

天然气水合物稳定带顶界面确定研究进展^{*}

黄国成^{1a}, 庄新国^{1b}, 吕万军^{1b}, 郭依群², 王宏斌²

(1. 中国地质大学 a. 研究生院; b. 资源学院, 武汉 430074; 2. 广州海洋地质调查局, 广州 510760)

摘要: 天然气水合物稳定带的顶、底界面在空间上限制了天然气水合物在自然界中的实际分布, 同时也是进行天然气水合物资源评价的基础, 对了解其成矿规律、指导勘探开发具有重要意义。确定天然气水合物稳定带顶界面的方法主要有3种: 利用理论模型模拟的方法; 利用地球化学异常的方法; 利用地球物理资料的方法, 其中第一种方法比较粗略, 后两种方法比较精确, 但在数据处理上的难度较大。

关键词: 天然气水合物; 顶界面; 稳定带; 资源评价

中图分类号: P618.13; TE122

文献标识码: A

文章编号: 1000-7849(2007)04-0057-06

估算海底天然气水合物中的甲烷资源量一般均考虑天然气水合物分布的面积、天然气水合物稳定带(HSZ)的厚度、沉积层的孔隙度、天然气水合物在孔隙中的浓度以及天然气水合物分解甲烷的膨胀系数等因子, 因此天然气水合物稳定带的厚度在天然气水合物资源评估中具有重要的意义^[1-2]。这里所说的天然气水合物稳定带是指天然气水合物稳定存在的区域, 即天然气水合物实际赋存的区带。目前, 对海域天然气水合物稳定带顶、底界面深度的预测分为理论模型计算和实际测量两种情况。多数情况下天然气水合物稳定带底界面的深度一般由似海底反射面(BSR)的位置来界定。但由于目前对天然气水合物的生成、聚集、保存和分解散失等成藏规律和物理化学条件尚缺乏足够的认识, 因此, 天然气水合物稳定带顶、底界面的深度和稳定带厚度的预测仍存在较大的不确定性, 其中对天然气水合物稳定带顶界面的确定尤为困难。对于天然气水合物稳定带底界面的确定主要采用BSR的识别和建立天然气水合物温压曲线模型来界定^[3-9]。而以BSR为稳定带底界面的充分条件是天然气水合物稳定带下方甲烷的供给速率必须超过某一临界值, 否则在BSR和天然气水合物稳定带实际底界面之间存在一个既无天然气水合物也无游离气的隔离带^[10-11]。相对于天然气水合物稳定带顶界面的确定, 其底界面的确定要成熟得多。

预测天然气水合物稳定带顶界面的方法目前主要有以下几种: 利用 Xu 等^[1] 基于前人的研究成果和 ODP164 航次布莱克海台数据建立的天然气水合物稳定带顶、底界面深度预测的理论模型进行模

拟的方法。利用孔隙水的氯离子饱和度和(¹⁸O)值等地球化学异常来综合判断天然气水合物稳定带顶界面的方法。例如: 中美洲海槽在 DSDP496, 497, 568 站位以及秘鲁海沟斜坡 ODP668 站位即是利用此方法来确定天然气水合物的顶界面。利用地球物理数据, 包括地震数据的方法, 主要是综合运用波形反演、AVO 反演、油藏储层预测技术(如神经网络预测地层参数、振幅拟合预测储集层厚度)、空白带直观识别和精细速度分析等多种方法来确定, 而波形反演技术起关键作用^[12-14]。笔者拟概述目前世界上几个已经发现和推测可能存在天然气水合物的稳定带顶界面的确定方法。

1 利用理论模型模拟的方法

由于天然气水合物形成于一定的温压条件下, 因此当某个地区的温度和压力都达到了这个条件时, 那么只要该地区有足够的气源供给就有可能形成天然气水合物, 此外在天然气水合物的形成过程中还受到沉积物粒度(孔隙半径)、孔隙流体盐度、杂质气体类型与含量等因素的影响。据此可以根据由某一地区的温压条件所建立的理论模型来简单地确定天然气水合物稳定带的边界。

Majorowicz 等^[15] 分析了 Beaufort-Mackenzie 地区 150 口井的地质和地球物理资料, 重新确定了该区天然气水合物稳定带的深度, 并首次绘制了天然气水合物稳定带的厚度等高线图和冻土带之下天

^{*} 收稿日期: 2006-11-04

编辑: 禹华珍

基金项目: 广州海洋地质调查局项目“南海天然气水合物资源综合评价及勘探开发战略研究”(GZH200200203)

作者简介: 黄国成(1981—), 男, 现正攻读海洋地质专业硕士学位, 主要从事天然气水合物资源评价工作。

然气水合物稳定带厚度图(图 1)。计算建立在温度—深度(压力)剖面上,不仅结合了区域热流值、含冰冻土带底界的温度,而且还模拟了与深度有关的热导率。数据分析的结果显示天然气水合物稳定带的存在和展布主要与冻土带的演化历史有关,而与局部小区域内温度梯度变化的关系较小^[15]。影响天然气水合物稳定带的主要因素有: 温度—压力条件; 孔隙压力和水盐度; 气体组分; 形成温度。

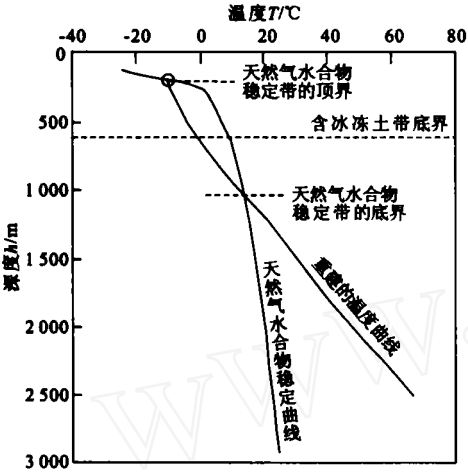


图1 Mallik L-38 井重建的温度—深度剖面叠加天然气水合物稳定带图^[15]

Fig.1 Reconstructed temperature-depth profile for Mallik L-38 well superimposed on methane hydrate stability curve^[15]

天然气水合物稳定带开始出现在两条曲线的交点处(约 220 m 深度附近)

温度—压力条件:

$$p(\text{kPa}) = \exp(14.7170 - 1886.79/T_k) \tag{1}$$

式(1)的适用温度范围为 248 ~ 273 K

$$p(\text{kPa}) = \exp(39.9803 - 8533.80/T_k) \tag{2}$$

式(2)的适用温度范围为 273 ~ 298 K。

天然气水合物稳定带的底界面由式(1)和重建的温度—深度曲线确定。研究区天然气水合物稳定带的顶界面估计开始出现在(220 ±10) m 深度。

西伯利亚永久冻土带中天然气水合物稳定带顶、底界面的确定主要通过天然气水合物稳定带理论模型的模拟来实现。模拟采用 Tipenko 等^[16]提出的模型和软件来完成。在这个模型中,地下水压力(p)在任意深度上都等于静水压力。海侵过程中产生的附加压力(p)等于海底的海水压力,它能够通过开放的层间不冻层传递给冻土带之下的地下水。在模拟天然气水合物稳定带时,采用了 Chuvilin 等^[17]建立的多孔介质-甲烷体系的天然气水合物生成曲线,但没有考虑到地下水的盐度对天然气水合物稳定带的影响。天然气水合物稳定带的演化模拟采用的大地热流密度值(q_{st})为 45,70 mW/m²。Romanovskii 等^[18]对冻土带和天然气水合物稳定带的模拟涵盖了 0.4 Ma,且设定模拟开始时冻土带和天然气水合物稳定带完全不存在。通过模拟,获得该地区天然气水合物稳定带的顶界面位于冻土带之内(图 2),由于该区域的多孔介质没有被自由水充填,而是被地下水和天然气水合物充填,因而在海退和海进过程中静水压力不能到达该界面。因此,这

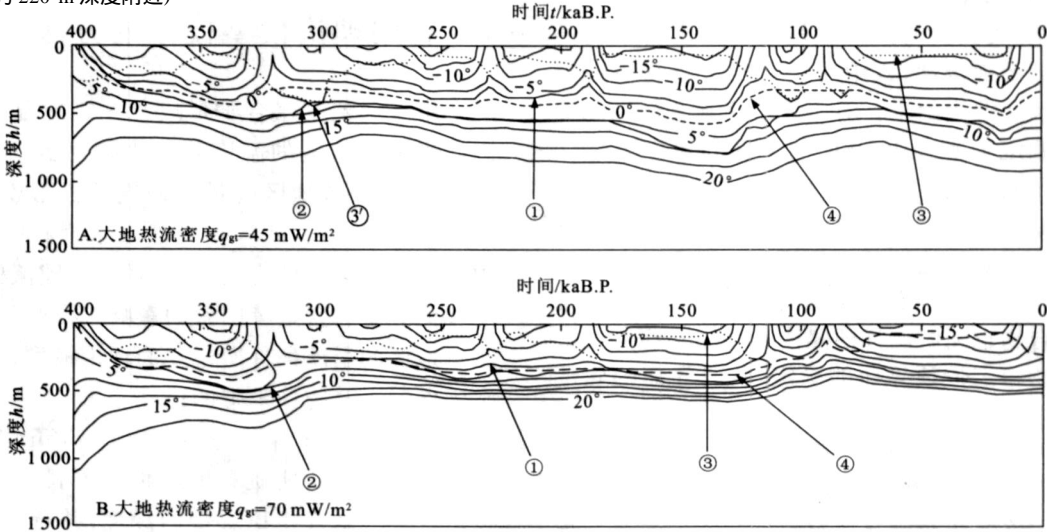


图2 0.4 Ma 来近海永久冻土带厚度和天然气水合物稳定带位置演化图(据文献[18]修改)

Fig.2 Evolution of offshore permafrost thickness and GHSZ position during 0.4 Ma

. 含冰冻土带的底界(温度为 -2) ; . 天然气水合物稳定带的底界 ; . 含冰冻土带中天然气水合物稳定带的顶界 ; 3 . 含冰冻土带底界之下的天然气水合物稳定带的顶界 ; . 0 等温线

个所谓的“传统”界面揭示了出现在大陆架冻土带开始形成深度的天然气水合物稳定带顶界面的位置以及(或者)可能出现在孔隙冰中的天然气水合物的位置^[18]。

2 利用地球化学异常的方法

利用地球化学异常的方法确定天然气水合物稳定带的顶界面,主要是利用甲烷含量的正高异常、氯离子浓度的负异常和 (¹⁸O)值的正异常。

由于天然气水合物的形成必须要有充足的气体来源,即孔隙水中的甲烷含量必须大于它在孔隙水中的饱和浓度,因此在天然气水合物出现的地方甲烷的含量都表现出高异常的特征,利用此特征可以帮助我们识别天然气水合物稳定带的顶界面。此外,在天然气水合物的形成过程中,氯离子不能进入到天然气水合物的晶格中,表现出一种排“盐”特征,随后氯离子又以扩散的形式散失而达到平衡,在测试时,由于天然气水合物的分解,加入了大量的淡水,从而淡化了氯离子的浓度,使得氯离子浓度表现出负异常的特征,因此这也有助于天然气水合物稳定带顶界面的确定。与氯离子浓度相似的还有¹⁸O对天然气水合物形成的响应,这是由于在天然气水合物的形成过程中重氧同位素倾向于富集在固相中,天然气水合物的分解,会导致溶液中的 (¹⁸O)值偏高。基于 ODP164 航次在布莱克海台直接测量的天然气水合物分解水和孔隙水中的 (¹⁸O)值,发现在 12 ~ 17 、31 MPa 的条件下氧同位素在这两种水中的分馏比值 $G_{H_2O} = 1.0037^{[19]}$ 。

ODP164 航次在美国东部海域布莱克海台实施了一系列深海钻探,取得了大量天然气水合物岩芯,并首次证明该矿藏具有商业开发价值。在该地区,天然气水合物层的标定由地球化学的测试数据来完成,主要依据的参数是原地甲烷的浓度和氯离子浓度的异常。根据原地甲烷浓度与孔隙水中饱和浓度的关系确定了天然气水合物稳定存在的区域,大概位于海底以下 190 ~ 450 m 深度,游离甲烷气出现在海底以下 450 m 处的沉积物中^[20](图 3)。

对比 ODP164 航次 994,995,997 站位的氯离子浓度发现,它们均在海底以下 200 m 的深度开始出现氯离子浓度负异常的离散点,因此根据孔隙水中氯离子浓度的异常确定的天然气水合物稳定带的顶界面即位于海底以下 200 m 的深度(图 4)^[20]。

ODP204 航次在美国 Oregon 州大陆边缘天然气水合物脊的 1244 ~ 1252 站位处打了 9 个钻孔,获得了 55 个样品^[21],其中在美国 Oregon 州大陆边缘天然气水合物脊的 1244 站位测试了海底以下 350

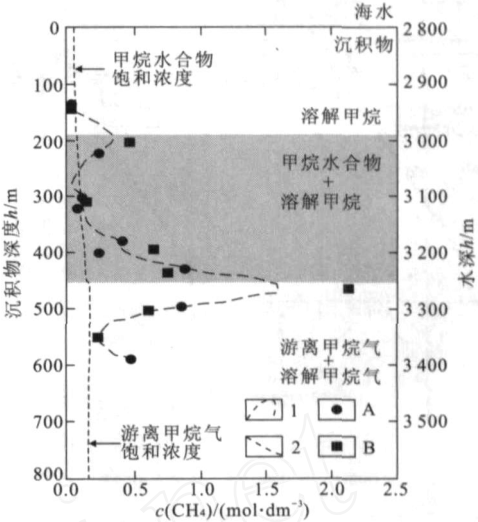


图 3 ODP164 航次 995(A)、997(B) 站位原地甲烷的浓度与水深和沉积物深度的关系^[20]

Fig. 3 In situ methane quantities at Sites 995 (A) and 997 (B) shown with respect to water depth (mbsl) and sediment depth (mbsf) in ODP 164^[20]

1. 原地甲烷的浓度曲线;2. 海水中甲烷的饱和浓度曲线

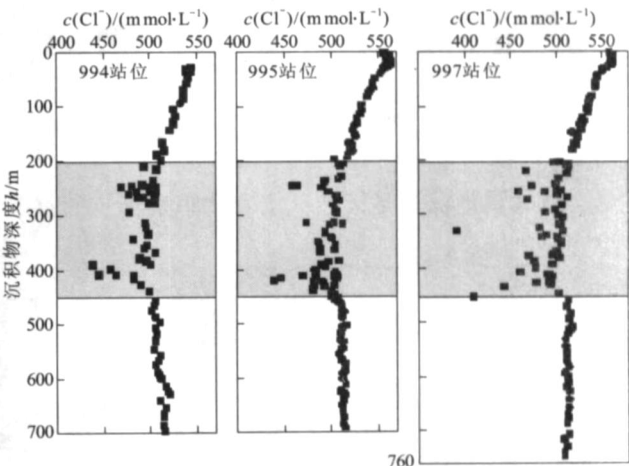


图 4 ODP164 航次 994,995,997 站位的孔隙水氯离子浓度曲线^[20]

Fig. 4 Curve of interstitial water chloride concentrations measured at Sites 994, 995, and 997 in ODP164^[20]
阴影部分表示天然气水合物存在的范围,深度范围在海底之下 200 ~ 450 m

m 深处的氯离子浓度,并根据氯离子浓度异常值确定了天然气水合物稳定带的顶界面(图 5)^[22]。

由图 5 可见,相同的数据依据不同的基线所确定的天然气水合物稳定带顶界面是不同的。图 5-A 是依据天然气水合物稳定带上部(海底以下 0 ~ 20 m)和下部(海底以下 130 ~ 330 m)的氯离子浓度数据的两条趋势线延长得到的解释图,预测天然气水合物稳定带存在于海底以下 20 ~ 130 m 深度。图

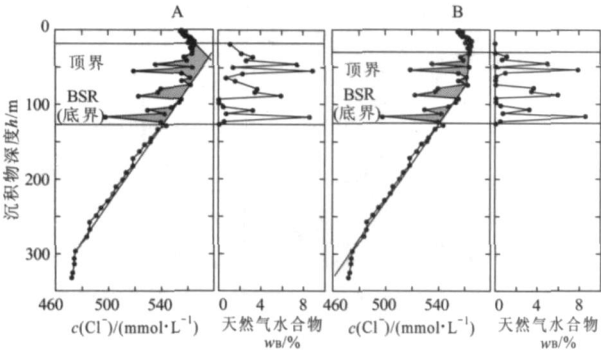


图5 1244 站位利用氯离子浓度异常剖面来确定天然气水合物的资源量(据文献[22]修改)

Fig.5 Estimates of gas hydrate amounts based on two interpretations of the chloride (Cl^-) concentration profile at 1244 site

5-B 是依据天然气水合物稳定带内低氯离子浓度异常并利用在 ODP888 站位观察得到的类似氯离子浓度基线得到的解释图,预测天然气水合物稳定带位于海底以下 40 ~ 120 m 深度。因此在确定天然气水合物稳定带顶界面的过程中氯离子浓度基线的建立是至关重要的。

3 利用地球物理资料的方法

地球物理标志是天然气水合物识别标志的重要

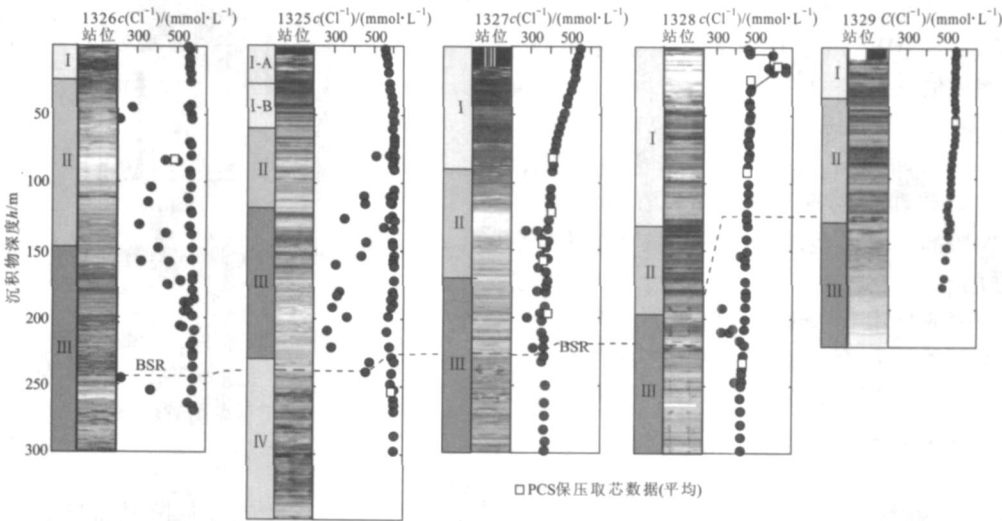


图6 IODP311 航次 1325 ~ 1329 站位孔隙水氯离子浓度异常与地层单元、钻头电阻率仪测井成像和似海底反射面(BSR)深度剖面图^[24]

Fig.6 Interstitial water chloride concentration profiles with lithostratigraphic units, LWD RAB resistivity images, and location of the bottom-simulating reflector (BSR) at 1325—1329 sites in IODP311^[24]

· 细粒岩屑沉积物夹有薄层粉砂岩和砂岩浊积岩序列; ·A. 厚层的粗粒砂岩带含有细粒岩屑夹层; ·B. 细粒岩屑沉积物夹有少许薄层粉砂岩和砂岩; · 细粒岩屑沉积物夹有粉砂岩和砂岩夹层; · 细粒岩屑沉积物含有丰富的硅藻和海绵体; · 细粒岩屑沉积物含有少量浊积沉积带来的粉砂岩和砂岩夹层

组成部分,包括地震识别标志和测井识别标志两个方面。

由于 P 波的波速具有在天然气水合物存在的沉积物中增大在游离气存在的沉积物中减小的特点,因此它成为研究天然气水合物体系的卓越手段^[23]。在中国东海的冲绳海槽,唐勇等^[14]通过地震 BSR 的识别,以 BSR 作为天然气水合物稳定带的底界面,通过波形反演、AVO 技术来确定天然气水合物稳定带的顶界面,并根据天然气水合物稳定带的饱和度、孔隙度等一系列影响因素来换算其厚度,这种方法的关键是对含天然气水合物层的层速度进行精确的处理分析,从而利用精细的速度来对天然气水合物分布区进行反演 AVO 技术处理分析,利用石油地震中的储层预测技术并结合地震剖面的空白带来识别天然气水合物稳定带的顶界面。

IODP311 航次的主要目标是对 Cascadia 边缘的天然气水合物进行调查^[24]。利用钻头电阻率仪(RAB)测井成像手段,结合氯离子浓度的异常可以得到天然气水合物在垂向上的分布(图 6)。钻头电阻率仪测井成像法得到的亮斑区域即为天然气水合物的富集位置,与氯离子浓度异常的深度吻合较好,由此可以判断天然气水合物在垂向上的相对富集层位,进而简单地确定天然气水合物在 Cascadia 边缘稳定存在的顶界面。

在加拿大麦肯齐三角洲—波弗特海地区和加拿大北极群岛有较多的钻井以及可与加拿大其他边缘

地区相比的永久冻土区,这些地区有最丰富的资料条件来确定天然气水合物的存在以及天然气水合物稳定带的位置^[25]。证实加拿大沉积盆地中存在天然气水合物的直接证据很少。其最重要证据来自于最近的天然气水合物钻井,该井位于加拿大西北地区的麦肯齐三角洲^[26],在大多数情况下,天然气水合物的存在是由钻井资料和地震记录推断得出的。地球物理测井为探测天然气水合物提供了另一种手段,在非永久性冻土区和大洋区,地球物理测井方法最有效,双感应侧向电阻率测井和声波测井也是识别天然气水合物的主要方法,电阻率曲线上的高电阻率、声波曲线上的高速度异常是含天然气水合物层响应的基本特征,可以据此识别天然气水合物稳定带的界面。因此,可以通过采用简单的类比方法,结合地球物理测井数据来确定天然气水合物稳定带的顶界面。

在 ODP164 航次中,利用井下测井技术对各孔进行自然伽马、密度、声速和电阻率的测井,在可能存在天然气水合物稳定带顶、底界面的位置都有较好的识别特征^[27]。ODP164 航次 994D 孔的井下测井数据图见图 7,从伽马、密度、声速和电阻率测井数据看,在海底以下约 210 m 深处测井曲线的变化均明显增大,自然伽马和电阻率曲线的变化尤为明显。因此,通过地球物理测井技术可以比较精确地界定天然气水合物稳定带的顶界面。

美国得克萨斯大学岩石圈研究中心的 Lu 等^[28]对布莱克海台 994,995,997 站位的地震剖面进行了宽带约束反演处理,并得到了波阻抗反演剖面。由于他们充分利用了测井信息的纵向高分辨性和地震

资料的横向连续性,反演的波阻抗剖面具有较高的分辨率,天然气水合物稳定带的顶界面得到了清晰的反映,且在横向上可以追踪,天然气水合物稳定带具有高波阻抗值,波阻抗由低向高变化的拐点处即为天然气水合物稳定带的顶界面,波阻抗由高向低变化的拐点处即为天然气水合物稳定带的底界面。

4 结 语

目前天然气水合物稳定带顶界面的确定主要依赖于所建立的温压场模型、部分地球化学异常和地球物理资料。其中利用温压场所限定的天然气水合物稳定带顶界面只是在一定假设条件下的理论边界,只能在区域勘探和粗略的资源量评价时才有指导作用,不能在局部或单个的矿床中有效地圈定天然气水合物稳定带的顶界面;而利用地球化学异常和地球物理资料所限定的天然气水合物稳定带顶界面虽然能够较精细地指示单个天然气水合物稳定带的顶界面,甚至单层的识别,但这些数据在处理过程中要求较高,且识别也较困难。另外这些方法在具体的应用过程中往往忽略了地质条件本身对天然气水合物形成的控制,如沉积物的粒径等,而且如何在钻前确定天然气水合物稳定带的顶界面仍然较困难。今后应该对天然气水合物的生成、聚集、保存、分解散失等成藏规律和物理化学条件进行深入研究,结合地质条件本身对天然气水合物形成的控制,并综合各种方法有效地界定其边界,圈定矿体,评价资源量。

参考文献:

- [1] Xu W, Ruppel C D. Predicting the occurrence, distribution, and evolution of methane gas hydrate in porous marine sediments[J]. *Geophys. Res.*, 1999, 104(B3): 5 081 - 5 096.
- [2] Milkov A V, Sassen R. Thickness of the gas hydrate stability zone: Gulf of Mexico continental slope[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2000, 17(9): 981 - 991.
- [3] Andreassen K, Hart P E, MacKay M. Amplitude versus offset modeling of the bottom simulating reflection associated with submarine gas hydrates[J]. *Marine Geology*, 1997, 137(1): 25 - 40.
- [4] Diaconescu C C, Kieckhefer R M, Knapp J H. Geophysical evidence for gas hydrates in deep water of the South Caspian Basin, Azerbaijan[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2001, 18(2): 209 - 221.
- [5] Ginsburg G D, Soloviev V A. Methane migration within the submarine gas-hydrate stability zone under deep-water conditions[J]. *Marine Geology*, 1997, 137(1): 49 - 57.
- [6] Rao Y H. C-program for the calculation of gas hydrate stability zone thickness[J]. *Computers & Geosciences*, 1999, 25(6): 705 - 707.

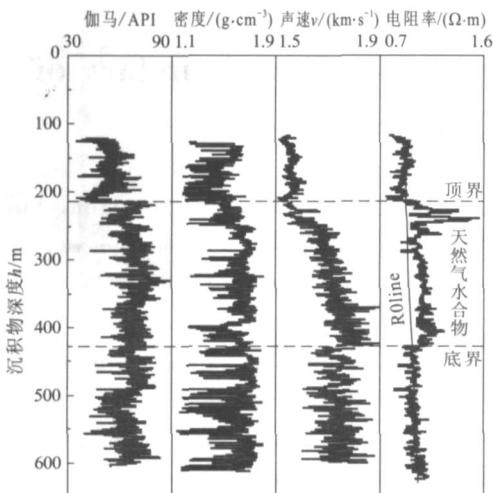


图 7 ODP164 航次 994D 孔的井下测井数据^[27]

Fig. 7 Downhole log data from Hole 994D in ODP 164^[27]

R₀line. 100 %海水充填孔隙空间的电阻率

- [7] Majorowicz J A, Osadetz K G. Natural gas hydrate stability in the east coast offshore-Canada[J]. *Nature Resources Research*, 2003, 12(2): 93 - 104.
- [8] Davie M K, Zatsepina O Y, Buffett B A. Methane solubility in marine hydrate environments[J]. *Marine Geology*, 2004, 203(1-2): 177 - 184.
- [9] Egorov A V, Crane K, Vogt P R, et al. Gas hydrate that outcrop on the sea floor: Stability models[J]. *Geo Marine Letters*, 1999, 19(1-2): 68 - 75.
- [10] 龚建明, 陈建文, 赵洪伟, 等. 天然气水合物稳定带顶底界线及厚度预测[J]. *海洋地质动态*, 2004, 20(6): 18 - 21.
- [11] 胡高伟, 张剑, 业渝光, 等. 天然气水合物勘探-开发-储运-环境响应研究新进展——第五届天然气水合物国际会议简介[J]. *地质科技情报*, 2006, 25(4): 33 - 41.
- [12] Singh S C, Minshull T A, Spence G D. Velocity structure of a gas hydrate reflector[J]. *Science*, 1993, 260: 204 - 207.
- [13] Ingo A, Timothy A, Singh S C, et al. Velocity structure of a bottom simulating reflector offshore Peru: Results from full waveform inversion[J]. *Earth and Planetary Letters*, 1996, 139(3): 459 - 469.
- [14] 唐勇, 方银霞, 高金耀, 等. 冲绳海槽天然气水合物稳定带特征及资源量评价[J]. *海洋地质及第四纪地质*, 2005, 25(4): 79 - 84.
- [15] Majorowicz J A, Hannigan P K. Stability zone of natural gas hydrates in a permafrost-bearing region of the Beaufort-Mackenzie Basin: Study of a feasible energy source[J]. *Natural Resources Research*, 2000, 9(1): 3 - 25.
- [16] Tipenko G S, Romanovskii N N, Kholodov A L. Simulation of the offshore permafrost and gas hydrate stability zone of mathematical solution, numerical realization, and preliminary results[J]. *Polarforschung*, 1999, 69: 229 - 234.
- [17] Chuvilin E M, Perlova E V, Makhonina N A, et al. Research of hydrate and ice formation in soils during cyclic fluctuations of temperature[M]. Thimus J F. *Ground Freezing*. Balkema: Rotterdam, 2000: 9 - 14.
- [18] Romanovskii N N, Hubberten H W, Cavrlov A V, et al. Offshore permafrost and gas hydrate stability zone on the shelf of East Siberian Seas[J]. *Geo Marine Letters*, 2005, 25(2-3): 167 - 182.
- [19] Ryo M. Methane hydrate estimates from the chloride and oxygen isotopic anomalies: Examples from the Blake ridge and Nankai trough sediments[C]. Anon. *Annals of the New York Academy of Sciences*. New York: [s. n.], 2000: 39 - 50.
- [20] Charles K P, Ryo M. Leg 164 overview[R]. Paull C K, Matsumoto R, Wallace P J. *Proc. ODP, Sci. Results*, vol. 164, Ocean Drilling Program. TX: Texas A & M University, College Station, 2000: 3 - 10.
- [21] 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): 1 007 - 1 026.
- [22] Tréhu A M, Bohrmann G, Pack F R, et al. Leg 204 Scientific Party, *Proc. ODP, Initial Reports*, 204[R]. Anon. Ocean Drilling Program. TX: Texas A & M University, College Station, 2003: 1 - 132.
- [23] Kumar D, Sen M K, Bangs N L. P-wave seismic anisotropy at Hydrate Ridge[J]. *Geophysical Research Letters*, 2006, 25(5): 610 - 614.
- [24] Expedition 311 Scientists. Integrated ocean drilling program expedition 311 preliminary report-cascadia margin gas hydrates[R]. Texas: [s. n.], 2005: 1 - 104.
- [25] 蒲庆南, 梁连喜. 加拿大天然气水合物的分布和总量[J]. *海洋石油*, 2002, 3: 63 - 74.
- [26] Collett T S, Dallimore S R. Hydrocarbon gases associated with permafrost in the Mackenzie Delta, Northwest Territories, Canada[J]. *Applied Geochemistry*, 1999, 14(5): 607 - 620.
- [27] Collett T S, John L. Detection of gas hydrates with downhole logs[R]. Paull C K, Matsumoto R, Wallace P J. *Proc. ODP, Sci. Results*, vol. 164, Ocean Drilling Program. TX: Texas A & M University, College Station, 2000: 179 - 191.
- [28] Lu Shaoming, McMechan G A. Elastic impedance inversion of multichannel seismic data from unconsolidated sediments containing gas hydrate and free gas[J]. *Geophysics*, 2004, 69(1): 164 - 179.

Advances in Researching on Determining the Top Boundary of Gas Hydrate Formation Zone

HUANG Guo-cheng^{1a}, ZHUANG Xin-guo^{1b}, LU Wan-jun^{1b}, GUO Yi-qun², WANG Hong-bin²

(1a. Graduate School; 1b. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 2. Guangzhou Marine Geology Survey, Guangzhou 510760, China)

Abstract: The boundary of gas hydrate formation zone limits the distribution of gas hydrate in nature environment, and uses as the base of the gas hydrate resource assessment. It is also important in comprehending the mineralization rules and exploring the gas hydrate. Based on the investigation of previous achievements, those three major methods used to determine the top boundary of gas hydrate are summarized as follows: numerical method based on the theoretical simulation and calculation; geochemical method based on the anomaly of chemical elements and isotopes; geophysical method based on the seismic data and other geophysical properties. In addition, the first method is relatively coarse, while the latter two are relatively accurate. However, the latter two have difficulties in data handling.

Key words: gas hydrate; top boundary; formation zone; resource assessment