



## 海洋天然气水合物勘探与开采研究的新态势(二)

### 3 海底水合物开采的数字模拟

近几年来,数字模拟(numerical simulation)广泛应用于天然气水合物的研究,特别是水合物开采的数字模拟方法已成为水合物勘探和开采不可缺少的手段。

海底天然气水合物是一种赋存于海底沉积层中的特殊能源矿产,其开采方法不同于一般固体矿产,开采技术也更加复杂和困难。因此,海底水合物的开发和开采是科技界面临的一种新挑战。海底水合物矿层无法直接接触、深海钻探测试费用昂贵以及最初开采尝试的成功机率不大,这些因素迫使科学家去寻找和研究一种合理的替代方法,用以进行开采前的先期评估,这就是近几年发展起来的数字模拟方法。数字模拟功能强大,方法灵活,与实地开采试验和实验室研究相比,成本也较低廉,因此,它在评估水合物开采的潜力和制定开采设计方面起着重要作用。该方法能够提供矿区和实验室勘测工作的设计,提供无法观测的物理化学参数,回答开采过程中各种参数的演变趋势等诸多疑难问题。更重要的是,它可以帮助鉴定和选择水合物开采的靶区和“富矿带”。已经在加拿大冻土带 Mallik 地区天然气水合物的试验开采中证明了数字模拟的有效性和实用性。

近几年来,科学家已经提出并制订了若干用于模拟水合物体系和水合物开采方面的数字模型(numerical model)。

#### 模拟水合物体系的数字模型

Moridis 等(2009)推荐了以下几种模型:

- (1) TOUGH+HYDRATH cod( Moridis, 2008 );
- (2) MH21 cod( Kurihana, 2005 );
- (3) STOMP-HYD cod( Phale et al., 2006 );
- (4) CMG-STAR( Computer Modelling Group );
- (5) Hydrasim simulator( Hong and Pooladi-Darvish, 2005 )。

其中的(1)和(2)模型经过了 Mallik 地区水合物热激开采观测数据的校正,并显示出很好的一致性,但是,当用于长期开采的预测时,则偏差较大。据说,现已改进。

#### 模拟水合物体开采所需的数据

所需的数据可分为3类:

- (1) 地下矿藏通用的数据(略);
- (2) 地质介质孔隙或破碎裂隙中存在的固体水合物和流体体系的数据,主要是固体水合物对含水合物岩层的热力学性质、流体性质及地球化学性质的影响。
- (3) 单一水合物数据:水合物相图与  $p/t$  的关系,相图与  $h/t$  的关系,水合物形成、分解的动力学方程,固体水合物的热力学参数。

此外,数字模拟还需要实验室测定一些数据,如水合物及含水合物岩石的热力学性质,含水合物岩石的相对渗透性,含水合物岩石的毛细管压力,含水合物岩石的地质力学性质,含水合物岩石的地球物理性质等。

### 4 日本关于南海海槽天然气水合物勘探及开采的计划和设计

#### 勘探及开采的企划

日本在21世纪初制定了一个为期16年的研究开采南海海槽天然气水合物的发展规划。该规划分2个阶段执行。第一阶段是2000年至2008年,为调查与勘探阶段,主要任务是通过地质调查、地震测量和钻探,

查找与圈定天然气水合物赋存带以及高饱和度的水合物分布带。此阶段的计划业已完成,在南海海槽东部圈出了一些靶区,估计其潜在甲烷资源量约为 40 TCF(1.14 TCM),据称可满足日本国内 14 年的需求(表 1)。第二阶段是 2009 年至 2016 年,为勘探与开采试验阶段,其目标是完成海底天然气水合物的试验开采。

表 1 第一阶段探明的水合物中甲烷量评估值

含甲烷水合物层	甲烷量/TCM(90%概率)	甲烷量/TCM(中值概率)	甲烷量/TCM(10%概率)
甲烷水合物富集带	0.1769	0.5739	1.1148
非甲烷水合物富集带	0.1067	0.5676	1.2208
合计	0.2836	1.1415	2.3356
总计		约 40 TCF	

第二阶段的规划又分为 2 期:第一期 2009~2011 年,为海底水合物开采作准备,包括陆上开采的长期试验(在美国 Alaska 矿区)以及海底开采的工艺技术和开采方法的准备;第二期 2012~2015 年,为海底水合物的正式开采试验。2016 年为最终总结验证(表 2)。

表 2 第二阶段具体任务的设计和计划

	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年
陆上开采试验计划	Alaska 陆上开采长期试验							
海底开采试验准备			海底开采试验计划制定			开采试验的详细设计		
			确定开采试验的位置			开采试验的机械设备		
			确定开采试验的方法			试验准备 分析检查		
海底开采试验计划			第一次海底开采试验			第二次海底开采试验		
开采试验论证			中间论证					最终论证

## 开采试验的一些设计

### (1) 第一阶段的勘探成果

在 2000~2008 年阶段,除系统的地震测量外,2000 年在南海海槽第一次钻到了天然气水合物。从 2004 年起,依据发展纲要,相继完成了 32 个钻孔、原地测井 16 个、有线测井 2 个,有 6 个钻孔取到了水合物样品,并进行了实验室鉴别。根据对物探和钻探资料的分析,初步估算了南海海槽东部水合物的潜在资源量(见表 1),圈出了 3 个有远景的站位区,作为将来开采试验钻孔的侯选位置,这 3 个水合物赋存地的水深为 720~2 030 m。

### (2) 试验开采区的选择

天然气水合物的开发和开采,即使是试验开采,都要优先选择“富矿带”,又称“高饱和度水合物带(methane hydrate concentrated zone)”,也就是说,水合物储层具有一定的分布面积和厚度,即水合物储层应具有一定的资源量,比如甲烷量大于  $10^{10} \text{ m}^3$ ,水合物的饱和度(填充度)也较高。日本是根据下列因素和指标来选择富矿带:① BSR(拟海底反射层);② 强反射层;③ 高波速异常;④ 浊积岩-砂岩层。其中,浊积岩-砂岩层的存在是判断天然气水合物富矿带(高饱和度水合物带)的主要标志。富矿带在钻孔测井的综合剖面上也可清楚地显现出来,该带的电阻率特别高,砂岩层的空隙度也明显高于含浸染状天然气水合物的沉积层。在第二阶段的初期,将从上述 3 个远景站区中选择一个作为开采试验区,另 2 个则作为后备区。

### (3) 试验开采的方法

根据在加拿大对冻土带 Mallik 水合物完成的两度开采试验所取得的经验,日本的开采试验自然也选择了降压法。当然,海底的降压法开采与陆上的不完全相同,其设备要更复杂些。