

藏北羌塘盆地胜利河油页岩干酪根特征及 碳同位素指示意义

付修根, 王 剑, 汪正江, 何江林

成都地质矿产研究所, 四川成都 610081

摘 要: 胜利河油页岩位于北羌塘盆地南部, 走向长超过 34 km, 宽 9 km。笔者对该油页岩各岩系干酪根进行了分离、镜鉴、元素分析和碳同位素分析, 结果表明, 该油页岩干酪根为Ⅱ型干酪根, 油页岩中干酪根含量较高, 介于 15.79%~20.37%。具有富氢少氧的特征, 其 H/C 和 O/C 比率分别为 1.11~1.19 和 0.08~0.25, 为胜利河地区非常好的烃源岩。油页岩层干酪根 ^{13}C 相对富集, 具有相对较高的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值(-20.79‰ ~ -21.78‰), 与胜利河地区油页岩母源为较单一的藻类有关。藻类的大量繁殖造成了该类生物死亡埋藏速率远大于氧化速率, 在还原环境下大部分藻类还未被氧化就被埋藏, 从而保留了原始藻类略富 ^{13}C 的特征。胜利河油页岩的空间展布以及规模明显受古泻湖环境的控制。

关键词: 羌塘盆地; 胜利河油页岩; 干酪根; 碳同位素

中图分类号: P618.12 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-3021(2009)05-643-08

Characteristics of Kerogens and Their Carbon Isotope Implications for the Shengli River Oil Shale in Qiangtang Basin, Northern Tibet

FU Xiu-gen, WANG Jian, WANG Zheng-jiang, HE Jiang-lin

Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu, Sichuan 610081

Abstract: The Shengli River oil shale in the southern part of northern Qiangtang depression within northern Tibet plateau has a EW-extending length of more than 34 km and a width of 9 m in the north-south direction. Such oil shale is of great importance in the assessment of oil and gas resources in Qiangtang basin. The oil shale has high kerogen contents and H/C ratios (1.11~1.19) and low O/C values (0.08~0.25), implying a fairly ideal source rock. The oil shale and interbedded marl from the Shengli River area in Qiangtang basin have a remarkably heavy $\text{C}_{\text{kerogen}}$ isotopic composition, ranging in $\delta^{13}\text{C}$ values of the bulk organic matter from -20.79‰ to -21.78‰ . The enrichment of ^{13}C in the Shengli River oil shale can be attributed to a combination of the high growth rate and the sedimentary environment, with the paleo-lagoon environment obviously controlling the spatial distribution and size of oil shale.

Key words: Qiangtang basin; Shengli River oil shale; kerogen; carbon isotope

油页岩作为重要的油气资源替代产品, 不仅可以作为可直接利用的能源物质, 而且对盆地油气资源潜力评价具有重要意义。我国油页岩储量居世界第四位, 但以湖相油页岩为主(刘招君等, 2005), 海相油页岩的研究少见报道。具有一定规模的海相油页岩

仅见于南羌塘的比洛错地区(王成善等, 1987)。2006年, 笔者在北羌塘盆地胜利河地区新发现一处海相油页岩(付修根等, 2007a, 2007b; 汪正江等, 2007), 命名为胜利河油页岩。2007-2008年, 笔者对该油页岩作了进一步的调查, 初步查明了该油页岩的空间

本文由国家自然科学基金项目(编号: 40702020)、四川省青年科技基金(09ZQ026-006)和国家油气专项(编号: XQ2004-06)资助。
收稿日期: 2009-03-16; 改回日期: 2009-09-20。

第一作者简介: 付修根, 男, 1976年生。博士。主要从事地球化学、油气地质研究。通讯地址: 610081, 四川省成都市一环路北三段2号。电话: 028-83231651。E-mail: fuxiugen@126.com。

展布特征,证实了该油页岩为目前我国发现的最大规模的海相油页岩。因此,胜利河油页岩的研究不仅对于羌塘盆地油气资源潜力评价具有重要意义,而且对于我国海相油页岩的勘探也具有指导意义。笔者对胜利河油页岩的干酪根特征进行了研究,探讨了其干酪根异常碳同位素特征及其意义。

1 地质背景及油页岩特征

羌塘盆地位于青藏高原中北部 85°~95°E, 32°~35°N, 南北宽 300 km, 东西长 640 km, 面积 18.5 × 10⁴ km²(王成善等, 2004)。盆地夹于冈底斯-念青唐古拉板块与可可西里-巴颜喀拉板块之间,是在前古生界结晶基底和古生界褶皱基底之上发育起来的以中生界海相沉积为主的一个残留盆地(黄继钧, 2001)。盆地北界为可可西里-金沙江断裂构造带,南界为班公湖-怒江断裂构造带(图 1)。盆地内构造

较为复杂,总体上具有两坳一隆的构造格局,即北羌塘坳陷、南羌塘坳陷和中央隆起带(图 1)。盆地内现今主体出露侏罗系海相沉积地层,自下而上依次为曲色组(J_{1q})、雀莫错组(J_{2q})、布曲组(J_{2b})、夏里组(J_{2x})、索瓦组(J_{3s})和雪山组(J_{3s})(谭富文等, 2004; 刘建清等, 2007),其中中上侏罗统具有“三砂夹两灰”的岩石组合特点,即雀莫错组、夏里组和雪山组碎屑岩夹布曲组、索瓦组灰岩(李亚林等, 2004)。而在羌塘盆地中部的中央隆起带,主要由前泥盆纪变质岩系和古生代地层构成。前人的研究成果已经证实,羌塘中生代海相盆地存在多套生储盖组合,油气资源潜力巨大,是油气勘探的有利地区(王剑等, 2004; 秦建中, 2006)。

胜利河油页岩位于北羌塘盆地胜利河西岸,累计厚度大于 8.67 m,走向长超过 34 km,宽 9 km,岩石新鲜断面为灰褐-黑褐色,风化后略显灰色,

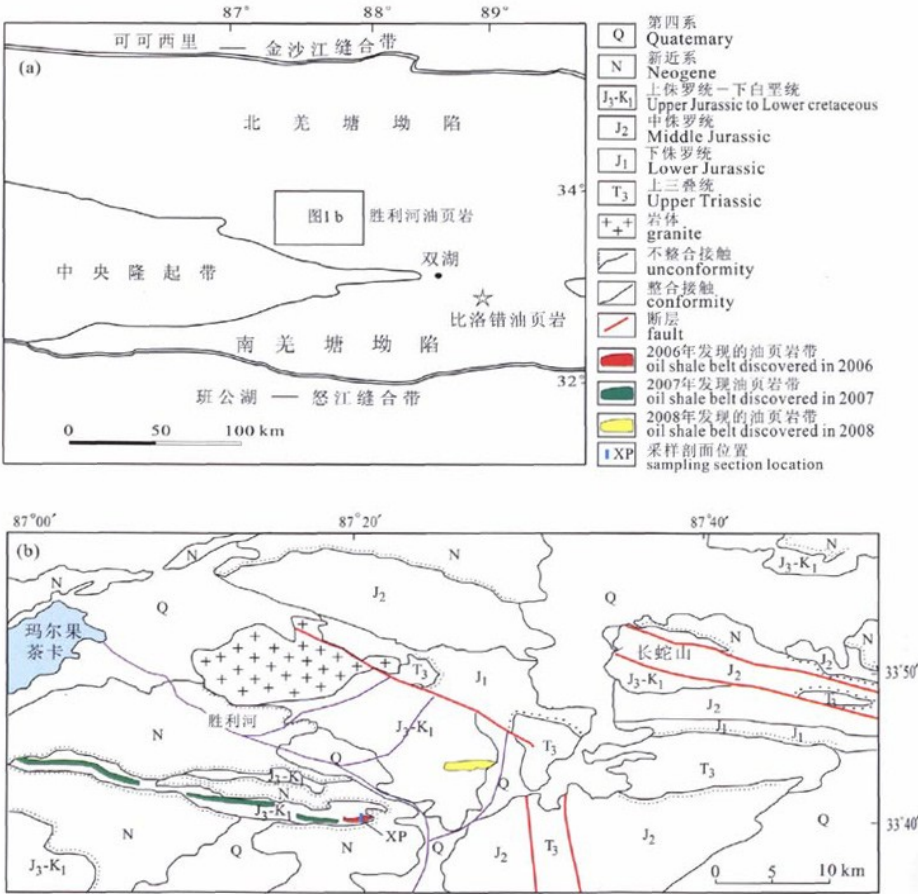
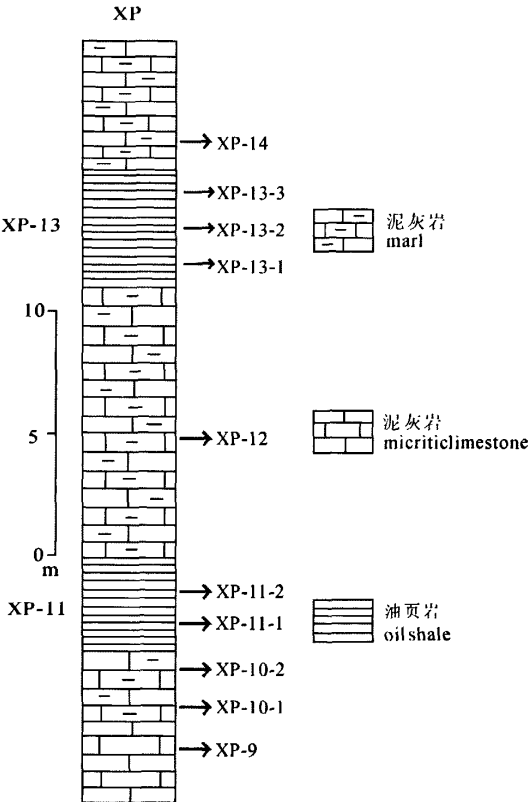


图 1 晚侏罗世—早白垩世油页岩形成的构造古地理、剖面位置(据付修根等, 2007a 修改)
Fig. 1 Tectonic paleogeography and location of the Shenglihe oil shale section (modified from Fu et al., 2007a)

油页岩呈薄的页片状或薄片状,用小刀能够剥离出毫米级的页片,易破碎,破碎后断口呈贝壳状。把油页岩放入水中,水面上漂浮一层油花,油页岩燃烧时火焰长约 1~2 cm,烟浓黑,并发出浓烈的油味。油页岩的中黄铁矿发育,但均已被风化成黑褐色,晶形不明,黄铁矿的存在反映了油页岩沉积时的还原环境。初步的地球化学特征分析表明,胜利河油页岩灰分含量为 55.23%,焦油含量为 11.0%。油页岩有机质含量较高,介于 15.05%~20.34%,平均 17.695%。与国内油页岩相比,胜利河油页岩具有产油潜力较高的特点, S_1+S_2 平均为 83.03 mg/g(王剑等, 2007)。

胜利河油页岩总体表现为西部厚,东部薄的特点,单层最大厚度为 4.82 m。笔者以单层厚度最大的西段油页岩剖面为研究对象,对其干酪根特征进行了详细研究。该油页岩剖面 GPS 座标为: 33°43'N, 87°12'E。剖面岩性组合特征简单,主要为泥灰岩、泥晶灰岩及油页岩的组合(图 2)。



胜利河油页岩剖面

图 2 胜利河油页岩剖面及详细采样位置
Fig. 2 Geological section of Shengli River oil shale, showing sampling location

2 样品的采集与分析方法

样品采自北羌塘盆地胜利河西岸,详细的采样位置及样品号见图 2,岩性为泥灰岩、泥晶灰岩及油页岩。为了降低地表现代有机物质的污染、减小因生物降解对沉积有机质的影响,在采样时尽量采集新鲜的岩石样品,并用小刀刮去泥灰岩、油页岩表面相对松散的物质。另外,对油页岩层或靠近油页岩层的泥灰岩层进行了加密取样,且取样位置在多个点进行,以保证所测数据具有代表性。

干酪根的分离、镜鉴、元素组成以及碳同位素的测定是在四川石油管理局地质勘探开发研究院地质实验室完成的。样品主要是油页岩、泥灰岩及泥晶灰岩,岩样破碎至 80 目,用天平称取 100~150 g 的岩样分别放入索氏抽提器内用氯仿抽提 72 h,将不溶有机质用稀盐酸溶解、过滤、水冲洗;再用浓盐酸和氢氟酸溶解,水浴加热(50℃),过滤、水冲洗,反复操作 2~3 次;最后用重液浮选除去黄铁矿和其他重矿物,制得干酪根。干酪根的显微组份鉴定设备为透射光显微镜,检测环境为:温度 21℃,湿度 65%RH。有机元素分析设备为 EA1110 元素分析仪,检测环境为:温度 20℃,湿度 50%RH。碳同位素分析设备是 MAT252 气体同位素质谱仪,检测环境为:温度 24℃,湿度 50%RH。干酪根的碳同位素分析结果采用的碳同位素标准为美国芝加哥 PDB 标准(南卡罗纳州白垩系皮狄组美洲拟箭石),分析误差为 ±0.2‰。

3 结果与讨论

3.1 干酪根的分离结果

胜利河油页岩各岩系的干酪根分离结果见表 1,由表可知,油页岩样品量较少,3 个样品量分别为 120 g、100 g 和 120 g,但干酪根总量(分别为 22.2377 g、20.3713g 和 18.9515 g)和干酪根含量(分别为 18.53%、20.37%和 15.79%)最高;泥晶灰岩和泥灰岩的样品量最高,均为 150 g,但干酪根总量(分别为 0.3646 g、0.5097 g、1.6791 g 和 0.7176 g)和干酪根含量(分别为 0.24%、0.34%、1.12%和 0.48%)较低,其中,以泥晶灰岩干酪根含量最低,仅为 0.24%。

3.2 干酪根镜鉴结果

显微镜下鉴别有机显微组分是确定有机质原始母质和有机质类型的最直观方法。胜利河油页岩各岩系的干酪根显微组分含量见表 2,由表可知,各组分中腐泥组含量最高,平均含量为 70.7%;镜质组和惰质组含量其次,平均含量为 13.7 和 14.7;壳质

表 1 胜利河油页岩各岩系干酪根分离结果

Table 1 Separation results of kerogen in Shengli River oil-shale section of Qiangtang basin, northern Tibet

样品号	岩性	样品量 /g	干酪根总量 /g	干酪根含量 /%	干酪根纯度 /%
XP-9	泥晶灰岩	150	0.3646	0.24	92.86
XP-10	泥灰岩	150	0.5097	0.34	85.71
XP-11	油页岩	120	22.2377	18.53	100.00
XP-12	泥灰岩	150	1.6791	1.12	90.00
XP-13	油页岩	100	20.3713	20.37	100.00
XP-13-2	油页岩	120	18.9515	15.79	100.00
XP-14	泥灰岩	150	0.7176	0.48	87.50

测试单位：四川石油管理局地质勘探开发研究院地质实验室。

表 2 胜利河油页岩各岩系干酪根显微组份鉴定及类型划分

Table 2 Micro-components and kinds of kerogen in Shengli River oil-shale section of Qiangtang basin, northern Tibet

样品号	岩性	组分含量 /%					类型
		腐泥组	沥青组	壳质组	镜质组	惰质组	
XP-9	泥晶灰岩	73			15	12	Ⅱ ₁
XP-10	泥灰岩	75			11	14	Ⅱ ₁
XP-11	油页岩	70		2	18	10	Ⅱ ₁
XP-12	泥灰岩	72		1	14	13	Ⅱ ₁
XP-13	油页岩	67		1	17	15	Ⅱ ₂
XP-13-2	油页岩	64		2	16	18	Ⅱ ₂
XP-14	泥灰岩	74			12	14	Ⅱ ₁

测试单位：四川石油管理局地质勘探开发研究院地质实验室。

组的含量较低，仅在油页岩样品和油页岩夹层样品中检测到少量的壳质组，其含量为 1%或 2%；所有样品的干酪根中均未检测到沥青组，反映了Ⅱ₁或Ⅱ₂型干酪根的特征，结合该剖面沉积环境分析(付修根等，2007a)表明，胜利河油页岩各岩系的有机质主要来自间歇性泻湖环境的藻类、花粉、浮游生物、微生物等。

烃源岩中有机显微组成特征可以较好的反映烃源岩的性质，从生烃意义来说，烃源岩中那些富氢的组分(如壳质组、腐泥组)才具有良好的生油潜力，而主要由高等植物木质素及纤维素形成的镜质组则只有当其中含有较多的富氢镜质体时才具有一定的生油能力。胜利河油页岩剖面中，油页岩具有更高含量的镜质组、惰质组(镜质组+惰质组的平均含量为 31.3%)和相对较低的腐泥组(平均含量为 67%)，而壳质组含量也仅为 1%~2%，属于中等烃源岩，但考虑到该区油页岩中干酪根含量极高(平均为 18.23%)，有机碳含量大于 15.05%，因此，油页岩可为该区非常好的烃源岩。

3.3 干酪根元素组成特征

干酪根的元素组成对确定有机质原始母质和有机质类型具有一定的意义。研究表明，Ⅰ型干酪根的 H/C 值大于 1.5，O/C 值小于 0.1，这种干酪根主要

来自海相或陆相深水湖泊中的藻类、细菌等低等水生生物，以富含蛋白质和类脂体为特征；Ⅱ型干酪根的 H/C 值在 1.0~1.5 间，O/C 值在 0.1~0.2 间，主要来自陆相深水一半深水湖泊的孢子、花粉、浮游生物、微生物等混合有机质；Ⅲ型干酪根的 H/C 值在 1.0 以下，O/C 值高于 0.2，主要来自陆地高等植物的木质素、纤维素等(Tissot et al., 1978)。胜利河油页岩各岩系干酪根的 H/C 值为 1.05~1.36 间，但 O/C 值变化较大，介于 0.08~0.25 之间。在范氏图上，所有样品的投点均落在Ⅱ型干酪根范围内(图 3)，与干

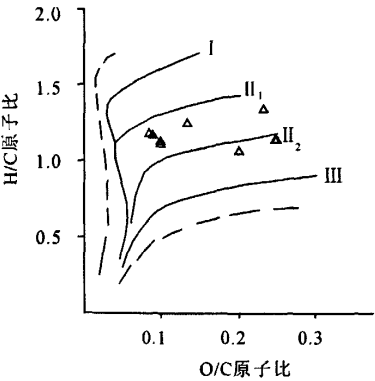


图 3 干酪根 H/C—O/C 图
Fig. 3 H/C—O/C diagram of kerogen

酪根镜鉴结果基本一致。油页岩富氢少氧的特征进一步说明，在胜利河地区油页岩是非常好的烃源岩。

3.4 干酪根碳同位素特征

胜利河油页岩各岩系干酪根碳同位素分析结果见表3，总体而言，干酪根碳同位素组成略高于氯仿沥青“A”的碳同位素组成，其最大1.2‰的差异表明他们具有成因的联系，同时也表明，分析的干酪根的 $\delta^{13}\text{C}$ 值应接近原始有机碳的同位素组成。

保存于古老地层中的沉积有机质一般经历了两个重要过程，即生物降解作用和热成熟作用，它们可能改变沉积有机质初始碳同位素组成(Samuelsson et al., 1999)。在干酪根的形成与演化过程中，细菌光合作用所产生的有机质二次降解作用对干酪根主体没有太大的影响(Ⅱ₁干酪根的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值变化<2.5‰，苏艾国，1999)，这是因为干酪根大多是耐降解大分子选择性保存的结果(郭庆军等，2005)。沉积有机质的热成熟作用可能导致最初保存于这些古老有机质中生物地球化学信息的损失(Samuelsson et al., 1999)，因此，沉积有机质保存程度的研究，对有机质碳同位素组成的解释至关重要。沉积有机质的保存程度可以通过干酪根H/C原子比进行检验，对于那些H/C原子比大于0.2的岩样，其干酪根 $\delta^{13}\text{C}$ 数值的变化不会超过5‰(李任伟等，1999)。胜利河油页岩各岩系干酪根的H/C原子比为1.05~1.36，均大于0.2，表明 $\delta^{13}\text{C}_{\text{kerogen}}$ 受后期成熟作用的影响较小。油页岩样品具有低的 R_o 值(0.38~0.49)(付修根等，2007a)，也支持这一论断(苏艾国，1999)。

胜利河油页岩各岩系中油页岩层 ^{13}C 相对富集，

$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值为-20.79‰~-21.78‰；泥晶灰岩层 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值最小，为-25.61‰；位于油页岩顶部、夹层以及底部的泥灰岩样品的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值具有较大的波动性，其值分别为-23.69‰、-21.53‰和-25.48‰。生物体中碳同位素的类型不同，由生物体聚合而成的干酪根在碳同位素的组成上有一定差异。大多数植物的 $\delta^{13}\text{C}$ 值为-24‰~-34‰，藻类为-12‰~-23‰，现代沉积物中，湖泥有机质 $\delta^{13}\text{C}$ 值为-27.5‰~-32.5‰(中国科学院地球化学研究所有机地球化学与沉积学研究室，1982)，海泥有机质 $\delta^{13}\text{C}$ 值平均为-20‰(Degens, 1969)。本次测定的油页岩样品 $\delta^{13}\text{C}$ 值与后者接近，推测油页岩形成于海水较深，封闭-半封闭的泻湖或海湾环境，其有机质母源以藻类为主，有少量的花粉、浮游生物、微生物等混合来源的特征。

沉积环境的差异往往会导致沉积有机质中碳同位素的偏移，与氧化水体相比，缺氧水体(溶解氧含量小于0.5 ml/l)中发育的沉积有机质更富氢、更富类脂质，这与厌氧细菌的降解作用有关。由于厌氧细菌能够选择性降解富 ^{13}C 、不稳定的有机组分，使其残留部分倾向于富集轻同位素和类脂质(Chester, 2003)。Ruby等(1987)研究认为在含水地层和在还原状态，微生物活动比较活跃，同位素效应在化学合成条件下比在光合作用条件下大4‰~6‰，Harvey(1997)的研究也证实轻碳同位素在化学合成的微生物群中的富集程度比光合作用产生的生物大。胜利河油页岩形成于还原环境，油页岩中大量黄铁矿颗粒的存在证实了这一点，但事实上，在胜利河油页岩层却相对富 ^{13}C ，具有较高 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值(表3)，这

表3 胜利河油页岩各岩系干酪根有机元素及碳同位素分析结果
Table 3 Analytical results of organic elements and carbon isotopes in Shengli River oil-shale section of Qiangtang basin, northern Tibet

样品号	岩性	$\omega(\text{B})/\%$			原子比		碳同位素组成 /‰	
		C	H	O	H/C	O/C	干酪根	氯仿沥青“A”
XP-9	泥晶灰岩	44.34	3.89	12.06	1.05	0.20	-25.61	-26.73
XP-10-1	泥灰岩	36.84	3.49	12.08	1.14	0.25	-25.43	-26.55
XP-10-2	泥灰岩	36.84	3.49	12.08	1.14	0.25	-25.48	-26.66
XP-11-1	油页岩	72.20	6.70	9.65	1.11	0.10	-21.53	-22.10
XP-11-2	油页岩	72.70	6.87	9.84	1.13	0.10	-20.79	-21.89
XP-12	泥灰岩	56.33	5.88	9.87	1.25	0.13	-21.53	-22.43
XP-13-1	油页岩	36.84	3.49	12.08	1.14	0.25	-21.78	-22.98
XP-13-2	油页岩	74.67	7.39	8.41	1.19	0.08	-21.36	-22.54
XP-13-3	油页岩	73.70	7.27	8.55	1.18	0.09	-21.05	-22.35
XP-14	泥灰岩	34.68	3.94	10.77	1.36	0.23	-23.69	-25.11

注：氯仿沥青“A”含量数据据李忠雄等,2007,内部报告。

一特征表明,在油页岩沉积期,胜利河地区死亡生物(藻类)量的沉积速率远大于氧化速率,大部分藻类还未被氧化就被埋藏,从而保留了原始藻类略富 ^{13}C 的特征,而较高的生产力也正是该区油页岩形成的条件(付修根等,2007a)。

油页岩层干酪根 ^{13}C 相对富集的特征在比洛错油页岩剖面中也有类似的反映,该剖面位于南羌塘盆地,与胜利河油页岩一样,同属于海相油页岩,其干酪根母源以藻类为主,并有少量的花粉、浮游生物、微生物等混合来源的特征。该剖面油页岩层 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值较大,平均为 -23.785‰ ,而其他各岩层的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 平均值为 -25.316‰ (待发数据),反映了油页岩层干酪根略富 ^{13}C 的特征。Pancost等(2001)在研究英国南部侏罗系Kimmeridge Clay组油页岩时也注意到这种现象,并认为Kimmeridge Clay组油页岩有机质中 ^{13}C 的相对富集与藻类有关。Gelin等(1996)的研究表明,单一藻类的勃发会导致沉积有机质中 ^{13}C 的相对富集,而这种特征与大多数海相或湖相沉积物中有机碳同位素的组成具有较大的差异。笔者所研究的胜利河油页岩层干酪根略富 ^{13}C 的特征可能也正是藻类勃发的结果。油页岩沉积早期,胜利河地区气候温暖潮湿,这可以由孢粉的资料得到证实,大量的淡水注入使得泻湖上部水体盐度相对较低,海水为弱氧化环境,这种特殊的环境有利于藻类的大量繁殖,形成较高的生产力,同时,生物埋藏量增大,有机物腐烂时释放出更多的 H_2S 气体,水体分层现象进一步加强。爆发式发展的藻类导致了死亡生物量的沉积速率远大于氧化速率,海底环境进一步恶化,由弱氧化环境变成缺氧而富 H_2S 的还原环境,藻类略富 ^{13}C 的组分得以保存,从而表现为油页岩干酪根具有较高的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值。

4 地质意义

研究表明,胜利河油页岩具有高的干酪根含量和异常的碳同位素特征,这与高的生产力有关,同时也受一定沉积环境的控制。这些控制因素在 $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ vs. $\text{Ts}/(\text{Ts}+\text{Tm})$ 和升藿烷相对含量(%) vs. 干酪根含量(%)图解中(图4)表现得更为直观。在相同或相近的成熟度条件下, $\text{Ts}/(\text{Ts}+\text{Tm})$ 的变化与沉积环境有较大的关系,升藿烷相对含量除了受生物母源控制外也受沉积环境的影响。油页岩层 ^{13}C 相对富集以及较高的干酪根含量均与藻类勃发(高的生产力)有关。显然,在这些图解中,油页岩样品集中分布在了相同或相近的区域,而泥灰岩或泥晶灰岩样品则分布在了不同的区域,表明油页岩沉积期与泥灰岩(或泥晶灰岩)沉积期沉积环境的差异以及生产力的不同。

生产力条件主要受母源控制,同时也受古气候以及古沉积环境的影响,显然,在一定时期内古气候具有区域性的特征,同时,在相同古沉积环境条件下,生物母质也具有一定的区域性。因此,古沉积环境成为油页岩空间展布以及形成规模的关键。从近年来笔者对该地区油页岩的勘探经验来看,也证实了这一点。2006年,笔者在胜利河地区发现油页岩,沿古泻湖边缘进行了追踪,发现其延伸达到2.5 km。2007年,笔者对该地区油页岩进行了探槽工程,勘探的方向仍然沿着古泻湖边缘,发现其延伸达到30 km。2008年,在上述基础上,又在古泻湖边缘发现了走向延伸超过4 km的油页岩。由此可见,胜利河地区的油页岩在走向上的展布主要受古泻湖的控制。这为该地区的油页岩的勘探以及国内其它地区的油页岩勘探提供了宝贵的经验。

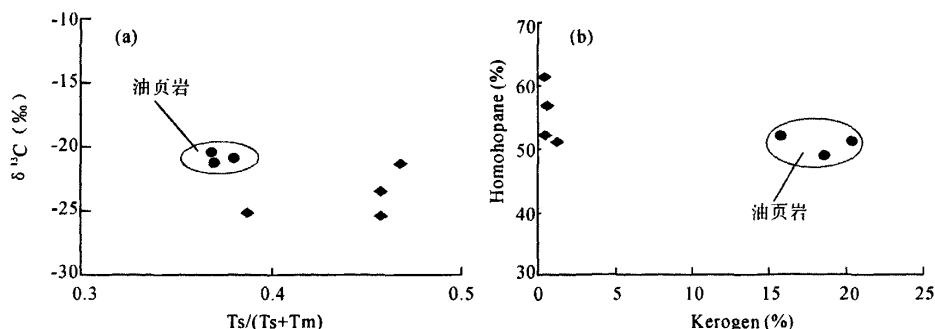


图4 胜利河油页岩有机碳同位素与 $\text{Ts}/(\text{Ts}+\text{Tm})$ 和升藿烷相对含量(在藿烷中的相对含量)与干酪根含量相关图(据付修根等,2007a)

Fig. 4 $\delta^{13}\text{C}$ versus $\text{Ts}/(\text{Ts}+\text{Tm})$ and shomohopane (%) versus kerogen (%) diagrams of samples from Shengli River oil shale section (after Fu et al., 2007a)

5 结论

(1) 胜利河油页岩干酪根的含量远大于其他各岩系干酪根的含量, 干酪根显微组分以腐泥组为主, 并见有一定含量的镜质组、惰质组, 壳质组含量较低, 显示Ⅱ型干酪根的特征, 为胜利河地区非常好的烃源岩。各岩系干酪根的 H/C 值和 O/C 值在范氏图上的投点也均落在Ⅱ型干酪根范围内, 且油页岩具有富氢少氧的特征, 进一步表明油页岩为胜利河地区非常好的烃源岩。

(2) 胜利河油页岩层 ^{13}C 相对富集, 具有相对较高的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值, 这是由于胜利河地区油页岩母源为较单一的藻类来源, 藻类的大量繁殖造成了该类生物死亡埋藏速率远大于氧化速率, 在还原环境下大部分藻类还未被氧化就被埋藏, 从而保留了原始藻类略富 ^{13}C 的特征。

(3) 胜利河油页岩的形成与该地区高的生产力有关, 同时也受一定沉积环境的控制, 古泻湖环境是控制胜利河油页岩空间展布以及规模的关键因素。

参考文献:

- 付修根, 王剑, 汪正江, 陈文西. 2007a. 藏北羌塘盆地晚侏罗世海相油页岩生物标志物特征、沉积环境分析及意义[J]. 地球化学, 36(5): 486-496.
- 付修根, 王剑, 汪正江, 陈文西. 2007b. 藏北羌塘盆地海相油页岩沉积环境分析[J]. 新疆石油地质, 28(5): 529-533.
- 郭庆军, 刘丛强, Harald Strauss, Tatiana Goldberg, 杨卫东. 2005. 贵州瓮安陡山沱组剖面碳同位素生物地球化学研究[J]. 矿物岩石, 25(2): 75-80.
- 黄继钧. 2001. 羌塘盆地基底构造特征[J]. 地质学报, 75(3): 333-337.
- 李任伟, 卢家烂, 张淑坤, 雷加锦. 1999. 震旦纪和早寒武纪黑色页岩有机碳同位素组成[J]. 中国科学(D 辑), 29(4): 351-357.
- 李亚林, 伊海生, 王成善, 李勇, 伍新和, 张玉修. 2004. 西藏羌塘盆地盐相关构造特征与油气聚集[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 12(6): 586-591.
- 李忠雄, 熊兴国, 白培荣, 吴滔, 贺永忠, 朱勋, 易成兴. 2007. 羌塘盆地西长梁-胜利河油页岩调查与评价[R]. 成都地质矿产研究所, 内部报告, 77-93.
- 刘建清, 贾保江, 杨平, 陈玉禄, 彭波, 李振江. 2007. 碳、氧、锶同位素在羌塘盆地龙尾湖地区层序地层研究中的应用[J]. 地球学报, 28(3): 253-260.
- 刘招君, 柳蓉. 2005. 中国油页岩特征及开发利用前景分析[J]. 地学前缘, 12(3): 315-323.
- 秦建中. 2006. 青藏高原羌塘盆地中生界主要烃源层分布特征[J]. 石油实验地质, 28(2): 134-140.
- 苏艾国. 1999. 干酪根碳同位素在成熟和风化过程中变化规律初探[J]. 矿物岩石地球化学通报, 18(2): 79-83.

- 谭富文, 王剑, 王小龙, 杜伯伟. 2004. 羌塘盆地雁石坪地区中-晚侏罗世碳、氧同位素特征与沉积环境分析[J]. 地球学报, 25(2): 119-126.
- 王成善, 伊海生, 刘池洋, 李亚林, 邹艳荣, 伍新和, 邓斌, 杨兴科. 2004. 西藏羌塘盆地古油藏发现及其意义[J]. 石油与天然气地质, 25(2): 139-143.
- 王成善, 张哨楠. 1987. 藏北双湖地区三叠系油页岩的发现[J]. 中国地质, 8: 29-31.
- 王剑, 付修根, 杜安道, 汪正江, 陈文西. 2007. 藏北羌塘盆地胜利河油页岩地球化学特征及 Re-Os 定年[J]. 海相油气地质, 12(3): 21-26.
- 王剑, 谭富文, 李亚林, 李永铁, 陈明, 王成善, 郭祖军, 王小龙, 杜伯伟, 朱忠发. 2004. 青藏高原重点沉积盆地油气资源潜力分析[M]. 北京: 地质出版社, 140-198.
- 汪正江, 王剑, 陈文西, 付修根. 2007. 青藏高原北羌塘盆地胜利河上侏罗统海相油页岩的发现[J]. 地质通报, 26(6): 764-768.
- 中国科学院地球化学研究所有机地球化学与沉积学研究室. 1982. 有机地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1-354.

References:

- CHESTER R. 2003. Marine Geochemistry[M]. Blackwell Publishing, 190-194.
- DEGENS E T. 1969. Biogeochemistry of stable carbon isotopes[J]. In: Organic Geochemistry, Method and Results[C]. Springer, Heidelberg University Publication (England), 304-329.
- Department of Organic Geochemistry and Sedimentary Research, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences. 1982. Organic Geochemistry[M]. Beijing: Science Press, 1-354 (in Chinese).
- FU Xiu-gen, WANG Jian, WANG Zheng-jiang, CHEN Wen-xi. 2007a. Biomarkers and sedimentary environment of Late Jurassic marine oil shale in Qiangtang basin, northern Xizang and its geological significance[J]. Geochemica, 36(5): 486-496 (in Chinese with English abstract).
- FU Xiu-gen, WANG Jian, WANG Zheng-jiang, CHEN Wen-xi. 2007b. Marine oil shale depositional environment of Qiangtang basin in northern Tibet[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 28(5): 529-533 (in Chinese with English abstract).
- GELIN F, BOOGERS I, NOORDELOOS A A M, SINNINGHE D J S, HATCHER P G, DE LEEUW J W. 1996. Novel, resistant microalgal polyethers: an important sink of organic carbon in the marine environment[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 60: 1275-1280.
- GUO Qing-jun, LIU Cong-qiang, HARALD S, TATIANA G, YANG Wei-dong. 2005. Carbon isotopic bio-geochemical study on the section of doushantuo Formation in Weng'an, Guizhou province[J]. J. Mineral Petrol., 25(2): 75-80 (in Chinese with English abstract).
- HARVEY H R, MARCKO S A. 1997. Kinetics of phytoplankton decay during simulated sedimentation: Changes in lipids under oxic and anoxic conditions[J]. Organic Geochemistry, 27(3-4): 129-140.

- HUANG Ji-jun. 2001. Structural characteristics of the basement of the Qiangtang basin[J]. *Acta Geologica Sinica*, 75(3): 333-337 (in Chinese with English abstract).
- LI Ren-wei, LU Jia-nan, ZHANG Shu-kun, LEI Jia-jin. 1999. Organic carbon isotope composition in Sinian and Early Cambrian black shales[J]. *Science in China Series D-Earth Sciences*, 29(4): 351-357 (in Chinese).
- LI Ya-lin, YI Hai-sheng, WANG Cheng-shan, LI Yong, WU Xin-he, ZHANG Yu-xiu. 2004. Salt-related structural characteristics and hydrocarbon accumulation in Qiangtang basin, Tibet, China[J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 12(6): 586-591 (in Chinese with English abstract).
- LI Zhong-xiong, XIONG Xing-guo, BAI Pei-rong, WU Tao, HE Yong-zhong, ZHU Xun, YI Cheng-xing. 2007. Geological survey and evaluation of the oil shale in the Xichangliang-Shengli River area[R]. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, unpublished report, 77-93.
- LIU Jian-qing, JIA Bao-jiang, YANG Ping, CHEN Yu-lu, PENG Bo, LI Zheng-jiang. 2007. The application of carbon, oxygen and strontium isotopes to the study of Middle-Upper Jurassic sequence stratigraphy in Longwei Co area, Qiangtang basin[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 28(3): 253-260 (in Chinese with English abstract).
- LIU Zhao-jun, LIU Rong. 2005. Oil shale resource state and evaluation system[J]. *Earth Science Frontiers*, 12(3): 315-323 (in Chinese with English abstract).
- PANCOST R D, NILS T, SINNINGHE D J S. 2001. Carbon isotopic composition of an isoprenoid-rich oil and its potential source rock[J]. *Organic Geochemistry*, 32: 87-103.
- QIN Jian-zhong. 2006. Distributions of the main Mesozoic hydrocarbon source rocks in the Qiangtang basin of the Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Experimental petroleum geology*, 28(2): 134-140 (in Chinese with English abstract).
- SU Ai-guo. 1999. Discussion on variation of carbon isotope of kerogen during thermal maturation and weathering[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 18(2): 79-83 (in Chinese with English abstract).
- RUBY E G, JANNASCH H W, DEUSER W G. 1987. Fractionation of stable carbon isotope during chemoautotrophic growth of sulfur-oxidizing bacteria[J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 53: 140-194.
- SAMUELSSON J, STRAARUSS H. 1999. Stable isotope geochemistry and paleobiology of the upper Visings? Group (early Neoproterozoic), southern Sweden[J]. *Geological Magazine*, 136: 63-73.
- TAN Fu-wen, WANG Jian, WANG Xiao-long, DU Bai-wei. 2004. Analysis of carbon and oxygen isotope composition and sedimentary environment of the Yanshiping area of the Qiangtang basin in Middle-Late Jurassic[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 25(2): 119-126 (in Chinese with English abstract).
- TISSOT B P, WELTE D H. 1978. *Petroleum Formation and Occurrence - A New Approach to Oil and Gas Exploration*[M]. Springer—Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 67-94.
- WANG Cheng-shan, YI Hai-sheng, LIU Chi-yang, LI Ya-lin, ZOU Yan-rong, WU Xin-he, DENG Bin, YANG Xing-ke. 2004. Discovery of paleo-oil-reservoir in Qiangtang basin in Tebit and its geological significance[J]. *Oil & Gas Geology*, 25 (2): 139-143 (in Chinese with English abstract).
- WANG Cheng-shan, ZHANG Shao-nan. 1987. Discovery of Triassic oil shale in Shuanghu area, northern Tibet[J]. *Geology in China*, (8): 29-31 (in Chinese with English abstract).
- WANG Jian, FU Xiu-gen, DU An-dao, WANG Zheng-jiang, CHEN Wen-xi. 2007. Organic geochemistry and Re-Os dating of marine oil shale in Shenglihe area, northern Tibet, China[J]. *Marine Origin Petroleum Geology*, 12(3): 21-26 (in Chinese with English abstract).
- WANG Jian, TAN Fu-wen, LI Ya-lin, LI Yong-tie, CHEN Ming, WANG Cheng-shan, GUO Zu-jun, WANG Xiao-long, DU Bai-wei, ZHU Zhong-fa. 2004. The Potential of the Oil and Gas Resources in Major Sedimentary Basins on the Qinghai-Xizang Plateau[M]. Beijing: Geological Publishing House, 140-198 (in Chinese with English abstract).
- WANG Zheng-jiang, WANG Jian, CHEN Wen-xi, FU Xiu-gen. 2007. Discovery of the Late Jurassic Shenglihe marine oil shale in the northern Qiangtang basin, Qinghai-Tibet plateau[J]. *Geological Bulletin of China*, 26(6): 764-768 (in Chinese with English abstract).