

干酪根的赋存状态与成熟度的关系

王 铮

(地质矿产部石油地质综合大队)

提要 本文应用镜质体反射率、DTA-DSC 热分析、脉冲元素分析等新的测试技术,对两口钻井剖面的有机地球化学资料进行研究,论证干酪根赋存于不同岩性中的各项演化参数是相近的。腐殖型分散干酪根的各项演化参数指标要比同一钻井剖面中埋藏深度相近的腐殖型煤低半个至一个煤阶。

笔者还研究了地层中往往出现的逆反希尔德定律现象的机理,认为造成上述现象是由于干酪根的赋存状态、源岩导热性、聚热、散热系数不同所导致的结果。

主题词 煤 干酪根 岩性 成熟度 逆反希尔德定律

作者简介 王 铮 男 55 岁 工程师 有机地球化学

一、前 言

油气的生成与消亡都严格受控于古地温,而古地温所形成的不同区域内的地温热场除与岩层埋藏深度、古地温梯度、上覆地层厚度静压力等地质因素密切相关外,对于不同岩石的热力学性质给热传递带来的影响,往往造成下伏地层中干酪根的成熟度低于上覆地层中干酪根的成熟度。这一逆反希尔德定律现象是值得重视的。因此,研究干酪根的赋存状态对成熟度的影响,无疑具有理论和实际意义。

笔者通过两口钻井有机地化剖面系统资料结合其它地区有关资料进行研究,论证煤和干酪根赋存于不同岩性中的各项演化参数是相近的,但不是等同的。

研究结果还表明:在同一钻井剖面中埋藏深度相近的地层内,煤的演化系数大于页岩、泥岩、砂岩中分散干酪根的演化系数。究其原因,虽有争议,但笔者认为是由于干酪根的赋存状态、源岩导热性、聚热、散热系数不同所导致的结果。

本文借鉴煤岩学的研究方法,应用镜质组反射率、DTA-DSC 热分析技术、脉冲元素分析等新的测试技术作为演化指标,对干酪根的演化进行探讨,从石油有机地化角度,阐述煤和干酪根的演化程度以及干酪根的不同赋存状态对演化程度的影响及其主要因素。

二、实验测试数据

通过宁夏灵武矿区磁窑堡 2403 钻孔和内蒙准格尔煤田南部 188 钻孔系统采样分析,2 口井共测试分析样品 20 块。前者井深 543.47m,后者井深 310.10m。平均采样密度为 42.65m。

除上述 2 口钻井系统采样外,还有辽宁抚顺、宁夏石咀山、新疆准噶尔等有关地区的相关样品。

镜质组反射率、有机热谱分析等项目的测试数据, 分别由地质矿产部北方煤炭测试中心和北京工业学院做了部分外检样, 测试结果均在允许误差之内。

有关钻遇地层、试样情况及测试结果见附表 1、2、3。

表 1 内蒙准格尔煤田 188 钻井试样测试数据表

Table 1 Rock samples data of No.188 well in Zhungeer coalfield of Inner Mongolia

试样编号	地层时代	采样深度(m)	岩性	壳组 %	丝组 %	镜组 %	腐泥组 %	鉴别类	R_{max}^o %	DTA ^① $T_{max}(^{\circ}C)$	DSC ^② mcal/ mg	H/C (原子比)	O/C (原子比)	演化程度
188-5	P _{2sh}	121.88	灰泥岩	0.80	81.00	15.30	2.90	Ⅲ型	0.590	528	—	0.64	0.10	气煤阶
188-2	P _{2sh}	209.95	煤	2.47	52.80	37.70	6.80	Ⅲ型	0.717	530	—	0.94	0.19	气煤阶
188-3	P _{2sh}	211.85	煤	2.47	52.80	37.70	6.80	Ⅲ型	0.717	530	—	0.94	0.19	气煤阶
188-6	P ₁₅	217.85	泥岩	0.50	83.70	12.80	3.00	Ⅲ型	0.51	513	4497.5	0.64	0.10	褐长煤
188-4	C _{3t}	243.26	煤	3.80	55.60	40.10	—	Ⅲ型	0.71	542	2576.2	—	—	气煤阶
188-1	C _{3t}	258.86	煤	2.00	47.30	39.00	10.80	Ⅲ型	0.72	543	—	0.85	0.13	气煤阶
188-7	C _{3t}	275.00	泥岩	23.30	45.00	30.00	2.00	Ⅲ型	0.44	455	—	1.18	0.04	褐煤阶
189-9	C ₂	288.81	粗砂岩	65.00	12.00	7.00	16.00	Ⅱ型	0.35	438	3747.18	0.81	0.11	褐煤阶

注:①有关 DTA, T_{max} 的演化指标划分与应用及其与 R_{max}^o 的关系, 见参考文献 (3)。

②DSC 为北京工业学院分析,其余项目为本队实验室测试, (下同)。

表 2 宁夏磁窑堡 2403 钻孔试样测试数据表

Table 2 Rock sample analysis data of No.2403 well in Ciyabao of Ningxia

试样编号	地层时代	采样深度(m)	岩性	壳+腐泥 %	丝组 %	镜组 %	鉴别类型	R_{max}^o %	DTA $T_{max}(^{\circ}C)$	DSC mcal/ mg	H/C (原子比)	O/C (原子比)	演化程度
2403-1	J _{1-2g}	246.00	泥岩	7	30	60	Ⅲ型	0.61	485	—	0.71	0.19	长焰煤
2403-2	J _{1-2g}	253.00	煤	6	35	55	Ⅲ型	0.62	500	—	0.72	0.18	长焰煤
2403-3	J _{1-2g}	263.00	细砂岩	—	—	—	—	0.51	480	—	0.96	0.23	褐煤
2403-4	J _{1-2g}	286.27	粉砂岩	10	40	50	Ⅲ型	0.60	490	—	0.86	0.21	长焰煤
2403-5	J _{1-2g}	291.00	煤	3	32	62	Ⅲ型	0.69	503	—	—	—	气煤
2403-7	J _{1-2g}	322.00	粉砂岩	7	23	58	Ⅲ型	0.51	483	—	0.95	0.22	褐煤
2403-9	J _{1-2g}	370.90	煤	8	19	67	Ⅲ型	0.61	490	4101.81	0.95	0.22	长焰煤
2403-10	J _{1-2g}	402.00	末煤	2	6	85	Ⅲ型	0.61	485	—	—	—	长焰煤
2403-11	J _{1-2g}	447.00	沥青质页岩	10	24	60	Ⅲ型	0.57	483	2806.50	0.91	0.36	褐长煤
2403-12	J _{1-2g}	448.10	煤	9	15	70	Ⅲ型	0.79	500	—	0.86	0.10	气煤
2403-20	J _{1-2g}	479.70	煤	5	25	65	Ⅲ型	0.63	503	—	0.76	0.19	长焰煤
2403-14	J _{1-2g}	506.74	煤	3	30	65	Ⅲ型	0.75	505	2914.44	0.87	0.20	气煤

三、结果与讨论

从内蒙准格尔 188 井 (下称准 188 井) 和宁夏磁窑堡 2403 井 (下称磁 2403 井) 钻井资料和区域地质资料分析, 在钻遇地层内及钻井附近未见岩浆侵入体及强烈地质构造活动, 显微镜下观察也未发现岩浆侵入造成的光性变异现象, 说明这两口井位所处地质构造单元比较稳定, 沉积成岩后未受到外来的叠加热场的作用。它们主要受古地温和地温梯度的控制。因

此, 它是有代表性的。

从表 1、2 中还可以看出, 上述两口井地化剖面各项演化指标作规律变化, 如 R_{\max}^0 、DTA 的 T_{\max} 、O/C 等各项演化指标随演化程度升高而增大, 而 H/C 值则与埋藏深度成反比。

DSC 热能 (ΔH), 在焦煤阶以前随煤阶升高而增大, 但到焦煤阶以后, 其热能又趋向变小 (在一定温度下)。总之, 各项演化指标均有独特的变化规律。它们之间关系的系统资料可参见文献 (3)。

由于分散干酪根赋存于不同岩性中, 导致逆反希尔特定律现象是客观存在的。这个问题笔者在几年前的实践工作中曾经遇到过。如辽宁省抚顺西露天煤矿的煤和油页岩, 两者埋藏深度相近, 且煤在油页岩之上, 但油页岩的演化参数反而比煤低一个煤阶。类似这种情况的还有宁夏石咀山一矿 103 井和新疆准噶尔南部呼图壁 ZK561 井 (见表 3)。

表 3 部分地区煤和分散干酪根的测试数据

Table 3 The analysis data of coal and kerogen in some area

采样地区	井号	试样号	采样深度(m)	地层时代	岩性	R_{\max}^0 %	DTA FKT _{max} °C
辽宁抚顺煤矿	西露天	86-12	150	F _f	煤	0.64	490
辽宁抚顺煤矿	西露天	86-8	153	E _f	油页岩	0.41	395
宁夏石咀山煤矿	103	103-12	630.06~632.56	C ₃₁	煤	0.81	500
宁夏石咀山煤矿	103	103-13	636.31~647.66	C ₃₁	黑色泥岩	0.72	493
准噶尔盆地呼图壁	ZK561	561-14	44.93~461.66	J _{2x}	煤	0.71	563
准噶尔盆地呼图壁	ZK561	561-15	493.83~494.00	J _{2x}	黑色泥岩	0.61	540

演化程度局部逆反希尔特定律问题, 在国内外都受到重视, 在 38 届国际煤岩学术会议上也进行了专题研究, 来自各国的专家学者对统检模样 (32-煤、33-油页岩) 进行了循环测试, 其结果: 32-煤 R_{\max}^0 为 0.87, 33-油页岩 R_{\max}^0 为 0.61。会议一致认为尽管煤和油页岩处于同一层段内, 但镜质组赋存于不同岩性中, 煤的镜质组 R^0 值高于油页岩的镜质组 R^0 值。虽然都承认这个结论, 但成因机理各执己见。

从表 1 中可以看出, 试样 188-2/3, 为可采煤层, R_{\max}^0 为 0.72, T_{\max} 为 523°C; 试样 188-6 为相邻的泥岩, 干酪根类型同样为 III 型, R_{\max}^0 为 0.51, T_{\max} 为 510°C。两个样品同属二叠系, 相距仅 6m, 从钻井剖面上看没有隔热层。但是, 试样 188-6 却比上覆地层中的煤样各项演化系数低一个煤阶。

试样 188-1, 为可采煤层, R_{\max}^0 为 0.72, T_{\max} 为 543°C, 下伏相邻的试样 188-7, 为泥岩中干酪根, R_{\max}^0 为 0.44, T_{\max} 为 455°C。样品相距也只有 6.14m, 同属 III 型干酪根, 各项演化系数比上复地层偏低一个煤阶。同样, 188-7 的下复试样 188-9, 为粗砂岩中干酪根, 又比泥岩中干酪根 R_{\max}^0 偏低 0.1, T_{\max} 偏低 12°C, 相差半个煤阶。

由表 2 可以看出, 试样 2403-2 为厚层状半暗型腐殖煤, 厚 8.66m, 埋藏深度 247.03m, R_{\max}^0 为 0.62, T_{\max} 为 500°C, 与下伏相邻试样 2403-3、2403-4、前者为细砂岩、后者为粉砂岩, 同属 III 型干酪根, 相距 2403-2 采样位置分别为 10m 和 33.27m, 但 R^0 值都低于上覆试样 0.1, T_{\max} 偏低 10~12°C, 相差近半个煤阶。

试样 2403-5 为薄煤层, 厚 0.6m, 埋藏深 291m, 比相邻的下伏试样 2403-7 粉砂岩, R_{\max}^0 偏高 0.18, T_{\max} 偏高 20℃。试样 2403-9、2403-10, 均为薄层末煤, 厚度分别为 0.59m 和 0.25m, 埋深分别为 370.90m 和 402m, 其下伏地层试样 2403-11 为沥青质页岩, 相距 45m, 但 R_{\max}^0 、 T_{\max} 同样低于上覆煤层试样, 其差值不大, 可能与煤层厚度有关。

由表 3 同样可以看出逆反希尔特定律现象。

以上分析说明, 干酪根赋存于不同岩性中, 其演化参数是有差异的, 这种差异性主要与岩性不同密切相关。上述实验资料还表明: 在同一钻井剖面中, 埋深相近的地层内, 煤干酪根的演化参数大于页岩中分散干酪根的演化参数, 也大于泥岩中分散干酪根的演化参数, 更大于砂岩中分散干酪根的演化参数。

值得指出的是, 上述变化趋势是对同一类型的干酪根而言, 且属碎屑沉积岩类中的干酪根。对化学沉积岩类干酪根, 目前尚缺系统资料和试样, 有待今后工作中进一步探讨。

四、影响因素初步分析

影响煤和干酪根演化程度的因素甚多, 目前认为主要有: 原始母质类型、埋藏深度、古地温梯度、岩浆侵入、构造运动、压力、时间、沉积环境及岩性等。本文侧重讨论岩性的影响。

在同一地温场热应力作用下, 不同岩层由于其岩石性质、矿物成分、结构状态、组合形式及压实程度不同, 造成局部地温差异, 尽管埋藏深度相近, 然而其演化程度是不同的。起因虽无定论, 但笔者通过准 188 井、磁 2403 井及其它钻井资料、地质、实验资料综合分析, 初步认为影响因素主要是干酪根赋存于不同岩性的热导率各异的结果。有关不同岩性的热导率值见表 4。

表 4 不同岩性用于计算热流的热导率参数
Table 4 Thermal conductivity parameter of different rock character which used in calculation thermal current

序号	岩 性	热 导 率 值
1	煤 岩	1—2 毫卡 / 厘米、秒、度
2	页 岩	3—6 毫卡 / 厘米、秒、度
3	泥岩及泥灰岩	2—5.5 毫卡 / 厘米、秒、度
4	砂 岩	4—12 毫卡 / 厘米、秒、度
5	灰 岩	4.5—7 毫卡 / 厘米、秒、度
6	白 云 岩	9—16 毫卡 / 厘米、秒、度
7	岩 盐	11—14 毫卡 / 厘米、秒、度

注:①热导率单位为 $\text{mcal} / \text{cm} \cdot \text{S} \cdot \text{C}$
(TCU), $\text{ITCU} = 0.4187\text{w} / \text{m} \cdot \text{k}$

由表 4 可见, 热导率随岩石组分不同而改变, 热导率低的煤, 由于聚热系数高、散热系数低, 导致煤层中温度比其它岩层中地温温度高。较厚的煤层本身可做为热流的遮挡层, 使热流因岩性不同而造成局部变化。碎屑沉积岩中以煤的热导率最低, 次之为页岩、泥岩、再次为砂岩、砾岩。

综上所述。由表 1、2、3、4 可以看出,煤中镜质组反射率值高于分散干酪根中镜质组反射率值,是由于煤的热导率低于其它岩石的结果,两者的变化规律吻合的很好。笔者认为,它们之间决不是偶然吻合,而是一种客观存在的因果关系。

值得指出的是,上述变化只有当煤层达到一定厚度时才比较明显,当煤层变薄或裂隙很发育时其演化系数变化不太显著。

五、结 语

1.根据上述两口钻井和相关地区的系统采样实验分析结果,相邻的煤中镜质组反射率热谱参数及其它演化参数都明显高于分散干酪根的演化参数,这个结论已被理论和实践所验证。尽管有分析、测试误差的影响,有时某些地区变化不够明显,但只要将实验资料和地质资料进行综合分析,是能够得出正确认识的。

2.在同一地温场内,演化参数出现逆反现象,并非是违背希尔特定律,而是岩性不同,热导率不同所导致的结果,资料证明,碎屑岩系中,煤的演化参数最高,一般说煤的演化参数数值比分散干酪根的演化参数值高一个至半个煤阶。其差值大小与煤层厚度、距离、岩性相关。

3.这一研究成果对煤及干酪根的演化规律,尤其对逆反希尔特定律现象有了进一步认识,对煤及干酪根的演化参数的应用,以及油气资源量预测中活化能的参数确定都具有实际意义。

4.借鉴煤岩学的研究方法,探讨干酪根的赋存状态与成熟度的关系是一种尝试性的探索,由于笔者水平、设备条件、试样数量所限,文中谬误之处在所难免,敬希批评、指正。

本文编写过程中,承蒙宁夏煤炭工业地质队,内蒙煤田勘探公司 153 队、本队实验室、油气研究室的有关同志大力支持和帮助,谨致谢忱。

参 考 文 献

- (1) 韩德馨等, 1980, 中国煤田地质学, 下册, 煤炭工业出版社。
- (2) (法) B·P·蒂索等(郝石生等译), 1982, 石油形成和分布, 石油工业出版社。
- (3) 王 铮, 1986, 有机地球化学和陆相生油, 石油工业出版社。
- (4) 凡 人, 1986, 第38届国际煤岩会议简介, 煤田地质与勘探, 第2期, 封3—封底。

RELATIONSHIP BETWEEN PRESERVED STATES OF KEROGEN AND MATURITY

Wang Zheng

(Comprehensive Research Institute of Petroleum Geology,
Ministry of Geology and Mineral Resources)

Abstract

The method of coal-petrology-study and some new measurement technologies such as vitrinite reflectance, DTA-DSC thermal analysis and pulse element analysis, etc. As indicators in this paper are used to distinguish and divide the evolution stage of coal and kerogen.

The author attempts to demonstrate that each evolution parameter of kerogen preserved in different rocks is approximate but an equal by making comprehensive studies of organic geochemical information from sections of two drilling-wells. The facts prove that each evolution parameter of type III dispersed kerogen is lower one or half coal rank than that of humic coal in the same drilling section and burial depth.

The result also proves that the parameter of coal kerogen is larger than that of dispersed kerogen in shale which is larger than that of in mud stone which is larger than that of in sandstone. The samples are in the approximately strata depth of the same drilling section.

The above diversity may be caused by the difference of kerogen preserving state of kerogen, thermal conductivity of source rock, coefficient of heat gather and radiation.