

新疆A地区烃源岩干酪根显微组分特征浅析

李 健, 邓松良, 姚 瑶

新疆矿产实验研究所, 新疆 乌鲁木齐
Email: ximenxue2004@163.com

收稿日期: 2021年5月26日; 录用日期: 2021年6月22日; 发布日期: 2021年6月29日

摘 要

通过对新疆A地区烃源岩干酪根样品有机质类型显微组分特征研究, 确定生烃方向和生烃潜力, 对页岩油气资源进行潜力评价。结果表明: $TI \geq 80$ 的I型干酪根有4件, 占比2.21%; $40 < TI < 80$ 的II₁型有77件, 所占百分比42.54%; $0 < TI < 40$ 的II₂型有62件, 占34.25%; $TI < 0$ 的III型有44件, 占20.99%。样品烃源岩有机质类型好, 包含大量的腐泥型、腐泥型-混合型, 样品整体以II型为主, 不仅能形成油, 还能形成大量的气, 即油伴生气; III型次之, 生烃能力相对较差, 主要形成气态烃; I型含量最少。

关键词

干酪根, 有机质类型, 页岩油气

Study on Characteristics of Microscopic Composition of Source Rock Kerogen in Area A, Xinjiang

Jian Li, Songliang Deng, Yao Yao

Xinjiang Mineral Experimental Research Institute, Urumqi Xinjiang
Email: ximenxue2004@163.com

Received: May 26th, 2021; accepted: Jun. 22nd, 2021; published: Jun. 29th, 2021

Abstract

By studying the characteristics of the organic matter types of the source rock kerogen samples in area A of Xinjiang, the hydrocarbon generation direction and potential are determined, and the

potential of shale oil and gas resources is evaluated. The results show that: Type I kerogen has 8 cases of $TI \geq 80$, accounting for 4.04%; Type II₁ kerogen has 77 cases of $40 < TI < 80$, accounting for 38.89%; Type II₂ kerogen has 69 cases of $40 < TI < 80$, accounting for 34.85%; Type III kerogen has 44 cases of $TI < 0$, accounting for 22.22%. The sample source rock has good organic matter type and contains a large amount of sapropel type, sapropel-mixed type. The whole sample is mainly type II, not only can form oil, but also form a lot of gas, that oil and gas; Type III secondly, the hydrocarbon generation capacity is relatively poor, mainly the formation of gaseous hydrocarbons; the content of I type the least.

Keywords

Kerogen, Organic Matter Types, Shale Oil and Gas

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着美国在页岩气这一非常规天然气聚集类型上开展商业性勘探开发,并在产量、经济、技术等指标上取得成功,这一新能源引起了全球广泛关注与重视。中国具备页岩气开发的地质与储量优势,但我国研究起步较晚,2000年以后页岩气分析测试实验室才基本成型,研究体系、规模、评估指标及测试方法趋于成熟、完善。页岩主要是由小粒径的碎屑矿物、黏土和有机质在漫长的地质演化中经沉积、压实、脱水、重结晶、热化学和生物降解形成,组成复杂,其中油页岩和碳质页岩富含有机质,与沉积环境和原始沉积物质有关,是最具开发价值的两类页岩。国内页岩气研究区主要集中在北部的松辽盆地、鄂尔多斯盆地、渤海湾盆地,西部的准噶尔盆地、吐哈盆地、塔里木盆地、羌塘盆地,南部的四川盆地、中下扬子以及滇黔桂地区。页岩气的储量评估和产气能力评价主要依据页岩储层岩性、结构、成因和页岩气赋存形式、成藏特征、成藏条件等方面的研究。研究确定目标区烃源岩的有机质来源、有机质类型、生烃方向和生烃潜力。页岩气的主要生气母源是干酪根。干酪根本身没有固定的化学成分,结构复杂,部分短链分子形成以天然气存在的气态烃。有机质热演化程度测定和有机质类型鉴定的组分都为干酪根。演化程度是烃源岩评价的最主要指标之一。有机质类型也是评价烃源岩生烃潜力的重要参数之一,通常利用干酪根显微组分划分有机质类型[1]-[10],是有机相最根本的组成单位,可以根据沉积特征、组分组合反映烃源岩的岩石学和地球化学性质。通过对新疆A地区烃源岩干酪根样品有机质类型显微组分特征研究,确定生烃方向和生烃潜力,可以为该区页岩气勘探开发提供基础资料和理论依据,对页岩油气资源进行潜力评价。

2. 研究方法

页岩气储层研究层位岩性变化较为复杂,岩性以黑色、暗色泥质页岩,炭质、硅质岩为主,部分层段发育灰岩,同时伊/蒙混合物与黄铁矿含量较高。通过在新疆矿产实验研究所(国土资源部乌鲁木齐矿产资源监督检测中心)室内提取干酪根组分制备薄片,通过显微镜透射光、荧光鉴定显微组分特征及划分类型。测试依据:SY/T 51252-1996;仪器设备:Leica DM4500P 偏反光显微镜。测试结果见表1。

Table 1. TI value of kerogen type
表 1. 干酪根类型 TI 值

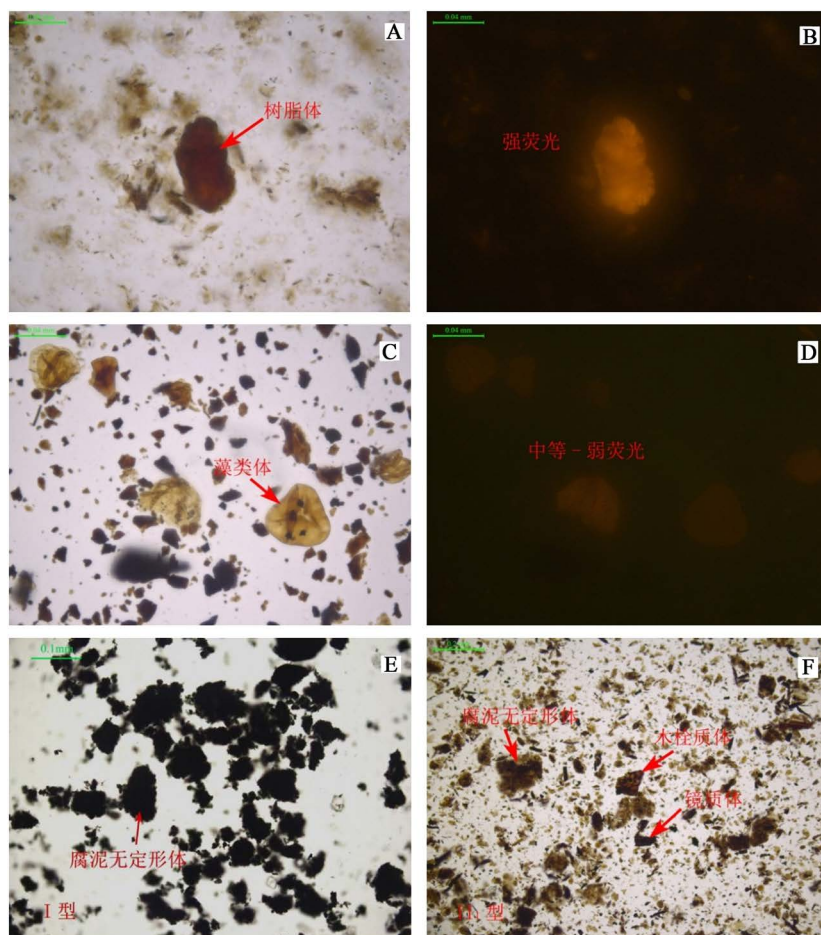
批号	个数	干酪根类型 TI 值													
Y1	13	66.50	71.50	59.00	65.50	43.00	32.75	52.75	12.25	82.25	16.00	-52.50	90.75	12.25	
Y2	13	-13.50	5.90	25.00	-24.50	24.50	1.15	3.15	-17.45	-16.75	23.90	28.25	3.50	2.50	
Y3	12	-18.75	-19.50	48.00	38.50	39.50	34.25	38.25	39.50	10.50	40.25	41.75	23.75		
Y4	14	-19.15	-28.50	-34.60	44.25	53.65	-36.90	-37.75	50.90	55.60	67.25	13.25	-37.50	49.00	45.00
Y5	14	-30.00	-41.75	45.00	62.50	-43.00	47.50	22.75	-25.10	82.20	84.20	-11.25	25.75	32.25	6.00
Y6	12	-9.00	20.25	67.50	63.15	12.00	27.50	25.00	43.75	47.75	-28.50	18.00	19.00		
Y7	26	37.50	42.50	33.25	39.75	20.25	38.75	45.75	34.00	45.25	46.00	1.00	-2.50	19.25	2.50
		13.75	8.50	33.75	-16.50	19.75	40.00	61.50	-3.50	4.50	4.00	31.25	27.25		
Y8	27	39.00	42.00	67.50	37.50	48.75	27.25	48.75	41.75	-66.50	-60.2	-39.25	39.75	-33.50	-35.75
		37.00	-25.00	39.50	36.50	61.50	64.00	46.25	44.50	37.00	-4.25	14.75	13.00	55.25	
Y9	25	-10.50	63.75	69.25	16.50	53.00	59.75	60.25	64.00	50.00	25.25	50.00	58.75	46.75	41.75
		52.50	53.75	46.50	57.25	53.50	49.75	53.50	45.50	62.00	49.25				
Y10	13	69.50	61.50	62.50	63.50	60.75	-19.00	66.00	45.25	47.00	64.50	53.25	42.00	23.25	
Y11	13	-5.00	-79.00	-20.00	-19.25	-71.50	-0.25	43.00	78.25	80.75	86.25	85.75	90.00	16.00	

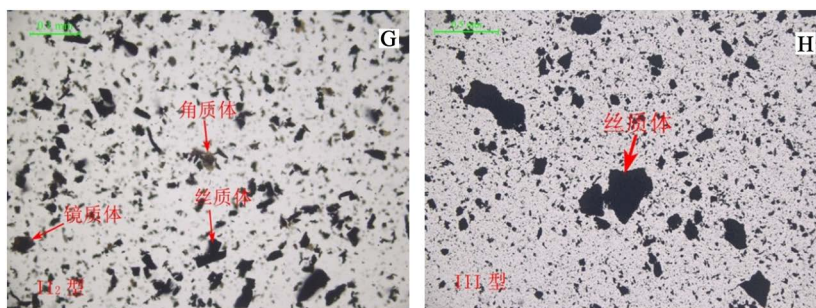
2.1. 干酪根组分特征分析

气态烃具有多种来源，有机成因的包括原始沉积有机质、干酪根、大分子烃类及分散的可溶有机质均可产生，有机质热演化的未成熟阶段通过生物化学作用产生生物气；低成熟阶段 - 高成熟阶段 I 型和 II 型干酪根发生热解作用，干酪根长链上的短链断裂，能形成油及大量的油伴生气，I 型干酪根富含脂类化合物，主要生成油及少量甲烷，II 型在还原环境下由浮游动植物及微生物经沉积变质形成混合有机物，以生油为主，生成少量烃气；III 型主要来源于陆生植物的木质素、纤维素及植物碎屑等，与前两型干酪根相比，在低成熟阶段只能生成非常少量的石油和甲烷[11] [12] [13] [14] [15]，生烃能力相对较差，在有机质成熟 - 高成熟的热演化阶段，短链极易断裂形成气态烃；在有机质高成熟 - 过成熟热演化阶段，干酪根生成的液态石油、重烃气及某些分散有机质在高温条件下易发生裂解作用，C-C 键断裂加氢形成分子质量低的气态烃，即热解气(干气)。富氢的有机质主要生油，氢含量较低的有机质以生气为主，且不同干酪根、不同演化阶段生气量有较大变化，所以生成烃类的数量、类型、成烃的形态都受有机质类型直接影响。海洋或湖泊环境下形成的有机质(I 型和 II 型)易于生油，随热演化程度增加，原油裂解成气；陆相环境下形成的有机质(III 型)主要生气。各种显微组分的是否有荧光及荧光强度反映一定的生烃生油潜力，而腐泥组及壳质组含量高反映的生油潜力也高，镜质组及惰质组在一定程度上指示有机质质量差，氧化程度高，生油生气潜力低。以煤岩显微组分命名分类为基础，利用生物光学显微镜，结合烃源岩中有机显微组分特征，在透射光 - 荧光条件下对干酪根湿样制成的干酪根薄片中的有机质进行形态、组构特征的鉴定，确定有机显微组分及其原始母源组成，对不同的干酪根显微组分采用不同加权系数，经数理统计得出干酪根样品的类型指数。显微组分加权系数的大小代表了该显微组分生烃能力的相对大小，是计算类型指数 TI 值的基础数据之一。然后根据 TI 值确定干酪根类型：

$TI = 100 * a + 100 * b1 + 50 * b2 + 10 * c1 + (-75) * c2 + (-100) * d$ 。当类型指数 $TI \geq 80$ ，干酪根为 I 型； $40 < TI < 80$ 时，干酪根为 II₁ 型； $0 < TI < 40$ 时，干酪根为 II₂ 型； $TI < 0$ 时，为 III 型。

通过对 181 件样品的显微组分分析, 带入类型指数 TI 值公式计算, 结果见表 1。实验样品含有腐泥组, 壳质组、镜质组以及惰性组(图 1), 多由两种以上组分组成, 以某几类显微组分为主, 不存在完全单一的类型。腐泥组主要为低等水生生物藻类及腐泥化藻类, 浮游藻类体具各种突起和外形, 颜色淡黄色 - 黄褐色 - 黑褐色, 多数颜色深者无荧光, 少数浅色藻类体见中等 - 弱荧光; 腐泥无定形体外形呈絮状、团絮状、云雾状、团块状, 颜色黄褐色 - 棕褐色 - 黑色, 无荧光至弱荧光; 偶见树脂体, 树脂体来源于高等植物的树脂、树胶、树蜡、油脂等分泌物, 一般呈大小不一的圆形、椭圆形及长条形, 颜色柠檬黄色, 多数见中等 - 弱荧光, 少数无荧光; 壳质组主要为高等植物的孢子、花粉、角质层等组织, 见有木栓质体, 外形呈不规则鳞片状、叠瓦状, 颜色棕黄色 - 棕褐色 - 黑色, 无荧光。角质体呈细长条形或齿带状, 外缘平滑内缘锯齿状, 有尖角状折曲, 颜色黄褐色 - 棕褐色, 多数为无荧光, 少数弱荧光 - 中等荧光; 孢粉体呈圆形、椭圆形等, 表面有各种纹饰或突起, 颜色淡黄色 - 棕黑色, 中等荧光 - 无荧光; 镜质组由高等植物的木质、纤维质经凝胶化作用形成, 富氢镜质体和正常镜质体颜色橙色 - 棕黑色 - 黑色, 研究区镜质体基本上都无荧光特征; 惰性组丝质体、半丝质体为不透明黑色, 形状各异, 部分保留着原始植物的细胞结构, 呈弧状, 轮廓分明, 边缘棱角状, 无荧光特征。从干酪根类型区间柱状图(图 2)可知, $TI \geq 80$ 的 I 型干酪根有 4 件, 占比 2.21%; $40 < TI < 80$ 的 II₁ 型有 77 件, 所占百分比 42.54%; $0 < TI < 40$ 的 II₂ 型有 62 件, 占 34.25%; $TI < 0$ 的 III 型有 44 件, 占 20.99%。样品烃源岩有机质类型好, 包含大量的腐泥型、腐泥型 - 混合型, 样品整体以 II 型为主, 不仅能形成油, 还能形成大量的气, 即油伴生气; III 型次之, 生烃能力相对较差, 主要形成气态烃; I 型含量最少。





(A. 树脂体形态; B. 树脂体呈强荧光; C. 藻类体形态; D. 藻类体呈中等-弱荧光 E-H: I 型干酪根; II₁型干酪根; II₂型干酪根; III 型干酪根。不同类型的干酪根其显微组分组成、含量不同, 氧化程度有异, 生烃能力的相对大小也各异)

Figure 1. Microscopic composition characteristics of kerogen

图 1. 干酪根显微组分特征

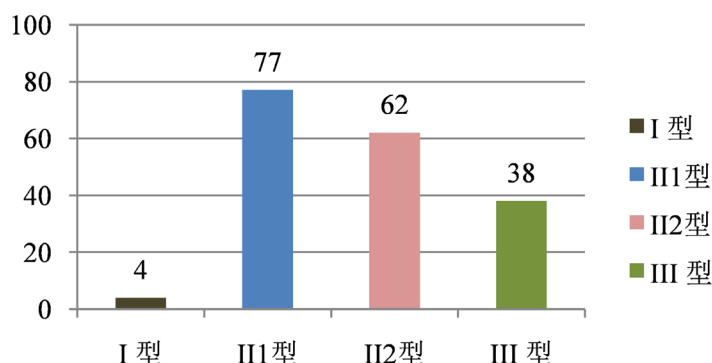


Figure 2. The interval histogram of kerogen types

图 2. 干酪根类型区间柱状图

2.2. 热演化程度分析及影响因素

镜质体反射率 R_o 的测试方法是干酪根用环氧树脂制成砂光片并表面抛光, 在波长 546 ± 5 nm 处, 用显微光度计测定镜质组抛光面的反射光强度与垂直入射光强度的比值, 再通过光电转换器转换为数字信号, 最后由计算机处理得出 R_o 值。 $R_{o,ran}$ 为镜质体随机反射率, 实测值。有机质成熟度是页岩气源岩生烃潜力的关键预测指标, 能指示有机质转化为液态石油烃与天然气的演化程度, 能反映生烃层的古地温与热历史, 镜质组母源固定, 其镜下反射率 R_o 同热演化过程一样具有严格的不可逆性, 是当前唯一可对比指标。通常认为, $R_o \geq 1.0\%$ 时是生油高峰阶段, $R_o \geq 1.3\%$ 时则转变为生气阶段, 含气页岩的成熟度越高则页岩生气量越大。演化程度不同, 有机质转化成的烃类分子不同, 矿田生油还是生气亦不同。但是, 在整个有机质向烃类转化的过程中都伴随着页岩气的生成。研究区镜质体反射率 R_o 主要集中于 $0.5\% \sim 1.8\%$ 区间范围内分布, 属于海陆过渡相 - 陆相 - 湖相页岩储层, 广泛发育富有机质页岩, 有机质成熟度属于低 - 中成熟度, 具有较好的生烃潜力, 但主要处于生油窗, 可能是良好的页岩油储层。

影响测定结果主要有以下因素: 1) 样品提取质量: 干酪根前期提取方法及质量直接影响镜下检测参数(测试点, 检测偏差, 检出率)和镜质组的代表性。2) 样品局限: ① 海相碳酸盐岩中及前石炭系因高等植物稀少, 镜质体贫乏; ② 镜质组来源复杂, 组分较多, 频带分布宽, 加权计算结果存在质疑, 高成熟段 R_o 测不准; ③ 大多数 I 型缺乏镜质体。3) 岩性: 相同层位的不同岩性, 其 R_o 测值有差别, 具体表现为: 煤岩 > 泥页岩 > 碳酸盐岩。测定结果需参考取样大背景、沉积环境及源岩。4) 镜质组类型: 镜质组可分为正常镜质体、富氢镜质体, 其中正常镜质体为 R_o 指标。富氢镜质体 R_o 值偏小, 镜质组颗粒

光学性质的差异使得 R_o 测值离散度偏高, 需足够的测试点才具代表性。5) 变质程度。不同热变程度表现出不同敏感性, 低成熟阶段芳香度和缩合度变化较小, R_o 值不灵敏; 高成熟度阶段, 芳香核有序排列增高, 反射率升高, R_o 值灵敏度提高。

3. 结论

通过对新疆 A 地区大量烃源岩干酪根显微组分特征进行分析, 可得到以下结论:

1) 181 件样品的显微组分分析结果表明, 样品烃源岩有机质类型好, 包含大量的腐泥型、腐泥型 - 混合型, 样品整体以 II 型为主, 不仅能形成油, 还能形成大量的气, 即油伴生气; III 型次之, 生烃能力相对较差, 主要形成气态烃; I 型含量最少。

2) 页岩有机质特征是影响页岩含气量的主要因素之一。新疆 A 地区属于海陆过渡相 - 陆相 - 湖相页岩储层, 富有机质页岩发育广泛, 有机质成熟度属于低 - 中成熟度, 具有较好的生烃潜力, 但主要处于生油窗, 可能是良好的页岩油储层。结合有机质丰度、区域地址特征、页岩气储集条件、保存条件等综合研究, 将为该区页岩气勘探开发、页岩气远景区评价预测提供基础资料和理论依据。

参考文献

- [1] 张金川, 金之钧, 袁明生. 页岩气成藏机理和分布[J]. 天然气工业, 2004, 24(7): 15-18.
- [2] 李婧婧. 博格达山北麓二叠系芦草沟组油页岩地球化学特征研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国地质大学, 2009.
- [3] 孙立中, 李显宗, 蔡龙珀. 混合煤样最大热解峰温与镜质体反射率的研究[J]. 石油实验地质, 2007, 29(3): 298-300.
- [4] 李欣, 段胜凯, 孙扬, 等. 美国页岩气最新进展[J]. 天然气工业, 2011, 31(8): 124-126.
- [5] 沈忠民, 魏金花, 朱宏权, 等. 川西坳陷煤系烃源岩成熟度特征及成熟度指标对比研究[J]. 矿物岩石, 2009, 29(4): 83-88.
- [6] 董大忠, 邹才能, 杨桦, 等. 中国页岩气勘探开发进展与发展前景[J]. 石油学报, 2012, 33(增刊): 107-114.
- [7] 庞长英, 连军利, 吴一凡, 等. 美国页岩油气开发技术及对我国的启示[J]. 石油地质与工程, 2012, 26(5): 62-66.
- [8] 付亚荣. 中国页岩气发展现状及前景展望[J]. 石油地质与工程, 2013, 27(6): 19-22.
- [9] 康玉柱. 中国非常规泥页岩油气藏特征及勘探前景展望[J]. 天然气工业, 2012, 32(4): 1-5.
- [10] 邹才能, 董大忠, 王社教, 等. 中国页岩气形成机理、地质特征及资源潜力[J]. 石油勘探与开发, 2010, 37(6): 641-653.
- [11] 闫德宇, 黄文辉, 张金川. 鄂尔多斯盆地海陆过渡相富有机质泥页岩特征及页岩气意义[J]. 地学前缘, 2015, 22(6): 197-206.
- [12] 宋岩, 姜林, 马行陟. 非常规油气藏的形成及其分布特征[J]. 古地理学报, 2013, 15(5): 605-613.
- [13] 任战利, 田涛, 李进步, 等. 沉积盆地热演化史研究方法 with 叠合盆地热演化史恢复研究进展[J]. 地球科学与环境学报, 2014, 36(3): 1-20.
- [14] 程鹏, 肖贤明. 很高成熟度富有机质页岩的含气性问题[J]. 煤炭学报, 2013, 38(5): 737-741.
- [15] 董立, 赵旭, 涂乙. 页岩气成藏条件与评价体系[J]. 石油地质与工程, 2014, 28(1): 18-21.