

# 声频振动沉入套管工艺方法研究

田英材, 张福海, 吴浩, 李向东, 赵晓冬

中国煤炭地质总局第二勘探局, 河北 涿州

收稿日期: 2022年6月24日; 录用日期: 2022年7月1日; 发布日期: 2022年7月15日

## 摘要

松散软易坍塌地层常采用泥浆护壁方法, 容易造成环境污染, 而无水静压沉入套管存在深度不够等问题。本文研究采用声频振动沉入套管的工艺方法, 介绍了声频振动沉管的工艺流程及施工步骤, 开展了声频振动沉管场地试验, 试验发现声频振动沉管速度在杂填土中 fastest, 在软塑黏土层中次之, 在细砂层中最慢, 并通过计算套管受到的端阻力和侧阻力, 得出钻机振动力在套管底部的衰减值, 进而计算出沉入套管的理论极限深度。该工艺方法具有沉管速度快、施工工艺简单、无泥浆污染等特点, 能够解决复杂地层的护壁问题, 保证了钻探工程的施工进度和质量, 为开展软土取样、环境污染场地调查及砂金矿勘探等应用项目奠定了基础。

## 关键词

声频振动, 沉入套管速度, 套管阻力, 振动力衰减

# Study on the Technology Method of Vibration Sinking Casing

Yingcai Tian, Fuhai Zhang, Hao Wu, Xiangdong Li, Xiaodong Zhao

The Second Exploration Bureau of China Coal Geology Administration, Zhuozhou Hebei

Received: Jun. 24<sup>th</sup>, 2022; accepted: Jul. 1<sup>st</sup>, 2022; published: Jul. 15<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

Mud wall protection is often used in loose, soft and collapsible strata, which is easy to cause environmental pollution. However, there are some problems such as insufficient depth of anhydrous static pressure sinking into the casing. This paper studies the process method of sinking the

casing with acoustic vibration, introduces the process flow and construction steps of acoustic vibration sinking, and carries out the field test of acoustic vibration sinking. The test shows that the speed of acoustic vibration sinking is the fastest in miscellaneous fill, the second in soft plastic clay layer and the slowest in fine sand layer. By calculating the end resistance and side resistance of the casing, the attenuation value of the drilling rig vibration force at the bottom of the casing is obtained, and then the theoretical limit depth of sinking into the casing is calculated. This process method has the characteristics of fast pipe sinking speed, simple construction process and no mud pollution. It can solve the wall protection problem of complex strata, ensure the construction progress and quality of drilling engineering, and lay a foundation for application projects such as soft soil sampling, environmental pollution site investigation and placer gold exploration.

## Keywords

Acoustic Vibration Sinking Casing Technology, Sinking Casing Speed, Casing Resistance, Vibration Force Attenuation

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 前言

地质勘查工作离不开钻探取样, 准确获取地下一定深度的地层样品, 能够探查到该地区的相关地质信息。很多地区松散地层分布广泛, 这类地层具有松散结构、稳定性差、颗粒间空隙度大, 无胶结物等特点, 因此在开展环境地质调查、工程勘察等施工作业中容易造成孔壁坍塌, 造成卡钻、埋钻等钻探事故的发生。因此维护孔壁稳定至关重要。钻孔护壁方法有多种, 传统的回转钻探方法采用泥浆循环护壁, 地层样品受到扰动并被泥浆污染, 取样质量差, 在严重坍塌地层无法维持孔壁稳定[1]。

试验先采用静压沉入套管的工艺方法, 虽避免了泥浆对样品的扰动, 但静压沉入 5 根套管即无法继续进尺, 无法满足设计深度的护壁要求。

基于以上实际使用出现的问题, 本文研究并实施声频振动沉入套管护壁的工艺。声频振动沉管具有沉入速度快、施工工艺简单、样品扰动小等特点, 能够解决复杂地层孔壁坍塌问题, 保证了钻探工程的施工进度和质量。本文重点研究了不同深度、不同地层下沉入套管的速度变化规律, 通过计算套管的端阻力和侧摩擦阻力, 计算出沉入套管的极限深度, 为有弱扰动取样需求的勘查项目提供技术参考。

## 2. 声频振动钻机介绍

本次试验使用 MGD-S50 II 型声频振动钻机(图 1)完成, 该钻机最大能提供 140 kN 的激振力, 能在无水条件下快速进行钻探取样, 在环境钻探、尾矿坝勘察、砂金矿勘探等领域有广泛应用价值[2]。

## 3. 声频振动沉管工艺优势

为解决淤泥、流沙等松软易坍塌地层的钻探取样难题, 本次试验创新采用声频振动沉入套管进行护壁、套管内使用半合管与岩心管取样的钻探工艺。该工艺下管速度快、样品扰动小, 能够有效解决复杂地层钻孔塌陷问题, 扩大了钻机的地层适用范围。



Figure 1. MGD-S50 II acoustic vibration drill  
图 1. MGD-S50 II 型声频振动钻机

## 4. 声频振动沉管试验

### 4.1. 场地地层

试验场地位于河北省涿州市市区内部的工厂区, 揭露的地层自上而下为杂填土、粉土、粘土(含水层)及砂层, 具有典型的第四纪冲积平原地层地貌特征。

场地地层统计如表 1 所示。

Table 1. Statistics of site strata

表 1. 场地地层统计表

层数	类型	地层描述	厚度	层位标高
1	杂填土	杂色, 以含砖块、土灰渣及碎石子	3 m	0~3.0 m
2	粉土	褐黄色, 稍湿, 稍密	7.5 m	-3.0 m~-10.5 m
3	粘土	褐灰色, 软塑, 含大量淤泥	4.5 m	-10.5 m~-15.0 m
4	粘土	褐黄色和黄褐色, 硬塑, 含少量粗砂	13.5 m	-15.0 m~-28.5 m
5	砂层	灰褐色, 以粗砂、细砂为主, 含少量石英、云母等	2.7 m	-28.5 m~-31.2 m

### 4.2. 声频振动沉管过程

采用声频振动沉入套管工艺方法, 在试验场地先后完成了多个钻孔。其中一个钻孔中, 成功下入 20 根  $127\text{ mm} \times 5.5\text{ mm}$  套管, 沉入深度达到 31.2 米。具体施工步骤如下:

#### 1) 破除地表硬层

使用螺旋钻具破除地表硬层, 形成直径约 130 mm、深约 300 mm 的导向孔。此道工序能够有效防止钻具倾斜, 防止钻孔发生偏斜。

#### 2) 取样

振动钻进  $\phi 89\text{ mm}$  取芯管, 提出取芯管后取出样品, 并形成  $\phi 95\text{ mm}$  的钻孔。

#### 3) 振动沉入套管

在  $\phi 95\text{ mm}$  的钻孔中, 振动沉入  $\phi 127\text{ mm}$  套管, 套管底部应高出原钻孔 0.1~0.3 m。

#### 4) 继续振动取样

使用  $\phi 89\text{ mm}$  取芯管继续取样, 再次跟进沉入套管, 直至设计孔深。由于先使用小直径取样管取样后再下入较大直径套管进行护壁, 存在把部分土样往钻孔中间挤压的情况, 所以要及时进行清孔。

## 5. 振动沉管速度分析

通过整理振动沉管过程原始数据, 得出振动沉管速度见表 2。

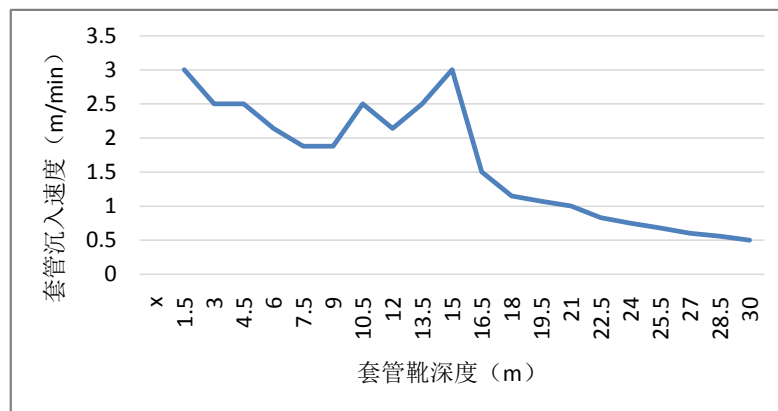
**Table 2.** Statistics of vibration sinking velocity

**表 2.** 振动沉管速度统计表

序号	套管根数	套管靴深度(m)	套管沉入用时(min)	套管沉入速度(m/min)	地层
1	1	1.5	0.5	3.00	杂填土
2	2	3.0	0.6	2.50	
3	3	4.5	0.6	2.50	粉土
4	4	6.0	0.7	2.14	
5	5	7.5	0.8	1.88	
6	6	9.0	0.8	1.88	
7	7	10.5	0.6	2.50	粘土(软塑)
8	8	12.0	0.7	2.14	
9	9	13.5	0.6	2.50	
10	10	15.0	0.5	3.00	
11	11	16.5	1.0	1.50	粘土(硬塑)
12	12	18.0	1.3	1.15	
13	13	19.5	1.4	1.07	
14	14	21.0	1.5	1.00	
15	15	22.5	1.8	0.83	
16	16	24.0	2.0	0.75	
17	17	25.5	2.2	0.68	
18	18	27.0	2.5	0.60	
19	19	28.5	2.7	0.56	
20	20	30.0	3.0	0.50	

对表 2 的数据进行统计, 绘制出沉入套管速度随地层和成孔深度的变化情况见图 2、图 3。

沉入套管速度随套管靴深度的变化而改变, 如图 2 所示。



**Figure 2.** Variation curve of sinking casing velocity with casing shoe depth

**图 2.** 沉入套管速度随套管靴深度变化曲线

沉入套管的平均速度随地层的变化而改变，如图 3 所示。

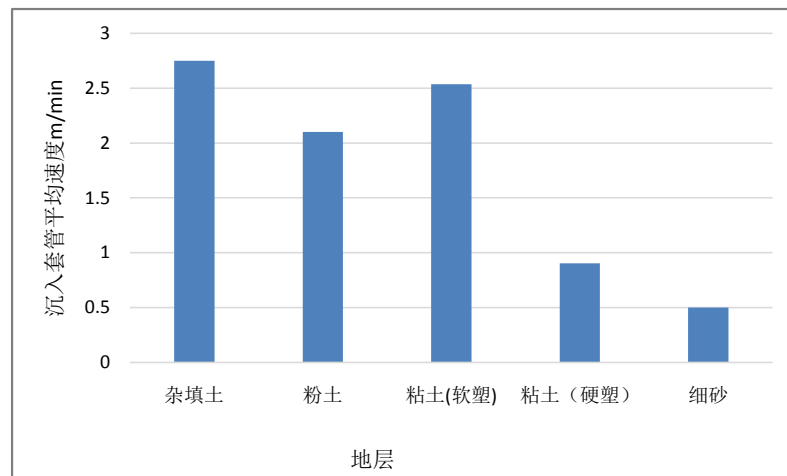


Figure 3. Variation curve of average velocity of sinking casing with ground layer  
图 3. 沉入套管平均速度随地层变化曲线

由图 2、图 3 可知，随着孔深的增加，沉入套管的速度总体呈下降趋势，在杂填土中沉管速度最快，在软塑黏土层中次之，在细砂层中最慢。

## 6. 地层阻力与振动力关系研究

套管阻力计算公式如下：

$$F = F_1 + F_2 \quad (1)$$

式(1)中：

$F$ ——套管受到的总阻力值，kN；

$F_1$ ——套管端阻力，kN；

$F_2$ ——套管侧摩阻力，kN。

套管端阻力计算公式如下：

$$F_1 = q_{pk} \times S_1 \quad (2)$$

式(2)中：

$q_{pk}$ ——极限端阻力标准值，kPa；

$S_1$ ——套管底端面积， $m^2$ 。

套管外壁受到的侧摩阻力计算公式如下：

$$F_2 = q_{sik} \times S_2 \quad (3)$$

式(3)中：

$q_{sik}$ ——桩的极限侧阻力标准值，kPa；

$S_2$ ——套管侧面接触地层部分总面积， $m^2$ 。

以本次试验沉入 20 根套管为例，计算套管受到的总阻力值：

套管外径  $d_1 = 127 \text{ mm}$ ，内径  $d_2 = 118 \text{ mm}$ ；单根套管长 1.5 m，总长 30 m。

$q_{sk}$  的取值详见表 3 [3]。

**Table 3.** Standard value of ultimate end resistance of pile  $q_{sk}$  (kPa)**表 3.** 桩的极限端阻力标准值  $q_{sk}$  (kPa)

土的名称	土的状态	干作业钻孔桩桩长 $l$ (m)		
		$5 \leq l < 10$	$10 \leq l < 15$	$15 \leq l$
黏性土	软塑	200~400	400~700	700~950
	可塑	500~700	800~1100	1000~1600
	硬可塑	850~1100	1500~1700	1700~1900
	硬塑	1600~1800	2200~2400	2600~2800
粉土	中密	800~1200	1200~1400	1400~1600
	密实	1200~1700	1400~1900	1600~2100
粉砂	稍密	500~950	1300~1600	1500~1700
	中密、密实	900~1000	1700~1900	1700~1900
细砂		1200~1600	2000~2400	2400~2700
中砂	中密、密实	1800~2400	2800~3800	3600~4400
粗砂		2900~3600	4000~4600	4600~5200

极限侧阻力标准值  $q_{sik}$  可通过表 4 查询[3]。

**Table 4.** Standard value of ultimate lateral resistance of pile  $q_{sik}$  (kPa)**表 4.** 桩的极限侧阻力标准值  $q_{sik}$  (kPa)

土的名称	土的状态	干作业钻孔桩
填土		20~28
淤泥		12~18
淤泥质土		20~28
黏性土	流塑	21~35
	软塑	38~53
	可塑	53~66
	硬可塑	66~82
	硬塑	82~94
	坚硬	94~104
粉土	稍密	24~42
	中密	42~62
	密实	62~82
粉细砂	稍密	22~46
	中密	46~64
	密实	64~86

套管总长 30 m，套管底部地层为细砂，因此  $q_{pk}$  取 2400 kPa，则套管底极限端阻力为：

$$F_1 = 2400 \times 1.73 \times 10^{-3} = 4.152 \text{ kN}$$

由于试验场地水层(淤泥层)以上的土层间隙比较大,沉入套管过程中将土挤向周围,管壁外侧与地层间的相互作用可以忽略不计。而水层以下套管穿透三层不同土质,所以要计算单层土侧摩擦阻力,再计算总值。如表 5 所示,套管总侧摩擦阻力为 131.64 kN。

**Table 5.** Ultimate side friction resistance of single-layer soil

**表 5.** 单层土极限侧摩阻力

套管直径 (m)	地下水位标 高(m)	土层名称	层底标高 (m)	土层厚度 (m)	极限侧阻力 值(kPa)	单层土套管 表面积(m <sup>2</sup> )	单层土侧摩 阻力(kN)
0.127	-10.5	淤泥	-15.0	4.5	12	1.8	21.6
0.127	-10.5	粘土	-28.5	13.5	18	5.38	96.84
0.127	-10.5	细砂	-30.0	1.5	22	0.6	13.2

根据式(1)可得, 20 根套管受到的总阻力为:

$$F = 135.792 \text{ kN}$$

查地质钻探用钢管(YB235-1970) [4], 可知:

φ 127 mm 套管(壁厚 4.5 mm)的重量是 21.41 kg/m。

单根套管的重量为 32.115 kg。

20 根套管自重为 6.423 kN。

因此沉入 20 根套管时, 钻机的振动力为:

$$F_{\text{振动}} = F - G \quad (4)$$

式(4)中:

$G$ ——套管自重, kN。

代入式(4), 得出动力头振动力为 129.40 kN。

结合表 5 中数据和单根套管自重, 不难得出, 再多沉入一根套管, 需要至少多提供 12.88 kN 的振动力, 而此时已超过动力头能提供的最大振动力(140 kN), 因此在此类地层中沉入 20 根套管即达到极限, 计算结果符合实际钻探情况。

## 7. 结论

通过声频振动沉入套管钻探试验, 得出如下结论:

1) 地层不同分布、不同厚度, 对沉入套管时需要克服的阻力计算会产生较大差别。杂填土和软塑黏土层分布较多, 则所需克服阻力较小, 硬塑粘土和细砂层分布较多, 则所需克服阻力较大。

2) 随着钻孔深度的不断增加, 套管受到的侧摩擦阻力增加值远大于套管的端阻力增加值。声频振动沉入套管工艺可以使孔壁土壤局部液化, 产生间隙, 能有效降低套管受到的侧摩阻力, 大幅提升沉入套管的速度, 满足 30 米目标深度的护壁要求。

3) 声频振动沉入套管工艺方法能有效解决在淤泥层、流砂层等易坍塌地层的钻探取样难题, 沉管、提管速度快, 无泥浆污染, 场地环境清洁。该工艺方法在尾矿库勘察、浅表基质层调查、岩土工程施工、生态环境调查取样等项目中具有推广应用价值。

## 参考文献

- [1] 周石金. 套管护壁解决松散层钻进难题[J]. 水文地质工程地质, 1999(4): 61-63.

- [2] 李伟, 吴浩, 杨恺. MGD-S50 II 型声频振动钻机的研制与试验[J]. 中国煤炭地质, 2017(12): 75-77+95.
- [3] 黄强, 刘金砺, 高文声, 刘金波, 等. 建筑桩基技术规范. JGJ94-2008 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [4] 中华人民共和国冶金工业部. 地质钻探用钢管. YB235-70 [S]. 鞍山: 技术标准出版社, 1970.