spheric Environment, 1989, 23(11): 2 513~ 2 519

(1997-04-21 收稿, 1997-07-31 收修改稿)

用干酪根红外光谱划分烃源岩有机相

陈建平 罗 平 李晋超
(中国石油天然气总公司石油勘探开发科学研究院地质研究所, 北京 100083)

摘要 干酪根红外光谱不仅在宏观上可以划分有机质类型和成熟度, 而且能很好地区分烃源岩形成环境, 反映有机相的差异. 本文提出干酪根脂族结构指数(ACSI)和芳香族结构指数(ASI), 划分出煤沼相、湖泊-煤沼过渡相和湖相三种不同的有机相. 同时, 这些参数也很好地反映了有机质类型、成烃潜力和烃类产物类型的细微差异.

关键词 **有机相 红外光谱 脂族结构指数 芳香族结构指数 烃源岩**

在有机地球化学研究中应用干酪根红外光谱技术已有相当长的历史[1], 根据干酪根中各种基团对红外光吸收波段和强度的不同, 可以研究有机质的类型、成熟度等地球化学特征[1~3]. 本文以中国西北地区大量侏罗系和白垩系干酪根红外光谱分析资料为基础, 结合沉积环境研究, 提出了若干新的红外光谱参数研究有机相, 将有机质的沉积环境与地球化学特征、生成烃类性质有机地联系起来, 划分出煤沼相、湖泊-煤沼过渡相和湖相三种不同的有机相.

1 实验方法和条件

样品分析和计算方法按照中华人民共和国石油工业部部标准[1)]实施. 分析前将干酪根样品置于低温红外干燥箱中80℃以下烘干处理, 用感量0.01 mg的天平称取0.3~ 1.0 mg干酪根样品, 用感量0.1 mg的天平称取无杂质和无吸收峰的溴化钾, 干酪根样品与溴化钾的比例为1∶150, 充分混合后置于压片机中压片, 所获样片必须透明, 无明显样品黑点. 用Bruker IFS112V傅里叶红外(FTIR)分析仪分析样品, 动镜扫描速度(Velocity of moving mirror) 6 VEL, 4 000~ 400 cm^{-1}中红外光谱段, 红外分光光度计分辨精度0.05 cm^{-1}, 分析时扫描分辨率设置为2 cm^{-1}. 按分段联结基线法测量和计算各吸收峰单位面积重量的光密度值.

2 结果与讨论

作者通过对西北地区许多侏罗系和白垩系等沉积盆地大量烃源岩样品红外光谱吸收谱特征的研究[2)]以及这些烃源岩沉积环境[4~5],[3)]的对比分析发现, 尽管2 920 cm^{-1}和1 460 cm^{-1}均是反映脂族链CH_2的不对称弯曲和伸缩振动吸收, 2 860 cm^{-1}和1 380 cm^{-1}均是反映CH_3的不对称弯曲和伸缩振动吸收, 810 cm^{-1}和750 cm^{-1}都是反映芳香核C-H面外弯曲振动吸收, 但煤、煤系泥岩和湖相泥岩干酪根在这些波数段的吸收强度有较大差异, 可能反映了干酪

1) 中华人民共和国石油工业部标准. SY5121_86. 岩石有机质及原油红外光谱分析方法. 1986
2) 陈建平, 等. 西北地区侏罗系生烃潜力评价. 中国石油天然气总公司新区勘探事业部内部资料. 1996
3) 罗 平, 等. 西北地区侏罗系沉积环境和储集体研究. 中国石油天然气总公司新区勘探事业部内部资料. 1996

根中脂族链结构和芳香核结构的差异. 干酪根红外光谱不仅能用这些基团的吸收在宏观上划分有机质的类型和成熟度, 而且利用不同基团的相对强弱还能很好地区分烃源岩形成环境, 反映有机相的差异. 因此, 作者提出了干酪根脂族结构指数(ACSI) 和芳香族结构指数(ASI) 概念:

脂族结构指数 iv: $ACSI_1 = 2\,920\ cm^{-1}/1\,460\ cm^{-1}$;

脂族结构指数 ㈦: $ACSI_2 = 2\,860\ cm^{-1}/1\,380\ cm^{-1}$;

脂族结构指数 ㈣: $ACSI_3 = 2\,920\ cm^{-1}/1\,380\ cm^{-1}$;

脂族结构指数 ㈤: $ACSI_4 = 1\,460\ cm^{-1}/1\,380\ cm^{-1}$;

脂族结构指数 (九): $ACSI_5 = 2\,920\ cm^{-1}/2\,860\ cm^{-1}$;

芳香族结构指数: $ASI = 810\ cm^{-1}/750\ cm^{-1}$.

脂族结构指数反映脂肪烃的结构, 芳香族结构指数反映芳环上取代基情况也即芳核结构. 上述指数所反映的结构性质与有机质生物来源及其在沉积-成岩作用早期的生物化学作用特征密切相关联, 籍此可以标志烃源岩沉积水介质条件、有机质的生物来源等有机相的要素[6~11]. 因此, 脂族结构指数和芳香族结构指数可以将有机质的沉积环境、有机物生源及类型、烃类产物性质有机地联系起来, 进而判别沉积有机相.

由图 1(a) 可见, 脂族结构指数 iv($ACSI_1$) 和脂族结构指数 ㈦($ACSI_2$) 将煤、煤系泥岩和湖相泥岩分成三个相对独立的区域, 代表了三种不同沉积环境的有机质. 湖相泥岩有机质含有较多的正构烷烃, 脂族链相对较长[1], 亚甲基吸收强, 甲基吸收相对较弱, 脂族结构指数值较大, $ACSI_1$ 一般大于 3. 5, $ACSI_2$ 一般大于 8. 煤和碳质泥岩有机质中含有更多的异构烷烃或脂族链相对较短[1], 且含有更多的甲基, 甲基吸收相对较强, 脂族结构指数值较小, $ACSI_1$ 一般小于 2, $ACSI_2$ 一般小于 6. 湖泊与沼泽相过渡环境形成的煤系泥岩则介于两者之间. 因此, 可以将 $ACSI_1 < 2$、$ACSI_2 < 6$ 的 A 区域称为煤沼相, 将 $ACSI_1 > 4$、$ACSI_2 > 10$ 的 C 区域称为湖相, 两者之间的 B 区域称为湖泊-煤沼过渡相(简称湖沼相) . 图中湖相区的泥岩是西北地区诸盆地上三叠统、中下侏罗统、下白垩统深湖相沉积(深灰色泥岩、白云质泥岩和油页岩等) ; 湖沼相区域的样品主要是湖泊-沼泽过渡的浅湖环境形成的泥质烃源岩; 煤沼区域主要是河流相、三角洲相、滨湖相沉积的泥岩及沼泽相的碳质泥岩和煤.

由图 1(b) 可见, 煤、煤系泥岩和湖相泥岩形成了三个明显不同的分布带区, 各自呈现一个展布方向. 煤和碳质泥岩差别不大, 说明它们形成的沉积环境、有机质来源及沉积成岩作用早期生物化学作用具有相似性. 侏罗纪聚煤期沼泽和湖泊变化频繁, 煤层、砂泥岩层交替, 暂时性湖泊中汇水湖相泥岩沉积有机质来源与继承性持续发展的非聚煤期正常湖相泥岩沉积又有较大差异. 一般说来, 非聚煤期正常湖相沉积烃源岩含有较高的水生有机质, 如藻类和其他浮游生物, 而聚煤期煤系沉积烃源岩有机质主要来源于陆源有机质, 因此, 沉积有机相是不同的. 脂族结构指数 ㈣($ACSI_3$) 和 ㈤($ACSI_4$) 划分有机质形成相带也非常清楚, 与脂族结构指数 iv和 ㈦划分的三种相带有好的一致性(图 1(b)) . 煤沼相与湖沼相之间大致以方程 $ACSI_4 = 0.60ACSI_3$ 为界, 湖沼相与湖相之间以方程 $ACSI_4 = 0.30ACSI_3$ 为界线, 煤沼相与湖沼相分界线斜率正好是湖沼相与湖相分界线斜率的 2 倍. 正如图中所示, 湖相泥岩呈现非线性的分布趋势, 为了更好地符合湖相泥岩分布总体趋势, 也可以用非线性方程 $ACSI_4 = 0.000\,04ACSI_3^3$

$-0.005\,6ACSI_3^2+0.350\,9ACSI_3+0.000\,3$ 划分湖相与湖沼相之间的界线. 样品的分布情况与图 1(a) 也基本相似.

图 1(c) 是反映脂族基团结构和芳核结构参数之间的关系图. 与图 1(b) 相似, 这两个参数也明显地划分出了三个不同的沉积相带, 其样点的分布与图 1(a)、(b) 中基本相同. 煤沼相与湖沼相之间的分界线方程为 $ASI=0.16ACSI_3$; 湖沼相与湖相之间的分界线方程为 $ASI=0.06ACSI_3$. 该图表明煤和煤系泥岩及湖相泥岩有机质中尽管都含有芳香烃类, 但芳香核侧链的分布、数量, 即芳核结构有差异. 煤有机质中第一类氢原子比第二类氢原子更丰富, 而深湖相泥岩有机质芳核中第二类氢原子更多些. 成烃潜力好的煤第二类氢原子更丰富或脂族基团侧链相对较长.

更重要的是, 由样品的分布可见, 上述结构指数实际上与岩性基本无关, 而是与烃源岩的"相"密切相关. 如图中青海地区、吐哈盆地等侏罗系、白垩系泥岩的沉积环境变化很大, 从河流、三角洲含煤沼泽沉积到深湖相沉积均有分布, 因此图中分别落入三个不同的有机相带中. 油页岩样品的分布也基本反映了类似的特征.

此外, 图 1 中样品成熟度(R_o) 一般在 0.4%~1.5% 之间[4]1), 但脂族结构指数和芳香族结构指数仍然很好地区别了不同沉积环境有机质, 说明上述指数受有机质成熟度的影响很小或者基本不受影响, 是相对独立的参数.

红外光谱脂族结构指数不仅可以很好地划分有机质形成的沉积环境, 而且也很好地反映了有机质类型、成烃潜力和烃类产物类型的细微差异. 脂族结构指数越大, 有机质类型越好, 成烃潜力越大. 如

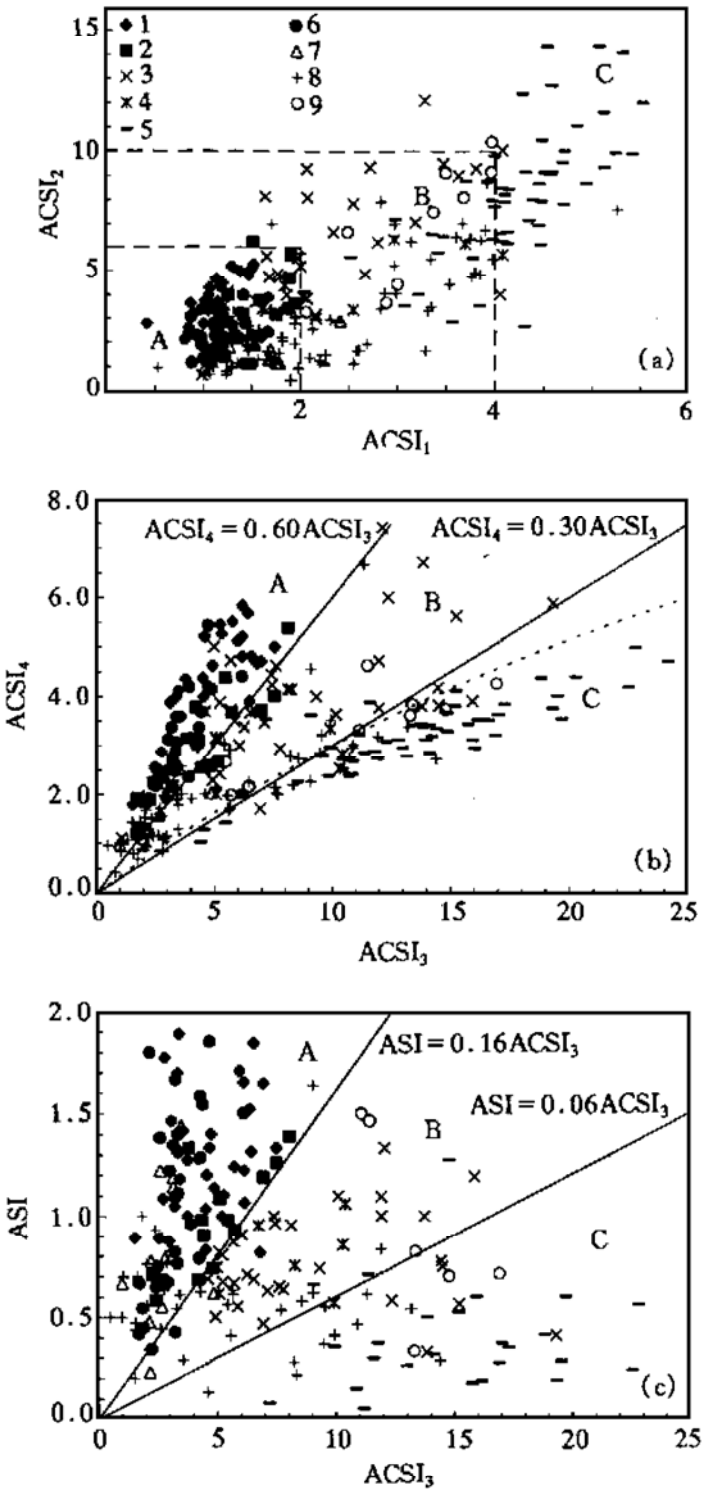

图 1 干酪根红外光谱脂族结构指数和芳香族结构指数划分有机相图

(a) 煤沼相; (b) 湖泊-煤沼过渡相; (c) 湖相. 1——吐哈煤(J), 2——鄂尔多斯煤(J), 3——吐哈泥岩(J), 4——鄂尔多斯页岩(T, J), 5——酒东泥岩(J, K), 6——甘青宁陕煤(J), 7——碳质泥岩(J), 8——青海泥岩(J), 9——油页岩(J)

1) 见第 544 页中脚注 2)

图 1(a) 所示, 分布于图中右上方湖相区域的样品, 一般为深湖相沉积烃源岩, 机质类型好, 多数为 iv型和接近 iv型的 ㈦型有机质, 成烃潜力大, 烃源岩热解生烃潜量一般大于 6 mg/g, 长链烷烃含量高; 分布于图中部湖沼相区域的样品, 一般为浅湖、沼泽相沉积, 烃源岩有机质多数为 ㈦型和偏 ㈦型的 ㈣型, 成烃潜力一般在 2~ 6 mg/g 之间, 以中等链长烷烃为主; 分布于图的左下方煤沼相区域的源岩, 有机质类型最差, 一般为 ㈣型, 成烃潜力最小, 岩石热解生烃潜量一般小于 2 mg/g, 以短链烷烃为主. 即使在同一相带中也有上述规律. 如图 1(b) 所示, 吐哈盆地侏罗系煤在图中煤沼相区(A) 中位于右上方, 其热解生烃潜量一般大于 100 mg/g, 最大达 260 mg/g, 平均 150~ 160 mg/g; 甘青宁陕地区侏罗系煤位于煤沼相区的左下方, 其热解生烃潜量多数小于 100 mg/g.

3 结论

干酪根红外光谱脂族结构指数和芳香族结构指数可以将烃源岩划分为煤沼相、湖沼过渡相和湖相三种沉积有机相, 同时也很好地反映了有机质类型、成烃潜力和烃类产物类型的细微差异. 上述参数所反映的结构性质与有机质生物来源及其在沉积-成岩作用早期的生物化学作用特征相关联, 籍此可以标志烃源岩沉积水介质条件、有机质的生物来源等有机相的要素. 因此, 脂族结构指数和芳香族结构指数可以将有机质的沉积环境、有机物生源及类型、烃类产物性质有机地联系起来, 进而判别沉积有机相.

参 考 文 献

1 Tissot B P, Welte D H. Petroleum Formation and Occurrence. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo: Springer_Verlag, 1984
2 Landais P. Statistical determination of geochimcal parameters of coal and kerogen macerals from Transform Micro_Infrared Spectroscopy data. Organic Geochemistry, 1995, 23(8): 711~ 720
3 Ibarra J V, Munoz E, Moliner R. FTIR study of the evolution of coal structure during the coalification process. Organic Geochemistry, 1996, 24(6/7): 725~ 735
4 陈建平, 黄第藩, 陈建军, 等. 酒东盆地油气生成和运移. 北京: 石油工业出版社, 1996
5 张 韬, 张天鹏, 任玉林, 等. 中国主要聚煤期沉积环境与聚煤规律. 北京: 地质出版社, 1995
6 Rogers M A. Application of organic facies concepts to hydrocarbon source rock evaluation. Proceedings of the 10th World Petroleum Congress (Bucharest, 1979), 1980, (2): 23~ 30
7 Cook A C. The nature and significance of the organic facies in the Eromanga basin. Geological Society of Australia Special Publication, 1986(12): 203~ 219
8 Jones R W. Application of organic facies for hydrocarbon potential. In: Brooks J, ed. Advances in Petroleum Geochemistry. London: Academic Press, 1987. 1~ 90
9 Huc A Y. Understanding organic facies: a key to improved quantitative petroleum evaluation of sedimentary basins. AAPG Studies in Geology No 30, Tulsa, Oklahoma, USA. 1990, 1~ 11
10 Curiale J A, Lin R. Tertiary deltaic and lacustrine organic facies: comparison of biomarkers and kerogen distributions. Organic Geochemistry, 1991, 17(6): 785~ 791, 793~ 803
11 Mukhopadhyay P K, Wade J A, Kruge M A. Organic facies and maturation of Jurassic/Cretaceous rocks, and possible oil_source rock correlation based on pyrolysis of asphaltenes, Scotian basin, Canada. Organic Geochemistry, 1995, 22(1): 85~ 104

(1997-04-24 收稿, 1997-09-08 收修改稿)