

# 太原东山-寿阳勘探区晚古生代含煤岩系聚煤模式及其预测意义

陶成才

杨 起 李宝芳

(中国科学院地质研究所) (中国地质大学 北京)

太原东山-寿阳勘探区位于沁水煤田西北部,隔太原市与西山煤田遥遥相对。在200多米厚的煤系地层中,记录了一套海退型沉积环境演化规律:本溪组是以受潮汐作用影响的泻湖和海湾沉积环境,自晋祠砂岩向上直至山西组下部北岔沟砂岩是三角洲沉积环境,山西组中上部是上三角洲平原—冲积平原沉积环境。不同的沉积环境具有不同的聚煤作用特点,因此,以沉积环境为线索,探讨成煤的地质条件,进而总结出聚煤模式,对预测新的勘探区以及指导煤田勘探具有一定的意义。

## 一、潮坪聚煤模式及其预测意义

华北地台自中奥陶世后期抬升以后,经过漫长地质时期的风化剥蚀,直至中石炭世才下沉接受沉积,形成泻湖和海湾沉积环境。在泻湖和海湾朝陆地的一侧,地势广阔平坦,加之气候湿润,植物繁茂,这为本溪组沉积时期中发生广泛的聚煤作用提供了有利条件。另一方面,该时期正值华北地台下沉遭受海侵作用的初始阶段,沉积速度慢,且多为泥质等细粒沉积物,差异压实作用明显。因此,只要海平面稍为上升,沉积物输入则不足补偿,海水将会漫侵到泻湖和海湾的陆地一侧,淹没高等植物,从而终断泥炭沼泽的发育,即是说,古构造条件使本溪组沉积期的聚煤作用不能长期稳定的发育。

由上述可见,本溪组煤层层数可以较多,但很薄多呈煤线,硫分及灰分含量高,没有工业开采价值(图1A)

## 二、浅水三角洲平原聚煤模式及其预测意义

太原组沉积期,发生了四次大规模的海侵作用,本区沦为广阔的浅海和海湾沉积环境,分别形成庙沟灰岩、毛儿沟灰岩、斜道灰岩和东大窑灰岩。但自晋祠砂岩沉积开始,本区接受陆源碎屑物质的大量输入,形成了浅水三角洲旋回沉积。在潜水面满足高等植物生长的三角洲平原地带,发生广泛的聚煤作用。如果这种聚煤古地理条件能在相当长的时期内保持稳

定,则能形成具有工业开采价值的厚煤层。而在以细粒沉积物为主、潜水面较高以致阻碍高等植物发育的三角洲平原地带,即使有低等植物生存,其聚煤作用亦很低。可见,潜水面高低和聚煤作用时间长短是确定能否形成具有工业开采价值的原煤层的二个重要因素。

在本研究区五套浅水三角洲平原沉积中,形成工业开采价值的煤层只有第十五煤层和第八、九煤层。下面重点论述这二组煤层的聚煤作用特点,以总结出聚煤模式及其预测意义。

第十五煤层是重要可采煤层之一,厚度多在 5—6m 以上,分上、下二分层。下分层横向上不连续,分布在一系列透镜状砂体之间(图 2),乃三角洲分流河道进积期的分流间湾和少数废弃下沉的砂体之上的堆积。随着三角洲分流河道废弃,砂体下沉,泥炭沼泽覆水加深,使泥炭聚积终止。以后,陆源沉积物再次输入本区,使深水沼泽又向泥炭沼泽演化,开始形成第十五煤层上分层。此时的泥炭聚积空间广阔平坦,而且古地理条件长期稳定,所以,第十五煤层上分层遍布全区且比较厚。至于第十五煤层在寿阳一带不可采(图 2),笔者认为原因有二:(1)当第一期活动三角洲分流河道废弃以后,在研究区东部  $P_7$  孔附近,又有一条新的分流河道在进积,从而阻碍了泥炭的聚积。即使后来分流河道废弃而演

化成了泥炭沼泽,但与横向上的其它地区相比,成煤时间短,泥炭聚积的厚度则较薄。况且,在浅水三角洲体系中,厚砂体的存在,差异压实小,形成相对高的古地势,不利于泥炭被覆盖而保存,这一结论具有普遍意义(杨起、李宝芳,1982; Donaldson, A. C. 1974); (2)第十五煤层形成后期,发生了一次大规模海侵,形成庙沟灰岩直接覆盖在煤层之上,但由于随之而来的新的三角洲砂体的进积作用,局部冲刷掉了庙沟灰岩和下伏的第十五煤层。

第八、九煤层是仅次于第十五煤层的另一重要可采煤层,它与第十五煤层区别主要在于:煤层与北岔沟砂体呈明显的消长关系,朝砂体方向,煤层分岔、变薄,在远离砂体地带(如段王镇等地),第八、九煤层合并为同一煤层。煤层结构和形态远较第十五煤层复杂,灰分含量也高得多,因此,认为第八、九煤层形成于三角洲分流河道高度“建设期”的分流间湾地区。

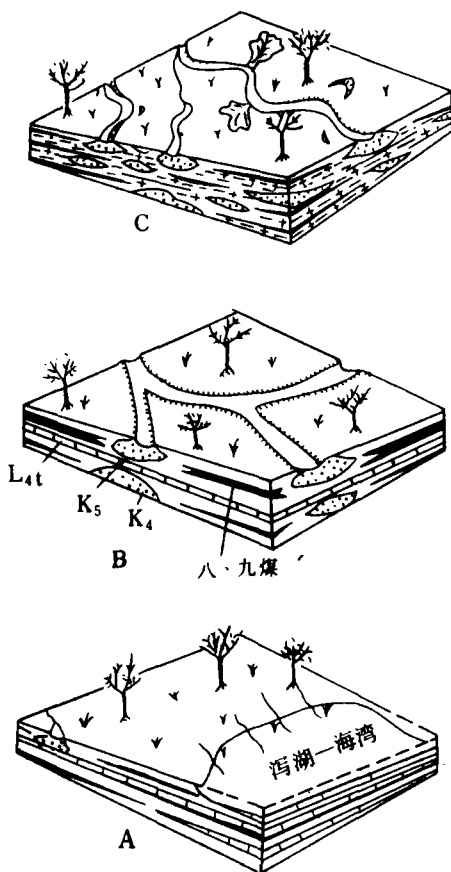


图 1 太原东山-寿阳勘探区聚煤模式

A-潮坪聚煤模式; B-浅水三角洲平原聚煤模式; C-滨海冲积平原聚煤模式

Fig. 1 Coal-forming models for the East Hill-Shouyang area, Taiyuan, Shanxi

A=tidal flat coal-forming model; B=shallow-water deltaic plain coal-forming model; C=littoral alluvial plain-coal-forming model

煤层变薄带和不可采带,主要受成煤期古地理控制(图 3)

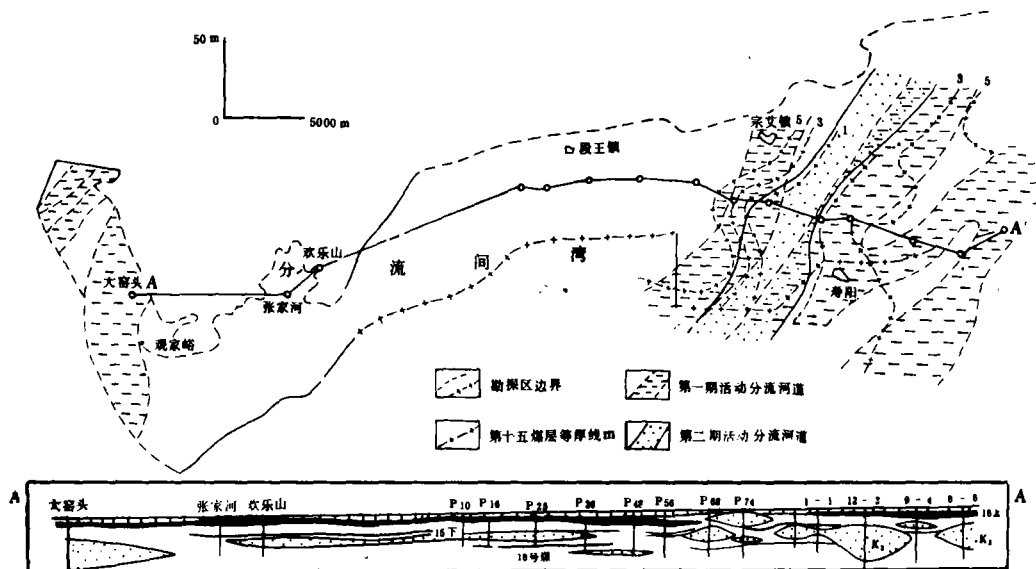


图 2 第十五煤层成煤期古地理略图

Fig. 2 Generalized palaeogeographic map during the formation of Coalbed 15

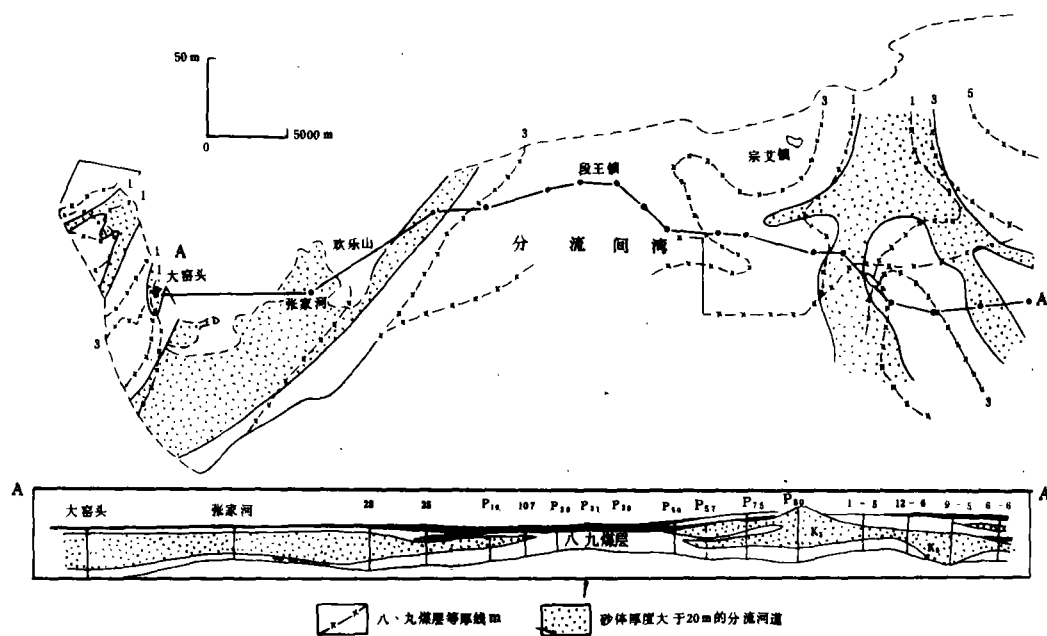


图 3 第八、九煤层成煤期古地理略图

Fig. 3 Generalized palaeogeographic map during the formation of Coalbeds 8 and 9

将第十五煤层与第八、九煤层聚煤作用特点加以比较,可以得出这样的结论:随着时间的迁移,沉积区与供给区之间的构造差异愈来愈明显,这种古构造演化特点决定了第八、九煤层成煤空间没有第十五煤层广阔,而只能呈大型煤透镜体局限在厚砂体之间(图3)

至此,可以得出本区浅水三角洲平原聚煤模式的主要特点及其预测意义(图1b):

1. 灰分含量高低取决于泥炭田内的微沉积环境,在受到决口冲刷的砂泥掺杂作用的泥炭环境中,灰分含量高。第八、九煤层的灰分含量明显高于第十五煤层就是这个道理。

2. 硫分含量主要受控于顶板岩性和泥炭沼泽内水介质条件。当顶板是灰岩时,由于海水渗滤作用,使煤层含硫量高,如第十五煤层。当顶板是微咸水的泥质岩时,煤层硫分含量低,如第八、九煤层。

3. 富煤带和厚煤带与砂体相间分布,呈互为消长的关系。因此,作为三角洲分流河道最为活跃的东山大窑头和寿阳一带,自第十五煤层向上,砂体占了整个岩性的60%以上,从而不利于厚煤层的形成。

4. 在研究区以外的东部地区,毛儿沟灰岩,斜道灰岩,东大窑灰岩之间的各个三角洲平原,也可望发育可采煤层,这主要取决于与其共生的砂体规模和分布范围。因此,在各阶段勘探过程中,追索和圈定主要砂体形态、延伸范围至关重要。

### 三、冲积平原聚煤模式及其预测意义

东大窑灰岩形成以后,海水迅速撤离本区,到山西组中上部,沉积环境已演化为上三角洲平原—冲积平原了。由于沉积区与供给区之间的差异渐趋增大,陆源输入的碎屑物质愈来愈多,因此,河道经常改道。频繁的河道侧向迁移使泥炭聚积环境得不到长期稳定发育,从而限制了泥炭的大量聚积。此外,海水的大面积迅速撤退,陆地相对地快速抬升,导致潜水面的下降,死亡后的高、低等植物可以遭到充分的氧化分解,已经生成的泥炭得不到及时覆盖而保存。可见,古构造与古地理分析表明山西组中上部已不具有形成可观的厚煤层的条件。

图1C示意山西组中上部冲积平原聚煤模式,它表示了粗粒的河道沉积物在差异压实作用下,成为泛滥平原上的高地貌,由于长期暴露在大气中,使有机质遭到充分氧化和破坏,故几乎没有煤层的形成。只有在河道两侧的湖泊—泛滥盆地中,细粒沉积物在差异压实作用下,成为低洼地带,水流停滞,泥炭可以短期地在这种泄水差的沼泽中(poor-drained swamps)聚积。这种煤层灰分含量和硫分含量都较低。在邻近河道的附近,由于河道经常决口取直,砂、泥常常成为煤层中的夹层或夹矸,因此,在河道砂体附近的煤层分岔尖灭,灰分含量高。

综上所述可见,山西组中上部煤层层位可以较多,但厚度很薄,多呈煤线,侧向上不连续,只局限于砂体两侧和下部,没有工业开采价值。

### 四、第十五煤层与第八、九煤层沉积相特点

#### (一)硫分及元素Ga含量

第八、九煤层全硫含量只有0.66%,其中,硫化铁硫( $S_{Fe}$ )占88%,有机硫( $S_o$ )和硫酸盐硫( $S_L$ )占12%。第十五煤层全硫含量是1.25—3.95%,其中,硫化铁硫( $S_{Fe}$ )占62%,硫酸盐硫( $S_{Ly}$ )占14%,有机硫( $S_o$ )占24%。

稀散元素 Ga 的含量,第八、九煤层是 26.64(ppm),第十五煤层是 8.98(ppm)。

## (二)灰分及灰成分

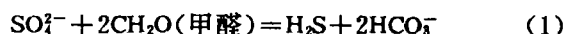
第八、九煤层灰分含量是 35.94—43.71%,其中,  $\text{SiO}_2$  52.84%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  39.32%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  4.92%,  $\text{CaO}$  1.46%,  $\text{MgO}$  0.92%,  $\text{SO}_3$  1.12%。第十五煤层灰分含量是 20.56%,其中,  $\text{SiO}_2$  45.22%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  31.00%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  14.89%,  $\text{CaO}$  4.71%,  $\text{MgO}$  1.97%,  $\text{SO}_3$  2.00%。

上述数据表明,第十五煤层的全硫( $\text{S}_t$ )、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$  和  $\text{SO}_3$  含量显著高于第八、九煤层,灰成分指标 K 值 [ $K = (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) / (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO})$ ] 前者是 3.5,而后者高达 12.6。稀散元素 Ga、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量,第十五煤层显著低于第八、九煤层。

## (三)煤沉积环境分析

通过前述的硫分含量,元素 Ga 含量,灰分、灰成分以及 K 值的分析,可以得到二点结论:

1. 第十五煤层受海水影响明显 海水中含有丰富的  $\text{SO}_4^{2-}$ ,在还原硫酸盐细菌的作用下,还原为  $\text{H}_2\text{S}$ ,铁矿物与  $\text{H}_2\text{S}$  作用,首先形成等轴硫铁矿(greigite,  $\text{Fe}_3\text{S}_4$ )和马基诺矿(mackinawite,  $\text{FeS}_{1-x}$ ),这种细粒的结晶很差的物质,在  $\text{H}_2\text{S}$  的长期作用下,相对于黄铁矿来说,热力学不稳定,在早期成岩作用期间就转变成了黄铁矿(Berner, R. A. 1979)。下面的化学方程式概括了这种过程的机理:



灰成分中的氧化钙含量也可作为古地理环境研究的有益指标,它的富集取决于泥炭田的地理位置。一般而言,近海型泥炭沼泽中  $\text{CaO}$  含量较高,本区第十五煤层中的  $\text{CaO}$  含量显著高于第八、九煤层,表明前者受海水的影响程度大于后者。此外,现代沉积学研究揭示, Ga、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  在陆相地层中的含量高于海相,而  $\text{SO}_3$ 、 $\text{MgO}$  的含量则是海相高于陆相,这与前面论述的第十五煤层与第八、九煤层沉积环境的结论是一致的。

2. 第十五煤层泥炭田内的水介质呈碱性状态,而第八、九煤层泥炭田内的水介质呈酸性状态 呈胶体溶液搬运来的陆源铁<sup>①</sup>进入泥炭沼泽后,由于流速顿减,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  胶体则部分沉淀下来,但是,由于泥炭田内的丰富的有机质使水介质的 pH 值和 EH 值降低,因此,  $\text{Fe}^{3+}$  转变成了  $\text{Fe}^{2+}$ ,铁的溶解度增大,于是,沉淀下来的铁则少。而在海水不时侵入的滨海泥炭沼泽内(如第十五煤层形成期的泥炭沼泽),由于 pH 值几乎等于  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  两性胶体的等电 pH 值(7.1)(刘宝瑞,1979),这样,胶体的电动电位近于零,扩散层趋近于消失,使大量的陆源  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  胶体沉淀下来,故造成第十五煤层的  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  含量显著高于第八、九煤层。

## (四)煤岩特征

第八、九煤层与第十五煤层在显微组分的含量上是基本相似的,镜质组占 80%左右,且多为无结构镜质体,丝质组和稳定组含量较低,反映成煤古植物的演化不明显。但是,第十五煤层时常可见细胞结构保存完好的丝质体,而第八、九煤层少见,相反,常见碎屑状丝质体,

① 据资料,现代海水中的铁的含量仅有 0.01ml/L,海水中的铁硫比值为 1:88500,形成  $\text{FeS}_2$  要求铁硫比值为 7:8。海水中微量的铁远远不能满足形成大量  $\text{FeS}_2$  的需要,所以,本区煤层中黄铁矿形成所需要的铁,绝大多数应由陆源区供给。

表征第八、九煤层的泥炭田内具有一定程度的覆水,且有流动性。

### (五)煤沉积相类型

第八、九煤层和第十五煤层虽然都形成于浅水三角洲平原环境,但由于沉积环境的演化、古构造背景的差异,使它们在煤层形态、结构、覆水条件、杂质含量等诸方面具有不同的特点。第八、九煤层形成期的大部分时间,泥炭田覆有一定程度的水,时常见到反映流水标志的泥质透镜体,夹矸岩石中的交错层理,碎屑状丝质体等,煤层成分和煤层结构的变化频繁复杂。而第十五煤层形成期,泥炭田覆水较浅,时常遭到氧化作用,泥炭聚积环境稳定,煤层形态和结构简单。

依据煤岩类型、结构、沉积构造,显微组分的成因标志以及杂质的含量等特点,可划分出三种煤沉积相:氧化泥炭沼泽相、覆水泥炭沼泽相和流通覆水泥炭沼泽相(图4)。

#### 1. 氧化泥炭沼泽相

主要见于第十五煤层。以线理状和条带状暗淡煤及半暗煤为主,含有大量的丝炭透镜体,丝质体以保存完好的细胞腔为特征,腔内或被泥质充填或空腔,反映泥炭沼泽可能暴露于空气或覆水较浅而遭受氧化作用所致。

#### 2. 覆水泥炭沼泽相

第十五煤层和第八、九煤层都具有这种沉积相。它是在潜水面较高的滞水低地沼泽中形成。煤中以凝胶化组为主,丝质体较少。这种煤相的代表性煤岩类型是宽条带状光亮煤和半亮煤,凝胶化作用强烈,多为无结构镜质体,此外,含有粘土、菱铁矿和黄铁矿等矿物杂质。

#### 3. 流通覆水泥炭沼泽相

是第八、九煤层的代表性沉积相。它形成于潜水面以下,有流水活动的痕迹,如夹矸岩石中见到的交错层理、泥质透镜体等。以半亮煤、半暗煤和暗淡煤为主,粘土杂质使煤的光泽变暗。煤中丝炭很少,只有一些被流水搬运成碎屑状的丝质体和半丝质体,此外,可见菱铁矿、黄铁矿结核和条带。

感谢太原东山煤矿地测科、山西省一四八煤田地质勘探队、煤炭部一一九地质勘探队、寿阳段王煤矿地测科等单位提供资料 and 大力协助。

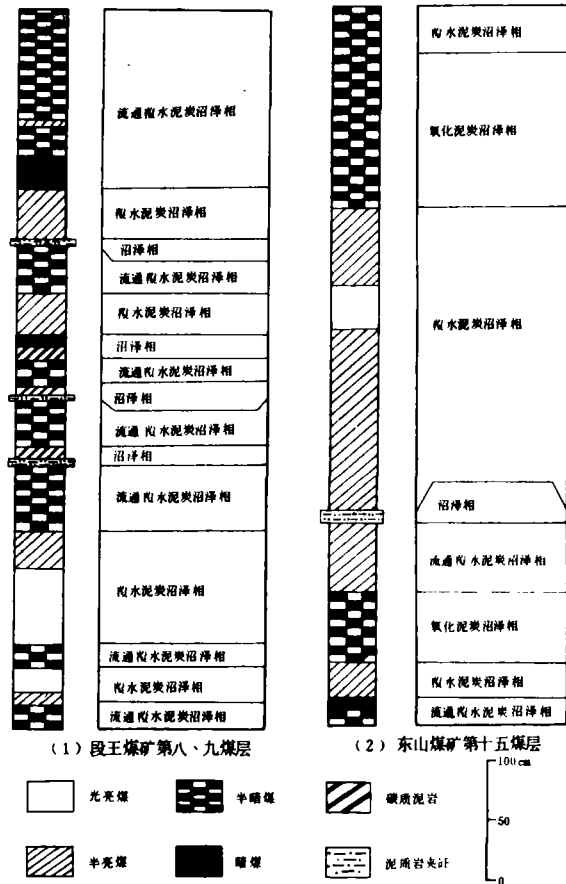


图4 煤岩及煤沉积相柱状图

Fig. 4 Columns showing coal types and facies of Coalbeds 8, 9 and 15

### 主要参考文献

- 刘宝珺, 1979, 沉积岩石学, 地质出版社。  
杨起、李宝芳, 1982, 河南禹县煤田晚古生代煤系的沉积模式和聚煤特征, 地球科学, No. 3 (Vol. 18).  
Berner, R. A., 1979, Authigenic Iron Sulfides as Palaeosalinity Indicators, Jour. Sed. Petro. Vol. 49, No. 4.  
Donaldson, A. C., 1974, Pennsylvanian Sedimentation of Central Appalachians, Geol. Soc. America Inc. special paper 148.

## COAL-FORMING MODELS AND THE EVALUATION OF THE LATE PALAEOZOIC COAL-BEARING STRATA IN THE EAST HILL-SHOUYANG AREA, TAIYUAN, SHANXI

Tao Chengcai

(Institute of Geology, Academia sinica)

Yang Qi      Li Baofang

(China University of Geosciences, Beijing)

### Abstract

Three coal-forming models have been proposed in this paper in terms of the environmental analysis. (1) The tidal flat coal-forming model for the Benxi Formation is characterized by thin coalbeds and high sulfur contents. The sedimentary environments include lagoons and bays. (2) The shallow-water deltaic plain coal-forming model for the Taiyuan Formation and the lower part of the Shanxi Formation is characterized by the commercial coalbeds such as Coalbeds 8, 9 and 15. The sedimentary environments consist of five shallow-water deltas. (3) The littoral alluvial plain coal-forming model for the upper part of the Shanxi Formation is characterized by no commercial coalbeds because of frequent overflowing, scouring and lateral migration of the channels.

More and more commercial coalbeds besides Coalbeds 8, 9 and 15 might be discovered in the vicinity of the East Hill-Shouyang area, Taiyuan. In every stage of exploration, the large-scale distributary channel sandstone bodies should be traced in order to locate the rich and thick coal zones because the commercial coalbeds tend to be inversely proportional to the thick sandstone bodies. Furthermore, in the light of coal types, textures and structures, and mineral impurity etc., three coal facies have been distinguished in this paper for Coalbeds 8, 9 and 15: the oxidized peat swamp facies, the standing water peat swamp facies and the open water peat swamp facies.