

# 光纤红外测温仪的研制及其在磨削区温度测量中的应用研究

**摘要** 本文对磨削加工产生的火花信号和磨削区温度之间的关系进行了分析研究，并利用自行开发的新型光纤红外测温仪对磨削火花信号进行了系统、定量的分析与实验。实验结果表明，磨削加工中产生的火花是一种平滑、稳定的各态历经随机信号，火花信号与磨削区温度、工件的烧伤层深度之间存在广泛联系，该设备可实现磨削区温度的在线有效测量，使工件的加工表面质量及自动化加工程度得到较大提高。

**关键词** 光纤测温仪磨削

长期以来，国内外专家学者都把磨削加工中工件表面质量的控制作为一个重要的研究课题。磨削加工中所产生的大量热量，是造成诸如工件表面烧伤、裂纹、热变形，工件的形状尺寸变化等磨削缺陷出现的主要原因。

近年来，磨削加工中产生的火花被初步证明是一种非常有用的信号。但是，现有的用于检测火花信号的仪器设备大都非常精密，且价格昂贵。所以，为了对火花信号进行系统分析，明确其与磨削区温度之间的关系，以便寻求可行的测量方法，提高工件质量，开发一种简单、经济的磨削火花信号测量仪器具有重要的现实意义。

## 1 光纤红外测温仪的研制

### 1.1 光纤红外测温仪的工作原理

热是一种能量。分子中各原子的相对运动，分子的旋转，物质晶体中的原子的振动都会随着温度的增加而加剧。热是以上所有运动的表现形式。要对物体进行加热，必须将物体分子激跃至更高的能量层。当分子回跃至较低的能量层时，物体就向外辐射能量。物体受热温度越高，能量辐射越强烈。这一过程即所谓的热辐射，同时也是红外测温仪的工作原理。

对黑体而言，Planck 利用光量子概念，证明了在温度、频率、波长和辐射强度之间的联系形式，即著名的 Planck 公式。

如果频率可变，光谱放射线的辐射强度为：

$$M_b(T, \nu) d\nu = \frac{2\pi h}{c^2} \cdot \frac{\nu^3 d\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}$$

如果波长可变，光谱放射线的辐射强度为：

$$M_b(T, \lambda) d\lambda = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{d\lambda}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}$$

式中  $\nu$ ——频率；

$k$ ——波兹曼常数；

$c$ ——光速；

$e$ ——自然对数；

$h$ ——Planck 常数

光谱放射线的能量与波长之间的关系如图 1 所示。

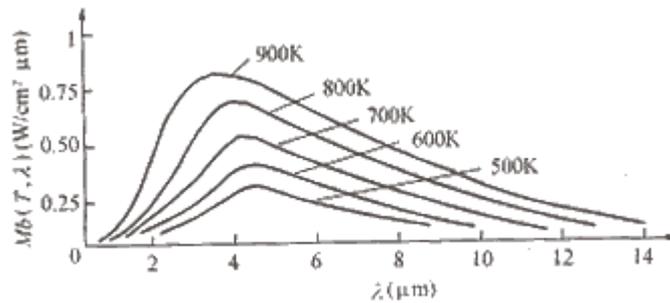


图 1 黑体辐射曲线

从图 1 可见，每一分布曲线都存在一个最大值。随着温度的增长，波长  $\lambda_m$  在达到如曲线所示的最大值后会逐步减小。

很明显，不存在绝对的辐射体——黑体，但事实上，它们可被称为灰体。如果辐射率的系数增加，以上提到的 Planck 公式仍然有效。

光纤由纤芯和包层组成，图 2 所示为光纤圆体的平面图。

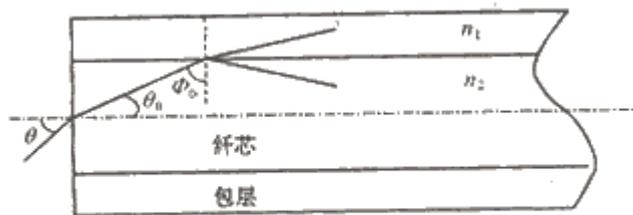


图 2 光纤传导原理

光纤传光原理是不同折光率介质界面的全反射现象，即光从折射率大的光密介质以一定角度射向折射率小的光疏介质时，光在界面上会发生全反射而全部折回光密介质。这一一定的角度称全反射临界角。光导纤维的纤芯是光密介质，而包层是光疏介质，传输的光信号只要在界面的入射角大于临界角，光就在纤芯中曲折反射前进而不会泄漏。

如图 2 所示，入射光以与纤芯轴线成  $\theta$  角从光纤一头射入，根据 Snell 定律，先由纤芯(折射率  $n_0$ )折射  $\theta_0$ ，到达  $n_0$  内壁面时，再以  $\theta_0$  角反射，且有  $\theta_0 = 90^\circ - \theta_c$ ，同时，光还折射进入包层(折射率  $n_1$ )。当  $\theta_0 = \sin^{-1} n_1/n_0$  时，入射光在界面会发生全反射而全部折回纤芯，最终仍以  $\theta$  角从光纤的另一端射出。

### 1.2 仪器原理框图

为方便工程应用，研制的光纤红外测温仪具有两路通道。图 3 所示为测温仪一路通道的原理图。

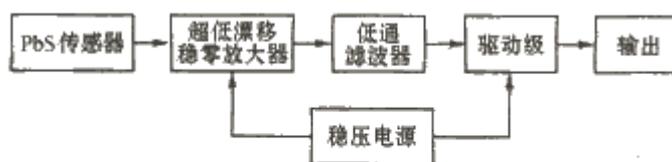


图 3 仪器原理框图

### 1.3 测温仪性能特点

双通道光纤红外线测温仪可在许多场合下应用。光纤截面与被测热源保持一定距离,在此范围内光纤不需调焦,且不会影响实验结果。超低漂移斩波稳零集成运算放大器是测温仪的主要部件之一,具有高阻抗,超低输入失调电压,温度漂移小,电路简单,体积小,价格经济,系统响应快,灵敏度高,非接触性测量及测量区域小等特点。

测温仪的主要技术指标如下:

输入失调电压:  $\pm 5 \mu\text{V}$ ;

输入失调电压温度系数:  $< 0.01 \mu\text{V}/$

输入失调电压时间漂移:  $< 0.005 \mu\text{V}/\text{h}$

输入电压范围:  $< \pm 4.8\text{V}$

静态电流:  $< 10\text{mA}$

## 2 磨削区温度与火花信号的研究

### 2.1 实验设备

机床: M1420 外圆磨床

砂轮: GZ60ZR 2(磨削速度  $V_s = 35\text{m/s}$ )

冷却液: 4%乳化液

工件材料: 45 号钢调质处理 HRC52-54

测试仪器框图如图 4 所示。

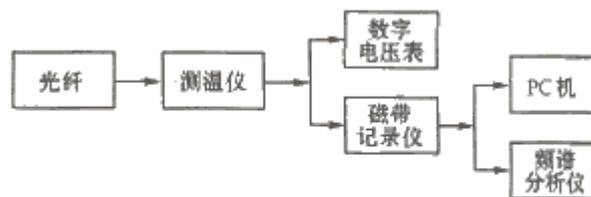


图 4 测试仪器框图

### 2.2 火花信号的分析研究

实验在不同时间段随机抽取共 6 组火花信号分别进行平滑性、稳定性、正态分布和各态历经性进行运算,求出他们的信号均值,卡氏平方的模拟曲线和自相关函数。实验结果表明:磨削加工中产生的火花是一种平滑、稳定的各态历经随机信号,服从正态分布规律。

### 2.3 磨削区温度与火花信号之间联系的实验结果

实验分有冷却液和无冷却液两组工况进行。每组中,磨削速度及进给量均不同。实验结果如图 5 和图 6 所示。

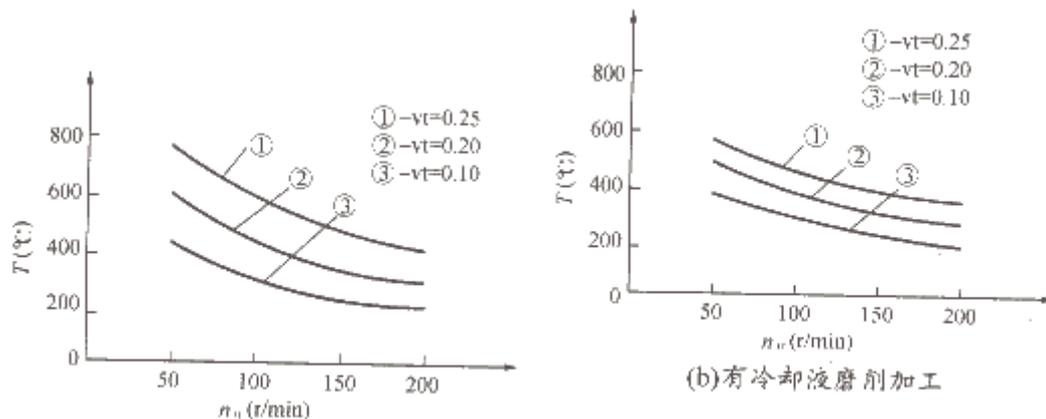
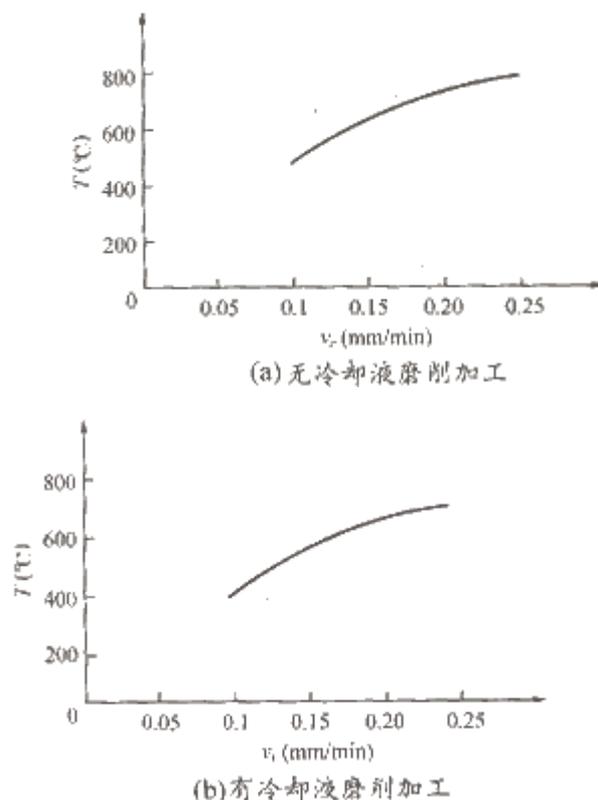


图5 不同工件转速下的温度曲线

从图5可见,在其他加工条件相同时,无论是否使用冷却剂,磨削区温度明显随着工件转速的提高而降低,原因是砂轮与工件的接触时间越少,磨削区的温度也随之下降。另一方面,磨削速度越高,工件上的热量传播越快。

同理,从图6可见,在其他加工条件相同时,无论是否使用冷却剂,磨削区温度明显随着磨削进给量的提高而升高,原因是在单位时间内,工件的磨削切除量随着进给量的增加而增加,磨削所需能量也增加。这些都是磨削区温度增加的原因。



#### 2.4 工件的烧伤层深度与火花信号之间联系的实验结果

图7显示了在有冷却液条件下,工件的烧伤层深度与火花信号之间的联系。磨削火花越多,工件的烧伤层深度越大。两者间存在必然联系。

因此,我们应在实际加工中合理选择磨削参数,在经济状况允许的前提下使用大流量冷却液,采用软组织砂轮以保持磨粒锋利等各种方式减少磨削热产生,以此来提高磨削加工的质量,避免因磨削热而引起的各种磨削加工缺陷。

### 3 结论

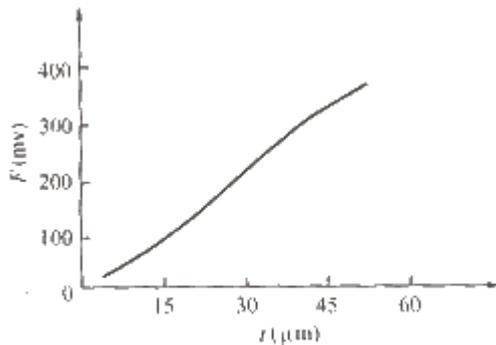


图7 工件烧伤层深度与磨削火花信号关系曲线  
应工程温度测量的需要。

(2)本文对实验数据进行了系统的分析计算,结果表明:磨削加工中产生的火花是一种平滑、稳定的各态历经随机信号,服从正态分布规律。

(3)利用磨削火花信号对磨削区温度进行在线检测的方法可行且有效,能使工件的加工表面质量及自动化加工程度得到较大提高。

(4)可利用磨削火花信号对工件的烧伤层深度进行计算,并借此可在线控制磨削表面的质量。

#### 参考文献

- 1 纪鸿.红外线技术基础及应用.科学出版社,1979
  - 2 郝天友.光纤红外温度测量.自动化仪器仪表, No.1,1982
  - 3 黄忍.利用红外线对磨削火花信号的研究.南京技术学院, No.3, 1983
  - 4 曾盛绰.外圆磨床磨削温度的实验研究.磨料磨具与磨削, No4,1990
- 作者简介:曾盛绰,1957年生。广西大学副教授,主要研究方向:磨削研究。