

钻采天然气水合物的初步设想

姚彤宝, 周 兢, 李生红

(中国煤炭地质总局, 北京 100039)

摘要:天然气水合物在一定温度压力条件下能以固体形式存在,但由于其特殊的热物理力学性质,难以像开采其它固体矿产资源的“矿山”型式来开发。在现有技术条件下,钻探技术是解决开采天然气水合物的技术、经济可行和避免可能由开采带来的环境问题的关键。鉴于通过钻探手段将天然气水合物在地下转化为可控的资源而后开采的现实,提出了采用化学浆液注入和降压相结合的开采模式。

关键词:天然气水合物;钻探;开采;化学注浆;降压

中图分类号:TD87;P634 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2010)10-0022-04

Drilling and Exploitation of Gas Hydrate/YAO Tong-bao, ZHOU Jing, LI Sheng-hong (China National Administration of Coal Geology, Beijing 100039, China)

Abstract: Gas hydrate can exist in certain temperature and pressure conditions as solid form, but because of its special thermal physical and mechanical properties, it is impossible to be developed with "mining" type like other solid mineral resources. Under the present condition, drilling technology is the key for the exploitation of gas hydrate; it is economically feasible and can avoid the environmental problems that might be brought by mining. Based on the situation that gas hydrate was converted to the controlled resource underground before mining, mining mode combining chemical grout injection with depression was proposed.

Key words: gas hydrate; drilling; exploitation; chemical grout injection; depression

天然气水合物资源在全球分布极广,且数量巨大,已被公认为是21世纪最理想和最具开发前景的非常规的新能源。现有成果表明,天然气水合物既可形成于低温、高压环境下的海洋沉积物中,也可形成于大陆上的永久冻土带中^[1,2]。天然气水合物晶体主要以客体形式充填于沉积层的孔隙之中,它的形成和聚集受控于温度、压力、孔隙水成分和气源等四个主要因素^[3,4,5]。尽管天然气水合物在一定温度压力条件下能以固体形式存在,但由于其具有常温常压下不稳定易分解出大量气体和少量液态水的特性,难以象开采其它固体矿产资源一样的“矿山”型式来开发。在当前技术条件下,只能通过钻探技术,将其在地下转化为可控的资源而实现开采的目的。

1 钻探技术对于天然气水合物勘探开发的作用

由于1个单位体积的水合物分解后可产生164个单位体积的CH₄气,如果在勘探开发过程中任何一个环节的失误而不能有效控制其温压条件,将可能会带来严重的环境问题。这也是当前针对天然气水合物开采讨论的焦点。因为天然气水合物的开发

主要是通过CH₄的释放来实现,但这也可能是造成灾难的原因。一方面,由于CH₄在大气层中产生的温室效应是CO₂的20倍,这种温室效应会使两极冰层全部融化,大片陆地将会淹没,大气环境也会改变甚至被完全破坏,并有引发生物灭绝的可能。另一方面,由于天然气水合物的分解所产生的大量气体和水的作用,使局部地质应力场改变,从而诱发严重地质灾害^[6,7]。

正是出于对天然气水合物勘探、开发潜在风险的担心,世界各国对于能否把天然气水合物作为未来能源的态度都是谨慎的。其实,环境问题反映的仍是技术问题。一旦技术成熟,能够极大的降低带来环境问题的可能,天然气水合物开采就将水到渠成。我国虽已在南海海槽和青海木里地区获得了天然气水合物的实物样品,但对于实质性商业开发,还需要大量的研究工作。

由于能直观、真实、有效地揭露水合物赋存状态,并为水合物的生成、运移等研究提供通道,钻探技术成为国内外天然气水合物勘查与研究的必要手段之一^[1,8]。钻探取样不仅是揭示水合物储藏条件最直接的手段,而且也是计算储量和制定开发方案

收稿日期:2010-09-10

作者简介:姚彤宝(1980-),男(汉族),河南南阳人,中国煤炭地质总局工程师,地质工程专业,博士,从事钻探技术与项目管理工作,北京市丰台区靛厂路299号,ytblog@163.com。

的重要依据。国外已通过试采天然气水合物积累了丰富的经验,使得未来开采天然气水合物成为可能,但核心技术仍只被少数几个国家或机构掌握。刘广志院士曾指出,开发天然气水合物钻探设备工艺是关键^[9]。而且,现有主要天然气水合物开采方法都与钻探技术紧密相关。从这个角度来看,只有钻探天然气水合物从技术上获得突破,才能破解我国天然气水合物开采这一技术难题,才有可能通过技术手段来解决或避免可能由开采带来的环境问题。

2 天然气水合物开采技术现状

天然气水合物特殊的热物理力学性质决定其只能在一定的温压条件下存在,一旦它赋存的温度压力条件变化,各组份的相平衡就会被破坏,从而导致分解。从天然气水合物被发现可作为资源以来,人类都畅想加以利用。正是基于对天然气水合物热物理力学特性的认识,传统的天然气水合物开采技术就是通过人为打破天然气水合物稳定存在的温度压力条件,使蕴藏在沉积物中的天然气水合物分解,然后再将分解产生的天然气采至地面。人们最初设想通过加热或减压的方法实现天然气水合物的开采,随着研究的深入,又提出了通过添加化学试剂改变天然气水合物平衡条件实现开采的设想,部分学者还建议用 CO_2 将天然气水合物中的烃类物质置换出来的方法来实现开采。总的来看,现阶段天然气水合物开采技术可以分为热激发开采、减压开采、化学试剂注入开采和 CO_2 置换等方法^[10,11,12]。

热激发开采法的原理是通过提高天然气水合物的储层温度,打破它的平衡条件促使其分解,从而实现开采的目的。这种方法主要利用钻探技术在天然气水合物稳定层中安装管道,对含天然气水合物的地层进行加热,破坏天然气水合物的平衡条件,致使其分解,再用管道收集析出的天然气。根据加热的方式,又可分为热流注入加热、火驱法加热、井下电磁加热和微波加热等方法^[10]。热激发开采法可实现循环注热,通过控制加热的温度能够控制水合物的分解速度,但该方法热损失大,效率低。特别是在永久冻土区,即使利用绝热管,永冻层也会降低传递给储层的有效热量^[11]。

减压开采法则是通过降低或卸掉天然气水合物所处的地层压力,打破原有平衡条件促使其分解,进而实现开采的目的。一般是通过低密度泥浆钻井或通过钻探常规型式油气井后泵出天然气水合物层下方的游离气或其他流体实现减压目的。由于开采的

过程实质是一个减压的过程,因此,减压法最大的优势便是不需要连续激发,但它对天然气水合物藏的性质有特殊的要求,只有当天然气水合物处于温压平衡临界条件下时,减压开采法的效能才最大。

化学试剂注入开采法是通过钻孔向储层中注入盐水、甲醇、乙醇、乙二醇、丙三醇等化学试剂,打破原有平衡,致使天然气水合物分解,从而达到开采的目的。在研究天然气水合物分解的过程中,发现部分化学试剂能够改变其相平衡条件,从而提出该办法。它主要是通过降低天然气水合物的平衡温度,促使其在原平衡温度下分解。因此,这种方法可被认为是特殊的热激发开采法。相应地,化学试剂注入开采法的效率也较低,且随着开采后“空腔”范围的增大,该方法的效率将明显降低。

研究发现, CO_2 与 CH_4 的水合物均为结构I型,且 CO_2 与 H_2O 的化学亲和力大于 CH_4 与 H_2O 之间的亲和力;在一定温压条件下,天然气水合物虽会分解,而 CO_2 水合物则易于形成并保持稳定^[13]。因此,研究者提出用 CO_2 置换天然气水合物中 CH_4 的设想。室内实验证明,由注入井连续不断地注入 CO_2 ,由采出井不断的抽出 CH_4 ,可实现连续化生产^[12]。然而,这种置换需要在一定压力条件下进行,反应条件相对苛刻,而且反应速率极低,因此,该方法目前仍停留在理论研究阶段。

另外,国内外也有研究者提出直接采集海底固态天然气水合物,或将天然气水合物装入一种可膨胀的软式气袋(其内部保持天然气水合物稳定所需的温压条件)中,再拖至浅水区进行控制性分解。这种方法被称为固体开采方法,国内称之为水力提升法^[10]。它主要是基于避免采取 CH_4 等气体的过程中管道因生成天然气水合物导致管塞等问题。但它对设备的要求较高,当前技术条件限制了其可行性。

截止目前,全球范围内都还没有真正意义上地开采天然气水合物,仅在西西伯利亚的麦索亚哈气田、阿拉斯加北部斜坡区和加拿大西北部麦肯齐三角洲等3个地区进行了天然气水合物试采研究。麦索亚哈气田的天然气水合物是因开采天然气水合物藏之下的常规天然气,使天然气水合物储层压力降低,引起天然气水合物发生分解而无意中开采到的。减压开采法正是由这一“无意之举”而提出。其它两个地区的试采试验都是为了相关国家或研究机构尽快掌握天然气水合物开采的核心技术,并验证天然气水合物开采技术可行性而进行的。

3 钻采天然气水合物的初步设想

事实上,天然气水合物只有在一定压力条件下才在自然状态下存在,其晶体主要以客体形式充填于沉积层的孔隙之中。尽管沉积层原有孔隙率可能较大,但在外界压力下,以及水合物生产过程中结晶膨胀作用,自然状态下含有天然气水合物晶体的沉积层将变得较为致密,地层的渗透性则相应较差,致使能量传递缓慢。这可能正是引起热激发开采、减压开采、化学试剂注入开采和 CO₂ 置换等方法效率较低的主要原因。提高天然气水合物的开采效率,就需要人为地增加天然气水合物晶体与介质或能量接触(交换)的表面积。但天然气水合物储层或矿藏作为地下的客观存在,其物理性质基本不变,增加接触面积就须借助其它手段实现。而钻探技术正是当前深部地下空间连通的主要手段,也使得增加上述接触面积成为可能。

此外,天然气水合物作为资源,其开采就必须要考虑技术可行性、经济可行性和社会环境效应。也就是说,即使开采天然气水合物的技术是可行的,但其经济或社会环境不可行,也是不适宜开采的。反之,亦然。尽管经济可行性与资源的客观情况也紧密相关,但从广义上讲,技术可行性包含着其它两个方面,即开采天然气水合物的技术方案如果真正可行,其它两个层面很也应可行。如前所述,天然气水合物资源难以如同开采其它固体矿产资源的“矿山”型式来开发,只能将其先在地下转化为可控的资源,再通过采取转化后的资源从而实现开采的目的。钻探成井是当前条件下开采天然气水合物的基本条件,也是开采技术是否可行的关键因素。但无论采用何种方法来开采天然气水合物,都需要通过钻探出如同常规油气井一样的天然气水合物开采井,特别是对于 CO₂ 置换开采法,则需要通过一对井来实现。因此,钻探成井是天然气水合物开采的关键技术之一,成井的质量也决定着开采方法的成败,钻采方案相应成为研究天然气水合物开采的重点。

就天然气水合物开采型式而言,与岩盐的开采和煤层气、页岩气的开发基本相同,与水驱采油法也有相似之处。因此,岩盐等资源的开采方案对天然气水合物开采从型式上具有一定的借鉴意义。即可通过定向钻井技术、对接井技术、大水平位移井技术和丛式井技术等钻探手段提供开采天然气水合物的通道。虽然已开展的3个试采项目都是在单井眼的条件下进行的,这很可能是因为它们仅为验证开采方法是否可行。试开采也证明,减压开采比热激发

开采和化学试剂注入两种方法简单、有效,热激发方法其次,化学试剂注入方法效率最低。而且,可以肯定的是,上述开采方法都是基于破坏天然气水合物平衡条件而提出的。但天然气水合物的平衡条件包含诸多因素,因此,这些开采方法的原理并不只是孤立地认为是由单一因素的改变引起的,而是平衡条件复杂地、动态地、系统地变化的过程所引起天然气水合物分解的结果。换句话说,上述开采方法引起天然气水合物分解的过程是一个综合的、系统的结果。因此,从某种层面来看,采用单一开采方法是不经济的,只有将不同方法的优点综合起来才能达到天然气水合物有效开采的目的。

基于此,笔者认为,只有立足天然气水合物热物理化学特性,深入研究并掌握天然气水合物的形成与分解的热动力学机制,在能够准确地判析温度、压力等因素对天然气水合物分解的影响作用和影响程度的前提下,才能找寻到真正意义上切实可行的开采方法。以前,天然气水合物实物样品难于在通常条件下得到,对其研究主要建立在实验室基础上,由于实验室条件与实际自然状况差别较大,致使实验室所得到的结论不能够与实际情况完全吻合。笔者也在模拟研究天然气水合物分解的过程中发现,在较低温度范围内,保持 CH₄ 水合物不分解所需的压力与温度呈现近线性趋势,降低温度比提高压力更有利于抑制甲烷水合物分解。当下,我国已在南海海槽和青海木里地区勘探到天然气水合物实物,这将为国内全方位研究天然气水合物勘探开发提供良好的“试验田”,也将促进我国研究开采天然气水合物的水平。

由于冻土带内天然气水合物与海底天然气水合物相比埋深较浅、赋存的温压条件较低,且陆地勘探开发比海域在开采工艺与作业施工方面更为成熟和易实现^[14,15],仅从安全的角度考虑,天然气水合物的开采应经由陆地冻土区向海域逐步发展的过程。正因为此,青海木里永冻区天然气水合物的发现,对我国天然气水合物向实质性开采具有重要的意义。那么,如何开采永冻区天然气水合物呢?笔者认为,可采用化学浆液注入和降压相结合的模式。它工作及实现开采的原理主要包括:首先利用对接井技术,分别钻出注入井和采气井,使它们在已证实的天然气水合物储层内导通;然后用管子将配置好的常温(或其以上)化学浆液和注入井、采气井连接成闭合回路;最后通过采气井泵出浆液并分离、采集气体。当然,上述方法各个环节的具体参数应根据储层的

性质决定,从而实现有效开采天然气水合物资源的目的。俄罗斯学者提出的运用双井筒大水平距定向对接智能井钻井技术^[16],采用核废料产生的热量来开采天然气水合物的方法也能佐证上述开采模式是可行的。

当然,在目前技术条件下,必须对天然气水合物的钻采持谨慎态度,刚刚发生的墨西哥湾漏油事件就是最好的警示。只有天然气水合物开采和配套安全技术完善、提高之后,经过一段时间充分的生产试验之后,才能投入实际生产。

4 结论与展望

面对经济社会巨大的“减排”压力,作为一种极具潜力的未来清洁能源,天然气水合物的开采研究对于未来能源具有重要的战略意义,但欲将天然气水合物作为真正意义上的资源,其开采就必须解决其技术、经济可行和可能带来的社会环境效应。现阶段提出的热激发开采、减压开采、化学试剂注入开采和CO₂置换等开采天然气水合物的方法仍非完善,尚需要深入研究天然气水合物的形成与分解的热动力学机制,准确掌握温度、压力等因素对天然气水合物平衡的影响作用,从而找寻到真正意义上切实可行的开采方法。

钻探技术是天然气水合物勘查与研究的必要手段之一,也是计算储量和制定开发方案的重要依据。国外试采天然气水合物的经验表明,开采天然气水合物的关键技术包括钻探;只有钻探技术才能在当前技术条件下使开采天然气水合物成为可能。因此,只有钻探天然气水合物从技术上获得重大突破,才能保证开采天然气水合物的技术、经济可行,才有可能通过技术手段来解决或避免可能由开采带来的环境问题。

基于上述分析,笔者提出利用对接井技术,分别钻出注入井和采气井并使它们在天然气水合物储层内连通,由注入井下注入化学浆液,并通过采气井分离并收集天然气水合物分解的烃类气体的开采方案。但鉴于刚刚发生的墨西哥湾漏油事件的教训,应谨慎对待钻采天然气水合物。

毫无疑问,天然气水合物的开采引起了全球很多国家的重视,特别是自20世纪90年代以来,研究者们明显加快了天然气水合物开采研究的步伐,在

开采技术、开采工艺、开采面临的环境问题等方面做了大量工作,并在冻土区进行了天然气水合物开采试验。我国永冻带和海域面积巨大,天然气水合物空间上赋存的可能性极大。随着我国天然气水合物的查证工作的展开,尤其是冻土地区天然气水合物的发现,将会提供更宽广的天然气水合物研究平台,也有利于提升国内在该领域的研究水平。但需承认,国内研究天然气水合物起步较晚,还需要在研究中充分吸收国外天然气水合物开采的技术与经验,并通过联合共同攻克相关核心技术,以期早日实现工业化开采天然气水合物这一愿望。

参考文献:

- [1] 蒋国盛,王达,汤凤林.天然气水合物的勘探与开发[M].湖北武汉:中国地质大学出版社,2002.
- [2] 张洪涛,张海启,祝有海.中国天然气水合物调查研究现状及其进展[J].中国地质,2007,34(6):953-961.
- [3] George J. Moridis,廉抗利译.天然气水合物走向生产:现状、技术和潜力[J].石油科技动态,2009(5):74-78.
- [4] Sloan E D. Clathrate hydrates of natural gases[M]. New York: Marcel Dekker,1998.
- [5] Buffett B A. Clathrate hydrates[J]. Annu Rev Earth Planet Sci, 2000,(28):477-507.
- [6] 方银霞,金翔龙,黎明碧.天然气水合物的勘探与开发技术[J].中国海洋平台,2002,17(2):11-15.
- [7] 于晓果,李家彪.天然气水合物分解及其生态环境效应研究进展[J].地球科学进展,2004,19(6):947-954.
- [8] 许俊良,薄万顺,朱杰然.天然气水合物钻探取心关键技术研究进展[J].石油钻探技术,2008,36(5):32-36.
- [9] 刘广志.天然气水合物开发的现状和商业化的技术关键[J].探矿工程,2003,(2):8-10.
- [10] 吴传芝,赵克斌,孙长青,等.天然气水合物开采研究现状[J].地质科技情报,2008,27(1):47-52.
- [11] 安青,许维秀.天然气水合物开采研究现状[J].河南化工,2008,25(6):10-12.
- [12] 张志杰,于兴河,郑秀娟,等.天然气水合物的开采技术及其应用[J].天然气工业,2005,25(4):128-130.
- [13] Ohgaki K, Takano K, Sangawe T H, et al. Methane exploitation by carbon dioxide from gas hydrates: Phase equilibria for CO₂-CH₄ mixed hydrate system[J]. J. Chem. Eng. Japan, 1996, 29(3):478-483.
- [14] 陈多福,王茂春,夏斌.青藏高原冻土带天然气水合物的形成条件与分布预测[J].地球物理学报,2005,48(1):165-172.
- [15] 吴自成,吕新彪,王造成.青藏高原多年冻土区天然气水合物的形成及地球化学勘查[J].地质科技情报,2006,25(4):9-14.
- [16] 汤凤林,蒋国盛, K. E. Басниев. 利用双井筒大水平距对接井钻井技术热力开采天然气水合物[J].探矿工程,2010,37(3):1-4.