

# 东濮凹陷煤成气氩同位素地球化学 特征及气源对比

申建中 季美英 朱家蔚 许化政

(中国科学院兰州地质研究所)(中原油田勘探开发研究院)

**内容提要** 据天然气中氩同位素 $Ar^{40}/Ar^{36}$ 比值,将东濮凹陷天然气分为3组:Ⅰ组平均 $Ar^{40}/Ar^{36} = 477$ ;Ⅱ组平均 $Ar^{40}/Ar^{36} = 757$ ;Ⅲ组平均 $Ar^{40}/Ar^{36} = 1097$ 。反映该区有3类天然气。据放射成因氩( $Ar^{40}$ 放)的年代积累效应和东濮凹陷地化特征,笔者认为:Ⅰ组为第三系自生自储的油成气;Ⅱ组为石炭—二叠系含煤地层形成、运移富集于第三系地层之煤成气;Ⅲ组为Ⅰ、Ⅱ组的混合型天然气。估算出煤成气源岩年龄约为321Ma。

**主题词** 东濮凹陷、氩同位素 $Ar^{40}/Ar^{36}$ 比值。地球化学特征、煤成气、气源岩。

**第一作者简介** 申建中 男 47岁 助研 同位素地球化学。

从82年3月至84年11月,笔者曾三次赴中原油田进行科学考察。共采得11个气藏39个井位的高压钢瓶气样46瓶,还采集上百个油样、岩样,数十个汞、硫等样品。笔者主要参与了天然气中的氩同位素分析、研究工作,本文即为此项工作之总结。

## 一、地质概况

东濮凹陷位于豫、鲁两省交界区的黄河两岸,区域构造位置属华北盆地的中南部,是鲁西隆起和内黄隆起之间的一个盐湖相沉积断陷盆地,面积约5300km<sup>2</sup>(图1)。

东濮凹陷是一个以古生界地层为基底,以新生代沉积为主的中新生代地堑式断陷盆地<sup>[1]</sup>,其沉积层序如图2所示:

中生代构造运动使本区强烈断陷,并沉积了巨厚的新生界地层,仅下第三系就厚达6000m。自下而上可分两大旋回(图2)。此两大旋回的沉积特点是含有四个盐岩韵律层,总厚约1400m。这套盐岩韵律层横向呈复杂的相变,在凹陷北部叠加分布面积广达600多平方公里,成为油气藏极好的区域性盖层,与下部砂岩层构成良好的储盖组合。上第三系为块状砂岩及砂泥岩互层,厚达1000—1500m。新生界总厚7000余米。地温梯度为3.36℃/100m。

新生界之下广布石炭—二叠纪地层,它是下古生界奥陶系假正合面之上沉积的一套

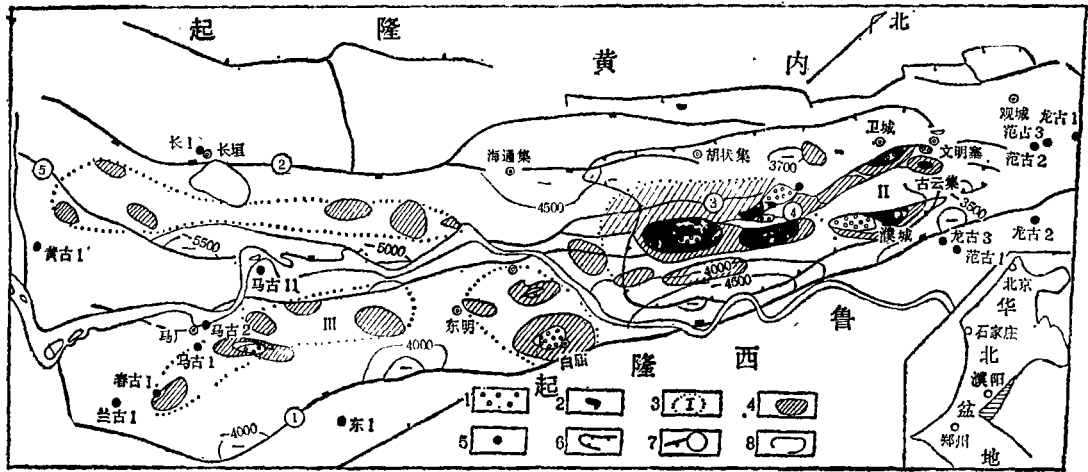


图1 东濮凹陷地理构造位置及天然气资源预测图

- 1.气田 2.油田 3.评价分区 4.有利构造 5.钻井  
6.沙三段 7.断层 8.沙三顶埋深线

Fig. 1 Tectonic location of Dongpu Depression and the estimation of national gas resources

中上石炭统海陆交互相含煤建造，厚度为800—1100m左右（图2）。在新生代地层深埋之后的二次成气作用及其运移、富集形成工业气藏的问题早已为人们所重视。

## 二、天然气中氩同位素地球化学特征

前人根据东濮凹陷地质特征、天然气组分特征<sup>[1]</sup>，初步认为文留盐下沙四段天然气藏的气源很可能来源于下部石炭—二叠系的煤成气。笔者从天然气氩同位素（ $Ar^{40}/Ar^{36}$ ）丰度比的特征来探讨文留气藏与断陷盆地内基底中石炭—二叠系含煤地层所生成天然气之关系。为此共分析获得氩同位素数据50个（表1）。

据表1数据，可将东濮凹陷天然气按其中 $Ar^{40}/Ar^{36}$ 的同位素丰度比分为三组，见表2。

各组数据取舍原则如下：

第Ⅰ类为 $Ar^{40}/Ar^{36}$ 的低值组，代表油成气的值。数据取舍原则：首先实验过程正常；一般产气层在 $ES_2$ 以上各层位；地质构造上呈封闭体系；经其他方法研究鉴定亦正油成气的油气藏。另外在同一井位上，尽量取高值进行统计。笔者在文东、文南、濮为及文明寨等油气藏获取了16个井位数据进行平均值计算。

第Ⅱ类为 $Ar^{40}/Ar^{36}$ 的高值组，代表煤成气的值。数据取舍原则：肯定实验过程正常；一般产气层在 $ES_4$ 层位以下；地质构造上呈封闭体系；其他手段（如 $\delta^{13}C$ 、 $\delta^{13}C_1$ 、 $\delta D$ 等）研究分析亦认为是煤成气特征；地质上无争议的地区。在同一井位上尽量取高值参与计算。本次共取4个井位数据参与平均值计算。

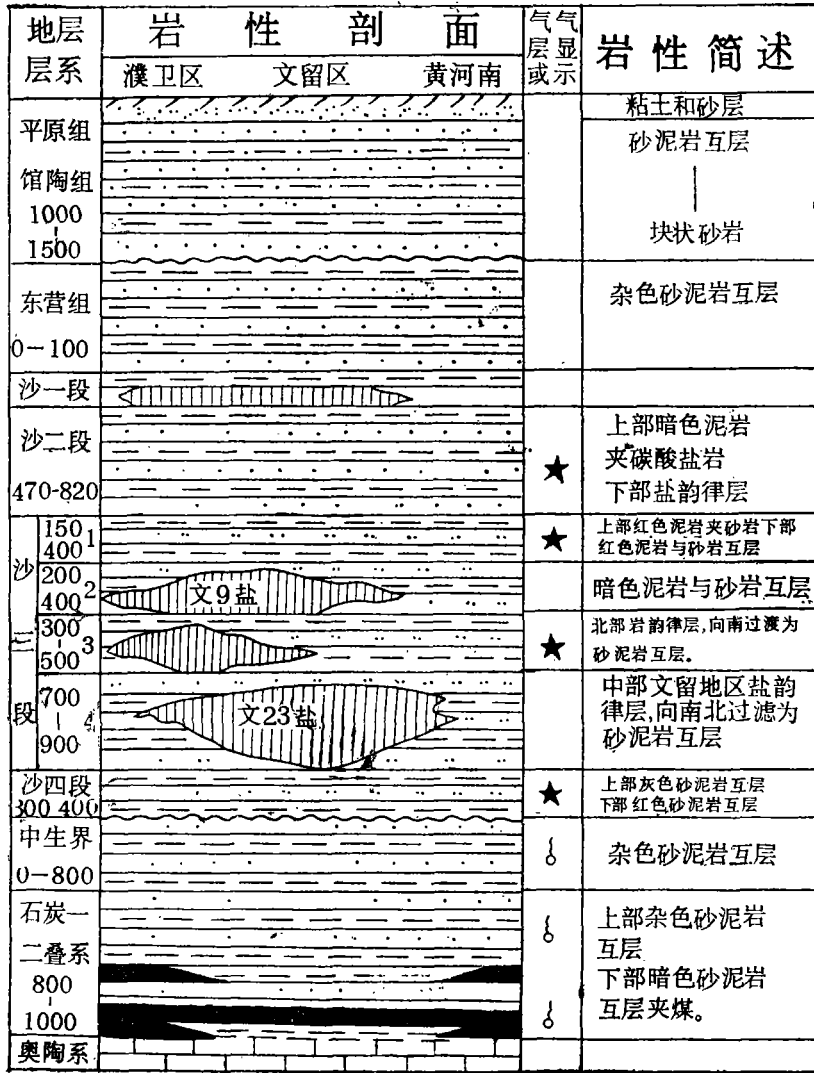


图2 东濮凹陷地层综合剖面示意图

Fig. 2 Comprehensive stratigraphic sections of Dongpu Depression

第Ⅱ类为 $Ar^{40}/Ar^{36}$ 的中值组,可能代表第Ⅰ类和第Ⅲ类气藏混合型气藏值。数据取舍原则:除实验过程肯定正常外,一般产气层在 $ES_3-ES_4$ 层位的气藏,而且所在地区的盐、膏盐层不是相变就是缺失,即地质构造上不成封闭体系。另外同一井中亦尽量取高值参与计算。本次共取10口井数据参与平均值计算。

### 三、气源对比

天然气中氩气主要来源于大气之中〔2〕。首先氩气从大气中伴随沉积、成岩作用而

表 1 东濮凹陷天然气中氩同位素数据表

Table 1 Measured data of Ar isotopes in natural gases from Dongpu Depression

分析号	气藏名称	井号	层位	井段(m)	Ar总浓度 (ppm)	Ar <sup>40</sup> /Ar <sup>36</sup>	备注
82-011	文留气藏	文23	ES <sub>4</sub>	2813.2~3036.8	434	691	
82-012	"	"	"	"	459	1175	
83-005	"	"	"	"	302	920	
83-006	"	"	"	"	301	855.7	
83-007	"	"	"	"	343	925.5	
83-008	"	"	"	"	412	918.2	
85-029	"	文31	"	2987.4~2969.8	649	1092.9	
85-050	"	文242	"	4426.5~4374	613	959	
82-022	文南气藏	文82	ES <sub>2</sub> 下	3034.4~3048.4	393	612	
82-023	"	"	"	"	434	626	
83-037	"	文33	ES <sub>3</sub>	3075~3145	471	555.6	
83-038	"	"	"	"	506	681.6	
83-040	"	文25-33	ES <sub>3</sub>		511	389.6	
82-024	文东气藏	文13	ES <sub>1</sub>	3415.3~3419.8	453	570	
83-042	"	"	"	"	672	414.9	
83-041	"	文92	ES <sub>3</sub>	3354~3561.4	581	334.4	
85-027	"	文212	ES <sub>3</sub>	3600~3900	677	481.4	
85-028	"	文115	ES <sub>3</sub>	3042.6~3184.2	550	467.4	
85-030	"	文12	ES <sub>2</sub>	2946.1~2893.5	816	588.9	
85-032	文南气藏	文2-219	ES <sub>2</sub>	2362	856	410.5	
85-034	"	文140	ES <sub>2</sub> 下		655	537	
85-035	"	文33-212	ES <sub>2</sub>		820	515.2	
85-036	"	文33-69	ES <sub>2</sub> 下		879	589.2	
85-037	"	文33-113	ES <sub>3</sub> 上		830	516.2	
85-038	"	文95-9	ES <sub>3</sub> 中		664	681.5	
82-009	濮城油气藏	濮3-16	ES <sub>2</sub> 下	267882~2747.6	283	578	
82-010	"	"	"	"	343	571	
82-015	濮城油气藏	濮39	ES <sub>4</sub>	3131.4~3185.4	368	868	
82-016	"	"	"	"	378	843	

续表

分析号	气藏名称	井号	层位	井段(m)	Ar总浓度 (ppm)	Ar <sup>40</sup> /Ar <sup>36</sup>	备注
83-043	濮城油气藏	濮1-10	ES <sub>1</sub>	2353.2~2364	753	315.1	
83-044	"	濮1-95	ES <sub>2</sub> <sup>1</sup>	2377.8~2392.4	766	330.7	
85-031	"	濮31	ES <sub>4</sub>		1766	278.9	
85-033	"	濮3-84	ES <sub>2</sub> <sub>下</sub>		794	469.1	
85-039	"	濮63	ES <sub>4</sub>		711	750	
85-040	"	濮深3	ES <sub>2</sub> <sup>4</sup>	3600~3900	603	705.9	
85-042	"	"	"	"	753	782	
83-056	文明寨油气田	P7	ES <sub>2</sub> <sup>2</sup> <sub>上</sub>	1546.4~1578.8	483	308	
83-44(66)	"	"	"	1480.~1530.6		343	*
82-017	卫城油气田	P11	ES <sub>4</sub>	2757.2~2792.8	429	779.7	
83-045	"	P22-4	ES <sub>3</sub> <sup>1-2</sup> <sub>下</sub>	2649.6~2708.6	748	742.9	
85-019B	"	P107	ES <sub>4</sub> <sup>3-4</sup>	2859.8~2960.2	551	662.9	
85-023	"	P11-3	ES <sub>2</sub> <sup>4+3</sup>	2791.6~2833.6	682	620.7	
85-024	"	P112	ES <sub>3</sub> <sub>下</sub>	2741~2807	560	683.3	
85-025	"	P102	"	2750.2~2786.4	579	888.9	
85-026	"	P25-1	ES <sub>4</sub> <sup>1-2</sup>	2740.2~2856.2	570	711.8	
82-013	白庙油气藏	白 <sub>3</sub>	ES <sub>3</sub>	3135~3139	475	957.6	
82-014	"	"	"	"	450	1233	
83-002A	"	"	"	"	481	720.8	
82-055	"	白12	ES <sub>4</sub> <sub>下</sub>	3971.6~4164.4	700	554.5	
85-020	"	白14	ES <sub>3</sub> <sub>上</sub>	3217.4~3215.6	595	703.2	
83-054	马厂地区	马10	ES <sub>3</sub>	2759~2772.4	1152	395.8	
	"	开33	P	3661.0~3662.0		1120	*
85-048	桥口地区	桥20	ES <sub>4</sub>	4649~4580	487	608	

\* ——中国科学院贵阳地化所分析数据。

进入沉积岩或地下水中，而后再脱气进入天然气中，成为天然气微量组份之一。氩气是一种十分稳定的惰性气体，在上述地质作用进程中不与任何物质发生地化反应，氩在数量上和Ar<sup>40</sup>/Ar<sup>36</sup>同位素比值亦应当不发生变化，仍保持Ar<sup>40</sup>/Ar<sup>36</sup> = 295.5左右。而实际上Ar<sup>40</sup>/Ar<sup>36</sup>的值在天然气中往往大于此值，有时相差十分悬殊。这种偏大的原

表 2 东濮凹陷天然气中氩同位素分组表

Table 2 Different value groups of Ar isotopes in natural gases from Dongpu Depression

类 别	Ar <sup>40</sup> /Ar <sup>36</sup> 比 值		样品井位数
	范 围	平 均	
I (低值组)	331—828	477	16
II (中值组)	633—889	757	10
III (高值组)	959—1175	1097	4

因在于围岩和地下水中之含钾矿物中的K<sup>40</sup>不断地衰变而形成大量Ar<sup>40</sup>所致。这种衰变产物——Ar<sup>40</sup>，是与衰变时间成正比函数关系。随着时间的增长产生的Ar<sup>40</sup>量逐渐增多；围岩的地质年代越老，产生的Ar<sup>40</sup>将越多，Ar<sup>40</sup>/Ar<sup>36</sup>之比值将会愈大。因此以氩同位素Ar<sup>40</sup>/Ar<sup>36</sup>比值作为地化指标进行气层对比、气源岩追索、年龄估算来判识煤成气，在理论和实践中皆具有一定的意义。

笔者以氩同位素Ar<sup>40</sup>/Ar<sup>36</sup>丰度比把中原油气田中的天然气划分为三个气体类型，它们可能代表着三种不同成因，并与不同的油气源岩相关连。分述如下：

**第 I 类气体** 其平均Ar<sup>40</sup>/Ar<sup>36</sup> = 477，是三类气体中放射性成因Ar<sup>40</sup>的积聚量最小的一类气体，其气源岩可能与凹陷内年轻的油气母岩相关，即可能与第三系沙河街组的油气母岩相关。

**第 II 类气体** 其平均Ar<sup>40</sup>/Ar<sup>36</sup> = 1079，其放射性成因Ar<sup>40</sup>的积聚量远大于第 I 类气体；在三类气体中Ar<sup>40</sup>积聚量最大。其气源岩可能是凹陷内时代远老于下第三系渐新世的下部石炭—二叠系含煤地层。即可能是属于煤成气的一种气体类型。这可以文留构造的文23井剖面加以追索（图3）。

**第 III 类气体** 其平均Ar<sup>40</sup>/Ar<sup>36</sup> = 757，其值正介于第 I、II 两类气体平均值477—1097之间。放射性成因Ar<sup>40</sup>的积聚量介于第 I、II 两类气体之间。所以气源岩的形成时代可能边正介于第 I、II 两类气体的气源岩之间。但结合东濮凹陷的具体地质状况，并不存在介于第三系生油气源岩和石炭—二叠系的煤成气源岩之间的另一类生气源岩。因此，笔者认为第 III 类气体只能是第 I 类和第 II 类气体混合形成的一类天然气类型。

第 II 类气体取了11口井样品作代表。其中以濮卫地区为主，白庙、桥口地区亦有分布。可见混合型气体广泛分布于凹陷南北广大地区，是一种不容忽视的类型。朱家蔚、许化政曾以碳同位素对该类天然气的混合比例进行过模拟实验研究。今后从氩同位素角

1) 桥20井，Ar<sup>40</sup>/Ar<sup>36</sup>比值稍偏低，但实验正常。可能采样过程中有极微量的大气污染所致。故暂不采用其值参与计算。

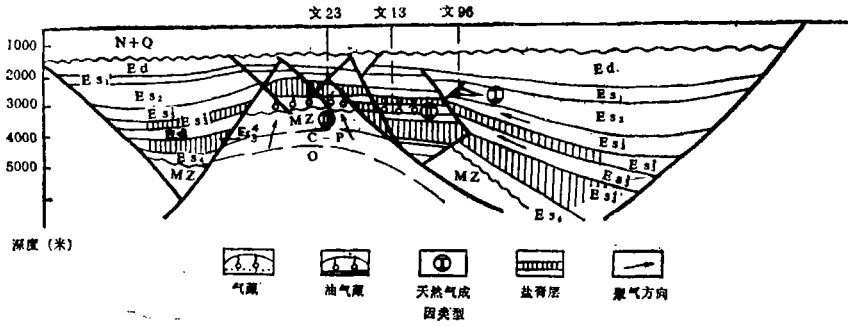


图3 东濮凹陷文留气藏剖面图

Fig. 3 Sections of Wengliu Gas Reservoir in Dongpu Depression

度也应进行此项研究工作。

上述氩同位素的研究工作与前人在东濮凹陷内的碳同位素研究工作和近年来甲烷碳、氢同位素及永丰度等方面的研究工作都取得较为一致的结果(表3、图4)。

表3 东濮凹陷天然气中地化特征对照表

Table 3 Comparison of geochemical features of natural gases from Dongpu Depression

指标范围 鉴别内容	类型	煤成气	混合气	油成气
		Ar <sup>40</sup> /Ar <sup>36</sup>	范围 959—1175 平均值 1097	范围 663—889 平均值 757
δ <sup>13</sup> C(‰)(PDB)	范围	-24.8—-30.9	-31.5—-36.6	-37.58—-48.57
	平均值	-27.52	-34.48	-41.86
δ <sup>13</sup> C(‰)(PDB)	范围	-25.79—-30.03	-32.1—-35.0	-37.7—-45.4
	平均值	-28.16	-33.66	-41.02
δD(‰)(SMOW)	范围	-182	-192—-216	-194—-236
	平均值		-207.8	-217.7
Hg丰度(毫微克/米 <sup>3</sup> )		5.11×10 <sup>4</sup>	4.16×10 <sup>3</sup>	n×10 <sup>2</sup>

(δ<sup>13</sup>C、δ<sup>13</sup>C、δD、Hg丰度指标: 朱家蔚等1984年)

#### 四、气源岩的年龄问题

徐永昌等根据天然气中放射性成因氩(Ar<sup>放40</sup>)的年代积累效应, 结合四川盆地, 以自流井二叠系气藏为基础, 提出了以气样氩同位素Ar<sup>40</sup>/Ar<sup>36</sup>比值来估算气源岩年

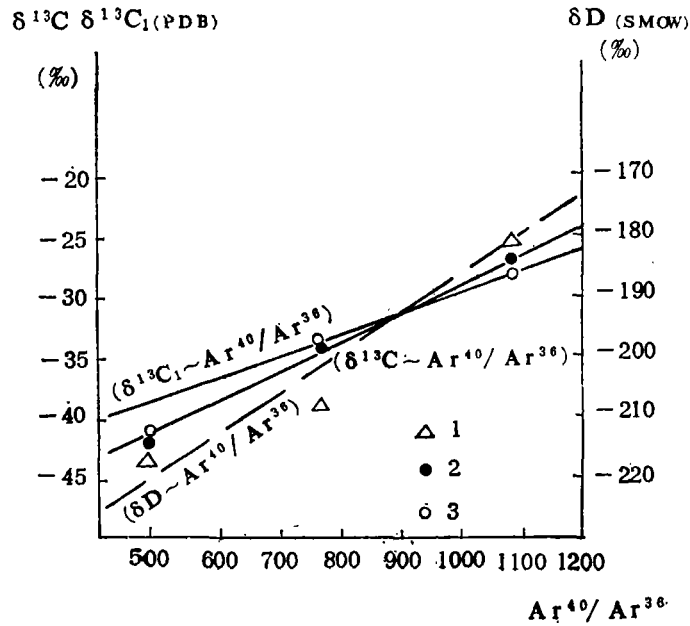


图 4  $Ar^{40}/Ar^{36}-\delta^{13}C$  ( $\delta^{13}C_1, \delta D$ ) 关系图

Fig.4 Correlation between  $Ar^{40}/Ar^{36}$  and  $\delta^{13}C$  ( $C\delta^{13}, \delta D$ )

令的经验公式如下：

$$T = 0.466 \left( \frac{Ar^{40}}{Ar^{36}} \right)_{\text{样品}} - 140 \dots \dots (1)$$

T——气源岩年龄，以 $10^6$ 年 (Ma) 为单位。

$\left( \frac{Ar^{40}}{Ar^{36}} \right)_{\text{样品}}$ ——质谱所测定的天然气样中氩同位素比值。

0.466——以空气氩  $\left( \frac{Ar^{40}}{Ar^{36}} \right)_{\text{空}} = 295.5$  时，将

$$\left( \frac{Ar^{40}_{\text{放}}}{Ar^{40}_{\text{空}}} \right) \text{ 换算为 } \left( \frac{Ar^{40}}{Ar^{36}} \right)_{\text{样品}} \text{ 时的换算系数。}$$

140——据自流井二叠系气田求得的气源岩年龄计算经验公式常数。

此公式前人曾在四川、新疆、酒西等油气田的研究工作中得到较好地应用。笔者以此公式估算东濮凹陷天然气源岩年龄，测得结果比四川盆地值有所偏高 (表 4)。

由表 4 显而易见，东濮凹陷第三系中  $Ar^{40}/Ar^{36}$  样品平均值比四川盆地高 97。在计算中应考虑其区域地化因素。所以东濮凹陷的估算公式可表达如下：

$$T = 0.466 \left[ \left( \frac{Ar^{40}}{Ar^{36}} \right)_{\text{样品}} - 97 \right] - 140 \dots \dots (2)$$

以公式 (2) 来估算东濮凹陷内第 III 类气体气源岩年龄可得：

$$T = 0.466 \left[ 1087 - 97 \right] - 140 = 321 \text{Ma}$$

可见第 III 类气体气源岩年龄应为 321Ma；其值正在石炭—二叠纪年代区间即 230



表4 东濮凹陷与四川盆地气源岩年龄计算对比表

Table 4 Comparison of gas resource rocks between Dongpu Depression and Sichuan Basin

地区 年龄与丰度 气源岩层位	东濮凹陷			四川盆地		
	Ar <sup>40</sup> /Ar <sup>36</sup>		气源岩 年 龄 (Ma)	Ar <sup>40</sup> /Ar <sup>36</sup>		气源岩 年 龄 (Ma)
	范 围	平 均 值		范 围	平 均 值	
E	331—626	477	82	330—440	380	37
C—P	1175—959	1097	371			

(四川数据: 徐永昌等1978年)

$\pm 10-350 \pm 10) \times 10^6$ 年之内。相应还可估算出第Ⅲ类天然气形成时代就在 $321 \pm 10$ Ma左右。这就较确切地说明东濮凹陷内第Ⅲ类较古老的天然气是石炭—二叠系地层成因的气体类型, 即为煤成气。可见东濮凹陷确是一个煤成气气藏相当丰富和分布相当广泛的聚煤盆地。

## 五、结 语

对东濮凹陷的研究结果有如下几点认识:

1. 从氩同位素角度来看, 东濮凹陷内确实存在着煤成气气藏。其氩同位素地化特征指标为: Ar<sup>40</sup>/Ar<sup>36</sup>之平均值为1097; (1175—959)。其气源为该区内第二个气源岩, 即石炭—二叠系煤系地层, 厚达800—1000m。此气源岩在第二次生气过程中形成大量的煤成气, 向上运移富集, 并大量储集于下第三系盐层下S<sub>4</sub>层段之中。文中地区, 文23井煤成气气藏就是个典型例证(图3)。

2. 东濮凹陷内煤成气储藏丰富, 分布广泛, 今后勘探中大有潜力可挖。特别在深部石炭—二叠系层位中, 可能藏着丰富的潜在大型气藏。如马厂地区油气藏中, K<sub>33</sub>井就是储存于石炭—二叠系地层中的一个例证。

3. 以同位素Ar<sup>40</sup>/Ar<sup>36</sup>比值对东濮凹陷内第Ⅱ类天然气混合状况进行模拟实验研究, 是个很有意义的课题。对一步勘探、开发该区内煤成气资源, 正确估算煤成气的潜在储量, 都具有十分重要的意义。

4. 东濮凹陷内氩同位素Ar<sup>40</sup>/Ar<sup>36</sup>之比值为何比四川盆地等地区偏高呢? 可能与本区内广泛发育着盐、膏盐层地层和成气母岩及围岩中富钾和含钾矿物有关。再则从构造位置上看, 狭长而窄小的东濮凹陷之东部边缘正是兰聊深大断裂(图1), 可能有深部来源的天然气中富含Ar<sup>40</sup>的影响所致。

笔者对在科研工作中给予大力支持和热情帮助的中原油田各级领导和同志们以及在编写中给予热情帮助的胡伯良、李振西、刘欣莲、徐伟范等表示衷心的感谢。

### 参考文献

- 〔1〕 朱家蔚等，石油勘探与开发，1983，第1期 4—11页。
- 〔2〕 徐永昌等，地球化学，1979，第4期 271—282页。
- 〔3〕 朱家蔚、徐永昌、申建中等，1984，科学通报 第1期 41—44页。

## GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF ARGON ISOTOPES OF COAL-FORMED GASES FROM DONGPU DEPRESSION AND THEIR SOURCE COMPARISON

Shen Jianzhong                  Ji Meiyang

(Lanzhou Institute of Geology, Academia Sinica)

Zhu Jiawei                      Xu Huazheng

(Zhongyuan Oilfield Institution of Exploration and Development)

### Abstract

Geological setting: Dongpu Depression, located on the banks of the Yellow River at the boundary of Henan Prov. and Hebei Prov., belongs to the mid-southern part of Huabei Basin in the view of regional tectonics. This depression, with the area of 5300 km<sup>2</sup>, is a Mesozoic-Cenozoic grabenlike salt-lake sedimentary basin, dominantly including Paleozoic basement and Cenozoic sediments. Luxi Uplift and Neihuang Uplift respectively lie each side of the depression. During the Mesozoic-Cenozoic tectonic movement violent faults and depression happened in this area and sediments more than 7000 meters thick deposited in the basin. Among which the Lower-Tertiary sediments are nearly 6000 meters thick and they could be divided upward into two big cycles. These cycles include four rock-salt cyclothems whose total thick-ness is about 1400 meters. The cyclothems change horizontally a lot in facies and are superposedly distributed over 600 km<sup>2</sup> in the northern part of the depression, forming ideally regional overlying strata of oil-gas reservoirs and constituting a good combination of reservoirs and coving strata with lower sandstone strata. In addition, the Upper-Tertiary sediments are a suite of massive sandstone and sandmudstone interbeddings. The thickness is about 1000-1500 meters and geothermal gradient 3.360°C/100m. All of these characteristics indicated that this area is a favourable oil-gas basin. Beneath the Cenozoic sediments, Carboniferous-Permian

coal series with the thickness of 800-1100m are widely distributed. Their role, played in secondary gas formation after the burial of Cenozoic sediments and the transportation, is accumulation of industrial gas reservoirs, i.e. the coal-formed gas has already drawn much attention.

Geochemical features of Ar isotopes in natural gases. Based on more than fifty data of Ar isotopes obtained by authors in this area, the natural gases in the study area can be divided into three groups according to the variation of  $Ar^{40}/Ar^{38}$  ratios. The ratio of Group I ranges from 331 to 626, averagely 477; Group II 633-889, averagely 757; Group III 959-1175, averagely 1087.

Comparison of gas resources. Ar in natural gases mainly comes from atmospheric air. First, it goes into sedimentary rocks or underground water during sedimentation and diagenesis. Then it joins in natural gases in the degassing process and becomes one of the micro-components of natural gases. Since Ar is a very stable noble gas, there was no geochemical reaction happened during the process mentioned above. Ar, therefore, keeps no change in quantity and isotopic abundance, i.e.  $Ar^{40}/Ar^{38} = 295.5$ . In fact, the measured value is often higher than that, sometimes even widely different. The main reason for that is caused by the increase of  $Ar^{40}$  decayed from  $K^{40}$  in potassium minerals contained in adjoining rocks and underground water. Therefore, the older the geological age of adjoining rocks is, the more the radioactive  $Ar^{40}$  is produced and correspondingly the higher the  $Ar^{40}/Ar^{38}$  ratio in natural gases is. Hence it is of certain significance to employ the  $Ar^{40}/Ar^{38}$  ratio as a geochemical index to trace gas strata and gas resources, to estimate gas age, and to identify coal-formed gases.

The natural gases in Zhongyuan Gasfield has been divided into three types based on the  $Ar^{40}/Ar^{38}$  ratio abundance. Each type represents a different genesis and is associated with different oil-gas source rocks. The Type I gas has the lowest radioactive  $Ar^{40}$  accumulation compared with the other two types, its average  $Ar^{40}/Ar^{38}$  ratio is about 477. Its source rocks, therefore, might be related to the youngest oil-gas source rocks, i.e. Tertiary Shahejie Group in the depression. The Type III gas has the highest radioactive  $Ar^{40}$  accumulation among the three types, its average  $Ar^{40}/Ar^{38}$  ratio is about 1087. So its source rocks might have something to do with the Carboniferous-permian coal series which are beneath the Oligocene strata in the depression, namely belonging to a kind of coal-formed gases. The Type II gas has an average  $Ar^{40}/Ar^{38}$  ratio which is 757. The ratio varies between the average  $Ar^{40}/Ar^{38}$  ratios of the Type I gas and Type III gas, therefore, the formation age of its source rocks should be earlier than that of the Type I gas but later than that of the Type III gas. However, in fact no such aged source rocks have been found in the depression. In this case, it could be imagined that the Type II gas should be a mixed gas of the Type I and Type III. This imagination has been proved by the carbon isotope studies undertaken by others before and it is also coincident with the results of researches on methane C.H. isotopes and H abundance being carried on at

present.

Age estimation of gas source rocks: Based on Xu Yong-chang's empirical formula  $T = 0.466 (Ar^{40}/Ar^{36})_{\text{sample}} - 140$  (1), ( $T$ —age of gas source rocks, unit =  $10^6$ y;  $(Ar^{40}/Ar^{36})_{\text{sample}}$ —the Ar isotope ratio in natural gases measured by MS; 0.466—a conversion coefficient when the  $Ar^{40}$  concentration/ $Ar^{40}$  air concentration is converted into  $(Ar^{40}/Ar^{36})_{\text{sample}}$  based on  $(Ar^{40}/Ar^{36})_{\text{air}} = 295$ ; 140—constant of the empirical formula obtained from the calculation of the Permian Gasfield in Ziliu jing), the age of gas source rocks in the depression has been calculated by the authors. According to the regional geochemical features of Dongpu Depression, the formula (1) should be revised as follows:  $T = 0.446(Ar^{40}/Ar^{36})_{\text{sample}} - 97 - 140$  (2). When this formula is employed in calculating the age of the Type III gas the result is as follows:  $T = 0.466 (1087 - 87) - 140 = 321$ Ma, (Ma =  $10^6$ y). Obviously, this age value lies between Carboniferous and Permian ( $230 \pm 10$ — $350 \pm 10$ )Ma. Correspondingly, the age of the Type III gas could be calculated out as 321 Ma, which makes sure that the Type III gas in Dongpu Depression is a coal-formed gas deriving from Carboniferous-Permian coal-series strata. In sum, it is quite obvious that Dongpu Depression is a coal accumulating basin with great abundance of coal formed gases.