

# 机械工程基础实验

## 实验报告



姓 名:	刘侃
学 院:	机械工程学院
专 业:	机械工程
学 号:	3220103259
分 组:	组 10

浙江大学机械工程实验教学中心

2024 年 9 月

## 实验二 粗糙度测量

### 一、实验目的

1. 了解光切法显微镜、表面粗糙度测量仪、表面轮廓测量仪的测量原理；
2. 掌握仪器的使用方法；
3. 熟悉表面粗糙度的评定标准。

### 二、实验原理

1. 光切法显微镜：利用光源通过小缝投射到工件表面，观察光带影像，通过测量影像高度计算表面粗糙度。
2. 表面轮廓测量仪：传感器沿工件表面滑行，记录测针位移量，计算表面轮廓的坐标数据，精确测量粗糙度、波纹度等参数

### 三、实验内容（含设备、步骤）

实验设备：

光切法显微镜

实验步骤：

#### 1. 校准仪器：

使用标准刻尺校正光切法显微镜的目镜千分尺刻度值。将标准刻尺放在物镜下，调整工作台和横臂，使光束照亮刻尺。使用调焦手轮使刻尺影像清晰。

转动刻度套筒，使十字线的交点与刻尺的某一条刻线对齐，记录目镜的读数。然后，移动十字线与另一条刻线对齐，记录套筒转过的格数，计算 E 值。

#### 2. 更换测量工件：

校准完毕后，换上清洁过的工件。再次调整光切法显微镜的焦距，确保工件表面的影像清晰可见。

#### 3. 测量工件表面粗糙度：

选择取样长度，沿着工件表面测量光带影像的最高点和最低点的读数。

使用公式  $R_z = E \times (h_{max} - h_{min})$ ，计算工件表面的粗糙度  $R_z$  值。

#### 4. 记录测量结果：

将每个工件的  $R_z$  值记录到实验报告中，分析测量结果的精度和稳定性。

实验设备：

表面轮廓测量仪（2300A-R 型）

## 实验步骤

### 1. 开机与初始化：

打开表面轮廓测量仪和计算机，启动测量控制软件。

使用测量台将工件放置到合适的位置，调节测针使其接触到工件表面，并确保测针的初始位置与工件测量表面相对合适。

### 2. 设置测量参数：

在软件中设定测量范围、测量速度、取样长度、评定长度、滤波器等参数，确保参数设置符合实验要求。

### 3. 测量工件表面轮廓：

通过电箱控制测针沿工件表面滑行，传感器同步采集表面微观轮廓数据。

软件实时显示测量曲线，测量过程可以通过点击“停止”按钮随时中断。

### 4. 分析测量结果：

测量结束后，软件会自动处理数据，生成工件表面的轮廓图及相关参数。

将测量数据导出并记录在实验报告中，分析工件表面轮廓是否符合粗糙度标准。

（“一、实验目的、二、实验原理、三、实验内容”合计篇幅限定 2 页以内）

## 四、实验结果

见最后几页。

## 五、粗糙度测量实验思考题：

1. 在光切法测量时，为什么只能用光带的同一边界上的最高点和最低点计算  $R_z$ ，而不能用不同边界上的最高点和最低点计算？

在光切法测量中，光带是通过反射形成的表面轮廓影像，这个影像在同一边界上反映的是工件表面的真实起伏。如果选择同一边界的最高点和最低点，测量的就是相同投影平面内的表面高度差，这可以准确反映表面粗糙度  $R_z$  值。而不同边界的最高点和最低点中间还有光带的宽度，无法准确反映出实际表面粗糙度。

2. 测量方向与加工纹理方向之间的相互关系是什么？

测量方向与加工纹理方向的关系对粗糙度测量结果有很大影响。一般来说，测量应当沿与加工纹理垂直的方向进行，因为这样可以准确反映工件表面的起伏。如果测量方向与加工纹理方向平行，测量结果可能低估了实际的粗糙度，因为在平行方向上，测针的运动与表面起伏变化较小，不易捕捉到真实的表面高低变化。

3. 除本实验所用的两种粗糙度测量仪外，再举例一种其他类型的粗糙度测量仪器，简要说明其测量原理和优缺点。

一种其他类型的粗糙度测量仪是激光干涉式表面粗糙度测量仪。其原理是利用激光干涉现象来测量表面的微观形貌，激光束投射到工件表面后，反射回来的光束与参照光束发生干涉，根据干涉条纹的变化，可以精确测量表面的微观高度变化。

优点：非接触式测量，适用于非常光滑或柔软的表面；测量精度高，可达纳米级别，适用于极高精度的表面测量。

缺点：对表面清洁度要求较高，表面污渍会影响激光反射；测量设备较为昂贵，操作复杂。

## 实验三 齿轮测量

### 一、实验目的

1. 理解设备的测量工作原理。
2. 掌握齿轮综合测量的设备操作步骤与流程。

### 二、实验原理

在本实验中，我们将利用单盘式渐开线检查仪或 3040A 型齿轮测量中心对渐开线齿轮的几何偏差进行测量。其工作原理基于渐开线生成原理，产生一个理论渐开线轨迹，并与实际齿廓进行比较，评定其几何偏差。

#### 1. 单盘式渐开线检查仪

利用摩擦力使基圆盘与直尺纯滚动，测头沿渐开线运动轨迹滑动，当与齿廓接触时，测头的移动反映齿廓的误差，通过测量系统显示齿廓偏差。

#### 2. 3040A 型齿轮测量中心

采用电子展成法，通过电感测头沿齿廓法线移动，与圆光栅编码器和长光栅编码器同步采样，计算出齿轮齿廓偏差、螺旋线偏差等几何误差。

### 三、实验内容（含设备、步骤）

实验设备：

单盘式渐开线检查仪

实验步骤

#### 1. 设备准备

先检查仪器各部分是否完好。尤其是基圆盘和测头部分，确保其清洁和无明显损坏。

打开单盘式渐开线检查仪，确保基圆盘与被测齿轮同轴，基圆盘直径与被测齿轮的基圆直径相等。

#### 2. 测量齿廓偏差

转动横向手轮，将横向滑架移到零线位置。此时，游标应与刻度尺上的零线对准，表示测头的中心通过基圆盘中心。

对准被测齿轮的齿槽，缓慢转动纵向手轮，使纵向滑架移动，直到基圆盘与直尺接触。此时施加适当的压紧力以确保基圆盘保持与直尺的纯滚动。

#### 3. 测量设置

根据齿廓测量的需求，选择测量左侧齿廓或右侧齿廓，并将扭簧仪调零。

转动横向手轮，依次在每移动 2mm 的情况下进行读数，读取刻度尺上的数据并记录测量系统的偏差值。

测量过程中，测头应始终保持与齿廓的接触，逐点采集齿廓偏差数据，直至整个齿廓的测量结束。

#### 4. 数据记录和分析

完成测量后,根据测得的各点的齿廓偏差数据,绘制渐开线展开长度与偏差量的曲线图。

分析曲线图,确定齿廓的精度等级或判定是否符合规定精度要求。根据  $\Delta Fa$  数值评定齿轮精度或合格性。

#### 实验设备:

##### 3040A 型齿轮测量中心

#### 实验步骤

##### 1. 设备准备与启动

启动 3040A 型齿轮测量中心并启动测量软件。确保被测齿轮安装稳固,装夹齿轮时,使用上顶尖压紧齿轮芯杆。

调整测量立柱的位置,确保电感测头与被测齿轮处于正确的初始位置。

##### 2. 测量准备与参数设定

在测量软件中选择“外圆柱齿轮”选项,进入测量主界面。调整操纵杆,使电感测头接近齿轮芯棒并校正机器零点。

设置齿轮的关键参数,包括齿数、模数、压力角、螺旋角等,同时输入测量日期和操作人员信息。

在参数设置界面中选择测量速度、项目(齿廓偏差、螺旋线偏差、齿距偏差、径向跳动)等,确保一次装夹可以进行多个测量项目的综合测量。

##### 3. 齿轮几何误差测量

使用操纵杆调整电感测头的初始位置,确保测头位于齿轮外径以外的合适位置,以减少测量时间。

按下测量按钮,电感测头将自动沿渐开线的法线移动,同时齿轮同步转动。长光栅与圆光栅编码器将同步采样,记录齿轮的齿廓偏差、螺旋线偏差、齿距偏差和径向跳动等数据。

测量过程中,设备将自动完成各项目的测量,微机控制系统会对数据进行实时处理。

##### 4. 数据记录与误差分析

测量完成后,测量中心将自动生成数据报告,报告中详细列出各个项目的测量结果。

操作者根据测得的齿廓偏差、螺旋线偏差等结果,分析齿轮加工精度,判断是否需要调整加工工艺参数。

最后,记录实验结果,并将测量数据输入实验报告,附上相应的误差曲线图和分析报告。

(“一、实验目的、二、实验原理、三、实验内容”合计篇幅限定 2 页以内)

#### 四、实验结果

见最后几页。

## 五、齿轮测量实验思考题：

### 1. 齿廓偏差对齿轮传动质量有何影响？

齿廓偏差是指齿轮实际齿形与理想齿形之间的差异，它会对齿轮传动的质量产生显著影响。其主要影响包括：

- 传动误差增加

齿廓偏差会导致齿轮在啮合过程中不能实现平稳的运动，增加了传动误差，进而影响传动的精度。这在高精度传动场合，如精密机械和仪器中，尤为关键。

- 传动噪声增大

由于齿廓偏差导致的接触不良或接触不均匀，齿轮在传动过程中会产生振动和冲击，从而增大传动噪声，影响设备的平稳运行。

- 磨损加剧

齿廓偏差会使齿轮啮合不正常，接触应力集中在某些部位，导致局部过度磨损，从而缩短齿轮的使用寿命。

- 承载能力降低

偏差导致接触面减小，齿面承载不均匀，降低了齿轮的承载能力，容易引发齿轮失效或损坏。

- 传动效率降低

由于齿廓偏差引起的摩擦和滑动增加，传动效率会有所下降，进而影响整个机械系统的能量利用率。

### 2. 3040A 型齿轮测量中心不同于机械传动式的齿轮测量仪器，采用电子展成的方法进行齿轮测量，试简要论述电子展成法与机械展成法的测量原理。与机械展成法相比，电子展成法有什么特点？

#### 机械展成法的测量原理：

机械展成法是通过机械传动来模拟齿轮的实际啮合过程，通常采用展成运动将齿轮与标准齿轮啮合，从而检测齿轮齿廓或其他几何参数。机械展成法依赖于精密的机械结构，通过齿轮的运动反映齿轮加工质量。

#### 电子展成法的测量原理：

电子展成法采用电子传感器和计算机控制系统模拟齿轮的展成运动过程，利用高精度的传感器采集齿轮的齿廓信息，并通过计算机分析齿轮的几何形状。它通过电子信号代替传统的机械传动，能够更精确地捕捉齿轮的微小偏差和其他参数。

#### 电子展成法的特点：

- 精度高

电子展成法依靠高精度传感器和计算机算法，测量精度较高，能够检测到机械方法难以捕捉的微小偏差。

- 自动化程度高

电子展成法能够与现代自动化测量系统集成，实现全自动化检测，提高生产效率。

- 效率高

电子展成法在测量速度和效率上有明显优势，适合大批量的齿轮检测。

- 灵活性强

电子展成法可以通过调整测量程序来适应不同的齿轮种类和规格，适应性强。

#### 四、实验结果

##### 1、光切法显微镜测量

$$\text{目镜千分尺每格示值} E = \frac{TZ}{2A} = \frac{10Z}{2A} = 0.624 \mu\text{m}$$

Z——十字线在标准刻尺上移动的格数  $Z=50$

T——标准刻尺的刻度值 ( $10 \mu\text{m}$ )

A——目镜千分尺转过的格数  $A_1=25.6 \text{ mm}$   $A_2=26.3 \text{ mm}$   $0 \sim 4$   $A=400.7 \text{ 格}$

测量位置	目镜千分尺 读数 (格)	读数最大值/ 最小值 (格)	高度最大值 $L_0$ (格)	轮廓最大高度 $R_z$ ( $\mu\text{m}$ )
五个高峰	$h_2$	114.7	$L_0 = (L_2 - L_1)$ $= 85.2$	$R_z = L_0 E$ $= 53.16$
	$h_4$	108.8		
	$h_6$	127.2		
	$h_8$	118.2		
	$h_{10}$	112.5		
五个低谷	$h_1$	<del>78.0</del> 48.1	$L_1 = \text{Min}(h_1, h_3, h_5, h_7, h_9)$ $= 42.0$	
	$h_3$	<del>86.5</del> 53.9		
	$h_5$	<del>84.1</del> 60.5		
	$h_7$	42.0		
	$h_9$	46.9		

结论: 评定  $R_z = 53.16 \mu\text{m}$

完成日期	班 级	学生姓名	指导教师
2024.9.27	机械2207	10-7 刘侃	李瑞森 李品



## 2、表面轮廓测量仪测量

取样长度 0.8 mm评定长度 4 mm测量范围 40  $\mu\text{m}$ 

	Ra ( $\mu\text{m}$ )	Rz ( $\mu\text{m}$ )
1	<del>0.4454</del> 0.4647	<del>2.6599</del> 2.8261
2	0.4486	2.7732
3	0.4027	2.6903
4	0.5211	2.9618
5	0.5370	3.3128

完成日期	班 级	学生姓名	指导教师
2024.9.27	机械2207	10-7 刘侃	李瑞森 李瑞森

## 四、实验结果

## 1、齿形测量

齿轮压力角  $\alpha = 20^\circ$  模数  $M = 4$  mm, 齿轮精度等级为 7 级

齿数  $Z = 21$  齿廓公差值  $F_a = 14$   $\mu\text{m}$

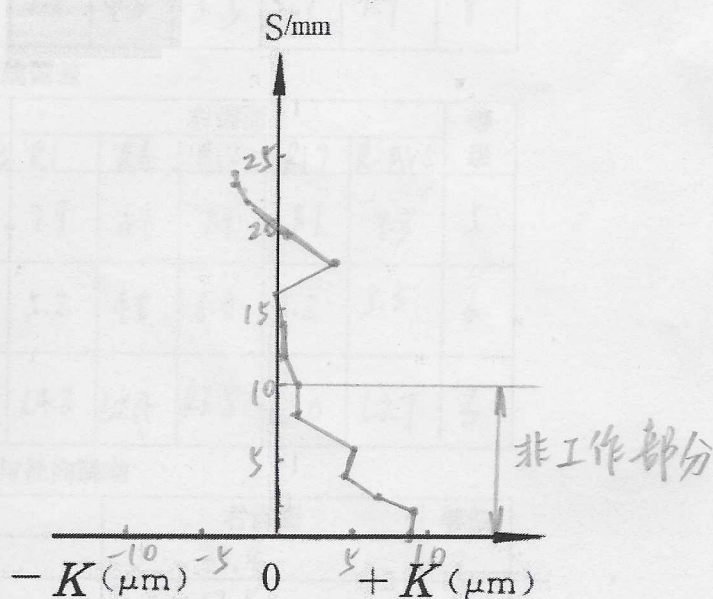
基圆半径  $r_b = \frac{mZ}{2} \cos \alpha = 39.467$  mm 测头半径  $d_0 = 1.5$  mm

检验结果:

齿轮号	序号	指示表指示偏差 ( $\mu\text{m}$ ) 及展开长度														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
齿 1 轮廓	展开长度	0	2	2.7	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22.0	23	23.6
	指示表读数	8.9	9.2	6.9	4.5	5.0	1.1	1.1	0.2	0.1	-0.1	4.0	0.5	-2.7	-3.8	-3.8
齿 2 轮廓	展开长度															
	指示表读数															

齿廓实际偏差  $\Delta F_a = 7.8$   $\mu\text{m}$

适用性结论:



展开长度  $S$  与指示表指示偏差  $K$  分布图

完成日期	班 级	学生姓名	指导教师
2024.9.27	机械2207	10-7 刘侃	李长



## 2、齿轮综合测量

被测齿轮参数:

序号	参数名称	参数值	备注
1	旋向	直齿	左旋/右旋/直齿
2	模数	4	mm
3	齿数	22	
4	压力角	20	°
5	齿宽	25	mm
6	变位系数	0	
7	螺旋角	0	° , "
8	分度圆直径	44	计算
9	基圆直径	41.346475	计算
10	齿顶圆直径	96	计算
11	齿顶展开长度	24.381735	计算

测量结果记录:

齿廓偏差

参数	左齿面					右齿面					等级
	L1	L6	L12	L17	L-AVG	R1	R6	R12	R17	R-AVG	
齿廓总偏差 (Fa)	14.4	16.1	11.4	17.0	14.7	18.5	15.9	20.1	17.0	17.9	8
齿廓形状偏差 (f <sub>fa</sub> )	5.0	8.6	5.7	5.3	6.2	18.0	16.3	17.5	19.2	17.8	8
齿廓倾斜偏差 (f <sub>tfa</sub> )	14.6	10.7	8.8	15.0	12.3	2.8	4.6	-5.5	5.7	1.9	8

螺旋线偏差

参数	左齿面					右齿面					等级
	L1	L6	L12	L17	L-AVG	R1	R6	R12	R17	R-AVG	
螺旋线总偏差 (F <sub>β</sub> )	5.6	6.6	6.5	5.3	6.0	7.9	6.1	7.1	8.1	7.3	5
螺旋线形状偏差 (f <sub>fb</sub> )	5.6	6.9	4.7	4.3	5.3	5.2	4.8	6.0	5.2	5.3	6
螺旋线倾斜偏差 (f <sub>tβ</sub> )	R2.2	R2.9	R4.2	R1.4	R2.2	L4.8	L2.4	R3.5	L7.0	L2.7	6

齿距偏差与径向跳动

参数	左齿面	右齿面	等级
齿距累积总偏差 (F <sub>p</sub> )	30.0	35.9	7
单个齿距偏差 (f <sub>pt</sub> )	18.0	-17.5	9
齿距累积偏差 (F <sub>pk</sub> ), k=3	22.3	-20.0	7
径向跳动 (F <sub>r</sub> )	42.8		8

完成日期	班 级	学生姓名	指导教师
2024.9.27	机械2207	10-7 刘侃	李瑞森 杨志