

文章编号: 0258-7106 (2002) 03-0232-08

南海潜在天然气水合物藏的成因及形成模式初探*

卢振权 吴必豪 祝有海

(中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

摘 要 文章分析了南海部分地区浅表层沉积物酸脱气烃类气体的组成及 ODP184 航次部分岩屑样品罐顶气的组成与同位素特征,总结了南海部分气苗的烃类气体与同位素组成特征,并根据它们的同位素值估算了这些气体来源的深度,估算值与实际值较吻合。在此基础上对这些烃类气体的成因进行了判别,结果为:北部陆坡的烃类主要来源于深部的裂解气,可能还有浅部生物气的混合;南部陆坡的烃类主要以浅部的生物气为主,还有热解气的混合。文中还对南海潜在天然气水合物藏的形成模式进行了初步的探讨。这些认识将有助于对南海天然气水合物的形成过程及与同一构造背景下油气藏的关系的理解,对今后的普查勘探具有一定的意义。

关键词 南海 天然气水合物藏 成因 形成模式

中图分类号: P618.13

文献标识码: A

目前普遍认为南海深水陆坡区蕴藏着丰富的天然气水合物资源(吴必豪等,1998)。德国科学家(Berner等,1992)在南沙海槽区曾发现过指示天然气水合物存在的地震地球物理标志——模拟海底反射层(Bottom Simulating Reflector,简称BSR)。台湾学者(Chi et al.,1998)在台西南盆地东缘也发现了BSR。姚伯初(1998)也认为在东沙附近岛坡存在着BSR。广州海洋地质调查局1999年底在对西沙海槽区的初步调查中发现其中存在着BSR,他们在对以往地球物理资料的复查中也发现南海北部陆坡西段的南北斜坡区及东沙群岛附近的海域存在有BSR(张光学等,2002)。笔者的地球化学工作也显示了西沙海槽区、笔架南盆地、北吕宋海槽区的附近海域可能存在着天然气水合物(卢振权,2000)。由于尚未得到钻探验证,故暂称为潜在的天然气水合物富集区(图1)。研究这些潜在天然气水合物的成因,判别其烃类气体的来源,可查明与常规油气的某些联系,指导找矿实践;研究这些潜在天然气水合物的形成模式,不但可深化人们对其形成过程的认识,还可为今后的普查勘探开拓思路。

1 烃类气体来源分析

研究煤、石油、天然气的成因主要是讨论它们的

有机质性质,如有机质的丰度、类型和成熟度等。天然气水合物与它们有一定的相似性,研究天然气水合物的成因主要是讨论气体的来源。如果气体来自深部热裂解作用,则称热解成因;如果来自浅部生物降解作用,则称生物成因;如来自两者的混合作用,则称混合成因。

1.1 样品及测试方法

本次在南海西沙海槽附近海域的23个地质站位取得了38个浅表层沉积物样品。它们分别位于 $109^{\circ}40'06.8''E \sim 112^{\circ}00'00.0''E$, $13^{\circ}15'00.0''N \sim 17^{\circ}55'56.4''N$ 之间,水深在138至2665 m间,岩性为灰褐色粉砂质粘土或粘土质粉砂。样品由中国新星石油公司合肥化探中心进行酸脱气测试。酸脱气方法是指用酸处理沉积物样品后测量其释放出的烃类气体的一种测试方法。具体过程为:将沉积物样品自然晾干,粉碎至粒径0.45 mm以下;然后抽真空至压力为0.099 MPa;再用药物天平称取50.0 g试样加入烧瓶中并置于温度为40~60℃的浴水中,缓慢加入 $c(HCl) = 15\%$ 的稀盐酸中直至不再产生气泡为止;经过碱液吸收 CO_2 后,用微量注射器插入到容量瓶中抽取一定量的气体,注入到气相色谱仪中进行分析,或用排挤饱和盐水集气法收集到带有塑料塞的玻璃瓶中,在24 h内进行气相色谱分析,所用的气相色谱仪为P. E. AutoSystem XL型。

* 本文由“863”海洋领域前沿探索课题(820-探-5)、国家自然科学基金(49972047)和国土资源大调查项目(200011000001)联合资助
第一作者简介 卢振权,男,1972年生,博士,从事天然气水合物等海底资源的勘探与开发研究工作。
收稿日期 2001-05-16;改回日期 2001-11-22。李 岩编辑。

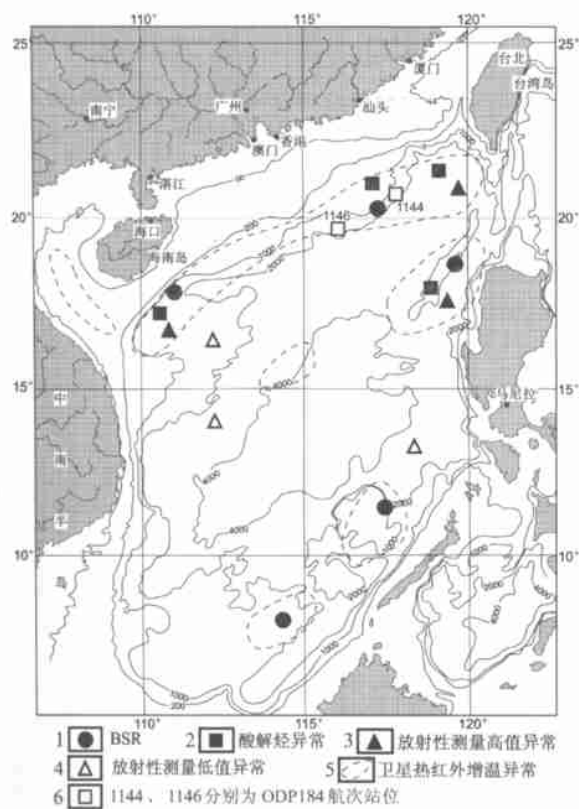


图1 南海天然气水合物找矿标志综合示意图

(据祝有海等, 2001 修编)

Fig. 1 Schematic diagram showing diagnostic indicators of gas hydrate in the South China Sea

1 —BSR; 2 —Anomaly of acid-degassed hydrocarbon gases; 3 —High-value anomaly of radioactive thermoluminescence; 4 —Low-value anomaly of radioactive thermoluminescence; 5 —High temperature anomaly in satellite-based thermal infrared images; 6 —1144 and 1146 sites of ODP Leg 184

本次还从 ODP184 航次东沙群岛附近海域的钻探中取得了 6 个岩屑样品。这些样品由中国新星石油公司勘探研究院实验室进行了酸脱气测试及甲烷碳同位素分析。测试仪器为 SQ-203 型微型计算机化气相色谱仪和 MAT-251 质谱计。

1.2 测试结果及讨论

西沙海槽附近海域浅表层沉积物酸脱气的主要成分为甲烷,重烃较少,有的甚至还缺少乙烷。其各项指标的特征值列在表 1 中。从该表中可看出,它们的干燥系数——甲烷同轻烃总量(本文指甲烷到戊烷)的比值($C_1/\Sigma C_{1-5}$,这里为体积百分比,下同)较大,一般在 90 % 以上,最大达 97.07 %,主要集中

在 95 % 至 97 % 之间;乙烷同丙烷的比值(C_2/C_3)也较大,一般大于 2,最大值为 4.57,主要集中在 2 至 4;异丁烷同正丁烷的比值(iC_4/nC_4)除少数样品外,一般都大于或等于 1,主要集中在 1 至 2 之间。根据丙烷在沉积物中的垂向迁移扩散速率明显比乙烷及甲烷大(分别为 55.5, 11.1, 21.2 cm/s, 据陈安福等, 1992),可作出如下判断:假若这些烃类全部从深部而来,则浅表层沉积物烃类中丙烷的含量一般应明显大于乙烷,甲烷的含量也不应有这么高。从这一点来看,该区浅表层沉积物中酸脱气可能还有浅部微生物气的混合。

ODP184 航次东沙群岛附近海域岩屑样品的测试结果及各种特征值列于表 2 中。从该表中可以看出:所有样品罐顶气的主要成分均为甲烷,大部分未检测到乙烷和丙烷,其干燥系数在 98.93 % 到 99.87 % 之间; $\delta^{13}C_1$ 值较大,在 -23.97 % 至 -37.76 % 之间。

黄保家^①还对莺歌海浅海油气苗进行过调查,气苗除烃类外,还含有 N_2 、 CO_2 和低量的 He 等。其烃类气体的组成和同位素组成见表 3。该表中显示:甲烷在烃类气体中的含量均大于 97 %,有的达到 100 %。其 $\delta^{13}C_1$ (PDB) 值较大,在 -33.91 % 至 -38.34 % 之间, δD (SMOW) 值介于 -131.0 % 至 -162.2 % 之间。这些特征基本与 ODP184 航次的岩屑样品罐顶空气的分析结果一致。

另据沈平(1998)建立的下述方程:

$$\delta^{13}C_1 = 60.2 \log(R_o) - 36.24,$$

$$D(\text{深度}) = 4801.7 \log(R_o) + 3666.2$$

可以计算出 ODP184 航次的岩屑罐顶气和浅海油气苗所在沉积物样品中有机质的成熟度(R_o)和埋藏深度(D),其结果列于表 2 和表 3 中。表中显示的莺歌海区和东沙群岛附近海区沉积物的 R_o 值较接近,均在 0.92 % 至 1.60 % 间,大多数 R_o 值接近于 1 %;估算的 D 值也相近,均在 3498.7 至 4644.7 m 间,大多数 D 值集中在 3500 ~ 4000 m 间。根据 ODP184 航次的资料,这些岩屑样品所在钻孔的终孔地层为更新统和中新统,终孔厚度 500 ~ 600 m,有机质丰度为 0.3 %。假若这些烃类罐顶气全部为原地产生,则至少它的生烃深度不够。从这一点来看,ODP184 航次岩屑罐顶气的烃类主要是深部有机质经热解作用生成的气体向上迁移的结果。由油气苗

① 黄保家, 1991. 莺歌海浅海油气苗调查及其成因探讨. 南海西部石油公司勘探开发科学研究院. 内部报告.

表 1 西沙海槽区浅表层沉积物酸脱气烃类特征值

Table 1 Characteristics of hydrocarbonic gases in the subsurface sediments of Xisha Trough

样号	$C_1/\Sigma C_{1-5}/\%$	C_2/C_3	iC_4/nC_4	样号	$C_1/\Sigma C_{1-5}/\%$	C_2/C_3	iC_4/nC_4
GC-98-001	95.03	2.67	0.75	GC-98-020	96.08	2.83	—
GC-98-002	94.48	4.00	—	GC-98-021	94.96	3.67	—
GC-98-003	94.69	2.58	1.00	GC-98-022	95.18	2.71	—
GC-98-004	95.80	2.78	—	GC-98-023	95.05	3.11	1.00
GC-98-005	95.72	2.67	—	GC-98-024	94.54	2.23	1.00
GC-98-006	94.91	3.00	—	GC-98-025	94.87	4.57	—
GC-98-007	92.62	2.31	1.10	GC-98-026	96.14	2.88	—
GC-98-008	93.15	2.58	1.25	GC-98-027	89.92	2.67	0.67
GC-98-009	94.45	2.38	1.00	GC-98-028	92.80	2.17	—
GC-98-010	95.30	3.29	1.33	GC-98-029	95.47	2.40	—
GC-98-011	96.24	2.67	—	GC-98-030	95.01	2.40	—
GC-98-012	95.90	2.30	—	GC-98-031	95.28	3.00	—
GC-98-013	95.99	2.86	1.33	GC-98-032	96.90	—	—
GC-98-014	96.90	3.00	1.00	GC-98-033	92.76	2.65	1.25
GC-98-015	95.85	2.56	1.67	GC-98-034	95.21	3.25	—
GC-98-016	96.13	2.53	1.33	GC-98-035	95.78	—	—
GC-98-017	96.02	2.50	—	GC-98-036	97.07	—	—
GC-98-018	95.83	2.55	—	GC-98-037	95.82	2.75	—
GC-98-019	95.44	2.88	1.00	GC-98-038	93.57	3.50	—

注：C₁ 为甲烷；C₂ 为乙烷；C₃ 为丙烷；iC₄ 为异丁烷；nC₄ 为正丁烷；C₁₋₅ 为甲烷、乙烷、丙烷、丁烷、戊烷的总和。“—”表示因某项指标未检测到而不能计算其比值。表内比值均为体积比。

表 2 岩屑罐顶气轻烃组成及各种特征值

Table 2 Compositions and peculiar values of headspace gases in the cuttings from Leg 184

样号	$\alpha(B)/(\mu L \cdot L^{-1})$			$\delta^{13}C_1/\%$ (PDB)	$C_1/\Sigma C_{1-5}/\%$	$C_1/(C_2 + C_3)$	$R_o/\%$	$D(\text{深度})/m$
	C ₁	C ₂	C ₃					
SSG-1	4 775.83	—	—	- 31.30	—	—	1.21	4 060.2
SSG-2	9 712.42	—	—	- 37.74	—	—	0.94	3 546.6
SSG-3	2 714.08	—	—	- 33.28	—	—	1.12	3 902.3
SSG-4	6 570.44	—	—	- 37.74	—	—	0.94	3 546.6
SSG-5	10 295.26	—	—	- 34.37	—	—	1.07	3 815.3
SSG-6	8 328.30	—	—	- 37.76	—	—	0.94	3 545.0
SSG-7	6 422.19	66.64	3.01	- 35.46	98.93	92.21	1.03	3 728.4
SSG-8	3 970.99	5.26	—	- 23.97	99.87	754.94	1.60	4 644.7
SSG-9	1 378.42	—	—	- 26.38	—	—	1.46	4 452.5

注：R_o 为成熟度，其他同表 1；“—”表示因某项指标未检测到而不能计算其比值。

表 3 莺歌海浅海油气苗烃类气体地球化学特征

Table 3 Light hydrocarbon geochemistry in the seepage from Yinggehai basin

原号	$R_o/\%$	$D(\text{深度})/m$	$\alpha/\%$ ①					$C_1/\Sigma C_{1-5}/\%$	同位素组成/ $\%$	
			C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅		$\delta^{13}C_1$ ① (PDB)	ΔD ② (SMOW)
9/1	1.03	3 724.4	99.37	0.46	0.06	0.04	0.04	99.40	- 35.51	- 143.6
37/3-2	1.01	3 693.3	97.69	1.74	0.37	0.08	0.02	97.79	- 35.90	- 131.0
37/1	1.01	3 680.6	98.01	1.51	0.34	0.07	0.03	98.05	- 36.06	- 150.8
41/1	1.09	3 852.0	100.00	—	—	—	—	100.00	- 33.91	- 149.6
41/4	1.07	3 814.5	100.00	—	—	—	—	100.00	- 34.38	- 162.2
43/1-1	0.93	3 506.7	99.98	—	—	—	—	99.98	- 38.24	- 158.7
43/1-2	0.92	3 498.7	99.99	—	—	—	—	99.99	- 38.34	- 156.4

① 黄保家，1991，莺歌海浅海油气苗调查及其成因探讨，南海西部石油公司勘探开发科学研究院，内部报告。

反演的 R_o 值、 D 值与莺歌海盆地新第三系海相烃源岩实际的 R_o 值和 D 值基本一致,表明莺歌海油气苗烃类气体也主要是来自深部的热成气。

根据已有数据,得出 $C_1/(C_2 + C_3) - \delta^{13}C_{C_1}$ 关系图(图 2)。从该图中可看出,整个南海烃类气体的来源复杂,既有生物成因气(简称微生物气),又有热解成因气(简称热成气),还有混合成因气(简称混合气)。但相比较而言,南海南部海域以微生物气和混合气为主,同时还有热成气;而在北部陆坡区,则以热成气和混合气为主,同时还有微生物气。

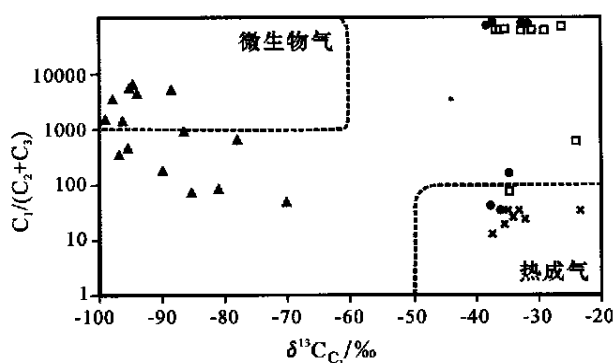


图 2 南海烃类气体成因图(底图据 Ginsburg 等,1997)

▲—南沙海槽区,据 Berner 等,1992; ×—西沙海槽区,据 Berner 等,1992; ●—莺歌海浅海油气苗区,据黄保家,1991; □—ODPI 84 航次,本研究

Fig. 2 Projections of different genetic hydrocarbons in the South China Sea (base map from Ginsburg et al., 1997)
▲—Projection from Nansha trough, Berner et al., 1992; ×—Projection from Xisha trough, Berner et al., 1992; ●—Oil & gas seepage in Yinggehai, Huang, 1991; □—Projection from ODP Leg 184

因此,综合来看:南海烃类气体的来源复杂,并非单一成因。对北部陆坡来说,烃类气体主要来源于深部的热成气,另外,可能还有浅部微生物气的混合。对南部陆坡而言,烃类气体主要以浅部的微生物气为主,同时还有热成气的混合。这样看来,北部陆坡区的潜在天然气水合物藏与此背景下的油气藏在成因上有某些相似之处。

2 天然气水合物形成模式初探

2.1 概述

依据气体的性质,将天然气水合物的成因模式

分为两种:一种是假定甲烷由浅部微生物作用生成后,在原地合适的温压条件下与沉积物同时形成天然气水合物;该模式的结论为,天然气水合物可贯穿整个水合物稳定带中,而在 BSR 之下的游离气体则可有可无。另一种模式是甲烷从下部随着上升的孔隙流体迁移进入水合物稳定带中而形成天然气水合物;该模式认为一部分甲烷是在稳定带之下由微生物衍生而成,另一部分甲烷则来自深处的热成烃类;该模式的结论是,天然气水合物产在水合物稳定带底部,即在靠近 BSR 处富集,而游离气体产在 BSR 之下。

这两种成因模式主要是从理论上来考虑的,即认为只要有充足的烃类气体和水分子的供应,有合适的温压条件,天然气水合物就可在海底沉积物中或底水中形成。但在实际中,除此条件外,天然气水合物的形成还必须有充足的流体载体的供应及流体载体的输导系统。该输导系统必须为流体载体提供一定的动力来源、运移通道空间、泄载区空间等。

吴必豪等(1997)在前人资料的基础上,将天然气水合物的形成与地质情况相结合,特别是将天然气水合物的形成与其所处的沉积环境相结合,总结、归纳出以下几种地质模式:低温冷冻模式、海浸模式、断层模式、自生成岩模式、沉积模式,以及多种渗滤模式(压滤模式、地热模式、气流模式)。其中,渗滤模式是最普遍,也是最重要的水合物形成方式。

Ginsburg 等(1997)介绍过渗滤作用形成水合物的理论和过程。该模式形成水合物的理论基础建立在烃类气体与水合物平衡时的溶解度以及相应的温度、压力的关系之上。研究证实,随温度下降,形成水合物的平衡压力也相应降低,烃类气体在水溶液中的溶解度亦降低。这样,若富含烃类气体的流体渗滤到海底温度较低的部位,烃类气体就会从流体中逸出而形成水合物。渗滤模式包括压滤模式、地热模式和气流模式,在此三者中,压滤模式是其中的最主要的一种方式。

然而,上述模式中除压滤模式外,几乎都没有考虑到流体载体的输导系统,特别是流体载体的驱动力、流体载体的运移通道、泄载区等,或考虑得还不够。在压滤模式中,根据实际资料显示,正常的沉积和压实过程(即在正常沉积速度下,没有构造运动

● 黄保家, 1991. 莺歌海浅海油气苗调查及其成因探讨. 南海西部石油公司勘探开发科学研究院. 内部报告.

● 吴必豪, 杨廷槐, 1997. 气体水合物——石油、天然气的替代能源. 中国地质科学院矿产资源研究所. 内部报告.

和流体的侧向挤压),并不能导致水合物的形成,这是因为在正常沉积和压实过程中,压出的流体是向下移动的,沉积使海床增高,因而,压实的流体距海底的距离增大;在这种情况下,温度和压力有所升高,气体在水溶液中的溶解度也相应提升了,从而不能形成水合物;只有当流体相对于海底向上移动时,才能形成天然气水合物(Ginsburg et al., 1997)。因此,压滤模式常发生在如下3种地质构造环境中:一是在俯冲带内有沉积增生楔发育的区域,如 Cascadia 滨外就属于这一种情况;二是大陆边缘在逆掩断层或俯冲作用下,沉积地层遭受重力挤压的区域,如中美洲海槽等;三是沉积层堆积的速度大于沉积物平衡固结的速度,从而被压挤、排出的流体可向上运移的区域,如布莱克海底高原即属此类。

所以,聚合大陆边缘,特别是增生楔发育的地区乃压滤模式形成水合物最常见、最典型的地方。这些增生楔所处的地质构造环境具有如下的突出特征:一是构造挤压作用可产生大量的流体;二是这种作用可形成许多流体运移通道的断裂,如增生楔的滑脱底面、增生楔的逆掩断裂前缘带、增生楔中后部的逆掩断裂等。此外,离散大陆边缘或其他的一些扩张盆地,特别是快速巨厚沉积的裂陷区或扩张区也是压滤模式易形成水合物的地方,因为这些地方的沉积物在挤压的过程中可产生大量的向上运移的流体。南海的情况具备此类特征。因此,本文着重结合压滤模式,以流体载体的输导系统为主线试图探讨南海潜在天然气水合物藏的形成过程。

2.2 模式初探

2.2.1 形成条件

一般来讲,水深在 300 ~ 500 m 的海底之下到 600 ~ 1 000 m 深度的沉积物中能满足天然气水合物形成的温度(0 ~ 10 °C)和压力(10 MPa 以上)条件,南海陆坡区即具备此种水深和沉积物厚度条件。因此,饱含烃类气体的流体载体的供应和输导系统就成了天然气水合物形成的关键。

首先,南海的陆(岛)坡区存在着多种类型的大陆边缘断裂,如既存在着被动型大陆边缘断裂,也存在着主动型大陆边缘断裂。这些断裂分布广泛,且切割较深,如南海北部陆坡区北缘岩石圈断裂、北部陆坡区南缘岩石圈断裂、东部岛坡区马尼拉海沟深大断裂、南部陆坡区南沙海槽深大断裂、西部陆坡区

剪切走滑深大断裂等。这些深大断裂完全具备压滤作用形成水合物的3种有利的地质构造环境,如东部岛坡区马尼拉海沟深大断裂在台湾南部与西南部海域发育有台湾近海增生楔(Chi et al., 1998)、南部陆坡区南沙海槽深大断裂在 Sabah 附近海域发育有俯冲增生沉积物(Berner et al., 1992)、北部陆坡区南北缘断裂之间发育有巨厚的新生代快速沉积物。同时,这些深大断裂在水合物的形成过程中,可为各种流体的运移提供足够的通道空间。

其次,南海海底沉积物中可见有多种流体异常发育的痕迹。如在莺歌海盆地中,常见有多种泥底辟。在台南、台西南浅海盆地中,也见到海底泥火山等现象(Chi et al., 1998)。在莺歌海浅海区域,还收集到富含烃类的油气苗^①。此外,在南海北部陆缘东部陆坡区,姚伯初(2000)通过对该处地震相的分析,发现了蒸发盐沉积层的存在。这些现象足以说明,南海海底沉积物中存在着巨高压环境,它是一种重要的流体载体驱动力;该沉积物中流体源十分丰富,且其中含有大量的烃类气体。当这些饱含烃类气体的流体载体在巨高压力的驱动下从深部向浅部运移时,遇到沉积盖层的阻挡,由于存在着这种特殊的高压气囊,这些流体有的能穿过到达海底而形成泥火山,有的未能穿过而形成多种泥拱或穹窿等,即各种泥底辟现象,有的甚至还穿越海底达到海面而形成各种油气苗。

再者,南海巨厚的中、新生代沉积物,一般都有几千米厚,有的甚至逾万米,其中的有机质含量较高。据 ODP184 航次在东沙群岛的钻孔揭示,沉积物中有机质丰度平均为 0.3%。一方面,这些巨厚沉积物中的有机质经裂解或微生物作用后可为烃类气体提供充足的物质来源;另一方面,这些巨厚沉积物覆盖在各种深大断裂之上,部分可以充当深部上移来的流体的泄载区,从而可使形成的水合物容纳其中。

南海整体热流值高,地温梯度大,巨厚的沉积物能产生巨大的压力,加之沉积物的垂向和侧向压实挤压作用,无论在水平方向上,还是在垂向上,都可以使各种深部流体载体产生巨大的驱动力,使流体沿着各种通道运移至主通道进而迁移至泄载区。

2.2.2 形成过程

前已述及,许多烃类气体是来自深部有机质的

① 黄保家. 1991. 莺歌海浅海油气苗调查及其成因探讨. 南海西部石油公司勘探开发科学研究院. 内部报告.

热成气,它们与流体载体一起,在垂向和侧向上的压力梯度、温度梯度的驱动下,不断沿着多种通道系统运移,最后汇合在主通道内继续向上迁移。当这些富含饱和烃类气体的流体遇到通道上部盖层的阻挡时,在压力和温度均相对降低的情况下,烃类气体呈现出高度过饱和状态。同时,在原地微生物烃类气体的参与下,烃类气体更是难以继续溶解在流体之中,于是它们在合适的温度、压力下,即在天然气水合物稳定带内,与水分子相结合,结晶成为固态结晶体,形成天然气水合物。此时的盖层即起着泄载的功能。

在另外一些地方,沉积物中的烃类气体以浅部的微生物成因烃类气体为主,这些烃类气体也易在此环境下呈现出过饱和状态,于是在天然气水合物稳定带内,这些烃类气体便与水分子相结合,在原地形成分散状天然气水合物。

另外,假若流体载体的驱动力非常大,这些烃类气体就来不及形成水合物而继续向海底方向运移,有的甚至达到海底或将要达到海底而形成各种泥底辟构造,或继续向海水中运移直至达到海面而形成各种油气苗。它们的形成过程如图 3 所示。

2.2.3 可能的演化

天然气水合物的形成严格受到温度和压力的控制,在其形成之后,天然气水合物始终处于一种相对稳定或亚稳定的状态。一旦各种直接或间接的因素使得周围的温度和压力产生变化,天然气水合物都将会发生分解,重新释放出气体和水。在地质历史中,天然气水合物形成之后,连续的沉积会导致气体水合物埋藏较深,一部分业已形成的水合物将变得不稳定而发生分解。同样,在连续沉积期间,由于海平面的下降或底水温度的上升,也能引起天然气水合物的分解。

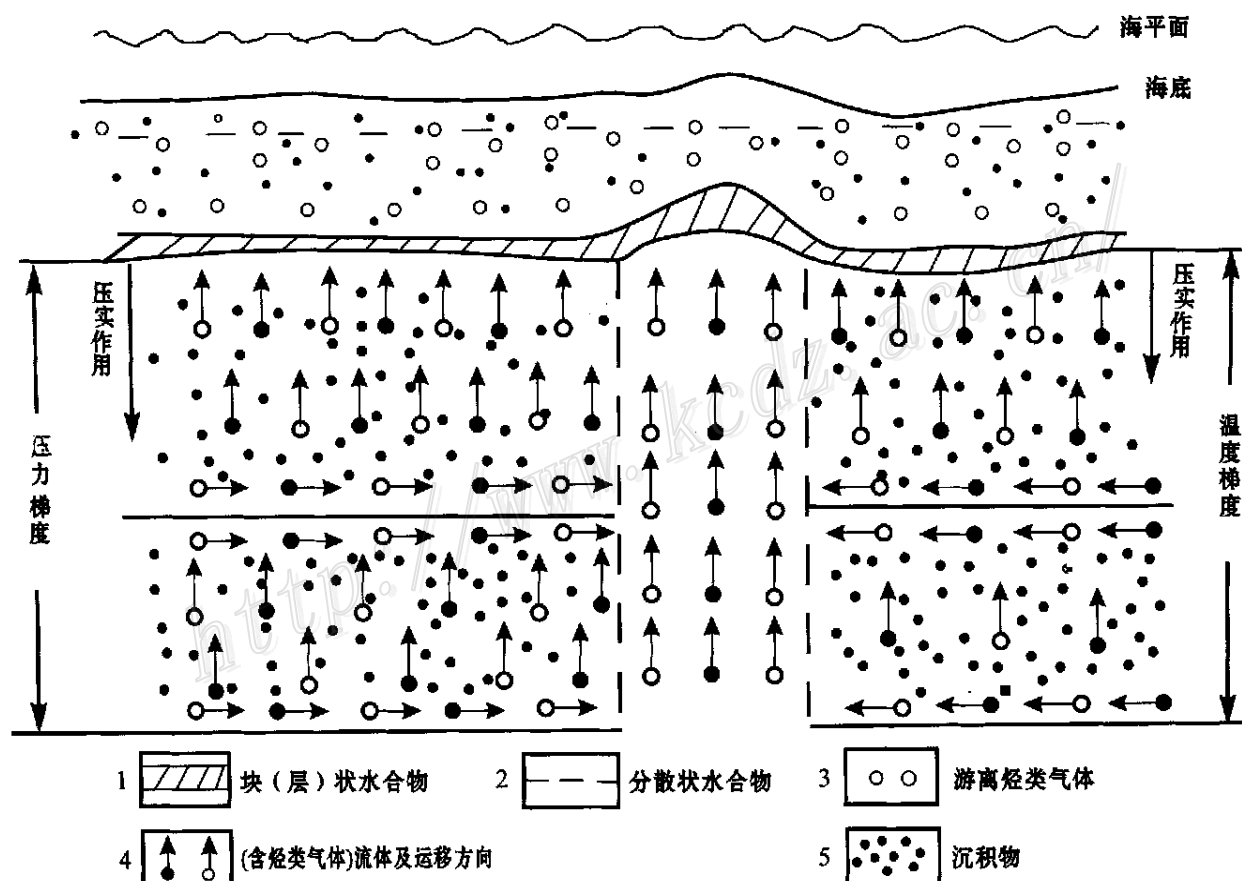


图 3 南海天然气水合物形成模式示意图

Fig. 3 Schematic formation model of gas hydrate in the South China Sea

1 —Blocked or layered gas hydrate; 2 —Scattered gas hydrate; 3 —Free hydrocarbon gases; 4 —Hydrocarbon-bearing fluid or simple fluid and its migration directions; 5 —Sediments

南海沉积物中的各种泥底辟和海表面的各种油气苗,除了可能由深部烃类气体在巨高压或温度梯度的驱动下形成外,还可能是天然气水合物受到某种因素的影响(如海平面的下降、底水温度的上升、水合物的埋深加大等)发生了分解而造成的。在末次冰盛期时,南海的最低海平面相对于现在的海平面被认为低120~150 m(许东禹等,1997)。倘若南海天然气水合物在此前业已形成,则水合物必定要受此影响而发生分解。

另据对南海沉积物的研究,常可见到一些火山玻璃或火山灰物质(王汝建,2000),它们存在于晚更新世以来的多套地层中。沉积物中这些物质的存在,暗示着南海在地质历史中曾经发生过一定规模的火山作用。若在火山作用的范围内存在着天然气水合物,则此水合物也将会受到影响而发生分解。或许正是末次冰盛期海平面的降低、海底火山活动的影响致使水合物发生分解,导致沉积物中出现了各种泥底辟和海表面的各种油气苗现象。

References

- Berner U and Faber E. 1992. Hydrocarbon gases in surface sediments of the South China Sea[A]. In: Jin X, Kudrass H R and Pautot G, ed. Marine geology and geophysics of the South China Sea[C]. Beijing: China Ocean Press. 199~211.
- Chen A F, Xu Y H, Zhang D Q, et al. 1992. The longitudinal section of geochemical exploration in Zhou No.5 drill-log[A]. In: Wang X F, ed. Non-seismic exploration for oil and gas in Ordos basin[C]. Beijing: Geol. Pub. House. 97~113 (in Chinese).
- Chi W C, Donald L R, Liu C S, et al. 1998. Distribution of the bottom-simulating reflector in the offshore, Taiwan collision zone[J]. TAO, 9(4): 779~794.
- Ginsburg G D and Soloviev V A. 1997. Methane migration within the submarine gas-hydrate stability zone under deep-water conditions[J]. Marine Geol., (137).
- Lu Z Q. 2000. Preliminary research on prospecting for gas hydrate in the South China Sea by non-conventional geophysical and geochemical methods[D] [doctorate dissertation]. Graduate Division of CAGS. 83p (in Chinese).
- Shen P and Xu Y C. 1998. Study on carbon and hydrogen isotopes composition of crude oils[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 16(4): 124~127 (in Chinese with English abstract).
- Wang R J. 2000. Pleistocene volcanic shards and their geological significance in the Nansha area of the South China Sea[J]. Marine Geol. and Quaternary Geol., 20(1): 51~56 (in Chinese with English abstract).
- Wu B H, Ma K Y, Chen B Y, et al. 1998. Preliminary discussion on prospecting for gas hydrate in the western Pacific Ocean[J]. Mineral Deposits, 17 (sup.): 741~744 (in Chinese).
- Xie X N, Li S T, Hu X Y, et al. 1999. The thermal fluid release system and its genetic mechanism in the diapiric structure zone of Yinggehai basin[J]. Sci. in China (Series D), 29 (3): 247~256 (in Chinese with English abstract).
- Xu D Y, Liu X Q, Zhang X H, et al. 1997. Geology offshore China[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 155~174 (in Chinese).
- Yao B C. 1998. Preliminary exploration of gas hydrate in the north margin of the South China Sea[J]. Marine Geol. and Quaternary Geol., 18(4): 11~18 (in Chinese with English abstract).
- Yao B C. 2000. Exploration on the evaporate sediment in the slope of the northern margin of the South China Sea. Marine Geol. and Quaternary Geol., 20(1): 42~50 (in Chinese with English abstract).
- Zhang G X, Huang Y Y, Zhu Y H, et al. 2002. Prospect of gas hydrate resources in the South China Sea[J]. Marine Geol. and Quaternary Geol., 22(1): 75~81 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Y H, Wu B H and Lu Z Q. 2001. The prospecting for gas hydrate offshore China[J]. Mineral Deposits, 20(2): 174~180 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈安福, 许银焕, 张大千, 等. 1992. 洲五井油气地球化学勘探剖面研究[A]. 见: 王锡福, 等主编. 鄂尔多斯盆地非地震油气勘探[C]. 北京: 地质出版社. 97~113.
- 卢振权. 2000. 南海天然气水合物非常规物化探方法找矿的初步研究[D] [博士论文]. 导师: 吴必豪. 北京: 中国地质科学院研究生部. 83 页.
- 沈平, 徐永昌. 1998. 石油碳、氢同位素组成的研究[J]. 沉积学报, 16(4): 124~127.
- 王汝建. 2000. 南沙海区更新世以来的火山灰及其地质意义[J]. 海洋地质与第四纪地质, 20(1): 51~56.
- 吴必豪, 马开义, 陈邦彦, 等. 1998. 西太平洋天然气水合物矿藏找矿远景刍议[J]. 矿床地质, 17(增刊): 741~744.
- 解习农, 李思田, 胡祥云, 等. 1999. 莺歌海盆地底辟带热流体输导系统及其成因机制[J]. 中国科学(D辑), 29(3): 247~256.
- 许东禹, 刘锡清, 张训华, 等. 1997. 中国近海地质[M]. 北京: 地质出版社. 155~174.
- 姚伯初. 1998. 南海北部陆缘天然气水合物初探[J]. 海洋地质与第四纪地质, 18(4): 11~18.
- 姚伯初. 2000. 南海北部陆缘东部陆坡的蒸发盐沉积[J]. 海洋地质与第四纪地质, 20(1): 42~50.
- 张光学, 黄永祥, 祝有海, 等. 2002. 南海天然气水合物的成矿远景[J]. 海洋地质与第四纪地质, 22(1): 75~81.
- 祝有海, 吴必豪, 卢振权. 2001. 中国近海天然气水合物找矿前景[J]. 矿床地质, 20(2): 174~180.

Preliminary Discussion on Origin and Formation of Potential Gas Hydrates in South China Sea

Lu Zhenquan, Wu Bihao and Zhu Youhai

(Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China)

Abstract

Geochemical and isotopic compositions of some gas samples from the sub-surface sediments and from ODP Leg 184 in the South China Sea, determined by acid degassing and by depressurizing respectively, are dealt with in this paper. According to the isotopic analyses combined with the previous data, the authors calculated the source depth of the gases, which proves to be basically accordant with the real one. The gas origins were also determined. It is shown that the gases in the north are mainly thermolytical, mixed partly with biodegraded ones, whereas those in the south are mainly biodegraded, mixed partly with thermolytical ones. On such a basis, the formation model of the potential gas hydrates is established in the South China Sea. The results will help to understand the relationship between the gas hydrates and the oil reserves, and are of some significance to further exploration of the gas hydrates.

Key words: the South China Sea; gas hydrates; gas origin; formation model

第四届国际天然气水合物会议在横滨召开

“第四届国际天然气水合物会议”于 2002 年 5 月 19—24 日在日本横滨召开,其目的是为天然气水合物各个领域的科技工作者提供交流机会,以便更好地推动天然气水合物事业的发展。这次会议共有 19 个国家的 293 名代表参加,其中日本 138 人、美国 57 人、加拿大 16 人、法国 12 人、俄罗斯 11 人。我国大陆有 10 位学者与会,另外还有在美国、加拿大、日本、挪威等国学习或工作的 7 位华人或华裔学者参加了会议。

大会共收到学术论文 205 篇,内容几乎涵盖了天然气水合物的所有领域,其中涉及勘探、资源与环境方面的有 56 篇,热力学方面 28 篇,动力学方面 26 篇,结构方面 20 篇,物性方面 19 篇,多相机制和物质/热转化方面 18 篇,管道堵塞和预防方面 17 篇,水合物应用技术方面 22 篇。

会议历时 5 天,主要议题为:①“天然气水合物的勘探、资源与环境”,安排了 1 个关键发言和 8 个一般性发言,并分环境、流体迁移与气苗、海底水合物、方法技术、冻土与湖泊地区水合物、CO₂ 水合物等主题组进行展版展示;②“天然气水合物的热力学”,安排了 8 位会议发言,分动力学和热力学 2 个主题组进行展版展示;③“天然气水合物的结构、物性、多相机制及其转化”等;④“管道堵塞、相关技术”。

会议初步确定“第五届国际天然气水合物会议”将于 2005 年在挪威的 Trondheim 召开。

(祝有海 供稿)