

微电机关键零部件制造误差对其质量的影响权重分析

唐向华, 张俊, 陈凌, 阳钦

(湘电集团股份有限公司, 湖南 湘潭 411101)

摘要:研究了微电机中不存在尺寸链关系的关键零部件的制造误差对微电机质量影响权值的计算方法。首先利用神经网络方法计算关键零部件尺寸偏差对性能影响的权值,然后再利用二元排序法计算每个性能指标对微电机质量影响的权值,最后综合计算出微电机关键零部件制造误差对微电机质量影响的权重。该方法能很好解决不存在尺寸链或复杂尺寸链关系的零部件制造误差对产品质量影响的权值计算问题。

关键词:权值分析; 制造误差; 性能; 神经网络; 二元排序法

中图分类号: TM38

文献标识码: A

文章编号: 1002-2333(2013)07-0137-03

Manufacturing Error Weight Analysis of Key Parts Quality in Micro Motor

TANG Xiang-hua, ZHANG Jun, CHENG ling, YANG qin

(Xiangtan Electric Manufacturing Corporation Ltd., Xiangtan 411101, China)

Abstract: This paper studies the calculation method that the manufacturing error of the key parts and components of micro motor which does not exist relationship in the dimension chain have influence on micro motor quality influence weight. Firstly, the critical parts dimensional deviation on the performance influence of weights is calculated by using neural network method, and then calculate the quality effects of weight on each performance index of micro motor are calculated by using two element sorting method, the final comprehensive calculation is the quality effect of the key components of micro motor manufacturing error, this method can well resolve the calculation problem that the manufacturing error of the key parts and components of micro motor which does not exist relationship in the dimension chain or complex dimensional chain have influence on micro motor quality influence weight.

Key words: weight analysis; manufacturing error; performance; neural network; two element sorting method

1 引言

近年来工业现代化程度越来越高,微电机在各行各业应用越来越广泛,因此对微电机的质量要求也越来越高,而微电机的质量主要由空载电流、空载转速、负载电流、负载转速4个性能表征,因此要提高微电机质量就必须提高微电机的性能。而性能最终是由微电机一些关键零部件制造精度决定,如何确定微电机关键零部件制造误差对微电机质量影响的权重是本文研究的主要内容。魏宗平等研究了基于区间理论模型的平面尺寸链灵敏度问题,最终计算出各区间变量对封闭环的影响程度^[1]。张蕴芝等研究了利用摄动法建立三坐标并联动力头 Sprint Z3 的误差模型,并分析几何误差源灵敏度^[2]。李斌等研究了一种基于张量分析方法计算各尺寸链误差对产品输出的灵敏度系数^[3]。以上研究都是基于平面尺寸链或传动链、空间尺寸链或传动链来计算零部件制造误差对产品质量的影响,但是某些产品的零部件对产品上位质量特征(如微电机电流、转速)的影响程度,一般是不能基于尺寸链或传动链关系式直接计算。因此本文提出一种神经网络法和二元排序法相结合计算微电机关键零部件制造误差对其质量影响的权值,从而为微电机关键零部件的公差分配提供了一定参考。

微电机质量是不能量化的,但可由空载电流、空载转速、负载电流、负载转速4个性能指标综合起来表征,因

此要计算微电机关键零部件制造误差对微电机质量影响的重要程度,就必须要知道微电机关键零部件尺寸偏差对性能影响的权值,以及性能对微电机质量影响的权值,然后综合它们之间的权值计算关键零部件制造误差对微电机质量影响的权值,微电机质量、性能偏差、关键零部件尺寸偏差三者之间的影响关系如图1所示。

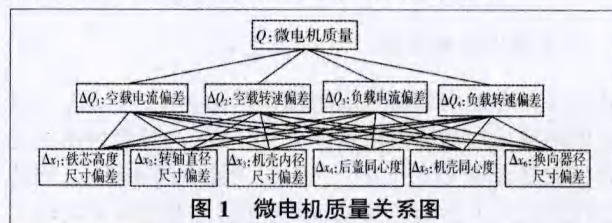


图1 微电机质量关系图

微电机每个性能指标对微电机质量以及关键零部件尺寸偏差对每个性能指标影响的权重各不一样,而且很难直接确定它们之间影响的权重,钟对该情况本文采用BP神经网络法来确定关键零部件尺寸偏差对性能影响的权重,采用二元排序法计算微电机性能指标对微电机质量影响的权重。

2 权重计算方法

2.1 BP神经网络模型

BP神经网络的学习过程中采用的是最速下降法,通过反向传播不断调整网络的权重和阈值,最终达到网络模型误差平方和最小,BP神经网络的拓扑结构包括三层,

分别为输入层、隐含层和输出层,其结构如图2所示^[4],BP神经网络模型一般采用三层的前馈网络模型,该模型计算输出如式(1)所示。

$$\hat{y}_j = f\left(\sum_{k=1}^l b_k w_{kj} - \theta_j\right) \quad (1)$$

式中: b_k 是输入层到隐含层的激活值, w_{kj} 是连接权系数,初始时刻为一组给定的随机小量; θ_j 是网络训练输出层单元阈值; $f(u_k)$ 取Sigmoid函数如下式所示。

$$f(u_k) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (2)$$

隐含层节点数选取是建立较好神经网络模型的关键,节点数太少,网络训练次数增加,另外模型的精度也不高,但是节点数太多,训练时间较长,且网络模型容易出现过拟合的情况,一般节点 l 按照下式选择。

$$l = \sqrt{n+m} + a \quad (3)$$

式中: n 为神经网络输入节点数, m 为神经网络输出节点数, a 为0到10之间的常数。

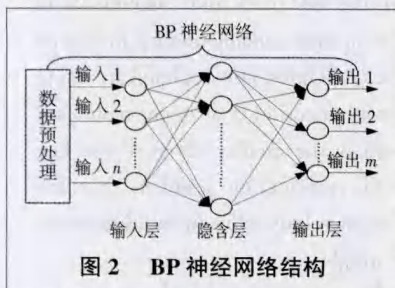


图2 BP神经网络结构

通过网络训练可以直接调出网络各层权重矩阵,但是神经网络训练得到的权重只是各神经网络神经元之间影响的权重,要计算神经网络输入层

因素对输出层因素的权重,还应分别计算出相关显著性系数、相关指数、绝对影响系数,其中绝对影响系数就是神经网络输入层对输出层影响的权重,其计算如式(4)、(5)、(6)所示^[5]。

$$(1) \text{ 相关显著性系数: } r_{ij} = \sum_{k=1}^l g_{ki} (1 - e^{-w_{kj}}) / (1 + e^{-w_{kj}}) \quad (4)$$

$$(2) \text{ 相关指数: } R_{ij} = |(1 - e^{-r_{ij}}) / (1 + e^{-r_{ij}})| \quad (5)$$

$$(3) \text{ 绝对影响系数: } S_{ij} = R_{ij} / \sum_{i=1}^n R_{ij} \quad (6)$$

式中: i 为神经网络输入层的输入单元, $i=1, \dots, n$; j 为神经网络输出层的输出单元, $j=1, \dots, m$; k 为神经网络的隐含层的隐含单元, $k=1, 2, \dots, l$; g_{ki} 为输入层神经元 i 对隐含层神经元 k 影响的权重; w_{kj} 为隐含层神经元 k 对输出层神经元 j 影响的权重。

2.2 二元排序法

二元对比排序法就是把要排序的对象进行两两对比,然后转化为系统的总排序,最终求出各个对象的权重。假设要评审的对象集合 $U=[Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_p]$,根据对象 $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_p$ 对某一事物影响的程度大小对其进行评审,并进行两两对比,在二元对比的基础上建立比较级 R ,即当对象 Q_i 与对象 Q_z 相比较,对象 Q_i 对某一事物影响的程度为 R_{iz} ,且 $z=1, 2, 3, \dots, p$; $t=1, 2, 3, \dots, p$; $R_{zt} \in [0, 1]$,可以将 R_{zt} 如下式所示^[6]。

$$R_{zt} = f_{Q_i}(Q_t) \quad (7)$$

由式(7)可以建立一个二元相对比较级,其基本形式如表1所示。

表1 二元相对比较级R

名称	Q_1	Q_2	$\dots$	Q_z	$\dots$	Q_p
Q_1	$f_{Q_1}(Q_1)$	$f_{Q_1}(Q_2)$	$\dots$	$f_{Q_1}(Q_z)$	$\dots$	$f_{Q_1}(Q_p)$
Q_2	$f_{Q_2}(Q_1)$	$f_{Q_2}(Q_2)$	$\dots$	$f_{Q_2}(Q_z)$	$\dots$	$f_{Q_2}(Q_p)$
$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$
Q_z	$f_{Q_z}(Q_1)$	$f_{Q_z}(Q_2)$	$\dots$	$f_{Q_z}(Q_z)$	$\dots$	$f_{Q_z}(Q_p)$
$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$
Q_p	$f_{Q_p}(Q_1)$	$f_{Q_p}(Q_2)$	$\dots$	$f_{Q_p}(Q_z)$	$\dots$	$f_{Q_p}(Q_p)$

从表1中可以看出当 $z=t$ 时 $f_{Q_i}(Q_t)=1$,由表1及8式可建立二元对比的相及矩阵^[6]。

$$f(Q_i/Q_z) = \frac{f_{Q_i}(Q_1)}{\max[f_{Q_i}(Q_1), f_{Q_i}(Q_z)]} = \begin{cases} \frac{f_{Q_i}(Q_1)}{f_{Q_i}(Q_z)} & f_{Q_i}(Q_1) < f_{Q_i}(Q_z) \\ 1 & f_{Q_i}(Q_1) \geq f_{Q_i}(Q_z) \end{cases} \quad (8)$$

相及矩阵的形式如下:

$$\begin{matrix} & Q_1 & Q_2 & \dots & Q_z & \dots & Q_p \\ \begin{matrix} Q_1 \\ Q_2 \\ \vdots \\ Q_z \\ \vdots \\ Q_p \end{matrix} & \begin{bmatrix} f(Q_1/Q_1) & f(Q_1/Q_2) & \dots & f(Q_1/Q_z) & \dots & f(Q_1/Q_p) \\ f(Q_2/Q_1) & f(Q_2/Q_2) & \dots & f(Q_2/Q_z) & \dots & f(Q_2/Q_p) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f(Q_z/Q_1) & f(Q_z/Q_2) & \dots & f(Q_z/Q_z) & \dots & f(Q_z/Q_p) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f(Q_p/Q_1) & f(Q_p/Q_2) & \dots & f(Q_p/Q_z) & \dots & f(Q_p/Q_p) \end{bmatrix} \end{matrix}$$

取相及矩阵每列的最小值的倒数组成一个行向量 $w=[w_1, w_2, w_3, \dots, w_p]$, w 归一化处理如下式所示。

$$W = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^p w_i} \quad (9)$$

通过式(9)计算得到的行向量 W 即为所求的对象 U 对某一事物影响的权重, $W=[\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots, \varphi_p]$ 。

3 关键零部件制造误差对微电机质量影响的权值计算

3.1 微电机关键零部件尺寸偏差对其性能影响的权值计算

微电机关键零部件尺寸偏差和性能偏差都可以量化,在微电机生产过程中会有大量关键零部件尺寸偏差和性能偏差的测量数据,因此可以通过神经网络训练样本数据得到神经网络输入层、中间层、隐含层之间的权系数矩阵,然后分别计算神经网络各层权重矩阵之间的相关显著性系数、相关指数、绝对影响系数,从而得出微电机关键零部件尺寸偏差对性能偏差影响的权重。

一般在采集的数据中,存在一些重复的、杂乱的、空缺的数据,这样严重影响数据的质量,因此在进行神经网络训练之前,首先对采集的原始数据做一个预处理改进数据质量,提高神经网络的效率、精度和性能。用处理后的176组数据做神经网络的训练,用另外15组数据做神经网络的测试,建立铁芯的高度、转轴直径、机壳内径、后盖同心度、机壳同心度、换向器直径的尺寸偏差与空载电流、空载转速、负载电流、负载转速的偏差的神经网络模型,由式(3)可知,隐含层节点数大致在3~12的范围里面,因此在3~12范围内采用试凑的方法来确定最佳的隐含层节点数,建立较为精确神经网络模型,神经网络模型拟合曲线误差曲线如图4.5、6、7所示,并且神经网络模型的隐含层节点数、拟合曲线误差值和预测值相似度如表2所示。

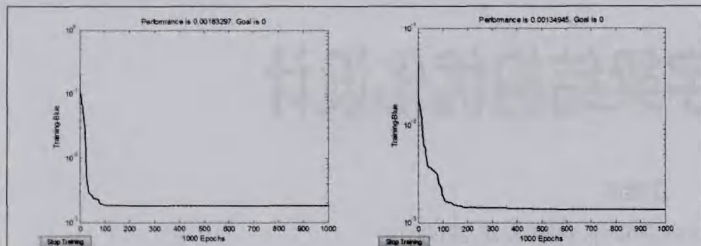


图4 空载电流误差曲线

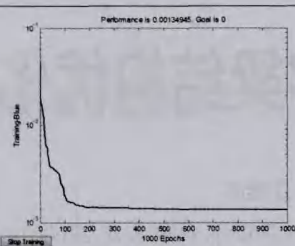


图5 空载转速误差曲线

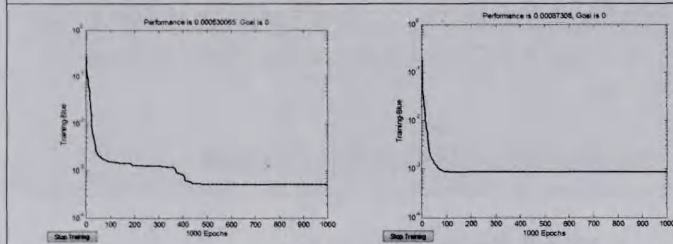


图6 负载电流误差曲线

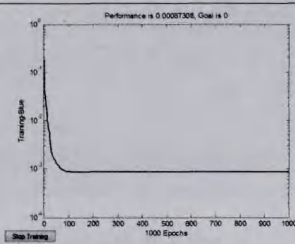


图7 负载转速误差曲线

表2 神经网络训练

电机性能	空载电流	空载转速	负载电流	负载转速
隐含层最佳节点	12	12	13	13
拟合均方误差	0.00183297	0.00134945	0.00117806	0.00087308
预测值相似度	96.2355%	96.0161%	96.3428%	96.3094%

由表2可看出所建立的几个神经网络模型的拟合误差都小于0.002,说明其拟合精度非常高,预测值与实际值相关系数在96%以上,因此建立的神经网络模型具有较好的预测能力。通过神经网络分析可得到神经网络输入层到隐含层的权重矩阵和隐含层到输出层的权重矩阵,根据式(4)、(5)、(6)分别计算可得到铁芯的高度、转轴直径、机壳内径、后盖同心度、机壳同心度、换向器直径尺寸偏差对空载电流、空载转速、负载电流、负载转速影响的权重如表3所示。

表3 关键零部件尺寸偏差对性能影响权重系数表

性能	铁芯高度	转轴直径	机壳内径	后盖同心度	机壳同心度	换向器直径
空载电流	0.168720	0.1453700	0.184147	0.117068	0.1884510	0.196244
空载转速	0.187296	0.0461473	0.069309	0.270950	0.3086410	0.117657
负载电流	0.263492	0.0745093	0.276742	0.119913	0.0927541	0.172590
负载转速	0.172235	0.0595882	0.261752	0.232113	0.1318700	0.142441

3.2 微电机性能对微电机质量影响的权值计算

由于微电机的质量缺乏量化的数据,所以利用神经网络方法计算微电机性能对其质量影响的权重是不可能的,因此本文采用二元对比排序的方法来求微电机性能对微电机质量影响的权重。

根据经验,微电机4个性能对微电机质量的重要性从大到小依次为负载转速 Q_3 、负载电流 Q_4 、空载转速 Q_1 、空载电流 Q_2 。利用4个性能对微电机质量影响的重要性进行两两比较可得到4个性能对微电机质量影响的相对比较级R如表4所示。

表4 二元相对比较级R

名称	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4
Q_1	1	0.62	0.28	0.38
Q_2	0.38	1	0.20	0.28
Q_3	0.72	0.80	1	0.60
Q_4	0.62	0.72	0.40	1

由微电机4个性能对微

电机质量影响的二元相对比较级R和式(8)可计算出4个性能对微电机质量影响的相及矩阵如下:

$$\begin{matrix} & Q_1 & Q_2 & Q_3 & Q_4 \\ \begin{matrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \\ Q_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0.3889 & 0.6129 \\ 0.6129 & 1 & 0.25 & 0.3889 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0.65 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

相及矩阵每一列最小值分别为0.6129、1、0.25、0.3889,那么行向量 $w'=[1.6316, 1, 0.25, 0.3889]$,根据式(9)式归一化处理后得到 $W=[0.1773, 0.1087, 0.4346, 0.2794]$ 即为所求性能空载转速 Q_1 、空载电流 Q_2 、负载转速 Q_3 、负载电流 Q_4 对微电机质量影响的权重。

3.3 关键零部件制造误差对微电机质量影响的权值计算

求得微电机关键零部件尺寸偏差对性能的影响权值和性能对微电机质量影响权值后就可以计算出微电机关键零部件制造误差对其质量影响的权值,假设关键零部件尺寸偏差对性能影响的权重系数矩阵用U来表示,性能对微电机质量影响的权重用W表示,那么关键零部件制造误差对微电机质量影响的权重 W' 如下式所示。

$$W'=U \times W \quad (10)$$

由上式可计算 $W'=\{0.2129, 0.0798, 0.2336, 0.1672, 0.1441, 0.1624\}$,可见微电机铁芯的高度、转轴直径、机壳内径、后盖同心度、机壳同心度、换向器直径制造误差对微电机的质量影响的权值分别为21.29%、7.98%、23.36%、16.72%、14.41%、16.24%,因此在加工的时候可根据其权值大小对权值较大零部件的质量严格控制,并且在公差设计时可使权值较大零部件的公差要尽可能小,而权值较小零部件的公差可以适当放宽点。

4 结语

本文采用神经网络方法和二元排序法计算微电机关键零部件制造误差对微电机质量影响的权值,由计算的结果可以看出微电机后盖同心度、机壳内径、转轴直径、铁芯高度的制造误差对微电机的质量影响较大,因此在微电机零部件设计时应使影响权值较大的关键零部件的公差在合理的范围内尽可能严格一点,对影响权值不大或者不怎么影响微电机质量的零部件公差在满足功能要求的条件下适当放宽,这样有利于提高微电机性能和减小微电机关键零部件加工误差。

[参考文献]

- [1] 魏宗平,刘红娟.平面尺寸链灵敏度分析的区间方法[J].机械设计与制造,2008(10):202-204.
- [2] 张蕴芝,薛强.一种三坐标并联动力头 Sprint-Z3 的误差建模与灵敏度分析[J].机床与液压,2011,39(15):116-118.
- [3] 李斌,张根保,徐宗俊.公差设计中灵敏度系数的张量求法[J].重庆大学学报,1999,4(55):6-12.
- [4] 郭晶,孙伟娟.神经网络理论与MATLAB7实现[M].北京:电子工业出版社,2006.

木塑托盘工字梁结构优化设计

汪恭平

(安庆联动属具股份有限公司, 安徽 安庆 246001)

摘要: 木塑托盘具有木制、塑料、钢制托盘的综合优点, 但其相对强度低, 易变形。基于有限元理论, 通过优化木塑托盘的工字梁结构来提高托盘整体性能。运用 ANSYS/LS-DYNA 软件对木塑托盘进行跌落仿真模拟, 得出托盘在不同方向跌落过程中的应力、应变分布图, 设计出合理的托盘工字梁结构。

关键词: ANSYS/LS-DYNA; 跌落仿真; 木塑托盘

中图分类号: TP391.7

文献标识码: A

文章编号: 1002-2333(2013)07-0140-04

1 引言

木塑复合材料的特点是: 使用寿命长、有木材的外观, 比塑料硬度高、刚性好; 比木材尺寸稳定性好, 不会产生裂纹、翘曲; 有热塑性塑料的加工性; 有木材的二次加工性; 耐老化、耐腐蚀、不会吸潮变形; 可回收利用, 也可生物降解, 对环境污染小。木塑复合托盘作为复合材料托盘, 通常采用挤出机挤出木塑复合型材再组装而成。它具有木制托盘、塑料托盘和钢制托盘的优点, 作为一种可机械化生产的高密度、高强度、耐腐蚀、不吸水的型材, 解决了木制托盘洁净度差、生产质量无法规范化和寿命短的问题, 解决了塑料托盘不耐温差变化、制作上几何尺寸受限制及钢质托盘易生锈、易腐蚀、自重大等问题。但木塑托盘在承受冲击时易变形开裂。本文运用有限元模拟托盘跌落过程, 从工字梁结构优化角度, 改进托盘整体应力

分布不均的问题, 以减小变形。

2 木塑托盘原始结构分析

2.1 木塑托盘的模型建立

运用 Pro/E 造型软件建立木塑托盘的三维模型, 托盘规格为 1000mm×1200mm, 主要截面如图 1, 三维模型如图 2 所示。

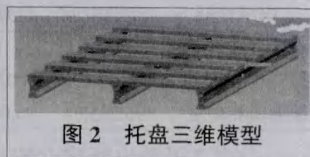


图 2 托盘三维模型

2.2 托盘的跌落仿真模拟分析

2.2.1 垂直跌落仿真模拟

模型由托盘壳体和刚性地面两部分组成, 托盘壳体从 500mm 处自由下落撞击地面时的速度为 3130.5mm/s。托盘壳体和刚性地面均采用自动单面接触算法, 数值模型采用 mm-ton-s 单位制。托盘壳体厚度为 5mm, 刚性地面厚度为 2mm, 材料属性见表 1, 托盘垂直方向的速度为 3130.5mm/s, 设置求解时间 0.005s。

表 1 托盘和刚性地面的相关参数

参数	托盘	刚性地面
密度/ $t \cdot mm^{-3}$	1.2×10^{-9}	7.89×10^{-9}
弹性模量/MPa	4400	210000
泊松比	0.33	0.28
屈服应力/MPa	15.5	

通过托盘跌落过程模拟, 得到不同时刻的应力图和最终应变图, 如图 3、图 4 所示。

从图 3 中看出, 托盘工字梁的应力较先达到最大值, 随后工字梁与肋板连接处和两工字梁之间的肋板中部出现较大范围的应力最大区域。在这些区域易首先发生屈服, 甚至断裂。由图 4 得出, 托盘工字梁是塑性应变比较集中的地方, 工字梁的变形较大, 整个托盘的最大塑性变形量为 0.127mm。

2.2.2 斜 45°跌落仿真模拟

对托盘 45°方向的斜跌落模拟, 设置各个方向上的分

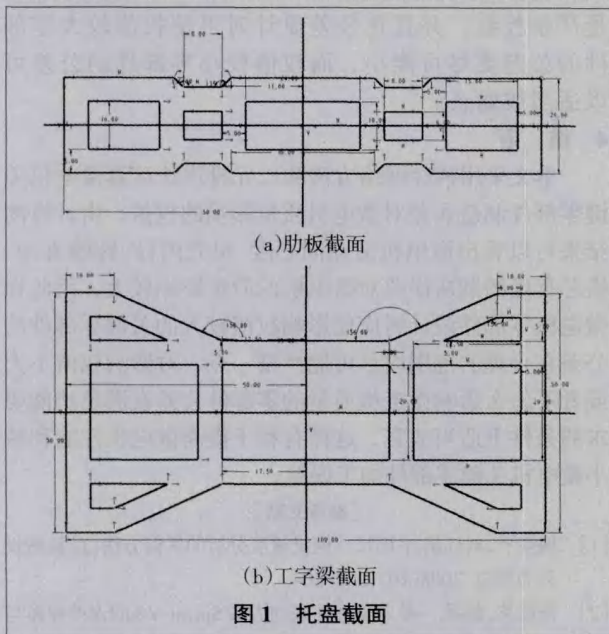


图 1 托盘截面

[5] 孙会君, 王新华. 应用人工神经网络确定评价的权重[J]. 山东科技大学学报, 2001, 3(20): 84-86.

[6] 贺仲雄. 模糊数学及其应用[M]. 天津: 天津科学技术出版社, 1983. (编辑 立 明)

作者简介: 唐向华(1977-), 男, 工程师, 研究方向为电机制造质量检测等。

收稿日期: 2013-04-01