

蔡峰, 吴能友, 闫桂京, 等. 海洋浅表层天然气水合物成藏特征[J]. 海洋地质前沿, 2020, 36(9): 73-78.

海洋浅表层天然气水合物成藏特征

蔡峰^{1,2}, 吴能友^{1,2*}, 闫桂京^{1,2}, 李清^{1,2}, 梁杰^{1,2}, 孙运宝^{1,2},
董刚^{1,2}, 骆迪^{1,2}, 李昂^{1,2}, 王星星^{1,2}

(1 自然资源部天然气水合物重点实验室, 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 青岛 266071;

2 青岛海洋科学与技术国家实验室海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室, 青岛 266071)

摘要:按照天然气水合物形成的气体疏导方式划分, 渗漏系统是海洋浅表层天然气水合物藏形成的主要模式。关键成藏要素包括温压场、气源等, 温压场主要控制天然气水合物成藏的平面分布和纵向分布; 海底热流低值区有利于形成天然气水合物, 但在海底热流超高的海域, 只要有充足的气源供给, 在高甲烷通量区深海浅表层也可以形成天然气水合物藏, 而且往往与泥火山、气烟囱等特殊地质体伴生, 形成致密的数米厚层状天然气水合物藏。浅表层天然气水合物藏气源主要是有机热解成因气, 一般其深部均发育有成熟的含油气盆地, 有烃源层广泛分布, 并且干酪根发生过明确的生烃过程, 形成的热解甲烷气通过断层、气烟囱等破碎带垂向运移通道渗漏上升, 在温压场控制的相平衡区形成天然气水合物藏, 因此, 海底热流值较高的海盆也是浅表层天然气水合物藏形成的有利海域。

关键词:浅表层天然气水合物藏; 高热流; 温压场; 有机热解成因气

中图分类号: P744; P618.13

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2020.117

0 引言

随着天然气水合物调查研究的不断深入, 人们对天然气水合物成藏过程和类型特征的认识也越来越丰富, 我们在 2016 年发现了浅表层天然气水合物藏后, 经过持续的调查和研究, 逐步形成了一些不同于传统天然气水合物成藏的理论 and 认识。与此同时, 浅表层天然气水合物的资源潜力日益引起国内外的关注, 尤其是日本在日本海东部的浅表层天然气水合物调查也获得了突破性进展^[1]。近年来, 青岛海洋地质研究所针对海域浅表层天然气水合物的特点, 逐步形成了一套地质、地球物理、地球化学相结合的综合勘查技术体系, 主要利用海洋小

道距高分辨率二维、三维多道地震、高精度多波束、高频参量阵浅剖^[2-5], 大大提高了浅部地层的分辨率, 为浅表层天然气水合物成藏研究提供了高品质的可靠数据, 逐步形成了浅表层天然气水合物成藏模式, 为进一步开展天然气水合物资源调查研究拓展了思路。

浅表层天然气水合物赋存于海底表面和近海底沉积物中, 埋深一般小于海底以下 100~120 m, 具有厚度大、纯度高等特点^[6], 多与海底冷泉系统密切相关。海底冷泉是浅表层天然气水合物赋存的主要标志, 冷泉系统为甲烷流体运移至水合物稳定带提供了有利通道, 同时浅表层天然气水合物的分解也是冷泉系统甲烷的重要来源^[5]。目前世界各国在多个海域均发现了浅表层天然气水合物, 多数都与海底冷泉相伴生, 众多研究者探讨了浅表层天然气水合物在灾害预测和评价、气候变化等科学问题方面的意义, 但少有从能源利用方面讨论其资源意义。

随着全球天然气水合物调查进程的加快和调查区域的拓展, 浅表层水合物的发现也越来越多。墨西哥湾是最早发现浅表层天然气水合物的区域之一, 也是浅表层水合物较为赋存且分布范围较广

收稿日期: 2020-08-01

资助项目: 国家重点研发计划(2018YFC0310001); 国家自然科学基金(41306062); 山东省自然科学基金(ZR201807100270)

作者简介: 蔡峰(1965—), 男, 博士, 研究员, 主要从事油气地质和天然气水合物资源勘查与评价方面的研究工作. E-mail: 1607045432@qq.com

* 通讯作者: 吴能友(1965—), 男, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要从事天然气水合物调查研究工作. E-mail: wuny@ms.gicc.ac.cn

的区域^[7-10],在水深530~560 m的陆坡区域,通过重力活塞取样获取浅表层热解成因甲烷形成的天然气水合物并伴随有油斑,由于深部地层中盐构造活动的影响,形成了大量的断层和断裂体系,为深部油气伴生的热解成因烃类气体向上运移提供了重要的通道^[8-9]。而2017年以来,日本海东侧发现的厚层状浅表层天然气水合物在揭示其重要研究意义的同时,也证实了浅表层水合物具有重要的资源价值^[1],单个气烟囱赋存的浅表层天然气水合物甲烷含量高达 $6 \times 10^8 \text{ m}^3$,而此类的气烟囱以及麻坑构造在日本海周围就发现了近2 000个,呈现极高的资源前景^[1]。除此之外,与日本海相邻的韩国Ulleung盆地^[11]、鄂霍次克海^[12]、南海海槽^[13]以及冲绳海槽南部^[14]、南海东沙海域^[15]等沿太平洋板块、菲律宾板块与欧亚板块俯冲增生沟-弧-盆体系中均发现了浅表层天然气水合物赋存。

笔者依据实际调查研究资料,结合近年国内外对浅表层天然气水合物的研究认识,综合分析浅表层天然气水合物藏的成藏关键要素,并特别提出高热流背景下浅表层天然气水合物成藏过程和含油气盆地内有机热解气为天然气水合物藏主要气源等新认识,为天然气水合物成藏研究和勘探开拓了新的思路。

1 泥火山等渗漏系统形成浅表层天然气水合物藏

天然气水合物藏形成的控制与影响因素非常复杂,成藏的关键要素是温压场和气源。根据成藏的地质控制因素对水合物成藏模式进行分类,可分为4种模式,分别是:断层构造储集型、泥火山储集型、地层控制储集型和构造-地层储集型^[16]。按照天然气水合物成藏的气体疏导方式分类,海洋天然气水合物的成藏系统有扩散系统和渗漏系统2种模式^[17-18]。

浅表层天然气水合物藏是渗漏系统天然气水合物藏的主要成藏类型,其主要是由地层中的超压流体,沿断裂和破碎带等垂向运移通道渗漏上升,在深海浅表层聚集形成致密的可视形态天然气水合物,海底表层通常伴有泥火山、冷泉群落生物和自生碳酸盐岩隆丘等建造,浅层多形成有底辟、气烟囱等构造。

渗漏系统形成的浅表层天然气水合物藏,可以

进一步根据控制因素,细分为不同的成藏模式,如:泥火山型、气烟囱型等。

扩散系统主要在中深层沉积物中形成孔隙充填型天然气水合物藏,水合物呈细粒、均匀和分散状分布于沉积物中,分布广泛。在一些特殊地质体控制影响下,也可以在浅层高孔渗透层中形成孔隙充填型天然气水合物,如在底辟构造的上部沉积层中。由于气体主要通过底辟构造上拱发生垂向扩散运移,这种赋存类型天然气水合物藏的分布多受到底辟构造的控制。

此外,根据目前的勘探结果,发现在一些甲烷通量较高的地区,也可以在扩散系统和渗漏系统共同作用下,形成厚层状天然气水合物层和沉积物孔隙充填型天然气水合物叠置而成的浅表层天然气水合物藏。

2 高热流地质环境可以形成渗漏型浅表层天然气水合物藏

天然气水合物形成于低温高压的环境中,目前世界各国在东西太平洋、大西洋、印度洋、南北极、黑海、里海等海域已直接或间接发现天然气水合物100多处。无论扩散型还是渗漏型,天然气水合物的成藏过程均受温压场控制,尤其是热流地质环境对水合物在沉积地层中的分布产生重要影响。

对全球天然气水合物分布情况分析表明,天然气水合物分布区热流较低,热流值一般 $< 70 \text{ mW/m}^2$,地温梯度 $< 5.0 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$,通常热流值越低,水合物形成带厚度越大,资源前景越好,而在热流值 $> 80 \text{ mW/m}^2$ 的异常高热流带,含水合物的沉积层基本是缺失的,低热流值已经作为判断水合物有利区的一项指标。

我国在南海北部陆坡神狐海域发现了多个扩散型天然气水合物藏,水深约1 200 m左右,海区海底温度约 $3.88 \sim 4.23 \text{ }^\circ\text{C}$,地温梯度 $4.00 \sim 4.99 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$,发现的水合物层埋深 $150.84 \sim 221.5 \text{ m}$,水合物层温度为 $14.2 \sim 15.4 \text{ }^\circ\text{C}$,基本为热流正常的地质环境,符合天然气水合物形成的相平衡理论。对全球扩散型天然气水合物发现处的研究结论也基本相同,因此,形成了天然气水合物成藏的基本理论,即低热流地质环境有利于天然气水合物成藏。

然而,不断新获得的天然气水合物调查发现,

渗漏型天然气水合物的成藏过程不同于扩散型天然气水合物藏。目前,全球在主动和被动大陆边缘背景下的高热流地质环境中,发现了多处渗漏型天然气水合物,如加勒比海(包括巴巴多斯海域)、墨西哥湾、挪威海域、北冰洋(包括巴伦支海)、地中海(包括希腊海域、克里特海域、塞浦路斯海域)、黑海、里海、鄂霍次克海、日本海、尼日利亚海域和南极半岛^[19]。

在其中的部分渗漏型天然气水合物发现海域,海底温度维持在 4.4 °C 左右的正常范围内,水深 1000 m 左右,热流值 164.73~177.13 mW/m²,地温梯度 19.1~20.2 °C/100 m,均为典型的超高热流海区,在海底 50 m 处发现了数米厚的天然气水合物层。

可见,以相平衡理论分析,渗漏型浅表层天然气水合物的成藏并非一定要在低热流地质环境下。在高热流地质环境中,流体运移更加活跃,如果深部流体中含有丰富的天然气并形成超压,高通量甲烷通过断层、气烟囱等破碎带垂向运移通道渗漏上升,在温压场控制的压力和温度相对较低相平衡地区,更容易形成浅表层天然气水合物。而且往往是资源密度更高的层状和块状天然气水合物,理论上只要气源足够充分,可以形成几米至数十米厚的厚层状天然气水合物。

3 浅表层天然气水合物藏的构造样式

浅表层天然气水合物藏形成多与主动或被动大陆边缘的特殊构造体相关联,如主动大陆边缘的增生楔、被动大陆边缘的断裂带,以及主动和被动大陆边缘均有发育的泥火山、气烟囱、泥底辟等构造地质体,为天然气水合物聚集成藏提供了有利的构造环境。

全球已在活动大陆边缘增生楔发现多处天然气水合物,近年在活动大陆边缘泥火山活动区,又发现了多处渗漏型天然气水合物,陆续在墨西哥湾、里海、黑海、布莱克海、地中海、巴巴多斯海区、尼日利亚海域和贝尔加湖等都发现了与泥火山有密切联系的天然气水合物^[20-22],尤其是挪威巴伦支海—斯瓦尔巴特边缘的 Håkon Mosby 泥火山与水合物的关系最为典型^[23]。

浅表层泥火山型天然气水合物藏受控于深部超压高温流体的运移,少见孤立的个体存在,均在

浅表层压力释放区呈泥火山群分布,相互间距多在 1000 m 内,这也更利于水合物规模性开发。由于深部超压流体往往以幕式喷发方式活动,所以各类浅表层水合物藏表现出随间歇式流体喷发,可以在不同深度形成多层天然气水合物层。

渗漏型浅表层天然气水合物藏与扩散型天然气水合物藏的最大区别,在于因水合物强烈的再次生成能力,浅表层天然气水合物因地震等构造变动,发生破坏后,可以二次形成次生天然气水合物藏。因此,只要满足相对的相平衡,浅表层天然气水合物藏对保存条件相对更加宽泛。

各种赋存类型的浅表层天然气水合物藏表现出许多共同的特点:水合物以厚层状形式出现,具有环带状构造,体积百分比基本为 100%,即为纯水合物层。

目前发现的浅表层天然气水合物藏构造样式主要有:泥火山、气烟囱、泥底辟、麻坑等,其中麻坑是泥火山或气烟囱间歇喷发平静期,海底表现出的一种构造。

根据高分辨率多道地震资料,泥火山内部表现为空白反射或杂乱反射,能量相对较弱,反射同相轴“上拉”现象隐约可见,存在局部“亮点”反射(图 1)。泥火山与围岩接触关系多样,有的边界清晰,有的连续性较差。

气烟囱规模相对较小,围岩无明显的产状变化,内部表现为杂乱反射、“上拉”或“下拉”反射,两侧常常表现为强振幅异常。有些气烟囱直达海底,形成丘状或麻坑状地貌特征(图 2)。

泥底辟规模变化较大,从数十米至上千米不等。底辟构造在地震剖面中表现为不同的特征。第 1 种类型的底辟构造呈直立状、具有较清晰的轮廓,内部表现为弱反射或空白反射,两侧围岩无明显产状变化,其顶部和两侧常见亮点振幅异常,推测可能是由于低速游离气的聚集,使波阻抗差增大而形成(图 3)。

4 有机热解气是浅表层天然气水合物藏的主要气源

气源是天然气水合物的关键成藏要素,不同成因类型的烃类气体具有不同的生成机制和运移聚集方式,直接影响了天然气水合物的成藏过程和分

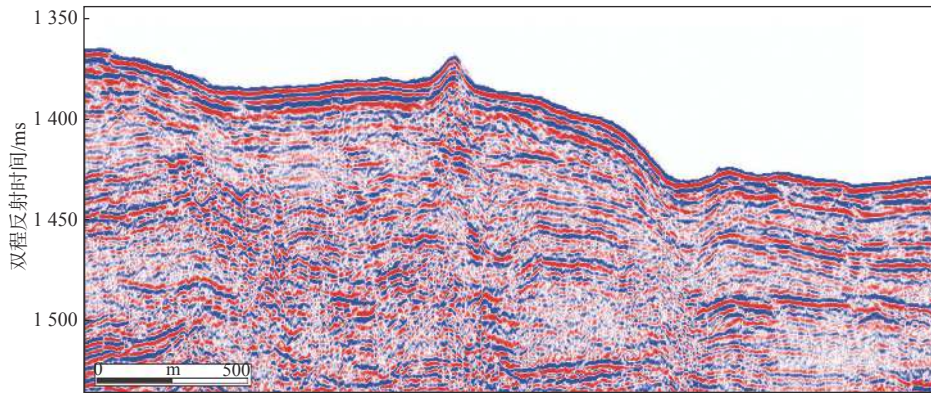


图1 泥火山构造

Fig.1 Mud volcano structure

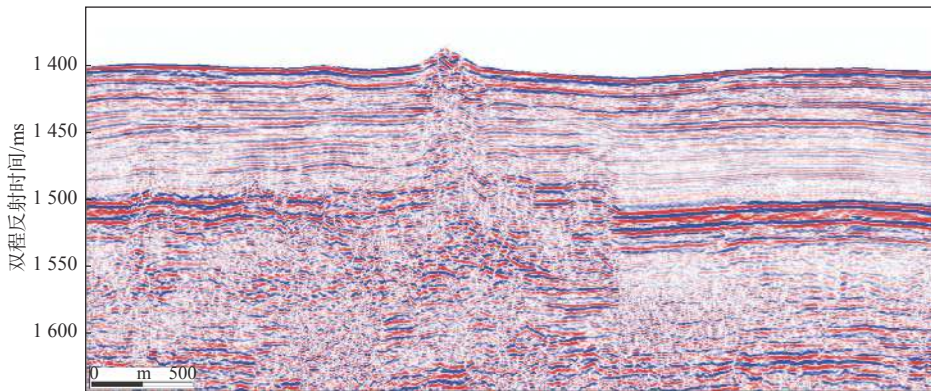


图2 气烟囱构造

Fig.2 Gas chimney structure

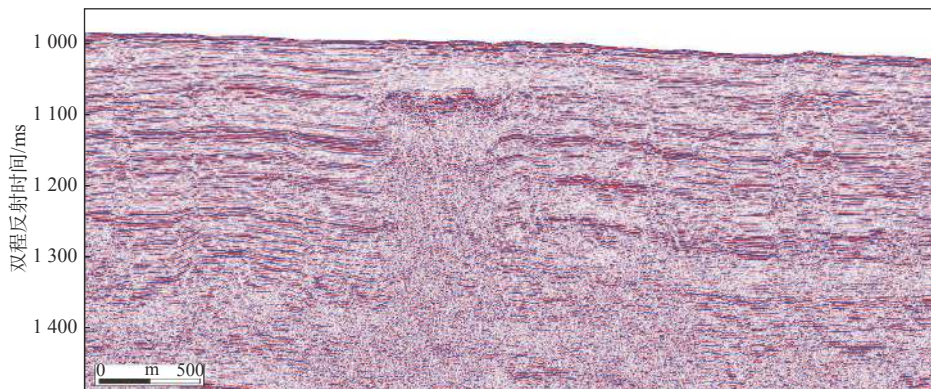


图3 泥底辟构造

Fig.3 Mud diapiric structure

布。气体的类型、来源及潜力,决定了天然气水合物藏的资源前景。

综合全球已发现的天然气水合物样品,通过分析沉积物孔隙水中和水合物分解的烃类气体成分和甲烷碳同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 组成,发现绝大多数表现为微生物气组成的特征,只有中国的南海、墨西哥湾、里海、黑海、加拿大马立克等少数地区的天然气水合物表现为热解气或混合气组成特征^[24-25]。

然而通过对水合物发现海域的沉积物中微生物生烃实验发现,单位微生物的生烃能力并不足以形成大规模具有资源前景的天然气水合物藏^[26]。同时,微生物生烃也存在明显的演化阶段,约 45~65 °C 为生气高峰阶段,对应高热流海区,主生气带介于 200~600 m,微生物生气最大下限深度在 800 m 左右。因此,天然气水合物藏深部气源是微生物成因的可能性较小,水合物样品大多数表现为生物成

因气特征的原因,可能与判定气源成因依据的同位素分馏作用有关。

同时,许多新发现的浅表层水合物,表现出从浅表层到深层,随深度增加甲烷气源呈现“生物成因-混合成因-热成因”的特征,揭示出表层天然气水合物以生物成因气为主;渗漏系统的浅表层天然气水合物藏以有机热解成因气为主,混以生物成因气;扩散系统的中深层天然气水合物藏以有机热解成因气为主。特别是对于渗漏系统的浅表层天然气水合物藏,深部的有机热解成因气以及水合物稳定带原地的生物成因气,对于形成厚层的天然气水合物都是必需的。

因此,天然气水合物分布区下伏的含油气盆地是天然气水合物藏形成的有利条件。目前全球发现渗漏系统天然气水合物藏的海区,如我国神狐海域、墨西哥湾、里海、黑海、日本海等,一般其深部均发育有成熟的含油气盆地^[27],烃源层广泛分布,并且干酪根发生过明确的生烃过程,形成的热解甲烷气通过断层、气烟囱等构造活动,从深部气源层向上覆地层运移,在温压场控制的适当区域形成天然气水合物藏。这也从另一方面说明,高热流环境更有利于干酪根热解生烃,深部流体更加活跃,造成部分发生快速沉积作用的年轻盆地达到生烃门限,从而成为渗漏系统浅表层天然气水合物成藏的有力海区。

5 结论

(1) 渗漏系统是海洋浅表层天然气水合物藏形成的主要模式,多在深海浅表层聚集形成致密的可视形态天然气水合物,海底表层通常伴有泥火山、冷泉群落生物和自生碳酸盐岩隆丘等建造,浅层多形成有底辟、气烟囱等构造。

(2) 高热流地质环境可以形成浅表层天然气水合物藏,无论扩散型还是渗漏型,天然气水合物的成藏过程均受温压场控制,在高热流地质环境中,深部高通量甲烷通过断层、气烟囱等破碎带垂向运移通道渗漏上升,在温压场控制的压力和温度相对较低相平衡地区,更容易形成浅表层天然气水合物藏。

(3) 浅表层天然气水合物藏赋存有多种构造样式,主动和被动大陆边缘均有发育的泥火山、气烟

囱、泥底辟、麻坑等特殊构造地质体,为天然气水合物聚集成藏提供了有利的构造环境。最典型的是泥火山型浅表层天然气水合物藏,往往呈泥火山群分布,垂向上多层水合物层相互叠加,即使遭受构造变动,在温压场控制的相平衡区域内也易于二次成藏。

(4) 有机热解成因气是浅表层天然气水合物藏的主要气源。从浅表层到深层,随深度增加甲烷气源呈现“生物成因-混合成因-热成因”的特征,揭示表层天然气水合物以生物成因气为主;渗漏系统的浅表层天然气水合物藏以有机热解成因气为主,混以生物成因气;扩散系统的中深层天然气水合物藏以有机热解成因气为主。因此,热流值较高海区发育有成熟的含油气盆地是浅表层天然气水合物藏形成的有利海域。

参考文献:

- [1] Matsumoto R, Kakuwa Yoshitaka, Snyder Glen T, et al. Occurrence and origin of thick deposits of massive gas hydrate, eastern margin of the Sea of Japan[C]//9th International Conference on Gas Hydrates. Denver, Colorado USA, 2017.
- [2] 闫桂京. 小道距高分辨率三维地震探测新技术助力海域天然气水合物勘查[J]. 海洋地质前沿, 2017, 33(1): 70.
- [3] 褚宏宪, 孙运宝, 秦 轲, 等. 小道距高分辨率多道地震对天然气水合物勘查的适用性[J]. 海洋地质前沿, 2015, 31(6): 50-54.
- [4] 邢 磊. 海洋小多道地震高精度探测关键技术研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.
- [5] 刘 斌, 李柯良, 杨 力, 等. 浅表层水合物多频率数据成像特征[J]. 海洋地质前沿, 2019, 35(7): 54-61.
- [6] Snyder G T, Sano Y, Takahata N, et al. Magmatic fluids play a role in the development of active gas chimneys and massive gas hydrates in the Japan Sea[J]. *Chemical Geology*, 2020: 535: 119462.
- [7] MacDonald I R, Guinasso Jr N L, Sassen R, et al. Gas hydrate that breaches the sea floor on the continental slope of the Gulf of Mexico[J]. *Geology*, 1994, 22: 699-702.
- [8] Brooks J M, Kennicutt II M C, Fay R R, et al. Thermogenic gas hydrates in the Gulf of Mexico[J]. *Science*, 1984, 225: 409-411.
- [9] 龚建明, 廖 晶, 尹维翰, 等. 北印度洋马克兰增生楔天然气水合物的成藏模式[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2018, 38(2): 148-155.
- [10] Brooks J. M, Cox H B, Bryant W R, et al. Association of gas hydrates and oil seepage in the Gulf of Mexico[J]. *Organic Geochemistry*, 1986, 10: 221-234.
- [11] Seol J, Lee H. Natural gas hydrate as a potential energy resource: From occurrence to production[J]. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 2013, 30: 771-786.
- [12] 栾锡武, 赵克斌, Obzhairov A, 等. 鄂霍次克海浅表层天然气水合物的勘查识别和基本特征[J]. 中国科学D辑: 地球科学, 2008, 38: 99-107.
- [13] Pape T, Patriziam G, Sebastian H, et al. Hydrocarbon seepage

- and its sources at mud volcanoes of the Kumano forearc basin, Nankai Trough subduction zone[J]. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 2014, 15: 2180-2194.
- [14] Lin Saulwood, Tseng Y T, Lien K L, et al. Gas hydrate and associated cold seep chemosynthesis community in back-arc basin, Okinawa trough, Northeastern Taiwan[C]// 9th International Conference on Gas Hydrate. Denver, Colorado USA, 2017.
- [15] Wang X J, Liu B, Qian J, et al. Geophysical evidence for gas hydrate accumulation related to methane seepage in the Taixinan Basin, South China Sea[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2018, 168: 27-37.
- [16] Milkov A V, Sassen R. Economic geology of offshore gas hydrates accumulations and provinces[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2002, 19(1): 1-11.
- [17] 刘杰, 杨睿, 张金华, 等. 琼东南盆地华光凹陷天然气水合物成藏条件及有利区带预测[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2019, 39(1): 134-142.
- [18] Tréhu A, Ruppel C, Holland M, et al. Gas hydrates in marine sediments: lessons from scientific drilling[J]. *Oceanography*, 2006, 19(4): 124-142.
- [19] Milkov A V. Worldwide distribution of submarine mud volcanoes and associated gas hydrates[J]. *Marine Geology*, 2000, 167(1/2): 29-42.
- [20] Ginsburg G D, Ivanov V L, Soloviev V A. Natural gas hydrates of the world's oceans[C]// *Oil and Gas Content of the World's Oceans*. PGO Sevmorgeologia, 1984: 141-158.
- [21] Ginsburg G D, Kremlev A N, Grigor'ev M N, et al. Filitrogenic gas hydrates in the Black Sea (twenty-first voyage of the research vessel Evpatoria)[J]. *Sov. Geol. Geophys.*, 1990, 31: 8-16.
- [22] 梁杰, 龚建明, 陈建文. 泥火山与天然气水合物[J]. *海洋地质动态*, 2006, 22(12): 20-23.
- [23] Ginsburg G D, Milkov A V, Soloviev V A, et al. Gas hydrate accumulation at the Håkon Mosby mud volcano[J]. *Geo-Marine Letters*, 1999, 19: 57-67.
- [24] Zhang W, Liang J Q, Wei J G, et al. Origin of natural gases and associated gas hydrates in the Shenhu area, northern South China Sea: Results from the China gas hydrate drilling expeditions[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2019, 183: 103953.
- [25] 赖亦君, 杨涛, 梁金强, 等. 南海北部陆坡珠江口盆地东南海域GMGS2-09井孔隙水地球化学特征及其对天然气水合物的指示意义[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2019, 39(3): 135-142.
- [26] 沙志彬, 许振强, 付少英, 等. 珠江口盆地东部海域天然气水合物成藏气源特征探讨[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2019, 39(4): 116-125.
- [27] 谢瑞, 耶黛黛, 孙甜甜, 等. 南海北部神狐海域水合物赋存层位古环境和古生产率[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 2019, 39(2): 134-145.

CHARACTERISTICS OF SHALLOW GAS HYDRATES ACCUMULATION IN THE SEA

CAI Feng^{1,2}, WU Nengyou^{1,2*}, YAN Guijing^{1,2}, LI Qing^{1,2}, LIANG Jie^{1,2}, SUN Yunbao^{1,2},
DONG Gang^{1,2}, LUO Di^{1,2}, LI Ang^{1,2}, WANG Xingxing^{1,2}

(1 Key Laboratory of Gas Hydrate of Ministry of Natural Resources, Qingdao Institute of Marine Geology, China Geological Survey, Qingdao 266071, China; 2 Laboratory for Marine Mineral Resources, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071, China)

Abstract: Based on the migration ways of the gas responsible for the gas-hydrate formation, the leaking-type accumulation system is the major model for the formation of the shallow gas-hydrate reservoirs, and it would be influenced by multiple critical controlling factors including temperature-pressure field, gas source, et al. The temperature-pressure field mainly influences the gas-hydrate distribution in plane view and vertical section. The area with low heat flow is favorable for the formation of gas hydrates, while the deep-sea area with very high heat flow and high-flux methane can also deposit dense, thick-bedded (up to several meters) shallow gas-hydrate if there are abundant gas supply, and this type of gas-hydrate reservoirs are generally accompanied with special geological bodies, such as mud volcanoes and gas chimneys. The gas responsible for the shallow gas-hydrate formation is dominated by organic pyrolysis gas, since shallow gas-hydrate reservoirs are generally presented above mature oil- and gas-bearing basins, in which source rocks are widespread and characterized by the kerogen having defined hydrocarbon generation processes, and the generated pyrolysis methane would migrate upwards along the broken zones like faults, gas chimneys, and then form gas-hydrate at the shallow layers where temperature-pressure fields are appropriate for the gas-hydrate deposition, thus the deep-sea basin with very high flow can also be favorable for the formation of the shallow gas hydrates.

Key words: shallow gas hydrate; high heat flow; temperature-pressure field; thermogenic gas