

山东黄河北煤田石炭—二叠系太原组地层 沉积特征

张素梅¹⁾ 李增学²⁾ 李伟¹⁾ 王立峰¹⁾ 张玉林³⁾
王对兴¹⁾ 刘海燕²⁾

1) 石家庄经济学院资源学院, 河北石家庄 050031;

2) 山东科技大学地球信息科学与工程学院, 山东青岛 266510;

3) 安徽理工大学地球与环境学院, 安徽淮南 232001

摘要 为了研究黄河北煤田的沉积特征, 查清研究区内太原组地层的岩性类型、沉积构造、粒度分布特征, 并进一步明确其沉积体系及沉积相的特征和沉积演化, 本文根据野外露头的观察和室内岩心的描述、薄片分析, 结合钻井、测井资料, 运用沉积学、古生物地层学、层序地层学、岩石粒度分析等方法, 对研究区的太原组地层沉积特征进行了详细的研究。结果表明: 研究区石炭—二叠系的含煤地层太原组沉积物中砂岩、粉砂岩、泥岩、石灰岩及煤岩均较发育, 常见的含铁矿物主要是褐铁矿、黄铁矿、菱铁矿等; 主要层理构造有水平层理、平行层理、交错层理、波状层理、韵律层理等, 生物扰动构造非常发育; 主要的生物化石发育于台地相灰岩中, 包括蜓类、牙形石等个体较大化石; 主要发育植物化石有轮叶、科达木、宽带羊齿等; 太原组沉积环境比较动荡, 为河流相或者浅海相环境, 其陆表海盆地层序及内部单元的典型界面有最大海泛面、区域性海退界面和最大海退面, 并依据其不同界面, 进行了沉积相划分和层序地层分析; 研究区内晚石炭世的太原组地层为陆表海沉积序列, 其沉积环境演化主要是由海陆交互相沉积向陆相沉积的转换。

关键词 黄河北煤田; 太原组; 沉积环境; 沉积相; 粒度分析

中图分类号: P534.4

文献标识码: A

文章编号: 1006-3021(2008)04-414-13

Depositional Characteristics of Carboniferous-Permian Taiyuan Formation in Huanghebei Coalfield, Shandong Province

ZHANG Sumei¹⁾ LI Zengxue²⁾ LI Wei¹⁾ WANG Lifeng¹⁾ ZHANG Yulin³⁾
WANG Duixing¹⁾ LIU Haiyan²⁾

1) Shijiazhuang University of Economics college of resources, Shijiazhuang, Hebei 050031;

2) Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266510;

3) Anhui University of Science and Technology, Huainan, Anhui 232001

Abstract In order to study the depositional features of the Huanghebei Coalfield, determined the type of stratigraphic lithology, sedimentary structure and the particle size distribution of Taiyuan Formation in the study area, and reveal sedimentary evolution of the sedimentary system and sedimentary facies, the authors made detailed investigations into the stratigraphic depositional features of Taiyuan Formation. Through the observation of field outcrop and description of drill cores and thin-section analysis, combined with drill data and well-log information, the authors used such means as sedimentology, paleobiology, stratigraphy, sequence stratigraphy and grading analysis to perform the study. The result shows that the Taiyuan Formation has abundant medium-grained sandstone, siltstone, mudstone, limestone and coal seam in the Carboniferous-Permian coal-bearing strata, and the iron-bearing minerals are mainly limonite, pyrite and siderite. Main bedding

收稿日期: 2007-06-18; 改回日期: 2008-01-10。责任编辑: 刘志强。

第一作者简介: 张素梅, 女, 1977年生, 讲师, 主要从事矿产普查与勘探研究; 通信地址: 050031, 河北省石家庄市槐安东路136号; E-mail: smzhang2004@163.com。

structures include horizontal bedding, parallel bedding, cross bedding, current bedding and rhythmical bedding. Bioturbate structure is well developed. Main oryctocoenose preserved in limestone of platform facies includes various types of large bodies, such as *Schwagerina subnathorsti* (Lee), *S. sp.*, *Streptognathodus elongatus*, *Hindeodus sp.*, and *Anchignathodus sp.* The plant fossils are *Annularia sp.*, *Cordaites sp.*, and *Taeniopteris nystroemii*. Sedimentary environment of Taiyuan Formation is instable, and is mainly a river facies and shallow sea facies environment. The typical surface of stratigraphic sequence and units of continental sea are of three kinds, i. e., the largest marine flood surface, the regression surface of the area, and the largest regression surface. According to different surfaces, the depositional facies division and the analysis of strata sequence were completed. Strata of Late Carboniferous Taiyuan Formation are of the continental sea sedimentary sequence. The sedimentary environment was converted from paralic deposition to continental deposition.

Key words Huanghebei coalfield; Taiyuan Formation; depositional condition; depositional facies; analyzing grain size

黄河北煤田位于华北地台山东地台背斜西缘,鲁西断块鲁中隆西北缘,在东阿—济南—临朐单斜凹陷的偏西部(图1)。其南为泰山断凸和肥城断盆,北部边界为著名的聊考大断裂,断裂上盘即济阳坳陷,西为阳谷茌平煤田预测区;东为章丘煤田。该煤田地层系统属华北型(李增学等,1998),基本构造形态为一单斜构造,地层走向 NE50°,倾向 NW,倾角 5°~8°。黄河北煤田自西向东分为旦镇、长清、袁庄、济西等勘探区。区内太原组含煤岩系普遍受岩浆侵入影响,并使部分可采煤岩变成天然焦及高变质的煤。黄河北煤田地层区划属华北地层区鲁西地层分区的一部分。石炭—二叠系含煤岩系假整合于中奥陶统石灰岩之上。煤系基底为奥陶系与寒武系,出露于黄河南岸的长清至平阴一带,形成中、低山丘陵区。石炭—二叠系全被厚度较大的第四系、新近系所覆盖。缺失中生界、下石炭统、泥盆系、志留系、上奥陶统与元古界。

黄河北煤田是鲁西重要的煤炭生产基地,同时也是山东重要的后备能源基地之一,因此,研究其含煤地层沉积特征具有重要的现实意义。前人对研究区晚古生代地层的沉积特征作了一定程度的研究,主要侧重于煤岩气赋存条件、岩浆侵入的研究(李增学等,1998;范世彦等,2001),且研究程度比较低,对研究区的沉积分析不够,应该说,国内对于黄河北煤田地层沉积特征尚无完整、系统的研究和描述,鉴于此,本文利用沉积学、古生物地层学方法、粒度分析结合层序地层学进行了深入的研究,同时对研究区的晚古生代地层的沉积特征做出了量化的研究。

1 岩性特征

1.1 地层特征

黄河北煤田地层区划属华北地层区鲁西地层分区的一部分。石炭—二叠系含煤岩系假整合于中奥

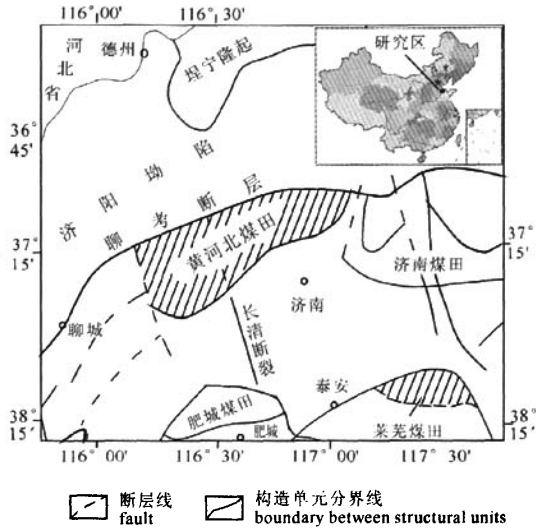


图1 黄河北煤田位置图
Fig. 1 Location of the Huanghebei coalfield

陶统石灰岩之上。煤系基底为奥陶系与寒武系,出露于黄河南岸的长清至平阴一带,形成中、低山丘陵区。石炭—二叠系全被厚度较大的第四系、上第三系所覆盖。缺失中生界、下石炭统、泥盆系、志留系、上奥陶统与元古界(图2)。

第四系(Q):由土黄、棕黄、灰绿色粘土、砂质粘土夹黄白色松散砂砾层组成,局部砂砾层可胶结成岩。

厚:0~500 m

~~~~~ 不整合 ~~~~~

新近纪:上部棕黄、棕红、灰绿、紫色粘土、泥岩夹土黄、浅棕色粉砂—细砂岩、含砾砂岩。下部紫红、棕红、灰绿色泥岩夹粉—中砂岩。底部灰白色含砾砂岩。 厚:0~1635 m

~~~~~ 不整合 ~~~~~

古近纪:上部为浅灰色粉砂岩、泥岩及灰—灰绿色砂岩,其次为杂色泥岩、泥灰岩。下部为紫红、红色粉砂岩,泥质细砂岩等。 厚:0~1700 m

~~~~~ 不整合 ~~~~~



23. 深灰色砂质页岩,不显层理,含泥质,下部为页岩,受风化。
22. 石灰岩(四),质不纯,坚硬,含珊瑚化石,海百合茎多。
21. 中砂岩,石英为主,含云母,胶结良好,粘土胶结,含少量钙质。
20. 砂质页岩和灰砂页岩,下部砂质页岩夹细砂岩,中下部以泥质页岩为主,不显层理,含  $\text{Fe}_2\text{S}_3$ 。上部为灰砂页岩,薄层砂页岩互层,以砂岩为主,层理清楚。
19. 石灰岩(五),不纯,含纺锤虫,可为纺锤虫石灰岩,有 *QuasifusAlinaLongissima Moller* (长梭蛭)。
18. 煤岩 11。
17. 粉砂岩和粘土岩,下部为粉砂岩,石英为主,粘土胶结,不显层理,夹细砂岩,含植物化石,深 476.14 m 有 0.15 m 的炭质页岩。上部为粘土岩,较致密,易破碎,外貌类似石灰岩,含植物化石褐  $\text{Fe}_2\text{S}_3$ 。
16. 煤岩 12。
15. 砂质页岩和粘土岩,下部砂质页岩,不显层理,易风化。上部粘土岩性脆,质纯,含植物化石。
14. 粘土岩和粉砂岩,下部粘土岩,不显层理,性脆,呈浅灰色。上为砂页岩式粗粉砂岩,含植物化石。
13. 砂质页岩和页岩,砂质页岩,不显层理,含泥,断口平整,含  $\text{Fe}_2\text{S}_3$ ,上部为页岩,性脆,坚硬,外貌类似油页岩,断口凹凸不平。
12. 砂质粘土页岩,质较纯,含少量植物化石含黄铁矿具鲕状结构。
11. 煤岩 13。
10. 砂质页岩,节理极为发育,含植物化石,底部含菱铁矿结核,比重大。
9. 石灰岩(六),不纯,局部砂质灰岩状,含海生动物化石多,海百合茎。

上石炭统( $C_2$ ):

本溪组:紫色、灰色泥岩、粉砂岩、砂岩,含石灰岩 2 层,底部具山西式铁矿层位和 G 层铝土岩的发育。厚:28 ~ 68 m。

- - - - - 假整合 - - - - -

奥陶系( $O_{1,2}$ ):上部为青灰色厚层石灰岩、豹皮状灰岩夹泥灰岩和角砾状石灰岩。下部为白云质灰岩和白云岩,含燧石结核和条带。厚:800 m

- - - - - 假整合 - - - - -

寒武系( $\epsilon$ ):上部为青灰色厚层石灰岩、夹竹叶状灰岩及页岩;中部为中厚层状、鲕状灰岩;下部为紫红色云母页岩及薄层灰岩。厚:~520 m

~~~~~ 不整合 ~~~~~

太古宇(Ar):主要为花岗片麻岩、黑云斜长片麻岩,黑绿色角闪片岩和角闪黑云母斜长片麻岩等组成。

厚: >11170 m

根据最新地层划分方案,该研究区的地层分界时,将石炭系与二叠系的分界位置向下迁移,太原组上部地层要划入二叠系,下部地层要划为石炭系。

1.2 主要岩石类型

黄河北煤田太原组含煤地层主要发育砂岩、泥质岩、碳酸盐岩、火山碎屑沉积岩和可燃性有机岩(煤)。不同时代地层中岩石类型及丰度有一定差异,从剖面上看太原组沉积物中砂岩、粉砂岩、泥岩、石灰岩及煤岩均较发育,研究区各主要岩石类型及岩性特征叙述如下:

1.2.1 砂岩

砂岩在黄河北煤田太原组含煤地层中分布较山西组和石盒子组少,约占太原组整个煤系地层的1/7到1/10。砂岩的主要是陆源碎屑性质,成分以石英、长石为主,其次是云母、岩屑和重矿物等。研究区太原组的砂岩以中、细粒居多,砂岩的成分成熟度一般较高,石英平均含量约占碎屑组分的80%~95%之间,以单晶石英为主,含少量多晶石英和稳定的硅质岩岩屑。长石在研究区风化比较严重,一般呈污浊的土黄色,或者呈灰白色;结构成熟度变化较大,主要表现为分选性、磨圆度变化较大,填隙物除硅质、钙质等化学胶结物外,也有粘土胶结,常含不等量的泥质杂基,有时在砂的裂隙被方解石脉充填。

1.2.2 泥质岩

研究区内太原组含煤地层中的泥质岩成分含量较高(约占总量的1/3),主要为杂色页岩、泥岩、碳质页岩、粉砂质泥(页)岩,以及以单矿物为主的高岭石粘土岩和蒙脱石粘土岩。

1.2.3 碳酸盐岩

本区含煤地层中仅见石灰岩,在太原组中,有时可达十余层,大部分分布较为稳定,是含煤地层对比的重要标志。石灰岩的矿物成分简单,以方解石为主,一般含量均大于90%,常见少量泥质、有机质和白云石,个别层位含少量陆源碎屑和火山碎屑物质。

1.2.4 粘土岩

研究区的粘土岩较多,一般具有滑面,在太原组发育较多,在太原组颜色以深色到灰白色为主。太原组底部及中部的粘土岩成分以伊利石和蒙脱石为主,太原组顶部的粘土岩成分主要是伊利石和蒙脱石。自生的粘土矿物可以反映水介质条件,研究区本溪组的粘土矿物多是海相的产物;但在太原组底部由于海水水位慢慢下降使其开始发育浅海相的粘土矿物,太原组中部的粘土矿物是浅海环境的产物;太原组顶部的粘土矿物多指示过渡相环境。说明在太原组地层的沉积过程中,海水水位开始逐渐下降,海水开始逐渐退出研究区。

1.3 沉积物的颜色

沉积岩的自生颜色是地球化学特征的良好指标,如在研究区见到褐色粘土岩和灰白色粘土岩反映了不同的水动力和水介质条件,自生色主要取决于岩石中含铁自生矿物及有机质的种类和数量,粘土岩、化学岩和生物化学岩的自生颜色对古水介质的物理化学条件有良好的反映(李增学等,1998;胡恭任等,2004)。在研究区常见的含铁矿物主要是褐铁矿、黄铁矿、菱铁矿等。沉积岩在形成过程中还会有次生变化。

2 沉积构造特征

沉积岩的构造特征是沉积时水动力条件的直接反映,具有良好的指相性。黄河北煤田晚古生代含煤地层中发育有多种沉积构造类型。

2.1 层理构造

层理是沉积物沉积时在层内形成的成层构造。沉积物在搬运和沉积时,由于介质(如水、空气)的流动,在沉积物的内部以及表面形成流动成因的构造,层理由沉积物的成分、结构、颜色、以及层的厚度、形状等沿垂向的变化而显示出来(姜在兴,2003)。在研究区主要发育有水平层理,大型交错层理,波状层理、互层层理及复合波状层理,韵律层理等层理构造。其中水平层理和微波状水平层理较发育,尤其在泻湖相、混合坪相常见;混合坪及远砂坝的含泥质粉砂、粉细互层砂岩中多见潮汐成因的脉状及透镜状层理;在粉砂岩和细砂岩层内的细层成连续的波状、断续波状或薄的泥纹层和砂纹层成波状的互层,多见小型波状层理、复合波状层理和缓波状层理,在细砂岩中偶见波状层理;混合坪相多为潮汐流形成的潮汐韵律层理。

2.2 生物扰动构造

由于生物的活动使沉积物原始构造受到破坏,最常见的类型是虫孔和动物爬行迹,研究区的生物扰动构造,多产于粉细互层砂岩中,尤其在混合坪及远砂坝环境中发育,一般以浑浊状层理出现。在太原组地层中,发育混合坪相和泻湖相沉积物,有利于动物生存,因而该研究区的太原组生物扰动构造非常发育。

2.3 古生物特征

研究区台地相的灰岩中常见的古动物化石有蠕类(包括 *Schwagerina subnathorsti* (Lee), *S. sp.*, *Schubertella obscura penchiensis* Sheng, *Triticites umbonoplicatus* (Rauser et Beljaev)), 牙形石(包括 *Streptognathodus elongatus*, *Hindeodus sp.*, *Anchignathodus*

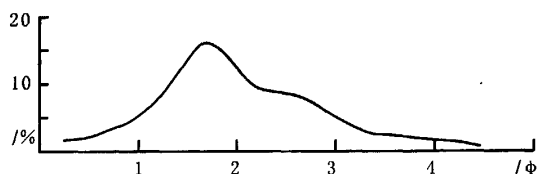


图3 H72 概率曲线图

Fig. 3 Curve of H72's probability

sp.)、海百合茎、双壳类和腕足类化石,个别地区的化石个体较大。从地层上看,主要位于太原组,这些生物特征表明海水还没有完全退出该地区,但到太原组的上部时已经出现了海陆的交互环境。此外,研究区海陆交互相的太原组沉积物中广泛发育轮叶(*Annularia sp.*)、科达木(*Cordaites sp.*)、宽带羊齿(*Taeniopteris nystroemii*)、楔羊齿(*Sphenopteris sp.*)、脉羊齿(*Neuropteris sp.*)、斜方鳞木(*Lepidodendron posthumii*)、卵脉羊齿(*Neuropteris ovata*)、星轮叶(*Annularia stellata*)、带科达(*Cordaites principalis*)、脐根座(*Stigmaria ficoides*)等古植物化石,在细砂岩、粉砂岩、泥岩粘土岩沉积物中主要含有苛达叶、鳞木以及轮叶等化石,粘土岩中则常见植物根化石。由于太原组沉积物中细碎屑(以泥质岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩和粘土岩为主)丰度较大,有利于研究区生物的发育,沉积环境较适合生物的生存,有利于有机矿物的生成和储藏。

3 粒度分布特征和沉积体系特征

3.1 粒度分布特征

在研究区砂岩丰度较高,为了确定沉积环境,对研究区的典型砂岩进行分析,砂岩粒度分析是一种定量的分析方法。在传统情况下需要通过切片在显微镜下,测量颗粒粒径大小并进行分区间统计,然后绘制出概率累积曲线和概率直方图,通过计算和分析来解释沉积环境。利用计算机成图和分析是近年来新发展的粒度分析的一种方法和手段。但是计算机直接编制的曲线需要通人工参与来纠正成三段式形状(姜在兴,2003)。在研究区选择了有代表性的砂岩薄片9个,取其中的3个代表性的样品作粒度分析,样品号码为H3, H36和H72,本文仅介绍H72实验曲线特征。

图3为H72的概率曲线图,从图中可以看出该层位的粒度分布呈近似的正态分布,根据曲线形态可以看出该层的分选性不好,因为绝大部分颗粒分布在区间($1 \leq \phi \leq 2$, $2 \leq \phi \leq 4$)内,即有双众数的倾

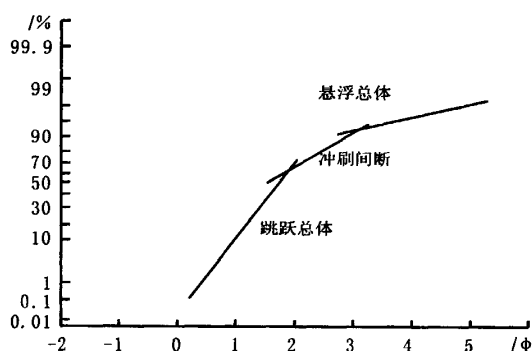


图4 H72 概率累积曲线图

Fig. 4 Curve of H72's accumulative probability

向,而不是分布在一个狭窄的区间内。表明该沉积环境比较动荡,是河流相或者浅海相环境,结合萨胡公式(姜在兴,2003)判断为浅海相环境。

从图4为H72概率累积曲线图,从图中可以看出:沉积环境缺少牵引总体,只有跳跃总体和悬浮总体。这意味着水介质的能量比较高,水流速度大,而且在跳跃总体和悬浮总体之间有冲刷的间断。而在正常沉积环境下,概率累积曲线图应该是“S”,在该层位缺少了牵引整体。根据薄片和取心资料判断该标本位于潮道或潮渠(沟)部位。

3.2 层序界面的识别及沉积体系特征

3.2.1 层序界面识别

研究和重建沉积体系域,可以正确恢复古环境,分析沉积体的成因,更重要的是可以阐明各种沉积体系的相互关系及其在全盆地中的配置样式(李增学等,1998)。由于黄河北煤田是华北陆表海盆地的组成部分,因此,决定沉积体系空间配置(体系域)的最基本因素是海平面的升降变化。在盆地演化过程中,盆地中沉积体系的类型和配置随着海平面的周期性变化而改变。研究表明,黄河北煤田陆表海盆地层序及内部单元的典型界面有以下3类:

(1)最大海泛面:在黄河北煤田石炭—二叠系的沉积层序内部存在一些关键性的界面,这些界面将层序划分为成因上相互联系的层序单元(体系域)(应汉龙等,1999;彭勇民等,1999)。如最大海泛面是划分陆表海盆地沉积地层序列Ⅲ级层序中体系域单元的关键界面,主要有初始海泛面和最大海泛面。其中,初始海泛面为低水位体系域和上覆海进体系域间的分割界面,在研究区不发育;而最大海泛面是海进体系域和高水位体系域的分隔界面,是在海进过程中陆源沉积场所向陆迁移,海侵达到

最大范围形成的。该面以上发育弱加积—进积型小层序组,以下发育退积—加积型小层序组(李增学等,1998)。经反复对比和分析,根据海侵沉积在基准面上的旋回性(郑荣才等,2000)、海平面变化的特点,黄河北煤田晚古生代含煤地层中发育最大海泛期的沉积标志物是四灰与一灰。其中,在研究区煤的上覆岩层是海相灰岩情况较多(如14煤之上的六灰,11煤之上的五灰,9煤之上的二灰,6煤之上的一灰等),说明了盆地在充填的某一阶段的泥炭沼泽化与海侵过程具有密切关系。每一层海相沉积代表一次海泛事件,而海相沉积的厚度、分布范围则是确定其海泛规模的主要依据。

(2)区域性海退事件界面:是盆地范围内的海退事件界面,与板块构造运动和地球上的冰期活动密切相关。在华北陆表海盆地的演化过程中,由于发生了区域性海退事件,海水大规模南退,最终全部退出盆地,导致了盆地属性的变化。

(3)最大海退事件界面:与区域性海退事件不同,该界面指在海陆交替频繁的陆表海盆地背景下,影响全盆地的最大级次(三级)海退事件造成的界面。它位于高水位体系域的最顶面,通常为广泛的泥炭化事件界面,往上则为新的海侵事件开始。是高水位体系域和海进体系域的转换界面,因而是层序划分的一个标志性界面(如层序Ⅰ、Ⅱ的界面)。对于华北陆表海盆地来说,区域性海退界面,实际上也是盆地构造应力场的转换面(如层序Ⅲ的顶界面)。

3.2.2 沉积体系特征

根据上述的原则和界面的识别及相分析可以将黄河北煤田石炭—二叠系太原组地层划分在层序Ⅱ、层序Ⅲ中。该沉积层序(沈玉林等,2007)中可识别出两个大的沉积体系:障壁—泻湖沉积体系(图5(a))和潮坪沉积体系(图5(b))。

(1)障壁—泻湖沉积体系:研究区的障壁—泻湖沉积体系比较发育,由于研究区的坡度非常小,因而推测障壁—泻湖形成可能与波浪的垂直海岸运动有关,而与波浪的斜交或平行情况海岸运动情况关系较小。研究区晚古生代聚煤盆地是受限陆表海盆地,障壁—泻湖沉积环境是陆表海盆地中比较靠近海盆的一个重要沉积环境组成部分。在研究区障壁坝的存在是黄河北煤田聚煤沉积中的一个特色。该沉积体系主要的水动力条件是潮汐作用,而不是波浪作用,因为在该沉积体系中障壁坝的存在阻挡了波浪的作用,泻湖在研究区分布比较多,但其分布不规则。障壁坝可能与海滩砂脊沉没后再与陆地分开

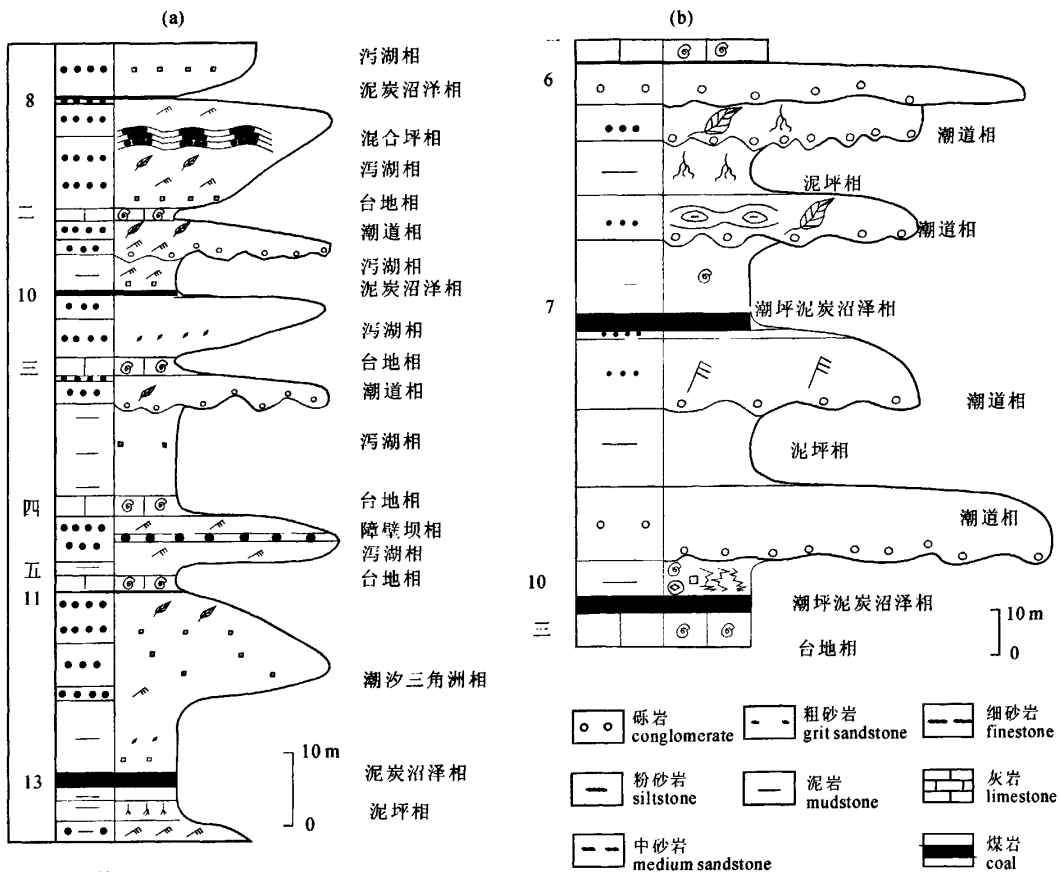


图 5 典型障壁—泻湖沉积充填序列组合(济西 408 孔)(a)与旦镇 14-2 钻井潮坪沉积体系组成(b)
Fig. 5 Filling succession association of typical barrier-lagoon sediments(a) and The composition of tidal flat sedimentary system in Danzhen14-2 well (b)

有关。障壁—泻湖沉积体系构成主要由 4 个沉积成因相组合组成(图 2):障壁砂坝(障壁岛)、泻湖相、潮汐三角洲相、障壁滩(障壁潮坪)相。其特征依次介绍如下:①障壁砂坝,在研究区障壁砂坝中的砂岩成分成熟度和结构成熟度一般比较高,具有比较典型的向上变粗或向上变细的沉积层序(图 5(a))。该区障壁坝的沉积序列下部多为深灰色粉砂质泥岩或泥质岩,含有较多的生物潜穴。在垂向层序中自下而上泥质含量逐渐减少,由以砂岩为主的砂泥互层过渡为中细砂岩,在细砂岩中往往具有小型交错层理;沉积序列内部常具有中等至强烈的生物扰动构造,含有重矿物和云母类物质;测井曲线常表现为高的视电阻率和低的自然伽玛值。在垂向沉积层序上,上部为低角度交错层理发育的中细砂岩,反映障壁岛在自海侵过程中沉积作用由过渡带经临滨到前滨的演化过程。但是,研究区的障壁砂

坝在不同海平面变化周期内横向追踪是比较困难的;②泻湖,研究区的泻湖相发育细粒沉积物和泥质沉积物,主要由深灰色至灰黑色粉砂质泥岩、泥岩及页岩、粘土岩组成,发育水平层理、水平波状层理、块状层理,生物扰动构造发育,常见生物的水平潜穴,在研究区还可见丰富的植物的叶片化石和根化石。泻湖沉积物中含较多的菱铁矿晶体(或菱铁质结核)和黄铁矿晶体(黄铁矿结核)。有的菱铁矿结核直径达十几厘米,或构成黄铁矿结核层,或为菱铁质泥岩薄层或条带,说明是处于停滞和闭塞的还原条件。当涨潮三角洲较小时,它与冲溢扇一起可构成泻湖的次一级的沉积单元。在垂向沉积序列上,本溪组和太原组下部的泻湖沉积物之上往往为沼泽或泥炭沼泽沉积。华北晚石炭世潮汐作用为中潮差型,由于泻湖水体与开阔海水之间通过潮道不断的发生交换,而且,华北晚石炭世泻湖分布面积较广

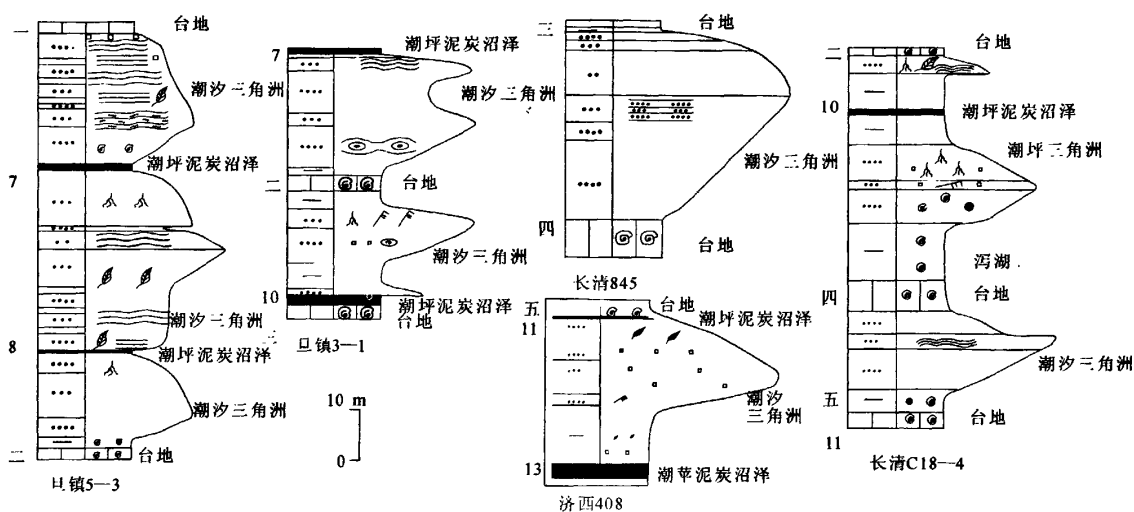


图6 潮汐三角洲沉积序列组合

Fig. 6 Association of tidal delta sediments

阔,有多个人潮口,所以泻湖水体的盐度为正常型,在泻湖的进潮口处,涨潮三角洲是最重要的沉积场所,在潮汐三角洲之上往往发育泥炭层。沿岸潮坪是泻湖周围的平坦地带,其沉积物一般平行于岸线分布,也可以划分出砂坪、混合坪和泥坪,但砂坪在研究区并不多见。在障壁—泻湖沉积序列中,沿岸潮坪的沉积层较薄,而在泻湖逐渐充填变浅过程中,沿岸潮坪的分布逐渐扩大,最终可能完全占据原先的泻湖分布区。如果泻湖淤浅后的沉积持续时间较长,则可以形成大型潮坪沉积序列;③ 潮汐三角洲,在研究区的上石炭统发育大型的潮汐三角洲沉积组合序列(图6),它的规模一般较大,具有典型的二元结构(向上变粗在变细),沉积序列的下伏地层大多是泻湖泥质沉积,上覆地层一般是泥炭沼泽;④ 障壁滩(障壁潮坪),在黄河北煤田,障壁滩的分布范围往往较为局限,这与华北整个陆表海的沉积特点一致,在障壁砂坝附近一定范围很快过渡为泻湖沉积区,而且两者之间的界线也难以划定,可将其划入泻湖的沿岸潮坪带内。

(2) 潮坪沉积体系: 在研究区潮坪沉积中识别出了潮道(包括潮渠、潮沟)、砂坪、泥坪、砂泥混合坪、潮汐砂脊、潮坪沼泽、潮坪泥炭沼泽等成因相(图2)。其中潮道和潮沟、砂泥混合坪发育最好(图5(b)), 其次为潮坪沼泽和潮坪泥炭沼泽。其特征依次介绍如下: ① 潮道, 黄河北煤田潮坪沉积体系中几个典型潮道沉积序列实例(图7), 从图上可以看出潮道沉积充填序列的一次充填沉积过程是一个

物理沉积作用强度逐渐变弱的演化过程。研究区除典型的潮道沉积外,还有潮沟和潮渠沉积广泛发育,但是发育的规模较小,是潮道分支,它的沉积物和潮道沉积特点相似,但相对潮道沉积物来说粒度偏细,厚度偏小。由于潮汐流的强度变化致使其改道或淤浅充填,从而使潮沟和潮渠发育的沉积序列在垂向上缺少某些沉积层序。② 砂坪相及沉积组合特征,在研究区的砂坪中发育大中型交错层理,沉积物以稳定组分(石英)为主,其次是云母和岩屑,分选和磨圆均较好,颜色浅灰—深灰,常见植物叶化石和根化石(图8);③ 泥坪相及沉积组合特点,泥坪相是黄河北煤田本溪组和太原组中常见的潮坪沉积类型,因有较长时间暴露于水面以上,仅在高潮时才会被淹没,沉积物以悬浮载荷为主,主要是灰色—浅灰色的泥质岩和细粒物质,其次为粉砂岩。在泥坪沉积组合中具有生物扰动、虫孔以及植物根系等,因此沉积物的原生沉积构造被破坏,但有时还可以辨别出层理。晚石炭世早期,泥坪沉积物中含有较多的铝质,说明具有蒸发及土壤化泥坪的气候特点。在充填沉积晚期的泥坪沉积中,以暗色泥质和粉砂质沉积为主,含丰富的植物化石,常有沼泽和泥炭沼泽成因的泥炭层,如果发生海侵,泥炭层常被保存而形成薄层煤,但是泥坪沉积基础上发育的泥炭沼泽形成的煤岩,开采价值一般不是很高。在整个华北陆表海盆地充填序列中由于具有非常典型的海陆交替型沉积特色(李增学等, 2000),不同沉积交互频繁,因而有些沉积层很薄。但在黄河北煤田中,泥坪相相

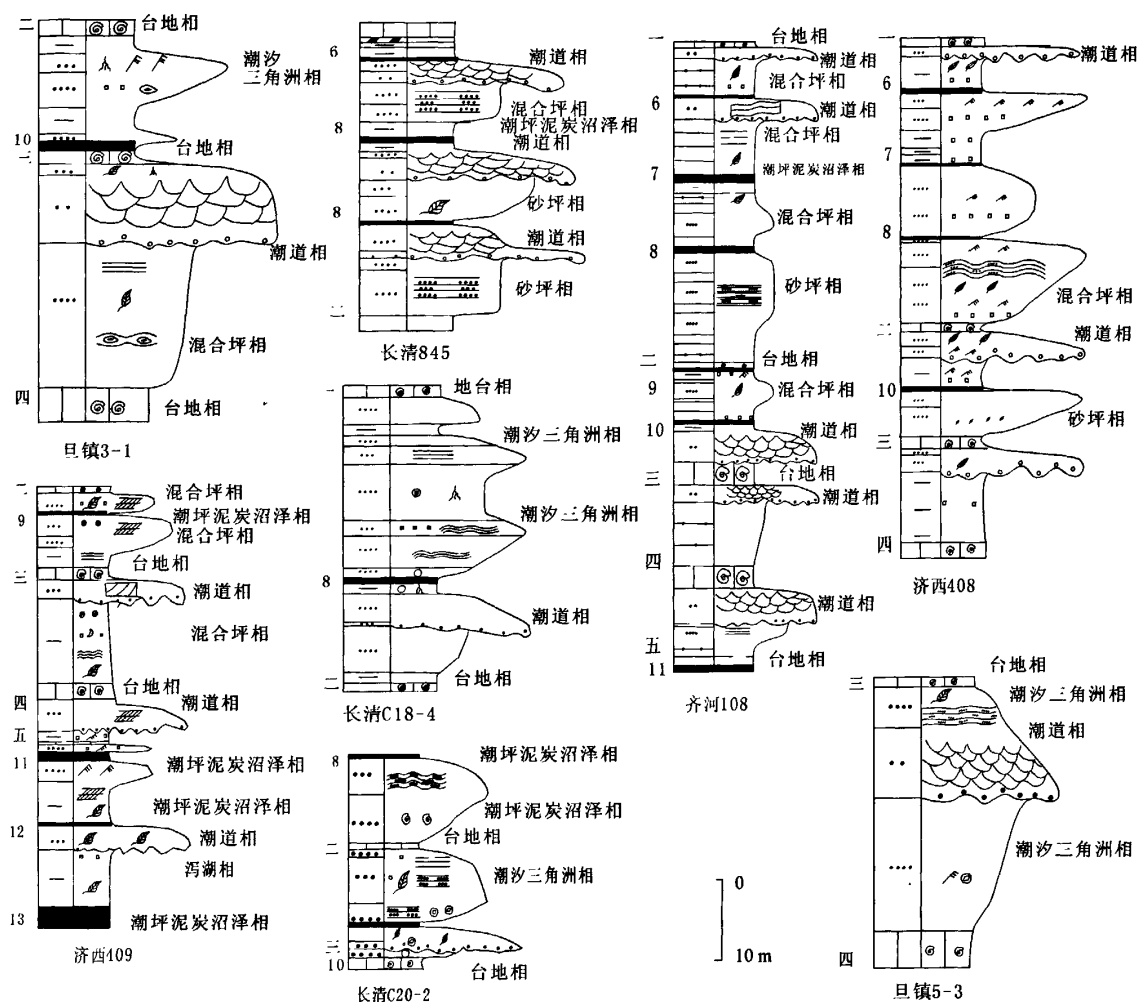


图7 潮道充填沉积组合

Fig. 7 Filling association of tidal channel sediments

对较发育；④ 混合坪相及沉积组合特点，混合坪相是研究区内最常见的潮坪沉积类型，它构成了陆表海陆交替型沉积的骨架部分，因为中潮坪平均有一半时间被海水淹没，受潮汐流作用的影响最大，是狭义的潮坪，所以其沉积物以床沙载荷出现为特征，床沙形态以沙纹为主，沉积物以细粒、粉砂质和泥质的互层为特征，潮汐层理发育，其中尤以互层层理、水平层理、透镜状层理、缓波状及复合波状层理最为常见。在研究区的各个小层序中几乎都可见到砂泥混合坪沉积组合（图9）；⑤ 潮汐砂脊相及沉积组合特征，潮汐砂脊也是潮坪沉积中比较典型的沉积类型，是潮坪沉积序列的重要组成部分，就其平面分布而言，它甚至比潮道沉积更普遍。潮汐砂脊通常垂直或斜交于海岸线而依次呈线状分布，有的可能近

于平行海岸线，但不连续，在横断面上呈席状分布，常见被潮道所切割。潮汐砂脊组合中往往穿插潮道、潮沟沉积组合。潮汐砂脊沉积物多以细碎屑为主，质不纯，发育小型交错层理、沙纹层理、复合波状层理和爬升层理等；⑥ 潮坪沼泽和潮坪泥炭沼泽相及其沉积相组合特点，潮坪沼泽及潮坪泥炭沼泽是在陆表海总体背景下不断受到海水侵袭的沼泽环境，它在沼泽发育、发展至成煤的各阶段均受到海平面变化的控制。随着潮汐流作用的逐渐减弱，潮坪（以沙泥混合坪为主）常出现沼泽化，如果气候适宜则进一步泥炭沼泽化，是一种近海的受海水影响的低位沼泽。在潮坪背景条件下演化而来的沼泽及泥炭沼泽分布范围广且稳定性强。陆表海盆地广大范围为植物繁盛的沼泽环境，水不甚流畅，较闭塞，水

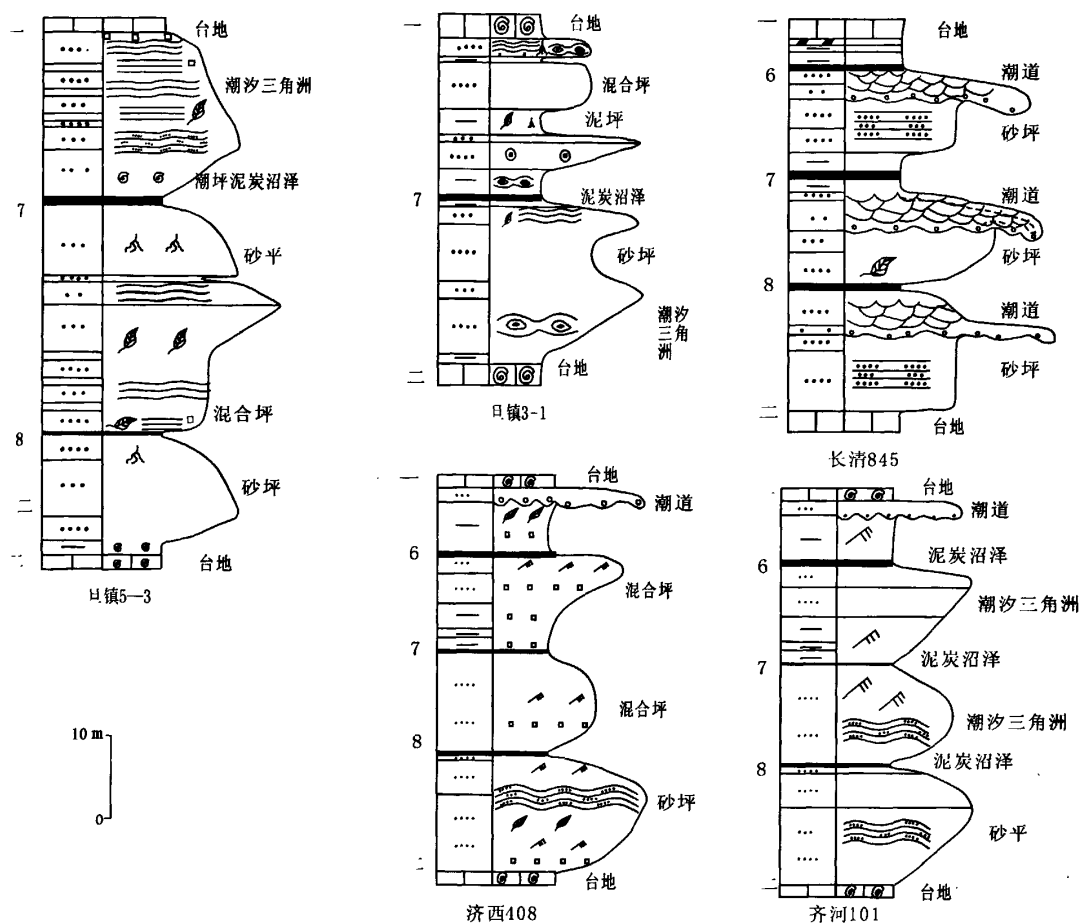


图8 砂坪相沉积充填组合
Fig. 8 Filling association of sand flat facies sediments

体呈弱还原—还原环境。因此,潮坪沉积序列中的潮坪泥炭沼泽沉积层位具有较大范围的等时对比意义(如7煤和10煤),是划分V级层序的一个标志性界面。在潮坪沼泽和潮坪泥炭沼泽中形成的煤岩硫分含量相对较高,在钻孔的矿井开采中常发现煤岩中含有大量的黄铁矿结核,有的个体较大(直径达几厘米至十几厘米),这与海平面变化密不可分,因为泥炭要得以保存最终形成煤岩与海平面的突发性相对上升(即突发性的海侵事件)密切相关。但由于海平面相对上升使潮坪泥炭沼泽发育中止,因而研究区晚石炭世太原组煤岩一般较薄,潮坪沼泽沉积形成的泥岩和粉砂质泥岩颜色较深,多为深灰色至黑灰色,含有大量片状黄铁矿晶体或黄铁矿散晶,见有植物根化石或根痕化石和生物扰动构造,其上部常为泥炭沼泽沉积或薄煤岩。研究区潮坪沉积

序列是聚煤盆地充填沉积层序的一个主要构成单元,在含煤地层层序中多次重复出现。在潮汐流作用的沉积组合中,主要沉积类型为潮道充填和潮道间混合坪沉积,潮坪的弱进积作用形成向上变细的、生物扰动向上增强了沉积组合序列,潮道沉积组合往往呈透镜状夹于其间,有时潮坪沉积完全被潮道沉积组合所代替,表明为不活动潮坪,如果缺失潮道沉积,潮坪沉积序列中出现较多的砂体为潮汐砂脊,它形成于低能的水动力环境,较障壁砂体和潮道砂体的成熟度要低,主要由于潮汐流的反复作用形成,其形态较低平,其间隔距离也较大。以陆表海盆地总体而言,潮汐砂脊可能具有面状分布的特点。

3.3 沉积环境演化特征

黄河北煤田石炭—二叠系中稳定煤岩主要是5煤、6煤、7煤、10煤、11煤和13煤,它们分布较广

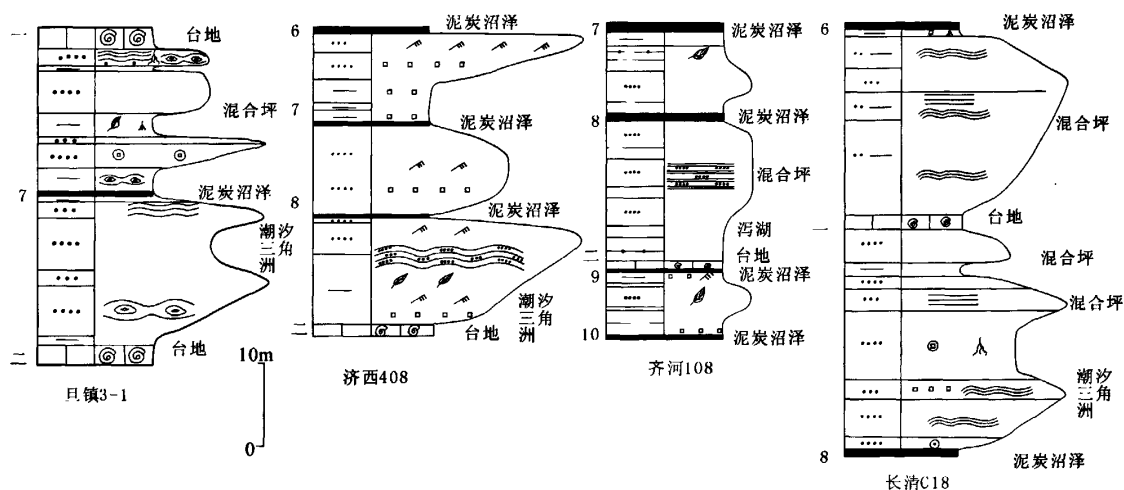


图9 砂泥混合坪相沉积组合

Fig. 9 Sedimentary association of mixed flat facies of sand and mud

泛,厚度相对稳定,因此是划分层序单元的良好依据。研究沉积环境及其演化,首先要清楚沉积组合特征,以查清盆地充填序列,恢复古环境。研究区太原组主要沉积组合序列及沉积演化特征(陈孝红等, 1999)。

3.3.1 海陆交替型含煤沉积组合序列

由于华北晚古生代地台构造活动相当弱,盆地基底沉降缓慢,古坡度极缓,因此盆地内水动力条件在相当大的范围内具有一致性,搬运应力在相当大的范围内保持稳定或相近。总体看来,内陆表海沉积物供给是欠补偿的,但由于海平面的高频变化,盆地覆水不深,还时常暴露为陆,因此海陆交互是盆地沉积环境演变最主要的特点,也是华北晚古生代陆表海盆地充填沉积中最典型的沉积组合序列,它由若干个相类似的海陆交替型沉积组合构成。这套沉积组合序列包括了本溪组的上部和整个太原组及山西组的下部,太原组沉积范围略大于本溪组。在山东及以南地区,岩性由细砂岩、粉砂岩和泥质岩组成,间夹 15~18 层石灰岩(在长清为 5~8 层石灰岩)和 20 余层薄煤岩和少量砾岩,在垂向上以碎屑岩、化学岩、煤岩和泥质岩等的有规律地交替出现为特色,沉积旋回层序和韵律十分清晰。沉积组合序列由下列主要沉积组合组成:① 潮坪沉积组合,是由砂泥混合坪、泥坪、潮道和潮坪沼泽等几种沉积相叠覆在一起,组成以砂泥混合坪为主体的潮坪沉积组合。这类沉积组合在整个序列中多次重复出现,一般包含几个沼泽及泥炭沼泽相,虽厚度较小但其

分布比较稳定;② 障壁—泻湖—潮汐三角洲沉积组合,主要由障壁砂坝、主潮道、潮汐三角洲组合、泻湖或局限海湾等沉积相组成,顶部为潮坪沼泽或泥炭沼泽。这类沉积组合有比较显著的垂向粒序变化,即向上变粗再变细的二元结构特点(张福顺, 2005),在海陆交替型沉积组合序列中重复出现,常被潮坪沉积组合隔开;③ 海侵沉积组合,主要由石灰岩、泥质灰岩、泥岩、煤岩等组成,为海侵时期局限海或潮下沉积,含有丰富的海相动物化石,在陆表海海陆交替型沉积组合(栾光忠等, 2003)序列中多次出现。海侵沉积组合中的典型沉积为海相灰岩、泥灰岩,其厚度不等,由薄层、中厚到厚层,是沉积旋回层序划分的重要依据。海侵沉积组合的另一个典型特色是海侵层(海相灰岩)直接覆盖于煤岩之上,构成灰岩与煤岩的共生组合,在海侵体系域中比较常见。

3.3.2 黄河北煤田太原期沉积环境演化

华北的含煤地层包括从晚石炭世到晚二叠世的所有地层,但研究区从下石盒子组开始以后的地层大多没有形成可开采的煤岩,所以研究研究区的太原组是一个重要的含煤岩段。

晚石炭世的太原期是一个主要的成煤期,是华北陆表海盆地的稳定发展时期,盆地充填了一大套海陆交互相的含煤岩系,盆地地势平坦,沉积范围更广,在研究区全部为海陆交互相沉积,是典型的海陆交互相沉积环境,但仍以海相为主。

从以上综合分析知道,黄河北煤田晚石炭世沉

积环境演化具有以下特点:太原组沉积环境是海相为主的沉积环境,并且海进海退较快,沉积的连续性、过渡性差;山西组的沉积环境以海陆交互的三角洲沉积环境为主,海水整体的下退,而且未出现大的海侵,三角洲平原相最为发育,其中以分流河道相为主,为河控三角洲沉积;到石盒子组海水整体退出华北地区,华北总体进入陆相环境,沉积环境以陆相三角洲为主。

4 结论

黄河北煤田晚石炭世的太原期是一个主要的成煤期,是华北陆表海盆地的稳定发展时期,盆地充填了一大套海陆交互相的含煤岩系,盆地地势平坦,沉积范围更广,在研究区全部为海陆交互相沉积,而在整个华北,除山西和山东的部分地区、以及河北等为陆相沉积地层外其他地区主要为海陆交互沉积,该期内发育煤岩数较多,且煤岩厚,其主要沉积特点如下:

(1) 研究区石炭—二叠系的含煤地层太原组沉积物中砂岩、粉砂岩、泥岩、石灰岩及煤岩均较发育,常见的含铁矿物主要是褐铁矿、黄铁矿、菱铁矿等;主要层理构造有水平层理、平行层理、交错层理、波状层理、韵律层理等,生物扰动构造非常发育;主要的生物化石发育于台地相灰岩中,包括蜓类、牙形石等个体较大化石;主要发育植物化石有轮叶、科达木、宽带羊齿等(张志军, 2007);

(2) 太原组沉积环境比较动荡,为河流相或者浅海相环境,其陆表海盆地层序及内部单元的典型界面有最大海泛面、区域性海退界面、最大海退面3类,并依据其不同界面,进行了沉积相划分和层序地层分析,分析得出:研究区太原组主要存在障壁—泻湖沉积体系和潮坪沉积体系,根据不同得沉积体系划分出不同的沉积微相。

(3) 研究区太原组沉积环境是海相为主的沉积环境,并且海进海退较快,沉积的连续性、过渡性差,主要发育泥坪相、混合坪相、泥炭沼泽相、台地相、潮道相、泻湖相和砂坪相沉积物,因而整个太原组沉积体系划分为障壁—泻湖沉积体系和潮坪沉积体系两大体系;但总体说来研究区在晚古生代是一个海水逐渐退出的沉积过程,沉积物逐渐由海相向过渡相转变。沉积相由海相向海陆过渡相,到山西组变为海陆过渡相的沉积环境,海水逐渐退出华北地区,到石盒子组研究区全部变为陆相环境。

参考文献

- 陈孝红, 汪啸风, 毛晓冬. 1999. 湘西地区晚震旦世黑色岩系地层序、沉积环境与成因[J]. 地球学报, 20(1): 87~95.
- 范士彦, 武旭仁, 郭剑萍. 2001. 山东省黄河北煤田煤层气资源评价[J]. 中国地质, 28(06): 28~30.
- 胡恭任, 刘丛强, 章邦桐, 唐红峰. 2004. 赣中变质岩带变泥砂质岩石地球化学特征及其地质意义[J]. 地球化学, 33(2): 118~130.
- 姜在兴. 2003. 沉积学[M]. 北京: 石油工业出版社.
- 李增学, 魏久传等著. 1998. 华北陆表海盆地南部层序地层分析[M]. 北京: 地质出版社.
- 李增学, 魏久传等. 2000. 含煤盆地层序地层学[M]. 北京: 地质出版社.
- 栾光忠, 王文正, 刘东生, 刘激. 2003. 青岛即墨温泉喷流沉积物及其沉积模式[J]. 地球学报, 4(4): 357~360.
- 彭勇民, 潘桂荣, 罗建宁, 刘家铎. 1999. 三江北段生达残留弧后盆地晚三叠世层序地层与演化[J]. 地球学报, 20(3): 318~324.
- 沈玉林, 郭英海, 李壮福, 孙粉锦. 2007. 鄂尔多斯盆地北部苏里格庙含油气区上古生界层序地层研究[J]. 地球学报, 28(1): 72~78.
- 应汉龙, 蔡新平, 刘秉光. 1999. 云南墨江金矿床含金硅质岩的地球化学特征和成因[J]. 地球化学, 28(4): 307~317.
- 郑荣才, 尹世民, 彭军. 2000. 基准面旋回结构与叠加样式的沉积动力学分析[J]. 沉积学报, 18(3): 369~375.
- 张志军. 2007. 早白垩世芦岗组昆虫组合及沉积环境分析[J]. 地球学报, 28(2): 167~172.
- 张福顺. 2005. 白音查干凹陷扇三角洲与辫状河三角洲沉积[J]. 地球学报, 26(6): 553~556.

References

- CHEN Xiaohong, WANG Xiaofeng, MAO Xiaodong. 1999. Sequence Stratigraphy and Depositional Environments of the Late Sinian-Early Cambrian Black Rock Series in Western Hunan and Its Origins [J]. Acta Geoscientica Sinica, 20(1): 87~95 (in Chinese with English abstract).
- FAN Shiyao, WU Xuren, GUO Jianping. 2001. The coal gas evaluation of Huanghebei Coalfield in Shandong Province[J]. Chinese Geology, 28(6): 28~30 (in Chinese with English abstract).
- HU Congren, LIU Congqiang, ZHANG Bangtong, TANG Hongfeng. 2004. Geochemical characteristics of meta argillo arenaceous rocks from the metamorphic rock belt in central Jiangxi Province and its geological significance[J]. Geochimica, 33(2): 118~130 (in Chinese with English abstract).
- JANG Zaixing. 2003. Sedimentology[M]. Petroleum Industry Press (in Chinese).
- LI Zengxue, WEI Jiuchuan. 1998. Sequence Stratigraphical Analysis of the South Part of the North China Epicontinental Basin[M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- LI Zengxue, WEI Jiuchuan. 2000. Sequence Stratigraphy of Coal-bearing Basins[M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- LI Zengxue, WEI Jiuchuan, HAN Meilian, YANG Fengjie. 2000. Earth Science Frontiers. High Resolution Sequence Division And Trans-

- greassive Events Coal Formation In Southern North China Epicontinental Basin[J]. Journal of Coal Science & Engineering (China), 6(1):1~9 (in Chinese with English abstract).
- LUAN Guangzhong, WANG Wenzheng, LIU Dongsheng, LIU Ji. 2003. The Eruptive Flow Sediments in Jimo Warm Spring of Qingdao and Its Depositional Model[J]. Acta Geoscientica Sinica, 24(4): 357~360 (in Chinese with English abstract).
- PENG Yongmin, PAN Guitan, LOU Jianning. 1999. Upper Triassic Sequence Stratigraphy and Development of the Shengda Residual Back-arc Basin in Northern Three-River Area[J]. Acta Geoscientica Sinica, 20(3):318~324 (in Chinese with English abstract).
- SHEN Yulin, GUO Yinghai, LI Zhuangfu, SUI Fenjin. 2007. Sequence Stratigraphy Study of the Upper Paleozoic of the Suligemiao Oil and Gas-bearing Area, North Ordos Basin[J]. Acta Geoscientica Sinica, 28(1):72~78 (in Chinese with English abstract).
- YING Hanlong, CAI Xiping, LIU Bingguang. 1999. Geochemical features and formation of auriferous cherts in Mojiang gold mine, Yunnan[J]. Geochimica, 28(4): 307~317 (in Chinese with English abstract).
- ZHENG Rongcai, YIN Shimin, PENG Jun. 2000. Sedimentary Dynamic Analysis of Sequence Structure and Stacking Pattern of Base-Level Cycle. Acta Sedimentologica Sinica[J], 18(3): 369~375 (in Chinese with English abstract).
- ZHANG Zhijun. 2007. An Analysis of the Entomassembles and Sedimentary Environments of Early Cretaceous Lushangfen Formation [J]. Acta Geoscientica Sinica, 28(2):167~172 (in Chinese with English abstract).
- ZHANG Fushun. 2005. Fan Delta and Braided Delta Sediments in Baiyinchagan Depression[J]. Acta Geoscientica Sinica, 26(6):553~556 (in Chinese with English abstract).

《美国科学杂志》为中国地质科学院刘敦一研究员出版生日专刊

《美国科学杂志》(*American Journal of Sciences*) 近期出版了两辑专刊,为中国地质科学院刘敦一研究员 70 华诞祝寿,这是西方主流科学期刊第一次为一名中国科学家出版生日专刊。

2007 年是刘敦一研究员诞辰 70 周年暨从事地质科学研究工作 46 周年。为表彰他从事地质科研工作 46 周年来所做出的突出贡献,《美国科学杂志》决定出版由海内外地质学家自发撰稿的纪念刘敦一诞辰 70 周年专辑。由于投稿踊跃,专辑分为两册,第一辑已刊印发行,第二辑正在印刷中。

正如专辑的编辑人 Alfred Kroener 教授在给北京离子探针中心秘书王晨的信中所说:“这是西方主流的地学杂志第一次为中国科学家出版纪念专辑,我们都为之而感到骄傲”。

专辑前言指出:“刘敦一教授是中国地学界杰出的领军人物,为同位素地质学奉献了其学术生涯的 46 年心血”,赞扬他在北京建立的同位素地质实验室及众多的同位素地质年代学和地球化学技术方法,特别强调了他所建立的北京离子探针中心“在短短的 5 年时间里就跻身于世界最著名的地质年代学实验室行列”,并称北京离子探针中心“是世界上运行最成功的实验室之一”,“为中国科学仪器设备今后应该如何运行树立了榜样。”从中还可看出由他领导的北京离子探针中心在国际上已取得的地位。

前言充分肯定了由刘敦一研究员负责实施的“大型科学装备远程共享示范研究—离子探针示范系统”的成果,他“让二次离子探针资源共享”的理念得到了

越来越多人的认同。前言予他这样的评价:“总而言之,是刘敦一教授将先进的同位素技术从国外引进到中国,是他创建了世界级的同位素定年平台,帮助许多同行解决关键性的颇有争议的地质学问题,从而极大地促进国内外地质科学的发展。”

前言高度评价了刘敦一研究员在国际学术活动中所做出的重要贡献和在促进中外合作、促使我国地学界走向世界所做出的重大贡献。最后,还对刘敦一研究员兢兢业业、富于创新、不达目标,决不放弃的精神给予了充分的肯定。

专刊前言由中国科学院地学部主任孙枢院士、中国地质科学院副院长董树文研究员、国际著名构造地质学家德国 Mainz 大学的 Alfred Kroener 教授和国际著名法籍华裔地球化学家江博明教授等共同撰写。

刘敦一研究员是北京离子探针中心主任,兼中国国际地球科学计划(IGCP)全国委员会主任。自 1979 年赴澳大利亚进修回国后,一直竭力推进我国同位素地质学科的发展和进步。曾被授予“国家级有突出贡献中青年专家”的称号,2007 年荣获“李四光地质科学奖”。曾任中国地质学会副理事长(1993 年-1997 年)、中国质谱学会理事长(1996 年-2000 年)、国际地质科学联合会副主席(IUGS, 1996 年-2000 年)、国际地科联提名委员会委员(1996 年-2000 年)、第三十届国际地质大会(北京 1996 年)顾问委员会委员等职。

(北京离子探针中心 供稿)