

快速查清海域水合物资源及引领开采技术的 创新思维

李小洋¹, 王金平², 陈俊达¹, 王瑛俪¹, 李凯舟²,
马晓鹏², 翟紫乾², 杨法凯², 彭云娟², 张永勤^{1*}

(1. 中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000; 2. 山东省地质矿产勘查开发局第六地质大队, 山东 威海 264209)

摘要:本文针对海域天然气水合物的赋存特性及勘探开发现状, 结合陆域固体矿产勘探中的反循环钻探技术优点, 提出了将反循环钻探技术应用于海域天然气水合物资源调查评价的创新思维。文中分析了反循环连续取心技术用于海域水合物资源调查评价的可行性、施工过程中可能遇到的技术问题及相应的技术措施、经济与社会效益等技术问题。提出的观点可为快速查清海域水合物资源、为人类提供新的接替能源及绿色海洋钻探施工发挥积极的引领和推动作用。同时还提出了开采过程中防砂除砂以提高开采产量的技术措施。

关键词:创新思维; 反循环钻探; 天然气水合物; 资源调查; 潜在能源; 科技引领

中图分类号:TE132.2; P634 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2025)S1-0009-07

Innovative thought on quickly and clearly surveying the gas hydrate resource and leading production technology

LI Xiaoyang¹, WANG Jinping², CHEN Junda¹, WANG Yingli¹, LI Kaizhou², MA Xiaopeng²,
ZHAI Ziqian², YANG Fakai², PENG Yunjuan², ZHANG Yongqin^{1*}

(1. Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China; 2. No. 6 Geological Team of Shandong Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources, Weihai Shandong 264209, China)

Abstract: In response to the occurring characteristics and current status of exploration and production of gas hydrate, this paper presents an innovative thought with combination of the hydraulic reverse circulation drilling used in land mineral prospecting which will be used for oceanic gas hydrate survey and resource appraising. The feasibility, some technical problems and measures, economic and social efficiencies and so on of the hydraulic reverse circulation drilling are discussed. The thought would play an active role in quickly assessing the gas hydrate resource and providing the replacing resource and leading production for mankind. At the same time, the technical measures for increasing production of the gas hydrate and preventing and removing the sand are presented in the paper.

Key words: innovative thought; reverse circulation drilling; gas hydrate; resource survey; potential natural resource; scientific and technological guide

0 引言

天然气水合物(简称水合物)的物化特性及赋

存条件已被科学家所熟知, 我国相关海域及陆域永久冻土区赋存水合物已被证实。多年来科学家们

收稿日期: 2025-05-29; 修回日期: 2025-08-16 DOI: 10.12143/j.ztgc.2025.S1.002

第一作者: 李小洋, 男, 汉族, 1988年生, 高级工程师, 硕士生导师, 地质工程专业, 博士, 长期从事天然气水合物钻采技术及深部钻探取心技术等研究工作, 河北省廊坊市广阳区金光道77号, Lixy0692@163.com。

通信作者: 张永勤, 男, 汉族, 1960年生, 教授级高级工程师(二级), 探矿工程专业, 长期从事各种钻探技术、器具及设备的研发和施工管理等工作, 河北省廊坊市广阳区金光道77号, zyqietlfb@sina.com。

引用格式: 李小洋, 王金平, 陈俊达, 等. 快速查清海域水合物资源及引领开采技术的创新思维[J]. 钻探工程, 2025, 52(S1): 9-15.

LI Xiaoyang, WANG Jinping, CHEN Junda, et al. Innovative thought on quickly and clearly surveying the gas hydrate resource and leading production technology[J]. Drilling Engineering, 2025, 52(S1): 9-15.

根据已经掌握的地质信息推断,地球上陆域永久冻土及海域的水合物资源相当于人类已探明煤炭、石油及天然气资源总量的1~2倍。如此大的资源量,引起了许多国家的高度重视。中国是能源消费大国,油气的消耗大量依赖进口,寻找新的接替能源对保持我国经济持续发展、满足人民日益增长的生活需要及国家安全等都具有十分重大的现实意义。我国投入了大量的财力物力进行了20多年的水合物资源调查研究和勘探开发试验,但迄今没有完全查明我国海洋区域具有开采规模的水合物储量。国家进行水合物资源调查的主要目的是将其作为资源进行利用,首先必须尽快查清具有开采规模的可采储量,而查清储量的最终手段是实施钻探取样。为此,国家部署了一些钻探取样工作,但由于对取样的要求,以及所采用的钻探施工技术复杂、成本高、效率低,大大影响了资源调查评价及储量确定的进度,制约了科学家希望水合物能成为人类未来接替能源美好愿景的实现。水合物的存在早已被科学家证实,其成因、赋存条件及物化特性等也已经明确,其能否成为人类未来接替能源,关键的问题是能否采用一种简单、高效、低成本的技术方法迅速查清可开采储量及准确资源量^[1]。

水合物被认为是洁净能源,其被利用后释放的二氧化碳是常规化石能源的40%。人类已经达成共同控制和降低二氧化碳排放的共识,在20世纪末将年均温升控制在1.5℃以内,否则人类将面临因气候变化带来的各种自然灾害的威胁。2023年《联合国气候变化框架公约》第二十八次缔约方大会上各国代表经激烈谈判,通过了“推动各国‘摆脱’化石燃料,以避免气候变化带来的最严重影响”的最终协议。中国作为负责任的大国,积极支持和推动关于降低二氧化碳排放和全球平均温度的倡议,促成了该协议的签署。同时,中国提出了实现“碳达峰”“碳中和”的目标。水合物的开发利用对实现碳中和至关重要,尽快查清可开采储量、远景资源量以及对水合物能否成为一种接替资源做出决策十分迫切,并具有重要的现实意义,这也是全球从事水合物调查研究的科学家们的担当和使命。

笔者多年从事反循环钻探技术和水合物钻探技术研究,基于水合物勘探发现现状和气候变化对化石燃料应用的限制,提出了采用反循环连续取心技术快速查清海域水合物资源量、引领开采技术的

创新思维。

1 反循环连续取心(样)钻探技术原理及引起的思维

20世纪60年代,固体矿产钻探界出现了反循环钻探技术(Reverse Circulation Drilling, RC),简称RC钻探技术。RC钻探技术采用的循环介质可以是压缩空气或液体,分为空气和水力RC钻探技术。RC钻探技术与常规的提钻及绳索取心钻探技术的最大区别是:常规钻探技术采用单壁钻杆,钻进过程中循环介质从钻杆的中心通道被输送到孔底,然后携带钻头切削的岩屑经钻杆与孔壁间的环状间隙达到地表;RC钻探技术一般采用双壁钻杆和双通道水龙头,循环介质的循环方向与常规钻探技术相反,先经双通道水龙头和双壁钻杆的内外钻杆之间的环状间隙到达孔底,然后经钻头进入双壁钻杆内钻杆和水龙头的中心通道及排心弯管上返至地表的岩心接收装置,在钻进的同时,上返的泥浆把钻进过程中形成的岩心及岩屑携带至地表,在地表把这些岩心及岩屑按顺序收集起来,作为地质学家判断所钻地层结构及有关地质信息的实际依据。从上述获取岩心的过程可以看出,RC钻探技术节省了取心过程的辅助工作时间,钻探施工效率大幅度提高,被国际地质钻探界认为是继绳索取心钻探技术之后钻探技术的又一次革命。笔者根据多年从事空气与水力RC钻探技术及水合物资源调查评价钻探技术研究应用的经历,一直在思考将RC连续取心(样)钻探技术用于海域水合物资源调查评价及储量确定的技术问题。本文着重论述在海域实施钻探取样的水力RC钻探技术特点及其用于海域水合物资源调查评价的可行性^[2]。

2 水力RC钻探技术用于海域水合物资源调查评价的可行性探讨

2.1 水力RC钻探技术特点及机具可行性分析

水力RC钻探技术也被称为水力输送岩心钻探技术,其最大的特点是地质学家几乎在钻进的同时可以在现场观察到所钻地层的岩心,目前该技术已在陆地覆盖层及近海区域地质调查钻探取样施工中成功应用。在用于陆地覆盖层地质填图取样钻探时,水力RC钻探技术的最高台月效率可超过18000 m/台月。在近海进行地质调查取心(样)施

工时,针对海上钻探施工时间紧、成本高、受海洋风浪环境影响敏感的特殊性,借助于海洋提供的用水方便的有利条件,采用水力RC连续取心(样)钻探技术施工与传统的取心钻探技术相比,成本大幅度降低,效率可提高3~5倍,大大加快了海洋地质调查工作进度。图1~3分别是笔者曾采用水力RC钻探技术在陆域覆盖层地质填图、固体矿产勘探及海洋地质调查钻探取心施工现场与施工的场景。



图1 水力RC钻探技术在陆域覆盖层进行地质填图钻探取心(样)施工场景



图2 水力RC钻探技术在固体矿产勘探进行钻探取心(样)施工场景



图3 水力RC钻探技术在海域进行海洋地质调查钻探取心(样)施工场景

水力RC钻探技术的原理及其用于一般海洋地质调查钻探取心(样)施工的实践证明,该技术用于海洋地质调查钻探取心施工是完全可行的,但用于海域水合物资源调查评价钻探取心(样)是否可行,主要取决于利用RC方法钻获的水合物岩心样品能否满足对水合物资源调查评价的要求和地质学家对于RC钻探技术取样施工过程的认可。虽然RC

钻探技术钻获的水合物岩心样品不能完全满足地质学家长期以来一直坚持的必须保持原始状态的要求,但笔者建议地质学家在进行水合物调查评价时应以开放、创新、高效、能快速查清资源量和为开发利用提供支撑为主要目的。尽管RC钻探取样技术不能完全保持水合物样品的原始状态,但钻探技术人员可以借助RC钻探高效的优点,采取一系列的技术措施满足水合物资源调查评价及储量计算的主要目的:根据水合物对温压变化敏感的特性,首先将钻探泥浆温度降低到0℃;钻探平台上的岩心接收装置做成密闭式,并安装气体采集和气体成分与浓度监测装置;对RC钻探取样过程的恒低温(0℃)及变压过程(从水合物赋存压力到标准大气压)和水合物样品从原位到达样品接收装置的时间进行室内模拟与测试研究,确定水合物恒低温及变压的变化规律以及水合物储量计算的修正系数;根据室内模拟的变化规律,对钻获的水合物样品进行甲烷气体解析评估,在储量计算时乘以修正系数,即可较准确地确定水合物的真实储量和资源量。此创新思维及应用不仅将使地质学家在钻探现场及时看到所钻地层岩(矿)心样品特征,还将取得高效、省时、经济、减少钻探施工过程泥浆浪费和污染,加快水合物资源调查评价进度等效果^[3]。

为了更进一步证明水力RC钻探技术用于海域水合物资源调查评价的可行性及可能性,笔者给出以下分析和论据。

(1)从以上水力RC钻探取样技术基本原理及配套机具看,如将其用于海域水合物资源快速调查评价钻探施工,目前海洋石油钻井标准的 $\Phi 140\text{ mm} \times 9\text{ mm}$ 或 $\Phi 127\text{ mm} \times 9\text{ mm}$ 管材规格即可满足双壁钻杆的设计、加工试制和施工要求。现有海洋钻探船或平台、钻机、泥浆泵及平台辅助装置也可满足钻探施工要求,如果采用传统的转盘式钻机,需要配备双壁主动钻杆,如果采用顶驱钻机,需要将顶驱改造为双通道。

(2)井底钻具、特殊结构的取心钻头及工艺参数可根据施工条件及地质要求及时调整。

(3)由于岩(矿)心样品是随泥浆循环时携带上来,为了尽可能获得较真实的岩矿心样品,可在钻台上配置特殊的三相流岩心样品接收观测装置。该装置采用密闭透明结构,并与录井仪连接,不仅随时可观测到实物岩矿心样品,还可以及时监测被

输送到该装置里的气体组分等参数。该样品接收装置在将固体样品收集后,气流及液流(泥浆)流向气液分流装置,分离后的气体被收集起来进行化学分析和检测,液流则返回泥浆池,经过固控和泥浆冷却后重复利用,不仅可节省无隔水管钻井泥浆直排到海底的成本,还可减少海洋污染。

(4)为了尽可能地减少钻获的水合物岩心样品的分解,RC钻探取样技术施工过程中应采用低温泥浆。根据地质学家提供的海域水合物赋存压力温度曲线,拟将入井的泥浆温度冷却到0℃。目前低温泥浆已有多种配方,中海油服研制的合成基泥浆自然温度已达0℃,目前正在研制温度达-15℃的低温钻井液。泥浆冷却装置已在陆域冻土水合物及高温地热资源勘探开发钻探中成功应用,采用制冷装置及低温泥浆体系钻探施工已有成熟的经验,只是钻井施工过程整体动力消耗有所增加。

(5)现以海洋油气钻井常用的 $\varnothing 140\text{ mm}\times 9\text{ mm}$ 管材规格试制双壁钻杆的相关结构、钻进过程及岩(矿)心样品上返速度等理论参数进行全面分析。双壁钻杆外钻杆采用 $\varnothing 140\text{ mm}\times 9\text{ mm}$ 的石油钻杆钢管,内钻杆采用 $\varnothing 89\text{ mm}\times 3\text{ mm}$ 中碳钢管材,由于内钻杆在钻进过程中不承受拉压扭作用,可以采用轻便的铝合金材料。外钻杆与常规海洋石油钻杆结构一致,钻杆两端为公母接头,内钻杆与外钻杆同轴固定于外钻杆内,两端采用公母插接,并借助于O形圈密封。根据常规油气钻探 $\varnothing 140\text{ mm}$ 钻杆相关施工配置,拟采用标准外径216 mm、内径80 mm的牙轮或复合片取心钻头,岩(矿)心直径80 mm。根据上述内外钻杆的内外径尺寸,双壁钻杆内外钻杆环隙面积为 5466 mm^2 ,内钻杆中心通道面积为 5408 mm^2 ,环隙面积大于内钻杆中心通道面积,结构合理,有利于减少沿程环流及泥浆携带岩心沿内钻杆中心上返的阻力损失。为了进一步降低沿程流体阻力,还可以增大外钻杆直径,但钻杆管材用量和制造成本有所增加。岩(矿)心与内钻杆内径单边环隙设定为1.5 mm,既保证足够的活塞效应和岩(矿)心上返速度,又尽可能降低循环阻力。考虑到井壁与钻杆之间环隙有约5%的泥浆损失,在此以油气钻井常规配备的1300 L/min泥浆泵的泵量为依据,同时考虑按照一般石油钻井都配置2台泥浆泵的实际情况,即泥浆的流量按照1300 L/min和2600 L/min两种参数计算。根据S

$=Q/F$ (S为流速,Q为流量,F为内钻杆中心面积)公式理论计算及室内和野外实钻试验,当岩心与内钻杆的环隙为1.5 mm时,根据室内实测数据,钻进过程中岩心上返速度等于泥浆上返流速的85%。由此可以计算不同钻进深度及不同泵量下的岩(矿)心上返速度及到达岩心接收装置的时间。如表1表示,当井深4000 m时,如采用双泵并联输送泥浆,地质学家10.29 min就能现场观测到所钻地层岩(矿)心。

表1 不同泵量、深度下岩矿心从井底到达钻台时间

泵量/(L·min ⁻¹)	泥浆上返流速/(m·s ⁻¹)	岩矿心上返速度/(m·s ⁻¹)	井深/mm	到达钻台时间/min
1300	3.81	3.24	1000	5.14
			2000	10.28
			3000	15.43
			4000	20.58
2600	7.62	6.48	1000	2.57
			2000	5.14
			3000	7.72
			4000	10.29

(6)关于水力RC钻探技术用于海域水合物资源调查评价钻探取样施工过程中可能存在的问题。如前所述,岩心到达样品接收装置靠泥浆携带,在岩心沿着内钻杆的中心上升过程中,对于破碎坚硬岩层有可能发生岩心堵塞,但在陆地及近海海洋沉积层钻探施工中,极少发生过岩心堵塞现象,因为岩心较松软,即使有突然的停滞现象,泥浆的液压力足以推动岩心上行。根据地质学家的调查研究,95%的海域水合物都赋存于海底沉积层或半成岩地层,所形成的岩心也较松软,所以水力RC钻探技术用于海域水合物资源调查评价钻探施工过程中一般不易发生岩心堵塞,即使发生瞬时的岩心堵塞,由于岩心样品并不是十分坚硬,循环过程中的上返泥浆有足够大的液压力推动岩心上行。因此,海域水合物赋存的地层适合水力RC钻探取心技术。

从以上对设备配套、器具试制、钻遇地层、工艺方法、制冷装置与低温泥浆体系及其在陆地与近海地质调查钻探应用实践等简单的定量及定性分析论述,证明水力RC钻探技术应用于海域水合物资源调查评价钻探取样施工的可行性。

2.2 水合物资源调查评价方法的创新思维

长期以来,地质学家在进行水合物资源调查评价钻探取样施工时,一直要求钻探技术人员必须采用保温保压的方法提供水合物岩心样品。海域水合物赋存于低温高压环境下,很容易发生形态变化。为了更准确地了解水合物特性和进行资源评价,要求原始状态的岩心是可以理解的。但目前保温保压取心技术并不十分可靠,同时钻探取样施工效率低、费用高,严重制约了查清资源量及开发利用的进度。为了加快水合物资源调查评价和服务于人类的进度,科学家应有开放创新的思维,不要始终保持只有原始状态水合物岩心样品才能查清水合物资源的固化思维和做法,要探索利用既能加快调查进度、又能准确评价资源量的综合技术方法和技术体系。应学习西方国家的地质学家开放的创新思维,利用空气RC钻探取样技术钻获的岩屑代替柱状岩心进行固体矿产资源品位及储量评价。所以笔者提议地质学家应考虑利用水力RC钻探技术钻获的水合物岩心样品进行水合物资源调查评价及储量计算,尽管RC钻探技术所提供的水合物岩心样品不能完全满足地质学家所谓原始状态的要求,但钻探专家可以与地质学家密切配合,寻找某些辅助技术措施,弥补水力RC钻探取心技术提供的岩心样品不能保持原始状态的短板,以实现快速钻探取样施工和较准确地进行资源调查与储量计算的最终目的。

关于辅助技术措施的思考。首先,水力RC钻探取心技术用于水合物资源调查评价钻探施工从各方面都已给出了足够的可行性依据;二是该钻探技术对于目前绝大多数水合物埋藏深度,可在10 min左右提供岩心样品,在从海底赋存压力变化到标准大气压是在10 min内逐渐变小的,短时间内压力的逐渐变小不会使水合物岩心样品的物化性质发生较大的变化;三是钻探取样施工过程中采用0℃的低温泥浆,对于赋存温度4~10℃的水合物岩心样品分解具有一定抑制作用;四是在已知上述水合物岩心样品的环境温度、赋存压力逐渐降低到标准大气压及变化时间的条件下,借助于室内模拟测试手段对水合物岩心样品在恒低温变压状态下变化规律、动力学特征、分解速度、甲烷释放量等模拟测试,确定水合物岩心样品在恒低温及赋存压力逐渐变小条件下分解释放甲烷的特征及定量参数;五

是水合物岩心是通过低温泥浆在闭路循环方式下被携带至密闭的样品接收装置里,尽管在到达接收装置的过程中可能有甲烷气体分解,但释放的气体是可以被全部收集起来的,该气体可作为计算水合物储量时参考。上述五个方面就是弥补水力RC钻探取心技术提供的水合物岩心样品不足的辅助技术措施,并以此实验总结出一个水合物资源评价及计算储量的修正系数,从而探索出以水力RC钻探取心技术为钻探施工手段的并具有我国自主知识产权的水合物资源调查评价及储量计算综合技术体系,为推进水合物新型能源勘探开发进度发挥积极作用^[4]。

3 可行性下的费用及效益分析研究

利用现有海洋钻探装备实现水合物钻探取心施工的主要费用是双壁钻杆的试制。与常规钻探取心施工钻杆相比,双壁钻杆成本可增加10%左右。另外,双壁主动钻杆、样品接收装置、泥浆制冷装置及其工作的动力消耗等,相对特殊要求的保温保压取心钻探施工要增加一定费用,虽然不能准确给出增加的具体数量,但可以预测,通过一个取心钻孔的施工所带来的效率提高及泥浆的节省与对海洋污染的降低就足以弥补,其综合效果要优于保温保压钻探取心施工。根据水力RC钻探取心技术在近海海域取心钻探实践,效率超过50 m/h(含辅助时间),假设海底以下钻孔深度500 m,从海底钻进开始,10 h之内可以完成全部取心钻探施工。估算泥浆制冷增加的动力消耗,按照0~10℃的温度及温差和1300 L/min的泥浆循环量计算,整个泥浆冷却系统需要的总功率最大不超过910 kW。笔者虽然无法定量计算常规保压取心钻探技术完成一个500 m深的钻孔需要的时间和费用,但可以推断水力RC钻探技术的施工效率要比常规保压钻探方法高得多,成本也更低。

另外,目前在进行水合物资源调查评价时由于保压取心钻探施工效率低、成本高,在开展调查评价工作时,一般采用个别钻孔保压取心、多数钻孔全面钻进加测井来获取相关地质信息及资源评价的布钻方式,尽可能降低钻探施工费用。上述布钻可以减少资源调查评价费用,但没有取出岩心样品对所钻地层结构、水合物特征及物性等评价的更直观、更准确,不能完全满足地质学家的要求。从钻

头破碎地层的钻探技术角度分析,水力RC取心钻探技术采用的是中心环空的取心钻头,在破碎地层钻进时,中间的岩心部分无破碎,即钻头旋转破碎地层时无“死点”。与全面钻进钻头相比,相同规格钻头和钻进参数情况下,水力RC取心钻探技术的钻进速度要比全面钻进高,如采用上述 $\varnothing 216$ mm钻头钻进,岩心直径80 mm,钻进速度可提高37%。全面钻进钻头的中心“死点”阻碍了钻头向前推进的速度,因此,即使与目前普遍采用的全面钻进加测井的水合物调查方式相比,采用水力RC取心钻探技术的钻进效率、成本、施工进度等仍有明显的优势。

以上综合分析不难看出,在一次性投资完成水力RC钻探技术器具配套的前提下,大规模开展海域水合物资源调查评价,水力RC钻探技术的效率、成本及综合效益等不仅明显优于保压取心钻探方法,而且比全面钻进加测井的水合物调查方式综合效益还要高。

人类进行水合物勘探的首要目的是将其作为一种能源进行利用。要想利用这种能源,首先必须确定有足够的探明可开采储量,其次是开采的成本或投入产出比要能够接受。从目前所掌握的海域水合物的赋存环境、状态及特性看,对其开采的技术方法不同于海洋油气的开采,难度比之要大的多,而且没有完全成熟的开采技术,进行相关开采技术的研发及试验是无可非议的,但必须建立在已经找到具有开采价值的储量基础之上。因此,加速探明海域水合物资源及储量施工技术的创新应用比研究开采技术更为迫切。

不管采用哪种海域水合物的资源及储量调查评价钻探技术,首先都必须有满足水深作业功能的钻探船或钻井平台。如前所述,水力RC取心钻探技术对钻探船或平台及泥浆泵等设备没有较多的改进和特殊要求,施工的设备费基本没有增加,仅在钻杆、泥浆冷却及动力消耗上需要增加一定的费。但这种技术方法达到的钻探取样施工效率要比常规施工方法提高3~5倍,其节省的施工费用要比增加钻杆、泥浆冷装置等所需的费用多的多,同时节省大量时间和人力,也会节省一定的间接费用。另外,由于钻探取样施工效率非常高,完全可以减少除钻探取样施工以外的水合物勘查手段的相应的工作量,甚至可以取代以往的某些调查方

法。为了将这种具有明显优势的钻探技术应用于海域水合物资源调查评价,笔者呼吁水合物资源调查领域及钻探工程施工技术领域的同行们应精诚合作,共同推进和加速海域水合物资源调查及可采储量评价,为早日确定水合物能否作为一种新型接替能源做出应有的贡献^[5-8]。

4 钻探技术引领开采某些技术难题的思考

人类调查研究水合物的主要目的是将其作为一种能源加以应用,但应用就必须有足够的储量及符合经济规律的开采成本。利用本文所述的RC钻探技术加速资源调查评价及储量评估从理论分析及实践证实上都是可行的,如此的结论,才能引领专业领域的专家们研究探讨更经济可行的开采技术。从海域水合物的赋存特点及环境分析,开采海域水合物主要方法是通过降压升温将其由固体转化成甲烷气体收集起来。由于其存在于海底沉积层或半固结沉积层,将其由固体转化成气体和液体进行开采时存在两个技术难题:一是固体转化成气体及液体时,其所处的地层容易塌陷,其向开采主井流动时会增加困难,甚至无法流向开采主井;其次是在流向开采主井过程中,会携带一定的泥砂而堆积在开采主井滤管内外壁上,一定的时间后会造滤管的堵塞,导致采气量及寿命降低。长期以来,许多专家学者一直在研究解决砂堵的问题,所谓砂堵实际就是水合物开采过程中,甲烷气体及水向开采井运移时携带的泥砂堵塞了开采井的滤管,水合物在分解并向开采井方向运移后,一旦储层塌陷,势必阻碍流体运移通道,也就无法携带泥砂向开采井方向运移^[9-11]。因此,解决水合物开采过程砂堵问题应考虑以下三方面。

首先应考虑如何解决水合物分解过程中储层塌陷使得甲烷气体流向开采井受阻的问题,二是考虑解决泥砂堵塞开采井滤管内外壁的问题,三是考虑解决开采主井沉砂井段里泥砂的清除问题。解决储层塌陷问题可以采用水平定向钻探技术,在主开采井内沿储层钻进多条水平井,然后将可在储层内形成蜂窝状结构的压裂支撑剂注入储层,增加储层的通透性;二是在开采主井内设置可进行高压喷射清洗滤管壁的清洗装置;三是在开采主井内设置气举携砂管路,在开采主井井底沉砂达到一定深度时,安装在开采主井的沉砂监测传感器将向开采平

台上的智能化高压空气输送装置发出启动指令,该装置将高压空气输送到沉砂井底,并通过专用管道将沉砂排除至开采平台,从而达到清除开采井内沉砂和保持连续高效开采的目的^[12-15]。针对水合物开采过程中“防砂”现实问题,笔者认为:先有防塌,后有防砂,再有除砂。

5 总结与建议

水合物被发现已有百年历史,科学家将其作为一种能源进行全面分析研究和勘查也已有五六十年的历程。当前人类已经应用的化石能源类型中,几乎没有哪种经过这么长时间的调查研究而没能得到应用。尽管人类已经认识到化石能源的应用对气候变化产生不利影响,2023年《联合国气候变化框架公约》第二十八次缔约方大会上各国代表也已就“逐步减少”、“逐步淘汰”化石能源有了一定认知,并达成了逐步“摆脱”化石燃料的共识,但随着人类对能源需求和消耗的不断增长,化石能源在相当长的时间内仍将发挥主要作用,即使到了世界各国都制定碳中和的具体时间节点,化石能源还要被部分应用。而水合物有着二氧化碳排放只有常规化石能源40%的优势,如能在实现“碳中和”过程中得到应用将具有重大意义。但目前仍没能达到科学家所预测的前景和目的,加速查清水合物资源量及开发利用非常迫切。为了更有效解决上述迫切问题,笔者提出的将水力RC钻探技术用于海域水合物资源调查评价,无论从原理、设备器具配套及陆地与近海海域应用实践都是可行的,但对于超过千米水深及500 m孔深的水合物钻探取样施工,需要解决的关键技术问题是海底孔口旋转密封装置结构、安放与可靠性,建议开展相关水力学计算及仿真模拟,为应用该钻探技术提供更准确的理论基础。

人类对水合物进行了大量的调查研究和勘探开发试验工作,笔者希望上述加速水合物资源调查评价、储量计算,能解决开采过程中防砂除砂问题,可提高开采量与寿命的技术思维,能引起水合物勘

探界的重视,也希望水合物勘探科学家与钻探技术领域精诚合作,对给予人类巨大希望的水合物能否成为一种巨大的接替能源,尽早做出真实结论,贡献中国智慧,同时也为人类探索水合物及其他地下资源奥秘做出应有的贡献。

参考文献:

- [1] 张永勤.国外天然气水合物勘探现状及我国水合物勘探进展[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(10):1-8.
- [2] 张永勤,孙建华,刘秀美,等.水力反循环连续取心(样)钻探在浅海砂矿勘查中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(6):15-18.
- [3] 张永勤,王汉宝,屠德钢,等.近海勘探取样钻机及反循环钻探取样工艺的研究与应用试验[C].第十七届全国探矿工程(岩土钻掘工程)学术交流年会论文集.中国地质学会探矿工程专业委员会,2013:58-62.
- [4] 张永勤.论地质钻探技术的担当使命及智能化与绿色发展[J].钻探工程,2023,50(1):5-9.
- [5] 张永勤,李小洋,李宽,等.以新质生产力助力钻探技术装备创新发展应用再作为[J].钻探工程,2024,51(S1):29-34.
- [6] 强嗣祺,孙友宏,张国彪,等.形状记忆效应对水合物开采井防砂用聚合物性能的影响[J].钻探工程,2023,50(6):1-10.
- [7] 王金堂,徐嘉崎,廖波,等.海域天然气水合物钻井液用多功能处理剂制备与性能评价[J].钻探工程,2023,50(6):11-17.
- [8] 卢春华,张涛,徐俊,等.海域天然气水合物保压取心钻具的研制与试验[J].钻探工程,2023,50(6):18-26.
- [9] 郭旭洋,金衍,卢运虎,等.海域天然气水合物降压开采诱发储层力学性质劣化及沉降规律建模研究[J].钻探工程,2023,50(6):27-36.
- [10] 张永田,陈晨,马英瑞,等.注入甲醇抑制剂法开采神狐海域天然气水合物数值模拟研究[J].钻探工程,2023,50(5):101-108.
- [11] 蒋亚峰,田英英,李小洋,等.基于cohesive单元海域天然气水合物储层水力压裂模拟[J].钻探工程,2023,50(1):18-25.
- [12] 侯岳,刘春生,刘盼,等.海域天然气水合物浅软地层水平井钻井液技术[J].钻探工程,2022,49(2):16-21.
- [13] 史浩贤,谢文卫,于彦江,等.复合解堵技术在天然气水合物开发中的应用可行性分析[J].钻探工程,2022,49(1):5-15.
- [14] 王志刚,李小洋,张永彬,等.海域非成岩天然气水合物储层改造方法分析[J].钻探工程,2021,48(6):32-38.
- [15] 齐赞,孙友宏,李冰,等.近井储层改造对天然气水合物藏降压开采特性影响的数值模拟研究[J].钻探工程,2021,48(4):85-96.

(编辑 王跃伟)