

冀中拗陷东北部石炭—二叠系沉积相特征 及古环境再造

尘福艳¹ 梁宏斌² 丁文龙¹ 钱 铮² 付景龙¹

(1. 中国地质大学(北京), 北京 100083; 2. 中油华北油田分公司, 河北 任丘 062552)

摘要:冀中拗陷石炭—二叠系是渤海湾盆地重要的产气烃源岩,也是华北油田当前主要的天然气勘探区。为了使得本区天然气的勘探取得突破性的进展,本文根据区内已钻井的岩电组合特征、岩心观察结果、沉积旋回、古生物特征及分析化验资料,并结合地震剖面解释成果,对区内石炭—二叠系的沉积体系、及沉积古环境进行了分析研究,指出了该区沉积体系发育有滨海潮坪—沼泽相、河控三角洲相和河流相三大沉积体系,其沉积环境可归纳出缓慢沉降的陆表海沉积环境、缓慢抬升的海陆过渡沉积环境和快速抬升的河流沉积环境 3 种类型。

关 键 词:冀中拗陷;石炭—二叠系;沉积相;古环境

中图分类号:P534.45~46

文献标志码:A

文章编号:1000-3657(2012)04-0939-08

研究区位于冀中拗陷的东北部,是主要的天然气产区。经过 40 多年的持续勘探,区内钻至石炭—二叠系的探井已达 47 口^[1],除了在新近—古近系发现源自沙河街组的原油伴生气和浅层生物气以外,在前新近纪不同层位也发现了天然气,其中源自石炭—二叠纪煤系烃源岩的煤成气资源数量为多,先后在冀中拗陷苏桥—文安构造带^[2]、济阳拗陷孤北和曲堤构造带、临清拗陷东部高古 4 井和东濮凹陷文留^[3]取得了勘探性成果,但本区由于后期频繁受到构造活动的影响,致使成藏条件复杂,深化勘探难度加大。为了探明石炭—二叠系煤成气的成气机理、控气特征及储量,有必要对石炭—二叠系沉积相展开研究,恢复其沉积环境和古地理面貌,这对指导本区天然气进一步的勘探和开发具有十分重要的意义。

1 区域构造演化史

冀中拗陷位于渤海湾盆地的西部,是新元古代至古生代华北地台内发育起来的中—新生代断拗盆地,属裂谷型盆地^[4]。区内石炭—二叠纪煤系地层的

分布位于冀中拗陷的东北部(图 1),具残留盆地^[5]的特征。在历经了印支—燕山和喜马拉雅期多次构造运动改造后,现今的构造格局是不同期次、不同类型和不同方向构造的叠合结果^[6],中生代以前的构造运动以地台型整体升降为主,石炭—二叠纪各层系的厚度只是在空间上略有区别;中生代中期开始,本区成为大型褶皱区,在局部地区发生断陷活动,印支运动导致该区构造的形态以宽缓褶皱为特征,石炭—二叠系主要残留于向斜区内,隆升地表遭受剥蚀,剥蚀强度呈明显的西强东弱;新生代以来,受燕山运动和喜马拉雅运动的影响,研究区进一步的被抬升遭受剥蚀;新近纪和第四纪,断陷消失整体拗陷。在东营组沉积末期发生了一期强烈并具有广泛影响的构造运动,使古近系的构造全面形成并定型,形成了冀中拗陷西部凹陷带、中央隆起带和东部凹陷带的构造格局,形成了研究区包括饶阳凹陷中北部、霸县凹陷的文安斜坡、廊固凹陷的河西务地区、武清凹陷的全部、里坦凹陷和大城凸起在内的总面积约 7 000 km² 的构造面貌。

收稿日期:2011-11-19; **改回日期:**2012-05-04

基金项目:国家科技重大专项—专题“渤海湾盆地页岩气资源评价”(2011ZX05018-001-01HZ);中国石油华北油田校企合作科研项目“冀中拗陷东北部石炭二叠系煤成气成藏条件与勘探方向研究”(HBYT-YJY-2011-JS-01)

作者简介:尘福艳,女,1987 年生,硕士生,主要研究方向为含油气盆地分析; E-mail:sreszx@sina.com。

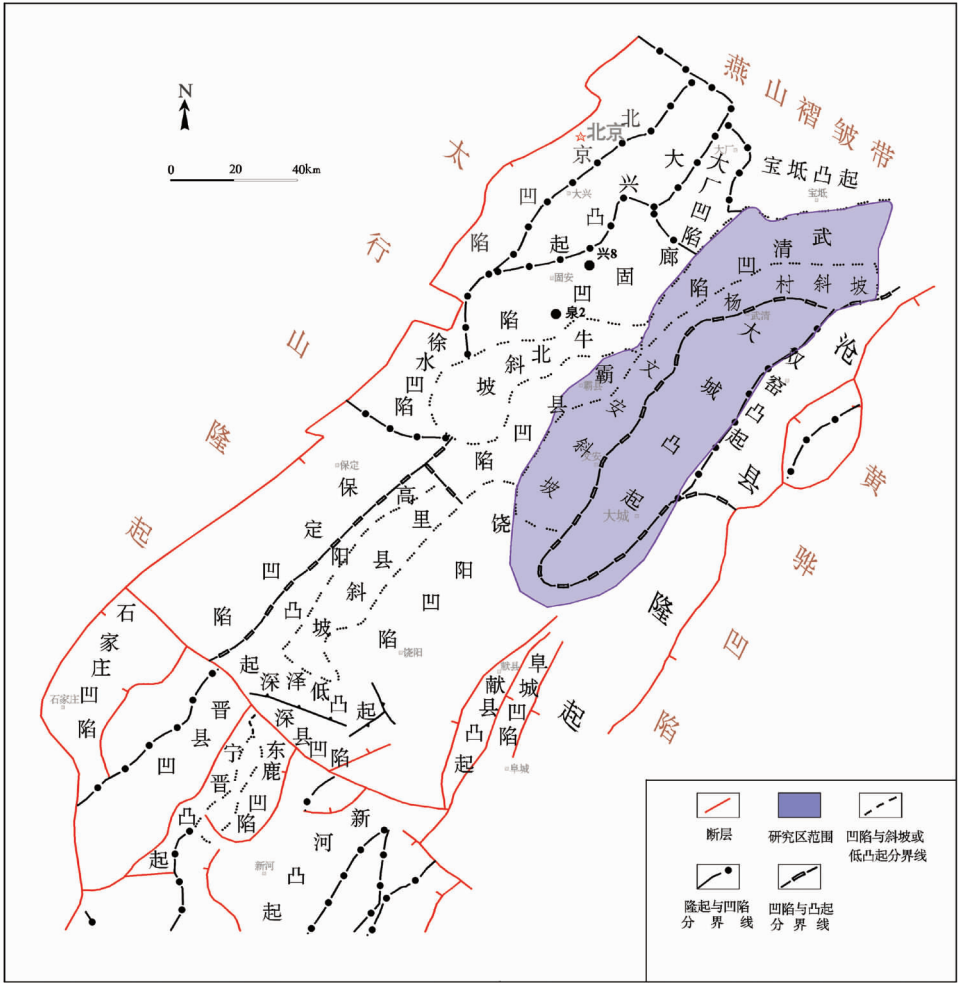


图 1 冀中拗陷研究区分布图
Fig.1 Location of the study area in Jizhong depression

2 地层发育特征

研究区石炭—二叠纪发育的地层有本溪组、太原组、山西组、下石盒子组、上石盒子组和石千峰组。本溪组,岩性主要以细碎屑岩为主,次为灰岩,可见有分散状菱铁矿及黄铁矿结核。上部以深灰色泥岩与砂岩、粉砂岩互层,夹薄层灰色灰岩;下部以泥岩为主,底部为铝土质泥岩夹薄煤层。可见人字形交错层理、潮汐韵律层理、波状层理、透镜状层理。各种海相生物化石较多。

太原组,上部为灰、深灰色泥岩夹灰色砂岩,含薄煤层两层、灰岩两层;中部为灰、灰黑色泥岩、炭质泥岩、煤层与灰色砂岩互层;下部为灰色砂岩、粉砂岩与深灰色泥岩互层,含煤层;底部为黑色炭质泥岩夹灰岩。沉积相序为正韵律层,单韵律层厚达 4.5

m。底部具较明显的冲刷面,向上依次发育有槽状交错层理、低角度交错层理,压扁层理、脉状层理、透镜状层理和波状水平层理及深灰色泥岩撕裂屑。常见生物扰动和斜交虫孔构造。

山西组,上部为深灰、灰紫色厚层泥岩、灰黑色炭质泥岩及煤层四层,夹灰色砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩;中部为灰色砂岩为主与深灰色泥岩、炭质泥岩不等厚互层,夹煤层数层;底部为杂色砂砾岩。发育有槽状交错层理、板状斜层理和平行层理,常见植物化石,偶见碳化茎干。

下石盒子组,上部以灰色、灰紫色厚层泥岩为主,夹灰色砂岩及砂砾岩;下部为灰色砂岩、粉砂岩与灰色、紫灰色泥岩不等厚互层。底部常见冲刷面及大量炭质和菱铁矿质泥砾,具水平、微波状层理。

上石盒子组,以泥岩和粉砂岩等细碎屑岩为主,

上部为灰色、紫灰色泥岩、粉砂岩与砂岩不等厚互层;下部为灰色及紫灰色泥岩为主,底部为一层巨厚层状砂砾岩,单层厚度一般为 5~10 m,最大达 36 m。垂向上具有正韵律层特征,底部为冲刷面,发育有楔状交错层理、板状交错层理、波状交错层理及透镜状层理。

石千峰组,上部厚层状紫灰色、浅红色泥岩与灰色砂岩互层,中部以灰色厚层泥岩为主夹砂砾岩;下部为灰色泥岩与灰色砂岩频繁交互。具正韵律层特征,发育有板状交错层理、槽状交错层理、楔状交错层理。

3 沉积相带的划分与特征

根据野外地质调查、钻孔资料揭露和物探资料佐证,应用当代沉积学与盆地^[7-10]的分析方法,结合前人研究的成果^[11-14],研究分析得出本区石炭—二叠系发育有滨海潮坪—沼泽相、河控三角洲相及河流相。

3.1 滨海潮坪—沼泽相

该种沉积充填样式主要发生于本溪组和太原组沉积时期(晚石炭—早二叠世早期)。海水由东北向西南侵入本区,形成了宽广的陆表海,在本区开始了滨海潮坪—沼泽相的沉积(图 2)。

潮坪相具体又可分为砂坪、泥坪和混合坪亚相沉积,在本区主要表现为潮间带的混合坪沉积,为砂岩与泥岩的互层,常夹薄煤层或煤线为特征,具压扁层理、波状层理和透镜状层理以及砂、泥薄互层状潮汐韵律层理等复合层理。常见生物扰动和斜交虫孔构造。太原组底部见较典型的潮道砂岩,沉积相序为正韵律层,单韵律层厚达 4.5 m。底部具较明显的冲刷面。该体系中局部分布有多层薄层不完善的准碳酸盐岩台地沉积的碳酸盐岩,其成分主要为泥晶灰岩,是一次海侵事件发生的标志。

滨海沼泽沉积以灰黑色煤层和炭质泥岩集中发育为特征,在纵向和平面上常与滩坝相共生,煤层层薄而稳定。常见有植物化石碎片和大量的海相生物化石。

3.2 河控三角洲相

二叠纪早期,在山西组—下石盒子组沉积时期开始广泛沉积浅水三角洲体系,燕山—阴山古陆开始形成并成为真正意义上的主要物源区。

继太原组沉积期后,南北差异升降和沉积相分

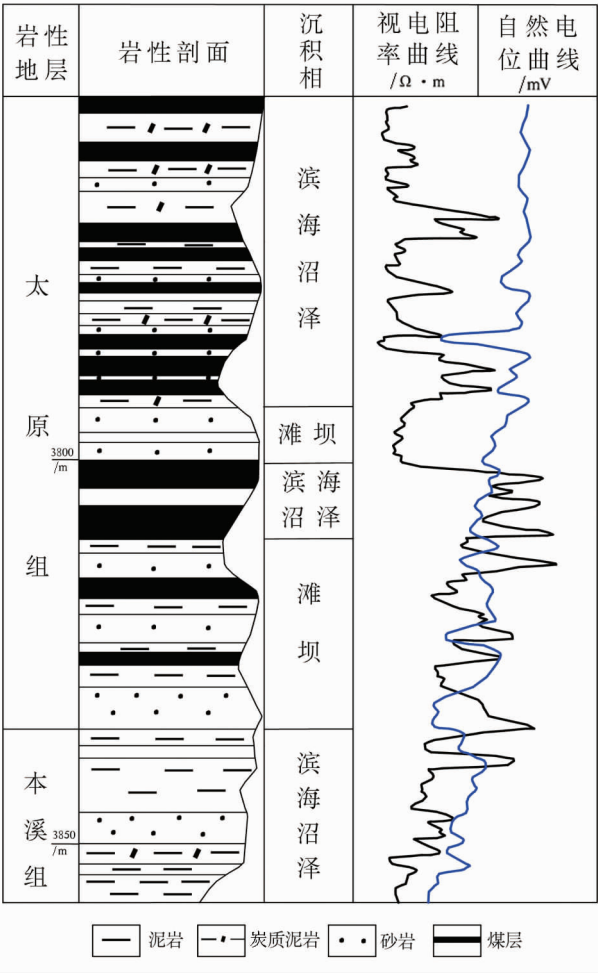


图 2 苏 11 井本溪—太原组滨海潮坪—沼泽体系
岩电组合特征

Fig.2 Lithologic-electric logging features of the coastal tidal
flat-swamp system in Benxin-Taiyuan Formation of Su 11 well

异开始确立,古气候温暖潮湿^[15],碎屑物质供给充足,浅水型三角洲体系开始大范围形成并逐步向南推进,沉积垂向剖面中整体表现为,下细上粗的反旋回沉积层序(图 3),局部出现三角洲平原分支河道下粗上细的间断性正旋回,顶部出现夹炭质泥岩和薄煤层的沼泽沉积,波浪波痕及其产生的交错层理向上减少,流水波痕及其产生的交错层理增多。由于三角洲快速的向南推进,使得本区三角洲前缘和前三三角洲发育较差,三角洲平原发育广泛,其分流河道砂体构成了本区主要砂体骨架。三角洲平原的分流河道砂体呈透镜状镶嵌于细粒沉积物中,为向上变细的沉积序列,属正韵律层,广泛发育槽状交错层理、板状斜层理和平行层理,底部常见冲刷面及大量炭质和菱铁矿质泥砾,偶见炭化树杆和菱铁矿结核。

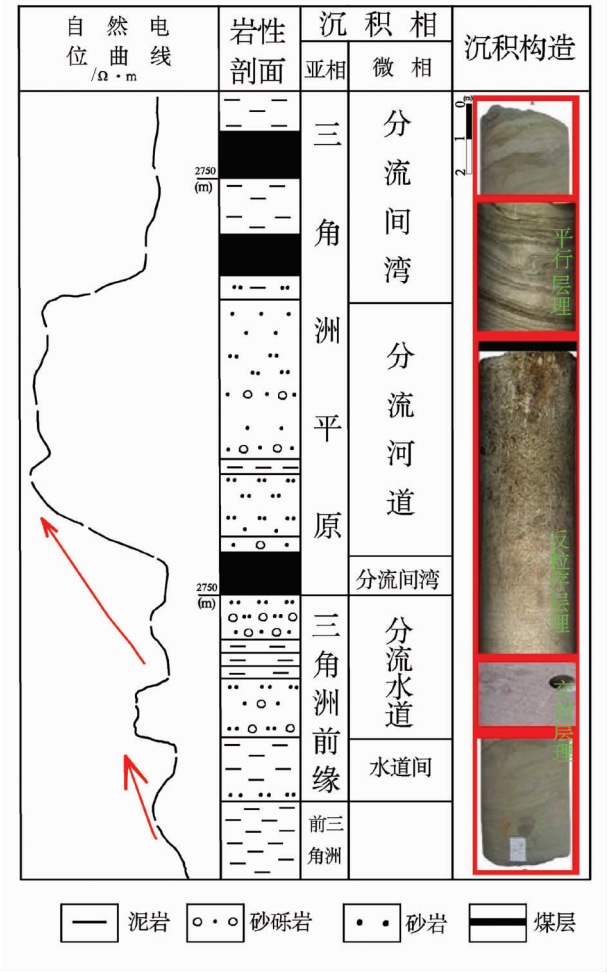


Fig.3 Characteristics of delta depositional environment of Carboniferous Shanxi Formation in Yong-25 well

自然电位曲线呈不规则的钟形和箱形负异常组合，向上呈反旋回形态分布。在分流间湾是植物生长的有力环境，发育有泥炭沼泽沉积，形成了南北成条带状稳定的煤层。在分布的深灰色泥岩、炭质泥岩和煤层中，可见大量的植物化石和菱铁矿结核，见水平、微波状层理和虫孔构造。

本区三角洲前缘发育差、规模较小，以水下分流水道为主要微相，河口坝砂体厚度小，为正韵律层，发育有板状交错层理和槽状交错层理，底部冲刷，并可见炭化植物茎和炭植碎片。

3.3 河流相

伴随着构造格局的变化，在上石盒子—石千峰沉积期广泛发育有陆相河流体系，并经历了由盛至衰的发展过程，早期辫状河流体系广泛发育，后期伴随着地壳的抬升，物源区的萎缩继而曲流河体系广泛发育。

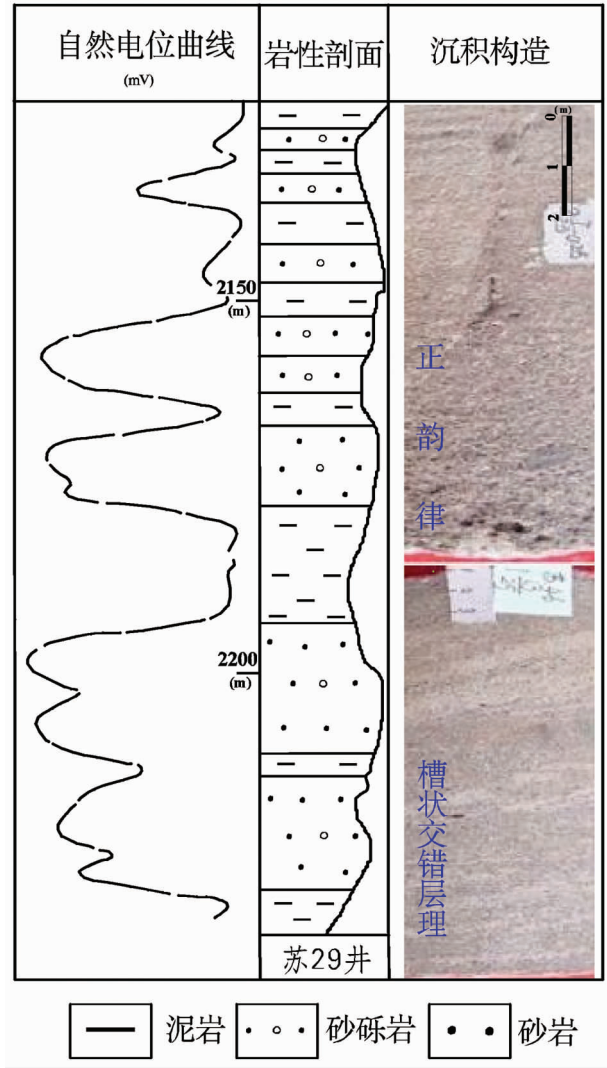


Fig.4 Lithologic-electric logging features of the braided river depositional system in Upper Shihezi Formation of Su-29 Well

在本区的具体表现是河流体系纵向上存在由辫状河向曲流河的转化，形成一个由辫状河与曲流河交织而成的复合体。其中，上石盒子组下部的辫状河道发育好，砂体单层厚度和累计厚度均较大。辫状河道砂岩主要由块状砂砾岩、含砾砂岩及中粗细砂岩组成，自然电位曲线多呈箱状高幅负异常组合（图 4）。底部常见冲刷面，向上依次发育块状层理、平行层理、槽状交错层理、楔状交错层理、板状交错层理及波状交错层理，其相序多为下粗上细的正韵律叠置层。上石盒子组上部—石千峰组的河流类型随着北部阴山—燕山古陆的剥蚀夷平、碎屑物质供给量减少而逐渐转变为曲流河。但曲流河道发育稍差，以

河泛平原沉积的红色泥岩为主,在垂相剖面上可识别出典型的“二元结构”。河道沉积主要是中粗砂岩及砾岩组成,具槽状交错层理、板状交错层理,可见冲刷面。洪泛平原沉积主要为细碎屑沉积,以浅红色泥岩为主,也反映了本区该沉积期的气候逐渐由温湿向干热过渡。

4 沉积古环境分析

受华北地台北部兴蒙海槽的逐步闭合和燕山—阴山古陆逐渐隆升的影响^[6],本区的沉积古环境的演化历程为:地壳的缓慢沉降的陆表海沉积环境、缓慢抬升的海陆过渡沉积环境和快速抬升的河流沉积环境 3 种类型。

4.1 缓慢沉降的陆表海海水侵入沉积环境

本区本溪组和太原组沉积时期在缓慢沉降的背景下发育陆表海海侵充填样式。由于在志留纪到早石炭世华北地台遭受了长达近 2 亿年的风化剥蚀夷平作用,致使区内地势较为平缓。在石炭纪早期华北地台向北部兴蒙海槽俯冲,使区内地壳缓慢沉降,海水由东北向西南侵入到本区,气候以湿热气候为主,滨海沼泽相在本区覆盖广、面积大,煤层薄—中厚

层,分布较稳定。在北汉镇一带发育有碳酸盐岩台地相(图5)。在太原组沉积期,北高南低的地势已初步显现,三角洲前缘分流水道沉积继续向南推进已达至文安一带(图 6),说明地壳再次稳步下降,海水蔓延本区形成了陆表海广覆式沉积,以分布范围较广的滨海潮坪—沼泽体系为代表,煤系烃源岩层发育好。

4.2 缓慢抬升的海陆过渡沉积环境

本区山西组—下石盒子组沉积时期在地壳缓慢抬升的沉积环境下发育海陆过渡沉积充填样式。在兴蒙海槽逐步闭合,区内挤压应力作用逐渐增强的构造背景下,地壳开始缓慢抬升,形成了本区北高南低的地势格局,海水逐渐由北向南退出本区,在山西组沉积期海岸线已退至坝县一带(图 7)。浅水型三角洲体系开始大范围形成并逐步向南推进,在永清—葛渔城一带已广泛发育三角洲平原沉积,在文安—大城一带已形成以三角洲前缘亚相为主的沉积。此时气候温暖潮湿,燕山—阴山古陆作为主要的物源区碎屑物质供给充足。在三角洲分流间湾地带,植物大量繁殖,南北呈条带状分布,造就了本区较重要的储集层和煤系烃源岩层,形成了具有工业价值的煤层。在下石盒子沉积期,地势北高南低的形势更

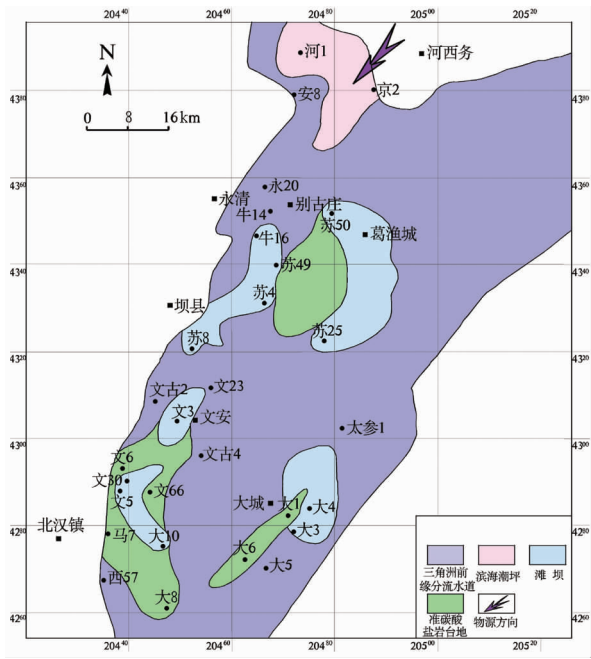


图 5 本溪组沉积相分带图
Fig.5 Distribution of depositional systems of Carboniferous Benxi Formation

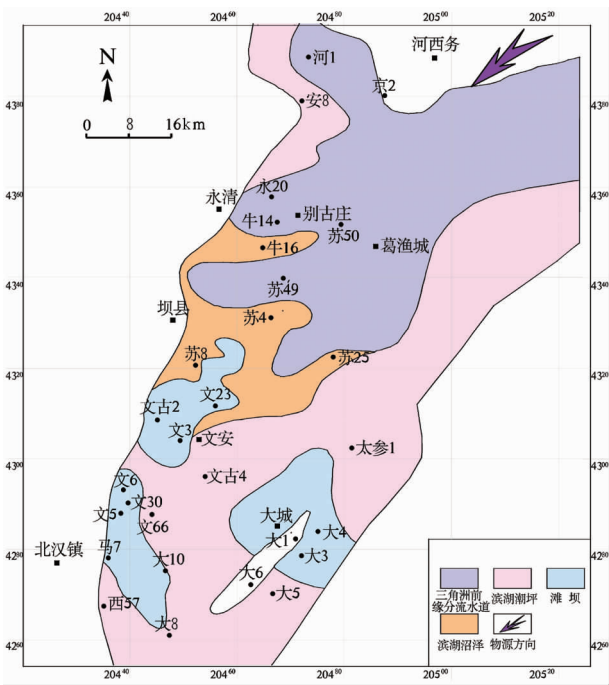


图 6 太原组沉积相分带图
Fig.6 Distribution of depositional systems of Carboniferous Taiyuan Formation

加明显,三角洲平原沉积体系已覆盖全区(图 8),可得知三角洲向南推进已经越过本区。三角洲平原河道砂成为了本区砂体格架,区内的砂岩累计厚度分别为 20~40 m 和 30~80 m。

4.3 快速抬升的河流沉积环境

在燕山—阴山古陆不断隆升的构造背景下,区内快速抬升,北高南低的地势格局愈加明显。海水全部退出本区,早期阴山—燕山古陆作为主要物源区^[6],在上石盒子组—石千峰组沉积时期本区在快速抬升的沉积环境的背景下发育了河流充填样式。形成了以辫状河宽浅河床为主导的沉积格局,辫状河道较宽,东西向上基本上覆盖全区,并以心滩砂坝沉积明显,河道砂体构成了本区主要砂体格架(图 9)。物源区从东北和西北方向上供给本区,其供给规模在早期充填阶段达到顶峰。到石千峰沉积期,因燕山—阴山古陆的持续剥蚀夷平,区内地形高差变缓,物源供给规模减小,河流体系逐渐进入老年期,有辫状河发育为主的沉积格局逐渐变为了以曲流河沉积为主,河道明显变窄(图 10),此时,古气候呈现出明显的转折,即由温湿向干热过渡,河泛平原沉积之红色泥岩开始覆盖全区。

5 结 论

(1)冀中拗陷的石炭—二叠系受印支—燕山和喜山等多期构造运动强烈改造,其构造发育史可概括为差异升降和拉张断陷等两个阶段,现今的构造格局呈现出“东西分带、南北分区”的特征。同时导致石炭—二叠纪地层呈现出先东倾、后西倾的“翘翘板式”变化特征。

(2)本区沉积体系的发育史是在华北陆表海的兴衰和北部阴山—燕山不断隆升的构造背景下形成的。在本溪—太原组沉积期发育为滨海潮坪—沼泽相,山西—下石盒子组沉积期发育为河控三角洲相,上石盒子—石千峰组沉积期发育为河流相的沉积体系。

(3)受华北地台北部兴蒙海槽的逐步闭合和燕山—阴山古陆逐渐隆升的影响,本区的沉积古环境的演化历程为:地壳的缓慢沉降的陆表海沉积环境、缓慢抬升的海陆过渡沉积环境和快速抬升的河流沉积环境 3 种类型。

参考文献(References):

[1] 谢恭俭. 冀中拗陷苏桥—文安地区石炭—二叠系煤成气藏勘探成效

分析及勘探方向[J]. 华东石油地质, 1990, 8(1):1-28.

Xie Gongjian. Exploration effectiveness analysis of Su Bridge - Wen'an Carboniferous - Permian coal derived gas and exploration direction in the Jizhong Depression [J]. East China Petroleum Geology, 1990, 8(1):1-28(in Chinese with English abstract).

[2] 梁宏斌, 崔周旗, 张舒亭, 等. 冀中拗陷东北部石炭—二叠系储层特征及勘探方向[J]. 中国石油勘探, 2006, (6):8-14.

Liang Hongbin, Cui Zhouqi, Zhang Shuting, et al. Reservoir characteristic and exploration target of Carboniferous -Permian reservoirs in Northwestern Jizhong Depression [J]. China Petroleum Exploration, 2006, (6):8-14(in Chinese with English abstract).

[3] 金强, 宋国奇, 梁宏斌, 等. 渤海湾盆地源于石炭系—二叠系的煤成气成因特征和潜力分析[J]. 地质学报, 2009, 6(6):861-867.

Jin Qiang, Song Guoqi, Liang Hongbin, et al. Characteristics of Carboniferous-Permian coal derived gas in the BoHai Bay Basin and their implication to exploration potential [J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 6(6):861-867(in Chinese with English abstract).

[4] 李国玉, 吕鸣岗, 等. 中国含油气盆地图集[M]. 北京:石油工业出版社, 2002:85-86.

Li Guoyu, Lv Minggang, et al. Atlas of China's Petroiferous Basins [M]. Beijing:Petroleum Industry Press, 2002:85-86(in Chinese).

[5] 梁生正, 杨国奇, 田建章, 等. 渤海湾叠合盆地大中型天然气田的勘探方向[J]. 石油学报, 2001, 22(6):1-4.

Liang Shengzheng, Yang Guoqi, Tian Jianzhang, et al. The exploration orientation of large and medium sized natural gas pools in BoHaiWan polymerized basin [J]. Acta Petroleisina, 2001, 22(6):1-4(in Chinese with English abstract).

[6] 杨明慧, 刘池阳, 杨斌谊. 冀中拗陷中生代构造变形的转换及油气[J]. 大地构造与成矿学, 2001, 1(25):113-119.

Yang Minghui, Liu Chiyang, Yang Binyi. Tectonic transform of the Mesozoic and their relations to hydrocarbon traps in the Jizhong (central Hebei Province)basin, China [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2001, 1 (25):113-119 (in Chinese with English abstract).

[7] 刘文汇, 徐永昌. 天然气成因类型及判别标志[J]. 沉积学报, 1996, 14(1):110-116.

Liu Wenhui, Xu Yongchang. Genetic indicators for natural gases[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1996, 14(1):110-116(in Chinese with English abstract).

[8] 黄金柱. 油气成藏体系概述及研究方法 [J]. 油气地质与采收率, 2008, 15(2):40-44.

Huang Jinzhu. Concept and research methods of petroleum accumulation system [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2008, 15(2):40-44(in Chinese with English abstract).

[9] 冯增昭, 王英华, 刘焕杰, 等. 中国沉积学[M]. 北京:石油工业出版社, 1994:279-290.

Feng Zengzhao, Wang Yinghua, Liu Huanjie, et al. Sedimentology of China [M]. Beijing:Petroleum Industry Press, 1994:279-290(in Chinese).

[10] 赵澄林. 沉积学原理[M]. 北京:石油工业出版社, 2001:64-73.

Zhao Chenglin. Principles of Sedimentology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001:64–73(in Chinese).

[11] Lv Dawei, Li Zengxue,et al. Characteristics of the Permian coal–formed gas sandstone reservoirs in Bohai Bay Basin and the adjacent areas, North China [J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2011;516–528.

[12] Ren Jianye, Tamaki, Kensaku. Late Mesozoic and Cenozoic rifting and its dynamic setting in Eastern China and adjacent areas [J]. Tectonophysics, 2002, 344,(3–4):175–205.

[13] 胡望水, 朱罗剑, 杨申谷. 霸县凹陷文安斜坡沙一段沉积相再认识[J]. 特种油气藏, 2009, 16(6):5–11.

Hu Wangshui, Zhu Luojian, Yang Shengu. Re– understanding of Es1 sedimentary facies in Wen`an slope of Baxian depression [J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2009, 16 (6):5–11 (in Chinese with English abstract).

[14] 辛玮江, 靳国庆,王桂苓,等.文安斜坡内带岩性地层油气藏勘探[J]. 特种油气藏, 2008, 15 (5):31–341.

Xin Weijiang, Jin Guoqing,Wang Guiling, et al. Lithostratigraphic reservoir exploration inside Wen`an slope [J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2008, 15(5):31–341(in Chinese with English abstract).

[15] 刘长江, 桑树勋, 陈世悦, 等. 渤海湾盆地石炭—二叠纪沉积作用与储层形成[J]. 天然气工业, 2008, 28(4):22–25.

Liu Changjiang, Sang Shuxun, Chen Shiyue, et al. Carboniferous–Permian sedimentation and reservoiring in the Bohaiwan basin [J]. Natural Gas Industry, 2008, 28(4): 22–25(in Chinese with English abstract).

[16] 陈世悦, 刘焕杰. 华北石炭二叠系层序地层学研究的特点[J]. 岩相古地理, 1994, 14(5):11–19.

Chen Shiyue, Liu Huanjie. Carboniferous –Permian sequence stratigraphy in north China [J]. Lithofacies Palaeogeography, 1994, 14(5):11–19(in Chinese with English abstract).

Carboniferous–Permian sedimentary facies characteristics and paleoenvironmental reconstruction in northeast Jizhong depression

CHEN Fu–yan¹, LIANG Hong–bin², DING Wen–long¹, QIAN Zheng², FU Jing–long¹

(1.China University of Geosciences, Beijing 100083, China 2. North China Oilfield Company, PetroChina, Renqiu 062552, Hebei, China)

Abstract:Carboniferous–Permian strata in Jizhong depression constitute an important gas hydrocarbon source rock in Bohai Gulf Basin,and also serve as an main natural gas exploration area currently in the North China Oilfield. In order to achieve a breakthrough of gas exploration in the study area, the authors studied Carboniferous – Permian depositional systems and depositional paleoenvironment, on the basis of the lithologic–electric logging features, characteristics of sedimentary cycles, paleontological features, core observations and analytical and test data of drill holes, in combination with results of seismic interpretation. It is pointed out that the study area has developed three types of sedimentary systems: tidal flat–swamps, river deltas and river–dominated system. The depositional environments can be classified into three types: the epicontinental sedimentary environment of slow subsidence, the paralic depositional environment of slow uplift and the fluvial environment of rapid uplift.

Key words:Jizhong depression; Carboniferous–Permian; sedimentary facies; paleoenvironment

About the first author:CHEN Fu–yan, female, born in 1987, master candidate, mainly engages in the study of petroliferous basin analysis;E–mail:sreszx@sina.com.