

深水急紊流区水上钻探关键技术研究与应用

牛美峰, 陈 斌, 叶晓平, 黄柳松, 刘 安

(浙江华东岩土勘察设计研究院有限公司, 浙江杭州 310030)

摘要:水上钻探由于受水深、离岸距、风浪、潮汐等自然条件影响,具有施工难度大、危险系数高、钻探效率低等难点。本文结合某水电站水上勘探工程实例,针对深水急紊流区水上钻探全过程工艺技术展开了研究及总结,对钻探平台舾装规格参数进行了理论分析与计算,完成了适用于急紊流区水上钻探平台的设计、验算及搭建工作,并提出了适用于高流速环境的护孔套管装置及收放工艺,解决了深水高流速条件下套管抗水流冲击能力弱和连接效率低等难题,保证了该地区急紊流水上钻探项目安全顺利实施。研究成果可为不同行业和地区水上钻探提供参考。

关键词:水电工程勘察;水上钻探工艺;水上钻探平台;船舶舾装;护孔套管

中图分类号:P634 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2025)S1-0272-05

Research and application of key technologies for overwater drilling in deep turbulent zones

NIU Meifeng, CHEN Bin, YE Xiaoping, HUANG Liusong, LIU An

(Zhejiang Huadong Geotechnical Investigation and Design Institute Co., Ltd., Hangzhou Zhejiang 310030, China)

Abstract: Due to the influence of natural conditions such as water depth, offshore distance, wind and waves, overwater drilling has difficulties such as high construction difficulty, high risk factor, and low drilling efficiency. This paper combined the overwater exploration project of a hydropower station to conduct research and summary on the entire process drilling technology in deep and turbulent water areas, including the theoretical calculation of drilling platform outfitting specification parameters, also with the platform design, verification, and construction work suitable for overwater drilling in turbulent areas, and proposed a protective casing device and retraction process suitable for high flow velocity environments, which solved the problems of poor water flow impact resistance and low connection efficiency of casing under high flow velocity conditions in deep water. The above technologies ensure the safe and smooth implementation of drilling projects on turbulent water in the region, and the research results can provide a reference for overwater drilling in various industries or regions.

Key words: hydropower engineering investigation; overwater drilling technology; overwater drilling platform; ship outfitting; riser

0 引言

水上钻探也称水域钻探,其施工方法与陆地钻探大体相同,只是由于受施工水域的水深、离岸距、风浪、潮汐等自然条件影响,增加了设备和工艺的复杂性。首先要有一套固定或浮动于水面的平台或船只作施工场地,还需设置从钻机到水底孔口的

特殊装置作为钻具入孔与泥浆循环的隔水通道,并防止水流和水位波动对钻探工作产生影响。在施工过程中,还要相应采用孔位量测、锚泊定位、升沉补偿等一系列特殊工艺措施。较一般陆地钻探施工难度大,且受自然条件各方面的影响较多,如水流速、水位、季节、风浪、气象、潮水等,安全风险高,

收稿日期:2025-05-15; 修回日期:2025-07-02 DOI:10.12143/j.ztgc.2025.S1.042

基金项目:国资委1025专项“海上钻探深孔取样设备研发”(编号:ZKY2023-HDJS-02-16ZC)

第一作者:牛美峰,男,汉族,1983年生,正高级工程师,钻探工程专业,长期从事工程地质钻探技术研究和管理工作,浙江省杭州市西湖区灯彩街321号,niu_mf@hdec.com。

引用格式:牛美峰,陈斌,叶晓平,等.深水急紊流区水上钻探关键技术研究与应用[J].钻探工程,2025,52(S1):272-276.

NIU Meifeng, CHEN Bin, YE Xiaoping, et al. Research and application of key technologies for overwater drilling in deep turbulent zones[J]. Drilling Engineering, 2025,52(S1):272-276.

尤其在深水湍急河段,施工技术难度更大,须采取特殊的施工工艺和技术措施。如何在保证钻探施工作业中人员及机械设备的安全、钻探质量、钻探进度的同时控制成本,水上移动钻探平台设计和护孔套管的选型尤为重要^[1-10]。

本文以实际工程勘察项目为背景,重点围绕水上钻探平台设计和护孔套管选型等关键环节展开探讨,对钻探平台舾装规格参数进行了计算验证,开展了急紊流区水上钻探平台的设计、验算及搭建工作,并提出了适用于高流速环境的护孔套管装置及收放工艺,保证了该钻探项目安全顺利实施。

1 项目概况

工程区所在的湄公河流域6—11月为雨季,流速大于5 m/s,水流流态紊乱且有漩涡,12—5月为枯水期,深水区水深20~70 m,实际水流流速1.5~3.0 m/s,局部流速可达4 m/s^[11]。经现场实地踏勘,区域水深20~30 m,最大水流3.0 m/s,存在大量漩涡,漩涡顺流而下不断变化。其中河床面宽度最大约380 m,最小约260 m。深水急流区底部覆盖层以砾卵石层,松散-稍密,次圆-圆状,母岩成份为安山岩、角砾岩等;基岩为安山岩,青灰-灰色,抗压强度较高,属中硬岩,节理发育,岩体较破碎。本次项目水上钻探工作量合计210 m左右,详见表1及图1。

表1 钻探工程量及相关地质条件

孔号	设计孔深/m	预计水深/m	地质条件
SZK14	70	30	表层卵石层厚3 m左右,下部安山岩;预计水流流速2.5 m/s,浪高<0.2 m
SZK15	70	35	
SZK16	70	35	



图1 深水急流区水上钻孔布置示意

2 钻探平台及设备研究

2.1 锚泊设备舾装数计算

舾装数计算是否合理影响系泊设备选择,由于

外载荷(风、浪、水流等)等各类原因,系泊和锚泊设备需具有足够的安全性,系泊和锚泊安全性能决定着整条钻探船的安全^[12]。根据《钢质海船入级规范》,选取锚泊设备时舾装数 N 按下式计算:

$$N = \Delta^{\frac{2}{3}} + 2(Bh + S_{\text{fun}}) + \frac{A}{10} \quad (1)$$

式中: Δ ——夏季载重水线下的型排水量,t; B ——船宽,m; h ——夏季载重水线到最上层舱室顶部的有效高度,m; S_{fun} ——烟囱有效正投影面积, $S_{\text{fun}}=0$; A ——侧投影面积, m^2 。

$$\Delta = \rho LTB \quad (2)$$

式中: ρ ——水的密度, t/m^3 ; L ——船长,m; T ——夏季吃水深度,m; B ——船宽,m。

本项目所采用的钻探船相关参数为: $L=36$ m, $T=0.7$ m, $B=9.5$ m。计算得到钻探船型排水量: $\Delta=239.4$ t。

$$h = a + \sum h_i \quad (3)$$

式中: a ——船中夏季载重水线至上甲板的距离; $\sum h_i$ ——各层舱室(宽度大于 $B/4$)在中心线处量计的高度和。

所采用的钻探船相关参数为 $a=2.3$ m, $\sum h_i=2.8$ m。计算得到钻探船有效高度 $h=5.1$ m。

$$A = A_a + A_b + A_d \quad (4)$$

式中: A_a ——夏季载重水线以上的船体部分侧投影面积, m^2 ; A_b ——上层建筑及各层甲板室(宽度大于 $B/4$)侧投影面积, m^2 ; A_d ——可装载最多成套大件和项目设备的侧向迎风面积, m^2 。

钻探船相关参数为 $A_a=82.8$ m^2 , $A_b=22.4$ m^2 , $A_d=0$ m^2 。计算得到钻探船总的侧投影面积 $A=105.2$ m^2 。

综上,将式(2)、(3)、(4)计算结果代入式(1)可得舾装数 $N=146$ 。根据规范可以确定锚泊设备应在舾装数(130,150)范围内选取。具体要求为:首锚数量为2个,每只质量为420 kg,实际按照780 kg选取;相应的锚链按照780 kg选取,CCS1级直径28 mm锚链对应破断负荷321 kN。

2.2 钻探平台

2.2.1 平台设计及验算

参照水电工程钻探规程^[13]要求,水上钻探平台类型选择应满足地质条件和勘探技术要求^[14]。综合分析前期水位与勘查资料,结合项目现场实际情况,选择专用铁驳单船搭建漂浮钻场。根据规程要

求,铁驳船吨位应根据水流速度、钻孔深度,按工作 负荷的5~10倍计算确定,确定的驳船参数见表2。

表2 采用的船舶规格参数表

船型	用 途	数量	长/m	宽/m	高/m	吃水/m	吨位/t	功率/kW
铁驳船	钻探平台	1	36	9.5	3	0.7	500	
拖轮	拖带移位/辅助	2	15	3	2			223.71

2.2.2 作业平台

作业平台尺寸为12 m×6 m,自驳船侧边向外延伸2.6 m,船内长度3.4 m,工字钢间隔1.2 m,延伸面底部再用工字钢斜撑焊接固定,平面木板铺设固定;四周设置高度1.2 m安全防护栏杆。船舶前端抛锚固定,主副锚钢绳连接,平台尾部两侧用两条锚绳固定,保证平台稳定(图2)。



图2 水上钻探作业平台

2.3 抛锚定位方法

抛锚定位作业按以下流程进行:抛主锚→绞紧主锚→抛左前锚和右前锚→绞紧副锚并调整平台至孔位→抛左后锚和右后锚→绞紧后锚确保平台稳定。具体作业过程为:

(1)用两个拖轮推送驳船到预定孔位上游约220 m处,下放主锚至河底,用拖轮辅助驳船缓慢后退至预定孔位,期间开始绞锚,缓慢绞紧,防止因水流速过急主锚走锚发生钢绳崩断或锚机刹车失灵等安全事故,确保驳船在预定孔位处。

(2)主锚抛定后,用一个拖轮扶正驳船,用另一个拖轮(配有1 t柴油机绞锚机)将副锚放置在锚艇上送至锚至驳船以外约180 m处投放,并绞紧,若发生走锚,须起锚并适当调整位置再次抛锚,确保最终能够绞紧。

(3)前锚抛定后,采用抛前锚的方法抛后锚,完成五锚定位。锚定后平台基本保持稳定,潮汐影响可以忽略。

2.4 钻探设备

参照作业孔位孔深和水位情况,从钻机扭矩、

卷扬机起吊能力等方面选择合适的钻探装备。漂浮式钻探平台钻进作业对钻机离合器性能和操作水平要求高,需要通过及时操控离合器缓冲平台浮动带来的冲击。钻机在满足相应扭矩和起吊能力前提下还要离合器操作灵活,因此建议选择XY-2型钻机。其他设备和材料信息见表3。

表3 主要设备材料清单

序号	名 称	单位	型 号	数量	备 注
1	钻机	台套	XY-2型	1	
2	泥浆泵	台	BW150	1	
3	发电机	台	100 kW	1	电动锚机用,配电箱
4	水上平台	艘	36 m×9.5 m×3 m	1	驳船及2条拖船
5	钻塔	付	110加厚型9 m	1	
6	船锚	只	800 kg	3	
7	船锚	只	600 kg	2	
8	电动锚机	只	5 t	5	
9	锚机	只	1 t	2	人工、柴油绞锚机
10	钢丝绳	条	22.5、28 mm	若干	1000 m
11	护管绞机	只	100 kg	4	
12	三角桁架	m	套管	50	
13	槽钢、工字钢	t	≥22型号	5	
14	木板	m ³	650 cm×20 cm×2 cm	72	
15	吊车	辆	15 t	1	用于设备拆装
16	压水试验装置	套	110/91/75 mm	1	
17	半合管钻具	套	110/94 mm	2	
18	套管	m	146/127/108	80	
19	钻杆	m	65	150	

3 钻探施工技术

3.1 护管收放

3.1.1 起吊能力验算

本项目地质资料揭露河床底部初判为裸露基岩,岩层面起伏不平,考虑采用三角桁架式套管。整体形式设计为三角形结构,顶点布设3根内径151.5 mm套管,套管底部加工“锥形”头,便于套管快速固定于基岩河床,并配套了专用三角导向套管架,如图3所示。

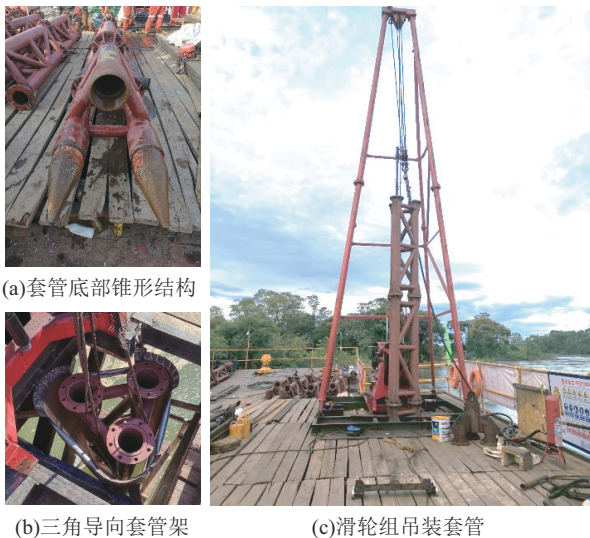


图3 护孔套管下放

3.1.2 收放流程

设计专用套管提升器,并配置绞锚导向扶正绳,保证护孔套管收放垂直度:

(1)下放时,在距离底部3~5 m处连接钢丝绳,利用绞车控制护管在急流及漩涡状态下不发生左右摆动,扶正下送。

(2)计算好钢丝绳的长度,始终保持护管吊绳下入长度和护管拉绳长度相等,确保护管的垂直度,考虑到护管重力随着孔深增大而增加,下管时采用动滑轮或锚机降低设备卷扬机的提升负荷,同时控制上下速度均匀。

(3)护管3个角点为圆柱形套管,其底部口眼用铁皮焊接做密闭处理,待下好后用金刚石钻头钻穿下套管,护管连接处装O形圈密封,必要时可涂防水胶等,确保护管内部不积水,充分利用其浮力减轻重量。

(4)若遇基岩裸露、起伏不平等河床,或钻孔位

置正处于深槽基岩陡坎部位,应首先微调孔位,选择更适宜的套管固定位置,并在护管底部加工锥形触头,确保护管在基岩裸露面附着力均匀稳定。

(5)护管提升回收过程中检查各滑车、绞锚机是否完好,在一定深度时要钻机卷扬机、各护管绞机同时用力提拔;护管离驳船侧面距离控制在20~30 cm左右,防止钻进过程中驳船平台左右晃动碰撞,导致护管断裂或者倾斜影响护管垂直度。

3.2 钻进工艺

3.2.1 钻孔结构设计

根据现场地层初步资料,在覆盖层范围内,拟采取泥浆护壁+套管的护孔工艺。进入基岩采用清水钻进工艺。另外,考虑到水上作业的特殊性和不可预见性,对钻孔孔身结构以及变径深度提出以下总体思路:

(1)采用 $\Phi 146$ mm隔水套管从桁架式套管内部穿过,钻进覆盖层,深度控制在5 m以内。

(2)采用 $\Phi 130$ mm钻头钻穿覆盖层并进入基岩,下入 $\Phi 127$ mm套管,再用 $\Phi 110$ mm钻头钻进3~5 m,视地层情况确定是否下入 $\Phi 108$ mm套管。

(3)采用 $\Phi 94$ mm钻头钻至终孔,备用 $\Phi 75$ mm口径。

3.2.2 取心技术

为了确保地质构造带取心质量,针对破碎岩层常用的取心钻具有 $\Phi 110$ 、 $\Phi 94$ mm口径。SD系列钻具适用于破碎地层的金刚石岩心钻探,配合植物胶类冲洗液可钻取原状岩样,相关参数见表4。

表4 SD系列钻具规格

口 径	内 管	外 管
$\Phi 110$ mm	$\Phi 89$ mm $\times$ 4 mm	$\Phi 102$ mm $\times$ 4.5 mm
$\Phi 94$ mm	$\Phi 77$ mm $\times$ 3.5 mm	$\Phi 89$ mm $\times$ 4 mm

3.2.3 钻进参数及操作要点

鉴于岩层破碎复杂,为确保钻进安全顺利并保证取心质量,确定钻进参数应遵循“中速、低压、小泵量”的原则^[15]。根据不同的钻头直径采用的转速为300~655 r/min,钻压为4~7 kN,泵量为25~40 L/min,钻进过程中根据孔内情况,及时调整钻压、转速,适当控制给进速度。严控以下几个操作环节:

(1)经常检查双管钻具的单动性能,尤其是轴

承的灵活性,及时拆洗涂油,更换密封圈。合理调节内、外管的间隙,在砂、土层中,将卡簧座与钻头间隙增大到8~10 mm,以防止水路堵塞,卵砾石层中则控制在3~5 mm。

(2)回次进尺控制在1.2~1.5 m,发现堵塞,应立即提钻。

(3)覆盖层先取心再跟管钻进,必要时采取植物胶冲洗液配合双管钻进工艺,应满足孔内各项试验技术要求。

(4)进入基岩后采用清水与聚丙烯酰胺混合作为冲洗液,双管钻进施工工艺,满足孔内电视要求。

(5)钻进过程中力争稳中求快,下钻前检查各种下入孔内器材连接部位,发生避免钻具钻杆折断事故。

(6)合理选择钻进工艺参数和钻头胎体硬度,杜绝各类孔内事故发生。

取出的岩心照片如图4所示。

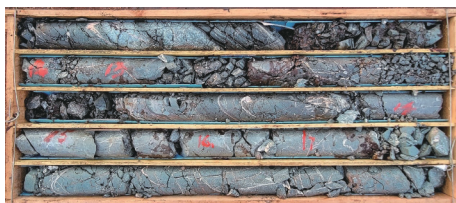


图4 获取的代表性原状河床岩心

4 结论

结合湄公河某水电站大水深、高流速、基岩底质、陡峭河床等复杂水文地质条件水上勘探工程实例,对平台抛锚与定位、护孔套管收放与固定、勘探装备与器具及钻孔结构与工艺等全过程钻探技术难题展开了研究,开发了一套急紊流区水上钻探技术,保障了水上钻探取样工作顺利开展。

(1)提出了适用于急紊流区水上钻探的钻探平台设计及建立方法,总结了急紊流区水上钻探抛锚定位及起锚技术方法及作业流程。

(2)研发了可快速连接的三角桁架式护孔套管结构及收放工艺,解决了深水高流速条件下套管抗水流冲击能力弱和连接工效低的难题。

研究成果可为不同行业和地区水上钻探施工提供参考。

参考文献:

- [1] 班金彭,黄明勇,代云鹏,等.西藏澜沧江班达水电站水上钻探施工技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(6):19-25,66.
- [2] 邱太宝,陈红卫.浅谈向家坝灌区北总干渠一期猫儿沱过江隧洞水上钻探平台的选择与安全措施[J].西部探矿工程,2020,32(2):91-94.
- [3] 田刚.大宽度高流速水上钻探施工关键技术——以澜沧江河流穿越岩土工程勘察为例[J].中国高科技,2019(22):10-12.
- [4] 郑长斌,张炼红.常规工程勘察水上钻探实用安全技术[J].西部探矿工程,2016,28(4):64-66,71.
- [5] 张成志,武相林,辛志相.深谷河床水上钻探平台设计及应用[J].山西建筑,2016,42(5):234-236.
- [6] 孙灵会.“东勘”系列内河水上勘探平台的研发与应用[J].东北水利水电,2015,33(2):62-64,72.
- [7] 肖冬顺,张辉,常宝,等.深水湍急河流水上勘探施工工艺与技术措施[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013(9):76-79.
- [8] 高建波.浅谈水上地质钻探方法选择与应用[J].铁道勘察,2012,38(4):51-54.
- [9] 李维滔,李安军.珠江八大出海口门整治工程水上钻探技术[J].西部探矿工程,2005,17(7):134-134.
- [10] 赵士伟.罗平阿岗水库水上钻探平台设计及应用[J].西部探矿工程,2010,22(10):48-49,52.
- [11] 陆颖,何大明,何开为,袁旭.澜沧江-湄公河水电站单位发电耗水量分析计算[J].水科学进展,2018,29(3):415-423.
- [12] 翟帅帅,夏玉涛.系泊新要求对不同船型的影响研究[J].江苏船舶,2020,37(2):20-23.
- [13] 国家能源局.水电工程钻探规程:NB/T35115-2018[S].北京:中国水利水电出版社,2018:19-21.
- [14] 黄河,张安平.松散破碎地层钻探泥浆研究与应用[J].山西建筑,2021,47(20):106-107.
- [15] 王明华,刘维,段绪林,魏彬.川渝地区深层破碎地层取心工艺优化研究[J].钻采工艺,2022,45(6):26-30.

(编辑 王跃伟)