

大牛地气田石炭—二叠系海陆过渡沉积体系 与近源成藏模式

郝蜀民 李 良 尤欢增

(中国石油化工股份有限公司华北分公司, 河南 郑州 450006)

提要:鄂尔多斯盆地上古生界下部由海向陆演化过程中由下向上形成了 3 套沉积体系:障壁海岸—潮坪沉积体系、三角洲沉积体系和冲积平原—河流沉积体系,形成相带宽阔、横向分布稳定的陆源碎屑含煤层序,这些沉积体系提供了丰富的烃源岩和储集岩,并且呈大面积同层位共生、或近距离叠置的产状,使得在盆地内部缺乏大规模运移通道的条件下天然气能够聚集成藏。大牛地气田位于鄂尔多斯盆地伊陕斜坡北部,上石炭—下二叠统发育的多层叠合大型岩性圈闭构成气田的基本框架,在具有异常压力而又分布广泛的上二叠统上石盒子组厚层泥质岩的封盖下,表现出近源箱形成藏特征,这是鄂尔多斯盆地内部上古生界的主要成藏方式。

关键词:大牛地气田;沉积体系;叠合气藏;近源成藏模式

中图分类号:P588.2;P618.130.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2007)04-606-06

大牛地气田位于鄂尔多斯盆地伊陕斜坡北部东段(图 1),从 1998—2000 年提出大牛地大型岩性圈闭的地质概念^[1],经过 6 年的勘探,已查明上石炭—下二叠统海、陆相含煤碎屑岩层序中 7 个层段岩性圈闭的发育范围及其含气状况,储量规模已跨入大型气田行列^[2]。

1 沉积体系

鄂尔多斯晚古生代沉积盆地的发展,可以划分为两个大的演化阶段和 4 种沉积盆地类型,即中晚石炭世本溪期—太原期的以海相沉积为主的发展阶段,其中包括分布较广的陆表海盆地和西北缘的裂陷盆地;早二叠世山西期—晚二叠世石千峰期的以陆相沉积为主的发展阶段,包括早期的近海湖盆和石盒子期开始的内陆拗陷盆地。

大牛地气田地处中央古隆起以东,中、晚石炭世的本溪和太原期以发育障壁海岸—潮坪沉积为特征,早二叠世山西期以发育近海(湖)三角洲平原沉积为特征,而下石盒子期则以冲积平原—辫状河—曲流河沉积为主(图 2、表 1)。

1.1 障壁海岸—潮坪沉积体系

中、晚石炭世,鄂尔多斯盆地重新接受海侵,受中央古隆起(沿新召苏木—鄂托克前旗—西峰一线呈南北向展布)的影响,分为东西两个海域。大牛地气田位于古隆起东侧的华

北海域,本溪期的海侵刚刚抵达气田范围,主体为潮间带沉积环境,沉积了一套铝土质泥岩、暗色泥岩和薄煤层,厚度 0~15 m;随着海水进一步向西、向北扩展,太原期形成了障蔽砂坝—潮坪—潟湖沉积格局,可分出 3 个海进—海退旋回,由暗色泥岩、煤层、砂岩和灰岩等岩性组成。

太原期是华北陆表海重要的成煤时期,在气田范围发育多个煤层,累计厚度 5~20 m,其中以太 1 段上部煤层最为发育,该煤层区域上大多上覆有一层海相灰岩,是区域性突发海侵的标志^[3],也是区域性层序划分的标志层。

在大牛地气田,太原期一个显著的沉积相格局是发育障壁砂坝(图 3),其中一个以东北—南西向贯穿整个气田,是一个主要的含气圈闭。

1.2 三角洲沉积体系

太原期末至早二叠世山西期初,随着盆地北部的隆升,区域沉积机制发生了重大转换。山西期鄂尔多斯盆地因受到北部和西部构造山系进一步隆升作用的影响,海水开始自北向南、由西向东逐渐退出鄂尔多斯盆地,盆地的沉积环境亦由海相很快转变为陆相。区域上,鄂尔多斯盆地北部该时期主要为陆缘近海的湖泊三角洲沉积环境,大牛地气田主体处在三角洲平原亚相带,以分流河道、分流间沼泽和泛滥平原广泛地交替状分布、构成的网状水系为显著特征。其中山 1

收稿日期:2006-09-12;改回日期:2007-04-10

基金项目:中国石油化工股份有限公司科技攻关项目(P02076)资助。

作者简介:郝蜀民,男,1956 年生,教授级高级工程师,主要从事石油天然气地质勘探研究工作;E-Mail:hsminhsmin@163.com。

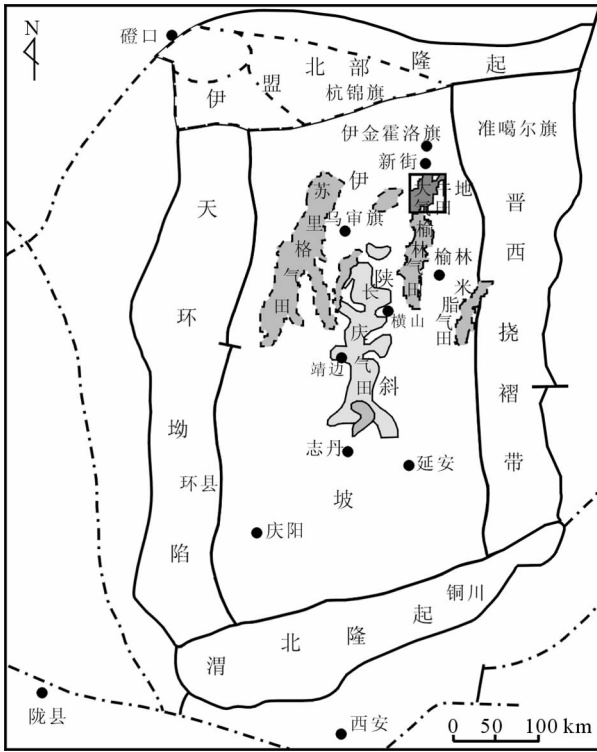


图 1 大牛地气田位置
Fig.1 Location of the Daniudi gas field

表 1 大牛地气田沉积体系和沉积相划分

Table 1 Summary of depositional systems and sedimentary facies of the Daniudi gas field

沉积体系	沉积相	亚相	微相	发育层位
冲积平原—河流	辫状河	河道河漫	心滩、边滩、天然堤、决口扇、泛滥平原	下石盒子组
	曲流河			
三角洲	河控三角洲	三角洲平原	分流河道、洪泛平原、平原沼泽	山西组
		三角洲前缘	水下分流河道、分流间湾	
障壁海岸—潮坪	障壁岛潮坪	潮下	障壁砂坝、泻湖、灰泥坪	太原组
		潮间	潮道、砂坪、混合坪、泥炭坪	
		潮上	泥坪、沼泽	

段和山 2 段早期为分流河道的主要发育期,在区内都表现为自北向南(或近南北向)延伸,并有多级次分流汇合特点。而中、晚期为分流间湖泊和沼泽的主要发育期,也为区域上最重要的造煤期。按长、中期旋回层序地层的划分和叠加样式,该时期岩相古地理的演化历史可划分为 2 个长期旋回和 5 个中期旋回地层过程。

1.3 冲积平原—河流沉积体系

早二叠世下石盒子期,盆地北部进一步抬升,受北部物

源山区构造隆升活动加强和物质供给充足的影响,来自北部的大型冲积平原—河流—三角洲沉积体系向南推进,大牛地气田一带已演化为冲积平原的河流沉积环境,区域上以辫状河道发育为主要特征。纵向上河道的发育具有显著的分期性,地层旋回性更加明显。气田范围内下石盒子组中、下部普遍发育辫状河沉积,上部则表现为辫状河沉积向曲流河的演变。本期可划分出 4 个长期和 9 个中期旋回地层过程,河道复合体的规模由下向上减小。

2 成藏特征

2.1 成藏地质特征

鄂尔多斯盆地已发现的上古生界大型气田大多位于陆表海盆地向陆相盆地转换过程中形成的海陆过渡沉积体系和陆相盆地早期的河流—三角洲体系内,最重要的因素是这些沉积体系提供了丰富的烃源岩和储集岩,并且呈大面积同层位共生、或近距离叠置的产状,使得在盆地内部缺乏大规模运移通道的条件下天然气能够聚集集成藏。

中上石炭统湖坪环境、下二叠统山西组三角洲平原形成了广泛发育的煤层和暗色泥岩,构成生气能力巨大的广布式生气中心^[4],同期形成的障壁砂坝砂体、分流河道砂体与气源岩形成“自生自储”配置;下二叠统下石盒子组,盆地北部的河流—三角洲沉积体发育达到鼎盛,是大范围储集层形成的时期,与下伏岩层形成近源配置;上二叠统上石盒子组发育干旱—半干旱气候条件下的内陆湖泊、洪泛平原厚层泥质岩,在盆地范围内具有广泛的一致性,构成良好的区域盖层。

在大牛地气田,从上石炭统至下二叠统,各期河道复合体继承性发育,形成多层叠置的岩性圈闭,构成气田的基本框架。在由多级次辫状河道连片叠置的大面积河道复合体中(宽度可达 10 km 以上),形成连片含气(图 4),其中形成于高能环境下的次级河道砂体具有较好的孔喉结构和较高的渗透率,构成天然气高产富集带。

2.2 压力封存特征

大量钻井的泥岩压实趋势研究表明,上石盒子组普遍发育泥岩“欠压实”带,根据平衡深度法计算其最大剩余地层压力在 15~25 MPa,向下进入下石盒子组、山西组和太原组泥岩剩余压力逐步减小,形成一个面积巨大的“压力封闭箱”,上石盒子组厚层泥岩相对下伏地层构成了一套高压封盖层。这种压力封盖作用在盆地内部普遍存在^[5,6],大牛地气田的 7 套工业气层均发育在该高压封盖层之下。

结合地层埋藏史的研究,上述泥岩异常地层压力的产生开始于盆地三叠纪的快速下沉时期,在早白垩世达到最大,之后随着区域抬升作用有所减小。

3 成藏模式

白垩纪及其后期是鄂尔多斯盆地古生界气藏形成、定位的关键时期^[7]。根据大牛地气田成藏组合、区域盖层、流体性

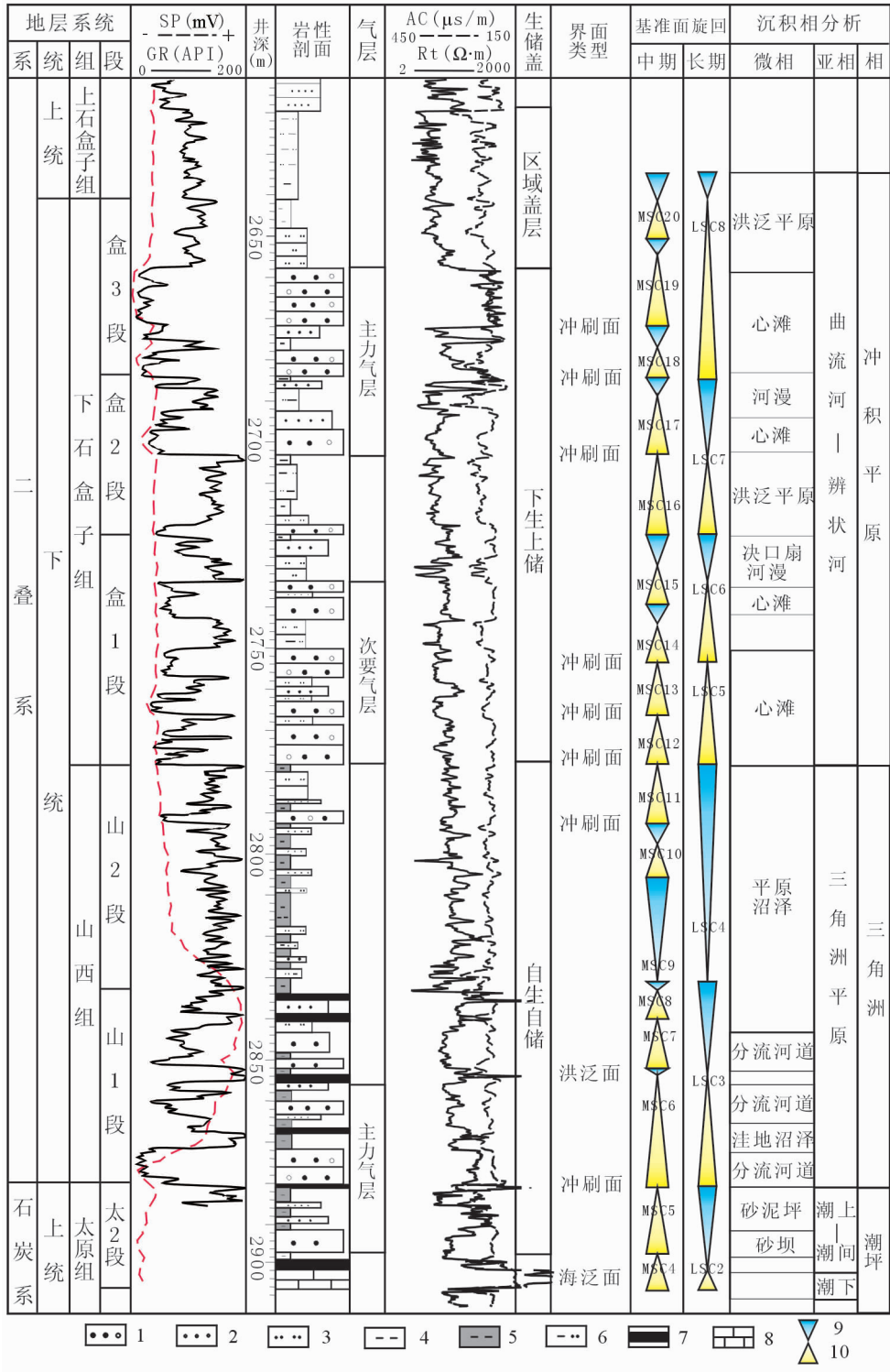


图2 大牛地气田层序综合分析柱状图

1—砾质砂岩;2—粗粒砂岩;3—粉砂岩;4—泥岩;5—炭质泥岩;6—泥质粉砂岩;7—煤层;8—灰岩;
9—基准面下降;10—基准面上升

Fig.2 Composite stratigraphic column of the Daniudi gas field

1-Pebble sandstone;2-Grit;3-Siltstone;4-Mudstone;5-Carbonaceous mudstone;6-Muddy siltstone;7-Coal bed;
8-Limestone;9-Descending base level;10-Ascending base level

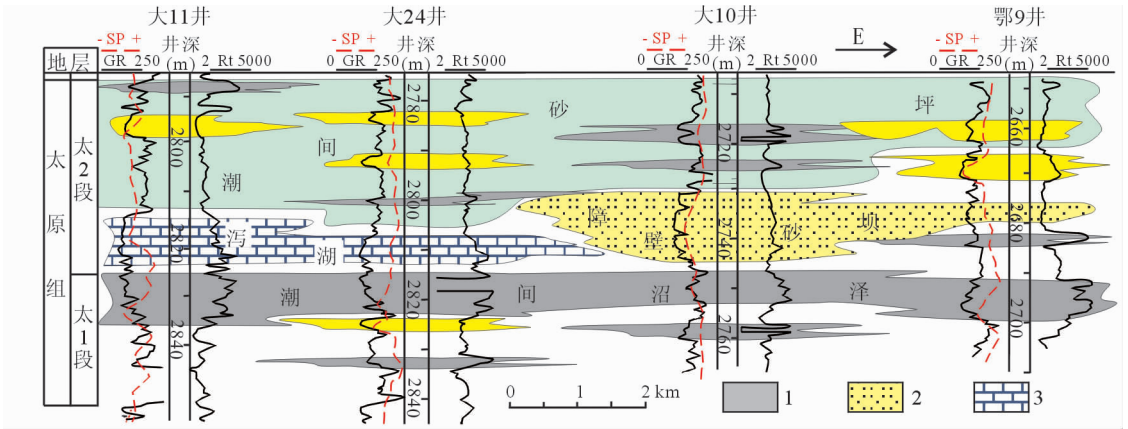


图 3 大 10 井区太原组沉积相剖面

1—煤层;2—砂岩;3—灰岩

Fig.3 Section of sedimentary facies of the Taiyuan Formation in the well Da10 area

1—Coal bed;2—Sandstone;3—Limestone

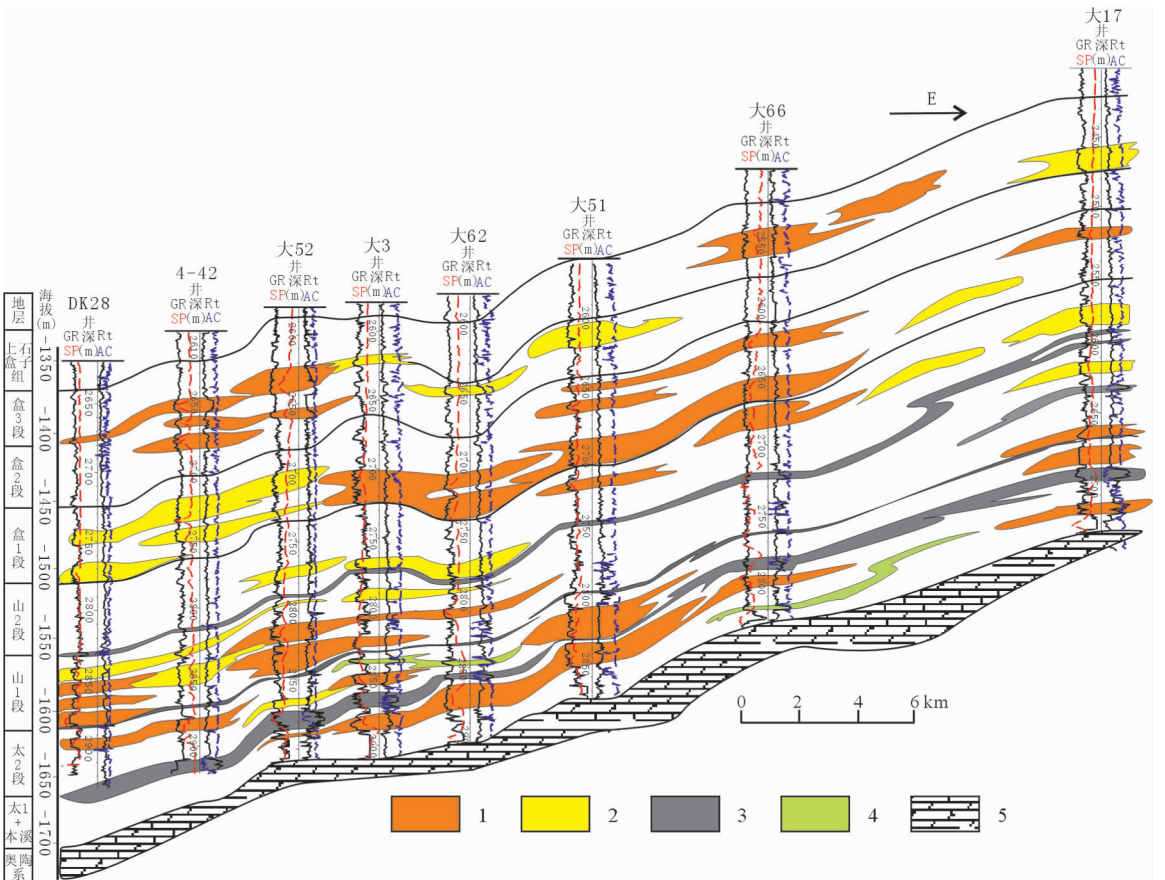


图 4 大牛地气田气藏剖面

1—气层;2—致密砂岩层;3—煤层;4—灰岩;5—白云岩

Fig.4 Gas accumulation section in the Daniudi gas field

1—Gas layer;2—Compact sandstone;3—Coal bed;4—Limestone;5—Dolomite

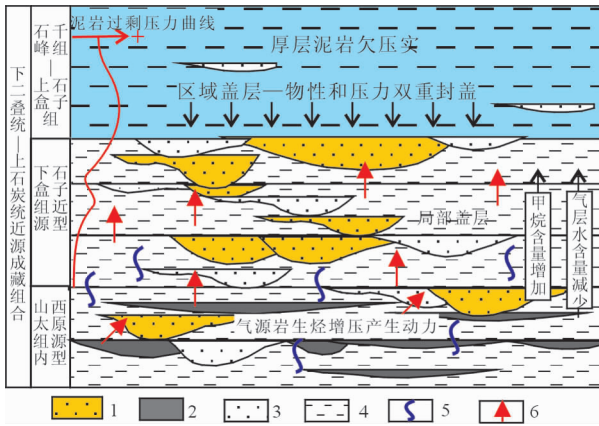


图5 大牛地气田成藏模式

1—气层;2—煤层;3—砂岩;4—泥岩;5—裂缝;6—运移方向
 Fig.5 Gas accumulation-forming model of the Daniudi gas field
 1-Gas layer;2-Coal bed;3-Sandstone;4-Mudstone;5-Crack;
 6-Migration direction of gas

质在剖面上的变化等特征,建立了太原组—山西组—下石盒子组气藏近源箱型成藏模式(图5);

研究区在地史中缺乏天然气的大规模侧向运移的条件,天然气以就近、择优聚集,近距离成藏为主;上石盒子组—太原组异常压力封存箱是一个完整的含气组合,包含了烃源岩、储集岩、封盖层等基本油气地质条件,具备了各种物理(压力、能量)、化学(热动力、成岩作用)作用过程;压力封闭箱的发育阻止了流体大规模向外排出,晚白垩世以后天然气的运聚过程是限定在高压流体封闭箱内的缓慢调整或再分配;与压力封存箱同时生成的天然气以垂向短距离运移为主,运移的动力为烃源岩内形成的异常高压,异常高压产生的微裂缝和构造作用形成的裂缝成为运移的主要通道,排烃方式表现为幕式排烃和涌流式外泄;天然气向上运移的主要障碍来自上覆盖层(上石盒子组)的毛细管力和异常压力带的联合封盖,异常压力幅度最大处构成纵向压力封闭边界,造成天然气主要在太原组、山西组和下石盒子组聚集成藏。

上述成藏模式解释了大牛地气田石炭系—二叠系下统大面积、多层段(7个层段)成藏的机理。放大尺度看,在上石盒子组下部厚层泥质岩段这一区域盖层的主导作用下,从太原组、山西组到下石盒子组可以理解为一个巨大的复合岩性气藏,即近源型成藏组合。在成藏组合内,几乎所有砂层都含气,在此背景下,择优聚集形成具有工业价值气藏的关键因素是砂岩储层的品质及其规模,储层的品质决定产能高低、储层的规模决定了地质储量的大小。

目前上石炭统一下二叠统近源成藏组合内已探明储量占盆地上古生界总探明储量的95%以上,是鄂尔多斯盆地乃至国内一个主要的天然气勘探开发领域。

参考文献(References):

[1] 李良,袁志祥,惠宽洋,等.鄂尔多斯盆地北部上古生界天然气聚集规律[J].石油与天然气地质,2000,21(3):268-271.
 Li Liang, Yuan Zhixiang, Hui Kuanyang, et al. Accumulation regularity of Upper Paleozoic gas in north E'Erduosi basin [J]. Oil & Gas Geology, 2000, 21 (3):268-271 (in Chinese with English abstract).

[2] 郝蜀民,惠宽洋,李良.鄂尔多斯盆地大牛地大型低渗气田成藏特征及其勘探开发技术[J].石油与天然气地质,2006,27(6):762-768.
 Hao Shumin, Hui Kuanyang, Li Liang. Reservoiring features of Daniudi low-permeability gas field in Ordos basin and its exploration and development technologies [J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(6):762-768(in Chinese with English abstract).

[3] 李增学,余继锋,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.
 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(in Chinese with English abstract).

[4] 杨华,张军,王飞雁,等.鄂尔多斯盆地古生界含气系统特征[J].天然气工业,2000,20(6):7-11.
 Yang Hua, Zhang Jun, Wang Feiyan, et al. Characteristics of Paleozoic gas system in Ordos basin [J]. Natural Gas Industry, 2000, 20(6):7-11(in Chinese with English abstract).

[5] 闵琪,付金华,席胜利,等.鄂尔多斯盆地上古生界天然气运移聚集特征[J].石油勘探与开发,2000,27(4):26-29.
 Min Qi, Fu Jinhua, Xi Shengli, et al. Characteristics of natural gas migration and accumulation in the Upper Paleozoic of Ordos basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2000, 27(4):26-29(in Chinese with English abstract).

[6] 孙东胜,金之钧,吕修祥,等.沉积盆地超压体系划分及其与油气运聚关系[J].石油与天然气地质,2004,25(1):14-20
 Sun Dongsheng, Jin Zhijun, Lu Xiuxiang, et al. Classification of overpressure systems in sedimentary basins and their relationship with hydrocarbon migration and accumulation [J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(1):14-20(in Chinese with English abstract).

[7] 赵林,夏新宇,戴金星.鄂尔多斯盆地上古生界天然气的运移与聚集[J].地质地球化学,2000,28(3):48-53.
 Zhao Lin, Xia Xinyu, Dai Jinxing. Migration and accumulation of natural gases in Upper Paleozoic Ordos basin [J]. Geology - Geochemistry,2000,28(3):48-53(in Chinese with English abstract).

Permo–Carboniferous paralic depositional systems in the Daniudi gas field and its near–source box–type gas accumulation–forming model

HAO Shu–min, LI Liang, YOU Huan–zeng

(North China Company, SINOPEC, Zhengzhou 450006, Henan, China)

Abstract: In the Ordos basin, three depositional systems formed during the evolution of the lower Upper Paleozoic strata from marine to continental facies; they are in ascending order the barrier coast–tidal flat, delta and alluvial plain–braided river depositional systems, in which there occurs a terrigenous clastic coal–bearing sequence that has wide facies zones and a persistent lateral distribution. These depositional systems provided abundant source rocks and reservoir rocks and occur extensively in the same horizon or overlap each other over short distances; as a result, gas can be accumulated even though the conditions of large–scale migration passageways are lacking in the interior of the basin. The Daniudi gas field is located in the north of the Yishaan slope of the Ordos basin, and its basic framework is a large multi–layered lithologic trap developed in the Upper Carboniferous–Lower Permian. Sealed and covered by the argillite of the widespread Upper Permian Upper Shihezi Formation with unusually high pressures, this trap exhibits the features of near–source box–type accumulation. This is the main Upper Paleozoic accumulation–forming manner in the interior of the Ordos basin.

Key words: Daniudi gas field; depositional system; multi–layered gas reservoir; near–source box–type gas accumulation–forming model

About the first author: HAO Shu–min, male, born in 1956, senior engineer, specializes in oil and gas exploration and research; E–mail: hsmihsmi@163.com.