海底天然气水合物储集层饱和度的估算方法

甘华阳¹,王家生¹,陈建文²,龚建明²

(1. 中国地质大学, 湖北 武汉 430074; 2. 青岛海洋地质研究所, 山东 青岛 266071)

摘要:据当前国内外海底天然气水合物饱和度预测技术的文献分析,讨论了岩芯孔隙水的氯离子浓度、地球物理 测井和地震波速度等方面在估算海底天然气水合物饱和度方面的应用和计算方法,并对它们的优劣进行简单的评述。

关键词:天然气水合物;饱和度估算;地震勘探;地球物理测井 中图分类号: P631 文献标识码: A 文章编号: 1000-8918(2005)03-0189-05

天然气水合物是一种由水和天然气(主要是甲 烷)组成的类似冰状固体物质,主要赋存于高压低温 背景下的海底沉积物和高纬度或极地永久冻土区 内,在被动大陆边缘海底尤其富集。据估计,全球 天然气水合物中蕴涵的有机碳总量是陆地上已探明 的所有煤、石油、天然气等化石类燃料中有机碳总量 的2倍,因而是一种极有前途的21世纪潜在能 源^[1]。由于海底天然气水合物对温度、压力十分敏 感,它们的变化引起的水合物分解可释放出大量温 室效应极强的甲烷气体,也会引起海底斜坡的垮塌 或滑坡,从而破坏钻井平台或海底电缆等基础设施。 因此,当今对海底天然气水合物的研究已在能源、环 境和灾害等领域引起了人们的普遍关注。许多国家 或地区已投入巨资,试图探明本国领海的天然气水 合物分布规律和实际储量。

一般认为,海底天然气水合物的储量主要取决 于水合物的分布面积、储层(水合物稳定带)厚度、孔 隙度和水合物的饱和度(充填率),因此弄清水合物 在储层沉积物孔隙中的饱和度对其储量的估计具有 至关重要的意义。目前国际上已发表了一些有关如 何估算海底天然气水合物饱和度的文献,随着我国 加快步伐推进南海、东海等海域的海底天然气水合 物调查^[2],准确估算水合物的储量是当前的一个重 要研究目标。笔者试图通过分析一些当前国内、外 有关海底天然气水合物的饱和度的文献,总结出 3 类当前国内、外海底天然气水合物饱和度的估算方 法,以期能推动我国海域海底天然气水合物领域的 相关研究方向。

1 估算方法

1.1 岩芯孔隙水氯离子浓度的利用

1979年,在远离危地马拉的中美地堑斜坡上的 深海钻探中,首次获得的天然气水合物实物样品中 就发现了孔隙水异常现象,即氯离子浓度自上而下 出现减小^[3]。其原因被解释为由回收的岩芯样品中 水合物的分解所释放的低盐度水淡化所造成的。因 此沉积物中孔隙水的淡化程度与其所含的水合物的 饱和度之间存在着某种定性对应关系。

显然,利用岩芯孔隙水氯离子淡化程度来估算 水合物的饱和度首先需要建立水合物分解前的原地 孔隙水氯离子剖面,这是估算水合物分解所造成的 稀释程度的基础。假定岩芯孔隙水氯离子剖面小于 原地孔隙水氯离子剖面,那么这部分就代表了水合 物分解的影响,可以使用公式进行水合物饱和度的 估算^[4,5]

$$S_{\rm h} = \frac{1}{\rho_{\rm h}} \left[1 - \frac{w_{\rm pw}(\rm Cl)}{w_{\rm sw}(\rm Cl)} \right] \tag{1}$$

式中, $\rho_{\rm h}$ =0.9 是纯的天然气水合物密度, $w_{\rm pw}$ (Cl), $w_{\rm sw}$ (Cl)分别是实测的岩芯孔隙水中氯离子质量浓 度和原地孔隙水中氯离子的质量浓度。

要获得原地孔隙水氯离子浓度是很困难的,即 使采用水取样温度探针(WSTP)获得原地孔隙水样 仍然极为有限,因此研究者们常常采用其他手段来 近似原地孔隙水氯离子浓度剖面,主要以下2种方 法:①简单地假定原地氯离子浓度和海水相似,如 Yuan等对ODP533站位的估计就采用的当地海水

收稿日期:2004-03-01

基金项目:国家自然科学基金(项目编号:40272052;40472063),中国地质调查局天然气水合物资源勘查及开发技校研究(项目编号: 万方教据联合资助项目

氯离子浓度作为原地孔隙水氯离子浓度,计算出水 合物的平均饱和度至少为8%,明显高于该地区用 其他方法得到的结果^[4]。②利用一个低阶多项式拟 合水合物稳定带上、下的氯离子含量趋势得到一个 "背景"浓度,即原地孔隙水中氯离子的浓度。如 Paull等^[6]对 ODP164 航次997 站位和 Lu等^[5] 对 994D、995B和997B 钻孔的估计则采用的是用三阶 多项式拟合出的"背景"浓度,得出的饱和度分别为 4.8%和3%~8%,两者具有相似性。

实际上,水合物稳定带的孔隙水是一个开放系 统,易受对流、扩散作用以及冰期—间冰期海水盐度 的波动等的影响而造成根本性改变,因此使用海水 氯离子浓度和拟合出的"背景浓度"并不严格代表实 际情况。为此, Egeberg 等利用孔隙水化学数据组 对 ODP164 航次 997 站位进行了分析并开发出了一 个耦合氯离子-水合物模型来纳入这些因素对孔隙 水氯离子浓度的影响并从理论上模拟出了原地氯离 子浓度剖面[7]。模拟的结果显示,997站位所在的 Blake海脊地区原地孔隙水氯离子盐度主要受到了 水合物稳定带底部低盐度的孔隙水向上对流和最后 一次冰期结束后盐度减小了的底层水的影响。使用 该方法模拟出的原地氯离子浓度利用公式(1)给出 了 997 站位很低的水合物浓度,在水合物带占孔隙 空间的平均 2.3%。如果将代表水合物层或结核的 孤立低氯离子浓度峰值包含在总水合物数量中,得 到平均 3.8%的饱和度,仍与使用其他方法和 Paull 等获得的结果具有可比性。

虽然 Egeberg 等的耦合氯离子-水合物模型能 从理论上更为准确地推算出原地孔隙水氯离子浓 度,但由于其较强的针对性(主要为 997 站位)和复 杂的过程使它的推广受到了限制。实际应用中更多 的是直接采用当地海水氯离子浓度值或拟合出的 "背景"浓度来近似原地孔隙水的氯离子浓度。

1.2 地球物理测井数据的利用

1.2.1 电阻率测井

在众多测井项目中,电阻率是受水合物影响最 强烈的性质,含水合物沉积层的电阻率明显地随水 合物浓度的增加而增加。这不仅是由于水合物形成 时对盐分的排除造成自身较高的电阻率,还与它的 形成占据了孔隙空间导致容纳可导电流体孔隙空间 的减少有关^[8,9]。因此,电阻率测井数据是最普遍 的用来估算水合物饱和度的方法之一。

假定水合物的存在仅仅只是降低了孔隙度,那 么可以先利用 Archie 方程^[10] 导出水合物带中水的 饱和度 S^T, 然若得算出水合物的饱和度 S_h = 1 $S_{w \circ}$

Archie 方程描述沉积层的电阻率、孔隙水的电 阻率和孔隙度之间的关系。它有 2 种形式:第一种 形式为标准 Archie 方程,即

$$S_{\rm w} = \left(\frac{aR_{\rm w}}{\omega^m R_{\rm t}}\right)^{\frac{1}{n}},\tag{2}$$

式中, R_w 是原地孔隙水的电阻率, R_t 为含水合物沉 积层的电阻率, φ 为沉积物孔隙度,a 为弯曲系数,m为胶结系数,n 为经验系数,对含水合物的碎屑沉积 物取 1.9386^[11]。 R_w 值主要是孔隙水的温度和盐度 的函数,可用 Arps 公式^[12]

$$R_{\rm w} = \frac{R_{\rm r}(T_{\rm r} + 21.5)}{T + 21.5} \tag{3}$$

表达。其中, R_r 是在参照温度 T_r 时给定盐度的海 水电阻率,盐度可由岩芯孔隙水的分析获得,这里要 注意水合物分解对盐度的影响。T 是沉积层温度, 可从地热梯度和海底温度算得。a 和 m 可以通过 Serra 提出公式

$$R_{\rm o}/R_{\rm w} = -m\ln\varphi + \ln a \tag{4}$$

确定^[12]。式中, R_0 为沉积层完全饱水时的电阻率, 为了避免水合物存在的影响, R_0 和岩芯孔隙度 φ 值 都由水合物带上、下不含水合物层段数据的线性拟 合得到。

Collett 等用方程(2)对 Blake 海脊 ODP164 航 次 994、995 和 997 三站位采用 2 组孔隙度进行了计 算,一组为岩芯分析数据,另一组为岩芯分析的回归 曲线值^[10]。a 和 m 分别对各站位的计算结果如下 表所示。

表 1 ODP164 航次 994、995 和 997 三站位的 Archie 参数值

站位	海底温度/℃	地热梯度 (℃/100 m)	а	m
994	3.0	3.64	0.53	3.68
995	3.0	3.65	1.03	2.53
997	3.0	3.68	1.07	2.59

由于 994 站位井眼条件差而导致结果异常,而 这 3 个站位有相似的岩性且位置较近,所以 a 和 m分别取后 2 个站位的平均值 1.05 和 2.56,经验常 数 n 取 1.938 6。结果得出该地区水合物层段饱和 度为 2% ~ 11%,且采用回归曲线的值更稳定。 2003 年,Collett 等再次利用该方法对 Hydrate 海脊 ODP204 航次 8 个钻探点的水合物饱和度进行了估 算,得出了水饱和度范围,从靠近脊冠部约 10%的 低值到沿脊翼部约 90%的最高值^[13]。

第二种形式为修正的 Archie 方程

$$S_{\rm w} = (R_0/R_{\rm t})^{\frac{1}{n}}$$
 (5)

它的修正基于如下的认识,如果沉积物的孔隙空间 中为100%的水,那么测井仪将得到完全水饱和的 沉积层电阻率 *R*。,它是一个相对的基线,于是相邻 水合物层的饱和度就可以通过这个基线求得。Collett 等^[10]和 Lu 等^[5]都分别使用这个修正了的方程 对 Blake 海脊 ODP164 航次 994、995 和 997 站位的 水合物饱和度进行了计算,不同的是前者使用的 R_0 由水合物稳定带上、下不含水合物层段数据的线性 拟合得到,而后者通过假定该区域背景的电阻率剖 面沿剖面线一致,近似地利用不含水合物的 995B 钻孔资料给出的数据,两者得到的水合物饱和度都 在 $0\sim15\%$,比标准方法得出的结果偏高,这可能是 由 R_0 的选择引起的。

另外,Hyndman 等基于 Archie 方程,进一步假 定回收岩芯中水合物的分解产生了与自身相同体积 的淡水,联合电阻率测井和岩芯孔隙水盐度数据建 立了一个新公式:^[14]

$$S_{\rm h} = 1 - \frac{1}{\varphi} \left[\frac{a w_{\rm sw}({\rm Cl}) R_{\rm sw}}{\omega w_{\rm corefl}({\rm Cl}) R_{\rm t} \frac{1}{m-1}} \right], \qquad (6)$$

式中, w_{sw} (Cl), w_{corefl} (Cl)分别为参考海水和岩芯孔 隙水的盐度, R_{sw} 、 R_t 分别为参考海水和含水合物沉 积层的电阻率, φ 为沉积物孔隙度,m为胶结系数,a为弯曲系数。使用该公式不仅能估算水合物的饱和 度,还能计算原地孔隙水的盐度。

利用该方程取实验室中利用 Cascadia 边缘 146 航次 889/890 站位的岩芯数据确定的 a=1.39,m=1.76 计算出 Cascadia 边缘的水合物饱和度为 25% $\sim 30\%$,与后面即将介绍的利用地震波速度方法计 算出的 20%的结果相差不大,表明该公式还是有一 定的实用性。

1.2.2 声波速度测井

由于水合物本身具有较高的声波速度,并且它 能在海底作为准稳定的胶结物从而增加了其所在沉 积物的固结程度使储集层的声波速度增大,因此声 波速度测井数据也能用来估算水合物的饱和度。最 早利用声波速度估算水合物饱和度的是 Pearson 等^[11],他们使用了 Timur(1968)建立的基于时间平 均方程^[15]的三项加权修正式,即

$$\frac{1}{v_{\rm p}} = \frac{\varphi(1 - S_{\rm h})}{v_{\rm w}} + \frac{\varphi S_{\rm h}}{v_{\rm h}} + \frac{1 - \varphi}{v_{\rm m}} \,\,. \tag{7}$$

该方程的建立是认为固结的水合物储层中的声 波速度是由其中所含的孔隙水相、水合物相和固体 骨架相三组分的加权平均确定。其中 v_p 、 v_w 、 v_h 和 v_m 分别为含水合物的沉积物、孔隙水、纯水合物以 及固体骨架中的声波速度。

虽然基于时间平均方程的三项加权修正式可以 适当地预测固结储层中的声波性质,然而对未固结 储层的声波速度物与计算不符,为了克服时间平均 方程的缺陷,一些研究者提出了时间平均-Wood 三 相加权方程^[16]

$$\frac{1}{\rho v_{\rm p}} = \frac{\varphi(1-S_{\rm h})}{\rho_{\rm w} v_{\rm w}} + \frac{\varphi S_{\rm h}}{\rho_{\rm h} v_{\rm h}} + \frac{1-\varphi}{\rho_{\rm m} v_{\rm m}} , \qquad (8)$$
$$\rho = (1-\varphi)\rho_{\rm m} + (1-S)\varphi \rho_{\rm w} + S\varphi \rho_{\rm h}$$

式中, ρ 为含水合物沉积层的密度, ρ_w 、 ρ_h 和 ρ_m 分别 为孔隙流体、纯水合物和沉积骨架的密度。Collett 等对阿拉斯加 Prudhoe Bay 油田的某水合物探井用 以上 2 个模型进行了计算^[17],他所用的参数: v_w 、 v_h 、 v_m 分别为:1 500、3 350、4 650 m/s; ρ_w 、 ρ_h 、 ρ_m 分 别为 1.00、0.9、2.65 g/cm³。然而两者得出的水合 物的饱和度曲线相差较大,且均不太理想,因此还有 待改进。

除了声波测井和电阻率测井之外,碳氧比能谱 测井(中子伽马测井)也是一种可以用来定量评价海 底天然气水合物的饱和度的方法之一。它主要利用 碳氧能谱仪(GST)发出的中子与沉积层中的碳、氧 元素作用释放出的伽马射线的强弱来判断其丰度, 然后利用其比值在建立的储层模型基础上计算水合 物的饱和度。Collet 等曾利用 ODP164 航次 994、 995 和 997 站位的碳氧比能谱测井数据对它们所含 水合物的饱和度进行了计算^[18],结果表明该方法对 井眼条件依赖严重,因此短期内还难以推广,目前仍 处于试验之中。

1.3 地震波速度的利用

与对声波速度的影响的原理完全相同,沉积物 中水合物的存在会导致地震波速度的增加,因此水 合物储层中地震波的速度可以用来估算水合物的饱 和度。目前对纵波的研究较多,而横波很少。已建 立的纵波速度和水合物饱和度关系的模型除了上面 介绍的时间平均方程^[15]和时间平均-Wood 三相加 权方程^[16]之外,还有孔隙度降低模型^[19]、Kuster-Toksöz(K-T)方程^[20]、考虑粘土的四项加权模 型^[16]、弹性模量模型^[21]和三相介质波传播模型 等^[22]。由于某些模型虽然理论严密,但需要太多的 参数,并且在实际中很难确定这些参数的值,所以并 无太大的实用价值。这里只介绍其中最简单可用的 孔隙度降低模型。

孔隙度降低模型假设水合物储层地震波速度增 加仅是由水合物的存在使孔隙度降低引起^[19],如果 不含水合物沉积层的孔隙度已知,那么水合物所占 的孔隙空间(即饱和度)可以用它减去含水合物沉积 层的孔隙度计算出来。从该方法的原理可以看出, 使用它必须预先建立一条"速度-孔隙度"曲线,以便 从曲线上"读出"与测出的速度相对应的孔隙度。 Yuan 等^[4]利用 Hyndman 等^[23]根据 Nankai 海槽的 垂直地震剖面(VSP)、测井和岩芯数据求得的速度-孔隙度曲线,在 ODP889 站位获得的声波测井速度、 垂直地震剖面和多道地震速度(MCS)数据基础上 对 Cascadia 边缘盆地中的水合物带饱和度进行了 计算。假定水合物带不含水合物时的参考速度是利 用水合物带上、下地震波速的线性内插获得,计算出 的平均饱和度为 $0 \sim 20\%$,这与利用孔隙水氯离子 得到的结果相似。值得注意的是,应用这一方法计 算出的饱和度实际上是偏高的,因为纯水合物的速 度(3 730 m/s)比沉积骨架的速度(4 300~5 000 m/ s)要小^[11],而模型中假定它与沉积骨架有相同的速 度,所以实际降低的孔隙度必定小于速度-孔隙度关 系的预测值。另外,如果水合物与沉积颗粒接触,那 么它对速度的影响还会更大,因此利用孔隙度降低 模型估算海底水合物的饱和度存在较大的误差,只 能用来进行粗略的区域预测。

2 讨论

弄清水合物在海底储层孔隙中的饱和度对其储 量估计具有至关重要的意义。目前利用孔隙水氯离 子浓度、地球物理测井以及地震波速度数据估算水 合物的饱和度是最为普遍使用的3类方法,它们在 现阶段的水合物勘探评价过程中发挥了重要作用。 然而,这3类方法也都各自存在缺陷。

孔隙水氯离子浓度方法概念简单,但由于影响 原地氯离子浓度的因素复杂,并且以海水氯离子浓 度或拟合出的"背景浓度"代替原地沉积物中的氯离 子浓度,所以往往会导致过高的估计。

电阻率测井方法中,假设水合物的存在使孔隙 度降低是电阻率增加的唯一原因,但实际上沉积物 中所含的粘土成分也可能对电阻率的增加有所贡 献。另外 Archie 方程也仅是一个在理想条件下纯 砂岩孔隙度、含水饱和度、电阻率之间的经验表达 式,将它引入水合物饱和度的估算必将与实际有较 大的偏差。因此建立准确的水合物储集层导电模型 是今后急需解决的问题。碳氧比能谱测井也严重依 赖于井眼条件,目前尚处于试验阶段。

利用声波测井速度和地震波速度方法需要预先 建立准确的纵波速度与水合物饱和度关系的模型, 但从已建立的众多模型来看,无论是基于时间平均 方程的加权修正式还是 Wood 方程以及孔隙度降低 模型等,都只能反映部分岩层中弹性波传播的特性, 因而估算出的结果并不太理想。如何根据天然气水 合物的地震客花物性,开发出更好的模型来利用弹 性波速度来准确估算储集层的饱和度还有很多工作 要做。

海底含水合物沉积物是一个复杂的系统,正如 上面提到的,任何一种饱和度的估算方法为了简化 都必须做出各种假设,而这些假设正是估算的不确 定性来源。因此我们建议在实际应用中应该根据情 况选择合适的方法,并尽量选择一种以上的方法或 模型作多方法校正,以利于结果的相互验证,提高估 算准确度。

参考文献:

- Kvenvolden K A, Lorenson T D. The globle occurrence of natural gas hydrate[A]. In: Paull C K, Dillon W P. Natural Gas Hydrate: Occurrence, Distribution and Detection[C]. Washington DC: American Geophysical Union, 2001. 3-18.
- [2] 王家生, Suess E. 天然气水合物伴生的沉积物碳、氧同位素示 踪[J]. 科学通报, 2002, 47(16):1172-1176.
- [3] Hesse R. Pore water anomalies of submarine gas-hydrate zones as tool to assess hydrate abundance and distribution in the subsurface—What have we learned in the past decade?
 [J]. Earth-science review. 2003, 61: 149-179.
- [4] Yuan T, Hyndman R D, Spence G D, et al. Seismic velocity increase and deep — sea gas hydrate concentration above a bottom-simulation reflector on the northern Cascadia continental slope[J]. Journal of geophysical reaserch, 1996, 101: 13655 — 13671.
- [5] Lu S, McMechan G A. Estimation of gas hydrate and free gas saturation, concentration, and distribution from seismic data [J]. Geophysics, 2002, 67 (2): 582-593.
- [6] Paull C K, Matsumoto R, Wallace P J, et al. Proceeding of Ocean Drilling Program[J]. Scientific results. 2000,164: 314-317.
- [7] Egeberg P, Dickens G R. Thermodynamic and pore water halogen constraints on gas hydrate distribution at ODP Site 997 Blake Ridge[J]. Chemical geology, 1999, 153: 53-79.
- [8] 高兴军,于兴河,李胜利,等.地球物理测井在天然气水合物勘 探中的应用[J].地球科学进展,2003,18(2):305-311.
- [9] Erik S. Modeling of the influence of gas hydrate content on the electrical properties of porous sediments[J]. Journal of geo-physical research,2001,106(B4): 6535-6548.
- [10] Collett T S. Detection of gas hydrate with downhole logs and assessment of gas hydrate concentrations (saturations) and gas volumes on the Blake ridge with electrical resisitivity log data, In: Proceeding of Ocean Drilling Program [J]. Scientific results,2000,164: 199-212.
- [11] Pearson C F, Halleck P M, McGuire P L, et al. Natural gas hydrate deposits: a review of in-situ properties[J]. Journal of geophysical research, 1983, 87:4180-4185.
- [12] Serra O. Fundamentals of well-log interpretation(Vol 1): The acquisition of logging data[J]. Development of petroleum science, 1984,(15A).

- [13] Collett T S,Goldberg D S,Guerin G, et al. Assessment of gas hydrate concentration (saturation) with downhole electrical resistivity logs on hydrate ridge[J]. Geophysical research abstracts,European Geophysical Society,2003, 5,07754.
- [14] Hyndman R D, Yuan T, Moran K. The concentration of deep sea hydrate from downhole electrical resistivity logs and laboratory data[J]. Earth and planetary science letter, 1999, 172: 167-177.
- [15] Wyllie M R J, Gregory A R, Gardner G H F. An experimental investigation of factors affecting elastic wave velocities in porous media[J]. Geophysics, 1958, 23:459-493.
- [16] Lee N W, Hutchinson D S, Collet T S, et al. Seismic velocities for hydrate-bearing sediments using weighted equation [J]. Journal of geophysical reaserch, 1996, 101:20347-20358.
- [17] Collett T S. Natural gas hydrate of the Prudhoe Bay and Kuparuk river aera[J]. AAGP Bulletin, 1993, 77(5): 793-812.
- [18] Collett T S. Formation evaluation of gas hydrate-bearing marine sediments on the Blake ridge with downhole geochemical log measurement. In: Proceeding of Ocean Drilling Program,

Scientific Results. 2000, 164: 179-191.

- [19] Hyndman R D, Spence G D. A seismic study of methane hydrate marine bottom simulation reflectors[J]. Journal of geophysical research, 1992, 97:6683-6698.
- [20] Kuster G T, Toksöz M N. Velocity and attenuation of seismic waves in two-phase midia:1, Theoretical formulation[J]. Geophysics, 1974, 39:587-606.
- [21] Ecker C, Dvokin J, Nur A M. Estimation the amount of gas hydrate and free gas from marine seismic data[J]. Geophysics, 2000,65:565-573.
- [22] Carcione J M, Tinivella U. Bottom simulation reflectors: seismic velocities and AVO effects[J]. Geophysics, 2000, 65: 54-67.
- [23] Hyndman R D, Moore G F, Moran K. Velocity, porosity and pore-fluid loss from the Nankai subduction zone accretionary prism. Hill I A, Taira A, Firth J V, et al. processing of Drilling program Results[R]. College Station, TX(Ocean Drilling Program), 1993, 131, 211-220.

METHODS FOR ESTIMATING NATURAL GAS HYDRATE SATURATION WITHIN SUBMARINE SEDIMENTS

GAN Hua-yang¹, WANG Jia-sheng¹, CHEN Jian-wen², GONG Jian-ming²

(1. China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 2. Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao 266071, China)

Abstract: Accurate estimation of the gas hydrate saturation within submarine sediments is a key problem in reserves calculation. Based on summarization of a set of latest related publications, this paper advances three kinds of methods for estimating gas hydrate saturation within submarine sediments, i. e., pore water chlorine ion concentration of the core, well-log and seismic velocity. The merits and shortcomings of these methods are also evaluated.

Key words: natural gas hydrate; estimating gas hydrate saturation; seismic exploration; well-log

作者简介: 甘华阳(1979一),男,2002 年毕业于中国地质大学(武汉)地质学专业,现为该校海洋地质专业硕士研究生,主要从 事海洋沉积和天然气水合物方向的学习和研究工作。