

文章编号: 1671-1505(2024)06-1420-15 DOI: 10.7605/gdxb.2024.06.075

河南平顶山矿区含煤地层沉积环境及其 对煤系气成藏的控制*

李延河^{1,2} 王保玉^{3,4} 刘顺喜^{3,4} 倪小明³ 王娟^{3,4} 胡斌^{3,4}

1 平顶山天安煤业股份有限公司, 河南平顶山 467000

2 中国平煤神马集团有限责任公司, 河南平顶山 467000

3 河南理工大学煤系气资源高效开发利用研究院, 河南焦作 454000

4 河南理工大学资源环境学院, 河南焦作 454000

摘要 近几年来, 河南省平顶山矿区煤系气勘探开发取得了新突破, 采动井、采空井和预抽井的单井日抽采量分别达到 40 500 m³、20 000 m³ 和 4 500 m³。为了查明煤系气生成与赋存的沉积背景, 本次工作采用地层学与沉积学的研究方法, 开展了精细的地层、沉积特征和沉积序列以及气测录井资料分析, 从而揭示出本区主要含煤地层山西组和下石盒子组中煤系气(煤层气、页岩气和致密砂岩气)生成与赋存的沉积环境, 也就是潮坪上的泥炭沼泽(泥炭坪)、三角洲分流间湾沼泽和分流河道沉积环境控制了煤系气的成藏。基于地层沉积特征在垂向上的变化规律, 划分出9种不同沉积环境的沉积序列类型, 并在综合分析的基础上, 提出了平顶山矿区山西组一下石盒子组煤系气赋存的沉积环境模式。研究还表明, 区内煤系气含量变化及区域分布特征不仅与滨岸潮坪沼泽、三角洲分流河道砂体和分流间湾沼泽的时空变化密切相关, 而且还与储集层厚度变化相关。该成果可为今后平顶山地区煤系气勘探开发井的设计、部署与施工提供科学依据。同时, 对华北地区相同含煤地层的煤系气开发也具有重要借鉴意义。

关键词 煤系气开发 地质勘探 含煤地层 山西组 下石盒子组 平顶山矿区

第一作者简介 李延河, 男, 1973年生, 博士, 教授级高级工程师, 主要从事煤矿安全工程及管理研究。
E-mail: 13569998321@139.com。

通讯作者简介 王保玉, 男, 1960年生, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事煤层气勘探开发研究。
E-mail: wbyjmjt@163.com。胡斌, 男, 1952年生, 教授, 博士生导师, 主要从事生物遗迹学与沉积学研究。
E-mail: hubin1952@163.com。

中图分类号: P618.13 文献标志码: A

Sedimentary environment of coal-bearing strata and its control on accumulation of coal measure gas in Pingdingshan mining area, Henan Province

LI Yanhe^{1,2} WANG Baoyu^{3,4} LIU Shunxi^{3,4} NI Xiaoming³ WANG Juan^{3,4} HU Bin^{3,4}

1 Pingdingshan Tian'an Coal Industry Co., Ltd., Henan Pingdingshan 467000, China

2 China Pingmei Shenma Group Co., Ltd., Henan Pingdingshan 467000, China

* 国家自然科学基金项目(编号: 42372198)与河南省高校创新团队(编号: 21IRTSTHN007)联合资助。[Co-funded by the National Natural Science Foundation of China (No. 42372198), Henan University Innovation Team (No. 21IRTSTHN007)]

收稿日期: 2024-01-11 改回日期: 2024-03-07

3 Institute of Efficient Development and Utilization of Coal Gas Resources, Henan Polytechnic University, Henan Jiaozuo 454000, China

4 College of Resources and Environment, Henan Polytechnic University, Henan Jiaozuo 454000, China

Abstract In recent years, a new breakthrough has been made in the exploration and development of coal measure gas in the Pingdingshan mining area of Henan Province. The daily production per well in mining area, goal area and unmining area reached $40\,500\text{ m}^3$, $20\,000\text{ m}^3$ and $4\,500\text{ m}^3$, respectively. To better understand the sedimentary background of coal measure gas generation and occurrence, this study applies stratigraphy and sedimentology research methods to conduct a detailed analysis of strata, sedimentary characteristics, and sedimentary sequences, along with gas logging data. This reveals the sedimentary environment controlling the generation and occurrence of coal measure gas (coalbed methane, shale gas, and tight sandstone gas) in the Shanxi Formation and Xiashihezi Formation. Specifically, the sedimentary environment of peat swamp (peat flat) on tidal flat, delta interdistributary bay swamp and distributary channel control the accumulation of coal measure gas. According to the vertical variation of stratigraphic and sedimentary characteristics, nine different sedimentary sequence types are classified, and the sedimentary environment model of coal measure gas occurrence in the Shanxi Formation and Xiashihezi Formation in Pingdingshan area is proposed. The study also shows that the content change of coal measure gas and its regional distribution characteristics are not only closely related to the spatio-temporal variation of coastal tidal flat marsh, delta distributary channel sand body and interdistributary bay marsh, and are also related to the variation of reservoir thickness. The results can provide a scientific basis for the future design, deployment and production of coal measure gas exploration and development wells in Pingdingshan area. Moreover, the findings offer important reference significance for the development of coal measure gas in the similar coal-bearing strata in North China.

Key words coal measure gas development, geological exploration, coal-bearing stratum, Shanxi Formation, Xiashihezi Formation, Pingdingshan mining area

About the first author LI Yanhe, born in 1973, is a professor-level senior engineer. He is mainly engaged in research on coal mine safety engineering and management. E-mail: 13569998321@139.com.

About the corresponding authors WANG Baoyu, born in 1960, is a professor and doctoral supervisor. He is mainly engaged in research on coalbed methane exploration and development. E-mail: wbyjmt@163.com. HU Bin, born in 1952, is a professor and doctoral supervisor. He is mainly engaged in research on ichnology and sedimentology. E-mail: hubin1952@163.com.

平顶山矿区位于河南省中部，主要分布于平顶山市区的北部，矿区东起沙河与汝河交汇带的洛岗断层，西抵红石山附近的宝郑断层，南至湛河北岸煤层露头，北至汝河附近的襄郑断层。东西长约 40 km，南北宽约 20 km，面积约 650 km^2 。在煤田地质勘探区的划分上，该矿区属于平顶山煤田，北与禹州煤田毗邻。

平顶山矿区晚古生代煤系发育多层煤层，煤炭探明储量和预测储量共计 $92 \times 10^8\text{ t}$ (姚艳斌等, 2007; 宋岑等, 2009)，是中南最大的优质炼焦煤生产基地。进入 21 世纪，煤层气勘探开发受到关

注，其资源量进行过初步预测 (李雪燕等, 2004)。自 2020 年以来，河南理工大学煤系气资源高效开发利用研究院开展了对该矿区煤系气地面勘探和抽采先导性试验，并初步估算出矿区煤系气 (瓦斯) 资源量高达 $750 \times 10^8\text{ m}^3$ 。截至 2023 年 11 月底，完成钻井共计 88 口，产气井 28 口，累计总抽采纯量达到 $3\,192 \times 10^4\text{ m}^3$ ，其中，采动井、采空井和预抽井单井日抽采量分别达到 $40\,500\text{ m}^3$ 、 $20\,000\text{ m}^3$ 和 $4\,500\text{ m}^3$ ，率先在河南省实现了商业化，并显示出良好的开发潜力和发展前景。以往该矿区及周边的地质调查工作，宏观上研究过石炭—

二叠系的沉积环境、岩相古地理以及聚煤特征和构造煤分布规律 (杨起, 1987; 周慧堂等, 1990; 盛吉虎等, 1997; 韩习运, 2009), 并开展了煤岩、煤相学及煤系区域对比研究 (唐亚兰, 1988; 叶建平, 1992; 张宏敏等, 2008; 杨长保, 2009)。

煤层气开发方面, 主要侧重于山西组₂和四₂煤层的埋深、厚度变化、煤质、煤层气赋存特征、渗透性和含气量研究 (叶建平, 1995; 王佟等, 1999; 刘庆献, 2008) 及其有利可采区段和影响地质因素的探讨 (崔崇海和蔡一民, 2000; 赵群华等, 2003; 彭伦等, 2010; 王占磊等, 2010)。近 3 年来的勘探开发和研究, 对本矿区煤系气的赋存特征和分布规律有了一些新的认识, 改变了以往仅限于二₁和四₂煤层中煤层气开发的传统观念, 发现了煤系中具有多层煤层气、页岩气和致密砂岩气的产出层位。由于沉积环境是煤系气生成与赋存的主控地质因素之一, 也是煤系气勘探开发设计与钻井工程施工的重要理论依据, 所以查明含气地层的沉积环境是煤系气勘探与开发的重要理论支撑。

作者着重于对平顶山地区晚古生代含煤系气地层的沉积环境进行精细研究, 目的是要查明煤系气生成与赋存的沉积背景, 从而为今后平顶山地区煤系气勘探开发井的设计、部署与施工提供科学依

据。同时, 也可为华北地区相同含煤地层的煤系气开发提供借鉴。

1 地质背景

平顶山矿区的大地构造位置处于华北板块南缘, 属华北板块内崤箕构造区, 陕 (县) - 平 (顶山) 断陷分区, 包括平顶山断隆和韩梁断隆。区域构造特征为区内断块隆起, 四周凹陷。区内主体构造为一宽缓复式向斜 (李口向斜), 轴向北西 50°, 向北西方向倾伏, 南东方向仰起, 两翼地层基本对称, 地层走向 290°~310°, 向斜两翼倾角 5°~15°, 核部倾角较缓, 由轴部向两翼倾角逐渐变大。区内断层主要为 NW 向, 如白石沟、襄郑和锅底山等断层; 次为 NE 向, 如洛岗断层和宝郑断层等 (图 1)。

区内地层系统自下而上为前震旦系、震旦系、寒武系、上石炭统、二叠系、三叠系、白垩系、古近系、新近系和第四系。其中, 上石炭统和二叠系为含煤地层。从区域上看, 这套含煤地层与整个华北盆地晚古生代煤系所形成的古地理及沉积环境大体一致, 均为近海型含煤岩系, 以三角洲沉积体系为主, 其次为潮坪—泻湖及河湖沉积体系 (陈松等, 2010; 胡斌等, 2012a; 邵龙义等, 2014,

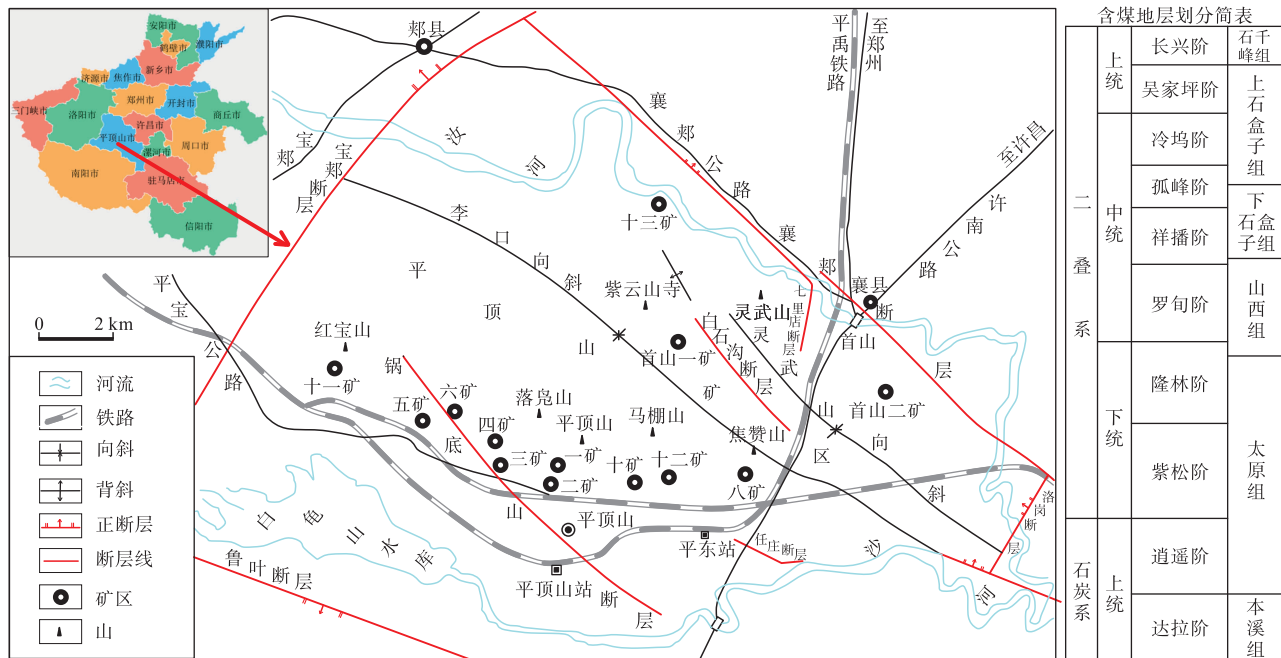


图 1 河南平顶山矿区地理位置及构造背景与含煤地层划分简表 (据中国地层表, 2014)

Fig. 1 Geographical location and tectonic setting of Pingdingshan mining area in Henan Province and division of coal-bearing strata (after Stratigraphic Table of China, 2014)

2018; Shao *et al.*, 2020)。本区煤系气较为富集的含煤地层主要为山西组及下石盒子组，同整个豫西地区一样，是一套半封闭的海湾潟湖、潮坪和三角洲沉积（胡斌等，2012b, 2015）。

2 地层特征

矿区主要含煤沉积为石炭—二叠纪煤系，包括太原组（庚煤组）、山西组（己煤组）、下石盒子组（戊煤组、丁煤组和丙煤组）及上石盒子组（乙煤组和甲煤组）。含煤地层厚 800 m 左右，共含有 88 层煤，煤层总厚 30 m 左右，可采煤层厚度 15~18 m。主力煤系气储集层主要分布于山西组和下石盒子组。

2.1 二叠系山西组

山西组(P_{1-2s})在本矿区俗称二煤段地层，岩性主要由灰、深灰、灰黑色薄层状泥岩，砂质泥岩，紫斑泥岩、粉砂岩以及灰、灰白色细—中粒长石石英砂岩和煤层组成，含煤 2~4 层，是区内主要的含煤层段之一，其中下部的二₁(己₁₆₋₁₇)煤层为主要可采煤层。本组厚度 73~107 m，平均厚度 85 m，含有早—中二叠世三角织羊齿 (*Emplectopteris triangularis*)—翅状准织羊齿 (*Emplectopteridium alatum*)—怀特华夏羊齿 (*Cathaysiopteris whitei*) 植物化石组合带(华夏植物群)中的常见分子(胡斌等，2015)，与下伏太原组(C_2-P_1t)呈整合接触。依其岩性组合特征自下而上划分为：二₁煤段、大占砂岩段、香炭砂岩段和小紫泥岩段(图 2)。

2.2 二叠系下石盒子组

本组岩性主要由浅灰色、灰色中—厚层状细—中粒砂岩及灰、深灰色薄层状粉砂岩、砂质泥岩、泥岩、碳质泥岩和煤层组成，夹紫斑或杂色泥岩和含砾砂岩。按岩性组合特征自下而上划分为三、四、五、六煤段(图 3; 图 4)，含煤 23 层。其中，四煤段中上部的四₂(戊₉₋₁₀)煤层为全区可采煤层，四₃(戊₈)煤层及五煤段中部的五₂(丁₅₋₆)煤层为大部可采煤层，五₁(丁₇)煤层为局部可采煤层。本组厚度 285~401 m，平均厚度 342 m，含有中二叠世剑瓣轮叶 (*Lobatannularia ensifolia*)—华夏蕨型单网羊齿 (*Gigantonoclea cathaysiana*)—中国束羊齿 (*Fasciopsis sinensis*) 组合带(华夏植物群)

中常见的植物化石以及少量双壳类和腕足类舌形贝 (*Lingulla*) 等动物化石(胡斌等，2015)，与下伏山西组及上覆上石盒子组均为整合接触。

3 主要含煤地层沉积特征及序列类型

3.1 山西组沉积特征及序列类型

区域研究表明，河南省境内秦岭构造带以北地区(包括平顶山地区)，早—中二叠世山西组沉积期已由开阔的陆表海过渡为半封闭的海湾、潟湖、障壁岛、潮坪和三角洲沉积环境(胡斌等，2015, 2021)。在垂向上，本区山西组自下而上划分为二₁煤段、大占砂岩段、香炭砂岩段和小紫泥岩段(图 2)，各岩性段具有各不相同的沉积特征和沉积序列，现分述如下：

3.1.1 山西组下部(二₁煤段)

二₁煤段位于山西组底部，由深灰色、黑色薄层状泥岩、砂质泥岩、粉砂岩及厚煤层组成，平均厚 15.0 m，最厚可达 18.7 m。二₁煤层厚度一般为 2.8~10.2 m，平均 6 m 左右，煤层间夹深灰色泥岩或碳质泥岩及砂质泥岩。本段下伏地层为太原组海相生物碎屑灰岩(图 5)。二₁煤层底板为浅灰、灰色薄层状细粒砂岩或深灰色泥岩、砂质泥岩和粉砂岩互层，夹碳质泥岩或泥岩条带，含黄铁矿结核；直接顶板为深灰色薄层状泥岩、砂质泥岩夹薄层细粒砂岩或粉砂岩，含植物碎片化石、舌形贝和古尼罗蛤动物化石及遗迹化石。本段发育潮汐层理，包括水平、波状、透镜状和脉状(压扁)层理以及砂泥互层层理。根据上述岩性和沉积构造特征，可解释本段产生于潮坪沉积环境(图 5)。依据垂向上的沉积特征变化，可以划分出以下 2 种沉积序列类型：

序列类型 I：混合坪+泥坪+泥炭沼泽沉积序列(图 6)。该沉积序列下部为混合坪沉积，岩性以薄层泥岩与细砂岩、粉砂岩互层为特征，具有垂直和倾斜的生物潜穴，发育潮汐层理，如波状、透镜状、脉状和水平层理；中部为泥坪沉积，岩性为深灰色薄层状的泥岩，局部夹有煤线，具水平层理并含有植物化石；上部发育二₁煤层，之上有时变为黑色泥岩或夹碳质泥岩，属泥炭沼泽沉积。此种沉积序列类型常见于潮上带和潮间带中上部沉积环境，典型钻井剖面见于 SY-002 井，SSQX-01 井。

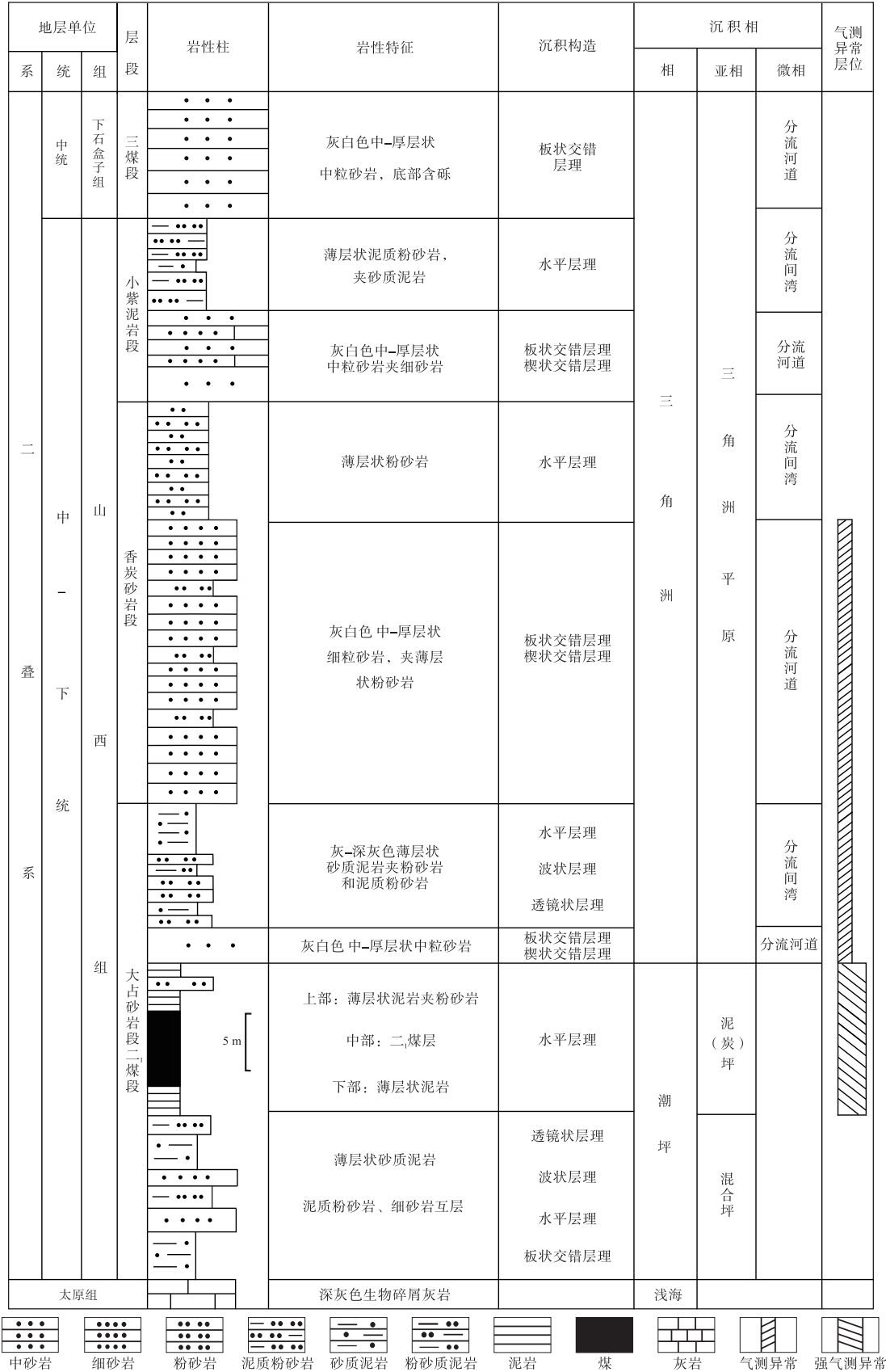


图 2 平顶山矿区山西组地层综合柱状图 (资料来源自 SSQX-01 取心井)

Fig. 2 Comprehensive columnar section of the Shanxi Formation in Pingdingshan mining area (data from core Well SSQX-01)

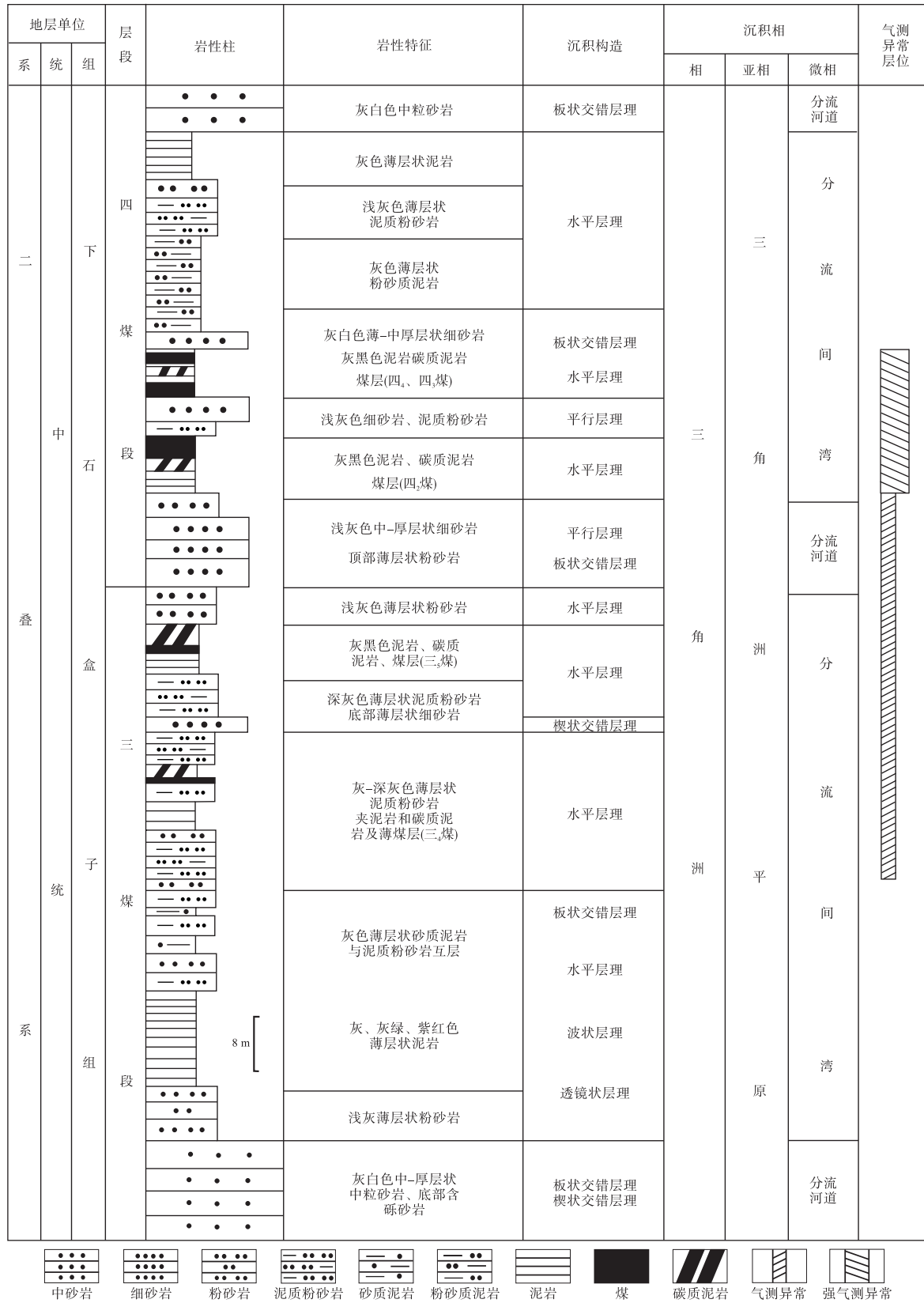


图 3 平顶山矿区下石盒子组三一四煤段地层综合柱状图 (资料来源 SSQX-01 取心井)

Fig. 3 Comprehensive columnar section of the third-fourth coal section in the Xiashihezi Formation, Pingdingshan mining area (data from core Well SSQX-01)



图 5 平顶山矿区北部山西组底部二₁煤段与太原组分界露头剖面特征

Fig. 5 Outcrop profile characteristics of boundary between the No. 2 coal section at bottom of Shanxi Formation and Taiyuan Formation in Pingdingshan mining area

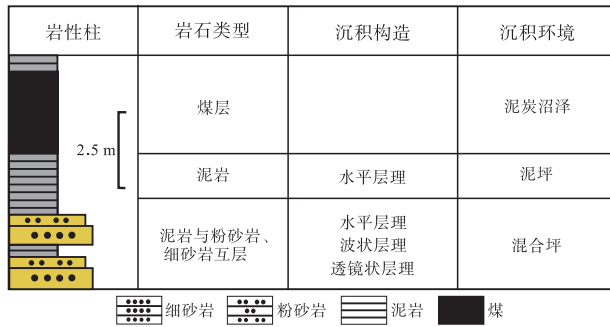


图 6 平顶山矿区山西组潮坪相类型 I 沉积序列特征

Fig. 6 Sedimentary sequence characteristics of type I in tidal flat facies of the Shanxi Formation in Pingdingshan mining area



图 7 平顶山矿区山西组潮坪相类型 II 沉积序列特征

Fig. 7 Sedimentary sequence characteristics of type II in tidal flat facies of the Shanxi Formation in Pingdingshan mining area

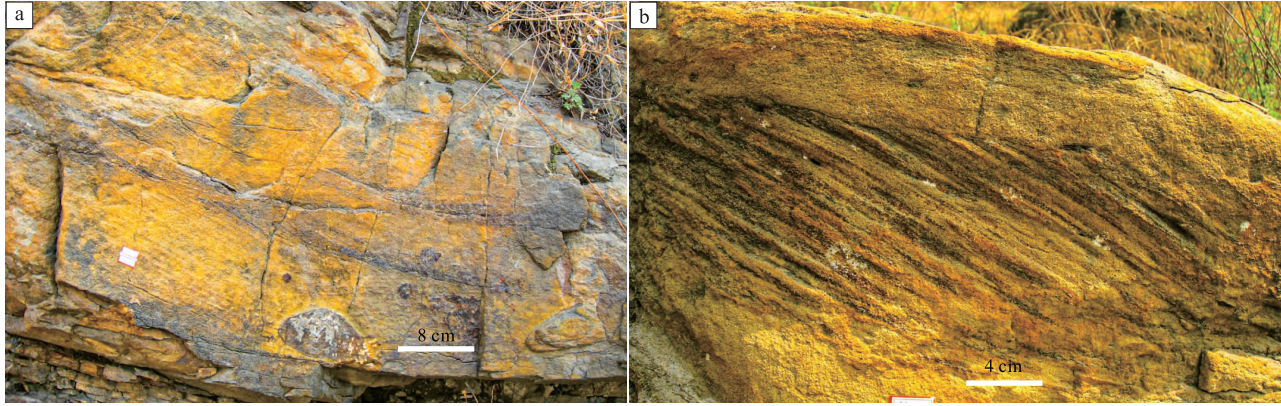
32 m, 主要由灰色、灰黄色、灰绿色泥岩、紫斑泥岩和粉砂质泥岩组成, 含紫斑、暗斑、铝质及菱铁质鲕粒, 夹薄层浅灰色细粒砂岩、粉砂岩, 下部常

发育浅灰色薄—中厚层状中、细粒砂岩, 泥岩和粉砂岩中多具水平层理, 砂岩中常见板状和楔状交错层理。

按垂向岩性组合特征, 上述 3 个岩性段均显示出三角洲平原沉积的特点, 可划分出以下 3 种沉积序列类型:

序列类型 I: 分流河道+分流间湾沼泽+潟湖沉积序列(图 9)。该类型由 3 部分构成: 下部为分流河道沉积, 岩性为灰白色中—厚层状中—细粒砂岩, 具板状、楔状交错层理; 中部为分流间湾沼泽沉积, 岩性为深灰色薄层状砂质泥岩夹煤层和碳质泥岩; 上部为分流间湾中的潟湖沉积, 岩性为浅灰色、灰色薄—中厚层状的粉砂岩, 常见具铁质鲕粒的砂质泥岩, 发育水平层理和波状层理。典型钻井剖面见于 SY-01V 井。

序列类型 II: 河口沙坝+分流河道+分流间湾(浅水洼地)沉积序列(图 10)。该类型分为 3 部分: 下部为河口沙坝沉积, 岩性以灰、浅灰色薄层状细砂岩与粉砂岩互层为特征, 具有水平层理、波状层理和小型板状交错层理; 中部为分流河道沉积, 岩性为灰白色厚层状中粒砂岩, 具板状交错层理和楔状交错层理; 上部为分流间湾中的浅水洼地沉积, 岩性主要为灰色薄层状泥质粉砂岩和粉砂岩, 发育水平层理和波状层理。典型钻井剖面见于 SY-01V 井。



a—楔状交错层理，底部显示侵蚀面，砂岩与其下伏薄层状砂质泥岩呈截切关系；b—板状交错层理，风化面突显前积纹层
(图片来自研究区北部露头剖面)

图 8 平顶山矿区山西组分流河道砂岩中的交错层理特征

Fig. 8 Cross-bedding characteristics in distributary channel sandstone of the Shanxi Formation in Pingdingshan mining area

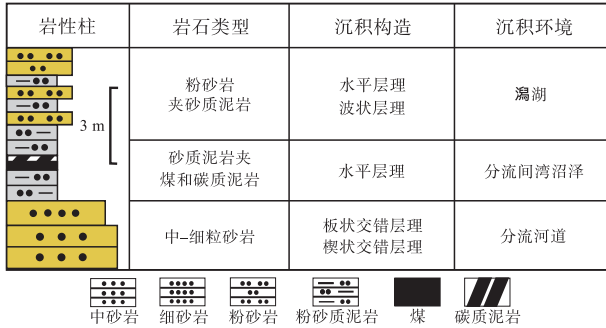


图 9 平顶山矿区山西组三角洲平原亚相类型 I 沉积序列特征
Fig. 9 Sedimentary sequence characteristics of type I in delta plain subfacies of the Shanxi Formation in Pingdingshan mining area



图 11 平顶山矿区山西组三角洲平原亚相类型 III 沉积序列特征

Fig. 11 Sedimentary sequence characteristics of type III in delta plain subfacies of the Shanxi Formation in Pingdingshan mining area

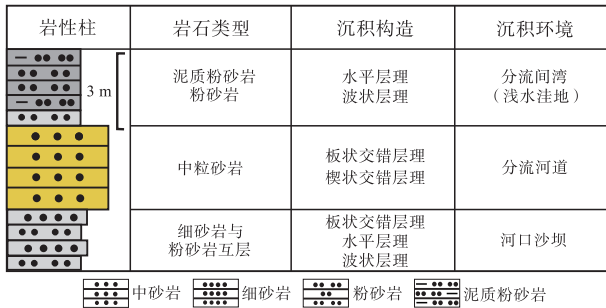


图 10 平顶山矿区山西组三角洲平原亚相类型 II 沉积序列特征

Fig. 10 Sedimentary sequence characteristics of type II in delta plain subfacies of the Shanxi Formation in Pingdingshan mining area

序列类型 III：分流河道+天然堤+分流间湾(潟湖)沉积序列(图 11)。该类型的下部为分流河道沉积，岩性为浅灰色中—厚层状中粒砂岩，具有板状交错层理和楔状交错层理；其上为天然堤沉

积，岩性由浅灰色薄—中厚层状细砂岩和粉砂岩组成，具小型板状交错层理；上部为分流间湾沉积，岩性为灰色薄层状砂质岩夹泥质粉砂岩，发育水平层理和波状层理，属分流间湾中的浅水潟湖沉积环境。典型钻井剖面见于 SY-01V 井、3805 井、3906 井、4107 井、4204 井和 4710 井。

3.2 下石盒子组沉积特征及序列类型

矿区内下石盒子组沉积特征如图 3 和图 4 所示，主要表现为多层灰白色中—厚层状细—中粒砂岩和含砾砂岩与灰绿、灰—深灰色、黑色薄层状泥岩、砂质泥岩、粉砂岩、碳质泥岩和煤层互层，夹暗斑、紫斑和鲕粒状泥岩及菱铁矿结核，含大量植物化石。细粒沉积中发育水平层理和波状层理，细—中粒砂岩中常见楔状交错层理、板状交错层理、槽状交错层理，并具有明显的冲刷侵蚀基底面(图 12)。沉积

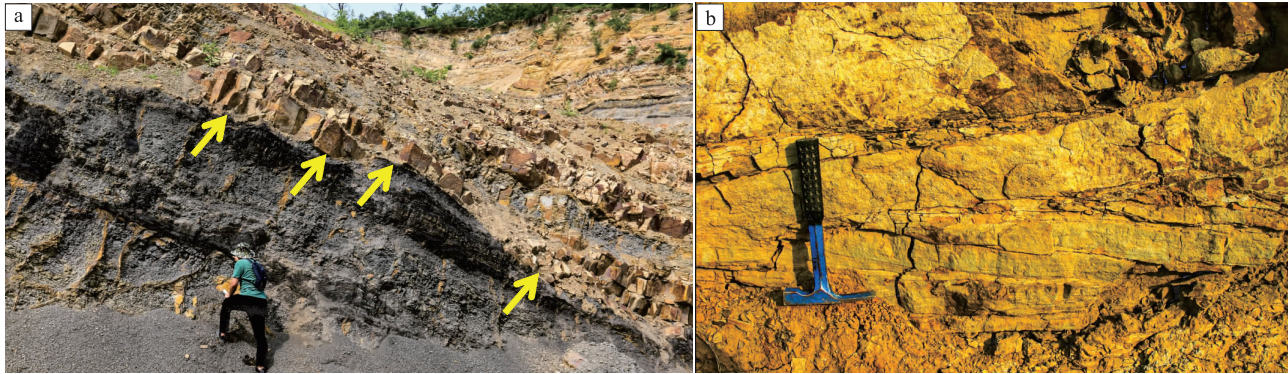


图 12 平顶山矿区下石盒子组分流河道砂岩底部冲刷侵蚀面 (a, 黄色箭头所示) 和楔状交错层理 (b)
(图片来自研究区北部露头剖面)

Fig. 12 Erosion surface (a, shown by yellow arrow) and wedge cross-bedding (b) at bottom of distributary channel sandstone in the Xiashihezi Formation in Pingdingshan mining area (pictures from northern outcrop of study area)

特征显示, 本组产生于三角洲平原环境, 包括分流河道沉积及分流间湾沼泽沉积(图 13)。

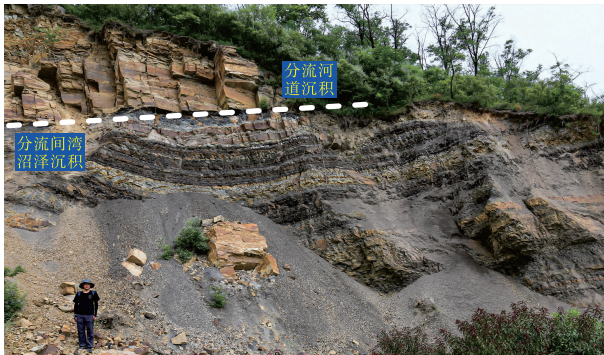


图 13 平顶山矿区下石盒子组三煤段分流河道与分流间湾沉积剖面特征 (图片来自研究区北部露头)

Fig. 13 Sedimentary characteristics of distributary channel and interdistributary bay in the third coal member of Xiashihezi Formation in Pingdingshan mining area (picture from northern outcrop of study area)

依据垂向上沉积序列特征的变化, 可以划分出以下 4 种类型:

序列类型 I: 分流河道+分流间湾 (天然堤—潟湖—决口扇—潟湖) 沉积序列(图 14)。该类型的下部为分流河道沉积, 主要为浅灰色中、厚层状中细粒砂岩, 底部为含砾粗砂岩, 具板状交错层理和楔状交错层理、正粒序层理; 中、上部为分流间湾沉积, 包括 3 种沉积: 一是天然堤沉积, 以灰色薄层状粉砂岩或细砂岩与砂质泥岩互层为特征, 见有小型交错层理和水平层理; 二是决口扇沉积, 主要为薄、中厚层状细砂岩和粉砂岩, 具楔状交错层

岩性柱	岩石类型	沉积构造	沉积环境
	砂质泥岩	水平层理	潟湖
	细砂岩	板状交错层理	决口扇
	砂质泥岩	水平层理	潟湖
	粉砂岩、砂质泥岩	波状层理、水平层理	天然堤
	细砂岩 含砾粗砂岩	楔状交错层理 板状交错层理 正粒序层理	分流河道

图 14 平顶山矿区下石盒子组三角洲平原亚相类型 I 沉积序列特征

Fig. 14 Sedimentary sequence characteristics of type I in delta plain subfacies of the Xiashihezi Formation in Pingdingshan mining area

理和波状层理; 三是潟湖沉积, 主要为灰色薄层状砂质泥岩夹薄层状泥质粉砂岩, 夹暗斑、紫斑和鲕粒状泥岩, 具水平层理及菱铁矿结核。典型钻井剖面见于 SY-01V 井、SY-002 井、SY-004 井、3805 井、4005 补井和 4104 井。

序列类型 II: 分流河道+分流间湾 (潟湖—浅水沙坝—泥炭沼泽—潟湖) 沉积序列(图 15)。该类型下部为分流河道沉积, 岩性与类型 I 大体相同; 中—上部为分流间湾沉积, 主要是一套水体较浅的潟湖沉积, 常为具水平层理的灰色薄层状砂质泥岩, 其中夹 2 种不同的沉积, 一种是浅水砂坝沉积, 岩性为浅灰色中厚层状细砂岩, 发育小型交错层理, 另一种是泥炭沼泽沉积, 由碳质泥岩和薄煤层构成。典型钻井剖面见于 3906 井、4115 井和 4203 井。

序列类型 III: 分流河道+分流间湾(浅水洼地—

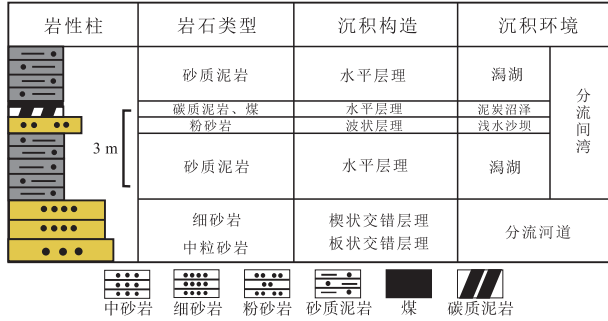


图 15 平顶山矿区下石盒子组三角洲平原亚相类型 II 沉积序列特征

Fig. 15 Sedimentary sequence characteristics of type II in delta plain subfacies of the Xiashihezi Formation in Pingdingshan mining area



图 17 平顶山矿区下石盒子组三角洲平原亚相类型 IV 沉积序列特征

Fig. 17 Sedimentary sequence characteristics of type IV in delta plain subfacies of the Xiashihezi Formation in Pingdingshan mining area

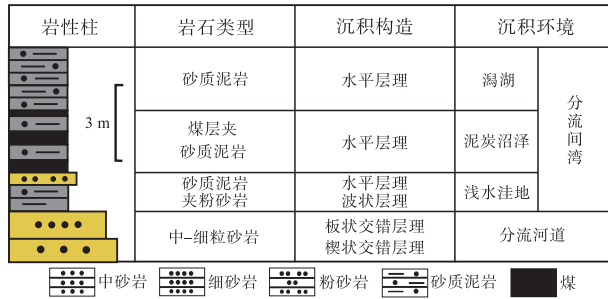


图 16 平顶山矿区下石盒子组三角洲平原亚相类型 III 沉积序列特征

Fig. 16 Sedimentary sequence characteristics of type III in delta plain subfacies of the Xiashihezi Formation in Pingdingshan mining area

泥炭沼泽—潟湖)沉积序列(图 16)。该类型下部为分流河道沉积,岩性与类型 I 和类型 II 相同;其上的分流间湾沉积由3种不同的沉积构成:一是浅水洼地沉积,为厚度较小的深灰色薄层状砂质泥岩夹粉砂岩,具水平层理和波状层理;二是泥炭沼泽沉积,为深灰色薄层状砂质泥岩与煤层或碳质泥岩互层;三是潟湖沉积,常见为具水平层理且厚度较大的深灰色薄层状砂质泥岩。典型钻井剖面见于3805井、3902井、4107井、4111井、4203井和 SY-004井。

序列类型 IV: 分流河道+分流间湾(泥炭沼泽—潟湖)沉积序列(图 17)。该类型分为3部分:下部为分流河道沉积,岩性为浅灰色中—厚层状中—细粒砂岩,具有板状交错层理和楔状交错层理;中部为泥炭沼泽沉积,主要为煤层夹深灰色薄层状砂质泥岩;上部为潟湖沉积,通常为灰—深灰色薄层状砂质泥岩,具水平层理。典型钻井剖面见于3902井、4107井、4204井、4005补井和 SY-002井。

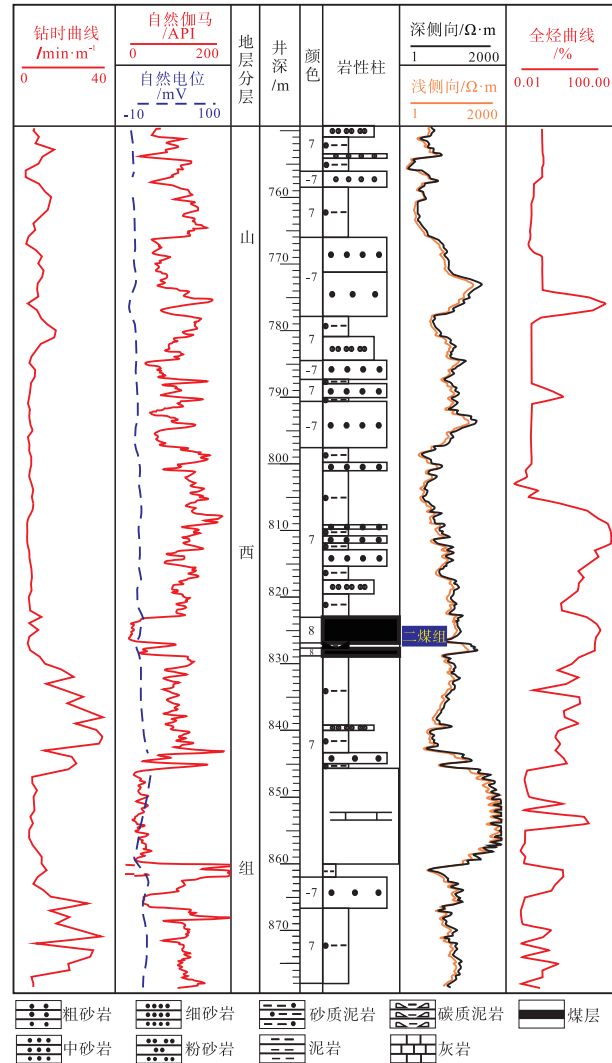


图 18 平顶山矿区 SSKYC-04 井山西组气测录井综合图

Fig. 18 Gas logging synthesis of Well SSKYC-04 in the Shanxi Formation of Pingdingshan mining area

4 煤系气赋存层位及其沉积环境

4.1 煤系气赋存层位的判识

依据钻井气测录井资料分析，本矿区山西组二₁煤段、大占砂岩段和香炭砂岩段都有明显的气测异常显示(图 2)，如 SSKYC-04 井山西组气测录井综合图中的全烃曲线所示，二₁煤组(己煤组)及其上下黑色泥岩与厚层砂岩层中显示较高的气测值(图 18)。

根据瓦斯含量实测，本矿区东部(十矿、十二矿、八矿、首山一矿和十三矿)二₁煤段的瓦斯含量最高，通常为 10~25 m³/t；中部(一矿、二矿、四矿、五矿和六矿)的瓦斯含量相对较高，一般为 5~15 m³/t；西部(香山矿、十一矿和九矿)的瓦斯含量常小于 10 m³/t。

本矿区东部下石盒子组三煤段的三煤组与四煤段的四煤组(戊煤组)同样显示出明显的气测异常(图 3)，五煤段中的黑色页岩和丁煤组以及六煤段上部碳质页岩和深灰色泥岩中也都显示有气测异常(图 4)。如 SSKYC-04 井下石盒子组气测录井综合图(图 19)中的全烃曲线所示，三煤组和四煤组及其上下黑色泥岩与厚层砂岩以及五煤段和六煤段中的黑色泥岩与砂岩层都有较高的气测值。

本矿区东部多数解吸样的测试结果显示，戊煤组含气量变化于 1.18~14.57 m³/t 之间，平均为 6.21 m³/t；丁组煤含气量较低，测试结果一般为 2.83~5.23 m³/t，甲烷成分大多占 91%~96%。

4.2 煤系气赋存受控的沉积环境

上述平顶山矿区山西组和下石盒子组煤系沉积特征和沉积序列类型以及气测录井资料分析表明，

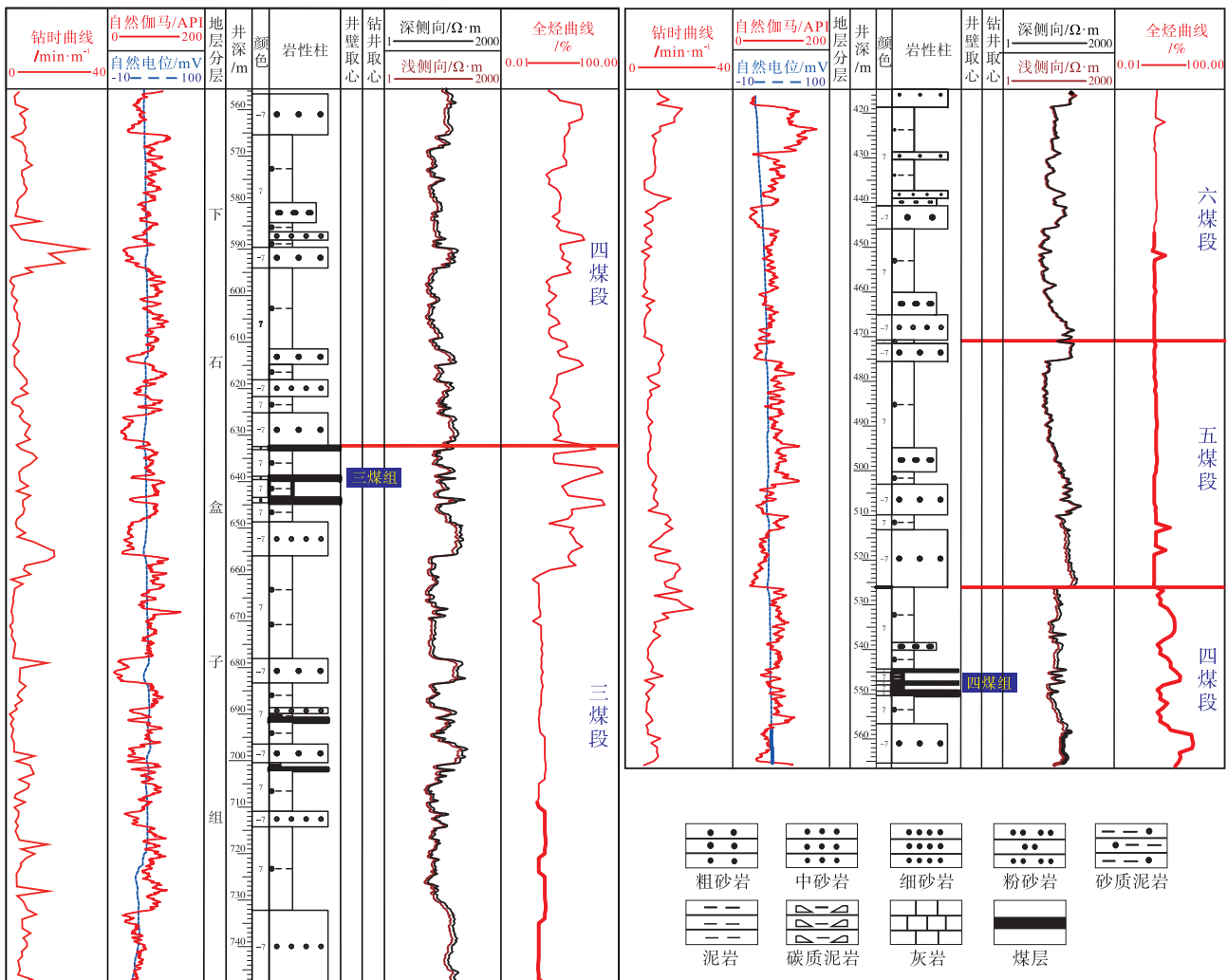


图 19 平顶山矿区 SSKYC-04 井下石盒子组气测录井综合图

Fig. 19 Gas logging synthesis of Well SSKYC-04 in the Xiashihezi Formation of Pingdingshan mining area



图 20 平顶山矿区下石盒子组四煤段分流河道与分流间湾沼泽沉积特征 (图片来自平顶山矿区北部露头剖面)
 Fig. 20 Sedimentary characteristics of distributary channel and interdistributary bay swamp in the fourth coal member of Xiashihezi Formation in Pingdingshan mining area (picture from northern outcrop of Pingdingshan mining area)

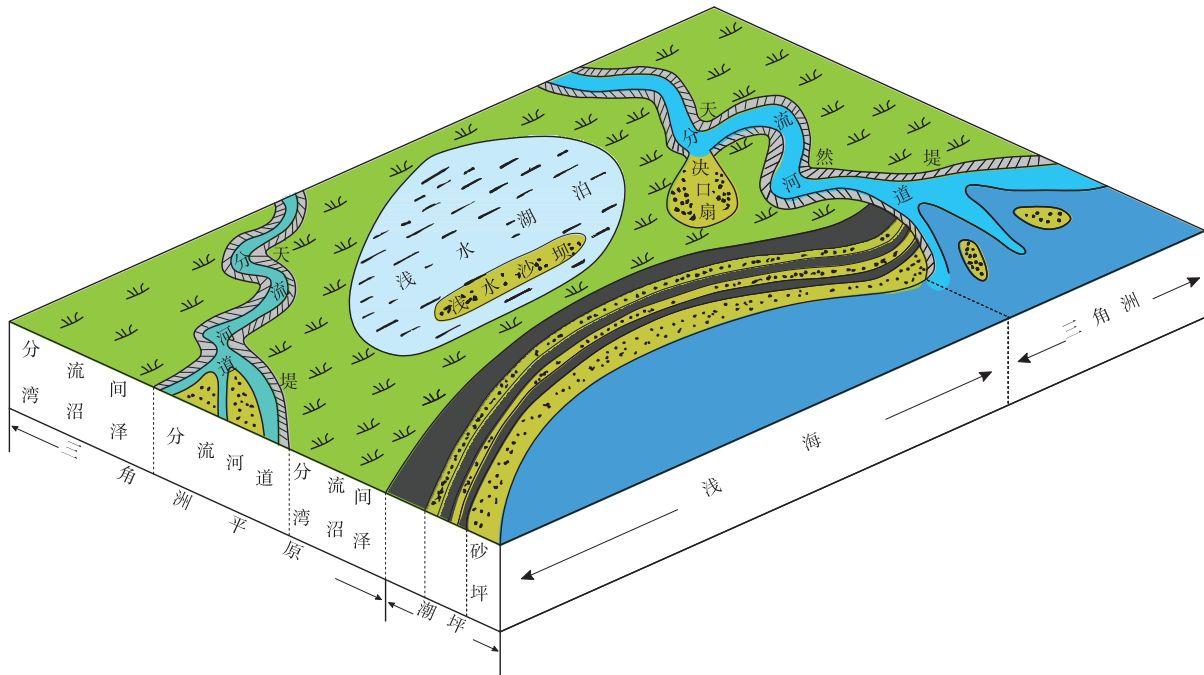


图 21 平顶山矿区山西组一下石盒子组煤系气赋存沉积环境模式
 Fig. 21 Sedimentary environment model of coal measure gas occurrence in the Shanxi Formation and Xiashihezi Formation, Pingdingshan mining area

本区山西组一下石盒子组煤系气赋存的岩层主要为煤层、黑色泥岩或页岩层及较厚的中-细粒砂岩层，均产生于滨岸潮坪及三角洲沉积环境。其中，

山西组中的煤系气赋存受控于 2 种沉积环境：一是底部的二₁煤段，即二₁煤组（已煤组）及其上下黑色泥岩中的煤系气均发育于潮坪沉积环境，尤其

在泥坪和泥炭坪沉积中气测值较高(图 18);二是山西组中上部大占砂岩段和香炭砂岩段,均产生于三角洲平原沉积环境,较厚的分流河道中一细粒砂岩层也显示出较高的气测值(图 18)。在已开发的抽采井中,上述沉积环境所形成的甲烷气产量普遍较高。

本区下石盒子组形成于三角洲沉积环境,是一套分流河道、天然堤、决口扇、浅水洼地、泥炭沼泽、潟湖及浅水沙坝沉积。如图 19 全烃曲线所示,在三、四煤段所含三、四煤组(戊煤组)的煤层、黑色泥岩层及其上下厚层砂岩层以及五煤组(丁煤组)底部的砂岩层中,气测值较高。这表明下石盒子组中的煤系气主要受控于三角洲分流间湾沼泽和分流河道砂体沉积环境。尤其是四煤段,分流河道及分流间湾沼泽沉积的地层厚度较大,含多层薄煤层及黑色泥岩或碳质泥岩,这在平顶山矿区北部露头剖面上具有良好的展示(图 20)。在目前诸多抽采井中,四煤段三角洲分流间湾沼泽沉积中所赋存的甲烷气产量也都比较高。

综上所述,研究区山西组一下石盒子组中的煤系气生成与赋存主要受控于潮坪上的泥炭沼泽(泥炭坪)环境、三角洲分流间湾沼泽和分流河道沉积环境(图 21),尤其是分流间湾中厚度较大的灰黑色泥岩、碳质泥岩及厚煤层沉积十分有利于甲烷气的生成。在研究区目前已经产气的几十口开发井中,上述 3 种沉积环境所形成的煤储层厚度大于 2 m、黑色泥岩和中、细粒砂岩储集层厚度大于 5 m 时,气含量普遍较高。研究表明,沉积相特别是亚相或微相对煤系气的生成与聚集有一定的控制作用,这与塔里木盆地深埋的白垩系气藏聚集受沉积微相控制有相同之处(Zhang *et al.*, 2016)。

5 结论

基于平顶山矿区近几年来煤系气勘探与开发的成果,通过精细的地层、沉积特征、沉积序列和气测录井分析,取得了以下几点新进展:

1) 研究揭示了本区主要含煤地层山西组和下石盒子组中煤系气(煤层气、页岩气和致密砂岩气)成藏与沉积环境的依存关系,即煤系气的生成与赋存及其含气量的变化主要受控于潮坪上的泥炭沼泽(泥炭坪)、三角洲分流间湾沼泽和分流河道沉积环境以及储集层厚度的变化;

2) 依据地层沉积特征在垂向上的变化规律,划分出 9 种沉积序列类型,并解释了每种序列类型形成的沉积环境;

3) 在综合分析沉积特征和沉积序列的基础上,提出了平顶山矿区山西组一下石盒子组煤系气赋存的沉积环境模式;

4) 查明了煤系气在本区山西组和下石盒子组中赋存的主要层位,并初步总结了煤系气含量的区域分布与变化特征。

参考文献 (References)

- 陈松,桂和荣,马艳平,孙林华. 2010. 平顶山矿区含煤地层沉积环境及聚煤特征. 煤炭工程, 42(6): 72-75. [Chen S, Gui H R, Ma Y P, Sun L H. 2010. Features of coal bearing strata sedimentary environment and coal accumulation in Pingdingshan Mining Area. Coal Engineerin, 42(6): 72-75]
- 崔崇海,蔡一民. 2000. 控制平顶山矿区煤层气赋存的构造与热演化史. 河北建筑科技学院学报, 17(2): 67-70. [Cui C H, Cai Y M. 2000. The structure of coalbed methane possession and metamorphic process in Pingdingshan mining area. Journal of Hebei Institute of Architectural Science and Technology, 17(2): 67-70]
- 韩习运. 2009. 平顶山矿区构造煤的分布规律及其对煤与瓦斯突出的影响. 中州煤炭, 31(7): 36-37, 40. [Han X Y. 2009. Distribution of structural coal and its influence on coal and gas outburst in Pingdingshan mining area. Zhongzhou Coal, 31(7): 36-37, 40]
- 胡斌,张璐,刘顺喜,宋慧波,史来亮,胡磊. 2012a. 河南省中二叠世山西期古地理特征. 古地理学报, 14(4): 411-422. [Hu B, Zhang L, Liu S X, Song H B, Shi L L, Hu L. 2012a. Palaeogeographic characteristics during the Middle Permian Shanxi Age in Henan Province. Journal of Palaeogeography (Chinese Edition), 14(4): 411-422]
- 胡斌,尚永国,牛永斌,宋慧波,刘顺喜,张璐. 2012b. 河南省晚古生代煤系层序地层格架与沉积演化. 煤田地质与勘探, 40(2): 1-5. [Hu B, Shang Y G, Niu Y B, Song H B, Liu S X, Zhang L. 2012b. Sequence stratigraphic framework of Late Paleozoic coal measures and their sedimentary evolution in Henan Province. Coal Geology & Exploration, 40(2): 1-5]
- 胡斌,宋峰,陈守民,宋慧波,金毅. 2015. 河南省晚古生代煤系沉积环境及岩相古地理. 江苏徐州: 中国矿业大学出版社. [Hu B, Song F, Chen S M, Song H B, Jin Y. 2015. Sedimentary Environments and Lithofacies Paleogeography of Late Paleozoic Coal Measures in Henan Province. Jiangsu Xuzhou: China Mining University Press]
- 胡斌,齐永安,宋慧波,牛永斌,张立军,郑伟,王长征. 2021. 中国遗迹学研究十年进展. 古地理学报, 23(2): 284-320. [Hu B, Qi Y A, Song H B, Niu Y B, Zhang L J, Zheng W, Wang C Z. 2021. Research progress of Chinese ichnology in recent ten years. Journal of Palaeogeography (Chinese Edition), 23(2): 284-320]
- 李雪燕,吴亮,陈俊亮. 2004. 平顶山矿区煤层气资源量预测浅探. 中州煤炭, 26(1): 17, 27. [Li X Y, Wu L, Chen J L. 2004. Discussion on prediction of coalbed methane resources in Pingdingshan

- mining area. *Zhongzhou Coal*, 26(1): 17, 27]
- 刘庆献. 2008. 平顶山矿区煤层气赋存特征及影响因素分析. *中国煤炭地质*, 20(3): 31-34. [Liu Q X. 2008. An analysis on CBM hosting features and contributing factors in Pingdingshan mining area. *Coal Geology of China*, 20(3): 31-34]
- 彭伦,傅雪海,边兵,罗斌,张俊凡. 2010. 平顶山矿区煤层气有利可采区段优选分析. *中国煤层气*, 7(3): 31-33. [Peng L, Fu X H, Bian B, Luo B, Zhang J F. 2010. Analysis of selected favorable & workable CBM blocks in Pingdingshan mining area. *China Coal Bed Methane*, 7(3): 31-33]
- 邵龙义,董大啸,李明培,王海生,王东东,鲁静,郑明泉,程爱国. 2014. 华北石炭—二叠纪层序—古地理及聚煤规律. *煤炭学报*, 39(8): 1725-1734. [Shao L Y, Dong D X, Li M P, Wang H S, Wang D D, Lu J, Zheng M Q, Cheng A G. 2014. Sequence paleogeography and accumulation of the Carboniferous-Permian in the North China Basin. *Journal of China Coal Society*, 39(8): 1725-1734]
- 邵龙义,郑明泉,侯海海,董大啸,王海生. 2018. 山西省石炭—二叠纪含煤岩系层序—古地理与聚煤特征. *煤炭科学技术*, 46(2): 1-8, 34. [Shao L Y, Zheng M Q, Hou H H, Dong D X, Wang H S. 2018. Characteristics sequence-palaeogeography and coal accumulation of Permo-Carboniferous coal measures in Shanxi Province. *Coal Science and Technology*, 46(2): 1-8, 34]
- 盛吉虎,张恩惠,王家德. 1997. 河南省早二叠世早期岩相古地理及聚煤作用研究. *河南地质*, 15(3): 186-191. [Sheng J H, Zhang E H, Wang J D. 1997. Study on lithofacies paleogeography and coal accumulation of the early Early Permian in Henan Province. *Henan Geology*, 15(3): 186-191]
- 宋岑,吴财芳,刘君. 2009. 平顶山矿区主采煤层控气地质构造特征研究. *能源技术与管理*, 34(6): 9-11. [Song C, Wu C F, Liu J. 2009. Study on the geological structure characteristics the geological structure controlling the gas reservoir of main coal seam in Pingdingshan Mining area. *Energy Technology and Management*, 34(6): 9-11]
- 唐亚兰. 1988. 河南省平顶山—荥巩煤田不同变质程度煤的煤岩学特征. *矿床地质*, 7(3): 89-95. [Tang Y L. 1988. Petrological characteristics of coals in different metamorphic ranks in the Pingdingshan-Xingong coalfield, Henan Province. *Mineral Deposits*, 7(3): 89-95]
- 王佟,李志军,王洪林,崔崇海. 1999. 平顶山矿区煤层气赋存特征及开发潜力. *河北建筑科技学院学报*, 16(4): 54-58. [Wang T, Li Z J, Wang H L, Cui C H. 1999. Coalbed methane possession characteristics and developing potential of Pingdingshan mine area. *Journal of Hebei Institute of Architectural Science and Technology*, 16(4): 54-58]
- 王占磊,吴财芳,李勃. 2010. 平顶山矿区影响煤层气含量的地质因素研究. *四川地质学报*, 30(2): 190-193. [Wang Z L, Wu C F, Li B. 2010. Geological factor effective on gas content of coal bed gas in the Pingdingshan mining area. *Acta Geologica Sichuan*, 30(2): 190-193]
- 杨长保. 2009. 平顶山矿区太原组、山西组的煤组划分及煤层对比. *中州煤炭*, 31(7): 33-35. [Yang C B. 2009. Partition of coal measures and contrast between coal seams of Taiyuan Formation and Shanxi Formation in Pingdingshan mining area. *Zhongzhou Coal*, 31(7): 33-35]
- 杨起. 1987. 河南禹县晚古生代煤系沉积环境与聚煤规律. 北京: 地质出版社. [Yang Q. 1987. *Sedimentary Environments and Coal Accumulation Regularity of the Late Paleozoic Coal Measures in Yu County, Henan Province*. Beijing: Geological Publishing House]
- 姚艳斌,刘大猛,汤达祯,唐书恒,黄文辉,胡宝林,车遥. 2007. 平顶山煤田煤储层物性特征与煤层气有利区预测. *地球科学(中国地质大学学报)*, 32(2): 285-290. [Yao Y B, Liu D M, Tang D Z, Tang S H, Huang W H, Hu B L, Che Y. 2007. Coal reservoir physical characteristics and prospective area for CBM exploitation in Pingdingshan coal field. *Earth Science (Journal of China University of Geosciences)*, 32(2): 285-290]
- 叶建平. 1992. 平顶山矿区二₁煤层煤相分析. *煤田地质与勘探*, 20(1): 9-14. [Ye J P. 1992. Coal facies analysis in the coal II₁ of Pingdingshan mining area, Henan. *Coal Geology & Exploration*, 20(1): 9-14]
- 叶建平. 1995. 煤岩特性对平顶山矿区煤储层渗透性的影响初探. *中国煤田地质*, 7(1): 82-85. [Ye J P. 1995. The influence of coal and rock characteristics on the permeability of coal reservoir in Pingdingshan mining area. *Coal Geology of China*, 7(1): 82-85]
- 张宏敏,胡斌,刘文平. 2008. 河南平禹汝矿区含煤岩系综合对比分析. *煤炭科学技术*, 36(7): 92-95. [Zhang H M, Hu B, Liu W P. 2008. Comprehensive comparison among coal measures in Ping-Yu-Ru mining area of Henan Province. *Coal Science and Technology*, 36(7): 92-95]
- 赵群华,王可,王琳. 2003. 平顶山二₁山西组沉积环境对煤层厚度的影响. *焦作工学院学报(自然科学版)*, 22(3): 187-189. [Zhao Q H, Wang K, Wang L. 2009. The influence of Shanxi Formation sedimentary environment in No. 2 Coal Mine of Pingdingshan. *Journal of Jiaozuo Institute of Technology (Natural Science)*, 22(3): 187-189]
- 周慧堂,付泽明,李祯,雒增强,杜士清,宋志坚. 1990. 河南省平顶山煤田晚石炭世太原组沉积环境和聚煤沉积特征. *沉积学报*, 8(3): 35-45. [Zhou H T, Fu Z M, Li Z, Luo Z Q, Du S Q, Song Z J. 1990. Depositional environments and coal-forming sedimentary characteristics of Taiyuan Formation of Late Carboniferous in Pingdingshan coal-field, Henan Province. *Acta Sedimentologica Sinica*, 8(3): 35-45]
- Shao L Y, Wang X T, Wang D D, Li M P, Wang S, Li Y J, Shao K, Zhang C, Gao C X, Dong D X, Cheng A G, Lu J, Ji C W, Gao D. 2020. Sequence stratigraphy, paleogeography, and coal accumulation regularity of major coal-accumulating periods in China. *International Journal of Coal Science & Technology*, 7(2): 240-262.
- Zhang R H, Wang J P, Ma Y J, Chen C, Zeng Q, Zhou C. 2016. Sedimentary microfacies and palaeogeomorphology as well as their controls on gas accumulation within the deep-buried Cretaceous in Kuqa Depression, Tarim Basin, China. *Journal of Natural Gas Geoscience*, 1(1): 45-59.

(责任编辑 郑秀娟; 英文审校 徐杰)