

# 实验 3-1 平面磨削温度的测定

## ● 实验目的

通过实验加深理解磨削过程中的热效应，并初步掌握平面磨削过程中磨削区温度的测定。

## ● 实验装置

- .1设备与工具  
平面磨床、 砂轮（GB60 KV6P 300×30×5）
- .2量具  
人工热电偶
- .3仪器  
函数记录仪或光线记录示波器、 加热器、 测温计

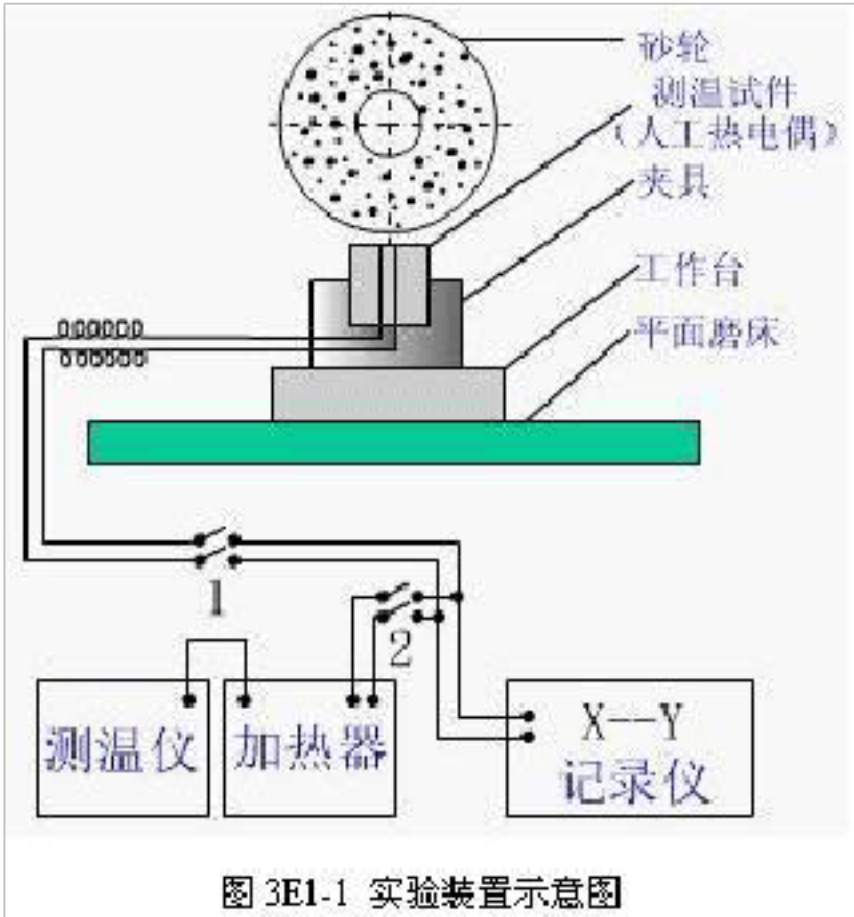


图 3E1-1 实验装置示意图

## ● 实验原理

### （1）基本概念

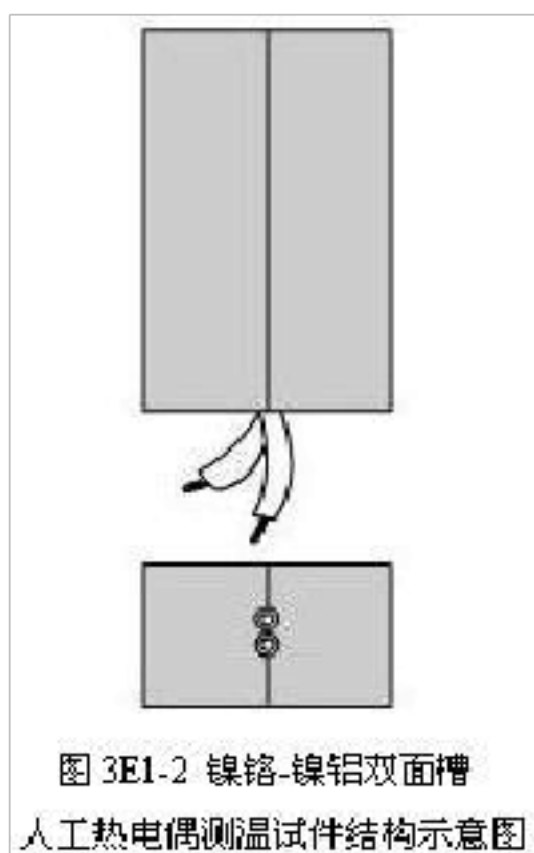
对于磨削温度有三个不同的概念，磨削点温度、磨削区温度、磨削表面温度。

1磨削点温度是指单个磨粒切刃与被磨金属相干涉点的温度，一般达 1000℃~1600℃ 范围内。

2磨削区温度是指砂轮与被磨工件之间的接触区域内的平均温度，一般在 200~800℃ 范围内。

3工件表面温度是指工件内部温度场靠近磨削区部位的温度，一般在几十度左右。

详细内容见 3.6 节“磨削温度”部分。本实验只测定平面磨削过程中磨削区温度。



## （2）热电偶测量法

利用热电偶原理测量磨削温度的试件有夹式和顶式两种。本实验采用夹式的镍铬-镍铝双面槽人工热电偶测温试件，如图 3E1-2 所示。两试件本体间开双面槽，一槽夹入套有玻璃管的镍铬丝，另一槽夹入套有玻璃管的镍铝丝，保证热电偶丝与本体间有可靠绝缘，开合联结方式均采用环氧树脂粘结。测温试件在切削过程中，由于切削过程中的塑性变形及高的切削温度的作用，试件本体与热电偶丝在顶部相互搭接或焊在一起形成热电偶接点，形成人工热电偶。

## （3）人工热电偶的标定

温度标定指的是确定人工热电偶的热特性。温度标定的方法如图 3E1-3 所示，将开关 1 断开、开关 2 闭合，则此时不进行实际磨削，而是通过加热器加热来模拟磨削时所产生的热电势；在加热器开始加热后，用测温仪测温，由函数记录仪或光线记录示波器记录其幅值  $h$ ，得到温度  $T^{\circ}\text{C}$  与记录仪幅值  $h$  之间关系。

## （4）磨削温度测量的人工热电偶法

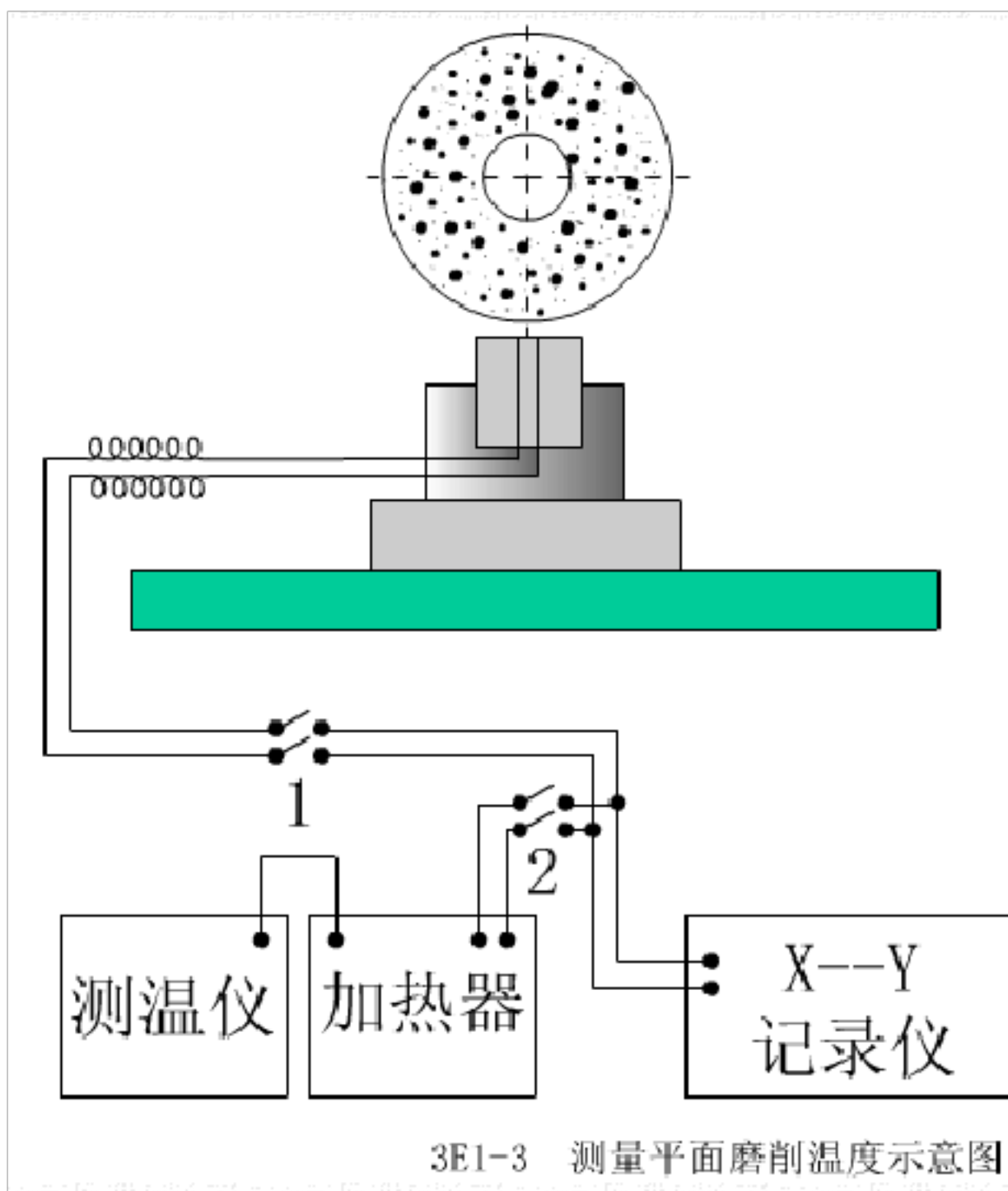
测量原理如图 3E1-1 所示。把由试件与镍铬-镍铝人工热电偶组成的测温传感器装在夹具上，一起吸在平面磨床的吸盘工作台上；电偶丝由导线连通函数记录仪或示波器等显示记录装置。在磨削过程中靠磨削力及高的磨削热将镍铬丝、镍铝丝压焊在试件上形成人工热电偶。其产生的热电势信号通过导线传给函数记录仪或示波器记录下来。

### （1）对人工热电偶进行标定

温度标定指的是确定人工热电偶的热特性。温度标定的方法如图 3E1-3 所示，具体步骤如下：

开关 1 断开、开关 2 闭合，此时不进磨削，通过加热器加热来模拟磨削时所产生的热电势；

2.在加热器开始加热后，用测温仪测温，由函数记录仪或光线记录示波器记录其幅值  $h$ ，得到温度  $T^{\circ}\text{C}$  与记录仪幅值  $h$  之间关系。



## (2) 测量磨削区温度

把由试件与镍铬-镍铝人工热电偶组成的测温传感器装在夹具上，一起吸在平面磨床的磁盘上；

按图 3E1-3 使开关 1 闭合、开关 2 断开，采用干磨不加冷却液方式，砂轮线速度取  $V_s=34.7$  米/秒，开始正式测量；

启动机床，首先选试件移动速度（工作台速度）为  $v$  慢，磨削深度  $t=0.005\text{mm}$  情况下开始磨削，并记录读数；

在试件移动速度（工作台速度）为  $v$  慢情况下，改变磨削深度  $t=0.010$ 、 $0.015$ 、 $0.020$ 、 $0.025$ 、 $0.030$  毫米，分别进行磨削，并记录相应的读数；

改变试件移动速度（工作台速度） $V_w$  为  $V$  快，磨削深度  $t=0.005\text{mm}$  情况下开始磨削，并记录读数；

在试件移动速度（工作台速度）为  $v$  快情况下，改变磨削深度  $t=0.010$ 、 $0.015$ 、 $0.020$ 、 $0.025$ 、 $0.030$  毫米，分别进行磨削，并记录相应的读数；

## ● 数据处理

### (1) 标定数据处理

将所获得的温度  $T^{\circ}\text{C}$  与记录仪幅值  $h$  按照数据表格要求进行整理，在标定曲线图上画出  $h$ - $T$  标定曲线。

(2) 磨削区温度测量数据处理

把在试件移动速度（工作台速度）为  $V$  慢、 $V$  快以及不同磨削深度  $t$  情况下所获得的测量数据按照数据表格要求进行整理，在  $t$ - $T$  磨削区温度曲线图上画出  $t$ - $T$  磨削区温度曲线。

● 实验仿真

进入[实验仿真](#)

运行说明：

打开该应用程序后，选择磨削方式为平面磨削。然后取不同的砂轮速度、工件速度、磨削深度（其他参数可保持缺省数值），点击“ $x$  方向温度分布”按钮则显示出  $t$ - $T$  磨削区温度曲线图形。（点击“ $o$  点下温升”按钮则显示测温工件表面温度与工件表层深度的关系曲线）

● 实验报告

- (1) 机床型号：
- (2) 仪器型号：
- (3) 标定数据：

表 3E1-1 标定数据记录表

|                     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| $T^{\circ}\text{C}$ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| $h\text{ mm}$       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

(4) 画标定曲线：



(5) 测量数据：

表 3E1-2 测量数据记录表

| 切深    | $V$ 慢             |                                 | $V$ 快             |                                 |
|-------|-------------------|---------------------------------|-------------------|---------------------------------|
| 0.005 | $h_1\text{ (mm)}$ | $T_1\text{ (}^{\circ}\text{C)}$ | $h_2\text{ (mm)}$ | $T_2\text{ (}^{\circ}\text{C)}$ |
| 0.010 |                   |                                 |                   |                                 |
| 0.015 |                   |                                 |                   |                                 |
| 0.020 |                   |                                 |                   |                                 |

|       |  |  |  |  |
|-------|--|--|--|--|
| 0.025 |  |  |  |  |
| 0.030 |  |  |  |  |

（6）温度曲线：



●实验思考

- （1）温度  $T/^{\circ}\text{C}$  与记录仪幅值  $h$  之间有何关系？是呈线形还是非线形？
- （2）在不同试件移动速度（工作台速度） $V$  条件下，磨削深度  $t$  与磨削区温度  $T$  之间有何关系？
- （3）分析不同试件移动速度（工作台速度） $V$  以及磨削深度  $t$  对磨削区温度的影响程度如何？并分析其影响原因。
- （4）根据磨削用量对磨削区温度的影响实验所得结果，为了提高生产率和砂轮耐用度，在现有机床条件下，磨削用量应如何选择？
- （5）其它，如对实验提出改正意见与设想方案等。

## 实验 4-1 加工误差统计分析实验

●实验目的及要求

1. 认识加工误差的统计性质，学习应用数理统计方法对加工误差进行分析。
2. 掌握样本数据的采集与处理方法，要求能正确地采集样本数据，并能通过对样本数据的处理，正确绘制出加工误差的直方图、分布曲线和图。
3. 要求对直方图、分布曲线图进行正确地分析，对加工误差的性质、工序能力及工艺稳定性作出准确的鉴别。
4. 培养对加工误差进行综合分析的能力。
5. 训练在制造过程中使用计算机和编制应用程序的能力。

●实验原理

在机械加工中应用数理统计方法对加工误差（或其他质量指标）进行分析，是进行过程控制的一种有效方法，也是实施全面质量管理的一个重要方面。其基本原理是利用加工误差的统计特性，对测量数据进行处理，作出分布图和点图，据此对加工误差的性质、工序能力及工艺稳定性等进行识别和判断，进而对加工误差作出综合分析。详见 4.6 节。

● 实验设备和仪器

本实验建议在生产现场进行数据采集，所用设备和仪器可根据生产现场条件确定。要求加工的零件具有一定的批量，加工过程具有连续性，所用测量工具符合精度要求。一般要求测量工具的分辨率： $\tau \leq \frac{T}{10}$ （式中  $\tau$  为测量工具的分辨率， $T$  为零件工序公差）。

● 实验步骤和方法

1. 选择加工零件和加工工序

根据生产现场实际情况，选择适当的零件和加工工序作为研究对象。加工的零件应具有一定的批量，加工工序时间不宜过长，加工过程应具有连续性。记录加工工序状态，如设备型号、设备精度、设备工况、刀具形式、刀具状况、切削用量、润滑条件、毛坯情况、操作者等，特别注意那些可能引起加工误差的各种因素。

2. 样本数据采集、测量、记录

对加工好的零件，按其加工顺序抽取一部分（或全部），逐件测量其工序尺寸（或其他质量指标），并将测量数据记录下来。抽取零件的总数（样本容量，用  $n$  表示）一般为 50~200 件。抽取方法（连续抽取还是间隔抽取）应根据实际情况确定，如零件工序时间较长，可逐件抽取和测量；反之，可每隔一定时间抽去一件并测量。

3. 绘制直方图和分布曲线

1) 初选分组数  $k'$

一般应根据样本容量来选择，参见表 4E1-1。

| 表 4E1-1 分组数 $k$ 的选定 |       |       |        |     |         |         |
|---------------------|-------|-------|--------|-----|---------|---------|
| $n$                 | 25~40 | 40~60 | 60~100 | 100 | 100~160 | 160~250 |
| $k$                 | 6     | 7     | 8      | 10  | 11      | 12      |

2) 确定组距  $d$

找出样本数据的最大值和最小值，并按下式计算组距：

选取与计算的  $d'$  值相近的且为测量值尾数整倍数的数值为组距。

3) 确定分组数

#### 4) 确定组界

各组组界为：

#### 5) 统计各组频数（即落在各组组界范围内的样件个数）

#### 6) 画直方图

以样本数据值为横坐标，标出各组组界；以各组频数 为纵坐标，画出直方图。

#### 7) 计算总体平均值与标准差

平均值得计算公式为：

式中—第  $i$  个样件的测量值；

$n$  --样本容量。

标准差得计算公式为：

#### 8) 画分布曲线

若研究的质量指标是尺寸误差，且工艺过程稳定，则误差分布曲线接近正态分布曲线；

若研究的质量指标是形位误差或其他，则应根据实际情况确定其分布曲线。

画出分布曲线，注意使分布曲线与直方图协调一致。

#### 9) 画公差带

在横轴下方画出公差带，以便与分布曲线相比较。

### 4. 绘制图

#### 1) 确定样组容量，对样本进行分组

样组容量一般取  $m=2-10$  件，通常取 4 或 5。

按样组容量和加工时间顺序，将样本划分成若干个样组。

#### 2) 计算各样组的平均值和极差

对于第  $i$  个样组，其平均值和极差计算公式为：

- 式中  $\bar{x}_i$ —第  $i$  个样组的平均值；
- $\sigma_i$ —第  $i$  个样组的标准差；
- $x_{ij}$ —第  $i$  个样组第  $j$  个零件的测量值；
- $x_{i\max}$ —第  $i$  个样组数据的最大值；
- $x_{i\min}$ —第  $i$  个样组数据的最小值

3) 计算图控制限

图的控制限为：

式中  $A_2$ 、 $D_1$ 、 $D_2$ —常数，可由表 4E1-2 查得；

$K_m$ —样组个数。

| 表 4E1-2 $A_2$ 、 $D_1$ 、 $D_2$ 值 |       |       |       |
|---------------------------------|-------|-------|-------|
| $n$ (件)                         | $A_2$ | $D_1$ | $D_2$ |
| 4                               | 0.73  | 2.28  | 0     |
| 5                               | 0.58  | 2.11  | 0     |
| 6                               | 0.48  | 2.00  | 0     |

4) 绘制图

以样组序号为横坐标，分别以各样组的平均值和极差  $R$  为纵坐标，画出图，并在图上标出中心线和上、下控制限。

5. 计算工序能力系数

工序能力系数按下式计算：

6. 判别工艺过程稳定性

可按表 4E1-3 所列标准进行判别。注意，同时满足表中左列 3 个条件，工艺过程稳定；表中右列条件之一不满足，即表示工艺过程不稳定。

| 表 4E1-3 稳定工艺过程与不稳定工艺过程标志                                   |                                                                                                                                                                                                                       |
|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 稳定工艺过程                                                     | 不稳定工艺过程                                                                                                                                                                                                               |
| 1. 没有点子超出控制线<br>2. 大部分点在中心线上下波动，小部分点在控制线附近<br>3. 点子没有明显规律性 | 1. 有点子超出控制线<br>2. 点子密集在中线上下附近<br>3. 点子密集在控制线附近<br>4. 连续 7 点以上出现在中线一侧<br>5. 连续 11 点中有 10 点出现在中线一侧<br>6. 连续 14 点中有 12 点出现在中线一侧<br>7. 连续 17 点中有 14 点出现在中线一侧<br>8. 连续 20 点中有 16 点出现在中线一侧<br>9. 点子有上升或下降倾向<br>10. 点子有周期性波动 |

7. 检验数据处理结果

运行程序\_\_\_\_\_，比较计算机和人工处理结果，验证人工处理结果是否正确？若不相同，找出原因，加以改正。

8. 加工误差综合分析

通过对分布图和图的分析，可以初步判断误差的性质。进而结合具体加工条件，分析影响加工误差的的各种因素，必要时，可对工艺系统的误差环节进行测量和实验。

● 思考题

1) 分布图主要说明什么问题？在什么情况下分布曲线接近于正态曲线？在什么情况下分布曲线与正态曲线偏离较远？

2)图主要说明什么问题？

3) 分布图与图关系如何？

4) 分析产生加工误差的主要因素有哪些？其中哪些是常值系统误差？哪些是变值系统误差？哪些是随机？如何从分布图及图中加以判断？

5) 分析工艺过程稳定（或不稳定）的原因。

6) 试编制一段计算机子程序（其功能可从下面列举的项目中任选其一），要求画出程序框图，写出源程序，并调试通过。

- ① 根据样本数据画直方图；
- ② 根据样本数据画分布曲线；
- ③ 根据样本数据画图；
- ④ 检验样组平均值与标准差的一致性。

提示：

- 1. 分布曲线可近似按黄金分割比例画。

· 为使分布曲线与直方图相协调，直方图的纵坐标应采用频率代替频数。

3. 使用计算机进行数据处理，可直接通过判断质量指标瞬时分布（由样组确定）的一致性来确定工艺过程的稳定性。而瞬时分布的一致性可用其特征值（平均值和标准差）的不变性来检验。在统计学中，常用方差分析来检验平均值的一致性（F 检验），其步骤如下：

① 计算统计量

式中各符号含义同前。

② 计算统计量

③ 计算统计量 F

④ 判断样组平均值的一致性

若各样组的平均值是一致的，则 F 遵从自由度  $f_1, f_2$  的 F 分布。于是，给出一定的置信度水平（通常取  $1-\alpha=95\%$ ），可确定其临界值。若计算的 F 值大于该临界值，说明各样组平均值不一致，也即说明工艺过程不稳定。

样组标准差一致性可用巴尔特列特准则来检验（检验），其步骤如下：

① 计算统计量

式中

② 判断样组标准差的一致性

若各样组的标准差是一致的，则遵从自由度  $f=Km-1$  的分布。于是，给出一定的置信度水平（通常取  $1-\alpha=95\%$ ），可确定其临界值。若计算的值大于该临界值，说明各样组标准差不一致，也即说明工艺过程不稳定。

只有当样组的平均值与标准差均无显著差异时，工艺过程才是稳定的。

实验设备和仪器

1. 普通车床 1 台；
2. 安装镗杆的专用刀架 1 个；
3. 削扁镗杆 1 根（结构形式参考图 4-76），圆镗杆 1 根，冲击式减振镗杆 1 根；
4. 不同几何角度的镗刀头若干个；
5. 动态电阻应变仪 1 台，示波器 1 台，电阻应变片 4 片（要求阻值相同）。
6. 测振仪 1 套。

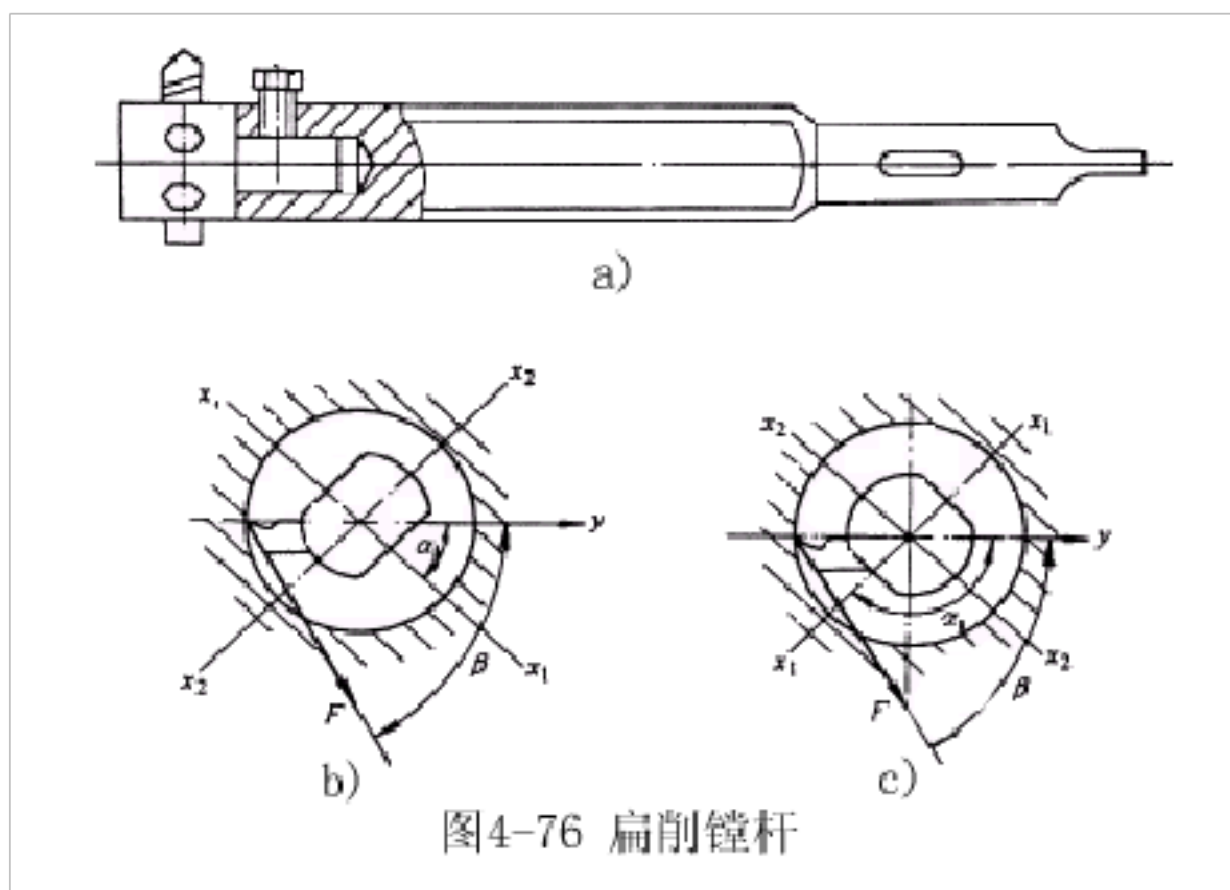


图4-76 扁削镗杆

## ● 实验步骤和方法

### 1. 观察镗杆自激振动刀尖运动轨迹

在圆镗杆根部垂直方向和水平方向上各相对粘贴两片电阻应变片，并将每对应变片按桥式电路接入动态应变仪，再将应变仪的输出引入示波器。试验前仪器要预热，应变仪要仔细调零。

选择合适的切削参数进行切削，使镗杆产生明显的自激振动，观察示波器上的图形，并粗略判断镗杆自激振动的频率。

### 2. 削扁镗杆切削稳定区的确定

安装削扁镗杆，改变镗杆的削扁方向（主振方向），每隔  $15^\circ$  切削一次。用测振仪测量镗杆的振幅，并记录。比较每次切削振动情况，找出稳定切削区。

切削条件可选取：刀具前角后角，主偏角，副偏角，主轴转数  $n=200\text{r/min}$ ，进给量  $f=0.1\text{mm/r}$ ，切削深度  $=0.3\text{mm}$ ，工件材料 45 钢，外径  $d=50\text{mm}$ 。

### 3. 镗杆自激振动的正交试验

安装圆截面镗杆，按表 4E2-2 选择试验因素和水平，并进行试验。记录试验结果，对试验结果进行分析，确定各因素影响的大小，并选取最佳的参数组合。

切削条件除变动因素外，可参照第 2 步试验条件。

### 4. 冲击块消振试验

安装冲击式减振镗杆，按第 2 步所列切削参数进行切削，比较不放冲击块、冲击块与孔壁间隙分别为  $0.02\text{mm}$ 、 $0.1\text{mm}$  和  $0.2\text{mm}$  等 4 种情况切削表面振纹的大小（也可用测振仪测量镗杆振动的振幅，并比较其大小）。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/825243131130011142>