

文章编号:0253-9985(2012)06-0836-09

广西崇左柳桥地区上二叠统礁灰岩中沥青的地球化学特征

邱振^{1,2},王清晨²,贾望鲁³,韦恒叶⁴,彭平安³

(1. 中国石油勘探开发研究院,北京 100083; 2. 中国科学院地质与地球物理研究所 岩石圈演化国家重点实验室,北京 100029; 3. 中国科学院广州地球化学研究所 有机地球化学国家重点实验室,广东 广州 510640; 4. 东华理工大学 地球科学学院,江西 南昌 330013)

摘要:广西崇左柳桥地区上二叠统生物礁灰岩中普遍发育沥青,沥青主要充填于生物礁内的溶蚀孔洞和裂隙中,其次在生物体腔内。研究区内上二叠统沥青的成熟度较高,H/C原子比一般小于0.1。对崇左柳桥地区上二叠统生物礁灰岩中的沥青和大隆组的硅质岩、硅质泥岩等进行饱和烃色谱-质谱分析,综合对比其所含直链烷烃、萜烷、藿烷、甾烷和生物标志物。结果表明,这些上二叠统沥青源自大隆组的可能性不大,但可能来源于泥盆系烃源岩。

关键词:地球化学;沥青;上二叠统;生物礁灰岩;大隆组;柳桥地区;广西

中图分类号:TE122.1

文献标识码:A

Geochemical characteristics of bitumen in the Upper Permian reef limestone in Liuqiao (Chongzuo) area, Guangxi province

Qiu Zhen^{1,2}, Wang Qingchen², Jia Wanglu³, Wei Hengye⁴ and Peng Pingan³

(1. PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing 100083, China; 2. State Key Laboratory of Lithospheric Evolution, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China; 3. State Key Laboratory of Organic Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, Guangdong 510640, China; 4. College of Earth Science, East China Institute of Technology, Nanchang, Jiangxi 330013, China)

Abstract: Bitumen are well developed in the Upper Permian reef limestone in Liuqiao area, Chongzuo, Guangxi province, and they mainly occur in the cavities and fractures of bioherms, followed by biological coelomata. The bitumen samples show a high maturity and an atomic ratio of H/C generally less than 0.1. Based on the gas chromatography-mass spectrometry analyses of saturated hydrocarbon extracted from the bitumen in the Upper Permian as well as from the silicite and siliceous mudstones in the Dalong Formation in the Liuqiao (Chongzuo) area, we correlated their *n*-alkane, terpane, hopane, sterane and biomarkers. The result shows that the possibility of the bitumen being sourced from the Dalong Formation of the Upper Permian is slim. Instead, it could come from the source rocks of the Devonian in the study area.

Key words: geochemistry, bitumen, Upper Permian, reef limestone, Dalong Formation, Liuqiao, Guangxi

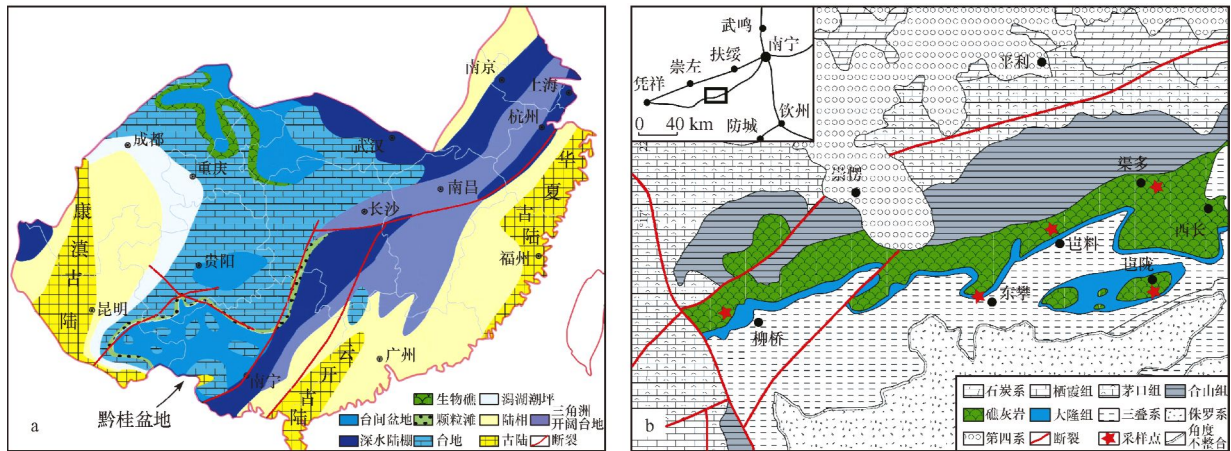
扬子北缘元坝、普光等一系列气田的发现,是我国南方海相碳酸盐岩层系油气勘探的重大突破。晚二叠世时期,扬子北缘发育为台盆相间的

沉积环境(图1a)^[1],其台间盆地内所沉积的泥质灰岩、硅质岩、硅质灰岩及硅质泥岩等是重要的烃源岩^[2-7],而台地边缘的浅滩及生物礁沉积是较好

收稿日期:2011-10-25;修订日期:2012-10-17。

第一作者简介:邱振(1984—),男,博士后,石油地质学及油气资源评价。

基金项目:国家科技重大专项(2011ZX05008,2011ZX05001)。

图1 晚二叠世华南古地理示意图^[1] a) 及研究区地质简图^[18] b)Fig. 1 The Late Permian paleogeographic map^[1] (a) and geological map of the study area^[18] (b)

的储集体^[8-12]。位于扬子南缘的黔桂盆地(或右江盆地或南盘江盆地等)在晚二叠世时期也为台、盆相间的沉积环境(图1a)^[13-14],且在台地边缘上发育的生物礁普遍含有沥青^[15-17],但该地区碳酸盐岩层系的油气勘探一直未取得较大突破。冯庆来等^[18]报道了广西崇左柳桥地区上二叠统礁灰岩含有较多沥青质充填物,并认为该地区代表深水沉积的上二叠统大隆组是好的烃源岩层。因此,如果能够确定本区生物礁灰岩中的沥青是来自大隆组,那么这一发现对黔桂盆地的油气勘探具有重要的指导意义。

邱振和王清晨^[19]对广西崇左柳桥地区东攀剖面大隆组的硅质岩和硅质泥岩的有机碳含量(TOC)进行测定,TOC整体偏低(0.10%~0.19%,平均值为0.15%),因而认为氧化的沉积水体是限制本区大隆组成为烃源岩的主控因素。但这仍不能排除本区上二叠统生物礁灰岩中的沥青是来自大隆组的可能性。因此,本文拟通过对上二叠统生物礁灰岩中的沥青,以及大隆组的硅质岩、硅质泥岩等进行有机地球化学特征的对比研究,来判别它们之间是否具有成因联系。

1 地质概况

研究区位于广西崇左市东南柳桥镇附近(图1b)。晚二叠世时期,柳桥地区位于湘黔桂盆地的东南部,为孤立台地向盆地过渡的沉积环境。研究区内出露地层主要有石炭系、二叠系及三叠

系等(图1b),其中二叠系出露最好。中二叠统栖霞组为深灰-灰色灰岩,茅口组为浅灰-灰色生屑灰岩、白云岩;上二叠统合山组为含生物屑灰岩、泥岩及粉砂岩,大隆组为深灰-黑色硅质岩及硅质泥岩等,而在合山组与大隆组之间发育了生物礁灰岩(图1b)。这些生物礁平面上呈近东西向展布,延伸达25 km以上,最大厚度约500 m,主要由礁前塌积砾屑岩、海绵障积岩及藻粘结岩等组成^[18]。

2 沥青的分布及特征

研究区内上二叠统生物礁灰岩中的沥青主要出露于柳桥、东攀、岵陇、岵料、渠多等地(图1b),其中以柳桥镇西北的沥青分布最广,含量最高。沥青主要充填于生物礁内的溶蚀孔洞和裂隙中(图2a—e, l),其次为生物体腔内(图2h)。孔洞内充填的沥青含量差异很大,主要与孔洞大小有关,被充填孔洞直径大者可达5 cm以上(图2a),小者不到1 cm(图2e)。另外,充填沥青的孔洞或生物体腔内普遍含有方解石,且沥青与方解石接触界线较为平直,多分布于方解石的外围(图2f—k),这是高温、高压下原油裂解成气后的焦沥青的典型特征。因为在深埋藏过程中古油藏的油裂解形成的天然气常常出现超压,使得孔隙内流体压力高于局部封存油的压力,从而流体内某些矿物质出现重结晶(如方解石等),其晶体的形态就控制了沥青的边界形态^[15,17,20-21]。

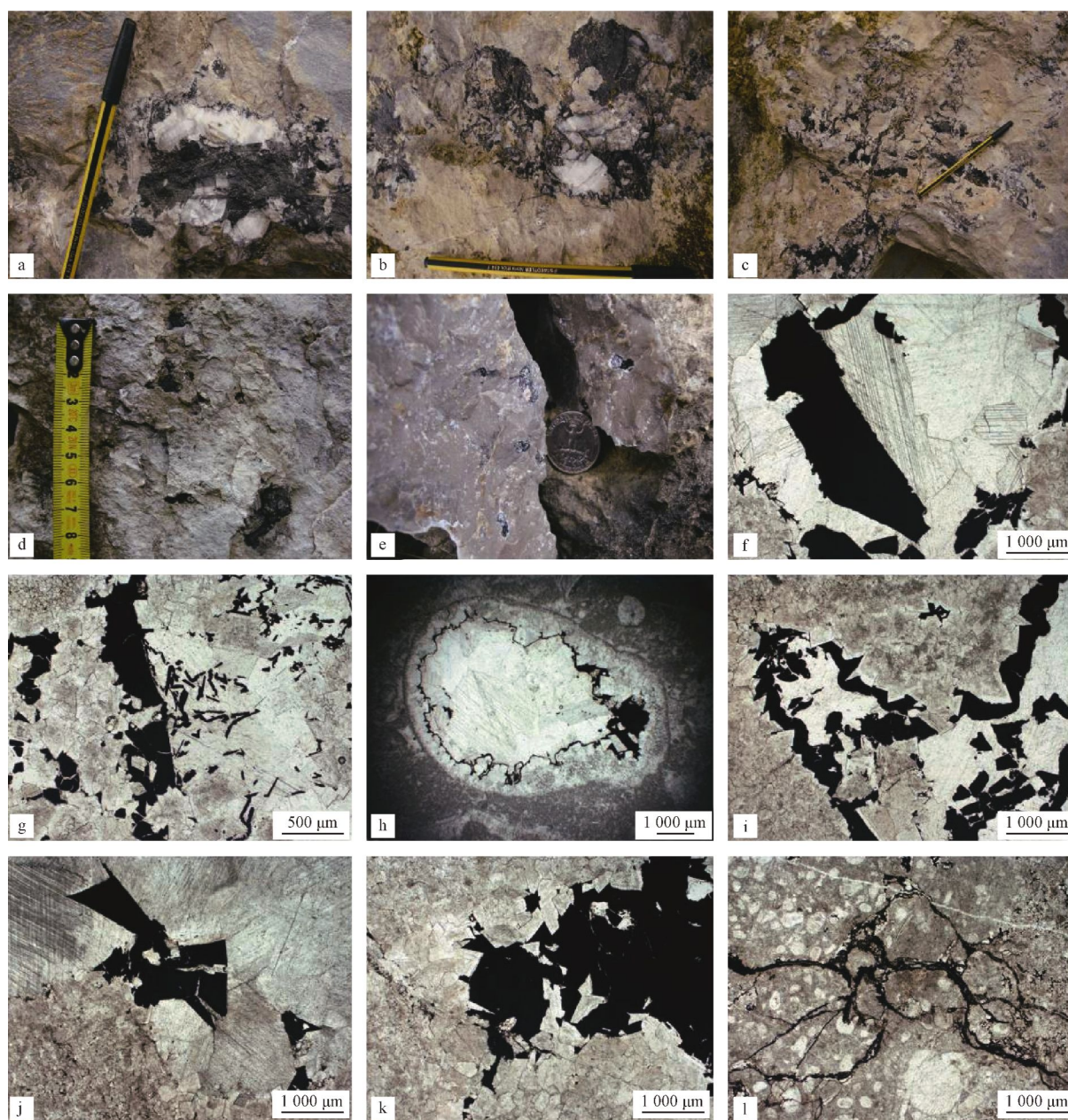


图2 柳桥地区沥青特征

Fig. 2 Characteristics of the bitumen in Liujiao area

- a,b. 柳桥镇西北灰岩中的沥青,野外照片;c. 邕料村附近礁灰岩中的沥青,野外照片;d. 邕陇村附近礁灰岩中的沥青,野外照片;
e. 渠多村附近礁灰岩中的沥青,野外照片;f,g,i,j,k. 充填于孔隙内的沥青,其边缘具有平直、清晰的多角状,单偏光;
h. 充填于生物体腔内的沥青,单偏光;l. 灰岩裂隙内充填的沥青,单偏光

3 沥青的地球化学特征

3.1 反射率及元素组成

研究区沥青的反射率 R_b 值为 1.7% ~ 3.5%, 换算的镜质体反射率 R_o 值为 1.5% ~ 2.7% (折算方法见文献[22]) (表1), R_o 平均值为 2.0%, 表明

这些沥青的成熟度可能相对偏高,但也可能是由于折算方法引起的结果偏高。具体的成熟度判别还需结合下文生物标志物的分析数据。

研究区 C 含量变化较大,为 0.44% ~ 64.04%, H/C 原子比一般小于 0.10 (仅两个样品为 0.25 和 2.57) (表1)。它们明显低于南盘江地区二叠系古油藏中沥青的 C 含量 (42.50% ~ 86.54%) 和 H/C 原子比 (0.30 左右)^[15,17]。这说

表1 崇左柳桥地区上二叠统生物礁灰岩中沥青的反射率及元素组成

Table 1 Reflectivities and elementary compositions of the bitumen in the Upper Permian reef limestone in Liugiao area

样品编号	岩性	产地	$R_b/\%$	$R_o/\%$	元素组成/%				原子比	
					N	C	H	O	H/C	O/C
CZ-01a	沥青	柳桥	3.1	2.4	0.70	56.39	3.27	7.01	0.06	0.12
CZ-01b	沥青	柳桥	3.5	2.7	0.10	17.47	1.54	7.01	0.09	0.40
CZ-01c	沥青	柳桥	2.8	2.2	—	—	—	—	—	—
CZ-02a	沥青	柳桥	3.4	2.6	0.75	62.98	3.57	5.50	0.06	0.09
CZ-02b	沥青	柳桥	2.6	2.0	0.34	29.51	2.09	8.29	0.07	0.28
CZ-05	沥青	东攀	2.1	1.7	0.25	11.98	1.16	7.03	0.10	0.59
CZ-52	沥青	岜料	1.9	1.6	0.01	0.44	1.13	12.03	2.57	27.45
CZ-56a	沥青	岜陵	1.7	1.5	—	—	—	—	—	—
CZ-56b	沥青	岜陵	2.5	2.0	0.27	5.02	1.27	11.88	0.25	2.37
CZ-56c	沥青	岜陵	—	—	—	—	—	—	—	—
CZ-57	沥青	岜陵	1.9	1.6	—	—	—	—	—	—
CZ-60	沥青	渠多	2.5	2.0	—	—	—	—	—	—

注: R_b 为沥青反射率; R_o 为镜质体反射率。

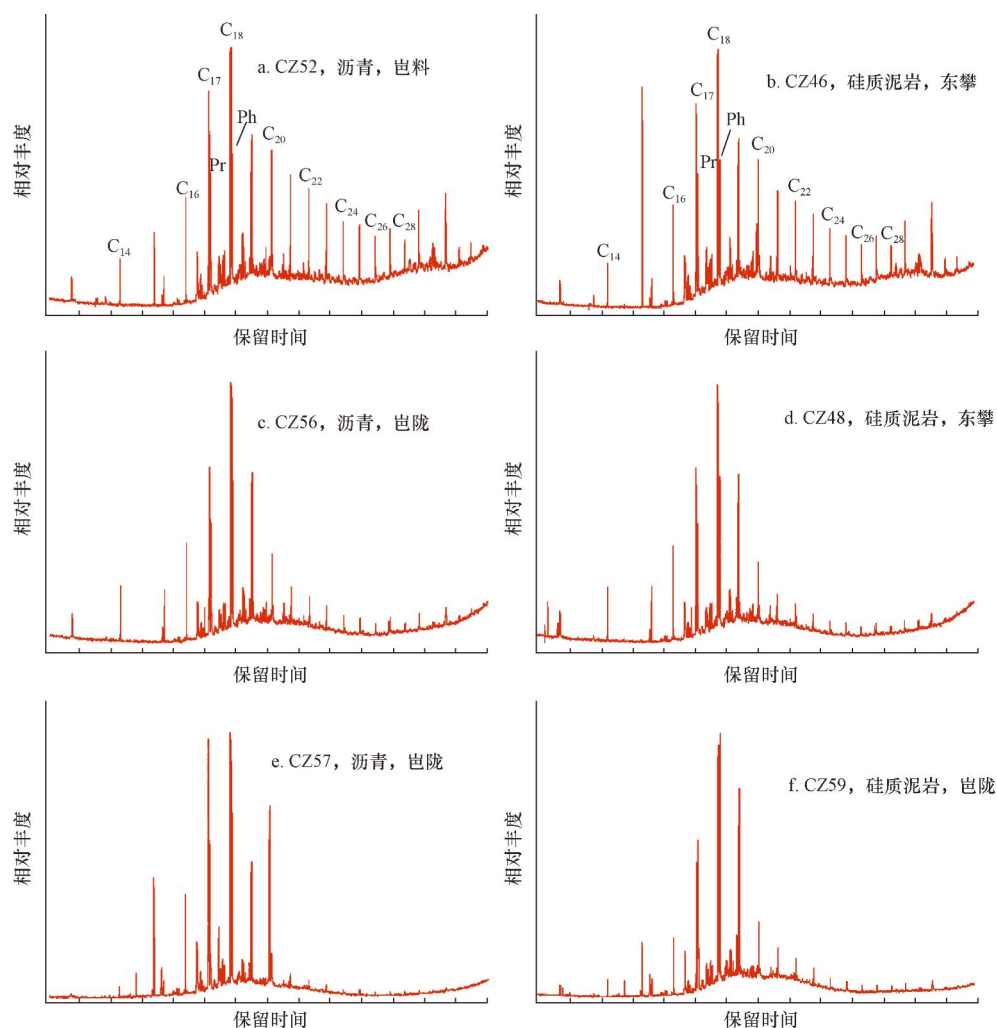


图3 崇左柳桥地区沥青样品与大隆组样品饱和烃总离子流分布特征

Fig. 3 TIC distribution of saturated hydrocarbons extracted from the bitumen samples and from the Dalong Formation in Liugiao area

(沥青样品层位均为上二叠统合山组; 泥岩样品层位均为大隆组。图中横坐标的相对时间相同。)

明崇左柳桥地区上二叠统沥青的演化程度总体上高于南盘江地区二叠系古油藏沥青。

3.2 生标特征

对崇左柳桥地区上二叠统 11 件沥青样品和 6 件大隆组样品进行色谱-质谱分析,结果表明:

1) 沥青样品总离子流图上“鼓包”较为普遍,姥鲨烷、植烷等类异戊二烯烃相对含量较高,可能指示了一定程度的生物降解作用(图 3)。正构烷烃分布在 C_{14} 至 C_{31} 之间,主峰碳均为 C_{18} 。大隆组

硅质泥岩样品正构烷烃分布在 C_{14} 至 C_{31} 之间(图 3),其主峰碳与沥青样品一样,均为 C_{18} 。从总离子流图上看,沥青和硅质泥岩样品具有较好的相似性,母质来源均为低等水生生物。

2) 在沥青样品萜烷分布图(图 4)上,邕料地区样品和邕陇地区部分样品萜烷化合物保存较为完整,萜烷以五环萜烷为主; Ts 含量大于 Tm , $Ts/(Ts + Tm)$ 分布在 $0.48 \sim 0.54$ (表 2); γ -蜡烷含量较低, γ -蜡烷/ C_{30} 藿烷分布在 $0.09 \sim 0.21$ (表 2);升藿烷系列 C_{31} , C_{32} , C_{33} , C_{34} 含量依次降低,且

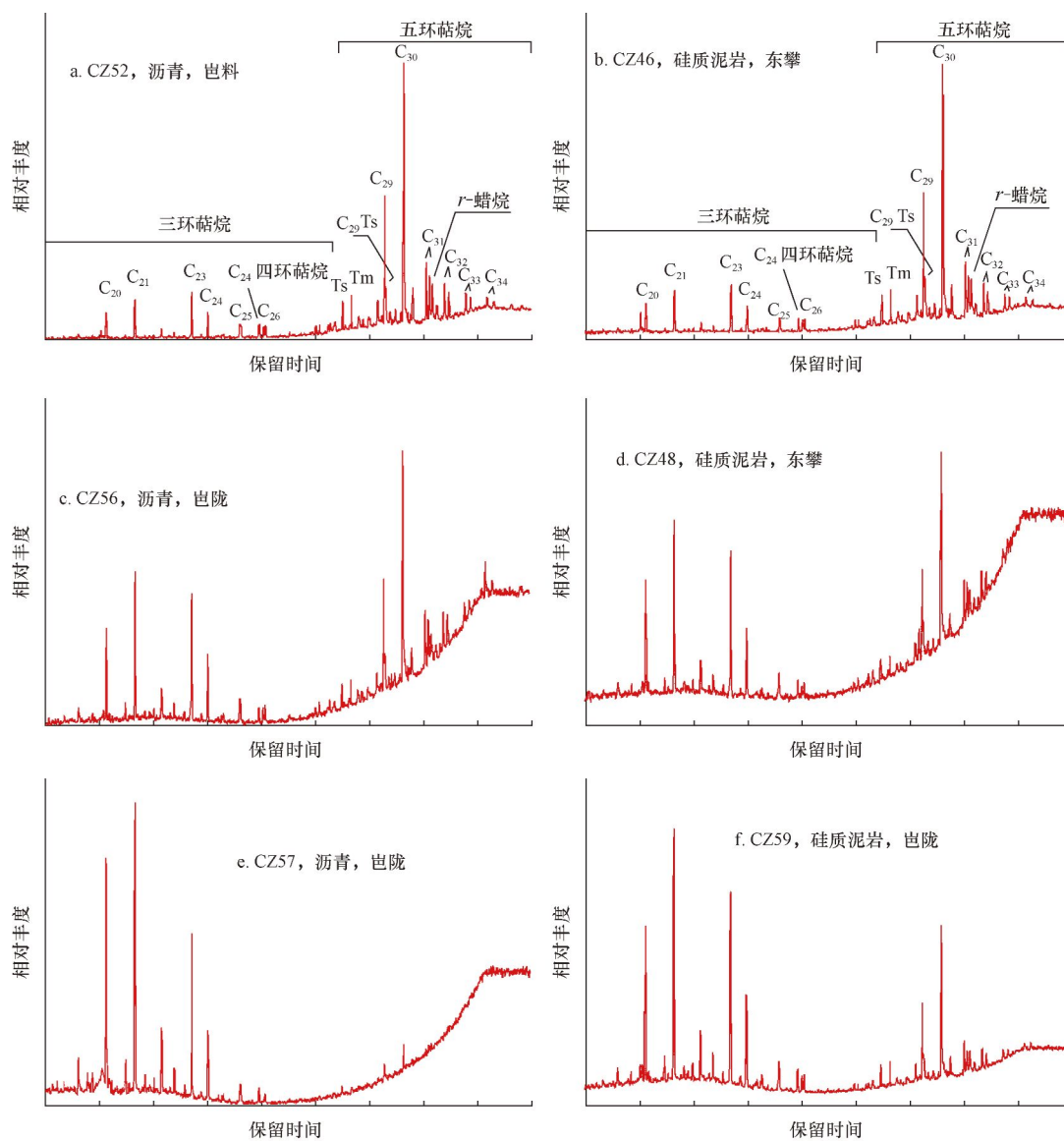


图 4 崇左柳桥地区沥青样品与大隆组样品饱和烃萜烷分布特征

Fig. 4 Terpane distribution of saturated hydrocarbons extracted from the bitumen samples and from the Dalong Formation in Liuchiao area

(沥青样品层位均为上二叠统合山组;泥岩样品层位均为大隆组。图中横坐标的相对时间相同。 $m/z = 191$ 。)

表2 崇左柳桥地区沥青样品与大隆组样品饱和烃生物标志物参数

Table 2 Biomarkers of saturated hydrocarbons extracted from the bitumen samples and from the Dalong Formation in Liugiao area

样品类型	产地	样品编号	Pr/Ph	Ts/ (Ts + Tm)	γ - 蜡烷/ C ₃₀ H	C ₃₁ H - 22S/ (22S + 22R)	$\alpha\alpha\alpha$ 20R - C ₂₇ /C ₂₉	$\alpha\alpha\alpha$ C ₂₉ - 20S/ (20S + 20R)
沥青	柳桥	CZ01a	1.46	0.54	0.13	0.64	—	—
		CZ01b	1.09	0.48	0.15	0.56	0.71	0.34
		CZ02a	2.57	0.48	0.12	0.63	—	—
		CZ02b	1.79	—	0.12	0.61	—	—
	东攀	CZ05	1.37	0.48	0.09	0.66	0.80	0.32
	邕料	CZ52	0.89	0.48	0.21	0.55	0.69	0.35
	邕陇	CZ56a	0.66	0.53	0.09	0.55	0.67	0.39
		CZ56b	0.85	0.50	0.16	0.60	0.90	0.34
		CZ56c	0.82	0.52	0.16	0.59	0.99	0.28
		CZ - 57	0.80	—	—	—	0.93	0.24
	渠多	CZ - 60	0.82	0.53	0.11	0.53	0.86	0.29
	硅质泥岩	东攀	CZ - 44	0.85	0.55	0.12	0.60	0.57
CZ - 45			0.88	0.51	0.14	0.55	0.76	0.38
CZ - 46			0.94	0.49	0.15	0.62	0.70	0.32
CZ - 48			0.68	0.57	0.13	0.55	0.70	0.36
CZ - 49			0.81	0.50	0.12	0.59	0.78	0.34
邕陇		CZ - 59	0.55	0.50	0.16	0.61	0.82	0.34

注: Pr/Ph 为姥鲛烷与植烷含量的比值; Ts 与 Tm 分别为 18 α (H)-22,29,30-三降藿烷和 17 α (H)-22,29,30-三降藿烷; C₃₀H 为 17 α ,21 β (H)-藿烷; C₃₁H-22S 为 17 α ,21 β (H)-22S-29-升藿烷; C₃₁H-22R 为 17 α ,21 β (H)-22R-29-升藿烷; $\alpha\alpha\alpha$ 20R-C₂₇ 为 5 α ,14 α ,17 α -20R-胆甾烷; $\alpha\alpha\alpha$ 20R-C₂₉ 和 $\alpha\alpha\alpha$ C₂₉-20R 为 5 α ,14 α ,17 α -20R-谷甾烷; $\alpha\alpha\alpha$ C₂₉-20S 为 5 α ,14 α ,17 α -20S-谷甾烷。

C₃₁升藿烷 22S/(22S + 22R) 分布在 0.55 ~ 0.66 (表2)。而在硅质泥岩样品的萜烷分布图(图4)上,东攀和邕陇地区的样品萜烷化合物保存较为完整。东攀样品萜烷以五环萜烷为主,三环萜烷含量较低;Ts 含量大于 Tm,Ts/(Ts + Tm) 分布在 0.49 ~ 0.57 (表2); γ -蜡烷含量较低, γ -蜡烷/C₃₀藿烷分布在 0.12 ~ 0.15 (表2);升藿烷系列 C₃₁,C₃₂,C₃₃,C₃₄ 含量依次降低,且 C₃₁升藿烷 22S/(22S + 22R) 分布在 0.55 ~ 0.62 (表2)。邕陇样品萜烷以三环萜烷为主,五环萜烷含量较低;Ts 含量稍小于 Tm,Ts/(Ts + Tm) 比值为 0.50 (表2); γ -蜡烷含量较低, γ -蜡烷/C₃₀藿烷比值为 0.16 (表2);升藿烷系列 C₃₁,C₃₂,C₃₃,C₃₄ 含量依次降低,且 C₃₁升藿烷 22S/(22S + 22R) 比值为 0.61 (表2)。东攀地区硅质泥岩样品的萜烷分布特征与沥青样品的萜烷分布特征较为相似。

3) 邕料地区沥青样品的甾烷化合物保存较为完整(图5),以规则甾烷为主,重排甾烷和孕甾烷含量较低;规则甾烷 $\alpha\alpha\alpha$ 20R-C₂₇, $\alpha\alpha\alpha$ 20R-C₂₈ 和 $\alpha\alpha\alpha$ 20R-C₂₉ 含量呈“V”字型分布,其中 C₂₇ > C₂₉ > C₂₈, $\alpha\alpha\alpha$ 20R-C₂₇/C₂₉ 分布在 0.67 ~

0.99 (表2), $\alpha\alpha\alpha$ C₂₉-20S/(20S + 20R) 分布在 0.24 ~ 0.39。而在硅质泥岩样品中,以东攀地区样品的甾烷化合物保存较为完整,以规则甾烷为主,重排甾烷和孕甾烷含量较低(图5);规则甾烷 $\alpha\alpha\alpha$ 20R-C₂₇, $\alpha\alpha\alpha$ 20R-C₂₈ 和 $\alpha\alpha\alpha$ 20R-C₂₉ 含量呈“V”字型分布,其中 C₂₇ > C₂₉ > C₂₈, $\alpha\alpha\alpha$ 20R-C₂₇/C₂₉ 分布在 0.57 ~ 0.82, $\alpha\alpha\alpha$ C₂₉-20S/(20S + 20R) 分布在 0.32 ~ 0.38。沥青样品的甾烷分布特征与(东攀和邕陇地区)大隆组硅质岩及硅质泥岩样品的甾烷分布特征均相似。

3.3 有机碳同位素组成

沥青和大隆组硅质岩及泥岩干酪根的有机碳同位素组成测定结果如表3所示。

研究区内沥青的有机碳同位素值为 -27.8‰ ~ -28.6‰,平均值为 -28.2‰,与贵州册亨、望谟及广西隆林上二叠统生物礁内沥青的有机碳同位素值相似(-26.5‰ ~ -29.7‰,平均值为 -28.2‰)^[13]。本区大隆组硅质岩和硅质泥岩中干酪根的有机碳同位素值为 -23.1‰ ~ -25.6‰,平均值为 -24.8‰,明显高于上二叠统沥青的有机碳同位素值。

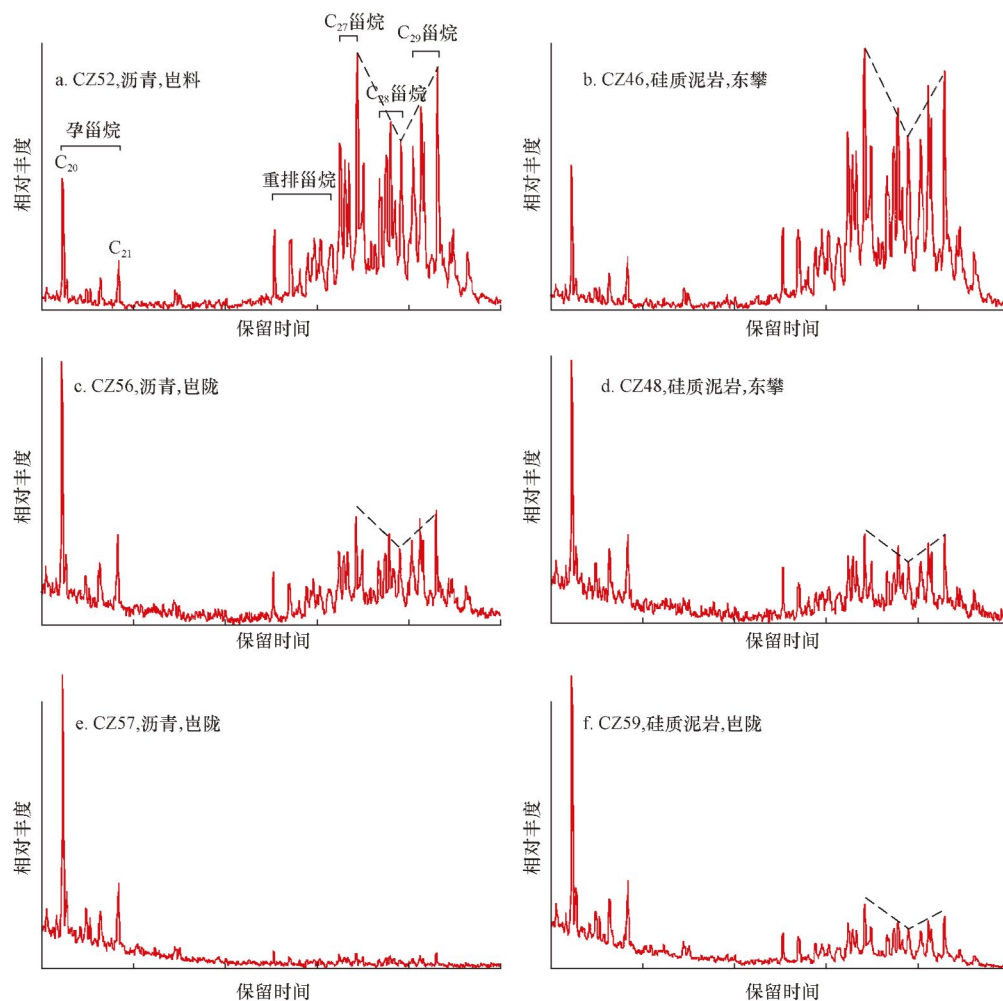


图5 崇左柳桥地区沥青样品与大隆组样品饱和烃甾烷分布特征

Fig. 5 Sterane distribution of saturated hydrocarbons extracted from the bitumen samples and from the Dalong Formation in Liugiao area

(沥青样品层位均为上二叠统合山组;泥岩样品层位均为大隆组。图中横坐标的相对时间相同。 $m/z = 217$ 。)

表3 崇左柳桥地区沥青和大隆组样品的有机碳同位素组成

Table 3 Organic carbon isotopic compositions of the bitumen samples and that of samples from the Dalong Formation in Liugiao area

样品号	岩性	产地	$\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$	样品号	岩性	产地	$\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$
CZ-01a	沥青	柳桥	-28.5	CZ-56c	沥青	邕陇	-27.9
CZ-01b	沥青	柳桥	-28.6	CZ-44	硅质岩	东攀	-25.6
CZ-02a	沥青	柳桥	-28.5	CZ-45	硅质泥岩	东攀	-23.1
CZ-02b	沥青	柳桥	-28.4	CZ-46	硅质泥岩	东攀	-24.9
CZ-05	沥青	东攀	-28.4	CZ-48	硅质岩	东攀	-25.1
CZ-52	沥青	邕料	-27.8	CZ-49	硅质岩	东攀	-25.3
CZ-56a	沥青	邕陇	-27.8	CZ-59	硅质泥岩	邕陇	-24.8
CZ-56b	沥青	邕陇	-28.2				

4 沥青的来源讨论及结论

崇左柳桥地区上二叠统沥青样品与东攀和邕

陇地区硅质泥岩样品的正构烷烃及甾烷分布均较为相似;而从萜烷的分布特征上看,沥青样品的萜烷与东攀地区硅质泥岩样品的萜烷分布较为相似。据此推测,崇左柳桥地区上二叠统的沥青可

能来自东攀地区大隆组。然而,沥青和大隆组硅质泥岩样品规则甾烷 $\alpha\alpha\alpha C_{29}-20S/(20S+20R)$ 值较低,在 0.24 ~ 0.39 分布范围之内,反映热成熟度为低熟阶段。这与沥青的镜质体反射率 R_o 指示的高成熟-过成熟阶段相矛盾。这可能是由于过高的热成熟度会造成甾烷分布趋于相同所致^[16,23]。因此,利用生物标志物来判断沥青来源还要结合其他的地球化学数据。

本区大隆组中干酪根的有机碳同位素值为 $-23.1\text{‰} \sim -25.6\text{‰}$ (平均为 -24.8‰),明显高于本区上二叠统沥青的有机碳同位素值 ($-27.8\text{‰} \sim -28.6\text{‰}$,平均为 -28.2‰) 及邻区相同层位沥青的有机碳同位素值 ($-26.5\text{‰} \sim -29.7\text{‰}$,平均为 -28.2‰)^[15]。而且,本区大隆组的 TOC 整体偏低 ($0.10\% \sim 0.19\%$,平均为 0.15%)^[17]。这些说明,本区大隆组的硅质岩和硅质泥岩作为其上二叠统礁灰岩中沥青物质的主要来源的可能性不是很大。进一步的研究有待于大隆组地球化学垂向剖面数据的分析。已报道的本区所在的黔桂盆地内二叠系烃源岩干酪根的有机碳同位素值为 $-22.4\text{‰} \sim -24.7\text{‰}$ (平均为 -23.6‰)^[15],与本区二叠系大隆组的值相差不大,但明显低于上二叠统沥青的有机碳同位素值。而据前人研究,与二叠系相比,黔桂盆地内泥盆系烃源岩干酪根的有机碳同位素值相对偏轻,为 $-24.6\text{‰} \sim -27.6\text{‰}$ (平均为 -26.6‰)^[15,17,24] 和 $-24.8\text{‰} \sim -27.8\text{‰}$ ^[25-26]。这与上二叠统沥青的有机碳同位素值较接近。据此,本区泥盆系烃源岩可能是黔桂盆地内古沥青的主要来源^[15,17,25-26]。进一步的确认还需做更多的地球化学研究。

综上所述,本区大隆组作为上二叠统沥青的主要来源的可能性较小,而泥盆系烃源岩可能是它们的主要来源。

致谢:本文的野外工作得到中国科学院地质与地球物理研究所朱井泉研究员的协助,在此表示衷心感谢!

参 考 文 献

- [1] 马永生,陈洪德,王国力,等. 中国南方层序地层与古地理 [M]. 北京:科学出版社,2009:303-312,383.
Ma Yongsheng, Chen Hongde, Wang Guoli, et al. Sequence and palaeogeography in South China [M]. Beijing: Science Press, 2009:303-312,383.
- [2] 韦恒叶,陈代钊,遇昊,等. 鄂西地区中二叠统栖霞组下部烃源岩形成机理 [J]. 地质科学,2011,46(1):68-82.
Wei Hengye, Chen Daizhao, Yu Hao, et al. Formation mechanism of source rocks in the lower Chihhsian Formation of Middle Permian, western Hubei province [J]. Chinese Journal of Geology, 2011, 46(1):68-82.
- [3] 王一刚,文应初,洪海涛,等. 四川盆地开江-梁平海槽内发现大隆组 [J]. 天然气工业,2006,26(9):32-36.
Wang Yigang, Wen Yingchu, Hong Haitao, et al. The discovery of the Dalong Formation in Kaijiang-Liangping trough in Sichuan Basin [J]. Natural Gas Industry, 2006, 26(9):32-36.
- [4] 马永生. 普光气田天然气地球化学特征及气源探讨 [J]. 天然气地球科学,2008,19(1):1-7.
Ma Yongsheng. Geochemical characteristics and origin of natural gases from Puguang gas field in Eastern Sichuan Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2008, 19(1):1-7.
- [5] 蔡雄飞,冯庆来,顾松竹,等. 海退型陆棚相:烃源岩形成的重要部位——以中、上扬子地区北缘上二叠统大隆组为例 [J]. 石油与天然气地质,2011,32(1):29-37.
Cai Xiongfei, Fen Qinglai, Gu Songzhu, et al. Regressive continental shelf as an important location for the development of source rocks—an example from the Upper Permian Dalong Formation in the northern margin of the Upper Middle Yangtze region [J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(1):29-37.
- [6] 秦建中,申宝剑,付小东,等. 中国南方海相优质烃源岩超显微有机岩石学与生排烃潜力 [J]. 石油与天然气地质,2010,31(6):826-837.
Qin Jianzhong, Shen Baojian, Fu Xiaodong, et al. Ultramicroscopic organic petrology and potential of hydrocarbon generation and expulsion of quality marine source rocks in South China [J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(6):826-837.
- [7] 康玉柱. 中国古生代海相油气资源潜力巨大 [J]. 石油与天然气地质,2010,31(6):699-706,752.
Kang Yuzhu. Great hydrocarbon potential in the Paleozoic marine sequences in China [J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(6):699-706,752.
- [8] 王一刚,文应初,张帆,等. 川东地区上二叠统长兴组生物礁分布规律 [J]. 天然气工业,1998,18(6):10-15.
Wang Yigang, Wen Yingchu, Zhang Fan, et al. The distribution of the Changxing Formation of the Upper Permian in Eastern Sichuan [J]. Natural Gas Industry, 1998, 18(6):10-15.
- [9] 马永生,牟传龙,郭旭升,等. 四川盆地东北部长兴期沉积特征与沉积格局 [J]. 地质论评,2006,52(1):25-29.
Ma Yongsheng, Mu Chuanlong, Guo Xusheng, et al. Characteristics and framework of the Changxingian sedimentation in the northeastern Sichuan Basin [J]. Geological Review, 2006, 52(1):25-29.
- [10] 夏明军,曾大乾,邓瑞健,等. 普光气田长兴组台地边缘礁、滩沉积相及储层特征 [J]. 天然气地球科学,2009,20(4):549-562.
Xia Mingjun, Zeng Dagan, Deng Ruijian, et al. Reef and shallow facies and reservoir characteristics in Changxing Formation platform margin, Puguang gas field [J]. Natural Gas Geoscien-

- ce, 2009, 20(4): 549–562.
- [11] 王琳, 周文, 何胡军. 川北地区二叠系生物礁储层特征研究[J]. 石油地质与工程, 2011, 25(1): 28–31.
Wang Lin, Zhou Wen, He Hujun. Study on the Permian reef reservoir features in northern Sichuan Basin [J]. Petroleum Geology and Engineering, 2011, 25(1): 28–31.
- [12] 张永贵, 宋在超, 周小进, 等. 琼东南盆地南部中新统生物礁的识别[J]. 石油实验地质, 2011, 33(3): 307–309.
Zhang Yonggui, Song Zaichao, Zhou Xiaojin, et al. Identification of reef in Miocene, south of Qiongdongnan Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2011, 33(3): 307–309.
- [13] 冯增昭, 杨玉卿, 金振奎, 等. 中国南方二叠纪岩相古地理[J]. 沉积学报, 1996, 14(2): 1–11.
Feng Zengzhao, Yang Yuqing, Jin Zhenkui, et al. Lithofacies paleogeography of the Permian of South China [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1996, 14(2): 1–11.
- [14] 梅冥相, 马永生, 邓军, 等. 滇黔桂盆地及邻区二叠系乐平统层序地层格架及其古地理背景[J]. 中国科学(D辑), 2007, 37(5): 605–617.
Mei Mingxiang, Ma Yongsheng, Deng Jun, et al. Sequence stratigraphy framework and palaeogeographical setting of the Leping of the Permian of Dian-Qian-Gui Basin and its adjacent areas [J]. Science in China (Series D), 2007, 37(5): 605–617.
- [15] 赵孟军, 张水昌, 赵陵, 等. 南盘江盆地古油藏沥青地球化学特征研究[J]. 地质学报, 2006, 80(6): 893–901.
Zhao Mengjun, Zhang Shuichang, Zhao Ling, et al. Geochemistry and genesis of bitumen in paleo-oil reservoir in the Nanpanjiang Basin, China [J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(6): 893–901.
- [16] 赵孟军, 赵陵, 张水昌, 等. 南盘江盆地主要烃源岩地球化学特征研究[J]. 石油实验地质, 2006, 28(2): 162–167.
Zhao Mengjun, Zhao Ling, Zhang Shuichang, et al. Geochemical characteristics of main source rocks in the Nanpanjiang Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2006, 28(2): 162–167.
- [17] 赵孟军, 张水昌, 赵陵, 等. 南盘江盆地古油藏沥青、天然气的地球化学特征及成因[J]. 中国科学(D辑), 2007, 37(2): 167–177.
Zhao Mengjun, Zhang Shuichang, Zhao Ling, et al. Geochemistry and genesis of bitumen and gas in paleo-oil reservoir in the Nanpanjiang Basin, China [J]. Science in China (Series D), 2007, 37(2): 167–177.
- [18] 冯庆来, 蒙有言, 何卫红, 等. 广西柳桥地区上二叠统礁灰岩中发现沥青[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2007, 32(6): 868–870.
Feng Qinglai, Meng Youyan, He Weihong, et al. Discovery of asphalt in the Upper Permian reef limestone in Liuchiao, Guangxi [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2007, 32(6): 868–870.
- [19] 邱振, 王清晨. 桂西地区上二叠统硅质岩地球化学特征及对本区烃源岩发育潜力的指示意义[J]. 地质科学, 2011, 46(1): 52–67.
Qiu Zhen, Wang Qingchen. Geochemistry of the Upper Permian chert in the western Guangxi and its impact on forming hydrocarbon source rock [J]. Chinese Journal of Geology, 2011, 46(1): 52–67.
- [20] Huc A Y, Nederlof P, Debarre R, et al. Pyrobitumen occurrences and formation in a Cambro-Ordovician sandstone reservoir, Fahud Salt Basin, North Oman [J]. Chemical Geology, 2000, 168(1–2): 99–112.
- [21] 高志农, 胡华中. 高压对天然沥青结构组成演变的影响[J]. 沉积学报, 2002, 20(3): 499–503.
Gao Zhizhong, Hu Huazhong. The influence of high pressure on the structural and compositional evolution of natural bitumen [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2002, 20(3): 499–503.
- [22] 刘德汉, 史继扬. 高演化碳酸盐烃源岩非常规评价方法探讨[J]. 石油勘探与开发, 1994, 21(3): 113–115.
Liu Dehan, Shi Jiyang. Discussion on non-conventional assessment methods of high evaluation carbonate source rocks [J]. Petroleum Exploration and Development, 1994, 21(3): 113–115.
- [23] 梁狄刚, 陈建平. 中国南方高、过成熟区海相油源对比问题[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(2): 8–14.
Liang Digang, Chen Jianping. Oil-source correlation for high and over matured marine source rocks in South China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(2): 8–14.
- [24] 韦宝东. 桂中坳陷泥盆系烃源岩特征[J]. 南方油气, 2004, 17(2): 19–21.
Wei Baodong. Features of hydrocarbon source rocks of Devonian in Guizhong Depression [J]. Southern China Oil & Gas, 2004, 17(2): 19–21.
- [25] 贺训云, 姚根顺, 贺晓苏, 等. 桂中坳陷桂中1井沥青成因及油气成藏模式[J]. 石油学报, 2010, 31(3): 420–425.
He Xunyun, Yao Genshun, He Xiaosu, et al. Bitumen genesis and hydrocarbon accumulation pattern of Well Guizhong-1 in Guizhong Depression [J]. Acta Petrolei Sinica, 2010, 31(3): 420–425.
- [26] 陈子料, 姚根顺, 郭庆新, 等. 桂中坳陷海相地层油气成藏与热作用改造[J]. 海相油气地质, 2010, 15(3): 1–10.
Chen Ziliao, Yao Genshun, Guo Qingxin, et al. Hydrocarbon accumulation and thermal reconstruction of Neopaleozoic marine strata in Guizhong Depression [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2010, 15(3): 1–10.