

文章编号: 0253-9993(2008)12-1435-03

基于遗传算法掘进机截割头多目标模糊可靠性优化

张 强¹, 毛 君¹, 田大丰²

(1. 辽宁工程技术大学 机械工程学院, 阜新 123000; 2. 阜新矿业集团, 阜新 123000)

摘 要: 针对掘进机能耗和载荷波动问题, 基于遗传算法的多目标模糊可靠性优化策略, 对截割头运动参数进行优化设计. 优化结果表明, 截割头升角减少 11.6%, 横摆阻力降低 6.45%, 纵向力降低 12.16%, 负荷转矩降低 11.29%, 比能耗降低 21.04%, 截割头的载荷波动和比能耗得到显著降低, 有效提高了掘进机的工作可靠性和能量利用率.

关键词: 遗传算法; 掘进机; 截割头; 多目标函数; 模糊可靠性优化; 比能耗

中图分类号: TD421.5 **文献标识码:** A

Multi-objective optimization fuzzy reliability design for cutting head of roadheader based on genetic algorithm

ZHANG Qiang¹, MAO Jun¹, TIAN Da-feng²

(1. College of Mechanical Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China; 2. Fuxin Mining Company, Fuxin 123000, China)

Abstract: In view of the roadheader machine energy consumption and the load fluctuation question, optimized the parameter movement for cutting head of roadheader based on genetic algorithm multi-objective fuzzy reliability optimization strategy. The optimized results indicate that the cutting angle reduces 11.6%, sway resistance reduces 6.45%, longitudinal forces reduces 12.16%, load torque coefficient reduces 11.29%, the energy consumption reduces 21.04%. Load fluctuation and specific energy consumption of cutting head obtains obviously reduce, and mechanical working reliability and energy utilization quotiety of roadheader are enhanced.

Key words: genetic algorithm; roadheader; cutting head; multi-objective; optimization fuzzy reliability; specific energy consumption

掘进机作为综掘成套装备的关键设备, 与煤矿的综采设备相配套, 形成了井下的“三机一架”成套装备, 为实现高速、高效开采提供了有利的保证. 掘进机的截割头是进行煤岩掘进的关键部件, 也是现场实地考察中发现问题最多的部件, 因此, 开展掘进机的截割研究是很有必要的. 针对截割头的研究国内山东科技大学的张鑫等对截割头截齿排列、多目标优化进行了研究^[1-2]; 辽宁工程技术大学的李晓豁等对截割头的摆动截割、截割头的载荷、截割头的设计进行了研究^[3-5]; 大同煤矿集团公司的马洪武就截割头的直径对掘进机的影响进行了研究^[6]; 佳木斯煤矿机械有限公司的郭武等对 S150 掘进机截割头进行了改进设计^[7]. 本文将多个影响掘进机截割效率和载荷的因素作为多目标进行优化, 并引入可靠性指标运用模糊理论和遗传算法^[8-10], 求解出最优解.

1 掘进机截割头多目标优化设计的数学模型

1.1 设计变量的选择

截线间距 t_{op} 、周向分布角 δ 、横摆速度 v 、转速 n 为设计变量, 即 $\mathbf{X} = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4]^T = [t_{op} \ \delta \ v \ n]^T$.

收稿日期: 2008-04-08 责任编辑: 许书阁

基金项目: 教育部博士点专项基金资助项目 (20060147001)

作者简介: 张 强 (1980—), 男, 辽宁鞍山人, 讲师, 博士研究生. Tel: 0418-6511990, E-mail: lgdjx042@tom.com

1.2 目标函数的建立

在掘进机截割头的设计中, 根据载荷波动和比能耗的计算方法, 以截割头升角 R_a 、横摆阻力 R_b 、纵向力 R_c 、负荷转矩 M_c 、比能耗 H_w 最小, 作为掘进机截割头多目标优化设计的目标函数。

本文采用线性加权和法将多目标优化转化为单目标优化来求解。考虑到各单目标具有同等地位, 将各单目标最优值的倒数取作权系数, 实现了多目标的规范化。转化后的目标函数为 $F(x) = f_{R_a}(x)/f_{R_a} + f_{R_b}(x)/f_{R_b} + f_{R_c}(x)/f_{R_c} + f_{M_c}(x)/f_{M_c} + f_{H_w}(x)/f_{H_w}$, 其中, 分子为单一目标优化函数; 分母为各单一目标的最优值。

1.3 约束条件的确定

(1) 截割头与截割头轴联结螺栓强度的模糊可靠性约束。螺栓的最大剪切应力: $\tau = 4P/(m_1\pi d^2)$ 。将各参数按随机变量来处理, 并认为均服从正态分布, 则剪切应力的均值、标准差分别为 $\bar{\tau} = 4\bar{P}/(m_1\pi\bar{d}^2)$, $S_\tau = \bar{\tau}C_p$, 其中, P 为最大工作载荷; m_1 为铰制孔螺栓数量; d 为铰制孔螺栓剪切面直径; C_p 为 P 的变异系数。

工程上假设螺栓剪切应力服从正态分布, 则其概率密度函数为 $p_\tau(x) = \exp[-(x - \bar{\tau})^2/(2S_\tau^2)]/\sqrt{2\pi}S_\tau$ 。当隶属函数为 $\mu_\tau(x)$ 时, 则其模糊可靠度为 $R_\tau = \int_{-\infty}^{\infty} \mu_\tau(x)p_\tau(x)dx$ 。则模糊可靠性设计约束为 $g_1(\mathbf{X}) = R_\tau - R_{\tau_0} \geq 0$ 。

(2) 当变载荷作用次数 $N > 10^6$ 时, 由可靠性设计要求的可靠度 R_{r1} , 可得截齿的疲劳强度的模糊可靠性约束 $g_2(\mathbf{X}) = R_{rc} - R_{r1} \geq 0$ 。

(3) 截线间距名义最优值的范围: $g_3(\mathbf{X}) = x_1 - 2 > 0$, $g_4(\mathbf{X}) = 6 - x_1 > 0$ 。

(4) 周向间隔角的范围: $g_5(\mathbf{X}) = 15 - x_2 > 0$, $g_6(\mathbf{X}) = x_2 - 60 > 0$ 。

(5) 横摆速度的范围: $g_7(\mathbf{X}) = x_3 - 1 > 0$, $g_8(\mathbf{X}) = 6 - x_3 > 0$ 。

(6) 转速的范围: $g_9(\mathbf{X}) = 15 - x_4 > 0$, $g_{10}(\mathbf{X}) = x_4 - 80 > 0$ 。

(7) 截齿分布的限制: $g_{11}(\mathbf{X}) = \beta_m - 85 > 0$, 其中, β_m 为最内侧截齿的倾斜角。

(8) 截割功率的限制: $g_{12}(\mathbf{X}) = P_e - P_j > 0$, 其中, P_e 为截割功率额定值; P_j 为优化后的截割功率。

(9) 截齿安装间距的限制: $g_{13}(\mathbf{X}) = L_k - 80 > 0$, 其中, L_k 为相邻截齿齿尖的距离。

2 优化方法及程序设计

2.1 模糊约束的隶属函数

对各约束条件模糊采用线性三角隶属函数为

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & (x < m - \alpha, x > m + \beta), \\ 1 - \frac{m - \alpha}{\alpha} & (m - \alpha \leq x \leq m), \\ 1 - \frac{x - m}{\beta} & (m < x \leq m + \beta). \end{cases}$$

2.2 基于遗传算法的模糊可靠性优化求解

应用遗传算法求该模型的最优解, 其步骤: ① 编码和搜索点。在进行搜索前, 将变量编成一个用二进制字符串来表示定长的码。这些字符串的不同组合, 便构成了搜索空间的不同的搜索点。② 初始群体的产生。随机产生 N 个字符串, 每个字符串代表一个个体。③ 交叉。将选出的 N 个个体两两杂交, 产生 N 个新的子代个体。④ 计算适应值。利用模糊优化方法计算子代和父代共 $2N$ 个个体的相对优属度, 并将相对优属度作为适应值。⑤ 选择。对子代和父代共 $2N$ 个个体精心适应性排序, 挑选排在前面的 N 个个体。⑥ 变异。对⑤选择出的 N 个个体按给定的概率进行变异, 形成新一代群体。⑦ 判断。判断新一代群体是否满足约束条件, 若满足, 则停止; 否则, 转至③继续进行。

3 优化结果的分析

利用所编写的优化设计程序, 对某型号掘进机截割头进行多目标优化设计, 得最优解及优化目标函数值. 设计变量 t_{op} , δ , v , n , F_{min} 分别为 3.601, 42.021, 2.937, 38.369, 5.142. R_a , R_b , R_c , M_c , H_w , 优化前分别为 61.101, 30.457, 30.650, 25.726, 4.861; 优化后分别为 54.734, 28.611, 27.327, 23.136, 3.838.

4 结 语

针对掘进机截割头载荷波动和能耗问题, 考虑到截割头与截割头轴联结螺栓强度的模糊可靠性约束、截齿的疲劳强度的模糊可靠性约束、截线间距名义最优值的范围、周向间隔角的范围、横摆速度的范围、转速的范围、截齿分布的限制、截割功率的限制、截齿安装间距的限制等因素的影响, 运用模糊数学和优化设计理论, 建立了掘进机多目标函数, 然后选用遗传算法优化方法, 编写了优化设计程序. 优化结果表明, 通过对掘进机的多目标优化设计, 截割头的载荷波动和比能耗均有明显降低, 有效地提高了掘进机的工作可靠性和能量利用率.

参考文献:

- [1] 张 鑫, 张建武, 杨 梅. 基于载荷波动最小的掘进机截割头截齿排列参数优化设计 [J]. 机械设计与研究, 2005, 21 (1): 64-68.
Zhang Xin, Zhang Jianwu, Yang Mei. Optimal design for pick arrangement parameters on cutting head of roadheader based on minimum load fluctuation [J]. Machine Design and Research, 2005, 21 (1): 64-68.
- [2] 张 鑫, 曾庆良. 掘进机截割头多目标优化设计研究 [J]. 煤矿机械, 2005, 26 (1): 1-3.
Zhang Xin, Zeng Qingliang. The study of multi-objective optimization design for cutting head of roadheader [J]. Coal Mine Machinery, 2005, 26 (1): 1-3.
- [3] 李晓豁, 田 晶, 黄 艳. 横轴式掘进机摆动截割的运动学仿真 [J]. 黑龙江科技学院学报, 2001, 11 (1): 17-20.
Li Xiaohuo, Tian Jing, Huang Yan. Kinematics simulation of a horizontal cutting head in cutting process [J]. Journal of Heilongjiang Institute of Science, 2001, 11 (1): 17-20.
- [4] 李晓豁. 掘进机截割头随机负荷的模拟研究 [J]. 煤炭学报, 2000, 25 (5): 525-529.
Li Xiaohuo. Simulation study of random loads on a cutting head of roadhead [J]. Journal of China Coal Society, 2000, 25 (5): 525-529.
- [5] 李晓豁. 掘进机截割头设计与研究 [M]. 北京: 中国华侨出版社, 1997.
Li Xiaohuo. Designs and study of cutting head of roadhead [M]. Beijing: The Chinese Overseas Publishing House, 1997.
- [6] 马洪武. 截割头直径对掘进机整机工作的重大影响 [J]. 煤炭技术, 2006, 25 (5): 9-11.
Ma Hongwu. Significant effect of taper cutting head to tunnelling machine [J]. Coal Technology, 2006, 25 (5): 9-11.
- [7] 郭 武, 王凤林. S150 掘进机截割头进行改进设计 [J]. 煤矿机械, 2006, 27 (8): 122-123.
Guo Wu, Wang Fenglin. Improvement design of S150 cutting head of roadhead [J]. Coal Mine Machinery, 2006, 27 (8): 122-123.
- [8] 李秀莲. 基于遗传算法的圆柱螺旋压缩弹簧模糊可靠性优化设计 [J]. 机械设计, 2004, 21 (1): 34-35.
Li Xiulian. Fuzzy reliability optimal design of cylindrical spiral compression spring based on genetic algorithm [J]. Journal of Machine Design, 2004, 21 (1): 34-35.
- [9] 黄洪钟. 机械设计模糊优化原理及应用 [M]. 北京: 科学出版社, 1997.
Huang Hongzhong. The machine design fuzzy optimization principle and apply [M]. Beijing: Science Press, 1997.
- [10] 傅晓锦. 弹簧的模糊可靠性优化设计 [J]. 机械设计与制造, 2000, 37 (1): 4-6.
Fu Xiaojin. Spring fuzzy reliability optimization design [J]. Machinery Design & Manufacture, 2000, 37 (1): 4-6.