

文章编号:1673-9981(2007)03-0221-03

# 用竞选算法优化双万向轴的设计\*

吕文阁, 杜健辉, 李劲, 袁清珂, 骆少明

(广东工业大学机电工程学院, 广东 广州 510090)

**摘要:** 用竞选算法来优化双万向轴的设计是以中间轴的外径和内径为设计变量, 在传递转矩一定的情况下使中间轴的质量最小, 并同时满足强度、刚度、振动条件、稳定性及边界条件的约束。实例计算表明, 针对双万向轴的优化设计, 用竞选算法可以较快地寻找出全局最优解。

**关键词:** 双万向轴; 优化设计; 竞选算法

**中图分类号:** TE922

**文献标识码:** A

双万向轴的传动结构简单, 安装容易, 广泛用于各类钻机中<sup>[1-2]</sup>, 其结构示意图如图1所示。双万向轴的中间轴与输入、输出轴之间的夹角相等, 当中间轴两端的叉面在同一平面时, 输入轴与输出轴的角速度相等, 而中间轴的角速度与输出、输入轴的角速度不相等, 故中间轴的角速度有波动。为了减小中间轴的动载荷对传动平稳性的影响, 在设计双万向轴时要使中间轴在传递转矩一定的情况下, 质量最小。本文应用一种新型的优化算法——竞选算法来优化双万向轴的设计。结果表明, 竞选算法可以较快地收敛于全局最优解。

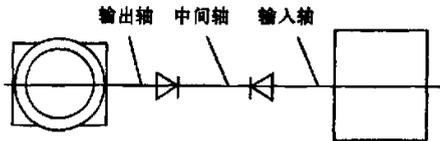


图1 双万向轴结构的示意图

Fig. 1 Indicative structure of double universal coupling

## 1 数学模型

取中间轴的独立设计参数外径  $D$  和内径  $d$  为设计变量, 即

$$x = (D, d)^T. \quad (1)$$

在长度一定时, 以中间轴质量最小(截面积最小)为目标函数

$$F(x) = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} \rightarrow \min. \quad (2)$$

中间轴的最大剪应力  $\tau_{max}$  应满足强度约束

$$g_1(x) = \tau_{max} = \frac{M_{max}}{W_n} = 9550 \frac{K_A P}{n W_n} \leq \tau_p. \quad (3)$$

式(3)中:  $M_{max}$  为中间轴最大转矩,  $N \cdot m$ ;  $K_A$  为动载系数;  $P$  为中间轴传递的额定功率,  $kW$ ;  $n$  为中间轴最小工作转速,  $r/min$ ;  $W_n$  为中间轴抗扭截面模量,  $W_n = \frac{\pi D^3}{16} [1 - (\frac{d}{D})^4]$ ,  $m^3$ ;  $\tau_p$  为中间轴的许用剪应力,  $Pa$ 。

刚度约束

$$g_2(x) = \theta_{max} = \frac{180M}{\pi G I_p} \leq \theta_p. \quad (4)$$

式(4)中:  $\theta_{max}$  为最大扭转角,  $(^\circ)/m$ ;  $G$  为中间轴剪切弹性模量,  $Pa$ ;  $I_p$  为中间轴极惯性矩,  $m^4$ ;  $\theta_p$  为许用扭转角, 取  $\theta_p = 1^\circ/m$ 。

振动条件约束

$$g_3(x) = n_{max} = \frac{n_1}{s} \leq n_p. \quad (5)$$

式(5)中:  $n_{max}$  为中间轴最大工作转速,  $r/min$ ;  $n_p$  为允许转速,  $r/min$ ;  $s$  为振动稳定安全系数, 取  $s =$

收稿日期: 2007-07-22

\* 基金项目: 广东省自然科学基金(04105381; 05001844)

作者简介: 吕文阁(1966-), 男, 辽宁朝阳人, 副教授, 博士。

1.25~1.5;  $n_1$  为临界转速, r/min. 将中间轴的连续质量简化为一点, 则  $n_1 = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{g}{y}}$ , 其中,  $g$  为重力加速度,  $y$  为中间轴的挠度. 当把双万向轴的中间轴简化为简支梁, 且承受均匀载荷时, 则

$$y = \frac{5QL^3}{348EI} \quad (6)$$

式(6)中:  $Q$  为中间轴的重量,  $N$ ;  $L$  为中间轴的长度,  $m$ ;  $E$  为弹性模量,  $Pa$ ;  $I$  为惯性矩,  $I = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{64}$ ,  $m^4$ .

中间轴不得有失稳的危险, 根据弹性理论, 稳定性约束条件是

$$g_4(x) = \tau_{\max} \leq \tau_c \quad (7)$$

式(7)中:  $\tau_c = 0.292E \sqrt{\left(\frac{D-d}{D}\right)^3}$ , 为中间轴的临界应力.

边界约束条件

$$D' \leq D \leq D'', d' \leq d \leq d'' \quad (8)$$

由此可建立双万向轴的优化数学模型

$$\min F(D, d) = W \quad (9)$$

$$G_1 = \tau_{\max} \leq b_1 \quad (10)$$

$$G_2 = \theta_{\max} \leq b_2 \quad (11)$$

$$G_3 = n_{\max} \leq b_3 \quad (12)$$

$$D' \leq D \leq D'' \quad (13)$$

$$d' \leq d \leq d'' \quad (14)$$

## 2 竞选算法

竞选算法是一种模拟竞选人追求更高支持行为的启发式优化搜索算法<sup>[3-5]</sup>. 它将解空间比拟成选民, 而竞选人是优化问题的当前解的标记, 优化问题的当前解对应竞选人的当前竞选地点. 选民对竞选人的支持取决于竞选人对选民的影响和选民的地位. 竞选人对离自己最近的选民能够产生最大的影响, 且其影响随着与选民之间距离的增加而减弱. 竞选人所对应的函数值称为竞选人的地位, 选民所对应的函数值称为选民的地位. 地位较高的选民可以给予竞选人较大的支持, 而地位较低的选民则只能给予竞选人较小的支持. 竞选人通过对选民的抽样调查了解自己被支持的情况. 为了保证调查结果的准确性和全面性, 在竞选人的周围按正态分布的概率生成局部样本, 在全局范围内按均匀分布的概率

生成全局样本. 每个竞选人都对所有的选民产生影响, 且竞选人对选民的影响随着他与选民之间的距离的加大而减小. 由于每位选民都受到所有竞选人的影响, 因此选民将根据各竞选人对他影响的大小按比例分配他们的支持. 每位竞选人可得到多位选民的支持. 抽样选民对某竞选人的支持在该竞选人总支持中所占的比例, 就是该竞选人向此抽样选民所在方向移动的权重, 这样可以计算出一个新的位置, 此位置称为该竞选人在此刻抽样选民的支持重心, 即该竞选人的下一个竞选地点. 如此反复进行的搜索, 最终到达具有最大支持的竞选地点, 即全局最优解.

竞选算法的计算流程如下:

步骤 1 设置参数;

步骤 2 初选一组竞选人的地点;

步骤 3 生成选民的局部样本和选民的全局样本;

步骤 4 计算每位抽样调查选民的地位;

步骤 5 计算每位竞选人与所有抽样调查选民之间的距离, 确定竞选人对选民的影响;

步骤 6 计算选民对竞选人的支持;

步骤 7 计算每个选民对每个竞选人的贡献;

步骤 8 对每个竞选人计算支持重心;

步骤 9 比较抽样调查选民的地位与竞选人的地位, 高地位选民成为竞选人参选, 低地位竞选人被淘汰;

步骤 10 判断是否满足要求, 若满足要求则得出最优解; 否则返回步骤 3, 进行下一循环的计算.

## 3 计算实例

现对 ZJ-15A 型钻机驱动转盘的双万向轴的中间轴进行优化设计. 已知中间轴长  $L = 2.41$  m, 传递功率  $P = 257$  kW, 动载系数  $K_A = 1.5$ , 振动稳定安全系数  $s = 1.25 \sim 1.50$ , 最小工作转速  $n_{\min} = 163$  r/min, 最大工作转速  $n_{\max} = 1000$  r/min, 轴材料为 20Cr,  $E = 206$  GPa,  $G = 79.4$  GPa,  $\tau_p = 98$  MPa, 中间轴钢管的外径  $D$  为 108~140 mm, 内径  $d$  为 87~103 mm.

计算中使用 4 个竞选人, 局部抽样调查选民数为 3, 全局抽样调查选民数为 6, 局部抽样的正态分布的方差为 0.02, 竞选人与选民的距离为位置差的绝对值, 计算过程如图 2 所示. 图 2(a) 为外径的计

算收敛过程,4条曲线分别代表4个竞选人,从4个不同的初始位置逐渐收敛到最优解128.64.图2(b)为内径 $d$ 的计算收敛过程,图2(c)为目标值,即中间轴的截面积的计算收敛过程.由图2可见,经过8个循环的计算,钢管的外径和内径已经接近最优值;经过11个循环的计算,钢管的外径和内径已经收敛于最优解.针对双万向轴尺寸的优化设计,使用竞选算法可以很快地搜寻和收敛到全局最优解.

表1 竞选算法优化结果及与其他方法的比较  
Table 1 Competitive algorithms optimization result and the comparing with other method

优化方法	外径 $D/mm$	内径 $d/mm$	最优截面积 $F(x^*)/mm^2$
惩罚函数法	128	98	5325
遗传算法	129	101	5055
竞选算法	128.64	101.78	4858.43

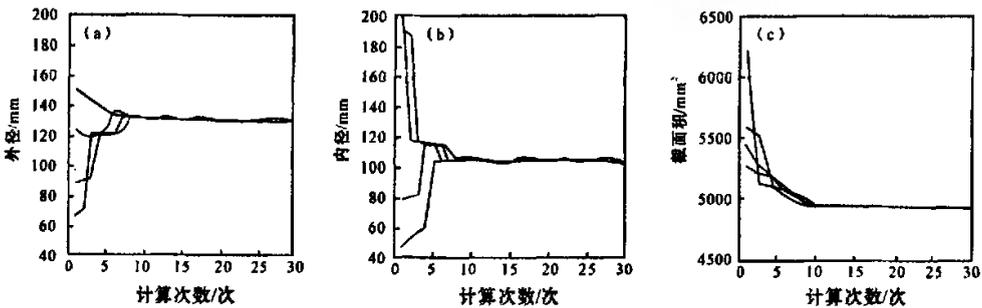


图2 双万向轴参数值和目标值的计算过程

Fig. 2 Computational process of design variables of double universal coupling and objective solutions

## 4 结论

应用竞选算法对双万向轴进行优化设计.优化结果表明,使用竞选算法可以很快地搜寻和收敛到全局最优解.

### 参考文献:

[1] 沈迪成.石油矿场机械双万轴转动的优化设计[J].石油机械,1986,14(2):1-5.

[2] 刘扬松,杨雄,李文方,等.钻机转盘双万向轴的模糊优化设计[J].江汉石油学院学报,1996,18(2):81-85.  
[3] 吕文阁,袁清珂,骆少明,等.一种新型的启发式优化算法—竞选算法[C]//2006年全国组合优化学术会议论文集.郑州:[出版者不详],2006.  
[4] 郑玲利,吕文阁.基于竞选算法的机床主轴结构优化设计[J].机械设计与制造,2006(8):35-37.  
[5] 杜健辉,吕文阁,侯梦华.基于Otsu阈值快速确定方法[J].机电工程技术,2007,36(3):57-58.

## Optimization of double universal coupling using competitive algorithms

LV Wen-ge, DU Jian-hui, LI Jin, YUAN Qing-ke, LUO Shao-ming

(Faculty of Electromechanical Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510090, China)

**Abstract:** In the optimization design of the double universal coupling, it uses the outside and inside diameters of intermediate shaft as design's variables. Under the condition of given transmitting torque, to make the weight of intermediate shaft the lightest, and the intermediate shaft must satisfy to the constrains of strength, rigidity, vibration condition, stability and the boundary condition. In this paper, it uses competitive algorithms in the optimization design of the double universal coupling. The example shows that, a competitive algorithm has high global optimizing ability, and it can find the solutions faster and better than other optimum methods.

**Key words:** double universal coupling; optimization design; competitive algorithms