

上开式扇形闸门箕斗卸载曲轨曲线的参数优化

严明霞^{1,2}, 刘立¹

(1. 北京科技大学 土木与环境工程学院, 北京 100083; 2. 湖北工业大学 机械工程学院, 湖北 武汉 430068)

摘要: 以改善冲击力的均衡性和提高箕斗卸载的平顺性为优化目标, 建立了上开式扇形闸门箕斗卸载曲轨曲线的多目标优化设计模型, 并用理想点法进行了求解. 优化后, 卸载轮受的冲击力、卸载轮的运行加速度和加加速度都减小了, 箕斗卸载过程的平稳性也得到了提高.

关键词: 箕斗; 闸门; 曲轨曲线; 参数优化

中图分类号: TD531.2 **文献标识码:** A

Optimal design of dump rail curve parameter of skip with up-open fan gate

YAN Ming-xia^{1,2}, LIU Li¹

(1. School of Civil and Environment Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China; 2. School of Mechanical Engineering, Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China)

Abstract: With the purpose of decreasing the average value of stress between dump wheel and dump rail and improving discharging smoothness, a multiple-target optimization model of dump rail curve of skip with up-open fan gate was developed and resolved by optimal point method. It is concluded that the average value of stress, the acceleration and jerk of dump wheel all become less after optimized, which then causes to discharge more smoothly.

Key words: skip; gate; dump rail curve; parameter optimization

上开式扇形闸门箕斗采用固定曲轨自动卸载, 卸载速度快而且不需要原动力, 在我国大中型煤矿中深受欢迎. 由于箕斗在卸煤时滚轮与曲轨间会产生动态冲击力, 冲击力过大和过于不平稳都将直接影响箕斗运行的平稳性和高效性, 并加速曲轨的疲劳失效, 因此曲轨的设计必须满足滚轮与曲轨间冲击力小且受力均衡的要求. 笔者在分析了曲轨卸载过程动态受力^[1-3]的基础上, 以改善冲击力的均衡性和提高箕斗卸载的平顺性为优化目标, 用理想点法对卸载曲轨曲线进行参数优化设计, 以便改善提升系统的运行平稳性.

1 上开式扇形闸门箕斗卸载用固定曲轨

1.1 曲轨曲线形状参数的几何关系

图1(a)为用PRO/E软件^[4]绘制的固定曲轨的三维实体. 卸载轮进入曲轨后, 轮心沿曲轨曲线移动. 曲轨曲线如图1(b)所示, 由圆弧EF(以点 O_1 为圆心, R_1 为半径, 圆心角为 β)、线段FG和圆弧GH(以点 O_2 为圆心, R_2 为半径, 圆心角为 β)组成, 且线段FG与圆弧EF、圆弧GH均相切. 设点E和H的水平距离为 H_1 , 垂直距离为 H_2 . 以

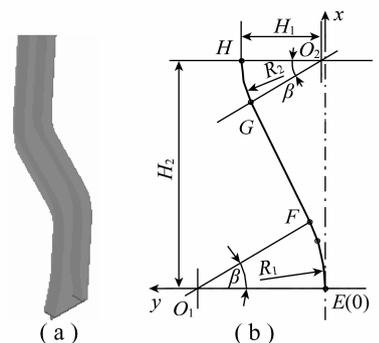


图1 固定曲轨实体与曲线

Fig. 1 Fixed rail and curve

E 点为坐标原点, 垂直向上为 x 轴, 水平向左为 y 轴建立直角坐标系. 则点 $O_1 (0, R_1)$; 点 $O_2 (H_2, H_1 - R_2)$; 点 $E (0, 0)$; 点 $H (H_2, H_1)$; 点 $F (R_1 \sin \beta, R_1 - R_1 \cos \beta)$; 点 $G (H_2 - R_2 \sin \beta, H_1 - R_2 + R_2 \cos \beta)$.

由于箕斗的卸载位置和卸载距离是确定的, 因此曲轨曲线形状由圆弧半径 R_1, R_2 及圆心角 β 确定. 线段 FG 与圆弧 EF 、圆弧 GH 均相切, 当圆弧半径变化时, β 将随之改变, 即 β 与 R_1, R_2 之间存在一定的函数关系. 令线段 FG 斜率为 k_1 , 线段 O_1F 斜率为 k_2 , 则 $k_1 = [H_1 - R_1 - R_2 + (R_1 + R_2) \cos \beta] / [H_2 - (R_1 + R_2) \sin \beta]$, $k_2 = \cot \beta$. 又因为 $FG \perp O_1F$, 所示 $k_1 k_2 = -1$, 即 $-\cot \beta [H_1 - R_2 - R_2 + (R_1 + R_2) \cos \beta] / [H_2 - (R_1 + R_2) \sin \beta] = -1$, 解得

$$R_1 + R_2 = (H_2 \sin \beta - H_1 \cos \beta) / (1 - \cos \beta). \quad (1)$$

将 $H_1 = 0.525 \text{ m}$, $H_2 = 1.3 \text{ m}$ 代入式 (1), 得 R_1, R_2 和圆心角 β 之间的关系, 如图 2 所示.

1.2 曲轨曲线形状参数的取值范围

将式(1)代入 $R_1 + R_2 > 0$ 得 $(H_2 \sin \beta - H_1 \cos \beta) / (1 - \cos \beta) > 0$, 得 $\beta > \arctan (H_1/H_2)$. 根据图 1 (b), 有 $x_f \leq x_c$, 即 $R_1 \sin \beta \leq H_2 - R_2 \sin \beta$, $R_1 + R_2 \leq H_2 / \sin \beta$, 再将式 (1) 代入, 则有 $(H_2 \sin \beta - H_1 \cos \beta) / (1 - \cos \beta) \leq H_2 / \sin \beta$, 可解得 $\beta \leq 2 \arctan (H_1/H_2)$. 圆心角 β 的取值范围为

$$\arctan (H_1/H_2) < \beta \leq 2 \arctan (H_1/H_2). \quad (2)$$

由式 (1) 知圆弧半径 R_1, R_2 的取值范围为

$$0 < R_1 < (H_2 \sin \beta - H_1 \cos \beta) / (1 - \cos \beta), \quad 0 < R_2 < (H_2 \sin \beta - H_1 \cos \beta) / (1 - \cos \beta). \quad (3)$$

2 曲轨曲线优化模型的建立

2.1 设计变量及约束条件

为了研究方便, 取圆心角 β 和圆弧半径 R_1 为设计变量, 即 $X = [\beta, R_1]^T = [x_1, x_2]^T$. 根据式 (2) 和式 (3), 约束条件为

$$g_1(X) = \arctan (H_1/H_2) - \beta < 0, \quad g_2(X) = \beta - 2 \arctan (H_1/H_2) \leq 0,$$

$$g_3(X) = R_1 - (H_2 \sin \beta - H_1 \cos \beta) / (1 - \cos \beta) < 0, \quad g_4(X) = -R_1 < 0.$$

2.2 目标函数的确定及优化设计数学模型

为改善冲击力的均衡性, 提高箕斗卸载的平顺性, 取优化设计的目标函数为冲击力的最大值 N_{\max} 和均值 N_{avg} 最小, 以及卸载轮的运行加速度 a 和加加速度 j 的绝对最大值最小. 则优化设计数学模型为

$$\begin{cases} \min \mathbf{h}(X) = [f_1(X), f_2(X), f_3(X), f_4(X)]^T, \\ \text{s. t. } g_j(X) \leq 0 \quad (j = 1 \sim 4), \end{cases} \quad (4)$$

其中, $f_1(X) = N_{\max} = \max \{N(t_1), N(t_2), \dots, N(t_n)\}$; $f_2(X) = N_{\text{avg}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N(t_i)$; $f_3(X) = |a|_{\max} = \max \{|a(t_1)|, |a(t_2)|, \dots, |a(t_n)|\}$; $f_4(X) = |j|_{\max} = \max \{|j(t_1)|, |j(t_2)|, \dots, |j(t_n)|\}$; $N(t_i)$ 为 t_i 时刻卸载轮受的冲击力, 其公式表达和计算方法见文献 [1]. $a(t_i)$ 和 $j(t_i)$ 分别为卸载轮的运行加速度和加加速度. 设 v 为卸载轮的运行速度, 则有 $a = \frac{dv}{dt}$, $j = \frac{da}{dt}$.

3 优化模型的求解

3.1 评价函数的构造

上述问题是一个多目标优化问题, 本文采用理想点法来求解. 先求解各个单目标优化问题

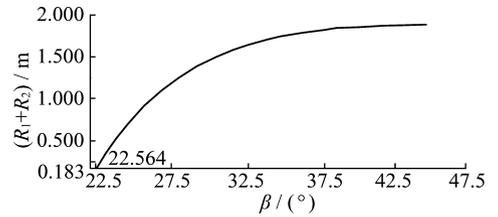


图2 β 与 R_1 和 R_2 的关系

Fig. 2 Relation of β versus R_1 and R_2

$$\min f_i(X) \quad (i = 1 \sim 4), \text{ s. t. } g_j(X) \leq 0 \quad (j = 1 \sim 4). \quad (5)$$

设最优解和相应的目标函数值为 X_i^* , f_i^* ($i=1 \sim 4$), 在目标函数空间, 称点 $(f_1^*, f_2^*, f_3^*, f_4^*)$ 为理想点. 一般来说, 由于各分目标之间相互冲突, 并不能达到理想点. 因此, 构造评价函数为设计点到理想点的距离, 使各个子目标尽可能接近各自的最优值. 即

$$f(X) = \sqrt{\sum_{i=1}^4 \left[\frac{f_i(X) - f_i^*}{f_i^*} \right]^2}, \quad (6)$$

则求式 (4) 的解转化为求下面单目标优化问题的最优解, 即

$$\min f(X) = \sqrt{\sum_{i=1}^4 \left[\frac{f_i(X) - f_i^*}{f_i^*} \right]^2} \quad (i = 1 \sim 4), \text{ s. t. } g_j(X) \leq 0 \quad (j = 1 \sim 4). \quad (7)$$

3.2 优化模型求解

针对 18 t 上开式扇形闸门箕斗用固定曲轨的参数优化问题, 本文采用理想点法求解优化模型, 优化步骤: ① 先用单目标优化方法求 $f_1(X) \sim f_4(X)$ 单独存在时的最优值 $f_1^*, f_2^*, f_3^*, f_4^*$, 即理想点 $(f_1^*, f_2^*, f_3^*, f_4^*) = (N_{\max}^*, N_{\text{avg}}^*, a^*, j^*) = (24\,449.1 \text{ N}, 16\,460.1 \text{ N}, 0.174\,6 \text{ m/s}^2, 3.934\,1 \text{ m/s}^3)$. ② 再将理想点代入式 (7) 中求解优化模型, 得到最优曲线参数. 优化前、后的曲轨曲线尺寸及目标函数值见表 1. 优化前、后的冲击力曲线和曲轨曲线分别如图 3、4 所示.

表 1 优化前、后的曲轨曲线参数及目标函数值

Table 1 Fixed rail curve parameters and objective functions values before and after optimization

项 目	R_1/m	R_2/m	$\beta/(\circ)$	$f_1(X)/\text{N}$	$f_2(X)/\text{N}$	$f_3(X)/\text{N}$	$f_4(X)/\text{N}$	$f(X)/\text{N}$
优化前	0.80	0.50	28.40	26 329.10	19 479.30	0.45	17.63	3.83
优化后	0.30	0.54	25.25	27 112.50	18 560.60	0.37	16.59	3.42

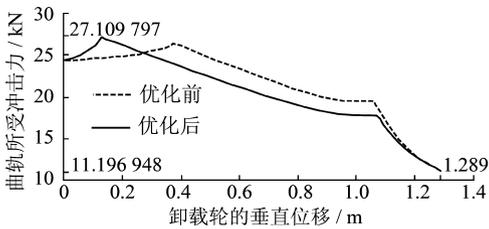


图 3 轨的动态受力曲线

Fig. 3 Dynamic stress curves of fixed rail

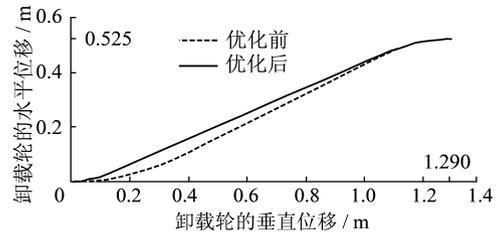


图 4 曲轨曲线 (卸载轮的运行轨迹)

Fig. 4 Fixed rail curves (moving track of dump wheel)

4 结 论

以改善冲击力的均衡性和提高箕斗卸载的平顺性为优化目标, 建立了上开式扇形闸门箕斗卸载曲轨曲线的多目标优化设计模型, 并用理想点法对优化模型进行了求解, 得到了最优曲线参数. 通过对卸载曲轨结构参数的优化, 减小了卸载轮受的冲击力、卸载轮的运行加速度和加加速度, 提高了上开式扇形闸门箕斗卸载过程的平稳性, 从而提高了提升系统的工作效率.

参考文献:

- [1] 严明霞, 刘立, 石博强. 上开式扇形闸门箕斗卸载曲轨的动态受力分析 [J]. 煤炭学报, 2006, 31 (3): 391 ~ 395.
- [2] 王志勇, 夏琴芬. 煤矿专用设备设计计算 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1984.
- [3] 北京有色冶金设计院. 金属矿山采矿设备设计 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1977.
- [4] 林龙震. Pro/ENGINEER Wildfire 基础设计 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.