

# 南海北部莺歌海盆地壳源型非生物 CO<sub>2</sub> 运聚成藏特征与资源潜力

何家雄<sup>1</sup> 姚永坚<sup>2</sup> 刘海龄<sup>1</sup> 施小斌<sup>1</sup> 万志峰<sup>1</sup>

(1.中国科学院边缘海地质重点实验室,广东 广州 510640;2.国土资源部广州海洋地质调查局,广东 广州 510760)

**摘要:**南海北部莺歌海盆地壳源型非生物(无机)成因 CO<sub>2</sub> 运聚成藏机制独特、分布规律复杂、资源规模及潜力巨大,根据目前勘探及研究程度,其 CO<sub>2</sub> 资源量逾万亿立方米,勘探所获地质储量超过 2000 亿 m<sup>3</sup>,居中国探明 CO<sub>2</sub> 地质储量之首,在世界范围亦是罕见的,故具有颇大的资源潜力与综合开发利用前景。CO<sub>2</sub> 具明显的多重性,其不仅能广泛应用于国民经济及工农业生产中,而且是导致“厄尔尼诺”现象,严重影响生态环境的主要温室气体,因此,如何综合利用这种储量规模巨大的 CO<sub>2</sub> 资源,充分发挥其市场经济价值,促进国家经济建设,这是目前该区天然气勘探开发面临的重大科技攻关课题。

**关键词:**莺歌海盆地;壳源型非生物 CO<sub>2</sub>;运聚成藏规律;资源规模;综合开发利用

**中图分类号:**P618.130.2<sup>7</sup> **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2007)05-0887-07

CO<sub>2</sub> 是天然气中常见的非烃气组分,是整个自然界碳循环中较稳定的气体,其在地球各圈层中分布普遍而且不均匀,而人类活动产生大量 CO<sub>2</sub>,则不仅加大了这种不平衡现象,而且还将造成人为的“温室效应”而对地球表层系统和全球气候产生直接影响。已有研究表明<sup>[1]</sup>,过去的 100 年,大气中 CO<sub>2</sub> 浓度增加了约 60×10<sup>-6</sup>,而地球气温则升高了 0.6℃(Gutzler, 2000)。因此,CO<sub>2</sub> 是导致“厄尔尼诺”现象的主要温室气体,其对全球环境及自然生态平衡均会产生重大影响。2005 年 2 月 16 日“京都议定书”的签定,标志着 CO<sub>2</sub> 等温室气体排放将受到严格限制,这对世界各国环境保护与资源综合利用均提出了巨大的挑战。虽然 CO<sub>2</sub> 对自然环境及生态平衡的破坏存在极为不利的一面,但同时也是国民经济及工农业生产中应用非常广泛的重要非烃气资源。由于 CO<sub>2</sub> 的多重性,人们在认识和改造自然的过程中,必须充分利用 CO<sub>2</sub> 资源的有利方面,并将其广泛应用于地球科学研究、工农业生产、化工化肥、石油开发开采及食品饮料等领域,以促进人类与自然及社会经济的全面、协调、可持续发展。因此,全面系统地深入开展对 CO<sub>2</sub> 成因及分布规律、勘探技术及方法、资源潜力与储量规模的精细评价,以及综合利用 CO<sub>2</sub> 等全方位多专业的联合科技攻关,非常必要且具有重大的科学意义和现实生产意义。

## 1 区域地质背景

南海北部大陆边缘西区莺歌海盆地属以新近系沉积为主的准被动大陆边缘盆地类型,处于欧亚板块、印—澳板块及太平洋板块相互作用的特殊大地构造位置<sup>[2]</sup>,新生代以来三大板块错综复杂相互作用过程及复杂深部动力活动,导致该区地质构造及油气地质现象丰富多采,其快速沉降及高速沉积充填的区域地质背景、早期裂谷断陷晚期快速大规模坳陷的热沉降演化过程、高温高压巨厚沉积体系、泥底辟热流体上侵活动频繁、天然气及 CO<sub>2</sub> 资源丰富,是该区最主要、最具特色的天然气地质特征与资源分布特点。与中国东部典型陆相断陷盆地一样,莺歌海盆地亦具有下断上坳双层结构,但莺歌海盆地古近系陆相断陷不甚发育,以新近系—第四系海相巨厚快速大规模坳陷式沉积为主,最大厚度逾 17 km,且具有非常高的沉降及沉积充填速率(0.5~1.4 mm/a),沉积物总体以细粒沉积为主,岩性多为粉细砂岩及泥页岩,细砂岩以上粗粒沉积物甚少<sup>[3]</sup>。盆地普遍发育泥底辟且存在异常高温超压,地温梯度最高达 4.7℃/100 m,压力系数高达 2.3 左右,属典型的高温超压盆地。该区自 20 世纪 60 年代初开展浅海油气苗调查及浅井钻探以来,迄今已发现多个烃类气藏和 CO<sub>2</sub> 气藏以及众多大面积油气苗和气烟囱,初步预测壳源

改稿日期:2007-02-06;改回日期:2007-04-27

基金项目:中科院知识创新项目(KZCX2-YW-203)和国家 863“海洋非烃气资源的判别技术”项目(2002AA615040)资助。

作者简介:何家雄,1956年生,男,研究员,博士,长期从事油气勘探与油气地质综合研究;E-mail:hejx@gig.ac.cn。

型非生物 CO<sub>2</sub> 资源量超过万亿立方米,勘探证实的探明+控制+预测地质储量超过 2000 亿 m<sup>3</sup> 以上。

## 2 壳源型非生物 CO<sub>2</sub> 地化特征及与火山幔源型的对比

20 世纪 90 年代以来,在南海北部边缘西区莺歌海盆地天然气勘探中,除发现一批烃类气藏外,均陆续钻遇了大量壳源型非生物 CO<sub>2</sub> 等非烃气。根据二氧化碳碳同位素 ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ ) 及所伴生的稀有气体氦同位素地球化学特征,采用通常的成因判识划分标准,笔者将其综合判识确定为壳源型非生物成因 CO<sub>2</sub><sup>[4-6]</sup>,并与邻区琼东南盆地东部的火山幔源型 CO<sub>2</sub> 地球化学特征进行了分析对比 (表 1)。从表 1 可以看出,壳源型非生物 (岩石化学) 成因 CO<sub>2</sub> 及壳幔混合型成因 CO<sub>2</sub>, 主要分布于莺歌海盆地泥底辟带浅层,其中,壳源型非生物 CO<sub>2</sub> 在泥底辟带众多浅层天然气气藏中,其含量一般可达 28.5%~88.9%, 最高达 93.0%, 二氧化碳碳同位素值 ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ ) 和所伴生的烃类气甲烷碳同位素值 ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ ) 均偏重,氦同位素值 ( $^3\text{He}/^4\text{He}$ ) 偏低 ( $0.39\times 10^{-7}\sim 6.9\times 10^{-7}$ ), R/Ra 值均低于 0.6 以下;而壳幔混合型非生物 CO<sub>2</sub>, 其  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$  与

壳源型非生物 CO<sub>2</sub> 类似亦偏重,所不同的是其伴生氦同位素值 ( $^3\text{He}/^4\text{He}$ ) 较高 ( $8.4\times 10^{-7}\sim 21.9\times 10^{-7}$ ), R/Ra 值一般均大于 1,多为 1~1.56,CO<sub>2</sub> 在天然气组成中含量高,可达 39%~79%。壳幔混合型非生物 CO<sub>2</sub> 主要分布于莺歌海盆地泥底辟带乐东区 LD8-1 构造区的浅层。从表 1 可看出,与其相邻的琼东南盆地东部火山幔源型成因 CO<sub>2</sub>, 其伴生烃类气和 CO<sub>2</sub> 含量及其地化特征与莺歌海盆地壳源型非生物 CO<sub>2</sub> 有一定的相似性,与其相比最明显的差异是,火山幔源型 CO<sub>2</sub> 所伴生氦同位素值 ( $^3\text{He}/^4\text{He}$ ) 偏高 ( $41.4\times 10^{-7}\sim 87.5\times 10^{-7}$ ), R/Ra 值一般均大于 2 以上,最高达 6.3,其伴生的烃类气  $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$  可偏重或亦可偏轻。琼东南盆地火山幔源型 CO<sub>2</sub> 主要分布于盆地东部的 2 号断裂带及周缘区。

## 3 壳源型非生物成因 CO<sub>2</sub> 运聚成藏特征

南海北部边缘莺歌海盆地天然气勘探中,迄今发现的壳源型非生物 (无机) 成因 CO<sub>2</sub> 气藏及含气构造,均主要集中分布于莺歌海盆地中部坳陷泥底辟带 (1100~2380 m) 浅层 (图 1)。该区壳源型非生物 CO<sub>2</sub> 一般具有分区块分带的运聚成藏特征,且主要受控于泥底辟热流体上侵活动与巨厚海相含

表 1 南海北部西区莺歌海盆地壳源型非生物 CO<sub>2</sub> 地化特征及与邻区火山幔源型 CO<sub>2</sub> 的对比

Table 1 Geochemical characteristics of crust-derived inorganic CO<sub>2</sub> in the Yinggehai basin, northern South China Sea and its comparison with volcano- and mantle-sourced CO<sub>2</sub> in contiguous areas

CO <sub>2</sub> 成因类型	分布区域	层位	深度(m)	天然气组成 (%)				干燥系数	碳同位素组成 $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$		R/Ra
				CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2+</sub>		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	
壳源型非生物 (岩石化学) 成因 CO <sub>2</sub>	莺歌海盆地泥底辟带浅层	Ny	1331~1362	64.70	5.82	27.97	1.52	0.95	-3.80	-31.90	0.07
			1493~1661	80.13	6.21	13.30	0.47	0.97	-3.59	-32.20	0.17
			1832~1842	88.91	5.45	5.26	0.38	0.93	-2.00	-32.10	0.14
		Ny	2200~2225	75.17	4.17	18.70	1.99	0.90	-4.15	-34.54	0.26
			1553~1566	83.97	6.63	8.71	0.69	0.93	-4.18	-36.08	0.31
			1486~1510	80.42	5.29	13.44	0.85	0.94	-0.56	-26.92	0.04
			1655~1690	88.10	3.50	7.10	1.30	0.85	7.90	-32.10	0.26
Els	3789~3817	8.54	1.04	83.22	7.23	0.96	-7.68	-39.36	0.34		
Ns	3021.5	6.54	0.92	86.12	5.34	0.94	-5.30	-36.90	0.54		
壳幔混合成因 CO <sub>2</sub>	琼东南盆地东部	Q	342~352	78.90	2.27	17.34	1.49	0.92	-2.47	-34.33	0.99
			1194~1205	39.29	3.48	55.65	1.58	0.97	-4.50	-32.87	1.52
		Ny	1245~1264	59.74	3.92	35.22	1.12	0.97	-3.33	-28.59	1.46
			1723~1737	71.20	4.21	22.73	2.02	0.92	-3.65	-31.32	1.56
火山幔源型成因 CO <sub>2</sub>	琼东南盆地东部	Els	5100.0	81.56	1.52	16.06	0.00	1.00	-6.90	-39.30	6.25
			5127.6	87.92	1.50	9.84	0.74	0.93	-7.5	-38.80	4.25
		Els	2254.0	98.32	0.28	1.32	0.00	1.00	-4.49	-42.30	5.15
			2267.5	97.64	0.48	1.80	0.00	1.00	-4.56	-42.70	4.58

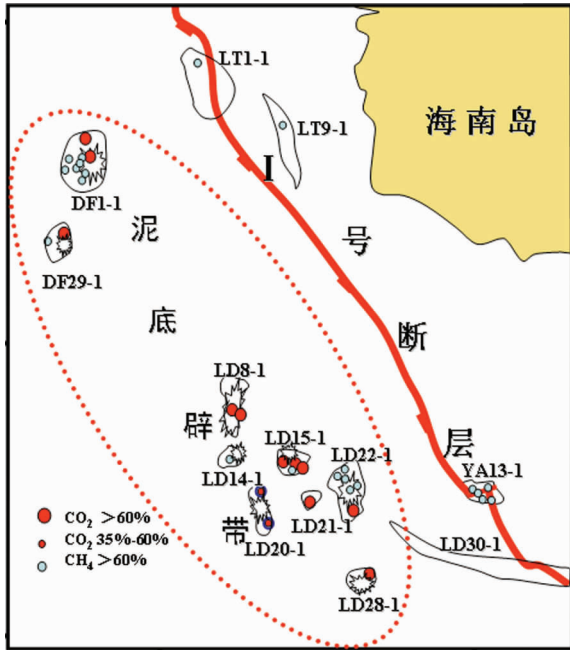


图 1 莺歌海盆地泥底辟带壳源型非生物 CO<sub>2</sub> 运聚特征  
 Fig.1 Characteristics of migration and accumulation of crust-derived inorganic CO<sub>2</sub> in the mud diapir belt, Yinggehai basin

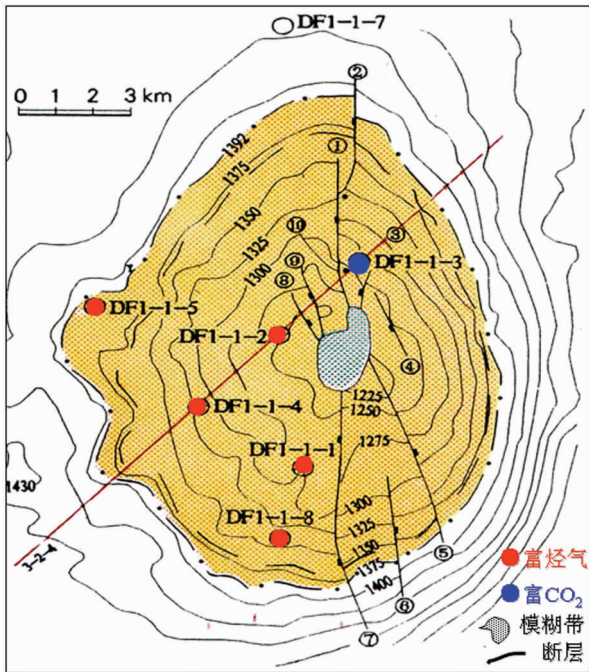


图 2 莺歌海盆地泥底辟带 DF1-1 气田 CO<sub>2</sub> 分布特征  
 Fig.2 Distributional characteristics of CO<sub>2</sub> in the Dongfang 1-1 gas field, Yinggehai basin

幔源脱气活动与深大断裂输气疏导系统的有效配置<sup>[16-18]</sup>,且多富集于琼东南盆地东部Ⅱ断裂带及周缘区。

国内外罕见地质储量规模颇大的壳源型及壳幔混合型非生物成因 CO<sub>2</sub> 气藏,迄今仅在南海北部西区新近纪走滑-伸展型的莺歌海盆地中发现。前已论及,这种壳源型非生物 CO<sub>2</sub> 气藏的区域分布,主要富集于莺歌海盆地中部坳陷泥底辟带浅层,虽然壳源型非生物 CO<sub>2</sub>,目前在泥底辟带中深层亦有少量探井钻遇,但 CO<sub>2</sub> 在天然气中的含量甚低,均低于 7% 以下<sup>[19-20]</sup>。因此,该区高含量壳源型岩石化学成因及壳幔混合型成因且能形成富集高产的非生物 CO<sub>2</sub> 气藏,不仅主要集中分布富集于泥底辟带浅层(1100~2380 m),而且具有平面上分区分块、纵向上分层分带分期运聚充注的成藏地质规律。其中,尤以泥底辟带东方区和乐东区浅层气藏 CO<sub>2</sub> 分块及分层分带的运聚成藏特征最为典型<sup>[21-23]</sup>。如东方区 DF1-1 浅层气田(图 2),平面上西块Ⅰ、Ⅱ气组为低 CO<sub>2</sub> 富烃天然气(CO<sub>2</sub><1%),而其东块及北块则多为低烃富含壳源型非生物 CO<sub>2</sub> 等非烃气;纵向上分层分带亦非常明显,如乐东区 LD22-1 气藏,从图 3 可以看出,1400 m 以上的浅层为富烃低 CO<sub>2</sub> 天然气富集带,自下而上从 T19~T11 等 9 个气层组均为富烃天然气产层,甲烷等烃类气高达 95% 以上,CO<sub>2</sub> 含量甚微,低于 2% 以下;1400 m 以下的 T20<sub>上</sub> 气层则为高含 CO<sub>2</sub> 低烃类气产层,CO<sub>2</sub> 含量最高达 88% 以上,且具有从南向北随其距 CO<sub>2</sub> 气源越来越远,其 CO<sub>2</sub> 含量逐渐降低的规律,而在该富 CO<sub>2</sub> 气层即 1550 m 以下的 T20<sub>下</sub> 气层及其下的 T23、T27、T30、T31 及 T40 等气层,则均为富烃低 CO<sub>2</sub> 天然气层,CO<sub>2</sub> 含量低于 2% 以下,烃类气含量居绝对优势,属富烃低 CO<sub>2</sub> 的天然聚集带。同时,该区壳源型非生物 CO<sub>2</sub> 与富烃低 CO<sub>2</sub> 天然气的分块分层及分带的运移充注,常具有多期次的运聚成藏特征,根据流体包裹体资料及天然气碳同位素资料判识确定,其运聚充注期次至少有 3~4 期,表明具有明显多期充注与运聚成藏的特征<sup>[9]</sup>。由于该区壳源型及壳幔混合型非生物成因 CO<sub>2</sub> 的气源物质广泛,运聚成藏规律复杂,且纵向上一般不具有随其深度增加壳源型非生物 CO<sub>2</sub> 递增的变化规律,故目前预测其运聚分布规律非常困难。

#### 4 壳源型非生物成因 CO<sub>2</sub> 资源潜力

前已论及,南海北部莺歌海盆地天然气勘探自 20 世纪 90 年代以来,均陆续钻遇了大量壳源型非生物成因 CO<sub>2</sub>,根据目前的勘探及研究程度,依据壳源型非生物 CO<sub>2</sub> 成因机制及生气潜力和气源丰度初步预测,该区壳源型非生物 CO<sub>2</sub> 资源量可达万亿立方米以上,经勘探及钻探评价初步证实的 CO<sub>2</sub> 地质储量规模亦颇大,迄今为止,据不完全统计,在该区天然气勘探中所获非生物成因 CO<sub>2</sub> 气(壳源型、壳幔混合型)的探明+控制+预测级地质储量已超过 2000 亿 m<sup>3</sup> (表 2),且主要分布于莺歌海盆地中部坳陷泥底辟构造带浅层。

总之,天然气勘探实践与钻探成果均充分证实和表明,

钙砂泥岩的物理化学综合作用<sup>[7-15]</sup>;而邻区琼东南盆地东部火山幔源型成因 CO<sub>2</sub> 则主要展布在深大断裂附近,受控于火山

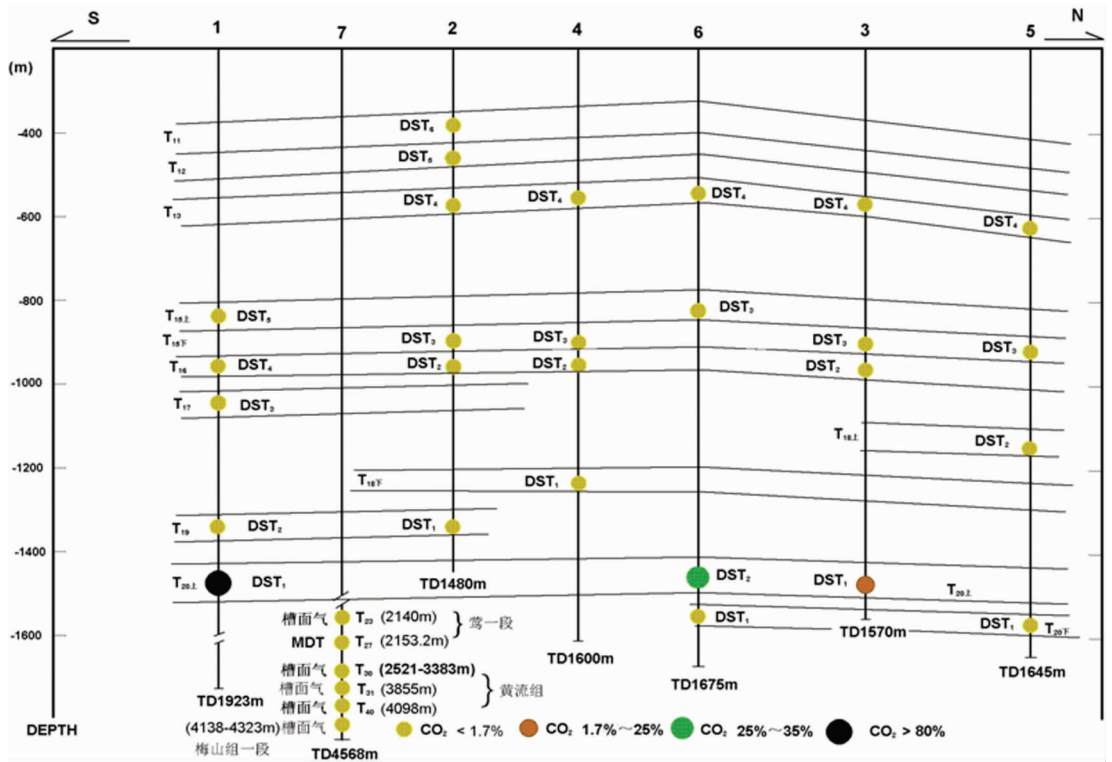


图 3 LD22-1 气田浅层与中深层天然气及 CO<sub>2</sub> 分层分带运聚特征

Fig.3 Characteristics of migration and accumulation of natural gas and CO<sub>2</sub> in shallow and medium-deep layers, LD22-1 gas field

表 2 南海北部莺歌海盆地主要气田及含气构造壳源型非生物(无机)成因 CO<sub>2</sub> 气地质储量

Table 2 Geological reserves of crust-derived inorganic CO<sub>2</sub> in the main gas field and gas-bearing structure, Yinggehai basin

序号	气田及含气构造	含气面积 (km <sup>2</sup> )	地质储量 (10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup> )		CO <sub>2</sub> 成因类型	备注
			混合气	CO <sub>2</sub>		
1	东方 1-1 浅层	287.7	996.8	225.0	壳源型 及壳幔混合 非生物成因	分区块按不同 CO <sub>2</sub> 含量计算
2	东方 1-1S	51.6	423.8	356.7		
3	东方 1-1N	18.7	18.8	6.3		
4	东方 29-1	120.0	965.0	828.2		
5	乐东 8-1	210.8	333.0	236.7		
6	乐东 15-1	36.5	178.8	60.8		
7	乐东 20-1	51.0	51.6	23.8		
8	乐东 21-1	47.8	70.0	49.0		
9	乐东 22-1	165.8	431.0	26.2		
10	乐东 28-1	33.1	51.6	36.1		
11	东方 1-1 浅中层 DST3	199.0	426.0	213.0		CO <sub>2</sub> 取 70% 分层按 CO <sub>2</sub> 计算 CO <sub>2</sub> 取 70%
合计			3946.4	2061.8		CO <sub>2</sub> 取 50%

注:地质储量为探明+控制+预测级别

南海北部莺歌海盆地壳源型非生物 CO<sub>2</sub> 资源相当丰富,CO<sub>2</sub> 资源潜力和地质储量规模大,应是国家及中海油跻身世界国际一流的综合性能源公司,实现跨越式可持续发展拓展上下游产业链的宝贵资源财富<sup>[24-29]</sup>,因此,不应将 CO<sub>2</sub> 当作“废物”闲置而不予综合利用。必须强调指出的是,石油公司应该面对莺歌海盆地近十多年来天然气勘探实践及所获天然气勘探成果的现实,通过深入系统研究和联合科技攻关,充分利用综合开发好莺歌海盆地这种规模巨大的非烃气资源,尽快将上游天然气勘探中一直视为高风险而被规避的 CO<sub>2</sub>,转变为下游产业发展的宝贵资源财富和有利机遇,为中国现代化建设服务,进而加快石油企业上下游产业跨越式可持续发展的步伐。很显然,这是一个直接影响石油公司发展走向及趋势的重大科技攻关课题,迫切需要组织全方位、多学科、多专业、跨领域及部门的联合科技攻关与全面系统的综合研究。

## 5 结论与认识

(1)南海北部莺歌海盆地 CO<sub>2</sub> 资源丰富,根据 CO<sub>2</sub> 成因判识与划分参数,判识与确定这种资源潜力巨大的 CO<sub>2</sub> 属壳源型非生物成因类型。

(2)壳源型、壳幔混合型非生物 CO<sub>2</sub> 主要富集于莺歌海盆地泥底辟带浅层,具有平面上分区块剖面上分层分带的运聚成藏特征;而邻区琼东南盆地火山幔源型 CO<sub>2</sub> 则主要展布于该盆地东部 II 断裂带周缘区,且受控于深大断裂及火山幔源活动的相互配置。

(3)南海北部莺歌海盆地壳源型非生物成因 CO<sub>2</sub> 资源潜力大,在国内外亦是罕见的。因此,如何综合利用南海北部这种如此丰富且具多重性的非烃气资源,为国家经济建设服务,促进自然与社会经济全面、协调、可持续发展,这是国家及企业与科学家们所面临的重大科技攻关课题,期望能够引起有关方面的高度重视,并尽快组织多学科、跨领域的联合科技攻关研究。

## 参考文献 (References):

- [1] Gutzler D. S., Evaluating global warming: A post-1990s perspective [J]. *GSA Today*, 2000, 10:345-351.
- [2] 姚伯初, 万玲, 吴能友. 大南海地区新生代板块构造活动[J]. *中国地质*, 2004, 31(2):113-122.  
Yao Bochu, Wan Ling, Wu Nengyou. Cenozoic plate tectonic activities in the Great South China Sea area [J]. *Geology in China*, 2004,31(2):113-122(in Chinese with English abstract).
- [3] 何家雄, 夏斌, 张树林, 等. 莺歌海盆地泥底辟成因、展布特征及其与天然气运聚成藏关系[J]. *中国地质*, 2006, 33(6):1336-1344.  
He Jiaxiong, Xia Bin, Zhang Shulin, et al. Origin and distribution of mud diapirs in the Yinggehai basin and their relation to the migration and accumulation of natural gas [J]. *Geology in China*, 2006, 33(6):1336-1344(in Chinese with English abstract).
- [4] 何家雄, 王振峰, 裴秋波, 等. 莺-琼盆地和珠江口盆地西部 CO<sub>2</sub> 成因及运聚分布特征[J]. *中国海上油气*, 2003, 17(5):293-297.  
He Jiaxiong, Wang Zhenfeng, Pei Qiubo, et al. CO<sub>2</sub> migration and origin in Ying Qiong and western Pearl Mouth basin [J]. *China Offshore Oil and Gas (Geology)*, 2003, 17(5):293-297(in Chinese with English abstract).
- [5] 何家雄, 刘全稳. 南海北部大陆架边缘盆地 CO<sub>2</sub> 成因及运聚规律分析与预测[J]. *天然气地球科学*, 2004, 15(1):1-8.  
He Jiaxiong, Liu Quanwen. Analysis and discussion to the characters on generative cause, migration and distribution of CO<sub>2</sub> in Yingqiong Basin in the North of the South China Sea [J]. *Nature Gas Geoscience*, 2004,15(1):1-8(in Chinese with English abstract).
- [6] 何家雄, 夏斌, 刘宝明, 等. 中国东部陆上和海域 CO<sub>2</sub> 成因及运聚规律与控制因素分析[J]. *中国地质*, 2005, 32 (4):663-673.  
He Jiaxiong, Xia Bin, Liu Baoming, et al. Analysis of the genesis and migration and accumulation of CO<sub>2</sub> and controlling factors in the onland and offshore areas of eastern China[J]. *Geology in China*, 2005, 32(4):663-673(in Chinese with English abstract).
- [7] 何家雄, 陈伟煌, 李明兴, 等. 莺歌海盆地热流体上侵活动与天然气运聚富集关系探讨[J]. *天然气地球科学*, 2000, 11(6):29-43.  
He Jiaxiong, Chen Weihuang, Li Mingxing, et al. Geotemperature field and upwelling action of hot flow body and its relationship with natural gas migration and accumulation in Yinggehai Basin [J]. *Nature Gas Geoscience*, 2000, 11(6):29-43(in Chinese with English abstract).
- [8] 何家雄, 钟启祥, 陈伟煌, 等. 莺歌海盆地浅层天然气成因及烃源探讨[J]. *天然气地球科学*, 1994, 5(6):15-27.  
He Jiaxiong, Zhong Qixiang, Chen Weihuang, et al. Natural gas origin from shallow zone and source in Yinggehai basin [J]. *Natural Gas Geoscience*, 1994, 5(6):15-27(in Chinese with English abstract).
- [9] 何家雄. 莺歌海盆地 CO<sub>2</sub> 天然气的初步研究[J]. *天然气地球科学*, 1995, 6(3):1-12.  
He Jiaxiong. Preliminary study on CO<sub>2</sub> natural gas in Yinggehai basin [J]. *Natural Gas Geoscience*, 1995, 6 (3):1-12 (in Chinese with English abstract).
- [10] 何家雄, 陈刚. 莺歌海盆地 CO<sub>2</sub> 成因及运聚特征的初步研究[J]. *石油勘探与开发*, 1995, 22(6):8-15.  
He Jiaxiong, Chen Gang. Preliminary study on origin and CO<sub>2</sub> Migration in Yinggehai Basin [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 1995, 2(6):8-15(in Chinese with English abstract).
- [11] 何家雄, 陈刚. 莺歌海盆地 CO<sub>2</sub> 成因及与国内外典型 CO<sub>2</sub> 气藏的类比[J]. *天然气地球科学*, 1996, 7(4):1-12.  
He Jiaxiong, Chen Gang. Contrast of CO<sub>2</sub> origin in Yinggehai Basin with internal-external typical CO<sub>2</sub> reservoir [J]. *Natural Gas Geoscience*, 1996, 7 (4):1-12 (in Chinese with English abstract).
- [12] 何家雄. 莺歌海盆地莺-黄组浅层气藏烃源探讨及勘探方向[J]. *石油实验地质*, 1996, 18(1):78-87.  
He Jiaxiong. Source rock and exploration of shallow zone gas reservoir in Yinggehai Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*,

- 1996, 18(1):78-87(in Chinese with English abstract).
- [13] 何家雄, 陈刚. 莺歌海盆地 CO<sub>2</sub> 成因及主气源[J]. 中国海上油气, 1998, 12(3):164-167.
- He Jiexiong, Chen Gang. The preliminary prediction conditions and occurrence of CO<sub>2</sub> migration in Yinggehai Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 1997, 8(3):9-17(in Chinese with English abstract).
- [14] 何家雄. 关于莺歌海盆地 CO<sub>2</sub> 成因问题的探讨 [J]. 中国海上油气, 2003, 17(2):149-150.
- He Jiexiong. Origin of CO<sub>2</sub> in Yinggehai Basin [J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 2003, 17(2):149-150(in Chinese with English abstract).
- [15] 何家雄. 再论莺歌海盆地 CO<sub>2</sub> 成因问题 [J]. 天然气地球科学, 2003, 14(5):412-415.
- He Jiexiong. Origin of CO<sub>2</sub> in Yinggehai Basin [J]. Natural Gas Geoscience, 2003, 14(5):412-415(in Chinese with English abstract).
- [16] 何家雄, 陈伟煌, 李明兴, 等. 莺-琼盆地天然气成因类型及气源剖析[J]. 中国海上油气, 2000, 14(6):398-405.
- He Jiexiong, Chen Weihuang, Li Mingxing, et al. Origin type and source of natural gas in Ying-Qiong Basin [J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 2000, 14(6):398-405(in Chinese with English abstract).
- [17] 何家雄, 陈伟煌, 李明兴, 等. 莺-琼盆地天然气中 CO<sub>2</sub> 成因及气源综合判识[J]. 天然气工业, 2001, 21(3):15-21
- He Jiexiong, Chen Weihuang, Li Mingxing, et al. CO<sub>2</sub> origin and gas source in Ying-Qiong Basin. [J]. Natural Gas Industry, 2001, 21(3):15-21(in Chinese with English abstract).
- [18] 戴金星, 宋岩, 戴春森, 等. 中国东部无机成因气及其气藏形成条件[M]. 北京: 科学出版社, 1995.
- Dai Jinxing, Song Yan, Dai Chunseng, et al. Gas Form Condition from Inorganic Origin in Eastern China [M]. Beijing: Science Press, 1997(in Chinese with English abstract).
- [19] 何家雄, 杨计海, 陈志宏, 等. 莺歌海盆地中深层天然气运聚成藏特征[J]. 天然气工业, 2003, 23(3):15-19.
- He Jiexiong, Yang Jihai, Chen Zhihong, et al. Migration - accumulation characteristics of deep zone gas in Yinggehai Basin[J]. Natural Gas Industry, 2003, 23(3):15-19(in Chinese with English abstract).
- [20] 何家雄, 李明兴, 陈胜红, 等. 莺歌海盆地泥底辟带中深层天然气勘探中的 CO<sub>2</sub> 风险分析与预测 [J]. 中国海上油气, 2000, 14(5):332-338.
- He Jiexiong, Li Mingxing, Chen Shenghong, et al. Risk and exploration targets of deep zone gas in mud diapir belt, Yinggehai Basin[J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 2000, 14(5):332-338(in Chinese with English abstract).
- [21] 何家雄. 莺歌海盆地东方 1-1 构造天然气地质地化特征及成因探讨[J]. 天然气地球科学, 1994, 5(3):1-8.
- He Jiexiong. Geologic - geochemical characteristics and origin of Dongfang 1-1 structure in Yinggehai basin [J]. Natural Gas Geoscience, 1994, 5(3):1-8(in Chinese with English abstract).
- [22] 何家雄, 陈刚. 莺歌海盆地 CO<sub>2</sub> 分布富集特征及初步预测[J]. 天然气地球科学, 1997, 8(3):9-17.
- He Jiexiong, Chen Gang. The preliminary prediction conditions and occurrence of CO<sub>2</sub> migration in Yinggehai Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 1997, 8(3):9-17(in Chinese with English abstract).
- [23] 何家雄, 陈刚. 莺歌海盆地 CO<sub>2</sub> 分布及预测方法研究[J]. 石油勘探与开发, 1998, 25(2):20-23.
- He Jiexiong, Chen Gang. The preliminary prediction conditions and occurrence of CO<sub>2</sub> migration in Yinggehai Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 1998, 25(2):20-23(in Chinese with English abstract).
- [24] 何家雄, 胡忠良, 刘宝明, 等. 综合开发利用南海莺-琼盆地 CO<sub>2</sub> 资源促进国家及中海油跨越式发展 [J]. 天然气地球科学, 2004, 15(4):401-405.
- He Jiexiong, Hu Zhongliang, Liu Baoming, et al. To utilize CO<sub>2</sub> reservoir in Ying-Qiong basin of south China sea and to promote the development of CNOOC by leaps and bounds [J]. Natural Gas Geoscience, 2004, 15(4):401-405 (in Chinese with English abstract).
- [25] 何家雄, 夏斌, 刘宝明, 等. 创建中国 CO<sub>2</sub> 研究开发中心促进社会经济全面、协调、可持续发展[J]. 天然气工业 2005, 25(1):161-163.
- He Jiexiong, Xia Bin, Liu Baoming, et al. Suggestion to establish CO<sub>2</sub> research and development center in China [J]. Natural Gas Industry, 2005, 25(1):161-163(in Chinese with English abstract).

## Migration and accumulation characteristics and resource potential of crust-derived inorganic CO<sub>2</sub> in the Yinggehai basin, northern South China Sea

HE Jia-xiong<sup>1</sup>, YAO Yong-jian<sup>2</sup>, LIU Hai-ling<sup>1</sup>, SHI Xiao-bin<sup>1</sup>, WAN Zhi-feng<sup>1</sup>

(1. *Laboratory of Marginal Sea Geology and Resources, Chinese Academy of Science, Guangzhou 510640, Guangdong China;*

2. *Guangzhou Marine Geological Survey, Ministry of Land and Resources, Guangzhou 510760, Guangdong China*)

**Abstract:** Crust-derived inorganic CO<sub>2</sub> in the Yinggehai basin, northern South China Sea, has unique migration and accumulation characteristics, complex occurrence features and huge resource potential. Based on the present exploration and research extent, more than 1000 billion m<sup>3</sup> of CO<sub>2</sub> resources and 200 billion m<sup>3</sup> of CO<sub>2</sub> geological reserves are obtained in this basin. The latter rank first among China's CO<sub>2</sub> geological reserves, which is also infrequent in the world. So the basin has quite large resource potential and comprehensive exploitation and utilization perspective. Because of the multiplicity, CO<sub>2</sub> not only can be used in national economy and industrial and agricultural production but also is the main greenhouse gas that may cause the El Niño and seriously affect the global eco-environment and natural ecologic equilibrium. Therefore, how to exploit and utilize such a huge amount of CO<sub>2</sub> resources comprehensively, bring its market potential into full play and accelerate economic development is now a crucial scientific and technological subject facing natural gas exploration and exploitation in this area.

**Key words:** Yinggehai basin; CO<sub>2</sub> reservoir; migration and accumulation characteristics; market perspective; comprehensive exploitation and utilization

---

**About the first author:** HE Jia-xiong, male, born in 1956, doctor and professor, has long engaged in petroleum exploration and integrated petroleum geological study; E-mail: hajx@gig.ac.cn.