

# 我国深海钻探重入钻孔技术优选及设计思路

熊亮<sup>1</sup>, 谢文卫<sup>1,2</sup>, 卢秋平<sup>1</sup>, 朱芝同<sup>2</sup>, 刘晓林<sup>2</sup>

(1.中国地质调查局广州海洋地质调查局, 广东 广州 517000; 2.中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000)

**摘要:**深海钻探通常采用无隔水管开路钻进,当更换钻头或钻具,测井、处理孔内事故等情况时,需要起下钻后重新进入原钻孔,此过程称为重入钻孔。由于钻探船与海底孔口有数千米的水体相隔,受海浪和洋流作用,钻探船动荡不稳,钻杆柱摇摆不定,要想重新进入原钻孔并非易事。本文通过广泛调研,对海底基盘、声呐重入系统、水下电视重入系统及无人遥控潜水器(ROV)等目前几种常见的重入钻孔技术进行了详细介绍,对各种技术的优缺点进行了综合对比,优选了水下电视重入系统作为我国深海钻探重入钻孔技术方案,初步提出了技术设计思路,为样机研发和工艺制定奠定了基础。

**关键词:**深海钻探;重入钻孔技术;水下电视;重入锥;跟管钻进下套管

**中图分类号:**P634 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2020)07-0001-07

## Optimization and design approach for deep-sea drilling well reentry technology in China

XIONG Liang<sup>1</sup>, XIE Wenwei<sup>1,2</sup>, LU Qiuping<sup>1</sup>, ZHU Zhitong<sup>2</sup>, LIU Xiaolin<sup>2</sup>

(1.Guangzhou Marine Geological Survey, CGS, Guangzhou Guangdong 517000, China;  
2.Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

**Abstract:** Riserless drilling is usually used in deep sea drilling. For change of the drill bit or the bottom hole assembly, logging or dealing with the incident in the hole, it is necessary to trip out the drilling string and then get it back into the original hole, and this process is called "well reentry". Because the drilling vessel is separated from the submarine wellhead by water for several kilometers, it is unstable with the drill string swinging due to the waves and ocean currents. It is not easy to reenter the original hole. Through extensive investigations, this article introduces several common reentry drilling technologies at home and abroad in detail, compares the advantages and disadvantages of different technologies, optimizes the underwater television reentry drilling technology. The design approach for deep-sea drilling well reentry technology is put forward, laying the foundation for development of the prototype and reentry process.

**Key words:** deep-sea drilling; reentry technology; underwater television; reentry cone; casing while drilling

## 0 引言

大洋钻探是迄今为止深海研究领域乃至整个地球系统科学研究史上,规模最大、历时最长的国际合作项目。自 1968 年美国“挑战者号”钻探船在墨西哥湾开展深海钻探开始,50 多年来,大洋钻探的工程规模和技术水平不断攀升,迄今为止,在全球各大

洋已施工钻孔 3700 余个,取心 40 余万米,开辟了探索地球深部奥秘的有效途径,推动了地球系统科学革命性进步<sup>[1]</sup>。

通过查阅大洋钻探相关资料,截至 2019 年 4 月,大洋科学钻探的一些施工纪录见表 1,这些纪录反映了当前世界大洋钻探施工能力和技术水平<sup>[2-16]</sup>。

**收稿日期:**2020-05-20; **修回日期:**2020-06-23 **DOI:**10.12143/j.tkgc.2020.07.001

**基金项目:**自然资源部中国地质调查局项目“深海钻探技术与工程支撑(广州海洋地质调查局)”(编号:DD20190584);南方海洋科学与工程广东省实验室(广州)重大专项团队项目“天然气水合物钻采船单筒双井及大洋钻探技术研究”(编号:GML2019ZD0504);2019 年省级促进经济发展专项资金(海洋经济发展用途)项目“天然气水合物先导区建设与资源区块优选”(编号:GDME-2018D001)

**作者简介:**熊亮,男,汉族,1983 年生,工程师,地质工程专业,硕士,主要从事大洋钻探技术研究工作,广东省广州市黄埔区南岗广海路 188 号大院办公区,36.8du@126.com。

**引用格式:**熊亮,谢文卫,卢秋平,等.我国深海钻探重入钻孔技术优选及设计思路[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(7):1-7.

XIONG Liang, XIE Wenwei, LU Qiuping, et al. Optimization and design approach for deep-sea drilling well reentry technology in China [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(7):1-7.

表1 大洋科学钻探钻进施工纪录  
Table 1 Records of Ocean Scientific Drilling Project

项目	记录数据/m	水深/m	备注
最大钻进施工水深	7044	7044	“挑战者号”钻探船, DSDP 第 60 航次, 钻孔 461A, 1978 年, 南菲律宾海
最大重入钻孔水深	6928.5	6928.5	“地球号”钻探船, IODP 第 343 航次, 2012 年 5 月 5 日, 日本八户市近海
最大钻进总深度	7752.31	6883.5	“地球号”钻探船, IODP 第 343T 航次, 2012 年 6 月 12 日, 日本八户市近海
最大洋底钻进深度	3262.5(计划 5200)	1939	“地球号”钻探船, IODP 第 358 航次, 2019 年 3 月 31 日, 日本南海海槽
最大洋底取心深度	2848.5	1939	“地球号”钻探船, IODP 第 358 航次, 2019 年 3 月 31 日, 日本南海海槽
最大取心钻进深度	7734	6889.5	“地球号”钻探船, IODP 第 343 航次, 2012 年 5 月 22 日, 日本八户市近海
最长的基岩进尺	1841(孔深 2111)	3474	“决心号”钻探船, 印度洋钻孔 504B, 共钻进 7 个航次
最多的重入钻孔次数	98 次	3474	“决心号”钻探船, 印度洋钻孔 504B, 共钻进 7 个航次
最大隔水管应用深度	2054	2054	“地球号”钻探船, IODP 第 319 航次, 2009 年 5 月至 8 月, 日本南海海槽

资料显示,大洋科学钻探普遍采用无隔水管开路钻进,隔水管钻进总进尺不到大洋钻探总进尺的2%。日本“地球号”虽具备隔水管钻进能力,但仍以无隔水管开路钻进为主。大洋钻探史上著名的504B钻孔,共钻进7个航次,终孔深度2111m,是目前为止采用无隔水管开路钻进施工最深的钻孔,其基岩进尺1841m,重入钻孔达98次之多。因此研究开发深海钻探重入钻孔技术是非常必要的。

## 1 目前重入钻孔技术形式分析

重入钻孔技术的主要作用:(1)更换钻头;(2)更换底部钻具组合;(3)下套管;(4)下入全尺寸测井仪器;(5)下入和回收井下测量仪器;(6)处理井下事故等。由此可见,采用无隔水管开路钻进重入钻孔是一项必不可少的关键技术。为解决重入钻孔问题,IODP 相关组织研发的一种重入钻孔系统,已应用的最大水深达6928.5m。

根据调研,目前国内外采用的重入钻孔技术主要有以下4种:海底基盘、声呐重入系统、水下电视重入系统及无人遥控潜水器。

### 1.1 海底基盘

海底基盘是海洋工程勘察船普遍采用的一种钻孔重入方式,是其钻井系统关键装备之一。海洋工程勘察作业时,通常将海底基盘预置于海底目标位置以便固定井口,在作业过程中用于固定和夹持钻杆柱,避免海流作用引起钻杆柱摆动或者上下窜动;起下钻时,用于导引钻具(含钻头)进入井口;取样时为取样钻具提供支撑和反作用力<sup>[17-18]</sup>。

#### 1.1.1 海底基盘空间结构

勘察船钻井系统空间结构如图1所示,主要由勘察船、钻井系统、钻具、海底基盘等组成。海底基盘如图2所示,非作业期间放置于甲板月池门上,作

业时自甲板下放安装到海底泥面。

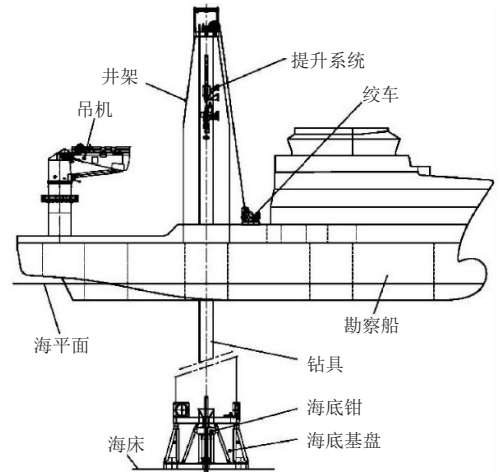


图1 勘察船钻井系统结构示意图

Fig.1 The survey ship drilling system structure

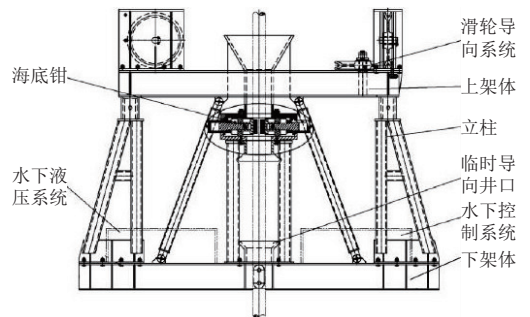


图2 海底基盘结构示意图

Fig.2 The subsea base structure

#### 1.1.2 海底基盘主要组成

海底基盘主要由水下液压系统、控制系统、导向系统、海底钳及以井口为中心对称布局的空间塔形钢架等组成。

#### 1.1.3 海底基盘典型案例

以荷兰辉固国际集团 VOYAGER 钻探船配备海底基盘(图3)为例。



图 3 VOYAGER 钻探船海底基盘外观示意  
Fig.3 VOYAGER drill ship subsea base

VOYAGER 海底基盘主要特点:

- (1)海底基盘主体尺寸  $3\text{ m} \times 3\text{ m} \times 4\text{ m}$ , 水下重 14 t。
- (2)海底基盘采用天车滑轮框架下放, 实测下放速度约 420 m/h。
- (3)海底基盘设置基座方向 HDG, 可以通过 DP 定位维持船首向与海底基盘方向一致, 避免基盘钢丝绳与铠装缠绕。
- (4)海底基盘设置水平仪监测, 监测井口稳定与不均匀沉降, 避免海底不平整影响基盘安放问题。
- (5)海底基盘设置温度、甲烷、 $\text{CO}_2$  等监测仪器, 随时监测浅层气与水合物气溢出井口情况 (见图 4)。



图 4 海底基盘液压钳与多种监测器

Fig.4 Subsea base hydraulic wrench and various monitors

- (6)海底基盘设置 2 组可视摄像, 实时传输海底影像 (见图 5)。一组用于俯视观察井口情况, 一组仰视用于观察钻头导向框架辅助钻头重入井口。

- (7)海底基盘设置液压钳 (SEACLAM 系统),



图 5 海底基盘可视摄像系统画面传输至甲板

Fig.5 Transmission of the subsea base visual camera images to the deck

开钻机被动补偿, 采用液压钳夹紧钻杆, 可以保持钻杆静止, 避免受涌浪及海流影响, 适合 PCPT 原位测试贯入作业、FHPC 活塞压入和 FC 液动锤振击取心作业。

(8)可用于稳定井口, 提供活塞压入取心和原位测试贯入的反作用力。

#### 1.1.4 海底基盘重入系统

海底基盘下放有 2 种方式: 一种是先下钻后下放海底基盘, 即在钻台上先将钻具穿过海底基盘导向“喇叭”口, 然后下钻, 最后通过基盘绞车将海底基盘沿着钻柱下放至海底; 另一种是先下放海底基盘后下钻, 即先将海底基盘下放至海底, 然后通过配套导向框架, 在两根基盘绞车钢丝绳的导引下下钻, 当导向框架座于海底基盘预定位置后, 钻具顺利穿过基盘导向“喇叭”口。海底基盘的作用之一即是钻孔定位, 施工过程中一旦海底基盘发生故障需要回收时, 为保证孔内安全通常需要将钻头提离孔底一定高度, 但不能离开海底孔口, 以保证海底基盘维修后复位, 一旦提离孔口就很难重入原钻孔。

#### 1.2 声呐重入系统

深海钻探计划 DSDP 最初是由美国国会和国家科学基金会特许的一项沉积物取心计划, 当初并未对钻孔重入能力作出要求。后来的事实表明, 单只钻头往往无法完成科学钻探和取样目标, 因此需要开发一套重入钻孔技术和配套工具<sup>[19]</sup>。

深海钻探计划 DSDP 首套重入钻孔系统采用声呐技术 (图 6), 该系统的核心为 EDO 西部公司生产的高分辨率扫描声呐, 重入作业时利用测井电缆下放, 扫描声呐可通过钻柱并穿过取心钻头对目标进行“扫描”, 重入锥上设有固定的声呐反射器, 扫描声呐不断发出声波波束并接收来自声呐反射器的回声信号, 最终确定钻柱与重入锥之间的位置关系, 可利



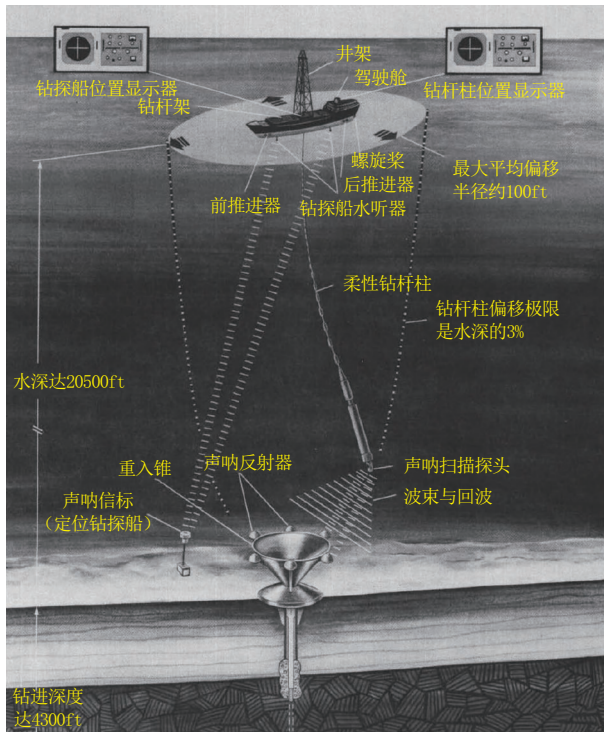


图6 DSDP 动力定位与声呐重入系统

Fig.6 DSDP dynamic positioning and sonar reentry system

用底部钻具上的水力喷射推动钻头进入重入锥,也可利用钻探船上的动力定位系统实现重入。

应该说声呐重入系统是成功的,但重入锥发出的声呐反射有时会有误差,这样就会浪费一些作业时间。IODP 至今仍然保留着声呐重入技术(Meso-tech)作为备用,但由于水下电视已非常成熟且高效,因此多年来一直很少使用甚至根本不用。

### 1.3 水下电视重入系统

大洋钻探计划 ODP 时期,随着水下摄像技术的发展,新增了水下电视观测代替了声呐扫描定位,实现了海底作业可视化,大幅提高了重入精度和速度。水下电视重入系统主要包括防震水下电视与重入锥套管系统两部分,详见图 7。

#### 1.3.1 防震水下电视

防震水下电视主要用于对重入过程进行观测,实现作业可视化。通常将水下电视和照明灯安装到位于钻柱外部的专用滑车上,通过专用脐带缆和绞车收放。具体重入过程是:首先利用声呐对摄像范围以外的物体(如重入锥等)进行初步定位;钻孔初步定位以后,在照明条件下,通过测距相机对钻柱和钻探船进行定位;最后利用检查相机通过平移、倾斜和变焦等动作指导钻柱重入钻孔。检查相机还可用

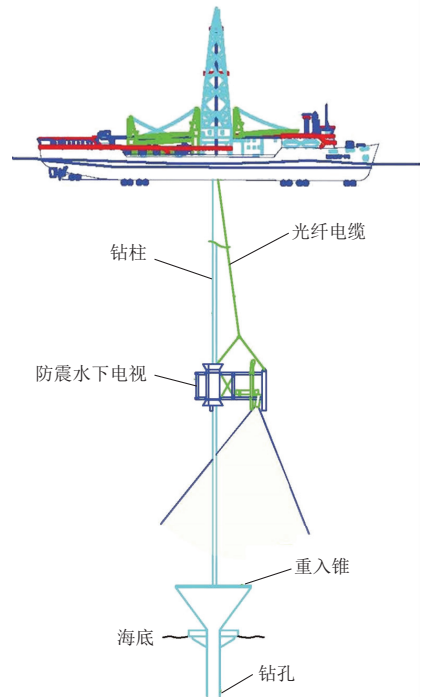


图7 防震水下电视重入钻孔示意

Fig.7 Reentry drilling by the vibration isolated underwater TV

于海底探测、检测机械设备、定位通信电缆等<sup>[19]</sup>。

防震水下电视主要组成有:(1)水下照明灯;(2)标清黑白测距相机;(3)高清彩色检查相机;(4)平移及倾斜装置(彩色摄像机);(5)遥测系统;(6)单轴光纤陀螺仪;(7)声呐头;(8)脐带电缆。

#### 1.3.2 重入锥套管系统

声呐重入过程中海底钻孔孔口是不可见的,水下电视却可以发现钻孔,但是由于孔口目标太小,很难远程操纵钻杆找到孔口并实现重入,于是设计了重入锥以解决这两个问题。重入锥可作为声呐扫描的大型目标,并且很容易通过水下电视观察到。此外,结构上重入锥由泥垫和一段短的过渡套管构成,如图 8 所示,该过渡套管使重入锥锥体与井眼对准并使其在水平和垂直方向上固定于松软的沉积物中。重入锥和过渡套管还为套管悬挂器提供支撑,从而使套管柱可以稳定悬挂于海底<sup>[19]</sup>。

重入锥套管系统是一种永久性的海底装置,能够支持多级套管柱,这些套管柱可将未固结的沉积层隔离开,以便进行深部取心或其他作业。

### 1.4 无人遥控潜水器

无人遥控潜水器(ROV)是深海探测重要装备之一,自问世以来,因其具有安全、高效、经济和作业深度大等诸多优点得到广泛应用。ROV为无人有

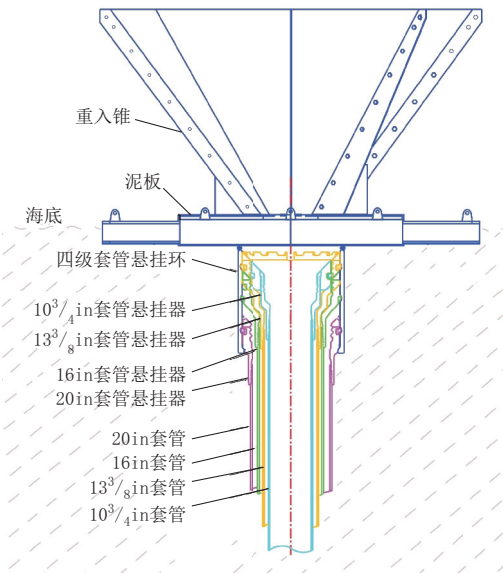


图 8 重入锥套管系统示意

Fig.8 The reentry cone casing system

缆系统,不同于载人潜水器,它主要通过脐带缆与母船相连,脐带缆既传输电力又传递信息,母船作业人员可通过安装在 ROV 上的摄像机实时观察到海底状况,并通过脐带缆远程遥控 ROV 及多功能机械手、作业工具等,从而实现水下作业。

ROV 的应用几乎贯穿于海洋石油工业各阶段,从海洋地质调查到勘探,从采油生产到采油设施的检查维保。常见作业内容包括:(1)寻找井口;(2)寻找丢失到海底的工具;(3)观察防喷器 BOP 水平仪;(4)协助平台测量井口深度;(5)导引钻杆、套管重入井口等<sup>[20]</sup>。

#### 1.4.1 国外 ROV

1990 年日本海洋科技中心研制成功“海沟”号无人潜水器(见图 9),长 3 m,重 5.4 t,装备有水下摄像机、声呐系统和一对采样机械手。“海沟”号 ROV 曾下潜至马里亚纳海沟最深处,创造了下潜深度 11028 m 的世界纪录。不过 2003 年,在一次下潜作业过程中该 ROV 不慎因电缆断裂而丢失<sup>[21]</sup>。

#### 1.4.2 国产 ROV

“海马”号是我国首台自主研发国产化率达 90% 的深海作业级 ROV,其工作水深和系统规模均保持国内领先水平。“海马”号 ROV 装备有先进的水下摄像和声呐系统及多功能机械手,并配备可更换、多功能的水下作业基盘,具有水下摄像、照相、定位、取样及布放海底观测网等功能<sup>[22-25]</sup>。“海马”号 ROV 本体主要配置详见表 2。



图 9 日本“海沟”号 ROV

Fig.9 Japan's "KAIKO" ROV

表 2 “海马”号 ROV 本体主要配置

Table 2 Main configuration of "Haima" ROV

设备名称	实际配置类型	数量	单位
水下摄像机	微型彩色摄像机	4	台
	广角彩色摄像机	2	台
	变焦彩色摄像机	1	台
	高清彩色摄像机	1	台
水下照明灯	50 W LED 灯	3	只
	200 W 卤素灯	4	只
	400 W HMI 照明灯	2	只
机械手	7 功能机械手	1	只
	5 功能机械手	1	只
云台	云台	1	套
声呐	声呐系统	1	套
深度计	深度计	1	套
高度计	高度计	1	套
罗经	罗经	1	套
ROV 水面集中	20 ft 控制集装箱	1	只
控制系统	ROV 控制系统	1	套

## 2 重入钻孔技术优选

根据以上的分析,对比海底基盘、声呐重入系统、水下电视重入系统和无人遥控潜水器等 4 种重入钻孔技术的作业特点(见表 3)。

通过对上述 4 种重入钻孔技术综合比较,结合我国深海(大洋)钻探施工钻深 11000 m、重入钻孔次数多、时效和精度高、作业成本低、可靠性好等要求,优选将水下电视重入钻孔技术作为我国深海钻探工程施工首选。

## 3 水下电视重入钻孔技术设计思路

水下电视重入钻孔技术在大洋钻探中已应用多年,具备良好的技术基础,但该技术还存在一些明显

表3 4种重入钻孔技术优缺点对比

Table 3 Comparison of advantages and disadvantages between the four reentry drilling technologies

重入技术类别	优点	缺点	常见故障(事故)
海底基盘	(1)除观测海底外可进行多种参数海底监测;(2)可辅助完成多种水下作业,如CPT原位测试及取心等	(1)占用空间大;(2)需配套专用基盘绞车;(3)下放、回收稳性要求高,费时长	(1)电力、通信故障;(2)海底不平会影响正常作业,严重时甚至造成卡钻
声呐	(1)占用空间小;(2)使用取心绞车即可,无需单独配备绞车;(3)一次性投入少,使用成本低;(4)下放、回收速度快	(1)非可视化操作较复杂,不直观;(2)声呐扫描定位误差大;(3)重入作业效率低;(4)无法进行复杂的水下作业	(1)下放扫描声呐时电缆易在钻具内台阶处堆积遇阻被卡;(2)回收扫描声呐时易遇阻拉断电缆引起事故
水下电视	(1)占用空间小;(2)使用取心绞车即可,无需单独配备绞车;(3)一次性投入少,使用成本低;(4)实现可视化作业;(5)下放、回收速度快;(6)精度高,重入效率高;(7)故障率低,可靠性好	仅可以观测,无法进行复杂的水下作业	(1)电力、通信故障;(2)脐带缆缠绕结节
无人遥控潜水器	(1)适用范围广;(2)既可观测,又可进行复杂的水下作业	(1)一次性投入大;(2)占用空间大;(3)需配套专用绞车;(4)下放、回收耗时长;(5)作业成本高;(6)操作难度大	(1)电气接插件密封失效导致潜水器失电;(2)脐带缆缠绕结节;(3)脐带缆受力复杂易损坏造成ROV丢失

不足和缺陷,在吸收借鉴大洋钻探优秀技术成果基础上,可以从以下几个方面对其加以改进和完善。

(1)针对水深或流速较大的海域,底部钻柱可能产生较大的侧向位移给定位带来较大困难,可在防震水下电视系统上安装信标、深度计及离底高度计等,这样就可以随时掌握防震水下电视的精确位置,大幅提高重入效率。

(2)针对水下电视重入系统易出现电力、通信故障,脐带缆易缠绕结节等问题,可考虑采用无缆方式。主要设计思路是:水下电视系统仍套装于钻柱外围,下放和回收通过一组小型推进器(自带动力)完成,水下电视系统配备电池组用于给照明、摄像、声呐及云台控制系统等供电,各种数据信号则采用无缆传输,利用水声通信完成。

#### 4 总结

重入钻孔系统作为深海钻探核心技术之一,不仅能够指导钻头重入钻孔继续钻进,还能够标记海底钻孔并提高钻孔稳定性,为实现深部取心、测井等作业提供支持。此外,也可以根据需要在下有套管的遗留钻孔实现重入并继续加深钻孔、取样或增设长期观测站等,为推进深海探测提供强有力支撑。通过对国内外几种常见的重入钻孔技术综合对比,优选将水下电视重入系统作为我国深海钻探工程首选,在吸收借鉴大洋钻探技术基础上,对其结构和信号传输方式等加以改进和完善,最终形成我国深海钻探重入钻孔技术。目前我国该技术领域尚属空白,需要工程技术人员加大攻关力度,尽快完成样

机研发和工艺制定,为我国自主实施深海钻探工程提供技术支持和储备。

#### 参考文献(References):

- [1] 轩召强.《大洋钻探五十年》在沪首发:南海最老洋壳钻探成功[EB/OL]. [2018-12-06]. [https://www.sohu.com/a/280031250\\_100114057](https://www.sohu.com/a/280031250_100114057).  
XUAN Zhaoqiang. "Fifty Years of Ocean Drilling" premiered in Shanghai: The oldest ocean shell in the South China Sea successfully drilled[EB/OL]. [2018-12-06]. [https://www.sohu.com/a/280031250\\_100114057](https://www.sohu.com/a/280031250_100114057).
- [2] 叶建良,张伟,谢文卫.我国实施大洋钻探工程的初步设想[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(2):1-8.  
YE Jianliang, ZHANG Wei, XIE Wenwei. Preliminary thoughts on implementation of the ocean drilling project in China[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(2):1-8.
- [3] 王达,赵国隆,左汝强,等.地质钻探工程的发展历程与展望——回顾探矿工程事业70年[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(9):1-31.  
WANG Da, ZHAO Guolong, ZUO Ruqiang, et al. The development and outlook of geological drilling engineering—To review the 70th anniversary of exploration engineering[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(9):1-31.
- [4] 王世栋,田烈余,王俊珠,等.海洋地质十号船钻探系统及其在海洋地质调查中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(2):24-29.  
WANG Shidong, TIAN Lieyu, WANG Junzhu, et al. Drilling system on Marine Geology-10 Ship and its application in marine geological survey[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(2):24-29.
- [5] 王德,谢文卫,张伟,等.RMR技术在海域天然气水合物钻探中的适应性分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(2):17-23.



- WANG Cai, XIE Wenwei, ZHANG Wei, et al. Adaptability of RMR for marine gas hydrate drilling[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(2): 17—23.
- [6] 秦如雷, 许本冲, 王嘉瑞. 海洋钻井钻柱升沉补偿系统分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2019, 46(1): 22—27.  
QIN Rulei, XU Benchong, WANG Jiarui. Analysis of drill string compensation system for offshore drilling[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(1): 22—27.
- [7] 赵尔信, 蔡家品, 贾美玲, 等. 我国海洋钻探技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(9): 43—48, 70.  
ZHAO Erxin, CAI Jiapin, JIA Meiling, et al. Marine drilling technique in China[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014, 41(9): 43—48, 70.
- [8] DSDP Phase: Glomar Challenger[DB/OL]. [http://www.iodp.tamu.edu/publicinfo/glomar\\_challenger.html](http://www.iodp.tamu.edu/publicinfo/glomar_challenger.html).
- [9] ODP legs 100—210 general information[DB/OL]. <http://www.odp.tamu.edu/index.html>.
- [10] Completed Integrated Ocean Drilling Program Expeditions. Oct. 2017[DB/OL]. <http://www.iodp.org/expeditions/completed-integrated-ocean-drilling-program-expeditions>.
- [11] Final Report of Deep Crustal Drilling Engineering Working Group[DB/OL]. [http://iodp.tamu.edu/publications/JRSO/DCDEWG-Final-Report\\_2017.pdf](http://iodp.tamu.edu/publications/JRSO/DCDEWG-Final-Report_2017.pdf).
- [12] Peterson M N A, MacTernan F C. DSDP OPERATIONS RE—SUMES LEG 55 through LEG 70, Mar. 1980[DB/OL]. [http://deepseadrilling.org/trepts/TRNOTE\\_11.PDF](http://deepseadrilling.org/trepts/TRNOTE_11.PDF).
- [13] Chester F M, Mori J J, Toczko S, et al. Japan Trench Fast-Drilling Project (JFAST). IODP Expedition 343/343TPreliminary Report, Oct. 2012[DB/OL]. [http://publications.iodp.org/preliminary\\_report/343343T/343343TPR.PDF](http://publications.iodp.org/preliminary_report/343343T/343343TPR.PDF).
- [14] Tobin H, Hirose T, Saffer D. NanTroSEIZE plate boundary-deep riser 3. Integrated Ocean Drilling Program Expedition 348 Preliminary Report, Aug. 2014[DB/OL]. [http://publications.iodp.org/preliminary\\_report/348/348PR.PDF](http://publications.iodp.org/preliminary_report/348/348PR.PDF).
- [15] Alt J C, Kinoshita M. OCEAN DRILLING PROGRAM LEG 148 PRELIMINARY REPORT HOLE 504B, Apr. 1983 [DB/OL]. <http://www.odp.tamu.edu/publications/prelim/148PREL.PDF>.
- [16] Saffer D, McNeill L, Araki E, et al. NanTroSEIZE Stage 2: NanTroSEIZE riser/riserless observatory. Integrated Ocean-Drilling Program Expedition 319 Preliminary Report, Nov. 2009[DB/OL]. [http://publications.iodp.org/preliminary\\_report/319/319PR.PDF](http://publications.iodp.org/preliminary_report/319/319PR.PDF).
- [17] 陈雪娟, 王璐, 杨红刚, 等. 3000m 海洋水下勘察基盘研制概要  
与试验[J]. 石油矿场机械, 2018, 47(5): 14—19.  
CHEN Xuejuan, WANG Lu, YANG Honggang, et al. Development and application of subsea base template for underwater exploration[J]. Oil Field Equipment, 2018, 47(5): 14—19.
- [18] 杨红刚, 陈雪娟, 刘小卫, 等. 水下勘察基盘用海底钳系统设计与分析[J]. 石油机械, 2011, 39(10): 45—48.  
YANG Honggang, CHEN Xuejuan, LIU Xiaowei, et al. The design and analysis of the seafloor template pliers[J]. China Petroleum Machinery, 2011, 39(10): 45—48.
- [19] Greg Myers. IODP drilling and coring technology[M]. Houston: Stress Engineering Services, Inc., 2009: 151—157.
- [20] 徐国, 毛砚辉, 于跃, 等. 浅谈有缆水下机器人在海洋石油工业中的应用[J]. 电子世界, 2014(2): 102.  
XU Guo, MAO Yanhui, YU Yue, et al. Application of underwater cable robots in the offshore oil industry[J]. Electronics World, 2014(2): 102.
- [21] 任玉刚, 杨磊, 丁忠军, 等. JAMSTEC 运行管理与装备发展现状分析与启示[J]. 海洋技术学报, 2018, 37(4): 109—118.  
REN Yugang, YANG Lei, DING Zhongjun, et al. Analysis on the operating management and equipment R & D in Japan Marine Science and Technology Center (JAMSTEC): Status and implications[J]. Journal of Ocean Technology, 2018, 37(4): 109—118.
- [22] 连琰, 马厦飞, 陶军. “海马”号 4500 米级 ROV 系统研发历程[J]. 船舶与海洋工程, 2015, 31(1): 9—12.  
LIAN Lian, MA Xiafei, TAO Jun. R & D process of 4500m ROV system “Hai Ma”[J]. Naval Architecture and Ocean Engineering, 2015, 31(1): 9—12.
- [23] 陶军. 大洋深处强国梦——我国首台 4500 米级无人遥控潜水器“海马号”[J]. 国土资源科普与文化, 2016(1): 13—19.  
TAO Jun. A dream of China has come into being—the first 4500m class unmanned remote control submersible “Haima” in China[J]. Scientific and Cultural Popularization of Land and Resources, 2016(1): 13—19.
- [24] 陶军, 陈宗恒. “海马”号无人遥控潜水器的研制与应用[J]. 工程研究—跨学科视野中的工程, 2016, 8(2): 185—191.  
TAO Jun, CHEN Zongheng. Development and application of HAIMA (ROV)[J]. Journal of Engineering Studies, 2016, 8(2): 185—191.
- [25] 陈宗恒, 田烈余, 胡波, 等. “海马”号 ROV 在天然气水合物勘查中的应用[J]. 海洋技术学报, 2018, 37(2): 24—29.  
CHEN Zongheng, TIAN Lieyu, HU Bo, et al. Application of “HAIMA” ROV in gas hydrates exploration[J]. Journal of Ocean Technology, 2018, 37(2): 24—29.

(编辑 韩丽丽)