

旋转电弧传感器焊枪偏差信息识别方法

高延峰， 张 华， 毛志伟， 彭俊斐
(南昌大学 江西省机器人与焊接自动化重点实验室, 南昌 330031)



高延峰

摘 要: 焊枪偏差信息识别是实现焊缝跟踪的必要条件, 考虑到焊接电流信号易受外界噪声的干扰, 采用软阈值小波滤波方法对旋转电弧传感器采集到的电流信号进行滤波处理, 使电流波形得到了明显的改善, 提高了电流信号的信噪比。为了更加准确地得到焊枪偏离焊缝的信息, 提出了模糊聚类 and 神经网络焊枪偏差识别算法, 并且分别采用左右积分法、特征谐波法、模糊聚类法和神经网络法进行焊枪偏差识别, 最后对四种识别方法检测到的偏差进行融合, 获得焊枪偏离焊缝的信息。结果表明, 该方法可以提高偏差识别的精确度和可靠性。

关键词: 旋转电弧传感器; 小波滤波; 模糊聚类; 人工神经网络

中图分类号: TG151 文献标识码: A 文章编号: 0253-360X(2008)04-0057-04

0 序 言

旋转电弧传感器具有抗弧光、耐高温、实时性强等特点, 近年来倍受人们重视, 并被越来越多地用于焊缝偏差检测。其基本原理是利用焊枪与工件之间距离的变化引起的焊接电流变化来探测焊枪高度和左右偏差^[1]。但是在焊接过程中存在大量的飞溅、短路过渡、电源波动、送丝速度不稳定等干扰, 给焊接电流信号造成一定的影响。因此, 必须采取适当的滤波方法对焊接电流信号进行处理, 并且要采用可靠的偏差识别方法来获得焊枪偏差。然而, 尽管人们在电弧传感的信号处理和偏差识别方面做了大量的研究, 但所取得的效果并不理想^[2]。文中首先采用软阈值小波滤波方法对焊接电流信号进行滤波处理, 然后分别采用左右积分法、特征谐波法、模糊聚类法和神经网络法进行偏差识别, 最后对四种识别方法检测到的偏差进行融合, 获得焊枪偏离焊缝的情况。

1 软阈值小波滤波方法

信号和噪声在多尺度空间上具有不同的奇异性, 经过小波变换后, 认为由信号产生的小波系数包

含有信号的重要信息, 其幅值随着分解尺度的增加而增大, 而噪声对应的小波系数的幅值随着分解尺度的增加而迅速衰减。阈值去噪方法就是通过不同尺度上选取一合适的阈值, 对小波分解后的各层系数中模大于和小于该阈值的系数分别处理, 然后对处理完的小波系数进行重构, 得到去噪后的信号。

Donoho 提出的软阈值去噪方法由于容易实现且滤波效果较好而被广泛采用, 其实现过程如下^[3]。

(1) 对信号进行小波变换。

(2) 除了最粗尺度信号外, 将各细节信号作阈值处理, 阈值 t 取为 $\sigma \sqrt{2 \log N}$ (其中 σ 为噪声标准方差, N 是信号的长度)。软阈值消噪函数为

$$\begin{cases} \hat{y} = 0, & |y| \leq t \\ \hat{y} = \text{sgn}(y)(|y| - t), & |y| > t \end{cases} \quad (1)$$

式中: y 为对信号进行小波变换后各细节信号的系数; $\text{sgn}(y)$ 为符号函数。Donoho 提出了噪声标准方差 σ 的估计, $\sigma = \text{Median}(|W|)/0.6745$, 其中 $\text{Median}()$ 表示取中值, W 为一级小波变换系数。

(3) 进行小波变换重构, 求出信号的滤波值。

2 旋转电弧传感器信号滤波方法

2.1 旋转电弧信号滤波方法

旋转电弧传感器获得的焊接电流信号不仅包含有焊缝坡口信息, 同时受到了许多噪声干扰。对旋转电弧传感器电流信号进行滤波就是从受噪声污

染的信号中找到由于焊枪高度变化而引起的焊接电流的变化规律。文中采用高速旋转扫描电弧传感器,该传感器采用空心轴电机驱动导电杆旋转,在电机轴上装有光码盘,光码盘的圆周上开有 64 个浅槽和 1 个深槽。电机每旋转一周,与浅槽对应的光耦就会导通 64 次,以此作为触发脉冲进行采样,深槽位置作为采样的起始位置。所采用的滤波方法如图 1 所示。以扫描 6 圈作为一次偏差信号提取过程,首先将 6 圈中从第 1 圈开始每 3 圈作为一组进行形态学中值滤波(即 3 圈信号的对应处取中值,使 3 圈信号合成为 1 圈)。经过形态学中值滤波处理后 6 圈信号变为了 4 圈,然后进行均值处理。均值后得到 256 个采样值,利用 Daubechies 小波(DB4 小波)对信号进行变换,并进行软阈值滤波处理,得到滤波后的采样值。最后采用在对应点处求平均值的方法将 4 圈信号合成为 1 圈,以此作为偏差提取的依据。

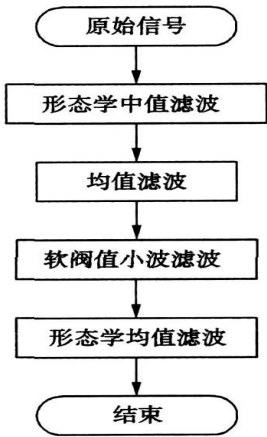


图 1 旋转电弧信号滤波流程

Fig 1 Filtering flow chart of rotating arc signal

2.2 旋转电弧信号滤波试验

采用焊接电源 Miller Delta Weld 450; 保护气体 85%Ar+ 15% CO₂; 焊接速度 36 cm/min; 电弧电压 28 V; 送丝速度 11 m/min; 旋转直径 6 mm; 旋转频率 20 Hz。试验中将焊枪倾斜 45°, 在平板上焊接, 使焊接高度按照正弦规律变化, 试验结果如图 2 所示。从图中可以看出, 原始电流信号中存在较多的短路过渡峰值电流, 而且电流变化剧烈。经过形态学中值滤波和均值滤波后, 短路过渡的峰值电流被滤掉, 但是在一个扫描周期内电流变化波动仍然比较大。采用软阈值小波滤波处理后, 信号的高频部分基本上被滤除殆尽, 电流波形得到了明显的改善, 较大地提高了电流信号的信噪比, 为偏差提取提供了更加精确和可靠的信息。

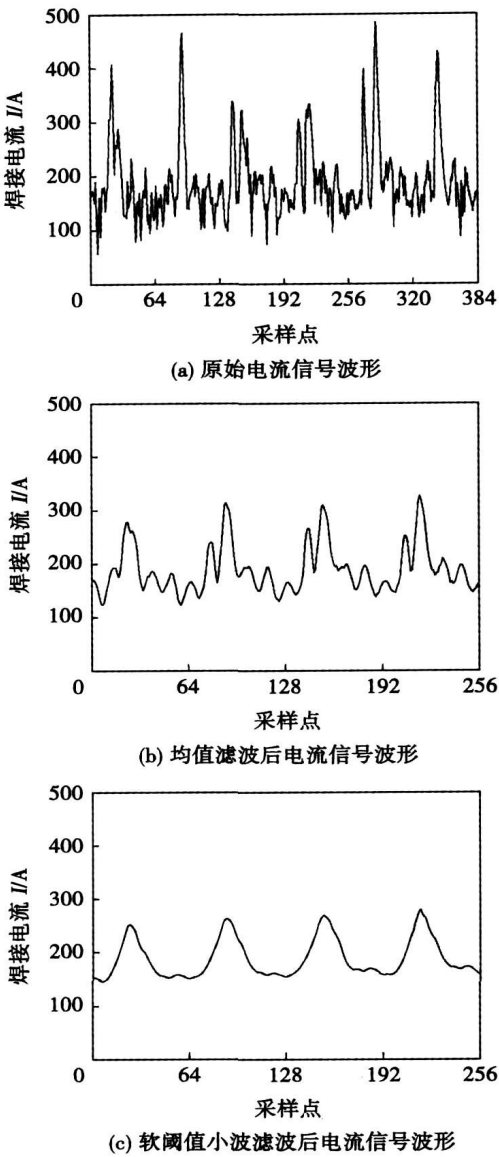


图 2 旋转电弧焊接电流信号波形

Fig.2 Welding current signal graphs of rotating arc

3 旋转电弧偏差信息识别算法

3.1 旋转电弧偏差信息识别原理

以 V 形坡口焊缝跟踪为例, 焊枪以半径 r 在坡口上顺时针扫描, 如图 3 所示。其中图 3a 表示焊枪偏离焊缝中心, 图 3b 表示焊枪对中焊缝中心。从图中可以看出, 当焊枪偏离焊缝时, 焊枪高度波形在 $[0, T/4)$ 和 $[T/4, T/2)$ 的区间内呈现出不对称状态, 而当焊枪对中焊缝时, 焊接高度波形在 $[0, T/4)$ 和 $[T/4, T/2)$ 的区间内呈对称状态。高度变化经过传感系统传递后, 使焊接电流也呈现出相应的变化, 据此可获得焊枪偏离焊缝的情况。目前常用的偏差检测方法有左右积分法和特征谐波法。

由于焊接过程的复杂性, 实际焊接中电流波形

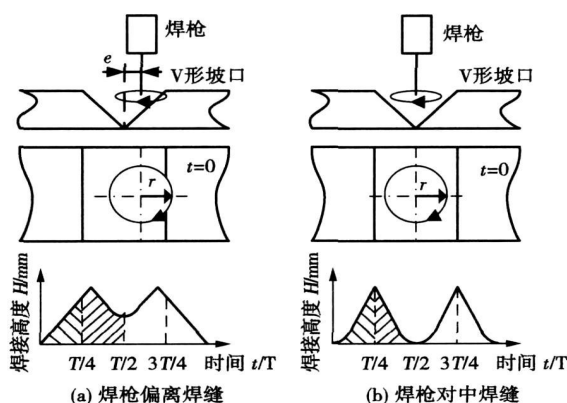


图3 旋转电弧偏差信息识别原理

Fig.3 Principle of identify deviation of rotating arc

并非是理想状态,因此无论采用左右积分法还是特征谐波法,均会产生一定程度的误差。为了提高焊缝跟踪的精度,必须提高旋转电弧传感器的检测精度和抗干扰性。为此,文中提出了模糊聚类神经网络偏差识别方法,并且对四种识别方法检测到的偏差进行融合,获得焊枪偏差信息。

3.2 模糊聚类偏差识别算法

由于短路过渡、电源波动、送丝速度不稳定等干扰,滤波后的电流波形具有一定的模糊性。从图3中可以看出,如果将 $[0, T/2]$ 扫描周期内的焊接电流采样值分成两类,则在纵坐标方向上将得到两个聚类中心。当焊枪偏离焊缝时, $[0, T/4]$ 扫描区间内各采样值隶属于某一个聚类中心的隶属度之和与 $[T/4, T/2]$ 区间内各采样值隶属于该聚类中心的隶属度之和必定不相等,而且偏差越大,二者的差值越大。同样两个聚类中心之间的距离与偏差的大小也具有对应关系。据此,可采用模糊聚类的方法进行电弧偏差信息识别。

算法实现过程如下。

(1) 将 $[0, T/2]$ 扫描周期内的焊接电流采样值利用C-均值模糊聚类^[4]的方法聚成两类,得到两个聚类中心 V_1, V_2 。

(2) 判断 V_1 和 V_2 的大小,并使 $V_1 > V_2$,并计算 V_1 和 V_2 之间的距离 L 。

(3) 分别计算 $[0, T/4]$ 和 $[T/4, T/2]$ 区间内各采样值隶属于聚类中心 V_1 的隶属度之和 SV_1, SV_2 。

(4) 求 SV_1 和 SV_2 之差 S 。

(5) 以 S 的正负作为偏差的正负,以 S 的绝对值和 L 之和作为偏差的大小。

3.3 神经网络偏差识别算法^[5]

首先采用有导师信号对定义好的网络权值进行离线训练,然后将训练好的网络用于焊枪偏差在线

识别。具体实现过程如下^[6]。

(1) 定义网络结构。该网络分为输入层、隐含层和输出层三层,其中输入层的神经元个数为16,隐含层为35,输出层为1。其中隐含层和输出层的节点函数均取为 $f(x) = 2/[1 + \exp(-2x)] - 1$ 。

(2) 生成训练信号。为了生成网络的训练信号,对所使用的旋转电弧传感器进行了系统辨识。根据自动控制理论,当一个系统的输入被施加一个正弦激励信号时,其输出与输入的幅值比及相位差将随着输入正弦信号的频率发生变化。这一变化规律表征了系统的动态特性,根据特性曲线可直接求出系统的增益和零点、极点,确定系统传递函数。根据这一原理,经过试验获得了所采用的旋转电弧传感器的一阶系统传递函数 $G(s)$ 为

$$G(s) = -6.3096 \frac{1 + 0.1479s}{1 + 0.0596s} \quad (2)$$

采用数值仿真的方法,得到理想状态下的焊接电流波形。以此焊接电流波形在 $[0, T/4]$ 和 $(T/4, T/2]$ 扫描区间各对应点数值之差(该差值要进行归一化处理)作为输入信号,归一化处理后的偏差值作为输出信号对网络进行训练。

(3) 将实际采样信号输入到训练好的网络中,进行焊枪偏差在线识别。

3.4 旋转电弧偏差信息识别试验

为了使偏差检测算法具有更强的抗干扰性,文中对以上四种方法检测到的偏差进行了融合,过程如下。

(1) 设某一时刻得到的四个偏差分别为 x_1, x_2, x_3, x_4 对其求均值得到 \bar{x}_1 。

(2) 求 x_1, x_2, x_3, x_4 到 \bar{x}_1 的距离,将距 \bar{x}_1 最近的偏差去除,并求剩余三个偏差的均值,得到 \bar{x}_2 。

(3) 设上一时刻的偏差为 \hat{x}_1 ,求其与当前时刻剩余三个偏差的均值 \bar{x}_3 。

(4) 以 $x_1, x_2, x_3, x_4, \bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3$ 的中值作为当前时刻的偏差值。并对获得的偏差进行均值滤波处理。

考虑到实际焊接时,前后两个采样周期相隔很短,因此偏差不会发生很大变化。仿照误差评判理论中的拉依达准则,认为当某一检测值与平均值的距离大于3倍的标准差或相邻两次检测值的距离大于2倍的标准差时,则发生了一次粗大误差。以粗大误差发生的概率和标准差的大小作为偏差检测算法性能的判定标准。

分别进行焊枪完全左偏、完全右偏和对中焊缝的焊接试验,每种情况均进行5组试验,每组试验采集若干个偏差数据。处理时首先对每组内的偏差数据求均值和标准差,然后求5组数据的均值及组间

标准差, 最后将组间和组内标准差求和获得最终标准差, 结果如表 1 所示。

表 1 焊枪偏差检测试验结果
Table 1 Experiment results of welding torch deviation identifying

	完全偏左			对中			完全偏右			平均标准差
	均值 μ/mm	标准差 σ/mm	粗大误差率 $\eta(\%)$	均值 μ/mm	标准差 σ/mm	粗大误差率 $\eta(\%)$	均值 μ/mm	标准差 σ/mm	粗大误差率 $\eta(\%)$	$\bar{\sigma}/\text{mm}$
特征谐波法	3.021 8	0.574 0	5.26	0.092 7	0.733 5	8.16	-2.967 2	0.790 2	3.45	0.699 2
左右积分法	2.932 3	0.865 0	7.39	0.153 8	0.609 5	4.99	-3.026 1	0.797 4	3.30	0.757 3
模糊聚类法	3.109 9	0.586 8	5.48	0.218 1	1.030 2	6.90	-3.063 4	0.635 1	3.36	0.750 7
神经网络法	2.560 9	0.887 2	7.40	-0.395 6	1.857 2	7.82	-3.019 0	0.202 2	3.30	0.982 2
融合算法	2.996 7	0.493 4	0	0.116 7	0.566 9	1.16	-2.989 9	0.594 3	1.20	0.551 5

从表中可以看出, 融合后的算法无论是平均标准差还是粗大误差率均较小, 因此可以认为该算法的性能好于其它四种算法。

为了进一步验证所提出的偏差检测算法的性能设计了如图 4a 所示的试验。在一定的焊接速度下, 相对于焊缝位置, 焊接时焊枪从一个方向的极端偏离(完全偏左)逐渐变为对中, 再渐变为另一个方向的极端偏离(完全偏右)。试验中所采用的焊接工艺参数同 2.2 节, 偏差检测结果如图 4b, c, d, e, f 所示。从图中可以看出, 融合算法识别到的偏差信息连续

性大大加强, 有效地减少了偏差的跳跃现象, 与实际焊接情况更为接近。

考虑到焊缝跟踪的实时性要求, 在 VC++ 6.0 环境下编制了上述算法的程序。在主频率为 1.0 GHz, 内存为 312 M 的计算机上进行实际采样 100 次, 发现从信号的滤波到提取出偏差平均花费时间为 15.7 ms, 完全满足焊缝跟踪实时性的要求。

4 结 论

(1) 试验结果表明, 采用软阈值小波消噪方法可以较好的滤除掉电流信号的高频成分, 明显的改善电流波形, 为偏差提取提供更加准确的信息。

(2) 所提出的模糊聚类和神经网络焊枪偏差识别算法可以用来对焊枪偏差进行识别。对四种方法检测到的偏差进行融合, 可以更加准确和可靠地得到焊枪偏差。

参考文献:

[1] 潘际奎. 现代弧焊控制[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.
[2] 洪 波, 袁 灿, 潘际奎, 等. 电弧传感器小波信号处理系统[J]. 焊接学报, 2005, 26(1): 61- 64.
[3] 潘 泉, 张 磊, 孟晋丽, 等. 小波滤波方法及应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
[4] 刘华军, 任明武, 杨静宇. 一种改进的基于模糊聚类的图像分割方法[J]. 中国图象图形学报, 2006, 11(9): 1312- 1316.
[5] Eguchi K, Yamane S, Sugi H, et al. Application of neural network to arc sensor[J]. Science and Technology of Welding and Joining, 1999, 4(6): 327- 332.
[6] 飞思科技产品研发中心. MATLAB6. 5 辅助神经网络分析与设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.

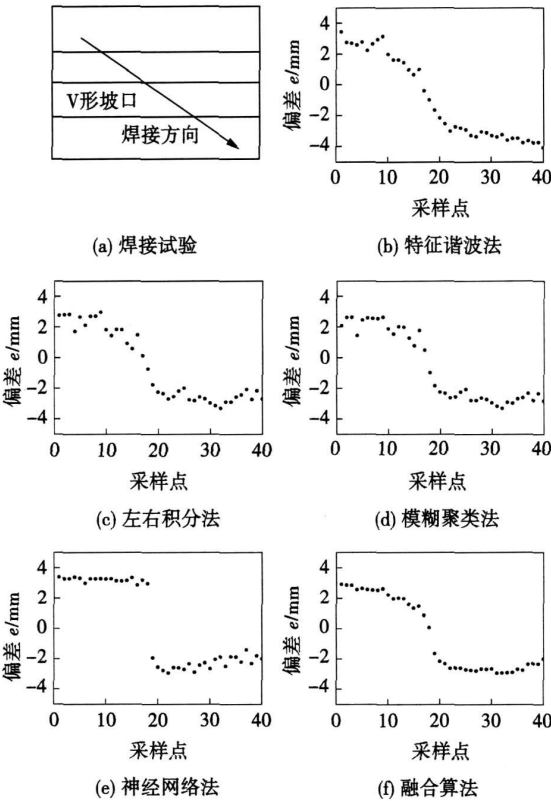


图 4 不同识别算法检测的偏差

Fig.4 Deviation identified by different methods

作者简介: 高延峰, 男, 1974 年 4 月出生, 博士生。研究领域为移动焊接机器人, 焊接自动化。已发表论文 4 篇。

Email: gyf_2672@163.com

reconstruction methods based on wavelet fractal interpolation was proposed. The experimental results indicate that the proposed method can effectively improve the image resolution compared with super-resolution method based on traditional wavelet Bilinear interpolation, can provide more valuable position and edge information of welding seam, which founds a sound base for the quality control and welding seam tracking.

Key words: super-resolution; wavelet transform; fractal interpolation

Identification of welding torch deviation with rotating arc sensor

GAO Yanfeng, ZHANG Hua, MAO Zhiwei, PENG Junfei (Key Laboratory of Robot & Welding Automation of Jiangxi, Nanchang University, Nanchang 330031, China). p57–60

Abstract: Identification of welding torch deviation is necessary to accomplish welding seam tracking. In consideration of the fact that welding current signals are often disturbed by outside noises, soft threshold wavelet filtering method is applied to process welding current signals, which makes the welding current shape obviously smooth and the signal-to-noise ratio much be improved. For more exactly acquiring the distance of welding torch depart from welding seam, fuzzy clustering and artificial neural network deviation identifying methods were proposed. Left-right integral method, character harmonic method, fuzzy clustering method and artificial neural network method were used to identify the welding torch deviation, respectively. In the last, the deviations acquired by the four methods were fused and the last deviation was obtained. The experiment results show that the fusion method can greatly improve the precision and reliability of identifying welding torch deviation.

Key words: rotating arc sensor; wavelet filtering; fuzzy clustering; artificial neural network

Wear-resistant coating of Fe-based alloy by plasma cladding on cast iron

PENG Zhuqin¹, SHANG Quanyi¹, LU Jinbin¹, WU Yuping² (1. Department of Materials and Chemical Engineering, Zhongyuan Institute of Technology, Zhengzhou 450007, China; 2. School of Materials Science and Engineering, Hehai University, Nanjing 210098, China). p61–64

Abstract: By plasma cladding technology a wear-resistant coating with metallurgical bonding to substrate was prepared on boron cast iron with Fe-based alloy powder. The microstructure of the bonding coating was investigated by optical microscope (OM), scanning electron microscope (SEM), X-ray diffractometer (XRD). The microhardness was tested by microhardness tester. The wear resistance performance of the coating was evaluated on a MM-200 block-on-wheel sliding wear tester. The results show that the coating has a microstructure consisting of primary phase (Cr, Fe)₇C₃, α-(Fe, Cr) and Fe₃C, its microhardness varies from 600 HV_{0.2} to 1200 HV_{0.2}. The relative wear resistance of the coating is about 5 times higher than that of boron cast iron substrate under dry sliding wear test conditions, which results from the presence of hard, wear-resistant primary phase (Cr, Fe)₇C₃ and Fe₃C in coating, the solid solution

strengthening by large amount of Cr and Si supersaturated in α solid solution, and from the grain size strengthening by rapidly heating and solidification of the coating.

Key words: plasma cladding; microstructure; microhardness; wear resistance

A new type high temperature abrasive wearing tester and its experimental evaluation

WEI Qi, ZHOU Xinjian, LI Hui, LI Zhuoxin (College of Materials Science and Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China). p65–68

Abstract: To research the wearing properties of coatings and surface engineering components, a new type high temperature abrasive wearing tester was introduced and its experimental evaluation was presented. It can be used to simulate and study the oxidation and abrasion interaction at elevated temperature. The influences of the testing temperature, load, time and three kinds of abrasive on high temperature wear property of coating were investigated by using this new apparatus. The experiment results show that this abrasive wearing tester is able to evaluate abrasive wearing property of coating at various temperature and various load. It has a simple structure that operates stably with good reliability. By using this abrasive wearing tester, it was found that the coating abrasive resistance of the coating varied significantly according to the testing temperature and testing load.

Key words: high temperature abrasive wear; thermal sprayed coating; wear testing

Analysis on welding distortion of large complicated structure by thermal elastic-plastic finite element method

CHEN Jianbo, LUO Yu, LONG Zhe (School of Naval Architecture, Ocean and Civil Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China). p69–72

Abstract: By using general finite element method (FEM) software ANSYS, the three-dimension finite element model of large complicated structure was founded by adopting equivalent simple measures of combinatorial bead and different kinds of elements. It overcame great calculation and difficult convergence of the thermal elastic-plastic FEM by adopting a series measures which did not influence the calculation precision. At last, using thermal elastic-plastic FEM, the welding distortion of large complicated structure with multipass was successfully obtained. The results showed that by adding knighthood to the place of less stiffness, the welding distortion can be decreased effectively, which provided a good theory basis to control welding distortion.

Key words: large complicated structure; welding distortion; thermal elastic-plastic FEM; ANSYS

Acquisition and processing of seam image based on reflected arc light

LIU Xiaogang^{1,2}, XIE Cunxi¹, ZHANG Changnian², XU Jiayuan^{1,2} (1. College of Mechanical Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510000, China; 2. Guilin College of Aerospace Technology, Guilin 541004, China). p73–76