

不同因素对天然气水合物稳定带厚度的影响

许 威^{1,2}, 邱楠生^{1,2}, 孙长宇³, 陈光进³

(1. 中国石油大学(北京)油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249;

2. 中国石油大学(北京)盆地与油藏研究中心, 北京 102249;

3. 中国石油大学(北京)化学科学与工程学院, 北京 102249)

摘要:天然气水合物在未来能源、自然环境和灾害等方面具有重要的研究意义,天然气水合物稳定带厚度用来表示水合物发育与分布的可能范围,与地温梯度、海水深度和海底温度等参数密切相关。根据 Dickens 和 Quinby 相平衡公式,定量计算了不同地温梯度、海水深度和海底温度参数下的水合物稳定带厚度。在保证其中 2 个参数不变的情况下,天然气水合物稳定带厚度随地温梯度增加而有规律的递减,随海水深度增加不断增加,随海底温度增加水合物稳定带厚度降低并且呈良好的线性关系。海底温度不变条件下,水合物稳定带厚度从地温梯度大、水深浅的区域,向地温梯度小、水深较深的区域不断增大。海底深度不变时,从地温梯度大、海底温度高的区域到地温梯度小、海底温度低的区域,水合物稳定带厚度不断增大。此外,讨论了基于 Dickens 和 Quinby、Brown 及 Peltzer 和 Brewer 等 3 种相平衡公式计算水合物稳定带厚度的差异,根据 Dickens 和 Quinby 相平衡公式计算的水合物稳定带厚度最大,其他相平衡公式计算的水合物稳定带厚度相对较小。

关键词:天然气水合物;稳定带厚度;相平衡

中图分类号:TE132

文献标识码:A

文章编号:1672-1926(2010)03-0528-07

0 引言

天然气水合物(Natural Gas Hydrate,简称 Gas Hydrate),它是在一定条件下(合适的温度、压力、气体饱和度及水的盐度等)由水和天然气组成的冰状笼形结晶化合物^[1]。形成天然气水合物的主要气体为甲烷,甲烷分子含量超过 99%的天然气水合物通常称为甲烷水合物(Methane Hydrate)。天然气水合物的结构类型有: I 型、II 型、H 型和一种新型的水合物(由生物分子和水分子生成)^[2]。

天然气水合物主要发育在具备水合物生成的温压、气源等条件的海洋沉积层中和极地地区^[3-5]。在标准状况下,一单位体积的天然气水合物分解可释放 164 单位体积的甲烷气体^[6]。由于其自身的特殊性,天然气水合物引起人们多方面的关注。面对全球不断加剧的能源危机,天然气水合物可能成为未来常规能源的替代物^[7]。天然气水合物也引起了地

质学家的注意,因为其可能是海底滑坡的诱因,大陆边缘斜坡稳定性受边缘沉积物空隙中水合物的影响^[8-10]。另外,水合物藏中大量的甲烷释放可能改变大气的组成,从而影响全球气候的变化^[1, 6, 10]。

由于水合物在一定温度和压力条件下才能稳定存在,所以研究水合物发育区的压力、温度、地温梯度、导热率及热流等参数,可以预测水合物赋存范围^[11]。水合物形成的温度和压力条件限定的范围即天然气水合物稳定带(Gas Hydrate Stability Zone),其控制着水合物纵向上和横向上的分布范围以及水合物藏资源潜力的大小。因而水合物稳定带厚度可用于预测目标区水合物资源量,在天然气水合物资源评估中具有重要意义^[12]。

本文主要根据 Dickens 和 Quinby 的甲烷水合物相平衡公式^[13]计算水合物稳定带厚度。利用不同的地温梯度、海水深度和海底温度等参数计算水合物稳定带厚度,分析各参数对水合物稳定带厚度

的影响。同时,讨论了不同水合物相平衡公式计算水合物稳定带厚度时的差异。

1 水合物稳定带厚度计算及其影响因素

一般计算天然气水合物稳定带厚度是通过水合物相平衡公式结合地温梯度公式得到的(图1)。图1是天然气水合物稳定带的温度压力相图,相边界(实线)和温度变化曲线(虚线)包围的范围 $\triangle OBC$ 具备形成甲烷水合物的温压条件。海水环境中,由于甲烷水合物结晶密度低于水的密度,因此,在海水中 $\triangle ABC$ 范围内形成的水合物将会上浮发生溶解。而在 $\triangle ABO$ 区域沉积物中形成的天然气水合物束缚在沉积物中,在一定条件下形成水合物藏。在海底以下的沉积地层中温度梯度曲线与水合物相边界交与 O 点,从海底到该交点即为水合物稳定带厚度 H 。

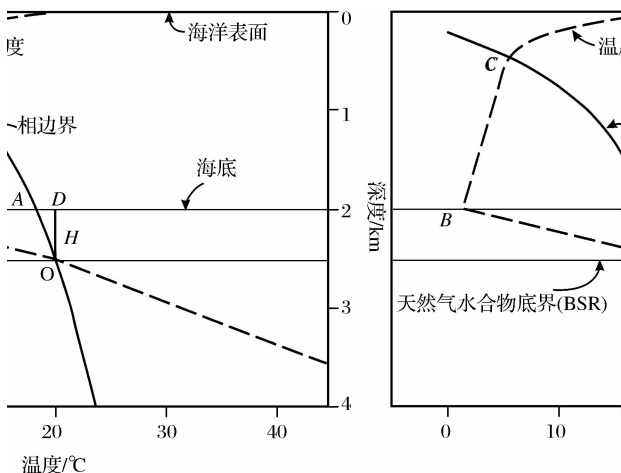


图1 海水中温度(T)和压力(P)控制的甲烷水合物稳定带
(据 Dillon 和 Max^[14], 修改)

Dickens 和 Quinby^[13]第一次测量了甲烷水合物在海水中的稳定性,并得到下面的甲烷水合物稳定存在的温度—压力线性方程:

$$1/T = 3.79 \times 10^{-3} - 2.83 \times 10^{-4} \log_{10} P \quad (1)$$

式中: T 为温度,K; P 为压力,MPa。

水深和压力转换的计算公式为:

$$P = \rho \times g \times D \quad (2)$$

式中: P 为压力,kPa; D 为海水深度,m; ρ 为海水密度, $1\,035\text{ kg/m}^3$; g 为重力加速度, 9.8 m/s^2 。

地温梯度计算公式如下:

$$G = (T - T_0)/(D - D_0) \quad (3)$$

式中: G 为地温梯度, $^{\circ}\text{C/m}$; T_0 、 D_0 分别为海底温度($^{\circ}\text{C}$)和海底深度(m); T 、 D 分别为求取的某点温度($^{\circ}\text{C}$)和深度(m)。

如果海底温度处于水合物稳定带温度范围内,

则温度曲线和水合物相平衡曲线存在交点。通过计算该交点处的深度,进而求取水合物稳定带的厚度。

根据前人^[5, 7, 15-20]研究,影响天然气水合物稳定带的因素主要是水深、海底温度、压力、沉积物中的地温梯度、孔隙流体盐度和天然气组成等。

在大洋钻探计划(Ocean Drilling Program)中,已经证实全球多数地区均有水合物存在。通过对已证实地区的资料分析,确定了影响水合物稳定带的水深、海底温度和地温梯度等参数的大小范围,后期水合物稳定带厚度计算中依此为限制范围(图2)。从图2a可以看出,证实有水合物存在地区的海水深度跨度较大,0~5 000 m范围内各个深度段均可发育水合物。146航次水深最小,为670 m;最大水深是112航次,为5 093 m。图2b是ODP各航次中证实水合物存在地区的海底温度,主要分布范围为1~5 $^{\circ}\text{C}$,688A站位最低为1.7 $^{\circ}\text{C}$,1249C站位海底温度最高达到4.3 $^{\circ}\text{C}$ 。图2c是ODP各航次中证实水合物存在地区的地温梯度,主要分布范围为30~60 $^{\circ}\text{C/km}$,最低值是890B站位17 $^{\circ}\text{C/km}$,最大值为888B站位68 $^{\circ}\text{C/km}$ 。

2 不同因素对水合物稳定带厚度的影响

影响水合物稳定带厚度的因素较多,本文主要从地温梯度、海水深度和海底温度3个方面分析其对水合物稳定带厚度的影响。同时,讨论了3个因素对水合物稳定带厚度的共同作用。研究中主要是利用Dickens 和 Quinby的水合物相平衡公式进行计算水合物稳定带厚度。

2.1 地温梯度对稳定带厚度的影响

假设海水深度为1 500 m,海底温度为3 $^{\circ}\text{C}$,并保持这2个参数不变,选取不同的地温梯度,得到天然气水合物稳定带厚度的计算结果(图3)。计算结果显示,在保持水深和海底温度不变的条件下,天然气水合物稳定带的厚度随地温梯度的增加而减薄。地温梯度为20 $^{\circ}\text{C/km}$ 时,天然气水合物稳定带底界深度为2 410 m,计算得到稳定带厚度为910 m。地温梯度升高到40 $^{\circ}\text{C/km}$ 时,稳定带底界深度变为1 891 m,稳定带厚度迅速降低到391 m。地温梯度为60 $^{\circ}\text{C/km}$ 时,相应的底界深度为1 746 m,稳定带厚度变为246 m。

在相同的海水深度(1 500 m)和海底温度(3 $^{\circ}\text{C}$)条件下,地温梯度和水合物稳定带厚度存在一定的关系(图3b)。天然气水合物稳定带厚度随地温梯度增加发生有规律的递减。地温梯度处于20~40 $^{\circ}\text{C/km}$

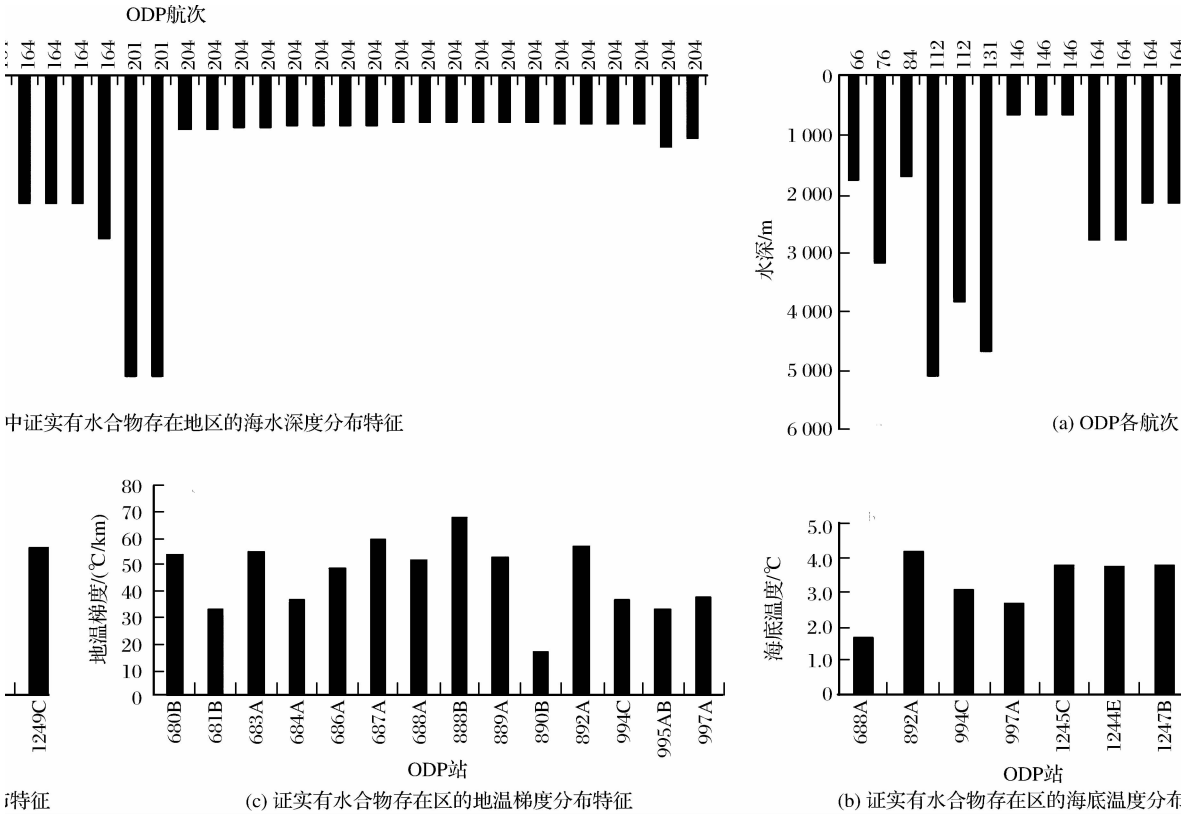


图 2 水合物稳定带的影响因素在已证实水合物存在地区的分布特征 (数据来源于 ODP 网站)

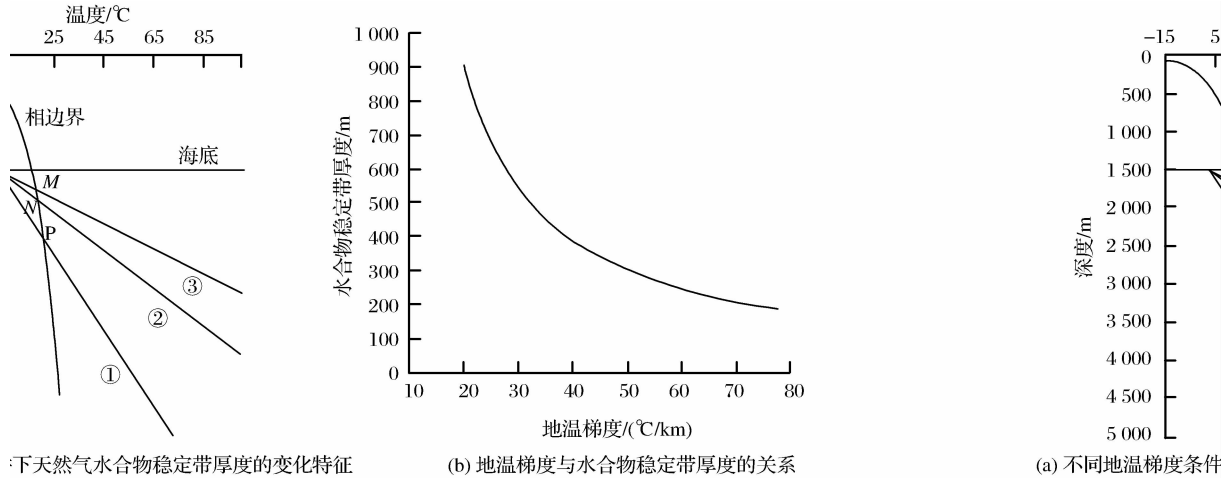


图 3 地温梯度对天然气水合物稳定带厚度的影响(海底温度为 3℃,海水深度为 1 500 m)

①、②、③是不同的地温梯度曲线,分别为 20℃/km、40℃/km 和 60℃/km。M、N、P 是地温梯度曲线与水合物相边界交点,代表水合物稳定带的底界,交点到海底的深度即为水合物稳定带厚度,分别为 246 m、391 m 和 910 m

范围内时,水合物稳定带的厚度发生锐减;在 40~80℃/km 的范围内,水合物稳定带厚度减薄较小。

2.2 海水深度对稳定带厚度的影响

海底温度(3℃)和地温梯度(40℃/km)参数保持不变的条件下,分别计算了海水深度为 1 000 m、3 000 m 和 5 000 m 的水合物稳定带厚度(图 4)。

图 4a 中 M 点是海水深度为 1 000 m 时,地温梯度曲线与水合物相边界的交点,即为水合物稳定

带底界深度,对应的水合物稳定带厚度为 292 m。N 点是海水深度为 2 000 m 时的水合物稳定带底界,水合物稳定带的厚度是 460 m。P 点是海水深度为 3 000 m 时的水合物稳定带底界,为 3 560 m,水合物稳定带厚度为 560 m。总体上,天然气水合物稳定带厚度随海水深度增加呈逐渐增加的趋势(图 4b)。在 500~1 200 m 的深度范围内,水合物稳定带厚度呈快速增加趋势。水深大于 1 200 m 后,

稳定带厚度增加渐趋线性规律增长。

2.3 海底温度对厚度的影响

在海底温度与水合物稳定带厚度关系的计算中,将海水深度设置为 500 m,地温梯度为 30℃/km,根据已经证实水合物存在地区的海底温度,分别选取 2℃、4℃和 6℃计算水合物稳定带厚度(图 5)。当海底温度设为 2℃时,地温梯度曲线与水合物相边界的交点(P),对应的水合物稳定带底界

深度为 736 m,水合物稳定带厚度为 236 m。同样,海底温度升为 4℃,得到水合物稳定带厚度是 107 m。海底温度达到 6℃,超出该深度条件下水合物稳定带的范围,与海底交与 M 点,不能形成水合物。所以,海底温度对水合物稳定带有重要的影响,海底温度微小的变化都可以影响水合物的生成范围。如果海底温度在水合物稳定带范围内,则在地层中可以形成水合物,否则不会形成水合物。总体上,随着海底

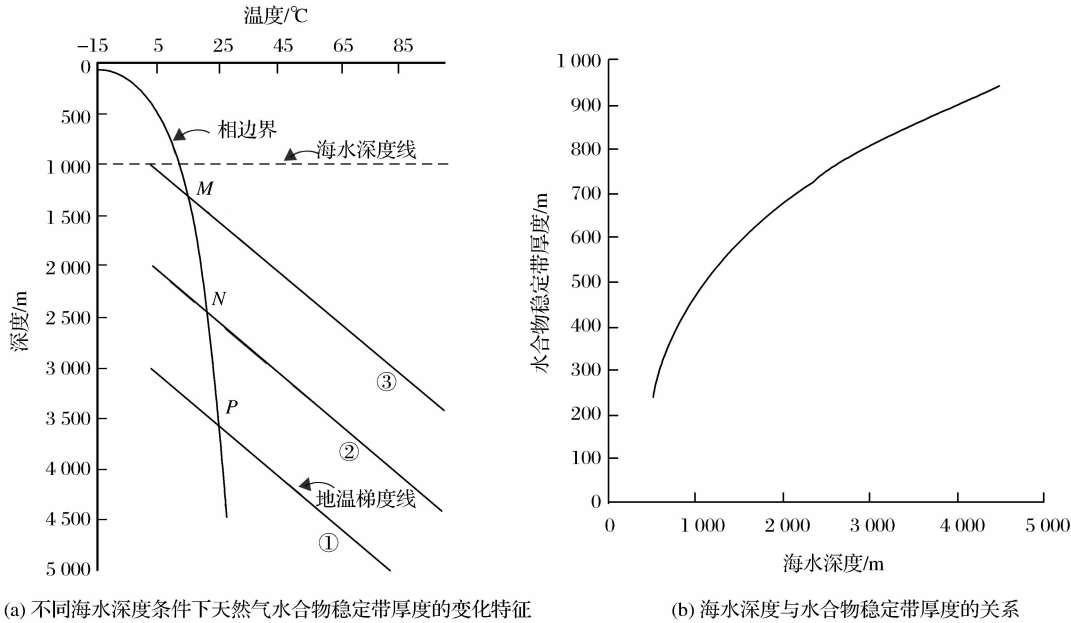


图 4 海水深度对天然气水合物稳定带厚度的影响(地温梯度 40℃/km,海底温度 3℃)

M、N、P 3 个交点是海水深度分别为 1 000 m、2 000 m 和 3 000 m 条件下,地温梯度曲线与水合物相边界的交点,计算的水合物稳定带厚度分别为 292 m、460 m 和 560 m

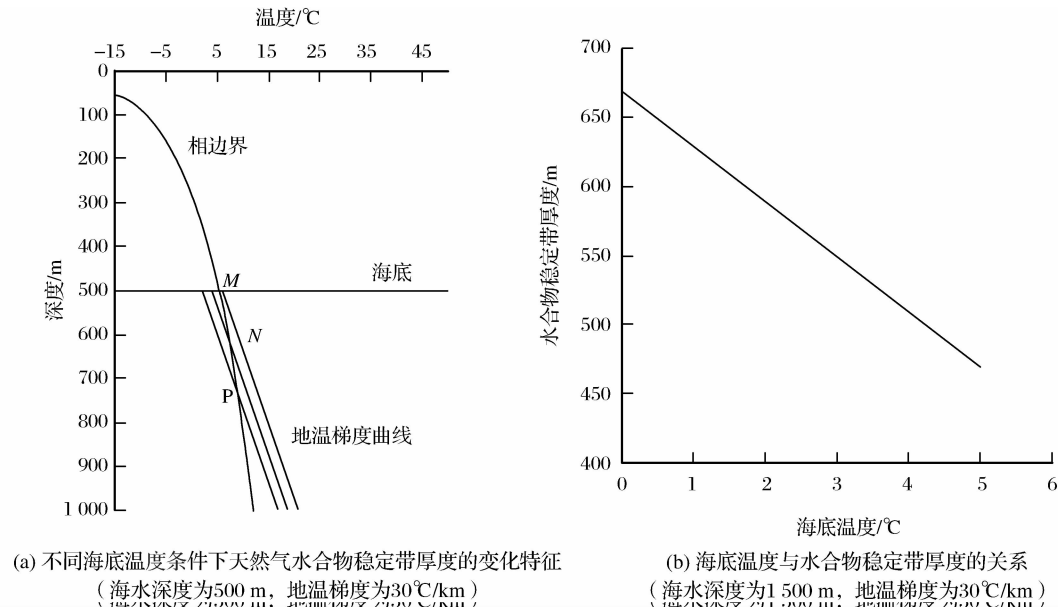


图 5 海底温度对天然气水合物稳定带厚度的影响

M 是地温梯度曲线与海底交点,水合物稳定带厚度为 0 m。N、P 是海底温度分别为 4℃和 2℃时,地温梯度曲线与水合物相边界交点,水合物稳定带厚度为 107 m 和 236 m

温度增加,水合物稳定带厚度降低,呈良好的线性关系(图 5b)。

2.4 综合因素对水合物稳定带厚度的影响

综合考虑上述因素,将地温梯度结合水深、海底温度参数计算水合物稳定带厚度(图 6)。

图 6a 是水合物稳定带厚度与地温梯度和水深之间的变化关系,假设海底温度为 2℃,并保持不变。水深分别选取 1 500 m、2 000 m 和 3 000 m 时,水合物稳定带厚度随地温梯度增加情况。从图中可以看出,地温梯度小、水深深的情况下,计算的水合物稳定带厚度最大;地温梯度大、水深浅,计算的水

合物稳定带厚度最小。总体趋势,水合物稳定带厚度从地温梯度大、水深浅的区域,向地温梯度小、水深深的区域不断增大。

图 6b 是水合物稳定带厚度与地温梯度和海底温度之间的变化关系。假设海水深度为 2 000 m 并保持不变,海底温度分别选取 2℃、4℃和 6℃时,水合物稳定带厚度随地温梯度变化关系。地温梯度小、海底温度低时所计算的水合物稳定带厚度最大;地温梯度大、海底温度高,水合物稳定带厚度最小。总体趋势,水合物稳定带厚度从地温梯度大、海底温度高的区域向地温梯度小、海底温度低的区域不断增大。



图 6 综合因素对水合物稳定带厚度的影响

表 1 利用不同公式计算得到 ODP164 航次中 994C、995AB 和 997A 站位的水合物稳定带厚度

位置	海水深度/m	海底温度/℃	地温梯度 (℃/km)	Z1/m (Dickens 和 Quinby)	Z2/m (Brown)	Z3/m (Peltzer 和 Brewer)
164-994C	2 799.1	3.1	37.4	581.7	498.9	458.9
164-995AB	2 778.5	3.0	33.1	668.6	571.9	524.8
164-997A	2 770.1	2.7	37.8	583.8	502.6	463.5

3 讨论

上述计算水合物稳定带厚度的水合物相平衡公式采用的是 Dickens 和 Quinby^[13] 的公式,Brown 等^[21]、Peltzer 和 Brewer^[22] 在该相平衡公式基础上进行了改进,得到不同的相平衡公式(式 4、式 5)。那么,不同的相平衡公式计算的水合物稳定带厚度是否存在差异? Brown 等根据 Dickens 的数据得到了以下方程:

$$T = 11.726 + 20.5 \times \log_{10} D - 2.2 \times (\log_{10} D)^2 \quad (4)$$
式中: T 为温度, K; D 为海水深度, km。

Peltzer 和 Brewer 在 Dickens 的实验数据基础上获得二次多项式方程:

$$1/T = 3.83 \times 10^{-3} - 4.09 \times 10^{-4} \log_{10} P + 8.64 \times 10^{-5} (\log_{10} P)^2 \quad (5)$$

式中: T 为温度, K; P 为压力, MPa。

ODP164 航次中 994C、995AB 和 997A 站位均见水合物,利用 3 个站位中的水深、海底温度和地温梯度数据(数据来源于 ODP 网站),分别依据 Dickens 和 Quinby、Brown 等及 Peltzer 和 Brewer 3 种相平衡公式计算 3 个站位的水合物稳定带厚度(表 1)。从表中可以看出,3 个站位中 995AB 稳定带厚

度最大,994C 和 997A 稳定带厚度基本一致。从 3 个公式的计算结果来看,基于 Dickens 和 Quinby 相平衡公式计算的水合物稳定带厚度最大,基于 Brown 等的相平衡公式计算结果次之,Peltzer 和 Brewer 的相平衡公式得到的结果最小。

另外,为对比大范围内基于 3 个公式计算结果的差异。我们假设海底温度为 3℃,地温梯度为 30℃/km 的参数条件下,分别利用 Dickens 和 Quinby、Brown 等及 Peltzer 和 Brewer 3 种相平衡公式计算了不同海水深度条件下不同相平衡公式的水合物稳定带厚度(图 7)。

从图 7 可以看出,各相平衡公式计算的水合物稳定带厚度均随水深增加而增加,但是增加的幅度不同。总体上 Dickens 和 Quinby 相平衡公式计算的厚度最大,Brown 等、Peltzer 和 Brewer 相平衡公式计算的厚度较小,在 1 000 m 水深以上,Brown 等的公式计算的厚度小于 Peltzer 和 Brewer 公式的计算结果,在 1 000 m 以下,计算的结果相反。在 700 m 水深以上,3 个公式模拟计算的厚度差异不大,在 700 m 处,Dickens 和 Quinby 及 Peltzer 和 Brewer 2 个公式计算结果之间厚度差为 3 m;在 700 m 水深以下,计算的水合物稳定带厚度差异随水深增加不断增大,在 4 100 m 处,两者结算结果之间厚度差异达到 233 m。



图 7 不同深度条件下各相平衡公式对应的天然气水合物稳定带厚度变化趋势
A、B、C 分别表示 Dickens 和 Quinby^[13]、Brown 等^[21]、Peltzer 和 Brewer^[22]的相平衡公式计算的水合物稳定带厚度曲线

4 结论

本文根据 Dickens 和 Quinby 相平衡公式,计算了不同地温梯度、海水深度和海底温度条件下的水合物稳定带厚度,分析了各个参数对水合物稳定带厚度的影响以及多个参数对水合物稳定带厚度的共同影响,并得出以下结论:

(1)天然气水合物稳定带厚度随地温梯度增加而有规律的递减。水合物稳定带厚度随水深增加呈不断增加趋势。海底温度增加,水合物稳定带厚度降低,呈良好的线性关系。

(2)海底温度不变条件下,水合物稳定带厚度从地温梯度大、水深浅的区域,向地温梯度小、水深较深的区域不断增大。海底深度不变时,从地温梯度大、海底温度高的区域,向地温梯度小、海底温度低的区域,水合物稳定带厚度不断增大。

(3)不同水合物相平衡公式计算的水合物稳定带厚度存在差异。根据 Dickens 和 Quinby 相平衡公式计算的水合物稳定带厚度最大,Brown 等及 Peltzer 和 Brewer 相平衡公式计算的水合物稳定带厚度相对较小,在海水深度小于 1 000 m 时,Brown 等的公式计算的厚度小于 Peltzer 和 Brewer 公式计算的厚度,当深度大于 1 000 m 时,计算的结果相反。

参考文献:

[1] Sloan E D, Koh C A. Overview and historical perspective [M]//Sloan E D, Koh C A. Clathrate Hydrates of Natural Gases, 3rd Edition. Boca Raton, London: CRC Press, 2007: 1-29.

[2] Udachin K A, Ripmeester J A. A complex clathrate hydrate structure showing bimodal guest hydration[J]. Nature, 1999, 397: 420-423.

[3] Matsumoto R, Uchida T, Waseda A, *et al.* Occurrence, structure and composition of natural gas hydrate recovered from the Blake Ridge, northwest Atlantic[R]. Proceedings of Ocean Drill Program Science Results, 2000, 164: 13-28.

[4] Kvenvolden K A, Lorenson T D. The global occurrence of natural gas hydrates[J]. American Geophysical Union, 2001, (124): 3-18.

[5] Fan Shuanshi, Liu Feng, Chen Duofu. The research of the origin mechanism of marine gas hydrate[J]. Natural Gas Geoscience, 2004, 15(5): 524-530. [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.]

[6] Kvenvolden K A. Gas hydrates geological perspective and global change[J]. Reviews of Geophysics, 1993, 31(2): 173-187.

[7] Max M D, Johnsen H K, Dillon W P. Why gas hydrate? [M]//Max M D, Johnsen H K, Dillon W P, ed. Economic Geology of Natural Gas Hydrate. Berlin: Springer, 2006: 17-44.

[8] Paull C K, Normark W R, Ussler W, *et al.* Association among active seafloor deformation, mound formation, and gas hydrate growth and accumulation within the seafloor of the Santa Monica basin, offshore California[J]. Marine Geology, 2008, 250(3/4): 258-275.

[9] Sultan N, Cochonat P, Foucher J P, *et al.* Effect of gas hydrates melting on seafloor slope instability[J]. Marine Geolo-

- gy, 2004, 213: 379-401.
- [10] Xu Wenshi, Yu Xinghe, Liu Nina, *et al.* The development perspective and environmental problems of nature gas hydrates [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2005, 16(5): 680-683. [徐文世, 于兴河, 刘妮娜, 等. 天然气水合物开发前景和环境问题[J]. *天然气地球科学*, 2005, 16(5): 680-683.]
- [11] Wang Hongbin, Liang Jin, Gong Yuehua, *et al.* Estimation of the heat flow in the northern of the South China Sea based on the seismic data of gas hydrate [J]. *Geoscience*, 2005, 19(1): 67-73. [王宏斌, 梁劲, 龚跃华, 等. 基于天然气水合物地震数据计算南海北部陆坡海底热流[J]. *现代地质*, 2005, 19(1): 67-73.]
- [12] Xu W, Ruppel C. Predicting the occurrence, distribution, and evolution of methane gas hydrate in porous marine sediments [J]. *Geophysical Research*, 1999, 104(B3): 5081-5095.
- [13] Dickens G R, Quinby H M S. Methane hydrate stability in seawater [J]. *Geophysical Research Letters*, 1994, 21(19): 2115-2118.
- [14] Dillon W P, Max M D. Oceanic gas hydrate [M]//Max M D. *Natural Gas Hydrate in Oceanic and Permafrost Environments*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003: 61-63.
- [15] Handa Y P. Effect of hydrostatic pressure and salinity on the stability of gas hydrates [J]. *Journal of Physical Chemistry*, 1990, 94: 2652-2657.
- [16] Dickens G R, Quinby H M S. Methane hydrate stability in pore water: A simple theoretical approach for geophysical applications [J]. *Journal of Geophysical Research-Solid Earth*, 1997, 102(B1): 773-784.
- [17] Zatsepina O Y, Buffett B A. Phase equilibrium of gas hydrate: Implications for the formation of hydrate in the deep sea floor [J]. *Geophysical Research Letters*, 1997, 24(13): 1567-1570.
- [18] Bishnoi P R, Dholabhai P D. Equilibrium conditions for hydrate formation for a ternary mixture of methane, propane and carbon dioxide, and a natural gas mixture in the presence of electrolytes and methanol [J]. *Fluid Phase Equilibria*, 1999, 160: 821-827.
- [19] Wang Shuhong, Song Haibin, Yan Wen. The change of external conditions effects on the phase equilibrium curve of gas hydrate and the thickness of hydrate stability zone [J]. *Progress in Geophysics*, 2005, 20(3): 761-768. [王淑红, 宋海斌, 颜文. 外界条件变化对天然气水合物相平衡曲线及稳定带厚度的影响[J]. *地球物理学进展*, 2005, 20(3): 761-768.]
- [20] Jin Chunshuang, Wang Jiyang, Zhang Guangxue. Factors affecting natural gas hydrate stability zone in the South China Sea [J]. *Mineral Deposits*, 2005, 24(4): 388-397. [金春爽, 汪集畅, 张光学. 南海天然气水合物稳定带的影响因素[J]. *矿床地质*, 2005, 24(4): 388-397.]
- [21] Brown K M, Bangs N L, Froelich P N, *et al.* The nature, distribution, and origin of gas hydrate in the Chile Triple Junction region [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1996, 139(3/4): 471-483.
- [22] Peltzer E T, Brewer P G. Practical chemistry and empirical Predictions of methane hydrate stability [M]//Max M D. *Natural Gas Hydrate in Ocean and Permafrost Environments*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003: 17-28.

Different Factors on the Thickness of Gas Hydrate Stability Zone

XU Wei^{1,2}, QIU Nan-sheng^{1,2}, SUN Chang-yu³, CHEN Guang-jin³

(1. State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

2. Research Center for Basin and Reservoir, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

3. Faculty of Chemical Science and Engineering, China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstract: Gas hydrate has important research significances in future energy, natural environment and disaster. The thickness of gas hydrate stability zone (GHSZ) shows the possible range of hydrate development and distribution. It is greatly related with geothermal gradient, sea bottom temperature and water depth. Based on hydrate phase equilibrium formula of Dickens and Quinby, we quantitatively calculated the thickness of GHSZ in different conditions of geothermal gradient, water depth and sea bottom temperature. When the two parameters in three parameters are assumed unchanged, the thickness of GHSZ decreases with the increase of geothermal gradient regularly, the thickness of GHSZ increase with water depth, and the thickness of GHSZ decrease with increasing of sea bottom temperature as a good liner relationship. If the temperature of the sea bottom is a constant, the thickness of GHSZ will increase gradually from the regions with the larger geothermal gradient and shallower water depth to the smaller geothermal gradient and deeper water depth. If the water depth is unchanged, the thickness of GHSZ will increase gradually from the region with the larger geothermal gradient and higher sea bottom temperature to the smaller geothermal gradient and lower temperature. In addition, we also discussed the differences among the three hydrate phase equilibrium formulas for calculating the thickness of GHSZ. The maximize result of GHSZ thickness was gotten by Dickens-Quinby's phase equilibrium formula gets, and the smaller values was done by the two others.

Key words: Gas hydrate; Hydrate stability zone thickness; Phase equilibrium.