

泌阳凹陷——湖相碳酸盐岩生油的一个实例^①

妥进才¹ 曾凡刚² 黄杏珍¹ 马万怡³

1 (中国科学院兰州地质研究所, 兰州 730000) 2 (北京大学地质系, 北京 100871)

3 (河南石油勘探局地质勘探开发研究院, 南阳 473132)

提 要 本文以泌阳凹陷下第三系核桃园组湖相碳酸盐岩为例, 阐述了湖相碳酸盐岩生油岩的一般特征。从湖相碳酸盐岩的组成特征、有机质含量、烃转化率、有机质类型诸方面说明了湖相碳酸盐岩生油岩具备了丰厚的成油物质基础, 并以令人信服的油源对比资料说明湖相碳酸盐岩不仅能够生油, 而且也可以成为商业性石油的源岩。

关键词 泌阳凹陷 湖相 碳酸盐岩 油源对比

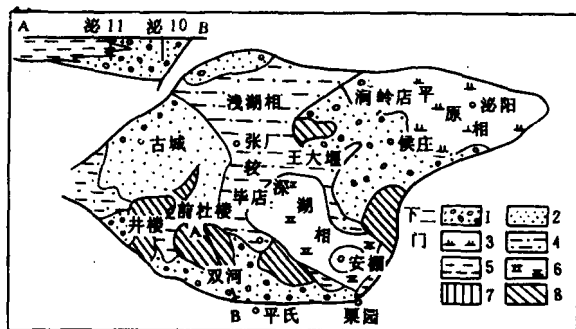
分类号 P 618.130.1

第一作者简介 妥进才 男 34岁 助研、博士研究生 有机地球化学

1 引 言

碳酸盐岩作为商业性石油的源岩, 在世界许多地区都有报导, 例如: 西加拿大的泥盆系、阿基斯坦盆地和中东的侏罗系、美国南佛罗里达盆地白垩统、哥伦比亚上白垩统 Laluna 组、西西里盆地中新统等^[1]。在这些例子中, 作为油源岩的碳酸盐岩都是在海相条件下形成的, 而湖相条件下形成的碳酸盐岩能否成为商业性石油的源岩, 仍存在着较多的疑问。本文以泌阳凹陷下第三系核桃园组为例, 以翔实的地质和地球化学资料说明湖相碳酸盐岩也可以成为商业性石油的源岩。

为泥、页岩至砂、砾岩, 大致构成同心圆状分布(图1)。



1. 砂砾岩 2. 砂岩 3. 平原相 4. 砂泥岩
5. 泥岩 6. 白云岩 7. 天然碱 8. 油田

图1 泌阳凹陷核桃园组沉积相及岩性分布图

Fig. 1 Sedimentary facies in Hetaoyuan Formation, Biyang Depression

2 泌阳凹陷的地质背景

泌阳凹陷位于河南省南部, 面积 1000km², 基底埋深 8300m。自下而上的沉积盖层为: 白垩系、下第三系、上第三系和第四系。其中下第三系核桃园组湖相沉积发育, 生油条件十分优越, 是凹陷中的主力生油层和产油层。泌阳凹陷的碳酸盐岩主要发育在其南部赵凹—安棚一带的深湖相区, 纵向上集中分布在核桃园组中、下部。碳酸盐层系累积最大厚度达 2211m, 主要由白云岩、泥质白云岩及砂岩、粉砂岩和钙质泥岩组成。白云岩一般厚 1~2m, 单层最大厚度为 8.2m。在白云岩分布区的中、南部还含有天然碱。由白云岩分布区向外, 核桃园组岩性渐变

泌阳凹陷具有商业价值的碳酸盐岩油主要产在云 2 井、泌 101 井、泌 103 井等井中。此外, 在其他井的白云岩晶洞和裂缝中都含有十分丰富的油苗。

3 泌阳凹陷碳酸盐岩原油的特征

泌阳凹陷白云岩储层中的原油为高蜡(8~15%)、高比重(0.9174~0.9714), 含硫量中等(0.55~1.20%)(表 1)。这与一般的陆相原油的特点

① 国家自然科学基金资助项目(编号 49070105)

收稿日期: 1996-12-30

不同,也与确信的世界其他地区的来自海相碳酸盐岩的原油有所不同^[2]。

含量特别高,一般普遍大于 42%,高的可达 55.31%。而饱和烃、芳烃的含量则相对比较低,一般多低于 50%。

这些原油的一个独特的特征是胶质、沥青质的

表 1 泌阳凹陷碳酸盐岩原油分析数据表

Table 1 Analysed data of oils in carbonate rock, Biyang Depression

井号	井深 (m)	产层	产层岩性	比重 D_4^{20}	粘度(厘泊) 70℃	胶质、沥青质含量 (%)	凝固点 (℃)	含蜡量 (%)	含硫量 (%)
泌 103 井	1966.54~1971.61	H ₂	白云岩	0.9416	1146.93	52.62	37	8.39	0.74
安 1 井	1920.0~1925.0	H ₂	白云岩	0.9420	2769.50	42.93	40	14.22	0.55
云 2 井	1913.0~1921.0	H ₂	白云岩	0.9174	357.89	46.93	35	14.81	0.65
云 3 井	1682.0~1695.0	H ₂	白云岩	0.9714	1892.79	55.31	38	8.67	1.20
云 9 井	2070.0~2103.0	H ₂	白云岩	0.9412	4027.59	53.91	39	9.80	0.56

白云岩原油的正构烷烃分布范围比较宽,一般从 C₁₂开始直到 C₃₆。类异戊二烯烷烃含量比较高,尤其是姥鲛烷和植烷异常突出,但 Pr/Ph 比值变化比较大,一般变化在 0.5~1.2 之间,说明其生油岩形成时的氧化—还原条件有一定的波动性。此外,正构烷烃都具有明显的奇偶优势(图 2),其 OEP 值变化在 1.2~1.5 之间,个别高达 1.9。甾、萜烷的成熟度指标值都比较低,其中甾烷 C₂₉20S/20(S+R) 比值变化在 0.10~0.18 之间, C₂₉ββ/(αα+ββ) 比值变化在 0.13~0.19 之间, Ts/Tm 比值为 0.15~0.20, C₃₂S/R 比值变化在 0.38~0.87 之间(表 3),说明白云岩储层中的原油为未成熟或低成熟的原油。

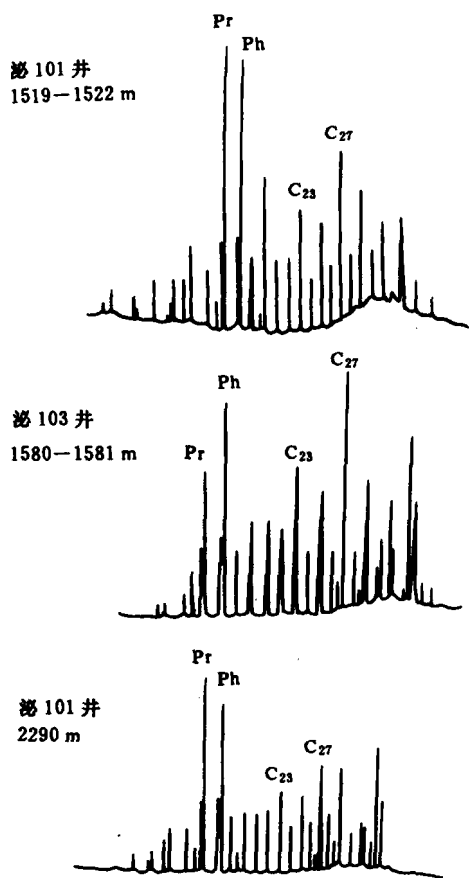


图 2 泌阳凹陷典型的碳酸盐岩油饱和烃色谱图

Fig.2 Typical chromatograms of oils in carbonate rock, Biyang Depression

4 泌阳凹陷碳酸盐岩生油岩的特征

4.1 岩性

泌阳凹陷碳酸盐岩生油岩中的酸溶物含量变化在 40~70% 之间,最高值为 87.67%,最低值为 33.3%。主要的酸溶物为白云石。这说明,泌阳凹陷可能的碳酸盐岩生油岩主要以泥质白云岩和白云质泥岩的形式存在。白云岩中常见藻类结构。细粒的泥晶白云岩或泥晶灰岩中的藻类物质有层状、波浪状和不规则条带状,有的形成了隐藻纹层。

4.2 总有机碳

泌阳凹陷可能的碳酸盐岩生油岩中的总有机碳含量一般变化在 0.23~3.0% 之间,高的可达 4.87%,平均值为 1.82%。该平均值(1.82%)比世界

范围内 18 个含油气盆地 118 个碳酸盐岩生油岩样品的平均值(0.68%)高出 1.5 倍,比平均值为 0.33% 的一般碳酸盐岩高 4 倍以上,甚至还略高于有机碳含量比较高的美国南佛罗里达盆地 Sunniland 灰岩的平均总有机碳值(1.80%)^[2]。因此,仅从有机碳含量来看,泌阳凹陷可能碳酸盐岩生油岩中就含有足以产生商业性原油的有机物质。

4.3 可溶有机质

泌阳凹陷可能碳酸盐岩生油岩中富含氯仿抽提有机物质(沥青 A),其绝对含量由 0.0113% 变化至 1% 以上(表 2)。其可溶有机质(沥青 A)占总有机碳的平均百分比("A"/Toc)为 19.54%。该平均值远远高于世界范围内碳酸盐岩生油岩的平均值(11.6%)和页岩生油岩的平均值(8.1%)^[3],甚至比可溶有机质含量极高的美国南佛罗里达盆地 Sunniland 灰岩的平均值(14.7%)^[2]还高出许多。

表 2 泌阳凹陷可能碳酸盐岩生油岩的地球化学参数

Table 2 Geochemical parameters of possible carbonate source rocks, Biyang Depression

井号	井深 (m)	酸溶物 (%)	有机碳 (%)	抽提物 (%)		烃 (%)		干酪根元素分析		R _o (%)
				A	C	A	C	H/C	O/C	
云	1615	55.68	0.82	0.115	0.0853	0.0397	0.0199	1.04	0.05	0.41
	1650	44.95	0.97	0.4239	0.2538	0.1574	0.0327	1.12	0.04	0.37
	1715	42.26	2.56	0.4469	0.1098	0.1117	0.0451	1.03	0.05	0.37
	1783	33.33	0.23	0.0113	0.0268	0.0024	0.0161	0.85	0.05	0.45
2	1830	87.67	0.27	0.0154	0.0205	0.0041	0.0070	0.79	0.04	0.44
	1934	67.90	1.39	0.1697	0.1158	0.0482	0.0625	0.80	0.05	0.47
	2001	52.39	1.62	0.2629	0.1291	0.0913	0.0310	0.85	0.03	0.49
	2040	70.91	0.74	0.2457	0.1542	0.1195	0.0588	0.90	0.03	0.49
井	2074	66.00	1.45	0.4512	0.0692	0.2085	0.0155	0.93	0.04	0.48
	2117	49.61	2.90	0.1243	0.0688	0.0204	0.0448	1.00	0.03	0.46
	2222	41.54	4.87	1.0408	0.0983	0.5456	0.0225	1.05	0.03	0.58
云	2349	33.33	0.33	0.0555	0.0160	0.0316	0.0060	0.66	0.05	0.53
	2397	44.65	2.22	0.9490	0.1243	0.6403	0.0206	1.00	0.04	0.57
1	2501	46.22	1.42	0.4096	0.2790	0.2819	0.1291	1.08	0.02	0.57
	2549	16.63	2.30	0.4090	0.1015	0.2022	0.0143	0.89	0.03	0.53
	2612	43.33	4.59	0.7539	0.0624	0.4741	0.0198	0.95	0.03	0.56
井	2695	49.60	2.29	0.1248	0.1123	0.0635	0.0331	0.98	0.04	0.49

除了可溶有机质(沥青 A)外,泌阳凹陷碳酸盐岩中还含有相当数量的束缚沥青 C,其含量一般变化在 0.016% 至 0.279% 之间,平均值为 0.1015%,约相当于沥青"A"平均含量的 1/3(表 2)。沥青 C 占总有机碳的百分比("C"/Toc)平均值为 8.85%。可见,在碳酸盐岩生油岩中,束缚沥青 C 的含量也是相当可观的。在一定的地质条件下,束缚沥青 C 的释放可能对油气的生成有一定的贡献。

在组成上,泌阳凹陷可能的碳酸盐岩生油岩氯仿抽提物(沥青 A)的特点是非烃类(胶质和沥青质)高于烃类(表 3),非常类似于碳酸盐岩储层中的原油。饱芳比值较大,一般都在 2 以上,平均值为 3.

1。沥青 A 与沥青 C 相比,沥青 A 中含有更多的非烃而沥青 C 中则含有更多的沥青质。说明可溶有机质和束缚有机质可能具有不同的演化机理。

4.4 有机质类型

根据干酪根元素分析结果,泌阳凹陷可能的碳酸盐岩生油岩中干酪根的 O/C 比值非常低,绝大部分都在 0.05 以下,H/C 原子比值的变化范围为 0.66~1.12 之间。在范一克罗维伦坐标图上其干酪根类型的点群都落在 I 型干酪根演化线的左侧(表 2、图 3)。造成这种结果的原因一是由于泌阳凹陷可能的碳酸盐岩生油岩中的有机质主要由湖盆中的藻类等低等水生生物组成,宏观和微观的特征都已

证明,泌阳凹陷碳酸盐岩中藻类物质是非常丰富的;二是由于输入湖盆的陆生高等植物碎片遭受了强烈的细菌的再改造作用,其结果使有机质中的氧被大量的消耗,造成 O/C 原子比值的下降;三是由于较高的盐度在水体底部形成了较强的还原条件,使得沉积物中的有机质得以较好的保存,未遭受氧化的破坏。这一点可以其较高的有机碳含量为证。

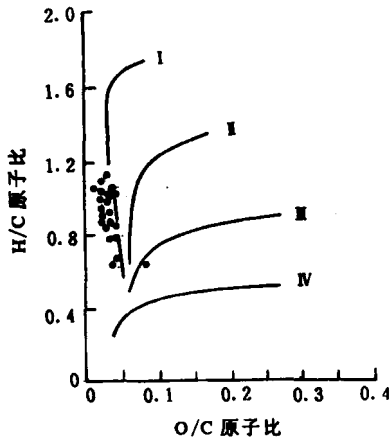


图3 泌阳凹陷可能碳酸盐岩生油岩的干酪根类型
Fig.3 Kerogen types of possible carbonate source rocks, Biyang Depression

4.5 生物标志化合物分布特征

在所分析的三个生物标志化合物系列中,三环

萜烷的分布是比较特殊的一类化合物,其分布特征与我们所熟悉的海相碳酸盐岩生油岩的三环萜烷的分布形式有所不同^[2],泌阳凹陷可能的碳酸盐岩生油岩中三环萜烷的分布形式可明显的分为二种端元类型。一类是以 C₂₀三环萜烷为最高峰,另一类是以 C₂₃三环萜烷为最高峰。大多数其他样品的三环萜烷的谱峰均介于这二种类型之间。尽管泌阳凹陷碳酸盐储层中产出的工业油流的三环萜烷的分布形式与第二种类型相似,但在白云岩晶洞和裂缝中分布的原油中均可以找到与第一种类型的三环萜烷分布形式相似的原油类型。说明,具有二种不同三环萜烷分布形式的碳酸盐岩均具有生油能力。

泌阳凹陷可能的碳酸盐岩生油岩中三环萜烷分布的另一个特征是,从 C₂₀开始,在每一个 13β14α 构型的三环萜烷的后面,均有一个相同碳数的 13α14α 构型的三环萜烷异构体(图 4),形成非常特征的双峰分布形式。这种 13α14α 构型的三环萜烷在其他地区的碳酸盐岩和页岩生油岩中都很难检测到。从含量来看,13α14α 构型的三环萜烷都比同碳数的 13β14α 构型的三环萜烷含量低,并随岩样埋深的增加,其含量也很快降低。说明 13α14α 构型的三环萜烷是很不稳定的。因此,在泌阳凹陷可能的碳酸盐岩生油岩中检测到 13α14α 构型的三环萜烷,说明碳酸盐岩生油岩的成熟度是比较低的。有关的生物标志化合物成熟度参数和 R_o 值也证实了这一点(表 2、表 3)。

表3 泌阳凹陷云2井原油和碳酸盐抽提物生物标志物参数对比

Table 3 Comparison of biomarker parameters between oils and carbonate source rocks from well Yun-2, Biyang Depression

样品	井深 (m)	族组成 (%)				生物标志化合物参数				
		饱和	芳	非	沥青	甾		萜		
						C ₂₉ 20S/20(S+R)	C ₂₉ ββ/αα+ββ	T _s /T _m	C ₃₀ βα/αβ	C ₃₂ S/R
油	1645	28.52	11.00	46.74	7.90	0.13	0.14	0.15	0.37	0.40
	1921	34.19	5.51	56.26	4.05	0.10	0.13	0.20	0.40	0.38
	1932	21.94	10.07	38.49	20.50	0.12	0.17	0.18	0.40	0.87
	1968	26.40	11.08	40.80	21.72	0.18	0.19	0.17	0.57	0.75
岩	1650	29.29	7.86	43.57	13.57	0.13	0.14	0.17	0.45	0.80
	1783	16.57	4.73	30.18	43.70	0.15	0.16	0.12	0.33	0.47
	1889	19.47	6.19	32.74	37.17	0.09	0.12	0.08	0.43	0.67
	1934	19.27	9.17	40.37	30.73	0.12	0.18	0.19	0.40	0.80
	2068	26.91	10.84	47.39	12.85	0.17	0.18	0.05	0.44	0.76
	2117	9.50	6.98	55.87	26.82	0.23	0.22	0.09	0.62	0.96

泌阳凹陷可能的碳酸盐岩生油岩中五环三萜烷的分布特征是 C_{30} 藿烷含量最高, C_{29} 藿烷次之, 含有很丰富的 γ -蜡烷及成对的呈阶梯状依次降低的 C_{31} — C_{35} 延伸藿烷系列(图 4), 这也是泌阳凹陷碳酸盐岩储层中所产原油的特征图形。

甾烷的分布可分为两种基本类型, 一种是 C_{27} 甾烷的含量大于 C_{29} 甾烷的含量, 另一种则是 C_{29} 甾烷的含量大于 C_{27} 甾烷的含量(图 4)。个别情况下还可以见到 C_{28} 甾烷的含量超过 C_{27} 甾烷和 C_{29} 甾烷含量的分布形式。说明, 泌阳凹陷可能的碳酸盐岩生油岩中湖相的低等水生生物和陆生的高等植物的贡献都是很重要的。甾烷分布的另一个显著的特征是重排甾烷的含量都很低, 以致于许多样品中几乎

检测不到重排甾烷。只在部分埋深比较大、成熟度比较高的样品中检测到了少量的重排甾烷。这可能是由于泌阳凹陷碳酸盐岩中能起催化作用的粘土矿物的含量相对比较低的缘故。Rubenstein 等^[4] 和 Sieskind 等^[5] 研究者根据实验室的实验证明, 重排甾烷可以由前身物甾醇通过粘土矿物的酸催化作用而形成。重排甾烷含量比较低的另一个原因可能是因为所分析的泌阳凹陷碳酸盐岩样品的成熟度都比较低的缘故。

5 油—源对比

正如前已述及的那样, 泌阳凹陷可能的碳酸盐岩生油岩中平均的有机质含量和可抽提有机质的含量都是很高的。除此以外, 还含有相当数量的束缚沥青 C。因此, 仅从这几个方面来看, 泌阳凹陷的湖相碳酸盐是可以成为良好的生油岩的。但要证明其确实已成为有效的生油岩, 就要用油—源对比的方法证明其与已知的油确实存在着亲缘关系。

从表 3 中所列的数据可以看出, 泌阳凹陷碳酸盐岩中所产原油与可能的碳酸盐岩生油岩抽提物在族组成和生物标志化合物参数上是完全可以对比的。尤其是深度在 2068m 以浅的可能碳酸盐岩生油岩样品的抽提物与碳酸盐岩油的相关性更为密切。这说明, 泌阳凹陷目前已发现的碳酸盐岩油可能主要是由深度在 2068m 以浅的碳酸盐岩生油岩生成的。

另外, 碳酸盐岩中所产原油的生物标志化合物分布指纹在碳酸盐岩抽提物中也都找到其相应的对应类型, 其中的两个原油样和与其极为相似的碳酸盐岩抽提物的生物标志化合物的分布指纹示于图 4 中。可以看出, 它们之间存在亲缘关系是无可置疑的。另外, 原油和碳酸盐岩抽提物在生物标志化合物分布指纹上如此相似, 说明原油没有经历过较长距离的运移, 是属于自生自储式的原油。

6 结 语

湖相碳酸盐岩能否生油, 曾有过疑问, 本文以丰富的地质、地球化学和油源对比资料说明湖相碳酸盐岩不仅能够生油, 而且也可以成为商业性石油的源岩。这一认识对促进我国陆相盆地湖相碳酸盐岩生油岩的研究具有十分重要的意义。

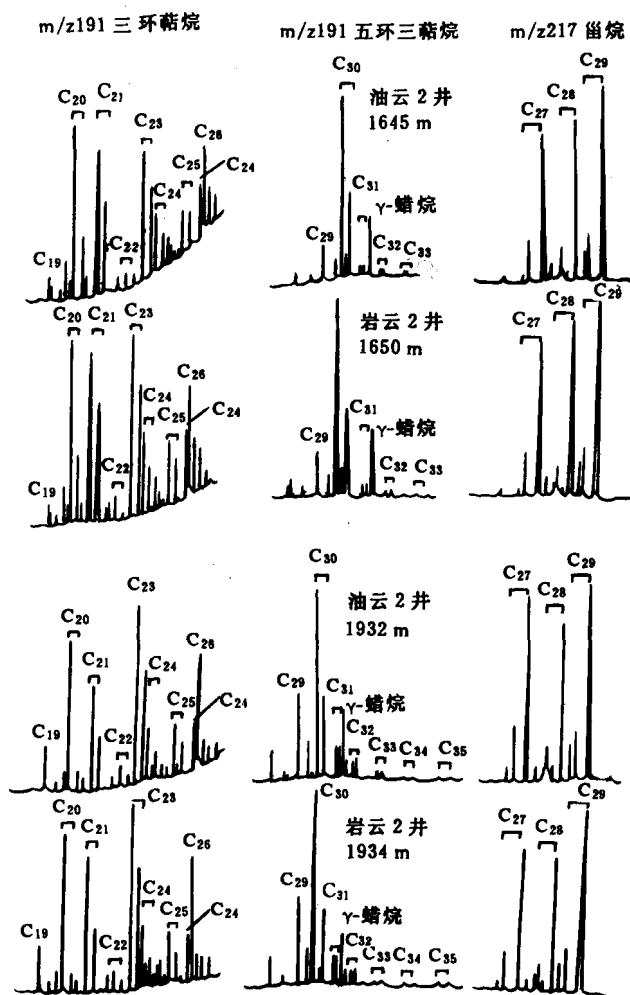


图 4 泌阳凹陷碳酸盐岩油与碳酸盐岩抽提物饱和烃生物标志化合物对比图

Fig. 4 Biomarkers distribution comparison between oils in carbonate rock and possible carbonate source rocks, Biyang Depression

参 考 文 献

- [1] Palacas J. G., Carbonate rocks as source of petroleum: Geological and chemical characteristics and oil-source correlation, London, 11th World Petroleum Congress Proceedings, 1984, 2:31~43.
- [2] Palacas J. G., Anders D. E. and King J. D., 卞良槐译. 南佛罗里达盆地—碳酸盐生油岩的一个典型实例. 碳酸盐岩石油地球化学及生油潜力, 北京: 科学出版社, 1990, 85~119.
- [3] Tissot B. and Welte D. H., Petroleum formation and occurrence: Berlin Springer-Verlag, 1978, 96.
- [4] Rubenstein I., Sieskind O. and Albrecht P., Rearranged steranes in shale: occurrence and simulated formation. Jour. Chem. Soc. Perkin Trans. I, 1975, 1833~1836.
- [5] Sieskind O., Joly G. and Albrecht P., Simulation of geochemical transformations of sterols: superacid effect of clay minerals. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1979, 43:1675~1679.

Biyang Depression——An Example of Lacustrine Carbonate as Source Rocks of Petroleum

*Tuo Jincal*¹ *Zeng Fangang*² *Huang Xinzhen*¹ and *Ma Wanyi*³

1 (Lanzhou Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000)

2 (Geology Department of Peking University, Beijing 100871)

3 (Institute of Petroleum Exploration and Development Bureau of Petroleum of Henan Province, Nanyang 473132)

Abstract

The general characteristics of lacustrine carbonate source rocks are discussed in this paper, where the lacustrine carbonate of Hetaoyuan Formation, Tertiary, Biyang Depression, was taken as an example. That the composition characteristics, the contents of organic matters, the transformative rate of hydrocarbons and the type of organic matters show that lacustrine carbonate source rocks are rich in oil-generating material, and the convincing oil-source rock correlation material indicates that lacustrine carbonates not only can generate oils, but also be the source rocks of commercial oils.

Key Words Biyang Depression lacustrine facies carbonate rocks oil-source rock correlation