

# 潜孔钻机智能防卡系统的研究

郭 勇,王 毅,李东明

(长沙矿山研究院,湖南 长沙 410012)

**摘 要:**对潜孔钻机卡钻机理进行了探讨,为提高潜孔钻机的防卡钻能力,提出了一种能对卡钻事故和卡钻类别进行判别,并能自动处理卡钻和恢复正常钻进的智能防卡系统。该系统能大大提高潜孔钻机对卡钻判别的准确性和处理的快速性。

**关键词:**潜孔钻机;卡钻机理;智能防卡系统;研究

中图分类号:U445.31

文献标识码:B

文章编号:1000-033X(2007)01-0053-03

## Research on the Intelligent Anti-jamming System for Down-the-hole Drill

GUO Yong, WANG Yi, LI Dong-ming

(Changsha Institute of Mining Research, Changsha 410012, Hunan, China)

**Abstract:** The rock-drilling jamming mechanism of down-the-hole drill is discussed. In order to improve the anti-jamming ability of down-the-hole drill, an intelligent anti-jamming system is put forward, which can distinguish jamming types, automatically deal with the jamming accident and come back to normal drilling. The accuracy of distinguish jamming types and the speed of handling jamming of this system have improved a lot.

**Key words:** down-the-hole drill; rock-drilling jamming mechanism; rock-drilling anti-jamming intelligent control system; research

### 0 引言

在潜孔钻机钻孔凿岩实践中,经常发生卡钻事故。处理该事故要花很长时间,这就大大降低了潜孔钻机的使用效率,同时加大了钻孔成本。在中、深孔凿岩时,较严重的卡钻现象可能导致钻具报废,即通常所说的“埋钻”事故,造成上万元的损失。因此,采用一种合理、有效的防卡控制系统对卡钻事故进行预防和处理具有重要意义<sup>[1]</sup>。

### 1 卡钻机理

下面针对采用液压马达-链条式提升机构和液压马达提供回转扭矩的潜孔钻机进行说明。

回转扭矩主要用来克服钻头与孔底的摩擦力和剪切阻力、钻具与孔壁的摩擦阻力以及由于炮孔不规则等因素造成的各种附加阻力<sup>[2]</sup>。钻进过程中,钻具所承受的总阻力矩 $M_z$ 主要由3部分组成:

- (1) 剪切2次冲击间岩瘤所留下的剪切阻力矩 $M_1$ 。
- (2) 球柱齿端部与孔底岩石的摩擦所形成的摩擦阻力矩 $M_2$ 。

(3) 钻具外缘与钻孔壁间岩粉摩擦力所形成的分布阻力矩 $M_3$ 。此外,力矩传递中各件的摩擦等引起的阻力矩将在考虑动力矩的传递效率中加以估算。由此,总阻力矩为

$$M_z = M_1 + M_2 + M_3 \quad (1)$$

潜孔钻机提供的回转力矩为 $T$ ,回转速度为 $n$

$$T = h_m \Delta P V \quad (2)$$

$$n = h_v \frac{60}{2\pi} \frac{Q}{V} \quad (3)$$

$$\Delta P = P_a - P_b$$

式中: $h_m$ ——机械效率;

$P_a$ ——进油腔压力;

$P_b$ ——马达回油腔压力;

$V$ ——马达排量;

$Q$ ——理论输入流量。

凿岩钻孔时, $T$ 由回转阻力矩决定

$$T = M_z \quad (4)$$

钻进过程中,孔底受的轴向力包括钻具及自重 $G$ ;

岩石及钻架导轨对下滑部件的摩擦阻力 $F_f$ ；冲击器的反跳力 $R_1$ 、调压力 $Q$ 以及孔底轴压力 $P$ 。

$$Q = G \sin \alpha - R_1 - F_f - P \quad (5)$$

潜孔钻机液压系统提供的推进力为

$$F = h_1 \Delta P V / r \quad (6)$$

$$v = h_2 \frac{60}{2\pi} \frac{Q}{V} r \quad (7)$$

式中： $F$ ——推进力；

$h_1$ ——综合传递效率；

$h_2$ ——速度综合传递效率；

$r$ ——链轮半径；

$v$ ——推进速度。

凿岩钻孔时， $F$ 由调压力 $Q$ 决定

$$F = Q \quad (8)$$

由式(2)、式(4)得，回转压力随回转阻力矩的变化而变化。由式(5)、式(8)得，推进压力随孔底轴压力的变化而变化。液压系统的推进和回转压力的变化能够反映回转阻力矩和推进力的变化。

根据凿岩实践经验，由液压系统油压的变化特征，可将凿岩卡钻按其产生的原因和特点分为3种类型。

(1) I类卡钻 当钻头突然凿入溶洞，溶洞内的碎石将钻头卡死而引起的卡钻，简称“溶洞卡钻”。钻头进入溶洞后，由于突然失去岩石的推进阻力和回转阻力矩，推进力和回转力矩会突然降低，推进速度升高，出现卡钻之后，推进阻力和回转阻力矩突然增加，并超过凿岩系统所提供的最大推进力和回转力矩，回转运动和推进运动因受过大的阻力而停止，导致凿岩穿孔无法继续进行。此类卡钻反应到液压系统中首先表现为推进压力和回转压力突然下降，出现卡钻后才表现为回转压力和推进压力突然升高到最大值。实践表明，此类卡钻是最难处理的一种。

(2) II类卡钻 由排渣不畅或岩石性质不均等原因所引起的卡钻，由于这种卡钻是逐渐进行的，故简称“缓变卡钻”。排渣不畅使得不能及时排出的岩渣增多，岩渣对回转运动的阻力矩增大，凿岩穿孔速度也逐渐降低。当钻头进入性质不均的岩石时，钻头会因径向受力不均而偏移原来的方向，进而使炮孔弯曲，使回转阻力矩随钻头的继续凿入而逐渐增大。当回转阻力矩超过凿岩系统提供的最大回转力矩时，回转运动因受过大阻力矩而停止，凿岩无法继续进行，推进运动也因无法继续凿岩穿孔而终止，推进力也升到最大值。

(3) III类卡钻 因钻头突然进入裂隙而引起的卡

钻，简称“裂隙卡钻”。当钻头进入裂隙之后，由于裂隙给回转运动突然的阻力矩，该阻力矩超过系统提供的最大回转力矩，使回转阻力矩突然升高到最大值。如果凿岩系统不能立即消除这突然增大的阻力矩，则回转运动受阻停止，凿岩穿孔无法进行，推进力达到最大值。反应到液压系统中表现为回转压力和推进压力突然升高到最大值。上述3类卡钻反应至液压系统中的特征如图1所示。

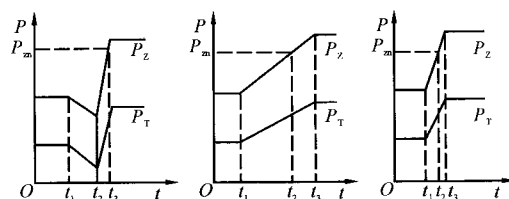


图1 3类卡钻的液压系统反应特征

## 2 潜孔钻机智能防卡系统方案

目前，国外潜孔钻机仅有少数设置了防卡钻功能，且主要是通过纯液压系统的控制实现<sup>[1]</sup>。其控制方式是当卡钻时的回转压力上升至某一压力时发出1个信号来使压力继电器动作或设置防卡阀使推进器回退来防卡钻。这种防卡钻方案只对指定的岩层作用明显，对于地质条件复杂状态下的凿岩卡钻很难进行有效处理。

为了提高防卡钻系统的反应速度，增强对岩石性质的适应性，根据卡钻反应至液压系统的特征，提出潜孔钻机智能防卡系统的方案。它通过控制潜孔钻机推进油压和推进马达的回转油压来进行卡钻的控制，由液压控制部分和电气控制部分组成<sup>[4]</sup>。

### 2.1 潜孔钻机智能防卡系统液压部分的组成和原理

如图2所示，推进回路和回转回路分别由1个单独的泵控制。正常凿岩时，比例节流阀的开口分别根据回转马达和推进马达对流量的要求设定。泵的出口压力跟随负载压力变化。比例溢流阀分别设定液压系统回转回路和推进回路的最大工作油压。

卡钻时对回转回路，可以调节比例溢流阀改变泵

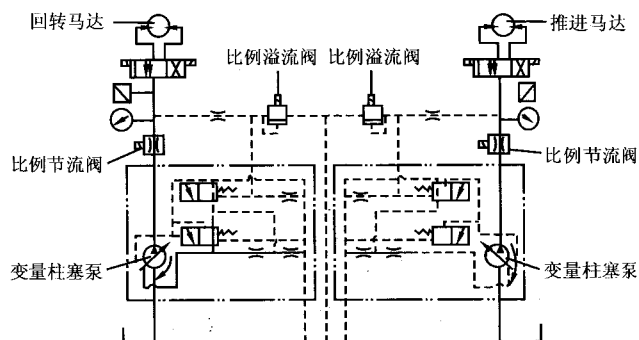


图2 潜孔钻机卡钻控制系统液压部分

的最大出口压力,调节比例节流阀改变回转速度。对于推进回路,则可以通过调节比例溢流阀改变泵的最大出口压力,调节比例节流阀改变回转速度。在自动处理事故中,由程序对比例溢流阀和比例节流阀进行控制。而在手动处理事故中,通过推进手柄和回转手柄调节比例溢流阀。

## 2.2 潜孔钻智能防卡系统控制部分的组成和原理

潜孔钻智能防卡系统电气控制部分主要是通过采集潜孔钻机液压系统的回转油压和推进油压进行防卡控制的,其主要功能如下:

- (1) 对回转油压 $P_z$ 和推进油压 $P_T$ 自动实时监测。
- (2) 对采集数据进行实时处理后进行判断,若有卡钻事故,判别其类型。
- (3) 根据卡钻类型,发出报警并对卡钻事故进行自动处理。
- (4) 人工干预事故的处理。其组成如图3所示。控制器主要完成对采集数据的处理,是否发生卡钻事故的判断,卡钻类别的判定以及卡钻事故的自动处理。

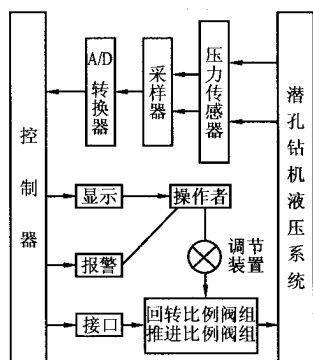


图3 潜孔钻智能防卡系统电气控制部分的组成

### 2.2.1 卡钻类别的判定

I类卡钻是根据钻头进入溶洞由于突然失去岩石的推进阻力和回转阻力矩,推进力和回转力矩突然降低,推进油压 $P$ ,产生突变信号进行判定的。它的判别条件为 $\Delta P_T > \Delta dp_{T0}$ 。其中 $\Delta P_{T1}$ 为 $\Delta T$ 时间内推进压力的变化量; $\Delta dp_{T0}$ 为 $\Delta T$ 时间内某一具体岩石条件下的正常稳定凿岩时最大推进压力变化量。

II类卡钻根据回转压力的缓变信号进行判定。其判别条件为

$$\Delta P_z < \Delta dp_{z1}, P_z > P_{z0} + \Delta P_{zm}/4$$

式中: $P_z$ ——回转压力;

$P_{z0}$ ——稳定凿岩的回转压力;

$\Delta P_{zm}$ ——回转压力储备量;

$\Delta P_z$ —— $\Delta T$ 时间内回转压力变化量;

$\Delta dp_{z1}$ —— $\Delta T$ 时间内某一具体岩石条件下的正常稳定凿岩时最大回转压力变化量。

III类卡钻根据回转压力的突变进行判定。其判别条件为 $\Delta P_z > \Delta dp_{z1}$ 。由于此种情况下,回转压力的变化过程是一个阶跃变化过程,在 $\Delta T$ 时间内回转压力 $P_z$ 的变化很大,为了更好地对III类卡钻进行处理,当 $P_z > P_{z0} + 3\Delta P_{zm}/4$ 时,即进行响应的事故处理。

### 2.2.2 卡钻事故的处理

处理的方式有2种:一是控制器进行自动处理;二是人根据显示的卡钻类型进行调节。第二种的优先级高于第一种,这样可以避免冲突。

I类卡钻自动处理过程如下:首先,潜孔钻机回退进行预防处理,降低推进和回转速度;若 $P_T$ 升高,当 $P_T > P_{T0} + \Delta P_{T0}$ 时,重新推进。当 $P_T$ 值落在 $P_{T0}$ 正常波动范围内时,恢复正常凿岩。

II类卡钻的处理过程如下:使推进和回转速度随回转压力的升高而无级降低。当回转压力回到正常波动范围时,恢复正常钻进。

III类卡钻的处理过程如下:潜孔钻机立即回退,当回转压力 $P_z < (1-K_c)P_{z0}$ 时,重新推进,同时使推进速度和回转速度降低后无级增加,以避免重推再卡。当回转压力回到正常波动范围内时,恢复正常钻进。

## 3 结语

潜孔钻智能防卡系统是一种能对卡钻事故和卡钻类别进行判别,并能自动处理卡钻,恢复正常钻进的防卡新方案。它结合了液压控制和计算机控制的优点,大大降低了凿岩能耗,跟随了岩石性质对卡钻事故进行准确的判断,根据卡钻类型进行不同处理,大大降低了处理卡钻恢复正常钻进的时间,在防卡钻反应速度、岩石性质适应性方面优于现有的防卡系统。

### 参考文献:

- [1] 陈玉凡. 矿山机械钻孔机械部分[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1981.
- [2] 胡均平. 凿岩过程推进压力反馈防卡钻计算机控制[J]. 中国有色金属学报, 1998, 8(2): 364-367.
- [3] 吴万荣. 潜孔钻机凿岩过程自动防卡钻控制[J]. 中国机械工程, 2002, 13(6): 455-457.
- [4] 朱波, 张永高. 应用水平定向钻安装管道时回拖拉力的计算方法[J]. 筑路机械与施工机械化, 2005, 22(10): 41-44.

收稿日期: 2006-03-30

[责任编辑: 林通]