

# 便携式钻机在海上平台进行勘察的应用实践

马映辉, 马志强, 贾宏福\*, 许文引, 巴西, 徐永林

(四川省第三地质大队金钻公司, 四川 成都 611743)

**摘要:**为提高海上钻探施工效率、避免传统立轴式钻机在海上施工时易受到波浪和潮汐影响、钻进取心效率低、存在安全风险且易发孔内事故的难题,依托青岛胶州湾第二海底隧道勘察项目,在近海海上平台尝试使用了便携式钻机。介绍了近海海上常用的不同类型平台,提出便携式钻机在海上固定式平台和浮动平台上的钻进取心实施方案。探索研究出一种便携式钻机在浮动平台上的波浪补偿绳索取心钻进方法。高效、安全地完成了钻探任务。所提出的方案对同行有参考借鉴作用,有利于海洋工程的勘察。

**关键词:**便携式钻机;固定式平台;浮动平台;波浪补偿;绳索取心钻进;海底隧道勘察;海上钻探

**中图分类号:**P634.3<sup>+</sup>1 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2023)S1-0486-06

## Application of the portable drilling rig in subsea tunnel exploration

MA Yinghui, MA Zhiqiang, JIA Hongfu\*, XU Wenyin, BA Xi, XU Yonglin

(Jinzuan Com., the 3<sup>rd</sup> Geological Brigade of Sichuan, Chengdu Sichuan 611743, China)

**Abstract:** In order to increase the offshore drilling efficiency, avoid the effect of the waves and tides on traditional spindle-type drill, low core recovery and safe risk, the portable drilling rig was tried to be used on the offshore platform rely on the second submarine tunnel survey project of Jiaozhou Bay, Qingdao. Different types of platforms commonly used on the sea were introduced and the drilling and coring implementation solutions of portable drilling rig on offshore fixed platforms and floating platforms were put forward. A wave compensation wire-line drilling and coring solution for portable drilling rig in floating platform was explored. With this solution, the drilling task was completed efficiently and safely. The proposed solution can provide reference and are benefit to marine engineering exploration.

**Key words:** portable drilling rig; fixed platform; floating platform; wave compensation; wire-line core drilling; subsea tunnel survey; offshore drilling

## 0 引言

便携式全液压钻机是近年来逐渐在全国范围内推广应用的绿色勘探装备,其具有绿色环保和施工效率高的特点<sup>[1]</sup>,在陆地各种环境已有较为成熟的应用实践。我单位自2017年以来引进便携式钻机并快速普及,在亚洲最大锂辉石矿——四川阿坝州金川县李家沟锂辉石矿、国家重大战略工程——川藏铁路等项目钻探施工中,探索实践了一整套的

绿色钻探施工解决方案<sup>[2-3]</sup>,取得了良好的经济效益。便携式全液压钻机一般配套使用绳索取心钻探技术。正常钻进时,钻头在规范要求的钻压作用下克取孔底岩石,钻压过大或过小都不利于正常钻进。在陆地施工时,钻机所处的工作平面绝对高程固定不变,钻机油缸施加的钻压可以基本保持恒定不变。而在水域实施钻探作业时,需要借助平台作为工作平面<sup>[4-5]</sup>。当使用可升降固定式平台时,

收稿日期:2023-01-16; 修回日期:2023-05-20 DOI:10.12143/j.ztgc.2023.S1.079

第一作者:马映辉,男,汉族,1971年生,工程师,勘查技术与工程专业,从事钻探工程技术与管理工作,四川省成都市郫都区港通北三路260号,727325209@qq.com。

通信作者:贾宏福,男,汉族,1986年生,高级工程师,勘查技术与工程专业,从事探矿工程施工与技术管理工作,四川省成都市郫都区港通北三路260号,jia510@sina.cn。

引用格式:马映辉,马志强,贾宏福,等.便携式钻机在海上平台进行勘察的应用实践[J].钻探工程,2023,50(S1):486-491.

MA Yinghui, MA Zhiqiang, JIA Hongfu, et al. Application of the portable drilling rig in subsea tunnel exploration[J]. Drilling Engineering, 2023, 50(S1):486-491.

钻探作业过程受风浪影响较小<sup>[6]</sup>。当采用船舶、油桶筏等形式的浮动平台时,受潮汐和波浪影响,浮动平台会产生水平和垂直方向的位移<sup>[7]</sup>,这对平台上的钻机及其直接驱动的延伸到钻孔内的刚性连接的钻杆、套管等产生非常不利的影响。主要是:正常钻进过程中,若水平方向的位移过大则可能导致套管、钻杆被折弯,从而无法正常钻进;若浮动平台下降,则孔内钻杆将承受平台带来的巨大压力,可能压弯或压断钻杆,上顶力可能破坏钻机结构,产生安全风险;若浮动平台瞬间快速上升,则同时带动钻机、钻杆上升,造成连接在钻杆下部的取心钻具脱离孔底、拔断岩心,导致不能恢复正常钻进,降低钻进取心施工效率。水平方向位移的消除主要靠抛锚固定平台。垂直方向的位移则无法消除,只能依靠其他措施抵消影响。

目前,国内各单位在水域浮动平台上开展工程勘察钻探通常使用机械立轴式钻机,个别项目使用一种具有波浪补偿功能的分离式液压钻机。

机械立轴式钻机一般配套使用提钻取心的方法获取岩心。使用单管钻具时,采用投卡料的方法卡断岩心,然后提钻获取岩心。使用单动双管钻具时,平台上升将导致岩心被卡断,使钻进不能正常进行。当平台上升或下降时,一般采用拆卸、提钻或加接钻杆(或套管)的方法应对。但在瞬时风浪较大时,往往来不及操作,很容易造成钻杆(或套管)、钻机的损坏。若遇持续的风浪,则只能提出全部钻杆后停工等待。采用上述设备和方法时,操作复杂,钻进、取心效率均较低<sup>[8]</sup>,存在安全隐患,遇恶劣天气则停待时间较长。

波浪补偿分离式液压钻机是一种专门设计的用于钻探船上的全液压钻机<sup>[9]</sup>,其通过平衡原理设置了波浪补偿器,进行钻探作业时基本消除波浪、潮汐等因素对勘察质量的影响,但钻机体积、质量均较大,钻机安装、加接钻杆和更换水龙头心管等操作不方便<sup>[10]</sup>。

目前便携式全液压钻机在水域应用较少。我单位依托青岛胶州湾第二海底隧道勘察项目,先后利用便携式钻机在可升降固定式平台和浮动平台(钻探船)上完成了近海海上钻探任务,钻进取心效率是传统立轴式钻机的3倍以上,尤其是探索实践了一种在钻探船上的波浪补偿钻进技术方法(发明专利号:ZL 202211011280.7),解决了立轴式钻机在浮动

平台上施工时钻进取心效率低、存在安全隐患的不足,平衡或抵消波浪与潮汐对钻杆和钻机结构的不利影响,利用绳索取心钻探技术实现连续、安全、稳定、高效地钻进,快速完成了钻孔施工。

## 1 海上平台简介

用于水域工程勘察钻探的平台主要有可升降固定式平台和浮动平台两种。

### 1.1 可升降固定式平台

可升降固定式平台(见图1)一般由平台、桩腿和升降机构组成。平台一般由多个起到漂浮作用的密封浮箱组合而成,用于安装设备和提供操作空间。桩腿一般是由特殊结构的大直径钢管加工而成,打入海底或在海底基岩面上支撑,起到支撑平台的作用。升降机构一般由液压泵站、油缸和锁定机构组成,通过升降机构可使平台上升或下降至高潮水位面以上一定距离,其操作桩腿升降的原理与立轴式钻机倒杆类似。



图1 可升降固定式钻探平台

使用前,将钻探平台组装好,整体吊装下水,再由船舶拖航至孔位后,使桩腿下降并支撑在海底后,再将平台上升至一定位置,最后锁定桩腿,即可开始钻探作业。钻进结束,使平台下降,平台与水面接触后,支腿上升,平台逐渐漂浮在水面上,再由船舶拖航至下一孔位。

考虑到钻探施工空间需要、安全性、稳定性和便于安装操作,平台面积一般 $100\sim 350\text{ m}^2$ ,适用于水深一般 $35\text{ m}$ 以内、无急流的水域<sup>[11]</sup>。

### 1.2 浮动式平台

工程勘察常用的浮动式平台主要有油桶筏式平台和钻探船(见图2)。油桶筏式平台由密封好的空桶组装而成,结构简单、加工制作成本低。一般与小型钻机配套使用,适用于水深数米以内,水流速较小

的温和水域<sup>[12]</sup>。钻探船通常以机动船或船舶为钻探平台,按单船型分布有舷侧、端部、船中和双船居中型等,通常采用锚泊式定位<sup>[13]</sup>。船舶排水量一般数十吨至数百吨不等,造价较高,使用费较高,适用的水深可达数十米。



图2 钻探船

## 2 项目背景及难点分析

### 2.1 项目背景

青岛胶州湾第二海底隧道是世界建设规模最大、穿越大规模断层的最大断面海底隧道,隧道全长15.89 km,建成后将成为世界最长的海底公路隧道。该隧道工程连接青岛主城区与西海岸新区,是联系胶州湾两岸东西蓝色经济区的重要快速货运及客运通道,是青岛市中心城区“七横九纵”高快速路网的重要组成部分。勘察项目部分作业区位于花岗岩暗礁禁航区,水深一般 $<15$  m,船舶靠近易发生触礁事故。部分作业区水深数十米,可采用浮动平台施工。根据天气和潮汐预报,施工期风浪天气较多,工区海水涨落潮的高差约3.90 m。各类平台应严格满足风浪、潮汐等海上限制条件,以保障海上勘察安全。

### 2.2 难点分析

本项目海上勘察钻探主要有以下特点和难点:

(1)钻探施工必须借助工作平台。平台的选择必须考虑施工水域的水深、流速、波浪、潮汐、周边影响因素和安全性等<sup>[14-15]</sup>。

(2)浮动平台受过往大型船舶、波浪和潮汐的影响较大,须采取波浪补偿措施抵消因此带来的不利影响。作业程序与陆地钻探有所不同。

(3)常规工程勘察施工所用的立轴式钻机施工效率较低,尤其是在海上浮动平台(钻探船)施工时,效率很低。便携式钻机在海上平台应用案例较少,

如何在海上平台发挥出便携式钻机的优点尚待探索与实践。

## 3 便携式钻机施工方案

本次施工采用便携式钻机配套绳索取心钻进工艺,在水深较浅的暗礁禁航区采用可升降固定式平台施工,在水深数十米的区域采用浮动平台(钻探船)施工。

### 3.1 采用可升降固定式平台方案

#### 3.1.1 平台定位安装

孔位确定后,用拖船将平台拖至孔位附近,利用四周锚绳(人工收放锚绳)将平台移动到孔位正上方,立即将平台的桩腿解锁,桩腿靠自重沉入海底,起到支撑作用。

操作升降机构调节好平台高度,高于高潮水位1.0~1.50 m。锁定桩腿,再将平台四周的锚绳直接绷紧,将平台牢牢固定在海面上。此时,海水涨落潮对平台几乎无影响。

#### 3.1.2 钻孔结构

一般海底覆盖有不同厚度的松散沉积物,采用PQ-HTW-NTW三级钻孔结构,用PQ口径开孔,施工至较稳定的基岩后以钻杆当套管护壁,之后采用HTW口径钻进施工。若地层不稳定可扩孔继续跟进PQ套管,再继续用HTW口径钻进。若地层完整,则以HTW钻杆作为护壁套管,换NTW口径钻进至终孔。对于水下基岩裸露地区,直接下入PQ套管并钻进至深入基岩一段距离后,采用HTW-NTW钻孔结构,钻进至终孔。钻孔结构示意图见图3。

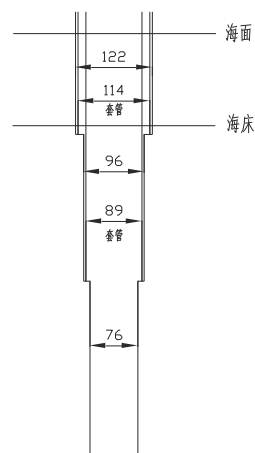


图3 钻孔结构示意图

### 3.1.3 钻孔施工过程

(1)下PQ( $\text{O}114\text{ mm}$ )钻杆至海底,利用其重力作用,垂直插入海底淤泥层,上部连接已加工好的PQ短钻杆,调节高度以超过平台0.1 m为最佳,孔口用夹板夹住固定。

(2)下入HTW( $\text{O}96\text{ mm}$ )钻杆钻具至孔底,快速钻进10 m或进入基岩5 m左右。原HTW钻杆钻具接上钻杆堵头,留在孔内,起导向作用。此时需松开PQ钻杆夹板,连接PQ钻杆扩孔。根据现场实际情况,PQ套管扩孔深度以进入基岩2~5 m、上部以不超出平台0.2 m为最佳,孔口用夹板夹住固定,也可以在钻杆顶部焊接法兰盘固定在孔口,具体方式可根据现场条件确定。

(3)根据地层及孔深设计,可继续使用HTW( $\text{O}91\text{ mm}$ )或NTW( $\text{O}76\text{ mm}$ )钻进取心,此时钻孔施工和陆地钻孔施工一致,无特别要求。

(4)钻孔完成后,下入水泥浆液封孔,此时应将NTW( $\text{O}76\text{ mm}$ )钻杆钻具全部提出孔外,下入灌浆使用的BTW钻杆至距离孔底0.5 m处,孔口连接灌浆管,灌浆泵。调制水泥浆液,用灌浆泵将水泥浆送入孔底,待孔口返出水泥浆液后停止灌注,起出全部钻杆清洗。

(5)各项工作完成后,尽快全部拔出各种钻杆、套管等,防止其被水泥凝固。

## 3.2 采用船舶方案

### 3.2.1 定位安装

当水深 $>15\text{ m}$ ,海底松软层较厚时,采用钻探船施工(见图4)。



图4 钻探船施工现场

孔位确定后,船舶四周锚绳固定牢靠,并能随海水涨潮、落潮进行调节。锚绳要有足够的长度,以利于收锚和确保钻孔不因涨落潮移位。最后,将钻机

安装在甲板一侧延伸向外的悬挑平台上即可开始施工。

### 3.2.2 套管程序

采用PQ-HTW-NTW三级钻孔结构,考虑到潮汐影响,下一层保护套管<sup>[16]</sup>。

保护套管下入深度依据海底淤泥及沙层厚度确定,底部插入风化岩层5 m以深,以利于套管稳定。顶端位置要确保落潮时与船舶悬挑平台有一定距离,不能与悬挑平台底部接触,更不能高出悬挑平台。否则会将钻机上顶,造成钻机结构损坏甚至安全事故。

保护套管最好是在最低潮时下入,套管顶端高出海面0.5~1 m,距离甲板一侧延伸向外的悬挑平台底部2~3 m。海水涨潮时可以淹没保护套管,落潮时也不会顶上平台底部。

保护套管口径不小于 $\text{O}146\text{ mm}$ 。套管程序见图5。

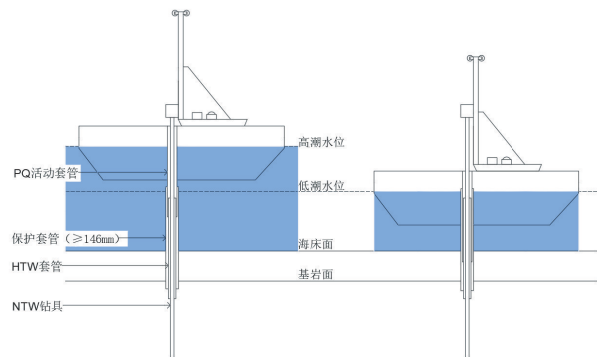


图5 采用钻探船时套管程序

### 3.2.3 钻孔施工过程

(1)下入HTW( $\text{O}96\text{ mm}$ )钻杆钻具至孔底,快速钻进10 m左右。起出6~7根(9.0~10.5 m)钻杆,其余钻杆下到孔底。或者根据船舶底部和保护套管顶端的距离,下入HTW钻杆,其长度要低于保护套管0.5~1.5 m。

(2)下PQ( $\text{O}114\text{ mm}$ )钻杆至保护套管内10 m,并且将HTW钻杆完全套入PQ钻杆内,套入长度 $<6.0\text{ m}$ 。形成伸缩套管,并能够完全满足海水涨落潮的高差(施工期间最高3.90 m)。

(3)PQ钻杆顶部在船舶上用夹板夹住固定在孔口,也可以在钻杆顶部焊接法兰盘固定在孔口。以现场施工方便程度进行。

(4)伸缩套管完成后,即可换NTW( $\varnothing 76$  mm)钻进取心,直至终孔。

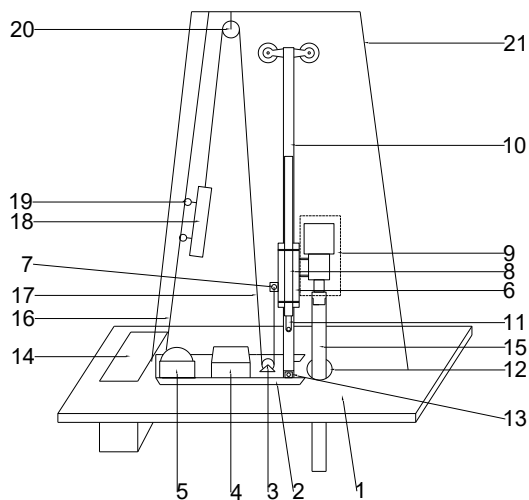
(5)钻孔完成后,使用BTW钻杆注入水泥浆液封孔,此时应将HTW套管连接到孔口,以便观察水泥浆液从孔口返出,防止HTW套管外灌入浆液被凝固在孔底。

(6)各项工作完成后,尽快全部拔出各种钻杆、套管,防止事故发生。

### 3.2.4 波浪补偿绳索取心钻进

针对海上钻探特点,我单位研究出一种便携式钻机在浮动平台上的波浪补偿绳索取心钻进方法。

将便携式钻机及相关设备安装在悬挑平台上。设置辅助支架或利用原有钻塔作为辅助支架。在辅助支架与平台之间设置一根导向钢丝绳。将配重块穿在导向钢丝绳上,使其可在导向钢丝绳上滑动。在辅助支架顶部和钻机桅杆后方的底座上各安装一个定滑轮。将钢丝绳一端与动力头滑套连接后依次穿过底座上的定滑轮、辅助支架顶部定滑轮,再与配重块连接。调整钢丝绳长度,使配重块位于导向钢丝绳中部。机构设置示意图6。



1—悬挑平台;2—钻机底座;3—底座定滑轮;4—泥浆泵;5—打捞绞车;6—动力头滑套;7—孔眼;8—油缸;9—动力头;10—桅杆;11—油缸活塞杆;12—销孔座;13—通孔;14—钻井液池;15—钻杆;16—导向钢丝绳;17—加压钢丝绳;18—配重块;19—配重块导向孔;20—辅助支架定滑轮;21—辅助支架

图6 波浪补偿机构设置示意

所有设备、管线连接好后,启动设备。操作油缸使其带动动力头上下活动,操作马达转动以上紧或卸开钻杆丝扣,将钻杆逐步通过伸缩式套管下放至孔底后,去掉钻机油缸活塞杆和销孔座之间的圆柱销,此时,油缸活塞杆与钻机底座断开连接,动力头部分自然地套在桅杆上,不再受油缸的约束,油缸不再起到对钻杆的加压作用。油缸、动力头滑套、动力头及连接在下部受其驱动的钻杆成为一个整体,处于自由状态。该状态下,平台在一定范围的上下活动对钻杆不产生影响。

动力头马达驱动钻杆转动,在配重块的加压作用下正常钻进。

通过上述方案和活动套管方案,可利用便携式钻机实现连续、安全、稳定、高效的绳索取心钻进。

## 4 应用效果

本次施工采用了EP600型便携式全液压钻机。使用的可升降固定式平台尺寸为 $12 \times 10$  m,质量400 kN,承载能力100 kN,适用于水深 $\leq 15$  m的滨海浅水区。使用的钻探船排水量为4000 kN。使用的取心钻具主要是NTW薄壁绳索取心钻具。

本项目共完成钻孔9个,累计完成工作量885.4 m,每个钻孔耗时约1 d,详见表1。

表1 钻孔统计

序号	设计孔深/m	终孔深度/m	计入台月时间/h	平台类型
1	105	100.10	31	可升降固定式平台
2	102	102.90	25	
3	105	105.60	24	
4	100	100.60	24	
5	100	100.70	23	
6	106	108.00	16	
7	105	105.00	22	
8	78	78.00	24	
9	82	84.50	31	浮动平台(钻探船)

本项目自进场至撤离历时32 d,其中因天气原因停待17 d。钻探总台时(有效作业时间)768 h,其中计入台月时间260 h。施工效率最高的6号钻孔,班(12 h)进尺达到84 m,机械钻速(纯钻进速度)达8 m/h,创造了本单位班进尺最高记录。

## 5 结语

(1)依托青岛胶州湾第二海底隧道工程勘察项目,成功将便携式全液压钻机应用于海上平台,快速完成9个钻孔,完成工作量885.4 m,每个钻孔耗时约1 d,进一步扩大和验证了其适用范围,充分发挥出其质量轻、操作方便灵活的优点,大大提高了施工效率、降低了安全风险,有利于海洋工程的勘察施工。

(2)探索实践的一种便携式钻机在钻探船上的波浪补偿钻进技术,将油缸、动力头和钻杆组成的整体与钻机底座分离,仅在桅杆上上下下自由滑动,对波浪的反应灵敏,解决了波浪或潮汐使平台上下浮动对钻探设备及钻进过程的不利影响。通过巧妙设置的配重块加压,可保持钻进压力恒定,从而实现了绳索取心钻进。

## 参考文献:

- [1] 刘蓓,寇少磊,朱芝同,等.便携式模块化钻机在绿色地质勘查工作中的应用实践[J].钻探工程,2022,49(2):30-39.
- [2] 马映辉,贾宏福.绿色工程勘察钻探实施方案探索及应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(11):29-36.
- [3] 姜来峰,刘卫东,张福良.绿色勘探技术[M].北京:地质出版社,2022:1-2.
- [4] 宋宝杰,栾东平,杨芳,等.“探海1号”大陆架科学钻探平台的设计与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(9):9-13.
- [5] 宋宝杰,王鲁朝,栾东平,等.多功能地质勘察平台关键结构设计与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(11):46-49,56.
- [6] 陈师逊,杨芳.海上工程平台的设计与应用分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(4):46-50.
- [7] 王林清,马汉臣,许本冲,等.浅海伸缩套管钻探工艺研究[J].钻探工程,2021,48(7):40-45.
- [8] 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.
- [9] 林吉兆,麦若绵,梁文成.波浪补偿分离式液压钻机在海上勘察中的应用[J].港口科技,2014,(2):24-28.
- [10] 王建国,张春,周永.HD-300型海洋工程勘探钻机在工程中的应用[J].资源信息与工程,2019,34(1):44-45.
- [11] 许启云,牛美峰.海上风电勘探装备研发与应用[J].钻探工程,2021,48(9):107-110.
- [12] 宋宝杰,栾东平,范晓军,等.漂浮式水上钻探平台的设计与应用[J].钻探工程,2021,48(6):74-79.
- [13] 胡建平,李庆庆.海上船载式移动钻探平台创新及应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(9):52-57.
- [14] 许本冲,张欣,马汉臣.海洋钻探钻井液循环技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(7):30-35.
- [15] 廖天保.奋斗五号船钻探系统及其在海上风电场地质调查中的应用[J].西部探矿工程,2021,33(10):64-66,73.
- [16] 杨芳.海域地质岩心钻探关键技术分析与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(7):23-29.
- [17] 王维献.地铁工程勘察水域钻探油桶筏钻探平台的设计与安全保障措施[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(4):40-43.
- [18] 刘治,孙宏晶.三山岛北部海域金矿海上钻探施工管理[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(4):85-92.
- [19] 孙宏晶,刘治.小口径岩心钻探海上施工安全风险管控[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(10):88-89,92.
- [20] 翟育峰,张英传,田志超.中国东部海区科学钻探工程CSDP-02井钻探效率统计分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(12):13-17.

(编辑 王文)