

文章编号: 1001-1986(2006)04-0026-04

# 济阳坳陷煤成气富集成藏的盆地动力学特征

李增学<sup>1,2</sup>, 曹忠祥<sup>3</sup>, 余继峰<sup>1,2</sup>, 王明镇<sup>1</sup>, 郭建斌<sup>1</sup>, 韩美莲<sup>4</sup>, 李江涛<sup>5</sup>

(1. 山东科技大学, 山东 青岛 266510; 2. 山东省油气勘探开发工程技术研究中心, 山东 青岛 266510; 3. 胜利油田有限公司地质科学研究院, 山东 东营 207515; 4. 山东科技大学泰安校区, 山东 泰安 271019; 5. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640)

**摘要:** 济阳地区具有煤成气聚集成藏的物质基础和盆地动力学背景。主要表现在石炭一二叠系在济阳坳陷的某些中、新生代断陷区块内保存完整, 以含煤地层为主要特色的生烃生气岩系发育; 石炭一二叠系上部(如上石盒子组分布广泛而稳定的砂岩)具有良好的储层发育条件, 区域盖层为煤成气成藏创造了封闭条件。因此, 石炭一二叠系本身具有良好的生、储、盖组合序列, 是济阳坳陷煤成气聚集成藏的最重要地质条件。

**关键词:** 煤成气; 沉积微相; 盆地动力学; 济阳坳陷

中图分类号: P618.11 文献标识码: A

## Basin dynamical features of coal—related gas assemblage in Jiyang Depression

LI Zeng-xue<sup>1,2</sup>, CAO Zhong-xiang<sup>3</sup>, YU Ji-feng<sup>1,2</sup>,

WANG Ming-zhen<sup>1</sup>, GUO Jian-bin<sup>1</sup>, HAN Mei-lian<sup>4</sup>, LI Jiang-tao<sup>5</sup>

(1. Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510, China; 2. Research Center of Petroleum and Gas Exploration and Exploitation Techniques of Shandong, Qingdao 266510, China;  
3. Academy of Geological Research of Shengli Oilfield Company Ltd., Dongying 207515, China; 4. Tai'an branch of Shandong University of Science and Technology, Tai'an 271019, China; 5. Guangzhou Institute of Geochemistry Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** Jiyang area is of the material base and the dynamic background for the assemblage of the coal—related gas. That is, the Pemo—Carboniferous strata are preserved well in some fault—blocks of Mesozoic—Cenozoic era in Jiyang Depression. The rock series producing the hydrocarbon and the gas have developed which are characterized by the coal—bearing strata. The upper strata of Pemo—Carboniferous (for example, broadly and stably distributed upper Shihezi Formation sandstones) are of good condition for reservoir development. The regional caps produced the confining condition for the coal—related gas enriching into the deposits. Therefore, the Pemo—Carboniferous strata possessing the good assemblage of the source, the reservoir and the cap are of the most important geological condition for the coal—related gas enriching into the deposits in Jiyang Depression.

**Key words:** coal—related gas; depositional microlithofacies; basin dynamics; Jiyang Depression

## 1 引言

煤成气是指与煤层、煤系有关所形成气藏的总合, 包括煤层气游离部分运移到煤系及以外储层的气藏、煤系中分散有机质在热演化过程中形成并运移到一定储层的气藏。石炭一二叠系为主要源岩的煤层甲烷气聚集成藏, 其机理是很复杂的, 如华北苏桥的煤成气聚集于奥陶系, 中原的“文23”煤成气藏和白庙混合气藏聚集于新、古近纪的沙河街组, 等等。在济阳坳陷, 天然气成藏机理更为复杂。济阳地区的155钻井煤成气藏聚集于石炭一二叠系储层内; 在孤东发现的气藏依然属于煤成气藏类, 聚集于石盒子组砂岩中, 而曲古1井煤层甲烷则聚集于新

近纪和古近纪的沙二段。本文仅就济阳坳陷石炭一二叠系生、储、盖组合特点及煤成气成藏的动力学背景作简要论述。

## 2 济阳坳陷煤成气成藏的地质条件

### 2.1 地层组合条件

本溪组 本溪组是在奥陶纪石灰岩古风化面上发育的一套泻湖、浅海碳酸盐台地相沉积。下部由紫红色含铁质泥岩(山西式铁矿层)、灰白色铝土岩(G层)、铝质泥岩、粘土岩、砂质泥岩等组成。上部主要由浅海相生物碎屑灰岩夹泥岩及薄煤组成。因此, 本溪组煤成气源岩不甚发育。

太原组 太原组主要是一套海陆交互相的含煤

沉积,以泥质岩、粉砂岩及砂岩为主,夹多层石灰岩与煤层,标志层特征十分明显,旋回结构清楚。整个剖面的颜色以深灰色—黑色为主,是石炭一二叠系颜色最深的层组,其沉积是在陆表海碳酸盐台地与泻湖、障壁环境相互交替的背景下形成的。其下界与本溪组为连续沉积,主要依据各自独特的蜓类化石与牙形刺区分,上界主要依据太原组顶部广泛分布的一层含晚石炭世腕足类化石的黑色泥岩与上覆山西组底界砂岩来区分。济阳坳陷太原组所含煤层、黑色泥岩是石炭一二叠系煤成气主要源岩发育层组。

**山西组** 山西组是一套以河控浅水三角洲体系为主体,包括泻湖、海湾、潮道、间湾、水下分流河道和三角洲平原沼泽沉积的过渡相沉积。也可以说是陆表海盆地充填沉积的上部序列。该套地层是在温暖、潮湿、植物生长繁茂的气候下形成的,主要是一套深灰至灰色的含煤岩系,是在碳酸盐台地及障壁体系环境下的沉积,既与富含各类海相动物化石的太原组不同,也与在较干旱气候和纯陆相环境下沉积的下石盒子组不同。山西组含有多层煤,下段为以煤层和暗色泥岩为特色的良好的源岩,上段为以三角洲平原分流河道砂体为特色的储层。因此,山西组生储组合发育,但盖层不发育。

**下石盒子组** 下石盒子组为山西组顶界面之上,B层铝土岩顶界面之下的河、湖相的砂、泥质沉积。颜色由下部的灰色、黄灰、灰绿色逐渐变化到上部的紫、灰、黄绿等杂色,明显反映出了由潮湿向干旱过渡的古气候环境。山东的B层铝土岩,与河北唐山地区的A层铝土岩、山西及河北西南的桃花泥岩、河南的大紫泥岩、安徽的泡泡砂岩之上的紫斑铅质泥岩,其层位是相当的,它是区域性的标志层,也是一个区域性煤成气盖层。

**上石盒子组** 上石盒子组为B层铝土岩之上,石千峰组红层之下的一套地层,包括万山段(柴煤段)、奎山段与孝妇河段,总厚度达500 m左右(其中

孝妇河段厚达300余m)。该地层主要为一套黄灰、黄绿色夹紫色的陆相碎屑岩建造,仅在孝妇河段的中上部夹有海湾相等近海过渡相的沉积,是华北晚二叠世中期大范围海侵在山东的地史记录。总的来看,上下石盒子组储层和盖层发育,构成了良好的储盖组合结构。

## 2.2 济阳坳陷石炭一二叠系保存特征

济阳坳陷区内,无棣凸起、滨县—陈家庄凸起将该区分为南北两个残留区,北区尚有义和庄凸起,南区尚有青城凸起。根据跨越坳陷的地震剖面构造解释资料,济阳坳陷内各凹陷在南北向剖面上均表现为北断南超的箕状凹陷特征(图1),表明该凹陷存在南北向的伸展作用。

济阳坳陷位于渤海湾盆地东南部,由东营、惠民、沾化和车镇4个主要凹陷和若干分隔凹陷的凸起组成。坳陷中的4个凹陷均表现为北断南超的半地堑结构(或样式),并与断块倾向北或北西的“单面山”或半地堑相间排列。而济阳坳陷新、古近纪裂陷盆地是在晚侏罗世—早白垩世负反转盆地的基础上发育而成的。石炭一二叠系就残存于这些次级凹陷中,坳陷西北侧由埕宁隆起与黄骅坳陷相隔;东南侧与鲁西—胶东隆起相邻;东北侧伸入渤海而过渡到渤中坳陷;西侧与临清坳陷相接。根据地震反射层资料,结合钻井实际深度资料,济阳坳陷内石炭一二叠系的埋深一般较大,多在3 000~5 000 m范围内。次级凹陷局部出现较大的埋深变化,最大埋深可达上万m,最小埋深在千m左右,如东营凹陷南坡,自南而北埋深由千余m迅速增加到上万m,但大部分在5 000~7 000 m左右;惠民凹陷大部分为3 000~5 000 m,局部埋深也可达到7 000~8 000 m;沾化凹陷和车镇凹陷内,其埋深多在3 000~5 000 m左右,某些断块边缘埋深在1 000~2 000 m左右。这些断陷深坳区保存了石炭一二叠系,且比较完整,为煤成气在历次盆地热演化事件中的生成、运移、聚集成藏创造了物质和背景条件。

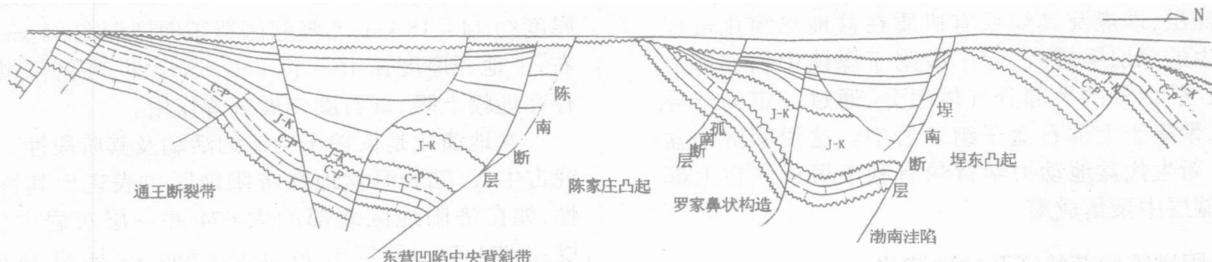


图1 济阳坳陷地质构造结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of geologic section of Jiyang Depression(North to South)

### 3 济阳坳陷煤成气成藏基本特征

从总体上看,本溪组和太原组以生烃或生气源岩为主,主要源岩是煤层、碳质页岩、黑色泥岩和含有分散有机质泥岩,以及含有机质碳酸盐岩等,厚度 300 m。可以说,石炭—二叠系本溪组、太原组和山西组的下部以发育生烃源岩为特色。其间发育不同厚度的砂岩储层,但均比较致密,储层孔隙不发育且单层厚度小。因此,石炭—二叠系下部地层以源岩为主体。

山西组发育的三角洲沉积体系是石炭—二叠系最重要的沉积体系,不但发育有厚度较大的煤层,且三角洲平原砂体也很发育,是比较理想的生、储组合。三角洲体系的沉积亚相、微相及相的配置关系,特别是三角洲平原亚相中作为骨架砂体沉积的微相一分流河道的展布是重要的煤成气储层。

山西组以上地层,即上石盒子组和下石盒子组,在山东各地的分布厚度不同,目前发现最大的保存厚度达 588 m(淄博)。石盒子组沉积体系至今虽然研究程度较低,但广泛而有利的砂岩储层分布已被发现。不过,因石盒子组发育的沉积体系具有陆相盆地沉积体系的复杂性,沉积相的分布也很复杂,致使沉积微相的识别和划分难度更大。

石盒子组自下而上划分为:黑山段、万山段、奎山段和孝妇河段等 4 个地层段。决口扇、河道边滩砂、越岸砂席、湖泊三角洲平原分流河道砂体以及湖泊滨岸沙滩砂体等都是良好的储层。其中,奎山砂岩和 B 层铝土岩是山东地区比较有名的对比标志层。B 层铝土岩及铝土质泥岩和上石盒子组发育的厚层泥岩、特殊的致密砂岩是具有区域意义的盖层,对济阳一些断陷块区的煤成气成藏具有控制作用。

因此,由于石炭—二叠系生、储、盖均比较发育,且组合关系好,上部盖层为煤层和煤系在热演化过程中(煤化作用)生成的大量气体运移、储集(于上部石盒子组砂岩)、成藏提供了条件。

济阳坳陷煤成气的运移及成藏特点,是煤系生烃、生气源岩中的部分甲烷气体远距离运移至上部砂岩储层,即煤及其煤系有机质在盆地热演化过程中产生的煤层甲烷气,除了吸附于煤体中的那部分“煤层气”以外的大部分气体组分,通过一定的疏导系统,聚集于上部石盒子组砂岩中。这说明济阳盆地中、新生代盆地动力学背景有利于煤成气在上部砂岩储层中聚集成藏。

### 4 济阳坳陷构造特征及盆地演化

#### 4.1 渤海湾盆地的形成与演化

渤海湾盆地是在板块构造背景下形成并演化

的。关于其形成和演化的动力学机制,一种观点认为,盆地形成的主要动力是北西—南东向的地壳或岩石圈引张作用,认为盆地属于伸展或者裂陷性质<sup>[3]</sup>。这种观点特别强调北东—北北东向断层是控制盆地形成和演化的主要因素。另一种观点认为,盆地形成的主要动力学机制是地壳或岩石圈块体沿北东—北北东向深断裂的右旋剪切作用或扭张作用,即盆地属于扭动形成或是大型复合拉分盆地。这种观点特别强调郯庐深断裂带在新生代时期右旋走滑作用对盆地形成和演化及其成矿的控制和影响。关于新生代右旋扭张或走滑拉分作用的动力,一是可能由于印度板块与欧亚板块碰撞对于欧亚板块内部产生扭动或滑动场,滑动应力场就必然产生走滑拉分盆地;二是认为,太平洋及太平洋边缘的一些小板块(如库拉板块等)在新生代对亚洲大陆边缘的斜向推挤作用,使中国东部大陆内部块体之间产生走滑剪切,从而形成渤海湾诸多盆地群。

济阳坳陷是在印支运动的背景上发展起来的中、新生代断陷盆地,也是在华北古生代地台基础上发育而成的一个叠合盆地。自中生代以来,济阳坳陷区遭受了多次强烈的构造运动,地层剥蚀严重。由于地层划分对比、地层剥蚀量等问题尚未很好解决,人们对济阳坳陷区中生代原型盆地的演化过程及分布格局的认识尚浅。

#### 4.2 晚古生代陆表海盆地和大型陆相盆地含煤充填沉积阶段

晚古生代,济阳地区与整个华北一样,属于陆表海盆地的一部分,当时是稳定的板块构造背景。与鲁西隆起区对比,可以看出它们有一个共同的特点,即在南北向剖面上,表现为北断南超的箕状断陷特征;在鲁西煤田即是所谓的北断坳南掀起的单斜构造。这说明鲁西隆起和济阳坳陷是在统一的板块构造活动应力场作用下形成的两大地质构造单元。同时,也表明存在南北向的伸展作用。但是,两个构造单元又具有不同的地壳厚度。据深部地震测试资料,济阳坳陷莫霍面埋深在 29~30 km 之间,上地壳厚度约 14~15 km;而隆起区莫霍面埋深在 34 km 左右,上地壳厚度在 16~17 km。这说明,在济阳坳陷存在地幔上隆、岩石圈伸展减薄作用。

盆地演化是依赖于构造的活动及其阶段性。在晚古生代,陆表海盆地在济阳地区也表现出其特殊性,如在济阳地区北部的大 674 井一层灰岩中(深度:3 093.5 m)鉴定出 *Eoparafusulina* sp. 属和 *Staffell* sp. 属。*Eoparafusulina* sp. 属,在中国、北美等地产于晚石炭世。在山西太原西山的太原组,江苏、安徽、浙江、江西的船山组,西南地区的马平组,以及甘肃

河西走廊东部地区的太原组均见有该属,特别是我国南方地区石炭系的典型分子。然而,在山东鲁西各地太原组至今未见报导。*Staffell* sp. 属在我国产于石炭纪一二叠纪,华南地区多见于二叠纪。该两属的发现对鲁西和济阳地区晚石炭世沉积环境的认识将起关键作用。这说明鲁西和济阳地区晚石炭世盆地环境差别很大,至少说明在石炭一二叠纪,鲁西和济阳地区之间有一重要的分水界限,这个界限也可能是隆起带,或者当时处于水下状态,使得济阳地区的海水进退是自东向西且距离大洋盆地较近,而鲁西地区则是由东南向西北。也许晚古生代济阳地区与鲁西地区的差异性为中、新生代两者构造演化的差异奠定了基础,也可能当时两个地区的莫霍面埋深和上地壳厚度就存在差异。

#### 4.3 中生代陆相盆地发育和充填特征

早、中三叠世济阳坳陷所在的整个华北地区,基本继承了晚海西期以来的构造格局和沉积特点,地势北高、南低,为一北缓南陡、呈北西西向展布的大型内陆沉积盆地。开始于晚三叠世的印支运动在本区表现为北东—南西向挤压褶皱运动,造成地壳挤压抬升,下、中三叠统被剥蚀,并伴随有北西向压性构造的形成及广泛分布。主要表现形式为逆冲断层,伴之以褶皱构造,如桩西古生界褶皱、埕东背斜及一些逆断层等。济阳坳陷基本继承了晚海西期以来的构造格局和沉积特点,地势北高、南低,为一北缓南陡、呈北西西向展布的大型内陆沉积盆地。它是一套以河湖相、沼泽相为主的红色、杂色砂页岩、泥质岩建造。

#### 4.4 新生代盆地构造演化为济阳坳陷煤层气运移聚集创造了条件

石炭一二叠系的保存 晚三叠世是印支运动的主要活动时期,西伯利亚板块与华北板块的拼接,特别是南缘扬子板块与华北板块的碰撞拼接作用,对本区的构造格局产生重要影响。由于太行山的隆起,使得华北地区“东、西分异”现象开始显现:东部抬升,成为剥蚀区或被分割成一些小盆地;西部鄂尔多斯则为一个完整的大盆地。秦岭一大别山造山带的挤压作用,使南华大部分地区褶皱隆起,在向斜部位发生沉积,平面呈长条状,与区域构造线NWW方向一致,受后期改造,现在仅残存在济源—洛阳一带。济阳坳陷区此时主要受控于扬子板块与华北板块挤压碰撞所产生的挤压应力场,处于抬升剥蚀状态,早、中三叠世沉积的地层几乎剥蚀殆尽,但未影响石炭一二叠系的完整保存。

石炭一二叠系埋藏和上部封盖 在早、中侏罗

世,济阳坳陷区经历了一个较长时期的截凸填凹、填平补齐的过程。相对低洼区沉积了一套河湖相含煤地层(坊子组、三台组),盆地沉积具有披盖式、北西向成带分布的特点。含煤地层虽有一定的稳定性,但常含有砂砾岩、含砾砂岩、紫色泥岩,与上古生界煤系相比,其厚度、岩性变化要快得多,因而推断,早、中侏罗世的济阳坳陷区并非统一的大盆地,而是在NW向挤压逆冲断层和褶皱控制下的山间盆地。下、中侏罗统与下伏古生界表现为角度不整合接触,形成石炭一二叠系第1套上部盖层。

晚侏罗世—白垩纪,受郯庐断裂左行走滑的影响,济阳坳陷区前期形成的NW向逆冲断层,发生负向构造反转,反向延伸,形成了一系列半地堑,先期接受沉积的下降盘则抬升成为凸起区遭受剥蚀,而先期北西向逆冲断层的上升盘,此时开始下降,逐渐转化为洼陷,并发育了一套以红色碎屑岩及安山岩建造为主的上侏罗统和白垩系,以角度不整合上覆于中下侏罗统之上<sup>[4]</sup>。

晚白垩世末期,郯庐断裂经历了由左旋至右旋的扭压过渡阶段,而后济阳坳陷进入了古近纪的右旋扭张(拉分)期。古近纪是渤海湾盆地的主要伸展裂陷期,众多的伸展断层活动强烈。断层的活动一方面切割了中生界、古生界和太古界,并发生断块掀斜旋转形成断块山,另一方面使作为断块山的中生界、古生界和太古界逐渐埋藏于地下。

济阳坳陷古近纪和新近纪裂陷盆地是在中生代反转盆地基础上发育而成的。根据盆地内部构造发育特征和沉积充填序列,以及火山活动特征,可以将济阳坳陷盆地演化划分为两个时期:古近纪裂陷充填期和新近纪坳陷期。济阳坳陷古近纪和新近纪沉积为石油天然气岩系发育的最重要时期,发育了巨厚的生油层和良好的油气储集系统,这也是煤成气聚集的最上部一套盆地区域盖层。

#### 参考文献

- [1] 曹忠祥,刘华,王玉林.济阳坳陷石炭二叠系沉积与层序地层分析[J].山东科技大学学报(自然科学版),2002,21(2):68—71.
- [2] 李增学,魏久传,魏振岱.含煤盆地层序地层学[M].北京:地质出版社,2000.
- [3] 陈发景.中国东部第三纪含油气盆地的性质、演化和形成机制[M]//中国中新生代盆地构造与演化.北京:科学出版社,1983:78—83.
- [4] 宋国洪,肖焕新,李常玉,等.济阳坳陷构造演化及其大地构造意义[J].高校地质学报,1999,5(3):175—182.