

珠江口盆地白云凹陷天然气成因 及油气资源潜力分析

崔洁¹, 何家雄², 周永章¹, 崔莎莎²

(1. 中山大学地球科学系, 中山大学地球环境与地球资源研究中心, 广东 广州 510275;
2. 中国科学院边缘海地质重点实验室, 广东 广州 510640)

摘要:白云凹陷是南海北部珠江口盆地最大的沉积凹陷, 新生代最大沉积厚度超过 12 km, 处在珠江口盆地新生代沉降和沉积中心, 具备了油气运聚成藏的巨大大沉积充填体系和基本地质条件。根据邻近深水区部分探井和深水区 LW3-1-1 井已获天然气组分、轻烃组成、碳同位素特征, 对该区天然气成因类型及气源构成进行深入分析, 并结合其油气成藏地质条件, 初步分析了其资源潜力及勘探前景。

关键词:白云凹陷; 天然气成因; 气源构成; 资源潜力; 勘探前景

中图分类号: TE122.1⁺11

文献标识码: A

文章编号: 1672-1926(2009)01-0125-06

1 区域地质背景

白云凹陷位于南海北部大陆边缘陆坡深水区珠江口盆地南部的珠二坳陷(图 1), 距珠江口 250 km, 水深 300~3 000 m, 凹陷展布面积达 20 000 km², 最大沉积厚度逾 12 km, 其中古近系最大沉积厚度达 8 500 m, 是珠江口盆地迄今发现的最大规模的第三系沉积凹陷, 亦属珠江口盆地古近纪最大的沉降及沉积中心。白云凹陷处在海陆过渡型地壳靠近洋壳的特殊构造位置, 沉积基底以下的地壳厚度仅 7~11 km, 且由北向南地壳厚度逐渐减薄, 莫霍面埋深变浅, 地温梯度增高, 达 3.6~4.5℃/100m, 大地热流值最高达 77.5 mW/m², 属于地温场偏高的凹陷^[1]。

白云凹陷具有准被动大陆边缘海陆过渡型地壳的结构特征, 其地壳厚度由陆架—陆坡—深海逐渐减薄, 凹陷沉积基底主要为中酸性岩浆岩, 其次为变质岩和基性岩^[2]。凹陷总体呈北东东走向, 北侧为番禺低隆起, 西侧与开平凹陷相邻, 东侧与东沙隆起相接。凹陷在新生代发育演化主要经历了断陷裂谷

期(T_g-T_7)、裂后断拗转换及热沉降期(T_7-T_4)和新构造运动及热沉降拗陷期(T_4-T_0) 3 个演化阶段, 形成了 T_g 、 T_7 、 T_6 等重要不整合界面, 具有三层结构特点, 与中国东部典型断陷裂谷盆地的裂谷期和裂后拗陷期的双层盆地结构存在一定的差异^[3-5]。

白云凹陷深水区自下而上主要沉积充填了始新统湖相沉积的文昌组、下渐新统河湖相煤系沉积的恩平组、上渐新统浅海陆架—三角洲沉积的珠海组、下中新统深水陆坡—深水扇沉积的珠江—韩江组、上中新统以来深水陆坡欠补偿沉积等。凹陷不同时期的主要沉积物源供给均来自北侧古珠江口流域, 其沉积充填均具有单边侧向输送沉积物的特点。因此, 白云凹陷新生代沉积充填特征, 总体上呈“下粗上细、由陆向海、由浅水向深水、由过补偿向欠补偿”的演变规律^[6], 且由于凹陷跨越古陆架边缘与斜坡的过渡带—陆坡—深海区, 古近纪同裂谷期沉积了巨厚的河湖相地层, 新近纪凹陷处在古珠江河口外的陆坡深水区, 沉积物源供给充足, 发育了规模巨大的各种类型低位深水扇体系, 颇具油气资源前景及勘探潜力。

收稿日期: 2008-11-25; 修回日期: 2008-12-31.

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(编号: 2007CB41170501); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(编号: KZCX2-YW-203-2)联合资助。

第一作者 E-mail: cjie@mail2.sysu.edu.cn.

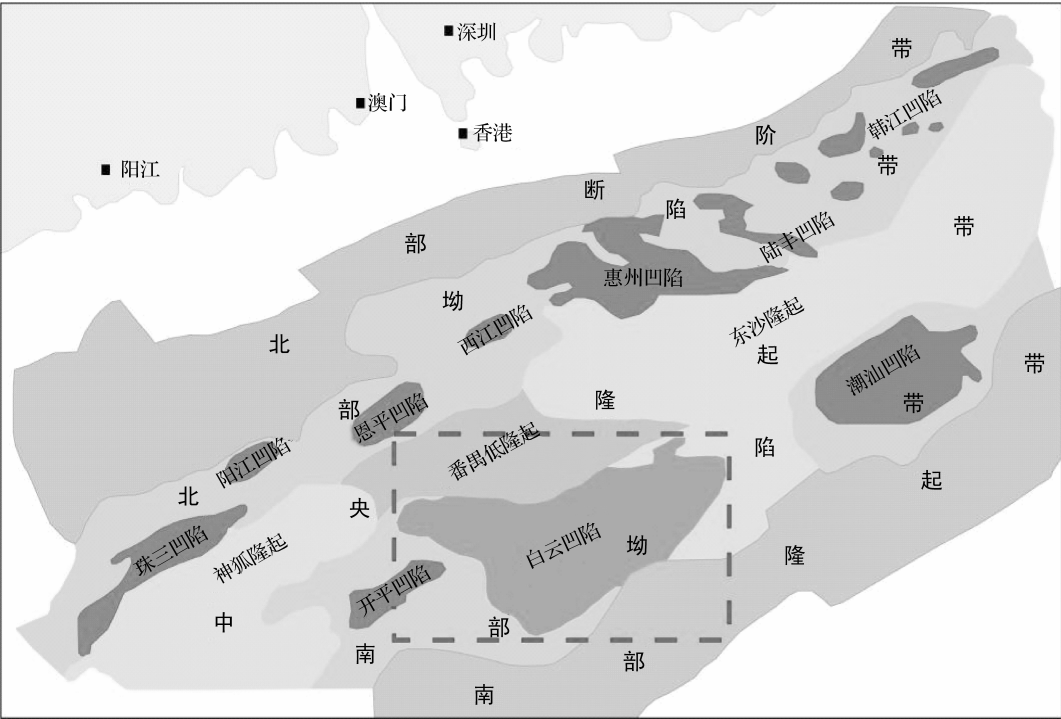


图 1 南海北部边缘珠江口盆地白云凹陷区域构造位置及展布特征(据中海油 2007 年资料编制)

2 天然气成因及烃源分析

白云凹陷深水区属珠江口盆地油气勘探新区，油气勘探及研究程度甚低。迄今为止，已在邻近凹陷深水区的白云凹陷北坡一番禹低隆起上勘探发现了番禺 30-1 气田、34-1 气田及流花 19-5 气田等 3 个气田和番禺 35-1 构造等 5 个含气构造。该区 500m 以下深水区目前已钻 2 口探井；其中 2006 年钻探的 LW3-1-1 井获得了重大天然气发现，而 2008 年钻探的 BY6-1-1 井无商业油气发现。在白云凹陷东南部荔湾 3-1 断背斜上钻探了 LW3-1-1 井，在上渐新统珠海组和下中新统珠江组共 4 个砂层段通过 MDT 等测试评价确认为气层，初步估算天然气资源量逾 1 000 亿 m³，而其他广阔的深水区域虽然部署了二维地震测线，但迄今尚未部署探井实施钻探，故深水区探井资料非常缺乏，油气地质及油气成因研究与烃源追踪对比难度大^[7-10]。以下仅根据白云凹陷北坡一番禹低隆起及荔湾 3-1-1 井所获天然气地质地球化学特征信息及其可能烃源岩特点，重点对其天然气成因类型及烃源构成特征进行剖析探讨。

2.1 白云深水区烃源岩分布特征

由于白云凹陷油气勘探程度甚低，其烃源岩分布与判识，只能借鉴珠江口盆地北部陆架浅水区油气勘探程度较高的珠一坳陷钻井地质及地球物理资

料，并通过跨越深水区地震剖面的层序地层学精细解释与追踪对比，进而来判识与确定烃源岩。近期研究表明^[11]，该区古近纪断陷裂谷期沉积充填了具低频、平行连续、强反射、强波阻抗及强瞬时振幅地震相的始新统文昌组中深湖相地层和低频亚平行中等连续—断续(或不连续)强反射、中—弱振幅地震相特点的下渐新统恩平组河沼相及湖相地层，且沉积展布规模颇大，其中文昌组最大厚度达 5 000 m，恩平组最大厚度达 3 000 m。始新统文昌组地层及烃源岩分布主要受 NE 向、NWW 向 2 组断层控制，其中白云主洼文昌组沉积在凹陷中最发育且具有南厚北薄、西厚东薄的特点，因此主洼西南部是白云凹陷文昌组烃源岩最发育的区域^[7-8]。恩平组烃源岩以白云凹陷北部(包括番禺低隆起及白云凹陷北坡地区)沉积充填厚度最大、埋藏最深、且成熟度较高。据邻近深水区的白云凹陷北坡一番禹低隆起上钻遇该烃源岩的深探井分析，恩平组烃源岩目前已达到生烃成气门槛，处于成熟—高熟的生烃高峰期^[12-13]。始新统文昌组中深湖相烃源岩根据深水区地震剖面追踪分析，结合盆地模拟所获埋藏史及热演化史分析，其中深湖相烃源岩现今多处于处于高熟—过熟阶段，部分处在成熟—高熟阶段的生烃高峰期。因此，根据该区古近系地层沉积充填及展布特征，结合北部浅水陆架烃源岩发育展布规律，以及跨越浅水与深水区地震剖面精细的层序地层学追踪分析，判

识与确定始新统文昌组中深湖相泥岩及下渐新统恩平组煤系及湖相泥岩应是该区主要烃源岩。

须强调指出的是,始新统文昌组中深湖相泥岩是区域上的主要烃源岩,亦是目前珠江口盆地年产 1 200 万 t 原油众多油田的主力烃源岩^[14]。根据邻区珠一坳陷、珠三坳陷(浅水区)钻井及地质地球物理资料,始新统文昌组烃源岩最大厚度达 3 000 m,分布广泛,其生源母质类型以富含低等生物标记 C₃₀ 4-甲基甾烷为主要特征,陆源高等植物输入较少,表明有机质类型为 I—II 型,且沉积时水体的还原性较强,有机质保存条件好。文昌组烃源岩有机质丰度高,TOC 平均值为 2.94%,氯仿沥青“A”平均值为 0.225%。上述资料表明文昌组烃源岩属于区域上的主要烃源岩。

在白云凹陷北坡一番禺低隆起,下渐新统恩平组烃源岩已有钻遇,从所获地球化学信息表明^[10-13],恩平组烃源岩具有煤系生源母质类型的特点,含丰富的陆源高等植物——树脂化合物(W、T 双杜松烷)和煤系标记物奥利烷,低等生物标记 C₃₀ 4-甲基甾烷含量甚微。恩平组烃源岩有机质丰度较高,TOC 平均为 2.19%,氯仿沥青“A”值平均为 0.197 6%,干酪根 H/C 原子比多在 1.2~0.7 之间,表明有机质类型以 II₂—III 型为主。恩平组烃源岩成熟度较高,多处处在成熟—高熟热演化阶段,属于一套以生气为主的烃源岩。

上渐新统珠海组海相烃源岩,在白云凹陷东南部深水区 LW3-1 井已钻遇,地球化学分析表明,其有机质丰度较高,TOC 值介于 1.0%~1.5% 之间,S₁+S₂ 值介于 2~4 mg/g 之间,氢指数值(I_H)较高,多属 II₂ 型母质类型。镜质体反射率(R₀)测定结果表明,珠海组烃源岩有机质热演化程度已进入低成熟生烃门槛(R₀=0.43%~0.53%),具有一定的生烃潜力^[12]。

综上所述,白云凹陷深水区发育的 3 套烃源岩多处于成熟—高熟热演化阶段,均具备生烃成气潜力,但以始新统文昌组湖相烃源岩及下渐新统恩平组煤系及湖相烃源岩最具生烃潜力,其应是构成该区天然气藏之气源的主力烃源岩。上渐新统珠海组海相烃源岩成熟度较低,具有一定的生烃潜力,属该区次要烃源岩。

2.2 天然气成因类型及烃源判识

根据白云凹陷及白云凹陷北坡一番禺低隆起上迄今勘探所获天然气样品地球化学分析结果,依据天然气甲烷碳同位素(δ¹³C₁)和乙烷碳同位素

(δ¹³C₂)分布特征,采用通常的天然气成因类型判识划分标准及原则,该区勘探所获天然气成因类型可划分和确定为生物气、亚生物气、成熟偏煤型混合气、成熟—高熟偏油型混合气和成熟—高熟煤成气等 5 类(图 2)。从图 2 可以看出,白云凹陷北坡一番禺低隆起上的(LH19-3 井、LH19-5 井、PY29-1 井、PY30-1 井、PY34-1 井、PY35-1 井)天然气,主要以成熟—高熟偏油型混合气及成熟偏煤型混合气为主,而成熟—高熟煤成气相对较少,生物气及亚生物气仅有少量分布,表明其烃源母质主要处在成熟—高熟的生烃高峰演化阶段,而构成烃源及气源则主要以偏油型混合母质(II₁—III)和偏煤型混合母质(II₂—III)在成熟—高熟阶段所生成的烃类产物——即大量天然气及少量凝析油或轻质油为主,尚未有高熟裂解干气产出。由图 2 可看出,白云凹陷深水区东南部 LW3-1 断背斜构造之天然气成因类型(黑色实心圆点群),均为成熟—高熟偏油型混合气,其甲烷碳同位素(δ¹³C₁)值介于-36.6‰~-37.10‰之间,而乙烷碳同位素(δ¹³C₂)偏轻,均小于-28.90‰,最轻为-29.60‰,很显然,其天然气中油型伴生气成分占较大优势,无疑属于偏油型的高熟混合气。

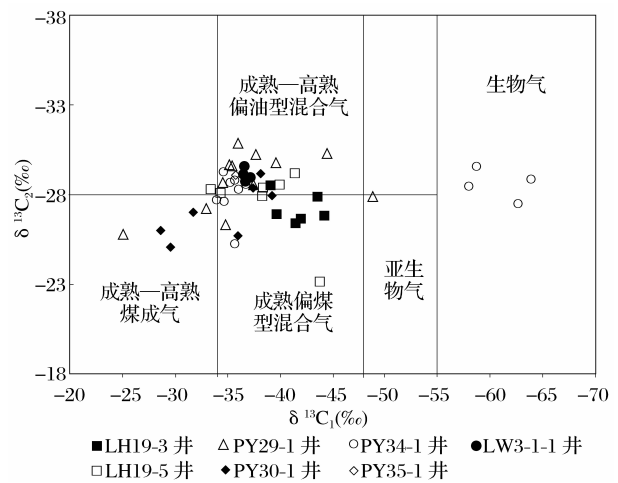


图 2 白云凹陷及白云北坡一番禺低隆起天然气成因类型判识与划分^[14]

白云凹陷及白云凹陷北坡一番禺低隆起天然气组成以甲烷为主,甲烷含量多在 79.4%~96% 之间及以上,最高达 99.2%。天然气样品中除生物气及亚生物气基本不含 C₂+ 重烃气外,在成熟—高熟偏油型混合气和成熟偏煤型混合气中,乙烷及 C₂+ 重烃含量均较高,一般为 3%~7% 左右。天然气干燥系数(C₁/ΣC_n)除生物气偏大达 0.99 外,其余均在 0.84~0.96 之间(表 1),因此,该区天然气成熟度并

不太高,属于有机质在成熟—高熟凝析油及湿气阶段所产出的天然气,并非过熟热裂解天然气^[15]。另外,该区天然气中尚含有一定数量以 CO₂ 为主的非

烃气,其含量一般在 1.5%~14%之间,部分层段 CO₂ 含量可高达 84%~92%之间及以上,属于无机成因 CO₂,这可能与深大断裂的输导作用有关。

表 1 白云凹陷及白云北坡—番禺低隆起天然气地球化学特征与成因类型判识

代表井	层位	深度 (m)	天然气组成(%)					干燥 系数	碳同位素 δ ¹³ C(‰)					成因类型
			C ₁	C ₂	C ₂ ⁺	N ₂	CO ₂		C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	CO ₂	
LH19-3/1	Nyh	659~692	89.5	4.75	2.29	2.26	0.43	0.93	-43.50	-28.00	-25.50	-24.50	-17.10	成熟偏煤型混合气
		738~828	93.3	3.57	1.19	1.40	0.13	0.95	-39.20	-28.60	-26.60	-25.50	-17.40	
		862~890	94.65	2.01	1.13	1.53		0.96	-44.20	-26.90	-23.10	-23.60	-17.90	
LH19-5/1	Nhj	1 502	92.57	3.67	2.56	0.63	0.57	0.94	-41.40	-29.10	-27.50	-27.20	-5.90	成熟偏油型混合气
		2 211	87.8	3.89	2.35	1.65	4.31	0.93	-33.60	-28.30	-27.70	-27.70	-6.60	
PY28-2/1		3 301	5.68	0.63	0.42	9.02	82.70	0.84	-41.35	-25.53	-27.47		-3.92	成熟偏煤型混合气
PY29-1/1A	Nzhj	2 846.5	61.5	2.07	0.61	21.78	14.00	0.95	-39.56	-29.86	-27.00		-13.60	成熟—高熟偏 油型混合气
		2 868.5	63.8	2.06	0.59			0.96	-35.16	-29.68	-27.59	-27.05	-7.27	
		2 912	5.29	0.2	0.08	91.70	2.69	0.95	-34.44	-28.71	-30.06		-6.94	
PY30-1/1	Nhj	1 728.7	87.7	4.09	2.02	4.33	1.57	0.93	-36.09	-25.61	-26.33	-26.73	-8.21	成熟—高熟煤型气
		2 903.5	85.2	4.56	2.71	3.44	3.79	0.92	-36.40	-29.28	-28.73	-31.07	-4.95	
PY30-1/2	Nzhj	2 733	89.81	4.21	2.11		3.86	0.93	-36.20	-28.50	-27.60	-27.10	-5.90	成熟—高熟偏 油型混合气
PY30-1/2A	Nhj	1 907.3	89.91	4.01	1.77		4.41	0.94	-38.10	-29.20	-27.90	-27.60	-6.30	
		3 192	89.39	4.23	2.29		4.10	0.99	-36.60	-29.30	-28.30	-28.10	-6.50	
PY30-1/3	Nzhj	2 743~2 758	89.13	4.18	2.11	0.46	3.94	0.93	-36.90	-28.80	-27.70	-27.50	-5.40	成熟—高熟偏 油型混合气
		2 711~2 726	88.58	4.23	2.19	0.57	4.10	0.93	-35.50	-28.80	-27.20	-26.70	-4.50	
	Q	480~510	98.6	0.01				0.99	-68.20					生物气
		Nhj 2 100~2 130	99.2	0.01				0.99	-59.70					
PY34-1/1	Nzhj	3 612~3 633	79.36	3.7	1.92	2.89	11.77	0.93	-34.60	-27.70	-27.00	-27.20	-2.50	成熟—高熟煤型气
		3 650~3 660	78.8	4.14	2.19	0.61	13.80	0.93	-36.80	-28.60	-27.40	-25.30	-4.70	
		3 820~3 838	33.1	1.25	0.38	5.38	58.50	0.95	-35.30	-28.70			-9.70	
PY34-1/2	Nzhj	3 657.5	81.3	3.77	1.55	2.51	8.46	0.94	-35.70	-28.90	-27.80	-25.60	-4.60	成熟—高熟偏 油型混合气
		3 070							-37.10	-29.00	-27.20	-27.10	-5.70	
LW3-1-1	Nzhj	3 144.5				0.05	3.11	0.91	-36.60	-29.10	-27.40	-26.80	-6.10	成熟—高熟偏 油型混合气
		3 189.5							-36.80	-28.90	-27.50	-26.90	-5.70	
		3 499.5				0.13	2.38	0.88	-36.60	-29.60	-29.10	-28.10	-7.80	

(据朱俊章资料编制,2007)

由表 1 可以看出,白云凹陷北坡—番禺低隆起上(LH19-3 井、LH19-5 井、PY29-1 井、PY30-1 井、PY34-1 井、PY35-1 井)天然气,其甲烷同系物碳同位素具有 δ¹³C₁<δ¹³C₂<δ¹³C₃<δ¹³C₄ 的正序列分布特点,仅少数样品在 δ¹³C₃ 和 δ¹³C₄ 之间出现局部倒转现象(PY30-1/1),表明其天然气属有机质正常成熟热演化生烃的产物,但其烃源及气源构成具有混源的特点^[15-17]。白云凹陷北坡—番禺低隆起天然气甲烷碳同位素 δ¹³C₁ 值分布范围为 -33.6‰~-44.2‰,且大部分天然气甲烷碳同位素 δ¹³C₁ 偏轻,多在 -36.09‰~-39.2‰之间;天然气乙烷碳同位素 δ¹³C₂ 值分布范围为 -25.53‰~

-29.86‰,但绝大部分天然气的乙烷碳同位素 δ¹³C₂ 值均小于 -28.0‰,表明该区天然气成熟度总体上并不太高,且其干燥系数亦不大,根据沈平等^[18]建立的南海北部边缘盆地天然气成熟度方程(δ¹³C₁(‰)=60.21logR_C-36.24)计算,其天然气成熟度 R_C 仅达 0.76%~1.11%,依据成熟度标准判识属成熟—高熟阶段,因此该区目前勘探发现的天然气藏,均属有机质在成熟—高熟热演化阶段所形成的烃类产物。

白云凹陷深水区东南部 LW3-1-1 井天然气组成与白云凹陷北坡—番禺低隆起类似,亦甲烷居绝对优势,烃类含量大于 96%以上,含有少量 N₂ 和 CO₂ 等非烃气。天然气甲烷碳同位素 δ¹³C₁ 和乙烷

$\delta^{13}\text{C}_2$ 碳同位素均较轻,范围分别为 $-36.60\text{‰} \sim -37.10\text{‰}$ 和 $-28.90\text{‰} \sim -29.60\text{‰}$,因此依据油型气碳同位素成熟度方程判识,其天然气成熟度已达到成熟—高熟的凝析油湿气阶段,属于成熟—高熟偏油型混合气^[15]。

总之,根据该区迄今勘探发现的天然气及凝析油地球化学特征,结合区域地质背景及凹陷发育演化与沉积充填特征分析,可以综合判识与确定白云凹陷天然气,主要属成熟—高熟偏油型混合气和成熟—高熟偏煤型混合气,凝析油则为其伴生产物^[15]。其中 LW3-1-1 井天然气属成熟—高熟偏油型混合气,其烃源及气源主要来自富含有机质、沉积充填规模大、处于成熟—高熟热演化阶段的始新统文昌组湖相烃源岩(中深湖相和滨浅湖相)和处于成熟阶段的下渐新统恩平组煤系及湖相烃源岩两者共同提供的混合烃源,上渐新统珠海组海相烃源岩亦有一定的贡献。另外,根据该区天然气甲烷同系物碳同位素特征以及气层砂岩残烃留萘成熟度参数判识,预测该区尚有油气藏存在的可能,即应该具有石油资源勘探潜力。这与前人^[19-20]研究认为,白云凹陷北坡—番禺低隆起上渐新统珠海组和下中新统珠江组下段存在残余油藏,以及该区在地质历史时期可能发生过两期油和两期天然气充注,而后期天然气充注和断层活动导致了早期油藏遭受破坏而未能完全保存的结论基本一致。

3 油气资源潜力及勘探前景

珠江口盆地北部陆架浅水区珠一坳陷目前已经探明和控制的石油地质储量达 $7 \times 10^8 \text{ t}$,油气地质研究及烃源对比证实,其油田的油源主要来自始新统文昌组成熟的中深湖相烃源岩和下渐新统恩平组煤系,珠海组海相烃源岩在埋藏较深的地区亦有一定的贡献。这就充分表明珠江口盆地古近纪断陷裂谷期沉积的湖相及煤系烃源岩具有巨大的生烃潜力。白云凹陷位于珠江口盆地南部珠二坳陷陆坡深水区位置,由于处在海陆过渡型地壳靠近洋壳一侧,其与盆地北部陆架浅水区相比,该区古近纪裂陷更深且持续发育,不仅古近系沉积充填规模巨大,而且新近系沉积亦比北部陆架浅水区厚度大。由于该区古近纪以来强烈的深陷作用及继承性发育的特点,形成了一个面积达 $2 \times 10^4 \text{ km}^2$,古近系最大沉积厚度超过 $8\,500 \text{ m}$ 的巨型深凹陷。古近纪断陷裂谷期,白云凹陷不仅发育有巨大规模的始新统文昌组中深湖相烃源岩,而且下渐新统恩平组中深湖相及煤系烃源岩也非常发育,且当时湖盆多属全封闭的

深洼陷,气候湿润潮湿,植被茂盛,生物有机质非常丰富^[21],加之该区古近纪沉积速率大、沉积充填巨厚,极有利于有机质保存及成熟演化生烃作用进行。因此,该区具备了比北部陆架浅水区珠一坳陷更雄厚的烃源物质基础,具备了深水油气成藏的基本地质条件^[6]。

总之,白云深水区凹陷规模巨大、古近系湖相及煤系烃源岩发育、上渐新统海相烃源岩也具备一定的生烃潜力,与北部陆架浅水区珠一坳陷相比,水生低等生物等烃源物资更丰富,有机质保存条件好,且烃源岩多处于成熟—高熟的成烃演化高峰阶段,加之,该区上渐新统珠海组浅水三角洲砂岩和下中新统陆坡深水扇等储集层发育,且与该区油气运聚成藏期配置良好,故其油气资源潜力,尤其是天然气资源潜力及勘探前景更好^[22]。

再者,根据有机包裹体和古近纪文昌组—恩平组沉积相及埋藏充填史分析,白云凹陷属长期沉降深裂陷的继承性凹陷,未经历大的抬升剥蚀阶段,且中新世晚期新构造运动相对较弱,上覆中新统沉积充填物偏细,更有利于油气藏保存^[6]。另外,据迄今勘探发现的天然气地质地球化学分析表明,白云凹陷天然气成因类型,多属成熟—高熟的偏煤型或偏油型的混合气,亦有生物气及亚生物气分布,该区虽然气源构成较复杂,但气源物质丰富。通过本研究可以基本确定的是,该区是一个既生油又生气的凹陷,不仅具有巨大的天然气资源潜力,而且具有石油资源的勘探前景^[15]。

4 结论

(1)在白云凹陷深水区发育的始新统文昌组、下渐新统恩平组 and 上渐新统珠海组 3 套烃源岩中,文昌组湖相烃源岩及恩平组煤系及湖相烃源岩最具生烃潜力,是构成该区天然气藏之气源的主力烃源岩。珠海组海相烃源岩具有一定的生烃潜力,属该区次要烃源岩。

(2)白云凹陷北坡—番禺低隆起上天然气藏之天然气成因类型,根据天然气甲烷同系物碳同位素特点及伴生轻质油特征并结合地质条件综合判识,主要为生物气及亚生物气、成熟—高熟偏油型混合气和成熟偏煤型混合气,烃气源主要来自文昌组湖相烃源岩及恩平组煤系及湖相烃源岩两者的混合烃源,珠海组海相烃源岩亦有一定的贡献。

(3)LW3-1-1 井天然气烃类含量大于 96% ,甲烷碳同位素 $\delta^{13}\text{C}_1$ 和乙烷碳同位素 $\delta^{13}\text{C}_2$ 均较轻,分布范围分别为 $-36.60\text{‰} \sim -37.10\text{‰}$ 和 -28.90‰

~29.60%,属成熟—高熟偏油型混合气。其烃气源主要来自富含有机质、沉积充填规模大、处于成熟—高熟热演化阶段的始新统文昌组湖相烃源岩(中深湖相和滨浅湖相)和处于成熟阶段的下渐新统恩平组煤系及湖相烃源岩两者共同提供的混合烃源,上渐新统珠海组海相烃源岩亦有一定的贡献。

(4)白云凹陷古近系沉积充填规模大,主力烃源岩多处于成熟—高熟甚至过熟阶段,故主要以成气为主,生气潜力大。但依据已获油气地球化学特征,该区应有成熟阶段的石油及石油伴生气产出,故白云深水区不仅具有巨大的天然气资源潜力亦有较好的石油勘探前景。

参考文献:

- [1] 庞雄,陈长民,彭大均,等.南海北部白云深水区之基础地质[J].中国海上油气,2008,20(4):215-222.
- [2] 龚再升,李思田,谢泰俊,等.南海北部大陆边缘盆地油气成藏动力学研究[M].北京:科学出版社,2004:30-36.
- [3] 吴湘杰,周蒂,庞雄,等.白云凹陷地球物理场及深部结构特征[J].热带海洋学报,2005,3(2):62-69.
- [4] 周蒂,王万银,庞雄,等.地球物理资料所揭示的南海东北部中生代俯冲增生带[J].中国科学:D辑,2006,36(3):209-218.
- [5] 孙珍,庞雄,钟志洪,等.珠江口盆地白云凹陷新生代构造演化动力学[J].地学前缘,2005,12(4):489-498.
- [6] 庞雄,陈长民,陈红汉,等.白云深水区油气成藏动力条件研究[J].中国海上油气,2008,20(1):9-14.
- [7] 傅宁,米立军,张功成.珠江口盆地白云凹陷烃源岩及北部油气成因[J].石油学报,2003,5(3):32-38.
- [8] Pang Xiong, Yang Shaokun, Zhu Ming, *et al.* Deep-water fan systems and petroleum resource on the northern slope of the South China Sea[J]. Acta Geologica Sinica, 2004,78(3):626-

631.

- [9] 陈长民,施和生,许仕策,等.珠江口盆地(东部)第三系油气藏形成条件[M].北京:科学出版社,2003:22-33.
- [10] 朱俊章,施和生,庞雄,等.珠江口盆地白云凹陷深水区珠海组烃源岩评价及储层烃来源分析[J].中国海上油气,2008,4(8):223-227.
- [11] 米立军,张功成,沈怀磊,等.珠江口盆地深水区白云凹陷始新统一下渐新统沉积特征[J].石油学报,2008,1(1):29-34.
- [12] 朱俊章,施和生,何敏,等.珠江口盆地白云凹陷深水区 LW3-1-1 井天然气地球化学特征及成因探讨[J].天然气地球科学,2008,2(4):229-233.
- [13] 米立军,张功成,傅宁,等.珠江口盆地白云凹陷北坡—番禺低隆起油气来源及成藏分析[J].中国海上油气,2006,3(6):161-168.
- [14] 陈长民.珠江口盆地东部石油地质及油气藏形成条件初探[J].中国海上油气:地质,2000,14(2):73-83.
- [15] 何家雄,姚永坚,刘海龄,等.南海北部边缘盆地天然气成因类型及气源构成特点[J].中国地质,2008,35(5):997-1006.
- [16] 戴金星.各类烷烃气的鉴别[J].中国科学:B辑,1992,2(2):185-193.
- [17] 戴金星.天然气地质学概论[M].北京:石油工业出版社,1989.
- [18] 沈平,陈践发,陶明信,等.莺歌海盆地天然气运移的同位素特征[J].天然气地球科学,1991,10(2):456-459.
- [19] 朱俊章,施和生,庞雄,等.珠江口盆地番禺低隆起天然气成因和气源分析[J].天然气地球科学,2005,16(4):456-459.
- [20] 施和生,吴建耀,朱俊章,等.应用定量荧光技术判识番禺低隆起—白云凹陷北坡残余油藏并重构烃类充注史[J].中国海上油气,2007,6:149-153.
- [21] 吴国璋,覃军干,茅绍智.南海深海相渐新统孢粉记录[J].科学通报,2003,48(17):1868-1871.
- [22] 庞雄,申俊,袁立忠,等.南海珠江深水扇系统及其油气勘探前景[J].石油学报,2006,27(3):11-16.

Origin of Nature Gas and Resource Potential of Oil and Gas in Baiyun Sag, Pearl River Mouth Basin

CUI Jie¹, HE Jia-xiong², ZHOU Yong-zhang¹, CUI Sha-sha²

(1. Center for Earth Environment and Resources, Department of Earth Sciences, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China; 2. Key Laboratory of Marginal Sea Geology, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Baiyun Sag is the largest sedimentary basin depression in the Pearl River Mouth Basin northern South China Sea, located at the center of subsidence and deposition of Tertiary in the basin, and the maximum thickness of sediment is more than 12 km in Cenozoic era, in which there are a huge reservoir sediment filling system and basic geological conditions for the migration and accumulation of oil and gas. Based on the component of natural gas and light hydrocarbon, as well as the characteristics of carbon isotope and hydrogen isotopes, acquired from adjacent exploration wells and LW3-1-1 well in deep water region, this article analyzed the origin of nature gas and the type of gas composition in this area, and also analyzed and discussed its resources potential and exploration prospects in combination with its oil and gas reservoir geological conditions.

Key words: Baiyun sag; Natural gas genesis; Constitution of natural gas source; Resources potential; Exploration prospects.