

基于遗传算法的盘形零件不平衡校正研究

李 伟¹, 杨 珏², 林晓娟², 田社平¹

(1. 上海交通大学 电子信息与电气工程学院, 上海 200240; 2. 上海辛克试验机有限公司, 上海 201600)

摘 要: 针对汽车发动机驱动盘总成零件的不平衡校正特点, 建立整数规划模型, 运用遗传算法进行求解, 通过计算机计算结果, 验证模型及算法的有效性。

关键词: 转子; 动平衡校正; 遗传算法

中图分类号: TH877

文献标识码: B

doi: 10.3969/j.issn.1674-3407.2013.03.008

Research on Unbalance Correction for Drive Plate Assembly of Automobile Engine based on Genetic Algorithm

Li Wei¹, Yang Jue², Lin Xiaojuan², Tian Sheping¹

(1. School of Electronic Information and Electrical Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China; 2. Shanghai Schiack Testing Machinery Co., Ltd. Shanghai 201600, China)

Abstract: The dynamic balance correction for the drive plate assembly of automobile engine is studied in this paper. An integer-programming model is built with its special feature, and the genetic algorithm is put forward. Through simulation, the performance of the algorithm proposed is tested, and the effectiveness of the model and algorithm discussed in this article are verified.

Keywords: rotor; dynamic balance correction; genetic algorithm

1 引 言

旋转机械的动平衡校正是降低其工作时产生振动的一种重要工艺。如果转子是不平衡的, 附加动压力将通过轴承传达到机器上, 引起整个机器的振动, 产生噪声, 加速轴承的磨损, 降低机器的寿命, 甚至使机器失灵, 发生严重事故。因此, 回转零件、构件和回转机器的动平衡校正十分重要。

在选定校正面后, 一般有两种校正方法, 即极坐标校正法和分量校正法。当转子的校正面上可在任意位置去重或加重时, 可用极坐标校正法; 对于曲轴、风扇和鼓风机叶片这类的转子, 由于结构上的原因, 校正位置被限定在特定的角度范围内, 因此, 一般采用分量校正法^[1]。王德荣等^[2]对曲轴的动平衡

问题进行了理论分析, 应用分量校正法给出了一种实用的去重计算模型。刘佳等^[3]针对某电机转子动平衡校正, 提出了相应的分量校正策略。一般而言, 实际应用中, 需根据转子的结构特点以及平衡要求选择适合的校正方法。

2 问题的提出与建模

针对实际需求, 对一汽车发动机驱动盘总成零件进行动平衡校正, 如图 1 所示。要求校正后该零件的残余不平衡量位于 $[R_1, R_2] = [250, 450] \text{g} \cdot \text{mm}$ 范围内。根据零件结构特点以及工艺要求, 采用钻削孔去重的方法进行校正, 钻孔位置位于 $\Phi 221 \text{mm}$ 圆周上, 每个孔径 $\Phi 9 \pm 0.2 \text{mm}$, 平衡校正孔边距 $\geq 1.0 \text{mm}$, 与装配孔边距 $\geq 1.5 \text{mm}$, 要求平衡校正孔数目尽可能

[收稿日期] 2013-06-17

[作者简介] 李伟(1989-), 男, 上海交通大学电子信息与电气工程学院仪器科学与工程系硕士研究生。

少,残余不平衡量尽可能接近 $(R_1 + R_2)/2 = 350 \text{ g} \cdot \text{mm}$,即规定范围的中点值。

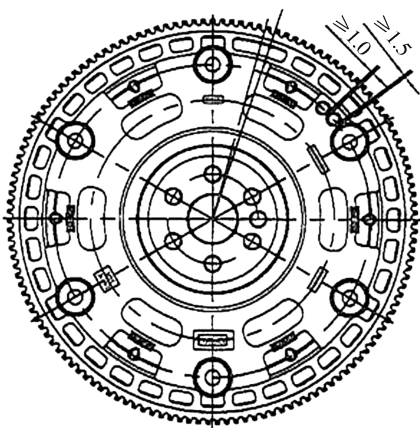


图1 汽车发动机驱动盘总成零件端面图

基于以上要求并考虑到加工工艺,采用分量校正法,平衡校正孔在 $\Phi 221\text{mm}$ 圆周上的分布如图2所示,对应的校正角度位置为 $[14.6^\circ, 15.4^\circ, 44.6^\circ, 45.4^\circ \cdots 344.6^\circ, 345.4^\circ]$,共有12对校正孔,每对校正孔夹角为 0.8° ,相邻两对校正孔中心线夹角为 30° 。另外,已知钻孔位置厚度为 6mm ,零件为钢制材料,因而可计算出每个校正点可去重的单位不平衡量 $B = 331.1 \text{ g} \cdot \text{mm}$ 。假设初始不平衡矢量为 $A \angle \alpha$ (单位: $\text{g} \cdot \text{mm}$),现要求在去重校正点去掉0或1个单位不平衡量 B ,使残余不平衡量达到规定的要求。

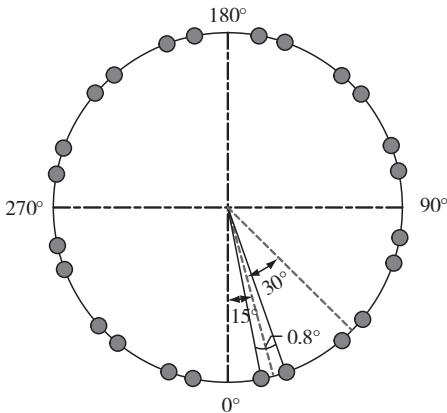


图2 钻削校正位置示意图

定义0-1变量 $d_i (i=1, 2 \cdots 24)$,分别对应圆周上24个去重点。在图2极坐标系下,当 $d_i = 1$ 时,表示第 i 个去重点作钻孔处理,去掉单位不平衡量 B ;当 $d_i = 0$ 时,表示第 i 个去重点不作钻孔处理,则剩余不平衡量可表示为:

$$U_r = \text{abs}[A \angle \alpha - (d_1 \angle 14.6^\circ + d_2 \angle 15.4^\circ + \cdots + d_{24} \angle 345.4^\circ) B] \tag{1}$$

不平衡校正模型为:

$$\begin{cases} \min \sum_{i=1}^{24} d_i + \lambda [U_r - (R_1 + R_2)/2] \\ \text{s. t. } R_1 \leq U_r \leq R_2 \end{cases} \tag{2}$$

式(2)是一个0-1规划问题,其中目标函数为两项求和所得,第一项为去重点总数,第二项为校正后残余不平衡量与 $(R_1 + R_2)/2$ 两者之间的偏离程度与权系数 λ 的乘积值,这里 λ 取值为3。

3 算法研究

对于这类有 n 个变量的0-1整数规划问题,最常规的方法是枚举法,即检查这 n 个变量的所有 2^n 个组合的可行性,再通过比较它们的目标函数值大小来求解最优值。这种方法对于变量数较少的情况比较适用,如果变量数较大,则求解效率就变得非常低^[4]。遗传算法是一种借鉴生物界自然选择和自然遗传机制的随机搜索算法。相比于枚举法,遗传算法具有较高的搜索能力和极强的鲁棒性,在解决复杂系统优化问题方面得到了广泛应用。因此,本文采用遗传算法对模型进行求解。

3.1 遗传算法的原理

遗传算法(Genetic Algorithm,简称GA)是以自然选择和遗传理论为基础,将生物进化过程中适者生存规则与群体内部染色体的随机信息交换机制相结合的高效全局寻优搜索算法。GA摒弃了传统的搜索方式,模拟自然界生物进化过程,采用人工进化的方式对目标空间进行随机优化搜索。它将问题域中的可能解看作是群体的一个个体或染色体,并将每一个个体编码成符号串形式,模拟达尔文的遗传选择和自然淘汰的生物进化过程,对群体反复进行基于遗传学的操作(遗传、交叉、变异)。根据预定的目标适应度函数对每个个体进行评价,并据适者生存、优胜劣汰的进化原则,不断得到更优的群体,同时以全局并行搜索方式来搜索优化群体中的最优个体,以求得满足要求的最优解^[5]。

3.2 运用遗传算法的步骤

运用遗传算法求解问题时,首先要对问题的解进行编码,构成个体,不同的个体构成种群,然后根据目标函数确定适应度函数,每个个体依据适应度函数对应一个适应值,通过选择、交叉、变异3个操作算子使种群进化为新一代更好的种群。这样不断进化,直到求出满足要求的解为止。

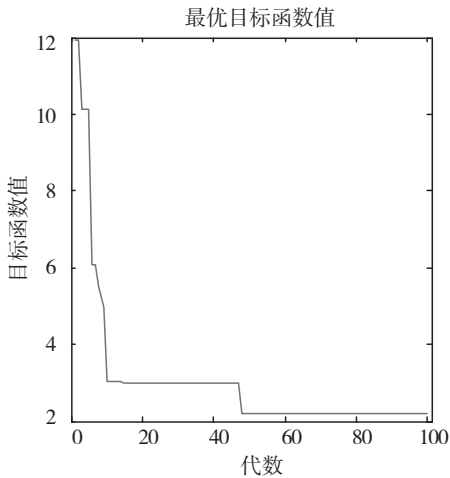


图 3 最优目标函数值收敛曲线

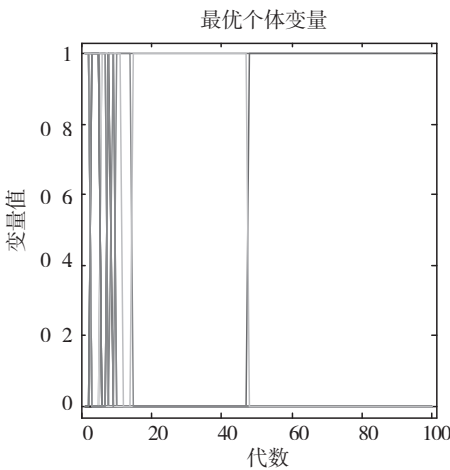


图 4 决策变量收敛曲线

地收敛到最优结果。图 3 和图 4 显示,遗传算法只需大约 45 代即可收敛到最优结果,说明遗传算法的收敛速度也较快。以上两点充分说明,本文提出的遗传算法要优于穷举法。

在实际的平衡实践中,平衡效率也是重要的指标之一。对于本文讨论的汽车发动机驱动盘总成零件,采用穷举法几乎没有实际应用的可能性,而采用

遗传算法则能快速得到计算结果,完全可以在设计的汽车发动机驱动盘总成零件平衡机中得到应用。

5 结 语

本文从汽车发动机驱动盘总成零件的动平衡校正问题出发,建立了最优化模型,并将遗传算法应用于该模型的求解过程。通过仿真,并与常规解算算法的结果比较,验证了该模型和算法的有效性。可以看出,本文所讨论的模型与算法具有一定的现实意义和应用价值。

在遗传算法的应用中,涉及到种群数量及规模、交叉概率、变异概率、子种群迁移率和最大进化代数等参数的选择以及适应度函数的定义等,它们对算法的正确运行有较大的影响,必须进行合理的选择。

参考文献

[1] 叶能安,余汝生. 动平衡原理与动平衡机[M]. 武汉:华中工学院出版社,1985.

[2] 王德荣,王晓秋,朱云飞. 六缸曲轴动平衡理论的研究[J]. 机电工程,2004,21(6).

[3] 刘佳,蔡萍,赵鼎鼎. 两工位自动钻削动平衡机及其去重策略[J]. 设计与研究,2009,(5).

[4] 宋巨龙,王香柯,冯晓慧. 最优化方法[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2012.

[5] 雷英杰,张善文,李旭武,等. MATLAB 遗传算法工具箱及应用[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2005.

[6] 玄光男,陈润伟. 遗传算法与工程优化[M]. 北京:清华大学出版社,2003.

[7] Bäck, T. and Hoffmeister, F. Extended Selection Mechanisms in Genetic Algorithms[C]. Proceedings of the Fourth International Conference on Genetic Algorithms, San Mateo, California, USA: Morgan Kaufmann Publishers,1991:92—99.