第 28 卷　第 2 期
2026 年　4 月

古　地　理　学　报
JOURNAL OF PALAEOGEOGRAPHY（Chinese Edition）

Vol. 28　No. 2
Apr. 2026

文章编号：1671-1505(2026)02-0695-13　　**DOI**:10.7605/gdlxb.2026.034

豫东地区石炭—二叠纪含煤岩系层序—古地理与聚煤规律*

吴会永[1]　许礼纪[2]　朱绍军[1]　张孟鸽[2]　许　军[1]　史小卫[1]　邵龙义[2]

1 河南省地质研究院，河南郑州 450001

2 中国矿业大学（北京）地球科学与测绘工程学院，北京 100083

摘　要　豫东地区位于华北盆地南缘，是目前中国进行煤系气勘探开发的主要地区之一，石炭—二叠纪是其主要聚煤期。在对钻孔岩心、露头剖面及测井资料分析的基础上，建立了豫东地区石炭—二叠纪海陆过渡相含煤岩系的层序地层格架，将含煤岩系划分为 3 个三级层序。并结合地层厚度、石灰岩含量、泥岩厚度、砂泥比、煤层厚度等值线图，恢复了各层序的古地理图，主要的古地理单元有三角洲、潮汐沙坝、潮坪—潟湖和碳酸盐岩台地等，层序Ⅰ和层序Ⅱ煤层形成于潮坪—潟湖环境，层序Ⅲ煤层形成于三角洲平原环境以及潮坪—潟湖环境。豫东地区层序Ⅰ底部的 0 号煤层以及顶部的一$_5$煤层和层序Ⅲ的二$_1$煤层发育较好，0 号煤层和一$_5$煤层形成于浅水陆棚淤浅而成的泥炭沼泽环境中，位于层序Ⅰ的初始海泛面附近和高位体系域末期，此时海平面上升速率慢，较慢的可容空间增长速率与较慢的泥炭聚集速率相平衡，形成厚煤层，层序Ⅰ时期 0 号煤层在柘城一带发育较好，一$_5$煤层在淮阳附近发育较好；二$_1$煤层形成于分流间湾淤浅而成的泥炭沼泽中，在层序格架中，位于层序Ⅲ最大海泛面附近，此时海平面上升速率较快，较快的可容空间的增长速率与较高的泥炭聚集速率相平衡，形成该厚煤层，二$_1$煤层在柘城以及太康、淮阳等地区发育较好。

关键词　层序地层格架　岩相古地理　聚煤模式　石炭—二叠纪　海陆过渡相　豫东地区

第一作者简介　吴会永，男，1983 年生，硕士，高级工程师，从事煤及煤系气勘查开发研究工作。E-mail：286677899@qq.com。

通讯作者简介　邵龙义，男，1964 年生，中国矿业大学（北京）地球科学与测绘工程学院教授，博士生导师，主要从事沉积学、层序地层学及煤田地质学教学及研究工作。E-mail：ShaoL@cumtb.edu.cn。

中图分类号：P618.11　　**文献标志码**：A

Characteristics of sequence-palaeogeography and coal-accumulating models of the Permo-Carboniferous coal-bearing series in eastern Henan Province

WU Huiyong[1]　XU Liji[2]　ZHU Shaojun[1]　ZHANG Mengge[2]　XU Jun[1]　SHI Xiaowei[1]　SHAO Longyi[2]

1 *Henan Academy of Geology*, *Zhengzhou* 450001, *China*

2 *College of Geoscience and Surveying Engineering*, *China University of Mining and Technology* (*Beijing*), *Beijing* 100083, *China*

* 河南省地质研究院院管科研项目“豫东地区深部煤系气有利区优选方法研究及示范”（编号：2023-331-XM022-KT03）及“南华北盆地深部煤系气储层物性特征及立体压裂模拟研究”（编号：2024-352-XM025-KT05）资助。[Co-funded by the research projects of Henan Academy of Geology including “Research and Demonstration of Optimal Selection Methods for Beneficial Areas of Deep Coal-Measures-Gas in Eastern Henan Province”（No. 2023-331-XM022-KT03）and “Research on Reservoir Properties and Stereoscopic Fracturing Simulation of Deep Coal-Measures-Gas in the Southern North China Basin”（No. 2024-352-XM025-KT05）]

收稿日期：2025-06-18　　改回日期：2025-07-20

Abstract The eastern Henan Province is located at the southern edge of the North China Basin and is currently one of the main areas for coalbed methane exploration in China. The Permo-Carboniferous is the main coal-forming period in this area, and the coal measures were deposited in the marine-terrestrial transitional environments, being characterized by a wide and stable distribution. On the basis of drilling date, outcrop sections and geophysical logging date, the sequence stratigraphic framework was established for the Permo-Carboniferous coal measures in this area. Based on the regional unconformity surface, the coal-bearing series in the study area are subdivided into three third-order sequences. Combined with formation, percentages of limestones, mudstone thickness, sandstone to mudstone thickness ratios, coal thickness contour map, restore the sequence of the palaeogeographical maps, the main palaeogeographical unit with delta plain, barrier island, tidal-lagoon, and carbonate shelf. The coals in sequence Ⅰ and sequence Ⅱ were mainly formed in the tidal-lagoon environment, while the coals in sequence Ⅲ were formed in the delta plain and tidal environment. Among them, the major coal seam (A-0, A-5) in sequence Ⅰ and the major coal seam (B-1) in sequence Ⅲ are well developed. The A-0 and A-5 coal seam were formed in a peat swamp developed from the offshore shelf settings, located near the initial flooding surface and the end of the HST in sequence Ⅰ where the slow rate of sea level rise and thus the slow rate of accommodation space growth was balancing with the slow rate of peat accumulation, A-0 coal seam developed well in Zhecheng area and A-5 coal seam developed well in Huaiyang area. The B-1 coal seam was formed in the peat swamp environment developed from of the fluvial-dominated shallow water delta plain, near the maximum flooding surface of sequence Ⅲ where the fast sea level rise and thus the fast growth rate of the accommodation growth was well matching the high rate of peat accumulation. The balance between the rates in peat accumulation and the rates in accommodation space creation is a key condition for coal accumulation in the sequence stratigraphic framework. The B-1 coal seam developed well in Zhecheng, Huaiyang and Taikang areas.

Key words sequence stratigraphic framework, lithofacies palaeogeography, coal-accumulating model, Permo-Carboniferous, marine and terrestrial transitional facies, easrern Henan Province

About the first author WU Huiyong, born in 1983, is a senior engineer. He is mainly engaged in coal and coal-gas exploration and development research work. E-mail: 286677899@qq.com.

About the corresponding author SHAO Longyi, born in 1964, is a professor and doctoral supervisor of College of Geoscience and Surveying Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), with main research interests in sedimentology, sequence stratigraphy and coal geology. E-mail: ShaoL@cumtb.edu.cn.

近年来，深部煤层气成为非常规油气资源勘探开发的热点领域（秦勇，2023；徐凤银等，2023）。豫东地区作为华北晚古生代聚煤盆地的一部分，其石炭—二叠系蕴含着丰富的煤炭资源，是未来南华北深部煤层气及页岩气勘探开发的主力地区（张小东等，2018；杨燕青等，2019；李延河等，2024），但是由于豫东地区含煤岩系埋深较大，未作为早期勘探重点地区，所以赋存非常规天然气的煤层和泥质岩的分布规律并不十分明确。

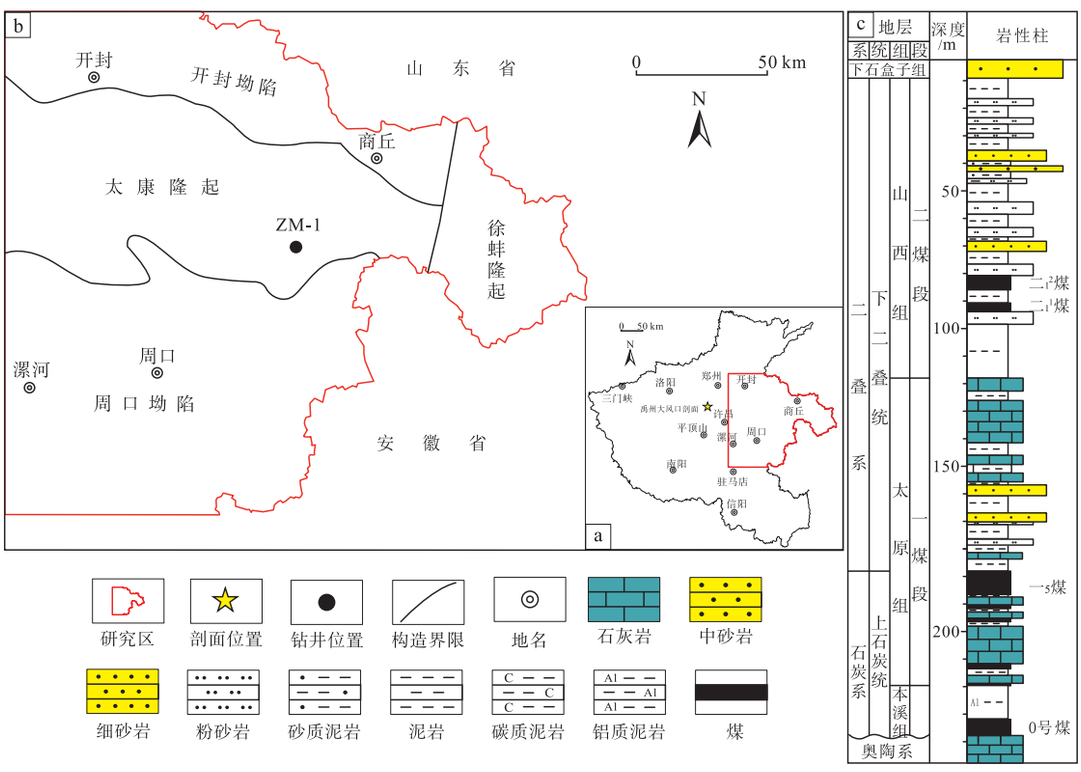
层序地层格架下厚煤层的分布模式引起了众多地质学者的兴趣（Diessel，1992；Bohacs and Suter，1997；李增学等，2000），尤其是可容空间增加速率与泥炭堆积速率的比率被用来解释在一个可容空间周期内泥炭/煤的厚度变化特征（Diessel *et al.*，2000）。邵龙义等（2021）认为近海环境的聚煤作用实际上是海平面（基准面）上升过程中发生的，同时提出煤层厚度取决于可容空间增加速率与泥炭堆积速率之间的相对平衡状态：在靠陆一侧河流和三角洲平原沉积体系中，厚煤层主要出现在最大海泛面位置；而在靠海一侧潮汐沙坝—潟湖

或碳酸盐岩台地沉积体系中，厚煤层主要出现在初始海泛面的位置；但就整个三级复合层序来说层序中厚度最大、分布最广的煤层主要分布于可容空间增加速率最大的最大海泛面附近的位置（Shao *et al.*，2003；邵龙义等，2021）。近年来，等时性的层序地层格架的建立预测厚煤层的分布规律得到了广泛运用（张月等，2023；康世龙等，2024），此外，层序地层学方法也成功应用于富有机质细粒沉积岩分布规律（Bohacs and Lazar，2022）。豫东地区属于华北海陆过渡相聚煤盆地的一部分，主要目标煤层包括本溪组的 0 号煤层，太原组中部一$_5$煤层以及山西组下部的二$_1$煤层，运用层序—古地理方法可以获得煤层及泥质岩厚度变化规律，为未来深部煤层气及页岩气的勘探开发提供理论支撑。

以豫东地区石炭—二叠纪含煤岩系为研究对象，运用层序地层学方法建立等时地层格架，并进行岩相古地理分析，有助于了解研究区的煤及富有机质泥岩的聚集规律，为研究区未来深部煤层气及页岩气勘探开发提供依据。

1　区域地质概况

豫东地区位于河南省东部平原覆盖区（图 1-a），包括开封市、商丘市、周口市 3 个地级市。豫东地区在古构造上属于华北板块南缘，其基底属于华北地台的组成部分。中奥陶世开始，华北地台两侧板块在加里东运动作用下相向俯冲和挤压使得华北地台抬升、遭受剥蚀；至石炭纪才开始重新下沉，接受沉积（尚冠雄，1997）。早石炭世，由于海西运动，秦岭造山带逐渐隆升，华北板块整体向北倾斜，形成“南高北低”的构造格局；晚石炭世，北方西伯利亚—蒙古板块由北向南俯冲至华北板块北缘之下，形成内蒙古隆起，华北板块北部盆地开始接受沉积；石炭世末期，华北板块南缘受到秦岭—大别造山带的挤压、形成了拗陷盆地并开始接受的陆表海沉积（Dong and Santosh，2016）。二叠纪，由于内蒙古隆起持续上升伴随着古亚洲洋的逐渐闭合和中亚造山带的形成，华北板块转变为“北高南低”的构造格局，后期又经过多期构造演化形成了现今棋盘格状的构造格局（何明喜等，



a—豫东地区位置图；b—豫东地区构造简图（高建平等，2006）；c—豫东地区综合地层柱状图

图 1　豫东地区区域地质背景

Fig. 1　Regional geological background in eastern Henan Province

2012)。

豫东地区位于华北板块南缘，北部为开封坳陷，中部为太康隆起，南部为周口坳陷，东部为徐蚌隆起(图 1-b)，形成近东西走向的“两坳夹一隆”的构造格局（高建平等，2006；张小东等，2018)。豫东地区石炭—二叠纪自下而上发育的地层主要包括本溪组、太原组、山西组、下石盒子组、上石盒子组和石千峰组，主要含煤岩系为本溪组、太原组和山西组（河南煤田地质公司，1991)。本溪组以灰色、深灰色铝土质泥岩为主，含大量菱铁质鲕粒，与下伏中奥陶统马家沟组呈现平行不整合接触；太原组为含煤地层，即一煤段，由薄、中厚层状石灰岩、泥岩、砂质泥岩、中细砂岩组成，含薄煤 4~6 层；山西组为该区域主要含煤地层，二煤段，底部为黑色泥岩，上止于砂锅窑砂岩底界，由灰黑色泥岩、砂质泥岩、粉砂岩、中细粒砂岩组成，含煤 1~4 层，分布于中下部，其中二$_1$煤是本区主要可采煤层(图 1-c)。

豫东地区作为南华北盆地的一部分，前人研究认为：成煤环境以潟湖相和三角洲相为主（杨起等，1982；桑树勋等，2001)。近年来，新的研究表明华北石炭—二叠纪主要为海陆过渡沉积环境（邵龙义等，2014)。本溪组和太原组沉积期主要为碳酸盐岩台地—潮汐沙坝—潟湖沉积体系，本溪组铝土质泥岩和泥岩为潟湖相沉积，潮汐沙坝相沉积以细粒砂岩为主，太原组上部和下部的石灰岩为碳酸盐岩台地相沉积，中部的砂泥岩段为障壁岛相砂岩和潟湖相泥岩；山西组二$_1$煤下部为潮坪沉积体系，根据岩相特征可识别出砂坪、混合坪、泥坪等微相；山西组二$_1$煤及其上部到上石盒子组为三角洲沉积体系，主要发育三角洲平原相（宋建军等，2021)。

2 层序关键界面识别及划分原则

豫东地区石炭—二叠系含煤地层层序的划分，最重要的就是鉴别层序界面，综合华北盆地的沉积特点和区域地质背景，下面几类界面可以作为层序识别的关键界面：

2.1 三级层序界面（SB）

1）区域不整合面：由古构造运动形成的不整合面，往往与构造运动相对应。例如研究区石炭系底面与中奥陶统石灰岩顶面之间的平行不整合面，是由于加里东运动导致华北地台的剧烈抬升，盆地无法继续接受奥陶纪碳酸盐沉积形成（刘波等，1999)。该界面在全区普遍发育并易于追踪对比，故将其作为识别研究区三级层序 I 的底界面。

2）海侵方向的转换面：在研究区太原组中部一$_5$煤（对应山西省太原西山剖面 8 号煤）沉积之后(图 2-a)，在同生构造控制下，华北地台由原先的“南升北降”转为“北升南降”，南部地势降低，海侵方向由北东向转变为南东向。通过华北地区的古地理恢复，该海侵方向的转换面被识别出来，为研究区典型的层序界面（尚冠雄，1997)。

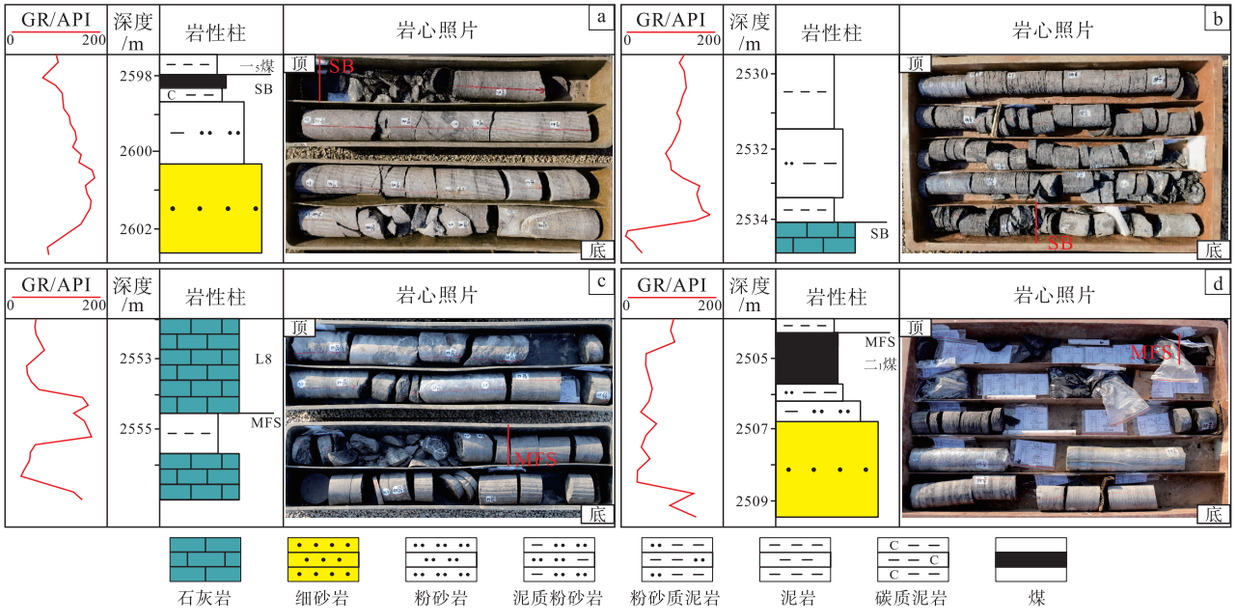
3）河流下切河谷冲刷面：大型河流在随基准面下降，导致水体流速加大，对其下伏地层进行冲刷所形成的不整合面（邵龙义等，2014)。例如研究区的下石盒子组底部的砂锅窑砂岩，这些砂岩底面均属于河流下切冲刷形成的层序界面(图 3-a)，其上下相邻的岩相组合、陆源碎屑成分、沉积环境以及地化指标等都有明显的变化。

4）沉积相转换面：沉积相转换面是沉积相随基准面变化而发生转变的分界面，通常表现为岩性或地层颜色的突变，是一种易于识别的层序界面。豫东地区太原组和山西组之间存在沉积相转换面，沉积相由太原组的碳酸盐岩台地相石灰岩沉积突然转变为山西组底部的潮坪相泥质沉积(图 2-b)，代表了一个沉积相转换型的层序界面。

5）古土壤层：古土壤层通常指的是河道间的细粒沉积区暴露于地表后经历成土作用形成，代表着一段时间的沉积间断，常与河流下切谷共生，可作为不整合的层序界面（邵龙义等，2008)。研究区石炭—二叠系各地层单元均可见古土壤层，例如山西组底部的古土壤层，下石盒子组底部的根土岩等(图 3-b)，均可作为缺少下切谷砂体的情况下的层序界面。

2.2 三级初始海泛面（IFS）

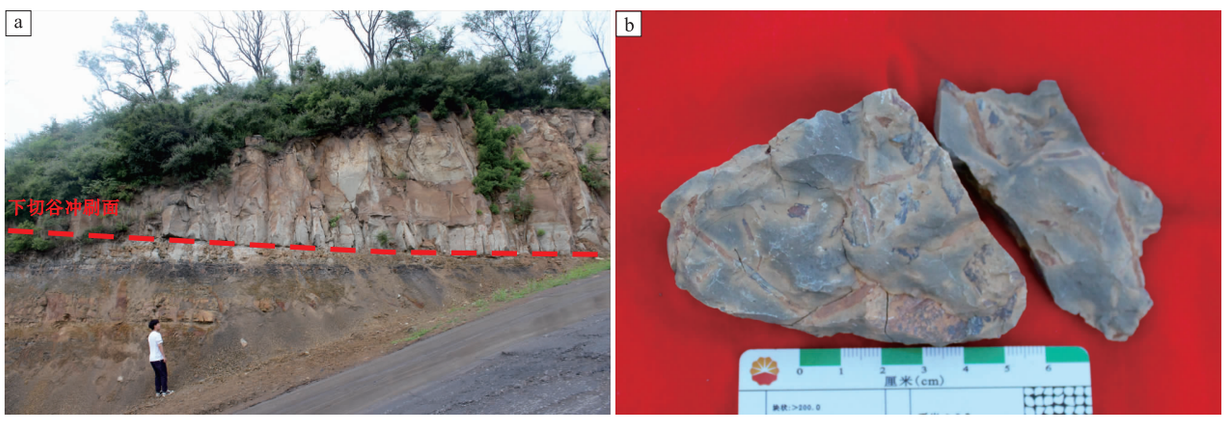
初始海泛面指的是在基准面上升的过程中，盆地中由海退作用转变为海侵作用的转换面，标志着海侵体系域（TST）的开始，沉积水体开始变深，沉积粒度逐渐变细（Catuneanu，2006)。初始海泛面在豫东地区石炭—二叠纪沉积地层中通常是三角洲分流河道砂体顶面，也是该粗粒碎屑沉积之上的



a—太原组一$_5$煤底部海侵方向转换面；b—太原组和山西组之间的沉积相转换面；c—层序Ⅱ最大海泛面；d—层序Ⅲ最大海泛面

图 2　豫东地区石炭—二叠系层序关键界面（ZM-1 井）

Fig. 2　Key sequence stratigraphic boundary of the Permo-Carboniferous in eastern Henan Province (Well ZM-1)



a—下切谷冲刷面；b—根土岩

图 3　禹州大风口剖面下石盒子组河流下切谷冲刷面和根土岩

Fig. 3　Basal erosion surface in incised valley sandstone of the Xiashihezi Formation and rooted clay in Yuzhou Dafengkou section

分流间湾相（泛滥盆地相）泥质岩或泥炭沼泽相的煤层的底面；在一些河道砂体不发育的地区，初始海泛面直接覆盖在河道间的古土壤（根土岩）上，与层序界面基本重合，造成低位体系域不发育的情况(图 4)。

2.3　三级最大海泛面（MFS）

最大海泛面指的是一个层序中达到最大海侵范围时的界面，标志着海侵体系域（TST）的结束同时开始高位体系域（HST）沉积的界面，在该界面之上沉积粒度逐渐变粗。在碳酸盐岩沉积序列中，最大海泛面指的是向陆地延伸最远一层石灰岩的底面，豫东地区通常发育 7~12 层石灰岩，其中根据石灰岩发育期次将太原组分为 3 段，分别是下部石灰岩段（L1-L4）、中部砂泥岩段（L5-L7）、上部石灰岩段（L8-L12），其中下部的 L2 石灰岩和上部的 L8 石灰岩较厚且在全区普遍分布，其底面可作为层序划分的最大海泛面(图 2-c)。而在研究区石炭—二叠系上部大面积分布的三角洲平原沉积环境中，最大海泛面通常被置于最厚层泥质岩沉积

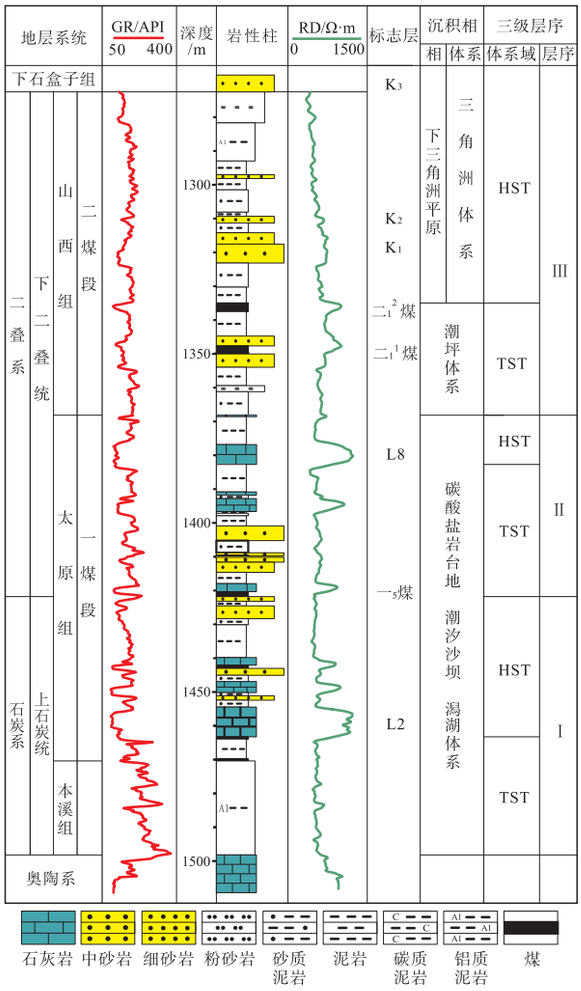


图 4 豫东地区石炭—二叠系沉积相及层序地层柱状图（ZK6404 井）

Fig. 4 Columnar section showing sedimentary facies and sequence stratigraphy of the Permo-Carboniferous coal measures in eastern Henan Province (Well ZK6404)

的底面或相对最厚煤层的底板或顶板（Aitken and Flint，1995）。例如山西组的二$_1$煤层，厚度大、层位稳定、在研究区分布广泛，可将其顶面作为最大海泛面(图 2-d)。

3 层序地层格架的建立

本次层序地层学研究，采用的是以 Exxon 公司的 Vail 等人提出的观点，即海平面变化是层序演化的主要驱动机制（Van wagoner，1990）。通过对禹州大风口剖面测量数据以及胡襄、睢西和永城等钻井资料进行高分辨率层序地层分析，划分了三级复合层序，以睢西 ZK6404 钻井为例(图 4)，以本溪组底部区域不整合面、太原组一$_5$煤层顶部的海侵方向转换面和山西组底部沉积相转换面为界，将研究区石炭—二叠含煤岩系划分为 3 个三级层序（Ⅰ~Ⅲ），研究区钻井剖面对比见图 5。

3.1 层序Ⅰ

层序Ⅰ厚度自豫东地区的西北向东南先减小再增大(图 5)，包括本溪组和太原组一$_5$煤层顶面以下的地层，发育海侵体系域（TST）和高位体系域(HST)。层序底界为一区域平行不整合面，在海侵体系域（TST）首先沉积本溪组潟湖相的铝土质泥岩在测井曲线上表现出高幅的齿形和漏斗形的组合，指示潟湖沉积，随后太原组沉积 1 套由煤层、石灰岩、泥岩和砂岩组成的地层，煤层厚度较薄，在测井曲线上表现为箱型、指型和漏斗型的组合(图 4)，指示以碳酸盐岩台地相为主导沉积环境；高位体系域（HST）主要发育潟湖相泥岩和潮汐沙坝相砂岩，在测井曲线上表现为齿型和指型的组合(图 4)，指示其为潟湖相和潮汐沙坝相沉积，研究区太原组下部最厚 L2 石灰岩的底面被视为最大海泛面。

3.2 层序Ⅱ

层序Ⅱ的厚度变化较大，表现为由西北向东南先变薄再变厚(图 5)，该层序对应太原组一$_5$煤层以上的地层(图 4)，发育海侵体系域（TST）和高位体系域（HST），层序界面为海侵方向的转换面，该界面之下海水由北东向侵入，界面之上海侵方向转为南东向。海侵体系域（TST）沉积泥岩和砂岩，且在垂向上表现为退积的序列，石灰岩发育较少且较薄，在夏邑一带可见多层石灰岩发育，在测井曲线上表现为指型、箱型和漏斗型的组合，一$_5$煤的在测井曲线表现出高阻反应和低伽马值异常；高位体系域（HST）发育碳酸盐岩台地相的石灰岩和潟湖相的泥岩，在测井曲线上表现为由箱型向齿型和指型的转变(图 4)，太原组上部发育最厚且最稳定的 L8 石灰岩的底面被视为最大海泛面(图 5)。

3.3 层序Ⅲ

层序Ⅲ自西北向东南逐渐变厚，在夏邑县骆集地区减薄(图 5)，该层序地层由山西组构成，主要发育有海侵体系域（TST）和高位体系域（HST），

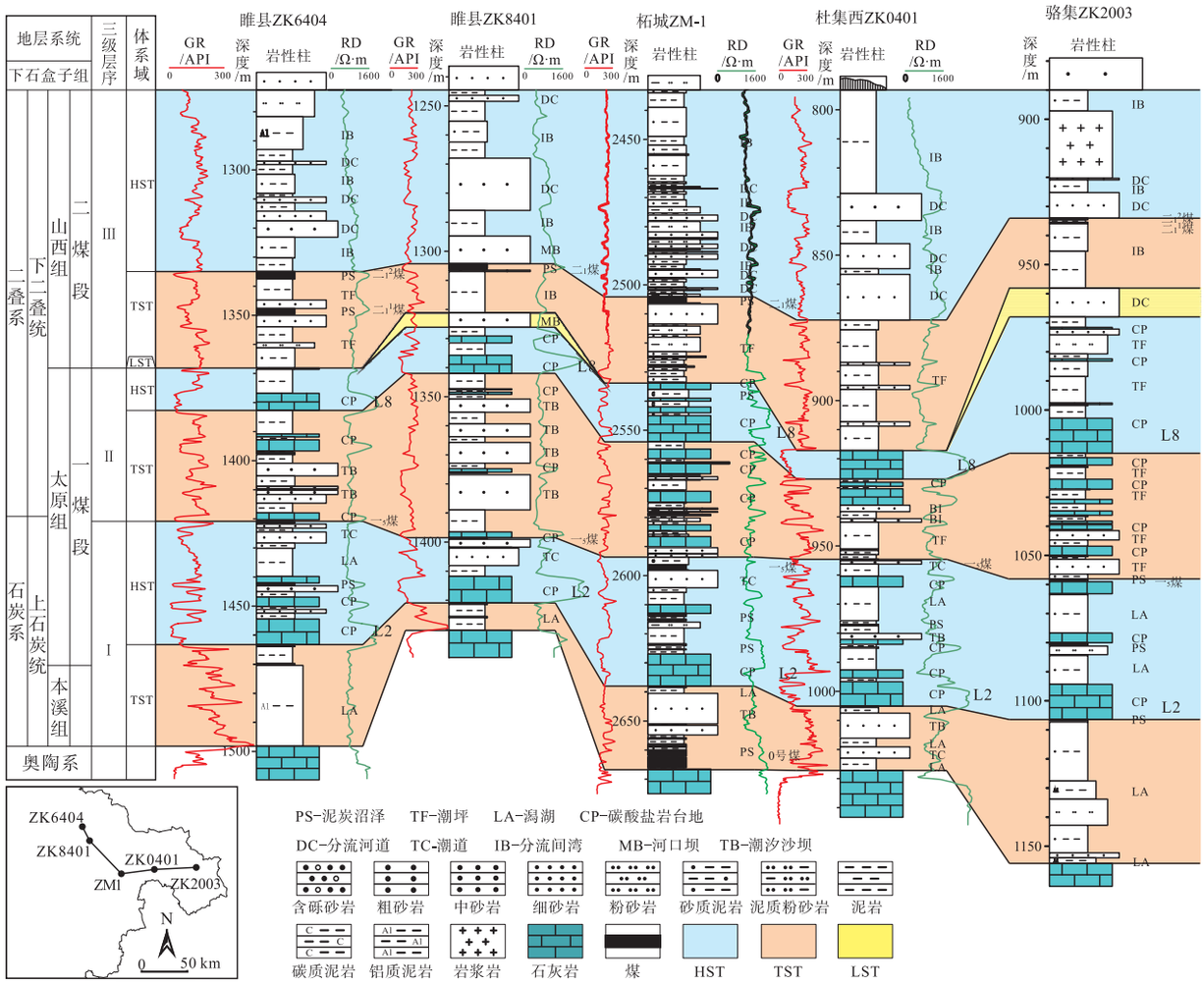


图 5　豫东地区石炭—二叠系含煤岩系层序地层对比

Fig. 5　Cross section showing sequence stratigraphic correlation of the Permo-Carboniferous coal measures in eastern Henan Province

局部地区发育低位体系域（LST），底部黑色泥岩的底板或分流河道砂岩的底面被识别该层序的底界面，顶界面为砂锅窑砂岩（K_3）底面（图 4；图 5）。海侵体系域（TST）发育细砂岩、泥岩、粉砂岩、砂质泥岩互层的潮坪沉积序列，在测井曲线上表现出连续的微齿型、指型和漏斗型的组合，指示泥坪、砂坪、混合坪微相；高位体系域（HST）由下三角洲平原相的分流间湾泥岩和分流河道砂岩组成，在测井曲线上表现出小段齿型和钟型的组合（图 4）。层序Ⅲ发育厚度较大、层位稳定的$二_1$煤层，在测井曲线表现出高阻电阻率和低伽马值异常，该煤层在豫东部分地区可划分为$二_1^1$煤和$二_1^2$煤，$二_1$煤自西北向东南逐渐变薄（图 5），$二_1$煤层或$二_1^1$煤层的顶面被识别为最大海泛面。

4　层序格架下的岩相古地理

在筛选了豫东地区胡襄、睢西、永城煤普查区百余口揭露石炭—二叠纪地层较全的典型钻孔数据的基础上，分别绘制各层序的地层厚度、石灰岩含量百分比、泥岩厚度、煤层厚度、砂泥比等单因素的等值线图，再通过各单因素图的叠加和综合分析，最终恢复出豫东地区石炭—二叠纪各层序岩相古地理。

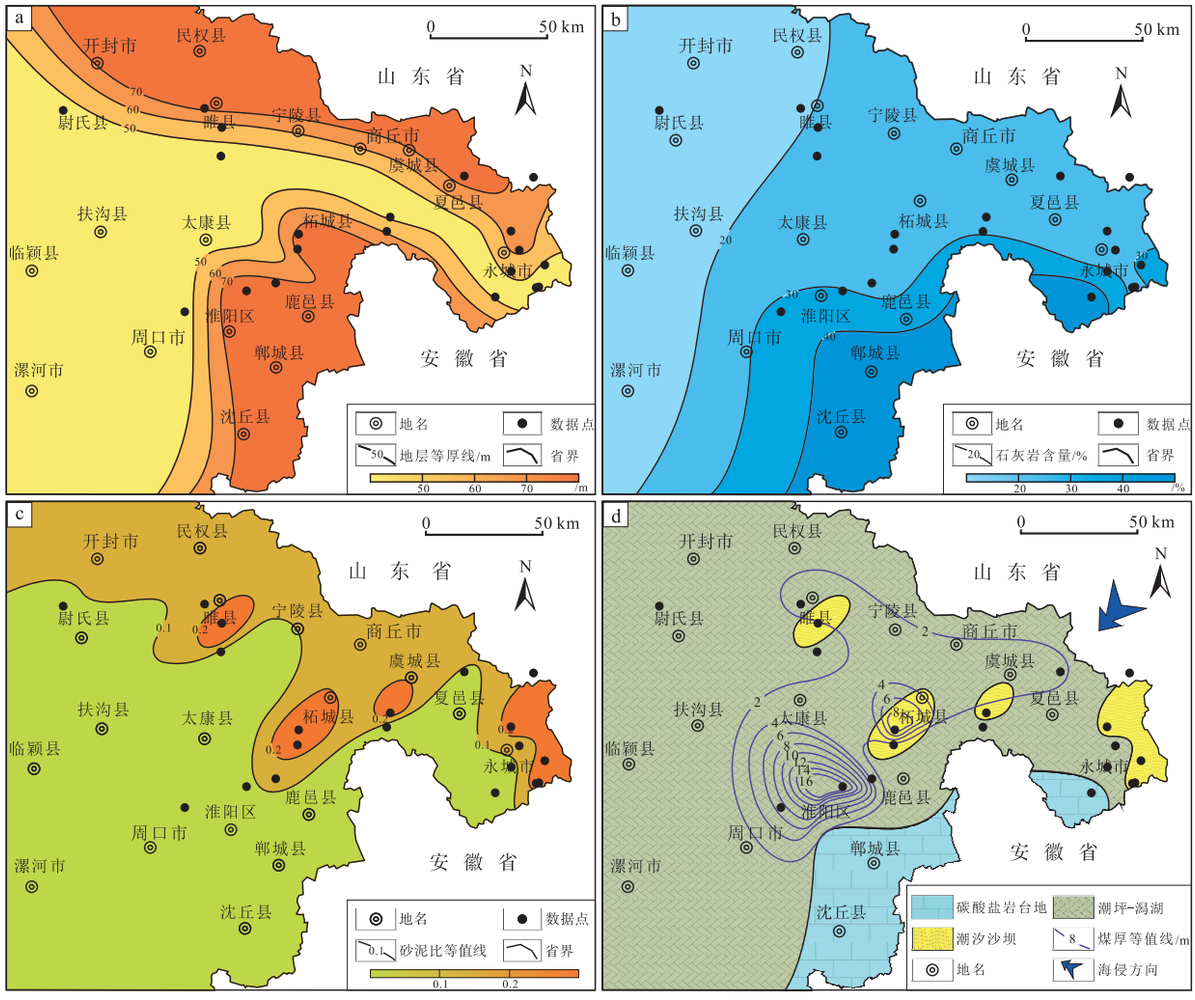
4.1　层序Ⅰ古地理特征

层序Ⅰ是一套由铁铝质岩、碳酸盐岩以及滨岸碎屑岩沉积，主要由泥岩、石灰岩、砂岩以及薄煤层组成。层序Ⅰ的地层厚度由东北向西南由厚变薄，由东南向西北逐渐由厚变薄，在夏邑北部达到

最厚，变化范围 34.48～97.84 m（图 6-a）；层序Ⅰ的石灰岩含量在 12%～55%，石灰岩含量由西北向东南逐渐增加，海侵方向来自东北向（图 6-b）；层序Ⅰ砂泥比变化范围在 0～0.67 之间，研究区大部分地区砂泥比值较低，仅在睢县、柘城县、虞城南部以及永城北部明显偏高（图 6-c）。

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 6-d），层序Ⅰ在豫东地区东北部和东南部石灰岩百分比含量较高，海侵方向来自东北向，以石灰岩含量 40% 的等值线来划分碳酸盐岩台地相，西北大部分地区砂泥比小于 0.2，古地理单元为潮坪—潟湖相。柘城和睢县等砂泥比大于 0.2 的地区，钻孔岩心沉积构造常表现为砂泥互层层理，判断其为潮汐沙坝沉积（图 7）。

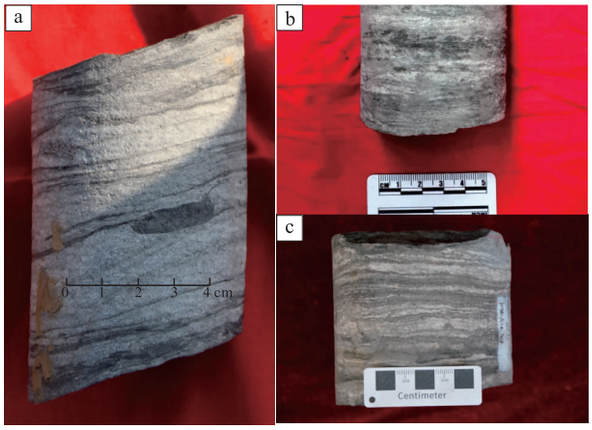
豫东地区层序Ⅰ的煤层总厚度在 0～17 m 之间，平均 4.8 m，层序Ⅰ发育 2 个聚煤中心，分别位于柘城县和淮阳区北部，柘城地区的厚煤层主要为本溪组的 0 号煤层，而淮阳地区的厚煤层为太原组中部的一$_5$煤层。柘城地区聚煤中心煤层最厚可达 9.3 m，以柘城为中心，向四周减小；淮阳北部聚煤中心，煤层总厚度可达 17 m。层序Ⅰ时期，海侵方向来自东北向，聚煤中心总体位于潮坪—潟湖古地理单元，层序Ⅰ时期，海侵方向来自东北向，聚煤中心总体位于潮坪—潟湖相区，潮坪—潟湖环境水动力条件较弱，有利于泥炭沼泽发育，形



a—层序Ⅰ地层等厚线图；b—层序Ⅰ石灰岩含量等值线图；c—层序Ⅰ砂泥比等值线图；d—层序Ⅰ古地理图

图 6 豫东石炭—二叠纪层序Ⅰ岩性单因素参数等值线和古地理

Fig. 6 Contours of single-factor lithological parameters and palaeogeography of sequence I of the Permo-Carboniferous in eastern Henan Province



a，b—透镜状层理，脉状层理；c—波状层理

图 7　豫东地区太原组中的潮汐层理

Fig. 7　Tidal bedding in the Taiyuan Formation of eastern Henan Province

成厚煤层。

4.2　层序Ⅱ古地理特征

层序Ⅱ岩性由石灰岩、泥岩、砂岩、粉砂岩、砂质泥岩和煤层组成，层序Ⅱ时期地层厚度由西北向东南逐渐变厚，在淮阳县北部达到最厚(图 8-a)，变化范围 25.6~112.73 m；层序Ⅱ石灰岩含量区间在 22%~52%，石灰岩含量由南向北逐渐减少(图 8-b)，海侵方向来自东北向；层序Ⅱ时期研究区总体砂泥比值依然较低，变化范围在 0~0.71 之间，在睢县和虞城县以及鹿邑县西北一带南部地区偏高(图 8-c)。

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 8-d)，层序Ⅱ在豫东地区东南部石灰岩百分比含量较高，石灰岩含量大于 40%的地区判断为碳酸盐台地相；西北方向砂泥比值低于 0.2，古地理单元为潮坪—潟湖相；潮汐沙坝相位于睢县—柘城一带和永城市砂泥比大于 0.2 的地区。

层序Ⅱ发育一个聚煤中心，煤层厚度最厚可达 10.5 m，以周口市淮阳区为中心向四周递减，层序Ⅱ时期的聚煤中心总体位于碳酸盐岩台地相的位置，但其成煤环境为潮坪—潟湖环境。

4.3　层序Ⅲ古地理特征

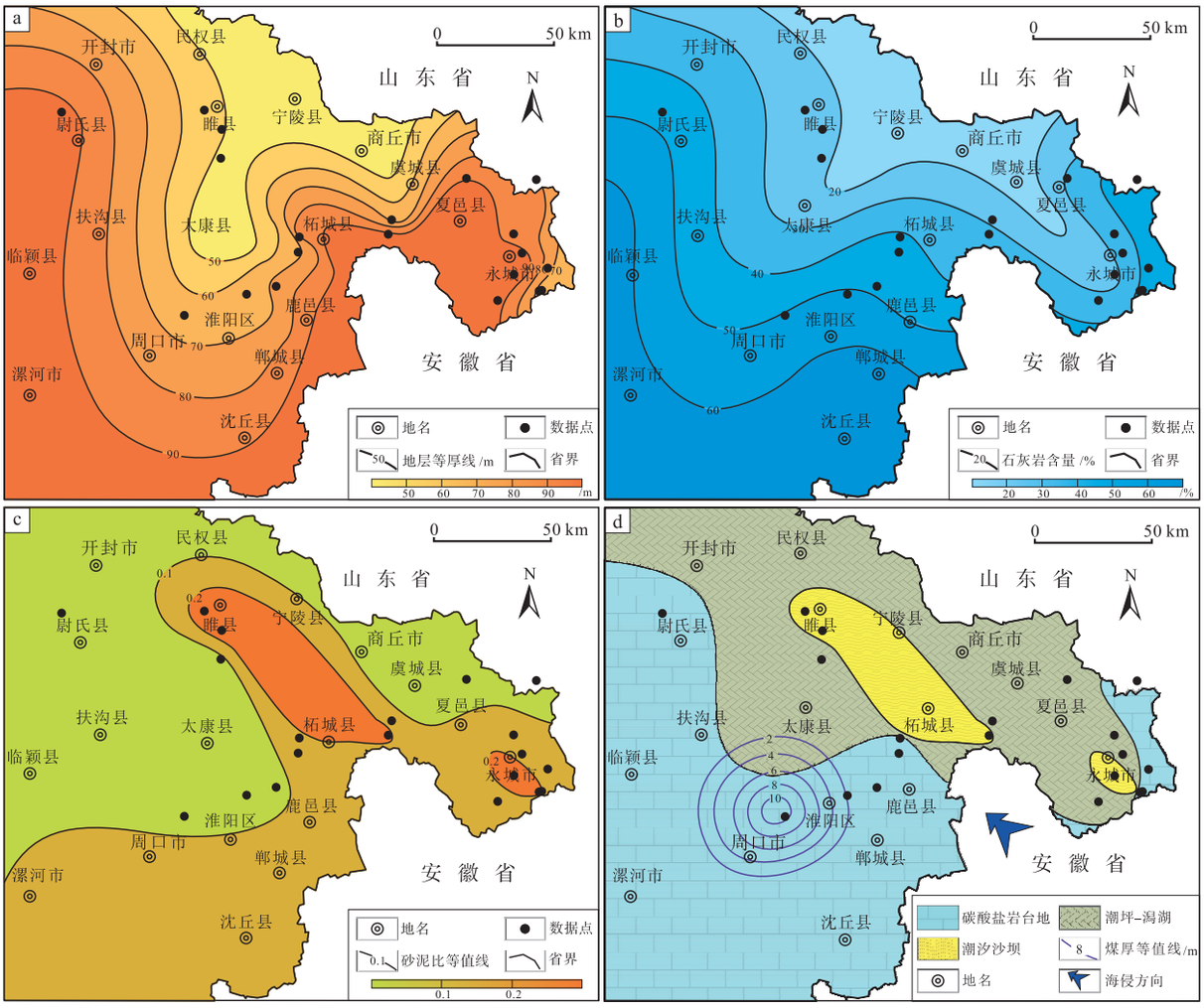
层序Ⅲ时期，豫东地区北部以河流三角洲沉积体系为主，向南过渡为潟湖—潮坪—潮汐沙坝沉积体系，岩性主要由泥岩、粉砂岩、砂岩及煤层组成。层序Ⅲ的地层厚度范围在由北向南先减小再增加，由西向东，地层厚度先减小再增加(图 9-a)；泥岩厚度由北向南逐渐增加，由西向东，泥岩厚度先减小再增加，地层厚度先降低再升高(图 9-b)；层序Ⅲ砂泥比变化范围在 0.14~2.13 之间，总体上，豫东地区北部的砂泥比值高于南部的砂泥比，在北部民权县一线地区达到最大值(图 9-c)，推测物源方向来自北部。

结合地层厚度、泥岩厚度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 9-d)，层序Ⅲ沉积时期，砂泥比值大于 0.6 的区域判断为三角洲平原相，主要分布于豫东地区北部广大地区，可分为上三角洲平原相和下三角洲平原相，由北向南发育多条分流河道；砂泥比 0.3~0.6 的区域判断为三角洲前缘相，位于尉氏—睢县—夏邑一线与扶沟—太康—永城一线之间区域，呈条带状分布；砂泥比小于 0.3 的区域位于扶沟—太康—鹿邑一线以南以及永城市南部，判断为潮坪—潟湖相。

层序Ⅲ时期，豫东地区北部发育河流三角洲体系，南部发育潟湖—潮坪体系，该时期聚煤作用较强，全区形成大规模的可采煤层，层序Ⅲ的煤层厚度范围为 0.3~12.5 m，发育有 4 个聚煤中心，分别分布在太康县西南部、柘城县北部、鹿邑县北部以及淮阳区南部区域。其中太康县西南和淮阳区南部的聚煤中心，位于潟湖—潮坪相和三角洲前缘的交界部分，煤层厚度大于 10 m；鹿邑县和柘城县北部的聚煤中心的位于三角洲平原的分流间湾处，煤层厚度大于 6 m。

5　厚煤层在层序地层格架中的分布模式

煤层在层序格架中的分布模式依赖于 Jervey (1988) 提出的可容空间概念，即可容空间是可供潜在沉积物堆积的空间，与全球海平面变化和盆地基底的沉降有关，而与盆地沉积物供给无关，在层序地层格架中，可容空间的增加速率从初始海侵面到最大海泛面处越来越大，到最大海泛面处达到最大值。邵龙义等 (2021) 提出煤层厚度的变化取决于可容空间增加速率 (R_A) 与泥炭聚集速率 (R_P) 的变化，当海平面上升速率过慢时，可容空间增长速率过慢，造成泥炭所需可容空间不足，从



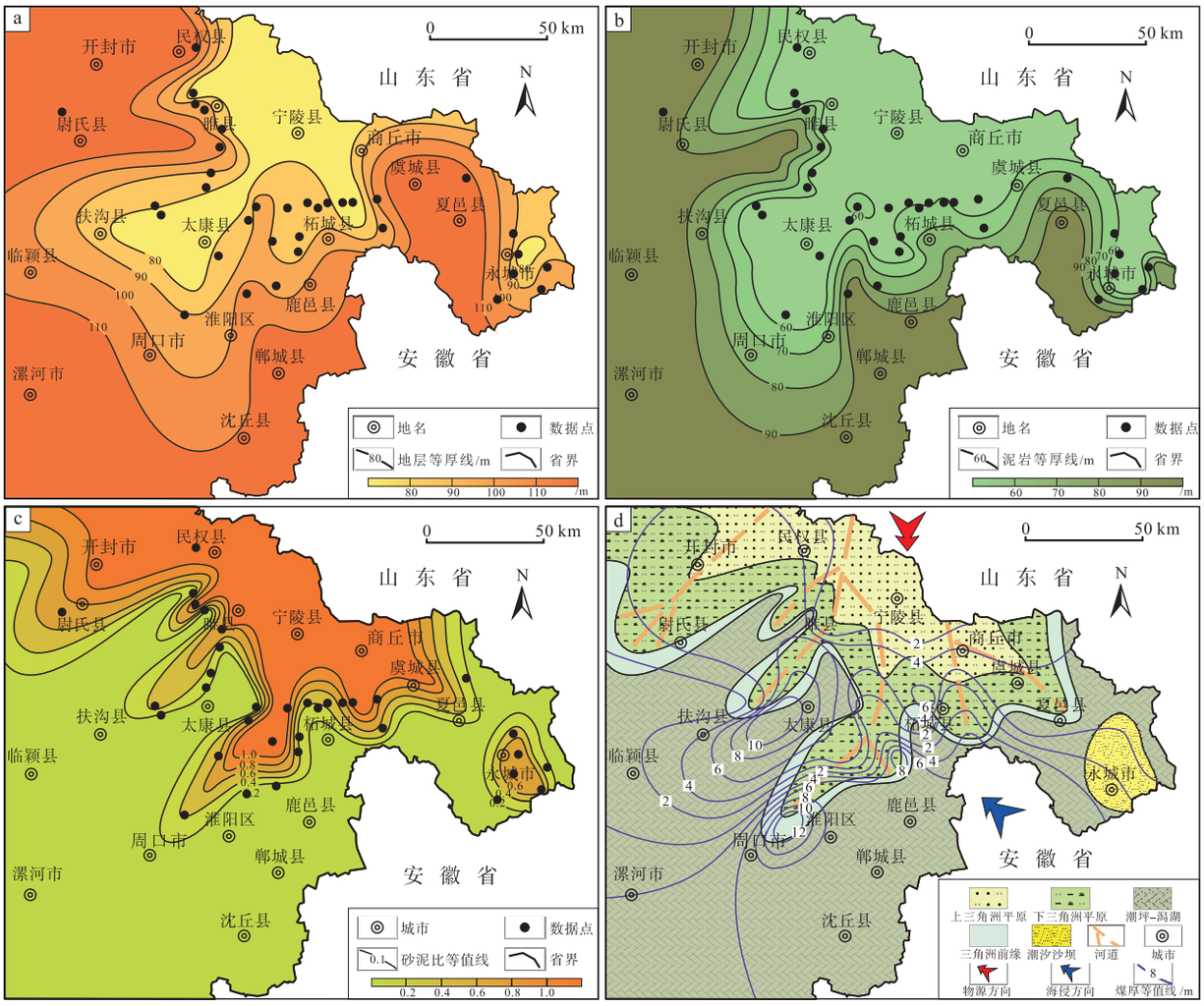
a—层序Ⅱ地层等厚线图；b—层序Ⅱ石灰岩含量等值线图；c—层序Ⅱ砂泥比等值线图；d—层序Ⅱ古地理图

图 8 豫东石炭—二叠纪层序Ⅱ岩性单因素等值线和古地理

Fig. 8 Contours of single-factor lithological parameters and palaeogeography of sequence Ⅱ of the Permo-Carboniferous in eastern Henan Province

而使泥炭地受到暴露和侵蚀难以形成厚煤层；相反，海平面上升速率过快导致泥炭堆积速率远小于可容空间的增加速率，造成泥炭地的淹没，终止沉积，也难以形成厚煤层（邵龙义等，2021）。因此只有适当的海平面上升速率，将泥炭堆积速率和可容空间增长速率维持在一种平衡的状态下时，才能形成厚煤层。在距物源区较近的冲积体系或滨海平原过渡相靠陆一侧的背景下，因有丰富的陆源碎屑供给，只有可容空间增加速率最快时（最大海泛面处），相对海平面上升速率才会与泥炭堆积速率保持平衡，从而形成厚煤层；相反，在远离陆源区的滨外陆棚和碳酸盐岩台地的环境中，由于缺少物源供给，泥炭的聚集速率较小，因此厚煤层往往形成在可容空间增长速率较低的海侵面或相对海平面下降时期形成(图 10-a)(Shao *et al.*, 2003)。

豫东地区的发育的厚煤层包括层序Ⅰ底部的本溪组的 0 号煤和上部的太原组的一$_5$煤以及层序Ⅲ（山西组）的二$_1$煤，0 号煤和一$_5$煤主要为潮汐沙坝—潟湖以及滨外陆棚的成煤环境，此时，缺乏陆源碎屑供给，对应图 10-b 中 $R_A/R_P>1$ 的情况，即较低的泥炭聚集速率与可容空间增加速率相平衡，形成厚煤层。层序Ⅲ沉积环境可分为 2 个类型，二$_1$煤或者二$_1^2$煤顶板以下至层序Ⅲ底部泥岩段属于潮坪沉积环境，二$_1$煤或者二$_1^2$煤顶板到砂锅窑砂岩底部为三角洲沉积环境，整体来看，层序Ⅲ整体的沉积环境以三角洲环境为主导，物源供给较为丰



a—层序Ⅲ地层等厚线图；b—层序Ⅲ泥岩厚度等值线图；c—层序Ⅲ砂泥比等值线图；d—层序Ⅲ古地理图

图 9　豫东石炭—二叠纪层序Ⅲ岩性单因素等值线和古地理

Fig. 9　Contours of single-factor lithological parameters and palaeogeography of sequence Ⅲ of the Permo-Carboniferous in eastern Henan Province

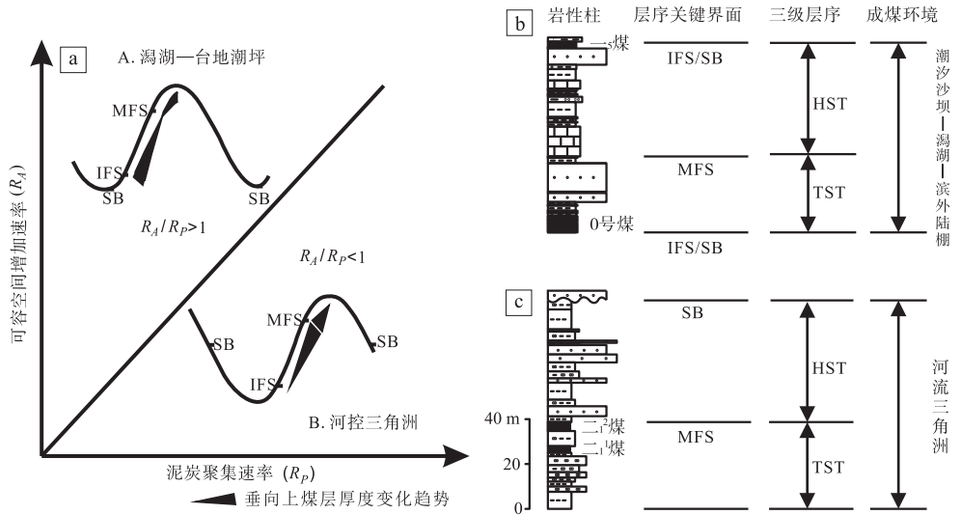
富，泥炭聚集速率较快，对应图 10-c 中 $R_A/R_P<1$ 的情况，即只有在最大海泛面附近的时期，可容空间增长速率和泥炭堆积速率达到平衡，煤层沉积最厚。在豫东地区内，二$_1$煤作为层序Ⅲ最大海泛期的标志层，厚度大、层位稳定、连续性好、分布面积广，是该区主要勘探和开采对象。

6　结论

1）根据豫东地区睢县、胡襄及永城等钻井资料结合露头剖面进行分析层序地层分析，将豫东地区石炭—二叠纪含煤岩系共划分出 3 个三级层序。层序界面以区域不整合面、海侵转换面、河流下切谷砂岩底面或共生的古土壤间断面等为代表，三级层序中可进一步划分出低位体系域（LST）、海侵体系域（TST）及高位体系域（HST）。

2）豫东地区石炭—二叠纪层序Ⅰ古地理单元由潮坪—潟湖、潮汐沙坝、碳酸盐岩台地相组成，石灰岩含量在东北和东南区域最高，整体海侵方向来自北东方向；层序Ⅱ古地理单元由潮坪—潟湖、潮汐沙坝、碳酸盐岩台地相组成，石灰岩含量由东南向西北逐渐减少，海侵方向来自南东方向；随着华北地台的抬升，层序Ⅲ时期，豫东地区北部转变为三角洲平原，潮坪—潟湖相向南萎缩，碳酸盐岩台地相消失。

3）豫东地区石炭—二叠纪含煤岩系层序Ⅲ聚



a—煤层厚度在层序地层格架中的变化规律（据邵龙义等，2008；有修改）；b—潮汐砂坝—潟湖—滨外陆棚体系聚煤模式；c—河流—三角洲体系聚煤模式

图 10 豫东地区石炭-二叠纪层序Ⅰ和层序Ⅲ厚煤层聚集模式示意图

Fig. 10 Accumulating models of thick coal seams in sequence Ⅰ and sequence Ⅲ of the Permo-Carboniferous in eastern Henan Province

煤作用最强，层序Ⅰ其次，层序Ⅱ较差，层序Ⅰ的底部的本溪组 0 号煤层在商丘市柘城县一带发育较好，顶部的一$_5$煤在周口市淮阳区发育较好；层序Ⅲ时期发育多个聚煤中心，分别分布在周口市太康县西南部、淮阳区西南部、鹿邑县北部以及商丘市柘城县北部。

4）厚煤层的形成与可容空间的增长速率和泥炭沼泽聚集速率的平衡状态有关，在不同成煤环境中表现出不同规律。层序Ⅰ的成煤环境为潮汐沙坝—潟湖和滨外陆棚的环境，厚煤层（0 号煤，一$_5$煤）位于层序Ⅰ的初始海泛面以及高位体系域（HST）的末期附近，此时海平面上升速率过慢，较慢的可容空间增长速率与较慢的泥炭聚集速率相平衡，形成厚煤层；山西组的二$_1$煤层形成于分流间湾淤浅而成的泥炭沼泽中，位于层序Ⅲ最大海泛面附近，此时海平面上升速率较快，较快的可容空间的增长速率与较高的泥炭沼泽聚集速率相平衡，形成该厚煤层。

参考文献（References）

高建平，周立发，徐艳萍，党胜国，解东宁. 2006. 太康隆起和周口坳陷上古生界煤系烃源岩地球化学特征. 西北地质，(3)：59-64. [Gao J P, Zhou L F, Xu Y P, Dang S G, Xie D N. 2006. Geochemical characteristics of the Upper Paleozoic source rocks in Taikang Rise and Zhoukou Depression. Northwestern Geology, (3): 59-64]

何明喜，王敏，邱荣华. 2012. 南华北多期复合叠合盆地与油气. 北京：地质出版社，16-59. [He M X, Wang M, Qiu R H. 2012. Multiphase Composite Superimposed Basins and Oil and Gas in South North China. Beijing: Geological Publishing House, 16-59]

河南煤田地质公司. 1991. 河南省晚古生代聚煤规律. 武汉：中国地质大学出版社，147-156. [Henan Coal Field Geology Company. 1991. The Law of Late Paleozoic Polycoal in Henan Province. Wuhan: China University of Geosciences Press, 147-156]

康世龙，吕玉民，王存武，王波，李卓伦，张月. 2024. 沉积环境对煤层含气量的控制：以沁水盆地寿阳地区太原组 15#煤为例. 古地理学报，26(2)：416-430. [Kang S L, Lü Y M, Wang C W, Wang B, Li Z L, Zhang Y. 2024. Control of sedimentary environments on gas contents of coal seams: a case study of No. 15 coals bed of the Taiyuan Formation in Shouyang area, Qinshui Basin. Journal of Palaeogeography (Chinese Edition), 26(2): 416-430]

李延河，王保玉，刘顺喜，倪小明，王娟，胡斌. 2024. 河南平顶山矿区含煤地层沉积环境及其对煤系气成藏的控制. 古地理学报，26(6)：1420-1434. [Li Y H, Wang B Y, Liu S X, Ni X M, Wang J, Hu B. 2024. Sedimentary environment of coal-bearing strata and its controlon accumulation of coal measure gas in Pingdingshan mining area, Henan Province. Journal of Palaeogeography (Chinese Edition), 26(6): 1420-1434]

李增学，魏久传，韩美莲. 2000. 鲁西陆表海盆地高分辨率层序划分与海侵过程成煤特点. 沉积学报，18(3)：362-368. [Li Z X, Wei J C, Han M L. 2000. The division of high-resolution sequences and the transgressive coal formation in the epicontinental basin of the western Shandong Province. Acta Sedimentologica Sinica, 18(3): 362-368]

刘波，钱祥麟，王英华. 1999. 华北板块早古生代构造-沉积演化. 地质科学，(3)：347-356. [Liu B, Qian X L, Wang Y H. 1999. Tectono-sedimentary evolution of North China Plate in Early Paleozoic.

Chinese Journal of Geology,(3): 347-356]

秦勇. 2023. 中国深部煤层气地质研究进展. 石油学报,44(11): 1791-1811. [Qin Y. 2023. Progress on geological research of deep coal-bed methane in China. Acta Petrolei sinica,44(11): 1791-1811]

桑树勋,陈世悦,刘焕杰. 2001. 华北晚古生代成煤环境与成煤模式多样性研究. 地质科学,36(2): 212-221. [Sang S X,Chen S Y,Liu H J. 2001. Study on diversity of Late Paleozoic coal-forming environments and models in North China. Chinese Journal of Geology,36(2): 212-221]

尚冠雄. 1997. 华北地台晚古生代煤地质学研究. 山西太原: 山西科学技术出版社,1-405. [Shang G X. 1997. Late Paleozoic Coal Geology of North China Platform. Taiyuan: Shanxi Science and Technology Press,1-405]

邵龙义,肖正辉,汪浩,鲁静,周俊. 2008. 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. 地质科学,47(4): 777-791. [Shao L Y,Xiao Z H,Wang H,Lu J,Zhou J. 2008. Permo-Carboniferous coal measures in the Qinshui Basin: high-resolution sequence stratigraphy and coal accumulating model. Chinese Journal of Geology,47(4): 777-791]

邵龙义,董大啸,李明培,王海生,王东东,鲁静,郑明泉,程爱国. 2014. 华北石炭—二叠纪层序—古地理及聚煤规律. 煤炭学报,39(8): 1725-173. [Shao L Y,Dong D X,Li M P,Wang H S,Wang D D,Lu J,Zheng M Q,Cheng A G. 2014. Sequence-paleogeography and coal aceumulation of the Carboniferous-Permian in the North China Basin. Journal of Coal Science and Technology,39(8): 1725-1734]

邵龙义,徐小涛,王帅,王东东,高迪,王学天,鲁静. 2021. 中国含煤岩系古地理及古环境演化研究进展. 古地理学报,23(1): 19-38. [Shao L Y,Xu X T,Wang S,Wang D D,Gao D,Wang X T,Lu J. 2021. Research progress of palaeogeography and palaeoenvironmental evolution of coal-bearing series in China. Journal of Palaeogeography(Chinese Edition),23(1): 19-38]

宋建军,邵龙义,宋建英. 2021. 河南省石炭—二叠系层序地层格架及聚煤作用研究. 北京: 地质出版社,1-116. [Song J J,Shao L Y,Song J Y. 2021. The Study of Carboniferous-Permian Sequence Stratigraphic and Coal Accumulation in Henan Province. Beijing: Geological Publishing House,1-116]

徐凤银,闫霞,李曙光,熊先钺,王予新,张雷,刘川庆,韩金良,冯延青,甄怀宾,杨贇,王成旺,李宇新. 2023. 鄂尔多斯盆地东缘深部(层)煤层气勘探开发理论技术难点与对策. 煤田地质与勘探,51(1): 115-130. [Xu F Y,Yan X,Li S G,Xiong X Y,Wang Y X,Zhang L,Liu C Q,Han J L,Feng Y Q,Zhen H B,Yang Y,Wang C W,Li Y X. 2023. Theoretical and technological difficulties and countermeasures of deep CBM exploration and development in the eastern edge of Ordos Basin. Coal Geology & Exploration,51(1): 115-130]

杨起,李宝芳,李祯,徐嘉谟,王洪林. 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,(3): 263-274. [Yang Q,Li B F,Li Z,Xu J M,Wang H L. 1982. The sedimentary models and coal accumulation characteristics of the Late Paleozoic coal measures in the Yuxian coal field,Henan. Earth Science,(3): 263-274]

杨燕青,张小东,许亚坤,张鹏,王昆,朱春辉. 2019. 豫东地区煤系烃源岩有机质特征与煤系气资源潜力. 煤田地质与勘探,47(2): 10. [Yang Y Q,Zhang X D,Xu Y K,Zhang P,Wang K,Zhu C H. 2019. The characteristics of organic matter in coal-measure source rocks and coal-measure gas resource potential in eastern Henan Province. Coal Geology & Exploration, 47(2): 10]

张小东,张硕,许亚坤,王昆,张鹏,朱春辉. 2018. 基于模糊数学的豫东煤系气资源勘探有利区预测. 煤炭科学技术,46(11): 172-181. [Zhang X D,Zhang S,Xu Y K,Wang K,Zhang P,Zhu C H. 2018. Favorable block prediction of coal measure gas resource exploration in Eastern Henan Area based on fuzzy mathematics. Coal Science and Technology,46(11): 172-181]

张月,祝彦贺,邵龙义,王存武,朱学申,刘芬,康世龙,郑丽婧,陈思路,陈朝晖. 2023. 陆表海高分辨率层序地层格架下的聚煤模式: 以沁水盆地南部柿庄地区太原组为例. 东北石油大学学报,47(4): 82-94,10. [Zhang Y,Zhu Y H,Shao L Y,Wang C W,Zhu X S,Liu F,Kang S L,Zheng L J,Chen S L,Chen Z H. 2023. A coal accumulation model under the high resolution sequence stratigraphic framework of land surface seas: taking the Taiyuan Formation in the Shizhuang Area of the Southern Qinshui Basin as an example. Journal of Northeast Petroleum University,47(4): 82-94,10]

Aitken J F,Flint S S. 1995. The applicaiton of high resolution sequence stratigraphy to fluvial systems: a case study from the Upper Carboniferous Breathitt Group,eastern Kentucky,USA. Sedimentology, 42: 3-30.

Bohacs K M,Lazar M. 2022. Sequence stratigraphy: applications to fine-grained rocks. AAPG Memoir: 126.

Bohacs K,Suter J. 1997. Sequence stratigraphic distribution of coaly rocks: fundamental controls and paralic examples. American Association of Petroleum Geologists Bulletin,81: 1612-1639.

Catuneanu O. 2006. Principles of Sequence Stratigraphy. Amsterdam: Elsevier,1-375.

Diessel C F K. 1992. Coal-Bearing Depositional Systems. Berlin: Springer-Verlag,599.

Diessel C,Boyd R,Wadsworth J,Leckie D,Chalmers G. 2000. On balanced and unbalanced accommodation/peat accumulation ratios in the Cretaceous coals from Gates Formation,Western Canada,and their sequence-stratigraphic significance. International Journal of Coal Geology,43: 143-186.

Dong Y,Santosh M. 2016. Tectonic architecture and multiple orogeny of the Qinling Orogenic Belt,Central China. Gondwana Research,29(1): 1-40.

Jervey M T. 1988. Quantitative geological modeling of siliciclastic rock sequences and their seismic expression. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication,42: 47-70.

Van wagoner J C. 1990. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs,cores,and outcrops: concepts for high-resolution correlation of time and facies. American Association of Petroleum Geologists,7: 55.

Shao L Y,Zhang P F,Gayer R A,Chen J L,Dai S F. 2003. Coal in a carbonate sequence stratigraphic framework: the Late Permian Heshan Formation in central Guangxi,southern China. Journal of Geological Society London,160: 285-298.

(责任编辑　郑秀娟)