

文章编号:1672-9854(2008)-03-0055-08

烃源岩评价分析项目的优化组合

曹寅, 钱志浩, 张渠

(中国石化勘探开发研究院无锡石油地质研究所)



曹寅

摘要 在我国石油天然气行业中,对烃源岩评价的实验分析技术已形成一套比较成熟的方法,其中大部分已制订成国家标准或行业标准。但是在实际过程中,或者是全面测试,以致浪费大、收益小,或者是为过度节约而少测样品,造成信息严重丢失。为了分析测试能既节约成本又成果优秀,对各分析项目依据其有效性和局限性,分为基本项目、选择项目和补充项目三大类。针对不同的研究目的,分别提出了烃源岩样品快速筛选分析、烃源岩系统评价分析、下古生界海相烃源岩研究分析等相关实验测试分析项目的优化组合设计方案。

关键词 早古生代;海相烃源岩;烃源岩评价;地球化学实验分析;分析方法;优化组合

中图分类号:TE125.2 **文献标识码**:A

曹寅 1938年生,教授级高级工程师,1961年毕业于复旦大学化学系。原地矿部石油地质中心实验室测试中心主任。主要从事石油地质实验测试技术方法研究与应用及测试技术管理。享受政府特殊津贴,获国家技术监督局“有突出成绩的计量工作者”荣誉证书,获地质矿产部科技进步三等奖2项;中国石化科技进步三等奖1项和国家发明专利3项。著有“石油地质样品分析测试技术及应用”等专著3本,国内外发表论文20多篇。通讯地址:214151 江苏省无锡市惠钱路210号

自20世纪70年代干酪根热解成烃理论在油气勘探中起主导作用以来,烃源岩评价实验分析也围绕着该成烃理论开发和建立了一系列技术。它们主要包括烃源岩有机质丰度、有机质类型、有机质成熟度、生烃潜力、沉积环境和油源对比等方面。通过三十多年的不断实践、修改和完善,现已形成一整套比较成熟的分析方法,其中大多数在我国已制订为国家标准或石油天然气行业标准^{[1]①}。

然而,现已发布实施的各级石油地质分析测试项目较多,达百余项,且分析价格相差很大。此外,从分析技术来说,各种方法既有其有效性,也有其一定的局限性。因此,有必要对已发布实施的各项分析方法进行规范,分清哪些为基本分析项目,它们对评价的研究内容能够提供哪些必需的最基本的数据和信息;哪些为选择分析项目,它们对特征样品能够提供哪些针对性的数据和信息;哪些

为补充分析项目,它们对分析对象能够提供哪些补充性的数据和信息。这样就可以防止对石油地质研究样品的分析中出现两种不良倾向——或者做全面测试,以致浪费大、收益小;或者过度节约而少测样品,造成严重丢失信息——从而达到既节约成本又成果优秀的效益双丰收的最佳状态。

在此基础上,我们针对某一研究项目的主题内容,如烃源岩样品的快速筛选分析,烃源岩有机质丰度、有机质类型、有机质成熟度的系统评价分析,下古生界海相烃源岩的研究分析,分别提出了相关实验分析项目优化组合的设计方案。文中还以一些具体实例来说明分析测试组合方案的可行性。

1 烃源岩样品快速筛选分析测试项目组合

批量烃源岩样品分析要采取两步走的办法。第

收稿日期:2007-11-28;改回日期:2008-01-24

本文为“第十一届全国有机地球化学学术会议”(2007.10.20—28)交流论文

① 钱志浩,曹寅,李洪铎,等.石油地质分析测试方法[R].地质矿产部石油地质海洋地质局,1994.

一步,以最低的分析费用、最短的分析时间和最高的功能价格比,对烃源岩样品进行有机质丰度、有机质类型、有机质成熟度和生烃潜力进行快速评价;第二步,对烃源岩进行快速筛选,筛

选出一些典型的、需要进一步深入研究的样品作详细分析。

烃源岩快速筛选分析测试项目是总有机碳(TOC)分析和岩石热解分析(表1)。

表1 烃源岩快速筛选分析测试项目

序号	分析测试项目	执行标准	使用仪器	参数和指标	项目分类
1	总有机碳分析	GB/T 19145-2003 沉积岩中总有机碳测定 ^[7]	碳、硫测定仪	有机质丰度评价: TOC(%)	基本项目
2	岩石热解分析	GB/T 18602-2001 岩石热解分析 ^[1]	岩石热解仪	有机质丰度评价: TOC(%), PC(%) 有机质类型评价: III(mg/g), OI(mg/g), HI-T _{max} , S ₂ /S ₃ 有机质成熟度评价: T _{max} (°C), PI 生烃潜力评价: PG(mg/g), PC/TOC	基本项目

应用举例

以新疆的库车油气资源评价课题为例。

研究目的 第一,进行油气源对比,确定油气源层位;第二,估算新疆库车东部地区油气资源量。

样品采集 课题组在库车河、阳霞、塔什店等地区采集侏罗系、三叠系泥岩样品百余块,煤岩样品30余块,以及该地区原油和天然气样品若干个。

样品快速筛选 进行油气源对比和生烃热模拟实验,首先需要快速筛选样品。要求有三个方面:有机质丰度高,生烃潜力高,有机质成熟度低。

测试项目组合分析 分为两步。第一步,将70块泥岩样品和31块煤岩样品进行总有机碳分析,并

按通常烃源岩划分界限将它们分类,筛选出好的和中等的泥岩以及煤岩样品;第二步,对55块好的和中等的泥岩样品以及31块煤岩样品再作岩石热解分析。最后,根据所测数据以及地质层位和地区分布,在库车河、阳霞和塔什店地区侏罗系克孜勒努组(J₂k²)以及三叠系塔里克奇组(T₂t),筛选了4对即8块样品作为生烃热模拟实验的样品,其基本数据列在表2中。生烃潜力参数(PG)可用于烃源岩生烃潜力的判断,岩石热解峰的最大温度值(T_{max})可用于判断烃源岩有机质成熟度。煤岩样品的镜质体反射率(R₀)数据是后来测定的,也一并放在表2中。

表2 新疆库车地区生烃热模拟实验样品的基础数据

取样层位	样品号	样品名称	TOC(%)	PG (mg/g)	T _{max} (°C)	R ₀ (%)
塔里克奇组(T ₂ t)	库车河5	黑色泥岩	15.84	42.49	430	—
	库车河13	煤	81.11	232.23	435	0.61
侏罗系(J)	Ts-1	黑色泥岩	17.52	54.54	427	—
	Ts-2	煤	62.71	202.31	433	0.60
塔里克奇组(T ₂ t)	Ym-1	黑色泥岩	19.58	52.59	434	—
	Ym-2	煤	77.64	164.91	439	0.64
克孜勒努组(J ₂ k ²)	Ym-3	黑色泥岩	21.53	44.05	423	—
	Ym-4	煤	41.06	104.95	428	0.46

结果 这里推荐的总有机碳分析和岩石热解分析两项分析测试项目,作为烃源岩快速筛选的基本分析项目是有理论依据和实用意义的。应用实例表明,经过总有机碳分析和岩石热解分析测试以及对所得数据的整理和研究,结合地质资料,可将所采集的百余块样品,快速筛选到8块样品,对筛选后的样品进一步进行详细分析测试,结果令人满意,

达到了课题设计的要求。

结论 快速筛选真正起到了事半功倍的作用。

2 烃源岩有机质丰度、类型、成熟度的系统评价分析测试项目

烃源岩有机质丰度、有机质类型、有机质成熟度的系统评价分析项目比较多,但是有的分析项目可

兼顾几种评价研究功能, 因此将它们合并并在表3中列出^{[2]②}。目前国内外常用的烃源岩有机质丰度的分析项目主要是: 总有机碳分析、岩石氯仿沥青测定、岩石可溶有机物族组分分析和岩石热解分析。其中族组分分析也可用来判断成熟度。如沥青“A”/TOC或总烃/TOC。岩石热解分析所得参数, 既可用于评价有机质丰度, 又可用于评价有机质类型和有机质成熟度。

表3中, 第5项“岩石有机质中碳、氢、氧元素分析”和第6项“干酪根显微组分鉴定及类型划分”两者主要用于划分有机质类型; 第7项“干酪根镜质组反射率测定”主要用于判别有机质成熟度, 目前判别有机质成熟度的指标较多, 除 R_o 和 T_{max} 之外, 还有饱和烃气相色谱正构烷奇偶优势指数(OEP)、甾、萜烷生物标志化合物参数和轻烃的庚烷值和石蜡指数等; 第9项“有机质稳定碳同位素组成分析”和第10项“生物标志物色谱-质谱分析”不仅可用于有机质类型和热演化程度的判别, 更主要用于油源对比的研究。

其他分析项目各有各的功效, 可以根据需要作为选择分析项目或补充分析项目(表3)。如多组分显微荧光探针(FAMM)分析技术(第14项)对富氢烃源岩这种特征样品的成熟度测定有特别的效果^[3-5]。FAMM分析技术, 主要是由偏光显微镜、激光光源和拉曼光谱仪三个部分组成, 在特定的激光功率下测定样品中不同显微组分的荧光光谱, 得到各组分颗粒的初始荧光强度(F_0)和400s时的最终荧光强度值(F_{400})。计算各组分颗粒的最终/初始荧光强度比(F_{400}/F_0), 然后投影到标准荧光变异图上, 得到等效镜质体反射率(EqVR₀)值。EqVR₀可应用于烃源岩镜质体反射率抑制或增强的校正。烃源岩中富氢物质越多, 即有机质类型越好, 那么它的镜质体反射率受抑制程度就越大。

应用举例

张美珍等^③实测得东营凹陷的富氢烃源岩参数为: I型烃源岩, R_o 抑制为0.30%~0.36%; II₁型烃源岩, R_o 抑制为0.18%~0.32%; II₂型烃源岩, R_o 抑制为0.13%~0.18%; III型煤 R_o 抑制仅为0.02%, 抑制不明显。使用了FAMM方法对 R_o 校正后, 对富

氢烃源岩的 R_o 可得到正确测定值, 可以较好地应用于富氢烃源岩的成熟度评价。从东营凹陷富氢烃源岩FAMM分析EqVR₀值与深度的关系看, 两者之间存在着良好的正相关性, 由此推断, 当东营凹陷烃源岩现今埋藏深度在1500~2000m之间时, 其成熟度均已达到生烃门限, 处于低成熟状态, 该结论显然可以与古地温梯度的研究结果相吻合。所以, 原来根据 R_o 值确定的未熟烃源岩, 实际上应属低熟烃源岩, 而那些被视为低熟的烃源岩, 则已进入成熟阶段。这无疑对重新评价东营凹陷有效烃源岩的分布、石油成因和石油资源潜力具有重要的意义^[6-7]。但FAMM方法测试费用较高, 对一般烃源岩样品来说, 可以沿用原来的干酪根镜质体反射率测定方法, 它们也能判别出样品的有机质成熟度。因此, 我们将FAMM分析方法定为选择性分析项目。

3 下古生界海相碳酸盐岩评价研究分析测试项目

国外研究的海相碳酸盐岩, 大都是中生代、处于成熟阶段的烃源岩, 因此评价研究的分析测试项目与评价泥页岩和煤岩烃源岩的分析测试项目基本上是相同的。而我国的海相碳酸盐岩除青藏高原为中生界外, 其余地区多为古生界—中、新元古界, 大都属于高成熟—过成熟阶段, 一般分析测试项目不能适合它们的评价研究。因此, 下古生界海相碳酸盐岩评价研究的分析测试项目与其他烃源岩相比有所不同(表4)。

碳酸盐岩的有机质丰度测定, 与泥岩的一样, 仍可用有机碳测定等方法来确定, 但国内外学者对海相碳酸盐岩的评价各有其标准。对于高、过成熟海相碳酸盐岩的干酪根显微组分鉴定及类型划分, 不能用透射光-荧光方法来鉴定, 而应该用反光-荧光显微镜方法鉴定及类型划分。

镜质体反射率(R_o)是研究烃源岩成熟度和划分成熟度阶段的最佳标准之一。但是在海相碳酸盐岩中不存在高等植物, 根本就没有典型的镜质体可测定。为了解决该问题, 国内外学者经研究对比, 提出用沥青镜质反射率(R_b)来表征那些缺少镜质体的海相碳酸盐岩的有机质成熟度^[8-9], 其相关关系

② 郑冰, 钱志浩, 曹寅, 等. 石油地质样品分析测试技术方法体系的建立[R]. 中石化股份公司石油勘探开发研究院无锡石油地质研究所, 2005.

③ 张美珍, 张渠, 蒋启贵, 等. 石油有机地化新技术方法研究与应用[R]. 中石化股份公司石油勘探开发研究院无锡石油地质研究所, 2006.

表3 烃源岩有机质丰度、有机质类型、有机质成熟度的系统评价分析测试项目

序号	分析测试项目	执行标准	使用仪器	参数和指标	项目分类
1	总有机碳分析	GB/T 19145-2003 沉积岩中总有机碳测定 ^[7]	碳、硫分析仪	TOC(%)	基本项目
2	岩石热解分析	GB/T 18602-2001 岩石热解分析 ^[1]	岩石热解仪	TOC(%), PC(%), HI(mg/g), OI(mg/g), S ₂ /S ₃ , T _{max} (°C), PG(mg/g), PC/TOC(%), HCl(mg/g), S ₁ (mg/g), S ₂ (mg/g), S ₃ (mg/g), 热解CO ₂ , S ₃ (mg/g)	基本项目
3	岩石中氯仿沥青测定	SY/T 5118-2005 岩石中氯仿沥青的测定 脂肪抽提器法 ^[23]	脂肪抽提器, 快速抽提仪	"A"(%), "A"/TOC	基本项目
4	岩石可溶有机物族组分分析	SY/T 5119-1995 岩石可溶有机物和原油族组分柱层析分析方法 ^[12] SY/T 6338-1997 岩石可溶有机物和原油族组分棒薄层火焰离子化分析方法 ^[19]	层析柱棒薄层色谱	饱和烃(%), 芳香烃(%), 非烃(%), 沥青质(%), 饱/芳比	基本项目
5	岩石有机质中碳、氢、氧元素分析	GB/T 19143-2003 岩石有机质中碳、氢、氧微量分析方法 ^[6]	元素分析仪	C(%), H(%), O(%), N(%); H/C原子比, O/C原子比	基本项目
6	干酪根显微组分鉴定及类型划分	SY/T 5125-1996 透射光—荧光干酪根显微组分鉴定及类型划分方法 ^[44]	透射光—荧光显微镜	TI, 各有机显微组分的百分含量	基本项目
7	干酪根镜质组反射率测定	SY/T 5124-1995 沉积岩中镜质组反射率测定方法 ^[11]	显微镜光度计	R ₀ (%), 频率分布直方图	基本项目
8	岩石氯仿抽提物中饱和和烃气相色谱分析	GB/T 18340.5-2001 岩石可溶有机物和原油中饱和和烃气相色谱分析方法 ^[5]	气相色谱仪	Pr/Ph, Pr/nC ₁₇ , Ph/nC ₁₈ , OEP, 主峰碳、碳数分布	基本项目
9	有机质稳定碳同位素组成分析	GB/T 18340.2-2001 有机质稳定碳同位素组成分析方法 ^[4]	同位素质谱仪	"A", 干酪根δ ¹³ C(‰)	基本项目
10	生物标志物色谱-质谱分析	GB/T 18606-2001 气相色谱-质谱法测定沉积物和原油中生物标志物 ^[2]	色谱-质谱仪	甾烷, 萜烷等	基本项目
11	原油和源岩抽提物轻烃气相色谱分析	GB/T 18340.1-2001 轻质原油气相色谱分析方法 ^[3] DZS 2001.7-1994 岩石中氟里昂抽提物石油地质分析测试方法 ^[24]	气相色谱仪	石蜡指数, 庚烷值, 甲基环己烷指数, mango参数	选择项目
12	全岩光片显微组分测定	SY/T 6414-1999 全岩光片显微组分测定方法 ^[20]	偏反光—荧光显微镜	各有机显微组分的含量, 亚显微组分和沥青物质	选择项目
13	岩石热模拟生烃实验	DZS 2001.21-1994 岩石样品热解模拟制备及生烃量分析方法 ^[27]	热模拟实验装置, 岩石热解仪	各热模拟温阶的生烃率和产物性质	选择项目
14	多组分显微荧光探针分析测定	无	多组分显微荧光探针 (FAMM)	EqVR(%)	选择项目
15	干酪根红外光谱分析	SY 5121-1986 岩石有机质及原油红外光谱分析方法 ^[8]	红外光谱仪	基团比值 2920/1600, 2920/1715, 1715/1460, 1600/1460, 1380/1700	补充项目
16	孢粉色变指数测定	SY/T 5915-2000 孢粉分析鉴定 ^[21]	生物显微镜	SCI	补充项目
17	岩石热解气相色谱分析	SY/T 6188-1996 岩石热解气相色谱分析方法 ^[15]	热解气相色谱仪	C ₁ 、C ₁ ~C ₅ 、C ₂ ~C ₅ 、C ₆ ~C ₁₄ 、C ₁₅ *相对含量	补充项目
18	芳烃气相色谱和色谱-质谱分析	SY/T 6196-1996 岩石氯仿抽提物和原油芳烃气相色谱分析方法 ^[16] DZS 2001.16-1994 芳香烃馏分同系物的色谱—质谱分析鉴定方法 ^[26]	气相色谱仪, 色谱—质谱分析仪	MPI, DPI, MPR, DPR, MNR, DNR; 4-甲基二苯并噻吩/1-甲基苯并噻吩	补充项目
19	有机质的核磁共振氢谱和碳谱分析	SY/T 5777-1995 岩石可溶有机物和原油的核磁共振氢谱与碳谱分析方法 ^[13]	核磁共振分析仪	PAP, 芳香度fa, 芳香环Ca, 脂碳, 油潜力碳, 气潜力碳	补充项目
20	干酪根和煤电子顺磁共振分析	无	电子顺磁共振仪	Ng	补充项目

表4 下古生界海相碳酸盐岩评价研究分析测试项目

序号	分析测试项目	执行标准	使用仪器	参数和指标	项目分类
1	总有机碳分析	GB/T 19145-2003 沉积岩中总有机碳的测定 ^[7] GB/T 18602-2001 岩石热解分析 ^[2]	碳、硫测定仪, 岩石热解仪	TOC (%)	基本项目
2	岩石热解分析	GB/T 18602-2001 岩石热解分析 ^[2]	岩石热解仪	HI (mg/g), HCl (mg/g), PC (%), PG (mg/g), OI (mg/g), PC/TOC, PI, T _{max} (°C), S ₂ /S ₃	基本项目
3	岩石中氯仿沥青测定	SY/T 5118-2005 岩石中氯仿沥青的测定脂肪抽提器法 ^[23]	脂肪抽提器, 快速抽提仪	沥青“A”(%), “A”/TOC	基本项目
4	岩石可溶有机物族组分分析	SY/T 5119-1995 岩石可溶有机物和原油族组分柱层析分析方法 ^[12] SY/T 6338-1997 岩石可溶有机物和原油族组分棒薄层火焰离子化分析方法 ^[19]	层析柱棒薄层色谱仪	饱和烃(%), 芳香烃(%), 非烃(%), 沥青质(%), 饱/芳比	基本项目
5	干酪根显微组分鉴定及类型划分*	SY/T 5125-1996 透射光—荧光干酪根显微组分鉴定及类型划分方法 ^[14]	反光、荧光显微镜	各有机显微组分的百分含量, 类型指数TI值	选择项目
6	干酪根扫描电镜分析方法	SY/T 5162-1997 岩石样品扫描电子显微镜分析方法 ^[18]	扫描电子显微镜	干酪根结构特征、球状黄铁矿	选择项目
7	沥青反射率测定	无	显微镜光度计	R _b (%)	选择项目
8	伊利石结晶度	无	X射线衍射仪	IC	选择项目
9	生物标志化合物色谱—质谱分析鉴定	GB/T 18606-2001 气相色谱—质谱法测定沉积物和原油中生物标志物 ^[28]	色谱-质谱分析仪	原油及源岩可溶有机物中芳甾烷、二苯并噻吩、芳基类异戊二烯烃	基本项目
10	原油及源岩抽提物碳、氢稳定同位素组成分析	GB/T 18340.2-2001 有机质稳定碳同位素组成分析方法 ^[4] SY/T 5239-1991 石油和沉积有机质的氢、碳同位素分析方法 ^[9]	同位素质谱仪	原油及源岩抽提物的δ ¹³ C(‰)、δD(‰)	基本项目
11	原油及源岩抽提物轻烃分析	GB/T 18340.1-2001 轻质原油气相色谱分析方法 ^[3] DZS 2001.7-1994 氟里昂抽提物石油地质分析测试方法 ^[24]	气相色谱仪	轻质原油及源岩轻烃抽提物轻烃分配对	基本项目
12	酸解烃分析	SY/T 6009.1-2003 酸解烃测定 ^[22] DZS 2001.8-1994 岩石中气态烃的酸解提取及色谱定量分析方法 ^[25]	酸解脱气装置、气相色谱仪	酸解气态及液态烃	选择项目
13	牙形刺色变指数测定	SY/T 5912-1994 牙形石分析鉴定方法 ^[10]	实体显微镜	CAI	选择项目
14	镜状体反射率测定	无	显微光度计	笔石表皮体、沥青-海相镜质体等	选择项目
15	岩石热模拟生烃实验	DZS 2001.21-1994 岩石样品热解模拟制备及生烃量分析方法 ^[27]	热模拟实验装置、岩石热解仪	各热模拟温阶的生烃率和产物性质	选择项目

* 成熟度高的不适用。高、过成熟度的需另外制定。

式为:

$$R_o = 0.618R_b + 0.4 \quad (1)^{[8]}$$

$$R_o = 0.6569R_b + 0.3364 \quad (2)^{[9]}$$

以上两组R_o和R_b相关关系式基本相同, 可以任选一组作为标定缺失镜质体但含沥青的烃源岩有机质成熟度的指标。但是, 不同成因的沥青其R_b值所表示的地质意义不相同: 只有原生沥青的R_b才

能作为成熟度指标, 而运移沥青可能有多期, 它们的R_b只能表示其丙酰胺形成以后经历的热史。多期运移沥青使镜下检测发生困难。如四川松潘—阿坝地区寒武系和志留系海相碳酸盐岩及碳质板岩中, 就存在两期或三期成因的沥青^④。第一期应是原生沥青, 其R_b值较高; 第二、第三期的运移沥青它们的R_b值比一期原生沥青要低, 特别在高演化地区, 镜质体和沥青都具各向异性, 测定时也有

④ 张美珍, 曹寅, 钱志浩, 等. 油藏地球化学新技术方法研究及规范标准制定[R]. 中石化股份公司石油勘探开发研究院无锡石油地质研究所, 2004.

随机性,变化范围较大。因此,在高演化地区进行 R_0 和 R_0 校正时必须慎重。

伊利石结晶度是伊利石晶畴大小、膨胀层含量、晶体缺陷和化学组成不均一性的综合反映。Kubler^[10-11] 提出用X射线衍射谱图上伊利石10 Å衍射峰的半高宽来表示伊利石结晶度 (IC_{Kubler}), 即 Kubler 指数。Kubler 指数的值越大表示结晶度越差; IC 值越小, 则表示结晶度越好。利用 IC 值可有效划分成岩作用, 确定对应的温度界线和成岩作用界线。浅变质带与近变质带(极低变质带)的 IC 界限为 $0.25^\circ(\Delta 2\theta)$; 极低变质带与成岩作用晚期阶段的 IC 界限为 $0.42^\circ(\Delta 2\theta)$ 。

应用举例

实例1 从张美珍等^④在塔里木盆地地下古生界(主要是寒武系—奥陶系)选择全岩样品17个, 干酪根样品54个, 拍摄了显微镜下不同光性特征照片962张, 建立了塔里木盆地地下古生界烃源岩有机显微组分分类方案, 并以此定量测定组分含量, 进行类型划分。而对于高、过成熟烃源岩, 因其不发荧光, 一般显微镜已无能为力。这就可采用扫描电子显微镜技术, 在扫描电子显微镜下, 观察干酪根结构特征以及球状黄铁矿特征, 进行此类样品的类型划分。

实例2 四川的松潘—阿坝地区烃源岩的成熟度普遍很高, 地表露头样品风化严重, 又遭受了不同程度的污染, 因而许多指标失真。秦建中等^⑤对松潘—阿坝地区的海相烃源岩通过对比试验研究, 认为通过干酪根的扫描电子显微镜鉴定以及干酪根的碳同位素分析 $\delta^{13}C(\text{‰})$ 等指标, 可对高、过成熟海相烃源岩有机质类型进行划分, 其划分标志见表5所示。

表5 松潘—阿坝地区烃源岩有机质类型划分标志

有机质类型	干酪根扫描电镜	干酪根 $\delta^{13}C(\text{‰})$
I	无定形和团块状干酪根为主 (>80%), 含藻类和生物碎屑	<-27
II ₁	无定形和团块状干酪根为主 (60%~80%), 有藻类, 少量木质组分	-27~-25
II ₂	无定形和团块状干酪根较多 (40%~60%), 木质组分 (<20%)	-25~-23
III	壳质体、角质体和惰质体为主 (>60%)	>-23

⑤ 秦建中, 张渠, 等. 松潘阿坝地区烃源岩及油气资源潜力评价[R]. 中石化股份公司石油勘探开发研究院无锡石油地质研究所, 2004.

实例3 从张美珍等^②对松潘—阿坝地区三叠系145个泥质岩石样品的伊利石结晶度测试结果可以看出, 伊利石结晶度 IC 值大部分(约54.5%)分布在 $0.41^\circ\sim 0.50^\circ(\Delta 2\theta)$ 之间, 集中反映了川北阿坝地区三叠系成岩演化阶段处于成岩作用晚期阶段; 有21.4%的伊利石结晶度 IC 值在 $0.31^\circ\sim 0.40^\circ(\Delta 2\theta)$ 之间, 已过成岩作用晚期阶段 $0.42^\circ(\Delta 2\theta)$ 的界线, 而达到极低变质作用阶段; 有19.3%的 IC 值分布于 $0.51^\circ\sim 0.60^\circ(\Delta 2\theta)$ 之间, 反映了研究区内更低的成岩演化阶段。从伊利石结晶度测试结果的平面分布(图1)可以看出, 成岩作用晚期与极低级变质作用的分界线在区域上的分布非常具有规律性: 从岷江向北经川主寺到若尔盖一线以东地区变质作用增强; 从岷江经毛尔盖到红原一线以南的地区变质作用增强的趋势非常明显; 在研究区西侧可以看出在阿坝到久治一线也反映出成岩演化程度稍高。而只有以唐克为中心的成岩演化程度较低, 伊利石结晶度 IC 值大于 $0.42^\circ(\Delta 2\theta)$, 尚处于成岩作用阶段。

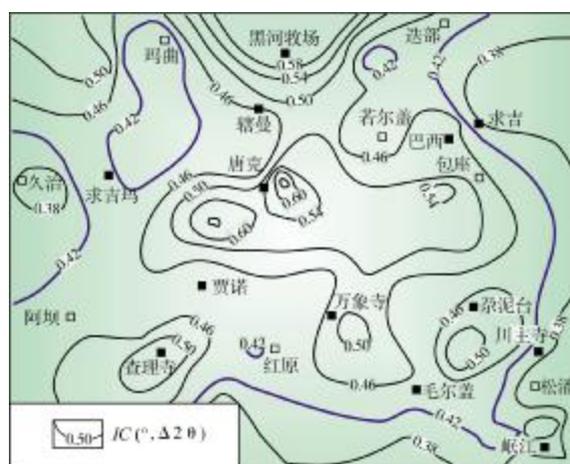


图1 松潘—阿坝地区三叠系伊利石结晶度 (IC) 平面分布图

(据刘伟新^[12], 有修改)

图中 $0.42^\circ(\Delta 2\theta)$ IC 线为极低变质带与成岩作用晚期阶段的分界线

致谢: 本文在撰写过程中参考了《石油地质样品分析测试技术方法体系的建立》^②、《石油有机地化新技术方法研究与应用》^③、《油藏地球化学新技术方法研究及规范标准制定》^④ 和《松潘阿坝地区烃源岩及油气资源潜力评价》^⑤ 的有关项目资料, 在此对各项目组同行深表感谢。

符号说明

“A”——氯仿沥青“A”, %;	OEP——烷烃奇偶优势碳指数;
CAI——牙形刺色变指数;	PAP——芳烃质子百分率;
D——降解潜率, = PC/TOC×100, %;	PC——有效碳, %;
DNR——二甲基萘比值;	PG——产烃潜量, =S ₀ +S ₁ +S ₂ , mg/g;
DPI——二甲基菲指数;	PI——产率指数, =S ₀ +S ₁ /(S ₀ +S ₁ +S ₂);
DPR——二甲基菲比值;	Pr/Ph——姥鲛烷/植烷(峰面积值)比;
EqVR——等效镜质组反射率, %;	R _b ——沥青镜质体反射率, %;
F ₀ ——初始荧光强度;	R _o ——烃镜质组反射率, %;
F ₄₀₀ ——400s 时的最终荧光强度;	S ₀ ——气态烃量, mg/g;
HCI——烃指数, =(S ₀ +S ₁)/TOC×100, mg/g;	S ₁ ——游离烃量, mg/g;
HI——氢指数, = S ₂ /TOC×100, mg/g;	S ₂ ——热解烃量, mg/g;
IC——反映伊利石结晶度的 Kubler 指数, °(Δ2θ);	S ₃ ——二氧化碳含量, mg/g;
MPI——甲基菲指数;	SCI——孢粉色变指数;
MPR——甲基菲比值;	TI——类型指数;
MNR——甲基萘比值;	TOC——总有机碳, %;
Ng——自由基浓度, μg/g;	T _{max} ——S ₂ 峰的最高热解温度, °C。
OI——氧指数, =S ₃ /TOC×100, mg/g;	

引用的国家标准、行业标准和企业标准

- [1] 国家质量技术监督局. GB/T 18602-2001 岩石热解分析[S]. 北京: 中国标准出版社, 2001.
- [2] 国家质量技术监督局. GB/T 18606-2001 气相色谱-质谱法测定沉积物和原油中生物标志物[S]. 北京: 中国标准出版社, 2001.
- [3] 国家质量技术监督局. GB/T 18340.1-2001 轻质原油气相色谱分析方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2001.
- [4] 国家质量技术监督局. GB/T 18340.2-2001 有机质稳定碳同位素组成分析方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2001.
- [5] 国家质量技术监督局. GB/T 18340.5-2001 岩石可溶有机物和原油中饱和烃气相色谱分析方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2001.
- [6] 中国石油天然气总公司. GB/T 19143-2003 岩石有机质中碳、氢、氧微量分析方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- [7] 中国石油天然气总公司. GB/T 19145-2003 沉积岩中总有机碳测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- [8] 中华人民共和国石油工业部. SY 5121-86 岩石有机质及原油红外光谱分析方法[S]. 北京: 石油工业出版社, 1986.
- [9] 中国石油天然气总公司. SY/T 5239-1991 石油和沉积有机质的氢、碳同位素分析方法[S]. 北京: 石油工业出版社, 1991.
- [10] 中国石油天然气总公司. SY/T 5912-1994 牙形石分析鉴定方法[S]. 北京: 石油工业出版社, 1994.
- [11] 中国石油天然气总公司. SY/T 5124-1995 沉积岩中镜质组反射率测定方法[S]. 北京: 石油工业出版社, 1995.
- [12] 中国石油天然气总公司. SY/T 5119-1995 岩石可溶有机物和原油族组分柱层析分析方法[S]. 北京: 石油工业出版社, 1995.
- [13] 中国石油天然气总公司. SY/T 5777-1995 岩石可溶有机物和原油的核磁共振氢谱与碳谱分析方法[S]. 北京: 石油工业出版社, 1995.
- [14] 中国石油天然气总公司. SY/T 5125-1996 透射光—荧光干酪根显微组分鉴定及类型划分方法[S]. 北京: 石油工业出版社, 1996.
- [15] 中国石油天然气总公司. SY/T 6188-1996 岩石热解气相色谱分析方法[S]. 北京: 石油工业出版社, 1996.
- [16] 中国石油天然气总公司. SY/T 6196-1996 岩石氯仿抽提物和原油芳烃气相色谱分析方法[S]. 北京: 石油工业出版社, 1996.
- [17] 中国石油天然气总公司. SY/T 5125-1996 透射光—荧光干酪根显微组分鉴定及类型划分方法[S]. 北京: 石油工业出版社, 1996.
- [18] 中国石油天然气总公司. SY/T 5162-1997 岩石样品扫描电子显微镜分析方法[S]. 北京: 石油工业出版社, 1998.
- [19] 中国石油天然气总公司. SY/T 6338-1997 岩石可溶有机物和原油族组分棒薄层火焰离子化分析方法[S]. 北京: 石油工业出版社, 1997.
- [20] 中国石油天然气总公司. SY/T 6414-1999 全岩光片显微组分测定方法[S]. 北京: 石油工业出版社, 1999.
- [21] 中国石油天然气总公司. SY/T 5915-2000 孢粉分析鉴定[S]. 北京: 石油工业出版社, 2000.
- [22] 中国石油天然气总公司. SY/T 6009.1-2003 酸解烃测定

- [S]. 北京:石油工业出版社,2003.
- [23] 中国石油天然气总公司. SY/T 5118-2005 岩石中氯仿沥青的测定脂肪抽提器法[S]. 北京:石油工业出版社,2005.
- [24] 地质矿产部石油地质海洋地质局. DZS 2001.7-1994 岩石中氟里昂抽提石油地质分析测试方法,石油地质分析测试方法(内部资料)[S]. 1994.
- [25] 地质矿产部石油地质海洋地质局. DZS 2001.8-1994 岩石中气态烃的酸解提取及色谱定量分析方法,石油地质分析测试方法(内部资料)[S]. 1994.
- [26] 地质矿产部石油地质海洋地质局. DZS 2001.16-1994 芳香烃馏分同系物的色谱—质谱分析鉴定方法,石油地质分析测试方法(内部资料)[S]. 1994.
- [27] 地质矿产部石油地质海洋地质局. DZS 2001.21-1994 岩石样品热解模拟制备及生烃量分析方法,石油地质分析测试方法(内部资料)[S].1994.

参考文献

- [1] 中国石油化工集团公司,中国石油化工股份有限公司. 中国石化油田标准体系[S]. 北京:中国石化出版社,2006.
- [2] 秦建中. 中国烃源岩[M]. 北京:科学出版社,2005.
- [3] Kalkreuth W, Sherwood N, Cioccaro G, et al. The application of FMM analyses for evaluating rank of Parana basin coals, Brazil [J]. International Journal of Coal Geology 2004, (57): 167-185.
- [4] Wilkins R W T, Wilmshurst J R, Russell N J, et al. Fluorescence alteration and the suppression of vitrinite reflectance [J]. Organic Geochemistry, 1992, 18(5): 629-640.
- [5] Wilkins R W T, Wilmshurst J R, Hladky G, et al. Should fluorescence alteration replace vitrinite reflectance as a major tool for thermal maturity determination in oil exploration? [J]. Organic Geochemistry, 1995, 22(1):191-209.
- [6] 郭汝泰,王建国,高喜龙,等. 应用激光探针技术评价烃源岩成熟度——以东营凹陷生油岩研究为例 [J]. 自然科学进展,2003,13(6):626-630.
- [7] 张林晔,蒋有录,刘华,等. 东营凹陷油源特征分析[J]. 石油勘探与开发,2003,30(3):61-64.
- [8] Jacob H. Classification, structure, genesis and practical importance of natural solid bitumen ("migrabitumen")[J]. International Journal of Coal Geology,1989,11:65-79.
- [9] 丰国秀,陈吉盛. 岩石中沥青反射率与镜质组反射率之间的关系[J]. 天然气工业,1988,8(3):20-25.
- [10] Kubler, B. Les argiles, indicateurs de metamorphisme[J]. Revue de l' Institut Francais du Petrole,1964, 19:1093-1112.
- [11] Kubler, B. La cristallinite de l'illite et les zones tout a fait superieures du metamorphisme; In Etages Tectoniques - Colloque de Neuchatel, April 18-21,1966 [C]. A la Baconniere, Neuchatel, Switzerland, 1967:105-122.
- [12] 刘伟新,王延斌,秦建中. 川北阿坝地区三叠系粘土矿物特征及地质意义[J]. 地质科学,2007,42(3):469-482.

编辑:赵国宪

Assembling and Optimizing Methods for Experimental Analysis Items in Source Rock Evaluation

Cao Yin, Qian Zhihao, Zhang Qu

Abstract: Mature technology and methods of experiment and analysis have formed and a large number of the national and industry standards associated with most of them have published in China. Based upon many year's work practice and experience, a useful project of assembling and optimizing methods for experimental analysis items in source rock evaluation was put forward to be able to make good experimental quality and benefit and save cost. Aiming at the validity and limitation to different analysis items and research purposes, the research items that are classified into basal, selective and complementary ones are optimized and assembled into some testing and analysis methods for the quick sieving of source rock samples, the systematic evaluation of source rocks and the special analysis of Paleozoic marine source rocks.

Key words: Early Paleozoic; Marine source rock; Source rock evaluation; Geochemical Experiment and analysis; Analysis method; Method optimization and assembly

Cao Yin: Female, Prof., Senior Geochemist. Add: Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SEPRI, 210 Huiqian Rd., Wuxi, Jiangshu, 214151 China