

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2020.04.003

西山煤田石炭—二叠纪岩相古地理演化特征分析

朱伟鹏^{1,2}, 宋公社³, 陈强⁴, 周安朝^{4,5}

(1. 北京大学地球与空间科学学院, 北京 100871; 2. 北京大学造山带与地壳演化教育部重点实验室, 北京 100871;
3. 陕西省矿产地质调查中心, 陕西 西安 710068; 4. 太原理工大学矿业工程学院, 山西 太原 030024;
5. 太原理工大学煤与煤系气地质山西省重点实验室, 山西 太原 030024)

摘要:通过解译钻孔岩心数据对西山煤田石炭—二叠纪含煤地层沉积环境进行分析, 识别出 3 种主要的沉积体系及若干沉积亚环境和微环境类型。晚石炭世本溪组沉积期主要发育碳酸盐台地—潟湖—潮坪沉积体系; 晚石炭世—早二叠世太原组沉积期主要发育碳酸盐台地—障壁岛—潟湖—潮坪沉积体系。早二叠世山西组沉积期开始, 西山煤田地区发生区域性海退, 开始发育以浅水三角洲为典型特征的沉积体系。区域沉积环境由早期的陆表海到中期的海陆过渡, 晚期演化为河控三角洲。聚煤作用发生于太原组和山西组沉积期, 潟湖、潮坪和三角洲平原是最为有利的聚煤场所。太原组煤层产于潟湖—潮坪, 砂岩厚的区域则煤层厚; 而山西组煤层产于三角洲平原, 泥岩厚的区域则煤层厚。

关键词:西山煤田; 石炭—二叠纪; 岩相古地理演化

中图分类号: P618.11

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2020)04-0020-14

Analysison Paleogeographical Evolution of Carboniferous-Permian Lithofacies in Xishan Coalfield, Shanxi Province

ZHU Weipeng^{1,2}, SONG Gongshe³, CHEN Qiang⁴, ZHOU Anchao^{4,5}

(1. School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China; 2. Key Laboratory of Orogenic Belts and Crustal Evolution, MOE, Peking University, Beijing 100871, China; 3. Shaanxi Mineral Resources and Geological Survey, Xi'an 710068, Shaanxi, China; 4. College of Mining Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, Shanxi, China; 5. Coal and Coal Gas Geology Key Laboratory of Shanxi Province, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, Shanxi, China)

Abstract: The sedimentary environment of the Carboniferous-Permian coal-bearing strata in Xishan coalfield is analyzed by means of drill cores logging data. Three main types of sedimentary systems and several types of sedimentary sub-environments and micro-environment are identified. The sedimentary system of the carbonate platform-lagoon-tidal flat were mainly developed in Benxi Formation in Late Carboniferous, while the sedimentary system of the carbonate platform-barrier island-lagoon-tidal flat in Taiyuan Formation mainly in Late Carboniferous-Early Permian. In the sedimentary period of Shanxi Formation in Early Permian, a regional regression occurred in

收稿日期: 2020-02-15; 修回日期: 2020-07-25

基金项目: 国家重点研发计划项目“煤炭清洁高效利用和新型节能技术”(2017YFB0603101)

作者简介: 朱伟鹏(1994-), 男, 硕士研究生, 主要从事沉积地球化学研究。E-mail: wpzhu2014@pku.edu.cn

Xishan coalfield, and a sedimentary system characterized by shallow water delta began to develop. The regional sedimentary environment changed from the epicontinental sea in the early stage, the sea-land interaction in the middle stage to the river-controlled delta in the late stage. Coal accumulation occurred in the deposition period of both Taiyuan Formation and Shanxi Formation. Lagoon, tidal flat and delta plain were the most favorable places of coal accumulation. Coal seams of Taiyuan Formation were produced in the lagoon-tidal flat, the thicker the sandstone, the thicker the coal seams, while coal seams of Shanxi Formation were produced in the delta plain, the thicker the mudstone, the thicker the coal seams.

Keywords: Xishan coalfield; Carboniferous-Permian; paleogeographical evolution of lithofacies

山西省是中国著名的煤炭大省,煤炭资源丰富,煤类齐全,煤质优良(韩德馨等,1984;山西省煤田地质局,1995;王双明等,1996)。省内主要的六大可采煤田包括沁水煤田、河东煤田、宁武煤田、霍西煤田、大同煤田和西山煤田。其中,西山煤田是中国最大的炼焦煤生产基地,同时也是华北地台晚古生代石炭—二叠纪含煤地层的典型剖面所在地,该区含煤地层的沉积环境和主要煤层的沉积条件具有广泛的代表性(HORNE, et al., 1978; FIELDING, et al., 1987; 张鹏飞等, 1993)。以邵龙义教授为代表的科研人员和许多煤炭地质工作者已进行过许多有关岩石学特征(孙粉锦等, 2005; 平立华等, 2006; 沈玉林等, 2006; 王银川等, 2011)、古生物化石种属(万世禄等, 1984; 田宝霖等, 1987)、沉积环境分析(汪正江等, 2002; 腾格尔等, 2004; 杨仁超等, 2004; 校佩曦等, 2006; 赵虹等, 2006; 朱红涛等, 2007; 向芳等, 2008; 叶黎明等, 2008; 李云等, 2014; 陈东锐等, 2016)、层序地层格架建立(吴因业, 1996; 邵龙义等, 1998, 1999, 2003, 2008, 2014; SHAO, et al., 2015)等方面的研究,但对于岩相古地理演化的研究相对较少。

笔者主要基于西山煤田钻孔岩心数据,识别出主要的沉积体系及若干沉积亚环境和微环境类型,对含煤地层沉积相的垂向叠置和平面展布特征进行分析,重建了西山煤田在晚古生代石炭—二叠纪的岩相古地理格局,归纳出区域沉积环境的演化过程,指出了有利于聚煤作用发生的场所,对寻找和开发煤炭等沉积矿产资源具有重要的指导意义。

1 区域地质背景

西山煤田位于山西陆台中部,太岳经向构造带

与阳曲—孟县纬向构造亚带联合部位的东南隅,主体构造为两翼极不对称的复式向斜(图1),即西山向斜组,西翼陡峻,东翼舒缓开阔,其上发育有波状褶皱,被一系列北东东向断层切割。整个煤田经历了吕梁期结晶基底形成、燕山期构造格架形成和喜山期大陆裂谷活动3个构造发展阶段。主要出露地层有上石炭统本溪组,上石炭统一下二叠统太原组,下二叠统山西组,中二叠统下石盒子组,上二叠统上石盒子组、石千峰组,下三叠统刘家沟组、和尚沟组及中三叠统二马营组。前寒武系、寒武系和中、下奥陶统构成含煤地层的基底,分布在煤田的西部和北部,新生界不整合于较老基底之上。主要含煤地层为太原组和山西组,其中太原组含煤7层,编号为5、6、7、8、9、10、11号;山西组含煤7层,编号为01、02、03、1、2、3、4号(煤炭科学研究院地质勘探分院, 1987)。

2 含煤地层沉积学特征分析

基于西山煤田钻孔岩心数据(包括测井曲线、岩芯录井资料等),识别出该区石炭—二叠系本溪组、太原组和山西组的岩石类型。根据岩性组合、沉积构造和古生物化石等特征,解释沉积环境,划分沉积体系(刘宝珺, 1980; 姜在兴, 2006)。

2.1 岩石类型与沉积环境解释

通过识别,确定出7种主要的岩石类型。

(1)砾岩:该区砾岩含量总体较少,以山西组较为发育,为灰白色,粗—细粒状结构,半固结—固结状,粒度为2~9 mm,碎屑成分为石英,含少量砾石;胶结物为泥质,基底式胶结,分选中等,磨圆好,呈细砾石层展布,主要为三角洲平原分流河道、河流滞留沉积。

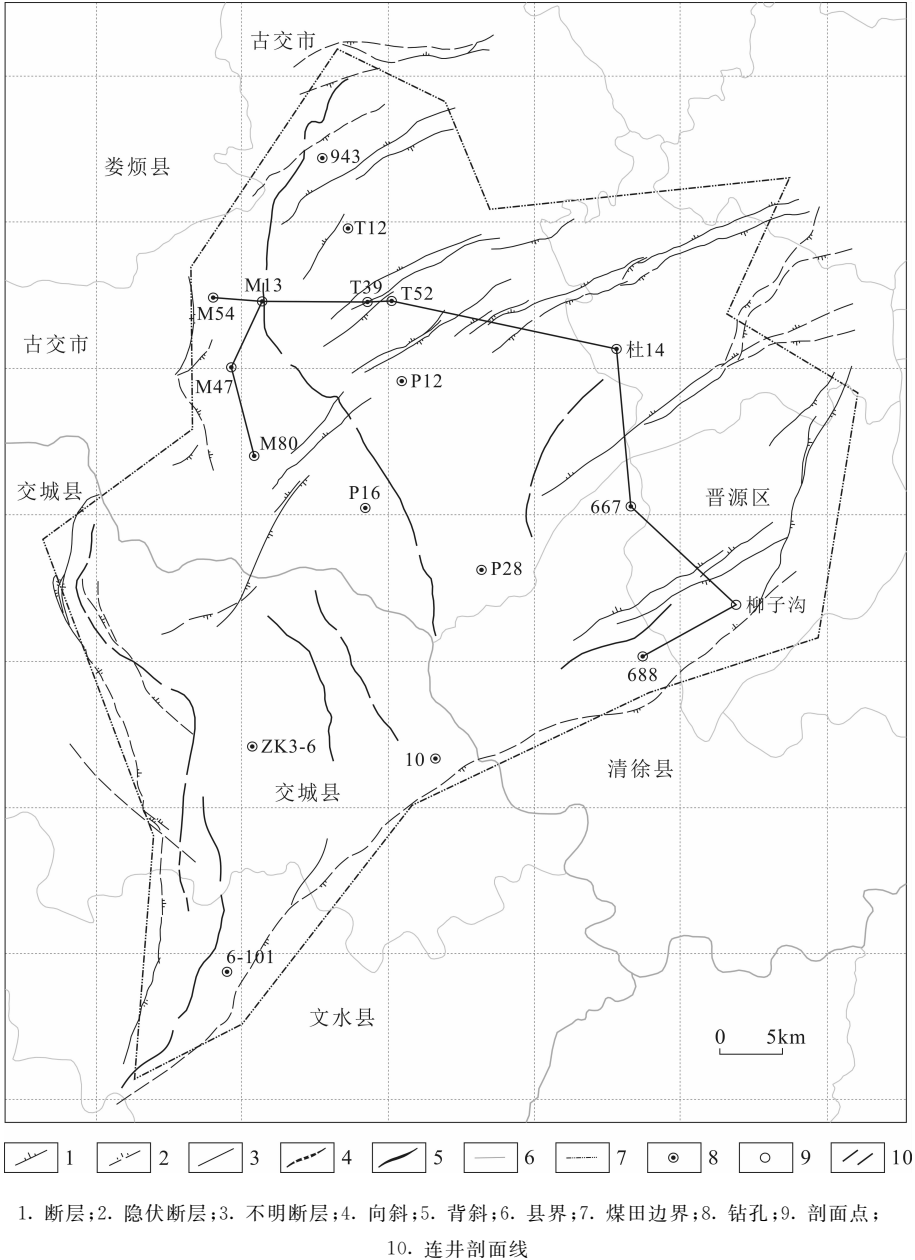


图 1 西山煤田构造纲要简图

Fig. 1 Structural outline of Xishan coalfield

(2)砂岩:根据岩石成分、粒度、结构、沉积构造等特征,可细分为石英杂砂岩、硅质细砂岩、平行层理砂岩和低角度槽状交错层理砂岩。

石英杂砂岩:以灰白色泥质细-粗粒石英砂岩为主,含泥质包体,局部为菱铁质中粒长石石英杂砂岩,底部为钙质细粒石英砂岩(晋祠砂岩),具小型柱状和板状交错层理夹煤线,产古植物化石碎片和根化石,主要为障壁岛沉积,分布于太原组,常作为太原组与本溪组之间的标志层。

硅质细砂岩:灰白色,磨圆好,但分选差,被认为是冲越扇沉积,分布于本溪组。

平行层理砂岩:灰色-灰黄色,中-厚层状,发育平行层理或持续状平行层理,产古植物枝干化石,主要为三角洲平原分流河道、三角洲前缘河口坝沉积,分布于山西组、太原组。

低角度槽状交错层理砂岩:灰色,局部含砾,主要为三角洲平原分流河道、曲流河河道沉积,分布于山西组。

(3)粉砂岩:根据沉积构造、古生物化石等特征,可细分为含古植物碎片粉砂岩、水平层理粉砂岩。

含古植物碎片粉砂岩:一般为灰色-灰黄色、中-厚层状粉砂岩,发育明显或不明显的缓波状层理,产古植物枝干化石,主要为三角洲平原分流间湾、潟湖沉积,分布于山西组、太原组。

水平层理粉砂岩:多为泥质粉砂岩,因杂质含量差异,颜色由灰褐色至灰黑色均有出露,具水平层理,碎屑成分以长石和石英为主,含泥质包裹体,通常由沉积物的垂向加积形成,可出现于三角洲平原分流间湾和间湾湖泊、三角洲前缘、潟湖和滨外陆棚等各种环境,分布于山西组。

(4)泥岩:根据岩石颜色、沉积构造等特征,可细分为灰白色块状铝土岩、灰色-灰黑色水平层理泥岩、碳质泥岩。

灰白色块状铝土岩(铝土质泥岩):比重大,含铝量上部较低,下部质纯,局部见显微变形层理。主要形成于风化壳、半咸水潟湖等环境,分布于本溪组。

灰色-灰黑色水平层理泥岩:产古植物化石碎片,多形成于潟湖、滨外陆棚等环境,多分布于太原组、本溪组。

碳质泥岩:含碳量上少下多,具水平层理,含黄铁矿结核,主要形成于各类局限沼泽环境,如三角洲平原间湾沼泽、沼泽化潟湖和潮坪中的泥炭沼泽等,分布于山西组、太原组。

(5)灰岩:在本溪组和太原组自下而上发育有3~6层灰岩层,主要类型为含生物碎屑泥晶灰岩,产大量海相古生物化石,如蜓、牙形类、海百合茎等,通常有生物扰动构造,厚度不等,主要为潮下带或局限台地沉积,分布稳定,少数泥灰岩,深灰色,中部质纯,呈薄层片状,主要分布于本溪组。

(6)铁矿:俗称“鸡窝状铁矿”,也称“山西式铁矿”,黄色,结核状,与铝土岩共生,有时成块状,形成于风化壳,分布于本溪组。

(7)煤:多形成于泥炭沼泽,山西组、太原组和本溪组均有分布。本溪组仅含薄煤层,工业上几乎不可采,泥岩中常夹有煤线。

2.2 沉积体系划分

在钻孔岩心数据分析、岩石类型归纳描述和沉积环境初步解释的基础上,根据各类岩石在垂向上的组合关系,识别出以下几种主要的沉积体系及若干沉积亚环境和微环境类型。

(1)碳酸盐台地-障壁岛-潟湖-潮坪沉积体系及沉积环境。滨外碳酸盐台地属海相沉积环境,而障壁岛、潟湖、潮坪均位于海陆过渡区。作为一个综合的沉积体系,其沉积环境主要包括障壁岛、障壁岛前的滨外碳酸盐台地、障壁岛后的潮坪、潟湖、潮汐三角洲以及冲越扇等。①障壁岛相:主要为障壁沙坝沉积,发育于太原组底部,岩性以石英杂砂岩为主,分选中等-好,成分成熟度高,在垂向上常呈向上变粗的逆粒序。发育低角度交错层理,底部冲刷面不发育。②碳酸盐台地相:发育于本溪组—太原组沉积期,代表海侵事件,以含生物碎屑泥晶灰岩、泥灰岩为特征。③潮坪相:发育于本溪组—太原组沉积期,是太原组主要的聚煤场所,常与泥炭沼泽共生,一般在垂向上呈向上变细的正粒序,底部多以砂坪开始,向上为混合坪、泥坪,相当于现代海岸的潮滩沉积。其中,泥坪在潮坪沉积中位于高潮线附近及潮上带,属低能环境,以发育灰黑色泥岩和碳质泥岩为特征,偶尔夹有粉砂质沉积,层理多为水平层理、缓波状层理,产古植物化石,发育生物扰动构造。④潟湖相:发育于本溪组—太原组沉积期,水介质条件多变,以半咸水-微咸水条件为主,聚煤条件相对较差。其岩性主要为灰色-灰黑色水平层理泥岩、灰白色块状铝土岩为特征,以水平层理为主,偶尔见透镜状层理,含有较多的菱铁矿结核,指示还原环境,产腕足类古生物化石。⑤冲越扇相:发育于本溪组沉积期,由风暴将障壁岛上的粗粒沉积物携带到低能的潟湖中沉积而成,岩性一般为细砂岩,磨圆好,但分选差,底部冲刷面不发育。在垂向序列上常与潟湖共生。

(2)三角洲沉积体系及沉积环境。发育于太原组—山西组沉积期,以浅水三角洲相为主,发育有三角洲平原和三角洲前缘,前三角洲发育较差。①三角洲平原分流河道相:发育于山西组沉积期,在垂向上以向上变细的中粗砂岩、细砂岩、粉砂岩、泥岩序列为特征,发育有低角度槽状交错层理,底部冲刷面上常见古植物枝干化石,古水流方向以单向为主。②三角洲平原分流间湾相:发育于山西组沉积期,以细砂岩、灰色-灰黑色泥岩、碳质泥岩为特征,常夹有砂岩透镜体,发育水平层理、水平波状层理,含较多的菱铁矿结核和少量的古植物化石,微咸水-半咸水环境。在垂向序列上常与分流河道和河口坝共生。③三角洲前缘河口坝相:发育于太原组沉积期,位于

分流河道的河口处,由分选好、质纯净的细砂岩和粉砂岩组成,分选中等-较好,有时可见共生的泥砾,古生物化石稀少,在垂向序列上常与分流间湾共生。

④三角洲前缘远砂坝相:发育于太原组沉积期,作为三角洲前缘环境向海倾斜的边缘部分,由粉砂质泥岩及黏土组成,普遍可见大小不同的生物潜穴、生物扰动层及介壳,在垂向序列上,位于河口坝之下,常呈向上变粗的逆粒序。

总的来说,西山煤田石炭—二叠系本溪组和太原组为碳酸盐台地、潟湖和潮坪环境交替出现而产生的沉积,而山西组的沉积环境为浅水三角洲。

2.3 沉积相的垂向叠置

钻孔位置分布见图 1,选取 667 号钻孔作为标准井,绘制西山煤田石炭—二叠纪含煤地层沉积相柱状图(图 2)。

2.4 沉积相的水平展布

由于可参考钻孔数量较少,943 号、T12 号、ZK3-6 号、10 号、6-101 号钻孔缺失部分岩心段数据,为了分析含煤地层在平面不同方向上的沉积特征变化情况,总结煤层分布规律,故将柳子沟典型剖面作为一口虚拟井加入对比,选取近东西向(M54—M13—T39—T52—杜 14)和南北向(M13—M47—M80 及杜 14—667—柳子沟—688)3 条连井剖面线(图 1)。

2.4.1 近东西向沉积相对比

在西山煤田近东西向沉积相对比图(图 3)中,自西北向东南方向所选的钻孔为 M54 号、M13 号、T39 号、T52 号、杜 14 号钻孔。该区发育本溪组、太原组、山西组等 3 个含煤地层,主要岩性为粉砂岩、煤层、中砂岩、粗砂岩、泥岩、砾岩、灰岩、细砂岩、铝土岩、砂质泥岩等。

图 3 中仅杜 14 号钻孔包含本溪组,且未揭穿本溪组,其揭露的岩心中可见厚层铝土岩、含生物碎屑泥晶灰岩,反映出该时期潟湖、碳酸盐台地等海相沉积环境广泛发育。太原组的沉积环境以碳酸盐台地—障壁岛—潟湖—潮坪体系为主,其中潟湖—潮坪环境是主要的聚煤场所。太原组厚度由东向西总体变化不明显,而煤层厚度呈现加厚的趋势。所选钻孔中均可见厚度不等的灰岩,其中以杜 14 号钻孔的灰岩厚度最大,总体连续性较差且向西逐渐变薄,而砂岩逐渐变厚,说明由东向西更为接近陆相沉积环境。山西组以一层灰白色砂砾岩与太原组分界,发育以

分流河道、分流间湾为主的浅水三角洲相沉积,地层厚度在横向上变化不大,煤层厚度稳定,相比太原组较薄。

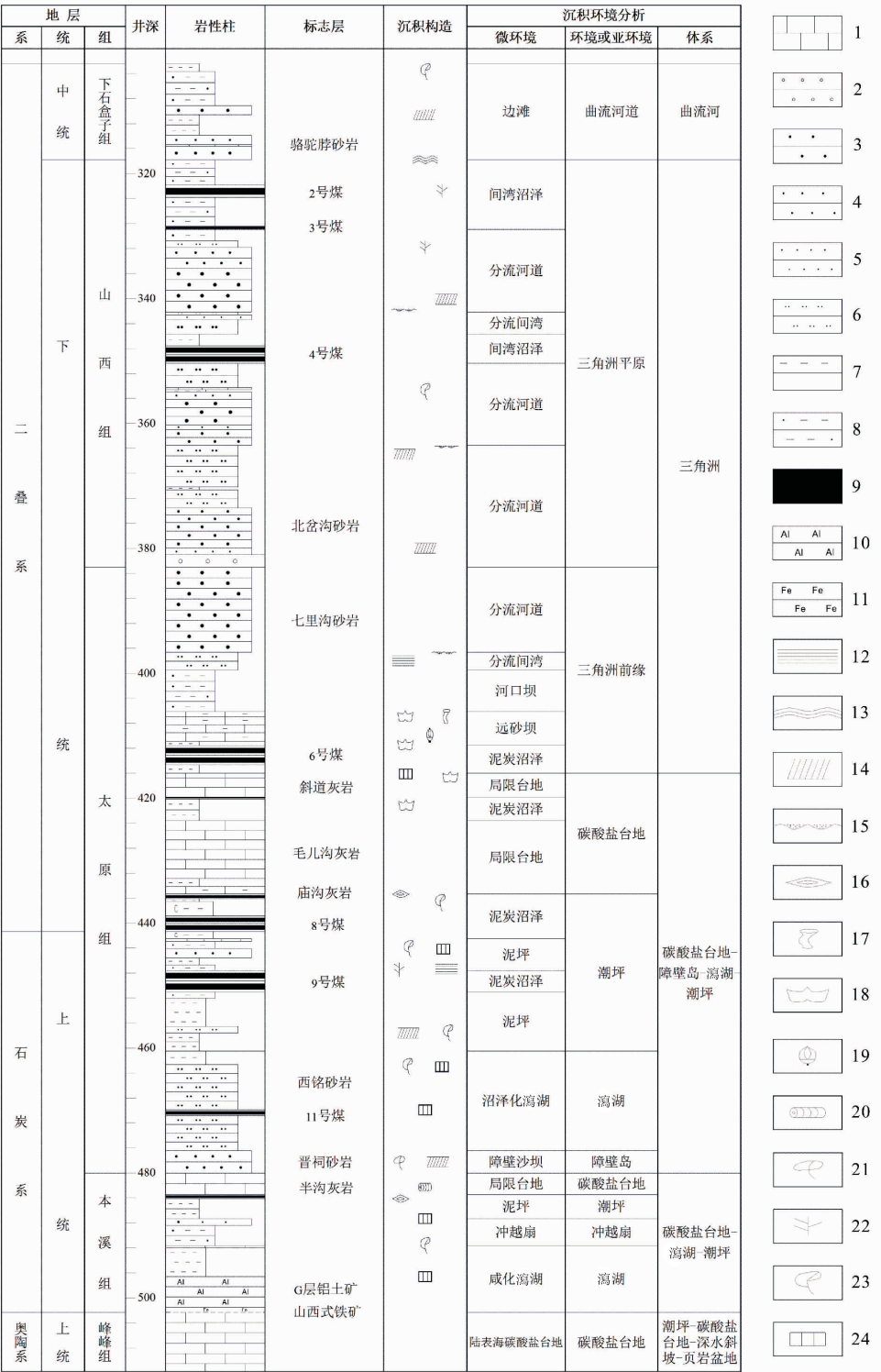
2.4.2 南北向沉积相对比

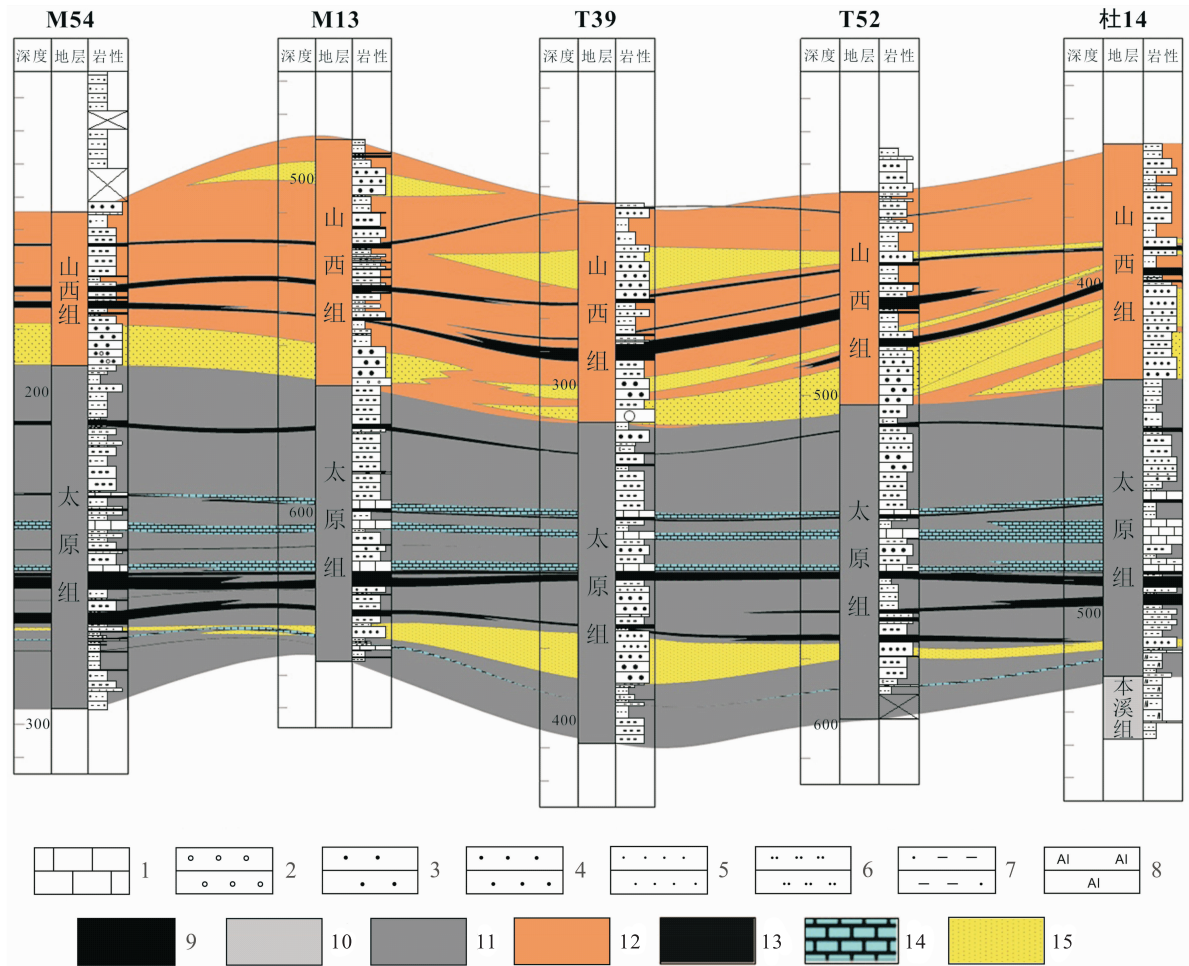
在西山煤田南北向沉积相对比图(图 4)中,自北向南所选的 2 组钻孔为 M13 号、M47 号、M80 号钻孔和杜 14 号、667 号、688 号钻孔。作出的 2 条南北向连井剖面线(图 1)中,M13—M47—M80 位于煤田西部,杜 14—667—柳子沟—688 位于煤田东部。该区发育本溪组、太原组、山西组等 3 个含煤地层,其中 M13 号、M47 号、M80 号、688 号钻孔均未揭露本溪组,M13 号、M47 号、M80 号未揭穿太原组。主要岩性为细砂岩、砂质泥岩、粗砂岩、粉砂岩、中砂岩、泥岩、灰岩、碳质泥岩、煤层、砾岩、泥灰岩、砂砾岩等。

太原组沉积期,煤田东部的 667 号、688 号钻孔及柳子沟剖面底部均发育有厚度不等的障壁岛沉积(图 4),主要为灰白色泥质细-粗粒石英杂砂岩,逆粒序,交错层理发育,由南向北逐渐变薄至尖灭。太原组厚度在南北向上变化趋势不明显,煤田西部的煤层厚度较为均一,而煤田东部的煤层由北向南呈减薄的趋势,以 8 号、9 号煤最为典型。灰岩总体连续性较好,庙沟灰岩、毛儿沟灰岩、斜道灰岩较厚,其中以毛儿沟灰岩的厚度最大,杜 14 号钻孔不发育东大窑灰岩。煤田西部的灰岩厚度较小,而东部的灰岩厚度较大,未夹杂砂岩沉积;砂岩厚度由南向北逐渐增加,说明由南向北、由东向西更为接近陆相环境。山西组沉积期发育以分流河道、分流间湾为主的浅水三角洲。图 4 反映出三角洲的多次进积过程,砂体形态分布呈现出明显的空间叠置关系。煤层大多发育在分流间湾的泥炭沼泽中,以 2 号煤最为典型,厚度相对稳定。

3 岩相古地理格局重建

西山煤田晚古生代石炭—二叠纪含煤地层以碎屑岩为主,灰岩标志层发育,地层划分对比清楚,并有煤田钻孔控制及少数露头分布,有利于进行详细的沉积环境和沉积模式研究。因此,笔者统计了多项能反映古地理面貌的参数,包括地层厚度、灰岩厚度、砂泥比、砂岩厚度和煤层厚度,其中地层等厚线普遍反映沉降区和抬升区的分布,灰岩等厚线可以





1. 灰岩;2. 砾岩;3. 粗砂岩;4. 中砂岩;5. 细砂岩;6. 粉砂岩;7. 砂质泥岩;8. 铝土岩;9. 煤层;
10. 本溪组;11. 太原组;12. 山西组;13. 泥炭沼泽相;14. 碳酸盐台地相;15. 分流河道相

图3 西山煤田近东西向沉积相对比图

Fig.3 Sedimentary facies contrast map of Xishan coalfield in near east-west direction

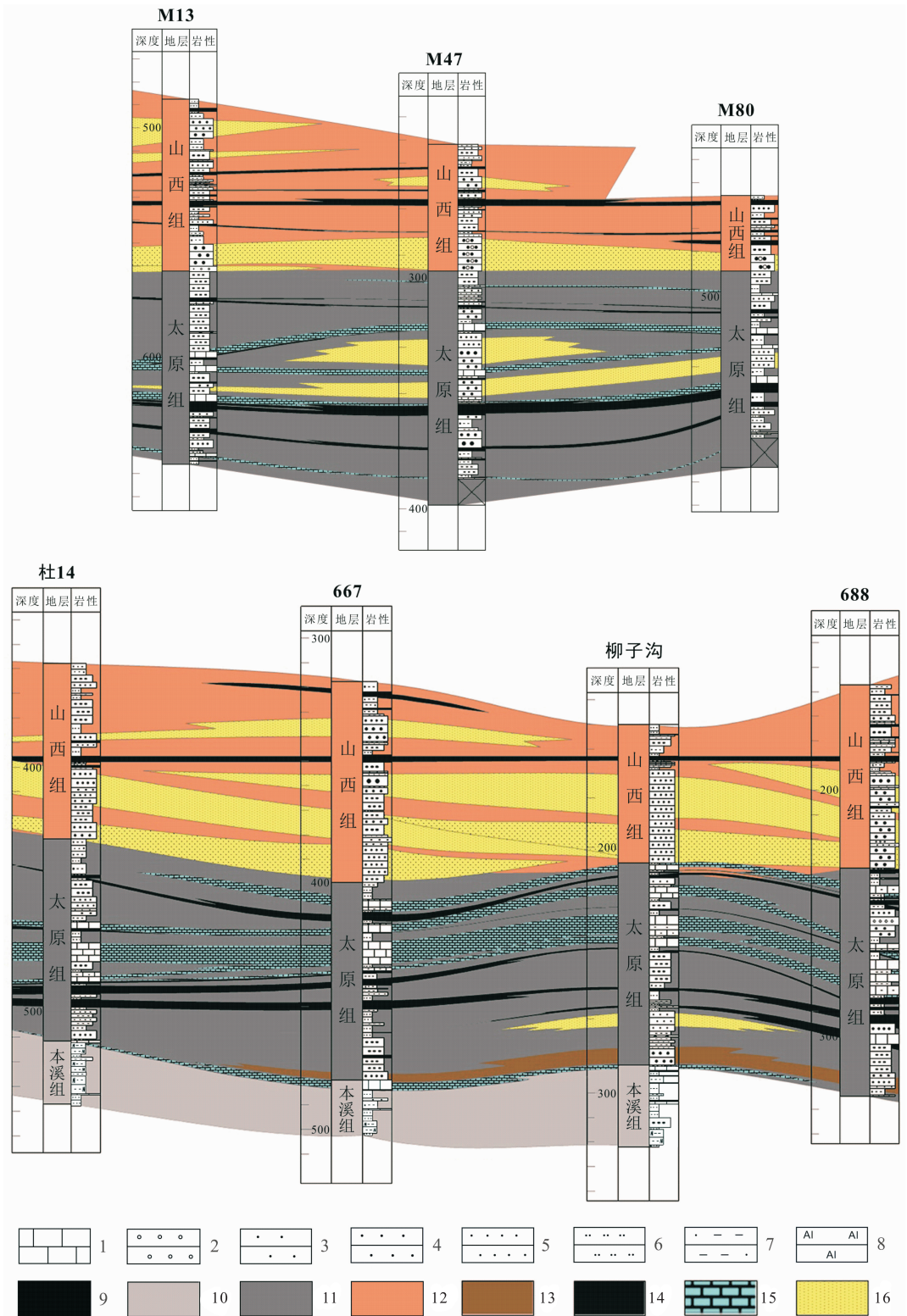
指示海侵的方向和范围,砂泥比等值线可以反映古地理和平面相的基本轮廓,砂岩等厚线可以指示物源的主要方向及揭示河道和砂体的分布,煤层等厚线可以反映泥炭沼泽和聚煤中心的分布。运用单因素分析和多因素综合作图法,基于砂泥比等值线的轮廓,同时结合其余参数等厚线,得出沉积相的平面分布,进而重建岩相古地理格局(刘宝珩等,1985;冯增昭,1990,2003,2004)。用于岩相古地理重建的时间间隔与岩石地层的沉积一致,包括本溪组、太原组、山西组。

3.1 本溪组岩相古地理特征

西山煤田本溪组主要为一套灰岩、碎屑岩和铝铁质岩沉积。地层厚度由西北向东南逐渐增加(图5a),在煤田东部达到最大,最厚处可达 35.05 m,整

体变化范围较大。灰岩厚度由东向西呈现出明显减薄的趋势(图5b),其中西南部和西北部的厚度最小。砂泥比和砂岩厚度均呈现出由四周向中心逐渐增加的趋势(图5c、图5d)。煤层集中分布在砂岩厚度较大的区域(图5e)。

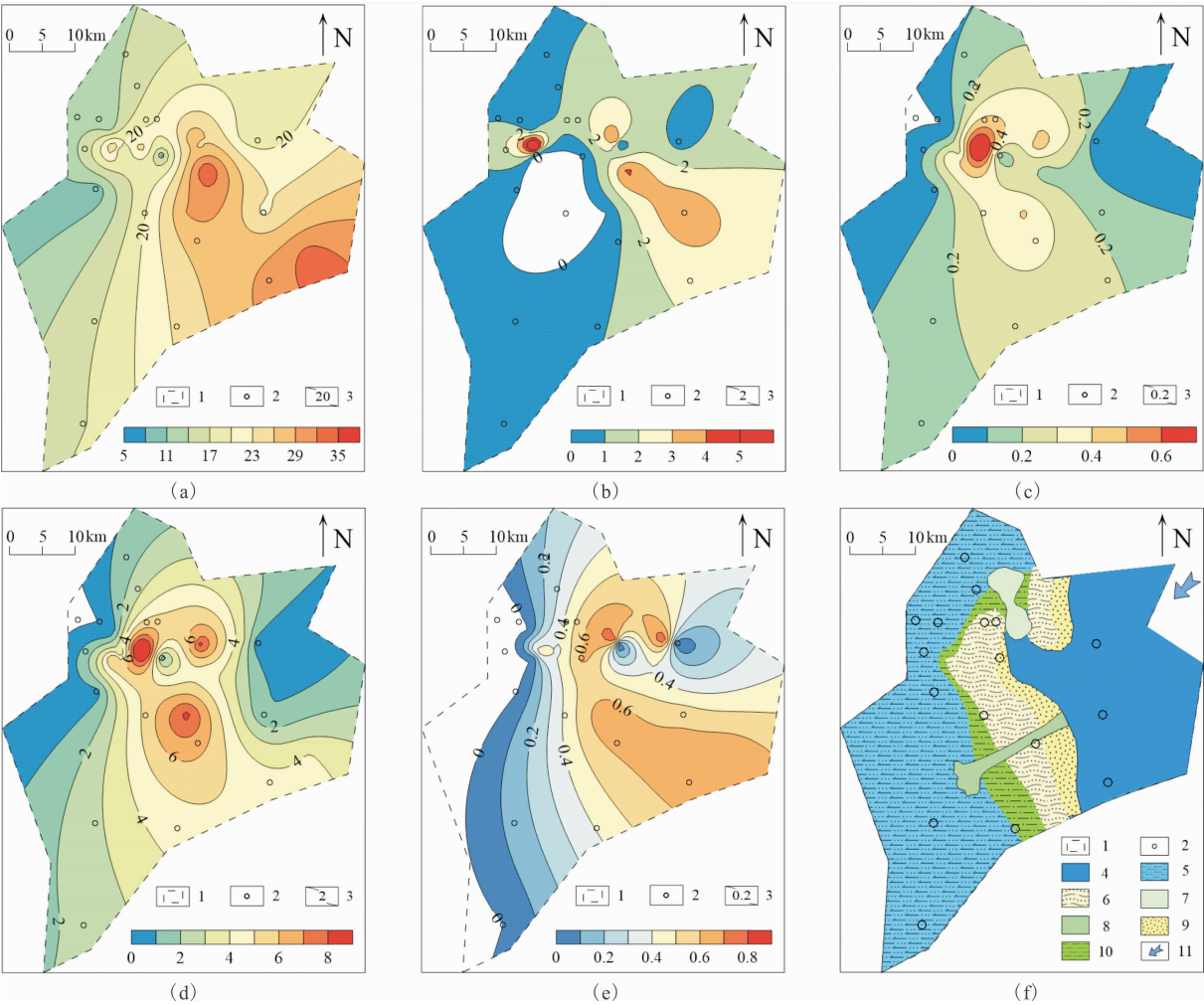
在综合分析西山煤田石炭—二叠纪沉积体系发育特征的基础上,结合华北地台聚煤盆地的沉积演化特点,重建西山煤田本溪组沉积期的岩相古地理格局(图5f)。海水从煤田的东北部侵入,在潮控条件下,海侵通道内发育了以半沟灰岩、含生物碎屑泥晶灰岩为主的碳酸盐台地相沉积,潮道两侧的沉积物发生二次搬运和二次沉积作用,形成了以灰黑色砂质泥岩为主的潟湖相沉积。浅海碳酸盐台地到潟湖的过渡地带发育有潮坪和障



1. 灰岩;2. 砾岩;3. 粗砂岩;4. 中砂岩;5. 细砂岩;6. 粉砂岩;7. 砂质泥岩;8. 铝土岩;9. 煤层;
10. 本溪组;11. 太原组;12. 山西组;13. 障壁岛相;14. 泥炭沼泽相;15. 碳酸盐台地相;16. 分流河道相

图 4 西山煤田南北向沉积相对比图

Fig. 4 Sedimentary facies contrast map of Xishan coalfield in north-south direction



1. 煤田边界;2. 钻孔;3. 等值线;4. 局限浅海;5. 潟湖;6. 障壁岛;7. 潮汐三角洲;8. 冲越扇;9. 滨岸;10. 潮坪;11. 海侵方向;
a. 地层等厚线图;b. 灰岩等厚线图;c. 砂泥比等值线图;d. 砂岩等厚线图;e. 煤层等厚线图;f. 岩相古地理图

图5 西山煤田本溪组参数等值线图和岩相古地理图

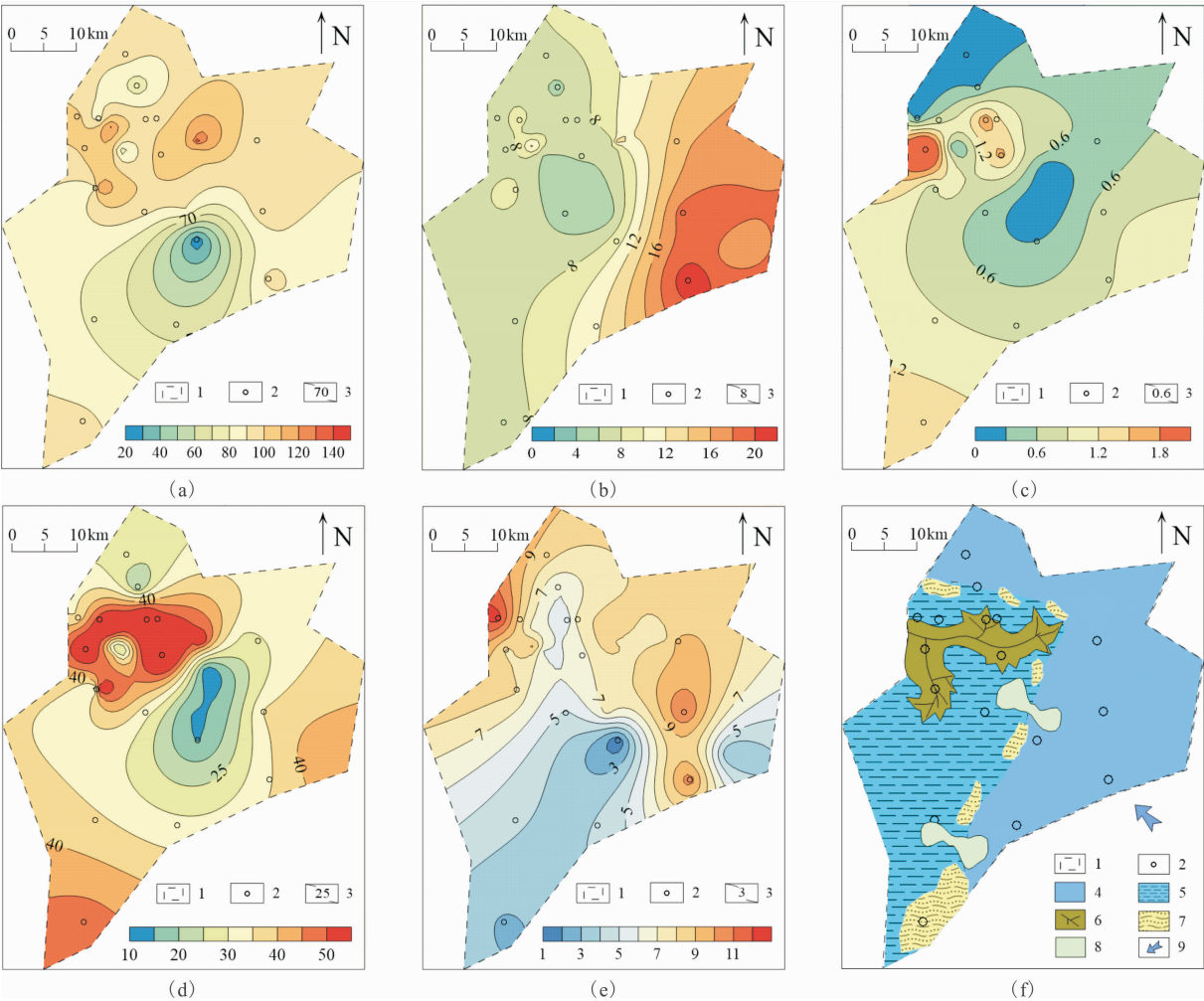
Fig. 5 Parameter contour map and lithofacies palaeogeography map of Benxi formation in Xishan coalfield

壁岛。几者共同构成了碳酸盐台地-潟湖-潮坪沉积体系。

3.2 太原组岩相古地理特征

西山煤田太原组主要为一套过渡相碎屑岩沉积,发育有典型的灰岩标志层。地层厚度由南向北逐渐增加(图 6a),在煤田北部达到最大,最厚处可达 143.71 m,整体变化范围不大。灰岩厚度由西向东呈现明显增厚的趋势(图 6b),集中分布在煤田东部,南北差异不大。砂泥比的变化范围在 0.1~4.3(图 6c),西北部的砂岩厚度达到最大(图 6d),由此推断物源来自西北方向。煤层厚度由北向南逐渐减薄(图 6e)。砂岩厚度大的区域往往煤层较为发育,即砂岩越厚的区域,煤层越厚。

重建西山煤田太原组沉积期的岩相古地理格局(图 6f)。伴随华北地台北部阴山古陆的隆起,西山煤田地区发生区域性海退,海水沿潮道逐渐向东南方向退去(程保洲,1992;尚冠雄,1997;邵龙义等,2008),换句话说,来自东南方向的海侵程度明显降低。灰岩整体连续性较差,说明碳酸盐台地的发育程度较弱。以灰色-灰黑色厚层泥岩为主的潟湖相沉积、以砂泥互层、碳质泥岩及煤层为主的潮坪相沉积和以灰白色厚层泥质细-粗粒石英砂岩为主的障壁岛相沉积,均是海退作用下的产物,其共同构成了碳酸盐台地-障壁岛-潟湖-潮坪沉积体系。煤层的发育往往受到很多地质条件的制约,最重要的是基底沉降和沉积环境(邵龙义等,2008)。前者包括构



1. 煤田边界;2. 钻孔;3. 等值线;4. 浅海陆棚;5. 潟湖;6. 河控三角洲;7. 障壁岛;8. 潮汐三角洲;9. 海侵方向;
a. 地层等厚线图;b. 灰岩等厚线图;c. 砂泥比等值线图;d. 砂岩等厚线图;e. 煤层等厚线图;f. 岩相古地理图

图 6 西山煤田太原组参数等值线图和岩相古地理图

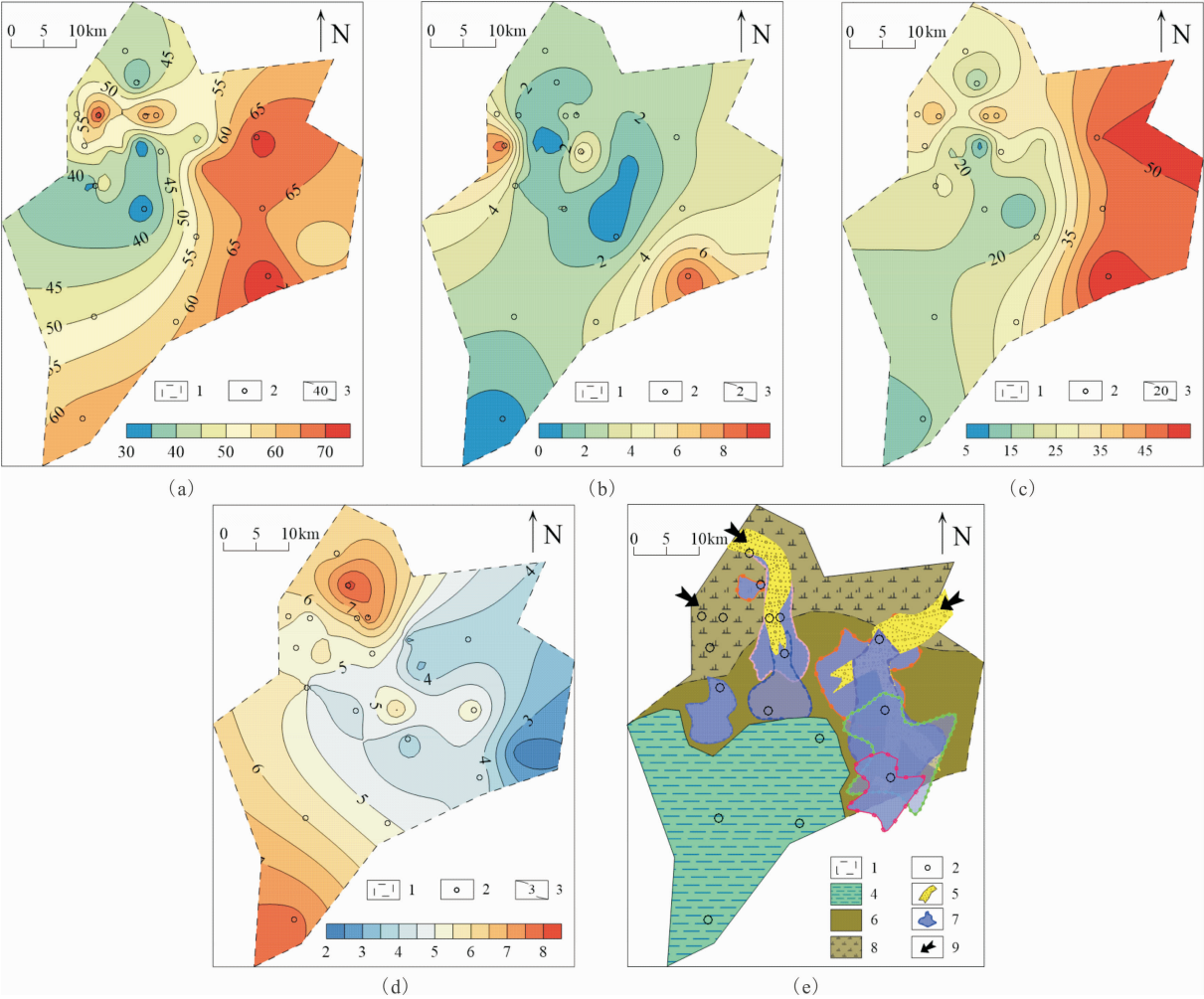
Fig. 6 Parameter contour map and lithofacies palaeogeography map of Taiyuan formation in Xishan coalfield

造活动的强度和频率,后者包括沉积时的岩相古地理条件、古地貌、古植被、古气候、泥炭沼泽类型和沼泽中的水体深度以及地球化学条件等(HORNE, et al. ,1978;FIELDING, et al. ,1987)。从浅海陆棚到潟湖、潮坪,沉积物的砂泥比表现出由低到高的规律变化(图 6c)。因此,可以用砂泥比与煤层厚度的相关性来反映。聚煤中心位于三角洲平原,向海侵方向聚煤作用减弱。障壁岛阻止了海水的进一步入侵,导致水动力条件减弱,障壁岛后地势降低,水体深度增加,有利于泥炭沼泽和潮坪环境的发育,煤得以形成和保存。太原组沉积后期,浅水三角洲所携带的大量泥砂充填于潟湖和滨浅海。

3.3 山西组岩相古地理特征

西山煤田山西组主要为一套陆相碎屑岩沉积。地层厚度由西北向东南逐渐增加(图 7a),在煤田东部达到最大,最厚处可达 74.67 m,整体变化范围较大。砂泥比的变化范围在 0.3~8.9,呈现出明显的中间低、两侧高(图 7b),近乎对称分布,而砂岩厚度由西向东明显增厚(图 7c),由此推断物源可能整体来自北部。煤层厚度表现出东部薄,西北部和西南部较厚(图 7d),正好与砂岩厚度的分布情况相反,即砂岩厚的区域,煤层反而薄。

重建西山煤田山西组沉积期的岩相古地理格局(图 7e)。伴随华北地台北部阴山古陆的继续隆升,海水沿潮道完全退出该区,陆表海环境彻底消失,大



1. 煤田边界;2. 钻孔;3. 等值线;4. 三角洲前缘;5. 河流;6. 下三角洲平原;7. 朵体;8. 上三角洲平原;9. 物源方向;
a. 地层等厚线图;b. 砂泥比等值线图;c. 砂岩等厚线图;d. 煤层等厚线图;e. 岩相古地理图

图 7 西山煤田山西组参数等值线图和岩相古地理图

Fig. 7 Parameter contour map and lithofacies palaeogeography map of Shanxi formation in Xishan coalfield

量发育浅水三角洲沉积体系。河流携带大量陆源碎屑搬运至入海口处,由于水流速度降低而发生沉积,在多次进积作用之后形成广阔的三角洲平原和多个三角洲朵体,分流间湾附近发育局限的泥炭沼泽。同一时间内,不同沉积环境的聚煤作用存在明显差异,煤主要形成于三角洲平原环境,煤层较厚、煤质较好,而三角洲前缘的聚煤能力相对较差(吉丛伟等,2009)。结合砂泥比的变化情况(图 7b),山西组主采煤层应形成于上三角洲平原的间湾沼泽中,往下三角洲平原、三角洲前缘方向,聚煤作用减弱。

4 结论

笔者以西山煤田为研究对象,结合钻孔岩心数

据,综合分析了含煤地层沉积相的垂向叠置和平面展布特征,以及区域岩相古地理演化过程,得到以下主要结论。

- (1)西山煤田石炭—二叠纪的岩相古地理格局,经历了从碳酸盐台地—潟湖—潮坪沉积体系、碳酸盐台地—障壁岛—潟湖—潮坪沉积体系到浅水三角洲沉积体系的演化,区域沉积环境由早期的陆表海,到中期的海陆过渡,晚期发展为河控三角洲。
- (2)煤层大多赋存于太原组和山西组中,潟湖、潮坪和三角洲平原是最为有利的聚煤场所。
- (3)厚煤层的分布呈现出明显的规律性:太原组煤层发育于潟湖—潮坪,砂岩厚的区域,则煤层厚;而山西组煤层发育于三角洲平原,泥岩厚的区域,则煤

层厚。

致谢:研究工作得到太原理工大学矿业工程学院地球科学与工程系宋晓夏副教授的大力支持,两位审稿专家认真审阅本文,并提出诸多宝贵的意见,在此一并表示感谢!

参考文献(References):

陈东锐,廖大卫,董鑫媛,等. 太原西山地区石炭—二叠纪沉积环境演化[J]. 北京工业职业技术学院学报, 2016, 15(3): 24-30.

CHEN Dongrui, LIAO Dawei, DONG Xinyuan, et al. Sedimentary Environmental Evolution of Carboniferous-Permian in TaiyuanXishan[J]. Journal of Beijing Vocational & Technical Institute of Industry, 2016, 15(3): 24-30.

程保洲. 山西晚古生代沉积环境与聚煤规律[M]. 山西: 山西科学技术出版社, 1992.

CHENG Baozhou. Sedimentary Environment and Coal Accumulating Regularity of Late Paleozoic in Shanxi[M]. Shanxi: Shanxi Science and Technology Press, 1992.

冯增昭. 华北地台早古生代岩相古地理[M]. 北京: 地质出版社, 1990.

FENG Zengzhao. Early Paleozoic Lithofacies Palaeogeography of North China Platform[M]. Beijing: The Geological Publishing House, 1990.

冯增昭. 我国古地理学的形成、发展、问题和共识[J]. 古地理学报, 2003, 5(2): 129-141.

FENG Zengzhao. Origin, Development, Problems and Common Viewpoint of Palaeogeography of China[J]. Journal of Palaeogeography (Chinese Edition), 2003, 5(2): 129-141.

冯增昭. 单因素分析多因素综合作图法——定量岩相古地理重建[J]. 古地理学报, 2004, 6(1): 3-19.

FENG Zengzhao. Single Factor Analysis and Multifactor Comprehensive Mapping Method-Reconstruction of Quantitative Lithofacies Palaeogeography[J]. Journal of Palaeogeography (Chinese Edition), 2004, 6(1): 3-19.

韩德馨,杨起. 中国煤田地质学[M]. 北京: 煤炭工业出版社. 1984.

HAN Dexin, YANG Qi. Coal Geology of China[M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 1984.

吉丛伟,李志能,彭正奇,等. 湘中龙潭组北型沉积相及聚煤特征[J]. 中国煤炭地质, 2009, 21(1): 9-12+42.

Ji Congwei, LI Zhineng, PENG Zhengqi, et al. Sedimentary

Facies and Coal Accumulation of Northern Type Longtan Formation in Central Hunan[J]. Coal Geology of China, 2009, 21(1): 9-12+42.

姜在兴. 沉积学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2006.

JIANG Zaixing. Sedimentology[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2006.

李云, 张建伍, 李晶, 等. 鄂尔多斯盆地东南部石炭系本溪组沉积微相特征及其对天然气富集控制作用[J]. 西北地质, 2014, 47(2): 216-222.

LI Yun, ZHANG Jianwu, LI Jing, et al. A Study on Sedimentary Microfacies of Benxi Formation and Its Controlling Effect on Gas Enrichment in Yanchang District of Ordos Basin[J]. Northwestern Geology, 2014, 47(2): 216-222.

刘宝珺. 沉积岩石学[M]. 北京: 地质出版社, 1980.

LIU Baojun. Sedimentary petrology[M]. Beijing: The Geological Publishing House, 1980.

刘宝珺, 曾允孚. 岩相古地理基础及工作方法[M]. 北京: 地质出版社, 1985.

LIU Baojun, ZENG Yunfu. Basis and Working Method of Lithofacies Palaeogeography[M]. Beijing: The Geological Publishing House, 1985.

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.

Geological Exploration Branch of Coal Research Institute, Shanxi Coalfield Geological Exploration Company. Sedimentary Environment of Coal-Bearing Strata in Xishan, Taiyuan[M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 1987.

平立华, 郭英海, 李壮福, 等. 鄂尔多斯盆地保德地区太原组桥头砂岩沉积特征及成因[J]. 天然气地球科学, 2006, 17(6): 59-63.

PING Lihua, GUO Yinghai, LI Zhuangfu, et al. Sedimentary Characters and Origin of Qiaotou Sandstone in the Taiyuan Formation, Baode Area of Ordos Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2006, 17(6): 59-63.

山西省煤田地质局. 山西省煤炭资源预测与评价[R]. 山西: 山西省煤田地质局, 1995.

尚冠雄. 华北地台晚古生代煤地质学研究[M]. 山西: 山西科学技术出版社, 1997.

SHANG Guanxiong. Study on Coal Geology of Late Paleozoic in North China Platform[M]. Shanxi: Shanxi Science and Technology Press, 1997.

邵龙义, 张鹏飞. 含煤岩系层序地层模式[J]. 长春科技大学学报(专辑), 1998, 67-72.

- SHAO Longyi, ZHANG Pengfei. Sequence Stratigraphic Model of Coal-Bearing Series[J]. Journal of Changchun University of Science and Technology (Album), 1998, 67-72.
- 邵龙义, 张鹏飞, 窦建伟, 等. 含煤岩系层序地层分析的新认识—兼论河北南部晚古生代层序地层格架[J]. 中国矿业大学学报, 1999, 28(1): 20-24.
- SHAO Longyi, ZHANG Pengfei, DOU Jianwei, et al. New Considerations on Coal Measures Sequence Stratigraphy—A Case Study from the Late Paleozoic Coal Measures in South Hebei[J]. Journal of China University of Mining and Technology, 1999, 28(1): 20-24.
- 邵龙义, 陈家良, 李瑞军, 等. 广西合山晚二叠世碳酸盐岩型煤系层序地层分析[J]. 沉积学报, 2003, 21(1): 168-174.
- SHAO Longyi, CHEN Jialiang, LI Ruijun, et al. A Sequence Stratigraphic Interpretation on Late Permian Carbonate Coal Measures in the Heshan Coal Field, Southern China[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(1): 168-174.
- 邵龙义, 何志平, 鲁静. 环渤海湾西部石炭系—二叠系层序地层及聚煤作用研究[M]. 北京: 地质出版社, 2008.
- SHAO Longyi, HE Zhiping, LU Jing. Study on Carboniferous-Permian Sequence Stratigraphy and Coal Accumulation in the West of Bohai Bay[M]. Beijing: The Geological Publishing House, 2008.
- 邵龙义, 鲁静, 冉隆明, 等. 四川宝鼎盆地晚三叠世层序地层与聚煤作用[J]. 古地理学报, 2008, 10(4): 355-361.
- SHAO Longyi, LU Jing, RAN Longming, et al. Late Triassic sequence stratigraphy and coal accumulation in Baoding Basin of Sichuan Province[J]. Journal of Palaeogeography (Chinese Edition), 2008, 10(4): 355-361.
- 邵龙义, 肖正辉, 汪浩, 等. 沁水盆地石炭—二叠纪含煤岩系高分辨率层序地层及聚煤模式[J]. 地质科学, 2008, 43(4): 777-791.
- SHAO Longyi, XIAO Zhenghui, WANG Hao, et al. Permian-Carboniferous Coal Measures in the Qinshui Basin High-resolution Sequence stratigraphy and Coal Accumulating Models[J]. Chinese Journal of Geology, 2008, 43(4): 777-791.
- 邵龙义, 鲁静, 汪浩, 等. 近海型含煤岩系沉积学及层序地层学研究进展[J]. 古地理学报, 2008, 10(6): 561-570.
- SHAO Longyi, LU Jing, WANG Hao, et al. Advances in Sedimentology and Sequence Stratigraphy of Paralic Coal Measures[J]. Journal of Palaeogeography (Chinese Edition), 2008, 10(6): 561-570.
- 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-Palaeogeography and Coal Accumulation of the Carboniferous-Permian in the North China Basin[J]. Journal of China Coal Society, 2014, 39(8): 1725-1734.
- 沈玉林, 郭英海, 李壮福, 等. 鄂尔多斯盆地东缘晋祠组晋祠砂岩沉积特征[J]. 天然气地球科学, 2006, 17(1): 109-113.
- SHEN Yulin, GUO Yinghai, LI Zhuangfu, et al. Sedimentary Character of Jinci Sandstone in the Jinci Formation East Ordos Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2006, 17(1): 109-113.
- 孙粉锦, 肖红平, 刘锐娥, 等. 鄂尔多斯盆地中东部地区山2段储层沉积特征及勘探目标评选[J]. 天然气地球科学, 2005, 16(6): 726-731.
- SUN Fenjin, XIAO Hongping, LIU Rui'e, et al. Sedimentary Feature and Optimization of Exploration Prospects of Shan 2 Number in the Middle-East of Ordos Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2005, 16(6): 726-731.
- 腾格尔, 刘文汇, 徐永昌, 等. 海相沉积有机质的碳同位素记录及其环境意义——以鄂尔多斯盆地为例[J]. 石油勘探与开发, 2004, 31(5): 11-16.
- TENGGER, LIU Wenhui, XU Yongchang, et al. Organic Carbon Isotope Record in Marine Sediment and its Environmental Significance—An Example from Ordos Basin, NW China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(5): 11-16.
- 田宝霖, 王士俊. 山西太原西山煤田太原组煤核中的科达茎化石[J]. 古生物学报, 1987, (2): 196-204 + 247-249.
- TIAN Baolin, WANG Shijun. On Cordaitan Stems in Coal Balls From Taiyuan Formation in Xishan Taiyuan, Shanxi[J]. Acta Palaeontologica Sinica, 1987, (2): 196-204 + 247-249.
- 万世禄, 丁惠. 太原西山石炭纪牙形刺初步研究[J]. 地质论评, 1984, 30(5): 409-415 + 511.
- WAN Shilu, DING Hui. Preliminary Studies of Carboniferous Conodonts from the Western Mountain, Taiyuan[J]. Geological Review, 1984, 30(5): 409-415 + 511.
- 汪正江, 陈洪德, 张锦泉. 鄂尔多斯盆地晚古生代沉积体系演化与煤成气藏[J]. 沉积与特提斯地质, 2002, 22

- (2): 18-23.
- WANG Zhengjiang, CHEN Hongde, ZHANG Jinquan. The Late Palaeozoic Sedimentary Systems and Humic Gas Pools in the Ordos Basin[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2002, 22(2): 18-23.
- 王双明. 鄂尔多斯盆地聚煤规律及煤炭资源评价[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1996.
- WANG Shuangming. Rules of Coal Accumulation and Evaluation of Coal Resources in Ordos Basin[M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 1996.
- 王银川, 李昭坤, 翟自峰, 等. 山西本溪组铝土矿成矿条件及成矿规律探讨[J]. *西北地质*, 2011, 44(4): 82-88.
- WANG Yinchuan, LI Zhaokun, ZHAI Zifeng, et al. Benxi Formation Bauxite Mineralization Condition and Rule in Shanxi Province[J]. *Northwestern Geology*, 2011, 44(4): 82-88.
- 吴因业. 煤层——一种陆相盆地中的成因层序边界[J]. *石油学报*, 1996, 17(4): 28-35.
- WU Yinye. Coal Seam—A Genetic Stratigraphic Sequence Boundary in Nonmarine Basins[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 1996, 17(4): 28-35.
- 向芳, 陈洪德, 李志宏, 等. 鄂尔多斯盆地东北部山西组三角洲相沉积演化特征[J]. *成都理工大学学报(自然科学版)*, 2008, 35(6): 693-699.
- XIANG Fang, CHEN Hongde, LI Zhihong, et al. Sedimentary and Evolution Characters of the Delta in the Lower Permian Shanxi Formation in the Northeast of Ordos Basin, China[J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 2008, 35(6): 693-699.
- 校佩曦, 黄玉华, 王育习, 等. 新疆北山南部地区石炭—二叠纪岩石地层单位厘定及沉积环境分析[J]. *西北地质*, 2006, 39(1): 76-82.
- XIAO Peixi, HUANG Yuhua, WANG Yuxi, et al. Analysis of Sedimentary Environment and Ascertainment of Carboniferous-Permian Lithostratigraphic Unit in South Area of Beishan, Xinjiang[J]. *Northwestern Geology*, 2006, 39(1): 76-82.
- 杨仁超, 韩作振, 李文厚, 等. 鄂尔多斯地区二叠系三角洲沉积特征及其模式[J]. *西北大学学报(自然科学版)*, 2004, 34(3): 340-344.
- YANG Renchao, HAN Zuozhen, LI Wenhao, et al. Sedimentary Characteristics and Models of Deltas from Permian System in Ordos Area[J]. *Journal of Northwest University (Science & Technology Edition)*, 2004, 34(3): 340-344.
- 叶黎明, 齐天俊, 彭海燕. 鄂尔多斯盆地东部山西组海相沉积环境分析[J]. *沉积学报*, 2008, 26(2): 202-210.
- YE Liming, QI Tianjun, PENG Haiyan. Depositional Environment Analysis of Shanxi Formation in Eastern Ordos Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2008, 26(2): 202-210.
- 张鹏飞, 彭苏萍, 邵龙义, 等. 含煤岩系沉积环境分析[M]. 北京: 煤炭工业出版社. 1993.
- ZHANG Pengfei, PENG Suping, SHAO Longyi, et al. Sedimentary Environment Analysis of Coal-Bearing Rock Series[M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House. 1993.
- 赵虹, 党犇, 李文厚. 鄂尔多斯盆地中东部上古生界三角洲沉积特征[J]. *天然气工业*, 2006, 26(1): 26-29.
- ZHAO Hong, DANG Ben, LI Wenhao. Characteristic of Upper Paleozoic Delta Deposits in East-Central Ordos Basin[J]. *Natural Gas Industry*, 2006, 26(1): 26-29.
- 朱红涛, 陈开远, LIU Keyu, 等. 鄂尔多斯盆地东北部山西组河流相沉积证据[J]. *天然气工业*, 2007, 27(12): 68-70+165-166.
- ZHU Hongtao, CHEN Kaiyuan, LIU Keyu, et al. Evidences for Deposits of Fluvial Facies in Shanxi Formation in Northeastern Ordos Basin[J]. *Natural Gas Industry*, 2007, 27(12): 68-70+165-166.
- FIELDING C R. Coal Depositional Models for Deltaic and Alluvial Plain Sequences[J]. *Geology*, 1987, 15(7): 661-664.
- HORNE J C, FERM J C, CARUCCIO F T, et al. Depositional Models in Coal Exploration and Mine Planning in Appalachian Region[J]. *AAPG Bulletin*, 1978, 62(12): 2379-2411.
- SHAO L Y, YANG Z Y, SHANG XX, et al. Lithofacies Palaeogeography of the Carboniferous and Permian in the Qinshui Basin, Shanxi Province, China[J]. *Journal of Palaeogeography*, 2015, (4): 387-413.