

黄骅坳陷石炭二叠系煤系中烃类的生成

杨池银 于学敏 于志海 廖前进

(大港石油管理局地质勘探开发研究院)

摘要 通过有机岩石学、煤岩热模拟实验等资料的深入研究,确认石炭二叠系中镜质组(以基质、均质镜质体为主)是煤系有机显微组分的主要组成部分,也是早期低成熟-成熟阶段煤成烃生成的主要贡献者,煤系具有低成熟和成熟阶段两个产烃高峰期,孔店南部的壳质组与腐泥组等富氢组明显高于中区,有利于煤成烃的生成,孔古3井发现了可靠的来自煤系的原油。

主题词 煤岩 有机显微组份 煤成烃 双段式演化模式

七十年代以来,在世界范围内找到了一批与含煤地层成烃有关的油气田。我国1987年在南海发现了可能与始新统煤系地层有关的崖13-1-1凝析气田,1989年以来在吐-哈盆地鄯善弧形构造带上,发现了一批与侏罗系煤系地层有关的油气田。华北盆地C-P为一富煤时代,探讨黄骅坳陷C-P含煤地层的生烃特征,对华北煤成烃的研究与勘探具有指导意义。

地层和沉积相

华北地台自加里东上升后,经过长期的风化作用已准平原化,自中石炭世又整体下沉接受了一套海陆交互相-陆相含煤沉积。C-P自下而上划分为本溪组(C_{2b})、太原组(C_{3t})、山西组(P_{1s})、下石盒子组(P_{1x})、上石盒子组(P_{2s})及石千峰组(P_{2sh})。本区石炭二叠系发育较完全,厚度673~921.5m,北大港以北地区普遍遭受剥蚀,大中旺、刘岗庄、塘沽等地区仅残留部分石炭系。太原组上部、下石盒子组下部及山西组是C-P剖面中的主要含煤层段。

1. 中、晚石炭世海陆交互相沉积发育期

中石炭统本溪组(C_{2b}):在中石炭世时期华北盆地发生海侵,海侵方向为东北方向。黄骅坳陷沉积了一套以陆表海为主的地层,厚30~50m,岩性为灰黑、黑色泥岩,粉细砂岩夹数层泥晶灰岩,底部为一套铝土质泥岩。由南向北灰岩层数增多,厚度增大,说明物源是北东方向,因而造成平面上由北向南的潮坪、泻湖和沼泽化泻湖相三个沉积区。

上石炭统太原组(C_{3t}):晚石炭世时期,华北的海侵方向为东南方向,本区沉积了一套海陆交互相地层,厚170~190m,岩性为灰、黑色泥岩、煤和碳质泥岩为主夹粉细砂岩,海相灰岩也较发育。由于本区靠近物源,海相灰岩占的比例小于20%,以陆相沉积为主,在平原低凹区逐渐沼泽化形成滨海沼泽相沉积。平面上可以划分为河流三角洲和滨海湖沼相。

2. 二叠纪大型陆相盆地发育期

下二叠统山西组(P_{1s}):厚80~100m,岩性为灰、灰白色砂岩,灰、黑色泥岩,煤及碳质泥

作者简介 杨池银,男,1962年3月出生,1983年毕业于江汉石油学院勘探系石油地质专业,1990年毕业于北京石油勘探开发研究院研究生部石油地质专业。现从事油气综合地质研究及新区、新领域研究,高级工程师。通讯地址:天津市大港油田地质研究院综合区域室,邮政编码:300280

岩。由于海水退出本区,地形高差增大,岩石粒度变粗,形成了以砂岩为主的河道沉积及以泥岩、煤和碳质泥岩为主的河漫湖沼亚相沉积。

下二叠统下石盒子组(P_{1x}):厚 140~180m,岩性为一套灰白、灰及灰绿色砂岩、含砾砂岩和灰、紫红色泥岩,见少量的煤和碳质泥岩。本组沉积以河道、决口扇、河漫湖泊相为主,局部为河漫湖沼相。

上二叠统上石盒子组(P_{2s}):厚 256.5~329.5m,岩性为一套杂色砂、含砾砂岩及泥岩,下部砂岩发育,上部以泥岩为主夹砂岩,沉积相为网状河流相的河道亚相、决口扇及河漫亚相。

上二叠统石千峰组(P_{2sh}):厚 118.5~214m,以干旱气候条件下的红色泥岩为主的沉积。沉积相以洪泛平原为主,局部有决口扇和河漫湖泊相沉积。

煤系烃源岩的有机岩石学特征及有机质组成

1. 煤系烃源岩的有机岩石学特征

本区石炭二叠系煤系以镜质组而且是均质镜质体和基质镜质体占绝对优势(图1),镜质组含量 40%~80%,平均 59%;惰质组含量 8%~45%,平均 26.61%,壳质组平均含量 10.97%;腐泥组和次生有机质组平均含量分别为 3.05%和 4.26%。但是,不同层段和地区其显微组份特征又有较大的差别。

壳质组在本区煤系烃源岩中常见,以孢子体、角质体、壳屑体为主,见木栓质体和树脂体。角质体和孢子体在油浸反光下呈深灰—黑灰色,角质体发黄绿色荧光,内缘呈锯齿状;孢子体为黄褐色荧光,外壁有纹饰;木栓质体荧光为暗褐色;树脂体为黄色荧光,呈椭圆和颗粒状分布于其它组份之中;壳屑体为角质体和孢子体的碎片,并呈细粒分散状为基质镜质体所胶结。

镜质组以无结构镜质体中的均质体的基质镜质体为主,油浸反光下呈灰色条带,顺层分布,部分基质镜质体发褐色荧光,常胶结有孢子体、角质体、丝质体碎片、粗粒体以及微粒体等,而结构镜质体相对较少。

惰质体以半丝质体、惰质体居多,也常见粗粒体。在油浸反光下为灰白—白色,半丝质体中既有原始细胞结构保存较好、胞腔为空的或为无机矿物充填的,也可见胞壁膨胀、胞腔被挤压变形或破碎者。粗粒体表面均匀,常以无定形或长条状分布。

腐泥组含量少,可见藻类体和沥青质体。藻类体结构清楚、发橙色荧光,颗粒状。

次生有机质组:煤系中微粒体普遍存在,油浸反光下呈灰白—白色,粒径 $<1\mu\text{m}$,往往与富氢组份伴生。本区煤系中可见到不同产状的微粒体,如在不结构镜质体中以线纹状产出,在结

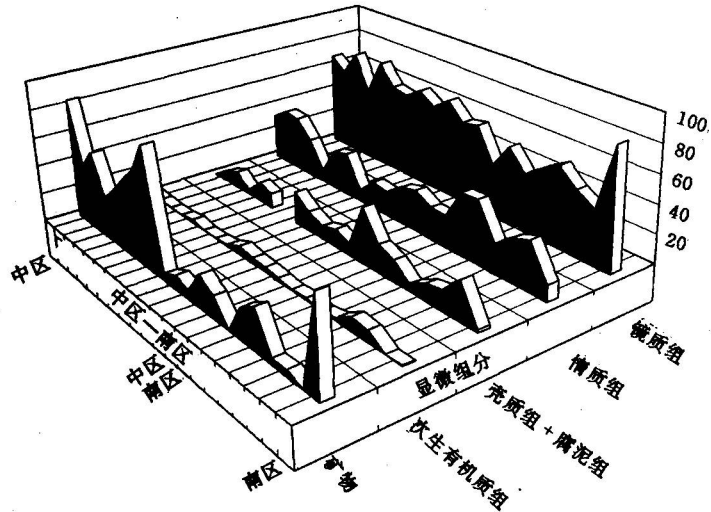


图1 煤岩显微组分对比图

构镜质体中以充填形式充填于细胞腔中或与矿物混合分散于粘土矿物中。

上述表明,镜质组是煤系烃源岩有机显微组份中的最大组成部分。纵向上以下石盒子组和太原组中壳质组+腐泥组含量相对较高,平面上同一地层单元中孔南地区壳质组+腐泥组含量明显高于中区。

2. 煤系烃源岩的有机质组成及其生物标志物

(1) 有机质类型 本区石炭二叠系煤岩主要分布于Ⅲ型区,Ⅰ、Ⅱ及Ⅲ型有机质类型分别与藻质体、壳质体、镜质体相对应。因此,石炭二叠系煤岩的Ⅲ型有机质是直接受其显微组份中的高镜质组含量所控制的,大多数仍主要反映Ⅲ型特征,但样品的分布不如元素分析结果集中,这主要是由于有机质丰度的差异所造成的,尤其是煤和炭质泥岩有机质丰度高于暗色泥岩,其降解潜率相对较高导致在热解类型图版上有机质类型略偏离Ⅲ型的分布特征。

(2) 有机质丰度 煤系暗色泥岩有机碳平均 1.04%,炭质泥岩的有机碳平均 6.99%,煤的有机碳平均 46.4%。根据戴金星(1985)等研究,我国石炭二叠系煤岩沥青“A”/C为 6~56mg/g,煤系暗色泥岩比值为 34.2~47.8mg/g,相比之下本区石炭二叠系煤系有机质丰度较高。鲍威尔(1984)确定形成工业性煤成油气藏源岩的烃产率下限为 20~30mg/g,以此标准,本区除炭质泥岩外基本上都可以作为能成烃的有效烃源岩。港古 1-1 井 1 840~1 843m 煤岩脱附气(C₁~C₅)总量为 31.74ul/kg, 2 230~2 234m 脱附气总量则达 302.21ul/kg,脱附气中 CO₂的碳同位素分别为 -18.87‰和 -17.52‰,可见其煤成气量是较大的。歧古 1、庄 63、太 10、港古 1-1 等井煤岩生油势(S₁+S₂)已有较多样品大于 100mg/g,高者超过 150mg/g,其热解氢指数为 5~707mg/g,多数样品大于 200mg/g,达到较好烃源岩级别。

(3) 单组份及全岩气相色谱特征 煤系饱和烃气相色谱普遍以 C₁₇、C₁₉ 为主峰的前峰型和高 Pr/Ph 为特征,反映其氧化—弱还原滨海沼泽的原始沉积环境。徐 13 井石炭系灰岩裂缝油与其本生煤系烃源岩色谱特征十分相似,所不同的只是油和原岩的族组成有差异,表现在油的饱和烃含量明显高于其源岩。这主要是由于煤系本身较强的吸附性尤其是对条环和芳香化合物为主的重组份的吸附(Rade, 1980),从而造成运移出来的烃类比其原岩具有高饱和烃含量特征。从对港古 1-1 井煤岩的芳烃检测结果看,主要以菲、甲基菲和二甲基菲的菲系列化合物分布为主,其余低环萘系列和高分子芳烃的分布相对较少。此外对煤岩的热解—色谱分析表明,在 S₁ 谱图中普遍以各系列芳香组份的显著分布为特色,而在反映热降解特征的 S₂ 谱图中,正构烷烃及烯烃系列的分布却又占主导地位,这也证实了因煤岩的强吸附性造成运移出来的烃类中饱和烃含量变高的认识。

(4) 单组份烃类构成 港古 1-1 井两个煤岩的饱和烃、芳香烃环数构成和化合物特征的分析表明,在饱和烃中链状烷烃基本占 50%,单环至六环烷烃的含量近似呈正态分布,以三环和四环烷烃的含量相对较高。芳香组份以双环和三环芳烃分布为主,含量占全芳烃的 70% 左右,反映在化合物分布上是以菲类含量相对最高,其次是双环芳烃中的茈类和芴类化合物。

(5) 煤岩中的生物标志化合物 煤岩的热演化水平已进入成熟阶段,如徐 13 井太原组 2 840~2 840.02m 煤岩甾烷异构化参数 C₂₉20S/(20S+20R)为 0.47(高于 0.42 的成熟下限值); C₂₇ββ/(αα+ββ)为 0.46(高于 0.40 的成熟下限),其甾烷碳数指纹曲线普遍呈不对称“V”字型,即 C₂₉>C₂₇>C₂₈。萜烷质量色谱图中出现特殊的分布, C₂₉ 降萜烷峰很高,指示典型的成煤环境。另外,煤岩中奥利烷、螺旋三萜烷和伽玛蜡烷等含量显著增高,证明在石炭二叠纪成煤环境中陆源植物起到了重要作用。芳烃分布中菲系列化合物占绝对优势,几乎相当于总芳烃

的三分之一。蒽蒾和芘系列仅次于菲系列,芴系列和二苯并噻吩、四甲基萘占第三位,而蒾、苯并蒾系列和低甲基化萘系列在芳烃中的含量较低。

煤成烃的热模拟实验及成烃模式

1. 热压模实验

传统的热压模拟实验共设置7个温度点,每个温度点下样品恒温加热10个小时,随产随排。它的特点是不仅可以得到气、液计量数据,而且还可以进行产物产状描述和组份分析。徐13井2 838.17~1 843.17m煤岩显微组份及干酪根的热压模拟实验结果表明(表1):

表1 徐13井煤岩热模拟实验结果对比表

样品	实验温度 ℃	累计产气量 ml	累计产气量 ml/g	累计产气量 ml	产液描述	气 体 组 成 (%)						
						H ₂	N ₂	CO ₂	CO	O ₂	CH ₄	重烃气
煤岩壳质组	250	微量	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	300	895	64	0.45	—	38.14	7.22	4.55	3.24	1.94	34.97	7.79
	350	944	67	0.55	见油点	23.62	24.82	1.02	2.62	8.56	36.31	2.66
	400	1195	85	0.55	液体褐色	35.12	8.87	1.84	2.72	2.25	45.54	3.24
	450	2029	144	1.10	液体褐色	49.34	7.22	1.02	7.23	1.82	32.72	0.61
煤岩镜质组	250	362	14	0.85	—	1.46	20.93	45.07	15.79	4.93	6.33	3.89
	300	759	30	1.30	—	4.40	5.99	26.24	11.40	1.71	28.84	17.82
	350	1 540	62	2.19	—	13.63	5.25	6.75	9.00	1.63	43.76	17.05
	400	2 473	99	2.90	有油	22.01	4.48	6.55	8.18	1.29	50.40	6.42
	450	3 170	127	3.50	液体黑色	29.06	5.12	12.73	8.78	1.50	41.64	1.16
	500	4 325	173	3.60	液体黑色	40.37	5.85	2.09	10.49	1.62	39.52	0.06
煤岩丝质组	250	402	20	0.25	液透明	0.08	72.24	9.24	2.27	14.26	0.75	0.89
	300	472	24	0.40	液透明	0.15	70.74	8.73	6.69	10.38	2.02	0.98
	350	472	24	0.45	液微黄	0.08	75.44	2.18	0.48	20.83	0.46	0.35
	400	865	44	1.30	黄褐	3.51	16.74	11.73	7.54	4.09	33.28	18.03
	450	1 421	71	1.37	黄褐	7.17	2.80	6.41	8.29	1.07	59.19	13.41
	500	1 775	89	1.60	黄褐	5.74	3.78	4.99	11.55	1.89	68.46	3.38
煤岩干酪根	250	微量	0	0.20	透明	—	—	—	—	—	—	—
	300	311	17	0.30	透明	3.49	65.54	7.41	3.50	14.49	2.41	2.67
	350	422	25	0.65	透明	13.73	39.19	13.09	5.49	5.25	11.69	9.71
	400	987	50	1.45	出油黑	25.46	7.09	5.58	3.20	1.12	35.38	18.27
	450	1 531	85	1.90	出油黑	33.04	1.92	2.45	3.44	0.57	48.48	9.21
	500	2 020	112	2.00	出油黑	31.72	7.78	1.07	6.02	1.97	50.07	2.18
	550	2 385	132	2.70	出油黑	30.18	3.17	3.27	7.10	1.09	53.14	2.04

备注: 样品恒温加热10h,随产随排。

① 煤岩显微组份及干酪根热模拟气中,随温度的增高,干燥系数普遍高于腐泥型母岩。煤岩中可溶有机质的烷烃大大低于腐泥型母质生成的液态烃,芳烃及其它脂肪型的侧链少,因而在重烃气的量上远低于腐泥型母质的生成物。壳质组成气的干燥系数最高,镜质组次之,丝质组最低。随热演化程度增高,产气的酸烷比值逐渐变低,其中以丝质组酸烷比相对较高,镜质组次之,壳质组酸烷比相对较低,煤岩干酪根的酸烷比高于镜质组和壳质组。

② 镜质组在400℃以前存在产烃高峰,其它组份多集中在400℃以后才大量生烃,丝质组

当达到 550℃ 时其产烃率可达 80% 以上(图 2)。热演化过程中 H₂ 的产率只是在高成熟和过成熟阶段才显著增长,但丝质组 H₂ 产率始终很低。CO₂ 气体高温产率在煤化作用中都普遍很低,

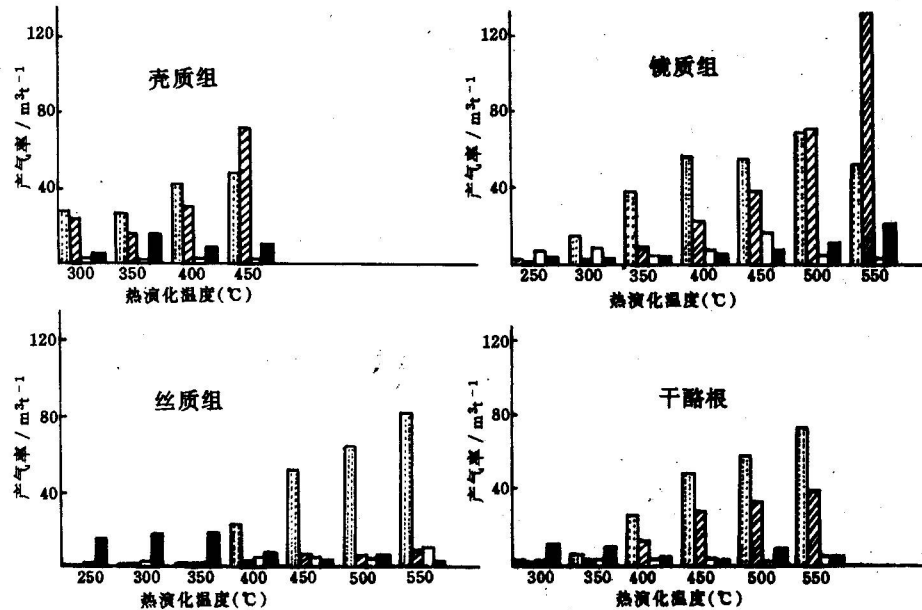


图 2 徐 13 井煤岩热模拟主要气体产物产率比较(1. 烃类, 2. H₂, 3. CO₂, 4. N₂)

N₂ 在丝质组和镜质组中出现两种典型的分布, 丝质组中因含氨基化合物相对较多, 在低演化阶段便能生成一些 NH₃, 进而转变为 N₂。镜质组中只是含一些 N 杂环化合物, 故其只是在高演化阶段才裂解产生一些 N₂。

③ 镜质组累计产液量始终居各组份之首, 累计产气量亦可以和壳质组相比拟。从瞬时产率来看, 镜质组降解的高峰期集中在 400℃ 以前的低演化阶段, 壳质组大量产烃在 400℃ 以后。

综上所述, 镜质组和壳质组在早期低演化阶段和成熟阶段对烃类生成的贡献最突出。350℃ 以前, 壳质组和镜质组产气率高于贵州水城藻煤、苏桥残植煤和长兴树皮煤、东平树皮煤等, 甚至壳质组在 300℃ 的产气率比著名的抚顺树脂煤还高, 说明本区煤岩成烃能力较强。

2. 热解模拟实验

官古 1、泊古 1 及旺古 1 三个煤岩样品的热解烃量与热解温度的对应关系可以看出: 旺古 1 井最高热解峰温最低, 为 420℃, 但其热解烃量最大, 其次是官古 1 井, 泊古 1 井热解烃量最小, 最高热解峰温高于前两口井, 为 440℃, 说明泊古 1 井可能经历过较高的热史演化。

3. 煤系烃源岩的演化和成烃模式

石炭二叠系煤系烃源岩目前的埋深不能反映其实际情况, 选择镜质体反射率作为烃源岩的实际演化水平。反映煤系烃源岩产烃特征的沥青“A”、总烃、S₁、S₁+S₂、I_p(产烃指数)、I_H、HCI(烃指数)等单项资料的分布曲线普遍表现为双段式的演化规律(图 3), 一个集中在 R_o 为 0.6%~0.8% 低演化阶段, 另一个大量产烃峰则分布在 R_o>0.9% 的阶段。这两个产烃高峰期是由于煤岩显微组份的成烃机制不同所引起。在低演化阶段产烃峰的形成与煤岩镜质组尤其是富氢的均质镜质体和部分壳质组的热降解有关, 而位于成熟阶段产烃峰的存在则又取决于煤炭中壳质组和腐泥组的大量降解成烃。从热模拟结果还可以看出在低演化阶段以后则

变成各组分单纯以产气为主的特征。本区煤系烃源岩的双段式成烃模式见图4。

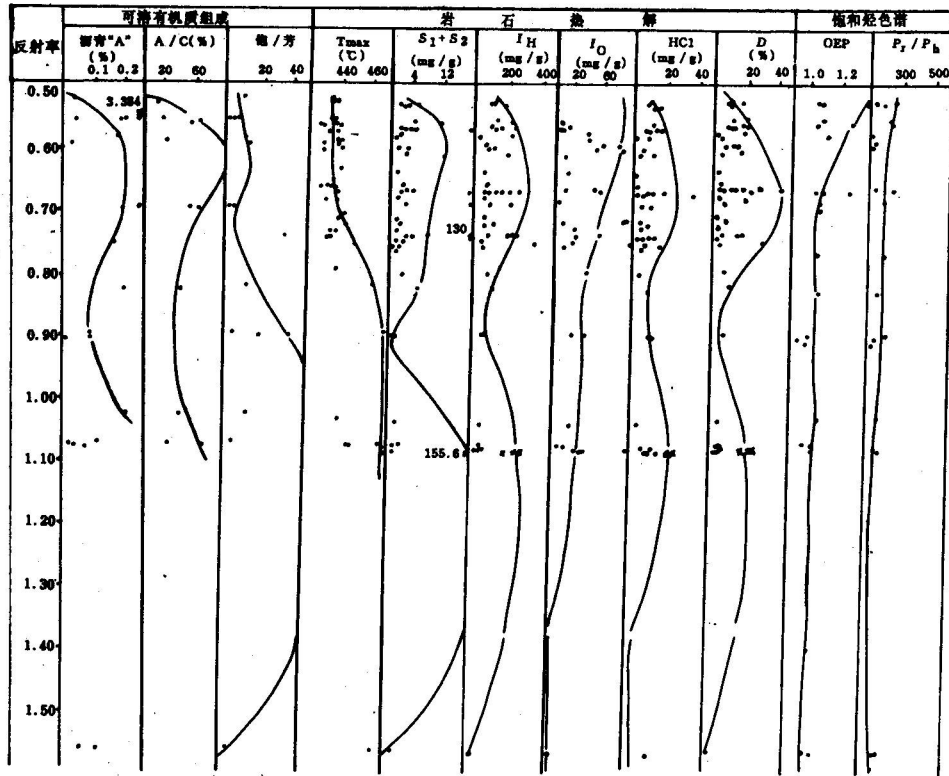


图3 黄骅坳陷石炭二叠系烃源岩热演化成烃模式图

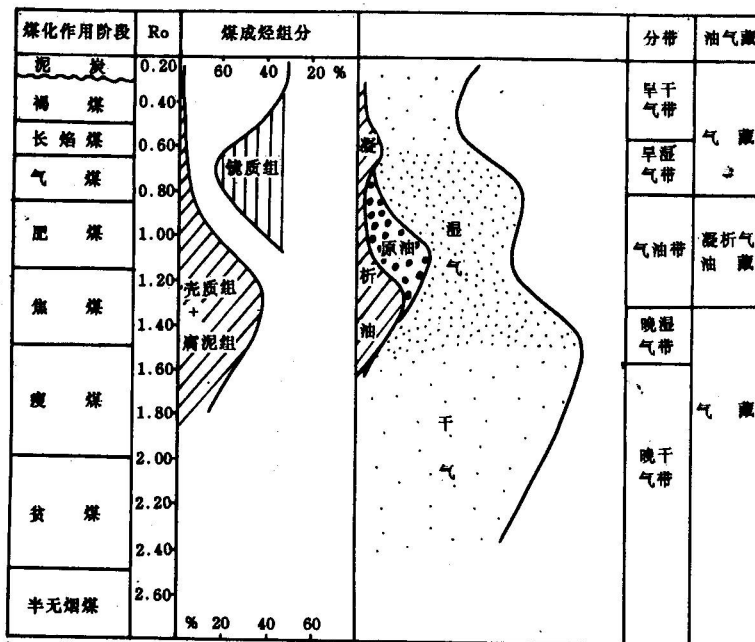


图4 黄骅坳陷石炭二叠系烃源岩热演化成烃模式图

与烃源岩有关的显示及油气流井

迄今为止,大港探区钻遇古生界的井共85口,其中上古生界完钻井21口,下古生界完钻井64口。按勘探目的划分有22口井是以第三系为主要目的层,只揭开少量古生界,另有一口热水井(津热1井),其余62口井多数是以“新生古储”的找油模式钻探的(官古1、泊古1、徐13、东古1是专探或兼探煤成气的)。在62口井中,录井、泥浆槽面、气测异常和测井解释等各类显示井46口,无显示井16口,其中试油交井38口,获工业油气流井6口(港1、港87、太4、旺古1、扣11、扣24),水井31口,干井1口,正待试油井3口(孔古3、港古1-1、2-1)。

北大港构造带的港深6井,二叠系山西组3205~3206m砂岩见油斑和荧光显示,气测异常明显,全烃高达63%,电测解释水层。太原组3372.4~3376m中子伽玛具异常高值,声波时差295ms/m,测井解释原为干层,后改为气层,上述两层均未试油;沧县隆起泊古1井,石炭二叠系煤层气测异常明显,全烃最高达29.43%;徐-黑潜山带徐13井,石炭系泥岩,灰岩岩心裂缝中含油,其地化特征与第三系源岩明显不同,Pr/Ph为5.04,该井二叠系煤和砂岩均见气测异常,甲烷含量高达94.73%~100%;王官屯地区的官古1井,在二叠系下石盒子砂岩见3m油斑显示,太原组有气测异常,该构造带的官142井中生界油藏伴生气中,甲烷碳同位素 $\delta^{13}C_1$ 为-33.86‰~-32.9‰,推算含75%的煤成气成份;南皮凹陷乌马营构造的乌13井,第三系孔店组原油伴生气 $\delta^{13}C_1$ 为-39.43‰,乙烷-丁烷碳同位素为-20‰~-22‰,且差值很小,天然气中汞含量较高,亦具煤成气特征。

值得指出的是,1992年完钻的位于孔店构造带西北角的孔古3井奥陶系发现了可靠的来自煤系烃源岩的油流,为本探区古生界新的油气类型的勘探提供有利依据。孔古3井奥陶系3501.9~3547.4m酸化,测液面求产日产油2.55t,各项地球化学分析资料及油源对比结果表明其油源来自上古生界石炭系煤系烃源岩。原油Pr/Ph大于1.0,同位素构成较重($\delta^{13}C_1 > -29.33\%$),与东古1井石炭系煤系抽提物组成相似,甾烷指纹曲线呈不对称“V”字型($C_{27} > C_{28}$),芳烃的色质表现异常高的非系列含量。

(收稿日期 1993-11-02 编辑 周德勇)

~~~~~