

天然气水合物:能源与环境科学的前沿问题

Natural Gas Hydrates: Affinity Problems of Energy and Environment Science

朱岳年

(石油大学油气资源与环境地质研究所 山东东营 257062)

气水合物是一种由气体分子和水分子在特定压力和温度条件下形成的具有笼形结构的冰状固态物质^[1]。一个单位体积的气水合物分解后可释放出100~300倍于这个体积的气体^[1~2]。

气水合物发现于19世纪初,很长时间科学家的研究只局限在实验室对其进行结构、稳定性、生成与分解等纯科学方面^[2]。本世纪30年代,输气管线中发现有气水合物生成,这种物质严重影响了气体的正常输送,因此专家们的注意力转向了预报输气管线中气水化物的生成和研究如何消除其堵塞管线的方法^[2]。

本世纪50~60年代,前苏联学者认为地壳浅层沉积物存在有适合天然气水合物形成的层带,即天然气水合物生成带,并有可能形成规模宏大的工业性天然气水合物矿田^[1]。60年代后期,世界上第一个天然气水合物矿田——麦索雅哈气田在西西伯利亚盆地发现。后来,深海钻探计划(1968年8月~1983年11月)和大洋钻探计划(1985年1月~1995年)实施过程中,天然气水合物也在全球很多海域发现^[2]。

自70年代以来,很多国家,如美国、俄罗斯、日本、加拿大、德国、挪威、英国、比利时、丹麦、芬兰、希腊、冰岛、荷兰、意大利、西班牙、土耳其、瑞典、瑞士、澳大利亚、新西兰等都对天然气水合物的研究给予了极大关注,使其明显成为当代能源与环境科学研究中的一个热点及前沿领域^[1]。究其原因可能是天然气水合物对解决能源危机、了解全球气候变化规律和预报自然灾害具有重要意义。

巨大的潜在能源

天然气水合物之所以成为能源科学的前沿热点问题,是因为它被视为巨大的潜在能源,且有下列十分诱人之处。第一是天然气水合物具有十分广泛的地理分布,在大陆(包括大陆架)永冻区和海洋外大陆边缘沉积物中普遍存在。第二是全球天然气水合物中天然气的总资源量十分巨大,约相当于全

球常规化石燃料(煤炭、石油和天然气)资源总量的两倍。第三是天然气水合物的能源密度(标准状态下单位体积岩石所含天然气量)极大,相当于其它非常规天然气源(如煤层、致密砂岩、黑色页岩和深部含水层)的10倍多,常规天然气的2~5倍。第四是天然气水合物埋藏浅,在永冻区为130~2000m,在海洋外大陆边缘为0~1100m。第五是天然气水合物具有不稳定性,通过减压和增温可进行天然气资源的开发^[2]。

1. 分布 北极和南极大陆(包括大陆架)是地球上最重要的两个永冻区。天然气水合物已在北极圈内永冻区有众多发现,陆上如俄罗斯的西西伯利亚盆地(麦索雅哈气田)、季曼—伯朝拉盆地、东西伯利亚盆地、堪察加盆地等,北美北极圈内的马更些三角洲、斯弗德鲁普盆地、北极大陆、北极群岛、阿拉斯加北斯洛普;海上如加拿大波弗特海大陆架、西伯利亚大陆架、北极大陆架等。南极大陆肯定也分布有大量天然气水合物,但目前研究程度很低,对其分布情况尚不十分清楚。根据北极天然气水合物产出特征分析,永冻区天然气水合物主要分布于地面下130~2000m的范围。

深海钻探计划和大洋钻探计划实施过程中,很多海域也发现有天然气水合物分布,如南美的秘鲁—智利海沟,中美海沟,加利福尼亚伊尔河盆地,墨西哥湾,美国东海和南海,阿拉斯加阿留申海沟和白令海,日本海和日本东南海,澳大利亚帝汶海,新西兰希库艾海,南极威尔克斯海和西罗斯海,南极半岛南设得兰海域,南西非海域,阿曼湾,黑海和里海等。深海天然气水合物分布仅限定在水深超过300~500m的外大陆边缘地区沉积物中,这样的海域面积不足总海洋面积的10%。海底天然气水合物可根据人工地震反射记录中平行于海底地形的异常地震反射层,即海底模拟反射层(BSR)来识别^[2]。BSR实质上反映的是天然气水合物层的基底与其下面含水或含游离气层之间的接触界面,它常出现在海底之下约100~1100m的范围。由于天然气水合物上限为海底表面,所以海洋外大陆边缘天然气

水合物分布在海底 0~1 100m 的范围。另外,值得一提的是,贝加尔湖底也发现了天然气水合物。

2. 资源量 天然气水合物中的气体主要是甲烷(>99.9%)。因此,天然气水合物的资源量可用甲烷量来表示。尽管天然气水合物已在全球 70 多个地域发现,但是对其总分布情况的了解尚不全面。因此,全球天然气水合物中甲烷总量只能是估算。1981 年美国潜在天然气委员会公布,北极永冻区天然气水合物中至少有 $1.4 \times 10^{13} \text{m}^3$ 的甲烷,海洋外大陆边缘天然气水合物中甲烷量可高达 $7.6 \times 10^{18} \text{m}^3$ 。1990 年 MacDonald 认为全球天然气水合物的甲烷应该在 $2 \times 10^{16} \text{m}^3 \sim 2.1 \times 10^{16} \text{m}^3$ 。如果将天然气水合物资源量用有机碳含量表示,则全球天然气水合物中含有机碳总量约为 10 000Gt (1Gt = 10^{15}g),这一数量远超过了全球已知常规化石燃料(煤炭、石油和天然气)的有机碳总量(5 000Gt)。

3. 开发前景 天然气水合物矿田发现已有近 30 年历史,但是工业开发进展缓慢,原因是大规模开发天然气水合物资源的技术难度较大。理论上可供开发天然气水合物的方法有加热增温法、减压法和阻化剂注入法。但是,通过近 30 年的对西西伯利亚麦索雅哈天然气水合物矿田试验性开发的经验表明,阻化剂(甲醇)注入法成本太高,不可取。较现实的方法是减压与注热水增温综合法。减压与注热水增温综合法应用的前提是被开发的天然气水合物层下面一定要有常规游离天然气层。这是因为一方面通过开采常规游离天然气以达到减压的目的,另一方面常规储气层往往有可供热水注入所需的一定孔隙度和渗透率。事实上,天然气水合物层下常伴生游离态天然气层。因此,开发天然气水合物的前景十分看好。

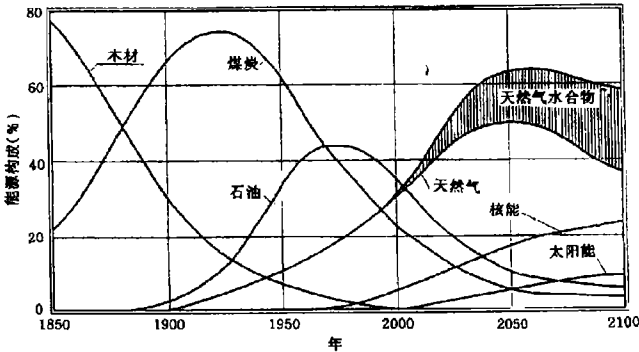


图 1 世界能源平衡动态

目前,美国在阿拉斯加北斯洛普、日本在其南海和日本海正积极进行开发天然气水合物的试验,并制定了宏伟的开发计划。国际上许多有识之士认为天然气水合物将在 21 世纪世界能源平衡中发挥巨大作用^[1,2](图 1)。

科学家对天然气水合物引发的环境问题研究已有近 20 年的历史,主要集中在两个方面:全球气候变化和自然灾害。

1. 全球气候变化

甲烷是一种高效温室气体,百年时间尺度内它所具有的使全球气候变暖的潜力要大于等当量重二氧化碳潜力的 20 倍。大气甲烷的浓度正以约每年 1.0% 的速率增加。地球大气具有广泛的甲烷源和汇,包括天然气水合物。天然气水合物中甲烷总量至少是大气中甲烷总量的 3 000 倍。因此,存在于地壳浅表层的天然气水合物稳定与否,将对全球大气组分变化造成巨大冲击,自然也会影响到全球气候变化的走势。

天然气水合物与其产出环境保持着一种准平衡关系,这种准平衡关系主要受环境的压力和温度变化的影响。全球气候变暖期,一方面冰川和冰盖消融引起海平面升高,使外大陆边缘和极地永冻区大陆架海底天然气水合物由于所受静水压力增大而趋于稳定;另一方面,由于气温升高,最终导致陆上永冻区的天然气水合物在百年到千年的时间尺度内趋于分解,释放出的甲烷直接进入大气中。虽然全球气候变暖期海水温度也会提高,但是对外大陆边缘的深水而言可能变化不大。这样,对外大陆边缘水深超过 300~500m 的海底天然气水合物而言,海平面升高对其稳定性的正面影响远超过了海底水温可能升高对其稳定性的负面影响。但是,这一情况对极地永冻区大陆架的天然气水合物而言并不适用。气温升高自然会增高浅层大陆架的水温。这样,由于水温升高对极地永冻区大陆架海底天然气水合物稳定性的负面影响远超过了由于海平面升高对其稳定性的正面影响。因此,全球气候变暖期,大陆(陆上和海上)永冻区天然气水合物会变得不稳定,向大气排放甲烷,促进全球气候变暖;而海洋外大陆边缘天然气水合物变得稳定而抑制全球气候变暖。全球气候变冷期,大陆永冻区天然气水合物趋于稳定,促进了全球气候变冷,而海洋外大陆边缘天然气水合物变得不稳定,抑制了全球气候变冷。因此,天然气水合物对全球气候变化具有一定调控作用。

2. 自然灾害

天然气水合物层是一种仅被气水合物准固结的沉积层,具有极大的脆弱性和不稳定性。洋流、重荷、地震、火山、构造活动和海平面升降等均可引起天然气水合物层大块体滑动或天然气水合物急剧分解,从而导致海底滑坡、浊流和气涡旋等自然灾害。天然气水合物引发的海底滑坡、滑塌和浊流事

件已在很多海域有发现,如南西非大陆斜坡和隆起上、美国大西洋大陆斜坡、挪威海域等。天然气水合物引发气态旋的最典型地域就是百慕大三角,那里天然气水合物常急剧分解形成甲烷云,当轮船、飞机陷入这种环境时就会失事。

急需的研究方向

天然气水合物作为能源与环境科学的前沿问题,虽然已进行了大量富有成果的研究,但尚有下列很多工作急待深化和开拓。

1. 低纬度大陆永冻区天然气水合物形成条件

目前大陆永冻区天然气水合物仅在高纬度两极地区发现,低纬度大陆永冻区(特别是青藏高原永冻区)是否具有天然气水合物形成条件目前尚不清楚。

2. 南极大陆天然气水合物分布与资源量

目前北极大陆天然气水合物的分布及其资源量情况基本清楚,但对南极这方面研究较少。

3. 湖泊中天然气水合物分布情况

贝加尔湖发现了天然气水合物,其它湖泊中是否有天然气水合物分布?

4. 地质时期天然气水合物层对生物成因天然气成藏的贡献

天然气水合物层是一致密的沉积层,对天然气成藏可起很好的盖层作用。现代天然气水合物层下面常有游离态天然气层分布,那么地质时期天然气水合物层对生物成因天然气成藏的贡献情况如何?

如何识别古天然气水合物层并指导生物成因天然气成藏的勘探工作?

5. 大规模经济开发天然气水合物的理论与技术

水平钻井技术应用于天然气水合物开发的研究工作已在美国积极展开,相信还有更多的新理论与方法可应用于开发天然气水合物。

6. 天然气水合物消融或增生与全球气候变暖与变冷的因果关系

现在只研究了全球气候变化对天然气水合物的影响及其对全球气候变化的反馈作用,但尚不清楚它们二者谁是因,谁是果。因为不仅全球变化对天然气水合物有影响,而且天然气水合物由于地下原因的变化也会影响全球气候的变化。

7. 现今全球气候变暖与天然气水合物的关系

8. 天然气水合物对全球气候变化的贡献率

9. 天然气水合物引发自然灾害的机理及预报方法

10. 地质时期天然气水合物引发海底滑坡、密度流的沉积特征及其识别方法。

参考文献

[1]孙成权、朱岳年,21世纪能源与环境科学的前沿问题——天然气水合物,地球科学进展,1994,9(6):49~52

[2]史斗、孙成权、朱岳年,国外天然气水合物研究进展,兰州大学出版社,1992:1~249

(以下删去30篇外文参考文献)

(责任编辑 刘先曙)

(上接第27页)

资源化。目前废弃物资源化的许多方案可以说在技术上已经比较成熟,但无论哪一种方案都牵涉到分类回收问题;分类回收需要全社会的配合。目前群众环境意识薄弱,同时回收网络也没有形成,能够分类回收的比例很小。依靠闲散劳动力对混合堆放的废弃物进行分拣,回收不充分,且因成本很高而使再生的产品销售困难,从而使回收利用企业最终陷于倒闭。解决这种困难需要作长期不懈的宣传教育工作,另一方面应积极扶持、发展回收利用产业。在目前的实际情况下,可以考虑对替代性产品生产(例如以纸代塑)项目以及废弃物的回收利用实行补贴和政策倾斜。环保产业的发展不仅有利于生态治理、防灾减灾,而且可以容纳相当部分的剩余劳动力。长江每次水患损失都在千亿元以上,在这方面的一点投入是完全有价值的。

长江的生态环境问题是一个系统问题,其中任何一个问题都不可能孤立地得到解决。就洪水而言,除以上措施之外,还要考虑控制人口、解决农村能源、退耕还湖、重辟分洪区、清除港口障碍等,涉

及经济、技术、行政管理、思想教育等诸多方面的工作。前几年曾组织过一系列关于开发长江“黄金水道”经济带的研讨活动,但在这些研讨活动中,可持续发展的声音是十分微弱的,而如果可持续发展的精神在长江流域的经济开发活动中不能发挥指导作用,即使取得暂时的经济成果也可能付之东流。

中国的可持续发展终须要有一个大的突破口。长江生态环境形势紧迫,对中国的经济、社会构成了严重威胁,但从另一个侧面看,这又可能成为一个转化的起点。当年恩格斯在《自然辩证法》中曾告诫人们不要过分陶醉于对自然界的胜利,必须警惕自然界的报复。长江的特大洪灾使“自然界的报复”活生生地呈现在国人面前,抓住这个时机,及时开展环境教育,必能产生巨大的震撼。长江流域有不少落后地区,但也分布着广大的发达地区,而且许多地区的经济和文化实力在国内是位居前列的。如果能以水患治理为契机,拉开建立“长江生态经济带”的帷幕,无论是对流域本身还是对全国,都将产生难以估量的良性影响。(责任编辑 刘先曙)