

文章编号:1009-3850(2018)01-0082-07

## 大巴山前缘五峰组-龙马溪组干酪根碳同位素特征与有机质类型

门玉澎<sup>1</sup>, 余 谦<sup>1</sup>, 戚明辉<sup>2</sup>, 孙媛媛<sup>1</sup>, 闫剑飞<sup>1</sup>,  
康建威<sup>1</sup>, 林家善<sup>1</sup>, 赵安坤<sup>1</sup>

(1. 中国地质调查局成都地质调查中心, 四川 成都 610081; 2. 四川省科源工程技术测试中心, 四川 成都 610091)

**摘要:**大巴山前缘五峰组-龙马溪组有机质类型组成存在较大争议。在万源曹家、城口周溪、巫溪田坝、巫溪白鹿和巴东两河口等地区采集代表性样品进行有机碳含量、成熟度和干酪根碳同位素分析。五峰组-龙马溪组  $\delta^{13}\text{C}$  组成分布为  $-31.1\text{‰} \sim -28.2\text{‰}$ , 田坝地区  $\delta^{13}\text{C}$  最轻, 两河口地区  $\delta^{13}\text{C}$  最重。大巴山前缘干酪根类型是碳同位素组成的主要控制因素, 有机质成熟度和有机碳含量影响较小。当有机质处于高成熟演化阶段, 有机碳含量越高,  $\delta^{13}\text{C}$  组成偏轻; 有机质处于过成熟演化阶段, 有机碳含量越高,  $\delta^{13}\text{C}$  组成偏重, 变化幅度小于  $1.2\text{‰}$ 。按照干酪根碳同位素组成划分干酪根类型原则, 大巴山前缘五峰组-龙马溪组有机质类型为 I 型(腐泥型)和 II 型(腐殖腐泥型)。

**关键词:**五峰组; 龙马溪组; 干酪根碳同位素; 有机质类型

**中图分类号:**TE122; P597+.2

**文献标识码:**A

### 引言

在页岩气资源评价过程中, 富有机质泥页岩生烃潜力是重要的评价指标<sup>[1-4]</sup>。分析生烃潜力的主要参数包括有机碳含量、成熟度和有机质类型, 其中明确生烃母质类型对页岩气资源潜力评价具有重要意义<sup>[5-6]</sup>。

张志平、余川等人<sup>[7-9]</sup>研究认为, 大巴山前缘五峰组-龙马溪组富有机质泥页岩厚度大、分布面积广、有机碳含量高、处于高-过成熟热演化阶段, 但在有机质类型组成方面存在较大争议<sup>[8-10]</sup>。张志平等<sup>[8]</sup>通过有机质显微组分分析, 认为渝东北地区五

峰组-龙马溪组有机质类型为腐殖型(III型)。武瑾等人<sup>[9]</sup>通过对巫溪地区 W1 井五峰组-龙马溪组有机质显微组分分析, 认为有机质类型为混合型(II 1-II 2)。张琴等人<sup>[10]</sup>通过恢复后的热解指标图版, 识别南方地区志留系页岩有机质类型以腐泥型(I型)为主, 兼有混合型(II型), 缺乏腐殖型(III型)。

干酪根碳同位素与有机质母质碳同位素基本一致, 是判断有机质类型的可靠指标<sup>[11-17]</sup>。对大巴山前缘五峰组-龙马溪组富有机质页岩采集代表性样品, 进行干酪根碳同位素测定, 分析其影响因素, 明确有机质类型, 对区域页岩气资源评价具有重要意义。

**收稿日期:** 2017-05-07; **改回日期:** 2017-07-06

**作者简介:** 门玉澎(1981-), 男, 高级工程师, 现从事页岩气资源调查与评价工作。E-mail: 404582779@qq.com

**资助项目:** 四川盆地页岩气基础地质调查

## 1 地质背景

大巴山前缘是指四川盆地以北、城巴断裂以南、米仓山以东、神农架以西地区。构造上主体位于南大巴山冲断带内,断裂发育,地层揉皱作用强烈,构造复杂。五峰组-龙马溪组岩性主要由炭质硅质页岩、炭质页岩、炭质粉砂质页岩、含炭质粉砂质页岩组成,间夹粉砂岩、斑脱岩。

研究区五峰组-龙马溪组富有机质泥页岩厚度20.0~89.8m(巫溪2井),具有面状分布的特点,巫溪文峰-田坝地区最厚,向东西两侧厚度减薄。有机碳含量普遍较高,最高可达8%,平均有机碳含量为2.86%。有机质成熟度处于高成熟-过成熟演化阶段。石英等脆性矿物含量普遍较高。适宜的比表面积为页岩气提供较多的可吸附空间。总体而言,大巴山前缘五峰组-龙马溪组具有较好的页岩气富集物质基础<sup>[7-9,18]</sup>。

## 2 样品采集及实验

### 2.1 采样

根据研究区五峰组-龙马溪组富有机质泥页岩呈东西向平面展布特征,在万源曹家、城口周溪、巫溪田坝、巫溪白鹿、巴东两河口进行系统采样(图1)。采集样品为炭质硅质页岩、炭质页岩、炭质粉砂质页岩,普遍含笔石化石。

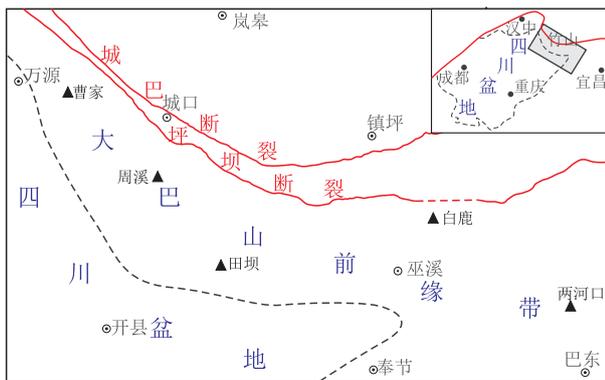


图1 研究区位置及采样点分布图

Fig. 1 Location and sampling sites in the frontal area of the Daba Mountains

### 2.2 实验方法

根据熊永强(2004)、卢进才(2010)、张大江(1991)等人研究结果<sup>[15-16]</sup>,影响干酪根碳同位素组

成变化的因素有干酪根类型、有机碳含量和有机质成熟度。因此对采集样品进行有机碳含量、成熟度和干酪根碳同位素分析,探讨大巴山前缘五峰组-龙马溪组干酪根类型、有机碳含量和成熟度对干酪根碳同位素组成的影响。

样品测试均在国土资源部页岩气资源勘查重点实验室完成。有机碳含量分析采用美国LECO公司生产的CS-400碳硫分析仪进行测定。有机质成熟度采用德国蔡司公司生产的AxioScope A1偏光显微镜进行有机显微组分法测定。干酪根碳同位素采用美国Thermo Scientific公司MAT253稳定同位素质谱仪测定。

## 3 干酪根碳同位素特征及影响因素

### 3.1 干酪根碳同位素特征

测试结果如表1所示,五峰组 $\delta^{13}\text{C}$ 值分布在-30.9‰~-28.3‰,平均值-29.9‰。其中 $\delta^{13}\text{C}$ 值小于-30.0‰的样品数占测试样品总数57.1%(图2),主要分布在田坝地区、周溪地区和白鹿地区。两河口地区 $\delta^{13}\text{C}$ 略增重。

龙马溪组 $\delta^{13}\text{C}$ 值分布在-31.1‰~-28.2‰,平均值-29.9‰。 $\delta^{13}\text{C}$ 值小于-30.0‰的样品数占测试样品总数53.6%(图2),主要分布在田坝、周溪、白鹿地区。两河口和曹家地区 $\delta^{13}\text{C}$ 略增重,与五峰组特征相似。

不同采样点五峰组-龙马溪组 $\delta^{13}\text{C}$ 具有明显不同的特征。田坝地区 $\delta^{13}\text{C}$ 值分布区间介于-31.1‰~-29.9‰,平均值为-30.5‰,其中小于-30.0‰的样品数占90.0%。周溪地区 $\delta^{13}\text{C}$ 值分布区间介于-30.9‰~-29.8‰,平均值为-30.3‰,其中小于-30.0‰的样品数占75.0%。白鹿地区 $\delta^{13}\text{C}$ 值分布区间介于-30.9‰~-29.8‰,平均值为-30.3‰,其中小于-30.0‰的样品数占70.0%。曹家地区 $\delta^{13}\text{C}$ 值分布区间介于-30.2‰~-29.6‰,平均值为-29.9‰,其中小于-30.0‰的样品数占25.0%。两河口地区 $\delta^{13}\text{C}$ 值分布区间介于-28.9‰~-28.2‰,平均值为-28.5‰。

根据上述特征分析,大巴山前缘地区五峰组和龙马溪组具有近似的 $\delta^{13}\text{C}$ 组成。田坝地区 $\delta^{13}\text{C}$ 最轻,两河口地区 $\delta^{13}\text{C}$ 最重,两个地区 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值相差1.99‰。在区域上,巫溪田坝地区向曹家地区和两河口地区均呈现出 $\delta^{13}\text{C}$ 组成略增重的特点。

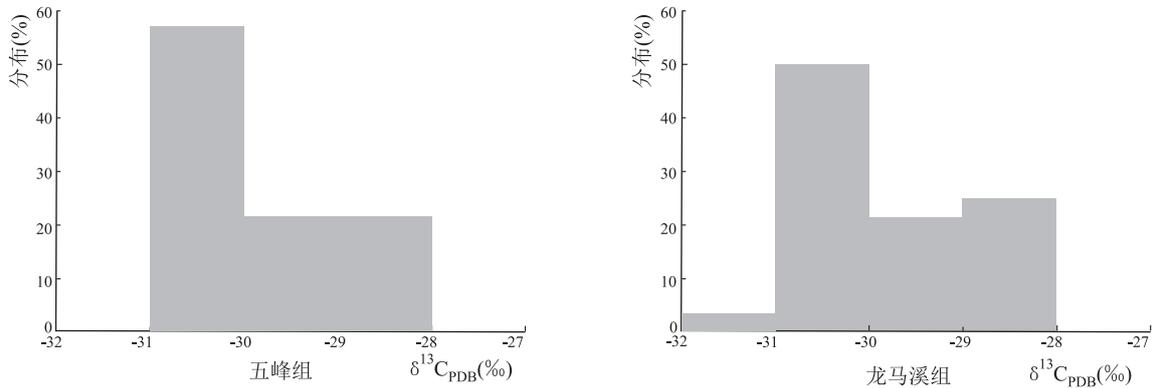
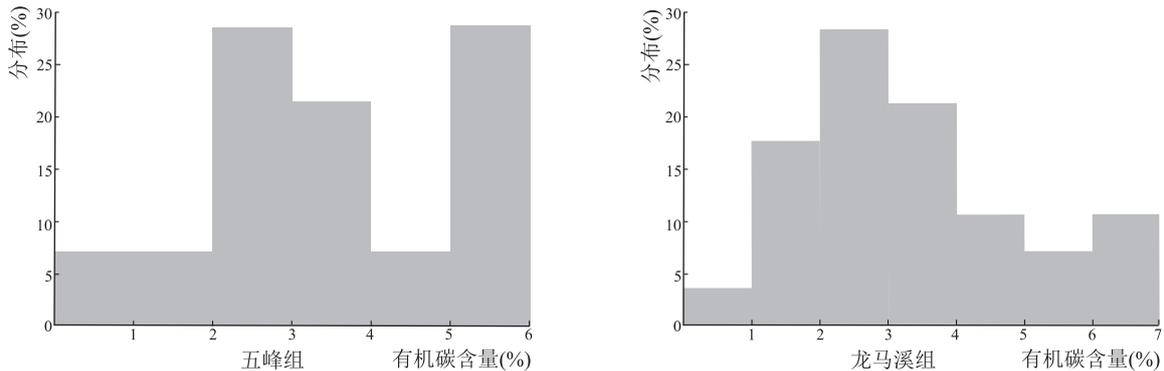
图2 五峰组-龙马溪组  $\delta^{13}\text{C}$  分布特征Fig. 2 Histograms showing the distribution of  $\delta^{13}\text{C}$  values in the Wufeng Formation-Longmaixi Formation

图3 五峰组-龙马溪组有机碳含量分布特征

Fig. 3 Histograms showing the distribution of total organic carbon contents in the Wufeng Formation-Longmaixi Formation

### 3.2 有机碳特征

五峰组有机碳含量介于 1.62% ~ 5.75%，平均值为 3.49%，主要分布区间在 2.0% ~ 6.0% (图 3)。龙马溪组有机碳含量介于 0.72% ~ 8.22%，平均值为 3.50%，主要分布区间在 1.0% ~ 5.0% (图 3)。

在平面上，五峰组-龙马溪组有机碳含量平均 3.49%。田坝地区平均有机碳含量为 3.86%，曹家地区平均有机碳含量为 4.49%，周溪地区平均有机碳含量为 3.76%，白鹿地区平均有机碳含量为 3.27%，两河口地区平均有机碳含量为 2.73%。综合分析有机碳含量数据，大巴山地区五峰组-龙马溪组有机碳含量在田坝、曹家、周溪、白鹿地区较高，两河口地区略低，均显示具有较好的页岩气资源丰度。

### 3.3 有机质热演化程度特征

镜质体反射率 ( $R_o$ ) 是有机质热演化程度的重要指征。五峰组  $R_o$  介于 1.76% ~ 2.82%，平均值

为 2.08%，主要分布区间在 1.5% ~ 2.5% (图 4)。田坝和两河口地区  $R_o$  普遍大于 2.0%，周溪和白鹿地区小于 2.0%。龙马溪组  $R_o$  介于 1.64% ~ 2.94%，平均值为 2.05%，主要分布区间在 1.50% ~ 2.50% (图 4)，变化特征与五峰组一致。同一个地区五峰组和龙马溪组  $R_o$  值近似，不同地区演化差异是造成研究区  $R_o$  值变化的主控因素。

五峰组-龙马溪组有机质成熟度平均值为 2.06%。田坝地区  $R_o$  平均值为 2.21%，曹家地区  $R_o$  平均值为 1.80%，周溪地区  $R_o$  平均值为 1.78%，白鹿地区  $R_o$  平均值为 1.92%，两河口地区  $R_o$  平均值为 2.61%。按照有机质热演化程度划分标准，田坝地区和两河口地区平均  $R_o$  值大于 2.0%，有机质处于过成熟演化阶段，周溪、白鹿和曹家地区平均  $R_o$  值大于 1.3% 且小于 2.0%，有机质处于成熟演化阶段。在区域上，北部靠近城巴断裂热演化程度低，向四川盆地方向热演化程度增高。

表 1 五峰组-龙马溪组  $\delta^{13}\text{C}$ 、TOC 及  $R_o$  特征Table 1 Determinations of  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} (\text{‰})$ , total organic carbon contents (TOC, %) and vitrinite reflectance ( $R_o$ , %) for the Wufeng Formation-Longmaxi Formation

| 序号 | 样品编号   | 样品岩性名称  | $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} (\text{‰})$ | 有机碳含量 (%) | $R_o (\%)$ | 采样点 | 采样层位 |
|----|--------|---------|---|-----------|------------|-----|------|
| 1  | MD-Y1  | 炭质页岩    | -30.20  | 5.27      | 2.06       | 田坝  | 五峰组  |
| 2  | MD-Y2  | 炭质硅质页岩  | -30.30  | 0.99      | /          | 田坝  | 五峰组  |
| 3  | MD-Y3  | 炭质粉砂质页岩 | -29.90  | 7.56      | 2.14       | 田坝  | 龙马溪组 |
| 4  | MD-Y4  | 炭质粉砂质页岩 | -30.10  | 5.23      | /          | 田坝  | 龙马溪组 |
| 5  | MD-Y5  | 炭质粉砂质页岩 | -30.50  | 3.88      | 2.29       | 田坝  | 龙马溪组 |
| 6  | MD-Y6  | 炭质粉砂质页岩 | -30.40  | 4.10      | /          | 田坝  | 龙马溪组 |
| 7  | MD-Y7  | 炭质粉砂质页岩 | -30.60  | 4.08      | 2.28       | 田坝  | 龙马溪组 |
| 8  | MD-Y8  | 炭质粉砂质页岩 | -30.90  | 3.48      | 2.16       | 田坝  | 龙马溪组 |
| 9  | MD-Y9  | 炭质粉砂质页岩 | -31.10  | 2.47      | 2.30       | 田坝  | 龙马溪组 |
| 10 | MD-Y10 | 炭质粉砂质页岩 | -30.90  | 1.55      | /          | 田坝  | 龙马溪组 |
| 11 | MD-Y11 | 炭质硅质页岩  | -29.90  | 1.15      | 1.83       | 曹家  | 龙马溪组 |
| 12 | MD-Y12 | 炭质硅质页岩  | -30.20  | 8.22      | 1.90       | 曹家  | 龙马溪组 |
| 13 | MD-Y13 | 炭质硅质页岩  | -29.80  | 3.20      | 1.72       | 曹家  | 龙马溪组 |
| 14 | MD-Y14 | 炭质页岩    | -29.60  | 5.41      | 1.75       | 曹家  | 龙马溪组 |
| 15 | MD-Y15 | 炭质页岩    | -28.50  | 5.44      | 2.82       | 两河口 | 五峰组  |
| 16 | MD-Y16 | 炭质页岩    | -28.60  | 3.74      | 2.36       | 两河口 | 五峰组  |
| 17 | MD-Y17 | 炭质页岩    | -28.30  | 2.51      | 2.46       | 两河口 | 五峰组  |
| 18 | MD-Y18 | 炭质页岩    | -28.50  | 2.71      | 2.64       | 两河口 | 龙马溪组 |
| 19 | MD-Y19 | 炭质页岩    | -28.20  | 2.85      | 2.94       | 两河口 | 龙马溪组 |
| 20 | MD-Y20 | 炭质页岩    | -28.30  | 2.18      | /          | 两河口 | 龙马溪组 |
| 21 | MD-Y21 | 炭质页岩    | -28.60  | 2.68      | /          | 两河口 | 龙马溪组 |
| 22 | MD-Y22 | 炭质页岩    | -28.70  | 2.82      | 2.75       | 两河口 | 龙马溪组 |
| 23 | MD-Y23 | 炭质页岩    | -28.90  | 0.72      | /          | 两河口 | 龙马溪组 |
| 24 | MD-Y24 | 炭质页岩    | -28.80  | 1.69      | 2.33       | 两河口 | 龙马溪组 |
| 25 | MD-Y25 | 炭质硅质页岩  | -30.30  | 1.62      | 1.76       | 周溪  | 五峰组  |
| 26 | MD-Y26 | 炭质硅质页岩  | -30.20  | 1.87      | 1.64       | 周溪  | 龙马溪组 |
| 27 | MD-Y27 | 炭质硅质页岩  | -30.70  | 3.82      | 1.96       | 周溪  | 龙马溪组 |
| 28 | MD-Y28 | 炭质硅质页岩  | -30.90  | 4.92      | 1.72       | 周溪  | 龙马溪组 |
| 29 | MD-Y29 | 炭质硅质页岩  | -30.90  | 7.95      | 1.85       | 周溪  | 龙马溪组 |
| 30 | MD-Y30 | 炭质硅质页岩  | -29.80  | 3.61      | 1.81       | 周溪  | 龙马溪组 |
| 31 | MD-Y31 | 炭质粉砂质页岩 | -30.00  | 3.62      | 1.83       | 周溪  | 龙马溪组 |
| 32 | MD-Y32 | 炭质粉砂质页岩 | -29.80  | 2.67      | 1.66       | 周溪  | 龙马溪组 |
| 33 | MD-Y33 | 炭质硅质页岩  | -30.90  | 4.45      | 1.96       | 白鹿  | 五峰组  |
| 34 | MD-Y34 | 炭质硅质页岩  | -30.80  | 5.75      | 1.93       | 白鹿  | 五峰组  |
| 35 | MD-Y35 | 炭质硅质页岩  | -30.90  | 5.12      | 1.96       | 白鹿  | 五峰组  |
| 36 | MD-Y36 | 炭质硅质页岩  | -29.80  | 3.00      | 1.85       | 白鹿  | 五峰组  |
| 37 | MD-Y37 | 炭质硅质页岩  | -29.80  | 2.27      | 1.96       | 白鹿  | 五峰组  |
| 38 | MD-Y38 | 炭质硅质页岩  | -30.00  | 2.35      | 1.92       | 白鹿  | 五峰组  |
| 39 | MD-Y39 | 炭质硅质页岩  | -30.00  | 3.53      | 2.03       | 白鹿  | 五峰组  |
| 40 | MD-Y40 | 炭质硅质页岩  | -29.90  | 2.84      | 1.96       | 白鹿  | 五峰组  |
| 41 | MD-Y41 | 炭质硅质页岩  | -30.10  | 2.21      | 1.98       | 白鹿  | 龙马溪组 |
| 42 | MD-Y42 | 炭质粉砂质页岩 | -30.70  | 1.21      | 1.65       | 白鹿  | 龙马溪组 |

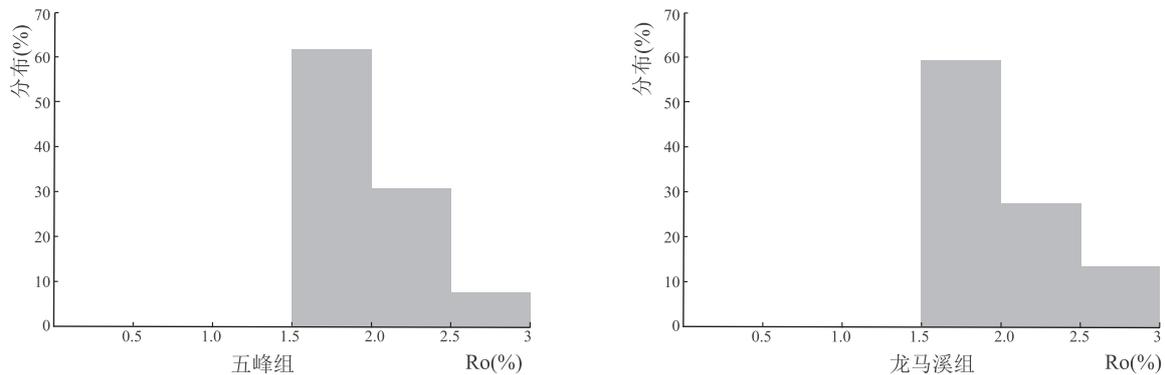


图4 五峰组-龙马溪组 Ro 分布直方图

Fig. 4 Histograms showing the distribution of Ro values in the Wufeng Formation-Longmaxi Formation

### 3.4 影响因素分析

国内学者黄籍中等<sup>[11]</sup>认为,影响干酪根碳同位素的主要因素是干酪根类型,热演化程度对干酪根碳同位素影响小于 $2.0\text{‰}$ 。熊永强等<sup>[15]</sup>通过实验模拟提出,在 Ro 小于 $1.5\%$ 的阶段,干酪根碳同位素组成变化较大,可达 $3.8\text{‰}$ ;当 Ro 大于 $1.5\%$ 、小于 $2.0\%$ 时,干酪根碳同位素变化幅度约为 $2.0\text{‰}$ ;当 Ro 大于 $2.0\%$ 时,变化幅度小于 $0.8\text{‰}$ 。王杰等<sup>[13]</sup>提出,有机碳含量越高且有机质类型越好的样品,其有机质碳同位素组成越轻。

综合分析研究区测试结果,讨论大巴山地区五峰组-龙马溪组有机碳含量、热演化程度对干酪根碳同位素组成的影响。

#### 3.4.1 有机碳含量与 $\delta^{13}\text{C}$ 组成

五峰组和龙马溪组在大巴山前缘地区为局限浅海深水相沉积环境产物,两个组段岩性相近,古生物面貌相同,属于连续沉积。由此可以认为,在单个采样地区的烃源岩干酪根碳同位素组成是相同的。根据测试结果(表1),5个采样地区热演化程度差异较大,但单个采样地区内样品的热演化程度无较大差别。

对单个采样地区的有机碳与干酪根碳同位素进行相关性分析(图5),田坝地区随着有机碳含量增加 $\delta^{13}\text{C}$ 组成偏重,呈现明显线性正相关,相关系数达 $0.456$ , $\delta^{13}\text{C}$ 组成变化幅度为 $1.2\text{‰}$ 。两河口地区有机碳含量与 $\delta^{13}\text{C}$ 组成呈较弱的正相关。周溪地区随着有机碳含量增加 $\delta^{13}\text{C}$ 组成偏轻,呈现明显负相关,相关系数达 $0.399$ , $\delta^{13}\text{C}$ 组成变化幅度为 $1.1\text{‰}$ 。白鹿地区有机碳含量与 $\delta^{13}\text{C}$ 组成同样呈现负相关,相关系数达 $0.353$ ,与周溪地区的变化规律

一致,其 $\delta^{13}\text{C}$ 组成变化幅度为 $1.1\text{‰}$ 。曹家地区仅有4个采样数据,有机碳含量与 $\delta^{13}\text{C}$ 组成亦呈现弱的负相关,与白鹿地区、周溪地区变化规律相似。

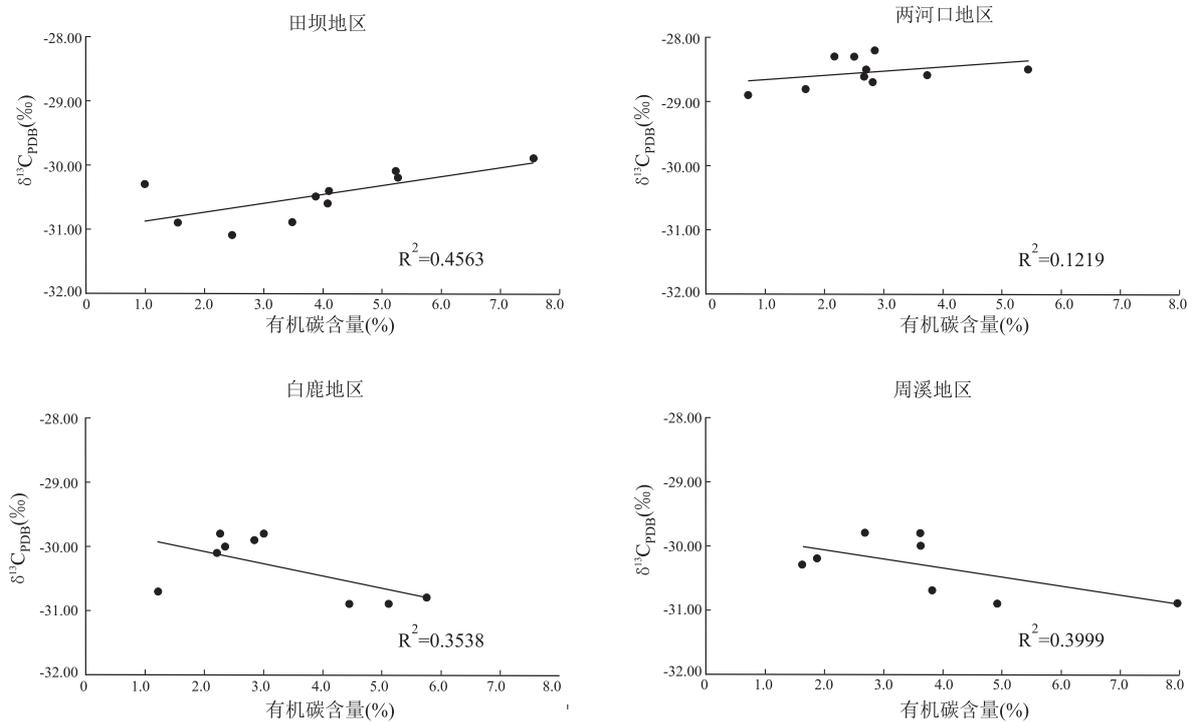
对比5个采样点差异,田坝地区和两河口地区 Ro 平均值大于 $2.0\%$ ,处于过成熟演化阶段;周溪地区、白鹿地区和曹家地区 Ro 平均值小于 $2.0\%$ ,处于高成熟演化阶段。由此认为不同的演化阶段,有机碳含量对 $\delta^{13}\text{C}$ 组成具有不同的影响。当有机质处于高成熟演化阶段( $\text{Ro} < 2.0\%$ ),随有机碳含量增高, $\delta^{13}\text{C}$ 组成偏轻;当有机质处于过成熟演化阶段( $\text{Ro} > 2.0\%$ ),随着有机碳含量增高, $\delta^{13}\text{C}$ 组成偏重。有机碳含量对 $\delta^{13}\text{C}$ 组成影响幅度在 $1.1\text{‰} \sim 1.2\text{‰}$ 。

#### 3.4.2 热演化程度与 $\delta^{13}\text{C}$ 组成

田坝地区和两河口地区处于过成熟演化阶段, $\delta^{13}\text{C}$ 组成具有明显的不同。田坝地区 $\delta^{13}\text{C}$ 组成普遍小于 $-30.0\text{‰}$ ,两河口地区 $\delta^{13}\text{C}$ 组成均大于 $-30.0\text{‰}$ ,两个地区 $\delta^{13}\text{C}$ 组成平均值差 $1.99\text{‰}$ 。周溪地区、白鹿地区和曹家地区处于高成熟演化阶段, $\delta^{13}\text{C}$ 组成也不同:白鹿和周溪地区 $\delta^{13}\text{C}$ 组成普遍小于 $-30.0\text{‰}$ ,曹家地区 $\delta^{13}\text{C}$ 组成大部分大于 $-30.0\text{‰}$ 。由此认为,在大巴山前缘地区造成相同或近似热演化程度地区的干酪根碳同位素组成差异性的主要因素是干酪根类型,有机质成熟度影响甚微。

## 4 有机质类型分析

国内学者黄籍中等人在干酪根碳同位素判别有机质类型方面做了详细研究<sup>[11]</sup>,认为干酪根碳同位素反映了原始物质的组成特征,并且根据干酪根碳同位素特征,对有机质类型识别划分出三类四区

图5 有机碳含量与 $\delta^{13}\text{C}$ 组成交汇图Fig. 5 Diagrams of  $\delta^{13}\text{C}$  values vs. total organic carbon contents in the Wufeng Formation-Longmaxi Formation

间, $\delta^{13}\text{C}$  区间值为: I 型 $-35\text{‰} \sim -30\text{‰}$ , II<sub>1</sub> 型 $-30\text{‰} \sim -27.5\text{‰}$ , II<sub>2</sub> 型 $-27.5\text{‰} \sim -25\text{‰}$ , III 型 $\geq -25\text{‰}$ 。参照该划分原则,对大巴山前缘五峰组-龙马溪组有机质类型进行判定。

由测试结果表 1 可见, $\delta^{13}\text{C}$  值分布在 $-31.1\text{‰} \sim -28.2\text{‰}$ 。其中 $\delta^{13}\text{C}$  值小于 $-30\text{‰}$ 的样品数为 23 个,占总样品数 54.76%; $\delta^{13}\text{C}$  值介于 $-28\text{‰} \sim -30\text{‰}$ 样品数为 19 个,占总样品数 45.24%,没有大于 $-28\text{‰}$ 样品。根据前述有机质类型划分原则,认为大巴山前缘五峰组-龙马溪组有机质类型为 I 型(腐泥型)和 II<sub>1</sub> 型(腐殖腐泥型)。

对样品采集点进行统计,在田坝地区, $\delta^{13}\text{C}$  值普遍小于 $-30.0\text{‰}$ ,有机质类型为 I 型(腐泥型)。在周溪地区, $\delta^{13}\text{C}$  值小于 $-30.0\text{‰}$ 的样品数占 68%,介于 $-29\text{‰} \sim -30\text{‰}$ 的样品数占 32%,有机质类型以 I 型(腐泥型)为主,混杂有 II<sub>1</sub> 型(腐殖腐泥型),白鹿地区具有相似的特征。在曹家地区和两河口地区, $\delta^{13}\text{C}$  值普遍大于 $-30.0\text{‰}$ ,有机质类型为 II<sub>1</sub> 型(腐殖腐泥型)。在平面上,从巫溪田坝地区向东西两侧有机质类型由 I 型(腐泥型)变为 II<sub>1</sub> 型(腐殖腐泥型)。

## 5 结论

通过对大巴山前缘五峰组-龙马溪组采集的代表性样品进行有机碳含量、成熟度和干酪根碳同位素测定,分析干酪根碳同位素特征及影响因素,并结合前人研究成果,对大巴山前缘地区有机质类型进行分析。

(1)大巴山地区五峰组-龙马溪组干酪根碳同位素 $\delta^{13}\text{C}$  值分布区间为 $-31.1\text{‰} \sim -28.2\text{‰}$ ,巫溪田坝地区 $\delta^{13}\text{C}$  值最轻,向东西两侧 $\delta^{13}\text{C}$  值略有增重。

(2)有机碳含量和有机质成熟度对干酪根碳同位素组成影响较小。当有机质成熟度小于 2.0%,有机碳含量与 $\delta^{13}\text{C}$  具有较好的线性负相关,有机碳含量增高, $\delta^{13}\text{C}$  组成偏轻;当有机质成熟度大于 2%,有机碳含量与 $\delta^{13}\text{C}$  具有较好的线性正相关性,即随着有机碳含量增高, $\delta^{13}\text{C}$  组成偏重。 $\delta^{13}\text{C}$  组成变化区间小于 1.2‰。

(3)大巴山地区五峰组-龙马溪组有机质类型为 I 型(腐泥型)和 II<sub>1</sub> 型(腐殖腐泥型)。田坝地区为标准 I 型(腐泥型),向东西两侧逐渐过渡为 II<sub>1</sub> 型(腐殖腐泥型)。

## 参考文献:

- [1] 陈建平, 梁狄刚, 张水昌, 等. 中国中生界海相烃源岩生烃潜力评价标准与方法[J]. 地质学报, 2012, 86(7): 1132-1141.
- [2] 董大忠, 邹才能, 李建忠, 等. 页岩气资源潜力与勘探开发前景[J]. 地质通报, 2011, 30(2-3): 324-335.
- [3] 董大忠, 程克明, 王世谦, 等. 页岩气资源评价方法及其在四川盆地的应用[J]. 天然气工业, 2009, 29(5): 33-39.
- [4] 张卫东, 郭敏, 姜在兴. 页岩气评价指标与方法[J]. 天然气地球科学, 2011, 22(6): 1093-1099.
- [5] 王亚东, 潘仁芳, 曾俊峰, 等. 有机质类型及演化特征对页岩气富集规律的影响[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版), 2016, 18(1): 17-20.
- [6] 曹涛涛, 宋之光. 页岩有机质特征对有机孔发育及储层的影响[J]. 特种油气藏, 2016, 23(4): 1-10.
- [7] 余川, 程礼军, 曾春林, 等. 渝东北地区下古生界页岩含气性主控因素分析[J]. 断块油气田, 2014, 21(3): 296-300.
- [8] 张志平, 程礼军, 曾春林, 等. 渝东北志留系下统龙马溪组页岩气成藏地质条件研究[J]. 特种油气藏, 2012, 19(4): 25-29.
- [9] 武瑾, 梁峰, 拜文华, 等. 渝东北地区下志留统龙马溪组页岩气勘探前景[J]. 特种油气藏, 2015, 22(6): 50-56.
- [10] 张琴, 王红岩, 拜文华, 等. 南海相志留系页岩有机质类型恢复研究[J]. 断块油气田, 2013, 20(2): 154-156.
- [11] 黄籍中. 干酪根的稳定碳同位素分类依据[J]. 地质地球化学, 1988, 3: 66-68.
- [12] 黄第潘, 李晋超, 张大江. 干酪根的类型及其分类参数的有效性、局限性和相关性[J]. 沉积学报, 1984, 2(3): 18-33.
- [13] 王杰, 陈践发, 王大锐, 等. 华北北部中、上元古界生烃潜力及有机质碳同位素组成特征研究[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(5): 13-15.
- [14] 黄籍中. 用稳定碳同位素  $\delta^{13}\text{C}$  值识别干酪根类型的尝试[J]. 石油实验地质, 1980, 2: 49-54.
- [15] 熊永强, 张海祖, 耿安松. 热演化过程中干酪根碳同位素组成的变化[J]. 石油实验地质, 2004, 26(5): 484-487.
- [16] 卢进才, 魏先祥, 魏建设, 等. 内蒙古西部额济纳旗及邻区石炭系-二叠系烃源岩干酪根 C 同位素的特征和影响因素[J]. 地质通报, 2010, 29(2-3): 384-391.
- [17] 张大江, 王大锐, 章聆. 我国不同地质时期沉积有机质中稳定碳同位素组成特征及意义[J]. 科学通报, 1991, (4): 302-305.
- [18] 梁峰, 拜文华, 邹才能, 等. 渝东北地区巫溪 2 井页岩气富集模式及勘探意义[J]. 石油勘探与开发, 2016, 43(3): 1-9.

## Carbon isotopes and organic matter types in the kerogens from the Wufeng Formation-Longmaxi Formation in the frontal areas of the Daba Mountains

MEN Yu-peng<sup>1</sup>, YU Qian<sup>1</sup>, QI Ming-hui<sup>2</sup>, SUN Yuan-yuan<sup>1</sup>, YAN Jian-fei<sup>1</sup>, KANG Jian-wei<sup>1</sup>, LIN Jia-shan<sup>1</sup>, ZHAO An-kun<sup>1</sup>

(1. Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China; 2. Sichuan Keyuan Center of Engineering Technological Test, Chengdu 610091, Sichuan, China)

**Abstract:** The argument still remains current for the organic matter types in the kerogens from the Wufeng Formation-Longmaxi Formation in the frontal areas of the Daba Mountains. The present paper presents the carbon isotopic analyses of kerogens, total organic carbon contents and organic matter maturity for the samples collected from the stratigraphic sections including the Caojia section in Wanyuan, the Zhouxi section in Chengkou, the Tianba and Bailu sections in Wuxi, and the Lianghekou section in Badong, and gives the  $\delta^{13}\text{C}$  values from -31.1‰ to -28.2‰ for the Wufeng Formation-Longmaxi Formation. There are correlations between  $\delta^{13}\text{C}$  values, total organic carbon contents and maturity of organic matter. There is a negative linear correlation between the organic carbon contents and  $\delta^{13}\text{C}$  values while the maturity values are less than 2%, and a linear positive correlation between the maturity values and  $\delta^{13}\text{C}$  values while the maturity values are more than 2%. Referenced to the previous classification schemes, the organic matter types in the Wufeng Formation-Longmaxi Formation are assigned to the type I (sapropelic) and type II-1 (humosapropelic), which are graded from the type I organic matter in the Tianba section in Wuxi to the type II-1 organic matter eastwards and westwards.

**Key words:** Wufeng Formation; Longmaxi Formation; carbon isotope; organic matter type