科 学 通 报
第 42 卷 第 18 期 Chinese Science Bulletin 1997 年 9 月

【研究简报】

# 陆相烃源岩未-低成熟无定形干酪根的荧光变化特征及其类型划分

肖贤明 刘祖发 申家贵
(中国科学院广州地球化学研究所有机地球化学国家重点实验室，广州 510640)

**关键词** 无定形干酪根 荧光变化 分类 生烃潜力

无定形干酪根在烃源岩中占有极其重要的地位，是成烃作用最主要的物质基础，其含量一般占总有机质的 70% 以上[1,2]. 然而，其研究程度最低，分类术语也较混乱，对烃源岩生烃评价有很大影响[3,4]. 因此，加强无定形干酪根光性、成因及生烃潜力的综合研究对油气勘探具有重要意义.

本研究应用显微荧光分析技术对我国典型陆相烃源岩无定形干酪根荧光变化规律进行了系统研究，提出应用二项荧光参数 $I_{546}^{20}$(激发 20 min 后 546 nm 处荧光强度)与 $R(I_{546}^{20}/I_{546}^{0}$，激发 20 min 荧光强度与开始激发时荧光强度之比)划分其类型的方法. 在此基础上，应用 Rock-Eval 研究不同类型无定形干酪根的生烃潜力.

## 1 样品与实验

研究样品共 33 块，主要取自我国东部松辽、济阳、辽河、桦甸、抚顺、茂名、南宁等中新生代沉积盆地. 烃源岩以暗色泥岩、黑褐色油页岩为主，有机碳含量较高，大部分在 1.5% ～4.5% 之间，成熟度低，大部分处在未成熟-低成熟阶段，母质类型包括Ⅰ型、Ⅱ型与Ⅲ型. 表 1 列出了部分样品的地质地球化学背景.

在反射荧光下，无定形干酪根的显著特点是荧光强度随时间而变化，即所谓荧光变化. 但要客观、精确地检测到这种变化，除对样品制备方法有一定要求外，测量条件也非常重要. 根据前期经验[5]与本研究条件实验，总结出测定无定形干酪根荧光变化的较好实验条件如下：

激发：蓝光(BG12-BG38)；

阻档滤片：530 nm；

物镜：50×干；

3 Gillan E G, Yeretzian C, Min K S, et al. Endohedral rare-earth fullerene complexes. J Phys Chem, 1992, 96: 6 869～6 871
4 Yamamoto K, Funasaka H, Takahashi T, et al. Isolation of an ESR-active metallofullerene of La@$C_{82}$. J Phys Chem, 1994, 98: 2 008～2 011
5 Wang X D, Xue D K, Hashizume T, et al. Scanning-tunneling-microscopy of the solid-phase pure $Sc_2C_{84}$ metallofullerenes. Phys Rev B, Condens Matter, 1993, 48: 15 492～15 485
6 Akasaka T, Kato T, Kobayashi K, et al. Exohedral adducts of La@$C_{82}$. Nature, 1995, 374: 600～601
7 曹锡章，张晓蕙，杜尧国，等编. 无机化学. 北京：高等教育出版社，1992. 520～541
8 Weaver J H, Chai Y, Kroll G H, et al. XPS probe of carbon-caged metals. Chem Phys Lett, 1992, 190: 460～464

(1996-12-17 收稿，1997-04-28 收修改稿)

表 1　代表性烃源岩样品部分地球化学分析结果

| 编号 | 产地 | 井号 | 岩性 | 层位 | 孔深/m | $R_m$/% | 全岩 Rock-Eval | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | TOC/% | $HI$ /mg·g$^{-1}$ | $T_{max}$ /℃ |
| DQ-1 | 大庆 | 长 26 | 褐黑色泥岩 | $K_1q$ | 635 | 0.35 | 4617 | 714 | 438 |
| DQ-3 | 大庆 | 金 16 | 黑色泥岩 | $K_1n$ | 1 300 | 0.40 | 7.51 | 652 | 436 |
| DQ-8 | 大庆 | 朝 48 | 黑色泥岩 | $K_1q$ | 1 635 | 0.95 | 1.40 | 205 | 452 |
| MM-1 | 茂名 | 矿井样 | 油页岩 | N | / | 0.36 | 19.58 | 715 | 432 |
| LH-6 | 辽河 | 齐 2-22 | 黑色泥岩 | $E_3s$ | 2 648 | 低成熟[a)] | 4.45 | 685 | 442 |
| LH-5 | 辽河 | 杜 29 | 黑色泥岩 | $E_3s$ | 2 684 | 0.51 | 2.43 | 448 | 440 |
| SL-2 | 胜利 | 王 78 | 褐黑色泥岩 | $E_3s$ | 3 426 | 0.64 | 3.01 | 497 | 442 |
| LL-3 | 合蒲 | 乐参 1 | 褐黑色泥岩 | N | 2 250 | 0.52 | 3.16 | 299 | 431 |
| NL-1 | 南宁 | 矿井样 | 褐黑色泥岩 | N | / | 0.41 | 3.14 | 148 | 431 |

a)本样无可供反射率测定的镜质组，成熟度由矿物沥青基质荧光强度变化规律推断

标样：铀铣玻璃，其强度定为 100；

测定波长：546 nm.

分析仪器使用德国 Leica MPV$_3$ 显微光度计，在激发 20 min 内分别记录下 0，0.5，1.0，2.0，3.0，4.0，5.0，10.0，15.0，20.0 min 共 10 个时刻的相对荧光强度值.

## 2　结果与讨论

### 2.1　无定形干酪根荧光变化形式

大量实测结果表明，无定形干酪根荧光变化有如下 3 种形式(表 2)：

正型：在激发 20 min 内，荧光强度一直增加；

负型：荧光强度随荧光激发而降低；

负正型：在开始激发的头几十秒或几分钟内，荧光强度降低，其后随荧光强度进一步激发，荧光强度又开始增加.

无定形干酪根荧光变化特征主要受控于其母质性质及其所处烃源岩成熟度. 未成熟烃源岩中无定形干酪根荧光变化呈正型，且随成熟度增加，正荧光变化幅度降低. 到低成熟阶段，出现负正型荧光变化；到主生油期($R_m$ 在 0.75%～1.0%)还出现负型(表 2). 来源于藻类的

表 2　代表性烃源岩样品无定形干酪根显微荧光分析结果

| 编号 | 无定形干酪根类型与含量 | 镜下特征 | 荧光变化形式 | $I_{546}^{20}$ | $R$ |
|---|---|---|---|---|---|
| DQ-1 | 藻类无定形体，84.88% | 黄褐色荧光，含藻类残体 | 正型 | 8.54 | 2.47 |
| DQ-3 | 藻类无定形体，93.5% | 黄褐色荧光，含藻类残体 | 正型 | 6.44 | 2.30 |
| DQ-8 | 藻类无定形体，96.4% | 弱暗褐色荧光，开始微粒体化 | 负型 | 0.52 | 0.90 |
| MM-1 | 菌解无定形体 A，98.0% | 均一暗褐色荧光，激发 20 min 后呈亮黄褐色 | 正型 | 10.90 | 5.02 |
| LH-6 | 菌解无定形体 A，96.9% | 均一暗褐色荧光，激发 20 min 后呈不均一黄褐色 | 负正型 | 6.87 | 3.48 |
| LH-5 | 菌解无定形体 B，94.0% | 较均一暗褐色，激发 20 min 后荧光不均一出现一些细小黄色荧光碎屑 | 负正型 | 3.80 | 2.95 |
| SL-2 | 菌解无定形体 B，89.3% | | 负正型 | 3.05 | 1.78 |
| LC-3 | 菌解无定形体 C，82.1% | 荧光不均一，暗褐色基质中含有黄色荧光碎屑 | 正型 | 1.10 | 1.15 |
| NL-1 | 腐殖无定形体，81.2% | 极弱暗褐色荧光，正荧光变化不明显 | 正型(不明显) | 0.08 | 1.20 |

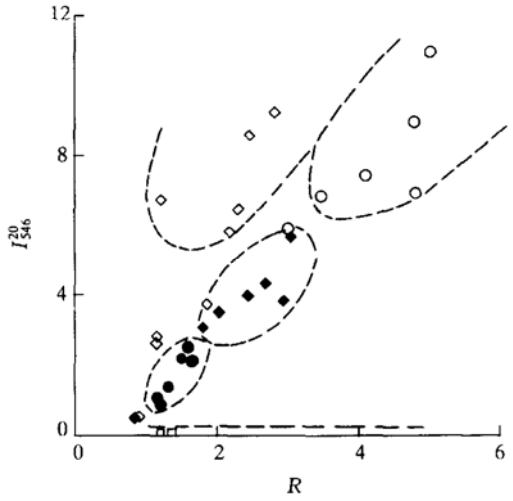


图1 陆相烃源岩无定形干酪根分类的 $I^{20}_{546}$-$R$ 相关图

不同成因类型无定形体用虚线所圈定的点为未成熟-低成熟样品，在圈定范围以外的点为较高成熟样品．◇藻类无定形体；○菌解无定形体A；◆菌解无定形体B；●菌解无定形体C；□腐殖无定形体

无定形体一般具有较强的荧光，而来源于高等植物的无定形体荧光较弱．此外，菌解作用对无定形干酪根荧光性质有很大影响．它可将无荧光的母质改变成弱荧光的无定形干酪根，将强荧光的母质改造为较弱荧光的无定形干酪根，菌解作用越强，所形成无定形干酪根的正荧光变化幅度越大(表2)．无定形干酪根这些荧光变化特征成为应用荧光变化参数划分其类型的理论基础．

### 2.2 无定形干酪根的光性-成因分类

目前，无定形干酪根的分类主要以光性特征的描述为基础，而缺乏定量分类参数[1~3]．这种分类人为性大，所得结果难以对比，往往难以准确划分无定形干酪根类型[2,3]．而应用定量荧光参数划分无定形干酪根类型是一个值得尝试的方法．

根据国内外近年来对显微组分荧光变化研究成果，显微组分荧光变化主要发生在开始激发的20 min内，$I^{20}_{546}$比$I^{0}_{546}$能更好反映显微组分荧光性质，$I^{20}_{546}$及$R$能综合反映其母源性质与成熟度[6,7]．图1是本研究样品无定形干酪根$I^{20}_{546}$-$R$相关图．从中可见，其不仅将藻类无定形体、菌解无定形体及腐殖无定形体有效地区分开，而且还将菌解无定形体划分为A，B，C3种类型．结合显微观察结果，将上述5类无定形体的特征简述如下．

(1)藻类无定形体．主要由藻类改造而来，常可见一些细小藻类残体．强、中强正荧光变化．在未成熟-低成熟阶段$I^{20}_{546}=5\sim25$；$R=1.5\sim3.0$．

(2)菌解无定形体A．主要是低等水生生物、细菌本身的强烈分解产物，呈均一的暗褐色荧光，极强正荧光变化．$I^{20}_{546}=5\sim15$；$R=3.0\sim6.0$．

(3)菌解无定形体B．主要由高等植物，低等水生生物、细菌本身经强烈菌解作用而形成．呈较均一的暗褐色荧光，中强正荧光变化．$I^{20}_{546}=3\sim6$；$R=1.8\sim3.0$．

(4)菌解无定形体C．主要是高等植物类脂物、木质-纤维素凝胶化基质等的混合产物经菌改造而形成．荧光一般不均一，在弱荧光基质中常含有非常细小的壳屑体与镜屑体，较弱的正荧光变化．$I^{20}_{546}=1.1\sim3.0$；$R=1.0\sim2.0$．

(5)腐殖无定形体．在某些陆相烃源岩中，常可见一些基本上不具荧光或极弱褐色荧光的无定形体，其主要由高等植物木质-纤维素转变而来，即腐殖无定形体．其$I^{20}_{546}$一般在0.1以下，呈非常微弱的正荧光变化．

应当指出，不同类型无定形干酪根上述光性差别出现在未成熟-低成熟阶段．随成熟度进一步增高，不同类型无定形体光性参数变得越来越相近．如图1中有4个高成熟藻类无定形体，其荧光参数与菌解无定形体B，C相似．在高成熟阶段后要准确划分无定形干酪根类型，目前存在一些困难，尚需作进一步研究．

### 2.3 不同类型无定形体的生烃潜力

显微组分分析结果表明，本研究样品生烃母质均以一种成因类型无定形体为主，其含量高达85%～95%(表2)．因此，全岩 Rock-Eval 分析结果可基本上反映无定形干酪根的生烃潜力．图2是本研究样品 $T_{max}$-$HI$ 相关图，对比图2可见，藻类无定形体与菌解无定形体 A 具有很强的生烃潜力，其 $HI$ 一般在 600 mg/g 以上，相当于Ⅰ干酪根；菌解无定形体 B 生烃潜力较大，其 $HI$ 在400～600 mg/g，相当于 $\mathrm{II_B}$ 型干酪根；腐殖无定形体 $HI$ 在150～200 mg/g，其生烃潜力与壳质基质体相似，相当于Ⅲ型干酪根．

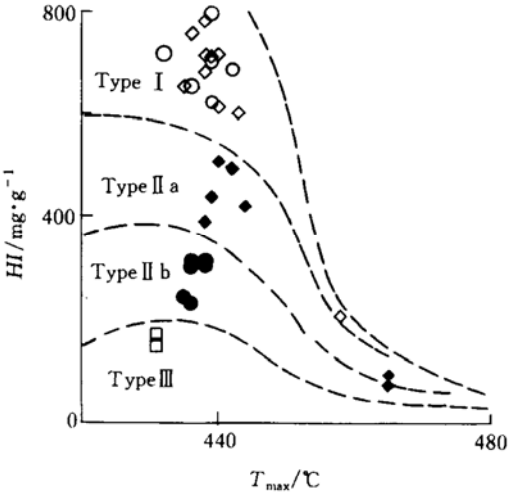


图2　陆相烃源岩 Rock-Eval 分析结果 $HI$-$T_{max}$ 相关图

◇富含藻类无定形体；○富含菌解无定形体 A；◆富含菌解无定形体 B；●富含菌解无定形体 C；□腐殖无定形体

## 3 结语

显微荧光分析技术是研究无定形干酪根成因的主要手段．应用无定形干酪根荧光变化参数 $I^{20}_{546}$ 与 $R$，结合镜下特征，可准确确定其成因类型，进而达到客观评价其生烃潜力的目的．该方法补偿了以往研究的不足，在烃源岩油气评价中具有很大应用前景，值得进一步研究与完善．

**致谢**　本工作为国家自然科学基金(批准号：49572124)资助项目．

## 参　考　文　献

1　Durand B. Kerogen. Editions Technip, Paris, 1980. 13～33

2　肖贤明著．有机岩石学及其在油气勘探中的应用．广州：广东省科技出版社，1992. 59～63

3　肖贤明，金奎励．中国陆相油气源岩分散有机质的分类．科学通报，1990, 35(12)：921～924

4　Thompson C L, Dembicki Jr H. Optical characteristics of amorphous kerogens and hydrocarbon-generating of source rocks. Intern J Coal Geol, 1986, 6: 239～249

5　Xiao Xianming, Liu Dehan, Fu Jiamo. Hydrocarbon-generating tread analysis of macerals in source rocks. Chinese Science Bulletin, 1992, 37(12): 1 012

6　肖贤明，刘德汉，傅家谟，等．烃源岩显微荧光变化规律及其在油气评价中的应用．石油与天然气地质，1991,(2)：31～41

7　Wilkins R, Wilmshust J, Hladky G, et al. Fluorescence alteration and the suppression of vitrinite reflectance. Org Geochem, 1992, 17: 629～640

(1996-11-18 收稿，1997-04-07 收修改稿)