

# 非开挖施工中反循环清渣工艺的研究

刘 强<sup>1,2</sup>, 夏柏如<sup>1</sup>

(1. 中国地质大学(北京), 北京 100083; 2. 中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000)

**摘要:**针对非开挖施工中清渣困难的问题,首次将反循环清渣工艺引入非开挖施工中。从理论上计算了传统非开挖和反循环的清渣泵量,计算结果表明,反循环清渣所需泵量远远低于传统的非开挖泵量,从而提出将反循环工艺应用于非开挖清渣施工中。实际应用效果表明,反循环清渣工艺可大大提高非开挖施工中的清渣效果。

**关键词:**非开挖;反循环;清渣;泥浆泵量

中图分类号:P634.7 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2009)02-0061-03

**Research on Reverse Circulation Technology of Drill Dregs Removal in Trenchless Technology/LIU Qiang<sup>1,2</sup>, XIA Bo-ru<sup>1</sup>** (1. China University of Geoscience, Beijing 100083, China; 2. The Institute of Exploration Techniques, Langfang Hebei 065000, China)

**Abstract:** Aimed at the difficult problems about removing drill dregs in trenchless laying, the reverse circulation technology, for the first time, is applied in the trenchless techniques. In the paper, the power of mud pump for removing the drill dregs in traditional trenchless technique and in reverse circulation technique have been theoretical calculated, the result show that the former is more than the latter. The reverse circulation cutting cleaning techniques applied in the practice trenchless laying have greatly improved the rate of removing dregs in bore-hole.

**Key word:** trenchless laying; reverse circulation technique; removing drill dregs; the power of mud pump

## 0 序言

非开挖施工中会产生大量的土屑、岩屑,这些钻屑的原始体积为:

$$V = f\pi R^2 L$$

式中: $f$ ——扩径系数; $R$ ——所铺管线半径; $L$ ——所铺管线长度。

由于钻屑的体积与所铺管线半径的平方成正比,因此,在铺设长度较长、直径较大的管道时,所产生的钻屑体积是相当大的。施工中要尽可能地将钻屑从孔中排尽,以降低拉管的风险,否则,在拉管的过程中将可能造成拉管失败。

## 1 传统的非开挖清渣方法

### 1.1 非开挖铺管施工所需泵量的计算

假设钻屑的形状为球体,它在钻孔的出孔段的受力情况如图1所示(钻孔中充满泥浆),要想将该岩屑排出孔外,需满足如下条件:

$$P_1 \sin \alpha + P_2 > G \sin \alpha \quad (1)$$

式中: $P_1$ ——浮力; $P_2$ ——冲洗液对岩屑颗粒施加的作用力; $G$ ——重力; $\alpha$ ——钻孔的入射角或出土角。

球形颗粒的岩屑重力为:

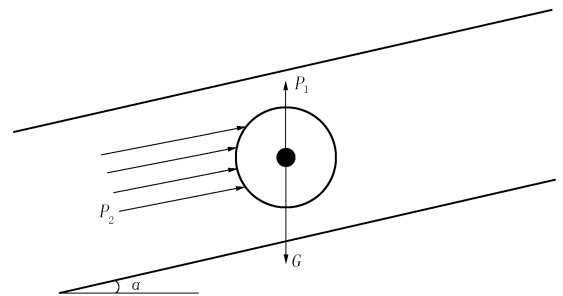


图1 球形钻屑出孔时的受力分析示意图

$$G = (\pi d_1^3 / 6) \rho_1 \quad (2)$$

式中: $d_1$ ——球形岩屑直径, m;  $\rho_1$ ——岩屑颗粒密度,  $\text{kg/m}^3$ 。

球形颗粒所受到的浮力为:

$$P_1 = (\pi d_1^3 / 6) \rho_2 \quad (3)$$

式中: $\rho_2$ ——液体的密度,  $\text{kg/m}^3$ 。

由水力学可知,岩屑颗粒在液体中运动时所受阻力为:

$$P_2 = CF_1 [W^2 / (2g)] \rho_2 \quad (4)$$

式中: $W$ ——岩屑颗粒在液体中的相对运动速度,  $\text{m/s}$ ;  $F_1$ ——受到阻力的面积,即垂直于运动方向的岩屑横断面积,  $F_1 = \pi d_1^2 / 4, \text{m}^2$ ;  $g$ ——重力加速度,  $\text{m/s}^2$ 。

收稿日期:2009-01-04

作者简介:刘强(1963-),男(汉族),湖北人,中国地质大学(北京)博士在读,中国地质科学院勘探技术研究所教授级高级工程师,钻探工程专业,从事非开挖施工技术研究工作,河北省廊坊市金光道77号。

$s^2$ ;  $\rho_2$ ——液体密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;  $C$ ——阻力系数, 圆球  $C=0.5$ 。

将(2)、(3)、(4)代入(1), 并简化得下式:

$$W > \sqrt{4g/(3C)} \cdot \sqrt{d_1(\rho_1 - \rho_2)/\rho_2 \sin\alpha} \quad (5)$$

与此相应的冲洗液量为:

$$Q = F_2 W = M(\pi/4)(D^2 - d^2) W \quad (6)$$

式中:  $m$ ——由于孔径不规则, 冲洗液流速不均匀的系数,  $m = 1.03 \sim 1.1$ ;  $F_2$ ——钻孔环状面积,  $\text{m}^2$ ;  $D$ ——钻孔直径,  $\text{m}$ ;  $d$ ——钻杆外径,  $\text{m}$ 。

设  $d_1 = 0.001 \text{ m}$ ,  $\rho_1 = 2500 \text{ kg}/\text{m}^3$ ,  $\rho_2 = 1200 \text{ kg}/\text{m}^3$ ,  $\alpha = 20^\circ$ ,  $d = 0.089 \text{ m}$ , 假设要铺设直径为  $0.8 \text{ m}$  的管道, 扩孔系数为  $1.3$ , 则孔径为  $D = 1.04 \text{ m}$ , 将以上数值代入(5)、(6)计算得:

$$Q > 0.0912 \text{ m}^3/\text{s} = 5477 \text{ L}/\text{min}$$

这就意味着, 要想将粒径  $< 1 \text{ mm}$  的钻屑有效地排出孔外, 则至少要配置  $5$  套排量为  $1200 \text{ L}/\text{min}$  的石油钻井泥浆泵, 这将需要巨大的设备投资, 同时因泵站配置巨大, 在操作时还要消耗大量的能源及冲洗液, 同时还需放置泵站的大型场地, 显然这在实际中是不可行的。实际上, 目前穿越铺管设备所配备的泥浆泵的泵量都远远低于实际所需的最低的有效泵量, 为了使施工得以进行, 不得不采取其他各种措施来提高清渣效果。

## 1.2 传统非开挖施工中提高清渣效果的几种方法

目前非开挖施工工艺中, 在泵量无法满足需要的情况下, 主要从以下几个方面来提高清渣效果, 降低钻屑对拉管的风险。

(1) 改善泥浆性能。通过使用高性能的粘土和添加剂来提高泥浆携带钻屑的能力, 但泥浆性能改善得再好, 也无助于清除直径较大的沙砾, 而且, 过度地使用泥浆添加剂将导致施工成本大幅度提高, 同时亦有可能造成环境污染。

(2) 增加扫孔次数。但对于某些地层, 如砂层、砂砾层、岩层, 地层几乎不可压缩, 钻屑不能挤入孔壁, 只有通过钻头反复扫孔来驱赶钻屑, 每次钻屑搬运的距离十分有限, 很难将钻屑清除干净, 而且, 多遍清孔导致施工效率很低, 大大提高了施工成本, 同时, 易造成孔壁不稳, 增大了施工的风险。在许多工程中, 由于施工人员不耐心, 在清孔不彻底的情况下就匆忙拉管, 最终造成拉管失败。

(3) 增大扩孔系数。它可以增加容留残渣的空间, 提高拉管的安全性。由于钻孔的工作量与钻孔直径的平方成正比, 随着扩孔系数提高, 钻孔的工作量将成倍地提高, 这将大大地延长施工的时间, 全面

增加各个环节的施工成本。除此之外, 铺管结束后, 管壁与孔壁之间留有过的空间, 将不利于管道的保护, 甚至会导致地面沉降。

以上几种提高清渣效果的方法都存在着较大的负面问题, 事实上, 目前所进行的非开挖施工都是以高消耗、高风险、低效率为代价的。那么, 是否可以找到一种高效、简单、成本低廉的清渣方法呢? 答案是肯定的, 这就是我们所研究提出的“非开挖反循环清渣工艺”。

## 2 反循环清渣工艺的设计

### 2.1 传统冲洗路径分析

从前面的分析可以知道, 非开挖施工中清渣效果较差的主要原因之一是冲洗液的流速太低。如果要将流速提高到所需要的程度, 将要使用一个庞大的泥浆泵站, 这在实际中是不可行的, 而且, 巨大的流速将很容易导致孔壁坍塌。因此, 靠提高泵量来完全解决非开挖施工中的清渣问题是不适宜的。

在传统的非开挖施工中, 冲洗液的流动路线是: 泥浆池→泥浆泵→水龙头→钻杆→钻头→钻孔环隙→孔口→泥浆池, 事实上, 在这个流动路线中, 从泥浆泵到钻头这段路线中, 由于泥浆经过的管线直径较小, 泥浆的流动速度是很快的。例如, GBS-35型铺管钻机的泥浆泵站配备的是  $2$  台泵量为  $320 \text{ L}/\text{min}$  的泥浆泵, 泥浆在  $\text{Ø}89 \text{ mm}$  钻杆中的最高流速可达  $2.8 \text{ m}/\text{s}$ , 可见这一流速完全可以满足携带钻屑的要求。因此, 如果改变泥浆的循环方向, 在设备配置不发生大的改动的情况下, 就有可能达到有效清渣的目的。

### 2.2 非开挖铺管施工中反循环清渣所需泵量的计算

通过前面的分析, 冲洗液在钻杆中有效携带钻屑的泵量为:

$$Q = F_2 W = M(\pi/4) d_2^2 W \quad (7)$$

式中:  $d_2$ ——钻杆内径; 其它参数同式(6)。

同样假设要铺设直径为  $0.8 \text{ m}$  的管道, 扩孔系数为  $1.3$ , 则孔径为  $D = 1.04 \text{ m}$ , 设  $d_1 = 0.01 \text{ m}$ ,  $\rho_1 = 2500 \text{ kg}/\text{m}^3$ ,  $\rho_2 = 1200 \text{ kg}/\text{m}^3$ ,  $\alpha = 20^\circ$ ,  $d_2 = 0.069 \text{ m}$ , 将以上数值代入(5)、(7), 计算得:

$$Q > 0.00075 \text{ m}^3/\text{s} = 45 \text{ L}/\text{min}$$

由此可知, 只需排量在  $45 \text{ L}/\text{min}$  以上的泵就可将直径为  $1 \text{ cm}$  以下的岩屑以反循环的方式, 通过钻杆内孔排出孔外。

### 2.3 反循环工艺引入非开挖施工

从钻井知识可知,要将泥浆的流动路线改变为:泥浆池→孔口→钻孔与钻杆环隙→钻头→钻杆内孔→水龙头→泥浆泵→泥浆池,即实现反循环,通常有3种方法,分别是泵吸、气举和射流。经过分析比较,泵吸法具有设备配置简单、操作方便等特点,最适合非开挖施工。我们在现有的 GBS-35 型非开挖钻机基础上配备了一套 6BS 沙石泵反循环系统,成功地实现了非开挖反循环系统的配置研究,首次在非开挖领域提出并实现了非开挖反循环施工。

### 3 工程实例及使用效果

受江苏某燃气公司的委托,我们承接了一项岩石非开挖铺管工程,该工程需在岩石中穿越 104 国道铺设一条  $\varnothing 377$  mm 的钢管,穿越长度为 210 m。穿越地层为中风化石英砂岩,中细粒砂状结构,质地坚硬,岩性破碎。由于钻屑均为岩粉和岩粒,粒径较大,通常为几毫米到十几毫米甚至几十毫米,清渣工作极为困难。从距入土点 30 m 开凿的一个断面观察,岩粉屑在孔中堆积的厚度竟然超过了钻孔截面的一半(见图 2),显然,常规的正循环对清除此类岩粉无能为力。而且,如果不将孔内的岩粉清理干净,铺管是不可能成功的。

在现场,我们按设计配置了泵吸反循环清渣系统,通过多次试验和不断调整,反循环清渣取得了很好的效果。据现场监测,其排渣效率可达  $4.32 \text{ m}^3/\text{h}$ ,可将尺寸  $> 10 \text{ cm}$  的砾石直接排出孔外,见图 3。

### 4 结论

(1)非开挖铺管施工中,钻屑清除不净是非开挖铺管施工风险高、成本高、效率低的重要原因。

(上接第 60 页)

#### 参考文献:

- [1] 陈国锋,贺永年,杨米加,冯光明.深立井应用 ZKD 高水速凝材料注浆堵水[J].建井技术,1997,(6):16-18.
- [2] 徐润,左永江.粘土水泥浆性能及其堵水机理的研究[J].煤炭学报,1996,(6):54-58.
- [3] 张可能,曾祥熹,章罗生,黄树华.粘土固化注浆堵水试验研究[J].探矿工程,1995,(1):18-20.
- [4] 徐敬业,李小和.压力注浆与深基坑止水[J].长江科学院院报,2000,(6):45-47.
- [5] 张连明.一种优质价廉注浆材料——粘土水泥浆[J].大坝观测与土工测试,1997,(3):40-41,44.
- [6] 冯光明,侯朝炯,贺永年.高水材料及其在井筒注浆堵水工程中的应用[J].东北煤炭技术,1998,(6):22-24.



图 2 某地岩石非开挖钻孔中钻屑充填截面图

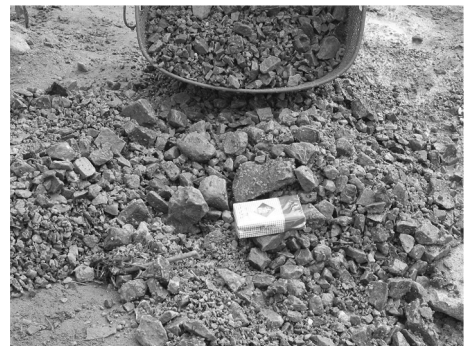


图 3 采用反循环工艺清除的钻屑

(2)反循环清渣工艺可有效地清除孔内残渣。

(3)反循环清渣工艺的诞生是非开挖施工技术的一个革命性的突破。反循环清渣工艺的应用将有效地降低非开挖铺管施工的风险,提高施工效率,降低施工成本。

#### 参考文献:

- [1] 刘强,夏柏如.岩石非开挖铺管施工工艺的研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2005,32(7).
- [2] 曹伟立.水力学[M].北京:石油工业出版社,1989.
- [7] 白宝君,李宇乡,刘翔鹏.国内外化学堵水调剖技术综述[J].断块油气田,1998,(1):1-4,17.
- [8] 柴连善,张传芬,钟立新.堵水效果预测方法及应用[J].大庆石油地质与开发,1995,(4):57-59,77.
- [9] 张栋材.灌浆技术在堵水工程中的应用[J].地质灾害与环境保护,2001,(3):83-86.
- [10] 钟世孝,唐小海.钻孔注浆防治隧道渗漏水[J].公路,1994,(9):48-49.
- [11] 袁涛.杏二区中部三元复合驱增产增注措施优选研究[D].黑龙江大庆:大庆石油学院,2003.
- [12] 王生奎.调剖优化决策技术与决策系统[D].四川南充:西南石油学院,2005.
- [13] 张雷.增产增注措施效果预测与规划方法研究[D].北京:中国石油大学,2007.