



广州海洋地质调查局点燃采集的可燃冰。(资料图片)

国内科研团队历经十余年研发出陆域冷钻热采技术 中国成功试开采可燃冰

文/海南日报记者 单憬岗

想要成为未来能源领域的执牛耳者？天然气水合物，也就是可燃冰的钻采技术是其开发的必备技能。经10余年技术攻关，由吉林大学孙友宏教授负责研发的陆域天然气水合物冷钻热采关键技术，填补了国内该领域空白，在不久前获得2016年国家技术发明奖二等奖。

在海拔4200米的青海省木里盆地，中国地质调查局祝有海教授领衔的陆域天然气水合物科研团队利用该技术，首次钻获了我国陆地天然气水合物实物样品，并成功实现了陆地天然气水合物试开采。该技术打破了国外水合物钻探取样技术的垄断，也有望应用于南海海域“可燃冰”的勘探开发。

在亘古荒凉的青海祁连山南缘永久冻土带，4200米海拔的高原上，活跃着一支中国地质调查局的科研团队，为了钻获可燃冰，他们饱受风霜雨雪的洗礼，经受着缺氧的考验，日夜奋战。孙友宏率领的吉林大学“复杂条件钻采新技术”课题组也是该团队组成之一。

可燃冰不再“烟消云散”

为了减少对环境的影响，人们一直在寻找能够替代煤、石油、天然气等传统能源的新型能源。可燃冰就是一种让科学家如获至宝的能源。那么，什么是可燃冰呢？

“可燃冰就是天然气和水在低温和中高压作用下结晶而形成的‘冰块’。”孙友宏介绍，可燃冰可直接点燃，具有很高的热值，其燃烧产生的能量要比煤、石油、天然气等高出数十倍，而且燃烧后不产生任何残渣，避免了最令人头痛的污染问题，被称为“未来的清洁能源”。

“可燃冰对它的‘藏身之所’有着非常苛刻的要求。”孙友宏说，第一是温度不能太高，在常压下，如果温度高于20℃，可燃冰就会“烟消云散”，因为海底或永久冻土的温度最适合可燃冰的形成。第二是压力要足够大，例如海底压力大，海水越深压力就越大，可燃冰就越稳定。第三是要有甲烷气源，例如海底古生物尸体的沉积物，被细菌分解后会产生大量甲烷。“因此，可燃冰主要分布在深海、深湖沉积物或陆上的永久冻土中，勘探开发技术难度极大。”

在孙友宏的带领下，吉林大学课题组从2004年起就对可燃冰的钻探取样技术进行了研究，最终研发出了一整套具有自主知识产权的陆地冻土带天然气水合物冷钻热采技术。这是种什么技术呢？

“可燃冰钻探取样过程中的第一大难题就是如何防止其分解。”据孙友宏介绍，可燃冰在地

下呈固体状态，在钻探和提取到地面时，随着温度提高和压力减小，很容易变为气态。为此，他的课题组采用了主动降温、被动降温的办法，研发了孔底快速冷冻样品装置，抑制了可燃冰的分解。

“第二大难题就是在取样和钻井开发过程中如何保障钻井内的孔壁稳定。”孙友宏表示，由于井内压力和温度的改变，原始的可燃冰地层钻井孔壁也处于不稳定的状态，可燃冰一旦分解就可能引发塌孔、井涌和井喷等重大事故。针对这个难题，他们的课题组发明了地表钻井泥浆强制制冷系统，通过动态平衡钻井泥浆进出井温差，实现了可燃冰钻井泥浆的快速强制冷却，让钻井过程中的可燃冰不会分解，永冻地层的孔壁也就稳定了。

2008年-2010年间，他们将该项技术在青海省祁连山冻土区(木里盆地)进行钻探可燃冰试验，成功获得陆地可燃冰的样品。2011年，他们又将该项技术在木里盆地可燃冰试采一号井试验，也成功实现了冻土区水合物的试开采。

西部盆地的满满收获

人们将视线回溯到标志着可燃冰冷钻热采技术应用巨大成果的木里盆地。

2004年8月的一天，青海煤炭地质105勘探队的队员正在木里盆地作业。突然，从33号钻孔内涌出了一股强大的气流，钻孔内的泥浆随之出现喷涌。勘探队员用打火机在钻孔前点了一下，井口马上冒出了蓝色火苗。记录显示，钻杆所在位置为“井深56米”。

一年后，当这个数字传到中国地质科学院勘探所张永勤教授耳朵时，他精神大振。那时他正和中国地质科学院矿产所的祝有海博士奔波在羌塘盆地深处，寻找可燃冰，两个人也一同获得国家技术发明奖二等奖。祝有海迅速赶到木里实地

考察，随后在2006年2月发表论文：《祁连山多年冻土区天然气水合物的形成条件》，这是迄今我国第一篇关于木里地区可能存在可燃冰的论文，为日后木里地区可燃冰的勘探工作打下了理论基础。2008年，中国地质调查局正式立项对木里地区的可燃冰资源进行资源调查。

一项由中国地质科学院矿产所和勘探所、吉林大学、青海煤炭地质105勘探队等8家单位共同合作的可燃冰调查评价项目全面启动。这其中，吉林大学主要肩负研制“天然气水合物孔底冷冻取器”和“钻探泥浆制冷系统”两项内容的研究，在整个项目中起着至关重要的作用。孙友宏率领课题组的年轻教师郭威博士和几位研究生对低温泥浆换热系统、天然气水合物孔底冷冻取器、低温钻井泥浆等关键技术，进行多次论证方案和深入调研，一套“天然气水合物钻井泥浆冷却系统”最佳方案很快出炉。

木里盆地处于海拔4200米的祁连山南坡，到处是沼泽，高寒又缺氧。“帐篷搭在空旷的高原上，就算有火炉帐篷里也冷得像冰窖，严重的高山反应就像家常便饭。”课题组成员郭威说。

在气候条件极端恶劣又缺少后勤保障的情况下，他们凭着一股子劲儿和坚定的信心，努力寻找着深挖宝藏的可行路径。钻探可燃冰需要庞大的钻采设备，只能用履带式拖拉机拖着钢板焊接的爬犁，一点点拖上山。因此，在前往钻探点的“路”上，常常可以见到拖拉机满身是泥浆，拽着铁爬犁，轰鸣着向着沼泽深处冲去，宽大的履带卷起一层层泥浪，泥点子不时飞溅到科研人员 and 勘探队员的身上。工地现场的设备需要搬家，大家就跪着、趴着，甚至用身体顶着，往山上移运这些铁家伙。

当钻头钻进到139米时，在其细砂岩夹层的孔隙和裂隙中不

断冒出气泡，勘探队员终于在一块岩心中发现了一个薄层，只有几毫米厚，布满乳白色晶体。研究人员掏出打火机，但晶体没有马上点着，而是隔了一会才冒出火苗，十几秒钟之后又熄灭了。样品很快被送到青岛海洋地质研究所，经过世界上最先进的激光拉曼光谱仪检测显示，所获光谱曲线具有标志的可燃冰特征！这意味着，我国首次钻获陆地可燃冰实物样品。“低温泥浆制冷技术为此立下了汗马功劳。”首席科学家祝有海博士如是说。该技术也打破了国外水合物钻探取样技术的垄断。

2009年9月25日上午，国土资源部召开新闻发布会，宣布在青海祁连山南缘永久冻土带成功钻获可燃冰，我国已成为世界上第一个在中低纬度冻土层中发现可燃冰的国家，也是继加拿大、美国之后在陆域上通过国家计划钻探发现可燃冰的第三个国家。

蔚蓝南海的广阔前景

其实在我国境内，可燃冰不仅存在于青藏高原，更大的储量位于南海中。“海马冷泉”的最新发现就是最好的印证。

“好高大啊，果然无愧于我国第一台的名誉！”2016年6月1日，在北京举行的国家“十二五”科技创新成就展上，一台身长4米、宽2.1米、高2.6米、重5吨的大型机器吸引了众多观众。这就是实现了我国在大深度无人遥控潜水器自主研发领域“零的突破”的“海马”号。

短短20多天后，中国地质调查局在广州发布消息：我国使用自主研发的“海马”号4500米级无人遥控潜水器，在南海珠江口盆地西部海域首次发现了海底规模空前的活动性“冷泉”，并命名为“海马冷泉”。

广州海洋地质调查局(简称“广海局”)水合物专家梁金强说，

“海马冷泉”呈东西向条带状展布，水深为1350~1430米，面积约为618平方公里，其中已探查发现有“冷泉”活动的区域约350平方公里。“海马冷泉”的发现，进一步证实了我国管辖海域可燃冰分布广泛，资源潜力巨大。调查还发现，“海马冷泉”区域有海底管状蠕虫、蛤类、贻贝等多种生物共存。

“早在2007年，我国就首次在南海北部神狐海域钻获了可燃冰实物样品，位居全球第四。”梁金强说，历经多年勘查，我国海域可燃冰资源调查取得了一系列开创性成果。

我国针对可燃冰的找矿专项行动由中国地质调查局组织实施、广海局具体承担，主要在南海北部展开调查。广海局是我国海域水合物调查研究的主力军和引领者，为我国先后于2007年、2013年、2015年、2016年等数次在南海实现水合物资源勘查重大发现作出了重大贡献。十几年来，在可燃冰勘查专项的支持下，广海局从无到有逐渐摸索建立了适合我国南海天然气水合物调查的一整套勘探模式和技术方法体系，我国已能立于水合物勘探强国之列。

海南大学教授张本介绍说，在南海中北部海区，还蕴藏着丰富的可燃冰资源。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，资源开发前景十分广阔。目前，调查团队已圈出南海北部7个远景区，19个成矿区带，仅神狐钻探区内11个可燃冰矿体，面积就达到约23平方公里，气体资源量约为194亿立方米，控制资源量达到41亿吨油当量。

孙友宏表示，由于可燃冰主要分布于海域，下一步将针对海域可燃冰钻采技术开展研究，为我国天然气水合物早日实现商业化开采做贡献，并为“一带一路”战略服务。☐