

# 磨床砂轮智能监测及修整系统\*

□ 刘贵杰

**摘要:**介绍一种具有较好通用性和实用性的砂轮智能监测及修整系统,该系统利用BP神经网络建立声发射(AE)信号、振动信号、砂轮电机功率信号与砂轮磨钝之间的非线性关系,能够根据传感器信号,自动在线监测砂轮磨钝,及时启动砂轮自动修整系统,并且通过采用CNC砂轮自动修整器,能够解决多种类型的成型砂轮的修整。

**关键词:**砂轮钝化 监测及修整 智能系统

中图分类号:TP277

文献标识码:A

文章编号:1000-4998(2003)04-0057-03

在磨削加工中,砂轮的磨损状态影响着磨削加工的生产效率和加工质量。以往为了避免工件磨削烧伤,大多采用定时修锐,在砂轮尚未达到工作寿命极限时,就提前对其进行修整,这样便有盲目性<sup>[1]</sup>。频繁修整砂轮不仅会降低加工效率,而且会加快砂轮的损耗,特别是使用CBN之类昂贵砂轮时尤为不利。反之,如果延误了修整周期,则又会影响工件的尺寸精度和表面质量,造成废品<sup>[2]</sup>。因此,在线监测砂轮的钝化,合理确定砂轮的耐用度,及时修整砂轮,是提高磨削加工生产效率,保证磨削加工质量的一个重要途径。

目前常用刀具在线监控方法有:切削力、声发射(AE)、振动、电机电压电流和加工表面质量等。文章选用AE信号、振动、电机电压电流作为砂轮磨损、破损的检测信号。AE法避开了磨削加工中的振动及其它噪声干扰,在一定的频带范围内有较高的灵敏度。

对外圆磨削和平面磨削中的砂轮修整较为简单,但对成型磨削,尤其在精加工时,对成型砂轮修整器的性能和精度提出了很高的要求:①保证成型表面的正确性、可靠性;②对工件廓形变化的适应性、灵活性;③实现廓形校正的可能性(包括砂轮直径补偿、修整刀具的磨损补偿及修整和磨削误差的补偿)。

作者选用CNC修整法,它是较为全面和极富发展潜力的成型砂轮修整方法,可满足修整精度、柔性、可校性要求,可与监测一起构成智能砂轮修整系统。

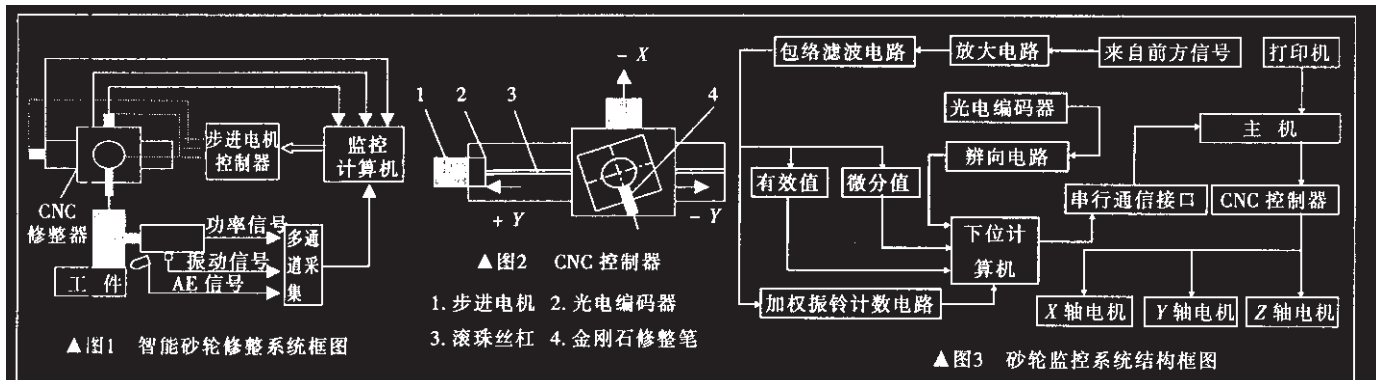
## 1 系统的总体结构

整个系统由两个部分组成:砂轮状态监测系统和CNC砂轮修整器。其结构框图见图1。

(1)CNC砂轮修整器 CNC砂轮修整器的原理如图2所示。在修整过程中采用单粒金刚石修整笔,通过X、Y轴的两个步进电机,沿着廓形曲线进行修整。第三个步进电机在修整过程中将金刚石修整笔始终置于垂直于砂轮轴向截形的位置上。修整笔的运动轨迹由数控装置进行控制,通过改变数控程序,可以改变砂轮的修整廓形,以适应零件尺寸和形状的变化,或补偿由于砂轮直径减小或修整笔的磨损所造成的修整误差。

(2)砂轮状态监控系统 砂轮状态在线监控系统结构框图见图3,整个系统由上下两层组成,上层主要完成信号分析、加工参数的输入、修整曲线的计算,具有自动编程、仿真、校核和修整误差补偿等功能;下层主要是由步进电机、驱动机构及修整机械结构等组成的CNC砂轮修整器,完成对NC程序的插补运算及整个修整过程的实时控制。

首先,来自前方的传感器信号,经神经网络数据融合,决策出砂轮的状态,如砂轮状态正常,继续运行;如出现砂轮破碎现象,立即停车;如砂轮严重钝化,停车后,启动修整系统,根据输入的加工参数,计算出修整曲线,将自动生成的NC代码传给CNC砂轮修整器进



\*教育部科学技术研究重点资助项目(编号 200032)

行修整。

## 2 传感器安装

(1) AE 传感器的安装 J. Webster, I. Marinescu 和 R. Bennett 进行实验证明,机构耦合式 AE 传感器安装位置距磨削区的距离超过 150mm 就不能检测到 AE 信号<sup>[3]</sup>。为了克服用机械耦合式传感器距离磨削区远而造成信号污染和失真的不足,采用了利用冷却液作为介质传递砂轮磨削状态信息的新型声发射传感器,将其安装在机床原有的润滑冷却管的喷嘴上,砂轮磨损的 AE 信号通过润滑冷却液,传递到传感器,然后通过采集卡进入计算机进行分析处理。

(2) 功率传感器的安装 一般磨床砂轮电机采用三相异步电动机,要对它的功率进行监测,可以通过测量它的绕组电流与电压得到。

在对电机功率进行监测的同时,为了排除电网的波动对电机功率的影响,必须对电网电压进行检测。传感器安装见图 4。在信号开始 A/D 转换之前,为了降低高频噪声,使用了一个低通滤波器。

(3) 振动传感器的安装 振动传感器的安装相对简单,用磁力座将它安装在磨床合适位置即可。

## 3 信号拾取与分析

(1) 信号的拾取 振动信号可以直接通过加速度传感器获得,经低通滤波直接由 A/D 采样输入计算机;电机的电流、绕组电压信号也直接由 A/D 采样输入计算机。AE 信号是高频信号,为减少信号在传播路径上的能量衰减,通过高通滤波、前置放大、带通滤波、包络滤波电路,声发射信号由高频波变成低频波;然后声发射信号分成 3 路,其中一路信号经过加权振铃电路后以脉冲形式进入下位机的计数器中,进行脉冲记数,形成振铃记数值。另外两路信号分别经有效值电路和微分值电路进入下位机中 A/D 转换器。以上信号的特征值都存储在下位机的内存中,以握手通讯的方式和上位机交换数据。

(2) 信号分析 实验证明,在磨削过程中,当砂轮表面状态为变化因素时,声发射信号的幅值和砂轮表面的状态有很好对应关系。如果声发射信号的幅值增

大到一定的程度,就可认为砂轮已经钝化。因此通过设定合适的阈值,作为控制砂轮钝化的条件,可用来检测砂轮钝化。但是在实际加工中,加工条件,尤其加工参数是经常变化的,使得声发射信号也随之发生变化,使得通过检测声发射信号的实测幅值大小来检测砂轮钝化不大可能。为此提出了基于变磨削参数声发射信号的归原处理法,即在每种加工条件下,以各阶段声发射信号的增加值和  $\Delta T$  来对应砂轮的钝化情况(见图 5)。 $\Delta T = \Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3$ ,其中  $\Delta T_1$ 、 $\Delta T_2$ 、 $\Delta T_3$  分别为各阶段声发射信号的增加值。把  $\Delta T$  与设定阈值相比较,如果超过阈值,则表示砂轮已经钝化,需要修整。

磨削加工过程中,振动信号包含着丰富的信息,与砂轮磨削状态有较强的对应联系,随着砂轮磨削状态的逐渐恶化而导致振动信号主峰向低频偏移。同时,磨削过程中,随着砂轮的钝化,在相同的条件下砂轮电机的实际功率会逐渐增大。当它达到某一阈值时,便可认为砂轮已变钝,需进行修整。

将上述信号进行小波分析,获取信号的能量分布,以此作为信号特征来识别砂轮状态。砂轮状态的识别采用 BP 神经网络,它能描述电机功率信号、振动信号和 AE 信号特征与砂轮状态的非线性关系,达到有效融合振动信号和 AE 信号的目的。

## 4 砂轮状态监测神经网络模型建立

砂轮的磨钝,样本易取得,且要检测的功率信号为缓变信号,因而采用 3 层 BP 网络。为了排除电网的影响,BP 网络的输入有:电机功率、电网电压和 AE 信号的幅值增量(见图 6)。输入的各信号构成了第 1 层神经元的输入,它的输出对输入进行归一化,隐层第  $j$  个神经元的输入为:

$$net_j = \sum w_{ji} o_i$$

第  $j$  个神经元的输出为:  $o_j = f(net_j)$

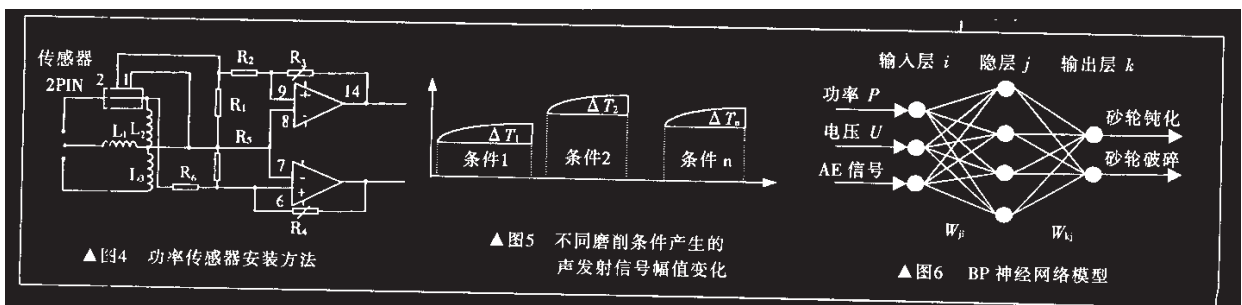
式中  $f$ ——激励函数,对于 Sigmoid 函数有:

$$o_j = \frac{1}{1 + e^{-(net_j + \theta_j) / \theta_0}}$$

式中  $\theta_j$ ——阈值或偏值

$\theta_0$ ——起调节 Sigmoid 函数形状的作用。

第  $k$  层的输入为:  $net_k = \sum w_{kj} o_j$



▲图4 功率传感器安装方法

▲图5 不同磨削条件产生的声发射信号幅值变化

▲图6 BP神经网络模型

对应的输出为： $o_k = f(\text{net}_k)$

在训练网络的学习阶段，给定模式  $X_p = i_{pi}$  作为网络输入，逐级向前计算，网络的输出  $o_{pk}$  与理想输出  $t_{pk}$  不完全一致，对于每一个模式，其均方差为：

$$E_p = \frac{1}{2} \sum (t_{pk} - o_{pk})^2$$

在 Rumelhart 等人提出的学习权系数和阈值的广义  $\delta$  规则中，学习过程按照  $E_p$  减小最快的方式改变连接权系数，直到获得正确的权系数集，该修正权系数的方法是顺序操作的，权值的修正是误差反方向传递的过程，修正量为：

$$\Delta_p w_{ji} = \eta \delta_{pj} o_{pi}$$

若神经元  $j$  是输出层，则  $\delta_{pj} = (t_{pj} - o_{pj}) f_j^{(1)}(\text{net}_{pj})$

若神经元  $j$  位于隐层，则  $\delta_{pj} = f_j^{(1)}(\text{net}_{pj}) \sum \delta_{pk} w_{kj}$

令  $o_j = 1 / (1 + \exp[-(\sum w_{ji} o_i + o_j)])$

则  $f_j^{(1)}(\text{net}_{pj}) = \partial o_{pj} / \partial \text{net}_{pj} = o_{pj} (1 - o_{pj})$

$$\delta_{pk} = (t_{pk} - o_{pk}) o_{pk} (1 - o_{pk})$$

$$\delta_0 = o_{pj} (1 - o_{pj}) \sum \delta_{pk} w_{kj}$$

最后，权值修正量为：

输出层： $\Delta_p w_{kj} = \eta (t_{pk} - o_{pk}) o_{pk} (1 - o_{pk}) o_{pj}$

隐层： $\Delta_p w_{ji} = \eta o_{pj} (1 - o_{pj}) \sum \delta_{pk} w_{kj} o_{pi}$

式中  $\eta$ ——学习因子； $\theta_j$ ——权值，其输入总为1。

在网络学习开始，所有权值随机地置以初值，选择一批样本，逐个对网络进行训练，使其收敛。训练中  $\eta$  选择过大，虽然可以提高学习速度，但会引起网络震荡。Rumelhart Hinton 和 Williams 提出对  $\Delta w_{ji}$  的修正表达式，以改善网络收敛特性，它包含一个惯性量项：

$$\Delta w_{ji}(n+1) = \eta \delta_j o_i + \alpha w_{ji}(n)$$

式中  $\alpha$ ——调整变化量的比例常数。在此  $\eta = 0.7$ ， $\alpha = 0.7$ ，误差阈值门限 0.001，样本取 60 个，对神经网络进行训练；其中，正常样本 10 个，轻微磨损样本 10 个，中等磨损样本 10 个，严重钝化样本 10 个，需要修整

样本 10 个，砂轮破碎样本 10 个。

## 5 结论

① 利用声发射信号的累加值来检测砂轮的钝化，解决了现有实验条件下变磨削参数的砂轮钝化的检测问题。

② 该系统能自动完成砂轮状态的在线监测和修整，实现了砂轮修整的智能化、自动化。

③ 该砂轮修整系统具有较强的适应性，能够适应多种磨削加工类型的砂轮修整要求。

### 参考文献

- 1 Karpuschewski B., Wehmeier M., Inasaki I. Grinding monitoring system based on power and acoustic emission sensors. Annals of the CIRP, 2000, 49(1): 235 - 240
- 2 Hundt W., Leuenberger D., Rehsteiner F. An approach to monitoring of the grinding process using acoustic emission (AE) technique. Annals of the CIRP, 1994, 43(1): 295 - 298
- 3 Acoustic Emission for Control and Monitoring of Surface Integrity during Grinding, Annals of the CIRP 1994 Vol. 43/1, 299 - 304
- 4 刘飞, 徐宗俊. 机床加工状态的功率监控技术. 机床, 1986(2) 9 ~ 11
- 5 张秋菊, 龚光容, 藏勇, 丁庆. 修整成形砂轮的 CAD/CAM 系统. 制造技术与机床, 1996(9) 9 ~ 11
- 6 李小俐, 姚英学, 袁哲俊. 加工中心刀具破损监控系统的研制. 制造技术与机床, 1997(1) : 11 ~ 14

(编辑 凌云)

作者单位：山东轻工业学院

邮政编码：济南·250100

收稿日期：2002年11月



# 庆祝上海市机械工程学会成立五十周年暨第二届“上海机械科技论坛”活动方案

(1) 主题：信息化带动工业化，工业化促进信息化，以高新技术改造传统产业。

(2) 日期：2003年7月15日 ~ 7月18日。

(3) 地点：开幕式在上海科学会堂大礼堂，其他活动在上海光大会展中心。

(4) 内容：由以下10个板块组成。

- ① 庆祝活动：学会50年的回顾，领导讲话，兄弟单位祝贺等；
- ② 主题报告：邀请有关领导，人员待定；
- ③ 学术交流；
- ④ 专题讲座；
- ⑤ 典型新产品介绍；
- ⑥ 企业发展论坛；
- ⑦ 举办第四届上海国际机械装备展览会；
- ⑧

评选优秀论文、出版论文集；⑨ 评选表彰先进专业委员会和优秀学会工作者；⑩ 出刊纪念册暨论文集。

(5) 组织：筹备小组在学会常务理事会领导下，以学会秘书长为主体，适当吸收专业委员会秘书组人员组成筹备小组。

同时成立两个小组① 优秀论文评选小组，提议以陈兆能副理事长为主，邀请《机械制造》和《机械设计与研究》的社长、主编参加。② 先进专业委员会和优秀学会工作者评定小组，提议以董天雄常务副理事长为主，再邀请秘书长和两位副理事长参加。

# 磨床砂轮智能监测及修整系统

作者: [刘贵杰](#)  
作者单位: [山东轻工业学院, 济南, 250100](#)  
刊名: [机械制造](#) **ISTIC**  
英文刊名: [MACHINERY](#)  
年, 卷(期): 2003, 41(4)  
引用次数: 3次

## 参考文献(6条)

1. [Karpuschewski B. Wehmeier M. Inasaki I](#) [Grinding monitoring system based on power and acoustic emission sensors](#) 2000(01)
2. [Hundt W. Leuenberger D. Rehsteiner F](#) [An approach to monitoring of the grinding process using acoustic emission \(AE\) technique](#) 1994(01)
3. [Acoustic Emission for Control and Monitoring of Surface Integrity during Grinding](#)
4. [刘飞. 徐宗俊](#) [机床加工状态的功率监控技术](#) 1986(02)
5. [张秋菊. 龚光容. 藏勇. 丁庆](#) [修整成形砂轮的 CAD/CAM系统](#) 1996(09)
6. [李小隍. 姚英学. 袁哲俊](#) [加工中心刀具破损监控系统的研制](#) 1997(01)

## 相似文献(1条)

1. 期刊论文 [林影丽. 张世昌](#) [砂轮磨钝监测及修整](#) -[机械工程师](#)2005, ""(1)  
利用声发射(AE)信号归原处理法对砂轮磨钝程度进行监测,在此基础上开发了砂轮磨钝监测及自动修整系统.该系统可以对小批量、多品种工件磨削过程中砂轮钝化进行有效的监测,采用的CNC砂轮自动修整器能够解决多种类型成型砂轮的修整,具有一定的通用性和实用性,能够实现磨削砂轮监测、修整过程的自动化和智能化.

## 引证文献(3条)

1. [李波](#) [工程陶瓷高效深磨声发射实验研究](#)[学位论文]硕士 2006
2. [项文君](#) [磨床进给参数检测系统及其应用](#)[学位论文]硕士 2005
3. [秦国栋. 刘志明](#) [声发射测试系统的发展](#)[期刊论文]-[测试技术学报](#) 2004(3)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_jxzz200304026.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_jxzz200304026.aspx)

下载时间: 2010年6月2日