



海洋天然气水合物勘探与开采研究的新态势(一)

天然气水合物是一种由甲烷等气体与水分子组成的冰雪装的晶体物质。它们形成和赋存于低温高压条件,广泛分布于世界大洋和内陆湖、海的底部,以及极地的冻土带,被认为是21世纪最有远景的新能源。海洋型天然气水合物常以浸染状、层状,或块状形式赋存于水深300~500 m的陆坡和岛坡的近海海底的沉积岩中。依据最新较为保守的估算,全球海底的天然气水合物所蕴藏的甲烷气体约为 10^5 TCF(约合 $2.8 \times 10^{15} \text{ m}^3$ 或2 800万亿 m^3),比全世界天然气的总储量($0.18 \times 10^{15} \text{ m}^3$ 或180万亿 m^3)还大得多。

1 对海底天然气水合物开采的重新认识

海底天然气水合物虽然分布广、资源量大,但由于其在岩层中的含量低、埋藏深等原因,一度曾被认为在20~30年内不具开采价值。然而,现在科学界已不再这么看。随着现代工业对能源的需求不断增加,传统的石油、天然气供不应求,迫使工业大国积极寻求新型的替代能源。另外,近几年深海采油工艺技术的进步也使海底天然气水合物的开采在技术上成为可能,开采费用也有所降低。特别是美国、日本、加拿大等国在2002年和2008年对加拿大马更些三角洲的Mallik陆上冻土层中的水合物成功进行了两度开采试验,更令人真实地看到了开采的可行性。也许,海底水合物的试验开采可能就出现在最近的3~5年内。

近几年来,美国、日本、印度等国已开始对海底天然气水合物的开采进行地质勘探和工艺技术上的准备,而且,已经把开采试验的时间表列入了国家的研究和开发纲要中。同时,科学家也明显加大了对海洋天然气水合物资源可开发性的研究,并在地质及开采技术研究方面取得了若干新成果,达到了一个开发研究的新阶段。

以下是近年来出现的有关海洋天然气水合物开发方面的一些新认识。

(1) 海洋天然气水合物资源总量的最新评估

上世纪80~90年代,科学家对全球天然气水合物资源总量曾作了过高的估算(估算的 CH_4 为 $3.01 \times 10^{17} \text{ m}^3$),主要是根据陆缘和海岛近海普遍分布的水合物估计的。所估算的全球水合物资源的总量超过了全球化石能源(油、气、煤等)的资源量。

后来,在执行大洋钻探和深海钻探计划中完成了几千个深海钻孔,获得了250 km的岩芯,证明在BSR(bottom simulating reflectors,拟海底反射层)分布的海域不一定都存在有水合物,水合物稳定带也不意味着就是水合物赋存带。因此,2000年以后的估算值比原来减少了2个数量级。Milkov以大西洋陆缘作为参照,设定20%的水合物稳定带内有水合物,岩层中水合物的填充度为1%~5%,从而推算出全球水合物中的甲烷总量为 $(1\sim5) \times 10^{15} \text{ m}^3$ 。近几年,Boswell等综合前人资料并经数字模拟,认为蕴藏于海底水合物中的 CH_4 (他们称之为原地气体GIP, gas in place)的总量约为 10^5 TCF(约合 $2.83 \times 10^{15} \text{ m}^3$)比较合理。这两个评估数值与2009年美国能源部估算的下限($10^5 \sim 10^6$ TCF)基本一致。因此,认为全球水合物的资源总量为 $n \times 10^{15} \text{ m}^3$ 是比较合理的。

最近Boswell等认为,大多数存在于海下不透层中的浸染状水合物因其在岩石中的含量太低(孔隙填充度 $< 10\%$),可能永远不具有经济开发价值。他认为,从能源资源前景来看,具有开采价值的“资源级”海洋天然气水合物的资源总量约为 10^4 TCF(合 $2.8 \times 10^{14} \text{ m}^3$)。大陆冻土带中“资源级”水合物资源总量约为 $n \times 10^2$ TCF(合 $2.8 \times 10^{12} \text{ m}^3$)。即使这一最保守的估算值仍然是全球天然气总储量的1.56倍,是全世界年消耗天然气量的100倍。

(2) 海洋天然气水合物的分类

通常,天然气水合物分为海洋型和大陆型2大类,海洋型又分为生物成因的和热解成因的。Max依据生成水合物的甲烷的运移方式,把海洋型水合物矿床划分为扩散型(diffuse type)与集束型(focuse type),前者为分散浸染状,后者多为脉状和块状。而Milkov则根据天然气水合物产出的地质环境(主要是地层和构造),把水合物矿床分为3大类:岩层型矿床、构造型矿床以及复合型矿床(形成于渗透性岩层但流体又是经断层等构造通道运移上来的)。

近十年来,在海底水合物类型的划分上,人们越来越重视水合物特性与开发利用的关系。这就导致了海底水合物矿床的另一种分类法。Boswell研究组最近就推出了一种新的分类系统,他们以成矿的地质构造框架和含水合物沉积岩层的岩石特征(主要是渗透性)为基础,把海洋天然气水合物矿床划分为4类:砂岩岩层矿床,破碎黏土岩矿床(fractured clay-dominated plays),海床上(及近海床)的块状水合物矿床,不渗透黏土岩中的低品位浸染状水合物矿床。后一类型的水合物数量最大,因为在陆缘沉积岩中,大多数水合物都赋存在泥页岩系中。此外,还存在以砂岩和泥岩为围岩的复合型水合物矿床。

(3) 天然气水合物资源的金字塔

进入新世纪以来,天然气水合物开采研究和开采试验摆在了一些国家的政府和科学家面前。从资源的开发前景及开采的经济学视角,对水合物矿床类型进行排序就显得重要而实际。2006年Boswell依据全球5个类型水合物资源的开采前景,总结出了一个天然气水合物的资源金字塔。位于金字塔顶端的水合物类型,开采前景最好,但资源量最小;往下,资源量增大,但开采前景逐渐暗淡。

极地冻土带水合物 位于金字塔顶端的大陆冻土带水合物赋存于具良好渗透性的砂岩层,虽然占全球水合物资源的份额不大,却是全球最先开采的水合物资源。原苏联在上世纪60年代就开采过西伯利亚的冻土带水合物矿田,加拿大也于2002年和2007年对Mallik水合物完成了2次开采试验。未来几年,美国将对阿拉斯加北坡的水合物进行长时间开采试验,据报道,那里的水合物资源量约为85 TCF。

海底砂岩型水合物 位于金字塔中极地水合物之下的海底砂岩型水合物是未来水合物资源开发的主要目标。它的这一地位是根据资源的质量和数量而定的。海底砂岩层具有良好的渗透性,赋存的水合物的饱和度很高,在墨西哥湾高达80%。日本于2000~2004年间为准备试验开采,在南海海槽的砂岩水合物区完成了科学实验钻,伴以测井和真空取样,并计划于2014年进行开采试验。这将是第一个对海洋水合物的深海开采试验。美国也计划于2012年在墨西哥湾北部的砂岩富矿层进行真空取样钻探,为下一步的开采试验作准备。这类水合物的甲烷蕴藏量达 $n \times 1\,000$ TCF。

破碎黏土岩(泥页岩)型水合物 是一种非砂岩沉积层中的水合物,赋存水合物的沉积岩是渗透性差的粉砂质泥页岩,它们因遭到破裂而具有一定的渗透性。印度和墨西哥湾的钻孔中都遇见过这种填充于破碎裂隙中的水合物。水合物在岩层中的含量不高,但在理论上可以从这类岩层中开采出相当量的甲烷气体。

渗透性差的岩层中的水合物(泥页岩型水合物) 该类型的水合物处在资源金字塔的底部。此种渗透性差的黏土岩或泥页岩蕴含着全球绝大多数原地水合物(GIP水合物),尽管它们的储量非常大,但似乎不可能成为进行经济开采的气体水合物。

2 海洋天然气水合物的开采技术和方法

天然气水合物的开采实质上就是使地下的水合物分解,再将分解出来的甲烷气体抽到地面上来。依据水合物相平衡原理,天然气水合物的开采通常有3种基本方法,即降压法、热激法和试剂注入法。这3种开采方法近十年来已被用于试验开采大陆上的水合物,例如,加拿大于2002年和2007年两度对马更些地区冻土带的Mallik水合物气田进行了试验开采。陆上试验开采的实践证明,降压法开采较为经济实用,且开采能够持久。

最近,美、日计划中的海洋水合物试验开采也将采用降压法,只是海上开采的技术设备要比陆上的复杂些。除开采用的钻具外,海上开采还需要一个浮动钻井平台以及套管、防喷和安全设备等。好在近年来发展

起来的深海采油气技术可以借用到海底水合物的开采上来。

降压开采的简要工作原理是：由中心钻管对含水合物储层进行抽水，使储层降压，水合物因压力降低而发生分解并释放出甲烷和水。气液分离装置把气体分离出来，再通过外层管道将甲烷气体抽取上来。

除上述降压法开采外，近年来国外科学家还提出了其他一些海底水合物开采方法。值得一提的有海底水合物陆上开采法及 CO_2 置换法。

陆地开采方法是在陆地上向水合物储层方向凿钻出一些斜井、平巷，配合一些井下钻孔作为采气的通道。再向水平巷道灌入水泥，使水合物储层形成一盖层。以后就可以从巷道前端向水合物层注入高温蒸汽，使水合物分解生成水和甲烷气体。分离出的水和气体用井管输送到陆地。

有一种 CO_2 置换法类似于海上油气开采法。开采之前，先在平台上向天然气水合物储层钻出 3 口井，由一口井向水合物储层注入高温海水，使天然气水合物分解。再经过另一井的密封套管提取分解出的甲烷气体。气采后通过第三口井向井下注入 CO_2 ，使之在地层中生成二氧化碳水合物。这样做，一方面可以填补采空的岩层，另一方面又可以把温室效应气体固定在深部底层中，起到了所谓“固碳作用”。

(中国地质科学院矿产资源研究所 刘玉山 供稿)

<http://www.kcdz.ac.cn/>