

# 冰钻电动机械钻具孔内升降运动特性试验研究

宋佳宇<sup>1</sup>, 徐会文<sup>2</sup>, 张楠<sup>2</sup>, 韩丽丽<sup>3</sup>

(1. 吉林省水利水电勘测设计研究院, 吉林 长春 130000; 2. 吉林大学建设工程学院, 吉林 长春 130026; 3. 中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000)

**摘要:**根据冰层钻进特点,从钻孔水力学角度出发,分析测试了钻具的质量、长度与钻井液的粘度、密度等因素对钻具下降速度特性的影响规律。通过对4种长度、不同质量的钻具在2种酯类钻井液中下落过程的测试,得出了钻具的下落速度与钻具的长度呈反比,与钻具的质量呈正比,且钻具的下落速度随钻井液的粘度和密度的增大而减小。钻具下落的加速运动时间主要与钻井液的粘度、密度及钻井液在钻具表面流动时的剪切速率有关。

**关键词:**南极冰层钻进;钻井液;钻具升降速度;加速时间

中图分类号:P634 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2017)10-0066-04

**Experimental Research on Lifting and Lowering Motion Characteristics of Electric Mechanical Drill for Ice Drilling in the Hole/SONG Jia-yu<sup>1</sup>, XU Hui-wen<sup>2</sup>, ZHANG Nan<sup>2</sup>, HAN Li-li<sup>3</sup>** (1. Jilin Water Conservancy and Hydropower Investigation Design and Research Institute, Changchun Jilin 130000, China; 2. College of Construction Engineering, Jilin University, Changchun Jilin 130026, China; 3. The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

**Abstract:** According to the characteristics of ice layer drilling, from the point of view of drilling hydraulics, the effect of quality and length of drilling tool, the viscosity and density of drilling fluid and some other factors on the characteristics of drilling tool lowering speed are analyzed and tested. Through the tests on the lowering process of drilling tools, with 4 different lengths and different qualities, in 2 kinds of esters drilling fluid, it is concluded that the lowering speed of the drilling tools is inversely proportional to the length of the drilling tool, and is proportional to the quality of the drilling tool, and the lowering speed of the drilling tool decreased with the increase of the viscosity and density of the drilling fluid. The acceleration time of the drilling tool lowering is mainly related to the viscosity and density of the drilling fluid, as well as the shear rate of drilling fluid while flowing on the surface of the drilling tool.

**Key words:** Antarctic ice drilling; drilling fluid; lifting and lowering speed of drilling tool; acceleration time

在极地冰层取心钻进工作中,科学合理地控制钻具的升降过程对于保证冰层孔壁稳定及提高钻进效率具有重要的实际意义。根据国内外学者的研究成果及极地科学考察工作的需要,在理论分析基础上,建立了冰钻升降钻具试验台,试验研究钻具在冰孔内升降过程中的运动规律及其影响因素,对进一步提高极地冰层取心钻进的科学化水平具有重要意义。

## 1 升降钻具时运动状态理论分析

钻具在冰孔内由静止状态开始进行自由下落

时,其运动过程分为变加速运动和匀速运动两个阶段。

### 1.1 钻具下落变加速度

钻具从静止状态开始下落时,因钻具所受到的钻井液粘滞阻力小于钻具在钻井液中的重力,钻具将加速下落。钻具下落时的加速度可用式(1)表示。

$$a = g - \frac{4\eta(dv/dx)}{D_p(\rho_s - \rho_f)} \quad (1)$$

式中: $a$ ——钻具下落加速度,  $m/s^2$ ;  $g$ ——重力加速度,  $m/s^2$ ;  $\eta$ ——钻井液粘度,  $Pa \cdot s$ ;  $dv/dx$ ——钻井

收稿日期:2017-06-27; 修回日期:2017-08-30

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金项目“基于介电剖面法的极地冰芯电学性质测量机理与技术优化研究”(编号:41406210); 国家海洋局极地科学重点实验室开放研究基金项目“极地冰芯介电特性测量机理研究”(编号:KP201404)

作者简介:宋佳宇,男,汉族,1991年生,地质工程专业,硕士,从事岩土工程方面的科研工作,吉林省长春市南湖大路7135号,278287314@qq.com。

通讯作者:张楠,男,汉族,1981年生,副教授,地质工程专业,博士,从事极地冰层取芯钻进技术及冰芯物理性质测试分析研究工作,吉林省长春市西民主大街938号,znan@jlu.edu.cn。

液流动时的剪切速率,  $s^{-1}$ ;  $D_p$ ——钻具直径,  $m$ ;  $\rho_s$ ——钻具的当量密度,  $kg/m^3$ ;  $\rho_f$ ——钻井液密度,  $kg/m^3$ 。

## 1.2 钻具下落匀速运动速度

随着钻具运动速度的增大, 钻具所受到的粘滞阻力也越来越大, 当粘滞阻力与钻具的重力相等时, 钻具下落的加速度为0, 钻具便进入了匀速运动阶段。根据式(1)可以得出钻具匀速下落时的速度, 可用式(2)表示。

$$V_p = \frac{gD_p(\rho_s - \rho_f)b}{4\eta} \quad (2)$$

式中:  $V_p$ ——钻具下落达到匀速时的速度,  $m/s$ ;  $b$ ——环空中滞留层厚度,  $mm$ 。

由式(2)可以看出, 钻具匀速下落时的速度大小, 受到钻具的直径、当量密度、滞留层厚度、钻井液的密度和粘度的影响。

## 2 试验台的改进与模拟钻具

### 2.1 试验平台的组成与改进

整套试验平台由铝合金桅杆、模拟井筒、数据采集系统、模拟钻具和钻具提升装置等组成(见图1)。为了满足不同长度钻具的试验要求, 在原有桅杆的基础上, 增加了1根1 m长的短节, 使桅杆的总高度达到5.54 m, 桅杆的整体结构不变。

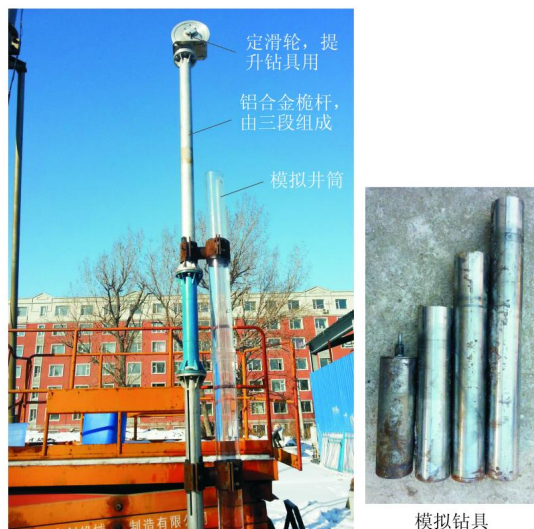


图1 试验平台

### 2.2 数据采集系统

为了提高数据采集系统的精密度与可靠性, 试验采用了 MPS-L-4500 mm-V 型拉绳式位移传感器。测量行程为4.5 m, 输出信号为模拟电压0~

5 V, 精度高达0.25%~0.1% FS。它可以在每秒钟采集到数千组数据。通过 LabVIEW 软件的编程设计, 对钻具下落的全程进行测量并存储成数字表格完成数据记录。

### 2.3 模拟钻具规格

试验用模拟钻具外径127 mm, 长度分别为0.4、0.6、0.8和1 m。钻具内部为中空结构, 用以调整钻具的质量。在其顶部设置封盖, 盖子中心处焊接外六角螺丝和吊钩, 以方便拆卸和提升。

## 3 钻具的下落试验测试

### 3.1 试验测试方法

将位移传感器与电脑连接完成后固定在玻璃井筒上方, 用尼龙绳将钻具上的吊钩和位移传感器进行连接, 通过桅杆顶部的定滑轮, 提升钻具至灌有试验用钻井液模拟井筒顶部的指定位置, 并保证钻具下落过程中位移传感器探头与钻具下落过程同步。打开位移传感器与电脑, 记录开始的同时释放钻具, 直至钻具到达底部, 停止记录。如此反复完成全部试验测试工作。

### 3.2 试验测试结果

试验测试了长度分别为0.4、0.6、0.8和1 m不同质量组合条件下的模拟钻具在丁酸丁酯和丁酸乙酯2种钻井液中的下放速度。为检验钻具长度与质量对钻具下落速度的影响, 也对相同长度不同质量与质量相同不同长度钻具进行了测试, 测试结果见表1。

## 4 试验数据分析

### 4.1 钻具质量的影响

钻具质量是影响钻具在孔内下降速度大小的最重要因素。由表1可以得出, 在丁酸丁酯和丁酸乙酯2种钻井液中, 钻具在仅受质量因素影响时, 钻具的运动速度随钻具质量的增长而变快, 两者呈线性关系(见图2)。在试验模拟钻具长度条件下钻具质量每增加1 kg, 在丁酸丁酯和丁酸乙酯2种钻井液中, 钻具的下落速度分别增加0.015、0.020 m/s。

### 4.2 钻井液性能的影响

在试验温度-20℃时, 丁酸丁酯、丁酸乙酯的粘度和密度分别为2.8 mPa·s、908 kg/m<sup>3</sup>和1.8 mPa·s、920 kg/m<sup>3</sup>。从图2中可以看出, 随着钻井液的粘度的增加, 在钻具表面上产生的粘滞阻力

表1 4种长度的钻具在丁酸丁酯与丁酸乙酯中的下落速度

长度 L/ m	钻具质量/kg													
	13.1		16.2		17.6		20.4		21.0		22.0		23.0	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
0.4	0.296	0.335	0.346	0.397	0.366	0.426	0.409	0.481						
0.6			0.318	0.357	0.337	0.381	0.380	0.434	0.389	0.446				
0.8					0.298	0.379	0.344	0.407	0.350	0.419	0.365	0.439		
1.0							0.301	0.381	0.310	0.393	0.325	0.412	0.340	0.432

注:(1)A——在丁酸丁酯中的下落速度,B——在丁酸乙酯中的下落速度;(2)试验温度为-20℃。

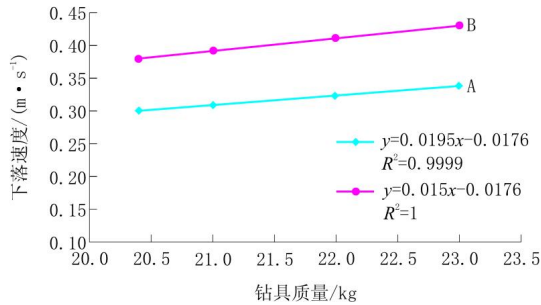


图2 钻具下落速度与质量关系曲线

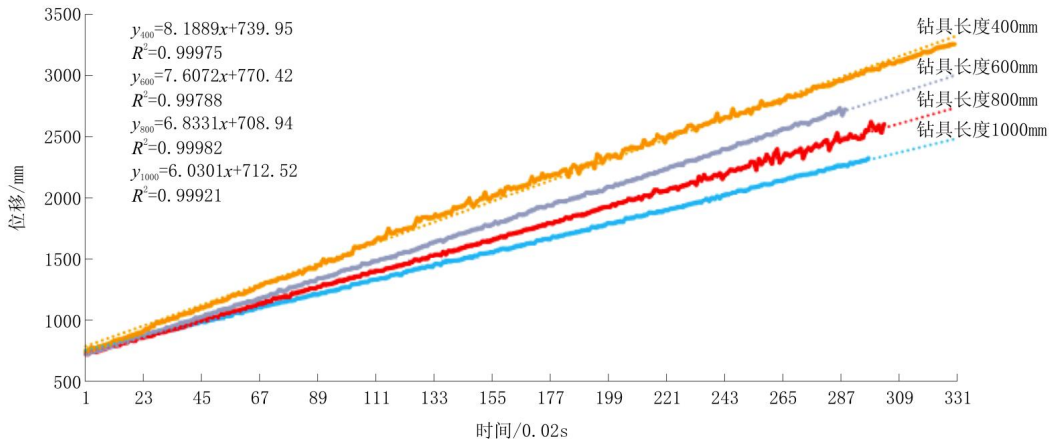


图3 不同长度钻具的下落位移与时间关系曲线

从图3可以看出,4种钻具的下落的位移与时间均为线性关系,证明了钻具属于匀速运动。钻具长度的增加,在钻具表面上所产生的粘滞阻力将逐渐增大,使钻具的下落速度逐渐减小。并且从图3可以看出,钻具长度对于钻具下落速度的影响成反比例线性关系,见式(3)。

$$y = -mx + n \tag{3}$$

式中: $m$ 、 $n$ ——与钻井液性能相关的系数,在试验用2种脂肪酸酯介质中, $m = 0.16 \sim 0.22$ , $n = 0.35 \sim 0.60$ 。当钻井液粘度增大时, $m$ 取大值,而 $n$ 取小值。

#### 4.4 钻具下落加速时间

为了验证钻具下落的两个运动阶段,对图3进行了放大与数据处理,证明了钻具在下落时确实是

增大,钻具的下落速度减小,且随着钻具质量的增加其影响程度不断增大。长度1.0 m模拟钻具在丁酸乙酯中下落速度是在丁酸丁酯中下落速度的1.27倍,理论计算得出的是1.33倍,误差为4%。

#### 4.3 钻具长度的影响

对质量均为20.40 kg,4种长度的模拟钻具在丁酸丁酯中的下落速度数据进行了对比分析(见图3)。

存在着一个加速运动时间的。以模拟钻具长度为1.0 m,质量为20.4 kg,在丁酸丁酯中的下落试验为例,可以看出其加速运动与匀速运动的两个阶段(如图4所示)。

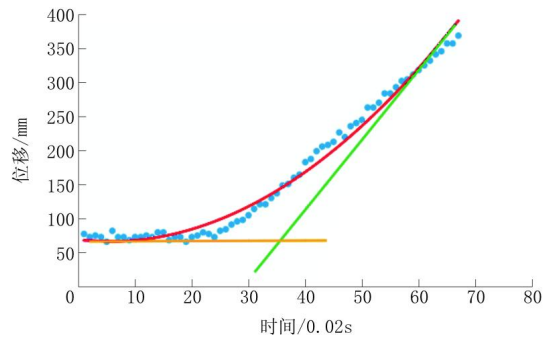


图4 钻具下落的位移与时间关系曲线

由图4可以看出,钻具在下落初始时,是一个加速度逐渐减小而速度不断增大的过程。当加速度为0时,便进入了匀速运动阶段。加速的时间与匀速运动时速度的大小主要受到钻具质量、长度及钻井液的粘度与密度的影响,且以钻具的长度与质量的影响最大。表2列出了长度为1.0 m不同质量条件下在丁酸丁酯下落试验中所得到的加速时间。

表2 1.0 m 钻具在丁酸丁酯中下落时加速时间 s

$V_p /$ ( $m \cdot s^{-1}$ )	钻具质量/kg			s
	20.4	21	22	
0.340				0.54
0.325			0.66	
0.310		0.86		
0.301	0.90			

由表2可知,钻具下落时的加速运动时间越短,钻具的下落速度越快。从所有的钻具下落试验结果来看,钻具加速运动时间都非常短,主要以匀速运动为主。这说明了钻具在钻孔内运动时,环空中钻井液是处于层流运动状态,钻井液在钻具表面上所产生的粘滞阻力将很快与钻具在钻井液中所受到的重力达到平衡。

## 5 结论

(1) 试验验证了钻具在孔内下降过程中存在着加速与匀速2种运动状态,且均受到钻具质量、长度、钻井液粘度与密度的影响,而以钻具的质量与长度影响最大。

(2) 钻具的质量与长度对于钻具匀速运动时速度的影响均呈线性关系。随钻具质量的增加而增大,随钻具长度的增加而减小。

(3) 钻井液的粘度与密度对钻具下落速度均有影响,而以粘度的影响更为显著,且这种影响随着钻具质量、长度的增加及温度的下降而逐渐增大。

## 参考文献:

- [1] P. G. Talalay, N. S. Gundestrup. Hole fluids for deep ice core drilling areview[D]. Copenhagen. 1999.
- [2] 王莉莉,赵大军,徐会文,等. 南极冰层取心钻探酯基钻井液抗低温性能试验[J]. 世界地质,2013,32(4):862-866.
- [3] 宋佳宇,徐会文,韩丽丽,等. 南极冰层钻进铠装钻具升降运动特性分析与试验[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(7):12-15.
- [4] 韩俊杰,韩丽丽,徐会文,等. 极地冰层取心钻进超低温钻井液理论与试验研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(6):23-26.
- [5] 刘宁,徐会文,韩丽丽,等. 脂肪酸酯分子结构对酯基钻井液性能的影响[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(9):63-66.
- [6] 韩俊杰. 极地冰钻升降钻具时孔内水力学特性试验研究[D]. 吉林长春:吉林大学,2014.
- [7] 徐会文,韩丽丽,韩俊杰,等. 南极冰层取心钻探酯基钻井液的理论与试验[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(S1):279-282.
- [8] 鄢泰宁,杨凯华,译. 冰层机械钻探技术[M]. 湖北武汉:中国地质大学出版社,1998.
- [9] P. G. Talalay, N. S. Gundestrup. Hole fluids for deep ice core drilling[J]. National Institute of Polar Research, 2002, 56. 148-170.
- [10] 张凌,蒋国盛,蔡记华,等. 低温地层钻进特点及其钻井液技术现状综述[J]. 钻井液与完井液,2006,23(4):69-73.

(上接第65页)

条件,可以绘制时间-降水深度等值线图。

(4) 采用MIDAS/GTS建立三维数值分析模型,可以对已有的降水方案进行较全面的安全评价,从而指导降水施工,确保基坑安全。

## 参考文献:

- [1] 戴根宝,曹海明,杨民,等. 南京长江第四大桥北锚碇沉井基坑降水与地面沉降模拟预测[J]. 勘察科学技术,2011,(4):37-42.
- [2] 中国土木工程学会土力学及岩土工程学会. 深基坑支护技术指南[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [3] 常林越,沈健,徐中华. 敏感环境下深基坑的设计与三维数值分析[J]. 铁道工程学报,2011,(11):52-58.
- [4] 燕建龙,赵治海,杨利全,等. 基坑降水设计中水文地质参数计

算方法分析探讨[J]. 工程勘察,2011,(3):40-44.

- [5] 周念清,唐益群,姜荣祥,等. 徐家汇地铁站深基坑降水数值模拟与沉降控制[J]. 岩土工程学报,2011,(33):1950-1956.
- [6] 陈华明. 软土地区深基坑管涌事故原因分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(2):67-69.
- [7] 李广信,等. 高等土力学[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
- [8] 梁卫东,张俊平,张耀,等. 深基坑工程中地下水问题的研究[J]. 施工技术,2005,34(6):60-61.
- [9] 刘历波,王晓磊,史三元. 基坑开挖过程中地下水渗流数值模拟[J]. 河北工程大学学报(自然科学版),2013,30(3):13-16.
- [10] 丁春林. 软土地区承压水基坑突涌稳定计算法研究综述[J]. 地下空间与工程学报,2007,3(2):333-338.
- [11] 时钟. 高富水、强透水卵石地层深基坑降水设计与实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(5):78-83.
- [12] 梁成华. 哈尔滨松花江边超深基坑降水实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(6):81-83.