

标准化

基于 AHP 和线性神经网络的模具标准评价

郭颖颖, 廖宏谊

(桂林电子科技大学 机电工程学院, 广西 桂林 541001)

摘要: 在模具标准制修订工作中, 是否采用国际标准或国外先进标准、预测标准对国情的适用性是重要环节。通过对我国现行模具标准的大量分析, 确定标准评价因素, 构建标准评价体系, 运用层次分析法 (AHP) 计算各因素的重要程度值, 并做量化分析和评分, 以获得线性神经网络模型样本, 进而对样本进行训练、验证, 最终获得模具标准评价模型。该模型充分吸收了专家的知识 and 经验, 降低了评价的人为因素。结果表明, 基于 AHP 和线性神经网络的模具标准评价方法计算的最大相对误差为 1.6%, 该评价方法正确可行。

关键词: 模具标准; 评价模型; 层次分析法; 线性神经网络

DOI: 10.13330/j.issn.1000-3940.2014.11.031

中图分类号: TG76 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3940 (2014) 11-0150-06

Evaluation of mould standard based on the AHP and linear neural network

Guo Yingying, Liao Hongyi

(Mechanic and Electronic Engineering, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: Whether to adopt international standards or advanced foreign standards and predicting the applicability of standard to the national conditions are important links in the mould standard system revision work. Through a large number of analyses of our current mould standard, the standard evaluation factors and the standard evaluation system were determined, and the importance of the various factors were calculated by using the analytic hierarchy process. And then by doing quantitative analysis and evaluation, the samples of the linear neural network model were obtained, and after training and validation samples, mould standard evaluation model was gained ultimately. By this, not only the knowledge and experience of the experts can be absorbed completely by the model, but also the evaluation of human factors has gone down. As the experiment shows, the evaluation result of maximum relative error is 1.6%, the method of the mould standard evaluation based on the AHP and linear neural network is correct and feasible.

Key words: mould standard; evaluation model; analytic hierarchy process; linear neural network

在标准制修订工作中, 尽可能采用国际标准或国外先进标准 (以下简称采标) 是我国既定的标准化政策, 也是世界技术经济发展的趋势。

我国现行模具国家标准 (GB) 共 100 项, 涉及冲模、塑料模、压铸模、硬质合金拉制模和锻模; 现行模具行业标准 (JB) 共 167 项, 涉及冲模、塑料异型材挤出模、锻模、拉制模等, 形成对国家标准的补充。这些标准涉及术语、技术条件、试验方法、模架、模板 (含模座)、导向件、推出件、成

型件 (如标准凸凹模)、弹性元件等标准, 基本反映了模具行业的技术需求与应用现状。研究我国现行模具标准, 并作为适用性参照, 是模具标准评价和体系构建的一项基础工作。

我国在模具标准化规划和标准制修订过程中, 大量参照了 ISO 标准和国外先进标准的结构和技术内容, 但直接采用 ISO 标准目前只有 4 项, 仅占现行标准总数的 1.5%。采标率低的因素较多, 主要涉及标准的尺寸系列、表面粗糙度要求、热处理要求、形位精度要求等, 各因素之间关系较模糊且难以量化。是否采标, 必然涉及对上述多重因素进行量化和结合国情做出适用性判断, 这是我国模具标准化工作领域一直以来希望研究解决的问题。我国模具标准的制修订、宣贯和推广应用, 需要一种对标准适用性预测的科学方法。

收稿日期: 2014-07-21; 修订日期: 2014-09-06

基金项目: 国家标准化管理委员会“装备制造业重点领域标准体系研究计划”项目

作者简介: 郭颖颖 (1988-), 女, 硕士研究生

E-mail: guoyyly@126.com

1 模具标准评价体系的构建

本文以占比最大的冲模和塑料模标准为研究载体,重点以模架、模座、模板、导向装置、凸凹模零件、弹簧、一般零件以及技术条件等标准作为分析对象。针对上述诸多因素,分析现行冲模和塑料模标准文本,从技术指标、技术要求以及技术成本等方面,考虑标准的适用性评价指标。

(1) 技术指标。对于有尺寸要求的模具标准而言,模具标准的尺寸体系是标准制修订的重要基础。分析我国现行标准文本,冲模标准的主要尺寸基本采用“优先数系”^[1-2]的尺寸体系,而塑料模的主要尺寸偏离“优先数系”较远,尤其是塑料模模架,虽然偏离“优先数系”,但是与日本富得巴(FUTABA)标准接近一致。这是国情所致,也是采标应考虑适用性因素。

(2) 技术要求。模具标准件产品标准的技术指标体现的是对产品的技术质量要求,也间接反映了模具标准件产品的总体技术质量水平^[3]。本文在技术要求方面,主要考虑表面粗糙度和热处理要求 2 个指标。各类模具标准的表面粗糙度要求不同,例如模具的主要零件导向装置,其配合表面的粗糙度要求较一般零件高。热处理要求指标指的是材料的硬度,模具零件在选择不同材料时,硬度要求也不同,需根据技术条件规定对材料进行相应的热处理采标。

(3) 技术成本。实际生产的模具标准产品最终需要进入市场,因此,保证产品质量的前提下,也应该控制模具产品的成本。技术成本与我国机床的加工精度紧密相关。在精度方面,本文考虑形位精度要求、配合精度要求以及制造精度要求 3 个指标。虽然我国标准件产品的技术质量水平或许略低于 ISO 标准和国外其他标准,但真实反映了我国模具与模具产品的技术与质量的现状。精度过高或过低,都不能与我国的国情相适应,因此应确定适用于我国的精度等级。

基于上述 3 个方面的考虑,建立模具标准评价体系模型如图 1 所示。

2 构建基于 AHP 的神经网络模型

在分析指标之间重要程度上,本文采用层次分析法^[4]和神经网络^[5]相结合来计算重要程度值,即

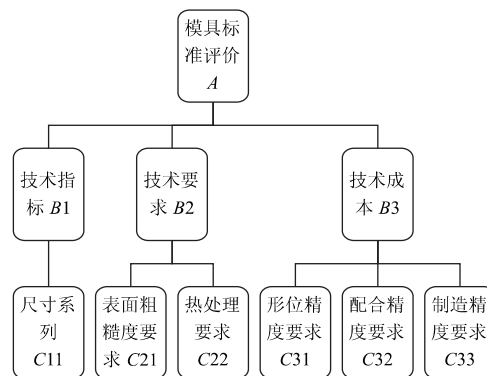


图 1 模具标准评价体系模型

Fig. 1 Model of mould standard evaluation system

权重。层次分析法相对其他方法更具有逻辑性,但不能避免各指标之间相对重要程度值因专家判断不同而有差异,存在主观性的缺陷。神经网络恰好能克服层次分析法的缺点,能够减少评价过程中人为主观上的随意性、思维上的不定性以及认识上的模糊性等因素的影响^[6]。两者结合,可以提高对标准评价的性能、准确度和计算精度。

由于各因素间关系未知且复杂,无法建立准确的函数关系。而线性神经网络是通过线性逼近函数来进行模式联想、预测以及模式识别,具有自适应、自学习能力和以任意精度逼近任意非线性函数特性的能力^[7]。因而,可在研究中假设各影响因素间存在线性关系,建立基于 AHP 的线性神经网络模型,经验证确定猜想的线性关系正确。

该模型先借助 AHP 方法确定模具标准评价体系模型中各级指标的权重。通过归纳、统计确定量化方法,分别对两大类模具的影响因素进行量化,将部分现行标准的量化值作为神经网络的样本,构建线性神经网络模型;然后对该神经网络进行训练,以得到符合精度要求的网络,再用另一部分现行标准进行检验,若误差在可接受范围内,则可利用此模型对新的标准进行评价,如果误差偏大,则需重新进行训练。最终获得具有专家经验的模具标准适用性评价。

2.1 建立 AHP 评价指标体系

影响模具标准评价的 6 个因素确定后,各因素的对整体的重要程度不同,需要通过层次分析法计算确定权重。层次分析法 AHP 在选择指标时,从总体系统出发,分析影响总性能的相关因素,按照综合最优的原则和下层服从上层指标的规则,并建立递阶层次的结构模型,是一个“系统的合理性”过程^[8]。在图 1 的模具标准评价体系中,设计了技术

指标、技术要求、技术成本 3 个一级指标, 分别用 $B1$ 、 $B2$ 、 $B3$ 表示, 尺寸系列、表面粗糙度要求、热处理要求、形位精度要求、配合精度要求、制造精度要求 6 个二级指标, 分别用 $C11$ 、 $C21$ 、 $C22$ 、 $C31$ 、 $C32$ 、 $C33$ 表示, 各个指标权重计算步骤如下。

2.1.1 构造判断矩阵

针对图 1 模具标准评价各级指标体系, 利用 1-9 标度法, 表示不同指标间的重要程度。在同一准则下, 专家依靠经验, 按指标间的相对重要程度, 对元素进行两两比较并打分, 一级指标的打分情况如表 1 所示。技术要求相对重要程度较弱, 可以将技术要求 ($B1$) 的分值设为基础分。技术指标 ($B2$) 相对技术要求更为重要, 若技术要求为 1 分, 则技术指标获得 3 分、技术成本 ($B3$) 为 5 分。按照同样的方法, 二级指标的技术要求和技术成本的打分值如表 2、表 3 所示。

表 1 一级指标层 (A) 评分表

Table 1 Assessment index layer table of class one

指标	技术指标 $B1$	技术要求 $B2$	技术成本 $B3$
评分	3	1	5

表 2 二级指标层——技术要求 ($B2$) 评分表

Table 2 Assessment index layer table of technical requirements ($B2$) of class two

指标	表面粗糙度要求 $C21$	热处理要求 $C22$
评分	1	1

表 3 二级指标层——技术成本 ($B3$) 评分表

Table 3 Assessment index layer table of technical costs ($B3$) of class two

指标	形位精度要求 $C31$	配合精度要求 $C32$	制造精度要求 $C33$
评分	2	1	2

根据评分表 1~表 3 构造如下判断矩阵:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 1/2 \\ 1/3 & 1 & 1/5 \\ 2 & 5 & 1 \end{bmatrix} \quad B2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$B3 = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 1/2 & 1 & 1/2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

2.1.2 各级指标权重确定

(1) 一级指标权重确定

① 应用 MATLAB 软件, 分别解出判断矩阵 A 、

$B2$ 、 $B3$ 的最大特征值。

② 用 MATLAB 程序, 利用公式 $A\omega = \lambda_{\max}\omega$ 解出 λ_{\max} 对应的特征向量 ω , 经过归一化后, 即可得到该层次对上一层次的排序权重值。通过计算, 技术指标、技术要求和技术成本 3 个指标的权重如表 2 所示。

③ 一致性检验分析。为判断比较结果是前后完全一致的, 应进行一致性检验。若一致性指标 $CI = 0$, A 有完全的一致性; 若 CI 接近于 0, A 有满意的一致性。当 $CR = CI/RI < 0.1$ 时, 认为一致性可以接受。 RI 为同阶平均随机一致性指标, 是 CI 的抽样平均值^[9], 见表 4。通过计算, $CI = 0.0018$, $CR = 0.0032 < 0.10$, 具有满意的一致性。经过检验, 一级指标判断指标权重如表 5 所示。

表 4 平均随机一致性指标 RI

Table 4 Mean random consistency index RI

阶数	1	2	3	4	5	6	7
RI 值	0	0	0.58	0.90	1.12	1.26	1.36
阶数	8	9	10	11	12	13	14
RI 值	1.41	1.46	1.49	1.52	1.54	1.56	1.58

表 5 一级指标判断矩阵

Table 5 Index judgment matrix of class one

	$B1$	$B2$	$B3$	权重
$B1$	1	3	1/2	0.309012
$B2$	1/3	1	1/5	0.109479
$B3$	2	5	1	0.581509

(2) 二级指标权重确定。

同理, 二级指标计算权重如表 6、表 7 所示。

表 6 二级指标——技术要求 ($B2$) 的判断矩阵

Table 6 Judgment matrix of technical requirements ($B2$) of class two

	$C21$	$C22$	权重
$C21$	1	1	0.50
$C22$	1	1	0.50

表 7 二级指标——技术成本 ($B3$) 判断矩阵

Table 7 Judgment matrix of technical costs ($B3$) of class two

	$C31$	$C32$	$C33$	权重
$C31$	1	2	1	0.400012
$C32$	1/2	1	2	0.199976
$C33$	1	1/2	1	0.400012

2.1.3 综合指标权重确定

通过计算得到一级指标的权重和二级指标的权重, 假设一级指标权重为 ω_i , 二级指标权重为 ω_j , 则在一级准则下的二级指标综合权重为 $\omega_{ij} = \omega_i \times \omega_j$ 。因此, 得到二级指标的权重如表 8 所示。

表 8 综合指标权重
Table 8 Comprehensive index weight

一级指标权重	二级指标权重	综合指标权重
技术指标 0.309012	尺寸系列 1.0000	0.3090
技术要求 0.109479	表面粗糙度要求 0.5000	0.0547
	热处理要求 0.5000	0.0547
	形位精度要求 0.4000	0.2326
技术成本 0.581509	配合精度要求 0.2000	0.1163
	制造精度要求 0.4000	0.2326

2.2 评价指标量化

研究表明, 主要尺寸与“优先数系”的重复率量化分值服从正态分布^[10], 以计算冲模模架长度 L 的尺寸为例。

(1) 统计计算所有冲模模架的长度对应 $R5$, $R10$, $R20$, $R40$ 和 $R80$ 系列的重复率值, 选取每个系列的最小重复率值。

(2) 根据每个系列最小、平均、最大重复率值绘制图 2 的曲线。图中最上方的曲线表示现行冲模模架长度 L 能达到最高重复率的曲线, 中间曲线为重复率的平均值曲线, 最下方的曲线表示现行冲模模架长度的重复率最低能达到的曲线。最上方和最下方形成的区域代表冲模模架长度 L 的重复率范围, 超出最高值曲线, 或未达到最低值曲线的范围, 则不符合我国现行标准的情况。

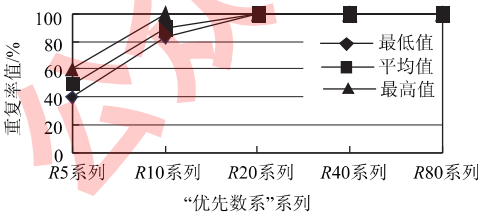


图 2 冲模模架 L 的尺寸系列重复率值曲线

Fig. 2 Repetition rate value curves of size series of press-die carrier with length L

(3) 每个系列重复率对应的分值按照图 3 的正态分布曲线计算。将重复率的最大值 (X 轴) 对应的分值作为正态分布的峰值 (Y 轴), 为了方便计算, 将层析分析法计算的权重值作为峰值, 分别计

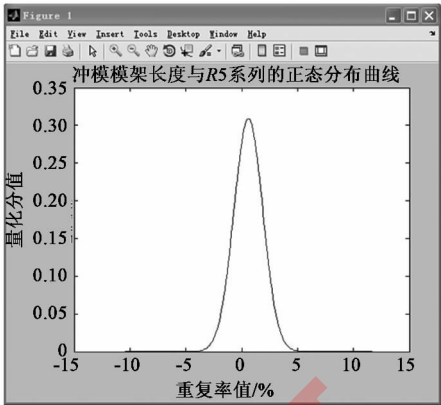


图 3 冲模模架长度与 $R5$ 系列的正态分布曲线

Fig. 3 Normal distribution curve between length of press-die carrier and $R5$ series

算不同重复率值对应得到的分值。

(4) 选择 $R5$, $R10$, $R20$, $R40$, $R80$ 系列最小的分值作为尺寸系列这个影响因素的最后分值。若新标准未涉及该尺寸, 则给予平均值处理。按上述方法, 对所有冲模、塑料模的主要尺寸进行量化。

表面粗糙度的量化分值服从正态分布。通过对现行标准的归纳, 将能反映我国国情的最小粗糙度 (X 轴) 对应的分值作为峰值 (Y 值), 计算不同标准的粗糙度量值。越靠近最小粗糙度的值, 分值越大; 偏离得越远, 则按照正态分布函数计算的值越小。热处理要求主要考虑不同材料的硬度要求, 一般来说, 硬度由选择的材料确定, 同时, 热处理要求这一影响因素的权重低, 对总体的影响程度低, 因此, 对标准中未提到的材料硬度, 将平均值作为该影响因素的分值。

标准精度过高或过低均不符合我国国情。在量化过程中, 必须参考我国的加工制造水平, 分析现行标准, 我国的加工精度为中级水平, 因此, 将中等加工精度设为峰值, 提高或降低精度等级, 分值将同样按正态分布曲线进行计算。

在确定了各影响因素的量化分值后, 对我国现行标准 (GB、JB) 按量化方法进行评分。将得到的评分结果一部分 (40 组) 作为神经网络的训练样本, 部分评分结果 (5 组) 作为测试样本。列出的部分训练样本数据如表 9 所示, 部分测试样本数据如表 10 所示。

2.3 建立线性神经网络体系

2.3.1 线性神经网络评价模型的建立

本文采用线性神经网络, 通过逼近一个函数式而进行模式联想, 其网络结构如图 4 所示。

表 9 部分神经网络训练样本

Table 9 Part of neural network training samples

序号	C11	C21	C22	C31	C32	C33	总分
1	0.3080	0.0547	0.0273	0.2326	0.1162	0.2326	97.165
2	0.3084	0.0547	0.0547	0.2326	0.1162	0.2326	99.939
3	0.3044	0.0547	0.0273	0.2326	0.1162	0.2326	96.802
4	0.3057	0.0544	0.0547	0.2326	0.1162	0.2326	99.643
5	0.3076	0.0544	0.0273	0.2326	0.1162	0.2326	97.088
6	0.3089	0.0544	0.0273	0.2326	0.1162	0.2326	97.225
7	0.3038	0.0546	0.0547	0.2326	0.1162	0.2326	99.471
8	0.3012	0.0546	0.0547	0.2326	0.1162	0.2326	99.206
9	0.3063	0.0546	0.0547	0.2326	0.1162	0.2326	99.722
10	0.3061	0.0546	0.0547	0.2326	0.1162	0.2326	99.699
11	0.3010	0.0546	0.0547	0.2326	0.1162	0.2326	99.191
12	0.3007	0.0547	0.0274	0.2326	0.1162	0.2326	96.436
13	0.3005	0.0547	0.0547	0.2326	0.1162	0.2326	98.683
14	0.309	0.0547	0.0274	0.1962	0.1162	0.2326	93.62
15	0.3035	0.0543	0.0547	0.2326	0.1162	0.2326	99.415

表 10 部分神经网络测试样本

Table 10 Part of neural network test samples

序号	C11	C21	C22	C31	C32	C33	总分
1	0.3084	0.0542	0.02737	0.23261	0.1163	0.2326	97.147
2	0.30704	0.0547	0.0547	0.23261	0.1163	0.2326	99.7978
3	0.29845	0.0547	0.0547	0.23261	0.1163	0.2326	98.9388
4	0.30677	0.0547	0.0547	0.23261	0.1163	0.2326	99.7708
5	0.29787	0.05275	0.02737	0.1163	0.1163	0.1163	72.6878

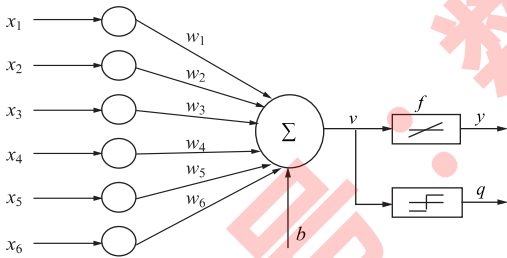


图 4 线性神经网络结构

Fig. 4 Structure of linear neural network

输入一个 6 维向量 $x = [x_1, x_2, \dots, x_6]$ ，输入到神经元的权值为 ω_i ，则该神经元的输出为：

$$v = \sum_{i=1}^6 x_i \omega_i + b$$
。在输出节点中的传递函数采用线性函数 prelim ，线性网络最终的输出为： $y = \text{prelim}(v)$ 。

2.3.2 神经网络样本的来源

如表 9 所示，40 组量化的现行模具标准（包括国家标准、行业标准）作为神经网络的训练样本。

2.3.3 神经网络模型的操作步骤

具体操作可通过神经网络工具箱的用户界面^[11]来实现，使 MATLAB 应用更简单。具体操作步骤：

在 MATLAB 命令行工作空间输入 “nntool” 命令，打开神经网络工具箱的网络/数据管理器。

(1) 输入数据。在 “Network/Data Manager” 中点 “New Data...”，命名为 “p1”，“Value” 中输入 “a1” 的值（a1 值为输入样本值），右侧的 “Data Type” 中选择 “Inputs”，点击 “Create”，即建立了 a1 值，如图 4 所示。同样，可以建立 a11 值和 b1 值（t1 值为输入样本的目标值或者说是期望值、专家评价的结果值，b1 值为测试样本的输入值，b11 值为测试样本的输出值），a11 值的 “Data Type” 选择 “Targets”。

(2) 建立线性神经网络。在 “Network/Data Manager” 中选择 “New Network...”，新网络窗口出现，命名为 “network1”，网络类型（Network Type）为 Linear layer，选择 Input Data 为 “a1”，Output Data 为 “a11”，learning rate 为默认值 0.01，点击 “Create”。即建立了线性神经网络。点击 “view”，即可看到建立的网络结构如图 5 所示。下一步便可以对样本进行训练。

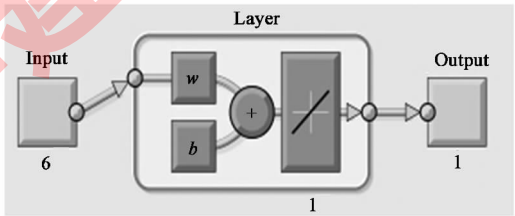


图 5 线性神经网络层次图

Fig. 5 Hierarchy charts of linear neural network structure

(3) 网络训练。在 “Network” 中选 “Train” 在 “Training Info” 点击输入 “a1”，输出 “a11”，训练结束后存储结果和误差的文件为 network1_outputs 和 network1_errors。点击 “Train Network” 按钮来训练网络，双击 “network1_output”、“network1_errors” 查看训练结果值和训练误差值。训练样本的误差见表 11。

表 11 部分训练样本结果误差

Table 11 Result error of part of training samples

序号	1	2	3	4	5
训练结果	0.9811	0.9911	0.9808	0.9907	0.9870
相对误差	-0.0090	0.0083	-0.0127	0.0057	-0.0161
序号	6	7	8	9	10
训练结果	0.9811	0.9906	0.9903	0.9908	0.9908
相对误差	-0.0088	0.0041	0.0017	0.0064	0.0062

训练结果与相对误差表明, 该模型最大训练样本的相对误差为 0.0161, 1.61% 的相对误差在能够被接受的范围。说明建立的评价模型是可靠的。可进一步对测试样本进行仿真预测。

(4) 网络测试。在“Network”中选“Simulate”, 在“Input”点击“b1”输入样本, 点击“Supply Target”在“target”中选择“b11”作为测试结果, 点击“Simulate Network”进行样本测试。测试结果和误差分别在“network2_output”、“network2_errors”中显示。

测试样本的误差见表 12。最大测试样本的相对误差为 0.0095, 说明评价精度符合要求。

表 12 部分测试样本结果误差

Table 12 Result error of part of test samples

序号	1	2	3	4	5
测试结果	0.9810	0.9909	0.9901	0.9909	0.7196
相对误差	-0.0095	0.0071	-0.0007	0.0068	0.0073

保存训练好的神经网络模型数据, 当需要预测新标准时, 只要启动神经网络, 便可快速得到评价结果。因此, 建立的神经网络模型是合理的, 适用于用于模具标准的评价。

3 结论

(1) 通过神经网络对样本进行训练和检验, 训练样本的最大相对误差为 1.6%, 检验样本的最大相对误差为 0.95%, 证明线性神经神经网络的猜想是正确的, 影响因素之间存在线性关系。

(2) 在我国现行模具标准 (包括 GB、JB) 基础上建立的评价体系, 对我国现行标准量化后的评价分值均在 93 分以上, 而 ISO 标准的评价分值则在 70~90 分之间, 这说明我国在采用国际标准时, 大多应修改采用。

(3) 我国现行标准反映了我国模具行业的基本国情, 外来标准过高或过低均不适用于我国。评价分值越高, 表明越能够与我国现行标准相融合, 反之亦然。

(4) 本文提出的评价方法, 以我国现行模具标准 (GB 和 JB) 为基础, 将专家知识经验量化成模型的过程。对模具标准进行适用性评价时, 只需在训练好的网络输入相应的指标数据矩阵, 即能得出符合国情与专家经验的的评价值, 避免了评价过程中的人为失误, 提高评价的准确性。

参考文献:

- [1] 李荣发. 优先数和优先数系简介 [J]. 洪都科技, 1979, (4): 15-32.
Li R F. Priority number and priority number system introduction [J]. Journal of Hongdu Science and Technology, 1979, (4): 15-32.
- [2] 李春田. 标准化概论 [M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1987.
Li C T. Introduction to Standardization [M]. Beijing: Renmin University of China Publishing House, 1987.
- [3] 金颖. 技术标准《高速工具钢锻件 技术条件》的编制及解读 [J]. 锻压技术, 2013, 38 (3): 179-180.
Jin Y. Preparation and amendment of technical standard of technical requirements for forgings of high-speed tool steel [J]. Forging & Stamping Technology, 2013, 38 (3): 179-180.
- [4] 秦季冬. 基于 AHP 和 BP 神经网络的广西大中型工业企业技术创新能力评价研究 [D]. 南宁: 广西大学, 2010.
Qin J D. Based on AHP and BP Neural Network of Large and Medium-sized Industrial Enterprises in Guangxi Technological Innovation Ability Evaluation Research [D]. Nangjing: Guangxi University, 2010.
- [5] 李成. 神经网络系统理论 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1990.
Li C. Neural Network System Theory [M]. Xi'an: Xi'an University of Electronic Science and Technology Press, 1990.
- [6] 区健芬, 陈贤宣. 基于 AHP-BP 的虚拟经营风险评价 [J]. 现代商业, 2011, (9): 136-137.
Qu J F, Chen X X. Virtual operation risk assessment based on AHP and BP [J]. Journal of Modern Business, 2011, (9): 136-137.
- [7] 陈明. MATLAB 神经网络原理与实例精解 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2013.
Chen M. MATLAB Neural Network Theory and Example Extract Solution [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2013.
- [8] 高梁. 基于层次分析法的绩效评估权重设计 [D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2007.
Gao L. Performance Evaluation Based on Analytic Hierarchy Process (ahp) Weight Design [D]. Urumuqi: Xinjiang University, 2007.
- [9] 洪志国, 李焱. 层次分析法中高阶平均随机一致性指标 (RI) 的计算 [J]. 计算机工程与应用, 2002, 38 (12): 45-47.
Hong Z G, Li Y. Analytic hierarchy process (AHP) and middle mean random consistency index (RI) calculations [J]. Computer Engineering and Application, 2002, 38 (12): 45-47.
- [10] 钟义山. 正态分布 [J]. 陕西林业科技, 1988, (2): 31-33.
Zhong Y S. Normal distribution [J]. Journal of Shanxi Forestry Science and Technology, 1988, (2): 31-33.
- [11] 丛爽. 面向 MATLAB 工具箱的神经网络理论与应用 [M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1998.
Cong S. Facing the Toolbox of MATLAB Neural Network Theory and Application [M]. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 1998.