

文章编号 1000-5013(2000)01-0057-04

# 基于 BP 神经网络的金刚石锯片寿命预测

吴瑞尊 徐西鹏 何江川

(华侨大学机电工程系, 泉州 362011)

**摘要** 在花岗石锯切过程中影响金刚石锯片寿命的因素交错复杂,对正确设计、制造和使用工具都带来极大困难.利用神经网络方法,研究花岗石种类、特性、锯切参数等多种因素对工具寿命的交互影响规律,对花岗石锯切用金刚石圆锯片的制造、使用起了指导作用,从而提高工具的加工效率,降低加工成本.经网络训练表明:(1)以花岗石的石英、长石和斜长石的百分含量、抗拉强度、抗压强度;(2)以锯切用量的切深、进给量、锯片圆周速度为输入量;(3)以锯片的相对寿命为输出量的 3 层 7-15-1 结构的 BP 神经网络,这三者的有机配合能有效地预测锯片的寿命.

**关键词** BP 神经网络, 金刚石锯片, 花岗石, 寿命, 预测

中图分类号 TP 183; TG 56<sup>+</sup> 1

文献标识码 A

花岗石是一种硬度高、脆性大和成分复杂的天然矿物,其加工过程在很大程度上受到材质的影响,使其加工过程非常复杂.目前,花岗石的锯切机理还没有一个统一的认识.锯片上金刚石颗粒的分布、出露、磨损和脱落,具有很大的随机性、模糊性,使得锯切过程的研究更加复杂、困难.因此,金刚石锯切花岗石的寿命研究,主要借助实验,采用数据拟合法<sup>[1]</sup>.然而,由于影响因素多,特别是有许多随机性、模糊性的因素,使得作了大量的实验而得到的经验公式,只能符合特定的实验条件.它既不能在实际生产中得到应用,也不能满足实际生产的需要.因此,本文利用神经网络具有大规模并行、分布式存储和处理、自组织、自适应和自学习能力的特点<sup>[2]</sup>,对锯片的寿命预测进行一些探讨.

## 1 人工神经网络的基本原理

神经网络是有大量的,同时也是很简单的处理单元(或称神经元)广泛地互相连接而形成的复杂网络系统.一般认为,神经网络系统是一个高度复杂的非线性动力学系统.虽然每个神经元的结构和功能十分简单,但由大量神经元构成的网络系统行为却丰富多彩和十分复杂.理论上已经证明,3 层神经网络模型可以实现任何的函数映射.神经网络有多种模型结构,各有特点和用途.目前应用最广、最成熟的,是一种采用误差反向传播算法的前馈多层神经网络,即 BP(Back-Propagation)神经网络. BP 神经网络模型如图 1 所示.标准的 BP 模型有输入层、隐含层积、输出层 3 个神经元层次.各个层次的神经元之间形成完全互连连接,同一层次

的神经元之间没有连接. 对于 BP 模型的输入层神经元, 其输出与输入相同, 即  $O_i = i_i$ . 中间隐含层和输出层  $netp_j = \sum_i w_{ji} op_i$  的神经元的操作特性为  $op_j = f_j(netp_j)$ . 其中,  $p$  表示当前的输入样本,  $w_{ji}$  为从  $i$  到神经元  $j$  的连接权值,  $op_i$  为神经元  $j$  的当前输入,  $op_j$  为输出,  $f_j$  为非线性可微非递减函数, 一般取为 S 型函数, 即  $f_j(x) = 1/(1 + e^{-x})$ .

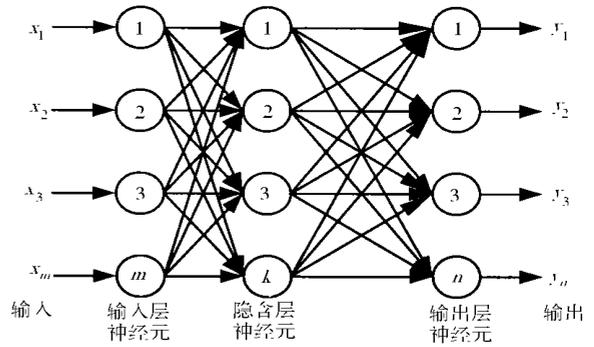


图 1 BP 神经网络模型

## 影响锯切花岗石金刚石锯片寿命

命的因素有许多. 表 1 详细列出了锯机、锯片以及锯切过程中各影响因素的特点和性质.

表 1 影响金刚石锯片锯切花岗石寿命的因素表

| 项 目       | 影 响 因 素  | 性质及特征  |
|-----------|--|--|
| 锯 机       | 静态、动态情况<br>单片、组合锯机   | 模糊量<br>静态数值量                                     |
| 金刚石锯片机体   | 机械物理性能宽、窄水槽、水槽比率   | 静态数值量  |
| 金刚石锯片节块   | 粉末的配比、性能<br>工艺条件(压力、加热温度)<br>硬度、抗弯强度、冲击功                   | 静态数值量<br>动态数值量<br>静态数值量                          |
| 金 刚 石     | 晶形完整性<br>强度(冲击强度、静压强度)<br>韧性、耐热性<br>粒度、粒度分布<br>浓度<br>表面金属化 | 统计状态量<br>统计数值量<br>统计数值量<br>统计数值量<br>给定数值量<br>状态量 |
| 花岗石矿物成分   | 石英、长石、斜长石等矿物的含量<br>粒度                                      | 统计数值量<br>模糊量                                     |
| 花岗石机械物理性能 | 肖氏硬度、耐磨性、抗压强度、抗拉强度<br>比重、吸水性、破裂系数                          | 统计数值量<br>静态量                                     |
| 花岗石锯切方向   |  | 给定状态量  |
| 花岗石锯切过程   | 锯切用量(锯切速度、进给深度、锯切深度)<br>冷却液<br>锯切力<br>锯切温度                 | 给定数值量<br>给定状态量<br>动态量<br>动态量                     |
| 结 果       | 刀具寿命(每片锯切的平方数或单位切削平方数)<br>耗电量<br>生产率<br>加工件的质量<br>其他费用     | 数值量<br>数值量<br>数值量<br>模糊量<br>数值量                  |

基于物体的表观特性决定于它本身的结构特性考虑. 本文选用花岗石的矿物成分、机械物理性能和锯切用量来作为神经网络的输入变量. 选用这些静态变量的优点在于, 不需要动态测量, 更容易在生产实际中得到应用, 又能够利用已有的网络模型来预测新的石材锯切参数.

### 3 网络训练及结果

实验条件如下: 锯片直径为 1.016 m, 金刚石为 MBS\* 960(40/50 目), 节块尺寸为 9.0 mm × 6.8 mm × 23.0 mm, 节块数目为 70 个, 节块比值为 51.1%, 结合剂硬度为 99-105HB.

表 2 石材 B 和 W 的参数表

| 项 目                                    | B               | W      |
|--|-----------------|--------|
| $\rho / \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ | 2.86            | 2.63   |
| $\sigma_{\text{压}} / \text{GPa}$       | 0.279           | 0.168  |
| $\sigma_{\text{拉}} / \text{MPa}$       | 19.698          | 14.896 |
| HA                                     | 104             | 104    |
| $w$ 石英质                                | 0.02            | 0.29   |
| $w$ 长石                                 | 0.00            | 0.66   |
| $w$ 斜长石                                | 0.48            | 0.00   |
| $w$ 云母/其他                              | 0.50            | 0.05   |
| $L \cdot W \cdot H / \text{m}$         | 1.0 × 0.5 × 0.1 |        |

分别选用如表 2 所示的石材参数及锯切用量为网络的输入变量. 以相对锯切量( $\text{m}^2 \cdot \text{mm}^{-1}$ )为网络的输出量, 经过不断的改变输入变量及网络参数<sup>[6]</sup>, 对网络进行训练. 表中的石材参数为石英、长石与斜长石矿物的质量分数( $w$ )、抗压强度( $\sigma_{\text{压}}$ )、抗拉强度( $\sigma_{\text{拉}}$ )、硬度(HA)和工件尺寸( $L \cdot W \cdot H$ ). 锯切用量为切深( $h$ )、进给量( $n$ )和锯片圆周速度( $\omega$ ). 结果发现, 当隐含层数为 15 和网络结构为 7-15-1 时, 网络具有良好的预测能力. 其网络训练结果, 如表 3 所示.

在输入网络之前, 要先对所有数据作规范化处理, 使其值落在(0, 1)区间内. 表中实际寿命( $T_{\text{实}} = \text{锯切石材平方数} / \text{锯片磨损量}$ ), 相对误差  $\eta = |\text{实际寿命 } T_{\text{实}} - \text{预测寿命 } T_{\text{预}}| / \text{实际寿命 } T_{\text{实}} \times 100\%$ , 以前 3 组数据为学习样本, 后 11 组数据为检验样本. 训练条件学习速率为 1.00, 惯性系数为 0.05, 训练允差为 0.10, 训练次数为 61 600.

表 3 样本参数及预测结果

| 样本 | 石材 | $h / \text{mm}$ | $n / \text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ | $\omega / \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ | $T_{\text{实}}$ | $T_{\text{预}}$ | $\eta / (\%)$ |
|----|----|-----------------|--------------------------------------|---|----------------|----------------|---------------|
| 1  | B  | 2.0             | 6                                    | 30                                      | 59             | 58.1           | 1.5           |
| 2  | W  | 2.0             | 6                                    | 30                                      | 21             | 22.0           | 4.8           |
| 3  | W  | 1.0             | 12                                   | 40                                      | 19             | 20.9           | 9.9           |
| 4  | B  | 1.0             | 12                                   | 30                                      | 51             | 60.6           | 18.7          |
| 5  | W  | 1.0             | 12                                   | 30                                      | 25             | 22.9           | 8.5           |
| 6  | B  | 2.0             | 6                                    | 25                                      | 52             | 60.8           | 17.0          |
| 7  | B  | 2.0             | 6                                    | 35                                      | 56             | 55.6           | 0.7           |
| 8  | W  | 2.0             | 6                                    | 20                                      | 21             | 24.6           | 17.2          |
| 9  | W  | 2.0             | 6                                    | 25                                      | 28             | 23.2           | 17.0          |
| 10 | B  | 1.0             | 12                                   | 35                                      | 56             | 58.2           | 3.8           |
| 11 | B  | 1.0             | 12                                   | 40                                      | 59             | 55.9           | 5.2           |
| 12 | B  | 1.0             | 12                                   | 45                                      | 58             | 53.8           | 7.2           |
| 13 | W  | 1.0             | 12                                   | 35                                      | 30.5           | 21.8           | 28.4          |
| 14 | W  | 1.5             | 8                                    | 30                                      | 23             | 22.6           | 1.8           |

## 4 结束语

本文针对目前花岗石加工中存在的难点,提出了基于神经网络预测金刚石锯片锯切花岗石寿命的方法,建立了BP网络模型.经过反复的训练尝试,确定了以石英、长石和斜长石的矿物含量,以其抗压强度、抗拉强度为石材参数,其切深、进给量和锯片圆周速度为锯切参数的输入量,其相对锯切量为输出量,以及隐含层数为15和网络结构为7-15-1的神经网络模型.该网络具有良好的预测能力.本文为石材加工研究提出了一条可行的新方法.

### 参 考 文 献

- 1 徐西鹏,沈剑云,黄 辉.实现花岗石高效锯切的关键因素分析[J].机械工程学报,1998,34(1):104~110
- 2 胡守仁,余少波,戴 葵.神经网络导论[M].北京:国防科技出版社,1997.1~176
- 3 方柏山.谷氨酸发酵调优操作模型[J].华侨大学学报(自然科学版),1994,12(3):331~335

## A Method Based on BP Neural Network for Predicting the Life of Diamond Saw-blade during Granite Sawing

Wu Ruizun Xu Xipeng He Jiangchuan

(Dept. of Electromech. Eng., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou)

**Abstract** During granite sawing, factors influencing the life of diamond saw-blade are complicated which will offer difficulty to the proper design, manufacture and service of the tool. By applying the method of neural network, a study is devoted to the effects of variety and characteristic and parameters of sawing of granite on the life of the tool. The study will serve as a guide to the manufacture and the service of diamond saw-blade for granite sawing and thus will increase machining efficiency of the tool and will decrease its cost. As shown by large amount of training, with percent content of quartz and feldspar and plagioclase in granite, tensile strength and compressive strength of granite, depth of cut, feed, and peripheral speed of saw-blade as inputs and with relative life of saw-blade as output, the life of saw-blade can be effectively predicted by BP neural network of three layered 7-15-1 structure.

**Keywords** BP neural network, diamond saw-blade, granite, life, prediction