

神狐海域与西沙海槽天然气水合物成藏模式对比

朱 其¹, 吴其林^{2*}, 吴迅达¹, 何丽娟¹, 侯志平²

(1 中海石油(中国)有限公司湛江分公司, 湛江 524057; 2 广东石油化工学院石油工程学院, 广东茂名 525000)

摘 要:南海北部神狐海域与西沙海槽天然气水合物资源量丰富,但两地区天然气水合物成藏条件及成藏机制存在一定的差异。通过两海域水深、温度压力、气源、气体运移、储层等水合物成藏要素与成藏模式的分析对比,获取了 3 点新认识:①两地区海域水深、温压条件、气源类型、气体运移条件、水合物储层类型和成藏模式基本类似;②综合天然气水合物气源及供给运聚系统类型剖析,提出神狐海域主要以“自源与他源渗漏复合型”水合物成藏模式为主;③西沙海槽水合物成藏模式属典型的“他源渗漏型”。研究结果表明,落实气源与不同类型气体运移通道的时空耦合匹配关系是该区水合物勘探评价的关键。

关键词:西沙海槽;神狐海域;气源;水合物成藏模式;运移通道

中图分类号:P618.18

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2017.07006

南海北部陆坡区、陆隆区、海槽区水体深度大,温度低,压力高,非常适宜天然气水合物的成矿成藏^[1-3]。国际上提出运用天然气水合物成藏系统开展天然气水合物气体供应、气体运移和天然气水合物形成之间内在联系的研究^[4-7]。天然气水合物成藏要素主要包括:温度—压力条件、气源条件、天然气运移条件、适宜的沉积物或储集岩条件、可用淡水、水合物成藏时间等^[8-14]。伴随南海北部陆坡神狐海域水合物的 3 次钻探,特别是 2015 年 7—9 月 GMGS-3 钻获的水合物饱和度局部高达 64%,并在 W11 井钻遇累计厚度超过 70 m 的水合物储层,极大地鼓舞了开展南海北部水合物勘探的信心^[8]。然而,在南海北部具有类

似地质背景的西沙海槽尚未进行实质性水合物钻探。通过神狐海域和西沙海槽 2 个海区天然气水合物成藏条件、成藏模式的综合分析对比,重点聚焦在水深温度及压力条件、气源条件(生烃)、运移输导条件(如断裂、裂隙、底辟等)、储层条件对比分析(如岩层、构造对天然气水合物产状与分布控制问题)等方面,探讨了 2 个水合物勘查区的成藏模式及控制因素,以期为进一步的天然气水合物勘探突破提供决策依据与理论技术支撑。

1 区域地质概况

神狐海域区域主体位于珠江口盆地白云凹陷内,地理位置上处于神狐暗沙东南海域附近,西沙海槽与东沙群岛之间的海域。由于神狐海域处于南海北部陆坡的中下段,陆坡自北向南倾斜,水深从 885 m 逐渐加深到 1 530 m(图 1)。其中,1 350 m 等深线以北区域的地形较陡,海底坡降一般在 0.03°左右;以南区域地形坡度变化较缓,坡降值一般在 0.02°左右,并逐步进入深海平原。海底地貌形态复杂,主要发育海丘、海谷、冲蚀

收稿日期:2017-05-15

基金项目:国家 863 计划项目子课题“天然气水合物地球物理识别方法研究”(CCL2014SKPS0048)

作者简介:朱 其(1983—),男,硕士,工程师,主要从事石油与天然气勘探研究和对外合作管理工作。Email:zhuqi1@cnooc.com.cn

*** 通讯作者:**吴其林(1982—),男,博士,工程师,主要从事海上油气田地地质综合研究工作。Email:wuql8@cnooc.com.cn

沟、反坡向台坎以及海底沟槽等地貌类型。

西沙海槽位于海南岛东南、珠江口盆地西部,主体处于中海油矿区琼东南盆地以东的长昌凹陷,为半深海—深海过渡的槽型区域,水深为 300~2 000 m(图 1)。钟广见等^[15]将这片海域定义为南海西沙海槽盆地,并同琼东南盆地一样具有下断上坳的双层盆地结构和先陆后海的沉积特征,新近纪拗陷期主要发育浅海—半深海沉积^[15]。



图 1 神狐海域和西沙海槽位置(蓝色方框标注研究海域,据文献^[14]修改)

Fig. 1 Location of study area
(in blue frame, modified from reference ^[14])

2 成藏条件对比

2.1 水深、温度及压力条件对比

水合物是一种固体化合物,其发育受温度和压力共同控制,要求具备低温和高压条件。在海洋,温度与水深有反比关系,即水深越深温度越低,海底温度越低则水合物稳定带厚度越大。地温梯度越高,天然气水合物越浅,厚度也越薄;水深越大,天然气水合物稳定带也越厚。海洋天然气水合物形成条件为水深 300~500 m 以上、低温(一般在 0~10 °C 之间)、高压(一般在 3~30 MPa 之间,常常>10 MPa)。南海海底温度为 16 °C 的水深不到 200 m; 10 °C 的水深为 300~450 m;当水深>850 m 时,海底温度低于 4 °C^[15-21]。

在神狐海域,据王宏斌等^[21]通过实际数据计算,南海北坡陆坡区地层温度在 14~20 °C、压力 5~20 MPa 的条件是最适合天然气水合物发育^[22]。其温压数据统计表明,海底表层地层温度

<14 °C 的水深为 216 m(压力为 2.28 MPa),>5 MPa 的水深为 485 m(海底表层温度为 8 °C),因此,水深>485 m 时,海底下伏地层就达到该区的水合物成藏温压条件。神狐海域主体位置水深由 885~1 530 m,温度在 4 °C 以下,压力在 10 MPa 以上^[9],毫无疑问均符合水合物形成的条件。

西沙海槽水深 300~2 000 m,通过水深—压力公式转换^[22]得到其压力范围为 3~20 MPa,温度为 2.6~11 °C。据陈多福等^[23]的研究表明,热成因水合物分布在 450 m 以下,生物成因的水合物温度海域水深>600 m,故水深 485~2 000 m 的西沙海槽更有利于水合物成藏。就两海域的水深、温压条件对比而言,神狐海域无疑已经处于水合物形成的有利条件,而对于水深变化较大的西沙海槽而言,水深>485 m 海域的温压条件更有利于水合物形成(表 1)。

表 1 两海域水合物形成的水深、海底温压条件对比

Table 1 Comparison of water depth, temperature and pressure for gas hydrate formation

水合物理论 形成条件	水深/m (>300)	温度/°C (0~10)	压力/MPa (3~30)
神狐海域 (有利区)	885~1 530	海底温度 一般<4	一般>10
西沙海槽 (有利区)	485~2 000	海底温度 一般<11	一般>5

2.2 气源条件对比

天然气水合物的形成需要有充足的气源,其来源可能有 4 种:海水溶解气、生物成因气、热成因气及无机成因气。世界上已发现的水合物样品气源类型主要为生物成因气和热成因气或者两者之混合。

神狐海域所属的白云凹陷深部烃源岩具有厚度大、有机质类型好的特点。前人研究表明,该海域存在生物成因气和热成因气 2 种气源^[8-13]。其深部烃源岩主要发育有 2 套,即始新统文昌组和下渐新统恩平组,此外,上渐新统珠海组也有一定的生烃能力。文昌组最大沉积厚度为 1 700 m,恩平组最大沉积厚度可达 1 300 m。文昌组为湖相烃源岩,TOC 含量介于 1.0%~2.5% 之间;生烃潜量(S1+S2)较高,介于 8.18~13.64 mg/g

之间;干酪根 H/C 原子比为 1.5~1.0,大多为 1.2 左右;有机质类型以 II₁ 型为主。恩平组为浅湖—沼泽相煤系烃源岩,TOC 含量变化大,介于 1.12%~56.18%之间;生烃潜量较高,介于 0.56~97.47 mg/g 之间;干酪根 H/C 原子比多在 0.7~1.2 之间;有机质类型以 II₂—III 型为主^[25]。烃源岩热演化程度较高,已进入大量的生气阶段。现今,恩平组烃源岩 Ro 为 1.2%~2.2%;文昌组烃源岩成熟度极高,Ro 为 2.0%~3.6%。据朱俊章等^[25]盆地模拟结果,白云凹陷文昌组和恩平组总生烃量为 $985.442\ 5 \times 10^8$ t,其中,天然气生气量为 $803.221\ 3 \times 10^8$ t,按照标准油气当量转换(原油 1 t=1 255 m³),得到天然气总生烃量为 $100.804\ 2 \times 10^{12}$ m³,白云凹陷北部天然气资源量为 $8\ 714.32 \times 10^8$ m³。另据何家雄等^[25]生物气资源量统计,白云凹陷深水区生物气泥岩源岩体积为 42 000 km³,平均有机碳含量 0.98%(参考 LW 及 PY 地区钻井),估算生物生气量可达 189.336×10^{12} m³,根据 2‰ 的生聚系数计算,生物气资源量为 $3\ 786.7 \times 10^8$ m³。据杨胜雄等^[9]研究,2015 年神狐海域的钻探发现有来自深部的热解气(W17 井),存在热成因的 II 型天然气水合物。另外,白云凹陷油气勘探成果亦证实,LW3-1 等气藏的气源主要来自深部恩平组煤系热成因天然气。这就充分表明神狐深水海域不仅浅层生物成因气丰富,而且深部热成因气气源亦较充足,在运聚通道系统与高压低温稳定带时空配置较好时,两者完全能够构成“自源扩散+他源渗漏复合型”运聚成藏系统,从而为水合物形成提供充沛的气源供给,亦即为天然气水合物大规模成藏所需要之气源奠定了丰富的物质基础。

西沙海槽地温梯度高,平均达 4.0 °C/100 m,这一方面使烃源岩成熟门限深度变浅,加速了下部烃源岩层系中有机质的成熟及向烃类转化;另一方面随着烃类排出及液态烃类裂解,形成的异常高压可为油气运移提供动力。据何家雄等^[25]对琼东南盆地的天然气水合物计算表明,其生物成因的甲烷天然气资源量为 $1\ 799.3 \times 10^8$ m³,亚生物气为 $1\ 670.7 \times 10^8$ m³;琼南盆地长昌凹陷古近系—新近系煤系烃源岩生烃潜力与天然气资源量为 $7\ 900 \times 10^8$ m³^[25]。2015 年中海油湛江分公司在琼东南盆地发现了储量超千亿方的 LS17-2 大气田,据此预

测盆地天然气勘探潜力超过 2×10^{12} m³^[26]。所有都证实了琼东南盆地具有巨大的生烃潜力,也为水合物气源提供了重要保障。

就两海域水合物气源资源量对比而言,其热成因气、生物成因与亚生物气资源量相当,累计气源资源量均超过万亿方,反映了两海域巨大的水合物勘探潜力(表 2)。

表 2 神狐海域与西沙海槽气源资源量对比

Tabele 2 Comparison of gas source in Shenhu area and

气源条件	Xisha Trough		/($\times 10^8$) m ³
	热成因气 资源量	生物成因气 资源量+亚生物成 因气资源量	
神狐海域	8 714.32	3 786.70	12 501.02
西沙海槽	7 900	3 470	11 370

注:神狐海域、西沙海槽分别以白云凹陷或白云凹陷北部、琼东南盆地或长昌凹陷计算量替代

2.3 气体运移条件对比

多期断裂、垂向裂隙系统、热流体底辟活动、气烟囱、滑动构造共同形成了浅层天然气水合物气源空间运移的主要通道。

神狐海域与天然气水合物成矿关系密切的活动构造类型有三大类,即底辟构造、活动断裂(高角度断裂和垂向裂隙系统)和海底滑坡^[12,13]。在神狐海域的地震剖面上发现了大量的气烟囱和局部疑似泥底辟活动的痕迹。气烟囱总体呈 NE 走向,从剖面上看,烟囱内部横向上的反射同向轴的连续性变差或中断,内部反射杂乱,甚至为空白反射,局部由于游离气体的充注,同向轴出现下拉现象;气烟囱顶部常见亮点振幅异常,而在气烟囱内部瞬时频率剖面上常出现明显的低频现象,反映 BSR 之下存在丰富的游离气。大部分反射模糊区的中下部为弱振幅或振幅空白带,同相轴下拉应是天然气充注造成低速异常的结果(图 2)。

通过对神狐海域大量的地震剖面 and 平面图提取综合分析认为,白云凹陷神狐海域应以气烟囱活动为主,气烟囱内部的裂隙为浅层的水合物储层提供重要的气源运移通道。

在神狐海域,气烟囱和 BSR 关系密切,一般在 BSR 以下较为常见,而在 BSR 上方则没有明

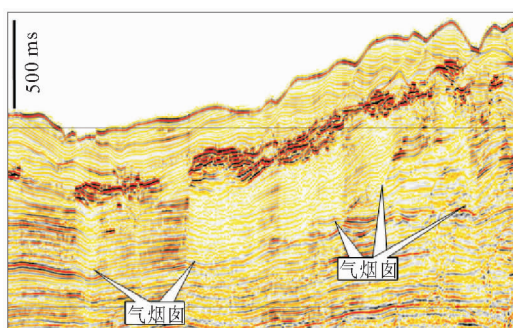


图 2 白云凹陷神狐深水海域气烟囱典型地震剖面

Fig. 2 Gas chimney in Shenhu Area

显的显示。这说明流体在向上运移过程中,在BSR处发生富集,形成天然气水合物,而天然气水合物又可以对下伏气体形成遮挡,促使游离气在BSR下部聚集,在地震剖面上形成增强反射体。钻探目标区气烟囱发育区总体呈NE走向,气烟囱平面分布与BSR分布基本一致。气烟囱现象对BSR的分布起了决定性作用,气烟囱的发育与天然气水合物成藏之间存在直接的关联^[12,13]。

受区域构造背景控制,神狐海域断层非常发育,且均为正断层,大致可分为NE、NEE、NW向三大断裂系统。其中NW向断层继承性明显,活动时间长,且被NE向断层切割;大部分NE向断层活动时间晚,且多为层间断层。区内不同层位、不同发育期次的断层及其体系与天然气水合物的形成有密切关系。NW向断裂是同沉积断层,从基底断起,由深及浅断距逐渐减小,这些断裂可以起到沟通深部气源的作用,气体沿断层下部高压区向上部低压区运移,到达浅层后由数目众多的NE向小断裂继续向上运移,进入天然气水合物稳定带,从而形成天然气水合物。

此外,该区天然气水合物成藏还与其属于大型滑塌断块内部有关,大型滑塌所形成的滑塌沉积,由于其内部物质疏松,孔隙度大,有机质丰富,对流体运移非常有利。

西沙海槽的地震资料揭示,上构造层(三亚组—乐东组)断层发育,并且与下构造层断层连接,这为油气向上运移提供了通道。陈多福等^[23]、王宏语等^[27]认为,该区域盆地内断裂非常发育,为天然气水合物气源提供了有利的运移通道。西沙海槽的底辟活动较为强烈,且规模较

大,如在长昌凹陷发育的疑似大型火山底辟活动,可能对区域的天然气运移造成较大的影响(图3)。

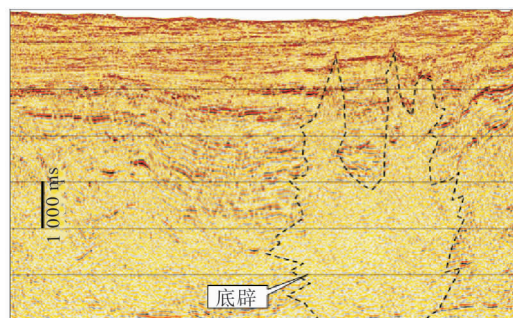


图 3 西沙海槽疑似火山底辟地震剖面

Fig. 3 A seismic profile for suspected volcano diapirs in Xisha Trough

两海域气体运移条件分析表明,在神狐海域的底辟构造、气烟囱、活动断裂非常发育,且较为典型;西沙海槽的疑似火山底辟活动、断裂活动较发育。神狐海域的海底滑坡现象非常普遍,西沙海槽海底滑坡无论是发育的程度、发育规模都要少。

2.4 储层条件对比

天然气水合物的成藏除具备低温、高压和运移条件外,还必须发育良好的储集空间。

神狐海域所属的白云凹陷的珠江组到韩江组(23.8~10.5 Ma)的低位体系域发育有大型盆底扇和斜坡扇等沉积体,以及具有强烈下切特征的峡谷水道;从10.5 Ma至今,白云凹陷的海侵作用逐渐增强,陆架三角洲向海方向推进受限,主要沉积少量的细粒或泥质沉积物。总体而言,新近纪以来,神狐海域的沉积环境逐渐演变为陆坡深水环境,主要发育深水浊积扇(斜坡扇)、峡谷水道(水道化浊积扇)和滑塌沉积3种典型沉积相^[28]。在神狐海域浊积扇、峡谷水道以粉砂或者泥质粉砂为主的细粒沉积物中,富含钙质生物组分(钙质超微化石和有孔虫),增加了黏土质粉砂沉积物的次生孔隙空间,为天然气水合物形成提供了可容纳空间^[29]。此外,据国内许多学者对南海海底滑坡的研究认为,其不但可以作为浅层气的疏导体系,还可以扩大水合物形成的孔隙空间。海底滑坡由于快速沉积,其内部一般具有较大的孔隙空间和较高的孔隙渗透率,全新统可达50%~

80%,上新统为 30%~70%,能够为天然气水合物提供较大的储存空间。滑塌沉积体中沉积物欠压实,存在局部的异常高压,有利于气体聚集形成水合物矿藏^[30]。2007 年神狐海域的钻探成果表明,神狐天然气水合物主要赋集于上中新统及上新统未固结的沉积层中,沉积相为具有较高孔隙度的三角洲前缘、浊积扇、滑塌沉积、浊积扇体和漫溢沉积,岩性主要为富含黏土和粉砂的沉积物,且天然气水合物均匀分布在整個细粒沉积物中,占孔隙体积的 20%~40%。

西沙海槽区在盆地发育后期趋于稳定,进入陆坡发育期后沉积速率显著增加,特别是晚中新世以来,长期稳定的海相沉积环境形成了 1 000 m 以上不等厚且连续性较好的陆坡沉积地层。这些地层在海底主要以未固结的软泥或半固结的砂泥岩地层形式存在,往往具有丰富的地层水和较高孔隙度,给甲烷气聚集、水合物发育及赋存创造了良好空间^[25]。另据琼东南盆地长昌凹陷地震资料显示,浅层(500 ms 以上)的地震相在海槽区斜坡上仍然有不少斜坡峡谷、斜坡扇地震反射特征,在海槽底部的更新世早期乐东组发育大型古水道,水道内部有中等连续、强弱振幅同相轴间互的特征,反映了水道内充填岩性在纵向上的快速变化,可能是浊流砂泥分异的反映,可为天然气水合物提供广阔的储存空间。

神狐海域和西沙海槽的储层类型分析对比表明,神狐海域的水合物储层中深水浊积扇(斜坡扇)、峡谷水道(水道化浊积扇)和滑塌沉积较为典型和常见;而西沙海槽的水合物储层以深水浊积扇(斜坡扇)为主,其他类型储层较少见(表 3)。

3 水合物成藏模式对比

国内学者在南海北部天然气水合物成藏模式上主要持两种观点,一种是“自源扩散型”自生自储原地成矿成藏模式,其气源供给主要来自原地近源的生物气为主的混合气供给^[14];另一种是“他源渗漏型”下生上储异地成矿成藏模式,强调天然气水合物气源来自深层烃源岩热成因气^[12,13,22,24,25,27,28]。笔者通过分析研究后提出与前人水合物成藏模式有所差异的如下两种类型的水合物成藏模式。

表 3 神狐海域与西沙海槽储层条件对比

Tabele 3 Comparison of reservoirs in Shenhu area and Xisha Trough

储层类型	神狐海域	西沙海槽
深水浊积扇(斜坡扇)	主要储层,非常发育	主要储层,非常发育
峡谷水道 (水道化浊积扇)	主要储层,非常发育	次要储层,较发育
滑塌沉积	主要储层,较发育	次要储层,较发育
三角洲前缘	次要储层,发育较少	次要储层,发育较少
漫溢沉积	次要储层,发育较少	次要储层,发育较少

3.1 “自源与他源渗漏复合型”水合物成藏模式

据杨胜雄等^[8,9]对神狐海域水合物成藏及空间分布研究认为,天然气水合物的形成和分布受温压条件控制,但是伴随天然气水合物野外钻探和多种方法的联合应用,水合物的成藏尤其是高饱和水合物的成藏主要受 6 个方面因素影响,包括:①水合物形成的温压条件;②气源条件;③气体运移;④储层条件;⑤孔隙水盐度;⑥水合物成藏的时间。在神狐海域,国内学者所持观点并不统一,成藏模式多样。

吴时国等^[30]提出了南海北部天然气水合物成藏模式,此模式为典型的“他源渗漏型”天然气水合物成藏模式。何家雄等^[14]通过分析南海北部深水区白云凹陷(神狐调查区)天然气水合物形成的地质、地球化学条件认为,该区属于生物成因气类型,其气源供给是以原地近源生物气为主的混合气,成藏模式属于自生自储的“自源扩散型”近源富集成矿类型,且资源潜力巨大。郭依群等^[8]指出,GMGS-3 钻探结果与 2007 年 GMGS-1 钻探的结果有很大差别,不但获得了生物成因气天然气水合物,在 W17 井还发现了热成因型天然气水合物,且厚度和饱和度远大于 GMGS-1 发现的水合物层。这就说明了在神狐海域不止一种“自源扩散型”天然气水合物成藏模式,可能还存在“他源渗漏型”成藏模式,而在 W11 发现了生物气和热成因气的混合气^[8]。

笔者通过前人的研究,结合 GMGS-1、GMGS-2、GMGS-3 3 次水合物钻探并取得的样品地化特征认为,神狐海域“自源扩散型”和“他源渗漏型”均存在,且以“自源与他源渗漏型”混合成

藏的方式存在,依据如下:①从气源条件可以看出热成因气资源量和生物成因气资源量旗鼓相当,均能提供充足气源,水深、温压、运移、储层等条件均满足水合物成藏条件;②目前在神狐海域发现的水合物矿体下都能见到气烟囱现象,这证明水合物矿体有连通深层热成因气的有利垂向通道;③传统理论认为“自源扩散型”生物气水合物饱和度 $<7\%$ ^[12],而目前广海局 3 次所取得的水合物样品饱和度在 25%~64%之间,平均 44.5%,明显大于生物气水合物饱和度理论值;④神狐海域水合物样品的 C1/C2 值表明,单一的生物成因气往往并未形成厚层的水合物(如 W11 井、W17 井),厚层混合气成矿的水合物 C1/C2 值大部分偏小(图 4)^[8,9]。

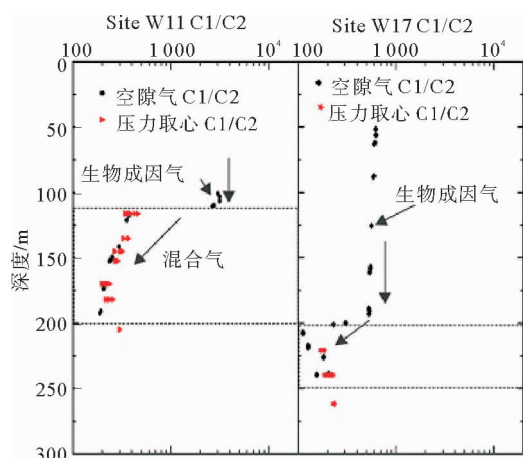


图 4 W11 井与 W17 井 C1/C2(据文献[8,9])

Fig. 4 C1/C2 of well 11 and well 17(from references [8,9])

在神狐海域,笔者提出“自源与他源渗漏型”均参与水合物矿体成藏的混合成藏模式(图 5),即“自源与他源渗漏型”复合成藏模式。这个模式的关键是早期热成因气由断层运移至合适的热力学条件的浅层储层中形成水合物晶核,然后由周缘生物成因气围绕晶核进一步扩展,形成更大的水合物晶体,伴随热成因气和生物气的不断供给,不断生长扩大,形成不同规模的水合物矿体。

3.2 “他源渗漏型”水合物成藏模式

国内学者就西沙海槽水合物成藏模式认为,“他源渗漏型”以远源成藏模式为主^[22,23,27],也有根据气源条件在该区提出了“自源扩散型”近源成藏模式^[25]。前人对西沙海槽海底表层沉积物所

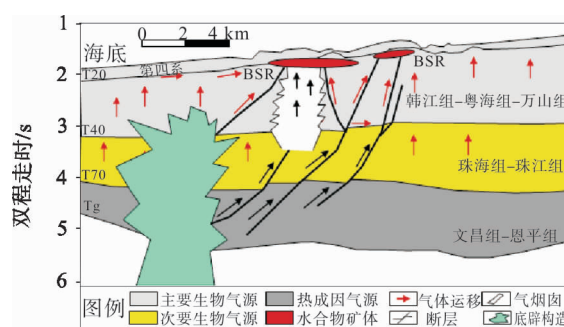


图 5 神狐海域“自源与他源渗漏复合型”成藏模式(据文献[14]修改)

Fig. 5 "Self-source and heterogeneous source leakage complex" model for gas hydrate formation in Shenhu area (modified from reference [14])

含甲烷气的测试结果表明,西沙海槽 15 个测试站点的海底沉积物(0~1.5 m)甲烷干燥系数在 0.846~0.953 之间,属热成因气范畴;并结合此区前期地质勘探成果、断层通道、聚集条件、浅层温压特征提出了西沙海槽区域天然气水合物“他源渗漏型”成藏模式^[22]。笔者在前人研究成果基础上,再结合西沙海槽文昌凹陷内的地震剖面进一步完善了“他源渗漏型”成藏模式,该模式的关键是崖城组的热成因气源与底辟、气烟囱内部裂隙、深大断裂组成的天然气运移通道以及水合物储层空间匹配,最后在温压合适的热力学条件下形成热成因 II 型水合物矿藏(图 6)。

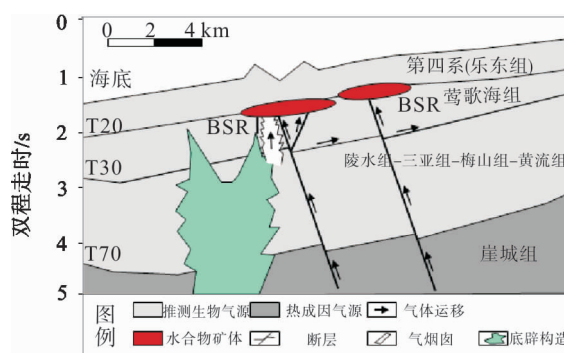


图 6 西沙海槽“他源渗漏型”成藏模式(据文献[22]修改)

Fig. 6 "Heterogeneous leakage type." gas hydrate In Xisha trough (modified from reference [22])

4 讨论

对神狐海域与西沙海槽天然气水合物成藏条

件、成藏模式的对比表明,两海域在水深及温压参数、气体运移通道类型、气源供给条件和储层通道及成藏模式等都较为相似,但也存在一些差异。

(1) 气体运移条件

神狐海域和西沙海槽的底辟构造、活动断裂、气烟囱均非常发育;神狐海域的海底滑坡现象非常普遍,而西沙海槽海底滑坡无论是发育的程度、发育规模都要少。

(2) 储层条件差异

神狐海域的水合物储层以斜坡浊积扇、水道浊积扇、滑塌沉积体为主,如W11井为斜坡浊积扇,W19井为水道充填浊积扇;而西沙海槽以斜坡浊积扇为主,鲜见水道浊积扇和滑塌沉积体。

(3) 天然气水合物成藏模式

神狐海域“自源与他源渗漏复合型”水合物成藏模式非常独特;而西沙海槽则以“他源渗漏型”水合物成藏模式为主。

综上所述,不同天然气水合物成藏条件和成藏模式决定了两海域水合物勘探方向的差异。神狐海域生物气和热成因气气源均非常充足,因此,在该海域的水合物勘探,首先要重视水合物识别问题,如BSR识别和其他表征水合物信息的综合识别方法的研究;其次才是储层、有利运移通道等储集与运聚系统的分析。西沙海槽属典型“他源渗漏型”水合物成藏模式,首要解决的是气源与气体运移通道的匹配问题,即找到沟通深部热成因气源的深大断裂、底辟构造(气烟囱)等不同类型的运移通道系统;其次才是储层沉积体系及沉积相的研究和其他成藏条件配置的深入分析研究。

5 结论

(1)对神狐海域与西沙海槽天然气水合物成藏条件及成藏模式的综合分析对比表明,2个水合物成矿区在水深、温压条件、气源供给及气体输导系统类型、储层条件和成藏模式上基本类似。

(2)综合天然气水合物气源条件,深入分析运聚输导系统类型,提出了神狐海域主要以“自源与他源渗漏复合型”水合物成藏模式为主。

(3)西沙海槽则以“他源渗漏型”水合物成藏模式较为典型。天然气水合物勘探突破的关键,首先是落实气源与气体运移通道的匹配问题,即

找到连通深部气源的深大断裂、底辟及气烟囱以及伴生断层裂隙所构成的复合运聚输导系统。

参考文献:

- [1] 何家雄,祝有海,陈胜红,等.天然气水合物成因类型及成矿特征与南海北部资源前景[J].天然气地球科学,2009,20(2):66-70.
- [2] 黄永祥.我国海域天然气水合物地质—地球物理特征及前景[M].北京:地质出版社,2009.
- [3] 张光学,黄永祥,祝有海,等.南海天然气水合物的成矿远景[J].海洋地质与第四纪地质,2002,22(1):75-81.
- [4] Bünz S, Mienert J, Berndt C. Geological controls on the Storegga gas-hydrate system of the mid-Norwegian continental margin[J]. Earth & Planetary Science Letters, 2003, 209(3/4):291-307.
- [5] Trehu A M, Bohrmann G, Leg Science Party. Drilling gas hydrates on hydrate Ridge, Oregon continental margin[J]. Plant Cell Tissue & Organ Culture, 2002, 54(2):71-76.
- [6] Dickens G R. Rethinking the global carbon cycle with a large, dynamic and microbially mediated gas hydrate capacitor[J]. Earth & Planetary Science Letters, 2003, 213(3/4):169-183.
- [7] Milkov A V, Claypool G E, Lee Y J, et al. Gas hydrate systems at Hydrate Ridge offshore Oregon inferred from molecular and isotopic properties of hydrate-bound and void gases[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2005, 69(4):1007-1026.
- [8] 郭依群,杨胜雄,梁金强,等.南海北部神狐海域高饱和度天然气水合物分布特征[J].地学前缘,2017,24:1-8.
- [9] Yang S X, Zhang G X, Liang J Q, et al. Preliminary results of china's third gas hydrate drilling expedition: A critical step from discovery to development in the south china sea[J]. Fire in the Ice. Methane Hydrate Newsletter, National Energy Technology Laboratory, US Department of Energy, 2015, 15(2):1-5.
- [10] 卢振权,何家雄,金春爽,等.南海北部陆坡气源条件对水合物成藏影响的模拟研究[J].地球物理学报,2013,56(1):188-194.
- [11] 卢振权,吴能友,陈建文,等.试论天然气水合物成藏系统[J].现代地质,2008,22(3):363-375.
- [12] 吴能友,杨胜雄,王宏斌,等.南海北部陆坡神狐海域天然气水合物成藏的流体运移体系[J].地球物理学报,2009,52(6):1641-1650.
- [13] 苏正,曹运诚,杨睿,等.南海北部神狐海域天然气水合物成藏模式研究[C]//深海研究与地球系统科学学术研讨会,2012:1664-1674.
- [14] 何家雄,卢振权,张伟,等.南海北部珠江口盆地深水天然气水合物成因类型及成矿成藏模式[J].现代地质,2015(5):1024-1034.

- [15] 钟广见,冯常茂,韦振权.南海西沙海槽盆地地质构造特征[J].海洋地质与第四纪地质,2012,32(3):63-68.
- [16] 何家雄,颜文,祝有海,等.全球天然气水合物成矿气体成因类型及气源构成与主控因素[J].海洋地质与第四纪地质,2013,33(2):121-128.
- [17] 陈忠,颜文,陈木宏,等.南海北部大陆坡冷泉碳酸盐结核的发现:天然气水合物新证据[J].热带海洋学报,2006,25(1):83-83.
- [18] 樊栓狮,刘锋,陈多福.海洋天然气水合物的形成机理探讨[J].天然气地球科学,2004,15(5):524-530.
- [19] 祝有海,吴必豪,卢振权.中国近海天然气水合物找矿前景[J].矿床地质,2001,20(2):174-180.
- [20] 祝有海,张光学,卢振权,等.南海天然气水合物成矿条件与找矿前景[J].石油学报,2001,22(5):6-10.
- [21] 王宏斌,黄永祥,梁劲,等.南海北部陆坡坳陷断裂带中水合物赋存的温压场环境[J].现代地质,2006,20(1):103-108.
- [22] 孙春岩,牛滨华,王宏语,等.西沙海槽研究区天然气水合物地球化学勘探及成藏模式研究[J].地学前缘,2005,12(1):243-251.
- [23] 陈多福,李绪宣,夏斌.南海琼东南盆地天然气水合物稳定域分布特征及资源预测[J].地球物理学报,2004,47(3):483-489.
- [24] 朱俊章,施和生,庞雄,等.白云凹陷天然气生成与大中型气田形成关系[J].天然气地球科学,2012,23(2):19-27.
- [25] 何家雄,苏丕波,卢振权,等.南海北部琼东南盆地天然气水合物气源及运聚成藏模式预测[J].天然气工业,2015,35(8):19-29.
- [26] 姚哲,王振峰,左倩媚,等.琼东南盆地中央峡谷深水大气田形成关键要素与勘探前景[J].石油学报,2015,36(11):1358-1366.
- [27] 王宏语,孙春岩,张洪波,等.西沙海槽潜在天然气水合物成因及形成地质模式[J].海洋地质与第四纪地质,2005,25(4):85-91.
- [28] 匡增桂,郭依群.南海北部神狐海域新近系以来沉积相及水合物成藏模式[J].地球科学:中国地质大学学报,2011,36(5):914-920.
- [29] 陈芳,苏新,陆红锋,等.南海神狐海域有孔虫与高饱和度水合物的储存关系[J].地球科学:中国地质大学学报,2013,38(5):907-915.
- [30] 吴时国,董冬冬,杨胜雄,等.南海北部陆坡细粒沉积物天然气水合物系统的形成模式初探[J].地球物理学报,2009,52(7):1849-1857.

A COMPARATIVE STUDY ON GAS HYDRATE ACCUMULATIONS IN SHENHU AREA AND XISHA TROUGH

ZHU Qi¹, WU Qilin^{2*}, WU Xunda¹, HE Lijuan¹, HOU Zhiping²

(1 CNOOC China Limited Zhanjiang Branch, Zhanjiang 524057, China;

2 College of Petroleum Engineering, Guangdong University of Petrochemical Technology, Maoming 525000, Guangdong, China)

Abstract: There are great amount of natural gas hydrate resources in the Shenhu area and Xisha Trough, the north of South China Sea. However, there are differences in both the reservoir forming conditions and accumulation mechanism of gas hydrate between the two regions. In this paper, through the analysis and comparison of water depth, temperature, pressure, gas source, gas migration, as well as reservoir characters and other factors, we reached some conclusions as follows. ①The two regions are similar in terms of water depth, temperature and pressure conditions, gas source type, gas migration conditions, hydrate reservoir type and reservoir characteristics. ②Based on the analysis of the gas source, the supply and transportation system of natural gas, it is believed that the formation of gas hydrate in the Shenhu area is dominated by the “self-source and heterogeneous source leakage complex” model. ③The gas hydrate in the Xisha Trough is a typical hydrate of “heterogeneous leakage type”. The results of the study suggest that the time-space matching between gas source and migration channels is the key to the evaluation of hydrate exploration in this area.

Key words: Xisha Trough ; Shenhu area; gas source; gas hydrate accumulation; migration channel