



# 测试原理与技术

实验指导书

机械与动力工程学院

# 三坐标测量机测工件不确定度的实验

## 1、实验目的

了解三坐标测量机的测量原理，掌握仪器使用方法，加深对误差的理解。

## 2、实验设备

**三坐标测量机：**三坐标测量机是一种高效、新颖的精密测量仪器。它广泛应用于机械制造、仪器制造、电子工业、航空工业等各领域。

应用三坐标测量机可对直线坐标、平面坐标以及空间三维尺寸进行测量，可以测量球体直径、球心坐标、曲线曲面轮廓、各种角度关系以及凸轮、叶片等复杂零件的几何尺寸和形状位置误差。

三坐标测量机测量精度高，速度快，软件功能强大，是测量行业不可或缺的高级仪器。

本实验使用的是威申精密仪器（VGS）生产的 V3 696 型三坐标测量仪。



测量范围：x=600mm，y=900mm，z=600mm

示值误差：(2.5+L/300) μm，L 单位为 mm

结构特点：

机械整体结构采用刚性结构好、质量轻的全封闭框架移动桥式结构。其结构简单、紧凑、承载能力大、运动性能好。

固定优质花岗岩工作台：具有承载能力强、装卸空间宽阔、便捷的功能。

Y 向导轨：采用燕尾式，定位精度高，稳定性能好。

三轴采用优质花岗岩，热膨胀系数小，三轴具有相同的温度特性，因而具有良好的温度稳定性、抗实效变形能力，刚性好、动态几何误差变形小。

三轴均采用自洁式预载荷高精度空气轴承组成的静压气浮式导轨，轴承跨距大，抗角摆能力强，阻力小、无磨损、运动更平稳。

横梁采用精密斜梁设计技术（已获专利），重量轻、重心低、刚性强，动态误差小，确保了机器的稳定。

Z 轴采用气缸平衡装置，极大的提高了 Z 轴的定位精度及稳定性。控制系统采用德国知名的 SB 专用三坐标数控系统，具有国际先进的上下位机式的双计算机系统，从而极大地提高系统的可靠性和抗干扰能力，降低了维护成本。

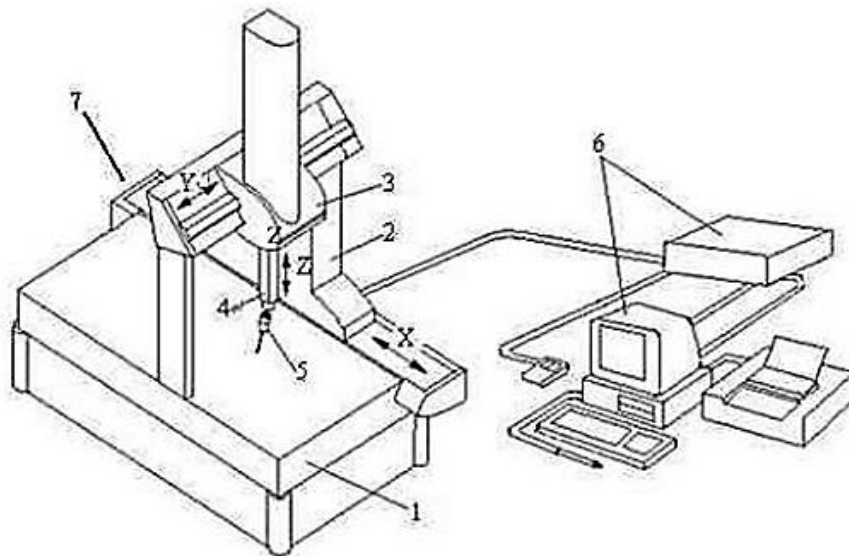
### 3、实验原理

坐标测量机测量原理：将被测物体置于三坐标测量空间，可获得被测物体各测点的精确地坐标位置值，根据这些点的空间坐标值，经计算机计算求出被测物体的精确地几何尺寸，形状和位置公差及其他几何数据。一般地，经过计算，可以拟合形成测量元素，如空间点、直线、圆、球、圆柱、圆锥、圆环、曲面等。

三坐标测量机的主要构成要素：

- 1) 主机机械系统（X、Y、Z 三轴或其他）；
- 2) 测头系统；
- 3) 电气控制硬件系统；
- 4) 数据处理软件系统（测量软件）；
- 5) 其他附件

如下图所示：



1—工作台 2—移动桥架 3—中央滑架 4—Z轴 5—测头 6—电子系统 7—辅助气源

#### 4、实验步骤

(1) 首先观察工作室内温、湿仪器的显示数据，如不在规定范围内，则应打开或关闭有关辅助设施，空调、除湿机等，将温度、湿度调整至 CMM 正常工作规定的温、湿度环境内。当温、湿度与 CMM 规定值相差较大时(如冬、夏二季)，空调应昼夜不间断运行，做到恒湿、恒温，以保持最佳测量工作环境。

(2) 在干燥机正常工作状态下，打开总进气阀，给储气罐充气，并打开气管的排气阀约 1 分钟左右，让气流将罐内的油、水、杂质冲出，检查气压表，核准压缩空气的压力。

(3) 关闭三坐标测量仪之前，应先打开储气罐的排气阀，将罐内的油、水、杂质等冲出，然后关上总进气阀门，将残留气体放光，并定期给空气压缩器和过滤器排水。

(4) 接通测量机稳压电源，检查电源输出电压，正常时打开工作电脑，开启控制柜钥匙，按下电源电极按钮。

(5) 测量机电脑测量软件 ARCO Quick，使其自动回零校准，打开(或新建)项目，开启测量工作。

(6) 电脑在运行测量软件时，严禁运行其他无关程序文件以及打印文件，否则会造成内存冲突，引起三坐标位置错误。

(7) 测头的校准一直保持有效性，若有以下情况:a 更换测量探针及红宝石

测尖；b 任何螺纹连接的地方松动过；c 测头与工件严重撞击；d 使用一段时间后(测量精密零件可能要求每天校正，测量板金件、铸件可以每周，甚至每月重新校正一次)。须重新校准测头。

(8) 编制自动测量程序时，必须按屏幕指示谨慎操作，运行时一定要先采用慢速。

(9) 如测量机或计算机等使用设备出现故障，应及时通知有关部门进行维修，切忌自行修理。

(10) 先关计算机，再关闭控制柜钥匙，切断整个系统电源及对测量机的气源供应。

## 5、实验要求

- (1) A 零件测量 2 个孔的直径及中心距，并求出相应的不确定度；
- (2) B 零件测量阶梯轴的两个圆柱面的直径并求其不确定度；
- (3) 对比测量值与设计值差别。
- (4) 实验报告要求完整，包括原始数据、测量过程、图表说明等。

## 6、思考题

- (1) 三坐标测量机为什么要建立零件坐标系？不建立行不行？
- (2) 为什么要对测头系统进行校验和补偿？

# 线轮廓度的测量实验

## 1、实验目的

了解线轮廓度的定义，掌握线轮廓度的测量方法，重点在于搭建能够测量线轮廓度的系统，完成测量和数据处理的任务，加深对误差的理解。

## 2、实验设备

基恩士 LK-G500 激光位移传感器、数控机床、计算机



基恩士 LK-G500 激光位移传感器

基恩士 LK-G500 激光位移传感器由激光器、激光检测器和测量电路组成。激光传感器是新型测量仪表，它的优点是能实现无接触远距离测量，速度快，精度高，量程大，抗光、电干扰能力强等。

规格参数：

参考距离：500 mm（扩散反射），497.5 mm（镜面反射）

光源：红色半导体激光，波长 655 nm，

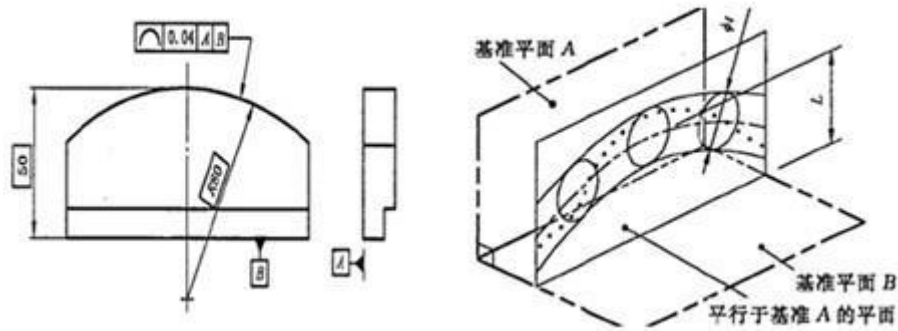
光点直径：约  $\phi 300 \mu\text{m}$

重复精度：2  $\mu\text{m}$

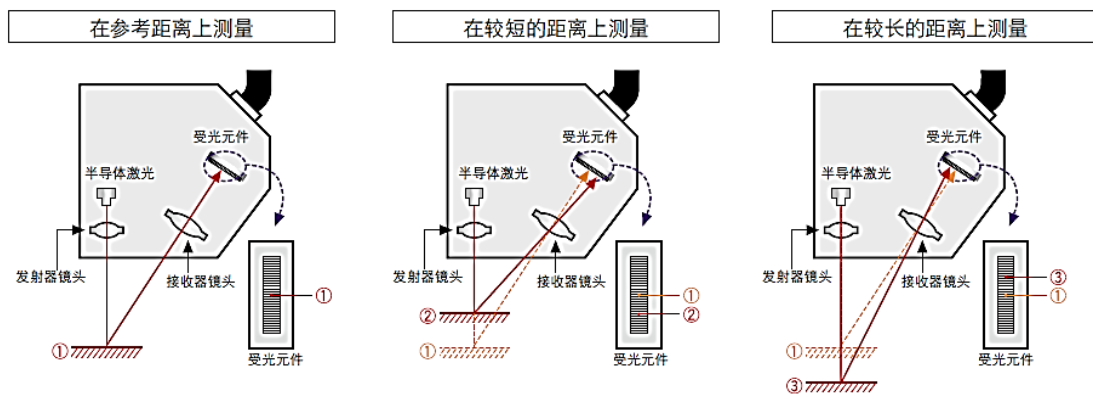
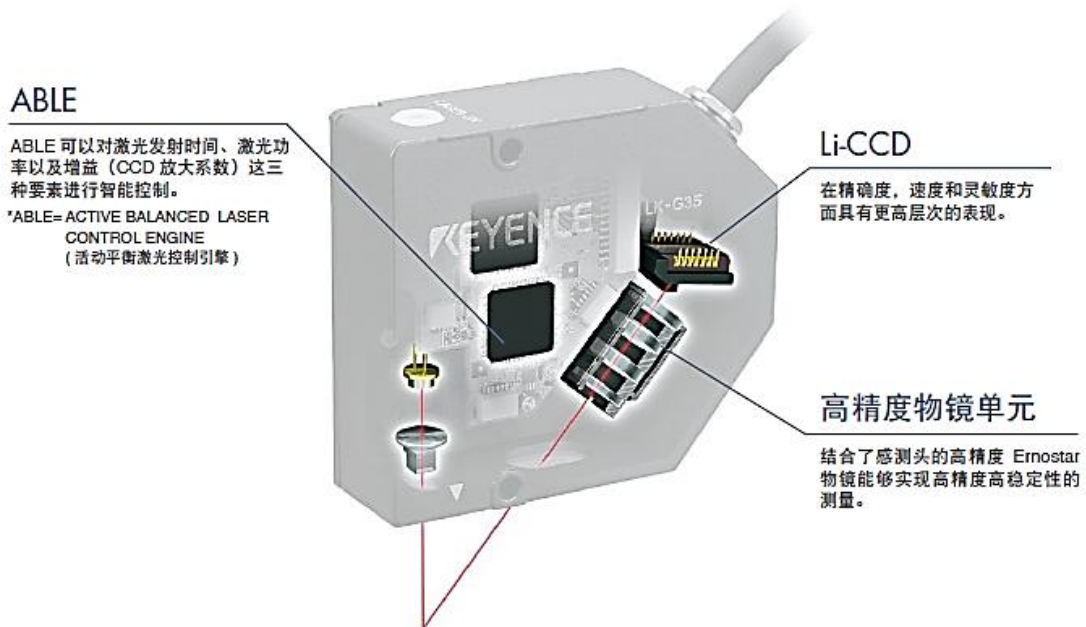
采样周期：20/50/100/200/500/1000  $\mu\text{s}$

## 3、实验原理

轮廓度：被测实际轮廓相对于理想轮廓的变动情况。线轮廓度公差是实际被测要素（轮廓线要素）对理想轮廓线的允许变动，如下图所示。



本实验采用仪器基恩士 LK-G500 激光位移传感器应用的是三角测量法，原理图如下：



半导体激光发出的光束照射在目标上，接收器镜头聚集目标反射的光线并在受光元件上聚焦。当与目标的距离产生变化时，穿过接收器镜头的反射光的角度也会随之变化，光线在受光元件上的另一位置聚焦。

#### 4、实验步骤

- 1) 应用三维建模软件进行建模;
- 2) 固定激光位移传感器;
- 3) 了解机床的工作原理,熟悉机床的操作;
- 4) 搭建实验平台,固定激光位移传感器和工件,连接各个部分;
- 5) 调试测试程序;
- 6) 设置测量参数;
- 7) 采集数据,进行处理。

#### 5、实验要求

较准确地测出所给工件的线轮廓度,完成测量实验报告,实验报告中要详述所用方案,包括方法,实验设备,原理,原始数据,图表说明等,附加必要的讨论与误差分析。

#### 6、思考题

影响测量精度的因素有哪些?如何提高测量精度?



# 大平面的平面度测量实验

## 1、实验目的

- 1) 了解平面度的定义，掌握平面度的测量方法。
- 2) 重点在于搭建能够测量平面度的系统，完成测量和数据处理的任务、
- 3) 加深对误差的理解。

## 2、实验设备



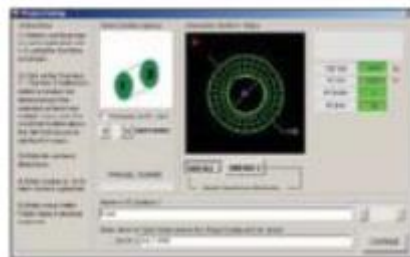
L-740 激光器



A-1519 数据测量靶



R-1308 读数器



Plane5 软件

超高精度激光平面度检测仪 L-740 带有一个连续扫描的激光面，用于检测和校正各种机械设备及部件的平面度。激光器基座上带有水平仪和俯仰角、滚动角调节旋钮，用于光路的粗略和精确调整。360° 扫描时，激光面的平面精度为 0.0025mm/M，90° 扫描时，激光面的平面精度为 0.0013mm/M，激光面的有效测量半径为 30.5M。水平仪带有发光功能，方便进行调节。激光器为二极管激光，功耗更小（小于 1mW），易于肉眼观察和安装操作。

用于各种设备及部件的平面度、平整度检测和校准，也适用于各种导轨及磁铁可吸附件的水平方向的直线度检查和校正；如果用户需要检测立面的平面度和立式导轨的直线度，请选用型号 L-732、L-733、L-742 或 L-743。

其特点如下：

- 1) 采用连续旋转的二极管激光面，有效工作半径为 30.5m。
- 2) 系统启动速度快，几乎无需预热。
- 3) 系统安装时间通常少于 10 分钟。
- 4) 360° 扫描时，激光面平面精度为 0.0025mm/M，90° 扫描时，激光平面精度为 0.0013mm/M。
- 5) 标配靶标：A-1519 单轴无线测量靶，探测范围 24.5mm，分辨率 0.0005mm。
- 6) 高精度靶标：A-1520 单轴无线测量靶，探测范围 10mm，分辨率 0.00025mm，用于精度要求更高的场合。
- 7) 标准发光水平仪的精度为 0.01mm/M，使用高精度分裂镜时其精度为 0.005mm/M。
- 8) 靶标实时动态显示测量数据。
- 9) 激光器和测量靶体积小，可置于手提箱中。
- 10) 电池或 AC 电源适配器供电。
- 11) 软件 Plane5 兼容微软 Windows 系统。
- 12) Plane5 软件可快速对平面度数据进行采集和分析。

标配构成：一台激光器、一个靶标、一个磁性基座、一套支撑杆、一套软件、一个数据采集棒、一个工具箱。

### 3、实验原理

平面度：实际平面相对理想平面的变动量，即被测平面具有的宏观凹凸高度相对理想平面的偏差。

平面度公差是实际表面对平面所允许的最大变动量。也就是用以限制实际表面加工误差所允许的变动范围。



平面度误差值的评定方法：

1) 最小区域判别准则：

由两个平行平面包容实际被测平面  $S$  时， $S$  上至少有四个极点分别与这两个平行平面接触，且满足下列条件之一：a、至少有三个高（低）极点与一个平面接触，有一个低（高）极点与另一个平面接触，并且这一个极点的投影落在上述三个极点连成的三角形内（三角形准则）；b、至少有两个高极点和两个低级点分别与这两个平行平面接触，并且高极点连线和低极点连线在空间呈交叉状态（交叉准则）；这两个平行平面之间的区域即为最小区域，该区域的宽度即为符合定义的平面度误差值。就是最高点与最低点的差值。如下图所示：



2) 对角线平面法：

以通过实际被测平面一条对角线（两个角点的连线）且平行另一条对角线（其余两个角点的连线）的平面作为评定基准，取各测点相对于它的偏离值中最大偏离值（正值或零）与最小偏离值（零或负值）之差作为平面误差值。

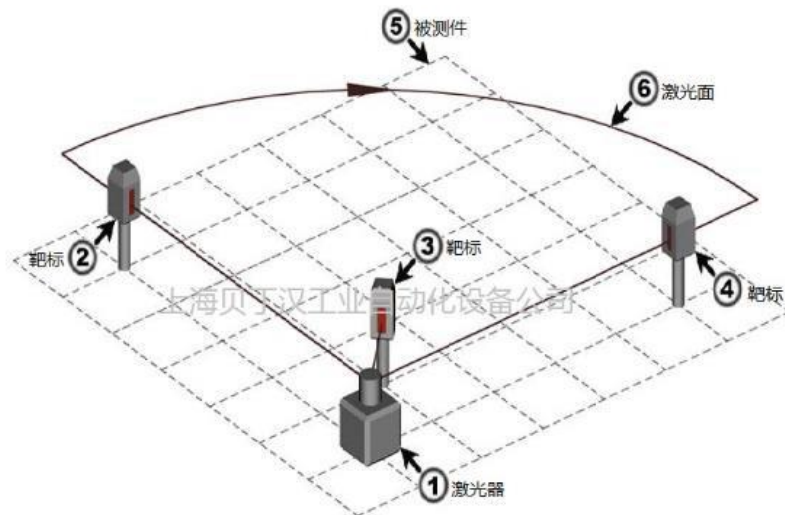
3) 三远点平面法

以通过被测平面上相距最远的三个点构成的平面作为评定基准，取各测点相对于它的偏离值中最大偏离值（正值或零）与最小偏离值（零或负值）之差作为平面度误差值。应当指出，由于从实际被测平面上选取相距最远的三个点有多种可能，因此按三远点平面法评定的平面度误差值

不是唯一的，有时候差别颇大。以此方法为例，介绍实验步骤。

#### 4、实验步骤（该步骤为三远点平面法步骤，其他方法可自行拟定）

- 1) 将 L-740 激光器放在被测工件的一个角上(或中心位置)；
- 2) 将探测靶放在靠近激光器的 3 位置，将探测靶数据清零；
- 3) 将探测靶移动到 4 位置，调整激光器角度，直到探测靶的读数为零；
- 4) 重复上述过程，直到探测靶在 3 和 4 的读数都为零为止；
- 5) 将探测靶移动到 2 位置，调整使探测靶在三个参考点的读数都为零；
- 6) 让激光照射到靶标中间的 PSD 传感器上；
- 7) 将靶标在被测工件上不同的位置点移动；
- 8) 通过 Plane5 软件对靶标在不同位置点的数据进行采集；
- 9) 所有位置点数据采集完成后，软件自动生成被测工件的检测结果三维示意图。



#### 5、实验要求

较准确地测出所给工件的平面度，完成测量实验报告，实验报告中要详述所用方案，包括方法，实验设备，原理，原始数据，图表说明等，附加必要的讨论与误差分析。

#### 6、思考题

- 1) 比较分析各种方法的优缺点，说明为何采用所选方法。
- 2) 你所选方法的误差来源有哪些并作出分析。

# 切削力测量实验

## 1、实验目的

- 1) 了解切削测力仪的工作原理和测力方法和实验系统；
- 2) 掌握背吃刀量  $a_p$  进给量  $f$  和切削速度  $v_c$  对切削力的影响规律；

## 2、实验设备



Kistler 9257B 型多分量测力仪



德玛吉 DMU50 联动数控加工中心

Kistler 9257B 型多分量测力仪由 4 个三向压力传感器组成。每个传感器含有三组石英片，分别对 X、Y、Z 三个方向的力变化敏感，而自身几乎不发生位移变化。能进行力的三个正交分量的动态和准静态测量，并实现车削、铣削、磨削等过程的实时力测量。

主要技术参数：

测力范围： $F_x$ 、 $F_y$ 、 $F_z$  -5—5 kN

阈值： $< 0.01$  N

敏感度： $F_x$ 、 $F_y \approx -7.5$  pC/N  $F_z \approx -3.7$  pC/N

固有频率： $\approx 3.5$  kHz

德玛吉 DMU50 联动数控加工中心为五轴机床，能够实现三个方向的直线运动以及两个方向的转动，本实验主要用其实现三个方向的直线运动。

主要技术参数：

加工范围：X/Y/Z 500/450/400 mm

转速范围：20-14000 rpm

X/Y/Z 轴快移速度：30 m/min

X/Y/Z 轴最大进给力：4.8 kN

工件装夹面：700×500 mm

最大承重：500 kg

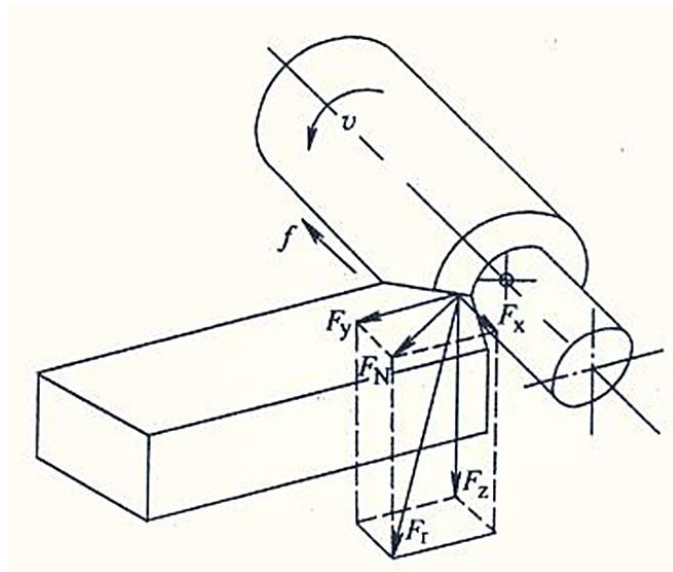
### 3、实验原理

切削力为切削加工时，刀具切入工件，使被加工材料发生变形并成为切屑所需的力。

切削力的来源主要有以下3类：

- 1) 克服被加工材料弹性变形的抗力；
- 2) 克服被加工材料塑性变形的抗力；
- 3) 克服切屑与前刀面的摩擦力、后刀面与过渡表面和已加工表面之间的摩擦力。

由切屑变形过程所需各力的总和，形成作用在刀具上的合力  $F$ 。为了便于测量与应用， $F$  可分解为相互垂直的三个分力（矢量关系）。



主切削力  $F_z$ ：过渡表面相切并与基面垂直。用于计算刀具强度、设计机床零件、确定机床功率等。

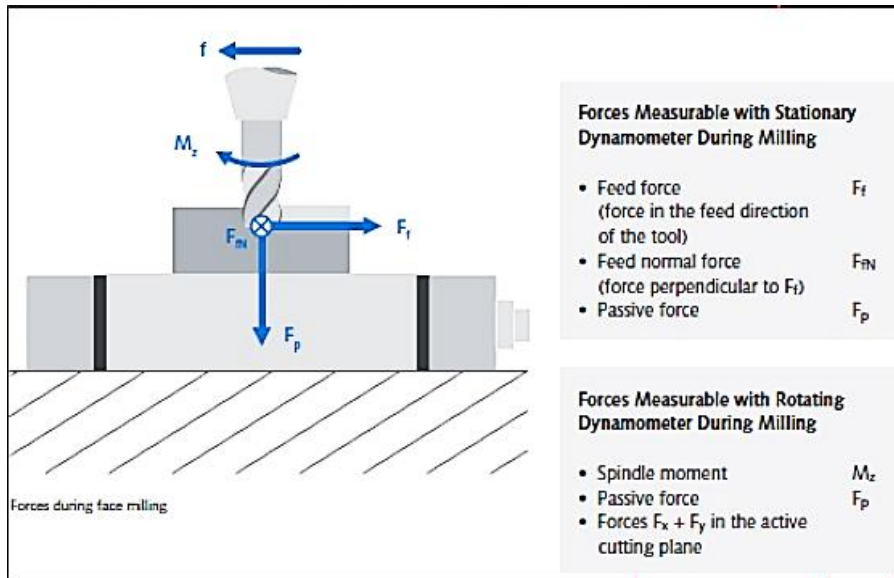
进给力（轴向力） $F_x$ ：处于基面内并与工件轴线平行，方向与进给方向相反。

用于设计进给机构、计算进给运动功率等。

背向力（径向力） $F_y$ ：处于基面内并与工件轴线垂直。用于计算工件挠度、刀具强度、机床零件强度等。使工件在切削过程中产生振动的主要因素之一。

在铣削过程中，工件所受切削力可分解为下图所示的三个方向的力，即

$F_f$ 、 $F_{fN}$ 、 $F_p$ 。



切削力的测量方法主要有两种：

1) 经验公式估算

$$F_z = C_{F_z} a_p^{x_{F_z}} f^{y_{F_z}} v^{n_{F_z}} K_{F_z}$$

$$F_y = C_{F_y} a_p^{x_{F_y}} f^{y_{F_y}} v^{n_{F_y}} K_{F_y}$$

$$F_x = C_{F_x} a_p^{x_{F_x}} f^{y_{F_x}} v^{n_{F_x}} K_{F_x}$$

式中  $C_{F_z}$ 、 $C_{F_y}$ 、 $C_{F_x}$  ——系数，由被加工材料性质和切削条件所决定；

$x_{F_z}$ 、 $y_{F_z}$ 、 $n_{F_z}$ 、 $x_{F_y}$ 、 $y_{F_y}$ 、 $n_{F_y}$ 、 $x_{F_x}$ 、 $y_{F_x}$ 、 $n_{F_x}$  ——背吃刀量  $a_p$ 、进给

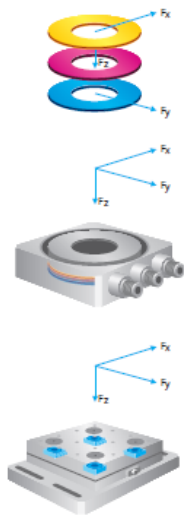
力  $f$  和切削速度  $v$  的指数；

$K_{F_z}$ 、 $K_{F_y}$ 、 $K_{F_x}$  ——当实际加工条件与求得经验公式的条件不符时，

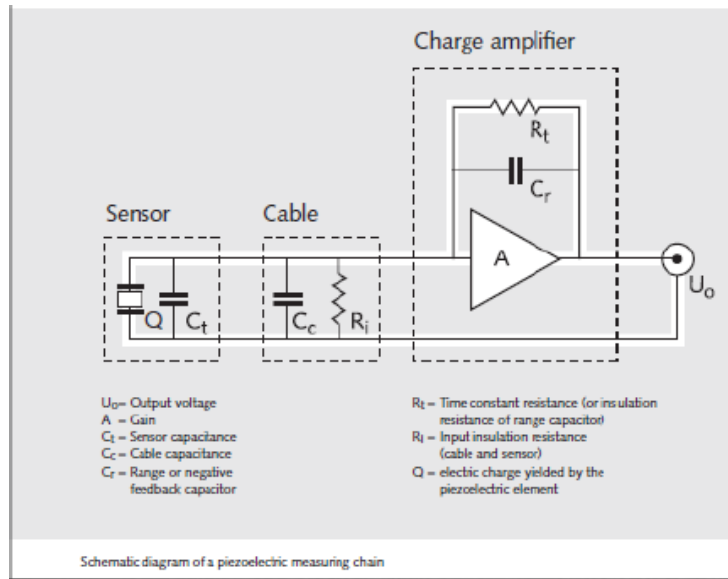
各种因素对切削力的修正系数的积。

2) 传感测力仪器测量

Kistler 9257B 型多分量测力仪应用的是压电传感器。压电传感器的输出电荷经过一定的电路处理放大得到较理想的电信号。电信号与施加的力有一定的对应关系，通过测量电信号的大小来得到所受力的大小。



内部结构



原理图

#### 4、实验步骤

- 1) 按实验指导教师讲解安装工件并连接实验仪器；
- 2) 熟悉切削力采集软件的操作；
- 3) 进行不改变进给量及切削速度，只改变背吃刀量单因素切削力实验；
- 4) 进行不改变进给量及背吃刀量，只改变切削速度单因素切削力实验；
- 5) 进行不改变背吃刀量及切削速度，只改变进给量单因素切削力实验；
- 6) 将采集到的实验数据进行整理分析。

#### 5、实验要求

生成实验报告，要求给出切削力随背吃刀量  $a_p$  进给量  $f$  和切削速度  $v_c$  的变化规律，并给出相应的图表说明，可以附加实验中发现的问题及讨论。

#### 6、思考题

- 1) 如何通过所测信号监测颤振及刀具磨损？
- 2) 有哪些因素会导致本实验的误差？你对本实验有何改进意见？



# 悬臂梁的测量实验

## 1、实验目的

- 1) 选择传感器，掌握相关传感器的测量原理、安装及使用方法。
- 2) 设计一个测试悬臂梁固有频率的自动测试系统，测出悬臂梁的固有频率和结构阻尼系数，熟悉基本的数据处理方法。
- 3) 了解小阻尼结构的衰减自由振动形态；

## 2、实验设备

本实验为开放性实验，根据自己选择的方法来选取相应的设备，需要的设备可以跟指导老师协商。可采用的方法有很多，如应变片，位移传感器，加速度传感器等。

以加速度传感器为例，所需实验设备有：

- 1) 悬臂梁实验台
- 2) 加速度传感器
- 3) 加速度传感器变送器
- 4) 数据采集仪
- 5) 开关电源
- 6) 脉冲锤
- 7) 5 芯对等线

## 3、实验原理

悬臂梁：梁的一端为不产生轴向、垂直位移和转动的固定支座，另一端为自由端。在工程力学受力分析中，比较典型的简化模型。在实际工程分析中，大部分实际工程受力部件都可以简化为悬臂梁。

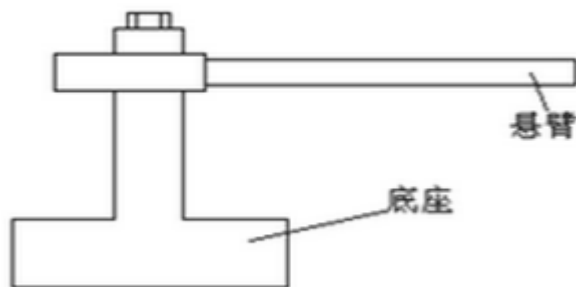


图 1. 悬臂梁

**固有频率：**固有频率也称为自然频率(natural frequency)。物体做自由振动时，其位移随时间按正弦或余弦规律变化，振动的频率与初始条件无关，而仅与系统的固有特性有关（如质量、形状、材质等），称为固有频率，其对应周期称为固有周期。

**阻尼：**阻尼是指任何振动系统在振动中，由于外界作用或系统本身固有的原因引起的振动幅度逐渐下降的特性，以及此一特性的量化表征。

测试原理：

1) 瞬态信号可以用三种方式产生，有脉冲激振，阶跃激振，快速正弦扫描激振。

2) 脉冲激励

用脉冲锤敲击试件，产生近似于半正弦的脉冲信号。信号的有效频率取决于脉冲持续时间  $\tau$ ， $\tau$  越小则频率范围越大。

3) 幅值：幅值是振动强度的标志，它可以用峰值、有效值、平均值等方法来表示。频率：不同的频率成分反映系统内不同的振源。通过频谱分析可以确定主要频率成分及其幅值大小，可以看到共振时的频率，也就可以得到悬臂梁的固有频率

4) 阻尼比的测定

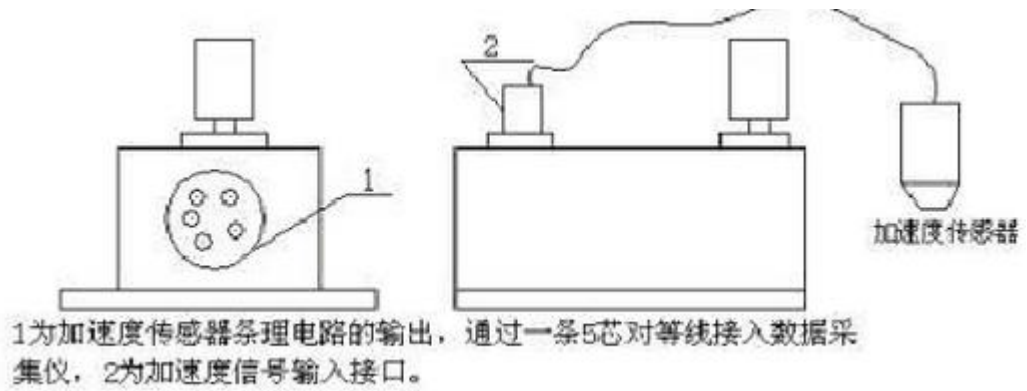
**自由衰减法：**在结构被激起自由振动时，由于存在阻尼，其振幅呈指数衰减波形，可算出阻尼比。

此方法只是提供一种思路，所需设备较复杂，可自行选取较简单的方法测量。

#### 4、实验步骤

事先查阅悬臂梁固有频率的测量方法，自主设计实验拟好方案，按步骤进行。

以本指导书所举方法为例，将加速度传感器安装在悬臂梁前端的安装孔上，然后将加速度传感器与变送器相连，变送器通过 5 芯对等线与数据采集仪 1 通道连接，数据采集仪通过并口电缆与 pc 机并口连接，加速度传感器调理电路模块接线如下图所示。在保证接线无误的情况下，可以开始进行实验。



加速度传感器调理电路接线示意图

## 5、实验要求

- 1) 报告中要求详述自己的设计方案，包括设备，步骤，原理等，记录数据结果，算出固有频率和阻尼系数。
- 2) 给出相应的图表说明，可以附加实验中发现的问题及讨论。

## 6、思考题

- 1) 若要了解振动对机械的影响，如何选择测点位置？
- 2) 在实际的工程测试中，怎样消除环境带来的低频或高频振动的影响？

# 水温测量实验

## 1、实验目的

- 1) 掌握热电偶或热电阻的测量原理，安装及使用方法。
- 2) 采用热电偶或热电阻搭建基于 Labview 的温度测量系统，完成所给编号的水在 10 分钟内降温过程的温度测量。
- 3) 了解配套软件的使用，熟悉基本的数据处理方法。

## 2、实验设备

选择热电偶或热电阻进行测量，需要的设备可以跟指导老师协商。

以热电偶传感器为例，所需设备有

- 1) 水
- 2) 烧杯
- 3) 热电偶
- 4) 数据采集模块
- 5) PC 机等

该实验装置误差为 $\pm 1\%$ ，应在周围无强磁场、温度为 $10\sim 35^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $\leq 85\%$ 的环境中使用。

## 3、实验原理

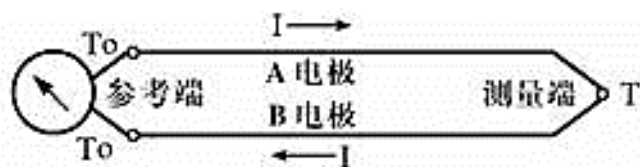
传热原理：传热过程是一种复杂的物理现象，按物理本质的不同，将其分为三种基本的传热形式：传导、对流、辐射。

- 1) 传导传热现象是指物体内部相邻部分间的热量传递；
- 2) 对流现象只能在气体或液体中出现，它是借温度不同的各部分流体发生扰动和混合而引起的热量转移。因此，流体的运动特性对对流传热有重要影响，由导热的特点可见，在对流的同时，流体内部也有传导存在；
- 3) 辐射传热是通过电磁波实现的，热能转化为辐射能，被物体吸收的辐射能又转化为热能。

因此，这种传热方式不仅进行能量传递，而且还伴随着能量形式的转化。

热电偶工作原理：两种不同成份的导体两端接合成回路，当两接合点的温度不同时，在回路中就会产生电动势，这种现象称为热电效应，而这种电动势称为

热电势。热电偶就是利用这种原理进行温度测量的，其中，直接用作测量介质温度的一端叫做工作端（也称为测量端），另一端叫做冷端（也称为补偿端、自由端、参考端）；冷端可以是室温值也可以是经过补偿后的  $0^{\circ}\text{C}$ 、 $25^{\circ}\text{C}$  的模拟温度场。冷端与显示仪表或配套仪表连接，可显示测得的热电势。



国际上，将热电偶的 A、B 热电极材料不同分成若干分度号，如常用的 K (镍铬-镍硅或镍铝)、E (镍铬-康铜)、T (铜-康铜) 等等，并且有相应的分度表，即参考端温度为  $0^{\circ}\text{C}$  时的测量端温度与热电动势的对应关系表。

从热电偶的测温原理可知，热电偶测量的是测量端与参考端之间的温度差，必须保证参考端温度为  $0^{\circ}\text{C}$ ，才能利用热电偶分度表查得热电势对应的温度，而实际测量时，环境温度  $T_0$  (不为  $0$ )。对此，有如下关系式：

$$E(T,0) = E(T,T_0) + E(T_0,0)$$

其中  $E(T,0)$  —— 测量端温度为  $T$ ，参考端为  $0^{\circ}\text{C}$  时的热电势

$E(T,T_0)$  —— 测量端温度为  $T$ ，参考端为  $T_0$  时的热电势

$E(T_0,0)$  —— 测量端温度为  $T_0$ ，参考端为  $0^{\circ}\text{C}$  时的热电势

热电偶校验有两种方法：定点法和比较法，后者常用于校验工业用和实验室用热电偶。

比较法校验热电偶是以标准热电偶和被校热电偶测量同一稳定对象的温度来进行的。本实验采用高温专用管式电炉作为被控对象，用温控器使电炉温度自动稳定在预定值上。通过实验得出被校热电偶的热电特性，即得出热电偶冷端处于  $0^{\circ}\text{C}$  时热电偶热端温度  $T (^{\circ}\text{C})$  与输出热电势 ( $\mu\text{V}$ ) 之间的关系曲线。

#### 4、实验步骤

根据所选传感器的不同使用方法，在实验指导老师要求下，连接相应模块，按步骤进行测量。以热电偶为例，步骤如下。

- 1) 从老师处取相应编号的盛有水的烧杯

- 2) 根据热电偶测温原理，正确接线，组建热电偶测温系统。
- 3) 检查实验室供电插座的电源极性与数据采集模块的电源输入插头的极性是否相符。正确的做法是：插头红色线接电源相线；绿色线接中性线；黑色线接地保护。
- 4) 检查工作模块上各开关的初始状态：把电源开关扳向下方呈断电状态。
- 5) 接通电源，进行 10 分钟内水温变化的测试。
- 6) 采用 PC 机通过 Labview 或其他软件进行数据储存。
- 7) 检查数据是否齐全和合理，如无问题，则可进行实验设备的整理和恢复。

## 5、实验要求

- 1) 报告中要求表示出 10 分钟内所给编号的水温随时间的变化过程，完成测量实验报告。
- 2) 实验报告中要详述所用方案，包括方法，实验设备，原理，原始数据，图表说明等，附加必要的讨论与误差分析。

## 6、思考题

- 1) 实验中哪些环节易引起误差？
- 2) 冷端温度补偿一般可采用哪些方法？