

费强,赵武云,戴飞,等. 基于BP神经网络及遗传算法的组合式板齿脱粒装置参数优化[J]. 江苏农业科学,2014,42(3):351-354.

# 基于BP神经网络及遗传算法的组合式板齿脱粒装置参数优化

费强,赵武云,戴飞,李丽丽

(甘肃农业大学工学院,甘肃兰州730070)

**摘要:**以喂入量、脱粒轴转速、板齿螺旋角和排芯口压板压力为自变量,脱净率、籽粒含杂率、籽粒破碎率为响应值,建立脱粒装置的神经网络数学模型。用Matlab优化工具箱对该模型进行优化,求得脱粒装置各因素之间的最佳组合,并用遗传算法对优化结果进行验证。结果表明:应用Matlab优化工具箱对该模型进行优化后,籽粒含杂率提高了0.97%~1.70%,所求得的脱粒装置各因素之间最佳组合与试验优化结果拟合度高,能够准确地预测组合式螺旋板齿种子脱粒机的工作参数与作业性能。

**关键词:**神经网络;遗传算法;Matlab;组合式板齿;脱粒装置;参数优化

**中图分类号:**S226.1;S126 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2014)03-0351-04

组合式板齿脱粒装置是一个多输入、多输出的非线性系统<sup>[1]</sup>。人工神经网络简称神经网络(ANN),是基于现代生物学研究人脑组织的成果基础上,用大量简单的处理单元广泛连接组成的复杂网络,用于模拟人类大脑神经网络的学习、记忆、推理和归纳等功能。在神经网络模型中,前馈式的BP网络是一种简单而用途广泛的人工神经网络,它适用于非线性的模式识别和分类预测问题<sup>[2]</sup>。遗传算法是模拟生物在自然环境中的遗传和进化过程而形成的一种自适应全局优化概率搜索算法。遗传算法提供了一种求解复杂系统优化问题的模式,它不依赖于问题的具体领域,对问题的求解种类有很强的鲁棒性,现已几乎渗透到从工程到社会科学的诸多领域,广泛用于函数优化、组合优化、生产调度、机器学习、自动控制、图像处理和人工生命等领域<sup>[3]</sup>。应用BP神经网络对组合式板齿脱粒装置进行建模与目标优化,并利用遗传算法对已优化目标进行验证。

收稿日期:2013-07-05

基金项目:国家科技支撑计划(编号:2012BAD14B10、2013BAD08B01)。

作者简介:费强(1989—),男,湖北黄冈人,硕士研究生,研究方向为农业机械化。E-mail:feiqiang198988@126.com。

通信作者:赵武云,教授,硕士生导师,研究方向为农业工程技术与装备。E-mail:zhaowuy@gsau.edu.cn。

## 参考文献:

- [1]刘天奎,刘世洪,崔运鹏. 基于B/S结构的农业数据挖掘系统的研究[J]. 农机化研究,2011(11):178-182.
- [2]王飞剑,罗义兵,郝香山,等. 基于B/S结构的农业空间信息管理系统设计与实现[J]. 计算机工程与设计,2009,30(8):2034-2039.
- [3]杨欣,颜伟,朱银,等. 江苏省农业种质资源库(圃)绩效考核系统的设计与实现[J]. 江苏农业科学,2012,40(11):377-381.
- [4]阎晓军,王维瑞,王俊文,等. 农业信息化标准基础服务平台的研

## 1 组合式板齿脱粒装置神经网络数学模型的建立

### 1.1 BP网络的实现

GA-BP神经网络的拓扑结构如图1所示,采用3层BP神经网络:第1层神经元数目为4个,传递函数为tansig,第2层神经元数目为15个,传递函数为tansig,第3层神经元数目为3个,传递函数为purelin,输入函数为P,输出目标是T。其中, $x_1$ 为喂入量, $x_2$ 为脱粒轴转速, $x_3$ 为板齿螺旋角度, $x_4$ 为排芯口压板压力, $y_1$ 为果穗脱净率, $y_2$ 为籽粒含杂率, $y_3$ 为籽粒破碎率。

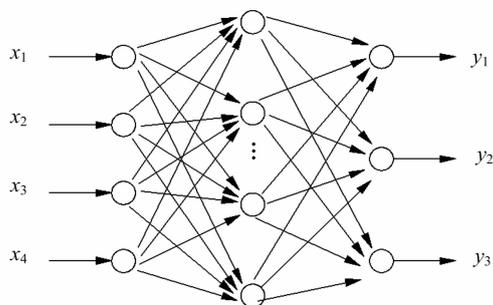


图1 组合式螺旋板齿脱粒机神经网络模型

### 1.2 仿真结果及建模

根据BP网络原理,应用Matlab神经网络工具箱实现BP网络模型的创建、训练及仿真,其仿真结果如表1所示。

究[J]. 安徽农业科学,2010,38(33):19211-19214.

- [5]刘从良. 农业信息理论与应用[M]. 北京:中国农业科技出版社,1993.
- [6]刘明军,刘悦,唐好魁. 基于B/S体系结构的数据库技术研究[J]. 济南大学学报:自然科学版,2001,15(3):219-221.
- [7]齐永奇,乔文生. 基于Visual C++的ADO数据库开发技术[J]. 华北水利水电学院学报,2008,29(4):68-71.
- [8]姜小菁,杨小强,韩军,等. 基于模块化仪器与数据库测试技术的液压系统自动检测系统设计[J]. 机床与液压,2010,38(6):77-79.

表1 神经网络模型仿真结果

脱净率(%)		含杂率(%)		破碎率(%)	
试验值	仿真值	试验值	仿真值	试验值	仿真值
99.56	99.560 0	4.56	4.560 0	0.49	0.490 0
99.53	99.529 8	5.21	5.210 0	0.56	0.559 0
99.55	99.550 0	4.94	4.940 0	0.53	0.530 0
99.68	99.680 1	4.33	4.330 0	0.47	0.470 3
99.64	99.640 4	4.44	4.439 9	0.48	0.480 9
99.58	99.580 0	4.55	4.550 0	0.49	0.490 0
99.59	99.545 0	4.82	5.315 0	0.52	0.570 0
99.56	99.559 4	5.06	5.060 1	0.54	0.539 1
99.53	99.529 8	5.57	5.570 0	0.59	0.589 7
99.71	99.709 8	4.13	4.130 1	0.45	0.449 4
99.50	99.545 0	5.81	5.315 0	0.62	0.570 0
99.52	99.526 5	5.68	5.678 8	0.60	0.607 5
99.48	99.472 8	5.61	5.611 4	0.64	0.627 0
99.49	99.497 3	5.83	5.828 6	0.62	0.632 6
99.53	99.528 3	5.75	5.750 4	0.61	0.612 1
99.58	99.573 1	5.22	5.221 3	0.56	0.546 3

表1所示的仿真值及试验值的逼近效果接近,说明该神经网络的选择比较合适。借助 Design-Expert 8.05 软件对所得仿真结果进行分析,获得编码值表示的果穗脱净率  $y_1$ 、籽粒含杂率  $y_2$ 、籽粒破碎率  $y_3$  的二次回归模型分别为

$$y_1 = -99.58 + 0.022x_1 + 0.030x_2 + 0.012x_3 + 0.0008x_4 - 0.021x_1^2 - 0.018x_2^2 + 0.080x_3^2 - 0.016x_4^2 + 0.004x_1x_2 + 0.0025x_1x_3 + 0.005x_1x_4 - 0.015x_2x_3 - 0.015x_2x_4 - 0.0025x_3x_4; \quad (1)$$

$$y_2 = 4.30 + 0.18x_1 + 0.25x_2 + 0.032x_3 + 0.12x_4 + 0.16x_1^2 + 0.15x_2^2 + 1.1x_3^2 + 0.18x_4^2 + 0.087x_1x_2 - 0.038x_1x_3 - 0.06x_1x_4 - 0.23x_2x_3 - 0.077x_2x_4 + 0.07x_3x_4; \quad (2)$$

$$y_3 = 0.46 + 0.019x_1 + 0.029x_2 + 0.006x_3 + 0.011x_4 + 0.016x_1^2 + 0.018x_2^2 + 0.11x_3^2 + 0.016x_4^2 + 0.01x_1x_2 + 0.003x_1x_3 - 0.005x_1x_4 - 0.01x_2x_3 - 0.008x_2x_4 + 0.005x_3x_4。 \quad (3)$$

式中: $y_1$ 为果穗脱净率(%); $y_2$ 为籽粒含杂率(%); $y_3$ 为籽粒破碎率(%); $x_1$ 为喂入量的编码值; $x_2$ 为脱粒轴转速的编码值; $x_3$ 为板齿螺旋角度的编码值; $x_4$ 为排芯口压板压力的编码值。

## 2 基于神经网络的组合式板齿脱粒装置参数优化

### 2.1 工作参数优化计算依据

借助神经网络优化工具箱对组合式螺旋板齿脱粒机作业

性能指标(破碎率、脱净率、含杂率)进行优化,获取相应的最优工作参数。要使作业性能指标的3个目标同时实现最优往往是很困难的,各种不同的思路可引出各种合理处理得失的方法,现应用运筹学中的主要目标法进行求解<sup>[4-9]</sup>。由于直接解决多目标问题的最优化较困难,于是很多人想办法将它们化为较容易求解的单目标或双目标问题,主要目标法中的数学规划法如下:设有  $m$  个目标  $f_1(x)$   $f_2(x)$ 、 $\dots$   $f_m(x)$  要考察,其中方案变量  $x \in R$ (约束集合),若以某目标为主要目标,如  $f_1(x)$  要求实现最优(最大),则对其他目标只满足一定规格要求即可,如

$$f'_i \leq f_i(x) \leq f''_i (i=2, \dots, m), \quad (4)$$

其中:当  $f'_i = -\infty$  或  $f''_i = \infty$  就变成单边限制,这样问题便可化成求下述非线性规划问题:

$$\max_{x \in R} f_1(x), R' = \{x | f'_i \leq f_i(x) \leq f''_i, x \in R\}。 \quad (5)$$

### 2.2 Matlab 优化工具箱优化

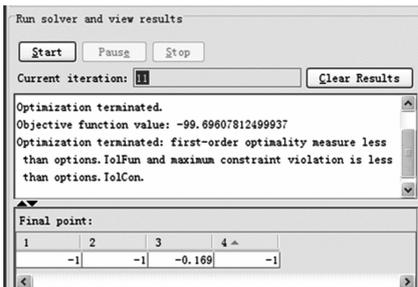
根据表1仿真结果建立的回归方程(3)、(4)及(5),用 Matlab 优化工具箱进行脱粒参数的优化,当破碎率和含杂率最小、脱净率最大时,其脱粒工作参数最优。分别在 Matlab 中建立 M 无约束函数文件(fun1.m, fun2.m, fun3.m),保存在 Matlab 文件夹下。其中,

$$\text{Function } f = \text{fun1}(x) \quad f = -99.58 + 0.022x_1 + 0.030x_2 + 0.012x_3 + 0.0008x_4 - 0.021x_1^2 - 0.018x_2^2 + 0.080x_3^2 - 0.016x_4^2 + 0.004x_1x_2 + 0.0025x_1x_3 + 0.005x_1x_4 - 0.015x_2x_3 - 0.015x_2x_4 - 0.0025x_3x_4; \quad (6)$$

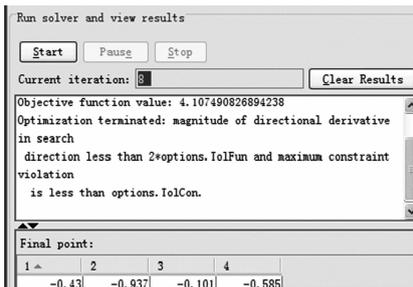
$$\text{Function } f = \text{fun2}(x) \quad f = 4.30 + 0.18x_1 + 0.25x_2 + 0.032x_3 + 0.12x_4 + 0.16x_1^2 + 0.15x_2^2 + 1.1x_3^2 + 0.18x_4^2 + 0.087x_1x_2 - 0.038x_1x_3 - 0.06x_1x_4 - 0.23x_2x_3 - 0.077x_2x_4 + 0.07x_3x_4; \quad (7)$$

$$\text{Function } f = \text{fun3}(x) \quad f = 0.46 + 0.019x_1 + 0.029x_2 + 0.006x_3 + 0.011x_4 + 0.016x_1^2 + 0.018x_2^2 + 0.11x_3^2 + 0.016x_4^2 + 0.01x_1x_2 + 0.003x_1x_3 - 0.005x_1x_4 - 0.01x_2x_3 - 0.008x_2x_4 + 0.005x_3x_4。 \quad (8)$$

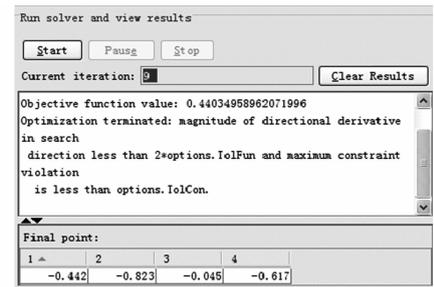
运用 Matlab 工具箱对上述函数进行最优化求解。打开 Matlab 程序,点击框图左下角的 start,点击 toolboxes,点击 more,点击 optimizationtool,分别对上述3个无约束函数进行最优化求解,在 optimizationtool 工具箱中设置 solver 项为 fmincon - constrained nonlinear minimization, Algorithm 项为 active set, Objective function 项分别为 @ fun1、@ fun2、@ fun3,设置起点 start point 为 [0 0 0 0],区间为 lower[-1 -1 -1 -1],upper[1 1 1 1],点击 start 开始运行3个函数求解运行结果(图2)。



a.fun1无约束优化



b.fun2无约束优化



c.fun3无约束优化

图2 神经网络无约束优化结果

由图2单目标参数优化结果可以看出,脱净率( $fun1$ ) = 99.696%,此时  $x_1, x_2, x_3, x_4$  所对应的编码值分别为 -1、-1、-0.169、-1;应用线性插值法,即此时脱粒物料喂入量为 2.80 kg/s、脱粒轴转速为 220 r/min、板齿螺旋角为 8.493°、变刚度弹力为 40 N。含杂率( $fun2$ ) = 4.108%,此时  $x_1, x_2, x_3, x_4$  所对应的编码值分别为 -0.43、-0.937、-0.101、-0.585;应用线性插值法,即此时脱粒物料喂入量为 2.971 kg/s、脱粒轴转速为 221.5 r/min、板齿螺旋角为 8.697°、变刚度弹力为 44.15 N<sup>[9]</sup>。破碎率( $fun3$ ) = 0.4403%,此时  $x_1, x_2, x_3, x_4$  所对应的编码值分别为 -0.442、-0.823、-0.045、-0.617;应用线性插值法,即此时脱粒物料喂入量为 2.967 kg/s、脱粒轴转速为 224.4 r/min、板齿螺旋角为 8.865°、变刚度弹力为 43.83 N。对于单目标优化结果而言,所得到的作业机性能指标(脱净率、含杂率及破碎率)均符合 NY/T 1136—2006《挤搓式种子玉米脱粒机技术条件》。对于脱粒装置而言,首先应尽可能保证种子在脱粒时破碎率降到最低;再在此基础上尽量减小种子的脱粒损失率及果穗轴碎芯,为后续预清机的风选、筛选系统减小压力,降低预清后种子籽粒含杂率。

按照 NY/T1136—2006《挤搓式种子玉米脱粒机技术条件》中的主要目标数学规划法,增加函数的约束条件(脱净率:  $99.5\% \leq fun1 \leq 100\%$ ; 含杂率:  $0\% \leq fun2 \leq 6\%$ ) 为与编写的约束条件量纲一致,即:

$$\begin{cases} fun1 - 100 \leq 0 \\ -fun1 + 99.5 \leq 0 \\ fun2 - 6 \leq 0 \\ -fun2 \leq 0 \end{cases}, \quad (9)$$

按照式(9)编写约束函数 M 文件 myfun3\_c.m: function c = myfun3\_c(x) c = [-99.58 + 0.022x<sub>1</sub> + 0.030x<sub>2</sub> + 0.012x<sub>3</sub> + 0.0008x<sub>4</sub> - 0.021x<sub>1</sub><sup>2</sup> - 0.018x<sub>2</sub><sup>2</sup> + 0.080x<sub>3</sub><sup>2</sup> - 0.016x<sub>4</sub><sup>2</sup> + 0.004x<sub>1</sub>x<sub>2</sub> + 0.0025x<sub>1</sub>x<sub>3</sub> + 0.005x<sub>1</sub>x<sub>4</sub> - 0.015x<sub>2</sub>x<sub>3</sub> - 0.015x<sub>2</sub>x<sub>4</sub> - 0.0025x<sub>3</sub>x<sub>4</sub> - 100;

$$99.58 - 0.022x_1 - 0.030x_2 - 0.012x_3 - 0.0008x_4 + 0.021x_1^2 + 0.018x_2^2 - 0.080x_3^2 + 0.016x_4^2 - 0.004x_1x_2 -$$

$$0.0025x_1x_3 - 0.005x_1x_4 + 0.015x_2x_3 + 0.015x_2x_4 + 0.0025x_3x_4 + 99.5; \quad (11)$$

$$4.30 + 0.18x_1 + 0.25x_2 + 0.032x_3 + 0.12x_4 + 0.16x_1^2 + 0.15x_2^2 + 1.1x_3^2 + 0.18x_4^2 + 0.087x_1x_2 - 0.038x_1x_3 - 0.06x_1x_4 - 0.23x_2x_3 - 0.077x_2x_4 + 0.07x_3x_4 - 6; \quad (12)$$

$$-4.30 - 0.18x_1 - 0.25x_2 - 0.032x_3 - 0.12x_4 - 0.16x_1^2 - 0.15x_2^2 - 1.1x_3^2 - 0.18x_4^2 - 0.087x_1x_2 + 0.038x_1x_3 + 0.06x_1x_4 + 0.23x_2x_3 + 0.077x_2x_4 - 0.07x_3x_4]; \quad (13)$$

在 opiomizationtool 工具箱中设置 solver 项为 fmincon - constrained nonlinear minimization, Algorithm 项为 active set, Objective function 为 @fun3, 设置起点 start point 为 [0 0 0 0], Nonlinear constraint function: @myfun3\_c 区间为 lower[-1 -1 -1 -1], upper[1 1 1 1], 点击 start 运行函数求解运行结果(图3)。

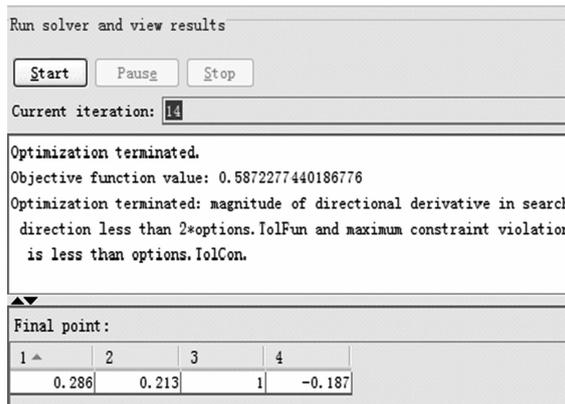


图3 神经网络目标优化结果

函数求解运行结果(图3)显示,起点为[0 0 0 0],最优解为  $fun3 = 0.5872277440186776$ , 对应的  $x_1, x_2, x_3, x_4$  的编码值分别为 0.286、0.213、1、-0.187;应用线性插值法,即此时脱粒物料喂入量为 3.185 kg/s、脱粒轴转速为 250.3 r/min、板齿螺旋角为 12°、变刚度弹力为 48.13 N;此时  $fun1 = 99.480002, fun2 = 5.4791049$ 。在计算过程中发现,函数在求解运行时取不同的起点对目标函数值的优化影响不大,具体优化结果如表2所示。

表2 不同起始点优化结果

起始点	最优解	$x_1, x_2, x_3, x_4$ 的值
-1 0 0 1	0.587 228 321 290 248 7	0.287, 0.21, 1, -0.184
0 0 0 0	0.587 227 744 018 677 6	0.286, 0.213, 1, -0.187
-1 -1 -1 -1	0.606 414 869 736 926 4	0.24, 0.689, -1.001, -0.122
1 1 1 1	0.587 227 743 982 061 8	0.286, 0.213, 1, -0.187
0 0 -1 -1	0.607 339 381 502 003 3	0.254, 0.698, -1.001, -0.127
0 0 1 1	0.587 227 740 888 751 3	0.286, 0.213, 1, -0.187
-1 -1 0 0	0.587 227 632 446 235 0	0.286, 0.213, 1, -0.186
1 1 0 0	0.607 747 185 684 787 9	0.248, 0.703, -1.002, -0.125
-1 0 0 0	0.587 227 743 695 208 4	0.286, 0.213, 1, -0.187
1 0 0 0	0.587 233 334 250 103 9	0.286, 0.215, 1, -0.197
0 -1 -1 0	0.608 039 135 694 323 1	0.25, 0.71, -1.001, -0.124
0 1 1 1	0.587 227 740 851 539 7	0.286, 0.213, 1, -0.187
0 -1 1 0	0.587 237 321 077 787 8	0.278, 0.221, 1, -0.182
0 -1 0 0	0.587 227 741 362 474 5	0.286, 0.213, 1, -0.187
0 1 0 0	0.607 907 490 158 002 4	0.251, 0.706, -1.001, -0.122

由图3、表2可以看出,将脱粒机作业性能(脱净率、损失率及破碎率)3个指标同时考虑优化时,脱粒物料喂入量为

3.185 kg/s、脱粒轴转速为 250.3 r/min、板齿螺旋角为 12°、变刚度弹力为 48.13 N。由于3个指标共同交互优化时互相产

生影响,因此在对方的不同水平上呈现出的效应存在差异,影响各自因素自变量的选取。

### 3 基于遗传算法的脱粒装置参数优化验证

应用遗传算法对“2”节中所优化的指标、因素自变量数值进行验证,建立 M 无约束函数文件与式(6)、(7)、(8)相同<sup>[10]</sup>。

由图 4 单目标参数优化结果可以看出,脱净率( $fun1$ ) = 99.673%, $x_1, x_2, x_3, x_4$  所对应的编码值分别为 -1、-0.997、-0.14、0.992;应用线性插值法,即此时脱粒物料喂入量为 2.80 kg/s、脱粒轴转速为 220.1 r/min、板齿螺旋角为 8.58°、变刚度弹力为 59.92 N。含杂率( $fun2$ ) = 4.107%,此时  $x_1$ 、

$x_2, x_3, x_4$  所对应的编码值分别为 -0.422、-0.926、-0.101、-0.583;应用线性插值法,即此时脱粒物料喂入量为 2.967 8 kg/s、脱粒轴转速为 221.85 r/min、板齿螺旋角为 8.697°、变刚度弹力为 44.17 N。破碎率( $fun3$ ) = 0.440 3%,此时  $x_1, x_2, x_3, x_4$  所对应的编码值分别为 -0.442、-0.843、-0.047、-0.613;应用线性插值法,即此时脱粒物料喂入量为 2.967 kg/s、脱粒轴转速为 223.92 r/min、板齿螺旋角为 8.86°、变刚度弹力为 43.87 N。脱净率( $fun1$ )、含杂率( $fun2$ )、破碎率( $fun3$ )与神经网络优化结果分别相差 0.023%、0.001%、0.001%。按照式(9)编写约束函数 M 文件 myfun3\_c.m 求解运行结果(图 5)。

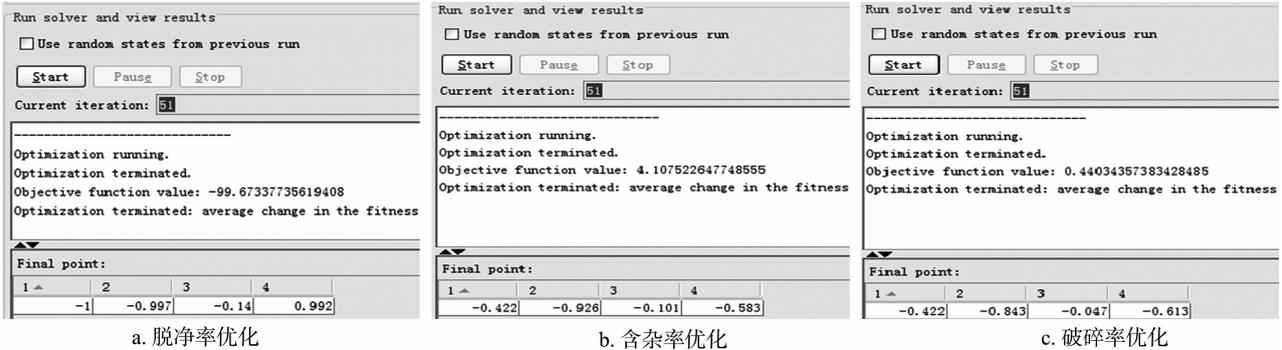


图4 遗传算法无约束优化结果

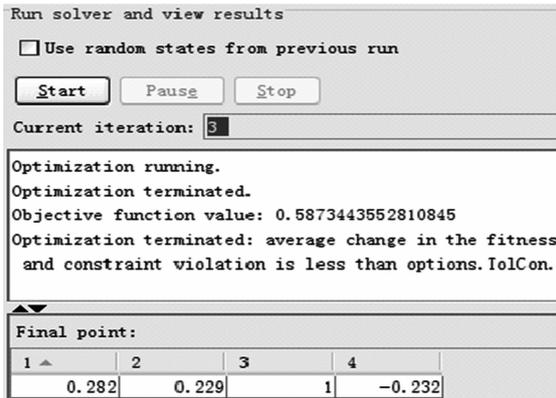


图5 遗传算法目标优化结果

函数求解运行结果(图 5)显示,起点为[0 0 0 0],最优解为  $fun3 = 0.587\ 344\ 355\ 281\ 084\ 5$ ,对应的  $x_1, x_2, x_3, x_4$  的编码值分别为 0.282、0.229、1.000、-0.232;应用线性插值法,即此时脱粒物料喂入量为 3.184 kg/s、脱粒轴转速为 250.73 r/min、板齿螺旋角为 12°、变刚度弹力为 47.68 N。此时  $fun1 = 99.480\ 005\ 4$ ,  $fun2 = 5.479\ 301\ 54$ ,脱净率( $fun1$ )、含杂率( $fun2$ )、破碎率( $fun3$ )与神经网络优化结果分别相差 0.001%、0.002%、0.001%。应用遗传算法优化验证结果表明,借助神经网络对组合式板齿脱粒装置建模与参数优化的方法可行,仿真结果可靠。

### 4 结论

以喂入量、脱粒轴转速、板齿螺旋角和排芯口压板压力为自变量,脱净率、籽粒含杂率、籽粒破碎率为响应值建立神经

网络数学模型。利用 BP 神经网络及遗传算法优化的组合式板齿脱粒装置最佳工作参数为喂入量 2.80 ~ 3.2 kg/s、脱粒轴转速 225 ~ 251 r/min、板齿螺旋角度 8.25 ~ 12.00°和排芯口压板压力 40.0 ~ 48.2 N。使用该参数较优化前脱净率减小 0.15% ~ 0.38%,含杂率减小 0.97% ~ 1.70%,破碎率减小 0.084% ~ 0.274%,说明神经网络及遗传算法优化方法是可行的、合理的,为脱粒装置参数优化提供了一个新的方法。

### 参考文献:

- [1] 赵武云,郭康权. 组合式螺旋板齿种子玉米脱粒机工作参数优化[J]. 农业机械学报,2012,42(12):56-61.
- [2] 陈翠英,王志华,李青林. 油菜脱出物在气流中的运动分析[J]. 农业机械学报,2004,35(5):90-93.
- [3] 雷英杰,张善文,李续武,等. MATLAB 遗传算法工具箱及其应用[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2005.
- [4] 赵武云,郭康权. 变径变间距螺旋板齿式玉米脱粒机设计与试验[J]. 干旱地区农业研究,2013,31(1):226-230.
- [5] 赵武云,王广万,刘国春,等. 低破碎种子玉米脱粒机的研制[J]. 机械研究与应用,2010(1):132-134.
- [6] 戴飞,高爱民,孙伟,等. 纵轴流锥型滚筒脱粒装置设计与试验[J]. 农业机械学报,2011,42(1):74-78.
- [7] 戴飞,张锋伟,韩正晟,等. 自动跟踪式小型太阳能集热玉米果穗干燥装置设计[J]. 农业工程学报,2012,28(5):189-193.
- [8] 戴飞,张锋伟,韩正晟,等. 玉米果穗机械干燥装置设计与试验研究[J]. 干旱地区农业研究,2011,29(3):260-264.
- [9] 戴飞. 纵轴流锥型滚筒小区小麦种子脱粒装置设计与试验研究[D]. 兰州:甘肃农业大学,2012.
- [10] 郭海丁,路志峰. 基于 BP 神经网络和遗传算法的结构优化设计[J]. 航空动力学报,2003,18(2):216-220.