

# 矿用汽车钳盘式制动器优化设计

成 林, 张文明

(北京科技大学 土木与环境工程学院, 北京 100083)

**摘 要:**为了提高矿用汽车钳盘式制动器的工作效率, 将优化计算方法应用到矿用汽车钳盘式制动器设计中, 建立了钳盘式制动器的优化数学模型。通过 MATLAB 优化寻求最优设计参数, 从而缩短了制动时间, 减少了制动器的外型尺寸。

**关键词:**矿用汽车; 钳盘式制动器; 优化设计

**中图分类号:** U270.2, TD525 **文献标识码:** A

**文章编号:** 1005 - 2763(2008)01 - 0041 - 03

## Optimization Design of Mining Truck's Caliper Disc Brake

Cheng Lin, Zhang Wenming

(Civil and Environmental Engineering School, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China)

**Abstract:** To improve work efficiency of mining truck's caliper disc brake, an optimization algorithm is used in the design of mining truck's caliper disc brake, and an optimization mathematical model for caliper disc brake is established in this paper. The optimum parameter is searched by means of MATLAB optimization toolbox. This method has been used in the design of mining truck's caliper disc brake, so that braking time and outline sizes of the disc brake have been reduced.

**Key Words:** Mining truck, Caliper disc brake, Optimization design

## 1 矿用汽车钳盘式制动器结构

SGA3723 矿用汽车钳盘式制动器结构见图 1。

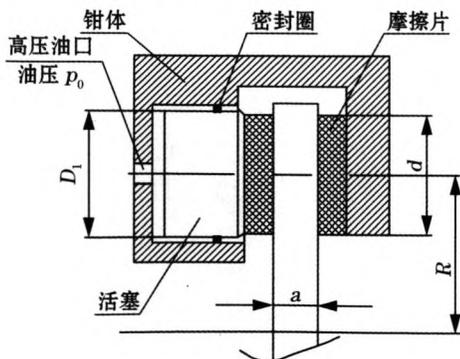


图 1 钳盘式制动器的结构

## 2 基本公式推导<sup>[1]</sup>

在进行最优化设计时, 以下列条件为依据:

- (1) 制动盘是实心的;
- (2) 钳或盘是浮动的, 以消除盘上的弯曲应力;
- (3) 摩擦片是圆形的, 其尺寸不必等于油缸的直径;
- (4) 所吸收的热量均匀分布在整个制动器上。

如图 2 所示, 将摩擦片的圆形摩擦面划分成无穷多个与盘心同心的圆弧形小区域——单元, 则在该单元处摩擦表面的磨损是与该处的压力  $p$  及滑转速度  $v$  的乘积成正比的。虽然摩擦片上的压力在开始时是均匀的, 但由于随着单元所在半径  $r$  的加大其滑转速度亦将加大而导致该单元磨损的加重, 经过这样一个不均匀磨损的过程以后, 会使离盘心愈远的单元的压力  $p$  愈小, 而使  $pv$  值在整个摩擦表面上都趋于相等, 因此可假设  $pv = \text{const}$ , 由此得:

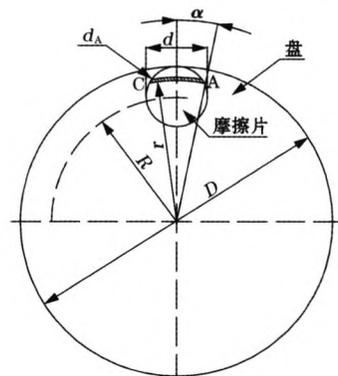


图 2 钳盘式制动器的计算用图

$$pr = C = \text{const} \quad (1)$$

而整个摩擦片对盘的作用力为:

$$F = \int_{R-d/2}^{R+d/2} p dA = \int_{R-d/2}^{R+d/2} \frac{C}{r} dA = \int_{R-d/2}^{R+d/2} \frac{C}{r} l dr \quad (2)$$

式中常数  $C$  为:

$$C = \frac{F}{I_1} \quad (3)$$

$$I_1 = \int_{R-d/2}^{R+d/2} \frac{l}{r} dr \quad (4)$$

由式(1)和式(3)可得:

$$p = \frac{F}{I_1 r} \quad (5)$$

制动时的摩擦力矩为:

$$T_f = 2\mu F \int_{R-d/2}^{R+d/2} \frac{l}{I_1} dr = 2\mu F I_2 \quad (6)$$

式中:  $\mu$  —— 制动盘与摩擦片间的摩擦系数。

$$I_2 = \int_{R-d/2}^{R+d/2} \frac{l}{I_1} dr$$

以上各式中的  $l$  及  $I_1$  均为  $r$  的函数。制动时, 制动盘每转一圈时摩擦力矩  $T_f$  所消耗的功为:

$$H = T_f \cdot 2\pi = 4\pi\mu F I_2 \quad (7)$$

若  $n_0$  为开始制动时制动盘或车轮的转速,  $t$  为从开始制动到完全停车所需要的时间, 则制动过程中制动盘或车轮的转速变化见图3。

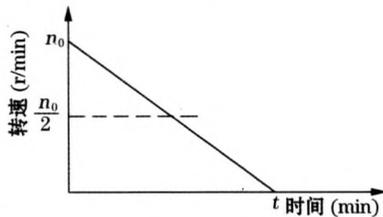


图3 制动过程中制动盘或车轮的转速变化

由图3可求出制动过程中制动盘或车轮转的总圈数为  $n_s = n_0 t / 2$ 。

因此, 制动过程中摩擦片与制动盘之间的摩擦力矩所消耗的总功为:

$$E = n_s g H = 2\pi F \mu n_0 t I_2 \quad (\text{Nm}) \quad (8)$$

而摩擦力所消耗的是汽车的动能, 故又有:

$$E = \frac{1}{n} \frac{W_a \cdot V^2}{2g} \quad (\text{Nm})$$

代入前一式则可求得制动时间为:

$$t = \frac{W_a \cdot V^2}{4\pi F \mu n_0 I_2 n g} \quad (\text{min}) \quad (9)$$

式中:  $W_a$  —— 汽车总重, N;

$V$  —— 汽车制动时的初速度, m/s;

$n$  —— 汽车车轮或制动器数;

$g$  —— 重力加速度, m/s<sup>2</sup>;

$F$  —— 高压油缸活塞推力,  $F = \frac{\pi D_1^2 \cdot p_0}{4}$ ;

$D_1$  —— 活塞直径, mm;

$p_0$  —— 油缸内的油压, MPa。

根据热功当量  $J$  求制动后制动盘的温度为:

$$t_f = \frac{4E}{J \pi c \rho D^2 a} + t_i \quad (10)$$

式中:  $t_f$  —— 制动后制动盘的温度, °C;

$t_i$  —— 制动盘的初始温度或气温, °C;

$c$  —— 制动盘的比热, kcal/(kg°C), 对于钢和铸铁,  $c = 0.113$  kcal/(kg°C);

$\rho$  —— 制动盘的密度, kg/mm<sup>3</sup>;

$J$  —— 热功当量,  $J = 4180$  N · m/kcal;

$D$  —— 制动盘的直径, mm;

$a$  —— 制动盘的厚度, mm。

### 3 目标函数和设计变量

提高制动器的工作效率, 缩短制动时间, 对保证汽车安全行驶非常重要, 因此, 在制动器的优化设计中, 应以制动时间最小作为优化设计的目标。另外, 制动器安装在轮毂处, 其尺寸不能太大, 因此制动盘的厚度最小可作为优化设计的另一个目标。

考虑到上述两项指标在重要程度方面的差异, 可引进加权因子, 将它们组合到总的目标函数中:

$$f(X) = \omega_1 \cdot t + \omega_2 \cdot a \quad (11)$$

式中:  $\omega_1$  —— 制动时间  $t$  的加权因子, 取  $\omega_1 = 1$ ;

$\omega_2$  —— 制动盘厚度  $a$  的加权因子, 取  $\omega_2 = 0.01$ , 则目标函数为:

$$f(X) = t + 0.01 \cdot a = \frac{W_a \cdot V^2}{4\pi F \mu n_0 I_2 n g} + 0.01 a$$

其中的设计变量可取为:

$$[R, d, D_1, a, p_0, D]^T = [x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6]^T$$

式中各参数见图1和图2。

### 4 约束条件

根据以下关系建立约束条件。

(1) 尺寸约束。制动盘的直径应在其规定范围  $D_u$  之内, 即:

$$g_1(X) = D_u - D \geq 0 \quad (12)$$

摩擦片的尺寸不应超出制动盘的范围之外, 即:

$$g_2(X) = \frac{D}{2} - R - \frac{d}{2} \geq 0 \quad (13)$$

摩擦片不应与轮毂(直径为  $D_h$ ) 发生干涉, 即:

$$g_3(X) = R - \frac{d}{2} - \frac{D_h}{2} \geq 0 \quad (14)$$

油缸不应与轮毂发生干涉,即:

$$g_4(X) = R - \frac{D_1}{2} - t_c - \frac{D_h}{2} \geq 0 \quad (15)$$

式中  $t_c$  为油缸壁厚。

(2) 油压约束。油缸中的油压不应超过规定范围  $p_m$ :

$$g_5(X) = p_m - p_0 \geq 0 \quad (16)$$

(3) 摩擦片压力约束。摩擦片的压力不应超过规定范围  $p_u$ :

$$g_6(X) = p_u - \frac{\pi D_1^2 p_0}{4 I_1 (R - \frac{d}{2})} \geq 0 \quad (17)$$

(4) 制动器温度约束。一次制动后制动盘的温度不应超过其最大值  $T$ :

$$g_7(X) = T - \frac{4E}{J\pi c\rho D^2 a} - t_i \geq 0 \quad (18)$$

(5) 车轮打滑约束。制动力矩  $T_f$  [式(6)] 不应大于车轮与地面的附着力矩,以免制动时车轮打滑,即:

$$g_8(X) = W\varphi r_1 - 2\mu F I_2 \geq 0 \quad (19)$$

式中:  $W$ ——汽车满载时一个车轮的称重, N;

$\varphi$ ——车轮与地面的附着系数;

$r_1$ ——车轮半径, mm。

## 5 计算机优化算法和实例计算

本文借用数值计算软件 MATLAB 的优化工具

(上接第 37 页)

的黑药对铅锑的捕收效果要好。另外从表 6 可以看出,采用组合抑制剂后,铅锑精矿中锌的互含从 9.8% 下降到 7.5%,并且锌浮选给矿(即铅锑浮选尾矿)中锌的品位从 2.2% 增加到 3.10%,充分说明新工艺对于降低铅锑精矿中的锌互含具有明显效果。锌浮选作业回收率从 85.17% 提高到 89.39%,锌作业回收率提高 4.22 个百分点。根据分析化验结果,新工艺银的实际回收率比原工艺提高了 11.3 个百分点。

## 4 结论

(1) 采用具有一定极性和捕收性能的起泡剂 SNC 能够减少起泡剂分子被碳质脉石的吸附,有效克服碳质脉石对浮选的影响,提高铅锑浮选效果,降低药剂消耗量。

箱<sup>[2]</sup>寻求最优设计参数,针对钳盘式制动器的非线性优化问题, MATLAB 采用 Guess - Newton 算法,借用 MATLAB 计算软件进行优化,只需根据 MATLAB 语法规则将优化模型编译成 M 批处理文件, MATLAB 将自动执行 M 文件中的命令,这样无需自编优化算法的原程序,提高了设计和计算效率。

将上述优化方法应用到 SGA3723 矿用汽车钳盘式制动器设计中,  $W = 180$  kN,  $r_1 = 927$  mm,  $\varphi = 0.65$ ,  $p_m = 16$  MPa,  $T = 500^\circ\text{C}$ ,  $D_h = 360$  mm,  $D_u = 750$  mm,  $\mu = 1$ ,  $V = 30$  km/h,  $p_u = 27$  MPa。 MATLAB 的优化结果:  $R = 280$  mm,  $d = 70$  mm,  $D_1 = 75$  mm,  $a = 26$  mm,  $p_0 = 10$  MPa,  $D = 650$  mm。

## 6 结束语

优化设计是在常规机械设计基础上发展的新型现代设计方法,已经在工程设计中取得良好的技术经济效益,优化设计是按照设计准则、规范和经验数据,运用数学优化算法、借助计算机工具,寻求最优设计参数。本文建立的数学模型可用于钳盘式制动器的优化设计。由于设计变量不多,目标函数和约束条件的非线性程度不高,且无等式约束,所以通常的约束优化算法都能求解。

### 参考文献:

- [1] 刘惟信. 机械最优化设计[M]. 北京:清华大学出版社,1994.
- [2] 张瑞喜. MATLAB6.0 数学运算完整解决方案[M]. 北京:人民邮电出版社,2001.

(2) 采用组合捕收剂能够提高铅锑浮选回收率,其中黑药和 Y89 按 1:2 组合使用时,铅、锑、银的浮选回收率最高。

(3) 采用碳酸钠、硫酸锌和亚硫酸钠组合使用能够有效抑制铁闪锌矿,降低铅锑精矿中锌的互含。

(4) 该技术在工业生产中得到了验证和应用,新工艺能够显著提高锑、锌和银的浮选回收率,并能够降低铅锑精矿中锌的互含。

### 参考文献:

- [1] 陈建华,冯其明,卢毅屏. 浮选药剂亲固基团的设计[J]. 有色金属,1999,51(2):19~22.
- [2] 王淀佐. 浮选药剂的结构与性能 - 浮选药剂性能的电负性计算法[J]. 有色金属(选冶部分),1975,(4):44~47.
- [3] 王淀佐. 矿物浮选与浮选剂理论与实践[M]. 长沙:中南工业大学出版社,1986.
- [4] 陈建华,吴伯增,陈波. 脆硫铅锑矿与铁闪锌矿的浮选行为及其抑制[J]. 矿产保护与利用,2005,(4):27~30.