开栏的话

2017年5月10日14时52分，由国土资源部中国地质调查局组织实施的我国海域天然气水合物（俗称“可燃冰”）试采，在南海神狐海域的第一口试采井点火成功，从水深1266米海底以下203～277米的可燃冰矿藏中开采出天然气。

5月18日，国土资源部在南海试采平台举办现场会，部长姜大明宣布，我国首次可燃冰试采成功。至此，我国成为全球首个在海域可燃冰试开采中获得连续稳定产气的国家，实现了我国天然气水合物开发的历史性突破。中共中央、国务院为此发来贺电。截至6月10日，我国南海神狐海域天然气水合物试采“满月”，连续产气达31天，产气过程平稳，井底状况良好，获得各项测试数据264万组，为下一步工作奠定了坚实基础。

为让大家详细了解可燃冰这一新能源中的“明星”成员，本版特开设《走近可燃冰》专栏，邀请中国地质调查局相关专家及科研人员介绍有关可燃冰的基本知识，讲述中国勘探可燃冰的历程、技术创新和应用、应对环境影响，以及本次可燃冰试采中的小故事等。今天刊发的是第一篇。

揭开可燃冰神秘面纱

梁金强

可燃冰是什么？

可燃冰，是由气体分子与水分子组成的一种冰状的固体物质，学名为“天然气水合物”，外观多呈白色或浅灰色晶体，外貌似冰雪，可直接点燃，故被称为“可燃冰”。

根据可燃冰的分子晶体结构，可为三种类型：Ⅰ型为立方晶体结构，组成的气体分子主要为甲烷（含量大于93%）；Ⅱ型为菱形晶体结构，组成的气体分子除甲烷外，还含有相当数量的乙烷、丙烷和异丁烷；H型为六方晶体结构，由直径较大的气体分子构成，如二氧化碳等。

可燃冰的形成需具备四个基本条件：低温、高压环境以及充足的气源和水。自然界中的可燃冰主要赋存于高压、低温环境的海底浅表层沉积物和高纬度冻土里，约有97%可燃冰分布于海洋中，仅3%分布在陆地冻土带。可燃冰可在低于10℃时生成，超过20℃便会分解。在0℃时，只需30个大气压即可生成，压力越大越稳定。

海洋中，可燃冰往往分布于水深大于300米的海底沉积物中，分布范围从海底到海底之下1000米左右，气体主要来源于海底浅部的生物成因气和地层深部热解气。目前，在全球直接或间接发现水合物的矿点已达到234处，在49处获得了水合物样品。在5个矿点开展了试开采或开采，其中海域有两个矿点：中国1个、日本1个；陆域有三个矿点，美国1个、加拿大1个、俄罗斯1个。

可燃冰的自然产出状态有块状、脉状、结核状、分散状等，其成因主要有两种类型：一种是由于气体渗漏到地层的孔洞或裂缝中，呈块状、脉状或结核状；另外一种是气体扩散到沉积物的孔隙中，形成微小的可燃冰颗粒充填于沉积物的孔隙中，通常不为肉眼所识别，这种可燃冰就像一杯水倒进沙子里，什么都看不到一样。

在标准状态下，1体积的可燃冰大概可以分解为164体积的甲烷气体。据估算，全球可燃冰中的有机碳占全球有机碳的53.3%，而煤、石油和天然气三者的总量才占到26.6%。储量巨大和高效清洁的特点使得可燃冰被誉为21世纪的绿色能源。由于可燃冰的重大战略资源意义，从20世纪80年代开始，美国、英国、德国、加拿大、日本、印度、韩国等相继投入巨资开展勘查开发及科学研究。

根据可燃冰的储集类型，目前认为自然界中大部分可燃冰分布在海洋黏土质或粉砂质细粒沉积物中，其次是分布在地层的孔洞或裂缝中的可视型可燃冰，再其次是分布在海洋砂层中的可燃冰和陆域冻土带砂层中的水合物。据估算，全球赋存在砂层可燃冰中的气体量可能超过1217万亿立方米，约占全球可燃冰原地资源量的中间范围估值的5%。从目前的技术条件看，砂岩中的可燃冰较容易开采，陆域及日本海域目前主要针对砂岩储层中的可燃冰进行开采试验，而中国在神狐海域开采的可燃冰储集类型是黏土质粉砂储层，开采难度较大。

如何揭开南海可燃冰的神秘面纱？

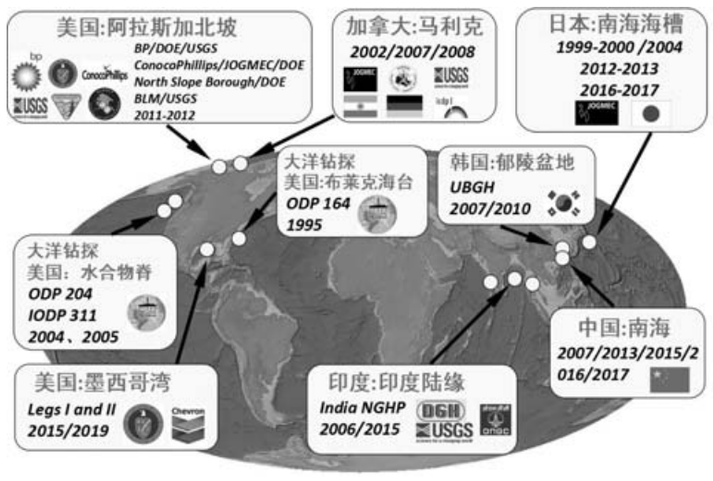
在国土资源部、中国地质调查领导下，广州海洋地质调查局负责实施南海可燃冰勘查试采工作，广泛吸收国内外优势力量，在南海水合物勘查、试采、成藏地质理论研究、技术装备研发等发挥了主导作用。自1999年开始，历经前期调查（1999~2001年）、调查与评价国家专项（2002~2010年）、勘查与试采国家专项（2011年至目前）三个阶段，通过近20年的攻关，我国创新集成了具有南海特点的水合物综合探测技术体系，初步形成了天然气水合物成矿、控矿、找矿理论，建立了南海水合物资源评价、区带评价及目标预测理论和方法，取得一系列重大找矿突破和开拓性创新成果，实现了从国内空白到领跑世界的跨越发展。

目前，广州海洋地质调查局在南海已完成高分辨率多道地震13万千米、多波束测量7万千米、浅层剖面测量2.4万千米、热流测量522个站位、地质取样2272个站位、OBS调查195台站、可控源电磁测量20台站、深潜器（ROV）调查23站位，在南海北部陆坡基本完成地质—地球物理普查测网调查，在重点目标区开展了以三维地震探测为主的多手段详查，钻井87口。通过系统勘查评价，预测南海海域水合物远景资源量达800亿吨油当量，并圈定了6个水合物成矿远景区、19个成矿区带、25个有利区块、24个钻探目标区，发现珠江口盆地东部海域和神狐海域2个千亿方级的水合物矿藏。

我国可燃冰的勘探开发历程已有近20年的历时。1999年，我国首次在南海西沙海域可燃冰存在的地震反射证据—似海底反射界面（BSR）。2004年，首次在台西南盆地发现“九龙甲烷礁”。2007年，首次在南海神狐海域钻探获取实物样品，使我国成为继美国、日本、印度之后第四个通过国家级研发计划在海底钻探获得可燃冰实物样品的国家。

2013年，在南海珠江口盆地东部海域首次钻获大量块状、脉状、分散状等多类型的高饱和度水合物样品，首次证实超千亿方级天然气水合物矿藏。

在南海钻获的可燃冰样品



国际上主要的可燃冰钻探、试采活动

2015年，在南海北部神狐海域实现水合物钻获成功率100%，再次钻探证实超千亿方级天然气水合物矿藏。利用自主研发“海马”号深潜器在珠江口盆地西部海域发现“海马冷泉”，并利用大型重力活塞取样器获取块状水合物实物样品。

2016年，通过钻探锁定试采目标，系统获取了试采目标井储层关键数据，为试采实施奠定了坚实基础。

2017年，首次在世界上成功实现连续安全可控试采，实现了我国海域水合物试采历史性突破。

可燃冰能被开发利用吗？

近年来，国际可燃冰研发态势已逐步从勘查阶段进入试采验证阶段，迄今已在加拿大麦肯齐三角洲、美国阿拉斯加北坡、中国祁连山冻土区、日本南海海槽和中国南海神狐海域实施了试验性开采，前苏联在西西伯利亚麦索亚哈气田进行了可燃冰开发。

1969~1990年，前苏联在麦索亚哈气田对水合物藏进行商业开采。该气田为常规气田，在气田上方形成水合物藏。该水合物层经由减压途径无意中得以开采的，通过开采水合物藏之下的常规天然气，导致水合物层压力降低发生分解。气田的最高年产量为21亿立方米。从该气藏的游离气中大约生产出80亿立方米天然气，从分解的水合物中生产出约30亿立方米天然气。

2002年，加拿大、日本等在加拿大西北部麦肯齐三角洲（马利克地区）进行第一次陆上试采，采用“热水循环法”在全球首次成功从水合物层中产出天然气，生产持续5天，总产气量470立方米。2007年进行第二次陆上试采，采用“降压法”实现连续12.5小时从水合物层中产出天然气，总产气量850立方米。2008年进行第三次陆上试采，采用“降压法”实现连续5天从水合物层中产出天然气，总产气量1.3万立方米。

2011年，中国在青海祁连山冻土区成功实施陆域天然气水合物试开采，采用降压法和加热法成功将地下130米～400米处的天然气水合物分解出天然气。

2012年，康菲石油公司等在美国阿拉斯加北部斜坡完成了利用二氧化碳置换可燃冰的开采测试。在整个开采阶段，包括后续6天的气体回收，共开采出甲烷约24210.9立方米，在固相中实现了甲烷—二氧化碳的置换。

2013年，日本在其南海海槽利用降压法进行可燃冰试采，开采出气持续6天，生产天然气12万立方米，后因严重出砂被迫终止。

国际上试验性开采均针对高渗砂质储层，我国首次瞄准低渗细粒水合物储层进行试采，难度更大，极具挑战性。

2017年5月10日，中国在南海神狐海域首次试采可燃冰点火成功，至5月18日连续产气8天，平均日产超过1.6万立方米。截至6月10日，连续产气31天，总产气量21万立方米，平均日产6800立方米。试采井产气过程平稳，井底状态良好，钻井作业安全，海底海洋环境监测未发现异常，无海底甲烷气体泄漏情况，取得了持续时间长、气流稳定、环境安全等多项重大突破性成果。

中国海域水合物试采成功具有十分重大的意义，必将引领和推动世界可燃冰开发基础研究和技术方法发展，加快人类开发利用可燃冰的步伐。

（作者系中国地质调查局天然气水合物工程技术中心总工程师，教授级高级工程师，中国地质调查局“李四光学者”；国家水合物专项项目《南海天然气水合物资源勘查》负责人，“海域天然气水合物试采工程”副首席专家）

走近可燃冰

成都综合所与攀钢集团深化战略合作

聚焦钒钛磁铁矿资源开发利用技术创新

本报讯（特约记者 袁 波）6月8日，攀钢集团副总经理陈勇一行到中国地质调查局成都综合利用所对接攀枝花钒钛磁铁矿资源综合利用工作。双方就深化战略合作、制定中长期合作计划、研究项目领域、研发团队建设、实验室平台共享、大数据整合等进行了深入交流。

在攀西国家级战略资源创新开发试验区建设的背景下，近年来，中国地质调查局与攀枝花市政府建立了局市合作长效机制。通过多年来在攀西钒钛磁铁矿综合利用研究方面的工作积累，成都综合利用所与攀钢集团建立了长期的合作伙伴关系。双方在提高钒钛资源综合利用、降低企业生产成本方面联合开展了采选冶分离回收等技术攻关工作，建成了低品位钒钛磁铁矿高效利用产业线、全尾矿深度回收利用示范线、低品位钛铁矿高效利用示范线、粗颗粒铁精矿长距离管道输送线等工程。但钒钛磁铁矿选矿工艺技术仍有持续优化空间，特别是当前矿石品位越来越低、嵌布粒度越来越细的情况下，双方在提质、降本、增率方面都有很大的合作空间。

座谈会上，攀钢集团研究院与成都综合利用所签订了战略合作协议，双方将围绕攀西钒钛磁铁矿资源，聚焦红格南矿区高铬型钒钛磁铁矿资源，着眼于全产业链技术创新相关科学问题、技术问题和工程问题，以钒钛磁铁矿精准找矿、科学开采、高效选别、清洁冶金、高端利用为重点，强化资源整合与产研结合，共同致力于推动重大科技项目研发与产业化转化。

探矿工艺所支撑新能源地质调查

攻克小口径深孔复杂地层钻探技术难题

本报讯 为解决页岩气等新能源地质调查钻井中的小口径深孔复杂地层钻进技术难题，中国地质调查局探矿工艺研究所开展了钻探技术综合研究与示范，并进行技术推广，为国内多家施工单位提供技术服务和咨询，快速解决施工中遇到的难题，探索形成了一套解决新能源小口径深孔复杂地层钻探技术方法。

页岩气、地热、油气、铀矿等新能源地质调查钻井大都在新区、新层系、新领域、新构造中进行，地层条件、地质构造十分复杂，经常出现严重井漏、井斜、井壁垮塌、坚硬打滑、孔内事故频发等情况，致使新能源地质调查井钻井施工困难，花费了大量人力、物力。

为攻克这一难题，探矿工艺所探索总结了小口径深孔复杂地层钻探技术方法，近年来在多地钻井施工中快速解决技术难题，特别是在页岩气调查井万地1井、巫地1井、楚页2井，以及油气调查井羊地1井，采用复合凝胶（FHD-1）、胶质泥浆+水泥浆、拦截式堵漏等技术成功实现快速堵漏。研发小直径随钻定向纠斜技术，为广西柳州东塘1井提供井深1016~1200米、直径76毫米条件下的随钻定向纠斜服务；为陕西华阳川铀矿、山东招金、华锋钻探提供小直径事故侧钻绕障技术服务，尤其是在山东招金李家矿区井深2400米、直径76毫米条件下进行事故处理，获得明显效果。

该所在若尔盖铀矿田开展高原生态环境脆弱区综合钻探技术应用示范，成功实现“一基多孔、一孔多支”的绿色钻探目标，平均台月效率提高76.6%，平均机械钻速提高44%；为阳山金矿提供综合钻探技术服务，创造了该矿区孔深1500.55米的新纪录。（吴金生）

水环中心应急排查湖南辰溪地质灾害

本报讯 近日，湖南辰溪县境内普降暴雨，引发多处地质灾害，导致房屋和道路受损。受辰溪县国土资源局邀请，中国地质调查局水环地调中心协助开展了地质灾害应急调查及隐患排查，并提出了防治措施与建议。

经走访排查，此次降雨共造成安坪镇、火马冲镇等9处新发滑坡，冲毁房屋3间，造成房屋开裂变形1处。滑坡均发育在居民屋后切坡和公路切坡部位，其中居民点屋后滑坡主要以浅表层小型滑坡为主；公路切坡主要沿顺向坡中软弱夹层发生破坏。

同时，水环中心对危害严重的蒋家坪和九岩坪滑坡进行了无人机航拍，并提出了防治建议：一是未来汛期内，已发生滑坡地段有继续发生破坏的可能，受损严重的房屋应进行搬迁避让并加强监测预警；二是未发生损坏的房屋，应在屋后坡脚处修筑拦挡及排水措施，防止灾害进一步发生；三是对公路切坡处的岩质斜坡，已出现明显变形和发育裂缝的地段应树立警示牌，并对附近村、组群众进行防灾宣传。水环中心表示，接下来将在推进项目整体实施的基础上，结合地方对地质灾害应急调查及隐患排查需求，配合做好汛期辰溪县地质灾害防治及群测群防工作。（王洪磊）

环境监测院赴甘山区小学普及防灾知识

本报讯 6月9日，应甘肃省临夏州康乐县国土资源局和康丰乡政府邀请，中国地质调查局地质环境监测院《唐王川幅地质灾害调查评价》项目组来到康丰乡何家沟村小学，为在校的60余名师生开展了黄土地质灾害科普讲座。

据了解，何家沟村是国家精准扶贫村。村民在大甘沟流域沟壑纵横的山梁上分散居住，全村共有4个社、130户、604人。何家沟小学是此区域内唯一一所小学，由于村里没有幼儿园，小学内还有20余名幼儿。此前，受集中降雨影响，何家沟村小学旁连续两次发生滑坡，导致交通中断。由于滑坡发生于学校非上课时段，所幸未造成人员伤亡。

滑坡发生后，正在此区域开展1:5万地质灾害调查工作的中国地质环境监测院《洮河流域下游地质灾害调查》二级项目所属的《唐王川幅地质灾害调查评价》项目组，得知灾害发生消息后，立即带队赶赴现场，对何家沟小学附近发生的两起滑坡灾害进行了现场调查，并对何家沟村附近隐患点进行了调查排查。

据调查，该滑坡处曾于2016年底在道路硬化施工过程中采取了削坡工程手段对道路进行加宽，导致坡脚失稳，后经冰雪融冻作用，于今年3月份在前缘出现多条宽约5～20厘米的裂缝，在近期连续强降雨影响下，导致先后发生两次滑坡，总方量约200立方米。调查结束后，项目组向康丰乡政府提交了调查报告和应急避险建议。

为增强师生们的避灾防险意识，康乐县国土资源局和康丰乡政府邀请项目组向师生们讲解了黄土地质灾害的类型及诱发条件、灾害发生前的迹象与征兆、灾害发生时的避险方法及逃生路线等日常防灾常识，并向全校师生现场发放了100余套地质灾害防治宣传资料。

（姜 喆 王俊豪 李凤燕）

科普讲座现场。

滑坡应急调查。

新闻速览

中南项目办赴广东湖南对接地质调查工作需求

本报讯 近日，中国地质调查局中南地区地质调查项目管理办公室先后与广东省国土资源厅、湖南省国土资源厅座谈，就中央、地方事权地质调查工作规划与部署以及双方协调联络常态化机制等事宜进行协商。

座谈中，中南项目办与广东省国土资源厅就重点开展硬岩型铀矿、干热岩等清洁能源矿产调查、海岸带地质调查、城市地质调查、土地质量地球化学调查和科技创新等达成共识；与湖南省国土资源厅就重点开展页岩气基础地质调查、硬岩型铀矿调查、深部矿产资源探测、大型资源基地综合评价、城市地质调查、土地质量地球化学调查和科技创新等达成共识。（谢新泉 陕 亮）

湖南新田确定四处富碘靶区

本报讯 近日，由中国地质调查局岩溶地质研究所《湘江上游岩溶流域1:5万水文地质环境地质调查》项目组，在湖南新田县确定四处富碘靶区。

据了解，该项目的工作内容之一是在新田县寻找富碘矿泉水，发展矿泉水产业，带动精准脱贫。通过前期水文地质调查、资料分析、样品测试等，确定新隆镇龙会塘村、茂家乡大坪头村、大塘坪乡留家田村、大塘边村四处富碘靶区。项目组采用联合剖面法、对称四级测深法、EH4法、微动法等物探方法对富碘靶区进行地球物理探测，结合水文地质条件最终确定茂家乡大坪头村、大塘坪乡大塘边村两处水文地质钻孔，为下一步富碘矿泉水勘探及水资源评价提供了技术支撑。（苏春田）

协办　中国地质调查局　中国地质科学院岩溶地质研究所　青岛海洋地质研究所　国家地质实验测试中心　西安地质调查中心　成都地质调查中心　中国地质大学（武汉）　国土资源实物地质资料中心
武汉地质调查中心　中国地质科学院地质力学研究所　中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所　沈阳地质调查中心　南京地质调查中心　中国地质大学（北京）　（排名不分先后）