

南羌塘侏罗系烃源岩氯仿沥青 “A”组分碳同位素特征

陈文彬^{1,2} 伊海生¹ 谭富文² 廖忠礼² 付修根² 杜佰伟² 冯兴雷²

(1. 成都理工大学沉积地质研究院, 四川 成都 610059; 2. 中国地质调查局成都地质矿产研究所, 四川 成都 610081)

摘要: 对南羌塘侏罗系布曲组和夏里组烃源岩氯仿沥青“A”组分碳同位素分析表明, 碳同位素主要受有机母质及沉积环境影响, 夏里组烃源岩氯仿沥青“A”组分的碳同位素较重, 而布曲组烃源岩氯仿沥青“A”中族组分的碳同位素组成相对较轻。并且它们普遍存在碳同位素逆转现象, 夏里组烃源岩氯仿沥青“A”组分的碳同位素逆转表现为: $\delta^{13}\text{C}_{\text{饱和烃}} < \delta^{13}\text{C}_{\text{非烃}} < \delta^{13}\text{C}_{\text{芳烃}} < \delta^{13}\text{C}_{\text{沥青质}}$, 主要受有机质母源控制; 布曲组烃源岩氯仿沥青“A”组分的碳同位素逆转表现为: $\delta^{13}\text{C}_{\text{非烃}} > \delta^{13}\text{C}_{\text{沥青质}} > \delta^{13}\text{C}_{\text{饱和烃}} > \delta^{13}\text{C}_{\text{芳烃}}$, 主要与生物降解作用有关。

关键词: 南羌塘; 烃源岩; 氯仿沥青“A”; 碳同位素

中图分类号: P597+.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2010)06-1740-07

羌塘盆地位于青藏高原北部, 东经 85°~95°, 北纬 32°~35°, 南北宽 300 km, 东西长 640 km, 面积 $18.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。其大地构造位置处于巨型特提斯—喜马拉雅构造域的中段, 与波斯湾等油气富集区同处于一个大地构造单元, 因此区油气赋存条件与勘探前景一直为世界瞩目。盆地北部边界为拉竹龙—金沙江缝合带, 南部边界为班公错—怒江缝合带。羌塘盆地内部进一步划分为 3 个构造单元, 即北羌塘拗陷、中央隆起和南羌塘拗陷^[1-2]。

研究区即位于南羌塘拗陷扎仁地区, 在地层区划分上属于羌塘地层区之南羌塘地层分区, 构造上处于羌塘陆块之南羌塘拗陷南缘(图 1)。其东部为埋深 7 km 的土门凹陷, 南部为毕洛错—其香错凸起。区内断裂构造不发育, 主要断裂为一条呈北西—南东东展布的扎仁断裂, 该断裂延伸约 50 km, 为一条规模较大的压扭性断层。区内出露的地层主要为上三叠统土门格拉组(T_3t)碎屑岩(北部边缘), 中侏罗统布曲组(J_2b)灰岩、白云岩, 夏里组(J_2x)碎屑岩夹灰岩, 上侏罗统索瓦组(J_3s)灰岩、白云岩, 古近

系纳丁错组(E_3n)中基性火山岩以及新近系康托组(N_1k)碎屑岩。区内发现有多处油苗和油气显示点, 表明曾经发生过油气运移^[3-4], 具备油气生成的物质基础。本文利用碳同位素分析手段, 对该区出露的侏罗系 2 套重要烃源岩布曲组(J_2b)灰岩和夏里组(J_2x)泥岩的氯仿沥青“A”组分碳同位素分布特征进行了研究, 并初步探讨其地球化学意义, 为该区的油气勘探提供新的资料。

1 样品与实验

1.1 南羌塘中侏罗世沉积演化特征

南羌塘中侏罗世早期的色哇组为海陆过渡环境的三角洲相, 形成了一套紫红、灰绿色泥岩、粉砂质泥岩、白云质粉—细砂岩、岩屑砂岩、石英砂岩的沉积组合。中侏罗世中期, 伴随班公错—怒江洋的扩张, 海侵范围逐渐扩大, 产生了侏罗纪最大规模的海侵事件, 沉积了布曲组台地相的碳酸盐岩夹细碎屑岩, 形成以紫红、深灰色泥晶灰岩、团粒灰岩、鲕粒灰岩、白云岩夹白云质粗粉砂岩、石英细砂岩的沉积组

收稿日期: 2009-11-23; 改回日期: 2009-12-30

基金项目: 国家油气专项“青藏高原重点盆地油气资源战略选区调查与选区”(XQ-2009-1)、国家自然科学基金项目(40702020)及四川省青年科技基金项目(09ZQ026-006)联合资助。

作者简介: 陈文彬, 男, 1979 年生, 工程师, 硕士生, 主要从事沉积地球化学与石油地质研究; E-mail: cdcwenbin@qq.com。

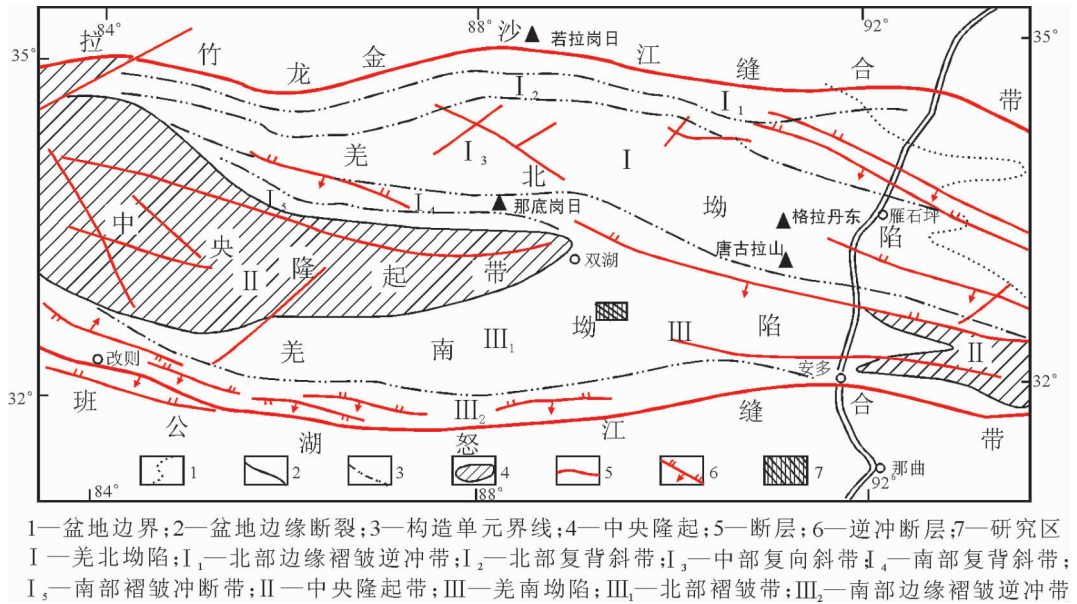


图 1 研究区位置及构造单元

Fig.1 Location and tectonic units of the study area

合,同时也说明研究区北侧的中央隆起带有脉动性的露出水面。中侏罗世晚期,南羌塘盆地发生了明显的海退,北侧的中央隆起带露出水面,并向盆地内注入陆源碎屑沉积物,沉积了夏里组三角洲相碎屑岩,形成以灰、灰绿色钙质粉砂质泥岩粉砂岩、长石石英砂岩、中-细粒岩屑石英砂岩夹薄层状泥晶灰岩、生物碎屑灰岩、鲕粒灰岩的沉积组合。

1.2 样品及实验

样品采自羌塘盆地扎仁地区哈日阿隆根剖面,采样时尽量采集新鲜样品,并用小刀刮去表面杂质。该剖面布曲组烃源岩主要为局限台地沉积的一套中厚层泥晶灰岩、生屑泥晶灰岩、泥灰岩,布曲组碳酸盐岩烃源岩有机碳含量为 0.07%~0.11%,平均 0.08%,镜质体反射率为 1.51%~1.61%。夏里组烃源岩为一套三角洲相的薄-中层泥岩夹碎屑岩,夏里组泥质烃源岩有机碳含量为 0.29%~0.53%,平均 0.45%,镜质体反射率为 1.41%~1.49%(表 1)。

样品有机质抽提按常规有机地球化学方法进行。80 目岩样进行索氏抽提 78 h,用石油醚沉淀沥青质,族组分分离用硅胶、氧化铝色层柱,正己烷、苯、无水乙醇作冲洗剂,得到饱和烃、芳烃、非烃和沥青质。各组分的碳同位素分析在 MAT252 同位素质谱计上进行,分析条件为:电子能量:68ev,质量分辨率:200,真空度:< 2×10⁻⁶Pa,发射电流:0.800 mA。碳

表 1 烃源岩样品基础地质资料

Table 1 Basic geological data of the Jurassic Hydrocarbon source rocks samples from south Qiangtang basin

样品	岩性	层位	TOC (%)	Ro (%)
1	泥岩	J _{2x}	0.29	1.41
2	泥岩	J _{2x}	0.53	1.48
3	泥岩	J _{2x}	0.43	1.49
4	泥岩	J _{2x}	0.47	1.42
5	灰岩	J _{2b}	0.11	1.58
6	灰岩	J _{2b}	0.10	1.60
7	灰岩	J _{2b}	0.07	1.61
8	灰岩	J _{2b}	0.09	1.51

同位素分析标准为 PDB 标准。

2 结果与讨论

2.1 夏里组烃源岩氯仿沥青“A”组分碳同位素特征

研究区夏里组泥质烃源岩 δ¹³C_{饱和烃}值的分布范围为-30.23‰~-29.47‰,平均为-29.80‰;δ¹³C_{芳烃}值的分布范围为-28.64‰~-25.04‰,平均为-25.95‰;δ¹³C_{非烃}值的分布范围为-28.38‰~-26.99‰,平均为-27.59‰;δ¹³C_{沥青质}值的分布范围为-26.90‰~-24.40‰,平均为-25.62‰。通常认为,沉积岩中有机质碳同位素主要取决于它的前世物的碳同位素组

成,来源于藻类等低等水生生物形成的有机质的碳同位素组成较轻,一般小于 -28.0% ,而来源于陆源高等植物的有机质的碳同位素组成较重,一般大于 -26.0% ^[5-9]。从氯仿沥青“A”组分的碳同位素组成来看,中侏罗夏里组泥质烃源岩整体表现出 $\delta^{13}\text{C}_{\text{饱和烃}} < \delta^{13}\text{C}_{\text{非烃}} < \delta^{13}\text{C}_{\text{芳烃}} < \delta^{13}\text{C}_{\text{沥青质}}$ 的分布特征,而且各组分碳同位素组成整体偏重,除饱和烃组分碳同位素值较低外,其他组分的 $\delta^{13}\text{C}$ 值一般大于 -28% ,反映出有机质中有高等植物等成烃贡献的特点。

沉积有机质在沉积-成岩-热演化过程中,碳同位素受物理、化学和生物的作用而发生分馏,一般来讲,随着沉积有机质氯仿沥青“A”中饱和烃、芳烃、非烃和沥青质化学族组分极性的增大,其碳同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 值会逐渐变重,即 $\delta^{13}\text{C}_{\text{饱和烃}} < \delta^{13}\text{C}_{\text{芳烃}} < \delta^{13}\text{C}_{\text{非烃}} < \delta^{13}\text{C}_{\text{沥青质}}$ 。研究区夏里组烃源岩氯仿沥青“A”中族组分碳同位素分布形式为: $\delta^{13}\text{C}_{\text{饱和烃}} < \delta^{13}\text{C}_{\text{非烃}} < \delta^{13}\text{C}_{\text{芳烃}} < \delta^{13}\text{C}_{\text{沥青质}}$ (图2),不符合正常的分布规律,碳同位素组成出现了“逆转”现象。前人的许多研究中也出现这种逆转现象,张爱云^[8]、傅家谟^[9]、陈践发^[10]等研究认为,各种不同类型的生物具有特殊的化学组成,其碳同位素组成也是不同的,一般来说菌藻等低等来源的有机质中 $\delta^{13}\text{C}$ 平均值低于高等植物来源的有机质,如若沉积有机质母源中有较多高等植物的输入,常常会造成沉积有机质中 $\delta^{13}\text{C}$ 的增大,使得极性较小的组分具有相对较重的碳同位素组成。Simoniet^[11]、Clayton^[12]、Saxby^[13]、Meyers^[14]等研究表明,热力作用也会使沉积有机质中的轻碳同位素发生

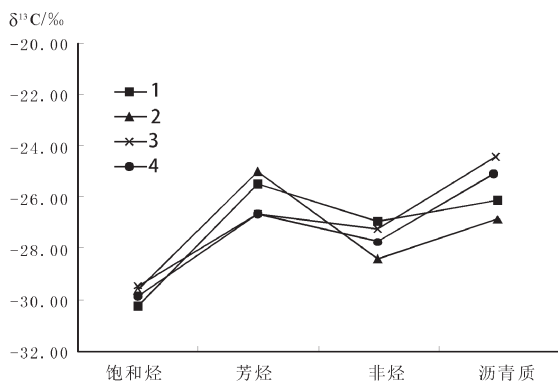


图2 夏里组烃源岩氯仿沥青“A”组分碳同位素特征
Fig.2 Carbon isotopic distribution of the components of chloroform bitumen “A” in Xiali Formation source rocks samples from south Qiangtang basin

损耗,从而改变沉积有机质的碳同位素组成^[15-16],造成其 $\delta^{13}\text{C}_{\text{饱和烃}} > \delta^{13}\text{C}_{\text{芳烃}} > \delta^{13}\text{C}_{\text{非烃}} > \delta^{13}\text{C}_{\text{沥青质}}$ 。王大锐等^[17]认为,生物降解作用也能够改变饱和烃、芳烃、非烃及沥青质的碳同位素组成,遭受过生物降解作用的原油,其 $\delta^{13}\text{C}_{\text{饱和烃}}$ 值趋于偏正, $\delta^{13}\text{C}_{\text{芳烃}}$ 值几乎不发生变化,而非烃组分和沥青质组分往往趋于富集 $\delta^{12}\text{C}$ 。研究区夏里组烃源岩氯仿沥青“A”族组分碳同位素分布形式为 $\delta^{13}\text{C}_{\text{饱和烃}} < \delta^{13}\text{C}_{\text{非烃}} < \delta^{13}\text{C}_{\text{芳烃}} < \delta^{13}\text{C}_{\text{沥青质}}$,如若热力作用或者是生物降解作用,都不会造成 $\delta^{13}\text{C}_{\text{饱和烃}}$ 值小于 $\delta^{13}\text{C}_{\text{芳烃}}$ 值,因而分析其氯仿沥青“A”中芳烃组分的碳同位素逆转主要与有机质来源及沉积环境有关,总体表现为继承了母源的碳同位素组成特征。从古地理特征来看,中侏罗世晚期,南羌塘盆地发生了明显的海退,北侧的中央隆起带露出水面,并向盆地内注入陆源碎屑沉积物,沉积了夏里组一套三角洲相碎屑岩。当有陆源植物输入时,沉积有机质中氯仿沥青“A”组分碳同位素组成一般会出现逆转现象,而且主要以芳烃组分的碳同位素组成发生逆转为主,特别是在以陆源植物输入为主和沼泽相沉积环境下形成的沉积有机质中^[9],芳烃组分一般具有较重的碳同位素组成,因而使得夏里组沉积有机质中 $\delta^{13}\text{C}_{\text{芳烃}}$ 值整体偏重,出现 $\delta^{13}\text{C}_{\text{饱和烃}} < \delta^{13}\text{C}_{\text{非烃}} < \delta^{13}\text{C}_{\text{芳烃}} < \delta^{13}\text{C}_{\text{沥青质}}$ 的分布特征,可见夏里组烃源岩氯仿沥青“A”组分碳同位素出现逆转主要还是受其有机质来源和沉积环境的控制。

2.2 布曲组烃源岩氯仿沥青“A”组分碳同位素特征

研究区布曲组海相碳酸盐岩烃源岩中 $\delta^{13}\text{C}_{\text{饱和烃}}$ 值的分布范围为 -30.27% ~ -28.39% ,平均为 -29.57% ; $\delta^{13}\text{C}_{\text{芳烃}}$ 值的分布范围为 -30.98% ~ -29.28% ,平均为 -30.24% ; $\delta^{13}\text{C}_{\text{非烃}}$ 值的分布范围为 -28.47% ~ -25.22% ,平均为 -27.38% ; $\delta^{13}\text{C}_{\text{沥青质}}$ 值的分布范围为 -28.99% ~ -28.02% ,平均为 -28.59% 。从氯仿沥青“A”组分碳同位素组成来看,中侏罗布曲组海相碳酸盐岩烃源岩整体表现出 $\delta^{13}\text{C}_{\text{芳烃}} < \delta^{13}\text{C}_{\text{饱和烃}} < \delta^{13}\text{C}_{\text{沥青质}} < \delta^{13}\text{C}_{\text{非烃}}$ 的特征,在碳同位素曲线图上,从饱和烃到芳烃,碳同位素先变轻,然后到非烃变重,接着到沥青质又有一个变轻的过程(图3)。除7号样品非烃组分同位素值稍重外,其他样品组分的碳同位素组成整体偏轻,一般小于 -28% ,反映出其有机母质来源于低等浮游藻类的特点。

在布曲组海相烃源岩中,饱和烃、芳烃、非烃和沥青质的碳同位素组成普遍较轻,而且样品中呈现

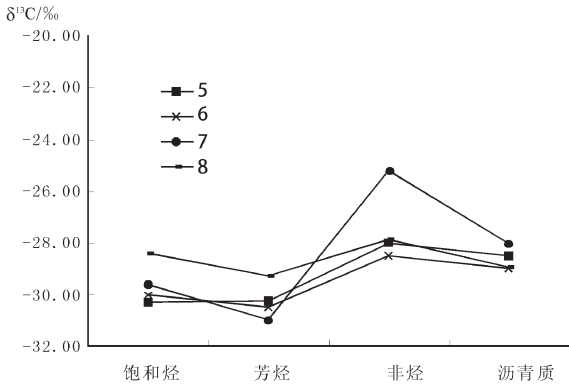


图 3 布曲组烃源岩氯仿沥青“A”组分碳同位素组成特征
Fig.3 Carbon isotopic distribution of the components of chloroform bitumen "A" in Buqu Formation hydrocarbon source rocks samples from south Qiangtang basin

出 $\delta^{13}C_{\text{非烃}} > \delta^{13}C_{\text{沥青质}} > \delta^{13}C_{\text{饱和烃}} > \delta^{13}C_{\text{芳烃}}$ 的分布特征(图 3),这也不符合一般情况下 $\delta^{13}C_{\text{饱和烃}} < \delta^{13}C_{\text{芳烃}} < \delta^{13}C_{\text{非烃}} < \delta^{13}C_{\text{沥青质}}$ 的分布规律,表明布曲组烃源岩中氯仿沥青“A”组分碳同位素值较夏里组逆转更为强烈。从古地理环境来看,布曲组沉积期为南羌塘侏罗纪最大规模的海侵事件,研究地区布曲组烃源岩主要为海相沉积的碳酸盐岩,有机母质来源主要为低等浮游藻类,其有机质类型以腐泥型为主,氯仿沥青“A”组分碳同位素值相对较低也正好说明了这一点,因此布曲组烃源岩的原始氯仿沥青“A”族组分的碳同位素组成应符合常规的同位素分馏效应,即 $\delta^{13}C_{\text{饱和烃}} < \delta^{13}C_{\text{芳烃}} < \delta^{13}C_{\text{非烃}} < \delta^{13}C_{\text{沥青质}}$,但实际情况却是出现 $\delta^{13}C_{\text{非烃}} > \delta^{13}C_{\text{沥青质}} > \delta^{13}C_{\text{饱和烃}} >$

$\delta^{13}C_{\text{芳烃}}$ 的逆转分布,因此布曲组烃源岩的有机质来源不是造成氯仿沥青“A”组分逆转的原因。从有机质热演化程度来看,研究区布曲组烃源岩镜质体反射率 R_o 一般在 1.51%~1.61%(表 1),平均 1.58%,达到高成熟阶段,似乎反映出热力作用对氯仿沥青“A”组分碳同位素产生了影响。事实上这可能与所采样品全部来自地表有关,据研究区内羌资 2-井的资料,地下布曲组烃源岩样品成熟度普遍比地表样品要低,其镜质体反射率 R_o 在 0.99%~1.29%,均值 1.14%^①,显示研究的样品并未达到高-过成熟阶段,而是处在成熟阶段。这表明虽然热力作用也能造成了一定影响,但是由于布曲组烃源岩样品的热演化程度还并未达到高-过成熟阶段,因而热演化可能并不是引起布曲组烃源岩氯仿沥青“A”组分碳同位素逆转的主要原因。

对布曲组样品的正构烷烃的研究表明,其主峰碳一般为 C_{22} (图 4),轻重比 nC_{21-}/nC_{22+} 值一般小于 1,介于 0.20~0.45,呈现重碳优势。而一般认为 nC_{21-} 主要来自于水生生物,而 nC_{22+} 主要来自陆生生物,正构烷烃的这种分布特征反映样品受降解影响明显。因为正构烷烃被微生物降解时,微生物对 C_{21} 以前的低碳数正构烷烃的降解程度要大一些,从而会造成低碳数正构烷烃的相对丰度的减少,饱和烃丰度降低,从而造成主峰碳变大以及轻重比 nC_{21-}/nC_{22+} 变小^[18-19]。另外研究区布曲组烃源岩氯仿沥青“A”组分 $\delta^{13}C_{\text{芳烃}} < \delta^{13}C_{\text{饱和烃}} < \delta^{13}C_{\text{沥青质}} < \delta^{13}C_{\text{非烃}}$ 的分布特征也与王传刚等^[20]研究的生物降解程度高的原油中出现 $\delta^{13}C_{\text{饱和烃}}$ 值趋于偏正,但 $\delta^{13}C_{\text{沥青质}}$

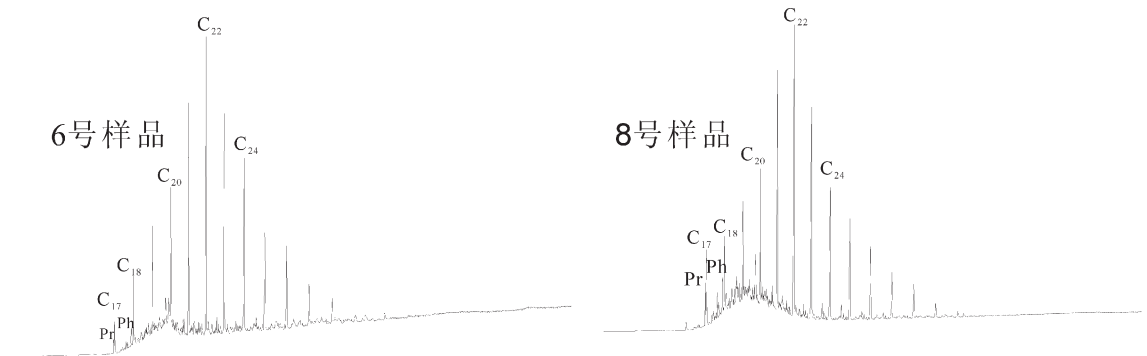


图 4 布曲组烃源岩饱和烃气相色谱图
Fig.4 Chromatogram of the saturated hydrocarbon in source rocks from the Buqu Formation in south Qiangtang Basin

①李忠雄,段志明,等.羌塘盆地石油地质资料浅钻施工及测试分析(羌资 2 井),成都地质矿产研究所内部资料,2007,57-81.

值偏轻的特点也基本一致。因此分析布曲组烃源岩氯仿沥青“A”组分碳同位素组成的逆转分布特征可能更主要与微生物降解作用有关。一般沉积有机质中饱和烃组分以富集 $\delta^{13}\text{C}$ 为特征,具有轻的 $\delta^{13}\text{C}$ 值;芳烃比饱和烃富集 $\delta^{13}\text{C}$,并且随芳核数量的增多而增高,但其类脂侧链以富集 $\delta^{12}\text{C}$ 为特征^[21],而非烃和沥青质主要以富集 $\delta^{13}\text{C}$ 为主,即随着氯仿沥青“A”组分分子量的增大,其 $\delta^{12}\text{C}$ 的富集程度趋于减弱;与此相反,随着氯仿沥青“A”组分的分子量的增大,其化学稳定性则趋于加强。布曲组烃源岩有机质的来源主要是低等生物如藻类、细菌和浮游动物等,这些生物有机残体在强还原的条件下(饱和烃色谱分析表明 Pr/Ph<1.0^[22],因而有机母质沉积时应为偏还原环境),在未固结的沉积物中遭到强烈的生物降解作用,使化学稳定性较差的饱和烃中的轻碳同位素首先被破坏掉,使其 $\delta^{13}\text{C}$ 值趋于偏正,而化学稳定性强的芳烃中的轻碳则较难被破坏,故芳烃的 $\delta^{13}\text{C}/\delta^{12}\text{C}$ 值几乎不发生变化,从而造成了饱和烃组分的 $\delta^{13}\text{C}$ 值超过了芳烃组分的 $\delta^{13}\text{C}$ 值。在非烃和沥青质组分中,它们主要以富集 $\delta^{13}\text{C}$ 为主,因而它们的族组分碳同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 值总体高于饱和烃组分和芳烃组分,由于沥青质组分更难受生物降解的影响^[23],故非烃组分中轻碳损耗后出现了其 $\delta^{13}\text{C}$ 值重于沥青质组分 $\delta^{13}\text{C}$ 值的现象。

3 结 论

(1)南羌塘布曲组烃源岩和夏里组烃源岩氯仿沥青“A”组分碳同位素组成主要受有机母质及沉积影响。中侏罗世夏里组烃源岩有较多高等植物的贡献,其碳同位素组成除饱和烃 $\delta^{13}\text{C}$ 值在-30‰左右外,其他组分 $\delta^{13}\text{C}$ 值一般大于-28‰;布曲组海相腐泥型烃源岩氯仿沥青“A”组分的碳同位素组成整体偏轻, $\delta^{13}\text{C}$ 值一般小于-28‰。

(2)南羌塘布曲组烃源岩和夏里组烃源岩氯仿沥青“A”组分中饱和烃、芳烃、非烃及沥青质碳同位素都不符合正常分布规律,存在逆转现象。夏里组烃源岩氯仿沥青“A”组分的碳同位素逆转表现为 $\delta^{13}\text{C}_{\text{饱和烃}} < \delta^{13}\text{C}_{\text{非烃}} < \delta^{13}\text{C}_{\text{芳烃}} < \delta^{13}\text{C}_{\text{沥青质}}$,主要受有机母源控制;而布曲组烃源岩氯仿沥青“A”组分碳同位素逆转表现为 $\delta^{13}\text{C}_{\text{非烃}} > \delta^{13}\text{C}_{\text{沥青质}} > \delta^{13}\text{C}_{\text{饱和烃}} > \delta^{13}\text{C}_{\text{芳烃}}$,主要与生物降解作用有关。

致谢:参加野外调查工作的还有刘建清、熊兴国、

贺永忠、朱勋、岳龙、易成兴和吴滔等,审稿专家、编辑对该论文提出了宝贵修改意见,在此一并表示感谢!

参考文献(References):

- [1] 赵文津, 赵逊, 蒋忠扬, 等. 西藏羌塘盆地的深部结构特征与含油气远景评价[J]. 中国地质, 2006, (1):1-13.
Zhao Wenjin, Zhao Xun, Jiang Zhongti, et al. Deep structure and petroleum prospect evaluation of the Qiangtang basin, Tibet [J]. Geology in China, 2006, 33 (1):1-13 (in Chinese with English abstract).
- [2] 付修根, 廖忠礼, 刘建清, 等. 南羌塘盆地扎仁地区中侏罗统布曲组沉积环境特征及其对油气地质条件的控制作用 [J]. 中国地质, 2007, 34(4): 599-605.
Fu Xiugen, Liao Zhongli, Liu Jianqing, et al. Sedimentary environment of the Middle Jurassic Buqu Formation and its controls on petroleum geology in the Zaring area, southern Qiangtang basin [J]. Geology in China, 2007, 34 (4): 599-605 (in Chinese with English abstract).
- [3] 陈文彬, 廖忠礼, 刘建清, 等. 羌塘盆地扎仁地区白云岩油苗地球化学特征[J]. 新疆石油地质, 2008, 29(2):214-218.
Chen Wenbin, Liao Zhongli, Liu Jianqing, et al. Geochemical characteristics of dolomite oil seepage in Zaring area, Qiangtang basin of Tibet [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2008, 29(2):214-218 (in Chinese with English abstract).
- [4] 陈文彬, 杨平, 张予杰, 等. 南羌塘盆地扎仁古油藏白云岩储层特征及成因研究[J]. 沉积与特提斯地质, 2006, 26(2):42-46.
Chen Wenbin, Yang Ping, Zhang Yujie, et al. Dolostone reservoirs and their genesis in the Zaring oil pool in southern Qiangtang Basin [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2006, 26(2):42-46 (in Chinese with English abstract).
- [5] 黄第藩, 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.
Huang Difan, Li Jingchao, Zhang Dajiang. Kerogen types and study on effectiveness, limitation and interrelation of their identification parameters [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1984, 2 (3):18-33(in Chinese with English abstract).
- [6] Golyshev S I, Verkhovskaya N A, Burkova V N, et al. Stable carbon isotopes in source bed organic matter of West and East Siberia [J]. Organic Geochemistry, 1991, 14:277-291.
- [7] 王万春, 徐永昌, Manfred Schidowski, 等. 不同沉积环境及成熟度干酪根的碳氢同位素地球化学特征[J]. 沉积学报, 1997, 15 (增刊):133-137.
Wang Wanchun, Xu Yongchang, Manfred S, et al. The geochemical characteristics of carbon and hydrogen isotopes of kerogens of various maturity and depositonal environments [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1997, 15 (Suppl):133-137 (in Chinese with English abstract).
- [8] 张爱云, 蔡云开, 初志明, 等. 沉积有机质中稳定碳同位素逆转现象初探[J]. 沉积学报, 1992, 10 (4):49-59.

- Zhang Aiyun, Cai Yunkai, Chu Zhiming, et al. Preliminary study on the reversed distribution of stable carbon isotopes in sedimentary organic matter[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1992, 10 (4):49-59 (in Chinese with English abstract).
- [9] 傅家谟, 秦匡宗, 主编. 王廷芬等. 干酪根地球化学 [M]. 广州: 广东科技出版社, 1995:443-468.
- Fu Jiamo, Qin Kuangzong. Organic Geochemistry of Kerogen[M]. Guangzhou:Guangdong Science and Technology Press, 1995:443-468(in Chinese).
- [10] 陈践发, 徐永昌. 煤系地层中有机质碳同位素组成特征[J]. *沉积学报*, 1992, 10 (4):44-47.
- Chen Jianfa, Xu Yongchang. Characteristics of organic carbon isotope composition in coal-bearing strata [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1992, 10 (4):44-47(in Chinese with English abstract).
- [11] Simoniet B R T, Brenner S, Peters K E, et al. Thermal alteration of Cretaceous black shale by diabase intrusions in the eastern Atlantic . II . Effects on bitumen and kerogen [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1981, 45:1581-1602.
- [12] Clayton J L, Bostick N H. Temperature effects on kerogen and molecular and isotopic composition of organic matter in Pierre shale near an igneous dike [J]. *Organic Geochemistry*, 1986, 10: 135-143.
- [13] Saxby J D, Stephens on L C. Effect of an igneous intrusion on oil shale at Rundle (Australia) [J]. *Chemical Geology*, 1987, 63:1-16.
- [14] Meyers P A, Simoneit B R T . Effects of extreme heating on the elemental and isotopic compositions of an Upper Cretaceous coal [J]. *Organic Geochemistry*, 1999, 30:299-305.
- [15] 徐永昌, 沈平, 申歧祥, 等. 煤系有机质热模拟产物的地球化学特征及地质意义 [M]. 中国科学院兰州地质研究所生物气体地球化学开放实验室研究年报. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1986:86-105.
- Xu Yongchang, Shen Ping, Shen Qixiang, et al. Geochemical Characteristics and Significance of Thermal Simulated Products of Coalbearing Organic Matter [M] . Annual Research Report, Biogeochemistry and Gas geochemistry Laboratory, Lanzhou Institute of Geology, Academia Sinica . Lanzhou: Gansu Publishing House of Science and Technology, 1986:86-105 (in Chinese with English abstract).
- [16] Pric e L C. Thermal stability of hydrocarbon in nature:limits, evidence, characteristics, and possible controles [J] . *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1993, 57:3261-3280.
- [17] 王大锐. 油气稳定同位素地球化学[M]. 北京:石油工业出版社, 2000:179-183.
- Wang Darui. Stable Isotope geochemistry of Oil and Gas [M]. Beijing:Petroleum Industry Press, 2000 (in Chinese with English abstract).
- [18] 窦启龙, 陈践发, 薛燕芬. 实验室条件下微生物降解原油的地球化学特征研究[J]. *沉积学报*, 2005, 9(3):542-547.
- Dou Qilong, Chen Jianfa, Xue Yanfen, et al . A comparative study of the geochemical character of crude oil after microbe degradation in laboratory . *Acta Sedimentologica Sinica*, 2005, 9 (3):542-547 (in Chinese with English abstract).
- [19] 陈文彬, 廖忠礼, 张予杰, 等. 北羌塘盆地侏罗系布曲组烃源岩地球化学特征及意义[J]. *中国地质*, 2007, 34(5):927-934.
- Chen Wenbin, Liao Zhongli, Zhang Yujie, et al. Geochemical characteristics and significance of hydrocarbon source rocks in the Jurassic Buqu Formation in the north Qiangtang basin [J]. *Geology in China*, 2007, 34(5):927-934(in Chinese with English abstract).
- [20] 王传刚, 王铁冠, 何发歧, 等. 塔河油田原油稳定碳同位素特征及其成藏意义[J]. *新疆石油地质*, 2005, 26 (2):155-157.
- Wang Changang, Wang Tieguan, He Faqi, et al. Stable carbon isotope and its significance in Tahe Oilfield, Tarim Basin [J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 2005, 26 (2):155-157 (in Chinese with English abstract).
- [21] Liu W H, YU X K, Zhang B S . Carbon isotope distribution in atomic nuclei and aliphatic side chains of sedimentary organic matter[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1995, 40 (9):753-757.
- [22] 陈文彬, 廖忠礼, 刘建清, 等. 羌塘盆地扎仁地区中上侏罗统烃源岩生物标志物特征[J]. *油气地质与采收率*, 2008, 15(5):17-19.
- Chen Wenbin, Liao Zhongli, Liu Jianqing, et al. The biomarkers characteristics of hydrocarbon source rocks in middle and upper Jurassic in Zaren area, Qiangtang Basin[J]. *PRGE*, 2008, 15(5):17-19(in Chinese with English abstract).
- [23] Bandurski, E. Structural similarities between oil generating kerogens and petroleum asphaltenes[J]. *Energy Source*, 1982, 6:47-66.

Carbon isotope characteristics of the components of chloroform bitumen "A" of Jurassic hydrocarbon source rocks in south Qiangtang basin

CHEN Wen-bin^{1,2}, YI Hai-sheng¹, TAN Fu-wen², LIAO Zhong-li²,
FU Xiu-gen², DU Bai-wei², FENG Xin-lei²

(1. Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China;

2. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610081, Sichuan, China)

Abstract: Studies show that the carbon isotopic characteristics of the components of chloroform bitumen "A" in Jurassic hydrocarbon source rocks were mainly affected by parent materials and sedimentary environments in Jurassic in south Qiangtang basin. For the components of chloroform bitumen "A" in Xiali Formation hydrocarbon source rocks, the carbon isotopic compositions are usually relatively heavy, while for the components of chloroform bitumen "A" in Buqu Formation hydrocarbon source rocks, the carbon isotopic compositions are usually comparatively light. In addition, the carbon isotopes commonly show reverse phenomenon, and the reversal of $\delta^{13}\text{C}$ in Xiali Formation source rocks finds expression in the sequence of saturated hydrocarbons < non-hydrocarbons < aromatics < asphaltenes, mainly controlled by organic matters, whereas the reversal of $\delta^{13}\text{C}$ in Biqu Formation source rocks finds expression in the sequence of non-hydrocarbon > asphaltenes > saturated hydrocarbons > aromatic hydrocarbons, mainly related to biological degradation.

Key words: south Qiangtang basin; source rocks; components of chloroform bitumen "A"; carbon isotope

About the first author: CHEN Wen-bin, male, born in 1979, engineer, master candidate, mainly engages in the study of sedimentary geochemistry and petroleum geology; E-mail: cdcwenbin@cgs.gov.cn.