

# 大口径牙轮组合钻头钻进成本的控制

柳玉珩

大口径牙轮组合钻头已成为我国嵌岩桩孔钻进最有效的碎岩工具之一,尤其在极坚硬的花岗岩地层更显示出其优越性。大口径牙轮组合钻头,钻进中硬以上地层,钻速高,大大加快了整个工程的进度,同时施工队也获得较好的经济效益。但是,由于个别施工队钻进技术水平和管理水平较差,在使用大口径牙轮组合钻头后,即使在相同的地质条件和设备条件下,获利甚微或赔钱,因此对采用大口径牙轮组合钻头持怀疑态度。造成大口径牙轮钻头钻进成本高的关键是钻工对大口径钻头使用技术水平低或根本没有用过。因此,如何控制好大口径牙轮钻头钻进成本,是钻头供应商的责任。为了让用户在选择使用大口径牙轮钻头后,达到最低成本钻进,获得最佳的经济效益,本文将提供一些有益措施。

## 1 大口径牙轮组合钻头钻进成本的构成

钻进成本方程式:

$$E = A/H + B(T_1 + T_2)/H + C(T_1 + T_2)/H$$

$$E = (A_0 + A_1 + A_2 + \dots)/H + B/V + C/V \quad (1)$$

式中:  $E$  —— 钻进成本,元/m;  $A$  —— 钻头总费用,元;  $A_0$  —— 钻头价格,元;  $A_1$  —— 钻头第一次维修费用,元;  $A_2$  —— 钻头第二次维修费用,元;  $B$  —— 平均机械费用,元/h;  $C$  —— 平均人工等杂费,元/h;  $T_1$  —— 纯钻时间,h;  $T_2$  —— 辅助钻进时间,h;  $V$  —— 平均机械钻速,m/h;  $H$  —— 钻头总进尺,m。

由方程式(1)可知,要获得最低成本( $E$ )钻进就必须提高机械钻速( $V$ )和钻头的

使用寿命( $H$ )。

## 2 提高机械钻速措施

影响机械钻速的主要因素有地层、钻头、钻压、转速和孔底清洁度等,除地层条件不可改变之外,其它因素均可人为改变。

### 2.1 钻头的选择

钻头选择要依据地质条件及钻进设备情况选择价格合适、高钻效的钻头。我所钻头中心研制出多种类型大口径牙轮组合钻头,适用于各种地层钻进,口径0.5~2.5 m。推荐选择方案如下:

(1)PZX型:采用高耐磨性、高韧性的硬质合金齿牙轮制做,适用于钻进中硬以上地层及卵砾石地层。钻头寿命长,钻速高。目前嵌岩桩孔0.6~2 m口径大量采用此类钻头,累计钻头总进尺数十万米。

(2)PZG型:采用钢齿牙轮制做,特别适合于软至中硬地层,钻头价格低,钻速高。

(3)PZH型:采用钢齿和镶齿牙轮混合组焊,针对中硬地层,有较高的钻速和较低钻头成本。

(4)PZ-B变径型:钻头边掌可伸缩,完成两种或两种以上口径的钻进,适合于扩底钻孔和不同口径小数量钻孔,可大大降低用户的钻头成本。

(5)PZ-Q环型(或空心型):牙轮周边布置,钻头环状碎岩(中心60%~80%岩石不破碎)钻头比压大,钻速高,特别适合于卵石、孤石和入岩深、口径大的钻孔。岩心可抓取或冲击破碎成大块再抓取。

根据岩性选择钻头见附表。

岩石强度/MPa	<42	42~84	84~176	>176
		石灰岩	白云岩	闪长岩
岩石名称	页岩	2.2~3.3	5.2~6.7	7~7.5
(近似莫氏硬度)	<3	大理石	硬砂岩	玄武岩
	泥灰石	2.4~3.2	5.6~6.8	6.8~7.8
	1.5~2.8	砂岩	花岗岩	石英岩
		3~6	6~7	6~7
单掌所	8 $\frac{1}{2}$ in	2	2~3	3~5
需最低	9 $\frac{1}{2}$ in	2.3	2.3~3.5	3.5~6
钻压/kN	12 $\frac{1}{4}$ in	2.5	2.5~4	4~8
推荐钻头类型	PZC	PZH、PZX	PZX	PZX

## 2.2 钻压

钻速与钻压成正比。大口径牙轮钻头口径大,碎岩面积大,钻头自重较大,但相对单位比压值较小,靠钻头自重很难达到碎岩的比压值。因此,大口径牙轮钻头钻进,要获得较高钻速就必须有充足钻压。个别工程队钻速低,原因是无充足钻压,钻头在孔底“空转”,且对钻头寿命影响较大。钻压过高有害于牙轮,但大口径牙轮的单个牙轮平均的承载力远远低于牙轮所限制的最大承载力。

因此,在大口径牙轮钻头使用中,因钻机提升力有限,不限制最高钻压,需限制最低钻压。否则,难以发挥牙轮钻进高效率特性。

大口径钻头一般不宜采用孔口机械加压,这样易造成钻杆弯曲或折断等事故。最好方法是在钻头上部或钻头自身配重。配重方法是:

(1)口径相对小的采用钻铤;

(2)特制加重法码;

(3)钻头桶内加钢粒(钢料不宜超过桶高2/3,余下部分盛大块岩渣或掉块、异物等),配重量的确定如下:

$$P_{\text{配}} = K_1(n_1p_1 + n_2p_2 + n_3p_3) - W$$

式中:  $K_1$ ——液体浮力系数 1.15~1.18(清水取小值,泥浆取大值);  $W$ ——钻头质量, kg;  $n_1$ 、 $n_2$ 、 $n_3$ ——钻头底唇布 8 $\frac{1}{2}$ 、9 $\frac{1}{2}$ 、12 $\frac{1}{4}$ in 牙掌数;  $p_1$ 、 $p_2$ 、 $p_3$ ——单个 8 $\frac{1}{2}$ 、9 $\frac{1}{2}$ 、12 $\frac{1}{4}$ in 牙掌所需最低压力, kg/个。

$p_1$ 、 $p_2$ 、 $p_3$  值按附表选取,  $W$ 、 $n_1$ 、 $n_2$ 、 $n_3$  参见 PZ 系列钻头技术参数表(略)。

## 2.3 转速

钻速与转速在软地层钻进时成正比,但在硬地层钻进时,随钻头转速的增加钻速呈下降趋势,且转速的增加对钻头的寿命影响较大。过高的牙轮自转速度,加快轴承的磨损,大口径牙轮周边牙掌最先失效的主要原因之一,就是边掌线速度过高。转速高还造成钻头振动和摆动,更加剧钻头牙轮的损坏,因此,使用大口径钻头时必须限制转速。转速确定如下:

$$n = kd/D$$

式中:  $k$ ——系数,取 60~150(软地层取大值,硬地层取小值);  $d$ ——边掌大端直径, mm(口径大于 1 m 钻头取 183,口径小于 1 m 钻头取 130);  $D$ ——大钻头直径, mm。

转速常常还受到下列因素的限制:回转头的有效功率;钻杆折断的危险性。建议在钻头配重之上加扶正(导正)稳定器(或扶正圈)。比较合理的钻具组合参见图 1、2。

## 2.4 孔底清洁度

大口径牙轮钻头碎岩颗粒很大,最大约 1~2 cm(片状),若不及时排走将被牙轮重复破碎,影响钻速和钻头寿命。孔底清洁度取决于 3 个因素:冲洗液循环方式、冲洗液量和泥浆性能。

2.4.1 冲洗液的循环方式 反循环排渣效果最好,钻杆内上返流速 2.5~4 m/s,可携带 5~15 cm 粒径的岩渣或卵石等。反循环钻进受地层条件和泵的使用技术的限制,在地层允许的条件下,大口径牙轮钻进尽可能采用反循环钻进。

正循环钻进优点是泵的使用技术简单,且在易塌地层必须采用正循环钻进,此时需配制优质泥浆,钻头上部配专用取大块岩渣桶(见图 1),也能较好达到排渣。

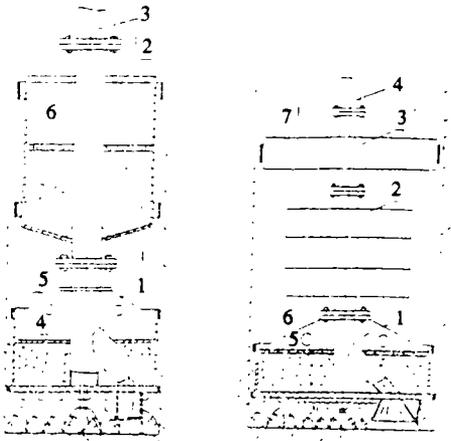


图1 正循环钻具组合

1—PZX-1000型钻头;2—加重(钢粒)扶正取粉三合一;3—钻杆;4—合金块;5、6—扶正块(镀合金)

图2 反循环钻具组合

1—PZX-1800型钻头;2—砵码式配重块;3—圈式扶正;4—钻杆;5—合金块;6、7—扶正块(镀合金)

**2.4.2 冲洗液量** 反循环钻进排渣效果好,但下降液流快,易造成掉块或塌孔,引起埋钻事故,严重地影响钻进速度。因此,反循环钻进时应限制下降液流速度在  $0.02 \sim 0.04 \text{ m/s}$ ,最大不超过  $0.16 \text{ m/s}$ (易塌地层取小值,稳定地层取大值),钻杆内液流上返速度应在  $2 \sim 4 \text{ m/s}$  为宜。

正循环钻进时,上返岩渣所需液流速度为  $0.3 \sim 0.5 \text{ m/s}$ ( $0.3$  为泥浆),由于大口径钻头钻杆的环状空间面积大,现有泵量很难满足牙轮破碎的大颗粒岩渣的上返速度,牙轮钻头设计护桶可达到较好排渣效果。(1)护桶与孔壁间隙大大减小,上返液流速度加大,携带岩粉能力强;(2)大块岩渣上返至钻头上部时,因上返流速突然降低,可沉淀于钻头护桶内。泵量可参见下式选取:

$$Q = 2826(D^2 - d^2) \cdot V (\text{m}^3/\text{h})$$

式中: $D$ ——钻头直径,  $\text{m}$ ;  $d$ ——护桶直径(参见 PZ 系列牙轮钻头技术参数表),  $\text{m}$ ;  $V$ ——上返液流速度,  $0.25 \sim 0.3 \text{ m/s}$ (较软地层取大值,硬地层取小值,清水钻进取  $0.5$

$\text{m/s}$ )。

**2.4.3 泥浆性能** 建议大口径牙轮钻进配制优质泥浆并及时调整泥浆性能,不能只是简单清除沉渣。

### 3 提高钻头使用寿命的措施

大口径牙轮组合钻头由多个单牙轮刀具组合而成,虽然采用相同性能的牙轮掌,但因各个牙掌工作条件和工作量不一样,其寿命也不一样。边掌线速度高,工作量大,且又受侧壁力的作用,岩渣磨损、冲蚀等,边掌寿命最短,仅是内部牙轮掌的  $1/3 \sim 1/4$ ,不能因为仅边掌失效就报废整个钻头,因此钻头修复是提高钻头寿命的重要途径。仅花小量的费用  $A_i$ ,钻头可增加进尺量  $H_i$ 。最初几次的钻头修复不会使钻头的性能下降太大。因此建议用户在选用大口径牙轮钻头时,配备边掌  $3 \sim 6$  个,内部牙轮  $2 \sim 4$  个,这样配备后即使是钻进中硬以上地层,钻头的总寿命可达  $100 \text{ m}$  以上。钻头累计钻时可达  $500 \text{ h}$  以上。

#### 3.1 牙轮失效判断

钻头修复之前先判断失效牙掌。大口径牙轮钻头牙轮失效判断较石油钻井使用三牙轮钻头有较大不同。按以下标准判断:牙轮自锁失效,且卡环锁失效;牙轮齿磨秃,碎岩效果差;牙轮体破裂(碎),易脱落,电焊无法补强;牙轮背、掌尖磨损严重,易发生牙轮体脱落;牙轮轴卡死,牙轮不能自转。

有以上任一现象就应该更换新牙掌。否则不仅影响钻速还易造成孔内事故。

#### 3.2 更换牙掌

更换新牙掌必须与原牙掌牙齿形高度基本相同(尽量选相同类型牙掌)。牙掌有 3 种基本牙齿类型。原钻头设计中三种牙形分布同一层圈互相补强。如果在同一层圈的牙形一样,牙齿碎岩宽度大,碎岩效果差,牙轮小端磨损过快,影响钻速。边掌高

(下转第 103 页)

位 7 m 的富含地下水地层施工,利用压力为 2.42 MPa 的空压机,可以钻进孔深 500 m 以上的钻孔,而不安气水混合接头则最大钻进孔深仅 250 m。

#### 4 中心取样钻探工艺的应用

利用研制的全套 CSR73 双壁钻杆、钻具及附属器具,在 4 个局队不同矿区进行了生产试验,最深孔达 305 m,地质效果、经济技术指标及经济效益均有大幅度提高,其中台月效率提高 100% ~ 310%,最高单孔(孔深 305 m)台效 2583.5 m,单位材料消耗降低 50% 以上。

(1)与河南省地矿厅探矿一队、地质二队联合开展了“CSR 钻探方法在铝土矿中的应用研究”,对比试验表明,与常规取心方法相比,CSR 钻探的平均台月进尺提高 3.1 倍,机械钻速提高 5.81 倍。另外 CSR 方法避免了泥浆对矿样的污染,样品的代表性更强。在对比试验中,常规方法同一勘探线上的 ZK333 和 ZK335 孔均见到了矿层,两孔之间的 ZK334 孔却没有见矿,但对比孔 CSR 方法却见到了工业可采矿层,说明原取心方

法打丢了矿。ZK323 孔的原取心钻孔见矿只有一层 3.35 m 厚,而在其旁边用 CSR 方法施工的对比试验孔在同一层位见矿厚度高达 9.2 m,并见到另一层 1 m 厚的原取心方法没有发现的矿层,地质人员极为满意。

通过对比试验和生产孔的检验,解决了当地铝土矿勘探中取心困难、效率低、岩心代表性差的难题,钻进效率大幅度提高,成本降低,地质效果非常好,他们已经把该方法确定为铝土矿勘探重点矿区、重点孔位的首选钻探方法。

(2)宁夏地矿局在金场子复杂地层金矿勘探中使用该技术施工的 ZK4401 孔,试验进尺 199.75 m。与同矿区常规钻进方法相比,台月效率提高 6 倍,小时效率提高 4.7 倍,单位成本下降 65%,获取的岩矿心代表性非常好。

总之,中心取样钻探技术是一项多、快、好、省的全新钻探方法,可广泛用于矿产勘探钻进、地下水资源普查及工程地质施工等领域,如得以在我国地勘工作中推广应用,必将大大加快勘探速度,节约投资,缩短周期,获得显著的经济效益与社会效益。

(上接第 93 页)

度不一样,还会造成钻头回转不稳,更加剧了钻头损坏。

#### 3.3 更换钻头

更换牙掌可以提高钻头寿命,但过量的修复,钻头性能下降很大,钻速降低显著。一般修复总费用  $\Sigma A$  大于  $A_0/2$  时或 60% ~ 70% 牙掌修复过,就更更换钻头,否则机械钻进成本会因钻速过低高于钻头成本的降低。

#### 4 小结

从钻进成本方程(1)看,整个成本的控

制还应包括钻头价格控制、机械设备使用、人工等费用的控制。要使某一工程有利可赚,主要途径是提高机械钻速和钻头使用寿命。如将钻头价格看得太贵,而选用价廉钻头。“硬啃”那些坚硬地层实必造成机械费用、人工费的增加。在目前嵌岩桩施工中,首选最有效的碎岩钻头是获得最低成本钻进的必要条件。之后应制定较详细的施工计划,优选一些懂技术钻工上岗,并认真学习大口径牙轮钻进技术。同时我们也将不断改进钻头结构,提高钻头性能和钻头使用寿命,降低钻进成本。