

海洋天然气水合物勘探方法综述

尹聪^{1,2,3}, 兰丽茜^{1,2}, 王芳^{1,2}

(1. 国家海洋局北海海洋技术保障中心 青岛 266033; 2. 山东省海洋生态环境与防灾减灾重点实验室 青岛 266033;
3. 中国海洋大学 青岛 266100)

摘要: 由于受温度、压强等因素的制约,海洋天然气水合物在地层中形成及分布的区域是多样化的。在这样复杂的地质环境中探矿,需要使用多种勘探手段和方法。当前,主要使用地球物理和地球化学的方法进行勘探,采取以物探法中的地震勘探为主、其他方法为辅的办法来判定地层中是否有水合物存在。对勘探方法进行全面了解和研究,有助于未来逐步探明天然气水合物的赋存情况,为今后对其进行合理开发打下基础,进而为国家建设提供充足的能源支撑。

关键词: 天然气水合物; 勘探方法; 物理勘探; 化学勘探

中图分类号: P744.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-9857(2015)01-0027-03

天然气水合物是一种有笼状构造的似冰状结晶矿物,主要是由甲烷和水分子结合而成。海底天然气水合物具有能量高、分布广、规模大、埋藏浅等特点,全球天然气水合物的资源总量相当于已探明石油、天然气和煤的总碳量的 2 倍,因此被公认为是未来重要的后续能源^[1-2]。研究表明,天然气水合物主要分布在主动和被动大陆边缘的陆坡、岛坡、海山、边缘海深水盆地,乃至内陆海或湖区^[3],目前,在东海和南海都已被证实有大量的天然气水合物资源存在。尽管如此,在勘探方面依然存在着预测资源量偏大、地震剖面上似海底反射层(BSR)与天然气水合物沉积层关系不明确、水合物成藏动力和体系研究不够等问题^[4],因此需要多种勘探方法互为补充,提高勘探准确性。本文对海洋天然气水合物主要勘探方法进行论述,旨在为准确、高效、经济地勘探水合物提供理论依据和方式方法,也为未来开采做好前期准备工作。

1 我国对海洋天然气水合物的勘探历程

中国对天然气水合物的勘探起于 20 世纪 90 年代初,1990 年首次在实验室里合成甲烷水合物,这是我国在该领域研究中迈出的具有实质意义的第一步;1999 年在南海进行了 500 km 深水高分辨率多道地震调查,首次发现了似海底反射的水合物存在标志,第一次在我国海域确定了有天然气水合物的存在;2007 年 5 月,在南海北部神狐地区的海床以下 183~225 m 处成功钻获了天然气水合物实

物样品,这一突破标志着我国对水合物的研究已由实验室阶段步入到资源调查和开发利用这一阶段;2011 年,正式启动了为期长达 20 年的国家水合物计划,其中对南海水合物的勘查是重大项目,主要任务是利用综合地质、地球物理、地球化学等手段在重点成矿区带进行勘查,查明资源的分布情况并实施试验性开采。我国虽然在这一领域起步较晚,但是拥有丰富的水合物资源,据粗略估算,南海作为主要分布区资源量约为 $64.97 \times 10^{12} \text{ m}^3$,在勘探手段不断发展的今天,圈定更多的远景区、为资源储备打下基础是指日可待的。

2 天然气水合物的勘探方法

目前对天然气水合物的勘探,主要依靠地球物理、地球化学的方法,随着海洋科技的发展,水下成像技术也崭露头角。在不同的环境和条件下,应选取合适的方法对天然气水合物矿进行探测,有时还需选取一种以上的方法,以确保勘探的准确性。

2.1 地球物理勘探法

2.1.1 地震勘探法

物探法是现在普遍使用的天然气水合物的勘探方法,准确度也比较高,尤其是地震勘探技术应用广泛。单道和多道地震是勘探天然气水合物中一直使用的传统方法,其震源主频较低,穿透深度大,可以清楚地显示似海底反射层(BSR)的位置,但是主频低导致垂向分辨率受到制约,为了能更好地显示水合物层的细部结构,研究者们发展了高分

辨率地震方法、深拖多道地震探测方法、海底地震仪方法、海底地震电缆等探测方法^[5]。高分辨地震勘探设备比传统地震勘探设备简单,震源频率高,注重地层垂向分辨率,可清楚地显示 BSR 层;深拖多道地震勘探中,将震源和数据接收电缆置于近海底,可分辨出水合物层详细的地层结构,但是 BSR 层反射要弱一些;海底地震仪放置于海底,进行定点长期观测,与反射地震数据相配合,可以给出水合物区的沉积地层速度结构模型;海底地震电缆是将电缆铺设在海底来接收地震数据,它可以接收到海面拖缆无法记录到的 S 波信号,利于 BSR 之下的气区成像^[5]。这几种探测设备各有优点,因此应根据海底实际情况、海洋环境等多种因素选择探测设备,提高勘探准确率。

2.1.2 海底热流勘探

天然气水合物形成和分解时,都会伴随着吸热和放热的过程,因此海底热流勘测也是研究水合物的重要方法之一。水合物在沉积物中的形成是一个放热过程,因此形成的水合物藏上方,应当出现地热正异常;相反,水合物分解是一个吸热过程,在被破坏的水合物藏的上方应当出现地热负异常^[6]。利用海底热流探针可以直接测量海底热流和海底温度,利用测得的数据可以估算天然气水合物稳定带的底界,也可以从宏观上确定大陆边缘水合物可能存在的分布范围^[5]。高热流点区或者高地热梯度带一般不利于天然气水合物的保存,但是热流的影响范围有限,比如冲绳海槽热流点附近的一定范围外热流值极低^[2],有天然气水合物赋存。

2.1.3 海底电磁、重力勘探

天然气水合物在电性上是绝缘的,通过人工源海底电磁探测来辅助地震勘探手段,可了解天然气水合物厚度、孔隙度,从而利用电法资料辅助评价和计算天然气水合物的资源^[7-8]。海底沉积地层可能赋存天然气水合物,可以通过重力仪记录海底随海洋波动的垂直起伏,进而计算近海底沉积地层的剪切模量,通过剪切模量异常估算沉积地层中天然气水合物的含量^[9]。

2.1.4 测井技术

另外,测井技术也是进行天然气水合物勘探的有效方法,它是随着钻探技术的发展而应用起来的,能够识别含水合物的沉积层。由于天然气水合物存在需要低温高压的环境,一旦改变这些

外部条件,很容易引起水合物分解,而测井方法能够在原位地层压力和温度条件下测量地层物理特性,这种方法对发现和研究天然气水合物来说是其他的勘探方法所不能替代的^[10]。

2.2 地球化学勘探方法

天然气水合物受到外部环境中温度压强的影响,会分解或者结晶,这样使其周边的水体、沉积物等的地球化学性质产生异常变化,通过分析这些变化,可以确定水合物可能的成矿位置,这是识别海底天然气水合物赋存位置的有效方法。

2.2.1 气体异常检测法

甲烷是构成天然气水合物的主要物质,另外还有少量烃类,如乙烷、丙烷等,和非烃类的化合物,如 H_2S 、 CO_2 等,因此存在天然气水合物的地区,在海底沉积物、海水及海面大气中,这些气体元素含量必然会出现异常^[11-12]。正常情况下,海水中的甲烷含量非常小,每升海水中仅有几纳克或几万纳克,而水合物分解产生的甲烷微量渗漏,可以使甲烷含量有数千倍的增加。而 H_2S 出现异常高值是因为水合物中上渗的甲烷与海水中的 SO_4^{2-} 在近海底附近发生化学反应,生成 H_2S ,从而使气体含量可能偏高^[13]。此外,海底还会出现 CO_2 的喷溢,如 Sakai 等在冲绳海槽发现有 CO_2 气泡冒出,与海水接触后形成 CO_2 水合物。

2.2.2 孔隙水 Cl^- 浓度异常

孔隙水中 Cl^- 浓度异常是水合物矿区的重要标志之一。通常在水合物分布地区孔隙水 Cl^- 浓度随深度急剧减小。这是因为天然气水合物在形成过程中会产生排盐作用,使得周围孔隙水中 Cl^- 浓度增高;随着沉积物被压实,固体和液体发生分离,流体向上排升,使得原来的高氯度流体运移到沉积物顶部,从而造成浅层沉积物中孔隙水 Cl^- 浓度增高,水合物附近孔隙水 Cl^- 浓度反而降低^[14]。目前收集到的各地许多含水合物钻孔中测得的孔隙水氯度(0.51‰~8.2‰)都远低于海水(约 19.8‰)。因此,孔隙水 Cl^- 浓度可以作为指示天然气水合物的一个重要指标^[13]。

2.2.3 稳定同位素法

稳定同位素化学是研究天然气水合物成矿气体来源的最有效的手段^[13],多用甲烷中的 ^{13}C 值等来判定成矿原因。随着研究不断深入,有更多的化

学物质可以来判定天然气水合物的存在。比如 ^4He 同位素在海底冷泉附近出现高值异常,而冷泉又与水合物的存在有密切的关系,所以高 ^4He 含量成为判别水合物存在的一个重要标志^[12]。

2.3 地貌勘测和水下成像勘测

由于天然气水合物分布常和海底诸如断层、麻坑、泥火山、底辟这样的地形地貌有关,所以可以使用多波束条幅测深技术和精密声相干技术结合来进行海底微地貌探测^[15-16]。现在海底探测手段多样,普遍是利用声呐设备,如多波束、侧扫声呐、合成孔径声呐、浅地层剖面仪等进行海底地形地貌和地层结构的探测,有的尖端设备甚至可以探测到海底以下的储气层和沉积层,这无疑为有无水合物存在提供有力依据;在海底成像技术不断发展的今天,还可以使用海底电视摄像技术和水下机器人等来探测真实地形地貌,推断天然气水合物可能产生的区域。

3 讨论与总结

天然气水合物是一种新兴的、储量丰富的能源,给未来社会发展带来巨大潜力。但是目前在天然气水合物的勘探中存在着需要注意的几个问题:① 勘

探过程中使用的种种方法和设备,都有其局限性,因此还是需要具体情况具体分析,不能仅凭理论经验判断该使用何种方法和设备。② 勘探方法还是以地震勘探为主,但在没有 BSR 现象的地方可能也会有天然气水合物的存在,如墨西哥湾;反之,有 BSR 的地方,可能没有水合物的存在,这就需要结合其他判定方法进行勘测,以免错失资源或者浪费掉巨额的开采成本。③ 勘探要全面,不仅要探明水合物成藏位置,还要探明其成藏方式,例如是作为填隙物存在于地层中,还是作为岩石骨架的一部分存在,这为避免人为灾害、安全开采打好基础。

加强对天然气水合物勘探方法的研究,将进一步明确对该能源合理开发和利用的方法,对于缓解我国能源短缺,改善能源结构布局,发展经济等具有深远影响。经过多年的调查研究,我国正逐步建立适合中国海域特点的天然气水合物资源综合勘查技术体系,如高分辨率多道地震与海底地震联合目标探测、海底微地貌和热流探测、海底原位孔隙水取样等技术,为我国在圈定资源远景区、勘探开发利用该资源提供有力支撑和保障。

参考文献

- [1] 方银霞,黎明碧,金翔龙,等. 东海冲绳海槽天然气水合物的形成条[J]. 科技通报,2003,19(1):1-5.
- [2] 杨文达,曾久岭,王振宇. 东海陆坡天然气水合物成矿远景[J]. 海洋石油,2003,24(12):1-8.
- [3] 杨廷槐,刘聚海. 海底气体水合物资源远景及其勘查开发[J]. 国外地质科技,1998(2):17-21.
- [4] 张树林. 中国海域天然气水合物勘探研究新进展[J]. 天然气工业,2008,28(1):154-158.
- [5] 栾锡武,赵克斌,孙冬胜,等. 海域天然气水合物勘测的地球物理方法[J]. 地球物理学进展,2008,23(1):210-219.
- [6] 杨木壮,沙志彬,梁金强,等. 南海东北部陆坡区天然气水合物成矿作用[J]. 现代地质,2011,25(2):340-348.
- [7] EDWARDS R N. On the resource evaluation of marine gas hydrate deposits using sea floor transient electric dipole-dipole methods [J]. Geophysics,1997,62(1):63-74.
- [8] EDWARDS R N. Marine controlled source electromagnetics:principles, methodologies,future commercial application [J]. Surveys in Geophysics,2005,26(6):675-700.
- [9] LATYCHEV K,EDWARDS R N. On the compliance method and the assessment of three dimensional seafloor gas hydrate deposits[J]. Geophysical Journal International,2003,155(3):923-952.
- [10] 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(4):305-311.
- [11] DICKENS G R. 大型天然气水合物储层中甲烷的实地直接测量[J]. 天然气地球科学,1998,9(3/4):77-79.
- [12] 陈敏,曹志敏,龚建明,等. 海底天然气水合物地球化学勘探新技术[J]. 矿物岩石,2004,4(24):102-107.
- [13] 刘小平,杨晓兰. 海底天然气水合物地球化学方法勘探进展[J]. 天然气地球科学,2007,18(2):313-316.
- [14] KVENVOLDEN K A,KASTNER M. Gas hydrate of the Peruvian outer continental margin [J]. Proceeding ODP Scientific Results,1990,112:517-526.
- [15] MILKOV A V,CLAYPOOL G E,LEE Y J,et al. ODP Leg 204 Scientific Party. In situ methane concentrations at Hydrate Ridge,off shore Oregon;New constraints on the global gas hydrate inventory from an active margin[J]. Geology,2003,31(10):833-836.
- [16] CLAGUE D,MAHER N,PAULL C K. High-resolution multibeam survey of Hydrate Ridge,Offshore Oregon[C]//Paull C K,Dillon W P (Eds.). Natural Gas Hydrates:Occurrence,Distribution and Detection. Am Geophys Union Geophys Monogr,2001,124:297-306.