

程岳宏, 杨智文, 范二平, 等. 大同煤田太原组含煤岩系基准面旋回与聚煤作用[J]. 中国地质, 2015, 42(6): 1959–1968.

Cheng Yuehong, Yang Zhiwen, Fan Erping, et al. Coal-accumulating processes and base level cycles of the Taiyuan Formation in the Datong coalfield[J]. *Geology in China*, 2015, 42(6): 1959–1968(in Chinese with English abstract).

大同煤田太原组含煤岩系基准面旋回与聚煤作用

程岳宏¹ 杨智文² 范二平³ 赵 军² 高宇平² 孙殿宇² 王 存²

(1.中海油研究总院,北京 100083;2.大同煤矿集团有限责任公司,山西 大同 037003;
3.中国地质科学院地质力学研究所,北京 100081)

摘要:结合大量钻孔岩心、测井、井田地震资料,按照基准面旋回理论原理对大同煤田石炭系太原组含煤层系高分辨率层序地层发育特征与聚煤作用进行分析。将太原组划分为 1 个长期基准面旋回,3 个中期基准面旋回和 7 个短期基准面旋回,分析了不同中期基准面旋回沉积相序、短期旋回结构类型、叠加样式及其煤层聚集的控制因素,明确了中期旋回地层格架内砂体与煤层的分布规律及其响应特征。研究认为弱伸展、缓慢沉降的古构造背景以及温暖潮湿的古气候条件是太原组成煤的基础条件,中期基准面变化及所处的位置是聚煤的主控因素,在中期基准面旋回上升晚期,易发育厚度大,横向分布稳定的主力可采煤层;上升早中期或下降中晚期,多发育中薄层炭质泥岩与薄层煤层,煤层多零星分布,横向连续性差。

关键词:大同煤田;太原组;沉积特征;基准面旋回;聚煤作用

中图分类号:P539.2;P618.11 文献标志码:A 文章编号:1000-3657(2015)06-1959-10

Coal-accumulating processes and base level cycles of the Taiyuan Formation in the Datong coalfield

CHENG Yue-hong¹, YANG Zhi-wen², FAN Er-ping³, ZHAO Jun²,
GAO Yu-ping², SUN Dian-yu², WANG Cun²

(1.CNOOC Research Institute, Beijing, 100028, China; 2.Datong Coal Mine Group Company, Datong 037003, Shanxi, China;
3.Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: Based on the base-level cycle principle, the authors studied high-resolution sequence stratigraphic characteristics and coal accumulation of Taiyuan Formation in the Datong coalfield by using borehole, logging and geological data. One long-term base level cycle, three medium-term base level cycles and seven short-term base level cycles were identified. Various sedimentary facies sequences, structure and stacking pattern of short cycle sequences and controlling factors for coal accumulation in different middle cycle sequences were analyzed emphatically and, as a result, the distribution features and log responses of sand bodies and coal seams in the interior were obtained. The research results also show that the accumulation of the coal of Taiyuan Formation was controlled by medium-term base-level changes under the conditions of slight extension and slow subsidence of tectonic setting and humid climate. The late rising half medium-term base-level was favorable for depositing wide and thick coal seams, while thin

收稿日期:2014-08-12;改回日期:2015-02-02

基金项目:国家自然科学基金项目(41272176/D0208)资助。

作者简介:程岳宏,男,1985年生,工程师,从事储层沉积学、石油地质综合评价工作;E-mail:cyhdd6204106@126.com。

layers of carbonaceous mudstone and coal were developed in the early-to-middle period of the rising half medium-term base level or the late period of the falling half level, where the coal seams were distributed sporadically with poor continuity laterally.

Key words: Datong coalfield; Taiyuan Formation; sedimentary characteristics; base level cycles; coal-accumulating process

About the first author: CHENG Yue-hong, male, born in 1985, Geology Engineer, mainly engages in the study of reservoir sedimentology and petroleum geology; E-mail: cyhdd6204106@126.com.

大同煤田的主要含煤地层为侏罗系大同组、石炭系太原组和二叠系山西组,为中国典型的双系煤层。由于早期对浅层侏罗系煤层的长期开采,煤田东部燕山期口泉—鹅毛口逆冲断裂构造特征、大同组沉积特征及赋煤规律,受到许多地质学者的重视与研究,并取得大量成果^[1-4]。随着侏罗纪煤炭资源接近枯竭,深部石炭—二叠系煤层成为主力接替资源,前人对石炭—二叠系盆地演化与沉积环境有一定的研究^[5-10]。随着目前勘探程度的不断深入,3D地震与钻孔资料越来越多,但对大同煤田全区太原组主力含煤层系层序地层、沉积演化特征及基准面旋回对聚煤规律的控制仍缺乏系统研究。因此,在前人研究的基础上,结合大量钻孔岩心、测录井、地震资料对太原组进行高分辨率层序格架识别与划分、中期旋回内沉积演化分析,厘定大同煤田太原组煤层时空分布、聚煤作用及其控制因素。

1 区域地质概况

大同聚煤盆地位于华北克拉通盆地北缘,“阴山古陆南侧”,北接阴山隆起构造带,东南以口泉—鹅毛口逆冲断裂为界,西邻吕梁西石山脉,且西南被洪涛山背斜相隔与宁武盆地相望,整体呈NE-SW向不对称复式向斜,为一典型的石炭—侏罗系双系含煤盆地^[9-10],面积约1900 km²(图1)。受加里东运动的影响,盆地基底早古生代地层为NE高SW低,奥陶系马家沟组遭受不同程度风化剥蚀,缺失上奥陶统与下石炭统,到中石炭世开始接受晚古生代沉积,底部本溪组与下伏地层为不整合接触,形成典型的铝土岩风化壳,全区均可对比;上部晚石炭世太原组、二叠纪山西组及上下石盒子组均以整合接触。太原组是大同煤田晚古生代主要含煤层系,发育三角洲—河流相沉积,厚度一般为80~100 m,最厚可达186 m,总的趋势为北东薄南部厚,由于处于盆地北缘,受陆源影响作用强,砂体类型多,相变复杂,共揭示1~10号煤层,总厚0.06~48 m,其中2

号、3号、3~5号、8号煤层为可采煤层^[8]。

2 高分辨率层序地层划分

2.1 基准面旋回层序划分

在调研华北克拉通北部晚古生代层序地层与沉积特征研究成果的基础上^[5,8,11-15],对太原组整体为陆表海—三角洲—河流沉积环境的认识基本一致,但处于盆地不同位置沉积差异较大,晋中—南发育多层灰岩,晋北大同煤田位于盆地北缘,邻近物源区,碎屑物质供给充足,太原组发育三角洲—河流相沉积环境。因此,本次研究采用适合陆相—过渡相的高分辨率层序地层学理论体系^[16-18],结合岩心、测井、录井和地震资料标定与综合分析,首先确定关键井的短期基准面旋回,由其叠加样式识别划分中期、长期基准面旋回,共将太原组划分为1个长期(LSC1)、3个中期(MSC1~MSC3)和7个短期旋回层序(SSC1~SSC7)(图2)。

2.2 基准面旋回层序特征

2.2.1 短期旋回特征

短期基准面旋回是基于野外露头、岩心和测井相综合识别,其界面多为小规模冲刷面和间歇暴露面,在无岩心和露头区域在测井曲线上多表现为同一沉积体系进积—退积或退积—进积的转换面,研究区太原组共识别出7个短期基准面旋回,多表现为短期基准面上升半旋回或以上半旋回为主的非对称短期基准面旋回,标志着中期基准面升降过程中,曾发生多次强烈侵蚀作用造成短期下降半旋回剥蚀或根本未接受沉积,上升半旋回砂体常见以侵蚀冲刷面接触叠置(图2)。

2.2.2 中期旋回特征

(1)MSC1特征

MSC1位于太原组下部,以基准面上半旋回为主的不对称旋回,由SSC1与SSC2短期旋回组成,即鹅毛口砂岩(K2)底至8号煤层顶及上覆灰岩或泥岩顶。层序底界面之下为本溪组紫红色铁质

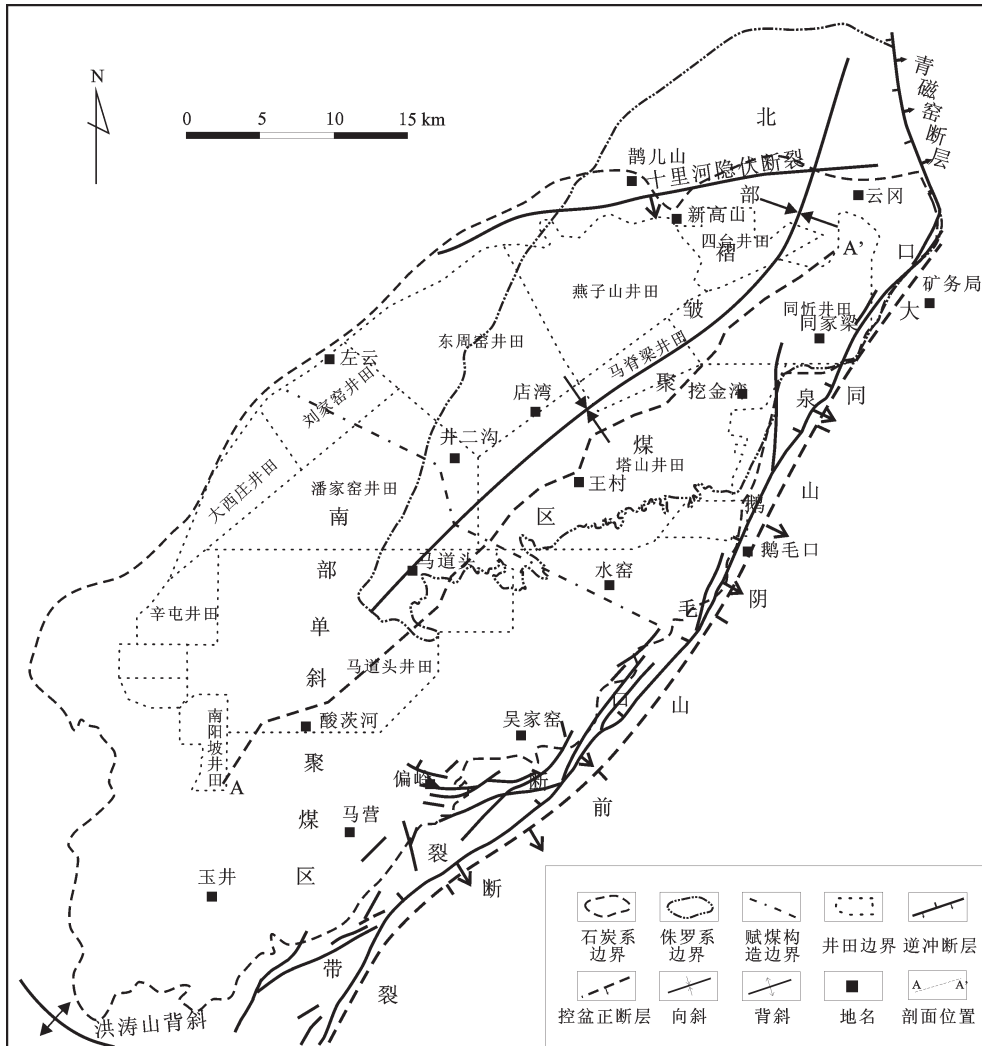


图1 大同煤田构造与赋煤区分布图

Fig. 1 The distribution of structures and coal-bearing districts in the Datong coal mine

泥岩、杂色铝土质泥岩、灰色砂质泥岩、深灰色微晶灰岩(K1)和泥岩,偶夹中、细砂岩的岩性序列,灰岩含有纺锤藻、珊瑚、海百合茎、有孔虫、石燕类化石,属于瀉湖-潮坪相沉积;界面之上太原组岩性为中厚层灰白色、灰黄色中粗砂岩,常含砾石,分选中等,石英含量高,钙质胶结,质硬,又称“鹅毛口”砂岩,为三角洲下平原分流河道沉积,砂岩底部发育小规模滞留沉积,对下伏本溪组进行小型冲刷,是基准面下降于地表之下的侵蚀冲刷面,但由于基准面下降幅度小,且地形平缓,基本不发育下切谷,多以分流河道横向迁移形成的叠加连片的席状砂体,横向对比性好。底界面在天然放射曲线(HG)表现为底部突变、顶部渐变或突变的钟形或箱形测井

相,人工伽马(HGG)与视电阻率(DLW)呈刀坎状接触,该界面反映了沉积环境由潮坪到三角洲的演化。随着基准面上升,向上发育灰色粉砂岩、灰黑色砂质泥岩、泥岩、煤(8、9、10号)和灰岩的岩性组合,其中由于海水入侵8号煤硫分向上明显增高,平均为2.09%,证实了海侵事件的存在。8号煤层或灰岩顶为基准面上升-下降转换面(海泛面),人工伽马(HGG)与视电阻率(DLW)多呈大幅指状交叉的特征,对比性好。顶界面为MSC1下降半旋回与MSC2上升半旋回的转换面,前者保留的地层少,局部为分流间砂质泥岩、铝土质泥岩,且多被MSC2剥蚀,导致MSC1仅发育上升半旋回,海泛面与顶界面重合(图2~图3)。

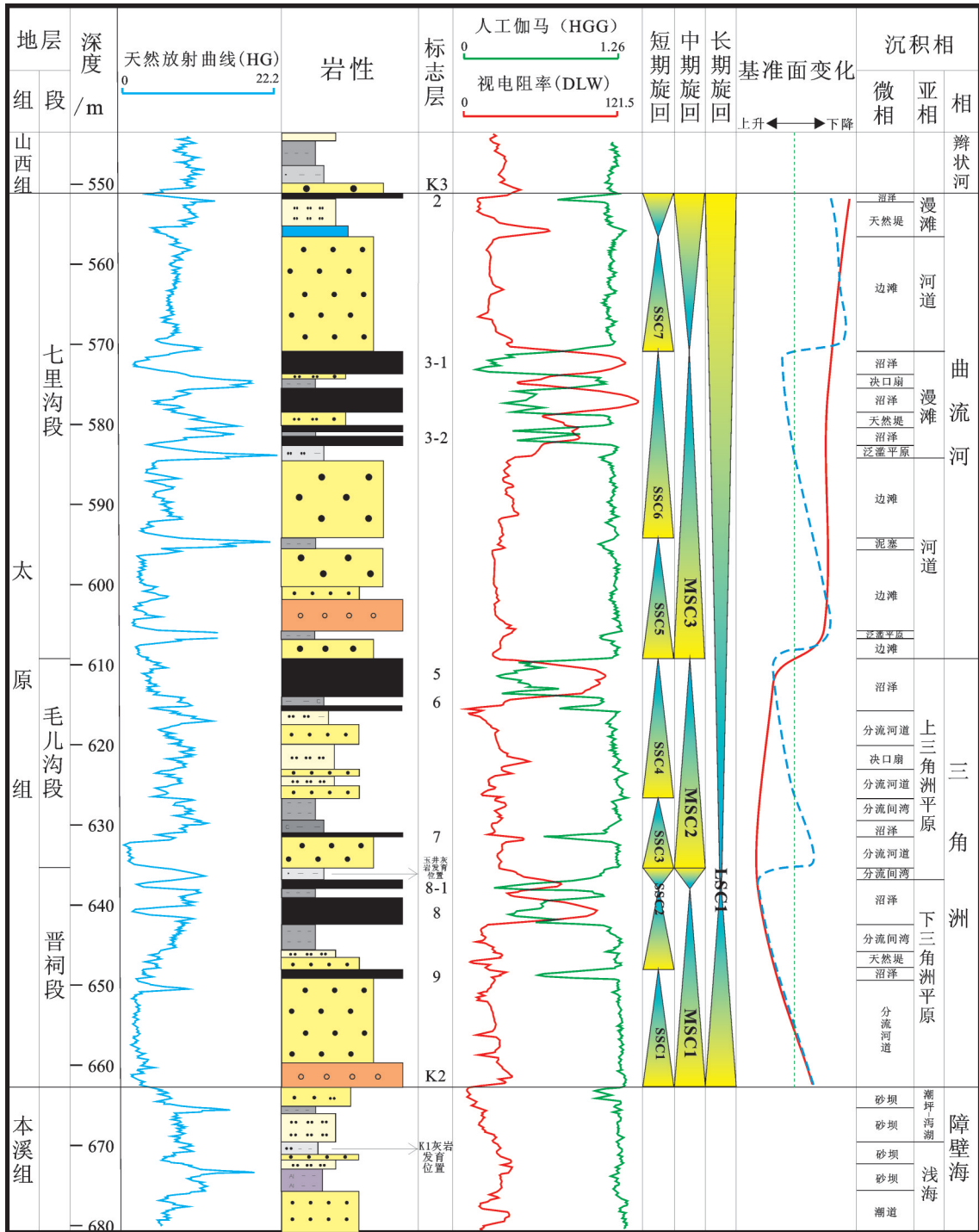


图2 1308井太原组沉积相与高分辨率层序地层划分

Fig.2 Sedimentary facies and high resolution sequence stratigraphy division of the Taiyuan Formation of well 1308

(2)MSC2特征

MSC2位于太原组中部,悟道砂岩底至5号煤层顶,以基准面上升半旋回为主,由SSC3与SSC4短期旋回组成。MSC2底界面位于悟道砂岩底,界

面之下为灰色玉井泥灰岩、深灰色泥岩或8号煤层,界面之上为三角洲平原浅灰色含砾砂岩、中粗砂岩,发育大型槽状、板状交错层理,分选中等一较差,常见植物茎杆、泥砾等滞留沉积,又称“悟道”砂

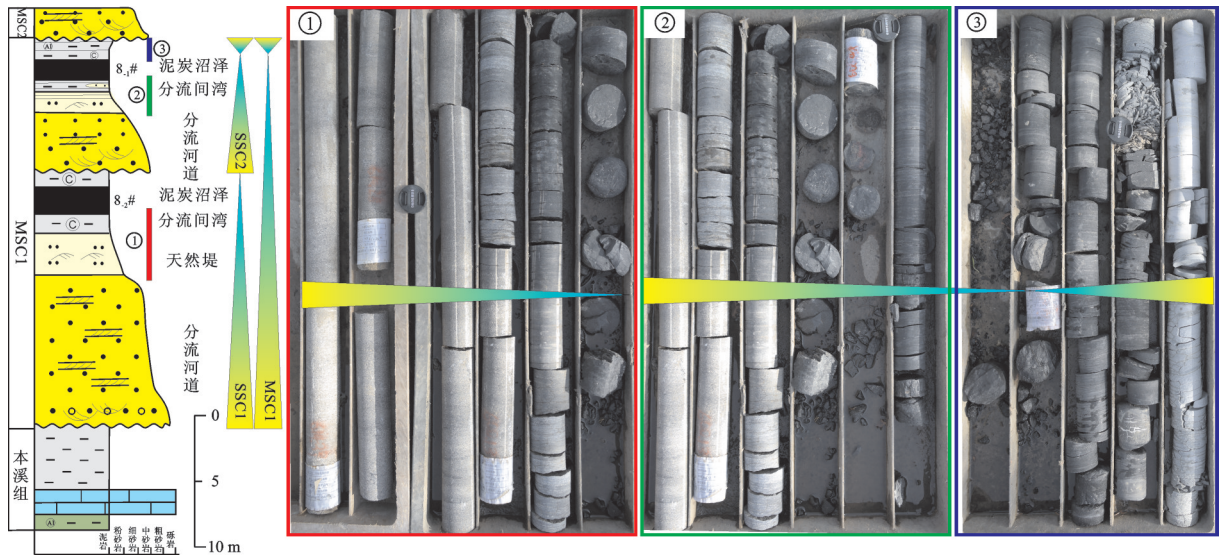


图3 MSC1 沉积序列与中短期旋回叠加样式

Fig.3 Sedimentary log and stacking patterns of middle-term and short-term cycle in MSC1

岩,呈多个底凸顶平的透镜体叠置,对下伏MSC1进行强烈冲刷,反映了MSC1旋回海侵后,基准面快速下降,且幅度大,形成的较大规模下切冲刷河道。随着基准面上升,A/S逐渐增大,向上变为细砂岩、粉细砂岩、灰色泥岩夹7号煤、炭质泥岩和6号、5号煤,其中北东部6号与7号煤之间常发育一套分流河道中粗砂岩-细砂岩,其底为SSC3与SSC4分界面。MSC2顶界面位于5号煤顶或MSC3小峪砂岩底,为一海泛面,人工伽马(HGG)与视电阻率

(DLW)多呈高幅舌状交叉,顶部突变底部渐变,对比性好,反映了中期基准面缓慢上升,快速下降的特征,以至下降半旋回不发育(图2,图4)。

(3)MSC3特征

MSC3位于太原组上部,小峪砂岩或偏岭砂岩底至山西组窑子头砂岩底,以中期基准面上升半旋回为主的非对称旋回,发育SSC5、SSC6、SSC7三个短期基准面上升旋回,均呈现曲流河边滩-天然堤-泛滥平原/泥炭沼泽的相序特征。MSC3底界面是

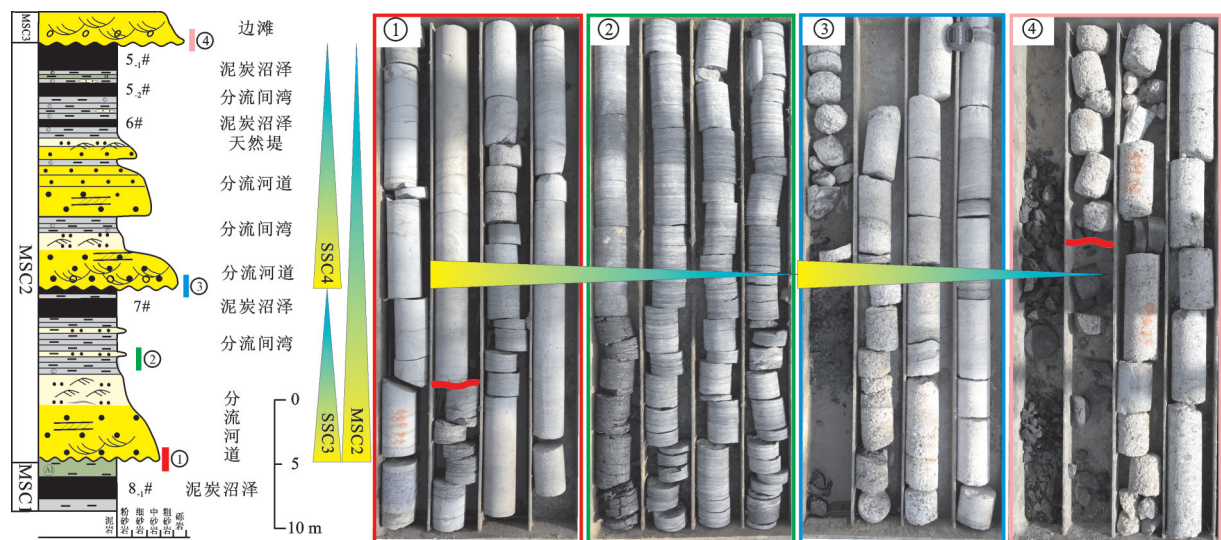


图4 MSC2 沉积序列与中短期旋回叠加样式

Fig. 4 Sedimentary log and stacking patterns of middle-term and short-term cycle in MSC2

一河道冲刷面,界面之下为5号厚煤层或深灰色泥岩、炭质泥岩,界面之上为浅灰色含砾粗砂岩、中砂岩,底部发育薄层细砾岩、泥砾滞留沉积,分选较差,厚度变化大,发育槽状、大型下切板状交错层理,对下伏地层强烈冲刷,属于曲流河边滩沉积,底界面反映了三角洲平原至曲流河沉积环境的转换,MSC2海侵后,基准面再次快速下降—缓慢上升,幅度大,形成较大规模的下切冲刷河道。随着基准面的上升,A/S增大,向上渐变为中、细砂岩、粉砂岩、灰黑色炭质泥岩、泥岩和3号、4号煤,4号煤零星分布,3号煤为可采煤层,分布较稳定,可作为MSC3的最大海泛面(基准面上升—下降转换面),人工伽马(HGG)与视电阻率(DLW)多呈高幅齿状交叉,顶部突变,对比性好。MSC3顶界面位于山西组窑子头砂岩底,是中期基准面下降—上升半旋回的转换面,界面之下为太原组晚期的泛滥平原泥岩,2号煤或决口扇粉砂岩,2号煤层局部可采,煤层分布不稳定,分叉合并频繁;界面之上为山西组辫状河砂砾岩沉积,厚度大,发育大型槽状交错层理,MSC3顶部遭受不同程度侵蚀,局部地区可下切剥蚀至3号煤层,反映了MSC3下降半旋回基准面缓慢下降—快速下降的特征(图2,图5)。

3 层序地层格架构成特征

对煤田内近200口钻井进行沉积微相精细解释

与高分辨率层序划分的基础上,应用基准面旋回等时对比原理,以长、中期旋回的层序界面与洪泛面作为时间对比单元分界线,将最具等时对比意义的中期基准面旋回作为地层对比单元,选择平行与垂直物源方向连井剖面对太原组进行高分辨率层序地层等时对比,建立了16条层序地层对比格架剖面。从横、纵向地层对比格架剖面(图6)可见,沉积序列与基准面旋回特征随离物源远近和所处的地貌位置均存在较大差异。

3.1 MSC1 构成特征

MSC1处于长期基准面旋回上升期,构造活动平稳,以上升半旋回为主,早期发育的鹅毛口砂岩为分流河道沉积,侧向迁移频繁,横向分布稳定,呈席状分布,随着基准面上升,A/S增大,发育中厚层分流间湾泥岩,局部形成零星分布的9、10号煤层,顶部为沼泽相8号煤层、海相泥灰岩和分流间湾铝土质泥岩,8号煤层北薄南厚,平均厚度5~6m,结构简单,层位分布稳定,在马道头井田中东部至东周窑—塔山井田中西部可分为1~3个煤分层,夹矸多为高岭岩和灰色泥岩,局部为小型分流河道砂体。在煤田西南部玉井、马道头、吴家窑一线以南8号煤层之上发育海相泥灰岩(玉井灰岩),反映了区内曾发生过SW至NE向短暂的海侵事件,即灰岩顶部为最大海泛面^[2]。下降半旋回时发生冲刷剥蚀,导致下降半旋回不发育或缺失,局部残余早期分流间灰

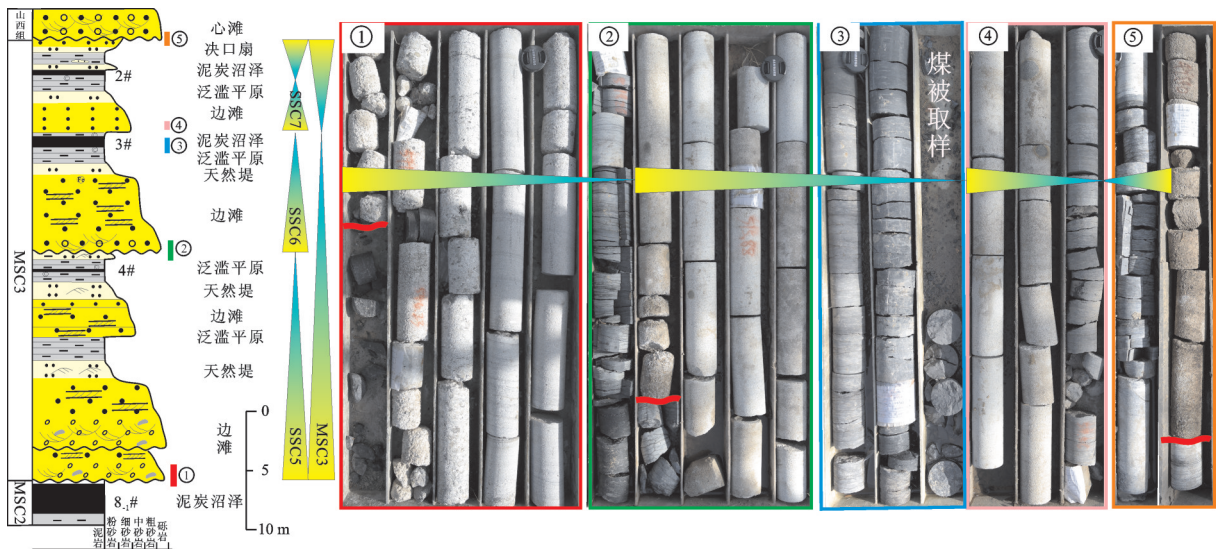


图5 MSC3 沉积序列与中短期旋回叠加样式

Fig. 5 Sedimentary log and stacking patterns of middle-term and short-term cycle in MSC3

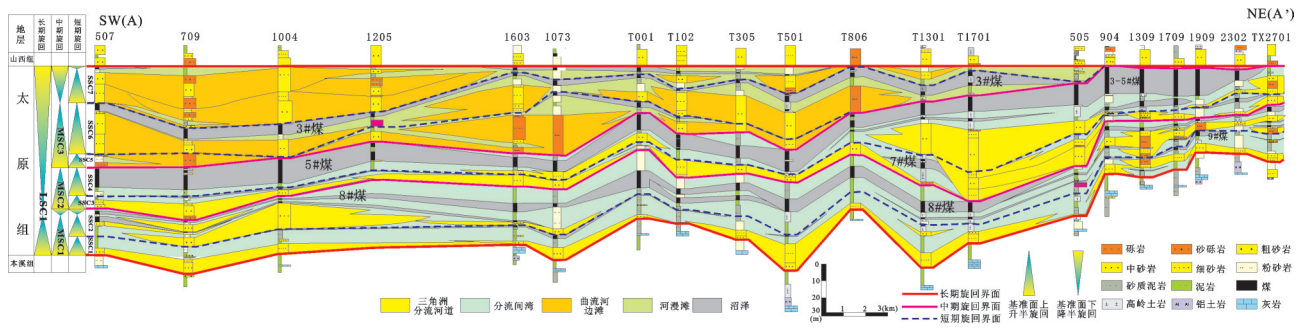


图6 太原组高分辨率层序地层格架与沉积微相对比剖面

Fig. 6 Correlation framework of high-resolution sequence stratigraphy and sedimentary facies in the Taiyuan Formation

色泥岩和绿灰色铝土质泥岩。

3.2 MSC2 构成特征

MSC2 处于长期基准面旋回整体下降早期,仅保存上升半旋回,由 SSC3 与 SSC4 短期上升半旋回构成。SSC3 早期为三角洲平原分流河道砂岩(悟道砂岩),厚度规模整体较大,横向稳定,连续性好,在燕子山—塔山井田东部至同忻井田西部,下切河道冲刷作用尤为明显,并与上覆铁匠沟砂岩叠置,呈 NE-SW 向展布,厚度可达 20~25 m,随着基准面上升,A/S 增大,SSC3 晚期发育分流间湾泥岩、炭质泥岩和 7 号煤层,7 号煤层多零星分布,厚度薄,多小于 1 m,局部被上覆铁匠沟砂岩冲刷。SSC4 早期为分流河道铁匠沟砂岩,砂体规模大,横向变化快,多分布于煤田东北部塔山—燕子山—同忻等井田,煤田西南部多为分流间湾灰色泥岩沉积;SSC4 中晚期基准面持续缓慢上升,发育三角洲平原分流间湾和沼泽,下部为灰色泥岩、炭质泥岩夹 6 号薄煤层,煤层分布于马道头—塔山—同忻井田,平均厚度 0.67 m;上部为 5 号煤层,是太原组最厚煤层,全区分布稳定,但厚度变化大,平均厚度 3~11 m,煤层结构复杂,含 3~5 层夹矸,层数与厚度向北增加,夹矸多为粉砂岩、泥岩,在煤田东部同忻井田、塔山井田东部、马道头西北—大西庄井田区域 5 号与 3 号煤层合并,厚度可达 35 m。

3.3 MSC3 构成特征

MSC3 呈现为以上升半旋回为主的非对称旋回,由 SSC5、SSC6 和 SSC7 短期旋回构成,且处于长期基准面旋回下降晚期,沉积物供给逐渐增多,可容纳空间减小,即 A/S 减小,发育曲流河沉积,总体表现为厚层粗砂体夹薄层泥岩炭质泥岩和煤的岩

性组合特征,砂体与煤层分布显得更加复杂。SSC5 与 SSC6 均为短期基准面上升半旋回,早期分别发育小峪砂岩与偏岭砂岩,粒度较 MSC1、MSC2 砂岩粗,以砂砾岩、粗砂岩为主,呈多期曲流河道冲刷叠置。在东周窑—塔山井田等局部区域 SSC5 晚期发育泥岩与零星分布的 4 号薄煤层,大多区域被 SSC6 早期偏岭砂岩冲刷剥蚀殆尽,并与小峪砂岩叠置合并,发育大型槽状、板状交错层理,下切与侧向迁移作用显著,但主曲流河道带分布稳定,沿燕子山—马脊梁—塔山西—马道头东部一带,近 NE-SW 向展布,同沉积期主河道外以及 SSC6 晚期泛滥平原、沼泽相广泛发育,形成 3 号煤层,是太原组晚期稳定可采煤层,近全煤田分布,平均厚度达 3.52 m,但煤层结构复杂。在主河道外(小峪砂岩与偏岭砂岩不发育区)3 号煤层与 5 号煤层合并,反之分叉。MSC3 下降半旋回,发育 SSC7 不对称短期旋回,煤田东西区域差异较大,在煤田西部(东周窑—塔山井田中部为界)旋回早期发育大规模厚层东山砂岩,局部下切对 3 号煤层冲刷剥蚀,晚期为泛滥平原泥岩与局部沼泽相,偶形成 2 号薄煤层,煤层稳定性差,不可采;在东部河道砂岩不发育,多为泛滥平原泥岩夹 2 号煤层,在燕子山—南部、马脊梁与同忻井田局部可采,厚度可达 2 m 多;另外在燕子山—东北与四台井田被山西组或永定庄组不同程度冲刷剥蚀,MSC3 下降半旋回不发育。

4 聚煤作用探讨

煤层的聚集通常受古植物发育与演化、古构造、古气候等多种地质因素综合作用和影响的结果,通常需要相对稳定的构造背景、潮湿气候、沉积

环境、较高的地下水位、较长的堆积时间和低的陆源沉积补给量等条件^[17-18],并且只有可容纳空间增长速率与泥炭堆积速率达到相对平衡时,有机质才得以持续堆积保存,易形成厚煤层。可容纳空间、水位的变化及沉积物供给、古气候与基准面升降变化有着密切的成因关系,而基准面旋回升降变化直接控制了沉积相带变迁、砂、泥岩和煤层规模与空间展布。

4.1 古构造与古气候条件

大同煤田属于华北克拉通盆地一部分,古构造与古气候均其响应一致。中奥陶世以来,受加里东运动的影响,缺失了上奥陶统、志留系、泥盆系及下石炭统,沉积间断长达138 Ma。自中石炭世,海西期NS向挤压使古秦岭洋和古亚洲洋的闭合,分别形成南缘秦岭—大别山和北缘兴蒙造山带^[19],华北克拉通再次沉降形成巨型陆表海盆地,而大同煤田位于盆地北缘,中石炭世—早二叠世构造活动稳定,基底沉降速率平均为1.7 m/Ma,沉积速率平均为2.635 m/Ma;而中晚二叠世,北部挤压作用进一步加强,构造活动强烈,物源供给充足,基底沉降速率平均为20.3 m/Ma,沉积速率平均为25.08 m/Ma,以至大同煤田山西组—石盒子组均无煤层富集。华北晚古生代整体为热带—亚热带潮湿的气候条件,蕨类鳞木类植物繁盛,多生长在温暖潮湿的沼泽环境,是中国华北板块主要聚煤植物之一^[20],但板内不同区域气候条件又有所差异,在大同煤田石炭—二叠系太原组与山西组下部煤系地层泥岩多为灰色、深灰色,且发育10多层高岭岩,反映了本区成煤期处于温暖潮湿、还原的古气候条件;到晚二叠世,上下石盒子组及石千峰组泥岩颜色逐渐变为杂色、棕褐色,也不发育高岭岩,表明古气候条件转变为干旱氧化环境。因此,缓慢的构造沉降与温暖潮湿的古气候条件是太原组成煤的基本条件。

4.2 沉积环境与基准面旋回

在区域聚煤期古构造、古地理、古气候稳定的背景下,煤层的发育层位、时空分布、规模以及结构的复杂程度,主要受中期基准面旋回格架内沉积微相变迁及基准面变化速率与泥炭堆积速率之间的相对平衡状态控制^[21]。大同煤田位于华北石炭—二叠系陆表海盆地的北缘,主要经历了潟湖—潮坪相—三角洲相—河流相的海退沉积序列。就太原组

而言,主要发育三角洲—曲流河沉积体系,分流间湾与河漫滩沼泽是主要的成煤环境,从露头与钻井对比结果表明,8号、5号和3号厚—巨厚煤层均分布于中期基准面上升半旋回晚期。

MSC1 沉积期,相当于长期基准面上升半旋回,主要发育分流河道砂岩—分流间湾泥岩—沼泽炭质泥岩、煤—西南区局部海相灰岩—分流间铝土岩与砂至泥岩的三角洲下平原沉积序列,且8号煤层硫分高及顶板灰岩的发育反映了MSC1海平面持续上升,存在一期海侵事件,中期基准面以上升半旋回为主,早期三角洲水动力条件强,物源供给充足,泥炭堆积速率远超出可容纳空间增长速率,因此早中期未形成厚煤层,局部见薄层9号煤层与炭质泥岩;随着基准面继续上升,A/S逐渐增大,可容纳空间增长速率与泥炭堆积速率近达到平衡状态,即在最大海泛面附近形成分布面积广、厚度变化小、结构简单、横向稳定的8号可采煤层。

MSC2 沉积期,相当于长期基准面下降半旋回早期,是三角洲平原发育的鼎盛时期。中期基准面旋回上升早中期,物源供给充足,发育多期叠置的厚层分流河道砂体—中薄层分流间泥岩的沉积相序组合,水动力条件强,A/S较小,泥炭堆积速率远大于可容纳空间增长速率,且河道的频繁冲刷迁移,导致泥炭难以保存,局部发育7号薄煤层,是受SSC3控制,分布于短期基准面上升晚期,横向稳定性差,厚度小;中期基准面上升晚期,A/S增大,发育分流间湾与沼泽沉积,水动力弱,可容纳空间增长速率与泥炭堆积速率达到平衡状态,形成分布面积广、厚度变化大、结构复杂、横向稳定的太原组最厚的5号可采煤层。

MSC3 沉积期,相当于长期基准面下降半旋回晚期,区域海平面继续下降且沉积物供给更加充足,沉积环境过度为曲流河沉积。由于河流沉积的特殊性,中期基准面旋回多以基准面上升半旋回为主的非对称旋回,才可使河流沉积得以保存。中期基准面旋回上升早中期,物源供给充足,发育多期叠置的边滩砂体夹薄层泛滥平原泥岩,A/S<1,河道水动力条件强,河道活动强烈,下切作用显著,SSC5与SSC6在主河床带内,边滩砂体以冲刷面叠置合并,泥炭很难保存,不利于煤层形成,在局部片区发育受SSC5晚期控制的4号薄煤层,零星分布,横向

稳定性很差。中期基准面上升晚期,即SSC6晚期, $A/S>1$,泛滥平原沼泽化,水动力条件变弱,可容纳空间增长速率与泥炭堆积速率可达到平衡状态,形成分布面积较广、厚度变化大、结构复杂的3号可采煤层;由于河道的持续下切作用,限制了河道的决口改道,在主河床带两侧长期处于赋水沼泽或沉积间断,导致3~5号煤层合并,形成巨厚煤层。中期基准面旋回下降期, $A/S<1$,沉积物供给大,沉积作用强而时间短,河道活动更加强烈,侧向迁移显著,砂体叠置规模更大,造煤植物不易长时间生长保存,聚煤作用差,煤田中西部多发育厚层砂体,仅在东北部局部发育泛滥平原与泥炭沼泽相,形成一些零星分布的薄煤层、煤线(1、2号煤),其多发育于SSC6基准面上升最大期,但同时受后期山西组基准面快速下降,砂体下切剥蚀,使SSC6难以保存,山西组底部窑子头砂体直接与3号煤层接触。

5 结 论

(1)大同煤田太原组发育三角洲平原-曲流河沉积体系,发育1个长期基准面旋回(LSC1),3个中期基准面旋回(MSC1~3)和7个短期基准面旋回(SSC1~7),中、短期旋回层序主要形成于 $A/S\ll 1 - A/S>1$ 的基准面缓慢上升和高速下降过程中,发育以上升半旋回为主的不对称旋回和仅保存上升半旋回的结构类型。

(2)煤层的发育层位、时空分布主要受中期基准面变化和泥炭堆积速率控制。厚煤层(3、5、8号煤)常发育于中期基准面上升晚期泥炭沼泽微相,展布面积广,煤层结构相对简单,横向稳定性好;而短期基准面上升晚期,可容纳空间增长速率与泥炭堆积速率也可达到相对平衡状态,但持续的时间短,易形成厚度薄、零星分布、横向稳定性差的薄煤层和煤线(1、2、4、6、7、9号煤),多不可采,达不到工业价值。

参考文献(References):

[1] 杜丕. 大同煤田区域构造特征及与邻区构造关系[J]. 地质论评, 1964, 22(4): 259-266.
Du Pi. Regional tectonic characteristics and relationships to the adjacent regions in Datong Coalfield [J]. Geological Review, 1964, 22(4): 259-266 (in Chinese with English abstract).
[2] 大同矿务局. 大同矿区侏罗系煤田地质总论[M]. 北京: 科学出版

社, 1996: 68-83.

Datong Coal Mine Group. Jurassic Coal Field Geological Review in Datong Coal Field[M]. Beijing: Science Press, 1996: 68-83 (in Chinese).

- [3] 赵明鹏, H.Lutge. 山西口泉断裂与大同侏罗纪煤田的关系[J]. 华北地质矿产杂志, 1996, 11(1): 93-98.
Zhao Mingpeng, H.Lutge. Studies on the relationship between Kouquan fault and Datong Jurassic coal field[J]. Journal of Geology & Mineral Resources of North China, 1996, 11(1): 93-98 (in Chinese with English abstract).
[4] 张兆琪. 山西大同口泉山隆升-挠褶构造研究[J]. 地质调查与研究, 2008, 31(4): 291-296.
Zhang Zhaoqi. Study on the uplift-flexural fold structure in Kouquan Mountain, Datong area [J]. Geological Survey and Research, 2008, 31(4): 291-296(in Chinese with English abstract).
[5] 赵省民, 郑凌茂. 山西大同晚古生代含煤地层的沉积特征及其层序意义[J]. 地质评论, 1997, 43(1): 85-90.
Zhao Shengmin, Zhen Junmao. Depositional characteristics and sequence stratigraphic significance of late Paleozoic coal-bearing strata in Datong, Shanxi [J]. Geological Review, 1997, 43(1): 85-90(in Chinese with English abstract).
[6] 周安朝. 华北地块北缘晚古生代盆地演化及盆山耦合关系[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2002: 16-54.
Zhou Anchao. Basin-mountain Coupling Relation and Evolution of Late Paleozoic Basin in the Northern Borderland of North China Massif[M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 2002: 16-54 (in Chinese).
[7] 郝宝华. 大同晚古生代聚煤盆地砂体特征及其构造意义[D]. 太原: 太原理工大学, 2006: 22-60.
Xi Baohua. The Characteristic And Tectonic Significance of Sandbodies In Datong Late Paleozoic Coal-forming Basin[D]. Taiyuan: Taiyuan University of Technology, 2006: 22-60 (in Chinese).
[8] 周安朝. 大同晚古生代含煤盆地地质学研究[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2010: 15-48.
Zhou Anchao. Geological Studies in Datong Late Paleozoic Coal-forming Basin[M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 2010: 15-48(in Chinese).
[9] 袁远, 曹代勇, 林中月, 等. 大同煤田构造控煤特征研究[J]. 中国煤炭地质, 2011, 23(8): 63-65, 77.
Yuan Yuan, Cao Daiyong, Lin Zhongyue, et al. Study on structural coal-control characteristics in Datong coalfield [J]. Coal Geology of China, 2011, 23(8): 63-65(in Chinese with English abstract).
[10] 郝宝华, 赵文艳. 山西大同煤田石炭系物源区构造背景分析[J]. 中国煤炭地质, 2011, 23(9): 14-18.
Xi Baohua, Zhao Wenyan. Tectonic Setting Analysis of Datong Coalfield Carboniferous Provenance in Shanxi [J]. Coal Geology of China, 2011, 23(9): 14-18(in Chinese with English abstract).
[11] 李宝芳, 温显端, 李贵东. 华北石炭、二叠系高分辨层序地层分

- 析[J]. 地学前缘, 1999, 6, (增刊): 81-94.
- Li Baofang, Wen Xianduan, Li Guidong. High resolution sequence stratigraphy analysis on the Permo-Carboniferous in North China platform[J]. Earth Science Frontiers, 1999, 6(Supp): 81-94(in Chinese with English abstract).
- [12] 李增学, 余继峰, 郭建斌, 等. 陆表海盆地海侵事件成煤作用机制分析[J]. 沉积学报, 2003, 21(2): 288-296,306.
- Li Zengxue, Yu Jifeng, Guo Jianbin, et al. Analysis on coal formation under transgression events and its mechanism in epicontinental sea basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(2): 288-296, 306(in Chinese with English abstract).
- [13] 吕大伟, 李增学, 刘海燕. 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.
- Lu 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 (in Chinese with English abstract).
- [14] 鲁静, 邵龙义, 孙斌, 等. 鄂尔多斯盆地东缘石炭-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 (in Chinese with English abstract).
- [15] 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 (in Chinese with English abstract).
- [16] 郑荣才, 吴朝容, 叶茂才. 浅谈陆相盆地高分辨率层序地层研究思路[J]. 成都理工学院学报, 2000, 27(3): 241-244.
- Zheng Rongcai, Wu Chaorong, Ye Maocai. Research thinking of high-resolution sequence stratigraphy about a terrigenous basin[J]. Journal of Chengdu University of Technology, 2000, 27(3): 241-244 (in Chinese with English abstract).
- [17] 李仰春, 杨晓平, 金哲岩, 等. 黑龙江东部始新统虎林组中期基准面旋回与聚煤作用[J]. 中国地质, 2008, 35(4): 699-705.
- Li Yangchun, Yang Xiaoping, Jin Zheyang, et al. Medium-term datum plane cycle and coal-accumulating processes of the Eocene Hulin Formation in eastern Heilongjiang[J]. Geology in China, 2008, 35(4): 699-705(in Chinese with English abstract).
- [18] 梁积伟, 李文厚. 鄂尔多斯盆地东北部山西组高分辨层序地层学研究[J]. 沉积学报, 2006, 24(2): 251-258.
- Liang Jiwei, Li Wenhou. High-resolution sequence stratigraphy of Shanxi Formation(Permian) in Northwestern portion of Ordos basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2006, 24(2): 251-258 (in Chinese with English abstract).
- [19] 林进, 李云, 何剑. 鄂尔多斯延长探区本溪组物源及沉积体系分析[J]. 中国地质, 2013, 40(5): 1542-1551.
- Lin Jin, Li Yun, He Jian. An analysis of the source and the sedimentary system of the Carboniferous Benxi Formation in Yanchang area of Ordos Basin[J]. Geology in China, 2013, 40(5): 1542-1551(in Chinese with English abstract).
- [20] 陈芬, 王京东, 孙克勤. 山西大同煤田晚石炭世晚期和早二叠世早期植物群[J]. 现代地质, 1997, 11(2): 131-138.
- Chen Fen, Wang Jingdong, Sun Keqin. Late Late Carboniferous and Early Early Permian Flora in Datong Coalfield of Shanxi[J]. Geoscience, 1997, 11(2): 131-138 (in Chinese with English abstract).
- [21] 宋建军, 董大啸, 邵龙义. 河南登封晚古生代层序地层及聚煤特征研究[J]. 中国地质, 2010, 37(1): 167-173.
- Song Jianjun, Dong Daxiao, Shao Longyi. Sequence stratigraphic analysis and characteristics of late Paleozoic coal accumulation in Dengfeng, Henan Province[J]. Geology in China, 2010, 37(1): 167-173(in Chinese with English abstract).