

阴影云纹法测量等高线

孙振川 PB23081463 王晨萱 PB23331860

课程号 ME2009.01

2025 年 12 月 3 日

摘要

本实验采用阴影云纹法测量物体表面等高线，通过平行光经基准栅投射至试件形成干涉条纹，利用条纹级数与高度的关系式 $h_N = NLp/D$ 计算各点高度。实验器材包括光源、基准栅、试件和数码相机，步骤为布置共面光路、调整至条纹清晰、拍摄多组条纹图并计算高度。实验结果显示不同距离下的条纹图反映表面形貌，测点高度平均值为 9.904 mm。误差主要源于光路几何配置、光源平行性及光栅稳定性，可通过校准光路、使用平行单色光、固定光栅及优化算法减小。该方法适用于全场非接触测量，可用于离面变形分析（条纹移动量 $\Delta z \approx p/(2\theta)$ ）。实验加深了对阴影云纹法原理与技术的理解。

关键词：阴影云纹法；等高线；条纹级数；高度测量

1 实验目的

- 掌握阴影云纹法测量等高线的原理和技术

2 实验器材

- 光源
- 基准栅
- 试件
- 数码相机

3 实验原理

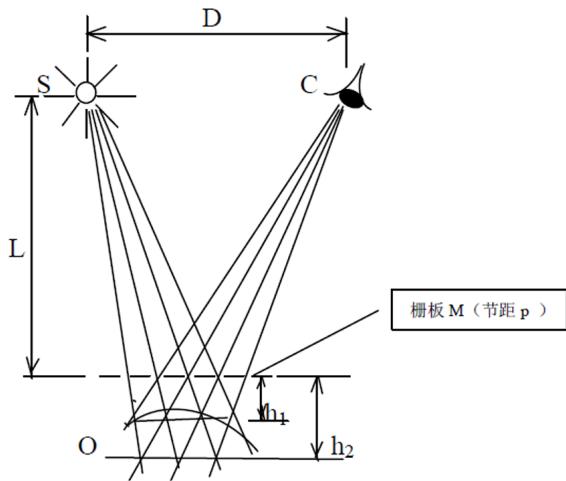


图 1: 实验原理图点照射、点接受阴影莫尔条纹原理

光源 S 照射基准栅板 M，将栅线投影到被测物体 O 上，形成试件栅。由于物体表面不平，使栅线的影子畸变。当观察点在 C 处时，由于两栅的几何干涉效应可看到物体表面出现明暗相间的条纹。如果 CS 平行于基准栅 M，D、L 远大于物体尺寸，则这些条纹是一些等高线。其距离基准栅的高度由下式确定：

$$h_N = NLp/D$$

因此，只要测量出 $L p D$ ，就可计算出各级数条纹的高度。

4 实验步骤

1. 按照原理图布置光路，注意使物体、光源和相机在同一水平面上，基准栅与试件最高点相接触。
2. 观察等高线图。打开光源，调整光源及相机的角度，使试件表面出现十条左右条纹，并且阴影条纹清晰，不受光源反射象的影响。
3. 拍摄等高线图。改变光路参数，使试件上特征点处于亮（或暗）条纹的中心，但级数不同。拍摄几次。
4. 计算等高线的高度。将数码相机的图象传至微机，打印。在云纹图上确定特征点的条纹级数，注意整数级与半级条纹的判别。计算特征点的高度 h_N

5 测量结果



图 2: $D=51.32\text{mm}$ 时的条纹图

6 测量结果



图 3: $D=49.11\text{mm}$ 时的条纹图

7 测量结果



图 4: $D=46.34\text{mm}$ 时的条纹图

表 1: 各测点应变数据

节距 P (mm)	L (mm)	D (mm)	N	h_n (mm)	h_n (mm) 平均值
	74.56	51.32	14	10.189	
0.5	74.56	49.11	13	9.868	9.904
	74.56	46.34	12	9.654	

8 预习思考题

8.1 用阴影云纹法测量高度的最大误差来源是什么？应如何避免？

阴影云纹法测量高度时，最大的误差来源是参考光栅与被测表面之间的几何配置误差，尤其是两者不平行所导致的系统误差。此外，光源的平行性和单色性不足、光栅质量与安装不稳定、以及相位解调算法误差也会影响测量精度。

为减小误差，可采取以下措施：

- **保证光路几何精度：**调整参考光栅与被测表面尽量平行，精确校准光源、光栅与相机的相对位置；
- **使用平行光与单色光源：**采用准直光源（如激光）以减小入射角差异，使用单色光提高条纹对比度；
- **选用高质量光栅并固定牢固：**避免光栅变形、振动或位移；
- **优化相位解调算法：**采用多步相移法或傅里叶变换法，并通过标定提高测量精度。

8.2 如何利用阴影云纹法测量离面变形？

阴影云纹法可通过记录被测物体在受力或温度等外界因素作用下，表面因离面位移（out-of-plane deformation）引起的阴影光栅图案变化，进而获取离面位移场或变形信息。当物体表面发生垂直于表面的位移

(即 z 方向位移) 时, 阴影与参考光栅之间产生的干涉条纹会发生移动, 该条纹移动量与离面位移存在定量关系。

测量方法:

1. 布置光路: 在物体前方或后方放置已知周期的参考光栅, 用平行光从一定角度照射, 形成阴影与光栅叠加的云纹图案;
2. 记录初始云纹图: 未施加变形前, 拍摄初始状态的云纹图像;
3. 施加变形并记录: 对物体施加载荷 (如力、热), 引起离面变形后, 再次拍摄云纹图;
4. 分析条纹移动: 通过对比变形前后云纹图中条纹的位置变化, 计算各点的离面位移。

定量关系: 当物体发生离面位移 Δz 时, 云纹条纹会相应移动。其关系为:

$$\Delta z \approx \frac{p}{2\theta}$$

其中:

- Δz : 离面位移 (沿光轴, 通常为 z 方向);
- p : 光栅节距;
- θ : 光源入射光与光栅法线的夹角。

条纹移动一个周期 (即光栅节距 p) 对应离面位移 $\Delta z = \frac{p}{2\tan\theta} \approx \frac{p}{2\theta}$ (小角度近似)。

优点与适用: 阴影云纹法适用于大变形、全场、非接触测量, 对表面状态要求低, 常用于结构力学实验、热变形、振动分析等领域。