

## 含煤岩系沉积环境专题

【编者按】含煤岩系沉积环境分析是煤炭资源预测及煤田勘探的重要理论依据及方法支撑。近年来,随着煤、煤层气及页岩气等能源矿产勘查的不断深入,基于层序地层格架的等时性岩相古地理及聚煤规律分析亦取得长足的进步,一些基于层序地层学理论及可容空间概念的聚煤模式相继被提出,发展了新的研究方向,将可进行区域对比的等时性地层单元(层序)与传统岩相古地理研究相结合,恢复聚煤盆地等时性岩相古地理,进行富煤带及聚煤中心迁移规律分析,为煤田预测提供了可靠依据。本刊组织策划了“含煤岩系沉积环境”专题,针对华北石炭-二叠纪及华南晚二叠世海陆过渡相含煤岩系,以及西北早中侏罗世及东北早白垩世陆相含煤岩系进行了实例研究,提出典型盆地含煤岩系层序地层格架、岩相古地理及煤层分布规律。同时对厚煤层的成因、煤系火山事件沉积、煤相及煤层对比、原型盆地分析等煤田地质基础问题进行探讨。此外,根据近年来东海油气勘探取得的突破,发现该盆地油气资源与古近纪煤层关系密切,专题论文亦对东海盆地古近纪含煤岩系沉积环境、物源体系及其对煤层分布规律的控制进行了分析。期望专题的刊出对相关地区的煤及相关能源矿产的勘查起到积极的推动作用。感谢中国矿业大学(北京)邵龙义教授在专题组约稿中提供的帮助!

## 山西省石炭-二叠纪含煤岩系层序-古地理与聚煤特征

邵龙义<sup>1</sup>,郑明泉<sup>2</sup>,侯海海<sup>1</sup>,董大啸<sup>1</sup>,王海生<sup>3</sup>

(1. 中国矿业大学(北京)地球科学与测绘工程学院,北京 100083;2. 福建省地质调查研究院,福建 福州 350012;

3. 山西省煤炭地质勘查研究院,山西 太原 030006)

**摘要:**为得到山西省石炭-二叠纪等时地层格架下的聚煤规律,利用煤层露头及钻孔资料分析了含煤岩系岩相组合特征,绘制地层厚度、石灰岩含量、砂泥比、煤层厚度等值线图。研究表明:在山西省石炭-二叠纪含煤岩系中划分出碳酸盐台地-障壁-潟湖、三角洲、河流、湖泊等 4 大沉积体系,可将本溪组、太原组和山西组划分为 3 个三级层序,恢复了各层序的岩相古地理,主要的古地理单元有河流、三角洲、障壁岛、潮坪-潟湖和碳酸盐台地等,海侵方向由层序 I 的北东向转变为层序 II 和 III 的南东向,且层序 I 煤层形成于潮坪-潟湖环境,层序 II 和 III 煤层形成于三角洲平原环境,同时聚煤中心从层序 I 至层序 III 期有从北向南迁移的规律,以层序 II 聚煤作用最强。

**关键词:**石炭-二叠纪;含煤岩系;层序地层;岩相古地理;聚煤规律

**中图分类号:**P531; P618.11

**文献标志码:**A

**文章编号:**0253-2336(2018)02-0001-08

## Characteristics sequence-palaeogeography and coal accumulation of Permo-Carboniferous coal measures in Shanxi Province

SHAO Longyi<sup>1</sup>, ZHENG Mingquan<sup>2</sup>, HOU Haihai<sup>1</sup>, DONG Daxiao<sup>1</sup>, WANG Haisheng<sup>3</sup>

(1. College of Geoscience and Surveying Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China;

2. Fujian Institute of Geological Survey, Fuzhou 350012, China; 3. Shanxi Provincial Research Institute of Coal Geology Survey, Taiyuan 030006, China)

**Abstract:** In order to investigate the coal accumulation pattern under the time-equivalent stratigraphic framework for the Carboniferous and Permian coal measures in Shanxi Province, this paper analyzed the lithofacies of coal-bearing series association based on the outcrops and borehole data, and also drawn the contour maps of stratalisopachs, percentages of limestones, sandstone to mudstone thickness ratios,

**收稿日期:**2017-12-18; **责任编辑:**曾康生 **DOI:**10.13199/j.cnki.est.2018.02.001

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(41572090); 国家科技重大专项资助项目(2016ZX05027-001-002)

**作者简介:**邵龙义(1964—),男,河南灵宝人,教授,博士生导师,博士。E-mail: Shaol@cumt.edu.cn

**引用格式:**邵龙义,郑明泉,侯海海,等.山西省石炭-二叠纪含煤岩系层序-古地理与聚煤特征[J].煤炭科学技术,2018,46(2):1-8,34.

SHAO Longyi, ZHENG Mingquan, HOU Haihai, et al. Characteristics sequence-palaeogeography and coal accumulation of Permo-Carboniferous coal measures in Shanxi Province[J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(2): 1-8, 34.

and coal thickness. The study results showed that four depositional systems were identified, including carbonate platform-barrier-lagoon, delta, fluvial, and lacustrine systems, the three third-order sequences were subdivided for Benxi, Taiyuan, and Shanxi Formations, and also the sequence-based Palaeogeography maps were reconstructed with the major Palaeogeographical units including fluvial plain, delta, barrier island, tidal-lagoon, and carbonate shelf. Transgression direction changed from the northeast in Sequence I into the southeast in Sequences II and III. The coals in Sequence I were mainly formed in the tidal-lagoon environment, while the coals in Sequences II and III were formed in the delta plain environment, meanwhile from Sequence I through Sequence III, the coal-accumulating center migrated from north to south, specifically coals were well developed in Sequence II.

**Key words:** Permo-Carboniferous; coal measures; sequence stratigraphy; lithofacies palaeogeography; coal accumulation

## 0 引言

山西省是我国重要的能源大省,具有丰富的煤炭和煤层气资源,根据地质构造、地理位置和储量规模,可将全省划分为大同、宁武、河东、西山、霍西、沁水等6大煤田<sup>[1]</sup>,其中沁水盆地南部和河东煤田已成为全国煤层气2大重要产业基地<sup>[2-3]</sup>。近年来,层序地层格架下厚煤层的分布模式引起了众多地质学者的兴趣<sup>[4-5]</sup>,尤其是可容空间增加速率与泥炭堆积速率的比率被用来解释在一个可容空间周期内泥炭/煤的厚度变化特征<sup>[6]</sup>,基于层序地层格架的岩相古地理分析已经成为聚煤规律研究的重要手段<sup>[7-8]</sup>。1987年,煤炭科学研究院地质勘探分院与山西省煤田地质勘探公司对太原西山含煤地层沉积环境进行研究,并划分出含煤地层对比标志层<sup>[9]</sup>,刘焕杰等<sup>[10]</sup>针对华北石炭纪含煤建造提出陆表海堡岛体系沉积的观点;葛宝勋等<sup>[11]</sup>提出阳泉矿区太原组煤层滨海平原环境及山西组煤层三角洲平原环境观点;陈世悦等<sup>[12]</sup>对华北石炭二叠系层序地层及聚煤规律进行研究;杨明慧等<sup>[13]</sup>对河东煤田层序地层格架进行了讨论,指出煤层主要发育在陆表海环境的海侵体系域下部以及陆相环境的高位体系域上部;邵龙义等<sup>[14-15]</sup>研究了华北范围内及沁水盆地范围内的石炭二叠纪的基于层序格架下的岩相古地理,并对聚煤规律进行讨论。总之,前人对山西省内石炭二叠纪层序地层、古地理及聚煤规律等方面进行了大量的研究,但由于层序地层划分的标准不同,且缺乏全省范围内的清晰的对比研究,缺乏全省范围的层序-古地理与聚煤规律的系统研究。笔者利用野外煤层露头、钻井岩心、测井等资料对山西省石炭-二叠纪含煤岩系进行了沉积学、层序地层、岩相古地理和聚煤特征的研究,以期对煤炭和煤层气勘探开发提供依据。

## 1 区域地质背景

山西省内大地构造位置处于华北板块的中部,

其北部、南部和东部分别被近EW向的蒙古-兴安造山带、秦岭-大别山造山带和NNE向大兴安岭-太行山造山带所夹持<sup>[16]</sup>。山西省大地构造演化历史经历了3个重要的阶段:①古陆的形成阶段,表现为壳幔分异,克拉通化并形成结晶基底,其完成时间大约在中条(吕梁)运动末期;②华北板块构造格架的形成阶段,其完成的时间目前较为一致的看法是中生代燕山运动时期;③大陆裂谷阶段,始于新生代初期,至今仍在继续活动。以中生代以来形成的断块为基础,将山西省划分为5个Ⅱ级构造单元,分别为大青山-冀北岩浆杂岩、鄂尔多斯陆块、晋冀陆块、豫皖陆块和叠加裂陷盆地<sup>[17]</sup>,根据现今地层保存特征以及煤层发育规律,将山西省划分为大同煤田、宁武煤田、河东煤田、西山煤田、霍西煤田及沁水煤田等6大煤田<sup>[1]</sup>(图1)。

山西省石炭-二叠纪沉积地层自下而上包括本溪组、太原组、山西组、下石盒子组、上石盒子组和石千峰组<sup>[18]</sup>。本溪组平行不整合于中、下奥陶统或寒武系之上,其顶界置于太原组晋祠砂岩或相当岩层之底,厚度0~60 m,本溪组自下而上划分为铁铝岩段和半沟段,铁铝岩段以鸡窝状黄铁矿或灰、灰白色铝质岩、铝质泥岩为主,半沟段主要为黑、灰色泥岩、粉砂岩、细砂岩,夹薄煤层和1~6层灰岩。太原组指的是本溪组之上至山西组最底部的北岔沟砂岩或相当岩层之底,太原组以石灰岩、泥岩、粉砂岩、粉砂质泥岩及砂岩为主,含多层可采煤层,太原组厚度为50~140 m,总的变化趋势是南厚北薄。在南部垣曲-夏县地区由于受中条古隆起的影响,缺失下部沉积,厚度仅为20~50 m<sup>[1]</sup>。山西组系指北岔沟砂岩底至骆驼脖子砂岩底,厚度一般为20~120 m,总的变化趋势是南厚北薄。岩性主要为砂岩、粉砂岩、砂质泥岩,夹海相泥岩及煤层,在平鲁-朔县-五台以北地区岩性多为中粗粒石英砂岩、粉砂岩夹泥岩及煤层,砂岩厚度大,层数多,一般厚3~30 m,向南至太原-阳泉一线,砂岩层数明显减少,厚度一般为

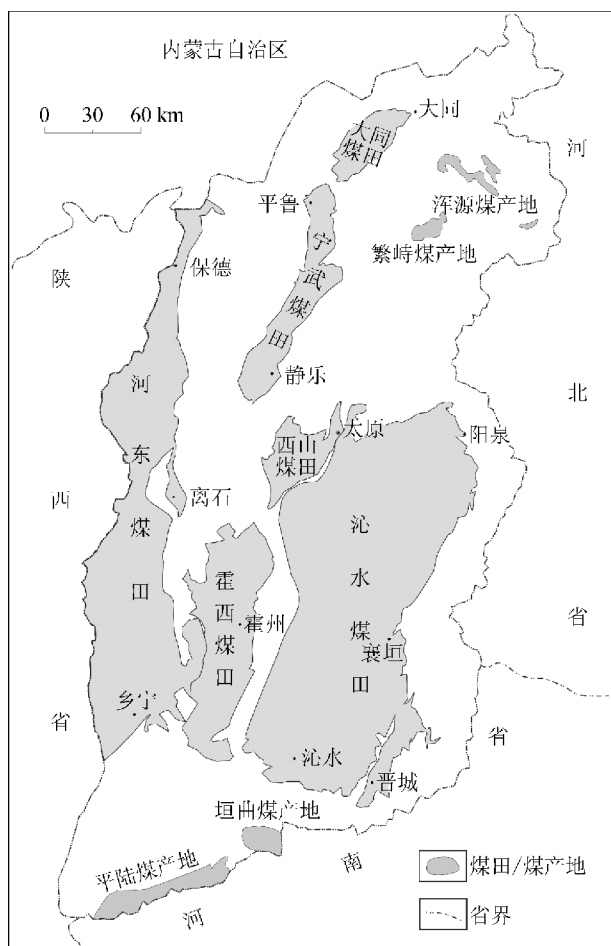


图1 山西省主要煤田分布

Fig. 1 Distribution of coalfields in Shanxi Province

1~10 m。南部地区砂岩层数很少,一般仅1~5层。下石盒子组从骆驼脖子砂岩底面到桃花泥岩顶面,厚度59~180 m,南厚北薄,岩性以黄绿色、灰黄色、灰绿色砂岩和泥岩为主,局部夹煤层,多为不可采煤层,顶部含1~2层紫斑状泥岩及桃花泥岩。上石盒子组从区域上的K6砂岩底面到K8砂岩底面,厚度172~517 m,以杂色砂岩、砂质泥岩及泥岩为主,中上部夹1~4层薄层硅质岩,在南部垣曲—夏县一带及宁武地区夹有煤线。石千峰组以厚层—巨厚层黄、黄绿色含砾砂岩(K6)与下伏的上石盒子组分界,厚度66~186 m,岩性以砖红、暗紫、紫红色泥岩、砂质泥岩为主,中上部夹数层薄层灰岩。本溪组、太原组及山西组是该区含煤地层,主要形成于海陆过渡相沉积<sup>[1]</sup>。

## 2 层序地层格架的建立

根据山西省石炭-二叠系底部区域不整合面、庙沟灰岩底面海侵方向转换面、下切谷充填的河道

砂岩底部冲刷面、相序变浅—变深转换面以及相对应的古土壤层等层序界面特征,将山西省石炭二叠纪含煤岩系划分为3个层序,层序I包括本溪组以及太原组下部10号煤层,层序II包括太原组8+9号煤层至北岔沟砂岩底面层段,层序III包括整个山西组(图2)。

为了更好地体现山西全省沉积相与层序地层展布情况,把山西大同、宁武、西山、霍西、沁水、河东煤田的钻孔联结起来,对全省石炭-二叠纪剖面的沉积环境与层序加以对比分析(图3)。

1)层序I包括的地层从本溪组底部到太原组底部的9号煤层及相当层位的地层,发育海侵体系域(TST)和高位体系域(HST),海侵体系域底界面为古风化面为界,其上发育大套铝土质泥岩,之上为粉砂质泥岩夹薄层砂岩,中部夹一薄层石灰岩,海侵体系域主要为潟湖和障壁砂坝沉积。高位体系域发育石灰岩、砂岩、粉砂岩及泥岩,主要为潟湖、障壁砂坝及碳酸盐台地沉积,最大海泛面相当于太原西山地区半沟灰岩底面,垂向上表现为从台地相灰岩到障壁—潟湖相泥岩的加积到弱进积的序列。

2)层序II大致对应于太原组的中上段,从太原组9号煤层底板到山西组底部北岔沟砂岩底面,发育海侵体系域和高位体系域。与下伏层序I的界面是一海侵方向转换面,此界面以下海水从东北方向侵入,之上海侵方向转换为东南向侵入<sup>[19]</sup>。海侵方向转换面之上,首先沉积了区域上比较稳定的沼泽相煤层、潟湖相泥岩及台地相石灰岩(庙沟灰岩)组成的在垂向上表现为退积到弱加积的序列,属于海侵体系域沉积。在海侵体系域中,由北向南,岩性逐渐变细,在大同1505号钻孔发育有砂砾岩,到了宁武煤田则主要发育煤层与砂泥岩互层。在西山943号钻孔和沁水2069号均发育了庙沟灰岩,在沁水2701、霍西109号钻孔所在的地区出现一套粗砂岩沉积。高位体系域在垂向上表现为从潮下灰岩到障壁—潟湖相泥岩的加积到弱进积的序列,最大海泛面以太原组中部毛儿沟灰岩底面为代表。在高位体系域中,由北向南,石灰岩厚度增大,层数增多,大套的粗砂岩沉积趋少,成煤条件变差。整体上,在大同宁武煤田有厚煤层发育,往南则煤层变薄。

3)层序III相当于山西组沉积期,即从北岔沟砂岩底部到骆驼脖子砂岩底部。低位体系域(LST)以北岔沟砂岩为代表,由北向南岩性有变细的趋势,沉积相亦有由冲积平原河流相到三角洲平原分流河道

相的变化。海侵体系域由多个煤层组成的上煤组(包括区域上稳定分布的4+5号煤)序列构成,主要为三角洲平原分流间湾和沼泽沉积,分流河道沉积规模变小。高位体系域由三角洲平原分流间湾泥岩组成。最大海泛面位于4+5号煤层之上套分流间湾相泥岩的底面。该层序一般发育3个旋回,代表3次由分流河道下切、充填和分流间湾的

发育过程。在该层序中,煤层虽然也发育于海侵体系域,但它位于海侵体系域的顶部,即接近三级最大海泛面位置。区域上,北部的煤层厚度明显低于南部,且在西山煤田和沁水煤田成煤条件较好。高位体系域成煤条件较海侵体系域差,地层厚度变化不均。



图2 山西省西山煤田石炭-二叠纪含煤岩系沉积相及层序地层柱状

Fig. 2 Columnar section of sedimentary facies and sequence stratigraphy of Late Carboniferous to Early Permian coal-bearing series in Xishan Coalfield of Shanxi Province

3 层序格架下的岩相古地理

选择山西省百余口揭露石炭-二叠纪地层较全的典型钻孔数据,在完成沉积相与层序地层对比图的基础上,分别绘制各层序内的地层厚度、石灰岩含

量百分比、砂泥比、煤层厚度等值线图,以砂泥比等值线为主,结合其他参数综合分析,恢复出山西省石炭-二叠纪各层序岩相古地理。

3.1 层序 I 古地理特征

层序 I 是一套碳酸盐岩、滨岸碎屑岩和潟湖铝铁质岩沉积,主要由泥岩、灰岩、砂岩、粉砂岩及薄煤



层组成。层序 I 在山西省沉积厚度具有从东南向西北变厚的趋势,变化范围 20~70 m,其中山西省的东南部和东北部沉积厚度较薄。在保德市、阳泉市和吕梁市三地之间的地层厚度大,达 50~60 m,代表当时的沉降中心。石灰岩含量具有从南向北,从东向

西变低的趋势,其中在山西省的东北部灰岩含量达到最大值 25%,而南部和中部含量值较小,表明当时海水从东北方向侵入。层序 I 砂泥比值总体上变化较大,变化区间为 0~2.4,中部和西南部出现 2 大高值区,东北和东南则较低。

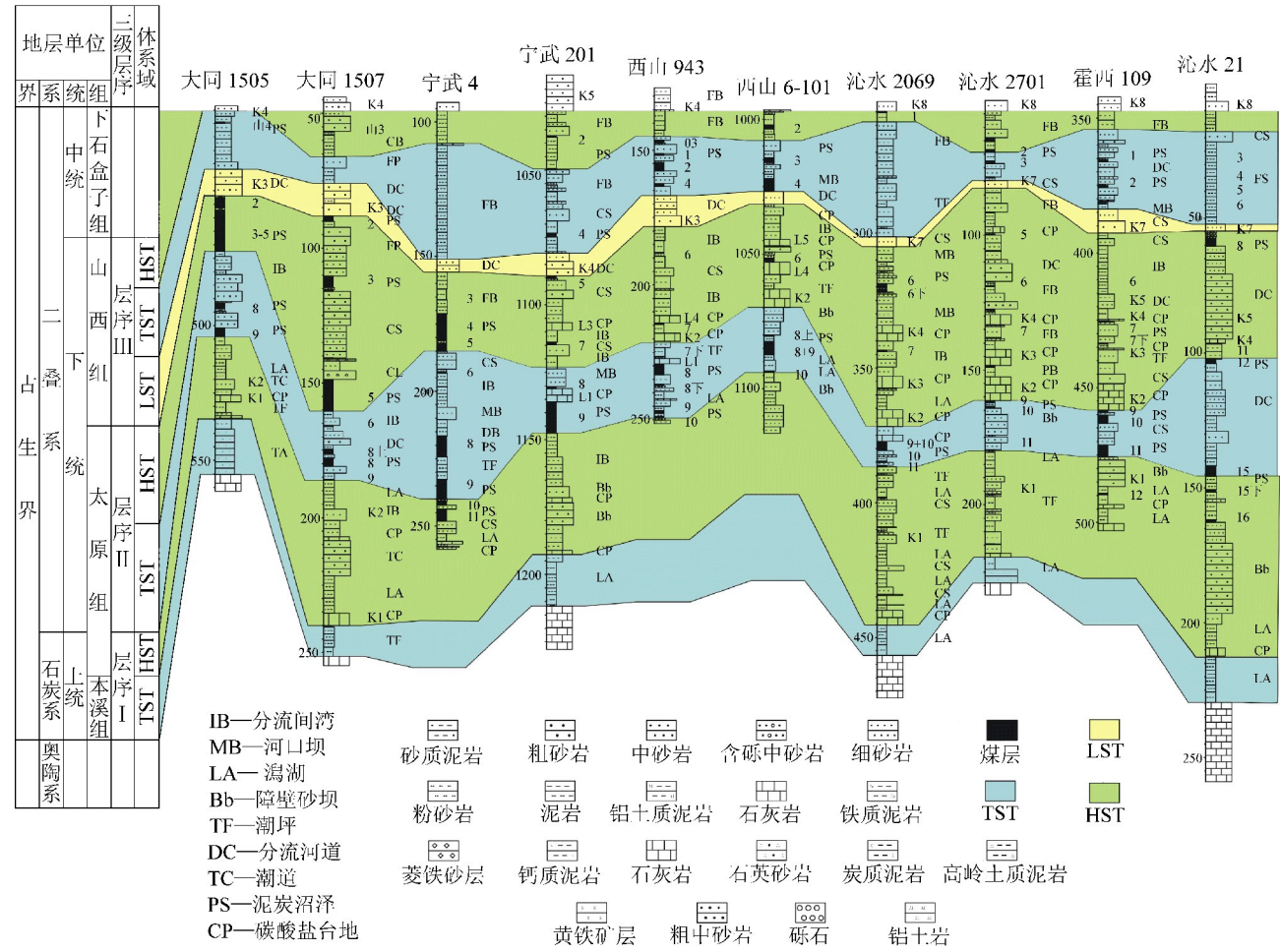


图 3 山西省南北向晚石炭世-早二叠世含煤岩系沉积相与层序对比

Fig. 3 Correlation of sedimentary facies from north to south and sequence stratigraphy of Late Carboniferous to Early Permian coal-bearing series in Shanxi Province

结合地层厚度、石灰岩百分含量以及砂泥比等值线变化特征,对层序 I 岩相古地理进行恢复(图 4),层序 I 在山西省东北部发育碳酸盐台地相,东南及西南地区由于具有较低的砂泥比,古地理单元则为潟湖相。同时,西北方向由于具有较高的砂泥比,判断为物源方向,因此发育三角洲平原相,整个山西省中部则发育潮坪-潟湖和障壁岛相,其中障壁岛沉积位于太原和阳泉之间、襄汾以北及乡宁西南等高砂泥比的地区。

3.2 层序 II 古地理特征

层序 II 为过渡相碎屑岩沉积,岩性主要由灰岩、

泥岩、粉砂岩、砂岩及煤层组成,其中砂岩主要分布于山西省北部地区,且粒度较粗,局部有含砾砂岩和细砾岩,整体上由北向南粒度逐渐变细,表明物源来自研究区的北部。层序 II 沉积厚度具有从北向南变薄的趋势,变化范围为 35~115 m,其中大同南部地区地层厚达 115 m,而河东煤田整体地层厚度最薄,在山西省的南部地区,由东南向西南方向地层则逐渐变薄。

层序 II 石灰岩含量的变化区间为 5%~45%,石灰岩主要集中在山西省的南部地区,北部的灰岩分布地区很少,总体上,灰岩含量由南向北,由西向东

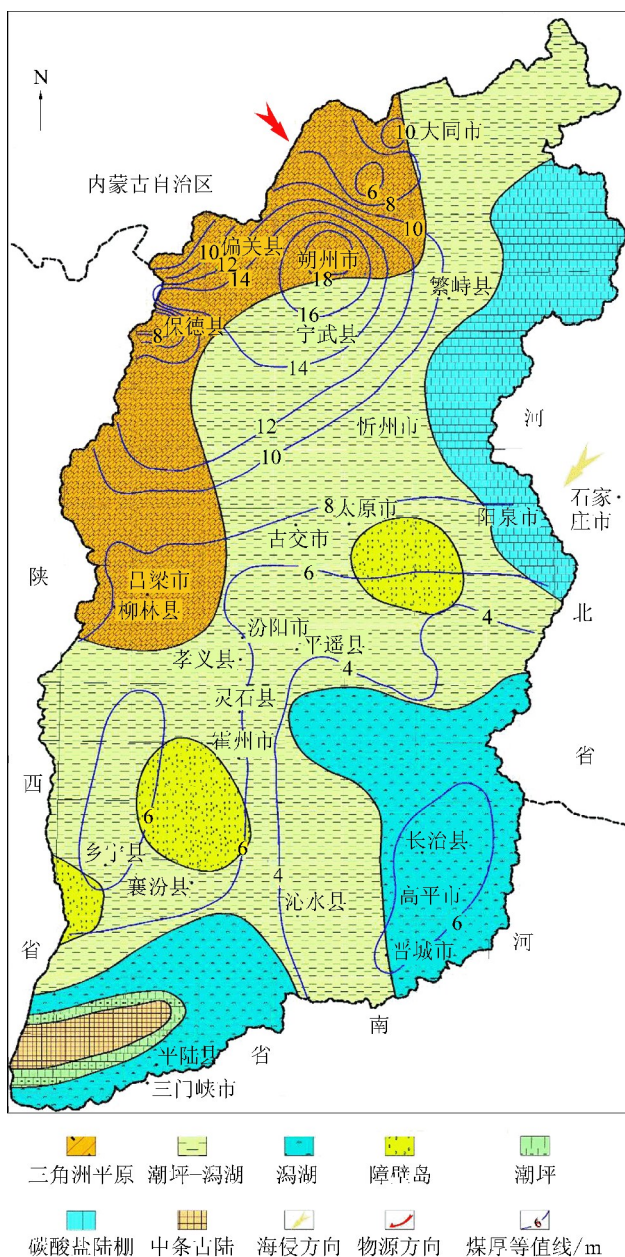


图4 山西省晚石炭世-早二叠世层序Ⅰ岩相古地理与煤层厚度等值线

Fig. 4 Palaeogeography of Sequence I and contour of seam thickness from Late Carboniferous to Early Permian coal-bearing series in Shanxi Province

逐渐减小,推断在山西省的东南部为靠海一侧。

层序Ⅱ砂泥比变化范围为0~3,且总体上砂泥比由北向南、由东向西逐渐降低,在大同西南部、保德东部、乡宁和霍州一线地区砂泥比值明显偏高。

结合地层厚度、石灰岩百分含量以及砂泥比等值线变化特征,对层序Ⅱ岩相古地理进行恢复(图5),当时在大同地区以北主要发育河流沉积体系,向南则过渡为三角洲体系,其中上三角洲平原主要

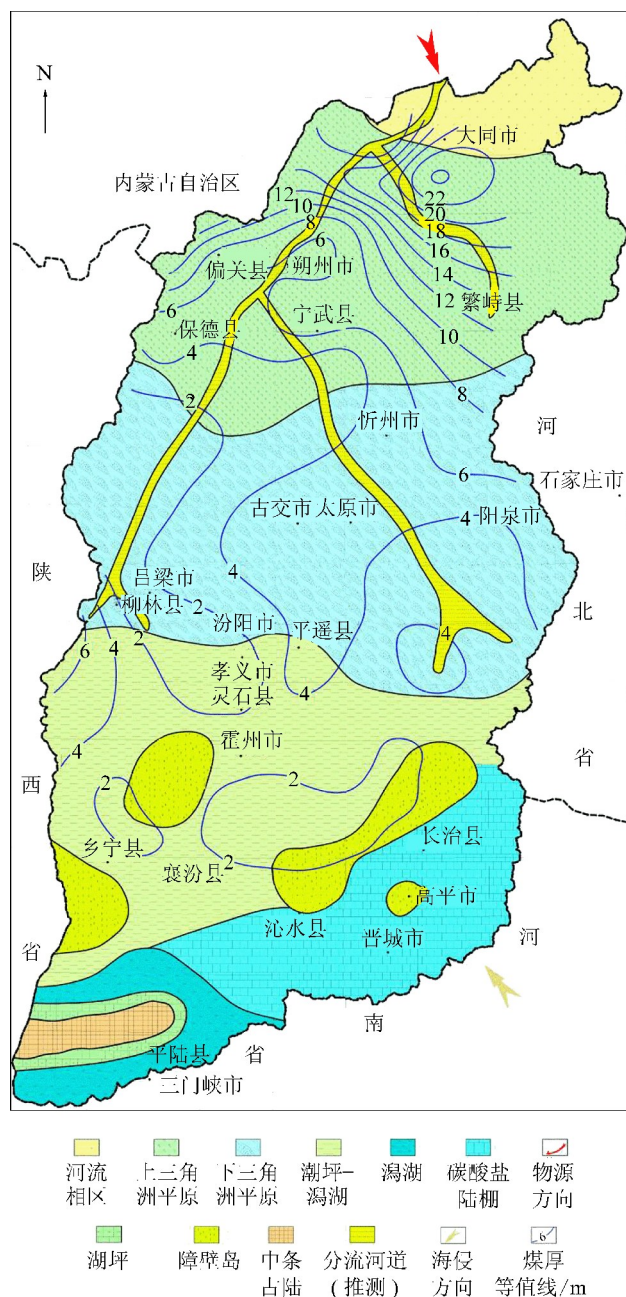


图5 山西省晚石炭世-早二叠世层序Ⅱ岩相古地理与煤层厚度等值线

Fig. 5 Palaeogeography of Sequence II and contour of seam thickness from Late Carboniferous to Early Permian coal-bearing series in Shanxi Province

分布于忻州以北大同以南的地区,而下三角洲平原主要分布于柳林平遥以北、忻州以南地区。山西省南部由于受到海侵的影响,古地理单元以湖坪、潟湖、障壁岛和碳酸盐台地相为主,其中东南部晋城-长治一带为碳酸盐台地相,湖坪-潟湖相则主要分布于柳林-平遥一线以南、襄汾-沁水以北的地区。在沁水-长治以北及高平地区,砂岩含量大,泥岩含



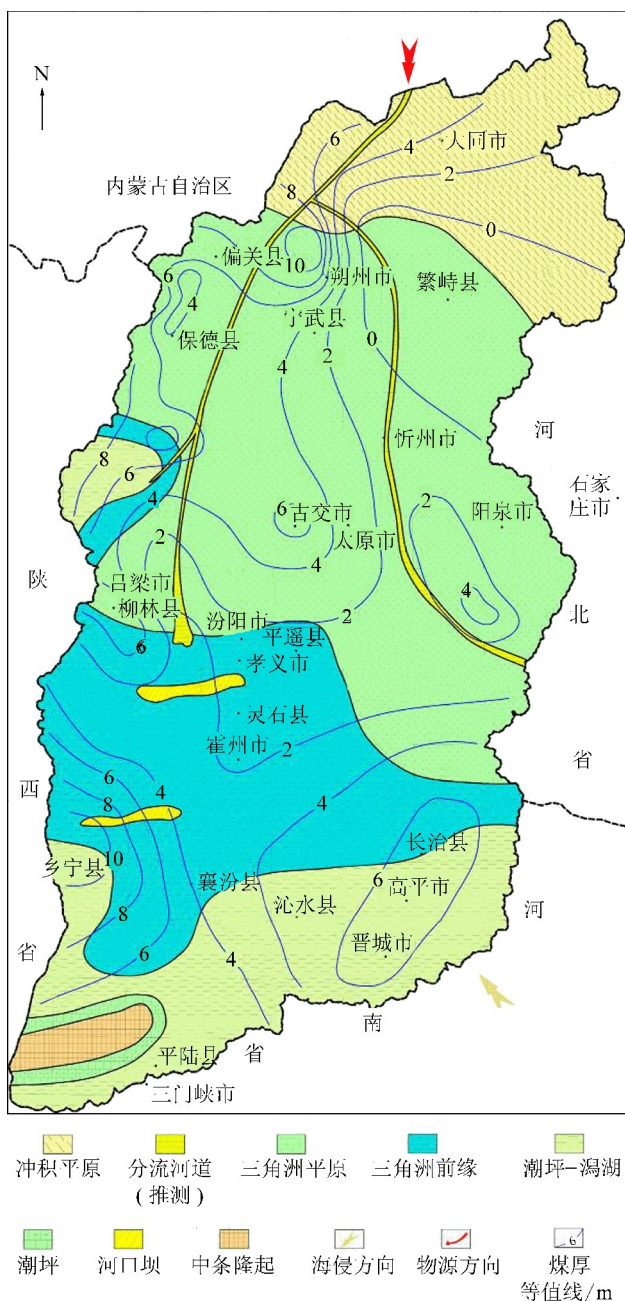


图6 山西省晚石炭世-早二叠世层序Ⅲ岩相古地理与煤层厚度等值线

Fig. 6 Palaeogeography of Sequence III and contour of seam thickness from Late Carboniferous to Early Permian coal-bearing series in Shanxi Province

量低,判断为障壁岛相沉积,同时在乡宁以南,及乡宁和霍州之间亦有障壁岛相分布。

### 3.3 层序Ⅲ古地理特征

由于海退的影响,层序Ⅲ时期三角洲沉积范围不断扩大,而潮坪-潟湖沉积范围则逐渐萎缩,岩性则主要由泥岩、粉砂岩、砂岩及煤层组成。层序Ⅲ沉积厚度在山西省南部地区明显较北部地区薄。在南

部地区,由东向西,等值线值由高变低再升高,在山西省的西部地区,由南向北也呈现由高变低再升高趋势。层序Ⅲ的砂泥比变化范围为0.4~2.2,其中山西省北部的砂泥比值较南部高,在朔州-宁武一线地区达到最大值2.2,在乡宁地区,砂泥比则为1.4。层序Ⅲ泥岩含量表现为,由大同地区到宁武一线的地区泥岩含量值逐渐递减,而从宁武地区到中南部地区泥岩含量值则逐渐增大,在柳林和霍州一线的地区泥岩含量值达到85%。

结合地层厚度、石灰岩百分含量以及砂泥比等值线变化特征,对层序Ⅲ岩相古地理进行恢复(图6),层序Ⅲ沉积时期,冲积平原相主要分布于山西北部地区的广大地区,三角洲平原相分布于山西省中部的地区,三角洲前缘相则主要分布于柳林-平遥以南,乡宁-襄汾-长治以北的地区,而潮坪-潟湖相则退至山西南部地区。

## 4 聚煤规律分析

山西省层序Ⅰ的煤层总厚度变化在0~20 m,平均10 m,煤层主要形成于潮坪和潟湖环境。层序Ⅰ发育一个聚煤中心,该聚煤中心位于山西朔州一带,煤层最厚可达20 m,以朔州为中心,向四周递减,其中在朔州以北大同以南的地区煤层主要厚度为6~10 m,在山西中部和南部地区煤层厚度明显小于北部,厚度为0~8 m,中部和南部的煤层沿西北到东南向煤层厚度逐渐递减(图4)。层序Ⅰ煤层的分布与岩性组合及砂泥岩比率有一定的相关性,如朔州、宁武和大同保德等煤厚较大的地区,砂泥岩比值一般为0.2~0.8,而其他地区煤系的砂泥岩比值变化范围大,一般上砂泥比变化剧烈的地区含煤性较差。在灰岩含量最高的东北部地区,其砂泥比值接近于0,海水深度较大,没有形成较好适合植物生长的环境。

层序Ⅱ煤层厚度由北向南逐渐变薄,最厚的煤层出现于保德-朔州一线以北地区,最大煤层厚度达24 m,为层序Ⅱ的聚煤中心。在山西中南部,煤层厚度明显变薄,一般厚为2~4 m。对于成煤环境而言,该层序时期上三角洲平原及下三角洲平原为主要聚煤古地理单元。总体上聚煤中心位于上三角洲平原相区,向海方向聚煤作用减弱。在山西省南部地区,障壁岛阻止了海水的入侵,导致水动力条件减弱,障壁岛后环境有利于泥炭沼泽和潮坪环境的发育,亦适合煤的形成和保存。

层序Ⅲ的煤层厚度变化区间为2~16 m,出现多

个聚煤中心,煤层厚度大于6 m的地区包括朔州西、保德—柳林一线以西地区、临汾—乡宁一带以及晋城—长治一带,这4个地区也是层序Ⅲ的聚煤中心(图6)。当时聚煤中心总体位于三角洲平原环境,聚煤中心有向南迁移的趋势。煤层在西北部较为发育,在朔州西侧一个大型的聚煤中心,煤层厚度达10 m,在此以东方向,煤层厚度变薄。在河东煤田南部乡宁一带出现大型聚煤中心,煤层厚度达16 m。在晋城—长治聚煤中心,煤层厚度达6 m。

综上所述,山西省石炭—二叠纪层序Ⅱ聚煤作用最强,层序Ⅲ其次,层序Ⅰ较差。层序Ⅰ厚煤层主要形成于潮坪—潟湖环境,而层序Ⅱ和层序Ⅲ厚煤层则主要形成于三角洲平原环境。层序Ⅰ煤炭主要勘探对象为朔州和保德地区;层序Ⅱ时期,大同煤田和宁武煤田的外围区域及河东煤田北部地区则具有较好的勘探潜力;层序Ⅲ煤炭勘探对象则为宁武煤田朔州地区、西山煤田古交地区、河东煤田乡宁地区及沁水煤田的晋城—长治等重点区域。

## 5 结 论

1) 山西省石炭—二叠纪含煤地层可识别出3个三级层序,其中层序Ⅰ的底界为奥陶系灰岩之顶,其顶界为8+9号煤层之底(以太原西山剖面为准)。层序Ⅱ的底界为8+9号煤层之底(以太原西山剖面为准),顶界为北岔沟砂岩之底。层序Ⅲ的底界为北岔沟砂岩,顶界为骆驼脖子砂岩之底。

2) 山西省石炭—二叠纪层序Ⅰ古地理单元有三角洲平原、障壁岛、潮坪、潮坪—潟湖、潟湖、碳酸盐台地相,海水主要是从北东方向经阳泉晋中一带进入山西境内;层序Ⅱ古地理单元主要包括河流相、上三角洲平原相、下三角洲平原相、潮坪—潟湖相、潮坪相、碳酸盐台地及障壁岛相区,海水则主要是从东南方向经晋城一带进入山西境内。随着物源侵入和华北地台的抬升,海水逐渐退出,在层序Ⅲ时期,山西北部由河流相过渡到冲积平原,而整个三角洲平原向山西的中南部发展,占据了山西北中部的广大地区,潟湖和潮坪逐渐退却,演变成三角洲的前缘和潮坪—潟湖相,占据了山西南部的广大地区,碳酸盐台地相消失退却到山西境外。

3) 山西省石炭—二叠纪层序Ⅱ聚煤作用最强,层序Ⅲ其次,层序Ⅰ较差。层序Ⅰ厚煤层主要形成于潮坪—潟湖环境,而层序Ⅱ和层序Ⅲ厚煤层则主要形成于三角洲平原环境,且聚煤中心从层序Ⅰ至

层序Ⅲ期有从北向南迁移的趋势。

## 参考文献(References):

- [1] 程保洲.山西晚古生代沉积环境与聚煤规律[M].太原:山西科学技术出版社,1992.
- [2] 叶建平,陆小霞.我国煤层气产业发展现状和技术进展[J].煤炭科学技术,2016,44(1):24-28.  
YE Jianping, LU Xiaoxia. Development status and technical progress of China coalbed methane industry[J]. Coal Science and Technology, 2016, 44(1): 24-28.
- [3] 邵龙义,侯海海,唐跃,等.中国煤层气勘探开发战略接替区优选[J].天然气工业,2015,35(3):1-11.  
SHAO Longyi, HOU Haihai, TANG Yue, et al. Selection of strategic relay areas of CBM exploration and development in China[J]. Natural Gas Industry, 2015, 35(3): 1-11.
- [4] DIESSEL C F K. Coal-bearing depositional systems [M]. Berlin: Springer, 1992.
- [5] SHAO L Y, ZHANG P F, GAYER R A, et al. Coal in a carbonate sequence stratigraphic framework: the late Permian Heshan Formation in central Guangxi, southern China [J]. Journal of Geological Society London, 2003, 160: 285-298.
- [6] BOHACS K, SUTER J. Sequence stratigraphic distribution of coaly rocks: fundamental controls and paralic examples [J]. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 1997, 81: 1612-1639.
- [7] 董大啸,邵龙义,李明培.华北地台晚石炭世—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.  
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.
- [8] 李增学.内陆表海聚煤盆地的层序地层分析:华北内陆表海聚煤盆地的研究进展[J].地球科学进展,1994,9(6):65-70.  
LI Zengxue. Sequence stratigraphical analysis of epicontinental coal-laccumulating basin research advances in epicontinental coal accumulating basin of north China [J]. Advances in Earth Science, 1994, 9(6): 65-70.
- [9] 煤炭科学研究院地质勘探分院,山西省煤田地质勘探公司.太原西山含煤地层沉积环境[M].北京:煤炭工业出版社,1987.
- [10] 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 Yaoshen, 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.
- [11] 葛宝勋,尹国勋,李春生.山西阳泉矿区含煤岩系沉积环境及聚煤规律探讨[J].沉积学报,1985,3(3):33-44.  
GE Baoxun, YIN Guoxun, LI Chunsheng. A preliminary study on sedimentary environments and law of coal-bearing formation in Yangquan, Shanxi [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1985, 3(3): 33-44.

(下转第34页)



- MENG Zhaoping, CHENG Langhong, LEI Zhiyong, Characters of in-situ stress field in Huainan mine area and its influence on stability of coal roof and floor[J]. Coal Geology and Exploration, 2007, 35(1): 21-25.
- [10] 沈明荣, 陈建峰. 岩体力学[M]. 上海: 同济大学出版社, 2006.
- [11] 赵斌, 王芝银, 伍锦鹏. 矿物成分和细观结构与岩石材料力学性质的关系[J]. 煤田地质与勘探, 2013, 41(3): 59-63.  
ZHAO Bin, WANG Zhiyin, WU Jinpeng. Relation between mineralogical composition and microstructure to the mechanical properties of rock materials[J]. Coal Geology and Exploration, 2013, 41(3): 59-63.
- [12] 王思敬. 论岩石的地质本质性及其岩石力学演绎[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(3): 433-450.  
WANG Sijing. Geological nature of rock and its deduction for rock mechanics[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009, 28(3): 433-450.
- [13] 时贤, 程远方, 蒋恕, 等. 页岩微观结构及岩石力学特征实验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2014, 33(2): 3439-3445.  
SHI Xian, CHENG Yuanfang, JIANG Shu, *et al.* The study of shale microstructure and mechanical characteristics of rocks[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2014, 33(2): 3439-3445.
- [14] SY/T5434—2009, 碎屑岩粒度分析方法[S].
- [15] 吴拥, 苏桂芬, 滕奇志, 等. 岩石薄片正交偏光图像的颗粒分割方法[J]. 科学技术与工程, 2013, 13(31): 9201-9206.  
WU Yong, SU Guifen, TENG Qizhi, *et al.* A particle segmentation method of rock slice orthogonal polarization[J]. Science Technology and Engineering, 2013, 13(31): 9201-9206.
- [16] 张少敏, 操应长, 朱如凯, 等. 湖相细粒混合沉积岩岩石类型划分: 以准噶尔盆地吉木萨尔凹陷二叠系芦草沟组为例[J]. 地质前缘, 2017, 24(5): 1-14.  
ZHANG Shaomin, CAO Yingchang, ZHU Rukai, *et al.* Lithofacies classification of fine-grained mixed sedimentary rocks in Permian Loucaogou Formation, Jimsar Sag, Junggar Basin[J]. Earth Science Frontiers, 2017, 24(5): 1-14.
- [17] 陶艳忠. 沉积岩微观特征实用图集[M]. 北京: 中国石化出版社, 2014.
- [18] 朱筱敏. 沉积岩石学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2008.
- [19] 陈智, 彭华, GREIF Vladimir. 红层软岩夹层的物质组成与结构特征对其力学性质影响的定量研究[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2015, 54(4): 139-149.  
CHEN Zhi, PENG Hua, GREIF Vladimir. Analysis of mineralogical composition and texture to quantify the mechanical properties of red bed soft rock[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2015, 54(4): 139-149.
- [20] 闫虹, 戴志军, 李九发, 等. 长江口拦门沙河段潮滩表层沉积物分布特征[J]. 地理学报, 2009, 64(5): 629-637.  
YAN Hong, DAI Zhijun, LI Jiufa, *et al.* Distribution of surficial tidal flat sediments in the Yangtze Estuary[J]. Acta Geographica Sinica, 2009, 64(5): 629-637.
- [21] 章海宁, 姜黎明, 张金功, 等. 岩石结构对碎屑岩储层弹性参数影响的数值研究[J]. 兰州大学学报: 自然科学版, 2014, 50(6): 773-778.  
ZHANG Haining, JIANG Liming, ZHANG Jingong, *et al.* Numerical study of the effect of rock texture on the clastic reservoir rocks' elastic parameters[J]. Journal of Lanzhou University: Natural Science, 2014, 50(6): 773-778.
- (上接第8页)
- [12] 陈世悦, 徐凤银, 刘焕杰, 等. 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.
- [13] 杨明慧, 刘池阳, 兰朝利, 等. 鄂尔多斯盆地东北缘晚古生代陆表海含煤岩系层序地层研究[J]. 沉积学报, 2008, 26(6): 1005-1013.  
YANG Minghui, LIU Chiyang, LAN Chaoli, *et al.* Sequence stratigraphy of Late Paleozoic coal bearing measures in northeastern Ordos Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2008, 26(6): 1005-1013.
- [14] 邵龙义, 董大啸, 李明培, 等. 华北石炭-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 North China Basin[J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(8): 1725-1734.
- [15] SHAO L Y, YANG Z Y, SHANG X X, *et al.* Lithofacies palaeogeography of the Carboniferous and Permian in Qinshui Basin, Shanxi Province, China[J]. Journal of Palaeogeography, 2015, 4(4): 384-412.
- [16] 王桂梁, 琚宜文, 郑孟林, 等. 中国北部能源盆地构造[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2007.
- [17] 潘桂棠, 肖庆辉, 陆松年, 等. 中国大地构造单元划分[J]. 中国地质, 2009, 36(1): 1-4.  
PAN Guitang, XIAO Qinghui, LU Songnian, *et al.* Subdivision of tectonic units of China[J]. Geology in China, 2009, 36(1): 1-4.
- [18] 孔宪祯, 许惠龙, 李润兰, 等. 山西晚古生代含煤地层和古生物群[M]. 太原: 山西科学技术出版社, 1996.
- [19] 中国煤田地质总局. 华北地台晚古生代煤地质学研究[M]. 太原: 山西科学技术出版社, 1997.