

淄博博山地区晚古生代煤系层序地层与聚煤作用

常嘉¹, 陈世悦^{1,2}, 鄢继华^{1,2}

1. 中国石油大学(华东)地球科学与技术学院, 山东青岛 266580

2. 海洋国家实验室海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室, 山东青岛 266071

摘要 为揭示渤海湾盆地陆表海背景下的煤系层序地层界面形成机制以及层序地层格架内的聚煤作用特征,以淄博博山地区为例开展了本溪组、太原组和山西组的层序地层及聚煤作用研究。研究区内共识别出古构造运动形成的区域性构造不整合面、正常海退形成的下切谷冲刷面、盆地基底构造运动形成的海侵方向转换面、初始海泛面、最大海泛面以及最大海退面等层序界面类型,将研究区含煤地层划分为三个七级层序。经对比研究层序内的煤层的发育特征后认为,潮坪泥炭坪、潟湖及三角洲平原泥炭沼泽为煤层最有利发育相带。SQ2、SQ3、SQ4、SQ5、SQ6层序内均有可采煤层发育。

关键词 淄博博山地区;晚古生代;含煤地层;层序地层;聚煤作用

第一作者简介 常嘉,男,1993年出生,硕士研究生,沉积学及层序地层学,E-mail:56426400@qq.com

中图分类号 P539.2 P618.11 **文献标志码** A

渤海湾盆地是我国重要的含油气盆地及产煤盆地,蕴含着丰富的油气和矿产资源。渤海湾盆地晚古生代含煤地层自中石炭世开始接受沉积,至太原组早期—中期阶段,海侵规模达到最大,而后至太原组末期,北部阴山—燕山褶皱带逐步抬升,造成强制海退,海水逐渐退出,沉积物逐步充填盆地。整个演化阶段,广阔的平原地区气候温暖湿润,为植物的大量生长提供了极其有利的气候条件,也为聚煤作用提供了丰富的原始资料。而层序地层学是研究煤层发育特征及分布的有效手段,尤以层序地层格架下的可容空间增长速率与泥炭堆积速率的平衡关系来解释聚煤作用的强弱以及煤层厚度的变化特征。前人利用层序地层学的观点,对渤海湾盆地晚古生代含煤地层特征、古地理演化及聚煤规律等方面进行了大量研究。刘焕杰等^[1]针对华北晚古生代含煤地层提出陆表海堡岛体系沉积的观点。陈世悦^[2]提出聚煤作用的发育受海平面变化的控制,海平面升降周期的长短决定了聚煤作用持续的时间。李增学等^[3-4]提出海侵事件成煤作用及多元聚煤理论体系。张增奇等^[5]提出山东境内“凹中找垒,凸中找铗”的找煤模式。董大啸等^[6]基于层序地层格架的岩相古地理分析对华北地台晚古生代的聚煤规律进行研究。但由于层序地层划分标准不同,缺乏全区范围内的

统一对比研究。本文以渤海湾盆地周缘典型的晚古生代含煤地层剖面淄博博山剖面为例,开展陆表海背景下含煤层序地层和聚煤作用的精细研究,进一步丰富和深化渤海湾盆地聚煤理论,以期对渤海湾盆地内煤炭及其伴生资源勘探和开发提供指导。

1 区域地质背景

淄博博山晚古生代野外露头剖面位于山东省淄博博山大奎山一带(图1),该剖面地层出露完整,地层连续无间断,顶底界线明显,是研究渤海湾盆地晚古生代地层特征的典型野外露头剖面,为本次研究的开展提供了极为有利的条件^[7](图2)。结合前人研究成果,并对其露头剖面的地层特征及岩性组合,以及标志层的识别,自下而上将该剖面晚古生代含煤地层划分为SQ1、SQ2、SQ3、SQ4、SQ5、SQ6及SQ7七个三级层序(图3)。研究表明,研究区内晚古生代含煤地层的形成环境为海陆交互相(堡岛—台地相和浅水三角洲相),共发育九层厚煤层及数层薄煤层。

2 含煤地层层序地层格架

2.1 关键层序界面识别

层序地层学是分析基准面变化的沉积响应,研

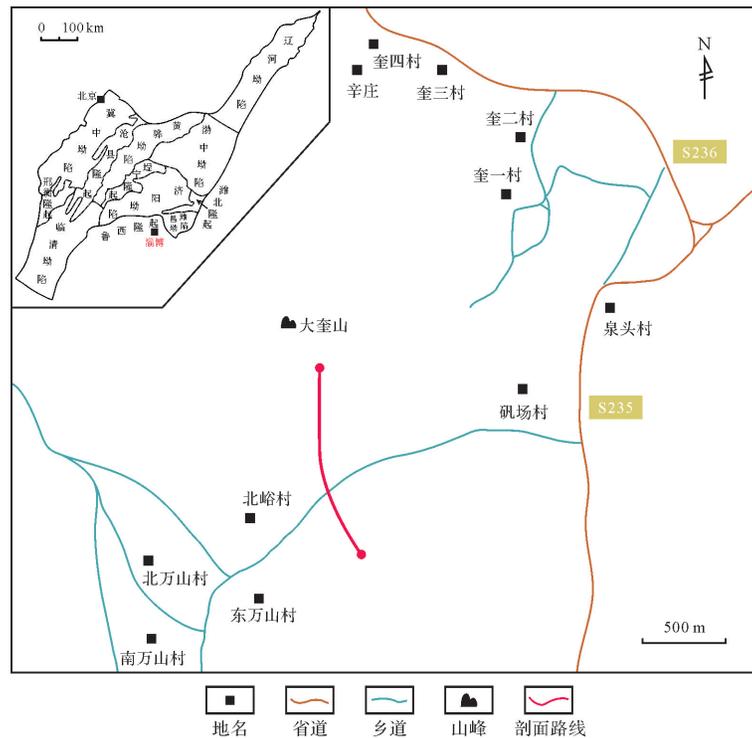


图1 淄博博山晚古生代剖面地理位置(据侯中帅等^[7],有修改)

Fig.1 Location of Late Paleozoic sections in Zibo Boshan area (modified from Hou et al.^[7])

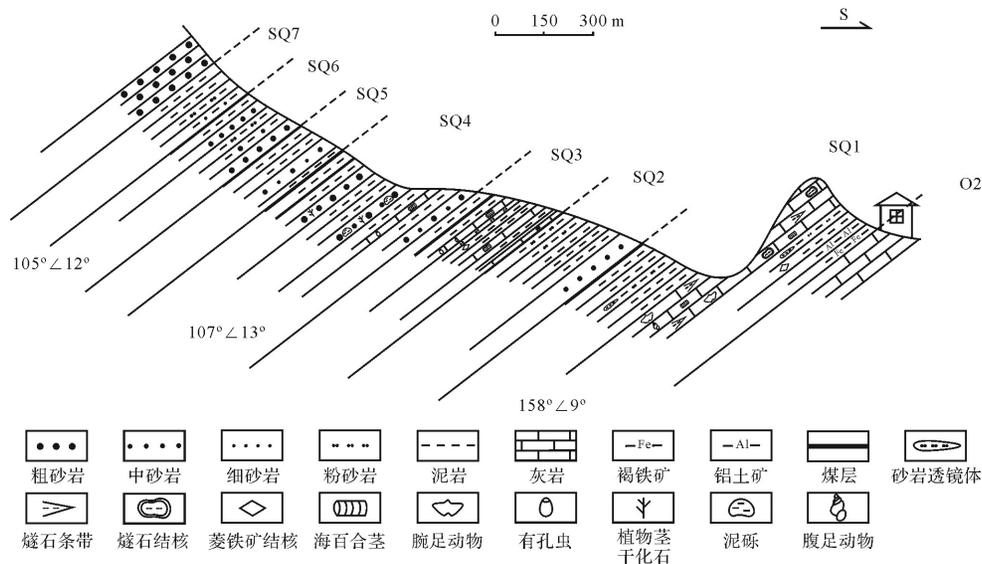


图2 淄博博山地区晚古生代含煤地层信手地质剖面图

Fig.2 Simplified geological profile of Late Paleozoic coal-bearing strata in Zibo Boshan area

究可容空间(充填沉积物的空间)与沉积作用相互影响及其引起的沉积趋势变化的一门学科。其主要内容是对层序及体系域界面进行精确识别,追踪和对比,划分各级层序地层单元,明确各层序的结构特征,建立层序地层格架。层序地层的关键界面有层序界面、最大海泛面及最大海退面等,这些关键界面的识别对于层序划分有着极其重要的意义。

2.1.1 层序界面的识别

(1) 区域性构造不整合面

在加里东构造运动背景下,华北地台基底整体抬升,地层长期暴露于地表遭受风化剥蚀,其残留组分在风化壳之上形成铁铝质沉积物。受中奥陶世华北板块区域性抬升作用的影响,华北地台隆升,遭受138 Ma的风化剥蚀,并在不整合面之上发育铁铝岩

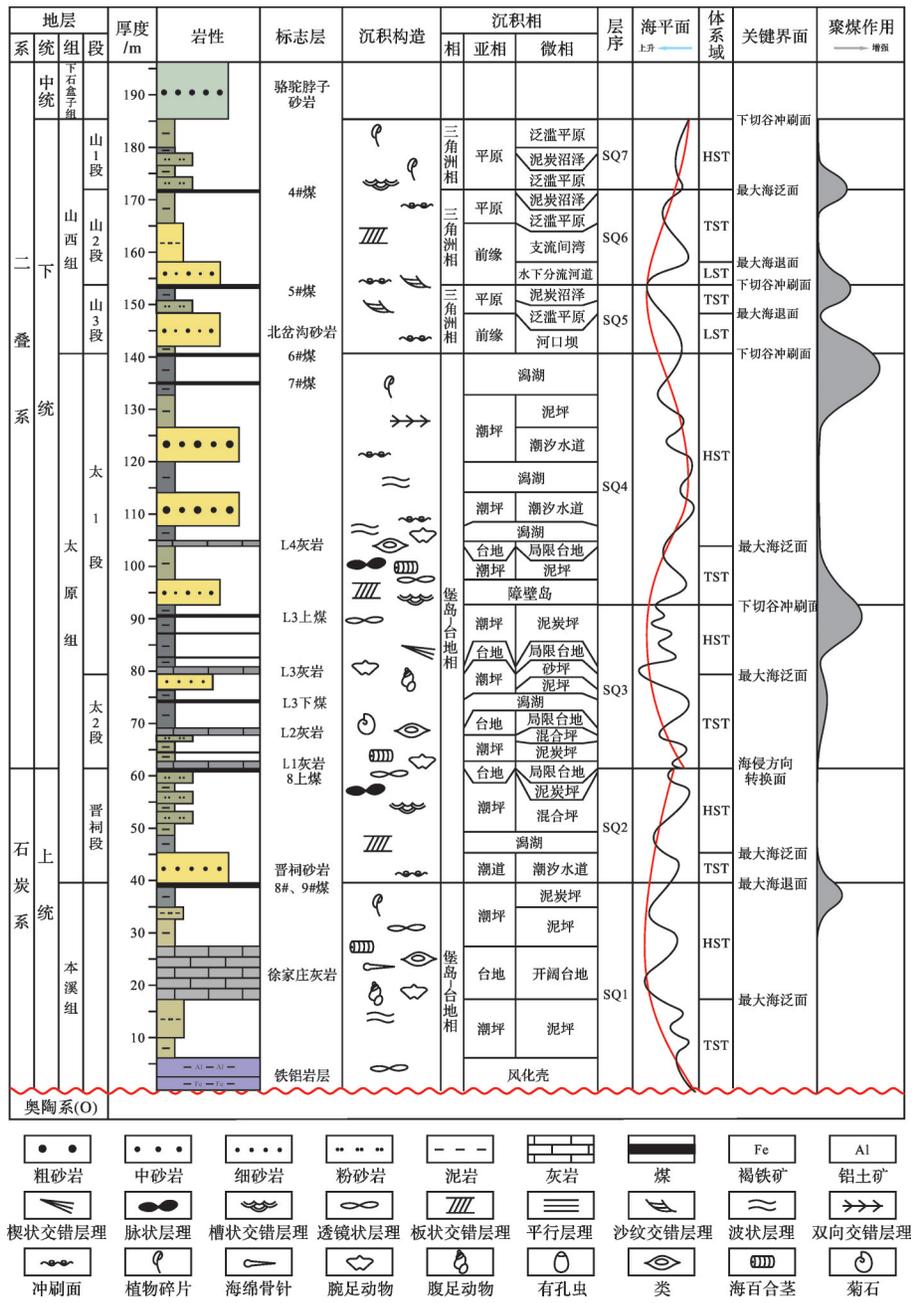


图3 淄博博山地区晚古生代含煤地层沉积相及层序地层柱状图
 Fig.3 Integrated histogram of sedimentary facies and sequence stratigraphy of Late Paleozoic coal-bearing strata in Zibo Boshan area

(褐铁矿与铝土矿),是全区普遍发育且易于识别的层序界面(图4a)。于稳定或较稳定的地区、古陆边缘及浅海地带,在温室气候下长期侵蚀形成^[8]。

(2) 下切谷冲刷面

在陆表海背景下,由于盆地内古地形坡度较缓,较小幅度的海平面变化都可造成区域性范围内的海岸线推进^[9]。当海平面下降时,盆地边缘的河流下切作用显著加强,碎屑物质充填,形成一套低位河流下

切谷砂体,且砂体厚度较大,其底面为侵蚀不整合面。砂岩底面常为河流冲刷下切形成的冲刷面,致使下伏地层遭受不同程度的侵蚀而产生缺失,界面上下的沉积环境、古生物种类等发生明显变化。如山西组底部北岔沟砂岩的底界(图4b)等^[10]。

(3) 海侵方向转换面

在太原组太原段底部煤层(图4c)沉积时,华北地台受构造运动的影响发生了一次“翘板式”运

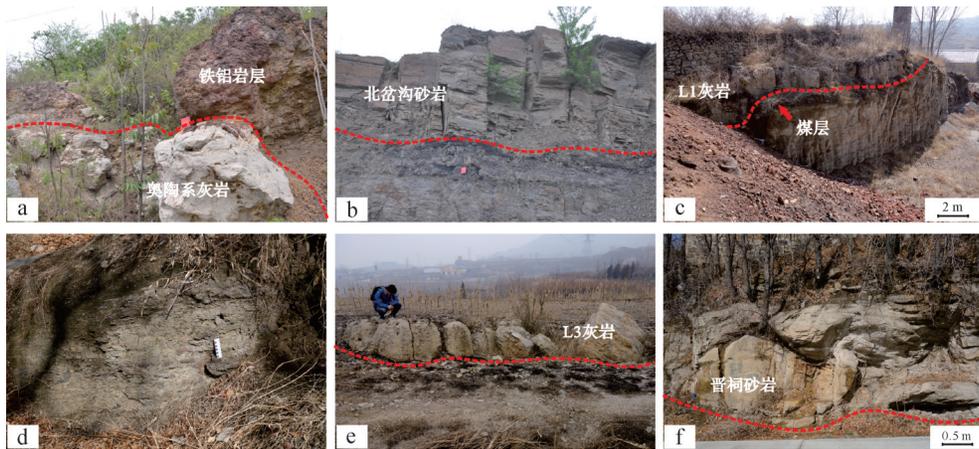


图4 淄博博山地区晚古生代含煤地层层序界面

a. 区域性构造不整合面, SQ1 层序底界铁铝岩段与中奥陶世石灰岩顶界; b. 下切谷冲刷面, SQ4 层序底界北盆沟砂岩的底界; c. 海侵方向转换面, SQ2 层序底部煤层; d. 初始海泛面, SQ2 层序晋祠砂岩之上的暗色泥岩层的底界; e. 最大海泛面, SQ2 层序 L3 灰岩的底界; f. 最大海退面, SQ2 层序晋祠砂岩的底界

Fig.4 Stratigraphic sequence of Late Paleozoic coal-bearing strata in Zibo Boshan area

动,其地形由原来的“南隆北倾”变为“北隆南倾”,北部地势抬高,南部地势相对变低,海侵方向也由原来的北东方向变为南东方向^[10]。其沉积环境发生变化,代表着新的沉积事件的开始。

2.1.2 初始海泛面的识别

即海水首次漫过坡折带或低位下切谷所形成的海泛面。初始海泛面之上常以薄煤层、灰黑色泥岩为主。在没有下切谷砂体发育的区域,初始海泛面与层序界面重合。如太原组晋祠砂岩之上的暗色泥岩层的底界(图4d)。

2.1.3 最大海泛面的识别

即一个基准面旋回内基准面抬升速率及可容空间增加速率最大、水体最深时形成的沉积面,代表海侵范围最大的一个界面,也是反映当时水体最深的岩石单元的底面^[10]。是在陆源沉积场所向陆迁移时海进过程中海侵达到最大范围时形成的,并被海退期间上覆于下部体系域顶面上的进积倾斜沉积体所掩埋^[8]。在陆表海沉积背景下,可以是一套向上变细的沉积序列中代表水体最深的泥岩的底面,如太原组潟湖相暗色泥岩底界;也可以是向陆地方向延伸最远的一层石灰岩的底面^[11],如太原组 L₃ 灰岩的底界(图4e)。

2.1.4 最大海退面的识别

即海平面由下降至上升的转换面,标志着海侵作用的开始。由于基准面相对开始下降,不管沉积物供给速率如何,都会造成海岸线向海方向迁移^[12]。如太原组底部晋祠砂岩底面(图4f)。

2.2 层序地层格架的建立

通过露头剖面层序界面与体系域界面的精细研究,将淄博博山剖面晚古生代含煤地层划分为七个三级层序(由下至上依次为 SQ1、SQ2、SQ3、SQ4、SQ5、SQ6 及 SQ7),本溪组对应 SQ1 层序,太原组对应 SQ2、SQ3、SQ4 层序,山西组对应 SQ5、SQ6、SQ7 层序。

2.2.1 SQ1 层序

SQ1 总厚度为 39.8 m。以奥陶系石灰岩剥蚀面之顶为底界,以晋祠砂岩之底为顶界。层序底部发育褐铁矿和铝土矿,向上过渡为灰褐色、灰黄色泥岩夹薄层灰白色粉砂质泥岩以及厚层深灰色灰岩(徐家庄灰岩),顶部发育薄煤层。沉积相以混合坪、泥坪、泥炭坪(图5i)为主,砂坪不发育,泥坪发育透镜状层理(图5a),夹潮沟冲刷形成的薄层透镜状砂质条带。徐家庄灰岩(图5b)厚度达 10 m 以上,发育硅质条带、硅质结核(图5c),含生物碎屑(图5e),如腕足类、蠕类(图5f)、海百合、有孔虫(图5g)、菊石(图5h)等大量生物碎屑,表面可见风暴纹层(图5d),属开阔台地相沉积。

2.2.2 SQ2 层序

SQ2 总厚度为 22.6 m。以晋祠砂岩(图6a)之底为底界,以 L1 灰岩之底为顶界。主要以厚层块状灰白色砂岩(晋祠砂岩)、灰黑色泥岩以及灰色泥岩夹薄层粉砂岩(图6d)为主,砂岩发育板状交错层理(图6b)、槽状交错层理(图6c)。沉积相以潮坪相、潟湖相为主。

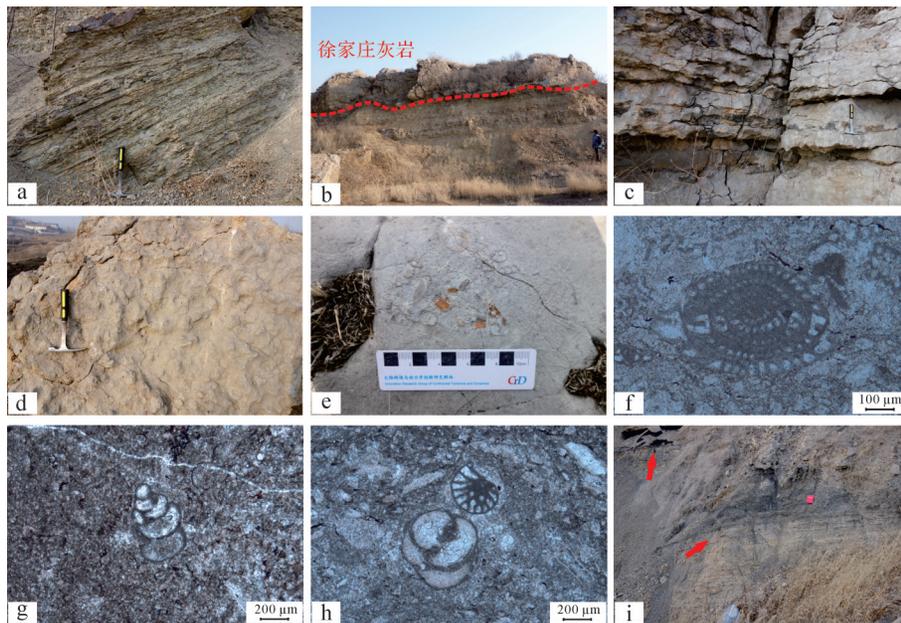


图5 淄博博山地区晚古生代含煤地层SQ1岩性特征

a. 透镜状泥岩, 夹薄层透镜状砂质条带, 潮坪相泥坪; b. 徐家庄灰岩, 开阔台地相; c. 徐家庄灰岩中夹硅质结核、条带, 开阔台地相; d. 徐家庄灰岩底部的风暴作用面, 开阔台地相; e. 徐家庄灰岩中的生物碎屑, 开阔台地相; f. 三叶类, 10×, (-), 徐家庄灰岩, 开阔台地相; g. 有孔虫, 5×, (-), 徐家庄灰岩, 开阔台地相; h. 菊石, 5×, (-), 徐家庄灰岩, 开阔台地相; i. 8#、9#煤, 潮坪相泥炭坪

Fig.5 Lithological characteristics of Late Paleozoic coal-bearing strata SQ1 in Zibo Boshan area

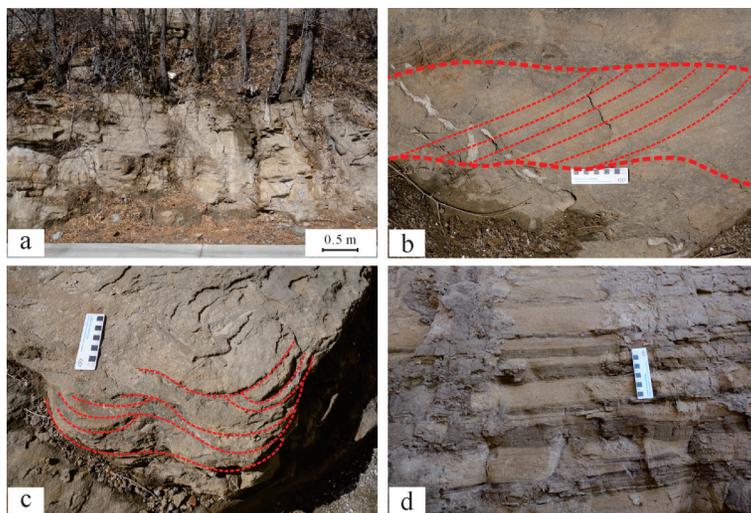


图6 淄博博山地区晚古生代含煤地层SQ2岩性特征

a. 晋祠砂岩, 潮坪相潮汐水道; b. 晋祠砂岩, 板状交错层理, 潮坪相潮汐水道; c. 晋祠砂岩, 槽状交错层理, 潮坪相潮汐水道; d. 薄层砂泥岩互层, 潮坪相混合坪

Fig.6 Lithological characteristics of Late Paleozoic coal-bearing strata SQ2 in Zibo Boshan area

2.2.3 SQ3层序

SQ3总厚度为30.2 m。以L1灰岩之底为底界, 以障壁岛砂体底面为顶界。岩性以灰黄色泥岩夹薄层灰岩(图7c, e)为主, 向上逐渐过渡为灰黑色泥岩夹砂岩透镜体(图7g)及薄煤层(图7h), 为含菱铁矿结核(图7i)的泥炭坪沉积。灰岩中可见海百合茎(图7a)、菊石(图7b)、有孔虫(图7d)、介形虫(图7f)

等生物碎屑, 厚度均较薄, 属于局限台地相沉积。

2.2.4 SQ4层序

SQ4总厚度为48.5 m。以障壁岛砂体底面为底界, 以北岔沟砂岩底面为顶界。岩性以数层厚层灰黄色砂岩、灰黑色泥岩为主, 泥岩中可见菱铁矿结核成层分布(图8j), 属潟湖相沉积。顶部发育两层煤层(图8k, l), 可见植物根茎化石, 砂体沉积相以障壁

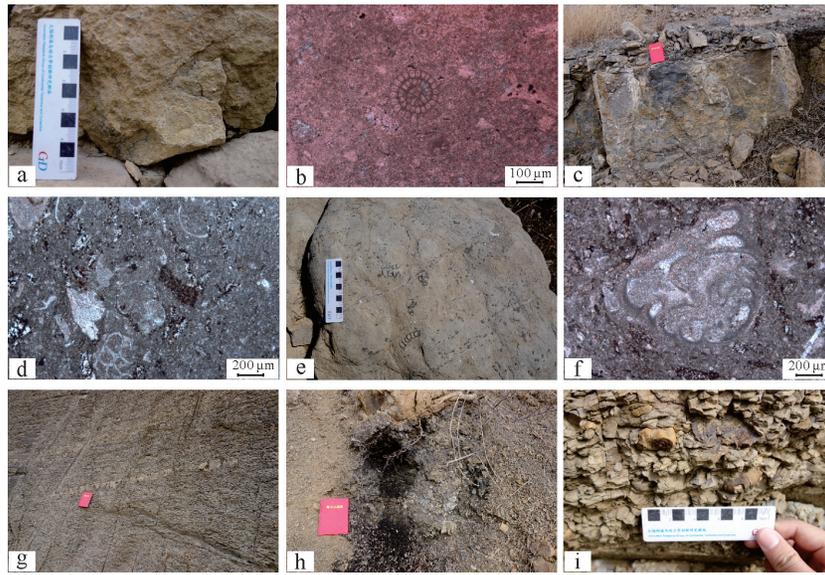


图7 淄博博山地区晚古生代含煤地层SQ3岩性特征

a. L1灰岩, 含大量海百合茎化石, 局限台地相; b. 菊石, 10×, (-), L1灰岩; c. L2灰岩, 局限台地相; d. 有孔虫, 5×, (-), L2灰岩, 局限台地相; e. L3灰岩, 生物碎屑发育, 局限台地相; f. 介形虫, 5×, (-), L3灰岩, 局限台地相; g. 砂岩透镜体, 潮坪相泥炭坪; h. 薄煤层, 潮坪相泥炭坪; i. 菱铁矿结核, 潮坪相泥炭坪

Fig.7 Lithological characteristics of Late Paleozoic coal-bearing strata SQ3 in Zibo Boshan area

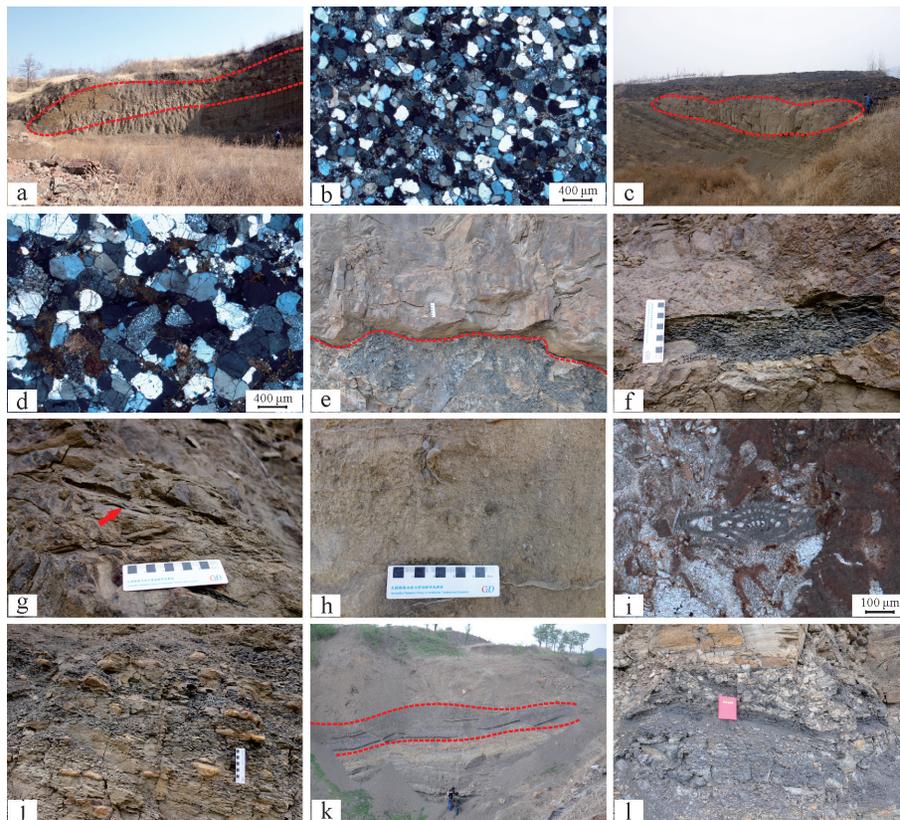


图8 淄博博山地区晚古生代含煤地层SQ4岩性特征

a. 灰黄色砂岩, 呈底平顶凸的透镜体状, 障壁岛相; b. 中—细粒岩屑石英砂岩, 2.5×, (+), 障壁岛相; c. 灰黄色砂岩, 呈顶平底凸的透镜体状, 潮坪相潮汐水道; d. 中—粗粒岩屑石英砂岩, 2.5×, (+), 潮坪相潮汐水道; e. 冲刷面, 潮坪相潮汐水道; f. 潮汐水道砂体冲刷潟湖相暗色泥岩后卷携形成的泥砾, 潮坪相潮汐水道; g. 植物茎干化石, 潮坪相潮汐水道; h. L4灰岩, 长身贝化石, 局限台地相; i. 蠕类, 10×, (-), L4灰岩, 局限台地相; j. 含菱铁矿结核的灰黑色泥岩, 菱铁矿结核沿层面成层分布, 潟湖相; k. 灰黑色泥岩夹薄煤层, 潟湖相; l. 煤层, 潟湖相

Fig.8 Lithological characteristics of Late Paleozoic coal-bearing strata SQ4 in Zibo Boshan area

岛相、潮坪相潮汐水道为主。障壁岛砂体岩性以中—细粒岩屑石英砂岩(图8b)为主,粒度上表现为向上变粗的反粒序,形态上呈底平顶凸的透镜体(图8a),发育楔状、板状交错层理。潮汐水道砂体岩性以中—粗粒岩屑石英砂岩(图8d)为主,底部可见砾石层,粒度上表现为向上变细的正粒序,形态上呈顶平底凸的透镜体(图8c),常以复数砂体叠置出现,其间可发育泥质夹层,层理类型以双向交错层理、板状交错层理和平行层理为主,可见植物茎干化石(图8g)和植物印膜化石,底部具有冲刷面(图8e),且可见冲刷潟湖相暗色泥岩后卷携形成的泥砾(图8f)。其顶部发育一层薄层灰岩,发育长身贝(图8h)、蠕类(图8i)等生物碎屑,属于局限台地相沉积。

2.2.5 SQ5、SQ6、SQ7层序

山西组整体以北盆沟砂岩之底为底界,以骆驼脖子砂岩之底为顶界,共发育有三期沉积旋回,每一期沉积旋回划分为一个三级层序。旋回内主要为灰色、浅黄褐色砂岩、粉砂岩与灰色、深灰色、浅黄褐色泥岩互层夹薄煤层(图9b),泥岩中古植物化石发育,砂岩单层厚度较薄,以岩屑砂岩(图9c)、长石岩屑砂岩为主。SQ5总厚度为12.9 m。底部可见明显的反粒序,由底部泥岩往上过渡为中—粗粒砂岩(图9a,d),横向延伸较远,识别为三角洲前缘河口坝。SQ6总厚度为18.3 m。河道砂岩较发育,可见板状交错层理(图9e)、槽状交错层理等,以及冲刷下伏

地层形成的泥砾(图9f)。SQ7总厚度为13.7 m。泥岩明显增多,可见薄层砂岩透镜体,植物根茎发育(图9g)。SQ5—SQ7层序主要为浅水三角洲沉积,三角洲前缘和三角洲平原亚相交替发育,共识别出了水下分流河道、河口坝、泛滥平原、泥炭沼泽等主要的沉积微相类型。

3 层序地层格架内的聚煤作用分析

3.1 层序格架内的沉积演化

华北板块晚古生代盆地具有极缓的古坡度,难以形成侵蚀成因的角度不整合,因此陆表海含煤地层可以作为一个完整的盆地充填层序,反映了陆表海盆地发育至衰亡的全部过程^[13]。华北板块现今保存下来的石炭—二叠系基本都是大陆架之内的沉积,三级层序主要有海侵体系域及高位体系域组成,低位体系域仅见于大陆边缘的下切谷底部,山西组以上过渡沉积环境中,层序发育低位体系域、海侵体系域及高位体系域^[13]。

华北地台经历长时间的风化剥蚀后,于SQ1层序整体进入沉降阶段,海水由北东部向西侵入,在风化面上首先形成风化铝土层,代表了海侵开始的滨浅海沉积^[14]。风化铝土层之上变为泥坪、混合坪,砂坪不发育,属于水进沉积序列。高位体系域主要发育潮坪相泥岩,顶部可见泥炭坪淤浅后形成的煤层。

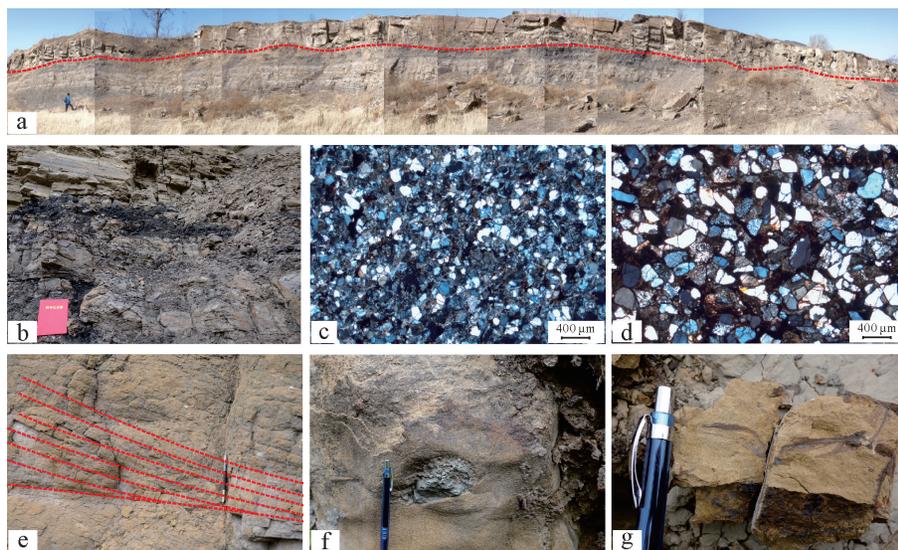


图9 淄博博山地区晚古生代含煤地层SQ5—SQ7岩性特征

a.北盆沟砂岩,三角洲前缘亚相河口坝微相,P₅⁴层序;b.分流间湾薄煤层,P₅⁵层序;c.中—细粒岩屑石英砂岩,2.5×,(+),三角洲前缘亚相水下分流河道微相;d.中—粗粒岩屑石英砂岩,2.5×,(+),三角洲前缘亚相水下分流河道微相;e.板状交错层理,三角洲前缘亚相水下分流河道微相,P₅⁶层序;f.浅灰黄色砂岩中夹泥砾,P₅⁶层序;g.植物根茎,P₅⁷层序

Fig.9 Lithological characteristics of Late Paleozoic coal-bearing strata SQ5-SQ7 in Zibo Boshan area

SQ2 层序底部发育多期叠置的厚层潮道相砂体,构成海侵体系域。向上为高位体系域,由潟湖相泥岩、潮坪相砂泥岩互层组成,顶部可见泥炭坪薄煤层。SQ3 层序底部海侵方向由北东方向转变为南东方向,以海侵作用为主,发育泥炭坪、台地、潟湖沉积。向上为高位体系域,主要发育潮坪相泥炭坪,其中夹有海平面波动上升过程中形成的薄煤层^[15]。SQ4 层序底部发育小范围的海侵体系域,以障壁岛—泥坪为主。向上为大范围的高位体系域,主要发育潟湖相泥岩与多期叠置的厚层潮道相砂体叠置组成,顶部的潟湖相泥岩夹有两套稳定发育的厚煤层。SQ5—SQ7 时期发育浅水三角洲相,低位体系域以发育三角洲前缘河口坝及水下分流河道砂体为主,海侵体系域和高位体系域以三角洲平原泛滥平原、泥炭沼泽为主,夹有稳定发育的煤层。

3.2 控制因素

控制沉积演化及煤层聚集的主要因素主要包括古构造、古地理、古气候及海平面变化等。

3.2.1 古构造

聚煤盆地一般形成于特定的地球动力背景下,其形态会受地壳沉降的幅度、范围以及沉降速度影响^[16]。研究区在经过晚奥陶世—早石炭世长达 140 Ma 的风化、溶蚀、夷平作用后,于晚石炭世整体沉降接受沉积^[17-18],此时期华北地块与西伯利亚板块全面碰撞,随着挤压应力由板缘向板内逐步传递,使阴山—燕山造山带进一步隆升,而且也使华北地块北部挤压拗陷,形成沉积盆地。但由于沉降速度过快,未能提供稳定的沉积环境,因此这一时期的含煤性差。晚石炭世末—早二叠世初,华北板块南部北秦岭构造带隆升,遭受剥蚀,成为新的物源区,同时在其北侧相邻地区产生挤压拗陷,形成沉积中心^[19]。随着碎屑物质的输入,水深相对逐渐变浅,适合煤层的形成和聚集。中二叠世时期,盆地处于拗陷向隆起的过渡阶段,构造作用相对稳定,地势变平坦,碎屑物质在此条件下形成了广阔的平原,成为泥炭堆积发育的最有利场所。

3.2.2 古地理

聚煤盆地的形成、演化受古构造背景控制,而煤层的发育、分布则由古地理环境所控制。

SQ1—SQ4 时期,聚煤作用主要发生于堡岛—台地体系中,其作用的强弱本质上取决于海水进退的规模大小及海退持续时间的长短。聚煤作用常发生

在每期旋回的海退至海侵的转折时期,此时地表广泛暴露或处于弱覆水环境,使成煤植物具有一定的生长发育空间,而泥炭的堆积和保存需要一定的水位以阻止已沉积的成煤植物遗体向泥炭转化时被氧化,同时又不能过高以确保其他成煤植物存活^[20]。在潮道及淤浅潟湖中堆积的泥炭,由于潮道砂体的侧向迁移及洪泛水流的冲刷侵蚀作用,煤层常发生缺失或破坏,混入的泥砂使煤层形成夹矸,灰分含量增多。

SQ5—SQ7 时期,聚煤作用主要发生于浅水三角洲体系中,此时期海水已基本退出此地区,淡水在碎屑沉积中占主导地位,并发育有大面积的泛滥平原,在合适的条件下,形成了较多面积广、持续时间久的泥炭沼泽沉积,发育具有工业价值的煤层。

3.2.3 古气候

煤本身是一种沉积岩,形成于一定的沉积环境。作为一种特殊的事件沉积,只有当古构造、古地理、古气候和古植物等条件都具备时,才能形成聚煤环境。古气候影响动植物的发育,从而影响煤的“物源”供应。

研究区底部发育厚度大、全区分布的铁铝岩段,表明初期处于炎热潮湿条件下,SQ1 层序中发育的徐家庄灰岩,SQ3 层序中发育的 L1、L2、L3 灰岩及 SQ4 层序中发育的 L4 灰岩中,均可见大量海百合类、腕足类、蠕虫类等海相生物化石,泥岩中发现大量科达、鳞木等植物化石。表明此时期转为温暖潮湿环境。因此可推断此时期研究区处于陆地潮湿、海水温暖的亚热带气候环境。

3.2.4 海平面变化

华北晚古生代陆表海盆地的海平面升降变化具有复合海平面变化的显著特点,长周期的海平面变化中叠加了中、短周期的海平面变化。长周期海侵过程中有短周期的海退发生,而长周期海退过程中有多次短周期海侵事件发生^[21]。

基准面是一个相对于盆地基底波状起伏的、连续的、总体略向盆地方向下倾的抽象曲面,其位置、运动方向及升降幅度随时间不断变化^[22]。若要确保成煤植物存活又要给予泥炭堆积保存一定的空间,则需要基准面的上升速率大于 0,且低于泥炭产生、堆积的速率,使得泥炭堆积速率与可容空间增长速率保持较长时间的平衡。

海侵体系域主要表现为海水向陆地侵入的过

程,发育的泥炭沼泽向陆迁移,形成的煤层具有一定的穿时性^[22]。在海侵体系域早期—中期阶段,基准面的上升速率较慢,可容空间增长速率较为稳定,有利于泥炭的堆积和保存,且煤层主要位于初始海泛面附近。随着海侵作用进行,成煤相带逐渐向陆迁移,煤层分布广泛,煤层常与海相沉积直接接触^[23]。在海侵体系域晚期,基准面的上升速率明显加快,水体深度逐步增加,成煤植物被淹没死亡,泥炭堆积速率降低至0,聚煤作用终止,或仅有较薄的煤层形成。

在高水位体系域,基准面抬升逐步减慢而后开始下降,可容空间增长速率逐渐降低并趋于0,泥炭堆积速率与可容空间增长速率保持较长时间的平衡,此时聚煤作用达到顶峰。成煤相带逐渐向海迁移,煤层相对较厚、分布广泛^[4]。

总体上,聚煤作用在高水位体系域最为强烈,海侵体系域次之。

3.3 煤层分布特征

渤海湾盆地晚古生代聚煤作用主要有海退成煤及海侵成煤^[3]两种类型。

在海退时期,海水由西向东退去,西部地区首先处于弱覆水条件下,聚煤作用先于东部地区发生;在海侵时期,海水由东向西侵入,东部地区先于西部被水体覆盖,西部地区聚煤作用结束时间晚于东部。两者相比,西部聚煤作用总体时间长于东部地区,煤

层厚度也较东部地区厚。东部地区距海较近,发生小规模海侵的次数要多于西部地区,因此从煤层数量上来说,东部地区多于西部地区。

在海侵时期,海平面缓慢持续上升、海水逐渐淹没的条件下可以形成很厚的煤层,而在快速海侵条件下,植物来不及补偿,煤层厚度及连续性均较差。因此西部地区的煤质量仍优于东部地区。

总的来说,渤海湾盆地晚古生代煤层分布大体上具有东部地区层数多,单层厚度薄,西部地区层数相对较少,单层厚度较厚的特点。而淄博博山地区位于渤海湾盆地东南部地区,距海较近,总体上煤层具有层数多、单层厚度薄的特点(图10)。

3.4 沉积发育相带

在层序地层格架内,不同层序间的沉积环境的不同也导致了煤层形成、分布的差异性。在堡岛—台地相背景下,聚煤作用常发生于高位体系域中—晚期,研究区范围内沼泽化作用强烈,形成大面积泥炭沼泽,形成了潮坪相泥炭坪和潟湖^[21]。在浅水三角洲背景下,基准面上升早期即正常海退期,沉积物充填盆地;随后当基准面上升速率大于沉积物供给速率时,海侵作用发生,海水充填盆地形成弱覆水环境,聚煤作用发生,且多聚集在水动力条件较弱的三角洲平原亚相中的泥炭沼泽微相^[24]。通过对野外煤层发育的上下地层关系,结合渤海湾盆地的沉积演化背景,共总结出五种煤层沉积发育相带(图11)。

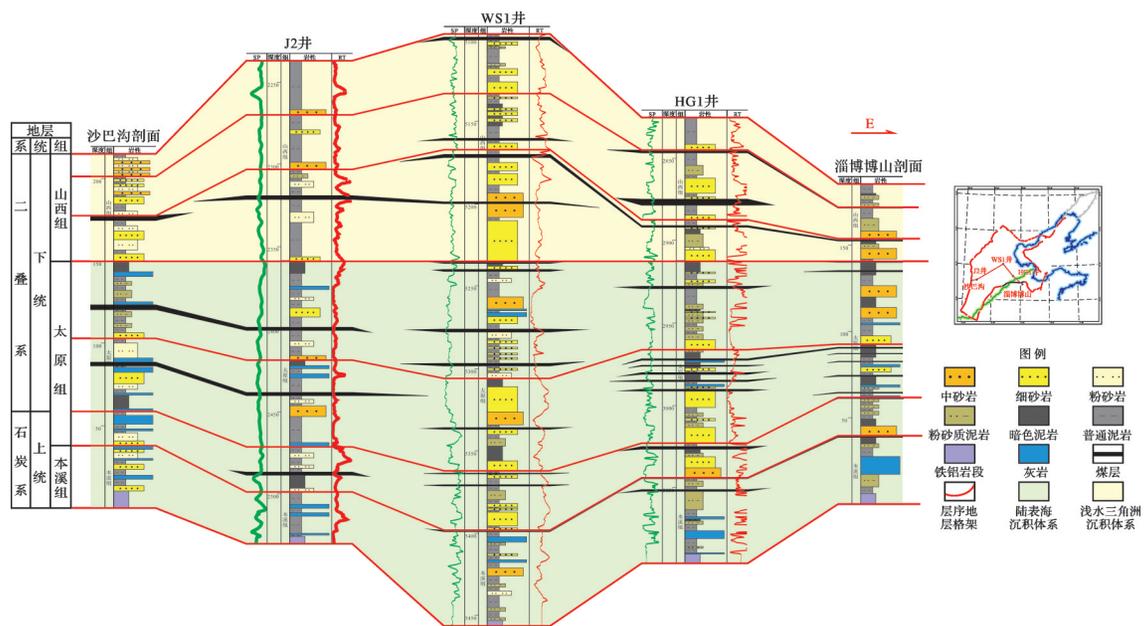


图10 渤海湾盆地内部层序地层及煤层对比剖面图

Fig.10 Stratigraphic sequence and coal seam correlation profile in Bohai Bay Basin

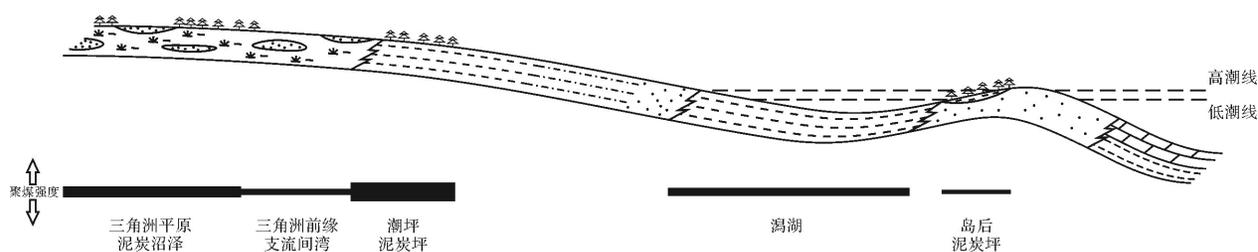


图 11 淄博博山地区晚古生代含煤地层聚煤模式及聚煤强度

Fig.11 Coal accumulation model and Late Paleozoic coal accumulation extent in Zibo Boshan area

3.4.1 潮坪泥炭坪型

泥炭坪位于潮坪的潮上部分,气候温暖湿润,植被繁盛,常发育于潮坪相顶部,煤层稳定,发育较厚。如SQ1层序内的8#、9#煤,SQ2层序内的8_上煤,SQ3层序内的L3_上煤。

3.4.2 岛后泥炭坪型

岛后泥炭坪位于障壁岛后靠潟湖一侧,分布相对较为狭窄,底部常发育障壁岛砂体,煤层较薄,分布范围较小,且因潮道侧向迁移而被冲刷破坏。

3.4.3 潟湖型

潟湖是为海岸所限制、被障壁岛所遮拦的浅水盆地^[25]。潟湖水体流动性较差,水动力条件较小,以潮汐作用为主,与外界水体交换作用弱,沉积环境稳定,底部常发育障壁岛砂体,顶部发育潮道砂体。煤层发育较厚,硫分较高。如SQ3层序内的L3_下煤,SQ4层序内的6#、7#煤。

3.4.4 三角洲前缘支流间湾型

支流间湾属于分流河道之间的低洼部分,较厚处可发育薄煤层,水下分流河道的冲刷可使煤层变薄或缺失,分布范围不稳定,在平行于分流河道堤岸地带煤层较厚,向分流间湾逐渐尖灭。

3.4.5 三角洲平原泥炭沼泽型

泥炭沼泽属于泛滥平原中周期性被水淹没的低洼地区,为弱还原—还原环境,煤层发育稳定,厚度较大。如SQ5层序内的5#煤,SQ6层序内的4#煤。

总的来说,潮坪相泥炭坪为煤层最有利发育相带,其次为三角洲平原泥炭沼泽、潟湖。

3.5 聚煤规律

SQ1层序内发育两层煤层(8#、9#煤),总厚度在1.8~2 m之间,平均厚度为1 m,发育于高位体系域中,属于海退成煤。聚煤作用主要发生于潮坪相泥炭坪。8#、9#煤层分布范围几乎遍及整个盆地,层位极为稳定,全盆地可对比^[26],厚度大,连续性好,分布广泛,但灰分较多,发育夹矸。

SQ2层序内发育一层煤层(8_上煤),厚度为0.7 m,顶板为海相灰岩,发育于高位体系域中,属于海侵成煤。聚煤作用发生于潮坪相泥炭坪。根据前人资料(鲁西南称16_上煤层,肥城煤田、邯邢煤田称8煤^[27]),此煤层全盆地稳定分布,且呈南薄北厚的特点,反映出海水由南向北侵入对潮坪泥炭沼泽的影响程度^[21]。

SQ3层序内发育五层煤层,总厚度在3.3~3.5 m,平均厚度为0.7 m,海侵体系域中发育两层煤层,分布在潟湖相中,含一层稳定可采煤层(L3_下煤),根据前人资料(鲁西南地区称15_上煤层、邯邢煤田称7煤^[27]),此煤层全盆地稳定分布,属可采煤层,但厚度较薄。高位体系域中发育三层煤层,分布在潮坪相泥炭坪中,含一层稳定可采煤层(L3_上煤),根据前人资料(邯邢煤田称6煤^[27]),此煤层全盆地稳定分布,属可采煤层,厚度较大,灰分较少。

SQ4层序内发育两层煤层(6#、7#煤层),总厚度在2~2.5 m,平均厚度为1.2 m,发育于高位体系域,属于海退成煤,聚煤作用发生于潟湖相。此煤层均稳定可采,厚度大,连续性好,分布广泛,灰分较少,硫分含量高。

SQ5层序内发育一层煤层(5#煤),厚度为1.3 m,顶板为三角洲前缘水下分流河道砂体(河南地区称大占砂岩),发育于海侵体系域,聚煤作用发生于三角洲平原泥炭沼泽。根据前人资料(禹县煤田称二₁煤^[28],鲁西南地区称3#煤^[11]),此煤层全盆地大面积分布,总体上有着向陆方向变厚、向海方向变薄的特点。属于稳定可采煤层,厚度大,分布广泛,灰分少,但由于不同地区河道砂体的冲刷、构造破坏等条件,使该煤层在局部地区遭受冲刷变薄或破碎。

SQ6层序内发育一层煤层(4#煤),厚度1 m,发育于海侵体系域,聚煤作用发生于三角洲平原泥炭沼泽。鲁西南地区称3_上煤,此煤层仍属于鲁西南地区主采煤层^[29]。

SQ7层序内不发育煤层。

总的来说,研究区共发育有9层稳定可采煤层,在渤海湾盆地内均可全区对比,SQ1层序发育8#、9#煤,SQ2层序发育8_上煤,SQ3层序发育L3_下煤、L3_上煤,SQ4层序发育6#、7#煤,SQ5层序发育5#煤,SQ6层序发育4#煤。

4 结论

(1) 研究区层序界面主要为区域性构造不整合面、下切谷冲刷面、海侵方向转换面、初始海泛面、最大海泛面以及最大海退面等层序界面类型,并由此将渤海湾盆地淄博博山地区晚古生代含煤地层划分为SQ1、SQ2、SQ3、SQ4、SQ5、SQ6及SQ7七个三级层序。本溪组对应SQ1层序,太原组对应SQ2、SQ3、SQ4层序,山西组对应SQ5、SQ6、SQ7层序。

(2) 控制煤层聚集的主要因素主要包括古构造、古地理、古气候及海平面变化等。在层序格架中,聚煤作用在高水位体系域最为强烈,海侵体系域次之。研究区共发育潮坪泥炭坪型、岛后泥炭坪型、潟湖型、三角洲前缘支流间湾型及三角洲平原泥炭沼泽型五种煤层沉积发育相带。其中潮坪相泥炭坪为煤层最有利发育相带;其次为三角洲平原泥炭沼泽、潟湖。

(3) 研究区共发育有9层稳定可采煤层,在渤海湾盆地内均可全区对比,SQ1层序发育8#、9#煤,SQ2层序发育8_上煤,SQ3层序发育L3_下煤、L3_上煤,SQ4层序发育6#、7#煤,SQ5层序发育5#煤,SQ6层序发育4#煤。

参考文献 (References)

[1] 刘焕杰,贾玉如,龙耀珍,等. 华北石炭纪含煤建造的陆表海堡岛体系特点及其事件沉积[J]. 沉积学报,1987,5(3):73-81. [Liu Huanjie, Jia Yuru, Long Yaozhen, et al. The features of the barrier island systems of the epeiric sea and their event deposits of coal-bearing formations in carboniferous of North China[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1987, 5(3): 73-81.]

[2] 陈世悦. 华北石炭二叠纪海平面变化对聚煤作用的控制[J]. 煤田地质与勘探,2000,28(5):8-11. [Chen Shiyue. Control of sea-level change to coal accumulation in Carboniferous-Permian, North China[J]. Coal Geology & Exploration, 2000, 28(5): 8-11.]

[3] 李增学,魏久传,韩美莲. 海侵事件成煤作用:一种新的聚煤模式[J]. 地球科学进展,2001,16(1):120-124. [Li Zengxue, Wei Jiuchuan, Han Meilian. Coal formation in transgressive events: A new pattern of coal accumulation[J]. Advance in Earth Scienc-

es, 2001, 16(1): 120-124.]

[4] 李增学,吕大炜,王东东,等. 多元聚煤理论体系及聚煤模式[J]. 地球学报,2015,36(3):271-282. [Li Zengxue, Lü Dawei, Wang Dongdong, et al. The multiple coal-forming theoretical system and its model[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2015, 36(3): 271-282.]

[5] 张增奇,梁吉坡,李增学,等. 山东省煤炭资源与赋煤规律研究[J]. 地质学报,2015,89(12):2351-2362. [Zhang Zengqi, Liang Jipo, Li Zengxue, et al. Research coal distributions and coal-accumulation regularities in Shandong province[J]. Acta Geologica Sinica, 2015, 89(12): 2351-2362.]

[6] 董大啸,邵龙义,李明培. 华北地台晚石炭世一早二叠世含煤岩系聚煤规律研究[J]. 煤炭科学技术,2017,45(9):175-181, 187. [Dong Daxiao, Shao Longyi, Li Mingpei. Study on coal accumulating law of Late Carboniferous-Early Permian coal-bearing strata in North China Platform[J]. Coal Science and Technology, 2017, 45(9): 175-181, 187.]

[7] 侯中帅,陈世悦,郭宇鑫,等. 华北中南部博山地区上古生界沉积相与沉积演化特征[J]. 沉积学报,2018,36(4):731-742. [Hou Zhongshuai, Chen Shiyue, Guo Yuxin, et al. Sedimentary facies and their evolution characteristics of Upper Paleozoic in Zibo Boshan area, central and southern region of North China[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2018, 36(4): 731-742.]

[8] 李增学,魏久传. 华北陆表海盆地南部层序地层分析[M]. 北京:地质出版社,1998:1-106. [Li Zengxue, Wei Jiuchuan. Sequence stratigraphical analysis of the south part of the North China epicontinental basin [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1998: 1-106.]

[9] 杨仁超. 鄂尔多斯盆地东部古生界沉积相与层序地层学研究[D]. 西安:西北大学,2002:1-81. [Yang Renchao. Research on sedimentary facies and sequence stratigraphy in the Palaeozoic in the eastern part of Ordos Basin[D]. Xi'an: Northwest University, 2002: 1-81.]

[10] 邵龙义,董大啸,李明培,等. 华北石炭一二叠纪层序—古地理及聚煤规律[J]. 煤炭学报,2014,39(8):1725-1734. [Shao Longyi, Dong Daxiao, Li Mingpei, et al. Sequence-paleogeography and coal accumulation of the Carboniferous-Permian in the North China basin [J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(8): 1725-1734.]

[11] 张巍,鲁静,李英娇,等. 鲁西南地区石炭纪一二叠纪含煤岩系层序地层及聚煤特征[J]. 古地理学报,2010,12(1):90-96. [Zhang Wei, Lu Jing, Li Yingjiao, et al. Sequence stratigraphy and coal accumulation of the Carboniferous and Permian coal measures in southwestern Shandong province[J]. Journal of Palaeogeography, 2010, 12(1): 90-96.]

[12] 鲁静,邵龙义,孙斌,等. 鄂尔多斯盆地东缘石炭一二叠纪煤系层序—古地理与聚煤作用[J]. 煤炭学报,2012,37(5):747-754. [Lu Jing, Shao Longyi, Sun Bin, et al. Sequence-paleogeography and coal accumulation of Carboniferous-Permian coal measures in the eastern Ordos Basin[J]. Journal of China Coal

- Society, 2012, 37(5): 747-754.]
- [13] 吕大伟,李增学,刘海燕,等. 华北晚古生代海平面变化及其层序地层响应[J]. 中国地质,2009,36(5):1079-1086. [Lü Dawei, Li Zengxue, Liu Haiyan, et al. The sea-level change and its response to the Late Paleozoic sequence stratigraphy in North China[J]. Geology in China, 2009, 36(5): 1079-1086.]
- [14] 尚洪田,黄晓彬,邢政,等. 河北省晚古生代煤系层序地层与聚煤特征研究[J]. 中国煤田地质,2007,19(3):1-5. [Shang Hongtian, Huang Xiaobin, Xing Zheng, et al. A study on Late Paleozoic coal measures sequential stratigraphy and coal-accumulating features, Hebei province[J]. Coal Geology of China, 2007, 19(3): 1-5.]
- [15] 侯中帅,陈世悦,王越,等. 鄂尔多斯盆地东缘保德地区上古生界层序地层与沉积相特征[J]. 古地理学报,2018,20(2):231-243. [Hou Zhongshuai, Chen Shiyue, Wang Yue, et al. Characteristics of sequence stratigraphy and sedimentary facies of the Upper Paleozoic in Baode area, eastern margin of Ordos Basin [J]. Journal of Palaeogeography, 2018, 20(2): 231-243.]
- [16] 朱利华. 古交杨庄勘探区晋祠组—太原组层序格架古地理演化及聚煤规律[D]. 徐州:中国矿业大学,2016:1-99. [Zhu Lihua. Palaeogeographic evolution and coal accumulation pattern under a sequence stratigraphy framework study on Jinci-Taiyuan Formation in Yangzhuang, Gujiao[D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2016: 1-99.]
- [17] 陈钟惠,武法东,张守良,等. 华北晚古生代含煤岩系的沉积环境和聚煤规律[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1993:1-153. [Chen Zhonghui, Wu Fadong, Zhang Shouliang, et al. The depositional environments and coal-accumulating regularities of Late Paleozoic coal-bearing measures in North China [M]. Wuhan: Press of China University of Geosciences, 1993: 1-153.]
- [18] 李增学,魏久传,李守春. 山东及邻区石炭二叠纪含煤地层的层序地层式样[J]. 沉积学报,1995,13(S1):18-26. [Li Zengxue, Wei Jiuchuan, Li Shouchun. The sequence stratigraphical pattern of the permo-carboniferous coal measure in Shandong and its adjacent area[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1995, 13(S1): 18-26.]
- [19] 陈世悦. 华北地块南部晚古生代—三叠纪盆山耦合关系[J]. 沉积与特提斯地质,2000,20(3):37-43. [Chen Shiyue. The basin-range coupling in southern North China block during the Late Palaeozoic to Triassic[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2000, 20(3): 37-43.]
- [20] 鲁静,邵龙义,汪浩,等. 低可容空间河流三角洲沉积层序与聚煤模式[J]. 中国矿业大学学报,2012,41(2):268-275. [Lu Jing, Shao Longyi, Wang Hao, et al. Sequence stratigraphy and coal accumulation of fluvial delta under low accommodation conditions[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2012, 41(2): 268-275.]
- [21] 李增学,魏久传,韩美莲. 鲁西陆表海盆地高分辨率层序划分与海侵过程成煤特点[J]. 沉积学报,2000,18(3):362-368. [Li Zengxue, Wei Jiuchuan, Han Meilian. The division of high-resolution sequences and the transgressive coal formation in the epicontinental basin of the western Shandong province[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(3): 362-368.]
- [22] Diessel C, Boyd R, Wadsworth J, et al. On balanced and unbalanced accommodation/peat accumulation ratios in the Cretaceous coals from Gates Formation, Western Canada, and their sequence-stratigraphic significance[J]. International Journal of Coal Geology, 2000, 43(1/2/3/4): 143-186.
- [23] 鲁静,邵龙义,李文灿,等. 层序格架内障壁海岸沉积体系古地理背景下聚煤作用[J]. 煤炭学报,2012,31(1):78-85. [Lu Jing, Shao Longyi, Li Wencan, et al. Paleogeographic evolution and coal accumulation under sequence stratigraphic framework of a barrier coast [J]. Journal of China Coal Society, 2012, 31(1): 78-85.]
- [24] 陈世悦,徐凤银,刘焕杰. 华北晚古生代层序地层与聚煤规律[M]. 东营:石油大学出版社,2000:1-162. [Chen Shiyue, Xu Fengyin, Liu Huanjie. Study on sequence stratigraphic and coal accumulation law of Late Paleozoic in North China[M]. Dongying: Petroleum University Press, 2000: 1-162.]
- [25] 朱筱敏. 沉积岩石学[M]. 北京:石油工业出版社,2008:1-484. [Zhu Xiaomin. Sedimentary petrology[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2008: 1-484.]
- [26] 程爱国,魏振岱. 华北晚古生代聚煤盆地层序地层与聚煤作用关系的探讨[J]. 中国煤田地质,2001,13(2):7-8,11. [Cheng Aiguo, Wei Zhendai. Research on relationship between sequence strata and coal-accumulation of Late Palaeozoic coal-accumulating basin in northern China[J]. Coal Geology of China, 2001, 13(2): 7-8, 11.]
- [27] 崔崇海. 邯邢煤田煤系沉积相及聚煤规律分析[J]. 河北工程大学学报(自然科学版),2017,34(4):84-89. [Cui Chonghai. The analysis of sedimentary facies and coal accumulation of coal measure strata in Hanxing coal field[J]. Journal of Hebei University of Engineering (Natural Science Edition), 2017, 34(4): 84-89.]
- [28] 杨起,李宝芳,李祯,等. 河南禹县煤田晚古生代煤系的沉积模式和聚煤特征[J]. 地球科学——武汉地质学院学报,1982(3):263-274. [Yang Qi, Li Baofang, Li Zhen, et al. The sedimentary models and coal accumulation characteristics of the Late Paleozoic coal measures in the Yuxian coalfield, Henan [J]. Earth Science—Journal of Wuhan College of Geology, 1982(3): 263-274.]
- [29] 李增学,李守春,魏久传,等. 含煤岩系沉积体系研究:以鲁西南煤田为例[M]. 北京:地震出版社,1995:1-106. [Li Zengxue, Li Shouchun, Wei Jiuchuan, et al. Study on the depositional systems of coal measure in the coalfields of Southwest Shandong[M]. Beijing: Seismological Press, 1995: 1-106.]

Sequence Stratigraphy and Coal Accumulation in Late Paleozoic Coal-bearing Strata in Zibo Boshan Area

CHANG Jia¹, CHEN ShiYue^{1,2}, YAN JiHua^{1,2}

1. School of Geosciences, China University of Petroleum (East China), Qingdao, Shandong 266580, China

2. Laboratory of Marine Mineral Resources Evaluation and Detection Technology, Marine National Laboratory, Qingdao, Shandong 266071, China

Abstract: The Benxi Formation, Taiyuan Formation and Shanxi Formation in the Zibo Boshan area of the Bohai Bay Basin were analyzed to reveal the formation sequence of coal-bearing strata and coal accumulation within the stratigraphic sequence framework, against the background of epicontinental sea in the Late Paleozoic. A series of sequence boundaries following tectonic movement of the basin basement were identified: a regional unconformity surface formed as a result of paleotectonic movement; a scouring surface of incised valleys following normal regression; a transition surface in the transgressive direction; the first flooding surface; the maximum flooding surface; and the lowest regression surface. The coal-bearing strata in the study area occur in seven third-order sequences. A comparative study indicated that the peat flat of the tidal flat, the lagoon and the peat swamp of the delta plain were the most favorable facies belts for the development of coal seams. Recoverable coal seams were developed in sequences SQ2, SQ3, SQ4, SQ5 and SQ6.

Key words: Zibo Boshan area; Late Paleozoic; coal-bearing strata; sequence stratigraphy; coal accumulation