

# 轻便无水取样钻机研制与试验

卢倩<sup>1</sup>, 唐守宝<sup>2</sup>, 卢猛<sup>1</sup>, 祝强<sup>1</sup>, 苏兴涛<sup>1</sup>  
(1. 北京探矿工程研究所, 北京 100083; 2. 北京交通运输职业学院, 北京 102200)

**摘要:**根据缺水地区钻探取样的实际需求,进行了无水取样钻机的研制与现场试验。本文介绍了无水取样钻机的研制过程和技术要点以及整机的特点和钻杆钻具的设计,并对功率和凿入效率进行了计算。经过野外试验和改进,最终实现了单人背负的无水钻进取样工作。

**关键词:**钻探取样;轻便钻机;节能环保

中图分类号:P634.3<sup>+</sup>1 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2017)07-0062-05

**Development and Test of Anhydrous Drill/LU Qian<sup>1</sup>, TANG Shou-bao<sup>2</sup>, LU Meng<sup>1</sup>, ZHU Qiang<sup>1</sup>, SU Xing-tao<sup>1</sup>** (1. Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083, China; 2. Beijing Vocational College of Transportation, Beijing 102200, China)

**Abstract:** According to the actual needs of drilling sampling in water shortage area, the development improvement and field tests on anhydrous sampling drill are conducted. This article introduces the drill development process and the technical points, as well as the characteristics of the machine and drill pipe design, and the power and cutting efficiency are calculated. After the field trials and improvement, drilling sampling by one man with the anhydrous drill on his back is ultimately realized.

**Key words:** drilling sampling; lightweight drill; energy saving and environmental protection

## 0 引言

针对山区供水困难问题,研究人员探索了无水钻进法<sup>[1]</sup>。用空气循环替代水循环钻进和无循环钻进技术<sup>[2]</sup>。同时采用轻便且可靠的钻进设备是降低钻进费用的有效途径<sup>[3]</sup>,但轻便的钻进取样技术仍是空白和难点。

在地形条件复杂植被发育地带进行异常查证,选用便携式背包式浅层钻机替代槽探工程是可行的<sup>[4]</sup>。根据以上要求,在以往研究成果的基础上<sup>[5-12]</sup>,研制了一款适用于东北森林农田覆盖区的轻便无水取样钻机并进行了场内和现场试验,该钻机可单人背负,并可在无水状态下采取用于肉眼鉴定的浅部风化基岩块状样品。钻进深度3~4 m,取心直径25 mm。

## 1 钻机主要性能参数

冲击功22~25 J,冲击频率43.3~46.7 Hz,振动级5.8 m/s<sup>2</sup>(破碎)、9.3 m/s<sup>2</sup>(钻孔),钻杆最高转速120~249 r/min,工作模式为纯冲击、冲击回转二种,额定功率2 kW,发动机转速1200~2600 r/min,发动机类型为185cc、单缸2冲程型,发动机启动方式为拉绳启动、反冲启动,发动机冷却方式为风

冷,燃油箱容积1.2 L,燃油种类为混合油(混合比例1:50),整机尺寸(长×宽×高)585 mm×281 mm×732 mm,整机质量23 kg。

## 2 钻机主要技术特点

### 2.1 钻进系统效率

该钻机采用空气循环,较轻便,但钻杆长度、横截面积和钻头质量需要认真研究,以保证钻进系统的效率。

### 2.2 钻杆设计

由于该钻杆在疲劳载荷下使用,因此还应具有结构钢的一般性能。在冲击回转钻进过程中,钻杆承受高峰值、高频率的冲击载荷作用,导致快速的疲劳破坏。此外,钻杆还将受到扭转、弯曲、拉伸、压缩等多种复合应力的作用,并在回转、碰撞的环境下经受岩石、岩粉等工作介质的磨蚀作用,因此要求钻杆应具有如下性能:

- (1) 足够高的疲劳强度;
- (2) 适量的塑性和韧性,以保证钢材有较低的疲劳缺口敏感度;
- (3) 良好的循环韧性,从而保证钢材的消震性

收稿日期:2016-03-14; 修回日期:2017-05-25

作者简介:卢倩,女,汉族,1984年生,硕士,从事探矿工程机械设计及研发工作,北京市房山区良乡工业开发区二期创新路1号,250814057@qq.com。

能良好,并且还可降低疲劳裂纹的扩展速率;

(4)一定的抗腐蚀能力,主要是耐大气和矿物的腐蚀;

(5)良好的工艺性能,包括冷、热加工,锻造和热处理性能。

为减小冲击能的损失,采用螺纹钻杆连接。钻杆螺纹采用国标波形螺纹。每根钻杆的有效长度为850 mm,便于携带,钻杆中心为通气孔(见图1)。



图1 钻杆

钻杆材质为55SiMoMn,属于贝氏体钎具钢,特点是强度和韧性配合较好,具有较高的抗疲劳强度、良好的韧性、较强的消震性能和较低的缺口敏感度。

采用连铸+轧制工艺,螺纹一次成型,正火加调质处理。硬度为HRC30~35,满足钻杆的使用要求。为了确保良好的表面质量和尺寸精度,采用步进式数字加热炉加热,准确控制各段的加热温度;高压水除鳞,清除表面的氧化铁皮,实际脱碳层深度控制在0.3 mm左右。

由于钻杆属于结构件,尺寸越大的构件其发生微裂纹扩展的概率愈大。故其持久极限 $\sigma_{-1}$ 将随构件尺寸的增大而降低。这在 $d > 40$  mm以上的构件中是必须考虑的。因钻杆直径为1 in( $\varnothing 25.4$  mm),小于40 mm,所以发生微裂纹扩展的概率很小。

### 2.3 钻具设计

按照先成孔、后取心的设计方案,钻头主要有锥形冲击钻头和硬质合金取心钻头2种。取心钻头安装在单管取心钻具上。单管取心钻具设计了普通单管和槽型单管两种形式(见图2)。

首先采用外平冲击钻具钻进,然后下入护壁套管,继续使用外平冲击钻头钻至基岩,提钻,然后使用取心钻头采取岩样。



图2 锥形钻头、取心钻头及单管钻具

钻机冲击功20~25 J,取最小值20 J。钻杆连接4次,每次连接损失8%,其传递效率 $\eta = (1 - 8\%)^4 = 71.6\%$ 。

得其有效功为 $W_{\text{有效}} = 20 \times 71.6\% = 14.33$  J。

对于花岗岩,单位面积所需的破碎功 $w = 20$  J/cm<sup>2</sup>时能破碎,当有效功可全部用来破碎岩石时,钻头的面积: $A = W_{\text{有效}}/w = 14.33/20 = 71.64$  mm<sup>2</sup>。

最初设计的内径26 mm、外径28 mm的钻头,计算得 $A = 84.8$  mm<sup>2</sup>,不能有效地破碎岩石,亦不能取样。后来改为内径26 mm、外径40 mm的尖齿硬质合金钻头,如图3所示,因硬质合金出刃,减小了与岩石的接触面积,在保证不崩齿的情况下,其与岩石的接触面积均远小于上面的计算值。所以此款钻头可以有效地破碎岩石。钻头内部设计了5°的锥面,放入卡簧,利于取样。



图3  $\varnothing 40/26$  mm的尖齿硬质合金钻头

### 3 功率校核

该钻机属于气动冲击回转钻进设备,工作原理是由往复运动的冲击体撞击钻杆,钻杆将能量传递到钻具,钻具传递到钻头破碎岩石。将冲击体-钻杆-钻具-钻头-岩石这一体系称为冲击凿入系统。

冲击凿入过程的物理实质是将一长时间作用的力转化为一脉冲力。这一脉冲力可在瞬时提供足够的应力幅值,用来破碎岩石。在这里冲击机械相当于一个能量转换器<sup>[14]</sup>。

能量利用率定义为冲击器的输出能量  $E_o$  和输入能量  $E_i$  之比:

$$R = E_o/E_i = 0.06 \times (E_p f)/(PQ)$$

式中:  $E_p$ ——冲击能量, J;  $f$ ——冲击频率, Hz;  $P$ ——工作压力, MPa;  $Q$ ——流量, L/min。

它反映了设备将外部能量转化为输出冲击能量的能力,能量利用率与传动及结构形式有关。经过计算和文献查阅,气动冲击器的能量利用率(3%~13%)远低于液压破碎冲击器的能量利用率(平均约50%),这是由液压和气压传动特性所决定的。

能量利用率是冲击锤的一个性能指标,但显然不是唯一和必须首选的。从轻便性考虑,在小型冲击工具中,其能量利用率不是主要的,故气动的仍旧得到广泛的使用。

通过查阅文献可知,我国的气动冲击设备能量利用率  $R$  仅为3%,国外设备则到达10%以上。本钻机的功率为2 kW(即冲击器的输入能量  $E_i = 2$  kW),输出能量计算如下:

$$E_o = E_i \times R = 2 \times 10\% = 0.2 \text{ kW}$$

#### 4 凿入效率计算

凿入效率  $\eta_p$  定义为岩石破碎能  $E_R$  对活塞冲击能量  $E_p$  之比:

$$\eta_p = E_R/E_p$$

$\eta_p$  包含2个部分,活塞对钻杆的能量传递效率  $\eta_s$  和入射波对岩石的能量传递效率  $\eta_R$ , 即:

$$\eta_p = \eta_s \eta_R$$

凿入系统中经常会出现活塞断面小于钻杆断面和钻杆(钎头)与活塞长度相近(即短杆系统)的情况。这两种情况都会导致活塞提前反弹,使活塞对钻杆的能量入射呈现不完全情况。其反弹能量:

$$E_b = qE_p$$

此时活塞的入射应力波形均会形成截尾情况。表现为单阶矩形波,由波动理论可导出其能量传递效率:

$$\eta_p = \eta_s \eta_R = (1 - q^2) \frac{\theta}{R[1 - \exp(-2R/\theta)]^2}$$

式中:  $q$ ——反射因数;  $\theta = m^2/(E_p K)$ ;  $K$ ——岩石凿

入系数;  $m$ ——钻杆波动惯量,  $m = AE/C$ ;  $A$ ——钻杆断面。

式中前部  $(1 - q^2)$  为对钻杆的能量传递效率  $\eta_s$ , 其余部分为入射波对岩石的传递效率  $\eta_R$ 。

取钎头直径  $D_b = 40$  mm 时的  $K_{40} = 100$  kN/mm。对于不同直径的凿杆,可认为其凿头直径等于凿杆(钻杆)直径  $D_R$ , 其对应的凿入系数:

$$K = (D_R/40)^2 K_{40}$$

计算表明:

(1) 凿入系统的凿入效率达到40%以上,从效率的角度看,其参数实现了较好的匹配。

(2) 虽然冲击锤存在活塞冲击能对钻杆不完全入射的截尾情况,但活塞对钻杆的能量传递效率达到97%以上,对总的凿入效率构不成严重影响。这是由于其活塞和钻杆直径相接近,形成了较好的匹配。能量主要集中于第一阶应力波,截尾能量不占主要比重。

## 5 现场试验与改进

### 5.1 第一次野外试验

2015年9月12日—9月14日,在黑龙江省大兴安岭地区加格达奇区呼中镇碧水铅锌矿的槽探剖面进行了钻探试验。试验结果表明钻机轻便,可实现单人背负(见图4),动力也可以满足现场的需求。



图4 单人背负钻机

试验中也发现了一些问题:(1)因锥形钻头、钻杆及接头的直径均不相同,连接部位直径变化较大的肩部被孔内碎石卡住,使钻杆无法提出钻孔;(2)槽型钻具因开槽部位被碎石卡住,无法旋转,造成该钻具不能使用;(3)锥形钻头未经热处理,使用过程中变形严重(参见图5)。



图5 发生变形的锥形钻头

## 5.2 钻头、钻具的改进

针对野外试验中遇到的问题,做了如下改进;

(1)锥形钻头做成纺锤形,减小提钻时遇到的阻力(参见图6);



图6 纺锤形和锥形冲击钻头

(2)淘汰了槽型单管钻具;

(3)研制了内锥钻头、外锥钻头以及内锥镶硬质合金钻头、外锥镶硬质合金钻头等5种钻头(见图7)。



图7 取心钻头

## 5.3 第二次野外试验

2015年11月1日在大兴安岭碧水铅锌矿进行了第二次试验。试验地点位于一条槽探剖面,覆盖层厚度约为2 m,覆盖层中含有大量坡积碎石(见图8)。

本次试验,采用纺锤形钻头迅速穿过了覆盖层,钻深2.2 m,钻至基岩位置。因钻头与钻杆之间的直径变化仍然较大,提钻仍然较为困难,后使用钻机



图8 试验点剖面情况

在冲击模式下提钻,才将钻杆及钻头提出孔外。接下来进行了取心试验。首先采用镶硬质合金的内锥钻头进行取心钻进。提钻发现未能取上岩心,且钻头刀刃已严重损坏(见图9)。更换厚壁硬质合金取心钻头继续进行取心试验,钻至基岩层,提钻。因普通单管钻具中没有防止岩心滑落的装置,且必须在冲击模式下向上提钻,导致所采取的岩心全部落入孔内,没有获得岩心。



图9 损坏的内锥镶硬质合金钻头

## 5.4 进一步改进

针对第二次试验中遇到的问题,进行了以下改进:

(1)设计了最大直径与钻具外径相同的冲击钻头,并将钻头前部改为四棱锥的形状,便于钻进;

(2)钻具与钻杆连接的部位增加了小铁环,消除了钻杆与钻具之间的台阶;

(3)单管钻具的岩心管上开了一条细缝,便于观察取心情况(见图10);

(4)配备了0.5 m的护壁套管,防止上部的碎石掉入孔中;

(5)厚壁取心钻头上增加了卡取岩心的弹簧片。

## 5.5 第三次野外试验

11月3日进行了第三次野外试验。试验地点为呼中附近一个采石场断面,该处覆盖层约为2.6 m,覆盖层中含有大量坡积碎石(图11)。

本次试验首先采用外平冲击钻具钻进0.7 m,



图10 钻具及套管



图11 采石场剖面情况

然后下入0.5 m护壁套管,继续使用外平冲击钻头钻至基岩,提钻,然后使用取心钻头采取岩样。本次试验钻进2个钻孔,共耗时2 h,均顺利采到了岩石样品。采样情况见图12、图13。



图12 取心情况



图13 采取的岩石样品

### 5.6 现场应用与推广实例

针对广东、四川等强风化地层,应用半合管冲击取样(见图14),取得了较好效果,得到了广泛的应用与推广。



图14 半合管采取的土壤样品

## 6 结语

经过不断试验和改进,研制了无水钻进取样装备和钻进取样工艺,实现了浅部无水钻进和取样。全套装备仅需2人背负,其中一人背钻机,另一人背钻杆、钻具和工具。钻进取样时由2人配合完成。完成1个3 m深的钻孔约需40~60 min。该设备及工艺可部分替代探槽采样。

本文对钻机从能量利用率、冲击功及凿入效率方面进行了分析,有关计算和分析结果对冲击锤的设计和选用有益。一个合理和优良冲击器的构成还涉及到结构、材料、工艺诸多方面,应综合考虑。

## 参考文献:

- [1] 曹克信,张芳英.无水钻进打井技术在山西省的应用[J].水利水电技术,1981,(12):22-27.
- [2] 刘家荣.无循环钻进工艺在易坍塌、缩孔和卵砾石地层的应用[J].地质与勘探,2010,46(5):960-966.
- [3] 王峪.轻便钻机在地质勘察工程中的应用[J].西部探矿工程,2013,25(5):80-82.
- [4] 宁国军,王书辰,申大元.便携式浅层取样钻在矿产勘查中的应用[J].采矿技术,2015,(4):106-108.
- [5] 张志民.轻便快速振动冲击取样机具与钻进工艺的研究[D].北京:中国地质大学(北京),2007.
- [6] 赵洪波,宋殿兰,卢猛,等.浅层钻探技术在海南某矿区化探取样中的应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(2):18-21.
- [7] 谭春亮,宋殿兰,贾军.全液压车载钻机在缺水地区化探取样中的应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(9):7-10.
- [8] 冉恒谦,张金昌,谢文卫,等.地质钻探技术与应用研究[J].地质学报,2011,(11):1806-1822.
- [9] 赵洪波,李国民,刘宝林,等.刘长营环境科学钻探取样技术研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(11):14-17.
- [10] 何远信,夏柏如,赵尔信.环境科学钻探取样技术研究[J].现代地质,2005,(3):471-474.
- [11] 田树伟,卢猛.TGQ-10A型浅层取样钻机的研制[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(4):13-15.
- [12] 彭儒金,戴圣海,邱华,等.QDW-50型无水钻机的研究与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(6):20-22.
- [13] 罗生梅,张宏林,斯建刚,等.冲击凿岩的瞬态动力学及效率分析[J].兰州理工大学学报,2009,35(4):39-42.
- [14] 甘海仁,赵统武.冲击锤的工作应力和能量传递分析[J].凿岩机械气动工具,2007,(1):18-23.