

北羌塘盆地侏罗系布曲组烃源岩 地球化学特征及意义

陈文彬 廖忠礼 张予杰 彭智敏

(中国地质调查局成都地质矿产研究所, 四川 成都 610082)

摘要:布曲组海相碳酸盐岩是北羌塘盆地发育的重要的烃源岩之一。笔者从有机质丰度、有机质类型、有机质成熟度,尤其是生物标志物特征等方面揭示了北羌塘盆地侏罗系布曲组烃源岩地球化学特征。研究表明,该烃源岩的发育环境为海相还原环境,有机质母质主要为低等水生生物为主兼有一定高等植物的输入,有机质热演化程度高,处于高成熟阶段。

关键词:烃源岩;地球化学;布曲组;北羌塘盆地

中图分类号:P593 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2007)05-0927-08

藏北羌塘盆地位于著名的特提斯构造域东段,夹持于冈底斯—念青唐古拉板块和可可西里—巴颜喀拉板块之间,面积约20万km²,是一个发育在不同性质基底上的中、新生代复合盆地^[1]。南北分别以可可西里—金沙江缝合带和班公湖—怒江缝合带为界,由北羌塘凹陷、中部隆起带和南羌塘凹陷3部分组成(图1),北羌塘盆地实际上是指由北羌塘凹陷构成的羌塘盆地的一个次级盆地,发育的布曲组海相碳酸盐岩地层分布面积广,地层厚度大,是重要的烃源岩之一^[2]。但是由于研究程度低,一些油气地球化学问题尚不是很清楚。笔者以北羌塘盆地侏罗系布曲组海相碳酸盐岩为研究对象,揭示了其地球化学特征,并初步探讨了其意义。

1 样品采集及测试方法

本次研究的灰岩样品均取自北羌塘盆地(图1),包括测区的北部白滩湖凹陷石门沟剖面、中部龙尾湖凹陷黑尖山剖面和南部龟背岭凸起蜈蚣山剖面,均为露头样品。

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、氧化铝层柱,正己烷、苯、无水乙醇作冲洗剂,得饱和烃、芳烃和非烃。用GC-MS对饱和烃作测试分析。实验条件:Platform II 色谱—质谱仪,离子源温度180℃,电子能量70eV,HP-5石英弹性毛细管色谱柱(50 m×0.32 mm×0.17 mm),分别以8℃/min从60℃程序升温至100℃和3℃/min速度从120℃

程序升温至300℃,测试方式全扫描(SCAN)。

2 烃源岩岩性沉积特征

研究剖面岩性组合特征简单,石门沟剖面主要为泥晶灰岩、生屑灰岩、鲕粒灰岩及泥灰岩的组合,偶夹泥岩。剖面下部为泥晶灰岩夹生屑灰岩、鲕粒灰岩,上部以泥晶灰岩为主,剖面厚度大于543.54 m,从沉积环境分析,该套沉积组合属于碳酸盐岩台地相沉积。

黑尖山剖面总体为一套障壁海岸沉积体系,包括台地边缘浅滩、局限台地和混合碳酸盐岩台地3个沉积相类型,滩相类型包括生屑滩、鲕粒滩、介壳滩、砂砾屑滩等。岩性主要为泥晶灰岩、泥灰岩、介屑灰岩以及生物屑灰岩,剖面厚度大于274 m。

蜈蚣山剖面为一套碳酸盐岩台地相沉积,包括开阔台地和局限台地相,岩性主要为泥晶灰岩、砂屑灰岩及生物屑灰岩,剖面厚度大于200 m。

3 烃源岩有机地球化学特征

3.1 有机质丰度

为了客观真实地反映烃源岩评价烃源层,李永铁等^[3]对地表风化和高成熟—过成熟烃源岩残余有机碳和生烃潜力进行了研究,制定了青藏高原露头样品碳酸盐岩烃源岩有机碳评价标准,将残余有机碳0.05%~0.15%和0.15%~0.30%定为

收稿日期:2006-12-18;改回日期:2007-03-06

基金项目:国家油气专项“青藏高原油气资源战略选区调查与评价”(XQ-2004-06)资助。

作者简介:陈文彬,男,1979年生,主要从事油气地质及相关工作;E-mail:cdcwbin@cgs.gov.cn。

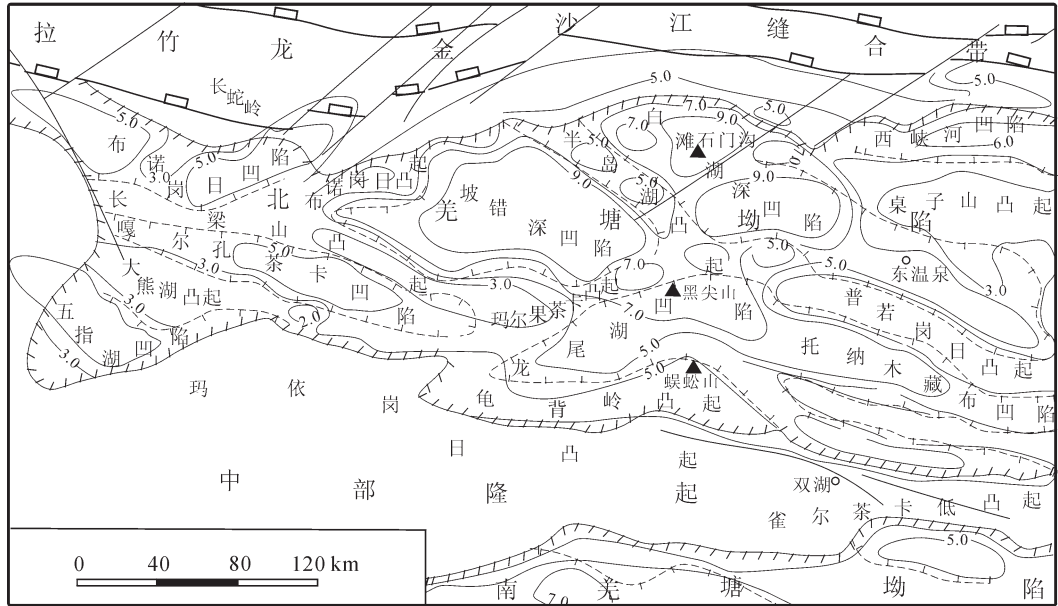


图1 研究地区构造及位置图(据文献[2],有修改)

Fig.1 Structural and location map of the study area(modified from[2])

表1 烃源岩的基础地球化学参数

Table 1 Geochemical parameters of source rocks in the North Qiangtang basin

剖面	编号	岩性	TOC/%	沥青A/10 ⁻⁶	干酪根镜鉴 /%				Tmax/℃	Ro/%	
					腐泥组	壳质组	镜质组	惰质组			类型
石 门 沟	1	灰岩	0.14	2	74	0	9	17	II ₁	524	1.44
	2	灰岩	0.59	14	58	3	18	21	II ₂	570	1.41
	3	灰岩	0.33	2	61	2	17	20	II ₂	527	1.48
	4	灰岩	0.29	3	58	3	20	19	II ₂	565	1.51
	5	灰岩	0.24	4	74	0	8	18	II ₁	562	1.48
	6	灰岩	0.20	5	72	1	10	17	II ₁	544	1.51
	7	灰岩	0.32	3	72	0	11	17	II ₁	560	1.51
	8	灰岩	0.28	2	75	0	10	15	II ₁	559	1.58
	9	灰岩	0.18	2	80	1	7	12	II ₁	556	1.56
黑 尖 山	10	灰岩	0.08	11	69	0	13	18	II ₁	485	1.38
	11	灰岩	0.06	24	72	0	9	19	II ₁	487	1.37
	12	灰岩	0.07	2	68	0	15	17	II ₁	486	1.44
	13	灰岩	0.09	3	70	0	10	20	II ₁	514	1.27
蜈 蚣 山	14	灰岩	0.06	4	73	0	12	15	II ₁	492	1.34
	15	灰岩	0.05	17	75	0	10	15	II ₁	477	1.80
	16	灰岩	0.08	1	72	0	12	16	II ₁	481	1.78
	17	灰岩	0.07	9	68	0	13	19	II ₂	479	1.71

注:样品由中国石油西南油气田公司勘探开发研究院地质实验室分析。

差和中等烃源岩,有机碳0.3%~0.55%和大于0.55%定为好和很好烃源岩。以此标准,研究样品中石门沟剖面有机碳含量0.14%~0.59%,均值0.28%,为中等—好烃源岩;黑尖山和蜈蚣山剖面有机碳均较低,为差烃源岩(表1)。氯仿沥青“A”、生烃潜量等均很低,可能与研究的样品是地表样品遭受风化有关,已经失去原有的指示意义。

3.2 有机质类型

由于岩石热解分析结果表明样品可溶烃几乎丧失 ($S_1=$

0~0.02 mg/g),热解烃含量也极低 ($S_2=0.01\sim 0.09$ mg/g),氢指数特别低(<50 mg/g),氧指数异常高,按照这些数据,所有烃源岩有机质母质都很差,考虑到为地表样品,可能与风化有关,结果并不可靠。而干酪根镜鉴被认为是划分有机质类型比较可靠的。镜检分析表明,研究样品中显微组分由腐泥组、镜质组、惰质组和壳质组组成。通过镜下对干酪根显微组分构成进行仔细观察,发现烃源岩中腐泥组组分含量较高,可达58%~80%,镜质组和惰质组含量次之,分别在7%~20%和

表2 北羌塘盆地布曲组烃源岩色谱特征

Table 2 Chromatographic data of source rocks in the Bi Qu Formation of the North Qiangtang basin

剖面	编号	正构烷烃				类异戊二烯烃		
		主峰碳	OEP	C ₂₁ /C ₂₂₊	C ₂₁ +C ₂₂ /C ₂₈ +C ₂₉	Pr/nC ₁₇	Ph/nC ₁₈	Pr/Ph
石门沟	1	25	1.09	0.38	1.79	0.41	0.92	0.12
	2	25	1.07	0.14	0.94	0.46	1.09	0.27
	3	25	1.06	0.57	2.18	0.33	0.93	0.15
	4	25	1.06	0.19	1.20	0.51	0.95	0.29
	5	25	1.06	0.19	1.20	0.51	0.95	0.29
	6	25	1.07	0.27	1.36	0.45	0.87	0.24
	7	25	1.08	0.20	1.41	0.47	0.82	0.42
	8	24	0.95	0.18	1.27	0.42	0.88	0.31
	9	25	1.06	0.22	1.48	0.44	0.72	0.36
	10	25	1.11	0.21	1.54	0.39	0.78	0.03
黑尖山	11	25	1.06	0.29	1.36	0.19	0.8	0.07
	12	25	1.11	0.16	1.09	0.50	0.78	0.06
	13	25	1.07	0.20	1.73	0.38	0.75	0.05
	14	25	1.14	0.19	1.30	1.06	0.68	0.19
蜈蚣山	15	25	1.05	0.58	1.92	0.63	0.78	0.39
	16	21	1.11	0.42	1.72	0.50	1.01	0.24
	17	24	0.98	0.51	1.83	0.46	0.82	0.34

注:样品由中国石油西南油气田公司勘探开发研究院地质实验室分析。

12%~21%,而壳质组含量很少,在1%~3%或是根本就没有(表1)。一般认为,腐泥组主要由低等水生植物浮游类、藻类和部分浮游动物的遗体经过腐泥化作用形成,形成于滞水厌氧环境。镜检结果显示研究区布曲组烃源岩有机质类型主要为腐植腐泥型(主要为II₁型,少量II₂型),说明有机质类型较好。

3.3 有机质成熟度

R_o生油门限值是反映烃源岩有机质演化和成熟度的经典地球化学指标,尤其对于II型和III型干酪根很有效。对研究区的布曲组R_o的测定结果表明,R_o值基本大于1.3%,Tamx测定值为477~570°C,均460°C以上(表1),这表明研究样品的有机质热演化程度较高,已处于高成熟的湿气生成阶段。

总之,研究的布曲组海相烃源岩有机质丰度较高,有中等—好烃源岩,也有差烃源岩,有机质类型较好,以II₁型为主,少量II₂型,热演化程度较高,已处于高成熟阶段。

4 烃源岩生物标志物特征

4.1 饱和烃的色谱特征

(1)正构烷烃

本次研究样品抽提物的饱和烃色谱图呈典型的单峰型分布,碳数分布在nC₁₆~nC₃₆,主峰碳nC₂₁、nC₂₄或nC₂₅,ΣC₂₁/ΣC₂₂₊值较低(表2),在0.14~0.58可能是受降解影响,重碳优势较为明显。窦启龙^[4]研究认为,正构烷烃很容易被微生物降解,且微生物对C₂₁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。研究的样品均为地表样品,族组分中饱和烃丰度相对较低(非烃>饱和烃),这是遭受降解的表现。苗建宇^[5]的研究也表明,正构烷烃主峰碳有所增高(C₁₇~C₂₅),以单峰型为主,轻重比明显偏低可能与沉积有机质遭受生物降解有关。

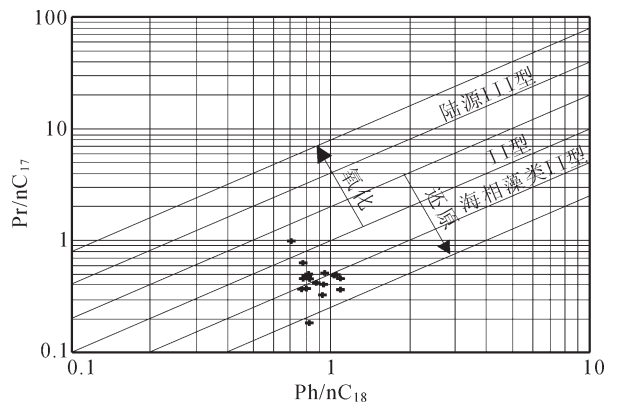


图2 应用异戊二烯烃确定母质类型(Shanmugan, 1985)

Fig.2 Determination of types of organic source material by isoprenoids (Shanmugan, 1985)

这与笔者研究的情况基本类似,因此本文中ΣC₂₁/ΣC₂₂₊值较低可能是微生物降解造成的结果。(C₂₁+C₂₂)/(C₂₈+C₂₉)比值较高,为0.94~2.18,以大于1为主。OEP值分布在0.91~1.14,无明显的奇偶碳数分布。以上特征总体反映了研究区有机质母质以低等水生生物为主,有一定高等植物输入的特点。

(2)类异戊二烯烃

所有样品均检出丰富的类异戊二烯烃,其中最丰富且最重要的是姥鲛烷(Pr)和植烷(Ph)。姥鲛烷、植烷以及姥植比(Pr/Ph)可作为沉积环境及介质酸碱度重要标志。梅博文等^[6]、王铁冠等^[7]、Poerll等^[8]、Seifert等^[9]认为,姥鲛烷形成于较氧化环境,植烷形成于较还原环境。彼得斯等^[10]提出,对生油窗内的样品,高Pr/Ph比(>3.0)指示氧化条件下的陆源有机质输入,低比值(<0.6,代表缺氧的并且通常是超盐环境。研究区样品

Pr/Ph 比值为 0.03~0.42, 均小于 0.6, Pr/nC₁₇、Ph/nC₁₈ 分别为 0.19~1.06 和 0.68~1.09, 大多小于 1.0 (表 2), 显示植烷优势, 可能揭示有机质较强的还原环境和较高的盐度条件。

研究表明^[11-12], Pr/nC₁₇-Ph/nC₁₈ 的相关图可以有效地区分母质类型 (图 2), 从图 2 可以看出研究样品具有相似的氧化还原条件, 在图上主要分布在 II 型—海相藻类 II 型区域, 表明母质以海相低等藻类为主, 而且还反映了烃源岩沉积时作为一种比较强的还原环境。

4.2 甾类化合物

研究的样品烃源岩抽提物鉴定出的甾烷主要包括 C₂₁+C₂₂ 孕甾烷系列, C₂₇-C₂₈-C₂₉ 规则甾烷系列, 还检测出很少量的重排甾烷 (图 3)。规则甾烷呈不规则“V”字型分布, Σ(C₂₇+C₂₈)>ΣC₂₉, 5α-C₂₇R/5α-C₂₉R 为 0.44~0.81, C₂₉ 略占优势 (表 3)。一般认为, C₂₇ 和 C₂₈ 甾烷主要来源于低等水生藻类, 而 C₂₉ 甾烷既可来源于藻类也可来源于高等植物^[13]。分析表明, 干酪根主要由来源于低等水生生物的显微组分组成 (II₁ 型), 因而

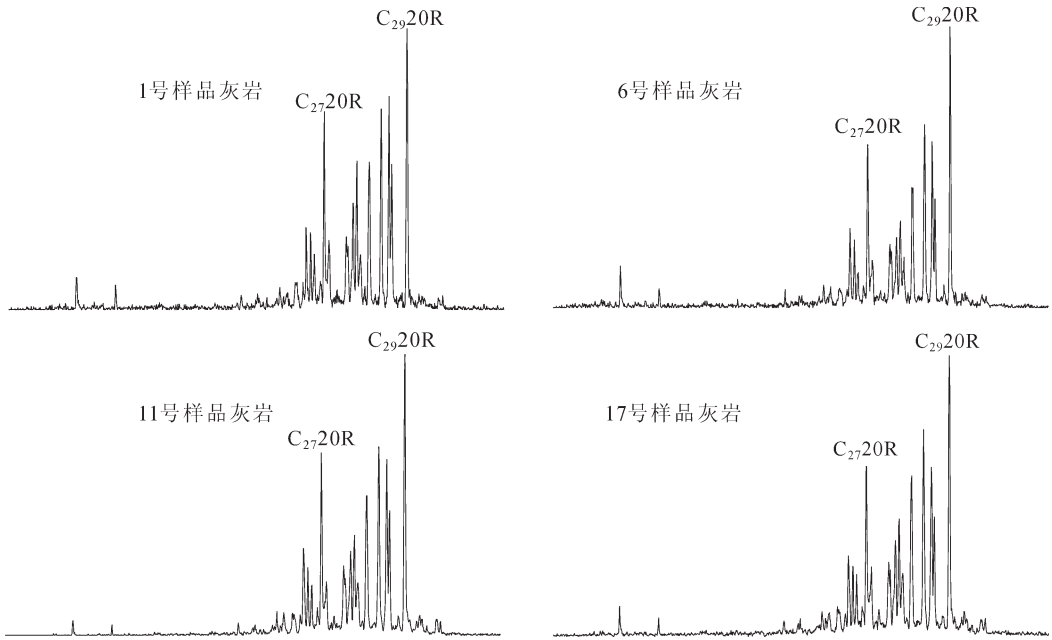


图3 北羌塘盆地烃源岩甾烷 m/z217 质量色谱图

Fig.3 Mass chromatograms of steranes in source rocks in the Bi Qu Formation of the North Qiangtang basin

表3 北羌塘盆地布曲组烃源岩甾烷地球化学参数

Table 3 Biomarker parameters of steranes in source rocks in the Bi Qu Formation of the North Qiangtang basin

剖面	编号	C ₂₇ /C ₂₉	C ₂₇ 甾烷	C ₂₈ 甾烷	C ₂₉ 甾烷	C ₂₉ 20 S/(20 S+20 R)	C ₂₉ ββ/(aaa+aββ)
石 门 沟	1	0.66	0.29	0.28	0.44	0.43	0.36
	2	0.68	0.30	0.26	0.44	0.44	0.31
	3	0.81	0.34	0.24	0.42	0.40	0.35
	4	0.61	0.27	0.29	0.44	0.48	0.39
	5	0.66	0.29	0.27	0.44	0.40	0.34
	6	0.59	0.27	0.27	0.46	0.43	0.34
	7	0.61	0.28	0.26	0.46	0.44	0.34
	8	0.74	0.32	0.25	0.43	0.46	0.36
	9	0.59	0.27	0.27	0.46	0.43	0.34
黑 尖 山	10	0.53	0.26	0.24	0.49	0.35	0.41
	11	0.54	0.25	0.28	0.47	0.35	0.40
	12	0.49	0.24	0.27	0.49	0.34	0.40
	13	0.50	0.24	0.27	0.49	0.35	0.39
	14	0.53	0.25	0.27	0.47	0.33	0.38
蜈 蚣 山	15	0.51	0.31	0.26	0.44	0.46	0.35
	16	0.64	0.36	0.24	0.40	0.47	0.37
	17	0.44	0.25	0.30	0.45	0.42	0.35

注: 样品由中国石油西南油气田公司勘探开发研究院地质实验室分析。

认为本区烃源岩中规则甾烷主要是来源于藻类,混有一定比例高等植物输入。

$C_{29}\alpha\alpha\alpha 20S / \alpha\alpha\alpha (20S+20R)$ 和 $C_{29}\alpha\beta\beta / (\alpha\alpha\alpha + \alpha\beta\beta)$ 是常用的甾烷成熟度参数。一般认为,生油门限(R_o 值约为0.6%)两参数数值约为0.25,到生油高峰(R_o 值约为0.8%)达到平衡,前一比值达到0.52~0.55,后一比值达到0.7左右^[14]。但在碳酸盐岩等缺乏粘土矿物的岩石中,成熟度参数值一般偏低^[15]。研究的样品 $C_{29}\alpha\alpha\alpha 20S / \alpha\alpha\alpha (20S + 20R)$ 比值为0.40~0.48, $C_{29}\alpha\beta\beta / (\alpha\alpha\alpha + \alpha\beta\beta)$ 比值0.31~0.39(表3),比平衡值还低,这与实际成熟度已达高成熟($R_o > 1.3\%$)不符。廖永胜^[16]研究认为,甾烷异构化达到平衡并不表明异构化已经终止,当 R_o 值大于1.3%之后, C_{29} 甾烷构型变化使比值倒转,致使其比值逐渐变小。因此研究样品甾烷异构参数值偏小可能表明已过生油高峰。

4.3 萜类化合物

研究样品主要鉴定出了以 $m/z 191$ 为基峰的三环萜烷和五环三萜烷系列及少量四环萜烷。样品中检测到了丰富的五环三萜烷系列,主要包括 C_{27} - C_{33} 的藿烷系列和伽马蜡烷(图4)。

(1) 三环萜烷

据研究,长侧链三环萜烷来源于细菌类微生物,海相中形成的源岩含有较高的三环萜烷,三环萜烷/五环三萜烷比值可达0.1~1.0,一般为0.35~0.50,而陆相地层中该比值一般小于0.25^[17]。研究区样品中三环萜烷/五环三萜烷比值为0.09~0.86,大多在0.25以上,仅10号和12号样品值低于0.1,为0.09

(表4)。这反映本区源岩来源于海相环境和低等生物。也有研究指出咸水环境比淡水环境更能产生三环萜烷化合物,而前面研究揭示研究区烃源岩可能形成于具有一定咸度环境,这都与研究区烃源岩的形成条件相符。

(2) 藿烷系列

本区样品中均检测到了含量较高的升藿烷系列(C_{31} - C_{35})(图4)。彼得斯^[18]认为,在成熟度相近的油源岩中,与低碳数同系物相比较高丰度的升藿烷(碳数 ≥ 31)与沉积时期海相强还原环境有关。研究区样品的较高升藿烷系列表明沉积环境的还原性质。

升藿烷 $C_{31}22S / (22S+22R)$ 值一般在进入成油门限时达到其平衡值,即0.6左右^[19]。本区样品的该参数为0.60~0.64(表4),可能反映了研究区样品具有较高的成熟度。

$Ts / (Tm + Ts)$ 比值是最常用成熟度指标,适用于过成熟阶段。随成熟度的增加 $Ts / (Tm + Ts)$ 值逐渐升高,且这种变化可以一直会持续到较高成熟阶段,约在生油阶段晚期该值达到0.5^[20]。另据研究表明^[21],该比值也受有机相的影响,岩性和沉积环境的氧化性可能对该值有一定影响,对粘土催化剂反应也很敏感,在碳酸盐岩地层中具有较低的值^[13]。分析结果(表4)表明,研究样品中该参数值为0.33~0.59,从参数值变化来看,绝大部分样品在0.5以上,反映成熟度较高;但是部分更靠近中央隆起样品的值反而偏低,可能是受沉积相影响,也可能是其他原因,还有待进一步研究。

徐文凯^[9]研究认为, 17α 、 21β - $C_{30} / 17\beta$ 、 21α - C_{30} 是一项确

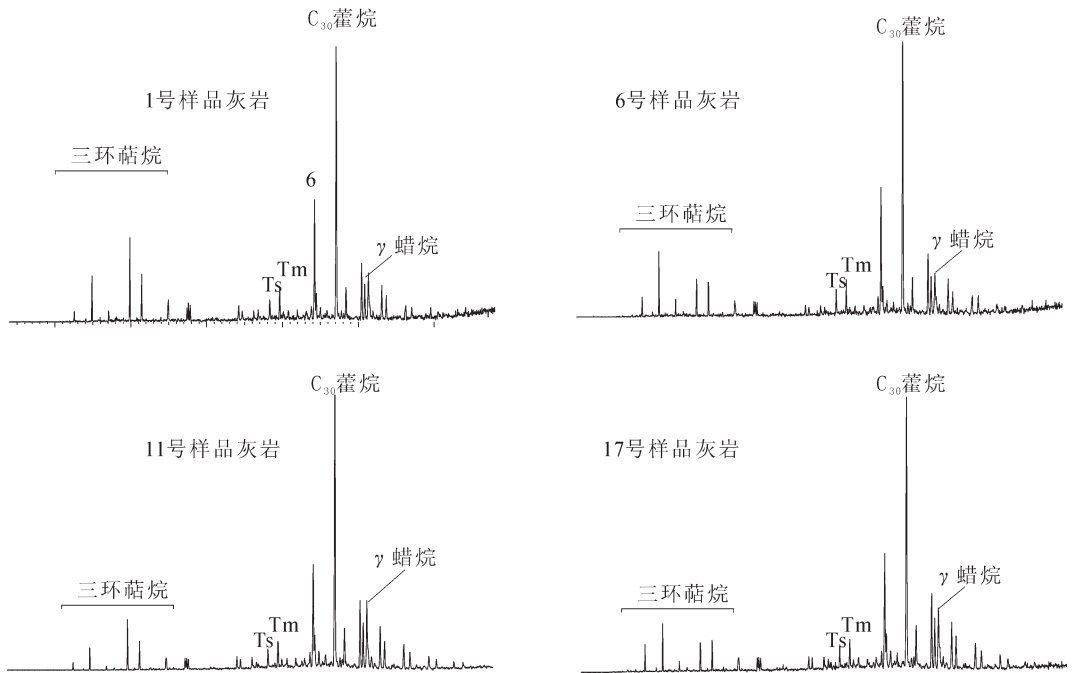


图4 北羌塘盆地烃源岩萜烷 $m/z 191$ 质量色谱图

Fig.4 Mass chromatograms of terpanes in source rocks in the Bi Qu Formation of the North Qiangtang basin

表4 北羌塘盆地布曲组烃源岩萜烷地球化学参数
Table 4 Parameters of terpanes in source rocks in the Bi Qu Formation of the North Qiangtang basin

剖面	编号	三环萜烷 /五环萜烷	萜烷/C ₃₀ 藿烷	17a、21B-C ₃₀ / 17B、21a-C ₃₀	C ₃₁ 22S /(22S+22R)	T ₉ /(T _m +T _s)
石 门 沟	1	0.32	0.23	7.60	0.59	0.43
	2	0.34	0.18	11.32	0.63	0.59
	3	0.65	0.22	7.69	0.64	0.50
	4	0.38	0.16	9.14	0.60	0.47
	5	0.44	0.18	9.72	0.60	0.55
	6	0.25	0.15	8.71	0.63	0.53
	7	0.25	0.18	8.38	0.59	0.58
	8	0.58	0.11	9.34	0.59	0.55
	9	0.20	0.25	7.33	0.59	0.55
黑 尖 山	10	0.09	0.17	15.21	0.60	0.43
	11	0.18	0.28	6.97	0.59	0.42
	12	0.09	0.19	13.45	0.59	0.39
	13	0.13	0.21	10.12	0.64	0.33
蜈 蚣 山	14	0.16	0.29	7.08	0.61	0.44
	15	0.26	0.20	6.95	0.68	0.55
	16	0.86	0.12	7.70	0.62	0.37
	17	0.19	0.31	6.15	0.60	0.41

注:样品由中国石油西南油气田公司勘探开发研究院地质实验室分析。

定有机质成熟度的良好指标,在未成熟阶段其比值一般小于1.0,进入成熟阶段为4.0~7.0,一旦进入高成熟阶段其比值就大于7.0。本次研究样品17 α 、21 β -C₃₀/17 β 、21 α -C₃₀比值一般都大于7.0(表3),为5.2~15.21,均值为8.7,反映出本区烃源岩已达高成熟阶段。

(3)伽马蜡烷

伽马蜡烷是一种C₃₀的三萜烷,被认为是主要来源于原生动物和光合作用细菌的四膜虫醇,通过还原作用形成的。高含量的伽马蜡烷常被作为强还原超盐环境的指示,而且与水体的分层有关^[23]。本区烃源岩样品中伽马蜡烷/C₃₀藿烷值为0.11~0.31(表4),均值为0.22。据研究,在江汉盆地机关新近系原油中,伽马蜡烷/C₃₀藿烷值可高达1.26。从伽马蜡烷/C₃₀藿烷值来看,当时的海水盐度并不是很高。

5 烃源岩地球化学意义

海相沉积中聚集的有机质主要来源于水生生物,干酪根镜检显示腐泥组分含量较高,生物标志物研究也显示烃源岩母质主要来源于低等水生生物,这都说明浮游生物特别是藻类的大量繁殖是研究区有机质的主要来源,可见,研究区生烃的物质基础是相当好的。分析还表明,研究区布曲组沉积期为有一定的盐度,且水体具pH值较高,Eh值较低的碱性还原条件,只是不同坳陷不同地区有所差异而已。

至于石门沟所采集样品有机碳含量明显较黑尖山和蜈蚣山的要好,可能是受沉积环境不同所致。石门沟位于白滩湖深凹陷中部,沉积较深,而黑尖山样品在龙尾错凹陷边上,蜈蚣山样品则是在龟背岭凸起,可能沉积时水体相对较浅。因此,沉积环境对研究区烃源岩分布具有显著的控制作用。

6 结论

(1)北羌塘盆地布曲组烃源岩有机碳含量在0.05%~0.59%,其中位于石门沟的样品有机碳含量较高,为0.14%~0.59%,为中等-好烃源岩;黑尖山和蜈蚣山剖面有机碳均较低,为差烃源岩。烃源岩有机质类型主要为混合型,腐泥组含量高。烃源岩有机质镜质体反射率大于1.3%。

(2)生物标志物参数分析揭示了北羌塘盆地烃源岩在有一定的盐度缺氧—还原海相环境沉积,烃源岩母质主要来源于细菌和藻类等低等水生生物,有一定高等植物输入,烃源岩有机质热演化程度较高,处于高成熟阶段。

(3)研究区烃源岩有机质丰度可能受沉积相控制,只是不同坳陷不同地区有所差异。需要说明的是,该分析样品取于地表附近,造成这种原因可能也与侏罗系沉积之后的强烈剥蚀和构造变动有关。因此,建议下一步加强构造与油气保存条件的研究。

致谢: 本文撰写过程中付修根博士给予了很多帮助,在此表示感谢!

参考文献(References):

- [1] 和钟铤,杨德明,李才. 藏北羌塘盆地褶皱形变研究[J]. 中国地质, 2003, 11(4):357-360.
ZHONG Heye, YANG Deming, LI Cai. Folds in the Qiangtang Basin, northern Tibet [J]. Geology in China, 2003, 11 (4):357-360 (in Chinese with English abstract).
- [2] 王剑,谭富文,李亚林,等. 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, 2004:140-198.

①徐文凯,消开华,陆亚秋,等. 西藏羌塘盆地双湖地区区域石油地质调查报告. 江汉石油管理局勘探开发研究院, 1998.

- Wang Jian, Tan Fuwen, Li Yalin, et al. The Potential of the Oil and Gas Resources in Major Sedimentary Basins on the Qinghai-Xizang Plateau [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2004: 140-198 (in Chinese).
- [3] 赵政璋, 李永铁, 叶和飞, 等. 青藏高原海相烃源层的油气生成 [M]. 北京: 科学出版社, 2000: 175-213.
- Zhao Zhengzhang, Li Yongtie, Ye Hefei, et al. Petroleum Generation of the Sea Facies Source Rocks on the Qinghai-Xizang Plateau [M]. Beijing: Science Press, 2000: 175-213 (in Chinese).
- [4] 窦启龙, 陈践发, 薛燕芬, 等. 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.
- Du Qilong, Chen Jianfa, Xue Yanfen, et al. A comparative study of the geochemical character of crude oil after microbe degradation in laboratory [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2005, 9(3): 542-547 (in Chinese with English abstract).
- [5] 苗建宇, 周立发, 邓昆, 等. 吐鲁番坳陷二叠系烃源岩地球化学与沉积环境的关系 [J]. 中国地质, 2004, 11(4): 424-430.
- Miao Jianyu, Zhou Lifa, Deng Kun, et al. Relationship between the depositional environment and geochemistry of Permian hydrocarbon source rocks in the Turpan Depression [J]. Geology in China, 2004, 11(4): 424-430 (in Chinese with English abstract).
- [6] 梅博文, 刘希江. 我国原油中异戊间二烯烃的分布及其与地质环境的关系 [J]. 石油与天然气地质, 1980, 1(2): 99-115.
- Mei Bowen, Liu Xijiang. The distribution of isoprenoid alkanes in China's crude oil and its relation with the hegeologic environment [J]. Oil & Gas Geology, 1980, 1(2): 99-115 (in Chinese with English abstract).
- [7] 王铁冠, 等. 生物标志物地球化学研究 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1990.
- Wang Tieguan, et al. Approach to Biomarker Geochemistry [M]. Wuhan: China University of Geoscience Press, 1990 (in Chinese).
- [8] Powell T, Mckirdy D M. Relationship between ratio of pristane to phytane, crude oil composition and geological environments in Australia [J]. Nature, 1973, 243: 37-39.
- [9] Seifert W K, Moldowan J M. Paleoreconstruction by biological markers [J]. Geochemica et Cosmochimica Acta, 1981, 45: 783-794.
- [10] 彼得斯 K E, 莫尔多万 J M. 生物标记化合物指南—古代沉积物和石油中分子化石的解释 [M]. 姜乃煌, 张水昌, 林永汉, 等译. 北京: 石油工业出版社, 1995: 106.
- Peters K E, Moldowan J M. The Biomarker Guide: Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sediments [M]. Translated by Jiang Naihuang, Zhang Shuichang, Lin Yonghan et al. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001: 106 (in Chinese with English abstract).
- [11] Shanmugan G. Significance of coniferous rain forests and related oil, Gippsland Basin, Australia [J]. AAPG Bulletin, 1985, 69: 1241-1254.
- [12] Barakat A O, Mostafa A, ElGayar M S, et al. Source dependent biomarker properties of five crude oils from the Gulf of Suez, Egypt [J]. Organic Geochemistry, 1997, 26: 441-450.
- [13] Esummons R, et al. Dinosterane and other steroidal hydrocarbons of dinoflagellate origin in sediments and petroleum [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1987, 51: 3075-3082.
- [14] Moldwan J M, Albrecht P, Philip R P, et al. Biomarkers in sediments and petroleum. Prentice-Hall, Englewood Cliffs [J]. New Tersey, 1991. 268-280.
- [15] 陈建平, 黄第藩. 酒东盆地油气生成和运移 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1995: 100-106.
- Chen Jianping, Huang Dipan. Petroleum Generation and Migration in the Eastern Jiuquan Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1995: 100-106 (in Chinese).
- [16] 廖永胜. 高-过成熟气源岩评价若干问题 [J]. 北京: 石油勘探与开发, 2005, (8): 147-151.
- Liao Yongsheng. Some issues about evaluation on high overmatured gas source rocks [J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 8: 147-151 (in Chinese with English abstract).
- [17] 张水昌. 南方海相地层中生物标志物—细菌和藻类生物的贡献 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1993: 155-174.
- Zhang Shuichang. The Contribution of Bacteria and Algae - Biomarkers in Marine Formation in South China [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1993: 155-174 (in Chinese).
- [18] 范璞. 塔里木油气地球化学 [M]. 北京: 科学出版社, 1990: 23-29.
- Fan Pu. Oil and Gas Geochemistry on Tarim Basin [M]. Beijing: Science Press, 1990: 23-29 (in Chinese).
- [19] Peters K E, Moldowan J M. Guide for the Application of Biological Markers [J]. Prentice-Hall, 1993: 79-187.
- [20] Mackenzie A S, Hoffmann C F, Maxwell J R. Molecular parameters of maturation in the Toarcian shales, Paris Basin, France - III. Changes in aromatic steroid hydrocarbons [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1981, 45: 1345-1355.
- [21] 任拥军, 纪友亮, 李瑞雪. 南祁连盆地石炭系可能烃源岩的甾萜烷地球化学特征及意义 [J]. 石油实验地质, 2000, 12(4): 341-345.
- Ren Yongjun, Ji Youliang, Li Ruixue. Geochemical characteristics and significance of steranes and terpanes in the Carboniferous potential source rocks of the South Qiliang Basin [J]. Experimental Petroleum Geology, 2000, 12(4): 341-345 (in Chinese with English abstract).
- [22] Moldowan J M, Fago F J. Structure and significance of a novel rearranged monoaromatic steroid hydrocarbon in petroleum [J]. Nature, 1984, 308: 439-441.
- [23] Mackenzie A S, Hoffmann C F, Maxwell J R. Molecular parameters of maturation in the Toarcian shales, Paris Basin, France - III. Changes in aromatic steroid hydrocarbons [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1981, 45: 1345-1355.

Geochemical characteristics and significance of hydrocarbon source rocks in the Jurassic Bi Qu Formation in the north Qiangtang basin

CHEN Wen-bin, LIAO Zhong-li, ZHANG Yu-jie, PENG Zhi-min

(*Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, China Geological Survey, Chengdu 610082, Sichuan, China*)

Abstract: Marine carbonate rocks of the Bi Qu Formation are one of the most important hydrocarbon source rocks in the North Qiangtang basin. This paper reveals the geochemical characteristics of the source rocks on the basis of the abundance, types and maturity of organic matter, and especially biomarker analysis. The results show the following: hydrocarbon source rocks occurred in the reducing environment, the organic source material is mainly lower aquatic plants mixed with some higher plants, and the organic matter of the hydrocarbon source rocks has a high degree of thermal evolution and is at a high maturity stage.

Key words: hydrocarbon source rocks; geochemistry; Bi Qu Formation; North Qiangtang basin

About the first author: CHEN Wen-bin, male, born in 1979, mainly engages in the study of petroleum geology and its related work; E-mail: cdcwenbin@cgs.gov.cn.