

国外天然气水合物勘探现状及 我国水合物勘探进展

张永勤

(中国地质科学院勘探技术研究所,河北 廊坊 065000)

摘要:概述了国外天然气水合物调查研究的进展情况,介绍了我国在天然气水合物调查研究的历史、工作过程及目前取得的进展。详细地介绍了我国陆地永久冻土天然气水合物钻探取样器具、工艺方法、应用现状及钻探取样施工取得的成果,提出了我国未来陆地冻土天然气水合物勘探开发工作任务和建议。

关键词:天然气水合物;永久冻土带;钻探取样;开采利用

中图分类号:TD87;P634 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2010)10-0001-08

Exploration Current Status of the Gas Hydrate Abroad and the Progress of the Gas Hydrate in China/ZHANG Yong-qin (The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

Abstract: This paper outlines the progress of the gas hydrate survey research abroad, and introduces the history, working process and some progress of the gas hydrate survey in China. And some drilling and sampling tools, drilling technologies, application status and drilling achievement for the gas hydrate in the permafrost are introduced in details and the task of the exploration and development and some opinions of the gas hydrate in the permafrost in the future are presented in the paper.

Key words: gas hydrate; the permafrost land; drilling sampling; mining and using

0 引言

天然气水合物是由水与气体分子(以甲烷为主)在低温高压及气体浓度大于其溶解度条件下形成的貌似冰的结晶状固体物质,点燃可燃烧,人们俗称“可燃冰”,英文简称 GH(Gas Hydrate)或 MH(Methane Hydrate)。人们在实验室发现这种物质已有 200 多年的历史,起初由于能源和环境没有对人类生存和发展构成一定的威胁,所以人们对它的存在并没有给予足够的重视和关注。随着人类发展对能源需求的不断增加以及对环境气候的不利影响,科技界开始寻找新的可替代石油或天然气的能源。通过科学家的多年探索研究发现,天然气水合物广泛地存在于海底和陆地永久冻土带,由于天然气水合物的特殊生存环境、可产生自身体积 164 倍的甲烷气体、而且单位能量的甲烷燃烧释放出来的温室气体 CO₂ 仅为煤炭的 1/2。依据科学家最新和较为保守的估算,全球海洋和陆地上已发现的天然气水合物矿藏所蕴藏的甲烷气体约为 $(1 \sim 5) \times 10^{15} \text{ m}^3$ (1000 ~ 5000 万亿 m³),超过了全世界天然气的总储量,因此,天然气水合物被认为极有可能成为未来

最有远景的新型净洁性接替能源,所以引起了世界各国的广泛关注。

中国继 2007 年于南海北部陆坡发现海底天然气水合物之后,又于 2008 年 11 月在青藏高原祁连山脉木里地区永久冻土带钻获了水合物实物样品。这一发现突破了陆域天然气水合物只生存于两极地区的永久冻土带(俄、加美等国的陆域水合物即属于此)的认识,首次在中纬度地区的高海拔冻土带找到了天然气水合物,具有较大的战略及科学研究意义,也为陆域天然气水合物资源的勘查开发与环境研究开启了新的篇章。

1 国外天然气水合物勘探现状

1965 年,苏联在西伯利亚的永久冻土中首次发现天然产出的天然气水合物。1971 年,美国在其东海岸大陆边缘利用地震反射剖面发现了具有水合物标志的 BSR(拟海底反射层)。20 世纪 70 年代以来,美国、日本、加拿大、俄罗斯、挪威、德国、印度、巴西等国相继投入大量资金进行天然气水合物调查研究。1979 年,国际深海钻探计划(DSDP)在大西洋

收稿日期:2010-09-10

作者简介:张永勤(1960-),男(汉族),山东人,中国地质科学院勘探技术研究所新技术一室主任、教授级高级工程师,中国地质科学院第一批科技创新基地成员、国土资源部专家库成员、全国专业标准化技术委员会委员、科技部咨询专家,从事探矿工程技术研究工作,河北省廊坊市金光道 77 号,zyqiet@cniel.com。

和太平洋中直接发现了海底天然气水合物。从此以后,揭开了人类全面进行陆地及海洋天然气水合物调查研究的序幕。从2001年开始,美国、加拿大、日本、中国、俄罗斯及印度等国都进一步加大了对水合物资源的勘查调研的投资力度,并开始了对水合物开发工艺的研究和开采试验。

为了获得水合物钻探取样的施工经验和验证加拿大 Mackenzie 冻土区天然气水合物异常,1998年,加拿大地质调查局负责组织,美国、日本参与钻探施工的名为 Mallik2L-38 测试井,深度达 1150 m,取出部分水合物岩心样品证实了天然气水合物的存在,实现了对陆域冻土天然气水合物认识上的飞跃。

此后,加拿大地质调查局又联合德国、印度和 ICDP 等国家和国际组织,于2002年在该地区再次进行了 Mallik5L-38 井钻探取样和试开采施工项目,并成功开展了开采试验。2004年12月,在日本千叶举行了该项目的阶段性成果总结会。来自项目参与国家及非项目参与国的100多位科学家参加了成果总结和学术交流会议。为了未来能够开发利用陆地冻土天然气水合物,加拿大地调局于2007~2008年,又组织有关国家在 Mallik 进行了代号 Mallik 2007 及 Mallik 2008 的开采试验研究。2007年共进行了17h的开采试验,2008年又连续进行了6天的开采试验,都采用了降压开采方法。开采试验的层段为1093~1105 m。在2008年的6天连续开采试验中,平均每天的采气量为2000 m³。从2004~2008年,加拿大、美国及日本等国家一直在对 Mallik 冻土水合物进行开采试验及环境等方面的研究,并曾相继发布几十份有关研究进展报告。

20世纪90年代,美国对阿拉斯加北坡海岸带永久冻土区进行了天然气水合物调查评价,并实施了钻探施工。2003年3月31日,Andarko 石油公司、Maurer 技术公司和美国能源部开始在阿拉斯加州钻第一口专门进行天然气水合物调查研究井——“热冰1”井,该井钻探目的是验证北极天然气水合物存在的地质学、地球物理和地球化学模型。2008年10月,以美国能源部和地质调查局为首的项目组对阿拉斯加北坡进行了大规模的陆地永久冻土区天然气水合物全面综合的调查评价及开采试验研究。钻探取样施工进行的资源评价结果表明,在阿拉斯加北坡陆地永久冻土区,天然气水合物可能存在的甲烷资源量达85.4万亿立方英尺(85.4 Trillion Cubic Feet Gas)。在504 ft的水合物层段的岩心采取

率为85%,采用的泥浆温度为华氏30°F。美国在阿拉斯加北坡实施的永久冻土区天然气水合物取样钻探施工主要借助低温环境,采用普通绳索取心施工技术,配合低温泥浆护心技术措施。美国地质调查局等有关机构还发起墨西哥湾及阿拉斯加永久冻土天然气水合物国际合作项目(Joint Industry Project),该项目计划从2001年到2011年联合国内外感兴趣的企业及科研机构,对墨西哥湾海域水合物实施地质调查及钻探开发试验研究,同时还计划联合国内外感兴趣的企业及科研机构从2011年开始对阿拉斯加进行陆地水合物调查评价及开采试验研究,目前正对感兴趣的、企业和科研机构发出邀请。

日本是进行水合物调查研究最积极的国家,从1998年开始,在日本经济贸易省的领导下,每年投入60亿日元,有20多个机构200多位科学家参与天然气水合物的调查研究,1999年日本利用美国 Transocean Inc. 公司管理的 JOIDES Resolution 深水钻井船首次在其南海海槽(Nankai Trough)实施海洋天然气水合物取样钻探施工,取得了一定的进展。2004年1月18日~5月18日,日本在其南海槽再次租用美国 Transocean Inc. 公司的 JOIDES Resolution 深水钻井船,在水深2033~772 m进行了世界上最大规模的海洋水合物取样钻探施工,完成了32口水合物钻探取样孔,对该海域水合物资源进行了全面调查评价,并进行了开采试验研究。

2006年,印度租用美国 JOIDES Resolution 深水钻井以及挪威 Fugro 公司的取样钻具完成了21口水合物取心钻探井,并取出了天然气水合物岩心样品,在印度天然气水合物勘探方面取得了突破性进展。

迄今,ODP 是世界上完成海洋天然气水合物钻探取样调查评价次数最多国际机构,曾先后完成了 Leg124、Leg139、Leg141、Leg146、Leg164、Leg196、Leg204 及 IODP 的 Leg311 等航次的天然气水合物钻探取样的调查评价工作。另外,美国、挪威、欧盟等国家也在相关海域进行了天然气水合物钻探取样调查评价工作。目前韩国正在进行海洋水合物调查取样钻探施工的准备,预计2011年进行钻探取样施工。

目前在天然气水合物钻探取样技术方面,在海域,除了具有满足深水钻探施工的钻井船外,在取样及取样工艺方面,要求取样钻具要尽可能地保持水合物的原始状态,因此,国内外一些专业机构在不断

研发钻探取样过程中可以保持水合物原始状态的保温保压取样钻具(PTCS)。在水合物发现与识别方面,在海洋,人们通过海底拟反射层(BSR)初步判定海底是否有可能存在天然气水合物,但在陆域永久冻土区,人们还没有一种找到一种较准确的确定水合物是否存在或水合物异常的方法。

最新得到的有关信息表明,美国、加拿大及日本原计划 2015~2016 年对其本土的天然气水合物进行商业开采,但目前由于资源量及开采技术还存在一些技术问题,所以商业开采的时间可能要向后推迟。美国和加拿大可能要推迟到 2025 年左右。

目前在天然气水合物调查研究方面取得最终突破的技术环节之一是开发出能钻获并保持水合物样品原始状态的钻具及施工技术。多年来国外许多机构相继开展天然气水合物钻探取样钻具的研究,除了日本与美国合作开发的保压保温取心系统(Pres-

sure & Temperature Coring System—PTCS)钻具外,目前在天然气水合物保压取心钻具研究取得进展的还有 ODP 的 ODP-PCS 及深海钻探计划的 DSDP-PCB 保压取心钻具、美国 Christensen 公司的 PCB 保压取心钻具、美国 PCBBI 保压取心钻具、ESSO-PCB 保压取心钻具、挪威 Fugro 公司的 FPC 保压取心钻具、欧盟的 HRC 保压取心钻具等。目前上述保压取心钻具有看到实际应用情况的报道,有的没有实际应用情况的报道,但从实际应用的效果看,都不十分理想。

经过一些国家和国际机构的不断努力,迄今在地球上层先后发现了 130 多处天然气水合物成矿点,为人类不断探索和开发利用新型接替能源提供新的希望。全球有可能存在天然气水合物及已经钻取水合物样品的分布图如图 1 所示。

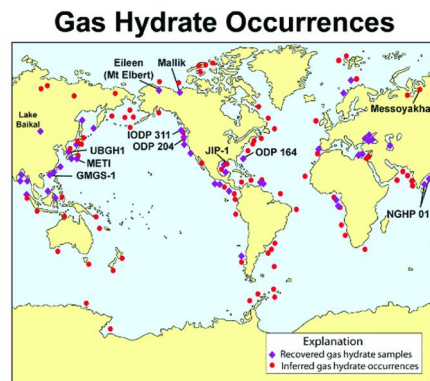
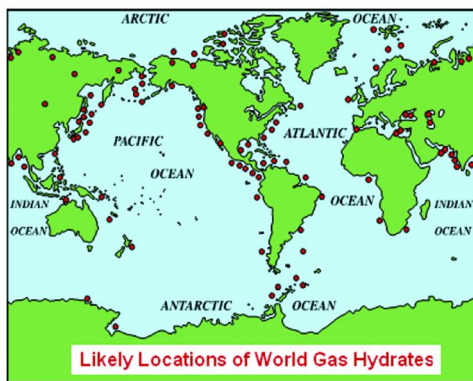


图 1 全球可能有水合物存在及已经钻取水合物样品的分布图

2 中国天然气水合物调查研究现状及进展

中国在水合物的室内研究及海上和陆地调查方面起步较晚,20 世纪 90 年代初才开始关注国外有关的报道和研究成果,并由中国科学院兰州地质所和中国石油大学等单位率先开始水合物实验室合成研究工作。1995 年,在中国大洋协会、地质矿产部和国家科委的支持下,中国地质科学院矿产资源研究所曾先后在南海、东海和太平洋国际海底开展了天然气水合物的调查研究工作,并发现了一系列与天然气水合物有关的地球化学和自生矿物异常标志。在中国地质调查局的资助下,1999 年 10 月,广州海洋地质调查局在我国南海海域开始了一系列有关天然气水合物地质、地球物理和地球化学调查,在神狐等有关海洋发现了重要的地球物理标志——BSR 及其他异常标志,显示出良好的寻找天然气水合物的前景。2007 年 5 月,中国地质调查局租用挪威 Fu-

gro 公司的深水钻井船及取样工艺方法在我国南海北部神狐海域实施了中国首次海洋天然气水合物钻探取样调查评价工作,使我国海洋天然气水合物调查取得了突破性进展。

2000 年,在国土资源部的资助下,中国地质科学院勘探技术研究所在国内第一个开始天然气水合物保压取心钻具研发,2001 年,又在国家“十五”“863”项目的资助下,进行了不同结构海洋天然气水合物保压取样钻具及施工工艺的研究。曾先后开发出了提钻保压取心钻具和绳索打捞不提钻保压取心钻具,在电子致冷、蓄能器压力补偿及球阀关闭取样管等结构方面进行了试验研究和有益的探索,并对所试制的钻具样机在室内和陆地地热井进行了可行性试验。在陆地 700 多米深的地热井进行钻探取样试验证明,结构原理及各机构是可行的,为进一步完善水合物保真取样钻具及我国未来钻探取样施工应用奠定了基础。因此,“十一五”“863”计划继续

支持研发和完善天然气水合物保真取样钻具。

3 中国陆地永久冻土带天然气水合物钻探技术研究及进展

3.1 中国冻土分布及形成天然气水合物的条件

我国是世界上永久冻土分布面积第三大国,约占世界永久冻土面积的10%,冻土总面积约210万 km^2 ,主要分布在我国青藏高原、西部高原和东北大小兴安岭(参见图2)。其中青藏高原永久冻土区面积占世界永久冻土面积的7%,大约占我国永久冻土区面积的60%~70%。青藏高原永久冻土属于高海拔和较低纬度地区,其分布特点是:纬度越高,永久冻土分布的最低海拔线越低;纬度越低,多年冻土分布的最低海拔线越高。青藏高原中部高原分布的最低海拔线达4500 m以上,向北分布的最低海拔线随纬度的增高而降低,向南分布的最低海拔线随纬度的降低而增高。虽然青藏高原的南缘纬度很低,但在终年积雪、海拔很高的山顶部也有永久冻土的存在。青藏高原永久冻土层的厚度随海拔和纬度的不同而变化,高原中部永久冻土层最厚,向北随海拔的降低而减薄,向南因纬度的降低而减薄。

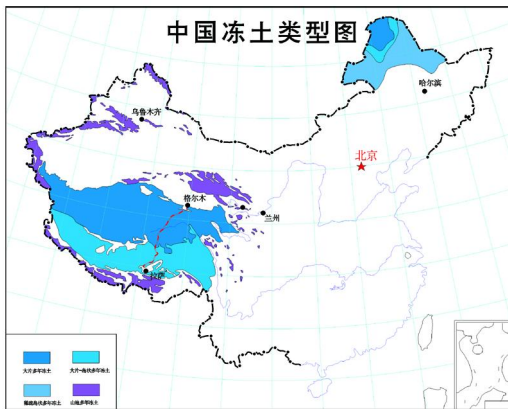


图2 中国冻土类型及其分布

青藏高原除上述地区之外,沿青藏铁路永久冻土的分布:北至昆仑山,南至安多以南,永久冻土层呈大面积整体式分布。在南、北接近整体或多年冻土分布的边缘地带兼有岛状融区,昆仑山以北,安多以南为多岛状永久冻土带。在垂直分布上,青藏高原永久冻土层与季节冻土层大多是衔接的。青藏高原永久冻土总体分布有3个低温中心,青藏铁路穿过2个低温中心,其温度值低于 $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。上述3个低温中心的分布与冻土分布具有密切联系。除了青藏高原外,我国东北地区的漠河盆地也具备形成天然气水合物的温压条件。漠河地区的年平均气温最

低,地温梯度最低($1.6\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$),冻土最发育,有充足的气源,是东北冻土区天然气水合物成矿条件最好的地区。图3为漠河盆地钻取的冰层岩心样品。



图3 漠河盆地钻取的冰层岩心样品

根据收集和掌握的地质资料,2004年中国地质科学院勘探技术研究所向中国地质调查局提出了“陆地永久冻土天然气水合物钻探技术研究”的地质调查项目,2005年该项目得以批准立项并正式实施,其项目编号为科[2005]018-02。

3.2 陆地永久冻土天然气水合物钻探技术研究

根据项目任务书研究内容及目的要求,项目组针对所掌握的国内外水合物钻探技术、钻具结构及我国陆地永久冻土区的地质地理环境、水合物的物化特性等开始了有关计算、钻具结构的设计及钻具和辅助器具的试制加工、钻探施工方案的研究及制定等全面工作。

3.2.1 陆地永久冻土带取样钻具结构设计、试制

根据加拿大及美国等在陆地永久冻土带实施天然气水合物取样钻探施工资料及经验,结合我国祁连山脉地区的地质地理情况,确定了以绳索取心钻具结构方式为主体的钻具基本结构及其施工工艺。为了尽可能取出保持水合物原始状态的水合物层段样品,参考国外水合物保压取心钻具结构,以保压为主,保温为辅的总体思路。考虑到钻进施工中地层复杂可能存在孔壁不稳定等因素,钻探施工中途有可能换径,所以钻具结构尺寸初步考虑3个规格,即第一种规格的钻杆可以作为第二规格的套管。根据钻探施工的主要目的、目标区的地层情况、保压钻具的复杂程度及可靠性等,为了确保完成钻探施工和取出所期望的水合物样品,除了研制保压钻具外,还研制了3种特殊规格的绳索取心快速取样钻具,以确保取样钻探施工的实施,以便对所发现的陆地冻土区的异常现象进行验证。所研发的保压钻具及绳索取心钻具钻头外径完全一致,即在同一钻孔内

可以互换使用。

3.2.2 保压钻具结构的思考与确定

根据加拿大 Mallik 及美国 Alaska 陆地永久冻土层天然气水合物取心钻探施工所采用的钻具结构形式及施工经验,水合物取心钻具的结构决定采用主动保压和被动保温方式,并采取绳索打捞不提钻取心。从钻具的结构以及岩心进入岩心容纳管的方式看,经过分析,最佳的保压方式是利用球阀旋转封闭岩心容纳管的下端面,实践证实,只有球阀封闭方式占用的空间最小。从球阀的结构原理看,要想关闭球阀,必须将球阀转动 90° ,要想使球阀的中空球体转动 90° ,必须给球体转轴施加一定的转矩。经过分析,在多种给球体转轴施加转矩的方式中,齿轮齿条方式是比较简单可行的。随着钻进进行,在岩心装满岩心容纳管后,利用绳索打捞装置提拉内管总成的矛头,首先使钻具内弹卡钳收缩,以便将穿过球阀并到达钻头内台阶的岩心卡簧座上行到球阀球体上端一定距离,随着卡簧座的上行,齿条开始受到钻具的轴向力,并带动齿轮开始转动,当球阀球体转动 90° 后,齿条上与齿轮啮合的齿刚好走完,随着打捞装置提升,齿条继续上行,但齿轮并不转动,所以球阀封住岩心容纳管的下端。此时再继续提升打捞装置,钻具的外弹卡钳开始收缩,整个钻具的内管总成即被提出钻杆外到达地表,即完成取心钻进和打捞过程。曾在室内对两种规格的保压取心钻具进行了试验,成功达到了 95%,保持压力可以达到 10 MPa。野外现场的保压取心钻具如图 4 所示。



图 4 绳索打捞保压取心钻具内管总成齿轮齿条关闭球阀机构

3.2.3 保压取心钻具的尺寸确定及试制

在钻具径向结构尺寸的确定方面,从既满足科学研究要求又能结合实际生产应用出发,首先根据取心直径、球阀关闭机构最小允许尺寸、可能得到的地质岩心钻探常用管材直径、地质岩心钻机的钻进能力等现实情况,从钻具结构可实现的难易程度看,钻具径向尺寸越大,各功能的实现及可靠性就越容

易实现,目前国外水合物保压取样钻具的径向尺寸都在 220 mm 以上,根据目前我国地质钻探管材规格,从上一级钻杆内径可以作为下级钻杆套管的考虑,确定了 $\varnothing 127$ 、108 mm 二种规格保压保温取心钻具。从结构分析和实际加工试制情况看,如果小规格保压钻具在各个功能和可靠性方面都较好实现,那么大直径保压钻具更容易实现。室内试验证明,所选择的上述两种规格钻具的功能和可靠性都能够较理想实现,为下一步海洋天然气水合物取样钻具改进和完善提供重要参考。根据对上述 2 种规格钻具的室内试验,将保压取样钻具径向尺寸提高到 168 mm,钻具的各机构和动作及可靠性就可十分可靠地实现。目前正在试制 168 mm 规格钻具。保压取心钻具的关键是球阀关闭的可靠性和密封性能,在相同取心直径的情况下,径向尺寸越大,球阀关闭机构动作就更容易实现。

3.3 陆地永久冻土带天然气水合物钻进工艺的研究与应用

陆地永久冻土带天然气水合物取心钻具及其钻探施工工艺研究是国内岩心钻探全新的钻具和技术方法,尤其是在海拔 4200 m 施工环境下,再加之施工地层极为复杂,软硬互层、破碎不稳定,所以施工难度较大。因此,钻具及钻探施工工艺要在保证钻进的同时,还要尽可能保证取出真实的地质样品,特别是有水合物异常的地层,能够保持完整或真实的岩心样品。所以,取心钻具及施工工艺的研究除了具有常规取心钻探的特点外,还必须从钻孔结构、钻头切削刃类型及唇面结构、钻压、回转速度、泥浆性能及循环量、泥浆温度、取心方式、回次进尺等进行认真的考虑。尤其是泥浆要具有耐低温及护壁保心的性能。根据施工前对该地区地层资料的收集及以往冻土层取心钻探施工遇到的困难,地层破碎、坍塌及遇水膨胀、泥质页岩及油页岩地层进尺极慢等是钻探施工过程中最关键的工艺难题。要想取得较好的钻探取样效果,必须保证泥浆具有良好稳定孔壁和冷却岩心以及对钻头具有较好刻取性能起到积极的辅助作用。为了满足陆地冻土天然气水合物钻探取样技术研究及地质调查取样实际需要,在工艺研究及施工方案中采取了综合钻探取样技术,将保压取样钻具及常规绳索快速取心技术方法结合起来,以满足地质钻探取样要求为主要目的。

2008 年 10 月 18 日,经过多年的研究和精心准备,我国第一口陆地永久冻土带天然气水合物科学钻探施工井在海拔 4200 m 的青海木里地区正式开钻,

施工现场见图5。钻探施工过程中,曾先后采用了所研制的保压钻具及绳索取心钻具。保压钻具在应



图5 中国第一口陆地永久冻土带水合物DK-1科学钻探试验孔开工典礼

用过程中虽然能够取出岩心,但孔径的限制使得钻具的球阀密封结构难度较大,再加上要求泥密度大、粘度高及含砂量较高,使得钻具的密封可靠性受到一定影响。为了完成钻探施工并能够寻找天然气水合物,所以主要采用特制的大直径绳索取心钻具。

尤其是泥浆要具有耐低温及护壁保心的性能。根据施工前对该地区地层资料的收集及以往煤田取心钻探施工遇到的困难,地层破碎、坍塌及遇水膨胀、泥质页岩及油页岩地层进尺极慢等是钻探施工过程中最关键的工艺难题。要想取得较好的钻探效果,必须保证泥浆具有良好稳定孔壁和冷却岩心以及钻头具有较好刻取效果的性能,为此,专门配制了水合物低温盐水泥浆,初步泥浆性能如表1。

表1 不同低温泥浆体系配方及性能控制

序号	配方	密度 /(g·cm ⁻³)	凝固点 /(°C)	温度 /(°C)	漏斗粘度 /s	表观粘度 /(mPa·s ⁻¹)	塑性粘度 /(mPa·s ⁻¹)	失水量 /mL	泥皮厚度 /mm
无固相钻 进液体系	1000 mL H ₂ O + 8%KL + 0.5% NaOH + 15% NaCl + 5%FA	1.14	-12	常温 -10	1'2" 2'12"	47 65	30 55		
	1000 mL H ₂ O + 8%XC + 0.5% NaOH + 15% NaCl + 5%FA	1.14	-12	常温 -10	1'44" 3'20"	42 52	21 28		
低固相钻 进液体系	基浆 + 1%NaOH + 15% NaCl + 1% HT	1.15	-12	常温 -10	28" 54"	18 30	15 26	8 7	1 1
	基浆 + 1%NaOH + 15% NaCl + 1% HT + 1% SHR	1.13	-12	常温 -10	25" 42"	16 28	14 28	9 9	1 1

上述泥浆虽然在低温状态下具有良好的流动性,但抑制泥页岩及破碎地层不够可靠。

在2008年的钻探取样施工过程中,曾在133.5~135.5 m、142.9~147.7 m、165.3~165.5 m三个

层段发现了天然气水合物,并取出了人们所期望的水合物岩心样品(如图6所示),为我国进一步开展陆地永久冻土天然气水合物调查评价提供非常有价值的信息。



图6 钻探施工取出的水合物样品在现场试燃

为了进一步证实该地区水合物的存在及获得更多具有说服力的水合物样品,决定2009年继续实施取样钻探施工。针对2008年钻探取样施工中遇到的技术难题,项目组从钻具结构、泥浆性能、取心方法、钻头唇面形式、钻孔结构等进行了认真准备。首先,采用美国百瑞得公司(Baroid)的泥浆材料配合国产抗盐高聚物配置低温高性能泥浆。泥浆配方

为:苏打0.5~1.0 kg/m³;膨润土(QUICK-GEL)8~24 kg/m³;页岩/粘土稳定剂(EZ MUD GOLD)0.75~1.0 kg/m³;KCl 180 kg/m³;抗絮凝剂三聚磷酸钠0.25 kg/m³;抗盐共聚物1.0%~3%。泥浆初期性能为:密度1.06~1.14 g/cm³;漏斗粘度23~26 s;凝固点-2°C;泥皮厚度1.5 mm;失水量6~7 mL。由于钻进过程中受地下水、岩粉等影响,泥浆的性能

在不断发生变化,所以要时刻观测泥浆的性能以便及时调整。由于本次采用的泥浆具有良好的稳定孔壁、抑制泥岩及油页岩膨胀等性能,使得钻孔较稳定和破碎地层取心效果较好。在钻头结构方面,由于泥岩及油页岩地层塑性较大,孕镶钻头钻进速度较慢,所以采用特制唇面的大水口及带底喷水

眼复合片金刚石钻头。在钻具及取心方面,采用1.5 m短岩心管、半合管及PV透明三层衬管的技术措施,取得了能够观察到较原始结构的岩心样品。2009年6月16日,在孔深133 m取出了具有水合物异常的岩心样品(图7)。



图7 DK-2孔取出的水合物样品及试燃

3.4 陆地永久冻土天然气水合物取样施工及取得成果

本项目的重要成果是寻找到了陆地冻土天然气水合物异常区域,开发了为冻土带进行水合物取样钻探施工的钻具、工艺方法、取样技术等,摸索总结了陆地永久冻土带施工经验。施工的实践证明,陆地冻土天然气水合物钻探取样施工采用绳索取心钻探工艺、采用大直径钻具(岩心直径91~95 mm)、低温泥浆(0~2℃)、短回次进尺(1~1.5 m)等技术,完全可高效低成本地满足钻探取样施工需求。利用本项目研究成果实施钻探取样施工,并发现获取了天然气水合物样品,使我国冻土区天然气水合物地质调查评价及水合物取样钻探技术取得重大突破,为我国进一步开展冻土区天然气水合物调查研究及相关地学研究指引了方向并奠定了良好的基础,同时也充分证明了课题组前期的地质资料收集与信息研究、野外踏勘及钻探取样工作是真实可靠的,钻具的研究与设计制造、工艺方法的研究、施工方案研究及钻探施工准备工作是可行实用的,所以该项目的初期成果是非常明显的。2009年在2008年的基础上,实施了DK-2、DK-3及DK-4钻孔施工,并取得了水合物样品和发现水合物异常,经过青岛海洋地质研究所水合物测试中心测试鉴定,证实了甲烷水合物的真实存在,该成果得到了党和国家领导人及部、局领导肯定和赞扬。该成果的取得对我国实施陆地水合物调查研究、勘探开发试验,特别是海洋天然气水合物的勘探开发及新能源的勘探具有十分重要意义。2010年,曾先后在祁连山木里

地区和东北漠河地区实施了陆地冻土天然气水合物取样钻探取样施工,目前在祁连山的2个取样钻孔已经完成,漠河盆地钻探取样施工正在进行当中。同时还在木里地区进行了水合物开采试验研究,开采钻探施工正在进行当中。目前我国陆地冻土带天然气水合物的调查研究及取样钻探技术研究已达到国际先进水平,引起了国际同行的关注和好评,并同美国、加拿大、俄罗斯等有关冻土水合物研究机构建立了联系,并达成相关合作意向。

4 中国未来天然气水合物调查评价钻探取样技术研究的现状及建议

通过几年对海洋及陆地永久冻土带天然气水合物保真取样钻具及钻探取样施工技术的研究,收集和掌握了国外在海洋及陆地永久冻土天然气水合物取样钻探施工的信息,对水合物的真实物性有了全面了解,特别是水合物的“自保护效应”。天然气水合物的“自保护效应”对进行水合物钻探取样施工及工艺器具与方法确定具有重要的作用。由于天然气水合物具有“自保护效应”,所以在水合物的钻探取样施工不要把问题复杂化,不要把水合物的物化性能神秘化。实际上,由于水合物的“自保护效应”,在钻探取样过程中,水合物实物样品并不像鞭炮和其他易燃气体一样,在自然状态下立刻分解释放。如果把水合物的特性神秘化和复杂化,必将使水合物的调查评价取样施工复杂化,制约了我国水合物调查评价和勘探开发的进度。因为,保温保压取样钻具的结构非常复杂,制造难度大,可靠性较

低,实际上,不用保压取样钻具也可以满足调查评价取样要求,即采取综合钻探取样方法,比如低温泥浆和绳索打捞快速取样钻探法,采用低温泥浆和双壁钻杆闭路反循环“实时”取样采气结合测井等综合技术措施。美国、加拿大及我国祁连山陆地永久冻土层天然气水合物钻探取样都没有采用保压取样钻具,而且都可以钻获满足地质取样要求的水合物样品。中国在天然气水合物钻探技术方面应注重简单实用且能满足地质取样要求的综合钻探取样技术。为了探索新的取样方法,吉林大学曾进行了孔底冷冻取样技术的研究,目前取得了一定进展。为未来开采利用做好技术储备,中国地质科学院勘探技术研究所等正在进行现场开采试验研究,已试制出降压和电及太阳能加热地下增温的综合开采设备和技术方法,即将在祁连山陆地冻土水合物发现区进行试验。

尽管目前我国陆地冻土天然气水合物取样钻探技术取得一定进展,但在专用设备及施工效率和成本方面还不尽理想,特别是陆地及海洋天然气水合物取样钻探施工专用设备方面目前还是空白,在海洋天然气水合物钻探技术及施工设备方面,我们在取样钻具研究方面取得一定进展,但海洋钻探设备方面和国外相差较远,目前我国还没有超过千米深水钻井作业船,无法满足深水天然气水合物钻探取样施工要求。在地质探测方面,我国在海洋水合物调查评价方面取得一定进展,像地球物理、地球化学等方面都取得一定科研成果,但在陆地冻土天然气水合物调查评价方面,我国还没有找到一种较有效的技术方法发现冻土区水合物异常和标志。目前的

钻探施工区域及钻孔位置的确定,并不是由于地质探测技术确定的,完全根据以往其他矿种钻探施工提供的异常和地质资料,推断某些冻土带可能存在水合物异常,从而较盲目地采用钻探取样方法加以验证。因此,为了推进我国海洋及陆地天然气水合物调查评价的进程,我国除了完善和优化现有取样钻具和施工技术外,要加速天然气水合物钻探施工设备的开发研究,首先要加速陆地永久冻土带天然气水合物地质探测和识别技术的研究,为布置钻探取样施工验证提供更准确信息,要加速水合物钻探测井技术的研究,目前我国还没有专门水合物测井技术手段。要开展水合物分布特征及异常标志研究、资源量计算方法的研究。为了未来开发利用,要加强水合物开采方法及环境监测和保护技术的研究。

参考文献:

- [1] 刘广志. 天然气水合物开发的现状和商业化的技术关键[J]. 探矿工程, 2003, (2): 8-10.
- [2] 叶建良, 殷琨, 蒋国盛, 等. 天然气水合物勘探技术综述[J]. 探矿工程, 2003, (4): 43-46.
- [3] 张永勤, 孙建华, 赵海涛, 等. 天然气水合物保真取样钻具的试验研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2007, 34(9): 62-65.
- [4] 张永勤, 孙建华, 赵海涛, 等. 高原冻土水合物钻探冲洗液的研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2007, 34(9): 16-19.
- [5] 郭威, 孙友宏, V. K. Chistyakov. 天然气水合物孔底冷冻取样方法的室内试验研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(5): 1-6.
- [6] 汤凤林, 蒋国盛, K. E. Басниев. 利用双井筒大水平距对接井钻井技术热力开采天然气水合物[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(3): 1-4.