

# 可燃冰：冰与火之歌

文 / 萧啸

不到 20 年时间，我国实现了可燃冰勘查开发理论、技术、工程装备的自主创新，由“跟跑”变为“领跑”。“地层流体抽取试采法”解决了储层流体控制与可燃冰稳定持续分解难题，储层改造增产、可燃冰二次生成预防、防砂排砂等关键技术大显身手。



在我国南海神狐海域进行天然气水合物试采作业的“蓝鲸一号”钻探平台

一夜之间，“可燃冰”一词几乎举国皆知。

2017 年 5 月 18 日，我国南海神狐海域天然气水合物（即“可燃冰”）

试采实现连续 187 个小时的稳定产气。这是我国首次实现海域可燃冰试采成功。

对于能源产业而言，这是一条不

折不扣的爆炸性新闻。观察人士普遍认为，这一成果对促进我国能源安全保障、优化能源结构具有里程碑意义。有人甚至认为，这有可能改变世界能源的供应格局。

现实科技版的“冰与火之歌”，也许比小说版、影视版更为精彩。

**“高潜力”能源：试采成功影响深远**

从 5 月 10 日起，源源不断的天然气，从 1200 多米的深海底之下 200 多米的底层中开采上来，点燃了世界最大的海上钻探平台“蓝鲸一号”的喷火装置。截至 5 月 17 日，连续产气 8 天，最高产量 3.5 万立方米/天，平均日产超 1.6 万立方米，累计产气超 12 万立方米，天然气产量稳定，甲烷含量最高达 99.5%， “实现了预定目标”。

5月18日上午，国土资源部部长姜大明在“蓝鲸一号”上向世界宣布：中国在神狐海域的天然气水合物试采成功！

这是我国首次、也是全球首次对资源量占比90%以上、开发难度最大的泥质粉砂型储层可燃冰成功实现试采。

那么，可燃冰究竟是什么？

可燃冰又称天然气水合物，是一种甲烷和水分子在低温高压的情况下结合在一起的化合物，因形似冰块却能燃烧而得名。

很多人此前也许并不知道，可燃冰是一种标准的“高潜力”能源。

它燃烧值高——1立方米的可燃冰分解后可释放出约0.8立方米的水和164立方米的天然气，燃烧产生的能量明显高于煤炭、石油，燃烧污染却又比煤炭、石油小，更加清洁环保。

它资源储量丰富——可燃冰广泛分布于全球大洋海域，以及陆地冻土层和极下面。估算其资源量相当于全球已探明传统化石燃料碳总量的两倍。

了解了这些基本知识，我们便很容易理解可燃冰试采成功的重大意义。目前全球生产模式主要依靠的传统化石能源总会耗尽，而可燃冰可能大大延长这个时间，为人类开发新能源提供缓冲。

在人类社会的早期，人们通过薪柴燃火得到能量和温暖。进入工业文明后，煤炭扮演了关键角色。再后来，石油天然气成为了能源领域无可争议的主角。但如今人类探明大油田的几率在不断下降，只能向极地、深海这些开采难度大的地方寻求能源，或者以更高的成本开采深海石油、油砂、油页岩等非常规能源。

“可燃冰被各国视为未来石油、天然气的战略性替代能源，是世界瞩目的战略资源，对我国能源安全及经济发展也有着重要意义。”试采现场指挥部总指挥、广州海洋地质调查局局长叶建良说。

中国地质调查局副局长李金发表表示，这次试采成功，将继美国引领页岩气革命之后，由我国引领可燃冰革命，推动整个世界能源利用格局的改变。

据试采现场指挥部地质组组长陆敬安介绍，勘探显示神狐海域有11个可燃冰矿体、面积128平方公里，资源储存量1500亿立方米，相当于1.5亿吨石油储量，“成功试采，意味着这些储量有望转化成可利用的宝贵能源。”

实际上，南海神狐海域的可燃冰储量，还只是“冰山一角”。在西沙海槽，我国科考人员已初步圈出可燃冰分布面积5242平方公里；在南海其他海域，同样也有天然气水合物存在的必备条件……

由于可燃冰具有许多优点，西方

发达国家近年来竞相研究开采手段。

例如美国，早在2000年便通过了《天然气水合物研究与开发法案》。此后，美国能源部多次拨款支持可燃冰研究，2016年9月宣布投入380万美元支持6个新的可燃冰研究项目。

一个公认的事实是，可燃冰开采难度巨大。美国、加拿大在陆地上进行过试采，但效果不理想。日本于2013年在其南海海槽进行了海上试采，但因出砂等技术问题失败。今年4月，日本在同一海域进行第二次试采，再次因出砂问题而中止产气。

在这样的背景下，我国实现海域可燃冰试采成功，更加振奋人心。

### 自主创新：由“跟跑”到“领跑”

外行看热闹，内行看门道。在专家眼中，海域可燃冰试采成功，隐藏着众多“干货”。

“可燃冰此次试采成功，打破了我国在能源勘查开发领域长期跟跑的局面，取得了理论、技术、工程和装备的完全自主创新，实现了在这一领域由跟跑到领跑的历史性跨越。”国



“蓝鲸一号”钻探平台上喷出的火焰



国土资源部党组成员、中国地质调查局局长钟自然如此感慨。

首先，我国在可燃冰勘查开发理论方面实现了突破。

在多年勘探和陆地研究的基础上，我国在全球率先建立了可燃冰“两期三型”成矿理论，指导圈定了找矿有利区，精准锁定了试开采目标；创立可燃冰“三相控制”开采理论，应用于试开采模拟和实施方案制定，确保了试采过程安全可控。

第二，我国实现了可燃冰全流程试采核心技术的重大突破，形成了国际领先的新型试采工艺。

据介绍，南海神狐海域的天然气为水合物泥质粉砂型储层类型，该类型资源量在世界上占比超过90%，也是我国主要的储集类型。这是我国也是世界第一次成功实现该类型资源安全可控开采。在这一过程中，我国提出了“地层流体抽取试采法”，有效地解决了储层流体控制与可燃冰稳定持续分解难题。成功研发了储层改造增产、可燃冰二次生成预防、防砂排砂等开采测试关键技术，其中很多技术都超出了石油工业的防砂极限。

同时，本次试采是世界上第一次针对粉砂质水合物进行开发试验。海洋地质学家在试采思路、井位选择、工程地质勘查、关键技术和工艺确立、试采平台优选等诸多方面，都彰显了中国特色，可以称之为“中国方案”。

第三，可燃冰试采的成功，来自“中国装备”的支持。大量国产化装备成功投入应用，充分表明“中国造”已走在世界的前列。

这次试用的钻井平台，便是一个典型例子。我国自主制造的“蓝鲸一号”净重超过43000吨，高达37层楼，是世界最大、钻井深度最深的双井架

半潜式钻井平台，可适用于全球任何深海作业。

尤其难得的是，这些成就是在“奋起直追”中实现的。国际上早在上世纪60年代便已开始勘探研究可燃冰，而我国到1998年才真正开始研究可燃冰。

1998年，项目立项；1999年，开始进行南海和陆地冻土区的可燃冰调查工作；2007年，在神狐海域钻获可燃冰；2015年，在神狐海域准确定位了两个可燃冰矿体；2016年，在神狐海域开展钻探站位8个，全部发现可燃冰；2017年5月10日，神狐海域可燃冰试采点火成功……

也就是说，我国只用了不到20年的时间，便完成了从空白到赶超、从“跟跑”到“领跑”的壮举。

据了解，在此次试开采成功后，我国可燃冰开采将进入“科学积累”的新阶段。在系统总结试采经验、优化试采技术工艺的基础上，还将开展更多种类型可燃冰试采，建立适合我国资源特点的开发利用技术体系。同时，还将创建国家重点实验室、工程

技术中心等创新平台，进一步提高可燃冰勘探开发和深海科技创新能力。

一系列后续动作，令国人充满了期待。

### 环境监控：安全、可控、环保

根据国土资源科技创新规划，“十三五”期间，通过研制深远海油气及可燃冰勘探开发技术装备，我国将推进大洋海底矿产勘探及海洋可燃冰试采工程，力争2020年实现商业化试采，研制成功全海深潜水器和深远海核动力浮动平台技术。

理论上，作为天然气的一种，可燃冰能量值高，使用又很方便，可以通过冷却、压缩处理成液化天然气，所占空间更小，无论是管道运输还是交通运输都很方便。加上储量巨大、污染小，如能实现经济有效开采，应用前景非常广阔。

不过，目前进行相关研究的各国科研人员普遍认为，可燃冰的商业化仍存在许多障碍。其中一个关键是开采成本，另一关键则是环境影响。

我国在海域可燃冰试采过程中，



“蓝鲸一号”钻探平台

始终高度重视环境问题。从2011年6月至2017年3月，南海水合物环评项目组在南海神狐水合物区先后共组织了10个航次的野外调查工作，对试采区进行了多年系统调查，调查内容包括海底工程地质特征、地质灾害特征、海底环境监测、海洋生物特征、海水溶解甲烷含量、海水物理化学及水文特征、海表大气甲烷含量特征等，基本查明了可燃冰试采区的海洋环境特征，同时，发展了一系列我国自主知识产权的环境评价技术。

据介绍，可燃冰试采的环境问题，主要是试采过程中是否发生不可控的可燃冰分解，导致甲烷泄漏，从而引起海底滑坡等地质灾害，甚至是甲烷泄漏到海洋或者大气中而引起环境问

题。

为此，在试采过程中，科研人员根据水合物区海底地形地貌特征、工程地质特征、水合物储层特征，通过合理设计井位及降压方案，从工程设计上避免发生甲烷泄漏所引发的环境问题和灾害问题。同时，通过布设海底地形、气体渗漏等监测设备，构建了“海水—海底—井下”一体化的环境安全监测体系，实现对温度、压力、甲烷浓度及海底稳定性参数的实时、全过程监测。

监测结果显示，此次试采未对周边大气和海洋环境造成影响，整个过程安全、友好、可控、环保。

观察人士指出，覆盖全程的环境保护预案，使中国装备、中国方案成

为科技创新、高效利用、洁净生产相结合的典范。

### 新征程：向地球深处进军

可燃冰试采成功，意味着新征程的开启——向地球深处进军。

由于坚硬的岩石、高温高压的极端环境，人类对地球深部的认知远未达到对太空的认知程度。地球的深处，蕴藏着无尽的科学之谜。

2016年全国科技创新大会明确提出：“从理论上讲，地球内部可利用成矿空间分布在从地表到地下1万米，目前世界先进水平勘探开采深度已达2500米至4000米，而我国大多小于5000米，向地球深部进军是我们必须解决的战略科技问题。”

如果我国固体矿产勘查深度达到2000米，探明资源储量可以翻一番。而在辽阔的大洋海底，多金属结核总资源量约3万亿吨，有商业开采潜力的达750亿吨；海底富钴结壳中钴资源量约为10亿吨；太平洋深海沉积物中稀土资源量达880亿吨。

国土资源部部长姜大明坦言，我国海洋探测科技创新已经取得很大进步，但在一些深海领域与美日俄及个别欧盟国家相比还存在差距。“向深海进军，发挥后发优势，争取后发先至，这是必须解决的战略科技问题。”

“冰与火之歌”，余音绕梁……

