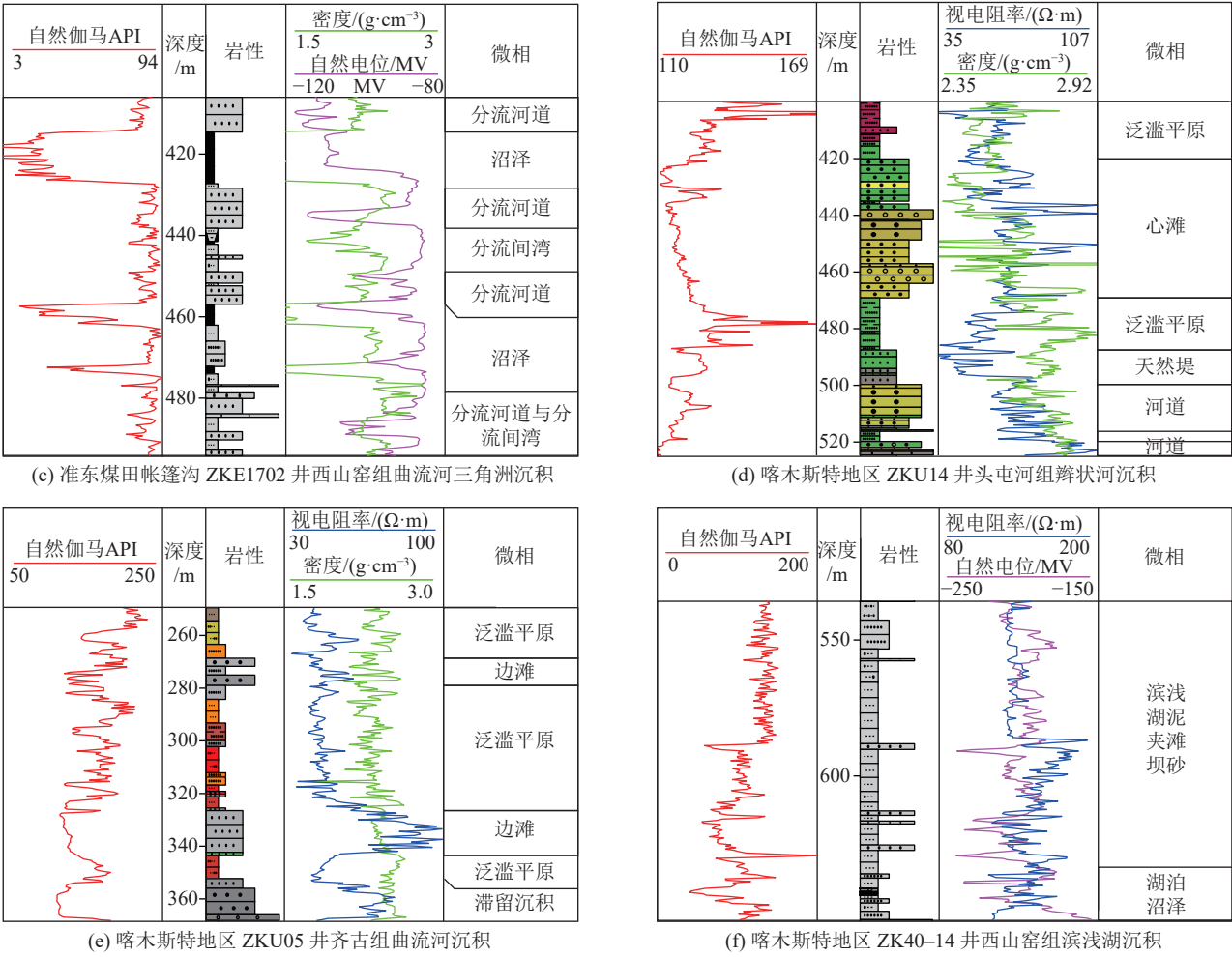


图 4 准噶尔盆地东部不同类型沉积相特征

Fig.4 Characteristics of different sedimentary facies in eastern Junggar Basin

八道湾组上段转换为湖泊沼泽—三角洲平原沉积;随着可容纳空间的再次增大,三工河组下段再次演变为三角洲前缘—滨浅湖细粒沉积。

2.2.2 SQ2 沉积期
据帐篷沟地区 ZKU10—ZKU09 连井剖面 (图 6) 可知, SQ2 表现为进积—退积的 3 级沉积序列, 在 2

表 2 准噶尔盆地东部侏罗系沉积相类型

Table 2 Sedimentary facies of Jurassic in eastern Junggar Basin

沉积相	亚相	微相	主要地层
三角洲相	辫状三角洲平原	砾质砂质分流河道、分流间湾、河漫沼泽	J _{1b} , J _{1s}
	辫状三角洲前缘	水下分流河道、分流间湾、河口坝、席状砂坝、远砂坝	
	前三角洲	前三角洲泥	
	三角洲平原	分流河道、分流河道间、河漫沼泽	J _{2x}
	三角洲前原	水下分流河道、河口坝、席状砂坝、远砂坝	
河流相	前三角洲	前三角洲泥	J _{1b} , J _{2t}
	辫状河	辫状河道、心滩	
	曲流河	天然堤、决口扇、泛滥平原/沼泽	
		滞留沉积、边滩	
湖泊	泛滥平原	泛滥平原	J _{1b} , J _{1s}
	滨浅湖	砂坝、泥坪、滨湖沼泽	
	深湖—半深湖	黑色泥岩、薄层粉砂质泥	

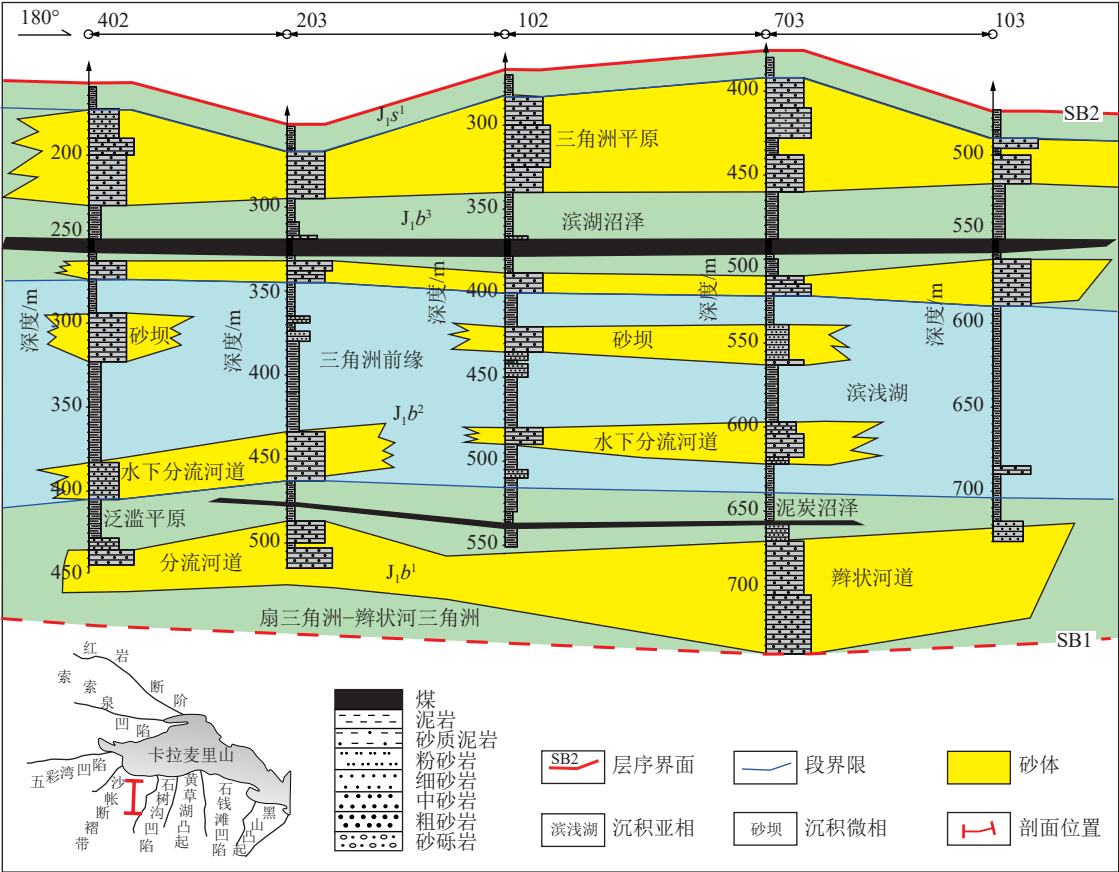


图 5 帐篷沟地区八道湾组连井沉积相特征

Fig.5 Sedimentary facies characteristics of Badaowan Formation in Zhangpenggou area

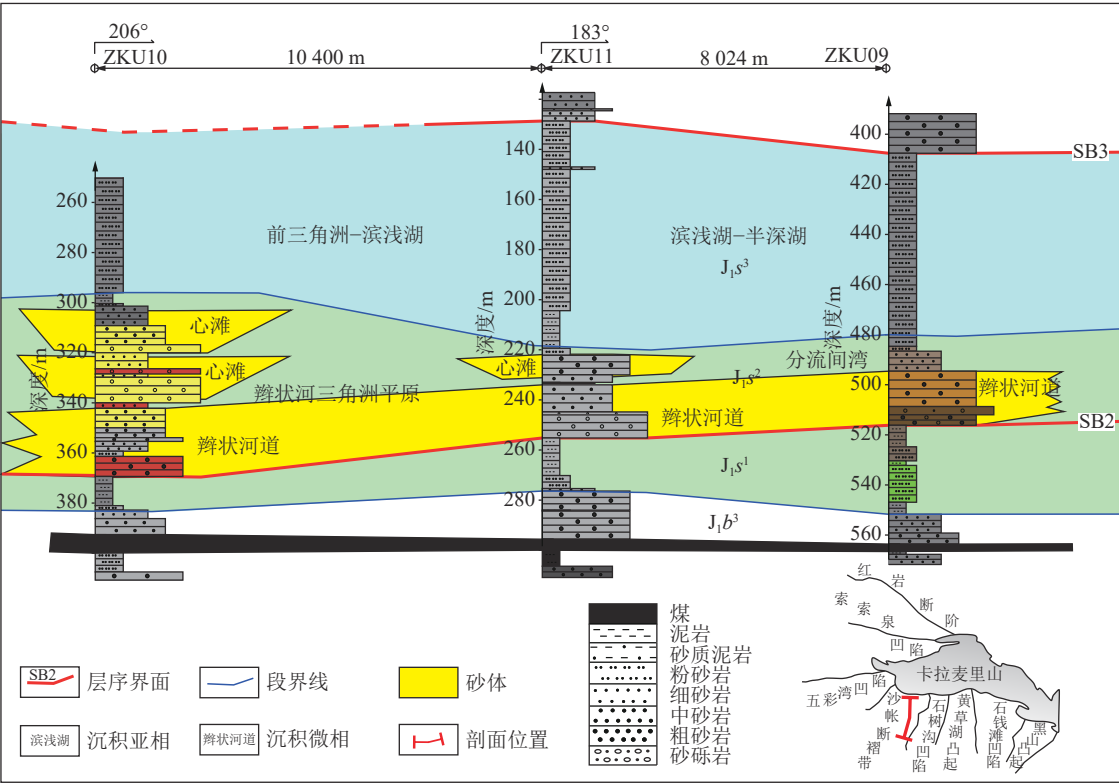


图 6 帐篷沟地区三工河组连井沉积相图

Fig.6 Sedimentary facies characteristics of Sangonghe Formation in Zhangpenggou area

级旋回体系中整体处于退积环境。其中三工河组中段为磨圆较好的中砾岩和细砾岩沉积,在垂向上见多个呈正韵律的砂体叠加,具有典型的辫状河道和心滩沉积特征;随着可容纳空间的迅速增大,三工河晚期形成最大湖泛面,厚层的泥岩-粉砂岩中自下而上常见爬升层理或波状层理和水平层理发育,指示前三角洲-滨浅湖沉积向半深湖沉积转变。

2.2.3 SQ3 沉积期

在三工河组最大湖泛面形成之后,由于可容纳空间的减小和沉积物供给的增多,SQ3 表现为进积-退积的 3 级沉积序列,但在 2 级旋回体系表现为进积(图 7)。在西山窑组早期,由于进积作用湖盆开始淤积,靠近盆地边缘开始出现辫状河道-分流河道粗碎屑沉积,且见薄煤层的发育,远离盆地边缘则以厚层泥岩,夹薄层细砂岩为主,由盆地边缘向中心整体表现为三角洲平原-三角洲前缘-前三角洲沉积;在西山窑组中期,可容纳空间增大,湖进退积,靠近盆

地边缘细粒沉积中可见少量细砂岩夹层,可能为水下分流河道沉积,远离盆地边缘则以细粒沉积为主,指示由盆地边缘向中心整体表现为前三角洲-滨浅湖沉积。在西山窑组晚期,可容纳空间减小,物质供给充足,湖泊迅速淤积,发育分流河道、分流间湾和厚煤层,指示前三角洲-滨浅湖相向三角洲平原-湖沼快速转变。

2.2.4 SQ4 沉积期

西山窑组沉积期后的构造抬升运动^[30-31]导致河流回春,因而头屯河组下段发育厚层的辫状河粗碎屑沉积物,由盆地边缘向盆地中心可见砂体厚度变薄,粒径减小;随着可容纳空间的持续减小,河流下切作用逐渐减弱,头屯河组上段和齐古组以曲流河-洪泛平原沉积为主(图 8)。

3 “下煤上铀”的沉积机理

砂岩型铀矿床是典型的后生矿床,含氧含铀流体改造铀储层砂体成矿的第 1 性原理是,流体中易

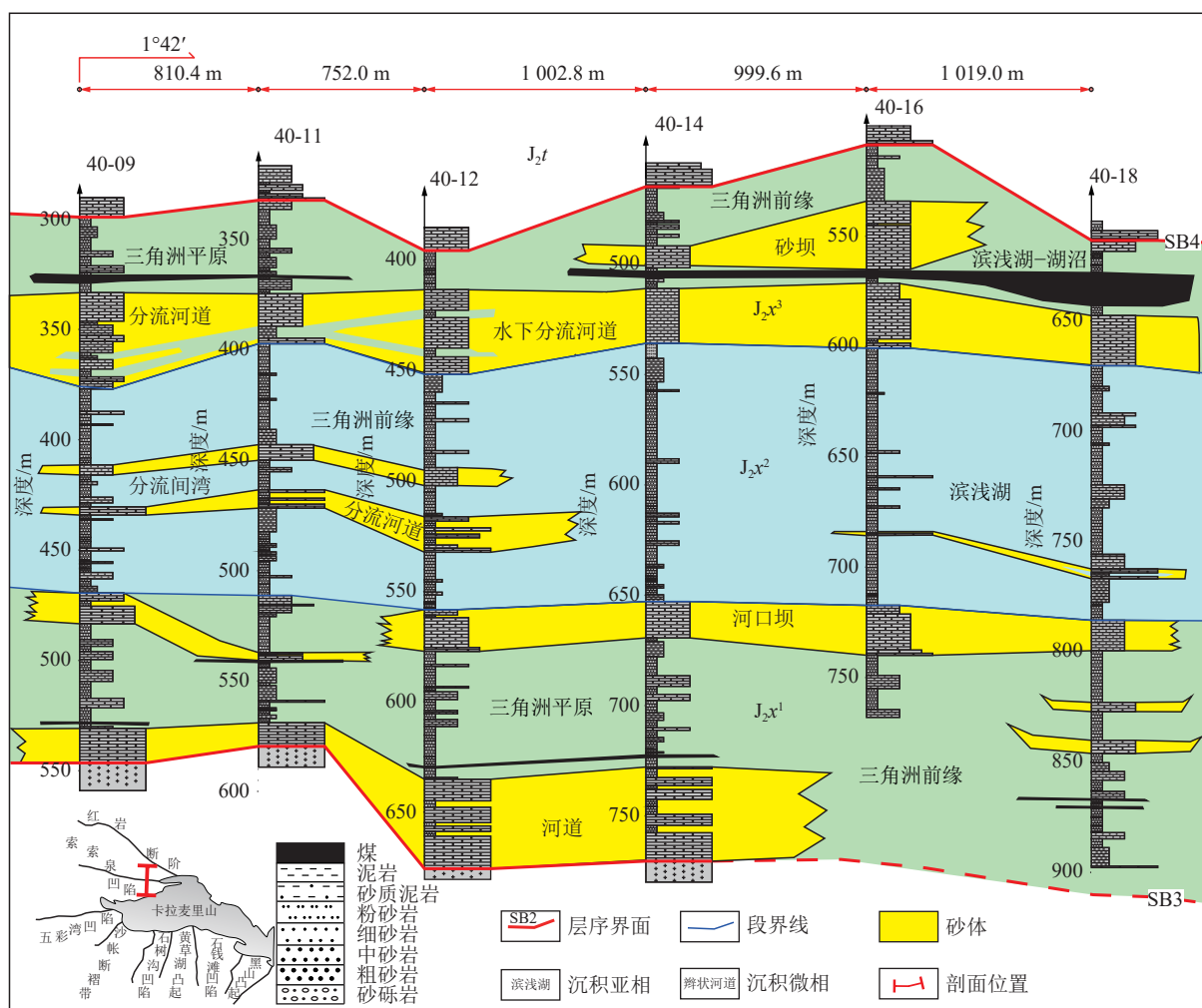


图 7 喀木斯特地区西山窑组连井沉积相图

Fig.7 Sedimentary facies characteristics of Xishanyao Formation in Kamusite area

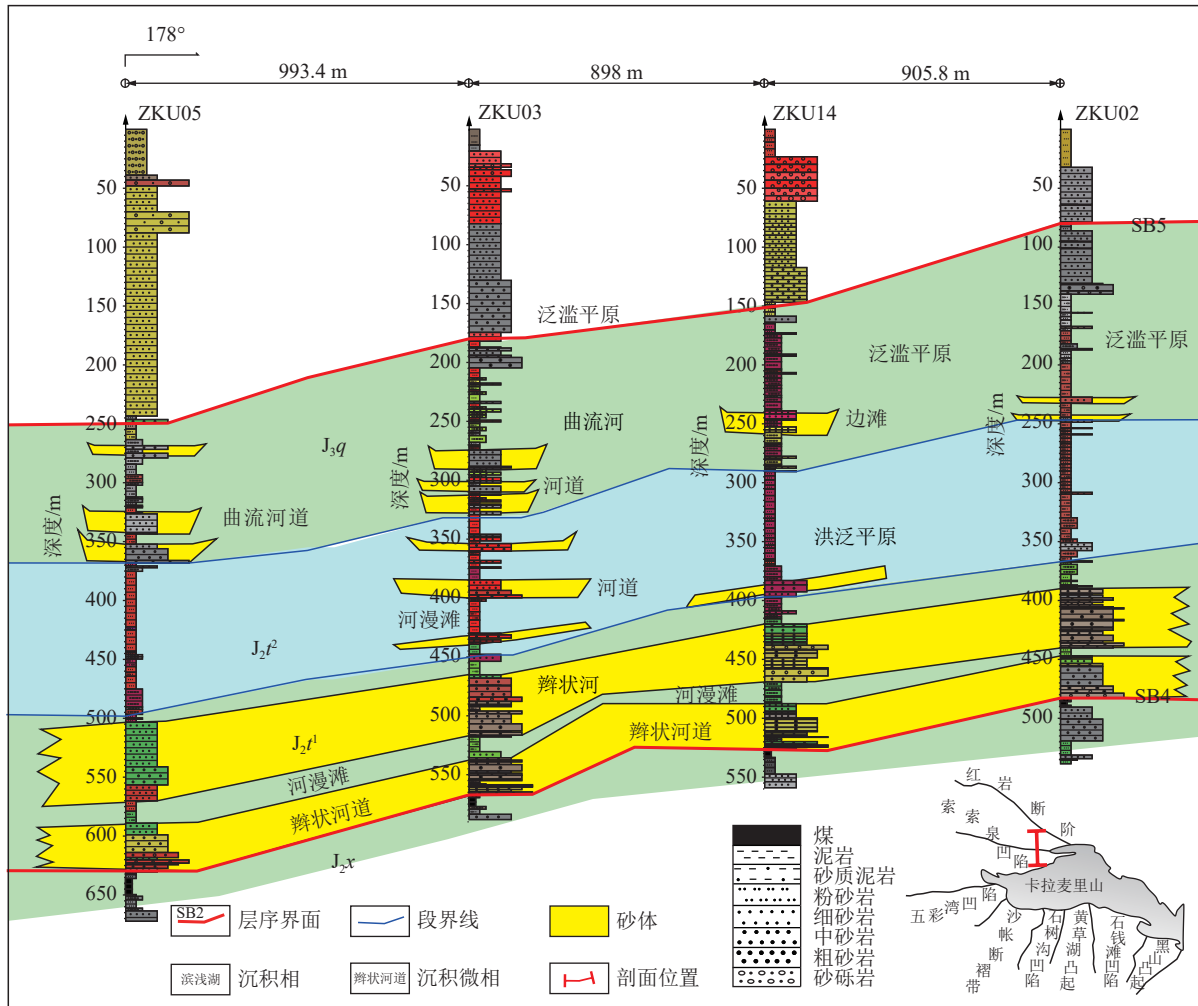


图 8 准东喀木斯地区头屯河组连井相
Fig.8 Sedimentary facies characteristics of Toutunhe Formation in Kamusite area

迁移的 U^{6+} 发生氧化还原反应生成难溶解的 U^{4+} 。因而砂体厚度和规模、砂体孔隙度和渗透率、砂体自身还原容量、还原剂类型和来源等是制约铀成矿的主要因素。吴兆剑等^[1]将铀成矿过程划分为铀储层砂体沉积和流体改造两个阶段。基于此,煤、铀共生的成因机理研究,也应聚焦于煤系地层与铀储层砂体沉积关系、煤系地层对铀的还原作用两个方面。有关煤及煤层气等有机质对铀的还原机理已有较多研究,文中着重从沉积角度探讨,煤系地层上覆规模较大、泛连通性和渗透性较好、具备一定还原容量的沉积砂体的原因。

3.1 沉积演化对聚煤作用的制约

3.1.1 八道湾组和西山窑组聚煤作用

在 3 级沉积序列框架内分析八道湾组的沉积特征可知,八道湾组下段→八道湾组上段可容纳空间经历了由增大→减小的转变,沉积过程则对应退积→进积的演变(图 5、图 9)。在八道湾组下段→八道湾组中段转换的退积阶段,尽管发育泥炭沼泽环

境,但由于可容纳空间持续增大,水体逐渐变深,不利于泥炭堆积,下段仅发育薄煤层。在八道湾组中段→八道湾组上段转换期间,同样发育泥炭沼泽环境,但由于可容纳空间开始减小,湖退进积,有利于泥炭的堆积,因而八道湾组上段煤层的发育强度明显大于下段。即聚煤作用发生于沉积环境的转化阶段,但在进积阶段具有更大的规模。相似的退积→进积的 3 级旋回同样出现于西山窑沉积期,进积阶段的西山窑组上段煤层的发育强度明显大于退积阶段的下段煤层(图 7、图 9)。

3.1.2 沉积旋回对聚煤作用的制约

整体而言,西山窑组的聚煤作用远远强于八道湾组。若在 2 级沉积序列框架内审视八道湾组 and 西山窑组沉积演化特征,则两者聚煤作用差异的原因显而易见(图 9)。2 级沉积序列内可容纳空间相似地经历了增大→减小的转变,沉积过程也对应退积→进积的演变。在 SQ1→SQ2 转换期间的泥炭沼泽环境,由于基准面急剧下降、可容纳空间快速增大,陆

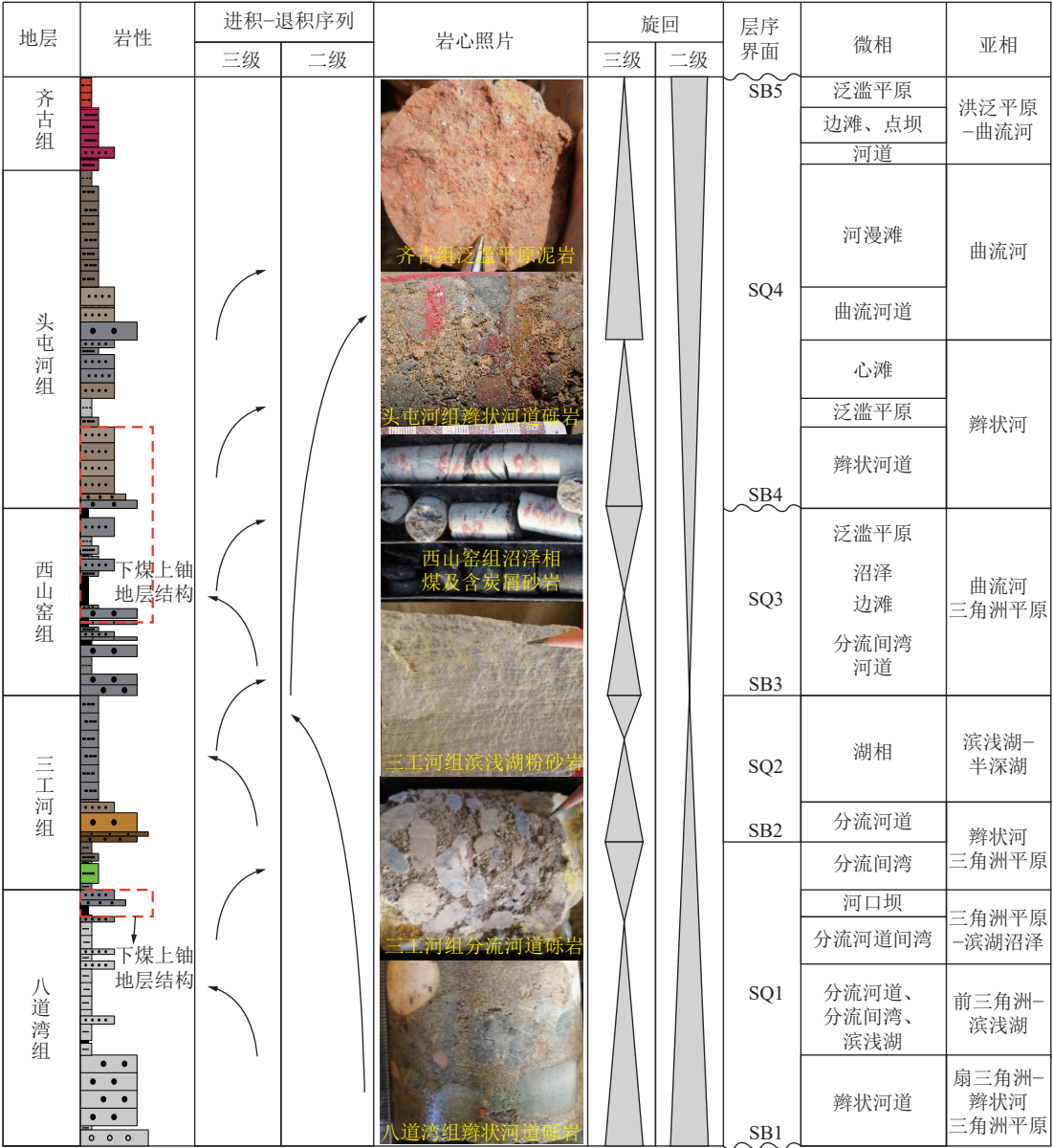


图 9 准东煤田及邻区沉积旋回
Fig.9 Depositional cycle of Jundong coalfield and adjacent areas

缘碎屑供给不足,不利于泥炭的堆积,因而在 2 级沉积序列退积环境下沉积的八道湾组煤层规模较小;而在 SQ2→SQ3 转换时,由于陆缘碎屑供给充足,随着加积作用的进行,可容纳空间减小,湖泊淤积,有利于泥炭的堆积,故而在 2 级沉积序列进积环境下沉积的西山窑组煤层规模较大。这进一步表明,不管 3 级沉积序列还是 2 级沉积序列,聚煤作用均发生于沉积环境的转化阶段。但进积阶段相比退积阶段具有更大的聚煤强度,且 3 级序列服从 2 级序列。

因此,在煤田勘查勘查实践中,大范围或区域尺度的聚煤作用的预测,需在 2 级序列框架内开展。

3.2 沉积演化对铀储层的制约

前文已述,中国北方中生代盆地中“辫状河道亚

相、辫状河三角洲平原亚相、三角洲平原或前缘亚相的分流河道、河口坝微相”等沉积相是有利于砂岩型铀矿发育的优势相。因此沉积相的分析可用于铀储层的优选。在 3 级沉积序列框架内,八道湾组下段主要为冲积扇相,分选较差,不是最优良的沉积砂体;而八道湾组中段→八道湾组上段转换期间,可容纳空间减小,沉积过程以进积为主,滨浅湖-三角洲前缘沉积环境会向三角洲平原转换,发育分流河道、河口坝等有利铀成矿的沉积砂体。西山窑组表现相似的沉积演变规律,但西山窑组下段和上段均为曲流河三角洲平原或前缘沉积,尽管发育分流河道、河口坝沉积,但泥岩夹层较多,相对不利于铀成矿。

但若在 2 级沉积序列的框架内讨论整个侏罗系

的沉积特征则可发现,八道湾组顶部的三角洲分流河道等有利铀成矿砂体,在2级沉积序列内处于退积的旋回中,制约了其规模化发育。而在西山窑组聚煤作用的晚期,由于陆缘碎屑供给充足,处于2级沉积序列进积阶段的头屯河组,随着可容纳空间的减小,水体变浅,河流回春,发育了厚大的辫状河、辫状河三角洲相的有铀储层砂体。

同理,尽管3级沉积序列和2级沉积序列均可见有利铀成矿的储层砂体发育,但3级序列服从2级序列。这表明,在铀矿勘查实践中,大范围或区域尺度的铀储层识别或预测工作,需在2级序列框架内开展。

3.3 “下煤上铀”地层结构的沉积机理

将煤系地层与铀储层作为一个整体考虑,在3级沉积序列中,受3级退积→进积旋回的制约,八道湾组发育湖相→湖沼相→三角洲分流河道亚相的转变,在八道湾组顶部形成“下煤上铀”的地层结构;在2级沉积序列中,受2级退积→进积旋回的制约,侏罗系发育湖相→湖沼相或三角洲相→河流相的转变,西山窑组和头屯河组共同形成了“下煤上铀”的地层结构。因此,从沉积演化的角度来看,噶尔盆地东部侏罗系发育两套“下煤上铀”地层结构的驱动力可能源于盆地沉积演化的旋回性,可容纳空间的变化,控制了煤系地层与铀储层的叠加发育(图9)。

4 结 语

准噶尔盆地东部准东煤田及其邻区侏罗系的沉积演化具有明显的旋回性,是一个顶、底面为区域性不整合面所限,由多个退积-进积的3级沉积旋回组成的完整2级沉积序列。退积-进积的沉积旋回是“下煤上铀”地层结构出现的主要机理,通过可容纳空间变化控制了沉积环境的转变和物质的空间配置。一方面,进积较之退积导致更强的聚煤作用和更适宜的铀储层砂体的叠置发育;另一方面,高级别的沉积旋回具备更强的强迫性,制约了在2级旋回中处于退积环境的八道湾组的“下煤上铀”规模远小于处于进积环境的西山窑-头屯河组。

上述成果认识,对其他中国北方中生代盆地煤铀兼探特别是砂岩型铀矿新区新层位的勘查工作具有一定指示意义。

致 谢 感谢新疆油田公司提供地震剖面等基础资料,感谢评审专家和编辑老师的专业审稿意见。

参考文献(References):

- [1] 吴兆剑,韩效忠,林中湘,等.中国北方主要中生代盆地构造沉积气候演化及其成煤、铀意义[J].大地构造与成矿学,2020,44(4):710-724.
WU Zhaojian, HAN Xiaozhong, LIN Zhongxiang, *et al.* Tectonic, sedimentary, and climate evolution of Meso-Cenozoic basins in North China and its significance of coal accumulation and uranium mineralization[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2020, 44(4): 710-724.
- [2] 刘正邦,焦养泉,薛春纪,等.内蒙古东胜地区侏罗系砂岩铀矿体与煤层某些关联性[J].地学前缘,2013,20(1):146-153.
LIU Zhengbang, JIAO Yangquan, XUE Chunji, *et al.* The correlation between sandstone uranium ore-body and coal bed in Jurassic system, Dongsheng, Inner Mongolia[J]. *Earth Science Frontiers*, 2013, 20(1): 146-153.
- [3] 吴兆剑,韩效忠.煤田资料的铀矿二次开发技术及其找矿意义:以二连盆地ZS煤田铀矿点的发现为例.中国地质,2016,43(2):617-627.
WU Zhao, HAN Xiaozhong. A new uranium exploring technical system for secondary development of coalfield data and its prospecting significance: A case study of the ZS coalfield, Erlian basin[J]. *Geology in China*, 2016, 43(2): 617-627.
- [4] 张云,孙立新,张天福,等.鄂尔多斯盆地东北缘煤铀岩系层序地层与煤铀赋存规律研究[J].地质学报,2016,90(12):3424-3440.
ZHANG Yun, SUN Lixin, ZHANG Tianfu, *et al.* Sequence stratigraphy study of coal uranium bearing rock series and occurrence regularity coal and uranium in the Northeastern margin of Ordos Basin[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2016, 90(12): 3424-3440.
- [5] 焦养泉,吴立群,荣辉,等.鄂尔多斯盆地直罗组聚煤规律及其对古气候和铀成矿环境的指示意义[J].煤炭学报,2021,46(7):2331-2345.
JIAO Yangquan, WU Liquan, RONG Hui, *et al.* Coal accumulation regularity of Zhiluo Formation and its indication to paleoclimate and uranium metallogenic environment, Ordos Basin[J]. *Journal of China Coal Society*, 2021, 46(7): 2331-2344.
- [6] 秦彦伟,杜鹏飞,吕永华,等.二连盆地赛汉塔拉凹陷宝拉格地区赛汉组层序地层与砂岩型铀成矿关系[J].铀矿地质,2023,39(2):216-227.
QIN Yanwei, DU Pengfei, LV Yonghua, *et al.* Relationship between sequence stratigraphy of Saihan Formation and sandstone type uranium mineralization in Baolage Area, Saihantala Sag, Erlian Basin[J]. *Uranium Geology*, 2023, 39(2): 216-227.
- [7] 韩效忠,吴兆剑,林中湘,等.准噶尔盆地东部构造抬升剥蚀对铀成矿的控制[J].煤炭学报,2023,48(9):3471-3482.
HAN Xiaozhong, WU Zhaojian, LIN Zhongxiang, *et al.* The control of tectonic uplift and denudation on uranium mineralization in the eastern Junggar Basin[J]. *Journal of China Coal Society*, 2023, 48(9): 3471-3482.
- [8] 杨斌虎,罗静兰,戴亚权,等.含铀砂岩中铀与有机质、油气和煤的关系:以鄂尔多斯盆地东胜地区和吐哈盆地十红滩地区为例[J].西北大学学报(自然科学版),2006,36(6):982-987,991.

- YANG Binhu, LUO Jinglan, DAI Yaquan, *et al.* Petrology of uranium-bearing sandstones and relationship of organic matters, hydrocarbons and coal with uranium: an example from Dongsheng, Ordos Basin and Shihongtan, Tuha Basin[J]. *Journal of Northwest University(Natural Science Edition)*, 2006, 36(6): 982-987, 991.
- [9] 宫文杰, 张振强. 松辽盆地南部泉头组砂岩型铀矿成矿条件分析[J]. *地球学报*, 2010, 31(6): 813-818.
- GONG Wenjie, ZHANG Zhenqiang. Metallogenic condition analysis of the sandstone uranium deposit in Quantou formation, Southern Songliao Basin[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2010, 31(6): 813-818.
- [10] 罗晶晶. 鄂尔多斯盆地北部大营砂岩型铀矿煤屑有机质特征及其成矿意义[D]. 西安: 西北大学, 2017.
- LUO Jingjing. Coal organic matter characteristic and metallogenic significance in Daying sandstone-type uranium, Ordos Basin[D]. Xi'an: Northwest University, 2017.
- [11] 赵天林, 魏安军, 田亮, 等. 二连盆地查干敖包地区赛汉组铀矿化特征及找矿方向[J]. *铀矿地质*, 2021, 37(5): 854-868.
- ZHAO Tianlin, WEI Anjun, TIAN Liang, *et al.* Uranium mineralization characteristics of Saihan Formation and the prospecting direction in Chagan'aobao Area, Erlian Basin[J]. *Uranium Geology*, 2021, 37(5): 854-868.
- [12] 焦养泉, 陈安平, 杨琴, 等. 砂体非均质性是铀成矿的关键因素之一: 鄂尔多斯盆地东北部铀成矿规律探讨[J]. *铀矿地质*, 2005(1): 8-15.
- JIAO Yangquan, CHEN Anping, YANG Qin, *et al.* Sand body heterogeneity: one of the key factors of uranium metallogenesis in Ordos basin[J]. *Uranium Geology*, 2005(1): 8-15.
- [13] 谢惠丽, 吴立群, 焦养泉, 等. 鄂尔多斯盆地罕台庙地区铀储层非均质性定量评价指标体系[J]. *地球科学*, 2016, 41(2): 279-292.
- XIE Huili, WU Liquan, JIAO Yangquan, *et al.* The quantitative evaluation index system for uranium reservoir Heterogeneity in HANTAIMIAO Region, Ordos Basin[J]. *Earth Science*, 2016, 41(2): 279-292.
- [14] 吴兆剑, 闫茂华, 韩效忠, 等. 鄂尔多斯盆地北东部红庆梁地区铀成矿规律及其找矿意义[J]. *煤田地质与勘探*, 2019, 47(1): 22-31.
- WU Zhaojian, YAN Maohua, HAN Xiaozhong, *et al.* Uranium metallogenic characteristics and prospecting significance of Hongqingliang area in northeastern Ordos basin[J]. *Coal Geology & Exploration*, 2019, 47(1): 22-31.
- [15] 胡立飞, 刘小刚. 鄂尔多斯盆地东北部农胜新地区直罗组下段下亚段砂体非均质性与铀矿化的关系[J]. *铀矿地质*, 2020, 36(4): 250-260.
- HU Lifei, LIU Xiaogang. The relation of uranium mineralization to the heterogeneity of sand body in the lower submember, lower member of zhiluo formation in nongshengxin Area, Northeastern Ordos Basin[J]. *Uranium Geology*, 2020, 36(4): 250-260.
- [16] 宋海瑞, 柳东良, 佟术敏, 等. 陆家堡凹陷四方台组砂体非均质性特征与铀成矿关系[J]. *铀矿地质*, 2021, 37(5): 879-890.
- SONG Hairui, LIU Dongliang, TONG Shumin, *et al.* Heterogeneity of sand body in Sifangtai Formation and its relationship with uranium mineralization in Lujiapu Sag[J]. *Uranium Geology*, 2021, 37(5): 879-890.
- [17] 韩效忠, 吴兆剑, 林中湘, 等. 浅论中国北方主要产铀盆地含矿目标层沉积相对砂岩型铀矿的制约[J]. *大地构造与成矿学*, 2020, 44(4): 697-709.
- HAN Xiaozhong, WU Zhaojian, LIN Zhongxiang, *et al.* Constraints of sedimentary facies of the targeting layers on Sandstone-type Uranium mineralization in major uranium-producing basins in Northern China: A brief discussion[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2020, 44(4): 697-709.
- [18] 蒋喆, 韩效忠, 胡航, 等. 二连盆地恩格日音砂岩型铀矿床地质特征及成矿作用初探[J]. *大地构造与成矿学*, 2020, 44(4): 742-753.
- JIANG Zhe, HAN Xiaozhong, HU Hang, *et al.* Geological characteristics and ore-forming process of the engeriyin large sandstone-type uranium deposit in the manite depression, Erlian Basin[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2020, 44(4): 742-753.
- [19] 王国荣, 贾为卫, 杜默, 等. 准噶尔盆地南缘侏罗系辫状河沉积体系与铀成矿关系[J]. *铀矿地质*, 2021, 37(3): 342-354.
- WANG Guorong, JIA Weiwei, DU Mo, *et al.* Relationship between Jurassic braided river depositional system and uranium mineralization in the Southern Margin of Junggar Basin[J]. *Uranium Geology*, 2021, 37(3): 342-354.
- [20] 曹民强, 荣辉, 陈振岩, 等. 松辽盆地钱家店铀矿床层间氧化带结构定量表征及制约因素[J]. *地球科学*, 2021, 46(10): 3453-3466.
- CAO Minqiang, RONG Hui, CHEN Zhenyan, *et al.* Quantitative characterization and controlling factors of the interlayer oxidation zone of Qianjiadian URANIUM Deposit, Songliao Basin[J]. *Earth Science*, 2021, 46(10): 3453-3466.
- [21] 宋汉疆. 新疆准东煤田煤炭综合利用问题探讨[J]. *西部探矿工程*, 2008, 20(9): 149-151.
- SONG Hanjiang. Discussion on comprehensive utilization of coal in Zhundong Coalfield of Xinjiang[J]. *West-China Exploration Engineering*, 2008, 20(9): 149-151.
- [22] 黄红星, 傅雪海, 赵增平, 等. 准噶尔盆地南缘急倾斜储层煤层气多层合采产出模拟研究[J]. *煤炭科学技术*, 2022, 50(7): 199-205.
- HUANG Hongxing, FU Xuehai, ZHAO Zengping, *et al.* Simulation study of multilayer coalbed methane production in steeply inclined reservoirs in the southern edge of Junggar Basin[J]. *Coal Science and Technology*, 2022, 50(7): 199-205.
- [23] ZHOU J, ZHUANG X, ALASTUEY A, *et al.* Geochemistry and mineralogy of coal in the recently explored Zhundong large coal field in the Junggar basin, Xinjiang province, China[J]. *International Journal of Coal Geology*, 2010, 82(1-2): 51-67.
- [24] 张云鹤, 邵龙义, 孙钦平, 等. 海拉尔盆地旧桥凹陷伊敏组层序-古地理及聚煤特征[J]. *煤炭科学技术*, 2018, 46(4): 177-187.
- ZHANG Yunhe, SHAO Longyi, SUN Qinpeng, *et al.* Sequence-paleogeography and coal accumulation features of Jiugao Sag Yimin Formation in Hailaer Basin[J]. *Coal Science and Technology*, 2018, 46(4): 177-187.

- [25] 张利伟, 严德天, 刘文慧, 等. 三塘湖盆地条湖凹陷中侏罗统西山窑组层序地层及聚煤规律[J]. 煤炭学报, 2019, 44(2): 545–556.
ZHANG Liwei, YAN Detian, LIU Wenhui, *et al.* Sequence strata and coal accumulation of Xishanyao Formation in Tiaohu sag of Santanghu Basin, Sinkiang[J]. Journal of China Coal Society, 2019, 44(2): 545–556.
- [26] 方世虎, 郭召杰, 宋 岩, 等. 准噶尔盆地南缘侏罗纪沉积相演化与盆地格局[J]. 古地理学报, 2005(3): 347–356.
FANG Shihu, GUO Zhaojie, SONG Yan, *et al.* Sedimentary facies evolution and basin pattern of the Jurassic in southern margin area of Junggar Basin[J]. Journal of Palaeogeography, 2005(3): 347–356.
- [27] 王 佟, 田 野, 邵龙义, 等. 新疆准噶尔盆地早–中侏罗世层序–古地理及聚煤特征[J]. 煤炭学报, 2013, 38(1): 114–121.
WANG Tong, TIAN Ye, SHAO Longyi, *et al.* Sequence–paleogeography and coal accumulation of the early and middle Jurassic in the Junggar Basin[J]. Journal of China Coal Society, 2013, 38(1): 114–121.
- [28] 陈彬滔, 于兴河, 王天奇, 等. 准噶尔盆地南缘中下侏罗统含煤层系层序地层及聚煤控制因素[J]. 沉积学报, 2014, 32(1): 61–67.
CHEN Bintaο, YU Xinghe, WANG Tianqi, *et al.* Characteristics of sequence stratigraphy and coal accumulation controlling factors of Lower-Middle Jurassic coal-bearing series, South Margin of JUNGGAR Basin, NW China[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2014, 32(1): 61–67.
- [29] 张奥博, 汤达祯, 唐淑玲, 等. 准噶尔盆地南缘沉积控制下含煤层气系统构成研究[J]. 煤炭科学技术, 2019, 47(1): 255–264.
ZHANG Aobo, TANG Dazhen, TANG Shuling, *et al.* Study on composition of coalbed methane system under sedimentary control in southern margin of Junggar Basin[J]. Coal Science and Technology, 2019, 47(1): 255–264.
- [30] 李站伟, 汤达祯, 唐淑玲, 等. 准噶尔盆地南缘富 CO₂ 低阶煤层气藏的形成机理研究[J]. 煤炭科学技术, 2021, 49(3): 175–180.
LI Zhanwei, TANG Dazhen, TANG Shuling, *et al.* Study on formation mechanism of CO₂-enriched CBM reservoirs in low-rank coal seams from southern Zhunggar Basin[J]. Coal Science and Technology, 2021, 49(3): 175–180.
- [31] WU Z, HAN X, JI H, *et al.* Mesozoic-Cenozoic tectonic events of eastern JUNGGAR Basin, NW China and their significance for uranium mineralization: Insights from seismic profiling and AFT dating analysis[J]. *Ore Geology Reviews*, 2021, 139: 104488.