

印度国家天然气水合物研究计划

雷怀彦 郑艳红 编译

(中国科学院兰州地质研究所, 气体地球化学国家重点实验室 兰州 730000)

摘要 概述了印度的天然气水合物研发状况, 介绍了印度的天然气水合物资源评价、印度商业性开发气水合物的计划与步骤以及行动方案等。

关键词 印度 国家天然气水合物研究计划 开发气水合物 气水合物填图

1 前言

印度能源短缺, 目前将面临以高价从国外购买液化天然气(LNG)的困难局面。随着印度国家经济的进一步发展, 天然气供需差距将日益增加(表1)。要想改变这种状况, 需加速改变天然气资源开发结构(表2)。

印度陆架区域内存在的气体水合物中的

甲烷资源量大约与印度陆上可利用的天然气资源量接近。通过地震调查发现印度东、西两个海岸都分布有天然气水合物。随着目前世界深海石油钻探开发技术的发展, 对印度来说, 进行天然气水合物的开发并商业性生产是很适时宜。于是, 印度制定了从水合物中生产气体的发展计划框架。

该计划有许多的研究单位和技术部门参与, 并由政府和工业部在高层面上指导控制。实现该计划还需研制先进的技术设备(如地震数据的采集和处理技术)。实现该计划还将减小印度和世界先进技术间的差距。

表1 印度天然气供给量-需求量差距($10^6 \text{ m}^3/\text{d}$)

年	本国生产量	需求量	差距
1996~1997	63	89	26
1999~2000	68	146	78
2004~2005	68	188	120
2009~2010	68	283	215

表2 印度天然气资源潜势和进口量

气体资源	估计能够发现的资源(10^9 m^3)	R/P 比值	生产率($10^6 \text{ m}^3/\text{d}$)
天然气(印度)	707	21	90
管道进口(阿曼)	N/A	N/A	56
管道进口(伊朗)	N/A	N/A	75
LNG 进口(3个终端)	N/A	N/A	30
煤层甲烷气	240*	20	33
地下煤气化气	N/A	N/A	N/A
海底水合物	20000**	150	350
合计			634
计划需求量			285

* —— 仅用5个煤田数据; ** —— 属于印度法定区域内的陆架水合物藏。

在目前印度合法陆架范围,按照水温和地温梯度,预测水合物可能出现在水深 600 m 的海底 400 m 以下。

2 印度天然气水合物研究概述

1995 年 12 月在印度国家地球物理研究所(NGRI)举行的地球物理联合会议上,绝大部分高级地质学家、工程师对气水化合物产生了极大的兴趣,纷纷加入到印度水合物的研究计划的制定中。这次会议的主要议题是天然气水合物。在围绕深海技术、地震勘探评价技术方面达成了共识,并一致认为印度开展气体水合物研究开发的时代已经到来。

从这次会议后,天然气管理有限公司(GAIL)、石油天然气委员会(ONGC)、NGRI、国家信息研究所(NII)和国家水产委员会(DGH)的地质学家、工程师已经开始了初步的研究工作,通过基础地质、地球化学、地震数据研究来认识印度陆架可能出现的气水合物。科学技术委员会和工业委员会已将“气水合物”确定为“第九个五年计划”内容之一。

石油部秘书 Dr. Vijay L. Kelkar 指定了一个专家委员会完成气水化合物的鉴定和开发,国家气水合物计划由不同的公司和研究机构执行。

工程专家和地质学家已同欧洲和美国研究气水合物课题的几个研究机构和科学家签了合同,这些专家包括水合物专家 Makogon 教授和 Alberta, Calgary 大学的 Bishnoi 教授,该两位已被 GAIL 聘为顾问。外国专家和机构中许多科学家鼓励印度科学家和承担开发工作,并与之达成一个共识,认为印度是世界上从气水合物中提取天然气的最好地方,其理由是:①印度具有形成天然气水合物最有利的地质环境;②从经济角度考虑,印度天然气的资源日益贫乏,进口天然气又太昂贵;③印度地质学家和石油工程专家的骨干力量不断壮大。

在 GAIL 要求下,选择水合物最有利的远景区域为勘探目标,为此,NGRI 以已有的地质、地化和地资为依据,准备了一个综合报告。

已经在印度的东西海岸均发现有大量的 BSR 和 BSR 显示,BSR 与海水深度间的关系见图 1。

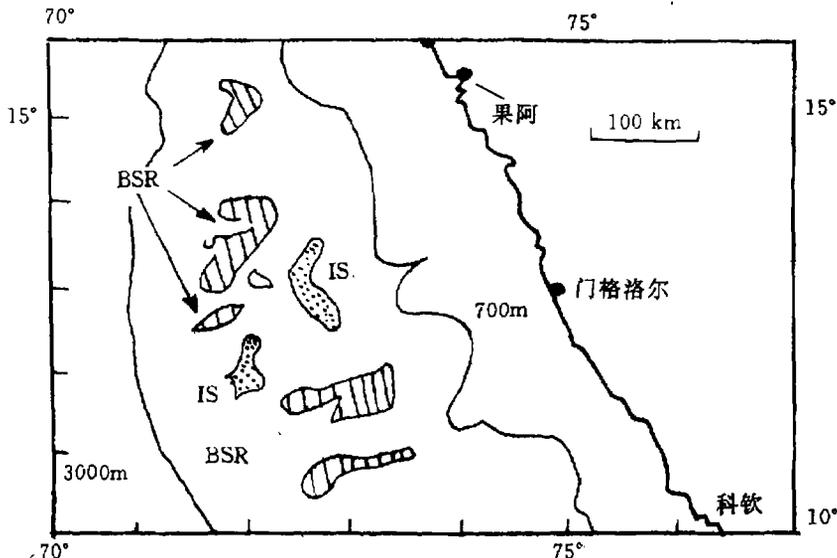


图 1 印度海上地震反射特征 BSR 与海水深度关系

3 印度气水合物资源评价

借助美国地质调查局(USGS)初步开发气水合物技术,GALL 试图评估在印度法定大陆架上7个地质目标区的气水合物资源量(图2),其中包括下列研究(表3、4、5)工作:

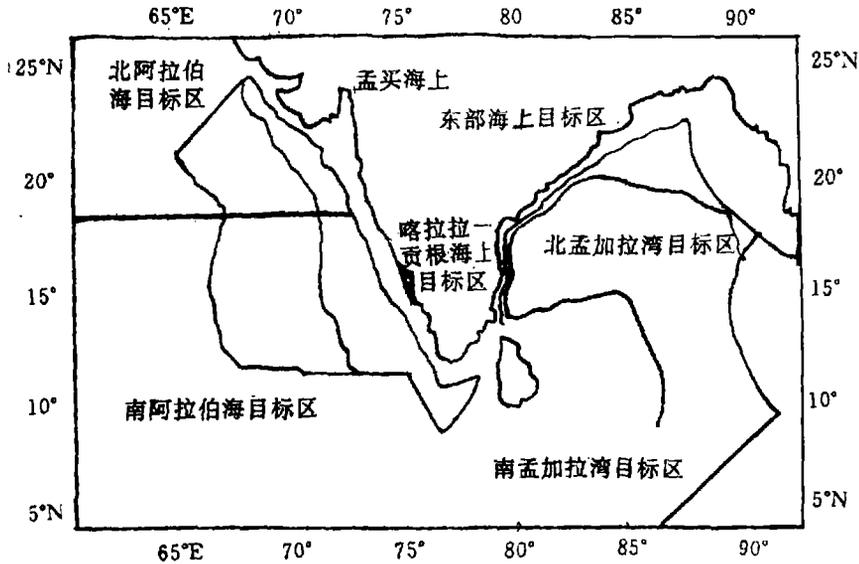


图2 印度气体水合物分布地区

表3 研究区和远景区性质

参数	可能性	估计值的范围
微生物	0.00	TOC<0.5
烃类物质来源	0.50	0.5<TOC<1%
	0.75	1<TOC<2%
	1.00	TOC<2%
微生物来源	0.00	h<0.5km
沉积物厚度	0.05	0.5<h<1km
	0.50	1<h<2km
	0.75	2<h<3km
	1.00	h>3km
热成因	1.00	T>150℃
烃类物质来源	0.00	T<150℃
时代	0.00	无坳陷
	1.00	有坳陷
运移	0.00	无裂隙断层
	1.00	有裂隙断层
储层相	1.00	高孔隙度、高渗透率
	0.00	两者均低
圈闭机理	1.00	构造特征
	0.00	无构造
有效孔隙度	0.00	(孔隙度)P<3%
	1.00	(孔隙度)P>3%
烃类物质聚集	0.00	有气,但未充满远景区的1%
	1.00	有气,充满远景区的1%

表4 印度气水合物资源评估

Plays	95	75	50	25	5
孟买滨岸	135	307	454	630	852
Kerala Konkan 滨岸	62	221	1137	1566	2299
北阿拉伯海域	226	440	595	798	1092
南阿拉伯海域	0	0	312	709	1094
东部滨岸	1038	1527	2168	3181	4525
Bengal 北部湾	245	334	468	648	937
Bengal 南部湾	188	367	1022	2468	3773
总储量(TCM)	1894	3196	6256	10000	14572
总储量(TCF)	66290	111860	215460	350000	510200

表5 气水合物储层参数(ONGC)

最小值	最可能的值	最大值	
地区(平方千米)	42,000	70,000	98,000
厚度(米)	10	25	25
孔隙度(%)	10	15	25
饱和度(%)	40	45	50
1/BG	80	100	164

- 天然气的来源(有机质和微生物的评估);
- 时间(运移和圈闭的相对时间);
- 运移(估计有效气运移的可能性);
- 储层评价(岩石孔隙中含天然气水合物的可能性评价)。

从表中可看出资源评价主要取决于评价者是一个保守者,还是乐观者,二者将会得出极不同的结论。尽管如此,两者给出的资源量都是相当巨大的(与常规油气资源 707 亿 m³ 比较)。开发天然气水合物的很多努力是很有必要的。

4 印度商业性开发气体水合物的计划与步骤

同油气的其他开发方案一样,气水合物开发计划必需按照下列程序进行:

- (1) 编制印度气体水合物图;
- (2) 根据现有地质和地化信息,指出在印度合法陆架最有利的天然气或气体水合物远景区;
- (3) 进行区域详查地震勘探(在能钻探的远景区定 3~5 个井位),且这一区域应同步骤(2)相一致;
- (4) 确定地下地质情况(钻井取心或测井);
- (5) 钻井、完井及 3~5 口井试产测试;
- (6) 储层模拟和模拟研究;
- (7) 根据现有知识开展从天然气水合物中生产气的勘探和开发的所有方面的技术—经济工艺性研究;
- (8) 设计深水生产系统和管线。

4.1 印度天然气水合物图

国家气水合物研究计划首先要进行的是印度气水合物填图。根据现有的地质和地球物

理信息,还应不断的吸收新数据、新资料、新的技术进行水合物填图。填图将建立在以下基础上:

- 地质研究,包括沉积物物源、沉积物厚度、沉积速率和沉积史等沉积作用研究。
 - 地球化学研究,包括沉积物的有机质含量和特征、天然气形成机理(生物成因与热成因)、孔隙水的盐度、地热梯度(热流)、水热梯度和海底水温等。
 - 构造特征,包括深海测量、构造抬升、沉降、断层、破碎带、不整合和运移通道或运移史等。
 - 其它特征包括地质时代的气候变化引起的海平面变化和海水温度变化。
- 另外,根据地震研究获取真实的地质信息来进行气水合物图的编制。

4.2 地球物理研究

这是国家气水合物计划最重要的部分,其组成如下:

- 现有地震反射资料的处理和解释
- 新的地震资料的获得
- 定性和定量解释气水合物的相关资料处理技术

4.2.1 现有的地震资料

二十多年来,已由印度和国际代理机构收集了印度深度大陆边缘和海底地震数据。大量的地震资料(属不同的质量和年月)以图3和表6显示如下,这些资料的处理和解释是必要的,这可以取得新处理技术的发展。由于更好的利用了大型数据库,这些技术将有利于技术的革新。如果国际上地球物理权威专家尽最大努力利用这些资料进行数据处理或解释,将大大减少自己工作的开销。

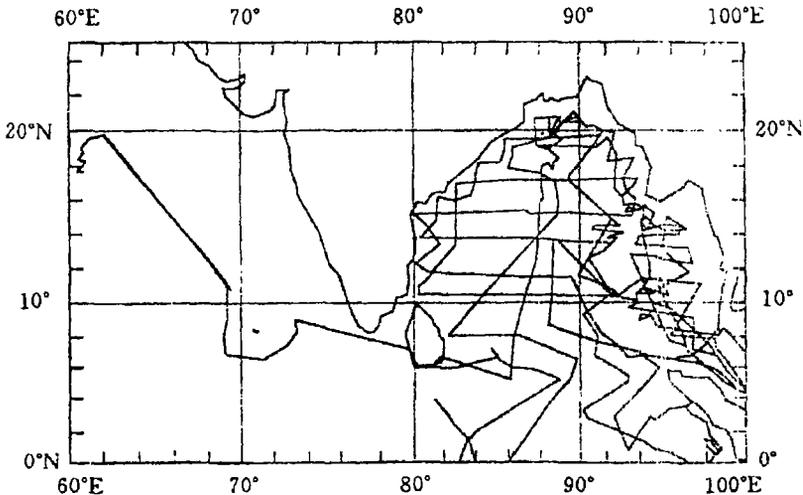


图3 印度国家海底地震资料、数据分布情况(来源于国际地震组织)

4.2.2 新地震数据采集

许多专家建议,可用新获得的地震数据来确定天然气水合物和与其伴生的烃类物以及气水合物下部的游离甲烷气。目前获取的气水合物地震资料和数据的技术方法很少,而且也无获取高分辨率地震数据的方法。建议用汽船(long steamer)、海底水测仪和地测仪等采集

数据,可将发射源和接收器同时放在海底进行试验。除此之外,还可用一些新近出现的采集数据技术如带有传感器装备的海底电缆和垂直电缆。

表 6 现有的 Bengal 湾和阿拉伯海深水地震数据

单位名称	数据类型	侧线长(km)		总长
		阿拉伯海	Bengal 湾	
石油天然气委员会	多道采集	65000	37000	102000
国家海洋研究所海底地球物理所	多道采集	5000	3000	8000
国家水产委员会	多道采集	10000	10000	
拉蒙特—多赫蒂地质观测所*	单道/多道	10000	5500	15500
美国海洋及大气管理局**	单道/多道	5000	5000	10000
美国海军海洋局	单道/多道	7500		7500
美国—墨西哥斯克里普斯海槽	单道/多道	3000	20000	23000
	单道/多道	2000	2000	
	总计	97500	80500	78000

** Lamont—Doherty 地球观察实验室, ** —国家海洋大气部

由于二维地震勘探具有低频和平滑数据,将会得到好的处理结果(使用长浮缆有助于 AVO 分析)。高分辨率地震处理结果良好(这种勘探技术处理经济快捷)。

印度的地球物理研究采取将数据采集技术和钻井前的勘探技术结合起来的方法,其中会包括二维地震勘探技术(ZDES)、高分辨率地震(HRS)、浅层牵引断面(STP)、海底拖移剖面测量仪(SBP),深部牵引排列地球物理系统(DTAGS)。

4.2.3 地震数据处理技术

在数据处理和数据获取技术间存在紧密联系,仅仅在确定处理结果和获得的数据进行特殊处理之后,获得的数据才能被应用。气水合物定性解释基本要求开展以下技术工作:

- 确定以岩石/或孔隙体积中水合物存在的百分比;
- 确定 BSR 是否处在游离气区以及这一区域理想状况的游离气饱和度。

现在,研究定量解释技术的研究机构以美国、英国、加拿大(如 Texas A&M USGS Stan-tord 大学、Canadian Geological Survey 和剑桥大学)为代表。在印度同剑桥大学的科学家们紧密联系后,NGRI 已获得了这些技术中的一部分,其中之一叫做地震波形反演技术。该技术提供了一个详细的速率模型,其在划定沉积物中水合物和 BSR 之下游离气饱和态的限定线方向迈出了重要的一步。BSR 形成了一种波形反演的理想目标,因其它典型的高振幅与周围地层反射形成强烈的反差,其深度浅的处理由下列方法确定:①利用幕指数增加(exponential gain)和球面分辨校正恢复真实振幅;② f-k 速度滤波剥减低速散射背景;③进行零相位反褶积;④ f-k 去信噪(demultiple);⑤叠加速率分析(来自这一地区折射研究的深部速率);⑥叠加进一步减少的复合能量后(Gapped)反褶积;⑦用手工平滑正常时差(NMO)函数,使 f-k 迁移速率降低 10%,阻止其超过迁移速率;⑧对 AVO 分析进行特殊处理;⑨用于速率模型的波形反演。

4.3 地下实际地质情况研究

钻前,应当进行取心(探井)钻探,确定岩性和地层并建立地质模型并进行垂直地震测井剖面(VSP),电缆测井,包括温度测量它可显示孔隙度、渗透率、孔隙流体的性质、水合物和气的饱和度、速率数据,这些有助于进行地震数据解释,同时确定水合物层厚度和水合物层

下部的游离气体厚度;

岩心分析将得出气体组成、水的盐度、岩石学特征、孔隙度、渗透率及气体含量,已测得的物理属性表明声波(纵波和横波)、密度、孔隙度和应力强度。

同时也可在无BSR区域选择取心井,以使电测井与含BSR水合物区进行对比,这一地区已被三维高分辨率地震资料所覆盖和解释全部的地球物理资料必须通过实测的VSP测井和电缆测井进行解释。

4.4 选择工作区

(1) 建立不同地质条件下评价水合物分解和甲烷通过井孔流动时的函数方法。

(2) 首要的原则是估算不同气水合物生产系统的费用,包括钻井的花费(垂直井加深和水平井)、生产系统花费(含水下系统)、地面设施的费用(浮选产品体系、收集体系及岸上设施)、操作和维修费用(含水处理和气处理)及其它费用。

(3) 综合地质、生产花费,选定印度滨岸水合物生产天然气带来经济效益的地区。

4.5 深水技术

近2~3年,深水油气勘探技术取得了惊人的发展,使深水勘探费用明显减少(图4和5),国家天然气水合物计划的另一方面,就是不断的开发和利用深水油/气勘探新技术、新方法。

最近,挪威“Aker”同“Eil”签了研究深水技术协议(MOV),随着这一计划的实现,深水钻探技术会有更好的选择。

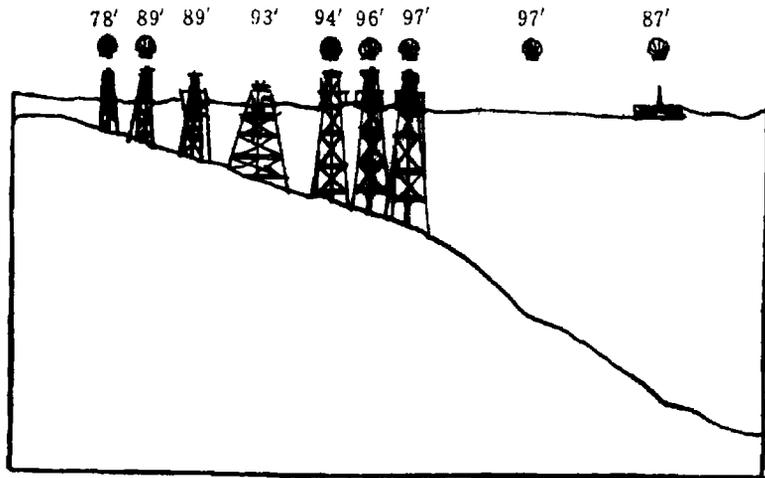


图4 深水钻探的里程碑

4.6 研究和开发

主要目的之一是确定研究和开发区域(R&D),另外就是给参加国家计划的不同研究机构安排研究内容。

4.7 相关研究

4.7.1 热动力学相行为

不断提高了解气水合物热力学行为的理论知识,研究天然气水合物形成(和扩散作用)的动力学机制和参数以及孔隙介质的特性,特别是气体成分的影响,如含杂质 CO_2 、 H_2S 和

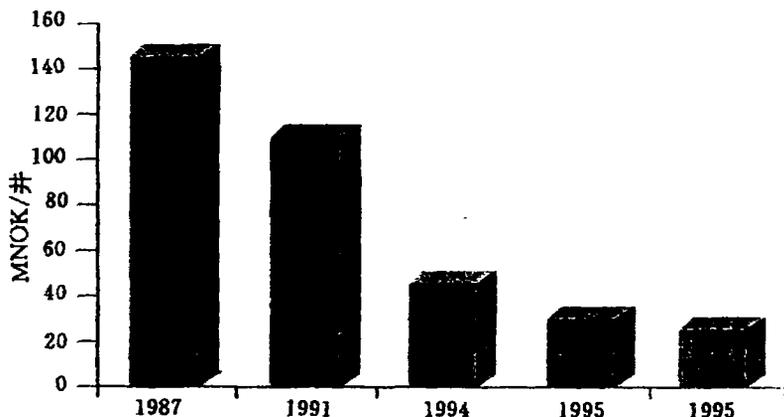


图6 水下钻井财政预算

水中的杂质(如水的盐度等)。

4.7.2 环境危害:温室气体

甲烷是一种温室气体,许多国际研究机构测定了气体水合物突发性分解释放大量甲烷所造成的可能影响。另一种温室气是 CO_2 ,随着人们不断使用化石燃料使 CO_2 不断增加。人们正研究将 CO_2 以水合物的形式被固定在海底沉积物中。以水合物形式存放并处理 CO_2 将是日本从气体水合物分离气体生产计划的主要组成部分。

4.7.3 天然气运输(NGV)

在天然气的运输中,用水合物的形式储集甲烷,与管道传输气的方法相比,吸附气储集运输优点明显。

密西西比州立大学开展的利用天然气水合物运输天然气的研究表明,每1体积的水合物含157体积的天然气,在 1.7° 到 4.4° 、550Psi(3.79 MPa),天然气水合物运输的长度增至325 km,同高压管道(2100Psi)吸附储存(500—600Psi)相比,这种方法运输花费大为降低。

4.7.4 将天然气固化为水合物进行运输

天然气固化技术与长距离大规模的天然气运输相比较是一很有潜力和实用的方法(LNG)。

天然气固化概念是指在接近绝热状况下,低于水的冰点以下(-15°C),天然气水合物在常压下能稳定保存为基础,天然气水合物运输链(生产、超过3500海里运输和再气化)已经由一个技术和工程科学研究小组研究,他们实验和研究结果表明,固化技术的资金花费(10 MMm³/day)可能比LNG长距离运输低20%,显然,以水合物形式运输气体比建立LNG技术运输费用大大减少。

基于固化技术未来应用的前景,我们建议投资建议一个装备精良的实验室以及为完成固化技术热力学特征研究。

5 印度开发气水合物的行动方案

开发计划分为二个阶段。表 7 给出了主要目标、工程实施描述、研究和勘探区域等。

表 7 国家天然气水合物研究计划

<p>第一阶段</p> <p>主要目标</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 确定有利的远景区,进行详细的地震勘探 2. 对整个水合物计划的目标/可行性进行研究 3. 建立得力的组织机构 4. R&D 计划的完成、实施 <p>实施</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 现有地质的和地球物理的信息处理 2. 编制印度水合物图 3. 资源量评价 4. 建立地球物理数据采集和处理参数 5. R&D 实施设计、目标、研究机构、时间框架、预算等以及各方面的费用
<p>第二阶段</p> <p>主要目标</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 确定 3~5 可钻探远景区、实施 2. 地震数据采集、处理 3. R&D 实施及上述各项费用

6 提供的基金方式

遵循高风险、高回报的特点,对开发计划不断改进,建议建立一个 OLDB 基金计划,参与公司需提供可用基金时,征得领导委员会同意后,OLDB 基金会即可给予经费支持,当然这笔基金将由 OLDB 偿还。

主要参考文献

Expert committee of GAIL, ONGC, and DGH. National Gas Hydrated programmer. 1996.