

中国科学院文献情报系统先进能源情报网

# 天然气水合物监测快报

2017年第1期（总第1期）



主管：中国科学院文献情报系统学科情报服务协调组

主办：中国科学院广州能源研究所

## 中国科学院文献情报系统先进能源情报网简介

中国科学院文献情报系统先进能源情报网是在中国科学院文献情报系统学科情报服务协调组的整体组织和指导下，由中国科学院武汉文献情报中心牵头组建，联合中国科学院文献情报系统能源领域相关研究所，共同搭建的情报研究资源共享及协同服务的非营利性情报研究及服务团体。先进能源情报网将汇聚中科院文献情报系统内与领域相关的战略情报研究人员、学科情报人员、研究所科研管理人员、研究所文献情报人员，以及相关的管理和学科专家，通过“协同开展情报研究服务、组合共建情报产品体系、促进情报资源交流共享、提升整体情报保障能力”的工作方式，创新院所协同的情报研究和服务保障模式，促进情报资源的共享、情报需求和情报供给的对接、情报技术方法的合作开发，实现情报能力的扩散和提升，进而对中国科学院各个层面（院层面、所层面、项目团队层面及科研人员层面）的重要情报需求提供坚实保障。

### 先进能源情报网成员单位

成员单位	单位名称
组长单位	武汉文献情报中心
副组长单位（排名不分先后）	合肥物质科学研究所 大连化学物理研究所 青岛生物能源与过程研究所 广州能源研究所
成员单位（排名不分先后）	上海高等研究院 山西煤炭化学研究所 上海应用物理研究所 兰州近代物理研究所 广州地球化学研究所 过程工程研究所 电工研究所 工程热物理研究所

编辑出版：中国科学院广州能源研究所

联系地址：广东省广州市天河区五山能源路2号

联系电话：(020) 87057486

联系人：李家成 陈春霞

电子邮箱：zls@ms.giec.ac.cn

# 目 录

中国首次试采海底可燃冰成功.....	2
中科院天然气水合物研究助力我国可燃冰成功试采.....	4
日科学家对笼型水合物中客体分子运动的研究进展.....	5
冰川下天然气水合物的形成对冰流流量的调节作用.....	7
加拿大斯弗德鲁普盆地天然气水合物“圈闭带”和甲烷水合物潜力研究.....	9
超高压环境下高浓度 KCl 卤化物溶液中气体水合物形成机理研究.....	9
提高天然气水合物生成速率的反应器设计和材料回顾.....	10
DOE 资助 380 万美元用于甲烷水合物的最新研究.....	10

## 中国首次试采海底可燃冰成功

“中国首次海域天然气水合物试采成功!”

今天(5月18日),中国国土资源部部长姜大明在我国南海神狐海域作业的钻井平台“蓝鲸1号”上宣布。自此,中国成为全球领先掌握海底天然气水合物(也叫可燃冰)试采技术的国家,这对于促进我国能源安全保障,优化能源结构具有里程碑意义。

仪式上,国务院办公厅督查室主任高雨宣读了党中央、国务院对海域天然气水合物试采成功的贺电。

承担此次国家重大战略任务,并成功试采可燃冰的“蓝鲸1号”,是全球最先进超深水双钻塔半潜式钻井平台,由中集来福士海洋工程有限公司(简称“中集来福士”)自主设计建造,蓝鲸海洋工程公司联合中国石油集团海洋工程有限公司共同履行平台运营服务合同。

南海神狐海域天然气水合物试采工作由国土资源部中国地质调查局负责。据中国地质调查局天然气水合物试采现场指挥部指挥长叶建良介绍,南海神狐海域天然气水合物试采于2017年3月28日正式开钻,5月10日开始,该局从该海域水深1266米海底以下203—277米的天然气水合物矿藏中开采出天然气。至5月17日下午3点连续7天产气总量11.32万方,平均日产1.6万方,最高瞬时日产3.5万方,甲烷含量达99.5%,目前试采正常,产量稳定,超额完成日采1万方、连续一周的预定目标。

可燃冰的学名是天然气水合物,大多分布于陆地冻土区或距海面900到1200米的深海沉积物中,是由天然气与水在高压低温条件下形成的类冰状结晶物质,燃烧后仅会生成少量的二氧化碳和水,与石油、天然气相比,具有使用方便、燃烧值高、清洁无污染等优点。

有专家估计,可燃冰仅海域储量就可供人类使用1000年,被公认为石油、天然气的接替能源。





由天然气水合物（可燃冰）点燃的放空火炬

我国是可燃冰资源储量最多的国家之一，除了陆地冻土区外，整个南海的可燃冰地质资源量约为 700 亿吨油当量，远景资源储量可达上千亿吨油当量，开发前景十分广阔。

此前在 3 月 28 日的项目启动仪式上，国土资源部党组成员、中国地质调查局局长钟自然表示，《中国国民经济和社会发展十三五规划纲要》明确将推进天然气水合物资源勘查与商业试采列入能源发展重大工程。天然气水合物试采将为我 国开启能源利用新时代奠定坚实基础，开创历史机遇。党中央、国务院、国土资源部对此高度重视，多次做出重要批示。

钟自然认为，本次天然气水合物试采成功意义重大，将是开启中国地质调查事业第二个百年的首场科技攻坚战。“既可以检验我们前期形成的理论技术和装备体系的科学性，又可以通过开展大规模多专业高难度的联合科技攻关迅速掌握深海进入、深海探测和深海开发技术，推进天然气水合物资源商业性开发。”他说。

值得注意的是，承担此次试采任务、由中集集团旗下中集来福士自主设计建造的“蓝鲸 1 号”是目前全球作业水深、钻井深度最深的半潜式钻井平台，入级挪威船级社。由蓝鲸海洋工程公司联合中国石油集团海洋工程有限公司共同履行

平台运营服务合同。



蓝鲸一号

平台长 117 米，宽 92.7 米，高 118 米，最大作业水深 3658 米，最大钻井深度 15240 米，适用于全球深海作业。与传统单钻塔平台相比，“蓝鲸 1 号”配置了高效的液压双钻塔和全球领先的 DP3 闭环动力管理系统，可提升 30% 作业效率，节省 10% 的燃料消耗。

中集集团 CEO 兼总裁麦伯良在仪式上表示，“‘蓝鲸 1 号’代表了当今世界海洋钻井平台设计建造的最高水平，将我国深水油气勘探开发能力带入世界先进行列，也是中集集团践行‘一带一路’的国家宏伟战略、提升国家高端能源装备实力的重要实践。”

据悉，该平台先后荣获 2014 年《World Oil》颁发的最佳钻井科技奖以及 2016 OTC 最佳设计亮点奖。

中国能源报

## 中科院天然气水合物研究助力我国可燃冰成功试采

5 月 18 日，我国南海神狐海域天然气水合物（又称“可燃冰”）试采实现连续 187 个小时的稳定产气，我国全球首次实现海域可燃冰试采成功。党中央和国

务院的贺电指出，中国人民又攀登上了世界科技的新高峰，将对能源生产和消费革命产生深远影响。

中国科学院作为国家科学技术的“国家队”，是最早从事可燃冰研究的机构之一。中科院广州能源所从上世纪 90 年代初即开始进行可燃冰的基础研究，并于 2003 年组建中科院广州天然气水合物研究中心，联合中科院南海海洋所、广州地化所等兄弟单位，主要开展可燃冰的勘探、开采基础理论和关键技术研究。在中国地质调查局、科技部、国家自然科学基金委等项目的支持下，通过开展南海神狐海域可燃冰的富集规律和成藏机制的研究，指出了开采的有利靶区；建立了国际领先的中试规模的可燃冰开采综合模拟技术系统，确立了基于模拟的水合物开采和安全控制方案，助力我国可燃冰的成功试采。

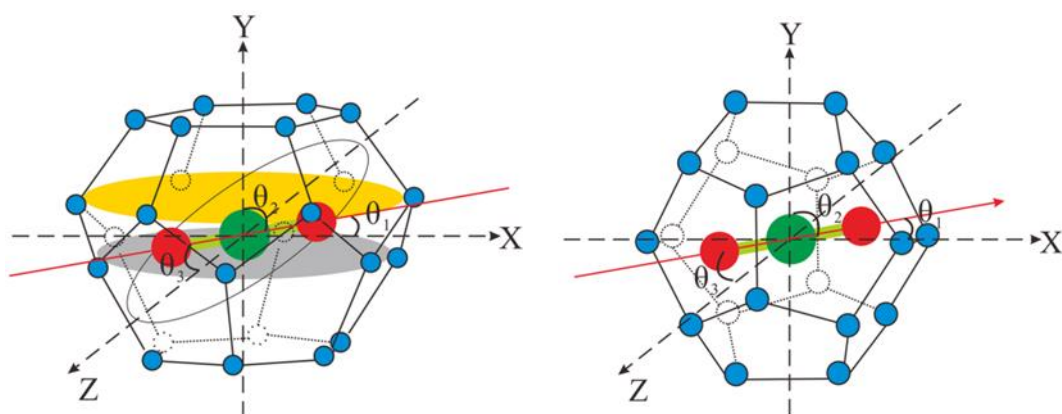
海域天然气水合物试采成功是产业化的关键一步，但实现商业开采目标依然面临诸多挑战，需从开采技术优化、过程安全控制、地层的稳定性及环境影响等方面开展深入研究。天然气水合物从试采到商业开采仍然任重而道远。

中国科学院广州能源研究所

## 日科学家对笼型水合物中客体分子运动的研究进展

天然气水合物是一种冰状的非化学计量的化合物，由氢键键合的水分子形成，其中包含适当大小的“客体”分子。典型的“客体”分子包括甲烷（ $\text{CH}_4$ ）和二氧化碳（ $\text{CO}_2$ ），通常形成具有两种笼类型的 I 型包含结构（sI）：大的四面体 5<sup>12</sup>6<sup>2</sup> 笼（L 笼）和小的十二面体 5<sup>12</sup> 笼（S 笼）。目前，沉积物天然气水合物中利用  $\text{CO}_2$  替代  $\text{CH}_4$  受到高度关注，因为它能够长期储存  $\text{CO}_2$ ，这可以缓解全球变暖以及海洋酸化的强度，并促进  $\text{CH}_4$  回收作为未来的潜在能源。值得注意的是，海洋沉积物中  $\text{CO}_2$  水合物已被清楚地观察到，这意味着它们可以稳定存在，甚至可以形成并埋藏于极浅的海洋沉积物中。理解沉积物中天然气水合物的弹性性质对于监测天然气水合物分布（例如通过地震分析）、预测其地层的稳定性，以及研究  $\text{CO}_2$  替代天然气水合物的  $\text{CH}_4$ ，都十分的重要。现今， $\text{CO}_2$  和  $\text{CH}_4$  水合物都已经在实验室中合成了。且已经报道了  $\text{CH}_4$  水合物的布里渊散射实验，压缩和剪切波速度测量实验。这激发了我们的兴趣去了解与  $\text{CH}_4$  水合物相比， $\text{CO}_2$

水合物的机械性能。然而，目前对 CO<sub>2</sub> 水合物的机械性能的研究很少见报道，对 CO<sub>2</sub> 和 CH<sub>4</sub> 水合物之间的机械性能的差异的研究也十分有限。因此，本次通过进行分子动力学模拟，分别测定在一百个温度-压力数据点下，二氧化碳(CO<sub>2</sub>)水合物和甲烷(CH<sub>4</sub>)水合物的弹性常数。这些温度-压力数据代表着天然气水合物稳定埋藏于海洋沉积物和永久冻土区中的条件。研究表明，CO<sub>2</sub> 水合物的剪切模量和杨氏模量随温度升高而异常增加，而 CH<sub>4</sub> 水合物的剪切模量和杨氏模量随着温度的升高而有规律地降低。我们将这种异常归因于线性二氧化碳分子的动力学行为，特别是在小笼子(S 笼)中的动力学行为。水合物笼子的空间大小限制了 CO<sub>2</sub> 分子在低温下的自由旋转运动。而随着温度的升高，CO<sub>2</sub> 分子能更自由地旋转，从而提高了 CO<sub>2</sub> 水合物的稳定性和刚度。我们的工作为天然气水合物的弹性性质研究提供了一个重要的数据库，同时也对 CO<sub>2</sub> 水合物从高温 5° C 到低分解温度-150° C 的稳定性变化提供了分子级别的深入了解。相关研究成果发表在《Scientific Reports》。



L 型笼中 CO<sub>2</sub> 分子旋转运动示意图      S 型笼中 CO<sub>2</sub> 分子旋转运动示意图

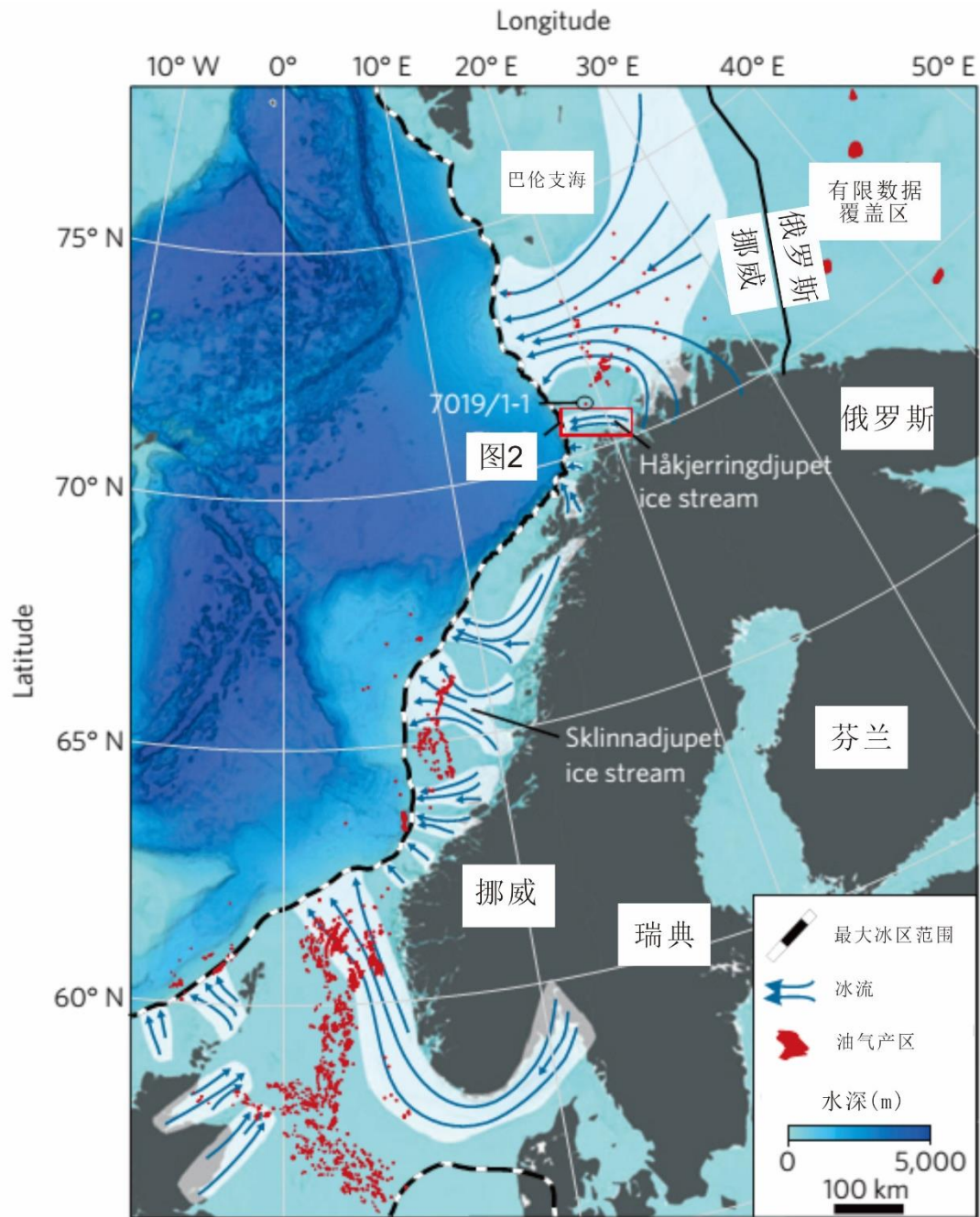
上图示意了位于 L 型笼和 S 型笼中的二氧化碳分子的动力学行为模型。红色直线代表 CO<sub>2</sub> 分子的长轴，蓝色实心圆圈表示笼子顶点上的水分子，红色实心圆（氧原子），大的绿色实心圆（碳原子）。 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 、 $\theta_3$  分别代表了 CO<sub>2</sub> 分子的长轴与 X、Y、Z 轴的角度

Jihui Jia, Yunfeng Liang, Takeshi Tsuji . Elasticity and Stability of Clathrate Hydrate: Role of Guest Molecule Motions [J]. Scientific Reports 7, Article number: 1290 (2017)



## 冰川下天然气水合物的形成对冰流流量的调节作用

冰流流量和流出冰川的变化对于冰盖稳定性而言是主要的控制因素，然而对作用在冰川-基底界面上的关键过程目前仍然缺乏一个系统的认知。基底摩阻，特别是粘点（基底牵引高值区域），对原本高润滑/高滑动的冰下环境保持力学平衡至关重要。本次研究中，我们考虑冰川下水合物形成对冰流动力的影响，以及它在粘点形成和保持过程中的潜在作用。地球物理资料展示了一个主要的古冰流的地质痕迹，这个古冰流从 20000 年前巴伦支海-波罗的海的冰盖中流出。我们的研究结果揭示了一个 250 km<sup>2</sup> 左右的粘点，它与地下浅层气的聚集、海底流体喷溢和与深部油气储层相关的断裂系统相吻合。我们认为从这些储层运移而来的气体将会在冰川下的高压和低温条件下形成水合物。水合物将会导致冰川沉积物脱水和硬化并因此强度增大，从而促进了高牵引，即粘点，对冰流流量的调节。过去和现今，深部油气储层在冰川区域的下部是非常常见的，说明水合物对冰川下动力学的调整是一个广泛存在的现象。研究成果发表在《NATURE GEOSCIENCE》



末次盛冰期欧亚冰盖复合体的冰体范围。

冰盖复合体由多条快速流动的冰流所推动，其中的很多冰流流经油气储层。油气信息来自挪威石油董事会（[www.npd.no](http://www.npd.no)）和英国政府（[www.gov.uk/oil-and-gas](http://www.gov.uk/oil-and-gas)）。

Håkjerringdjupet ice stream: Håkjerringdjupet 冰流；

Sklinnadjupet ice stream: Sklinnadjupet 冰流；

<http://www.nature.com/ngeo/journal/v9/n5/full/ngeo2696.html>

袁媛

## 加拿大斯弗德鲁普盆地天然气水合物“圈闭带”和甲烷水合物潜力研究

斯弗德鲁普盆地下的甲烷水合物稳定带形成于加拿大北极群岛之下 2km 和岛间水道海平面之下 1km。该区域甲烷水合物稳定带不是一个连续的带，其内发现了甲烷水合物，且水合物/自由气体接触界面较少。测井解释指示在甲烷水合物稳定带内 150 口井中有 57 口井发现甲烷水合物。14 口井显示甲烷水合物/自由气接触面。甲烷水合物的分布和水合物/自由气接触的出现与甲烷水合物稳定带一致。这种关系表明甲烷水合物形成于浅层，而非预想的从下部向上运移进入水合物圈闭带。水合物多出现在甲烷水合物稳定带底部之上，少数靠近稳定带底界存在。研究区内位于斯弗德鲁普盆地西部和中部的部分地震圈闭为空圈闭。水合物与深部烃类的相关性指示水合物的形成与区域热流值密切。23 处水合物直接位于下覆传统油气藏之上。其他的水合物与充满水的构造相关，充满水的构造可能是以前的油气藏由于烃类泄露散失而形成的。研究成果发表在《Natural Resources Research》

<https://link.springer.com/article/10.1023/A:1015575918179>

刘杰

## 超高压环境下高浓度 KCl 卤化物溶液中气体水合物形成机理研究

美国科罗拉多矿业大学 Amadeu K. Sun 团队发表高浓度盐水体系中甲烷气体在超高压（高达 200 MPa）条件下形成水合物的相变特性。实验表明，当 KCl 浓度低于饱和浓度时，水合物形成体系为三相体系（气相-水相-水合物相），甲烷水合物相平衡曲线随着 KCl 浓度的增加而向低温高压区域移动；当 KCl 浓度达到或高于饱和浓度时，水合物体系为四相体系（气相-水相-水合物相-KCl 晶体），甲烷水合物的相平衡曲线不受 KCl 晶体析出程度的影响，但在溶液由饱和转化为过饱和的过程中，水合物生成和 KCl 结晶之间存在竞争效应。研究成果发表在《Journal of Industrial and Engineering Chemistry》

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1226086X17300692>

蔡晶

## 提高天然气水合物生成速率的反应器设计和材料回顾

新加坡国立大学 P. Linga 团队就近五十年来世界各水合物研究团队在提高水合物生成速率方面所采取的措施进行了综述。主要措施有：(1) 添加动力学促进剂，通过降低表面张力的方式增加气体在水相中的溶解度；(2) 添加多孔介质，通过添加多孔介质的方式增大气体与水之间的接触面积；(3) 改变气液接触模式，通过改变磁力搅拌、机械搅拌、喷淋、鼓泡等方式来改变气液接触模式。文章发表在《Energy Fuels》

<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.energyfuels.6b02304>

蔡晶

## DOE 资助 380 万美元用于甲烷水合物的最新研究

美国能源部国家能源技术实验室化石燃料研究部目前准备着手一系列关于天然气水合物的基础研究，其中包含六项新的研究项目，涉及基础研究，评估水合物地质系统的规模，发展和性质；系统在自然环境中的作用；甲烷商业回收系统的潜力；甲烷水合物资源回收对环境的影响。研究涉及天然气水合物的实验室、现场和数值模拟研究。主要目的是发展与其相关的科学技术，以期完成自然界水合物储量的评估，以及服务于后期水合物作为潜在的能源资源的开发利用。

今年五月份，该机构与德克萨斯大学合作，将在墨西哥湾的深海海域内进行为期三周的钻井和岩芯勘探计划。由于新型设备的使用，本次钻取的水合物样品可以维持其在自然界中的状态，以供实验室研究。以下为研究项目的具体信息。

承担机构	研究内容	资助金额/美元
罗切斯特大学	天然气水合物的分解造成甲烷气的泄漏，对于海气环境系统的影响，以及美国大西洋边缘上大陆坡中部区域的甲烷气分布和释放量研究。	887,836
德克萨斯大学 奥斯汀分校	通过实验研究宏观和微观尺度上，分析含水合物沉积物的减压响应。用于加强对水合物体系的深入理解，有利于更好地评估水合物资源储	1,199,991

	量。	
路易斯安那州立大学	研究含天然气水合物沉积物产气过程中细砂颗粒的迁移特性。通过对细砂颗粒在水合物系统的压缩性和渗透性的影响的充分理解,更好地服务于天然气水合物的开采过程。	322,290
德克萨斯A&M大学	利用先前 NETL 以及自己拥有的现场数据,研究甲烷在水相中的生成演化趋势。研究成果将对水合物模型提供新的分析和改进,同时也能更好地理解水合物在全球自然环境中所起的作用。	361,533
加利福尼亚大学	可控源电磁法 (CSEM) 技术在海洋水合物沉积物应用评估。研究将加深对水合物沉积物的电学特性的认识,并评估 CSEM 技术作为定位和表征天然气水合物的辅助手段的实用性,也将为墨西哥湾已知或预测存在水合物的区域提供有意义的的数据。	533,406
德克萨斯A&M大学	开发先进的水合物综合行为模拟系统,增强对深海及北极水合物沉积物的认识,对水合物矿藏的生成及开发提供有用的预测和评估。	731,414

<https://energy.gov/fe/articles/doe-announces-38-million-investment-new-methane-gas-hydrate-research>

吴起