

## • 煤层气 •

## 渤海湾盆地晚古生代煤系烃源岩及其生烃性评价

艾天杰 (中国矿业大学 北京 100083)

李荣西 (中国海洋石油渤海公司 天津 300452)

**摘要** 在对渤海湾盆地晚古生代煤系烃源岩特征进行研究的基础上, 分别从烃源岩的主要生烃组分、有机质类型及生烃门限等方面对其生烃性进行了评价, 认为太原组烃源岩生烃性要好于山西组; 渤海湾盆地晚古生代煤系烃源岩不但具有良好的生烃物质基础、较高的生烃能力和热成熟条件, 而且具有良好的天然气勘探前景。

**关键词** 煤 烃源岩 有机质类型 生烃性 评价

**中国图书资料分类法分类号** P618.11 P618.13

**作者简介** 艾天杰 男 35岁 工程师 煤岩学、有机岩石学

## 1 引言

晚古生代煤系在渤海湾盆地分布面积广, 厚度大, 成熟度高。与煤系有关的烃源岩类型多样, 而且在本区有利的生储条件。因此研究本区晚古生代煤系烃源岩及生烃特征, 对本区石油及天然气勘探具有重要意义。

## 2 烃源岩类型

华北地区晚古生代烃源岩类型主要为煤及暗色泥岩(包括碳质泥岩), 其次还有少量的碳酸盐岩, 它们主要分布在石炭系太原组和二叠系山西组中。其中煤的有机碳含量均在 50%以上, 最高达 70%。太原组和山西组暗色泥岩有机碳平均含量分别为 2.33% 和 2.26%, 比前苏联西西伯利亚典型煤成气盆地中煤及暗色泥岩有机碳(平均 1.31%) 还高<sup>[2]</sup>。但煤系中碳酸盐岩有机碳含量偏低, 平均为 0.07%, 与碳酸盐岩烃源岩有机碳含量下限值(0.30%, Tissot, 1987) 相比很低。从有机碳分析结果(表 1) 看, 本区晚古生代煤系中烃源岩主要为煤及暗色泥岩(包括碳质泥岩)。

## 3 烃源岩有机组分特征

晚古生代煤系形成于海陆交互相环境, 煤系烃

表 1 华北地区晚古生代烃源岩有机碳含量 %

层位	烃源岩类型	有机碳含量	平均值(样品数)
太原组	煤	62~74	66.92(5)
	暗色泥岩	0.54~6.14	2.33(15)
	灰岩	0.02~0.13	0.07(3)
山西组	煤	52~73.3	64.73(3)
	暗色泥岩	0.56~3.21	2.26(7)

源岩母质物源输入、水动力条件及保存环境条件等对烃源岩组分类型、含量以及生烃特征等都有重要的影响。其中太原组主要形成于近岸滨海潮间带的潮间沼泽, 时有海水侵入, 呈半咸水-咸水环境, 除了以陆源高等植物为主的物源输入外, 菌藻类低等水生生物物源输入是太原组烃源岩的一大特点。山西组主要形成于三角洲冲积平原沼泽地带, 烃源岩有机质主要是以陆源高等植物为主。沉积环境的差异决定了太原组和山西组煤系烃源岩有机组分特征有所不同。

## 3.1 镜质组

太原组和山西组烃源岩均以镜质组为其最重要的组分。本文从生烃角度出发, 根据荧光显微镜下特征, 将镜质组分为正常镜质体和荧光镜质体, 前者是指不发荧光的镜质体(包括结构镜质体、无结构镜质体等); 后者是指发荧光的镜质体, 实际上是一种含有壳屑体(壳质体)、惰屑体或粘土矿物等的基质镜

质体。大量研究表明, 荧光镜质体是一种富氢组分, 也是一种重要的生烃组分<sup>[1,2]</sup>, 其中的荧光组分主要是赋存于基质镜质体中的超微类脂组<sup>[3,4]</sup>。在反射光和荧光显微镜下, 大量烃源岩有机组分统计结果表明, 太原组烃源岩中的镜质组以荧光镜质体为主, 正常镜质体较少, 而山西组却以正常镜质体为主, 荧光镜质体较少。这种差异与太原组和山西组烃源岩形成的沉积环境不同有关。

### 3.2 壳质组

本区煤中常见的壳质组有孢子体、角质体、树脂体、木栓质体及壳屑体等。孢子体主要为小孢子体, 偶见大孢子体, 其常呈压扁的环状或条状顺层定向分布, 有时聚集成小孢子堆, 荧光以黄色为主。随成熟度增加, 其荧光色由黄色逐渐变为橙色、褐红色。在本区煤中可见两种角质体, 一种为厚壁角质体, 其具有特征的锯齿状内缘; 另一种为细条状, 也可见锯齿状内缘, 以后一种最为常见。树脂体一般呈圆形、椭圆形及长条形, 常与镜质组共生, 具亮黄色荧光。本区烃源岩中木栓质体在显微镜下细胞形态容易辨认, 呈扁长方形或砖形, 荧光多为绿—黄色。

壳质组在太原组和山西组烃源岩中广泛分布, 其含量一般在 5%~15% 之间。壳质组被认为是一种最主要的生烃组分, 因此其含量多少与烃源岩生烃性直接有关。

### 3.3 惰性组

惰性组也是本区煤系烃源岩中含量较高的一种组分, 主要有丝质体、半丝质体、粗粒体、菌类体及惰屑体等。其中丝质体在煤中保存有较好的原始植物细胞结构, 而在泥质岩或碳酸盐岩中呈弧状、星状结构形态。粗粒体主要存在于煤系烃源岩中, 呈浑圆状、椭圆状, 无任何结构显示。菌类体偶尔可见, 呈圆形、卵形, 反射率较高。

### 3.4 藻类体

藻类体主要见于太原组煤及泥岩中, 依其结构、形态可分为结构藻类体和层状藻类体, 前者呈大小不同的椭圆形, 具菜花状或放射状结构, 有的具锯齿状外缘; 后者主要呈密集的线形及纹层状顺层分布。

### 3.5 其他组分

除了以上最主要的一些有机组分外,

本区煤系烃源岩中还常见矿物沥青基质及几种次生有机组分。矿物沥青基质在泥岩和灰岩中常能见到, 特别是太原组中分布最多。次生有机组分常被认为与有机组分热演化及生烃有关的一类有机组分。在本区常见有渗出沥青体、微粒体以及沥青。渗出沥青体主要分布在煤的微裂隙中, 并且见到其与树脂体(母体)相连, 它是本区煤生烃的一种岩石学证据。微粒体也主要分布在煤中, 在高倍油浸镜下呈白色或亮白色微粒状集合体, 常分布在荧光镜质体的背景之上, 有的充填在细胞腔中。

在本区泥岩及碳酸盐岩中常常见到沥青, 其产状及形态多种多样, 一般呈不规则状以单体产出或充填裂隙, 具流动运移状迹象。

### 4 烃源岩主要生烃组分的确定

将本区煤系烃源岩中富氢有机组分的含量与烃源岩热解参数  $HI$  ( $HI$  是反映烃源岩富氢程度的一个指标) 的相关关系进行分析, 结果表明, 烃源岩(煤、泥岩) 中壳质组 + 藻类体的含量与  $HI$  的相关性不好(图 1a), 但壳质组 + 藻类体 + 荧光镜质体的含量与  $HI$  之间具有非常好的相关性(图 1b)。其中壳质组中孢子体无论在煤中还是泥岩中普遍分布, 而且含量占优势, 其次是角质体、树脂体和木栓质体。藻类体主要存在于太原组煤和泥岩中, 在山西组中分布有限, 特别是在太原组煤层中, 偶见藻类体非常富集、含量高(高达 25%) 的煤岩条带(即常说的腐泥煤)。荧光镜质体含量占绝对优势, 特别是在太原组煤和泥岩中, 其分布广、含量高, 是本区煤系烃源岩的一大特点, 是不可忽视的一种主要生烃组分。

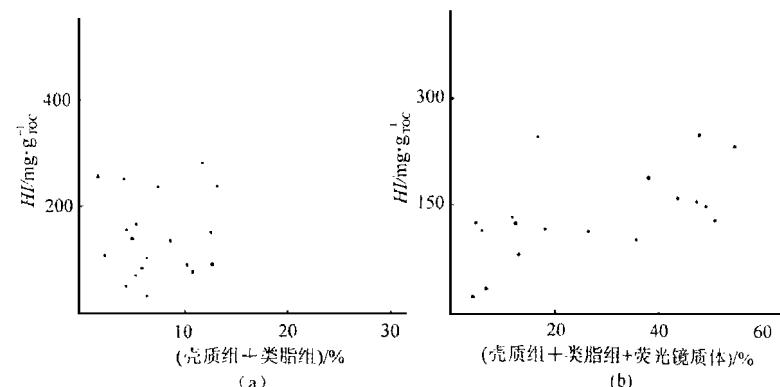
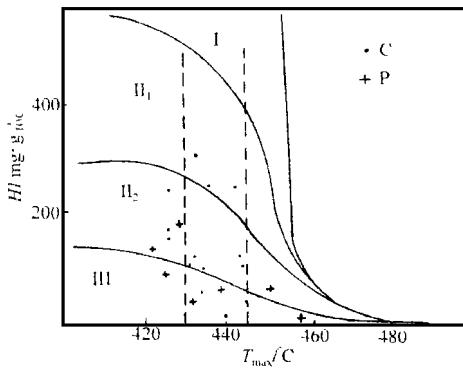


图 1 烃源岩生烃组分与  $HI$  相关关系图

图 2  $T_{\max}$  与  $HI$  划分有机质类型图

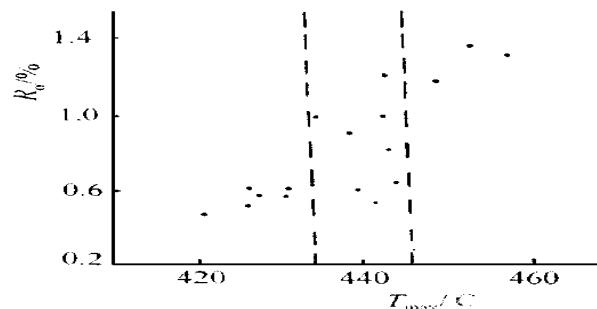
## 5 煤系烃源岩的有机质类型

在划分有机质类型  $T_{\max}$ — $HI$  图上(图 2), 太原组烃源岩投点大部分落在  $II_2$  型有机质类型区间内, 少部分落在  $III$  型有机质类型区间, 个别点落在  $II_1$  型有机质类型区间(主要是藻类体含量较高的样)。山西组烃源岩投点主要落在  $III$  型有机质类型区间内, 仅有个别点落在  $II_2$  型区间内。以上表明, 太原组有机质类型以  $II_2$  型为主, 次为  $III$  型有机质类型, 也有  $II_1$  型有机质类型, 太原组烃源岩有机质类型的多样性与其形成的沉积环境多样化有关, 而山西组主要以  $III$  型有机质类型为主。从有机质类型看, 太原组烃源岩生烃性要好于山西组。

## 6 生烃门限的确定

镜质体反射率  $R_o$  和热解参数  $T_{\max}$  值都是反映烃源岩成熟度的指标。但不同的有机质类型、不同组分都有其各自的生烃演化范围, 有的有机组分生油范围与“液态窗”相吻合, 而有的组分(如树脂体、木栓质体)却早于“液态窗”。大量研究表明, 煤成烃实质上是其中所有组分生烃作用共同叠加的结果。

将本区煤系烃源岩的  $T_{\max}$  值与其对应的镜质体反射率  $R_o$  相关性进行分析, 从图 3 可以看出二者具有一定的相关关系。仔细分析还可以发现, 在  $R_o \leq 0.60\%$  时,  $T_{\max}$  随  $R_o$  增大而增大, 即  $R_o$  从 0.48% 增大到 0.60%,  $T_{\max}$  从 420°C 相应地增大到 433°C。但在此之后,  $R_o$  急剧增大, 从 0.60% 陡增到 1.20%, 而  $T_{\max}$  却仅从 433°C 增大到 443°C。从图 2 也可以看到在  $T_{\max}$  从 430°C 到 445°C 之间,  $HI$  下降很快,  $HI$  从 300 mg/g<sub>T<sub>oc</sub></sub> 左右下降到 100 mg/g<sub>T<sub>oc</sub></sub> 左右。以上

图 3  $T_{\max}$  与镜质体反射率  $R_o$  关系图

现象说明, 在  $R_o = 0.60\%$  时烃源岩热演化有一个突变, 这一突变标志着生油作用的开始, 因此可以认为  $R_o = 0.60\%$  即为本区晚古生代烃源岩的生烃门限。

## 7 讨论

据研究<sup>[5]</sup>, 渤海湾盆地晚古生代煤系热演化程度高, 一般  $R_o < 1.20\%$ ,  $R_o$  最低为 0.80%, 最高可达 4.0% 左右。加水热模拟试验研究表明<sup>[6]</sup>, 太原组煤生油达  $14.57 \text{ m}^3/\text{t}$ , 生气  $147 \text{ m}^3/\text{t}$ , 山西组煤生油达  $11.70 \text{ m}^3/\text{t}$ , 生气  $78.17 \text{ m}^3/\text{t}$ 。由此可见, 本区晚古生代煤具有较高的生烃能力。在渤海湾盆地油气勘探过程中, 曾多次发现过来自晚古生代煤系的天然气, 如胜利油田曾在古 1 井石盒子组石英砂岩中发现了来自下伏煤系的工业油气流<sup>[5]</sup>。由此可见, 渤海湾盆地晚古生代煤系烃源岩不但具有良好的生烃物质基础、较高的生烃能力和热成熟条件, 而且具有良好的天然气勘探前景, 值得进一步研究。

## 参考文献

- 1 赵师庆. 实用煤岩学. 北京: 地质出版社, 1991
- 2 刘德汉, 孙永革, 申家贵等. 吐哈盆地及二连盆地侏罗系煤微类脂组分的共聚焦激光扫描显微镜(CLSM)研究及油气意义. 地球化学, 1996; 25(4): 309~315
- 3 Taylor G H, Teichmuler M. Observation on fluorenite and fluorescent vitrinite with the transmission electronic microscope. Int J. coal Geol., 1993; 122: 61~82
- 4 Taylor G H. New light on the origin of cooper basin oil. APEA, 1988; 28: 303~309
- 5 蒋有录. 临清坳陷东部古地温及有机质热演化特征. 石油大学学报(自然科学版), 1997; 21(1): 6~9
- 6 李荣西, 金奎勋. 烃源岩油气生成及排驱加水热模拟实验研究. 沉积学报, 1998; 16(1): 98~102

(收稿日期 1999-05-17)

# 煤生烃史系统动力学模拟<sup>\*</sup>

何光玉 (南京大学地球科学系 210093)

吴冲龙 陈荣书 (中国地质大学资源学院 武汉 430074)

**摘要** 煤成烃是目前国内外油气勘探的新领域,是油气地质研究新的热点和重点。本文基于煤成烃研究的最新成果,运用“系统论”的原理和“系统动力学”的工作方法,将煤生烃史系统划分为古温度和有机质成熟史、烃源岩发育史和有机质降解史等三个子系统。在泥岩生烃史模拟方法的基础上,建立了煤生烃史系统的系统动力学模型。模型的特点是各子系统内部及其间充满了控制和反馈控制信息。将该模型应用于辽河盆地东部坳陷荣兴屯地区的煤生烃史研究中,取得了令人满意的效果。

**主题词** 煤 生烃 系统动力学模型 反馈控制 辽河盆地

**中国图书资料分类法分类号** P618.11 P618.13

**作者简介** 何光玉 男 30岁 博士后 构造地质、煤油气地质

## 1 引言

目前国内外已经发现了大量的煤成油气田,如澳大利亚的吉普斯兰盆地和印度尼西亚的马哈卡姆三角洲等地的大油田以及国内的吐哈油田<sup>[1,2]</sup>等都是煤成油气的有名例子。这表明煤成烃是油气勘探的新领域,研究煤成烃具有特别重要的意义。目前国内外都在致力于这方面的研究,煤成烃已经成为油气地质领域研究中新的热点和重点。然而目前有关煤成烃的研究主要集中于定性分析和实验室模拟,很少涉及动态的、历史的和定量的研究。即使有也由于人们对煤成烃的机理特别是其中存在的反馈控制

信息等认识不够,导致所建模型不够完善,从而实际应用价值不大<sup>[3]</sup>。

在此,作者从“系统论”和“控制论”这一全新的角度出发来探讨煤岩的生烃机理,揭示其中存在的各种控制和反馈控制信息,并将社会科学和经济学领域中的“系统动力学”引进来,探索解决这一问题的有效途径,以期推动煤成烃勘探和研究的发展。

## 2 系统动力学模型

采用系统动力学研究问题时,首先是进行系统分析,分析系统的反馈机制,把握系统总体的与局部的反馈机制。然后建立流图,以进行更细致的分析。在此基础上根据系统动力学特有的 DYNAMO 语言建立模型,即系统动力学模型<sup>[4]</sup>。

\* 国家重点基金项目(编号 49832040)和中国海洋石油总公司 95·  
重点攻关项目(编号 9618)资助

## THE HYDROCARBON SOURCE ROCK OF LATE PALEOZOIC COAL MEASURES IN BOHAI BAY BASIN AND ITS HYDROCARBON GENERATION EVALUATION

Ai Tianjie (China University of Mining and Technology)

Li Rongxi (China Marine Petroleum Bohai Co.)

**Abstract** Based on the study of hydrocarbon-source rock of Late Paleozoic coal measures in Bohai Bay Basin, the hydrocarbon-generating properties are evaluated from the main hydrocarbon-generating component, the types of organic matter and hydrocarbon-generating threshold, respectively. It is considered that the hydrocarbon-generating properties of source rock in Taiyuan Formation is better than those in Shanxi Formation; the source rock has the better material basis for hydrocarbon generation, higher hydrocarbon generating capacity and thermal mature condition, as well as the better prospect for the natural gas exploration.

**Keywords** coal; hydrocarbon source rock; type of organic matter; hydrocarbon-generating properties; evaluation