

海洋深水随钻天然气水合物取样钻探设备 关键技术研究

赵尔信, 蔡家品, 贾美玲, 张建元, 阮海龙

(北京探矿工程研究所, 北京 100083)

摘要:通过国内外资料调研和南海取样钻探的实践,提出了海洋深水随钻取样钻探关键设备的性能指标和工作原理,以备相关部门启动深水天然气水合物随钻取样设备的研制和选择做参考。

关键词:深水钻探;钻探船;随钻取样器;天然气水合物;环保泥浆

中图分类号:P634 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2013)S1-0040-05

1 概况

天然气水合物广泛分布于海底和大陆高纬度地区寒冷冻土带中,其资源量是世界上已知石油、天然气和煤的总储量(包括已开采的数量)的2倍。天然气水合物被科学家誉为“未来能源”、“21世纪能源”,并已成为许多国家海洋地质调查的重点。

我国在1999、2000年对南海北部部分地区进行了勘探,已发现大面积的“似海底反射层”,推测天然气水合物的厚度为几十米至几百米,其储量相当于中国陆上及近海海域已知石油天然气储量的一半。此外,南海北部陆坡区具有良好的天然气水合物形成的条件,可与美国布莱克海台的天然气水合物成矿远景区相媲美。众所周知,布莱克海台的天然气水合物的储量足够提供绿色能源。

中国管辖海域面积约 $3 \times 10^6 \text{ km}^2$,边缘浅海已发现了大量的石油天然气资源,半深海域已发现了天然气水合物矿藏存在的直接证据,中国应深入开展半深海、深海天然气水合物的调查。这种调查是全中国海域的系统调查、部分公海的矿产资源调查。我国应及早地组织全国的海洋科技力量,及早地开展全国海域的天然气水合物调查,在条件许可的时候,还应到公海进行天然气水合物的调查。这就是中国现在应采取的对策,也是正在采取的对策。

天然气水合物的勘探工作已取得突破,2007年,与国外合作在南海神狐海域获取天然气水合物的岩心样品,使我国成为世界上第四个通过国家研发计划成功获取天然气水合物样品的国家。目前我

国开发天然气水合物的水平基本与国际同步,但仍有一定差距,而差距就在于装备。钻探船、电动顶驱钻机、绳索取心钻杆,保压取心装置,长寿高效钻头

等。目前我所已与中海油合作研制了深水随钻取样技术,经过试验已成功取出原状不扰动的砂样、土样,现研究“随钻深水天然气水合物取样装备关键技术”是可行的,是能够取得成功的。

2 关键技术

海洋深水随钻天然气水合物取样钻探的关键设备及技术包括:钻探船的设计、深水顶驱钻机的设计、深水随钻钻杆的设计、深水随钻保压取样器的设计、深水随钻抗涡动钻头的设计、海底基盘的设计、取样绞车的设计、环保低温泥浆的设计、随钻钻杆自动移摆的设计、钻探船升沉补偿装置的设计、隔水管的设计等11项。

2.1 设计的海况条件

需要满足蒲福7级风、海浪3 m、海流2.5节。

2.2 海洋深水钻探船的设计

在调研了美国深海钻探计划(DSDP)的“格洛玛·挑战号”钻探船,大洋计划(ODP)的“乔迪斯·决心号”钻探船,日本的“地球号”钻探船及荷兰辉固公司的钻探船以后,综合上述钻探船的特点,建议我国未来建筑钻探船的设计参数。

钻探船长 $\times$ 宽:112 m $\times$ 27.5 m;海水深度3000 m;海底以下钻探深度1500 m;吃水深度7.5 m;船

收稿日期:2013-06-30

基金项目:海域天然气水合物随钻取样技术开发(GZH 201300602)

作者简介:赵尔信(1941-),男(汉族),江苏扬州人,北京探矿工程研究所教授级高级工程师,探矿工程专业,从事地质钻探、科学钻探与海洋深水钻探的研究工作,北京市海淀区学院路29号探工楼207室,zhaoex@bjiee.com.cn。

员床位 120 个;钻探方法:隔水管钻探。

2.3 深水钻机设计

现有深水钻机的顶驱需采用交流变频电机,大多采用励磁异步电机,其缺点是发热量大需要采用冷却装置,应采用永磁同步电机,该电机具有发热量小、单位质量轻的优点,转子用铁合金制造,壳体用铝合金制造,总体质量较轻,从而减轻了顶部驱动钻井装置质量。电机外形尺寸因此也减少了 1/3;电机在低转速条件下也具有很好的调节和使用性能;该电机没有转向器,工作时不发生火花,对于油、气井钻探更为安全;该电动机将输入电能转变为机械能的转换效率为 95%。

深水随钻工程钻机(图 1),需设计大的通孔,以通过取样器的内筒,这与常规的电动顶驱不同。

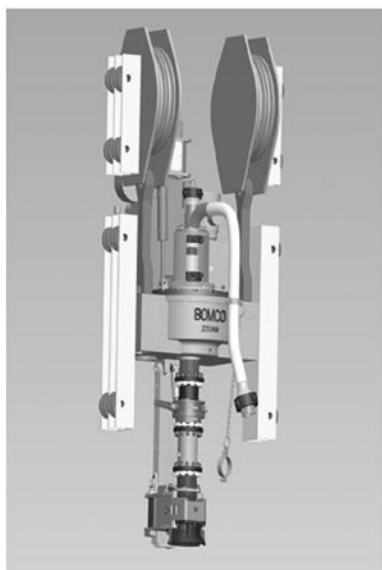


图 1 深水随钻大通孔顶驱

该钻机具有升沉补偿装置。其补偿能力不得低于 ± 2.25 m;其补偿速度为 1.5 m/s;钻机工作水深 3000 m,海底以下 1500 m;钻塔高度 62 m;额定载荷 2250 kN;泥浆罐 $40 \text{ m}^3 \times 3$ 。

2.4 深水随钻钻杆的设计

(1)深水随钻钻杆(图 2)具有高的强度:屈服极限 931 MPa;拉力 ≥ 2750 kN;抗扭强度 86 kN·m。

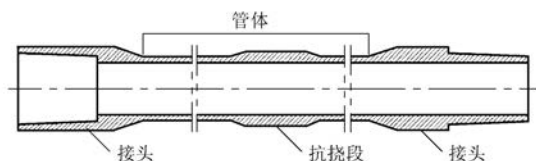


图 2 深水随钻钻杆

(2)具有大的通道,能通过取样器的内筒。

(3)要求钻杆内壁光滑,打捞取样器内筒通畅。

(4)接头和管体焊接要牢靠,强度不低于母材的抗拉强度。

(5)具有随时可打捞海底样品的优点,而无需提起钻杆到船上。

2.5 深水随钻抗涡动钻头设计(图 3)

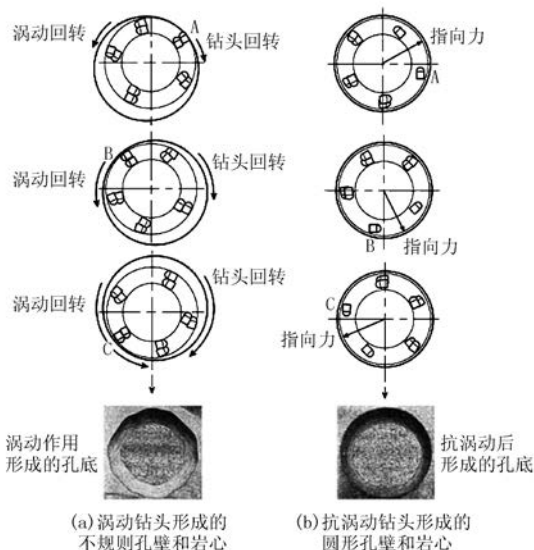


图 3 抗涡动钻头工作原理

深水钻探的目的是取出海底以下的岩石或矿层的样品,如果钻头在钻进过程中抖动或振动,容易破坏岩心的完整性,取出样品数量严重不足时取不上样品,达不到取样的目的。钻头平稳钻进是形成完整柱状样品的第一步——成心,否则取样器护心再好,也没有岩心进入取样器,所以不能忽视钻头抗涡动的设计。

另外需要钻头耐热抗磨,提高钻头的寿命,在非固结、半固结乃至沉积岩地层中可实现一个钻头、一个回次、一个孔,减少提下钻的次数也减少钻头在海底重返井口的困难,节约了非钻进时间,提高海上钻进效率。

2.6 海底基盘的设计

深水钻探海底基盘(图 4)的用途是,下钻过程中沿基盘上至船上的两根导向钢丝绳及导向夹板,使钻杆一直下到基盘中心孔中,省去了钻杆重返井口的困难。

对基盘的设计内容是:

(1)基盘中有带万向轴的喇叭口,以使钻头、钻杆容易沿喇叭口滑入海底井口,喇叭口一般可转动不大于 20° 。

(2)基盘上设计有夹持装置,在某些特殊取样工序时要求先夹持取样器,保持稳定进行冲击取样,夹持动作受船上遥控控制。



图4 海底基盘

(3)海底基盘设计有补偿装置,在船上下浮动时,保持两根导向钢丝绳绷紧,有效帮助下钻时正确平稳导向,使钻杆顺利进入海底井口。

(4)基盘下部设计有四根腿,在基盘自重下(100~150 kN)压入海底,并能牢固地抓住海底使基盘固定。

基盘绞车设计参数:容绳量 3500 m;钢丝绳 $\varnothing 28$ mm;额定负荷:45 t;额定功率 320 kW (160 kW $\times 2$);主动升沉补偿幅度 0~2.5 m;提升速度 26 m/min。

2.7 取样绞车设计(图5)

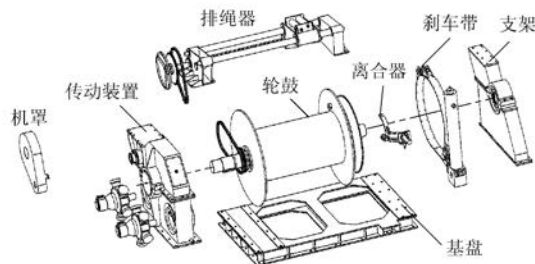


图5 随钻取样绞车

绞车是用来下放和提升取样器内筒,需要取样时可随时用钢丝绳打捞,而不用提出井底全部钻杆,因而称随钻取样绞车。

设计的要求主要有以下几点。

(1)绞车升沉补偿装置。在浪高风大时,船会升沉,影响到钢丝绳一会绷紧,一会卷缩,影响打捞器的正常工作,对取样十分不利,因此,在船升起时,补偿装置开始启动自动下放钢丝绳,相反会自动提拉钢丝绳,保持钢丝绳的绷紧。

(2)排绳装置。在提升和下入数千米钢丝绳时,卷筒旋转易将钢丝绳卷乱,互相挤压造成钢丝绳早期损坏,故需设计排绳系统,将钢丝绳排整齐。

(3)计数装置。在取样时,需将钢丝绳从钻杆内下放,此时应知道钢丝绳的下放长度,可预测打捞

矛头是否到达取样器的顶部——捞矛头,如果盲目过多地下放钢丝绳,势必造成钢丝绳在钻杆打扭,提升时易将钢丝绳拉断。

设计参数:容绳量 4000 m;钢丝绳 $\varnothing 16$ mm;最小提断力 230 kN;提升速度 60~140 m/min;主动升沉补偿幅度 0~2.5 m;额定功率 160 kW。

2.8 隔水管的设计

隔水管(图6)的作用与陆地上钻井下套管的作用有类似的地方,但也不尽相同。隔水管的作用如下:(1)钻进中扶正钻杆;(2)钻头和钻杆重返井口时,有导正对中的作用;(3)引导泥浆从井底返回到船上,防止泥浆流入海洋,污染海水;(4)在天然气水合物进行开采时,作为采集回收天然气的通道;(5)安装防喷器(图7)的支承机构。

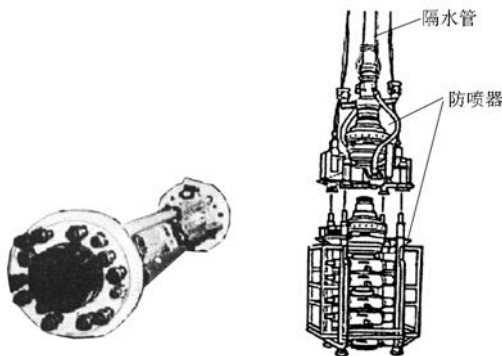


图6 隔水管

图7 防喷器

隔水管钻探技术是钻探船的核心技术之一,是顺利实施深海钻探的保证,故而是研究开发的重点。

隔水管为直径约 530 mm 的管道,从海底连接到钻探船上,用以形成泥浆循环,保持孔壁稳定。它附加有浮力材料,以减少在海水中的重量。

设计参数:隔水管的通畅 530 mm;隔水管的外径 1000 mm;隔水管加防喷质量 4200 t(长度为 3000 m);水中的质量 1080 t(可加浮力材料减轻重力)。

隔水管自重加上钻探船在海面飘动产生的拉、压、弯、扭等作用力,使隔水管承受巨大的外力作用,因此,需采用高抗拉强度的钢材制造。

2.9 随钻钻杆自动移摆技术

在海上钻探中移、摆钻杆工序,用人工去完成一般不太可能,直径为 5 in($\varnothing 127$ mm),长度为 9 m 的钻杆,质量约 240 kg,船的摇摆升降的作用下钻探工人难以站稳,更难以进行钻杆的移动,所以钻杆的自动移摆装置是必须的,不可或缺的。

首先是摆管机,它的功能是将钻杆从钻杆堆放处运送到钻杆架上排好。

另一个是移管机,它的功能是将钻杆从钻杆架上平移至井口,在移动过程中翻转 90° ,从水平状态变为垂直状态,并且精确对准钻杆联接螺纹,将钻杆联接好准备下钻。提钻时移摆管程序相反。

摆管机(图8)的设计参数:(1)最大工作半径12 m;(2)最小工作半径1.5 m;(3)运动最高点11 m;(4)半径12 m处最大动载荷1.5 kN;(5)半径10 m处最大动载荷5 kN。

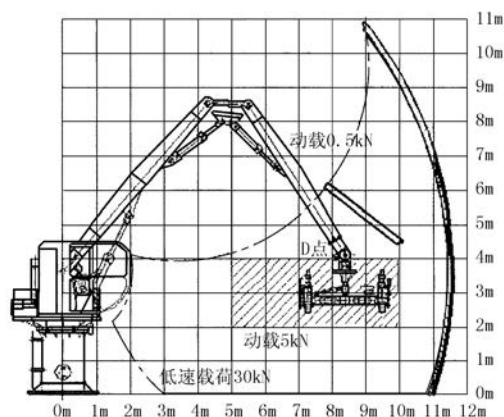


图8 摆管机的工作范围

2.10 升沉补偿器

升沉补偿器分为被动补偿器和主动补偿器2类(图9)。

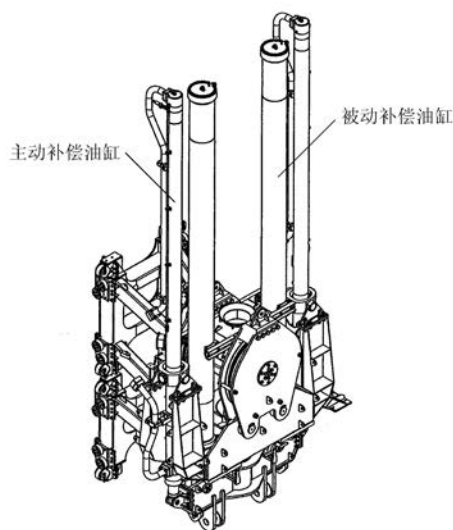


图9 升沉补偿器

被动补偿器不能对钻探船因海面波涛引起的上升和下沉及时作出反应,立即调节钻具的升降、以保持井底钻压的不变。这种被动补偿器最多只能补偿整套钻具75%的上下颤动,25%的颤动将造成钻头压力的变化,影响正常钻进,降低岩心质量和采取率。

主动补偿器通过船上的测量仪,测出船在海上

起伏时垂直方向的加速度值及位移值,采集到的数值通过接口送到接收机,进行波浪特征值计算,加速度值及位移值通过总线路送到控制器,指挥船的升沉补偿。主动补偿器能使船头上的波动减少85%~90%,从而保证顺利钻进,提高钻具和钻头寿命,提高岩心质量和岩心采取率。

设计参数:油缸提升能力32.5 kN;油缸收缩距离1.95 m;补偿速度1.5 m/s;补偿能力 ± 2.25 m。

2.11 保温、保压取样器

天然气水合物是在低温($0 \sim 10^\circ\text{C}$)、高压(> 10 MPa)并有充足烃类气体连续补给和水参与下形成的一种矿物。所以在常温常压条件下极易挥发,要保持天然气水合物的原状样品,必须设计保温保压的取样钻具。

该类型取样器设计的关键技术是取样管的密封机构。大致有2种:(1)球阀密封机构;(2)翻板式密封机构。

2.11.1 球阀密封机构(图10)

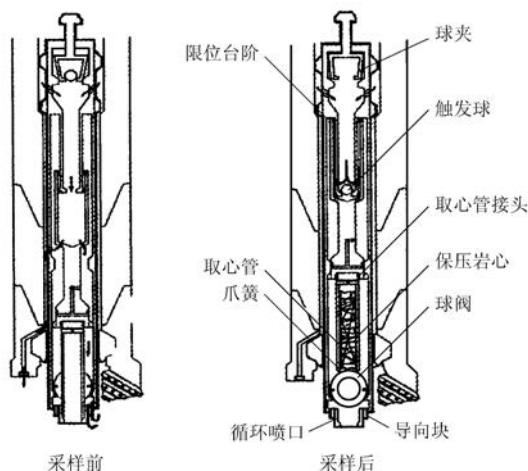


图10 球阀式保压取样器

该类型密封机构,有以深海钻探计划(DSDP)为代表的PCB保压取样器和大洋钻探计划(ODP)的PCS保压取样器。两种取样器在大洋深处多次取出了天然气水合物,但也暴露出不少问题,如球阀关闭不严,难以保证样品腔中的压力。球阀关闭动作失败,样品无法保压甲烷气体大量流失,无法获取保真样品;球阀机构占据内筒中较大的空间,取出的样品直径较小($\varnothing 42$ mm),影响样品的代表性。

2.11.2 翻板式密封机构(图11)

该类型密封机构,以辉固公司开发的FPC取样器和德国柏林科技大学与克劳斯塔技术大学联合研制的保压取样器为代表,取样直径较大,分别为58和50 mm;保压能力达25 MPa;翻板的打开和关闭

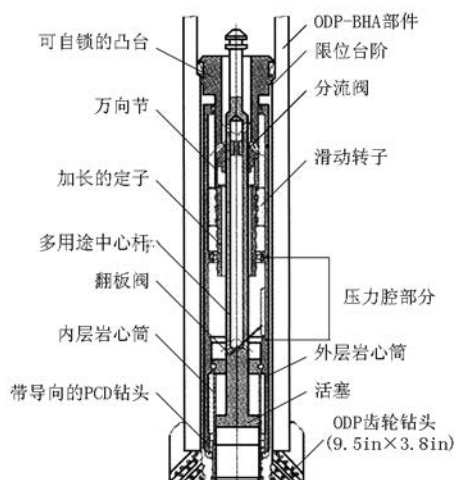


图11 翻板式保压取样器

比较灵活、可靠。

通过两种密封机构的对比可发现,近来设计和研制的保压取样器性能较好,取出的样直径大、压力保持可靠,机构开关灵活,翻板占据内筒的空间较小。下一步设计保压取样器以采用翻板结构为好,再辅之以冲击器、螺杆钻等孔底动力效果更好。

2.12 环保低温泥浆的设计

海洋钻探中对泥浆的要求很严格。首先是要符合环境保护的标准,绝对不能污染海洋。另外,在天然气水合物采样过程中要求低温的泥浆,维持天然气水合物原生的状态,否则影响天然气水合物的评价。

2.12.1 环保泥浆

主要包括环保型泥浆材料生物毒性检测方法及标准的研究,优质环保处理剂的研制或遴选以及环保型泥浆体系配方的试验研究。

2.12.2 低温泥浆

首先将常温泥浆通过船上的冷却系统,使泥浆冷却到一定的温度,例如 -2°C 。所用泥浆材料为能耐 -15°C 的低温聚合物泥浆,泥浆进口温度为 -2°C 。

所用装置为:制冷机组、载冷剂箱、换热器和温度计等。

3 结语

海洋深水天然气水合物钻探取样,是一个庞大的系统工程,也是多个学科交叉的工程,从自动动力定位的船、自动补偿的钻机、随钻取样的高强度钻杆、自动移摆钻杆系统、自动补偿的海底基盘,自动补偿的绳索绞车、保压取样器及抗涡动钻头等,皆是创新性的研究内容,是对我们钻探界一个新的挑战。我们应勇敢接受“下海工程”的挑战,尽快研制海洋深水钻探设备,为使我国从海洋大国走向海洋强国奠定物质条件,早日实现中国海洋强国梦。

参考文献:

- [1] 左汝强,李常茂,赵尔信,等.国际海洋科学钻探进展[Z].北京:国土资源部咨询研究中心,2005.
- [2] 赵尔信,蔡家品,贾美玲,等.海洋深水工程钻探技术[A].第十六届探矿工程论文集[C].北京:地质出版社,2011.438-442.
- [3] 阮海龙,沈立娜,等.海底沉积地层保真取样钻具的设计与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(2):12-14.
- [4] 张永勤,孙建华,赵洋涛,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.
- [5] 蒋国盛,等.天然气水合物的勘探与开发[M].湖北武汉:中国地质大学出版社,2002.
- [6] 郭威,孙友宏,陈晨,等.天然气水合物孔底冷冻取样技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程)2009,36(S1):147-151.