

LED 散热体冲压成形尺寸和形状的 误差数学模型建立

郑天清, 顾立志

(华侨大学 机电及自动化学院, 福建 厦门 361021)

摘要: 基于误差反向传播算法,建立发光二极管(LED)散热体冲压成形尺寸和形状误差数学模型. 阐述 MATLAB 神经网络工具箱求解误差数学模型的具体过程. 针对某具体 LED 散热体产品,基于其相关的仿真数据与设计的 MATLAB 程序,求解出该 LED 散热体尺寸和形状误差数学模型. 验证结果表明:实验的壁厚分布值与文中数学模型预测的壁厚分布值走势整体吻合,局部偏差不大;所建立的 LED 散热体冲压成形尺寸、形状误差数学模型具有一定的实用性.

关键词: 误差反向传播; 发光二极管; 散热体; 误差数学模型; 壁厚

中图分类号: TH 128; TH 161 **文献标志码:** A

近年来,在全球节能意识高涨与相对较高的电价下,建筑、商业等应用领域持续引入发光二极管(light emitting diodes, LED)照明,使 LED 照明产业取得了突飞猛进的发展. 随着 LED 照明产业的发展,LED 灯具的设计与制造逐渐成为企业的研究热点^[1-3]. 散热体作为解决 LED 灯散热问题的关键部件,决定着 LED 灯的使用寿命,其设计与制造至关重要^[4-5]. 提高散热体的冲压成形精度逐渐也成为企业研究的重心之一. 本文针对一 LED 散热体产品,基于误差反向传播算法,建立其尺寸和形状误差数学模型,以实现对其冲压成形误差的主动控制,提高其冲压成形精度和生产合格率,并节约生产成本.

1 模型的建立

基于误差反向传播算法,LED 散热体冲压成形尺寸和形状误差的数学模型^[6-8]为

$$u_h = \sum_{i=1}^n \omega_{i,h} x_i - b_h, \quad v_h = f(u_h), \quad h = 1, 2, \cdots, p, \tag{1}$$

$$f(x) = \frac{1}{1 + \exp(-x)}, \tag{2}$$

$$s_o = \sum_{h=1}^p \omega_{h,o} v_h - b_o, \quad t_o = f(s_o), \quad \Delta t_o = t_o - y_o, \quad o = 1, 2, \cdots, q. \tag{3}$$

式(1)~(3)中: x 为影响因素值; n 为误差数学模型中的输入层神经元个数,即影响因素个数; h 为误差数学模型中的隐含层神经元; p 为隐含层神经元个数; o 为误差数学模型中的输出层神经元; q 为输出层神经元个数; $\omega_{i,h}, \omega_{h,o}$ 分别为误差数学模型中不同的输入层与隐含层、隐含层与输出层的连接权值; b_h, b_o 分别为误差数学模型中隐含层和输出层的各神经元阈值; $f(\cdot)$ 为误差数学模型中激活函数; $\mathbf{u} = (u_1, u_2, \cdots, u_p), \mathbf{v} = (v_1, v_2, \cdots, v_p)$ 分别为误差数学模型中隐含层输入向量和输出向量; $\mathbf{s} = (s_1, s_2, \cdots, s_q), \mathbf{t} = (t_1, t_2, \cdots, t_q)$ 分别为误差数学模型中输出层输入向量和输出向量,即为关键尺寸、形状特征的输出值; t_o 为误差数学模型中输出层输出向量中的第 o 个输出,即为第 o 个关键尺寸、形状特征的 t 值; y_o

为第 o 个关键尺寸、形状特征的技术要求 y 值; Δt_o 为第 o 个关键尺寸、形状特征的误差.

求解误差数学模型的关键在于求解误差数学模型中的待定系数 $w_{i,h}, w_{h,o}, b_h, b_o$. 利用 BP 神经网络, 结合仿真得到的数据, 可求解以上待定系数.

2 数学模型中待定系数的求解

2.1 基本原理

利用 MATLAB 的神经网络工具箱求解待定系数, 其基本原理主要由以下 9 个步骤组成^[9-10].

步骤 1 初始化神经网络. 给 $w_{i,h}, w_{h,o}, b_h$ 和 b_o 分别赋予一个区间 $(-1, 1)$ 内的随机数, 设定误差函数 $e = \frac{1}{2} \sum_{o=1}^q (d_o(k) - y_o(k))^2$, 设定计算精度值 ϵ 和最大学习次数 M .

步骤 2 取第 k 个输入样本 $\mathbf{x}(k) = (x_1(k), x_2(k), \dots, x_n(k))$ 与其对应的期望输出 $\mathbf{d}(k) = (d_1(k), d_2(k), \dots, d_q(k))$.

步骤 3 计算隐含层各神经元的输入 $u_h(k)$; 基于激活函数, 计算隐含层各神经元的输出 $v_h(k)$, 即

$$u_h(k) = \sum_i^n w_{i,h} x_i(k) - b_h, \quad v_h(k) = f(u_h(k)), \quad h = 1, 2, \dots, p, \tag{4}$$

$$s_o(k) = \sum_h^p w_{h,o} v_h(k) - b_o, \quad t_o(k) = f(s_o(k)), \quad o = 1, 2, \dots, q. \tag{5}$$

激活函数(神经元)为

$$y = f(\text{net}) = \frac{1}{1 + \exp(-\text{net})}. \tag{6}$$

步骤 4 基于神经网络的期望输出 $\mathbf{d}(k) = (d_1(k), d_2(k), \dots, d_q(k))$ 、神经网络的实际输出 $t_o(k)$, 计算误差函数对输出层各神经元的偏导数 $\delta_o(k)$, 即

$$\delta_o(k) = (d_o(k) - t_o(k)) t_o(k) (1 - t_o(k)), \quad o = 1, 2, \dots, q. \tag{7}$$

步骤 5 基于隐含层到输出层连接权值 $w_{h,o}(k)$ 、输出层偏导数 $\delta_o(k)$ 、隐含层输出 $v_h(k)$, 误差函数对隐含层各神经元上的偏导数 $\delta_h(k)$ 进行相关计算, 即

$$\delta_h(k) = \left[\sum_{o=1}^q \delta_o(k) w_{h,o}(k) \right] v_h(k) (1 - v_h(k)). \tag{8}$$

步骤 6 基于输出层各神经元上的偏导数 $\delta_o(k)$ 和隐含层各神经元上输出 $v_h(k)$, 修正连接权值 $w_{h,o}(k)$ 和阈值 $b_o(k)$, 分别为

$$w_{h,o}^{N+1}(k) = w_{h,o}^N(k) + \eta \delta_o(k) v_h(k), \tag{9}$$

$$b_o^{N+1}(k) = b_o^N(k) + \eta \delta_o(k). \tag{10}$$

式(9), (10)中: N 表示调整前; $N+1$ 表示调整后; η 为学习率, 在 $(0, 1)$ 之间取值.

步骤 7 通过输入层各神经元上的输入 $x_i(k)$ 和隐含层各神经元的偏导数 $\delta_h(k)$, 修正连接权值 $w_{i,h}(k)$ 和阈值 $b_h(k)$, 即

$$w_{i,h}^{N+1}(k) = w_{i,h}^N(k) + \eta \delta_h(k) x_i(k), \tag{11}$$

$$b_h^{N+1}(k) = b_h^N(k) + \eta \delta_h(k). \tag{12}$$

步骤 8 计算全局误差 E , 即

$$E = \frac{1}{2m} \sum_{k=1}^m \sum_{o=1}^q (d_o(k) - y_o(k))^2. \tag{13}$$

步骤 9 判断神经网络误差是否满足要求. 当 $E < \epsilon$ 或学习次数大于设定最大次数 M 时, 算法停止; 否则, 取下一个学习样本及相应期望输出, 返回到步骤 3, 进入下一轮学习过程.

2.2 待定系数的求解

2.2.1 前处理 文中的 LED 散热体结构, 如图 1 所示. 由图 1 可知: LED 散热体是由四道工序依次冲压而成的, 分别为拉深、反拉深、冲孔与反拉深、落料与缩口. LED 散热体最后的尺寸、形状误差是在每一道工序的尺寸、形状误差相互影响作用下形成的, 相互间影响关系极其复杂, 但基本的影响关系是一

个误差累积的过程. LED 散热体四道工序的仿真通过导入上一道工序仿真结果文件中的 dynain 文件, 完成坯料在 DYNAFORM 软件的导入, 以实现上道工序的计算结果, 传递到下道工序的模拟计算中, 使应力应变场等计算结果相互继承^[11-13].

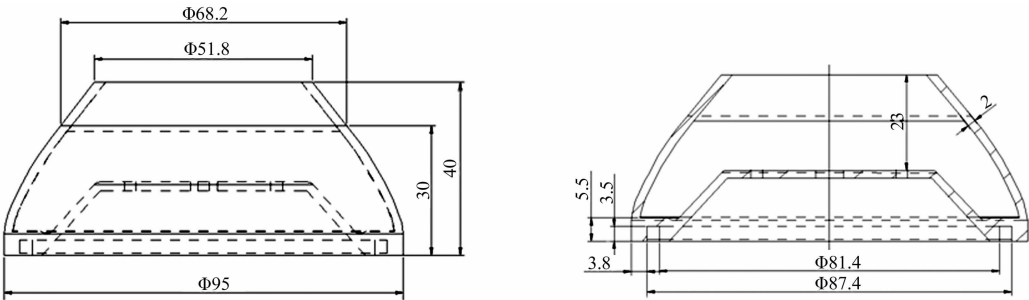


图 1 LED 散热体结构图(单位:mm)

Fig. 1 Structure figure of LED heat dissipation body (unit:mm)

在 LED 散热体最后的仿真成形零件上均匀取 8 个节点, 如图 2 所示. 以四道工序中的 5 个工艺参数为输入数据, 以基于 DYNAFORM 的 LED 散热体最后的仿真成形零件上 8 个节点的壁厚分布情况(t)、成形零件上 8 个节点主应变情况(ma)、成形零件上 8 个节点的次应变情况(mi)为输出数据. 5 个工艺参数如下: 取第一至第四道凸模与板料、凹模与板料、压料板与板料、外支撑与板料、内支撑与板料的摩擦系数为同一值, 1 个工艺参数; 级进模具的各工序冲压速度为同一值, 1 个工艺参数; 第一道工序的压边力为 1 个工艺参数; 第二道工序的压边力为 1 个工艺参数; 第三道工序的压边力为 1 个工艺参数. 8 个节点的编号分别为: 26025; 26454; 26716; 26978; 27146; 26883; 26618; 26087.

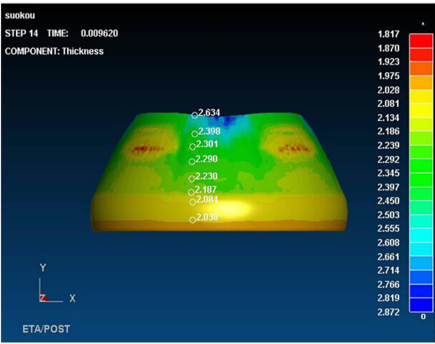


图 2 LED 散热体成形零件的 8 节点位置
Fig. 2 8 nodes location of the forming part of the LED heat dissipation

取 16 组 LED 散热体仿真数据作为训练样本(利用正交实验法进行训练, 采用的正交实验表为 $L_{16}(4^5)$), 训练尺寸、形状误差数学模型, 得到其中的权值与阈值, 即可建立 LED 散热体的尺寸、形状误差数学模型. 16 组训练 LED 散热体尺寸、形状误差数学模型的输入数据, 如表 1 所示; 16 组训练 LED 散热体尺寸、形状误差数学模型的输出数据, 如表 2 所示.

表 1 16 组训练数学模型的输入数据(5×16)

Tab. 1 16 groups of mathematics model training input data (5×16)

输入样本	1(f)	2(p1)	3(p2)	4(p3)	5(speed)	输入样本	1(f)	2(p1)	3(p2)	4(p3)	5(speed)
1	0.05	50 000	50 000	50 000	500	9	0.10	50 000	150 000	200 000	1 000
2	0.05	100 000	100 000	100 000	1 000	10	0.10	100 000	200 000	150 000	500
3	0.05	150 000	150 000	150 000	2 000	11	0.10	150 000	50 000	100 000	5 000
4	0.05	200 000	200 000	200 000	5 000	12	0.10	200 000	100 000	50 000	2 000
5	0.07	50 000	100 000	150 000	5 000	13	0.13	50 000	200 000	100 000	2 000
6	0.07	100 000	50 000	200 000	2 000	14	0.13	100 000	150 000	50 000	5 000
7	0.07	150 000	200 000	50 000	1 000	15	0.13	150 000	100 000	20 0000	500
8	0.07	200 000	150 000	100 000	500	16	0.13	200 000	50 000	150 000	1 000

表 2 16 组训练数学模型的输出数据(24×16)

Tab. 2 16 groups of mathematics model training output data (24×16)

输出样本	1(t)	2(t)	3(t)	4(t)	5(t)	6(t)	7(t)	8(t)
1	2.100	2.088	2.097	2.093	2.100	2.040	2.099	2.046
2	2.180	2.150	2.130	2.100	2.150	2.080	2.079	2.100
3	2.150	2.140	2.200	2.160	2.114	2.170	2.078	2.035
4	2.190	2.187	2.165	2.110	2.119	2.108	2.087	2.103

续表

Continue table

输出样本	1(t)	2(t)	3(t)	4(t)	5(t)	6(t)	7(t)	8(t)
5	2.230	2.250	2.180	2.165	2.185	2.152	2.130	2.098
6	2.239	2.241	2.206	2.203	2.154	2.164	2.119	2.111
7	2.230	2.221	2.189	2.193	2.156	2.145	2.111	2.009
8	2.241	2.238	2.261	2.221	2.202	2.189	2.191	2.185
9	2.304	2.254	2.249	2.191	2.241	2.220	2.372	2.331
10	2.254	2.221	2.223	2.143	2.160	2.311	2.245	2.313
11	2.337	2.395	2.207	2.283	2.224	2.201	2.200	2.158
12	2.315	2.329	2.218	2.209	2.221	2.301	2.201	2.189
13	2.815	2.646	2.612	2.578	2.515	2.432	2.321	2.180
14	2.912	2.715	2.628	2.610	2.547	2.482	2.389	2.224
15	2.845	2.765	2.635	2.615	2.487	2.345	2.333	2.132
16	2.836	2.735	2.618	2.540	2.318	2.415	2.256	2.152

输出样本	9(ma)	10(ma)	11(ma)	12(ma)	13(ma)	14(ma)	15(ma)	16(ma)
1	0.020	0.070	0.080	0.011	0.010	0.008	0.013	0.012
2	0.030	0.065	0.089	0.021	0.020	0.029	0.014	0.011
3	0.025	0.055	0.073	0.091	0.036	0.021	0.030	0.016
4	0.045	0.035	0.044	0.035	0.025	0.031	0.013	0.021
5	0.039	0.031	0.029	0.031	0.019	0.021	0.018	0.015
6	0.048	0.047	0.038	0.036	0.017	0.022	0.019	0.012
7	0.042	0.045	0.036	0.035	0.025	0.021	0.016	0.011
8	0.044	0.048	0.039	0.040	0.039	0.025	0.020	0.193
9	0.086	0.015	-0.052	-0.001	0.002	-0.044	-0.074	0.024
10	0.073	0.004	-0.031	0.010	-0.013	-0.062	-0.049	0.022
11	0.082	0.041	0.024	0.006	-0.017	0.003	0.004	0.001
12	0.078	0.051	0.032	0.015	-0.021	0.015	0.015	0.029
13	0.280	0.210	0.168	0.171	0.174	0.162	0.155	0.112
14	0.310	0.270	0.178	0.181	0.175	0.163	0.159	0.142
15	0.276	0.245	0.188	0.193	0.172	0.159	0.145	0.147
16	0.253	0.234	0.183	0.187	0.168	0.151	0.149	0.139

输出样本	17(mi)	18(mi)	19(mi)	20(mi)	21(mi)	22(mi)	23(mi)	24(mi)
1	-0.036	-0.072	-0.032	-0.021	-0.014	-0.019	-0.017	-0.021
2	-0.017	-0.018	-0.019	-0.021	-0.026	-0.029	-0.032	-0.022
3	-0.048	-0.062	-0.039	-0.038	-0.032	-0.024	-0.036	-0.019
4	-0.054	-0.032	-0.025	-0.052	-0.034	-0.045	-0.032	-0.021
5	-0.062	-0.054	-0.032	-0.041	-0.015	-0.011	-0.021	-0.022
6	-0.063	-0.059	-0.038	-0.035	-0.028	-0.019	-0.024	-0.002
7	-0.075	-0.035	-0.045	-0.049	-0.036	-0.026	-0.019	-0.009
8	-0.065	-0.045	-0.051	-0.047	-0.043	-0.035	-0.029	-0.013
9	-0.229	-0.136	-0.066	-0.091	-0.117	-0.062	-0.098	-0.176
10	-0.194	-0.110	-0.076	-0.080	-0.065	-0.084	-0.067	-0.167
11	-0.238	-0.283	-0.206	-0.106	-0.056	-0.056	-0.075	-0.102
12	-0.189	-0.135	-0.153	-0.098	-0.078	-0.088	-0.062	-0.088
13	-0.287	-0.256	-0.215	-0.117	-0.116	-0.111	-0.108	-0.101
14	-0.310	-0.275	-0.222	-0.184	-0.157	-0.128	-0.132	-0.110
15	-0.299	-0.284	-0.255	-0.208	-0.198	-0.165	-0.145	-0.132
16	-0.293	-0.279	-0.243	-0.235	-0.186	-0.159	-0.138	-0.125

2.2.2 MATLAB 求解待定系数的程序 求解待定系数的程序可表示为

$A(1:16,[1:5])=xlsread('shuju2.xls','B28:F43');$

```
A(1:16,[6:29])=xlsread('shuju2.xls','B2:Y17');
ax=A(1:16,[1:5]);ay=A(1:16,[6:29]);
format long e; ax=ax';ay=ay';
[mx,set1]=mapminmax(ax); [my,set2]=mapminmax(ay);
xn_train=mx; yn_train=my;
NodeNum=23; TypeNum=24;
p1=xn_train; t1=yn_train; Epochs=300000;
%创建 BP 神经网络
net=newff(minmax(p1),[NodeNum TypeNum],{'tansig' 'purelin'},'traingdx');
%BP 网络训练
net.trainParam.epochs=Epochs; %网络训练时间设置
net.trainParam.goal=1e-100;%网络训练精度设置
net.trainParam.min_grad=1e-100; net.trainParam.show=200;
net.trainParam.time=inf; net.trainParam.mu=1e-10;
net=train(net,p1,t1);%开始训练网络
net.iw{1,1}%表示输入到隐含层权值,即待定系数  $w_{i,h}$ 
net.lw{2,1}%隐含层到输出层的权值,即待定系数  $w_{h,o}$ 
net.b{1}%表示输入到隐含层阈值,即待定系数  $b_h$ 
net.b{2}%表示隐含层到输出层的阈值,即待定系数  $b_o$ 
```

2.2.3 权值与阈值 利用 MATLAB 的神经网络工具箱,经过 108 596 次数的迭代,大约 45 min 的训练,得到 LED 散热体冲压成形尺寸、形状误差数学模型的权值与阈值. 输入层到隐含层的权值是一个 23×5 阶的矩阵. 隐含层到输出层的权值是一个 24×23 阶的矩阵. 输入层到隐含层的阈值是一个 23×1 阶的矩阵. 隐含层到输出层的阈值是一个 24×1 阶的矩阵.

3 实验验证

选择一组误差数学模型输入的工艺参数为 0.1,60,100,80 kN, $500 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$; 相对应实验的工艺参数为 0.1,60,100,80 kN, $500 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$. 其实验冲压出的零件,如图 3 所示. 实验壁厚分布值与 LED 散热体尺寸、形状误差数学模型预测壁厚分布值对比,如图 4 所示. 图 4 中: d 为壁厚分布值. 由图 4 可知: 实验壁厚分布值与文中数学模型预测壁厚分布值整体吻合,局部偏差不大,证明了文中所建数学模型具有较强的预测能力和较强的实用性.



图 3 LED 散热体成形零件
Fig. 3 Forming part of the LED heat dissipation body

4 结论

基于误差反向传播算法,建立 LED 散热体尺寸和形状误差数学模型. 说明了待定系数 $w_{i,h}, w_{h,o}, b_h, b_o$ 是建立该数学模型的关键问题,阐述了 MATLAB 神经网络工具箱求解待定系数 $w_{i,h}, w_{h,o}, b_h, b_o$ 的基本原理.

针对某 LED 散热体产品,其冲压成形由四道工序完成,通过提取此 LED 散热体四道工序的仿真工艺参数为输入数据,基于 DYNAFORM 仿真成形零件上的 8 个节点的壁厚分布情况(t)、主应变情况(ma)、次应变情况(mi)为输出数据;此外,基于 MATLAB 神经网络工具箱,输入与输出数据,设计相应的 MATLAB 程序,求出此数学模型的待定系数,即得到了该 LED 散热体尺寸、形状误差数学模型.

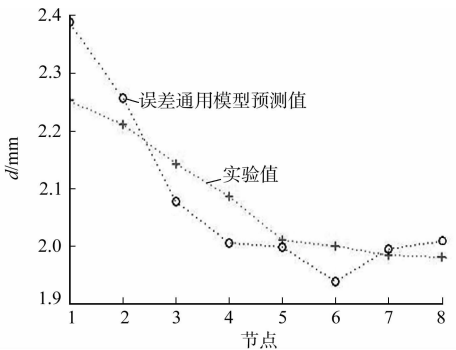


图 4 模型预测与实验的壁厚分布值对比
Fig. 4 Wall thickness comparison between the model predicted value and experimental value

通过实验验证,对比了实验壁厚分布值与文中数学模型壁厚预测分布值. 结果表明:分布值整体吻合,局部偏差不大,证明了该 LED 散热体误差数学模型具有较强的实用性.

参考文献:

[1] 佟鑫. LED 灯具散热器的结构研究与优化设计[D]. 长春:吉林大学,2013:1-6.
[2] 李琳红. 大功率 LED 模组及工矿灯散热分析[D]. 重庆:重庆大学,2012:1-8.
[3] 张雪粉. 大功率 LED 散热研究及散热器设计[D]. 天津:天津大学,2007:1-9.
[4] 张驰,吕文婷,徐沛娟,等. 大功率 LED 照明灯散热装置研究[J]. 新技术新工艺,2011(3):1-3.
[5] 杨广华,李玉兰,王彩凤,等. 基于 LED 照明灯具的散热片设计与分析[J]. 电子与封装,2010,81(1):39-42.
[6] 李小燕. 灰色神经网络预测模型的优化研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2009:10-56.
[7] 韩飞,莫健华,龚攀. 基于遗传神经网络的数字化渐进成形回弹预测[J]. 华中科技大学学报,2008,36(1):121-124.
[8] 陈涛,龚正虎,胡宁,等. 基于改进 BP 算法的网络态势预测模型[J]. 中国电子商情:通信市场,2009(2):93-99.
[9] 党建武. 神经网络技术及应用[M]. 北京:中国铁道出版社,2000:25-32.
[10] 李友坤. BP 神经网络的研究分析及改进应用[D]. 淮南:安徽理工大学,2012:20-55.
[11] 安治国. 径向基函数模型在板料成形工艺多目标优化设计中的应用[D]. 重庆:重庆大学,2009:81-108.
[12] 张彬,李东升,周贤宾. 基于人工神经网络的拉形回弹预测技术研究[J]. 塑性工程学报,2003,10(2):28-31.
[13] 魏光明. 多工位级进冲压工艺分析及成形全工序数值模拟[D]. 广州:华南理工大学,2012:35-40.

Establishment of the Mathematical Model of Stamping Size and Shape Error for LED Heat Dissipation Body

ZHENG Tian-qing, GU Li-zhi

(College of Mechanical Engineering and Automation, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

Abstract: Based on error back propagation algorithm, the mathematical model of stamping size and shape error for light emitting diodes (LED) heat dissipation body was established. Explain the specific process to solve the error mathematics model using MATLAB neural network toolbox. Based on a product of LED heat dissipation body, used the related simulation data and the designed MATLAB program to solve the mathematical model of stamping size and shape error for LED heat dissipation body. Verification results showed that the overall value was matched and the local deviation was little for the comparison between the experimental value of the wall thickness distribution and the mathematics model predicted value of that in this paper, the established mathematical model of stamping dimension-error and shape-error for LED heat dissipation body has fine practicality.

Keywords: error back propagation; light emitting diodes; heat dissipation body; error mathematical model; wall thickness

(责任编辑: 黄晓楠 英文审校: 杨建红)