

凿岩过程推进压力反馈防卡钎计算机控制^①

胡均平 杨襄璧 吴万荣

(中南工业大学机电工程学院, 长沙 410083)

摘 要 根据凿岩过程中钎头进入溶洞卡钎区时推进压力的变化特征, 提出了利用推进压力反馈自动进行防溶洞卡钎控制。通过对推进压力反馈自动防卡钎控制条件的研究分析, 确定了自动防溶洞卡钎的计算机控制模型, 并进行了防溶洞卡钎性能仿真计算和实验测试。理论分析计算和实验结果表明, 计算机控制的防溶洞卡钎性能, 优于纯液压控制的防溶洞卡钎性能; 在三种防卡钎控制条件中, 推进压力相对时间变化量的条件最好。

关键词 液压凿岩 计算机控制 防卡钎

中图法分类号 TD421

1 凿岩过程推进系统力学模型

对于由油缸、钢丝绳和动滑轮组成的推进机构^[1-3]和采用定值减压阀供油的推进系统(图1)^[4,5], 不计回油背压, 由运动学和液压流体力学理论易得^[6]:

$$a = \frac{dV}{dt} = \frac{2p_{T1}A - F_m - F_w}{M} \quad (1)$$

$$p_{T1} = p_T - K_P v^2 \quad (2)$$

$$\frac{dp_{T1}}{dt} = -2K_P v \frac{dv}{dt} \quad (3)$$

式中 K_P —压力速度损失系数, p_{T1} —推进压力, p_T —定值减压阀调定压力, A —推进油缸作用面积, V —推进速度, F_w —岩石对钎头的阻力, F_m —推进系统等效推进阻力, a —凿岩机推进加速度, M —推进系统等效质量。

尽管由于凿岩机冲击活塞的运动和孔底岩石的不断被破碎, F_w 将是一个主频与凿岩机冲击频率相同的波动变化量, 但在正常稳定的穿孔凿岩时, 每一个 F_w 波动周期内, F_w 的平均值将基本上是不变的^[7], 因此, 相应推进压力和推进速度在一个 F_w 的波动周期内的平均值也是基本不变的, 推进加速度在一个 F_w

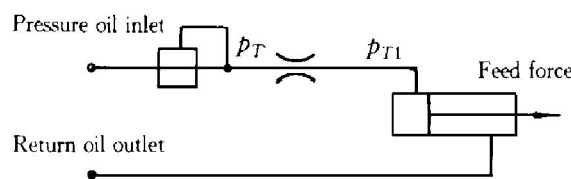


图1 推进系统液压控制原理图

Fig. 1 Hydraulic controlling mechanism of feed system

波动周期内的平均值近似为0。

将各式中的有关参数都视为 F_w 波动周期内的平均值, 则在稳定穿孔凿岩时, 有:

$$a_m \approx 0 \quad (4)$$

$$p_{T1m}A - F_m - 2F_{wm} \approx 0 \quad (5)$$

$$p_{T1m} = p_T - K_P v_m^2 \quad (6)$$

式中 a_m , p_{T1m} , v_m 为 $F_w = F_{wm}$ 稳定凿岩条件下的 a , p_{T1} , V 值。

2 自动防溶洞卡钎控制条件

溶洞卡钎是凿岩过程最主要和最难处理的卡钎, 目前世界上还没有有效的预防方法。当钎头进入溶洞时, 由于 F_w 突然从 F_{wm} 降低至

① 收稿日期: 1996-12-16; 修回日期: 1997-11-19 胡均平, 男, 32岁, 副教授, 博士后

F_{W0} , 此时推进机构在 $p_{T1} = p_{T1m}$ 和 $v = v_m$ 的初始条件及 $F_W = F_{W0}$ 的外界条件下, 按式 (1) 和 (2) 规律作变加速运动。在此时间内的推进行程变化量 ΔS_f 为

$$\Delta S_f = \int v dt \quad (7)$$

当钎头进入溶洞时, 推进速度 v 增大, p_{T1} 降低。由于这一变化是钎头进入溶洞突然失去推进阻力的特有反应, 因此, 当钎头进入溶洞时, 可利用推进压力 p_{T1} 降低的信号控制凿岩机自动回退, 避免卡钎, 这就是凿岩过程推进压力反馈防卡钎的基本控制方案。在计算机控制凿岩系统中, 通过对凿岩过程 p_{T1} 的不断采样与分析, 便可判断钎头是否进入溶洞, 并由此决定是否进行自动预防溶洞卡钎控制。

在重冲击的快速推进状态下, 钎头进入溶洞的深度越大越易引起卡钎^[8]。由上述可知, 为减少 ΔS_f , 钎头开始进入溶洞至液压凿岩系统执行计算机防卡钎控制, 使凿岩机开始回退这一段时间(称为防卡钎反应时间 T_f)应尽量小。因为不同的控制条件会有不同的防卡钎反应时间, 因此, 合理选择控制条件对缩短防卡钎反应时间, 提高防卡钎能力有重要意义。

推进压力变化信号有推进压力的绝对量 p_{T1} , 绝对变化量 Δp_{T1} 和相对时间的变化量 dp_{T1}/dt 。推进压力的绝对量控制条件为

$$p_{T1} < p_{T1d} \quad (8)$$

式中 p_{T1} 为瞬时推进压力, p_{T1d} 为某一定值。此控制条件表示, 当瞬时推进压力小于某一设定的值时, 则认为钎头凿入溶洞。 p_{T1d} 称为溶洞卡钎绝对临界压力, 此值应是各种岩石条件下正常凿岩瞬时推进压力允许的最大值。此控制条件在控制过程中是固定不变的。

推进压力绝对变化量控制条件为

$$\Delta p_{T1} = p_{T1m} - p_{T1} > \Delta p_{T10} \quad (9)$$

式中 p_{T1m} 为某一岩石条件下的正常稳定凿岩时平均推进压力, Δp_{T10} 为瞬时推进压力低于 p_{T1m} 的最大波动量。此控制条件表示, 在某一岩石条件下, 当推进压力值小于

$p_{T1m} - \Delta p_{T10}$ 时, 即认为钎头凿入溶洞。为了获取不同岩石条件下的不同 p_{T1m} 和 Δp_{T10} 值, 此控制条件中的 p_{T1m} 和 Δp_{T10} 必须是凿岩过程中的在线测试值。可见, 此控制条件在控制过程中, 跟踪了具体岩石条件的变化。

推进压力相对时间变化量控制条件为

$$|dp_{T1}/dt| > dp_t \quad (10)$$

式中 $|dp_{T1}/dt|$ 为大于 F_W 波动周期时间内的平均推进压力相对时间变化量, dp_t 为某一岩石条件下的正常稳定凿岩最大 $|dp_{T1}/dt|$ 值。由于 F_W 的波动周期很短, 因此, $|dp_{T1}/dt|$ 和 dp_t 可视为瞬时推进压力相对时间的变化量。在某一岩石条件下, 当瞬时推进压力相对时间的变化量大于正常稳定凿岩最大瞬时推进压力相对时间的变化量时, 即认为钎头凿入溶洞。为了获取不同岩石条件下的不同 dp_t 值, 此控制条件中的 dp_t 必须是凿岩过程中的在线测试值。可见, 此控制条件在控制过程中, 也跟踪了具体岩石条件的变化。

由运动学理论易知, 一旦钎头进入溶洞, 推进压力相对时间的变化量控制条件式 (10) 即可成立, 而推进压力绝对变化量控制条件式 (9) 则需一段时间才能成立, 推进压力绝对量控制条件式 (8) 成立所需要的时间更长。当 $M = 160 \text{ kg}$, $A = 1962.5 \text{ mm}^2$, $F_m = 1000 \text{ N}$, $p_T = 5 \text{ MPa}$, $F_{Wm} = 4000 \text{ N}$, $v_m = 1.4 \text{ m/min}$, $K_P = 1.9 \text{ MPa} \cdot \text{min}^2/\text{m}^2$, $p_{T1d} = 3 \text{ MPa}$, $\Delta p_{T10} = 0.5 \text{ MPa}$ 及 $dp_t = 40 \text{ MPa/min}$ 时, 不计信号传递时间, 利用式 (1), (2) 和 (3) 进行动态仿真计算可得, 从 F_W 突然由 F_{Wm} 降低到 $F_{W0} = 1500 \text{ N}$, 至式 (8), (9) 和 (10) 成立的时间 T_f 分别为 0.105 s , 0.065 s 和 0.005 s , 而相应的 ΔS_f 分别为 6.1 mm , 3.2 mm 和 0.5 mm 。三种控制条件中, 推进压力相对时间变化量的控制条件的防溶洞卡钎反应时间最短, 推进压力绝对量控制条件的防溶洞卡钎时间最长。

在纯液压控制的防溶洞卡钎方案中, 由于无法获取 p_{T1m} , Δp_{T10} 和 dp_t 值, 并用它控制液压阀, 因此, 就无法采用推进压力绝对变化

量和推进压力相对时间变化量控制条件来进行自动防卡钎控制,最多只能实现推进压力绝对量控制条件的自动防溶洞卡钎控制。而在计算机控制的防卡钎中,由于计算机的测试和计算分析能力,可随时得到凿岩过程中的 p_{T1m} , Δp_{T10} , dp_{Ti} , p_{T1} 和 $|dp_{T1}/dt|$, 因此,可方便地利用推进压力相对时间变化量控制条件或推进压力绝对变化量控制条件进行防溶洞卡钎控制。可见,计算机控制防溶洞卡钎较纯液压控制防溶洞卡钎,其防卡钎反应时间要短。

3 计算机控制数学模型的确定

根据上述分析,计算机控制的液压凿岩系统应选用推进压力相对时间变化量控制条件来进行防溶洞卡钎控制。由于计算机一般是通过测定微小 ΔT 时间内的推进压力变化量 Δp_{Ti} 来求取 $|dp_{T1}/dt|$, 因此,推进压力相对变化量控制条件应变为

$$\Delta p_{T1} = p_{T11} - p_{T1} > dp_{Ti} \Delta T = \Delta dp_{Ti0} \quad (11)$$

式中 p_{T11} 为前一次测量的推进压力, p_{T1} 为本次测量的推进压力, Δdp_{Ti0} 为 ΔT 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, Δp_{T1} 为 ΔT 时间内推进压力的变化量。 ΔT 要求不小于 F_W 的波动周期即凿岩机的冲击周期,由于液压凿岩机的冲击频率一般在 50 Hz 以上,因此, $\Delta T \geq 0.02$ s 即可。 Δdp_{Ti0} 可取值为上次 ΔT 时间内推进压力变化量 Δp_{T1Q} 乘以某一大于 1 的系数 K_{pi} , 但 Δp_{T1Q} 须大于 0, 若上次 ΔT 时间内推进压力的变化量为 0, 则 Δp_{T1Q} 保持为上次的取值不变。于是,推进压力相对时间变化量控制条件的计算机控制数学模型为

$$\Delta p_{T1} = p_{T11} - p_{T1} > \Delta dp_{Ti0} = K_{pi} \Delta p_{T1Q} \quad (12)$$

这种 Δdp_{Ti0} 的取值方法,既有利于 Δp_{T1Q} 随凿岩过程稳态推进压力的变化而变化,使控制条件跟踪岩石条件,保证计算机不将正常的

稳态推进压力变化视为溶洞卡钎,又可以保证防卡钎的快速反应。 K_{pi} 的取值决定了此控制条件的准确性,其取值过小,计算机会将非溶洞卡钎视为溶洞卡钎;而取值过大,则将溶洞卡钎视为非溶洞卡钎。因为稳定凿岩时相邻两个 ΔT 时间内的 Δp_{T1} 是相差不大的,而钎头开始进入溶洞时,其推进压力相对时间的变化量比稳定凿岩相对时间的变化量要大得多,故相对前一个稳定凿岩时的 ΔT 时间内的推进压力变化量 Δp_{T1Q} , 本次钎头进入溶洞时的 ΔT 时间内的推进压力变化量 Δp_{T1} 要大得多。实验表明,取 $K_{pi} = 4$ 完全可满足控制要求。

由于在第一个孔开钻时,一般不可能出现卡钎现象,因此,为保证由式(12)进行防溶洞卡钎控制不发生误判断,开钻第一个孔时的 Δp_{T1Q} 初值应取一个很大的值。

根据上述分析,可得凿岩过程推进压力反馈防卡钎控制程序框图如图 2 示。

根据图 2 编程并在实验室的计算机控制凿岩实验系统中进行防卡钎计算机控制实验,当 $v_m = 1.4$ mm/min, F_W 突然从 $F_{Wm} = 4000$ N 降低至 1500 N 时,控制条件式(8), (9) 和(10)的防卡钎反应时间 T_f 和行程 ΔS_f 分别为 0.21 s, 0.17 s, 0.11 s, 16 mm, 12 mm 和 7 mm, 而纯液压控制的自动防溶洞卡钎实验的 $T_f = 0.25$ s, $\Delta S_f = 23$ mm。实验结果与仿真计算结果变化趋势一致,数值相差较大的原因在于仿真计算时未考虑控制系统的信号传送时间。

4 结论

综上所述,由于推进压力的突然降低是钎头进入溶洞时的特有反应,因此,可用推进压力的反馈进行防溶洞卡钎控制,从而为自动防溶洞卡钎提供了一个有效的控制方案。在可行的三种推进压力反馈控制条件中,推进压力绝对量控制条件是固定不变的,推进压力绝对变化量和推进压力相对时间变化量控制条件跟踪了具体岩石条件;推进压力相对时间变化量控

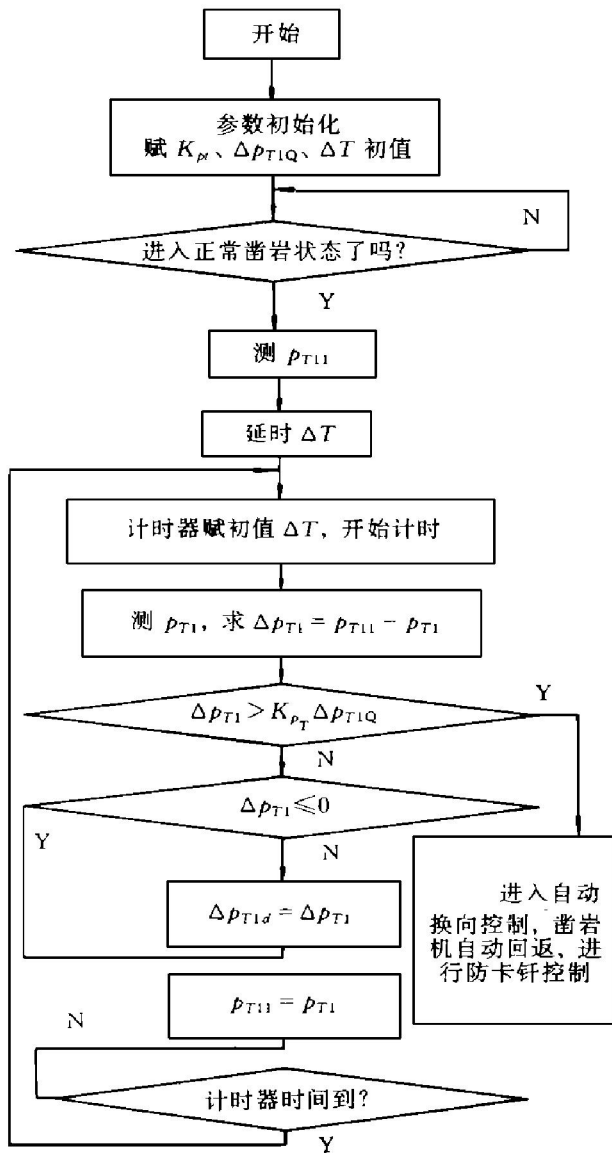


图2 防卡钎计算机控制程序框图

Fig. 2 Anti-jamming block diagram

制条件是最优的控制条件, 推进压力绝对量控制条件是最差的控制条件。在纯液压控制凿岩系统中, 最多只能采用推进压力绝对量控制条件, 而在计算机控制的液压凿岩系统中, 则可方便地采用推进压力相对时间变化量控制条件, 因此, 计算机控制的液压凿岩自动防溶洞卡钎性能优于纯液压控制凿岩自动防溶洞卡钎的性能。

REFERENCES

- 1 Chen Yufan(陈玉凡). Design of Drilling Machinery (钻孔机械设计). Beijing: Machinery Industry Press, 1987: 6.
- 2 Barls. Tunnels and Tunnelling, 1994, (5): 20-23.
- 3 Peck J. Miner Resource Engineering, 1995, (2): 16.
- 4 Martin. Tunnels and Tunnelling, 1988, (5): 33.
- 5 Brain. World Mining Equipment, 1991, (5): 30.
- 6 Zhao Yudong(赵昱东). Drilling Machinery and Pneumatic Tools(凿岩机械气动工具), 1991, (4): 29-32.
- 7 Hu Junping(胡均平). Construction Machinery and Equipment(工程机械), 1995, (7): 16-17.
- 8 Chen Dingyuan(陈定远). Drilling Machinery and Pneumatic Tools(凿岩机械气动工具), 1992, (3): 10-14.

COMPUTER-CONTROLLED ANTI-JAMMING TECHNOLOGY BY FEEDBACK OF FEED OIL PRESSURE IN ROCK-DRILLING PROCESS

Hu Junping, Yang Xiangbi and Wu Wanrong

College of Mechanical and Electrical Engineering,

Central South University of Technology, Changsha 410083, P. R. China

ABSTRACT According to the variance feature of the feed oil pressure when drill bit coming into rock-drilling jamming area in hydraulic rock-drilling process, it was put forward that the feedback of the feed oil pressure can be applied to control rock-drilling anti-jamming. Based on the analysis of the control condition of rock-drilling anti-jamming by the feedback of the feed oil pressure, a computer-controlled model was established.

Key words hydraulic rock drill computer control rock-drilling anti-jamming

(编辑 何学锋)