



055 中国天然气水合物资源报告

天然气水合物被认为是 21 世纪最具潜力的接替煤炭、石油和天然气的新型洁净能源之一。已引起世界各国尤其是发达国家及能源短缺国家的高度重视。党中央、国务院高度重视新能源的开发与利用，多次强调加快推进我国天然气水合物资源勘查与试采工作。

我国天然气水合物调查研究工作始于 1995 年，经历了 1995 ~ 1998 年预研究、1999 ~ 2001 年前期调查、2002 ~ 2010 年调查与评价、2011 年开始的勘查与试采等四个阶段。主要开展了南海北部、陆域冻土区水合物资源勘查，国际海底天然气水合物资源战略性调查、环境监测与评价，以及成矿理论、勘查与试采关键技术、实验模拟等研究工作。成功实施了陆域天然气水合物试采，初步制定了海域天然气水合物试采方案。

虽然我国天然气水合物调查研究起步较晚，但在中央高度重视和国土资源部全力推动下，开展了大量调查工作，圈定了我国陆域和海域天然气水合物的成矿区带，在南海海域钻获多种类型水合物实物样品，钻探证实 2 个超千亿方级水合物矿藏，取得了一系列重大找矿成果，令世界瞩目，显示我国天然气水合物资源勘查水平已步入世界先进行列。

为实现我国天然气水合物勘探开发与先进国家同步起跑，尽快实现商业性开发利用，“十三五”期间，将重点开展四项工作。一是继续开展天然气水合物资源勘查，进一步评价资源潜力。二是加快天然气水合物试开采进度，推动产业化进程。三是推进天然气水合物装备与基地建设，增强勘查开发能力。四是加强科技创新，推进国际合作。

一、圈定了我国海域和陆域天然气水合物的成矿区带，初步摸清了我国天然气水合物资源家底

通过近二十年的资源勘查，初步掌握了我国海域和陆域天然气水合物资源分布状况。经科学评价，我国天然气水合物远景资源量超过 1000 亿吨油当量，潜力巨大。

（一）在南海北部海域圈定了 6 个天然气水合物成矿远景区、19 个成矿区带、25 个有利区块、24 个钻探目标区，预测远景资源量达 744 亿吨油当量

在海域天然气水合物资源勘查方面，综合利用地质、地球物理和地球化学等多种调查技术手段，分层次开展了南海北部海域天然气水合物资源调查。自 1999 年以来，累计投入经费 47 亿元，动用 17 艘调查船，累计 75 个航次，完成高分辨率多道地震 16.70 万千米、多波束测量 7.40 万千米、浅层剖面测量 2.77 万千米、热流测量 684 个站位、地质取样 4244 个站位、钻井 60 口。在南海北部西沙海槽、琼东南海域、神狐海域及东沙海域系统发现了深层—浅层—表层的地球物理、

地球化学、地质和生物等指示水合物存在的异常标志。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。预测南海北部海域水合物远景资源量达744亿吨油当量。

（二）在青南藏北冻土区优选出了9个天然气水合物有利成矿区块，预测陆域远景资源量达350亿吨油当量

在陆域天然气水合物资源勘查方面，全面启动了青南藏北冻土区、祁连山冻土区和东北冻土区的天然气水合物资源勘查工作，获取了海量基础数据。共完成1:5万~1:10万基础地质调查46660平方千米、二维地震调查690千米、音频大地电磁测深3030千米、1:10万地球化学调查49465平方千米、钻井21口。在青南藏北冻土区优选出了9个天然气水合物有利成矿区块，发现现代泥火山、高压浅层气、液态油苗、碳质沥青等一系列天然气水合物找矿线索。预测陆域水合物远景资源量达350亿吨油当量。

二、在南海海域取得了一系列重大找矿成果，经钻探发现了2个超千亿方级天然气水合物矿藏

在持续深入南海海域天然气水合物资源勘查评价的基础上，围绕有利成矿带选定钻探井位，经过精心部署，多方论证，先后3次在南海海域钻获水合物实物样品，钻探证实珠江口盆地东部海域和神狐海域发现2个千亿方级的天然气水合物矿藏，实现了海域找矿的重大突破。

（一）2007年在南海北部神狐海域首次钻获天然气水合物，使得我国成为继美国、日本、印度之后第4个通过国家级研发计划在海底钻获天然气水合物实物样品的国家

2007年4~6月，首次实施南海天然气水合物钻探，在神狐海域3个站位钻获高甲烷含量的水合物实物样品（图1）。甲烷含量超过99.7%，饱和度20%~48%，矿层厚20~40米，具有甲烷含量高、饱和度高、厚度大、成片均匀分布等特点。钻井控制天然气水合物分布面积约22平方千米，控制储量约194亿立方米（折算成天然气）。继美国、日本、印度之后，我国



图1 南海北部神狐海域钻获的天然气水合物样品（左）及点火燃烧（右）



是第4个通过国家级研发计划在海底钻获天然气水合物实物样品的国家。

(二) 2013年在南海北部珠江口盆地东部海域首次钻获高饱和度水合物，首次钻探证实超千亿方级天然气水合物矿藏

2013年6~9月，在珠江口盆地东部海域5个站位钻获高纯度天然气水合物实物样品（图2）。天然气水合物赋存于海底以下220米以内的两个矿层中，肉眼可辨，呈层状、块状、结核状、脉状等多种产状。岩心中天然气水合物含矿率平均为45%~55%，甲烷含量最高达到99%。钻井控制天然气水合物分布面积55平方千米，控制储量达到1000~1500亿立方米（折算成天然气），规模相当于海上特大型、高丰度常规天然气田。



图2 南海珠江口盆地东部海域钻获的天然气水合物样品

(三) 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，选定了钻探试采井位

2015年6~9月，在神狐海域19个站位实施钻探，均发现天然气水合物。结合测井、钻探取心及三维地震资料的综合分析，圈定矿藏面积128平方千米，矿层厚度20~100米，含矿率20%~70%，矿藏具有分布广、厚度大、饱和度高的特点，控制资源量超过1500亿立方米（折算成天然气），规模相当于海上特大型、高丰度常规天然气田。根据钻探测井及取心结果，进一步圈出10个规模较大的矿体（图3），其中2个大型矿体控制资源量高达400亿立方米（折算成天然气），为海域天然气水合物试采提供了重要参考靶区。

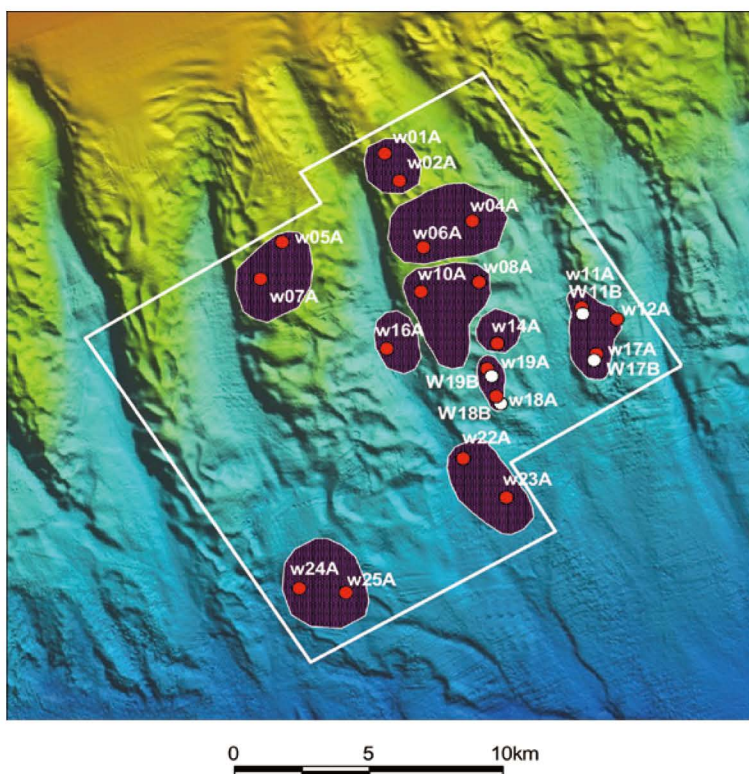


图3 南海神狐海域钻探区天然气水合物矿体平面分布图
(红色实心圆为随钻测井孔, 白色实心圆为取心孔)

三、陆域天然气水合物找矿取得重大发现

(一) 青海祁连山木里地区钻获天然气水合物实物样品, 使我国成为首个在中纬度高原冻土带钻获天然气水合物实物样品的国家

2008年11月, 在青海祁连山木里地区实施的DK-1井首次钻获天然气水合物实物样品(图4), 使得我国成为世界上第一个在中纬度高原冻土带钻获天然气水合物实物样品的国家。2009~2015年, 在木里地区9口钻井发现天然气水合物实物样品。赋存深度介于133~396米, 呈



图4 祁连山木里地区钻获的天然气水合物样品(左)及点火燃烧(右)



薄层状、片状、脉状赋存于砂岩、粉砂岩、泥岩的裂隙面中，部分以浸染状赋存于细粉砂岩的孔隙中。水合物中的气体组分以甲烷为主（55% ~ 76%），此外还含有较高的乙烷、丙烷等组分，部分样品中还含有一定量的 CO₂，为一种世界上较为罕见的新类型水合物。

（二）青南藏北冻土区发现天然气水合物重要找矿线索

2014 ~ 2015 年，在羌塘盆地鸭湖地区实施钻探调查，QK-6 和 QK-7 井均发现高压浅层气（图 5），显示该地区有较好的油气生成、运移过程。气源条件一直是制约羌塘盆地天然气水合物找矿突破的关键因素，此次发现的浅层气体在羌塘盆地尚属首次。

2015 年 9 ~ 10 月，在青海南部乌丽地区实施钻探调查，TK-2 井在 60 ~ 310 米多个层段发现岩心气体释放、岩心表面渗水、红外低温、点火助燃等特征（图 6），揭示了青海南部乌丽地区天然气水合物赋存的重要证据，证实青南藏北冻土区具备良好的天然气水合物找矿前景。

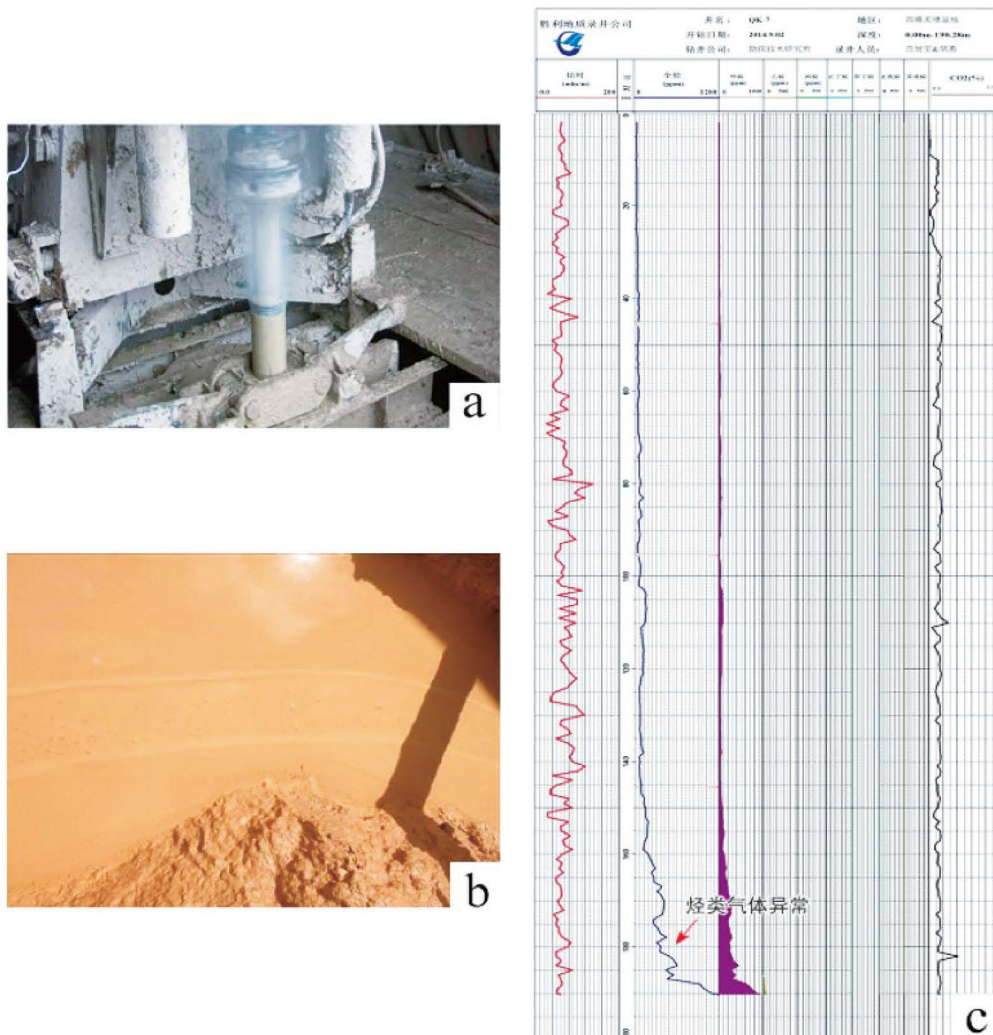


图 5 羌塘盆地浅层钻遇气体显示

a - QK-6 井井口见强烈气体溢出；b - QK-6 井钻进过程中，泥浆池见强烈冒泡现象；
c - QK-7 井气测录井显示从 150 余米处开始出现烃类气体异常

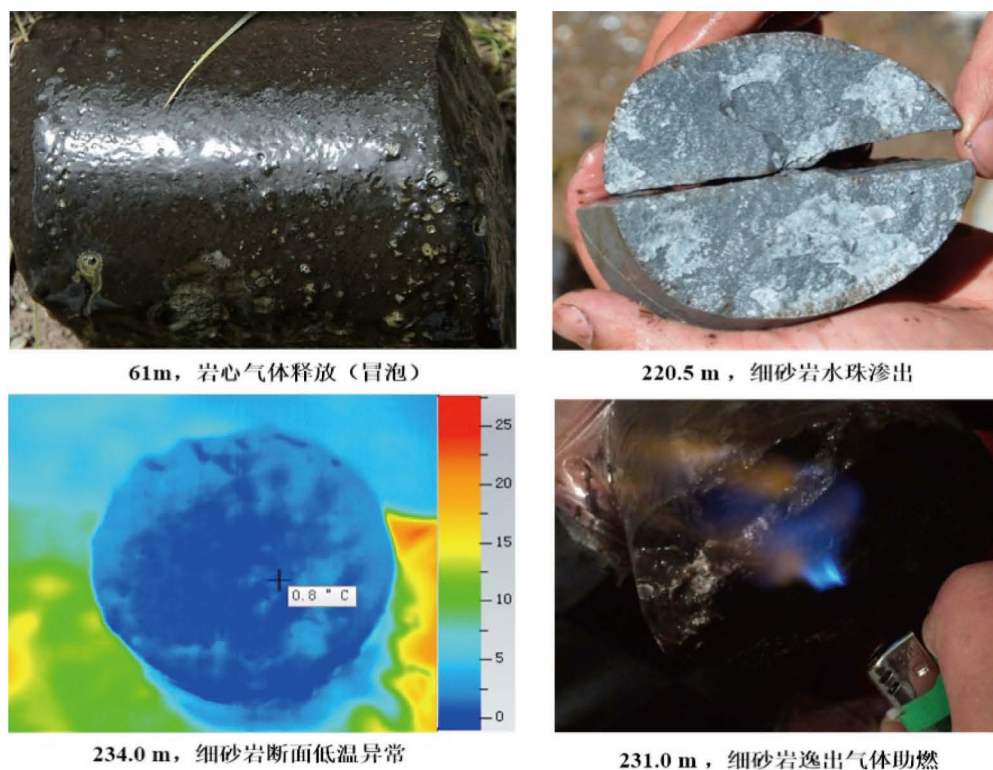


图 6 TK-2 井天然气水合物赋存的重要证据

四、成功实施了陆域天然气水合物试采、初步制订了海域天然气水合物试采方案

(一) 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 ~ 400 米处的天然气水合物分解出天然气

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 ~ 400 米处的天然气水合物分解出天然气，使我国成为世界上第 3 个成功进行天然气水合物试采的国家，初步掌握了试采技术，并研发出了一套具有自主知识产权的关键试采装备，为海域天然气水合物试验性开采提供技术参考。

(二) 针对南海天然气水合物矿藏特点，通过试采目标井位优选、试开采技术研发、试开采平台装备工艺和试开采安全、环境监测评估四轮驱动，制订了我国海域试验性开采实施方案

海域天然气水合物试开采是世界性的难题，目前全球仅日本于 2013 年进行了海域天然气水合物试开采。国土资源部积极推进我国南海天然气水合物试开采工作，针对我国南海天然气水合物矿藏特点，通过试采目标井位优选、试开采技术研发、试开采平台装备工艺和试开采安全、环境监测评估四轮驱动，制订了我国海域试验性开采的实施方案。



五、基础理论研究与技术装备研发实现重大创新，人才队伍建设成效显著

（一）创新性地提出南海北部天然气水合物两个成矿区带，有力指导了我国南海北部天然气水合物资源评价、勘探找矿以及理论研究

创新性地提出南海北部天然气水合物在空间上产出呈现为两个成矿区带。天然气水合物第一成矿区带水深 800 ~ 1300 米，主要为新生代大型沉积盆地发育的区域，以热解气源型水合物为主，部分为混合气源型水合物。天然气水合物第二成矿区带水深大于 2000 米，主要为新生代中小型沉积盆地发育的古斜坡区域，以生物气源型水合物为主。该成果有力指导了我国南海北部天然气水合物资源评价、勘探找矿以及理论研究。

（二）系统形成了海域天然气水合物控矿、成矿、找矿理论，达到国际领先水平

针对我国海域天然气水合物资源禀赋和地质条件，通过理论创新，系统形成了天然气水合物控矿、成矿、找矿理论，初步认识了南海天然气水合物成藏富集规律，创新性地提出南海天然气水合物成藏模式，建立起一套精准高效的勘查评价、找矿预测、实验模拟技术体系，并于 2015 年在神狐海域水合物钻探中得到验证，实现了“百发百中”的钻探成功率，从被动依赖国外技术到后来居上、国际领先。

（三）建立了服务于天然气水合物调查—钻探—试采各环节的环境评价体系

一是陆域天然气水合物试采并未造成甲烷泄漏，大气中的甲烷含量及土壤中的甲烷通量在试采前、试采中、试采后无明显变化；二是初步建立陆域环境监测体系，自 2010 年开始环境监测，从季度到月度再到长年观测，初步掌握甲烷和二氧化碳排放特征；三是初步建立海域环境立体探测体系，开展了从低空大气—海水—海底浅表层沉积物的综合环境调查，对重点目标区可能存在的由天然气水合物分解引发的海底滑坡（滑塌）、浅层气等地质灾害进行风险评估和长期监测，研究了全新世以来天然气水合物分解与全球气候变化的关系。

（四）天然气水合物调查装备和技术研发能力得到大幅提升

自主研发了一批关键技术设备。特别是成功自主研发“海马”号 4500 米作业级深海非载人遥控探测潜水器，国产化率超过 90%，填补了国内空白，为我国天然气水合物勘查及深海矿产资源调查增添了新利器。高分辨率小道距多道地震、海洋可控源电磁探测、保压取心钻具等关键核心技术装置均取得突破，并在天然气水合物勘查中逐步应用。

2015 年 3 ~ 5 月，使用“海马”号在珠江口盆地西部海域发现了活动“冷泉”标志（图 7），随后利用大型重力活塞取样器获取了天然气水合物实物样品（图 8），凸显科技创新的强大力量。

（五）天然气水合物调查的测试技术达到国际一流水平

建成了功能齐全的国土资源部标准化天然气水合物重点实验室，拥有 170 平方米的水合物低温物性实验室（最低温度 -50℃），配备显微激光拉曼光谱、固体核磁共振等大型分析测试仪器，



图7 “海马”号在“冷泉”区获取生物样品（左）和碳酸盐结壳样品（右）



图8 利用大型重力活塞获取的天然气水合物样品（左）及点火燃烧（右）

研制了8套天然气水合物模拟实验装置，开发了多种实验技术，可以进行天然气水合物地球物理、地球化学及微观动力学等多方面的实验研究。测试分析与实验模拟研究持续保持国际一流水平。

（六）专业技术人才队伍建设成效显著

通过天然气水合物资源调查技术探索、关键技术研发、理论创新，逐步打造出以广州海洋地质调查局、青岛海洋地质研究所和油气资源调查中心为主的调查队伍，形成了国际一流的专业化调查团队，引领和带动了国内科研机构和大专院校的学科建设，培养了一大批天然气水合物资源调查与评价、数据处理、实验测试、技术研发等专业技术人才。形成部级重点实验室2个，吸引千人计划学者1名，培养国土部科技创新团队1个、享受国务院特殊津贴专家2名、国家“863”计划海洋技术领域专家1名、国家“973”计划首席科学家1名、“新世纪百千万人才工程”国家级人选2名、李四光学者3名，地质英才2名，硕士和博士研究生上百人。

六、“十三五”我国天然气水合物勘探开发的四项重点任务

国际上，美国、印度、日本及韩国一直通过国家计划开展天然气水合物勘探开发工作。印度、



日本及韩国将分别于 2017 ~ 2020 年实施天然气水合物试验性开采。因此，为实现我国天然气水合物勘探开发与先进国家同步起跑，尽快实现商业性开发利用，“十三五”期间，国土资源部将在“加强调查与研究相结合，创新与应用相结合，资源与环境并重”的思路指导下，重点开展以下四項工作。

（一）继续开展天然气水合物资源勘查，进一步评价资源潜力

一是继续开展南海天然气水合物资源勘查，圈定天然气水合物资源的有利分布区。二是继续推进祁连山、青海南部、羌塘盆地等重点冻土区的天然气水合物资源调查，评价陆域冻土区天然气水合物资源前景。三是积极开展太平洋等管辖外海域战略性资源探查。

（二）加快天然气水合物试开采进度，推动产业化进程

一是联合国家石油公司，集中优势力量，开展天然气水合物试开采技术装备、工艺流程联合攻关，形成一套适合我国海域天然气水合物矿藏特点的开发体系，成功实施试验性开采。二是不断完善试开采技术方法，大力推动成果转化应用，带动国家石油公司开展天然气水合物生产性试采，加快商业开发进程，力争 2030 年实现产业化。

（三）推进天然气水合物装备与基地建设，增强勘查开发能力

建造先进的天然气水合物综合地球物理调查船和钻探船各 1 艘，建设天然气水合物开发与环境模拟实验基地、勘查技术研发试验基地，增强我国天然气水合物勘查开发能力。

（四）加强科技创新，推进国际合作

一是开展天然气水合物成矿特征、赋存规律、成藏机理研究，在成矿理论和基础地质方面获得原创性成果。二是开展天然气水合物勘查与试开采技术攻关，研发关键设备，突破天然气水合物钻探、保压取心、样品转移、现场测试及原位监测等技术封锁，实现自主创新。三是加强天然气水合物资源勘查开发环境效应研究，初步形成环境调查、评价与监测技术体系。四是积极推进国际交流与合作，培养具有国际视野的天然气水合物研究人才。

主要执笔人：杨胜雄、梁金强、祝有海、苏丕波

主要依托成果：国家水合物 118 专项、127 专项、南海天然气水合物富集规律与水合物开采基础研究项目成果

主要完成单位：广州海洋地质调查局、中国地质调查局油气资源调查中心、青岛海洋地质研究所

主要完成人：杨胜雄、张光学、黄永样、梁金强、祝有海、张明、付少英、陆敬安、王平康、王宏斌、郭依群、沙志彬、伍忠良、吴能友、刘坚、龔跃华、徐华宁、陆红峰、王力峰、苏丕波、匡增桂、方允鑫