

天然气水合物赋存区麻坑地貌特征及其地质灾害意义

曹超,潘翔,蔡锋,陈庆辉,郑勇玲,吴承强,宋志晓,卢惠泉,鲍晶晶

(国家海洋局第三海洋研究所 厦门 361005)

摘要:文章通过对天然气水合物资源及其赋存区典型地貌体特征的分析,梳理了天然气水合物赋存区和麻坑地貌体的地质灾害类型,阐述了由于天然气水合物分解释放造成海底滑坡、滑塌和甲烷气体大规模逸散,继而引起海底输电或通信电缆毁坏、海洋石油钻井平台垮塌,甚至海啸和全球气候变暖等严重灾害。为天然气水合物勘探和开采提供有益参考。

关键词:天然气水合物;麻坑地貌;地质灾害;环境效应;南海北部陆坡

中图分类号:P714 文献标志码:A 文章编号:1005-9857(2018)07-0052-04

Characteristics of Pockmark Geomorphology in Gas Hydrate Occurrence Area and Its Geological Hazards Significance

CAO Chao,PAN Xiang,CAI Feng,CHEN Qinghui,ZHENG Yongling,WU Chengqiang,
SONG Zhixiao,LU Huiquan,BAO Jingjing

(Third Institute Of Oceanography,State Oceanic Administration,Xiamen 361005,China)

Abstract: Based on the analysis of natural gas hydrate resources and the typical geomorphology features of their occurrences,the paper combed the geological disasters of natural gas hydrate occurrences and pockmark geomorphology. The effects were introduced including natural gas hydrate decomposition and release on submarine landslides,collapse and large-scale escape of methane gas which in turn led to the destruction of submarine transmission or communication cables,offshore oil rig collapse,and even tsunamis and global warming and other serious disasters.A scientific basis for gas hydrate exploration and exploitation was also provided.

Keywords: Gas hydrate, Pockmark geomorphology, Geological hazards, Environmental effect, Northern continental slope of South China Sea

1 天然气水合物及其资源

1.1 天然气水合物概况

天然气水合物(Gas Hydrate),俗称“可燃冰”,

是分布于半深海或深海沉积物或陆地永久冻土中,由天然气与水在低温、高压条件下形成的似冰状的结晶体,根据其内部不同结构的晶穴大小和晶格数

收稿日期:2017-11-30;修订日期:2018-06-15

基金项目:国家自然科学基金(41406059、41276058);福建省自然科学基金(2016J01190);海洋地质国家重点实验室开放基金(MGK1604);国家海洋公益性科研专项(201505012);国家海洋局第三海洋研究所基本科研业务费(海三科 2016037)。

作者简介:曹超,副研究员,博士,研究方向为沉积地貌学和沉积地球化学

目,天然气水合物类型分为 I 型、II 型和 H 型^[1]。理论上,1 m³可燃冰可转化为 164 m³的天然气和 0.8 m³的水。据统计,全世界海底可燃冰分布约 4 000 万 km²,占海底总表面积的 10%。天然气水合物中甲烷含量占 80%~99.9%,燃烧产生的污染比煤、石油、天然气都小得多,而且储量丰富,全球储量足够人类使用 1 000 年,因而被各国视为未来石油、天然气的替代能源^[2],各国政府也正极力地寻求更便捷的勘探方式和安全的开采方法,为新能源的使用和普及做出积极的努力。

1.2 我国南海天然气水合物资源

天然气水合物在自然界的发现,最初并不是在海底,而是油气管道中。1934 年,石油工人在油气管道和加工设备中发现了冰状固体堵塞现象,可是这些固体不是冰,而是现在我们说的“可燃冰”。1965 年,苏联科学家预言天然气的水合物可能存在海洋底部的地表层中,后来人们终于在北极的海底(白令海)首次发现了大量的“可燃冰”^[3]。目前,已有 30 多个国家和地区开展天然气水合物的调查勘探与研究,随着研究和勘察的深入,世界海洋中发现的天然气水合物由 1993 年的 57 处增加到 2001 年的 88 处,如果加上陆地冻土带范围内的天然气水合物,多达 100 处矿点。我国天然气水合物勘探起步于 20 世纪 90 年代,经过科学家的不懈努力,于 2007 年 9 月在南海北部珠江口盆地的神狐海域首次钻探到“可燃冰”实物样品。2017 年 5 月,我国首次在海域天然气水合物试采成功,初步预测我国海域天然气水合物资源量约 800 亿 t 油当量。2017 年 11 月 3 日,国务院于正式批准将天然气水合物列为新矿种,成为我国第 173 个矿种。短短 20 多年的时间,我国已由对天然气水合物资源认知匮乏到跻身世界上少数能够独立开采的海洋强国。

2 麻坑地貌

2.1 麻坑地貌及其类型

在天然气水合物的赋存区,因为下伏活动流体的不断溢出,在海底表面会形成不同形状、大小和规模的麻坑和麻坑集合体。而最初(1970 年)在加拿大新斯科舍(Nova Scotia)大陆架油气勘探区的海底发现类似于火山口状的凹陷地形,即使是典型

的海底麻坑地貌,但由于当时人们认知的匮乏而没有得到足够重视,导致在该区域油气勘探停滞不前。直到 1987 年在北海海底凹陷地形沉积物中发现自生碳酸盐岩的胶结物^[4-5],人类才逐渐认识到海底麻坑地貌的存在,并证实其形成与甲烷渗漏活动有关。此后,人们逐渐认识到麻坑地貌可以较为准确地指示过去和现今海底沉积层中的流体活动。随着海洋地质(地质地球物理)探测技术的日新月异,在全球范围内与冷泉活动有关的海底麻坑地貌不断地被发现(图 1),如白令海峡、加拿大西部陆坡、北海、西非陆坡、挪威海北部陆坡以及中国南海北部陆坡等区域^[5-7]。

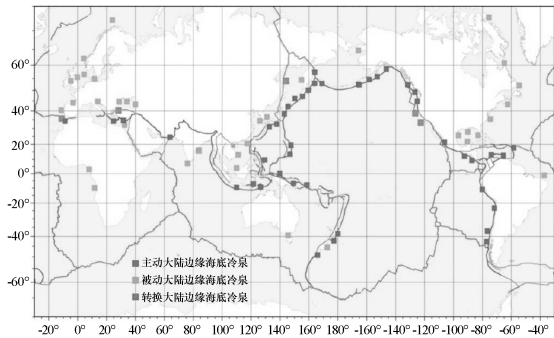


图 1 全球范围内与麻坑地貌有关的海底冷泉分布^[6]

下伏地层气体溢出形成的麻坑形态基本规则,并具有一定的指向性,根据其长宽比可将麻坑分为 3 类:圆形麻坑(长宽比为 1~1.5)、椭圆形麻坑(长宽比为 1.5~2.5)以及拉长形麻坑(长宽比大于 2.5)。我国学者在南海北部海盆区发现了直径达 3 120 m 的巨型麻坑地貌,这也是迄今为止在我国海底发现的最大麻坑。Cole 等通过三维地震剖面,识别出北海 Firth 盆地古近纪地层中的古麻坑地貌,直径达 4 000 m,这些超大型麻坑是由于强烈的大规模流体快速喷溢出海底面所形成,并且由多个直径为 100~200 m 的大小不等的小麻坑合并形成的复合麻坑^[6-7]。除此之外,在我国南海北部陆坡和西沙海槽等天然气水合物赋存区发现多处海底麻坑或麻坑群。由此可见,麻坑地貌与海底甲烷渗漏和活动流体垂向运移有密切的关系。

2.2 麻坑地貌形态与成因关系

由于海底麻坑可形成于多种不同的海洋环境,

并且在形成之后还可能受到各种地质营力(如,底流作用、滑塌等)的影响,造就了大小及形态迥异的麻坑。海底麻坑的大小变化范围很大,最小的麻坑直径不到 5 m,最大的麻坑直径可达数千米,垂向剖面也由深度从小于 1 m 至百米以上^[6-8]。麻坑地貌不仅规模差别较大,其坑体的三维形态也不尽相同。典型麻坑地貌呈椭圆形或圆形,也有呈长形或新月形,还有呈线性展布的链状麻坑。在纵向地层上,麻坑主要呈“V”形、“U”形以及“W”形 3 种形态,且多数呈不对称状^[6-8]。总体来看,受海底多种地质因素(如,底层流作用或滑塌)的综合影响,海底麻坑地貌多为复合型麻坑。

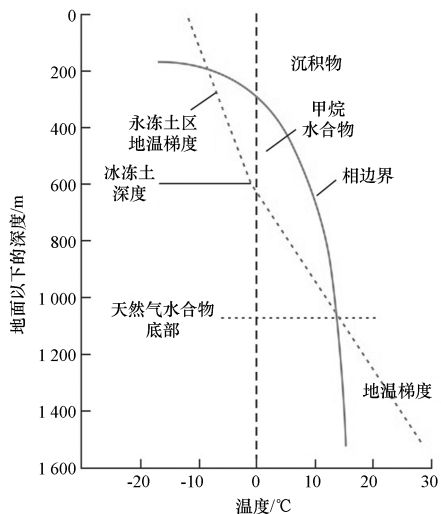
麻坑地貌形成的首要条件即是活动流体的存在,但不同性质的活动流体(即流体的流速和流量不同)可能会产生不同的溢出形式,进而造成剥蚀海底表面松散沉积物的方式不同,形成的麻坑地貌也不尽相同。如海底地下淡水的渗漏,形成大小和规模较小、形态不一的麻坑地貌体;深水海底超高压气体的喷溢,易形成规模较大、形态规则的麻坑地貌群,同时,该类型麻坑地貌群中由于活动流体的冲击力较强,坑底的细粒沉积物被在悬浮后随底层流搬运走,而较粗颗粒的沉积物则残留在坑底,为形成一定规模的二次气藏提供物质条件。麻坑地貌形成的另一个条件是活动流体运移的压力差。只有在海底形成一定的异常超压的情况下,才能驱使活动流体沿着地层孔隙运移。影响这种异常超压的因素主要有海底沉积层的厚度、沉积物孔隙率以及沉积物性质等。因此,麻坑的形成还与海底下伏地层性质和地质构造密切相关。

3 地质灾害特征

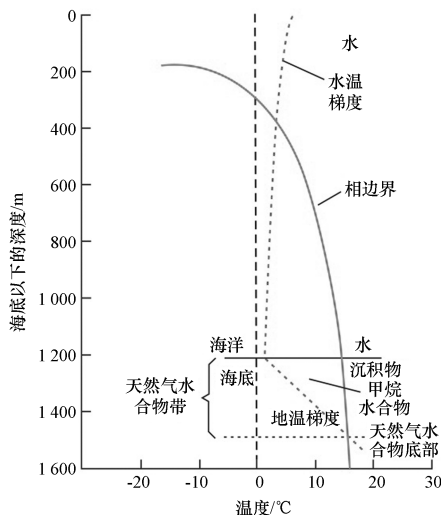
3.1 天然气水合物赋存区地质灾害类型

众所周知,天然气水合物藏的形成受严格的温度和压力控制(图 2)。我国南海北部陆坡和西沙海槽等海域由于特殊的构造特征、巨厚的沉积层等因素是形成天然气水合物藏的优良场所。同时,其深水区发育多种具有活动能力的破坏性灾害地质因素类型,如海底滑坡、浅层气、活动断层、泥火山、底层流引起的侵蚀(沟)谷和陡坎;非限制性灾害地质因素类型,如海底火山、浅埋基岩面、岩浆(泥)底

辟等^[7-9]。



(a) 冻土带天然气水合物藏的温压条件



(b) 海底天然气水合物藏的温压条件

图 2 形成天然气水合物藏的温压条件示意图^[9]

因此,引起天然气水合物赋存区地质灾害因素主要是断裂活动引发的海底滑坡、地震引起的地层滑塌,滑坡、滑塌又打破天然气水合物藏的温压条件而造成水合物分解,分解产生的活动流体又会引发地层陷落、滑坡等由此产生的一系列链式地质灾害,其特点也存在普遍性、复杂性和致灾性。

3.2 麻坑地貌的地质灾害意义

由于海底麻坑地貌反映下伏地层构造和活动流体渗漏现状,其灾害性特征也越发明显。例如,卡斯卡迪亚大陆边缘存在活动性较强的麻坑地貌群,每年甲烷排放量约为 180 kg,若这些甲烷气体

直接进入海水甚至大气,则造成重大的温室气体效应^[10]。在地质勘探和资源开采过程中越来越受到人们的重视。

活动流体溢出形成的麻坑地貌进而产生的地质灾害类型繁多,主要体现在:破坏地层稳定性、加剧温室效应、引发海洋性灾难。

(1)破坏地层的稳定性:海底的麻坑地貌体中沉积物常以胶状结构存在,就像在麻坑表面贴了一层硬质胶结物,其对沉积层的强度起着非常重要的支护作用。当甲烷从固结在海底沉积物中的天然气水合物中逸散,将会改变沉积物的理化性质(增大孔隙度、沉积物液化等),大大降低海底沉积层的力学强度,使海底软化,进而引发大规模的海底滑坡等地质灾害,毁坏海底输电或通信电缆、海洋石油钻井平台等^[11]。

(2)加剧温室效应:天然气水合物释放的主要气体为甲烷气,且甲烷的温室效应是同质量二氧化碳的 20 倍以上,若处理不当发生意外,分解出来的甲烷气体由海水释放到大气层,将使全球温室效应问题更趋严重,加速全球气候变暖。

(3)引发海洋性灾难:赋存在海底的天然气水合物矿床的不合理开采还可能会破坏洋壳的稳定性,造成大陆架边缘动荡而引发海底沉积层塌方,导致大规模海啸,带来灾难性后果。8000 年前在北欧造成浩劫的大海啸,也极有可能是由于这种气体大量释放所致^[12]。百慕大三角区域飞机和船只的神秘失踪也与其海底天然气水合物失稳释放出大量甲烷气体造成海面上一定空间内的负压场有关(甲烷密度比空气密度小)。

因此,麻坑地貌是天然气水合物藏失稳释放大 量气体的海底形貌的表征,在天然气水合物赋存区出现麻坑地貌的海底,是海底底床不稳定的潜在信号,在资源探勘和开采过程中应引起足够重视。

4 结语

(1)自 2007 年 9 月在南海北部珠江口盆地的神狐海域首次钻探到“可燃冰”实物样品到 2017 年 5 月,我国首次在海域天然气水合物试采成功,直至 2017 年 11 月 3 日,国务院于正式批准将天然气水合物列为新矿种,成为我国第 173 个矿种。标志着

我国已由对天然气水合物资源认知匮乏到跻身世界上少数能够独立开采的海洋强国。

(2)麻坑地貌是天然气水合物藏失稳释放大 量气体的海底形貌的表征,在天然气水合物赋存区出现麻坑地貌的海底,是海底底床不稳定的潜在信号。同时,在资源探勘和开采过程中极易导致工程灾难(钻井安全)、地质灾害(海底滑坡、滑塌)、环境效应(全球气候变暖)等地质和生态灾害问题。应引起各国科学家足够重视。

参考文献

- [1] KVENVOLDEN K A. Methane hydrates and hydrates and global climate[J].Biogeochemical Cycle,1988(2):221—229.
- [2] SLOAN E D.Cathrate hydrates of natural gases(second edit)[M].New York:Marcel Dekker,Inc,1990:1—28.
- [3] CLAYPOOL G E,KAPLAN I R.The origin and distribution of methane in marine sediments[C]//Kaplay I P,ed.Natural Gas in Marine Sediments.New York:Plenum,1974:99—139.
- [4] KING L H,MACLEAN B.Pockmarks on Nova Scotian shelf[J].Geological Society of America Bulletin,1970,81(10):3141—3148.
- [5] 范运年.可燃冰:未来的代替能源[J].中国电力教育,2010,14(8):111—112.
- [6] HOVLAND M,TALBOT M R,QVALE H.Methane-related carbonate cements in pockmarks of the North-Sea[J].Journal of Sedimentary Petrology,1987,57(5):881—892.
- [7] 罗敏.南海西沙南海底麻坑区生物地球化学过程、麻坑活动性以及麻坑形成时间研究[D].广州:中国科学院广州地球化学研究所,2015:12—20.
- [8] 罗敏,吴庐山,陈多福.海底麻坑研究现状及进展[J].海洋地质前沿,2012,28(5):33—42.
- [9] BOROWSKI W S,PAULL C K,USSLER W.Global and local variations of interstitial sulfate gradients in deep water,continental margin sediments;Sensitivity to underling methane and gas hydrates.Marine Geology[J].1999,159:131—154.
- [10] 尚久靖,吴庐山,梁金强,沙志彬.南海东北部陆坡海底微地貌特征及其天然气渗透模式[J].海洋地质与第四纪地质,2014,3(1):129—136.
- [11] BOROWSKI W S,PAULL C K,USSLER W.Marine pore-water sulfate profiles indicate in situ methane flux from underlying gas hydrate[J].Geology,1996,24(7):655—678.
- [12] 马云,孔亮,梁前勇,等.南海北部东沙陆坡主要灾害地质因素特征[J].地学前缘,2017,24(4):102—111.