



移动扫码阅读

王 锐,夏玉成,马 丽.榆神矿区富油煤赋存特征及其沉积环境研究[J].煤炭科学技术,2020,48(12):192-197. doi:10.13199/j.cnki.cst.2020.12.024  
WANG Rui,XIA Yucheng,MA Li.Study on oil-rich coal occurrence characteristics and sedimentary environment in Yushen Mining Area [J]. Coal Science and Technology, 2020, 48 ( 12 ): 192 - 197. doi: 10.13199/j.cnki.cst.2020.12.024

# 榆神矿区富油煤赋存特征及其沉积环境研究

王 锐<sup>1</sup>,夏玉成<sup>1,2</sup>,马 丽<sup>2</sup>

(1.西安科技大学 地质与环境学院,陕西 西安 710054;2.自然资源部煤炭资源勘查与综合利用重点实验室,陕西 西安 710021)

**摘 要:**榆神矿区丰富的富油煤资源为我国煤化工提供了优质的化工原料,但是榆神矿区富油煤的赋存特征尚不明确,严重制约了富油煤资源的高效利用。为查明榆神矿区富油煤的分布特征和沉积环境,对该地区富油煤的进一步勘探和开发利用提供地质依据,以榆神矿区延安组 2<sup>-2</sup>煤和 5<sup>-2</sup>煤为研究对象,通过原煤的焦油产率分级划分,对榆神矿区的富油煤赋存特征进行研究,并根据灰成分指数、硫分、镜惰比等煤层形成过程中的地球化学特征及成烃母质的干酪根特征,探讨 2<sup>-2</sup>煤和 5<sup>-2</sup>煤层富油煤的沉积环境。研究表明:2<sup>-2</sup>煤原煤焦油产率 5.3%~15.3%,平均 10.1%,5<sup>-2</sup>煤原煤焦油产率 5.1%~14.6%,平均 9.9%,榆神矿区主要以富油煤为主,局部分布为高油煤。平面上,原煤焦油产率有由西向东、由三角洲平原向滨浅湖方向呈增高的趋势,垂向上,自下而上逐渐增高,高油煤随着滨浅湖由东北向西南迁移。榆神矿区富油煤形成于持续稳定下降的鄂尔多斯盆地古构造环境、还原性较强的滨浅湖古地理环境及温暖潮湿的古气候环境。含腐泥型母质为生油提供了物质基础。

**关键词:**富油煤;焦油产率;赋存特征;沉积环境;榆神矿区

**中图分类号:**P618.11 **文献标志码:**A **文章编号:**0253-2336(2020)12-0192-06

## Study on oil-rich coal occurrence characteristics and sedimentary environment in Yushen Mining Area

WANG Rui<sup>1</sup>,XIA Yucheng<sup>1,2</sup>,MA Li<sup>2</sup>

(1.College of Geology and Environment,Xi'an University of Science and Technology,Xi'an 710054,China;2.Key Laboratory of Coal Resources Exploration and Comprehensive Utilization,Ministry of Natural Resources,Xi'an 710021,China)

**Abstract:**The abundance of oil-rich coal resources in Yushen Mining Area provides high-quality raw materials for China's coal chemical industry, but the occurrence characteristics of oil-rich coal in Yushen Mining Area are not clear, which seriously restricts the efficient utilization of oil-rich coal resources. To find out the distribute characteristics and sedimentary environment of oil-rich coal in Yushen Mining Area will provide geological basis for further exploration, development, and utilization, the No.2<sup>-2</sup> coal and No.5<sup>-2</sup> coal of Yan'an Formation in study area were taken as study objects. We examined the occurrence characteristics of oil-rich coal via classifying tar yield of raw coal, and discussed the sedimentary environment of No.2<sup>-2</sup> coal and No.5<sup>-2</sup> coal oil-rich coal according to the geochemical characteristics during forming process of coal seam, such as ash composition index, sulfur content, mirror-inert ratio, etc. and kergen characteristics of the hydrocarbon-forming parent material. The results showed that the yield of raw coal coke oil of No.2<sup>-2</sup> coal is 5.3%~15.3%, with an average of 10.1%, the yield of raw coal coke oil of No.5<sup>-2</sup> coal is 5.1%~14.6%, with an average of 9.9%, the oil-rich coal mainly distributes in the study area, but oil-high coal partly. On the plane, the tar yield of raw coal tends to increase from west to east, from the delta plain to the shore shallow lake, and vertically, gradually mount from bottom to top, the high oil coal moves along the shore shallow lake from northeast to southwest. The oil-rich coal in the Yushen Mining Area was formed in the declining paleo-tectonic environment of the Ordos Basin, the paleogeographic environment of the shore shallow lake with strong reducibility, and the warm and humid paleo-climatic environment, and the occurrence of organic materials are and multy-layer coal seam provided material basis of oil generation.

**Key words:**oil-rich coal; tar yield; occurrence characteristics; sedimentary environment; Yushen Mining Area

0 引 言

我国“富煤、少油、贫气”的能源禀赋特点导致我国石油、天然气长期处于供不应求的局面,煤制油、煤制气是有助于改变这一现状的重要方向<sup>[1]</sup>,查明富油煤赋存特征及其储量成为当前煤制油、煤制气项目的首要任务。煤作为一种特殊的烃源岩,能够在一定地质条件作用下,为形成具有工业价值的油气提供物质基础<sup>[2-3]</sup>。有学者从煤中硫含量特征、灰分特征及镜惰比指数等方面讨论了含煤岩系的沉积环境,认为煤中硫分在平面上和垂向上的递变规律与成煤历史时期的煤层受海水影响的程度有直接关系<sup>[4-6]</sup>,煤中灰分特征参数可以反演泥炭聚集时的介质条件<sup>[7]</sup>,镜惰比指数可以揭示成煤泥炭沼泽的覆水程度和氧化还原程度<sup>[8]</sup>,以往研究为富油煤的沉积环境研究提供了思路和方法。近年来,研究者对我国富油煤赋存特征及其形成条件也展开了深入研究。晁伟等<sup>[9]</sup>认为煤的焦油产率取决于煤的挥发分、黏结指数及显微组分。汪寅人等<sup>[10]</sup>认为煤的焦油产率与挥发分、H/C 原子比等因素有关。孙晔伟等<sup>[11]</sup>总结了我国各矿区(煤田)焦油产率的分布特征。然而,为国家经济建设生产了大量优质能源的陕北能源化工基地,关于榆神矿区富油煤赋存特征方面的研究相对薄弱,对榆神矿区富油煤形成条件尚缺乏系统深入研究。

笔者在前人研究成果的基础上,通过全面收集榆神矿区延安组 2<sup>-2</sup>煤和 5<sup>-2</sup>煤地质勘探资料和煤样化验测试资料中原煤的工业分析、元素分析、低温干馏等数据,按照《煤质指标分级详细标准》对原煤的焦油产率进行分级划分,根据原煤的焦油产率评价煤的含油性,通过绘制原煤焦油产率等值线分析富油煤的赋存特征;通过分析 2<sup>-2</sup>煤和 5<sup>-2</sup>煤灰成分指数、硫分、镜惰比指数,探讨其古构造条件、古地理环境、古气候条件和氧化-还原条件,从沉积环境演化的角度分析富油煤赋存特征的地质成因,通过计算榆神矿区延安组 2<sup>-2</sup>煤与 5<sup>-2</sup>煤的 H/C 原子比、O/C 原子比,推断形成富油煤的主要物质来源。旨在探讨区内富油煤的赋存特征、沉积环境及其物质来源,为鄂尔多斯盆地富油煤的理论研究和勘探开发利用提供地质依据。

1 矿区地质概况

榆神矿区是国家规划液化用煤的主要矿区,位于陕西省神木县、榆阳区境内。构造上位于鄂尔多斯盆地的二级构造单元伊陕斜坡上,区内尚未发现

有大断层,构造简单,总体上为走向 NW,倾向 NWW 的单斜构造,如图 1 所示。

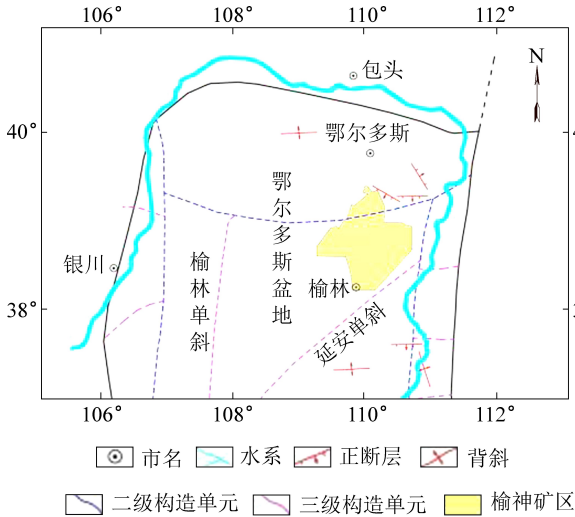


图 1 榆神矿区构造纲要

Fig.1 Structural outline of Yushen Mining Area

矿区自中生代以来依次形成侏罗系下统富县组(J<sub>1</sub>f)、中统延安组(J<sub>2</sub>y)、直罗组(J<sub>2</sub>z)、安定组(J<sub>2</sub>a)、下白垩统洛河组(K<sub>1</sub>l)等地层。侏罗系中统延安组是区内主要的含煤地层,自下而上划分为五个含煤段,煤层发育较多,多达 15 层,主要可采煤层有 2<sup>-2</sup>、3<sup>-1</sup>、4<sup>-3</sup>、5<sup>-2</sup>和 5<sup>-3</sup>煤层,如图 2 所示。

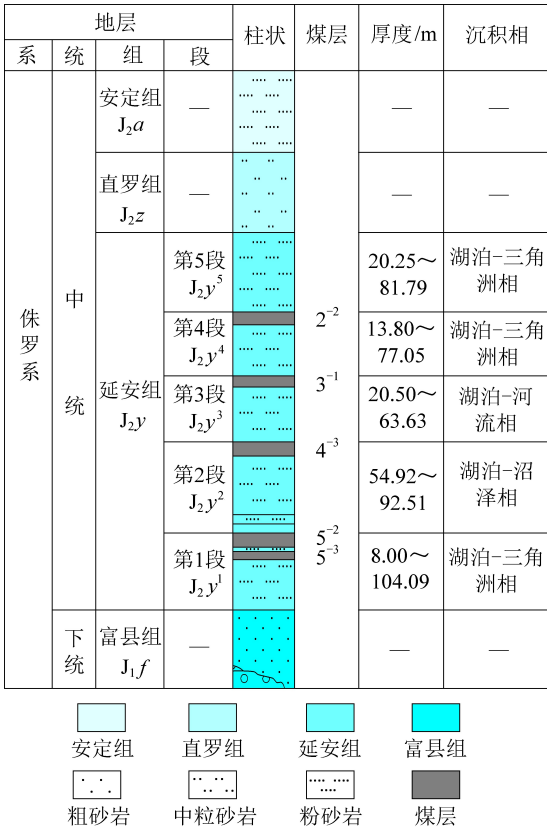


图 2 榆神矿区综合地质柱状

Fig.2 Comprehensive stratigraphic of Yushen Mining Area

2 榆神矿区富油煤的赋存特征

按照《煤质指标分级详细标准》可将煤分为含油煤(焦油产率  $Tar_{ad} \leq 7.0\%$ )、富油煤( $7.0\% <$

$Tar_{ad} \leq 12.0\%$ )和高油煤( $Tar_{ad} > 12.0\%$ )三类。通过对榆神矿区勘查资料中原煤的焦油产率进行分级划分发现,榆神矿区  $2^{-2}$ 和  $5^{-2}$ 煤层主要以富油煤为主,局部分布为高油煤。分类结果见表1。

表1 榆神矿区低温干馏 600℃原煤焦油产率  
Table 1 Raw coal tar yield under low-temperature pyrolysis 600℃ in Yushen Mining Area

煤层	$Water_{ad}/\%$	$Tar_{ad}/\%$	$CR_{ad}/\%$	$R_{ad}/\%$	煤的焦油产率分级
$2^{-2}$	4.0 ~ 17.0 9.8 (110)	5.3 ~ 15.3 10.1 (110)	64.97 ~ 77.88 70.525 (110)	2.3 ~ 15.2 9.55 (110)	富油煤
$5^{-2}$	6.1 ~ 15.9 9.6 (71)	5.1 ~ 14.6 9.9 (71)	68.0 ~ 76.2 71.4 (71)	4.4 ~ 12.5 9.1 (71)	富油煤

注:数据格式:最小值~最大值/平均值(取样点数), $Water_{ad}$ 为水分; $CR_{ad}$ 为半焦产率; $R_{ad}$ 为焦油产率。

根据原煤的焦油产率分级标准, $2^{-2}$ 煤焦油产率在  $5.3\% \sim 15.3\%$ ,平均值为  $10.1\%$ ,属于富油-高油煤,其高油煤主要分布在榆神矿区的西南部和北部,分布特征如图3所示。 $5^{-2}$ 煤焦油产率为  $5.1\% \sim 14.6\%$ ,平均值为  $9.9\%$ ,属于富油-高油煤,其高油煤主要分布在榆神矿区的东北部,其分布特征如图4所示。榆神矿区  $2^{-2}$ 煤焦油产率值大于  $5^{-2}$ 煤。

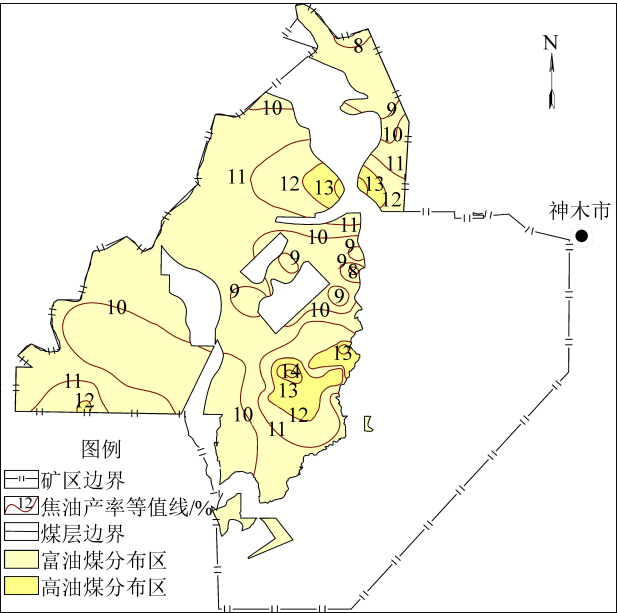


图3  $2^{-2}$ 煤层富油煤分布特征

Fig.3 Distribution characteristics of oil-rich coal in No.2<sup>-2</sup> coal seam

3 富油煤的沉积环境及物质来源

3.1 富油煤的沉积环境

还原条件是煤中有机质保存及其成油的主要条件<sup>[13]</sup>。 $w(Fe_2O_3+CaO+MgO)/w(SiO_2+Al_2O_3)$ 之比又称灰成分指数  $K$ ,可以反映出成煤期还原性的强弱,煤的灰成分指数越高,表明还原性越强,越有利于有机质成油<sup>[14]</sup>。通过对榆神矿区灰成分指数计

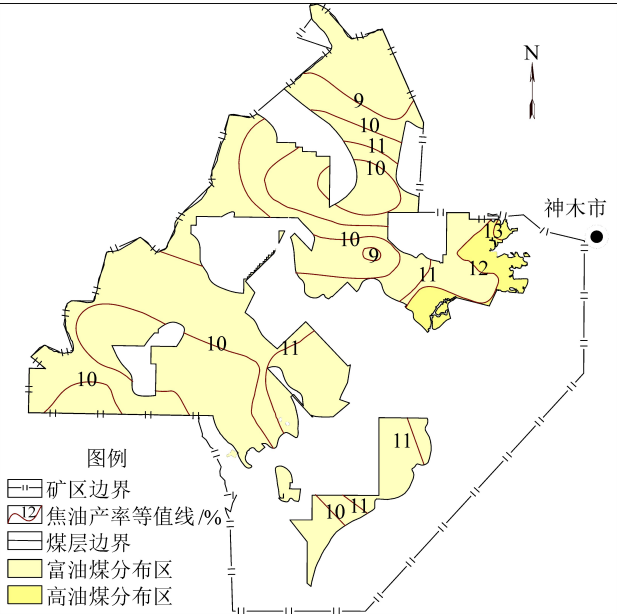


图4  $5^{-2}$ 煤层富油煤分布特征

算,榆神矿区  $2^{-2}$ 煤和  $5^{-2}$ 煤灰成分指数  $K$  分别为  $0.997\%$ 和  $0.441\%$ (表2),表明  $2^{-2}$ 煤和  $5^{-2}$ 煤的成煤环境还原性较强,且  $2^{-2}$ 煤的还原性强于  $5^{-2}$ 煤。表明榆神矿区成煤期沉积环境的还原性在逐渐增强。

当水淹没沉积物或少量的沉积物暴露在空气中时,沉积物所处的环境属于较强的还原环境<sup>[15]</sup>。因此,还原性的强弱又可以揭示成煤期的覆水深度,还原性越强则表明水越深。 $2^{-2}$ 煤和  $5^{-2}$ 煤成煤环境属于较强还原环境,说明其成煤环境覆水较深,且成煤期覆水深度逐渐加深。 $2^{-2}$ 煤的高油煤分布在榆神矿区西南部和北部, $5^{-2}$ 煤的高油煤分布在榆神矿区的东北部,是各煤层还原性最强和覆水深度最深的区域。

煤中的硫含量特征在一定程度上也可以反映成煤环境,湖泊成煤环境一般含有少量硫,海水参与的

成煤环境含硫往往较高<sup>[7]</sup>。榆神矿区 2<sup>-2</sup>煤和 5<sup>-2</sup>煤全硫含量分别为 0.773 %和 0.55 %,以低硫、低灰分为主要特征(表 3),说明其成煤期主要发育滨浅湖环境。

表 2 榆神矿区主要煤层灰成分参数  
Table 2 Ash composition parameters in Yushen Mining Area

煤层	煤灰成分/%					$w(\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{CaO}+\text{MgO})$	$w(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3)$	$K$
	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO			
2 <sup>-2</sup>	$\frac{11.52\sim64.71}{30.73(58)}$	$\frac{3.31\sim44.37}{16.53(61)}$	$\frac{3.88\sim30.03}{11.44(61)}$	$\frac{0.97\sim44.21}{22.74(61)}$	$\frac{0.77\sim6.60}{2.78(61)}$	42.05%	42.17%	0.997
5 <sup>-2</sup>	$\frac{27.60\sim72.99}{45.21(54)}$	$\frac{2.14\sim30.38}{11.31(54)}$	$\frac{3.97\sim26.23}{17.22(54)}$	$\frac{0.26\sim48.52}{14.75(54)}$	$\frac{0.42\sim6.42}{1.47(54)}$	27.53%	62.43%	0.441

注:数据格式:最小值~最大值/平均值(取样点数)。

表 3 榆神矿区硫含量特征  
Table 3 Characteristics of sulfur content in Yushen Mining Area

煤层	工业分析/%			
	$M_{\text{ad}}$	$A_{\text{d}}$	$V_{\text{daf}}$	$S_{\text{t,d}}$
2 <sup>-2</sup>	$\frac{2.2\sim12.7}{6.66(106)}$	$\frac{2.21\sim37.64}{8.25(106)}$	$\frac{31.88\sim42.81}{38.037(106)}$	$\frac{0.29\sim2.59}{0.773(65)}$
5 <sup>-2</sup>	$\frac{3.25\sim9.69}{6.31(69)}$	$\frac{2.50\sim15.48}{8.15(69)}$	$\frac{31.01\sim41.64}{35.79(69)}$	$\frac{0.27\sim1.27}{0.55(69)}$

注:数据格式:最小值~最大值/平均值(取样点数)。

成煤植物的组织在温暖和潮湿的还原条件下以凝胶化作用为主,使得煤中镜质组含量增加。因此,煤中镜质组、惰质组含量及镜惰比( $V/I$ )在一定程度上可以揭示成煤期的温度和湿度等古气候环境<sup>[16-17]</sup>。榆神矿区 2<sup>-2</sup>煤镜惰比为 19.81,5<sup>-2</sup>煤镜惰比为 24.71(表 4),均大于 1,表明 2<sup>-2</sup>煤和 5<sup>-2</sup>煤的层

镜质组含量高,形成于比较温暖、潮湿的古气候条件下。

3.2 成油的主要物质来源

目前主要采用范氏图(VanKrevelen)划分干酪根特征,进而确认成烃母质类型。通过计算榆神矿区延安组 2<sup>-2</sup>煤与 5<sup>-2</sup>煤的 H/C 原子比、O/C 原子比发现,榆神矿区干酪根以含腐泥的腐植型Ⅲ<sub>1</sub>为主(表 5),而腐泥组分主要由湖中水生生物遗体沉积演化而来,是成油的主要物质来源<sup>[18]</sup>。因此,榆神矿区含腐泥型母质是成油的主要物质来源<sup>[2,6]</sup>。另外,榆神矿区发育煤层较多,煤层作为成油良好的烃源岩,为富油煤的富集创造了一定的物质条件。

表 4 榆神矿区煤显微组分

Table 4 Macerals of coal inYushen Mining Area

煤层	有机显微组分/%		镜惰比 $V/I$
	镜质组	惰质组	
2 <sup>-2</sup>	$\frac{31.5\sim62.4}{31.5(14)}$	$\frac{0.3\sim6.1}{1.59(12)}$	19.81
5 <sup>-2</sup>	$\frac{22.4\sim66.7}{42.0(12)}$	$\frac{0.3\sim10.6}{1.7(12)}$	24.71

注:数据格式:最小值~最大值/平均值(取样点数)。

表 5 榆神矿区原煤元素分析

Table 5 Element analysis of raw coal in Yushen Mining Area

煤层	$C_{\text{daf}}/\%$	$H_{\text{daf}}/\%$	$N_{\text{daf}}/\%$	$O_{\text{daf}}/\%$	H/C	O/C
2 <sup>-2</sup>	$\frac{78.72\sim84.45}{81.62(175)}$	$\frac{4.05\sim5.95}{5.02(175)}$	$\frac{0.60\sim1.17}{0.94(142)}$	$\frac{7.88\sim14.89}{11.91(142)}$	$\frac{0.58\sim0.91}{0.74(175)}$	$\frac{0.07\sim0.14}{0.11(142)}$
5 <sup>-2</sup>	$\frac{77.78\sim85.76}{82.86(61)}$	$\frac{4.56\sim5.38}{5.03(61)}$	$\frac{0.86\sim1.22}{1.03(45)}$	$\frac{8.18\sim13.77}{10.41(45)}$	$\frac{0.66\sim0.83}{0.73(61)}$	$\frac{0.07\sim0.13}{0.09(45)}$

注:数据格式:最小值~最大值/平均值(取样点数)。

4 结果及讨论

燕山运动初期,鄂尔多斯盆地持续稳定下降<sup>[19-20]</sup>,形成有利于有机质堆积、保存、转化的古构

造环境。

榆神矿区 2<sup>-2</sup>煤和 5<sup>-2</sup>煤均形成于温暖、潮湿的古气候条件下,均发育于滨浅湖古地理环境,表明温暖、潮湿的古气候条件和滨浅湖环境有利于富油煤



的形成。 $2^{-2}$ 煤成煤环境的覆水深度和还原性均大于 $5^{-2}$ 煤,且 $2^{-2}$ 煤的焦油产率大于 $5^{-2}$ 煤,表明覆水深度大,还原性强的成煤环境有利于富油煤的富集。成煤环境的覆水深度愈大,还原性愈强,煤层的焦油产率愈大。

$5^{-2}$ 煤成煤期,榆神矿区的东北部为三角洲前缘,其覆水深度较深,向西北方向逐渐成为三角洲平原,覆水深度逐渐变浅,导致其还原性降低,形成了 $5^{-2}$ 煤在东北部为高油煤,而其他地区为富油煤的赋存特征<sup>[21]</sup>(图 5); $2^{-2}$ 煤成煤期,榆神矿区的西南部为滨浅湖,其覆水深度深,还原性较强,向东北方向逐渐成为三角洲前缘和三角洲平原,覆水深度逐渐变浅,导致其还原性降低,为 $2^{-2}$ 煤在西南部形成高油煤提供了更有利的沉积条件<sup>[21]</sup>(图 6)。在垂向上,自下而上,沉积环境的覆水深度有加深的趋势,还原性随之逐渐增强,所以 $2^{-2}$ 煤的焦油产率大于 $5^{-2}$ 煤;同时,随着滨浅湖逐渐向西南部迁移,使榆神矿区东北部逐渐由三角洲前缘演变成为三角洲平原,导致 $5^{-2}$ 煤的高油煤分布在榆神矿区的东北部,而 $2^{-2}$ 煤的高油煤分布在覆水深度较深和还原性较强的西南部。

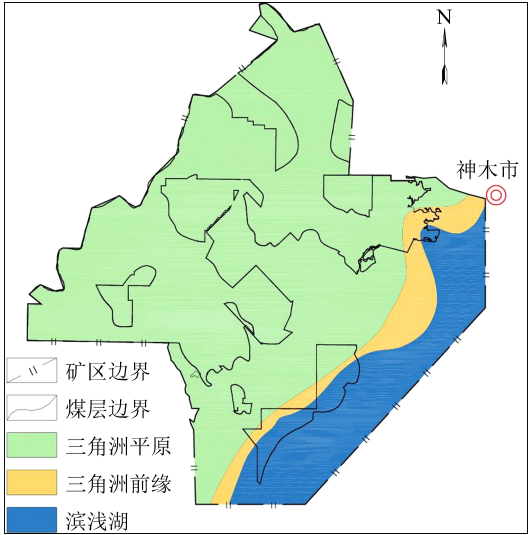


图 5  $5^{-2}$ 煤成煤期古地理环境示意

Fig.5 Schematic of Palaeo-geographic environment in coal-forming period of No.5<sup>-2</sup> coal

榆神矿区 $2^{-2}$ 煤和 $5^{-2}$ 煤的干酪根以含腐泥的腐植型Ⅲ<sub>1</sub>为主,含腐泥型母质具有一定的生油潜力;榆神矿区多层煤层是成油良好的烃源岩,为富油煤的富集提供了物质基础。

5 结 论

1)通过对榆神矿区原煤的焦油产率分级划分, $2^{-2}$ 煤焦油产率平均值为 10.1%,属于富油-高油煤,

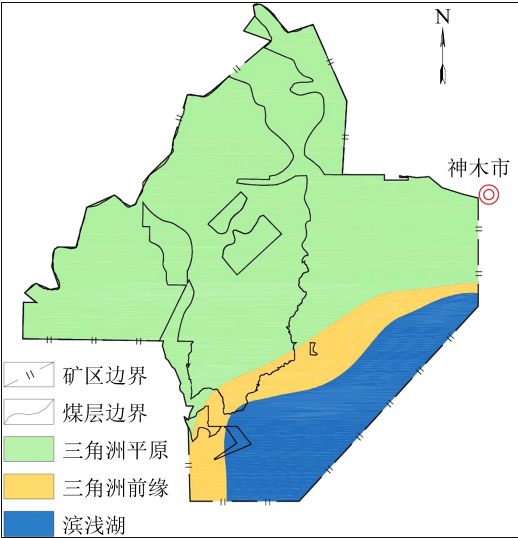


图 6  $2^{-2}$ 煤成煤期古地理环境示意

Fig.6 Schematic of Palaeo-geographic environment in coal-forming period of No.2<sup>-2</sup> coal

$5^{-2}$ 煤焦油产率平均值为 9.9%,属于富油-高油煤,榆神矿区主要以富油煤为主,局部分布为高油煤。 $2^{-2}$ 煤的高油煤主要分布在榆神矿区的西南部和北部, $5^{-2}$ 煤的高油煤主要分布在榆神矿区的东北部,可为煤制油提供良好的物质基础。

2)平面上,原煤焦油产率有自西向东、由三角洲平原向滨浅湖方向增高的趋势。在垂向上,随着覆水深度的增加,还原性随之逐渐增强,导致焦油产率逐渐增高,同时,随着滨浅湖逐渐向西南部迁移,使得高油煤从东北部逐渐迁移到覆水深度较深、还原性较强的西南部。

3)持续稳定下降的鄂尔多斯盆地形成了有利于有机质堆积、保存、转化的古构造环境,温度和湿度适宜的滨浅湖还原环境为富油煤的富集提供了良好的古气候条件和古地理环境,多煤层及其含腐泥型母质为生油提供了良好的物质来源。

致谢:自然资源部煤炭资源勘查与综合利用重点实验室为研究工作提供了基础资料,审稿专家对本文提出了宝贵的指导意见,在此谨致谢忱!

参考文献(References):

[1] 张鸿宇,周 丽,张希良. 我国现代煤化工产业现状及政策综述[J]. 现代化工,2018,38(5):1-5.  
ZANG Hongyu,ZHOU Li,ZHANG Xiliang. Review on status and policy of China's coal chemical industry[J]. Modern Chemical Industry,2018,38(5):1-5.

[2] 包建平,吴 浩,朱翠山,等. 柴达木盆地北缘牛东地区煤成油及其地球化学特征[J]. 地质学报,2018,92(5):1056-1069.  
BAO Jianping,WU Hao,ZHU Cuishan,et al. Geochemical characteristics of coal-derived oils in the Niudong area in the northern

- Qaidam Basin[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2018, 92(5): 1056–1069.
- [3] 田光荣,李红哲,白亚东,等. 柴达木盆地侏罗系煤系烃源岩生烃潜力分类评价[J]. *煤田地质与勘探*, 2018, 46(5): 73–80.  
TIAN Guangrong, LI Hongzhe, BAI Yadong, *et al.* Classification and evaluation of the hydrocarbon generation potential of Jurassic coal measures of Qaidamu Basin[J]. *Coal Geology & Exploration*, 2018, 46(5): 73–80.
- [4] 李 碧,徐阳东,汤立方. 织纳煤田红梅煤矿煤中硫分特征及其成煤环境研究[J]. *煤炭科学技术*, 2018, 46(5): 197–204.  
LI Bi, XU Yangdong, TANG Lifang. Study on sulfur characteristics and coal paleoenvironment in Hongmei Mine of Zhina Coalfield[J]. *Coal Science and Technology*, 2018, 46(5): 197–204.
- [5] 唐跃刚,贺 鑫,程爱国,等. 中国煤中硫含量分布特征及其沉积控制[J]. *煤炭学报*, 2015, 40(9): 1977–1988.  
TANG Yuegang, HE Xin, CHENG Aiguo, *et al.* Occurrence and sedimentary control of sulfur in coals of China[J]. *Journal of China Coal Society*, 2015, 40(9): 1977–1988.
- [6] 王胜建,高 为,郭天旭,等. 黔北林华井田煤质参数特征及其成煤沉积环境意义[J]. *煤炭科学技术*, 2017, 45(10): 162–168.  
WANG Shengjian, GAO Wei, GUO Tianxu, *et al.* Coal quality parameters features and coal formation sedimentary environment significance of Linhua Minefield in north Guizhou[J]. *Coal Science and Technology*, 2017, 45(10): 162–168.
- [7] 杜少华. 韩城矿区石炭–二叠纪含煤岩系成煤系统研究[D]. 西安:西安科技大学, 2018.
- [8] 刘善德. 永陇矿区南缘煤岩煤质特征及成煤环境分析[J]. *煤田地质与勘探*, 2018, 46(S1): 11–15.  
LIU Shande. Characteristics of coal petrography and quality and the coal forming environment in the south edge of Yonglong mining area[J]. *Coal Geology & Exploration*, 2018, 46(S1): 11–15.
- [9] 晁 伟,苏 展,李东涛,等. 一种预测煤焦油产率的新方法[J]. *煤炭转化*, 2011, 34(2): 64–68.  
CHAO Wei, SU Zhan, LI Dongtao, *et al.* A new method to anticipate the coal tar yield[J]. *Coal Conversion*, 2011, 34(2): 64–68.
- [10] 汪寅人,刘品双,陈文敏. 我国若干褐煤及烟煤的化学组成与低温焦油产率的关系[J]. *燃料化学学报*, 1958, 3(1): 35–41.  
WANG Yinren, LIU Pinshuang, CHEN Wenmin. Relationship between the chemical composition and the low temperature tar yield of some brown coal and bituminous coal in China[J]. *Journal of Fuel Chemistry and Technology*, 1958, 3(1): 35–41.
- [11] 孙晔伟,唐跃刚,李正越,等. 中国特高挥发分特高油产率煤的分布及其特征[J]. *煤田地质与勘探*, 2017, 45(5): 6–12.  
SUN Yewei, TANG Yuegang, LI Zhengyue, *et al.* Occurrence of super high volatile and tar yield coal in China[J]. *Coal Geology & Exploration*, 2017, 45(5): 6–12.
- [12] 周翔武. 榆神矿区郑家梁勘查区延安组层序地层与聚煤规律研究[D]. 西安:长安大学, 2017.
- [13] 成 晨,高 亮. 琼东南盆地崖北凹陷崖城组煤系烃源岩发育环境及控制因素[J]. *岩石矿物学杂志*, 2017, 36(1): 70–79.
- CHENG Chen, GAO Liang. Depositional environment and controlling factors of coal measures source rocks of Yacheng Formation in Yabei depression of Qiongdongnan basin[J]. *Acta Petrologica ET Mineralogica*, 2017, 36(1): 70–79.
- [14] 吴 波,陈恨水,朱光荣. 贵州金沙木孔煤矿可采煤层常量元素特征及沉积环境分析[J]. *贵州地质*, 2013, 30(4): 266–270.  
WU Bo, CHEN Henshui, ZHU Guanrong. Macroelement characteristics and sedimentary environment analysis of workable coal of Mukong Coal Mine in Jinsha of Guizhou[J]. *Guizhou Geology*, 2013, 30(4): 266–270.
- [15] 李焕同,李谦倬,李 阳,等. 彬长矿区胡家河井田煤质特征对成煤环境的指示意义[J]. *中国科技论文在线*, 2017, 12(21): 2431–2437.  
LI Huantong, LI Jianzhuo, LI Yang, *et al.* Significance of coal quality characteristics for coal forming environment of Hujiahe Coal Mine in Binchang mining area[J]. *China Science Paper*, 2017, 12(21): 2431–2437.
- [16] 许福美,黄文辉,吴传始,等. 顶峰山矿区 39 号煤层的煤岩学与煤相特征[J]. *煤炭学报*, 2010, 35(4): 623–628.  
XU Fumei, HUANG Wenhui, WU Chuanshi, *et al.* Coal petrology and facies of coal seam No.39 from Dingfengshan mining district, Longyong Coalfield, Fujian Province, China[J]. *Journal of China Coal*, 2010, 35(4): 623–628.
- [17] 付黎明,庄新国,李建伏,等. 内蒙古早白垩世五间房含煤盆地煤层煤相分析[J]. *煤田地质与勘探*, 2011, 39(3): 1–6.  
FU Liming, ZHUANG Xinguo, LI Jianfu, *et al.* The analysis on coal facies of coal seams in early Cretaceous Wujianfang coal basin, Inner Mongolia[J]. *Coal Geology & Exploration*, 2011, 39(3): 1–6.
- [18] 尚慧芸,李晋超. 陆相生油岩有机质的丰度及类型[J]. *石油学报*, 1981, 2(4): 8–16.  
SHANG Huiyun, LI Jinchao. Abundance and types of organic matter insource rocks of continental facies[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 1981, 2(4): 8–16.
- [19] 苗霖田,夏玉成,吕婷婷,等. 鄂尔多斯盆地麟游区煤层赋存特征及控制机理研究[J]. *煤炭科学技术*, 2018, 46(11): 168–176.  
MIAO Lintian, XIA Yucheng, LYU Tingting, *et al.* Study on coal seam occurrence features and control mechanism in Linyou Area of Ordos Basin[J]. *Coal Science and Technology*, 2018, 46(11): 168–176.
- [20] 何登发,邵东波,开百泽,等. 鄂尔多斯盆地西缘马家滩地区的构造样式与圈闭分布规律[J]. *地球学报*, 2019, 40(1): 219–235.  
HE Dengfa, SHAO Dongbo, KAI Baize, *et al.* Structural style and trap distribution in Majiatan Area on the western margin of Ordos Basin[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2019, 40(1): 219–235.
- [21] 李智学,任海香,贺 丹,等. 陕西省煤炭资源潜力评价报告[R]. 西安:陕西省煤田地质局勘查研究院, 2009.