

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

南盘江盆地古油藏沥青地球化学特征及成因

赵孟军¹⁾, 张水昌¹⁾, 赵陵²⁾, 刘培初²⁾

1) 中国石油勘探开发研究院, 北京, 100083; 2) 贵州石油地质研究所, 贵阳, 550000

内容提要:南盘江地区生物礁古油藏的储层沥青主要分布在上二叠统和中上泥盆统。古油藏的储集层均为生物礁滩灰岩, 沥青的主要储集空间以洞、缝为主, 其次为基质孔隙和生物体腔内。南盘江古油藏沥青的成熟度很高, H/C 原子比小于 0.4, 主要由残碳构成, 这是沥青的非极性和极性抽提无抽提物的直接原因。在古油藏沥青地球化学特征研究的基础上, 综合分析认为南盘江古油藏沥青主要源自泥盆系烃源岩, 其次可能与下二叠统烃源岩有关。南盘江古油藏沥青与生物降解沥青和沉淀沥青质有很大的区别, 其成因是油藏深埋时在高温、高压的作用下原油裂解成气后的焦沥青。

关键词:古油藏沥青; 沥青地化特征; 沥青来源; 沥青成因; 南盘江盆地

固体储层沥青在世界各地的许多沉积盆地的含油气储集体中广泛分布, 20世纪90年代以来关于固体储层沥青的研究取得了重大进展(Jacob, 1985, 1989; Dahl et al., 1986; Lomando, 1992; Wilhelms et al., 1994a, 1994b; Hwang et al., 1998)。与古油藏有关的沥青可以是油藏降解成因(Hwang et al., 1998; 张学玉等, 1999; 杜佰伟等, 2003)、裂解成因(王一刚等, 1996; 杨斌等, 1999; Huc et al., 2000)和由于不同期油气充注形成的沥青垫(Wilhelms et al., 1995; 张敏, 1996; 张敏等, 1997)和气侵沥青(Littke et al., 1996; 叶军等, 1999)。同时, 天然沥青在含油气盆地研究中蕴藏着丰富的地质信息, 其反射率(R_b)数值由于直接决定于本身结构的规整程度而与热演化密切相连, 是标定碳酸盐岩有机质热演化程度的重要参数(Jacob, 1985, 1989; 肖贤明等, 1991; 丰国秀等, 1998)。尽管很多学者讨论了南盘江盆地的成藏地质条件(杨惠民等, 1999; 周明辉, 1999; 刘特民等, 2001; 梅冥相等, 2001), 但是对在南盘江拗陷内的广大露头区和过去的一些探井中广泛分布的“石油沥青”则涉及较少, 尤其由于这些“石油沥青”热演化程度偏高, 几乎所有的“石油沥青”均失去了有机溶剂的可溶性, 成了高度“缩聚”的炭质沥青, 因此南盘江众多古油藏中的沥青成因值得深入研究。

1 沥青分布及产状特征

1.1 沥青显示及分布

南盘江地区储层沥青按时代的分布, 以上二叠统最多, 其次为中上泥盆统, 在下二叠统上部 and 上石炭统也有发现。由于礁后和非礁的碳酸盐岩孔、洞、缝不发育难见大规模的沥青储存, 所以南方晚古生代碳酸盐岩中的沥青富集带即古油藏, 主要表现为生物礁古油藏。南方古生代生物礁古油藏发育于两个成礁期, 即下二叠统茅口组—上二叠统($P_{1m}-P_2$)生物礁岩和下泥盆统一—中泥盆统高峰街组(D_1-D_{2g})生物礁岩, 因此古油藏主要分布在二叠系和泥盆系两个地质时期。

在南盘江地区可以见到许多所谓“古油藏”的沥青富集带, 以上二叠统最为富集。其中具有构造背景较少典型的泥盆系古油藏见表1、二叠系古油藏见表2。

1.2 沥青产状

通过对南丹大厂、册亨板街、隆林安然、合册亨石头寨和望谟芭赖等古油藏观察研究, 并结合前人研究成果, 南盘江地区古油藏储层沥青的地质特征和沥青产状具有如下特点: ① 古油藏的储集体主要由台地边缘生物礁和丘台生物礁构成。② 在已出露的生物礁露头中, 沥青主要分布在礁灰岩的上部及

注: 本文为“十五”国家重点科技攻关项目(编号 2001BA605A-06)和中国石化集团公司项目(编号 P00045)部分研究成果。

收稿日期: 2005-08-17; 改回日期: 2006-04-24; 责任编辑: 周健。

作者简介: 赵孟军, 男, 1965年生。现为中国石油勘探开发研究院高级工程师, 主要从事油气成藏地质研究工作。通讯地址: 100083, 北京市学院路910信箱, 石油地质实验研究中心; 电话: 010-62098113; 传真: 010-62098620; Email: zmj@petrochina.com.cn。

顶部,含沥青礁灰岩的残余厚度一般大于40 m。如册亨板街 P_2 礁岩厚133.5 m,含沥青厚度59.5 m;隆林安然 P_2 礁岩厚136.9 m,含沥青厚度46.5 m;册亨石头寨 P_2 礁岩厚137.5 m,含沥青厚度38 m。^③ 储集层均为生物礁滩灰岩,沥青的主要储集空间以洞、缝为主,其次为基质孔隙和生物体腔内(图版 I-1~14)。

表 1 南盘江地区泥盆系生物礁滩古油藏统计表

Table 1 The paleo-oil reservoirs in Devonian bioherm limestone in Nanpanjiang Basin

编号	位置与礁名称	层位	礁厚 (m)	出露范围 (km ²)	礁类型
1	普安罐子窑生物礁滩	D_{2g}	117	2.2	台丘礁
2	惠水王佑北隐伏生物礁	D_{2l}	824		台内礁滩
3	惠水王佑代化生物礁滩	D_{2d}		5	边缘礁滩
4	独山大河口生物礁滩	D_{2d}	3	0.07	台内礁滩
5	罗甸凌阳生物礁滩	D_{2d}	100	3	台丘礁
6	独山布寨生物礁	D_2	300	7	边缘礁
7	南丹六寨生物礁滩	D_2			边缘礁滩
8	南丹大厂生物礁古油藏	D_2	873	14	台丘礁
9	环江北山生物礁滩	D_{2d}	160	6	台内礁滩

表 2 南盘江地区二叠系生物礁滩(古油藏)统计表

Table 2 The paleo-oil reservoirs in Permian bioherm limestone in Nanpanjiang Basin

编号	位置与礁名称	层位	礁厚 (m)	出露范围 (km ²)	礁类型
1	紫云白云岩生物礁滩	$P_{1m}-P_2$	>220	12	边缘礁
2	紫云嘎达生物礁滩	P_2	30~100	0.5	边缘礁
3	紫云石头寨生物礁古油藏	P_2	149	1.5~3.2	边缘礁
4	紫云岩角生物礁	P_2			边缘礁
5	贞丰百层生物礁古油藏	P_2	>100	3.5	边缘礁
6	隆林安然生物礁古油藏	$P_{1m}-P_2$	113~381	20	丘台礁
7	册亨赖子山生物礁古油藏	P_2	200~300	22	边缘礁
8	紫云猴场生物礁	P_2			边缘礁
9	罗甸猴场生物礁	$P_{1m}-P_2$			边缘礁
10	罗甸克渡生物礁	P_{1m}			边缘礁
11	紫云播东生物礁	P_2	100~109	26	边缘礁
12	望谟岩赖生物礁古油藏	P_2	>100	>1.5	边缘礁
13	望谟平绕生物礁古油藏	$P_{1m}-P_2$	45~81	12	边缘礁
14	册亨板街生物礁古油藏	$P_{1m}-P_2$	125~172	4~6	丘台礁
15	册亨秧坝隐伏生物礁	P_2			丘台礁
16	隆林德峨生物礁滩	P_{1m}	262~400	30	丘台礁
17	隆林隆或生物礁滩	$P_{1m}-P_2$		6	丘台礁
18	乐业甘田生物礁滩	$P_{1m}-P_2$	141~511		丘台礁
19	凌云生物礁古油藏	$P_{1m}-P_2$			丘台礁
20	巴马所略生物礁滩古油藏	P_2	50~100	0.5	丘台礁

在南丹大厂中泥盆统生物礁体周围已发现多处沥青点,最大的位于距大厂南约10km处,为大的构造裂缝。产层为中泥盆统罗富组顶部,沥青呈透镜状,厚0.8~1.2 m,最厚处2.5 m,过去曾作为煤层

开采。另一处沥青产于高峰街距生物礁顶面约10m泥岩中,沥青呈鸡窝状,直径约4 m。此外在一些钻孔中可见到10~40 m被沥青充填了的破碎带和厚达8 m的沥青层。可见,南丹大厂中泥盆统古油藏沥青主要分布在礁灰岩的晶洞、溶洞和裂缝中以及泥岩的断裂破碎带中,同时也在生物体腔内存在(图版 I-4~6)。二叠系古油藏沥青主要分布在晶洞裂缝和礁岩格架中的缝、洞及溶洞中,亦有生物体腔型(图版 I-13)。

2 沥青地球化学特征

2.1 沥青反射率

从几个典型古油藏的沥青来看,沥青物性基本一致,均为演化程度高的碳沥青,性硬而碎、不染手、钢灰色,贝壳状断口,不溶于氯仿等。前人实测结果表明大厂地区储层沥青实测 R_b 值为4.78%~5.06%,折算成 R_o 值为3.74%~3.94%;册亨板街生物礁古油藏沥青 R_b 为3.53%~4.41%^①。范嘉松等(1990)认为隆林安然古油藏充填在礁岩骨架溶蚀孔中沥青演化程度最高, $R_b=5.49\%~7.75\%$,换算的 R_o 为3.31%~3.79%;充填构造裂缝中的沥青演化程度最低, R_b 为2.17%。换算成 R_o 为2.02%;充填于构造溶解缝中的沥青的演化程度范围较大, R_b 为1.99%~5.10%,换算成 R_o 为1.90%~3.21%。同样杨惠民等(1999)认为溶蚀孔隙中的沥青呈颗粒状,演化程度很高,反射率在2.70%以上;构造裂缝中的沥青呈均质状,演化程度相对较低,反射率在2.0%左右。

我们的实测结果也表明南盘江古油藏沥青的成熟度已经很高, R_b 值为2.85%~6.25%,换算的 R_o 值为2.16%~4.26%, R_o 平均值为3.55%(图1)。其中册亨板街 R_b 值2.85%~6.25%,折算成 R_o 值为2.16%~4.26%;隆林安然 R_b 值3.25%~5.89%,折算成 R_o 值为2.41%~4.04%;南丹大厂 R_b 值4.60%~5.66%,折算成 R_o 值3.20%~3.9%。可见南丹大厂古油藏沥青的 R_o 值较高,没有出现 R_o 值小于3.0%的现象,在二叠系古油藏沥青中确实检测到 R_o 值低于3.0%的数据,但是并不占主体。

总之,高的沥青反射率说明这些古油藏的沥青为类晶质沥青。类晶质沥青是指具有一定光性方位在反射偏光下具有强非均质性镶嵌结构的沥青,透射光下为黑色,入射光呈浅灰白至淡黄白色,呈粒状一片状镶嵌,反射率2%~5%。

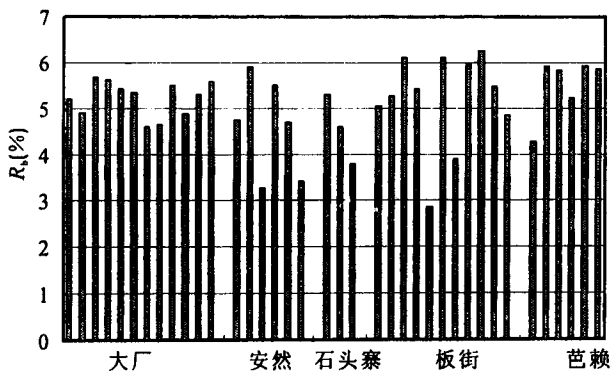


图 1 南盘江坳陷古油藏沥青反射率特征

Fig. 1 The reflectance ratios of the bitumen in paleo-oil reservoirs in Nanpanjiang Basin

2.2 沥青元素分析

沥青在非晶质向类晶质转化的过程中,碳原子含量逐渐升高,H、O、N 元素含量逐渐降低,它是一个富碳、去氢和杂原子的过程。红外光谱分析表明,沥青由非晶质向类晶质演化,脂族 C-H 逐渐减少,芳族 C=C 增多,侧链的 CH₂、CH₃ 减少至消失,C-O、S=O 基团、芳族中的 C-H 消失,它的演化过程是芳族缩合、脂族、侧链和杂环不断裂解的过程。沥青的 X 射线分析表明,沥青结构由类微晶质向类结晶质演化,(002)面网间距减少,反映出稠环化合物缩合度增加。

综上所述,固体沥青由低成熟度向高成熟度演化,结构由非晶质向类晶质变化,反射率增高,荧光强度降低;化学组成上芳香族化合物不断缩合,多个分子集成大稠环化合物。从表3可以看出,南丹大厂泥盆系古油藏沥青中的 C 元素含量为 75.2%~87.17%,均值为 81.5%,H/C 原子比一般小于 0.2;二叠系古油藏中的 C 元素含量为 42.5%~86.54%,均值为 74.9%,H/C 原子比一般在 0.3 左右,说明南丹大厂泥盆系古油藏沥青的演化程度总体上还是要高于二叠系古油藏的沥青。值得注意的是总体上来看,作为类晶质沥青(理论上 O 元素含量低于 0.10%、O/C 低于 0.014)无论如何都不应该存在如此高的 O 元素含量和 O/C 值,这与沥青长期处于地表后一直受氧化作用有关。

2.3 沥青碳同位素

南盘江坳陷南丹大厂、册亨板街、隆林安然、册亨石头寨和望谟芭赖等 25 个古油藏沥青碳同位素的实测值为 -25.9‰~-29.7‰,平均值为

-27.96‰;其中泥盆系古油藏沥青碳同位素的实测值为 -25.9‰~-28.1‰,平均值为 -27.33‰,二叠系古油藏沥青碳同位素的实测值为 -26.5‰~-25.9‰,平均值为 -28.16‰(图2)。碳同位素值也可能反映了泥盆系古油藏沥青的演化程度高于二叠系古油藏的沥青。

表 3 南盘江坳陷古油藏固体沥青元素分析及碳同位素分析

Table 3 The elementary analysis and carbon isotopic analysis of solid bitumen of paleo-oil reservoirs in Nanpanjiang Basin

古油藏	编号	层位	N (%)	C (%)	H (%)	O (%)	O/C	H/C	δ ¹³ C (‰)
南丹大厂	25-4	D ₂	0.64	87.17	1.24	7.58	0.07	0.17	-27.8
	25-16	D ₂	0.61	75.20	1.15	9.52	0.09	0.18	-27.2
	25-19	D ₂	0.49	80.89	1.45	9.88	0.09	0.21	-27.4
	25-20	D ₂	0.63	78.39	1.25	10.54	0.10	0.19	-27.6
	25-21	D ₂	0.81	83.20	1.38	7.59	0.07	0.20	-28.1
	25-22	D ₂	0.48	83.89	1.37	8.04	0.07	0.20	-25.9
隆林安然	P28-1	P _{2c}	0.83	81.56	2.48	9.59	0.09	0.36	-28.8
	P28-2	P _{2c}	0.85	79.72	2.55	12.17	0.11	0.38	-28.3
	P28-3	P _{2c}	0.82	81.16	2.44	10.04	0.09	0.36	-28.3
	P28-5	P _{2c}	0.90	83.33	2.39	6.78	0.06	0.34	-28.5
	P28-6	P _{2c}	0.89	81.47	2.37	10.32	0.09	0.35	-28.9
	P28-7	P _{2c}	0.80	86.54	2.38	5.70	0.05	0.33	-28.5
	P28-8	P _{2c}	0.77	80.96	2.27	7.10	0.07	0.34	-28.8
	册亨石头寨	29-1	P _{2c}	0.43	57.14	2.49	28.98	0.38	0.52
29-6		P _{2c}	0.20	71.14	1.85	14.81	0.16	0.31	-29.2
30-3		P _{2c}	0.68	84.89	1.36	9.22	0.08	0.19	-27.6
册亨板街	30-10	P _{2c}	0.43	85.64	1.60	4.09	0.04	0.22	-27.9
	30-14	P _{2c}	0.17	42.50	0.69	19.04	0.34	0.20	-26.5
	望谟芭赖	31-3	P _{2c}	0.36	71.39	1.89	16.35	0.17	0.31
31-4		P _{2c}	0.35	66.47	2.28	19.42	0.22	0.41	-27.8
31-6		P _{2c}	0.44	61.08	1.57	13.90	0.17	0.31	-28
31-7		P _{2c}	0.62	80.77	2.05	6.40	0.06	0.30	-27.9
31-8		P _{2c}	0.54	77.96	1.95	8.45	0.08	0.30	-27.8
31-10		P _{2c}	0.56	73.38	2.03	9.75	0.10	0.33	-28.1
31-11		P _{2c}	0.66	75.51	1.89	7.39	0.07	0.30	-27.6

2.4 沥青组分及生标特征

从沥青中抽提出可溶化合物是探讨沥青来源的重要途径之一。通过多次对沥青及沥青灰岩的抽提实验,抽提条件是:① 常规抽提:试剂,氯仿;抽提时间,72 h。② 弱极性抽提:试剂,氯仿:正己烷=1:1;抽提时间,72 h。③ 试剂,氯仿:甲醇:苯=2:1:1;加长抽提时间,5天(120 h)。抽提结果为:① 沥青的非极性和极性抽提都无任何抽提产物;② 沥青灰岩极性抽提产物的量很低(表4),表明抽提的产物主要源自灰岩包裹体或灰岩晶格孔隙,与沥青无关,并且抽提物以非烃和沥青质为主,饱和烃和芳烃的含量一

般低于10%(表4)。

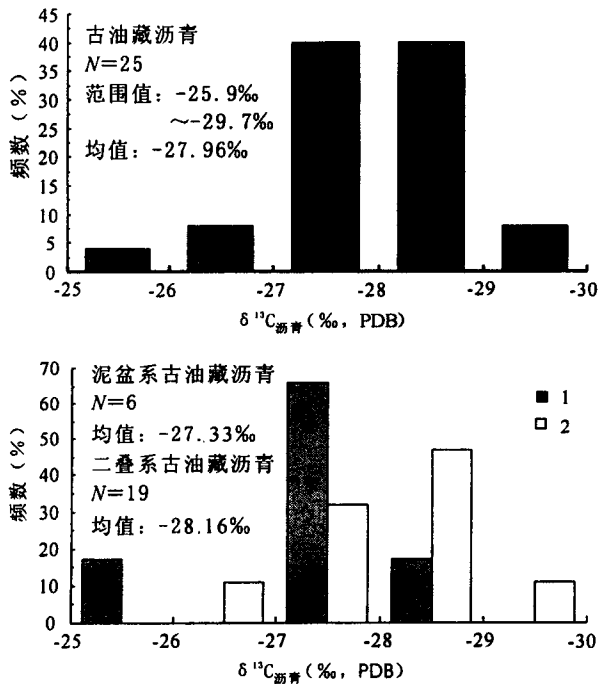


图2 南盘江坳陷古油藏沥青碳同位素特征

Fig. 2 The carbon isotopic ratios of the bitumen in paleo-oil reservoirs in Nanpanjiang Basin
1—泥盆系古油藏沥青; 2—二叠系古油藏沥青
1—Bitumen of Devonian paleo-oil reservoir; 2—bitumen of Permian paleo-oil reservoir

表4 南盘江坳陷古油藏沥青灰岩极性抽提可溶组分含量及组分特征

Table 4 The soluble organic content by polarity extracting from the bitumen limestone of paleo-oil reservoirs and its group composition in Nanpanjiang Basin

地区	样品编号	层位	"A"含量 (%)	饱和烃 (%)	芳烃 (%)	非烃 (%)	沥青质 (%)
南丹大厂	25-21	D	0.0067	10.4	/	47.0	42.5
隆林安然	28-2	P	0.0107	7.9	0.6	62.7	28.8
册亨板街	30-14	P	0.0339	4.3	0.3	69.0	26.4
望谟芭赖	31-3	P	0.0083	7.4	/	52.3	40.3

同样,可溶组分的生标特征主要反映了沥青灰岩包裹体中可溶组分的生标特征(图3),三环萜烷中以C₂₃为主峰,且具有较丰富的高碳数三环萜烷;C₃₀藿烷远高于C₂₉藿烷,较高含量的C₂₉Ts和17-α重排藿烷,以及较低含量的C₃₄、C₃₅藿烷,说明源岩岩性为泥岩;C₂₉甾烷20S/(20S+20R)及C₂₉甾烷β/(β+α)反映其成熟度大致相当于R₀值的0.8%~0.9%,基本上处于生油高峰阶段,很可能代表生标

所反映的包裹体中可溶产物与沥青是同期注入的;规则甾烷中以C₂₉为主,且C₂₈也比较丰富,呈偏“V”字型或反“L”型分布,反映了海相古生界烃源岩的甾烷分布特征(Peters et al., 1993)。据此分析,包裹体可溶组分的生标特征主要反映了其母源与古生界海相泥质烃源岩有关,结合南盘江坳陷源岩发育情况,认为中下泥盆统烃源岩是其最为可能的母源。

极性抽提对南盘江固体沥青样品失效,以及沥青无荧光、沥青热解色谱、沥青热解-色谱分析无效的根本原因是该地区沥青成熟度高,主要从下面得以解释:

(1)我们知道非晶质沥青在二硫化碳溶液中80%是可溶的,类微晶质沥青在二硫化碳溶液中只有30%~50%是可溶的,类结晶质沥青为100%不可溶。

(2)从表3可以看出,南丹大厂泥盆系古油藏沥青的H/C原子比一般小于0.2,二叠系古油藏沥青的H/C原子比一般小于0.4左右,总体上南盘江古油藏沥青的演化程度已经很高,基本上处于死碳阶段。

3 古油藏沥青来源及成因

3.1 沥青来源

3.1.1 碳同位素

泥盆系干酪根碳同位素值为-24.6‰~-27.6‰,均值-26.6‰;二叠系干酪根碳同位素值为-22.4‰~-24.7‰,均值-23.6‰。泥盆系古油藏沥青碳同位素的实测值为-25.9‰~-28.1‰,平均值为-27.33‰,二叠系古油藏沥青碳同位素的实测值为-26.5‰~-29.7‰,平均值为-28.16‰(图2)。因此总体上反映泥盆系古油藏沥青和二叠系古油藏沥青都是源自泥盆系源岩,但是二叠系古油藏沥青碳同位素值稍偏轻的原因可能与其裂解程度稍偏低有关。

3.1.2 生标特征

由于本区的有机质及古油藏中的沥青的演化程度相当高已失去了可溶性,因而油源对比“分子级”参数难于取得。前人只能根据板街古油藏沥青及烃源岩干酪根的红外光谱特征进行大致对比,认为其与D₁、D₂、P₁和P₂都有关系。或者利用芳烃稳定分子特征峰进行了隆林安然古油藏沥青来源的分析,其结果除二叠系本身的油源外,还有其下中泥盆统的油源,及来自其上的下三叠统油源,是一个多油源的大油藏(杨惠民等,1999)。刘培初等(1998)选择抗演

化氧化能力较强的某些芳烃分子单体峰及同分异构分子群组合特征进行沥青和源岩对比,也认为沥青既有下伏泥盆系或下二叠统的油源,又有上覆“ T_{1+2} ”油源^①。至于南丹大厂古油藏沥青的来源,刘培初等(1998)认为“ D_2 ”烃源岩干酪根和“ D_2 ”储层沥青红外特征相似,反映相似高演化特征^②。说明他们经历的受热史和热演化史相同,有油源关系。

可见,前人只是利用沥青生标特征的宏观基因特征如红外光谱特征、芳烃色谱中的特征峰进行来源分析(杨惠民等,1999),而这些“生标特征”的可靠性值得怀疑,类结晶沥青的物理化学性质决定了极性抽提对南盘江固体沥青样品失效,以及沥青荧光、沥青热解色谱、沥青热解-色谱等分析的无效。

但是从上文分析知道包裹体中所反映的烃类产品可能与沥青裂解前的原油同期,同时包裹体中产物排除了源自下二叠统烃源岩的可能性,因为地层演化史初步分析在 P_2 不可能形成包裹源自 P_1 烃源岩的油气。因此借助包裹体的生标(图3),通过与泥盆系干酪根抽提物生标特征的对比(图4),我们认为

这些沥青主要源自泥盆系烃源岩,但是不能排除二叠系古油藏沥青中有源自二叠系烃源岩产物的影响。

3.1.3 沥青成熟度

从上文知道,南丹大厂古油藏沥青的 R_o 值较高, R_o 值为 3.20%~3.9%,没有出现 R_o 值小于 3.0% 的现象。在二叠系古油藏沥青中确实检测到 R_o 值低于 3.0% 的数据,但是并不占主体,一般来说在原始溶孔、礁岩骨架溶蚀孔中以沥青演化程度最高, R_o 为 3.2%~3.8%。据此推论这些沥青主要源自泥盆系烃源岩。

而二叠系古油藏中构造溶解缝中的沥青的演化程度范围较大,即有 R_o 小于 3.0%,但 R_o 主要大于 3.5%(图1),分析这些沥青主要源自泥盆系烃源岩,其次为二叠系烃源岩。

3.1.4 地质综合分析

大厂古油藏的主体,赋存于中泥盆世丘台礁体中,四周为黑色泥岩夹深灰色泥晶灰岩或泥质灰岩等优质烃源岩包绕,烃源岩所生成的烃类,能及时进

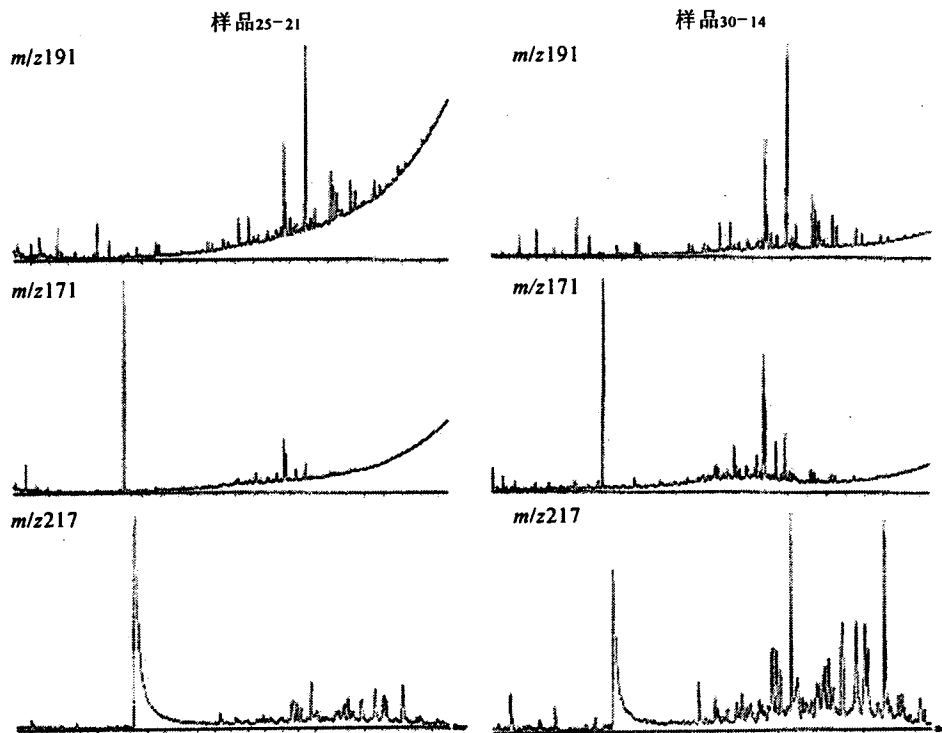


图 3 南盘江拗陷古油藏沥青灰岩甾、萜特征

Fig. 3 The sterane and terpane distribution of the bitumen limestone in paleo-oil reservoirs in Nanpanjiang Basin

样品 25-21: 南丹大厂泥盆系古油藏沥青; 样品 30-14: 册亨板街二叠系古油藏沥青

Sample No. 25-21: bitumen of Devonian paleo-oil reservoir in Dachang area, Nandan County;

Sample No. 30-14: bitumen of Permian paleo-oil reservoir in Banjie area, Ceheng County

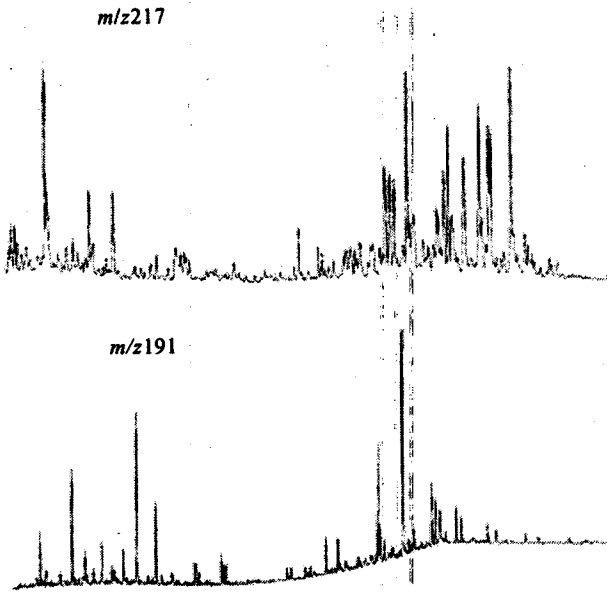


图4 南盘江坳陷泥盆系烃源岩典型甾、萜分布特征
 Fig. 4 The typical sterane and terpane distribution of the Devonian source rock in Nanpanjiang Basin

入既是烃源层又是运载层的碳酸盐岩夹层中,不断地向礁体高部位富集,初次运移和二次运移条件相当好(图5)^①。南盘江中西部主要有下二叠统和中下泥盆统两套烃源岩向上二叠统生物礁充注油气。

综上所述,我们认为南盘江古油藏沥青主要源自泥盆系烃源岩,二叠系古油藏沥青同样主要与泥盆系烃源岩有关,其次可能与下二叠统烃源岩有关。

3.2 沥青成因分析

南盘江古油藏的沥青为焦沥青,其与生物降解沥青和沉淀沥青质有很大的区别,最主要的区别有两点,即沥青成熟度和沥青形态。镜下固体沥青的形态,一般沉淀沥青质和降解沥青常呈分散粒状,形态不规则,而焦沥青则常呈边缘较清晰的多角状(Hwang et al., 1998; Huc et al., 2000); Stasiuk (1997)曾发现沉淀沥青质的反射率比普通的原油裂解形成的焦沥青低数倍;姜海定(1996)讨论了浙江省碳沥青的成因;高志农等(2002)根据模拟实验探讨了高压对天然沥青结构组成演变的影响;王庭栋等(2000)^②在资阳也实际测得沉淀沥青质的反射率 R_p 值为0.5%~1.5%,个别可达2%;而焦沥青的反

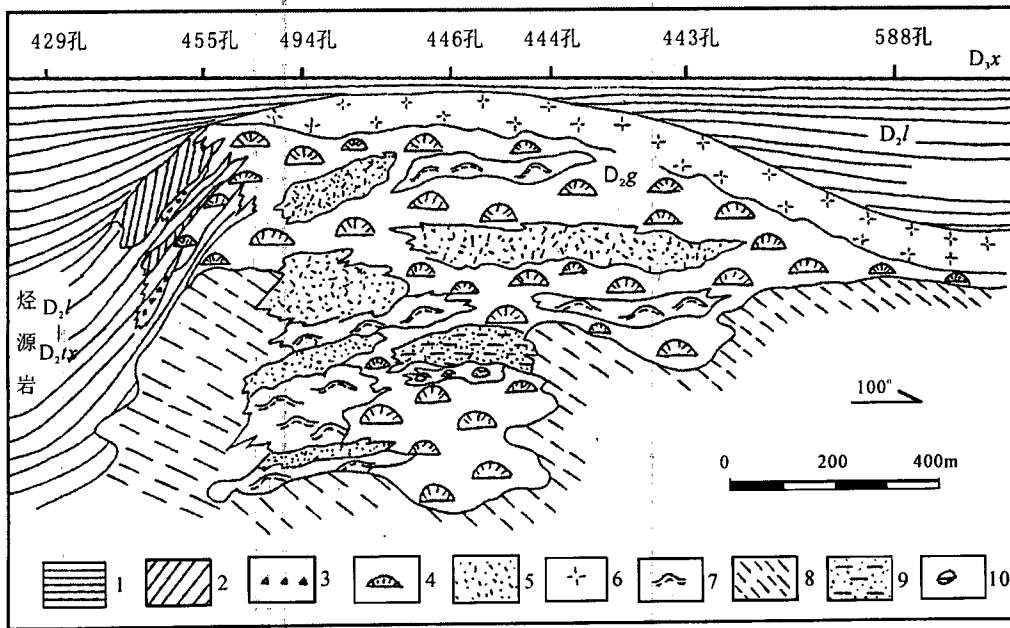


图5 南丹大厂中泥盆统生物礁(古油藏)横剖面图
 Fig. 5 The cross section of reef paleo-oil reservoir in the Middle Devonian in Dachang area, Nandan County
 D_{3x}—上泥盆统响水洞组; D_{2l}—中泥盆统罗富组; D_{2tx}—中泥盆统塘乡组; D_{2g}—中泥盆统高峰街组; 1—盆地泥岩; 2—盆地斜坡;
 3—礁前塌垒; 4—礁格架; 5—骨骼砂; 6—礁坪; 7—礁间灰泥丘; 8—不明岩性地层; 9—潮间生物浅滩; 10—潮间碳酸岩坪
 D_{3x}—Upper Devonian Xiangshuidong Formation; D_{2l}—Middle Devonian Luofu Formation; D_{2tx}—Middle Devonian Tangxiang Formation;
 D_{2g}—Middle Devonian Gaofengjie Formation; 1—mudstone; 2—slope; 3—collapse breccia in the reef front; 4—reef core;
 5—sandstone in the skeleton; 6—reef platform; 7—calcareous between the reefs; 8—strata with unclear lithology;
 9—intertidal biological shallow beach; 10—intertidal carbonate flat

射率为4%~6%,个别可达8%。

深埋过程中原油裂解成气的实例已有报道(赵孟军等,2000;赵孟军,2002),且最终裂解的产物为甲烷气和焦沥青(赵孟军等,2003)。由于南盘江盆地在中三叠世时接受了厚达5000 m的复理石沉积(吕洪波等,2003),我们分析认为南盘江古油藏沥青是油藏深埋时在高温、高压的作用下油裂解成气后的焦沥青。在深埋过程中古油藏的油裂解形成天然气,常常出现超压,使孔隙的流体压力必然高于被局部封存的油的压力(Littke et al.,1996),所以当水体中某些矿物质出现重结晶胶结时,这些胶结物晶体的表面形态控制了沥青的边界形态(Huc et al.,2000;高志农等,2002),因此这种沥青有一定的几何形态,边界显得平直、清楚(图版I,15~18),这与四川盆地碳酸盐岩储层中固体沥青的特征一致(林峰等,1998)。此外,南盘江古油藏沥青除了有一定的外观形态外,反射率很高, R_o 值为2.16%~4.26%, R_o 平均值为3.55%(图1),其中册亨板街 R_o 值为2.16%~4.26%,隆林安然 R_o 值为2.41~4.04%,南丹大厂 R_o 值3.20%~3.9%。

4 结论

(1)南盘江地区生物礁古油藏的储层沥青按时代的分布,以上二叠统最多,其次为中上泥盆统。古油藏的储集层均为生物礁滩灰岩,沥青的主要储集空间以洞、缝为主,其次为基质孔隙和生物体腔内。

(2)南盘江古油藏沥青的成熟度已经很高, R_o 值为2.85%~6.25%;沥青H/C原子比小于0.4;沥青碳同位素的实测值为-25.9‰~-29.7‰,平均值为-27.96‰;沥青的非极性和极性抽提都无任何抽提产物,而沥青灰岩极性抽提产物的量很低,且以非烃和沥青质为主,主要与灰岩包裹体或灰岩晶格孔隙有关。

(3)在古油藏沥青地球化学特征研究的基础上,结合沥青灰岩抽提物的生标特征,综合分析认为南盘江泥盆系古油藏沥青主要源自泥盆系烃源岩,二叠系古油藏沥青同样主要与泥盆系烃源岩有关,其次可能与下二叠统烃源岩有关。

(4)南盘江古油藏沥青与生物降解沥青和沉淀沥青质有很大的区别,主要表现在焦沥青具有规则、平直的边界以及极高的反射率特征,据此推断其为油藏深埋时在高温、高压的作用下原油裂解成气后的焦沥青。

注 释

- ① 刘培初,刘玉胜,赵芳.1998.南丹大厂、册亨板街生物礁古油藏调研与油气系统研究.滇黔桂石油勘探局勘探开发科学院贵州石油地质研究所.内部报告.
- ② 王庭栋,付晓文,陈世加.2000.高演化地区天然气藏的形成与再分配.西南石油学院.“九五”国家重点科技攻关项目科研报告(编号:99-110-01-05-03).

参 考 文 献

- 杜佰伟,谭富文,王剑,王小龙.2003.羌塘盆地最大规模沥青脉的发现及其意义.沉积与特提斯地质,23(1):69~74.
- 范嘉松,齐敬文.1990.广西隆林二叠系生物礁.北京:地质出版社.
- 丰国秀,陈盛吉.1988.岩石中沥青反射率与镜质组反射率之间的关系.天然气工业,8(2):20~25.
- 高志农,胡华中.2002.高压对天然沥青结构组成演变的影响.沉积学报,20(3):499~503.
- 姜海定.1996.论浙江省碳沥青的成因.中国煤田地质,8(4):23~26.
- 林峰,王庭栋,代鸿鸣,王顺玉,黄清德.1998.四川盆地碳酸盐岩储层中固体运移沥青的性质和成因.矿物岩石地球化学通报,17(3):174~178.
- 刘特民,刘炳炘,陈国栋,吴正永.2001.南盘江盆地构造演化与油气保存区划分.天然气工业,21(1):18~23.
- 吕洪波,章雨旭,夏邦栋,方中,周伟明,彭阳,吴智平,李伟.2003.南盘江盆地中三叠统复理石中的同沉积挤压构造——一类新的沉积构造的归类、命名和构造意义探讨.地质论评,49(5):449~456.
- 梅冥相,马永生,戴少武,吕廷志,张国常,王甘露,谭代友.2001.南盘江盆地晚古生代盆地充填序列特征及生储盖组合划分.现代地质,15(1):74~82.
- 王一刚,刘志坚,文应初.1996.川东石炭系储层有机包裹体、储层沥青与烃类运聚关系.沉积学报,14(4):77~83.
- 肖贤明,刘德汉,傅家漠.1991.沥青反射率作为烃源岩成熟度指标的意义.沉积学报,9(增刊):138~146.
- 杨斌,廖宗廷.1999.广西大厂礁灰岩区碳沥青的产状特征及其与多金属成矿关系探讨.沉积学报,17(增刊):668~674.
- 杨惠民,刘炳炘,邓宗淮,齐敬文,吴大华,黄蕴明.1999.滇黔桂海相碳酸盐岩地区最佳油气保存单元的评价与选择.贵阳:贵州科技出版社.
- 叶军,王亮国,岳东明.1999.从新场沥青地化特征看川西天然气资源前景.天然气工业,19(3):18~22.
- 张敏.1996.陆相凝析气藏中沥青垫的发现及其地质意义.科学通报,41(21):1967~1969.
- 张敏,蔡春芳,张俊.1997.油气藏中沥青垫的研究进展.地质科技情报,16(1):81~84.
- 张学玉,李国建.1999.中国南方天然沥青、油气苗分布与找油气关系.西南石油学报,21(2):36~40.
- 赵孟军,卢双舫.2000.原油二次裂解气——天然气重要的生成途径.地质论评,46(6):645~650.
- 赵孟军.2002.塔里木盆地和田河气田天然气的特殊来源及非烃组分的成因.地质论评,48(5):480~486.
- 赵孟军,张水昌,刘丰钟.2003.油藏演化的两个极端过程.石油勘探与开发,30(5):21~23.
- 周明辉.1999.南盘江坳陷油气系统研究.云南地质,18(3):248~265.
- Dahl B,Speers G C.1986. Geochemical characterization of a tar mat in

- the Oseberg Field Norwegian Sector, North Sea. *Org. Geochem.*, 10: 547~558.
- Du Baiwei, Tan Fuwen, Wang Jian, Wang Xiaolong. 2003. The discovery and significance of the large scale asphalt veins in the Qiangtang Basin, northern Xizang. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 23(1): 69~74 (in Chinese with English abstract).
- Fan Jiasong, Qi Jiangwen. 1990. Permian biological reef in Longlin area, Guangxi. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Feng Guoxiu, Chen Shengji. 1988. The relationship between bitumen reflectance and vitrinite reflectance. *Natural Gas Industry*, 8(2): 20~25 (in Chinese with English abstract).
- Gao Zhinong, Hu Huazhong. 2002. The influence of high pressure on the structural and compositional evolution of natural bitumen. *Acta Sedimentologica Sinica*, 20(3): 499~503 (in Chinese with English abstract).
- Huc A Y, Nederlof P, Debarre R, Carpentier B, Boussafir M. 2000. Pyrobitumen occurrences and formation in a Cambro-Ordovician sandstone reservoir, Fahud Salt Basin, North Oman. *Chemical Geology*, 168: 99~112.
- Hwang R S, Teerman S, Carlson R. 1998. Geochemical comparison of reservoir solid bitumens with diverse origins. *Organic Geochemistry*, 29: 505~518.
- Jacob H. 1985. Disperse solid bitumens as an indicator for migration and maturity in prospecting for oil and gas. *Erdol and Kolhe*, 38: 364~366.
- Jacob H. 1989. Classification, structure, genesis and practical importance of natural solid bitumen (migrabitumen). *Int. J. Coal Geol.*, 11(1): 65~79.
- Jiang Haiding. 1996. The study on the genesis of anthraxolite in Zhejiang Province. *Coal Geology of China*, 8(4): 23~26 (in Chinese).
- Lin Feng, Wang Tingdong, Dai Hongming, Wang Shunyu, Huang Qingde. 1998. The properties and genesis of solid migrabitumen of carbonate reservoirs in Sichuan Basin. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 17(3): 174~178 (in Chinese with English abstract).
- Littke R F, Brauckmann J, Radke M, Schaefer R G. 1996. Solid bitumen in Rotliegend gas reservoirs in northern Germany: Implications for their thermal and filling history. *Zentralbl. Geol. Palaont., Teil I*, 11: 1275~1292.
- Liu Temin, Liu Bingwen, Chen Guodong, Wu Zhengyong. 2001. Tectonic evolution and hydrocarbon preservation region division in Nanpanjiang Basin. *Natural Gas Industry*, 21(1): 18~23 (in Chinese with English abstract).
- Lomando A J. 1992. The influence of solid reservoir bitumen on reservoir quality. *AAPG Bulletin*, 76: 1137~1152.
- Lü Hongbo, Zhang Yuxu, Xia Bangdong, Fang Zhong, Zhou Weiming, Peng Yang, Wu Zhiping, Li Wei. 2003. Syn-sedimentary compression structures in the Middle Triassic flysch of the Nanpanjiang Basin, SW China. *Geological Review*, 49(5): 449~456 (in Chinese with English abstract).
- Mei Mingxiang, Ma Yongsheng, Dai Shaowu, Lu Tingzhi, Zhang Guochang, Wang Ganlu, Tan Daiyou. 2001. Late Paleozoic filling succession of the Nanpanjiang basin and the division of association of oil-generating strata, reservoir and capping bed. *Geoscience—Journal of Graduate School of China University of Geosciences*, 15(1): 74~82 (in Chinese with English abstract).
- Peters K E, Moldowan J M. 1993. *The biomarker guide: interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Stasiuk L D. 1997. The origin of pyrobitumens in Upper Devonian Leduc Formation gas reservoirs, Alberta, Canada; an optical and EDS study oil to gas transformation. *Marine Petrol. Geol.*, 14(7~8): 915~929.
- Wang Yigang, Liu Zhijian, Wen Yingchu. 1996. Organic inclusions and bitumen associated with hydrocarbon migration and accumulation in the reservoir bed, East Sichuan China. *Acta Sedimentologica Sinica*, 14(4): 77~83 (in Chinese with English abstract).
- Wilhelms A, Larter S R. 1994a. Origin of tar mats in petroleum reservoirs. Part I: origin of tar mats in petroleum reservoirs. *Mar. Petr. Geol.*, 11(4): 442~456.
- Wilhelms A, Larter S R. 1994b. Origin of tar mats in petroleum reservoirs. Part I: introduction and case studies. *Mar. Petr. Geol.*, 11(4): 418~441.
- Wilhelms A, Larter S R. 1995. Overview of the geochemistry of some tar mats from the North Sea and USA; application for tar-mat origin. In: Cubitt J M, England W A, eds. *The Geochemistry of Reservoir*. Geological Society Special Publication, 86: 87~101.
- Xiao Xianming, Liu Dehan, Fu Jiamo. 1991. The significance of source rock maturity index by bitumen reflectance. *Acta Sedimentologica Sinica*, 9(Suppl.): 138~146 (in Chinese with English abstract).
- Yang Bin, Liao Zongting. 1999. The occurrence of anthraxolite in Longtoushan reef limestone region of Dachang ore field and its relation to polymetallic mineralization. *Acta Sedimentologica Sinica*, 17(Suppl.): 668~674 (in Chinese with English abstract).
- Yang Huimin, Liu Bingwen, Deng Zonghuai, Qi Jiangwen, Wu Dahua, Huang Yunming. 1999. The evaluation of hydrocarbon preservation units in the carbonate region, Yunnan, Guizhou & Guangxi Province. Guiyang: Guizhou Technology Press (in Chinese).
- Ye Jun, Wang Liangguo, Yue Dongming. 1999. A discussion on the prospects for natural gas resources in West Sichuan in accordance with the geochemical properties of the bitumen found at Xinchang. *Natural Gas Industry*, 19(3): 18~22 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Min, Cai Chunfang, Zhang Jun. 1997. Advances in the research of tar mats in oil and gas reservoirs. *Geological Science and Technology Information*, 16(1): 81~84 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Min. 1996. The tar mat in the nonmarine condensate gas reservoir and its geological significance. *Chinese Science Bulletin*, 41(21): 1967~1969 (in Chinese).
- Zhang Xueyu, Li Guojian. 1999. The relationship between distribution of natural asphalt, oil and gas seepage and exploration in South China. *Journal of Southwest Petroleum Institute*, 21(2): 36~40 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Mengjun, Lu Shuangfang. 2000. Natural gas from secondary cracking of crude oil—an important pattern of gas generation. *Geological Review*, 46(6): 645~650 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Mengjun. 2002. Special source of the natural gases of the Hotan

river gas field and the origin of its non-hydrocarbon gases. *Geological Review*, 48(5):480~486 (in Chinese with English abstract).

Zhao Mengjun, Zhang Shuichang, Liu Fengzhong. 2003. Two possible fates for paleo-reservoir oils. *Petroleum Exploration and Development*, 30(5):21~23 (in Chinese with English abstract).

Zhou Minghui. 1999. A study on the petroleum system of Nanpanjiang sag. *Yunnan Geology*, 18(3):248~265 (in Chinese with English abstract).

图 版 说 明

1. 南丹大厂泥盆系构造缝破碎带中分布的沥青。
2. 南丹大厂泥盆系构造缝破碎带中分布的沥青。
3. 南丹大厂泥盆系沥青浸染使细层和柱廊清晰。
4. 南丹大厂泥盆系层孔虫细层和支柱内的沥青中分布的沥青, 并被

后期方解石脉充填。

5. 南丹大厂泥盆系水螅管孔内的沥青。
6. 南丹大厂泥盆系珊瑚壁内的沥青。
7. 册亨石头寨二叠系礁岩格架构造缝中分布的沥青。
8. 册亨石头寨二叠系生物礁单体格架中分布的沥青。
9. 册亨石头寨二叠系礁岩格架中的沥青被后期方解石脉充填。
10. 册亨石头寨二叠系礁岩格架中的沥青被后期方解石脉充填。
11. 册亨板街二叠系亮晶生屑灰岩, 藻包壳内的沥青。
12. 册亨板街二叠系早期沥青缝、晚期方解石缝, 生屑被沥青浸染。
13. 册亨板街二叠系腹足类体腔内晶粒方解石和沥青。
14. 册亨板街二叠系沿缝合线内分布的沥青。
- 15、16. 南丹大厂古油藏焦沥青, 受方解石矿物结晶影响而边界平直。
17. 南丹大厂古油藏焦沥青, 边界平直, 并受后期方解石改造。
18. 隆林安然古油藏焦沥青, 受方解石矿物结晶影响而边界平直。

Geochemistry and Genesis of Bitumen in Paleo-oil Reservoir in the Nanpanjiang Basin, China

ZHAO Mengjun¹⁾, ZHANG Shuichang¹⁾, ZHAO Ling²⁾, LIU Peichu²⁾

1) *Research Institute of Exploration and Development, PetroChina, Beijing, 100083*

2) *Guizhou Research Department of Institute, Southern Petroleum Exploration and Development Corp., Sinopec, Guiyang, 550000*

Abstract

Reef paleo-oil reservoirs in the Nanpanjiang Basin were mainly distributed in Permian and Devonian strata. Reservoir of paleo-oil is mainly bioherm limestone. Bitumen mainly occurs in cavities and fractures, and also in matrix pores and biological coelomata. The maturity of the bitumen is very high, and the atomic ratio of hydrogen to carbon of the bitumen is less than 0.4. So, the bitumen is mainly composed of carbon residue, which is the reason that there is no extract in the bitumen by non-polarity or polarity extracting. Based on the geochemistry of paleo-oil reservoir, it is concluded that the bitumen in paleo-oil reservoir is mainly from Devonian source rock and secondly from Permian source rock in the Nanpanjiang Basin. The bitumen of the paleo-oil reservoirs in the Nanpanjiang Basin is pyrobitumen formed of oil cracking under high temperature and pressure in depth, much different from biodegradation bitumen and asphaltene bitumen.

Key words: bitumen; paleo-oil reservoir; geochemistry; source; genesis; Nanpanjiang Basin

