

互换性与技术测量 实验指导书

吴贤莉 编

南 京 航 空 航 天 大 学

1999 年 10 月

目 录

序言	1
实验一 光滑工件尺寸测量	3
实验 1-1 用立式光学比较仪测量外径	3
实验 1-2 用内径指示表测量内径	7
实验 1-3 用光切显微镜测量表面粗糙度	11
实验二 形状误差的测量和位置误差的检测	18
实验 2-1 导轨直线度误差测量	18
实验 2-2 平面度误差的测量	22
实验 2-3 箱体位置误差的检测	27
实验三 圆柱螺纹和齿轮的测量	32
实验 3-1 用工具显微镜测量螺纹	32
实验 3-2 用三针法测量螺纹中径	42
实验 3-3 齿轮基节偏差的测量	46
实验 3-4 齿轮齿圈径向跳动测量	49
实验 3-5 齿轮公法线长度测量	52
实验四 双频激光干涉仪在万工显误差补偿中的应用	56

序 言

在“机械工程测量学”课程的教学中，实验课教学是重要的组成部分。它对学生巩固课堂知识、培养基本技能起着显著作用。

一、本实验目的和要求

1. 了解几何参数测量的基本原理和方法；
2. 了解几何量器具的原理和基本测量方法；
3. 初步学会测量几何参数的基本技能；
4. 加深对互换性和公差基本概念的感性认识；
5. 初步具有正确使用常用计量器具以及处理测量结果的能力。

二、实验守则

1. 本守则的目的是维护国家财产、培养学生进行实验的正确方法和对工作一丝不苟的良好习惯，保证实验教学质量。
2. 对学生作实验的要求是：原理清楚、方法正确、数据可靠和报告工整。
3. 按规定时间准时进入实验室。入室前掸去衣帽上灰尘，更换拖鞋。保持安静、禁止喧哗。注意室内整洁、禁止随地吐痰和吸烟。
4. 进实验室前应预习实验指导书，了解实验的目的要求和测量原理。
5. 开始作实验之前，应在教师指导下，对照仪器了解仪器的结构和使用调整方法。
6. 按操作步骤进行测量、记录数据。操作要细心，动作要轻匀，手指勿触摸计量器具的工作面和光学镜片。不要动用与本次实验无关的计量器具。
7. 实验用仪器发生故障时，应立即报告指导教师予以排除，不得自行拆卸修理。因违反操作规程而损坏仪器者，要按章处理。
8. 测量完成后，切断电源。将仪器和工作上测量面用浸汽油的棉花擦净，并涂上防锈油。整理现场，经指导教师检查同意后，方能离开实验室。

三、实验报告的内容和要求

编写实验报告是训练学生撰写科学论文能力、培养良好学风的重要环节。对本课程，实验报告是考核学习成绩的手段之一，是评估教学质量的重要依据。

实验报告应由每个学生个人独立完成，用钢笔或圆珠笔书写。报告内容要层次清楚、文句简明通顺，符合汉字规范和法定计量单位。

实验报告的一般内容如下：

1. 实验名称。
2. 测量对象：写出被测工件的规格、尺寸和技术要求。
3. 计量器具：写出所用仪器和量具的名称和主要计量指标。
4. 测量结果：记录测得的读数，绘制测量简图，进行数据处理，写出最后结果，要注明数据的单位和符号。
5. 合格性结论：按技术要求查出公差或极限偏差，判断被测工件的合格性。
6. 其他：回答思考题，分析测量误差，写出实验心得等。

实验一 光滑工件尺寸测量及表面粗糙度测量

实验 1-1 用立式光学比较仪测量外径

一、目的与要求

1. 掌握外径比较测量的原理。
2. 了解立式光学比较仪的结构、调整和使用方法。
3. 了解量块的正确使用与维护方法。
4. 理解计量器具与测量方法常用术语的实际含义。

二、测量原理

用立式光学比较仪测量外径，一般是按比较测量的方法进行的，即先将量块组放在仪器的测头与工作台面之间，以量块尺寸 L 调整仪器的指示表到达零位，再将工件放在测头与工作台面之间，从指示表上读出指针对零位的偏移量，即工件外径对量块尺寸的差值 ΔL ，则被测工件的外径为 $x=L+\Delta L$ 。

二、仪器简介

立式光学比较仪，如图 1-1 所示，它由底座 1、立柱 2、横臂 5、直角光管 6 和工作台 16 等部分组成。

直角光管是主要部件，它是由自准直光管和正切杠杆机构组合而成的其光路系统如图 1-2 所示。光从外面经反射镜 1 射入光管内的棱镜 2，再反射照亮圆分划板 3 上的刻线尺 4。圆分划板的里面半边有刻线尺、外面半边是一条空白长框 9(作为成象面)，框外涂黑，框内刻有一条横的断续线(作为指示线)。分划板 3 位于物镜 6 的焦平面上，也在目镜 8 的物方焦平面上。

当刻线尺 4 被照亮后，从刻线尺发出的光束经过直角棱镜 5 和物镜 6，成平行光束投射到平面反射镜 7 上，光线从 7 上反射回来后，刻线尺 4 被物镜 6 成象在与它对称位置的成象面 9 上，刻线尺 4 的象可通过目镜 8 进行观察。

平面反射镜 7 由三个直径相同的钢球作支承，其中两个作为

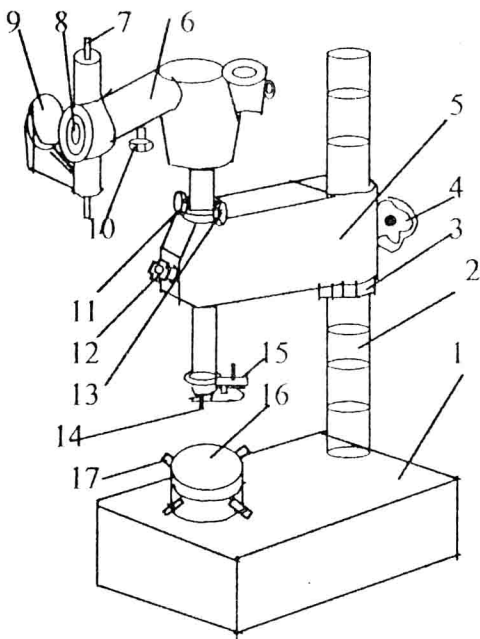


图 1-1 立式光学比较仪

1-底座 2-立柱 3-横臂升降螺母 4、11、12-紧固螺钉 5-横臂 6-直角光管 7-上下偏差调整螺钉 8-目镜 9-反光镜 10-零位微调螺钉面 13-偏心手轮 14-测头 15-拨叉 16-工作台 17-工作台调整螺钉

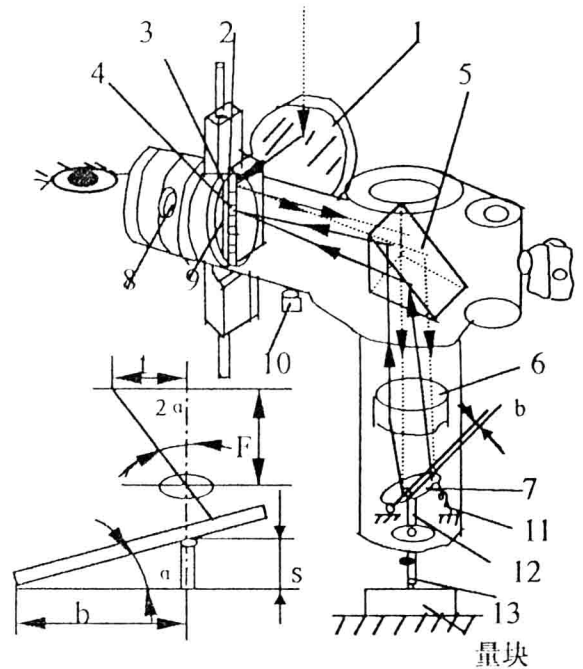


图 1-2 直角光管的光路系统

1-反射镜 2-折光棱镜 3-圆分划板 4-刻线尺 5-直角棱镜 6-物镜 7-平面反射镜 8-目镜 9-成像 10-零位微调螺钉 11-弹簧 12-测杆 13-测头

反射镜的转动支承，而另一个钢球则固定在测杆的顶端 12。平面反射镜 7 的下面用两个小弹簧 11 钩住，以保证反射镜与钢球接触，并使测头 13 产生一定的测量力。测量工作前先用量块调整光管上下位置，使刻线尺的象达到零位。此时平面反射镜的镜面与自准直光管的光轴相垂直。

当测杆 12 因工件尺变化而上下移动一个距离 s 时，见图 1-2 的左下图，反射镜随之绕支点转动一个角度 α ，则反射光相对入射光偏转了 2α 角度，从而使刻线尺的象产生位移量 t 。因此，直角光管的放大倍数为：

$$K = t/s = Ft \tan 2\alpha / b \tan \alpha \approx 2F/b$$

物镜至刻线尺的距离为物镜焦距 F ($F=200\text{mm}$)，测杆中心至反射镜支点间的距离为 b ($b=5\text{mm}$)，则 $K=80$ 。

刻线尺的刻线间距 $C=0.08\text{mm}$ ，则刻线尺的分度值为：

$$i=C/K=0.08/80\text{mm}=0.001\text{mm}=1\mu\text{m}$$

刻线尺上有 200 条刻线，故其示值范围为 $\pm 100\text{mm}$ ，立式光学比较仪的测量范围为 $0\sim 180\text{mm}$ 。

由于目镜放大 12 倍，人眼看到刻线象的刻线间距为 $12\times 0.08\text{mm}=0.96\text{mm}$ 。

四、操作步骤

1. 测头的选择

测头有球形、平面形和刀口形三种，根据被测零件表面的几何形状来选择，使测头与被测表面尽量满足点接触。所以，测量平面或圆柱面工件时，选用球形测头；测量球面工件时，选用平面形测头；而测量小于 10mm 的圆柱面工件时，则应选用刀口形测头。

2. 按被测塞规的基本尺寸组合量块组。

3. 调整仪器零位（见图 1-1）。

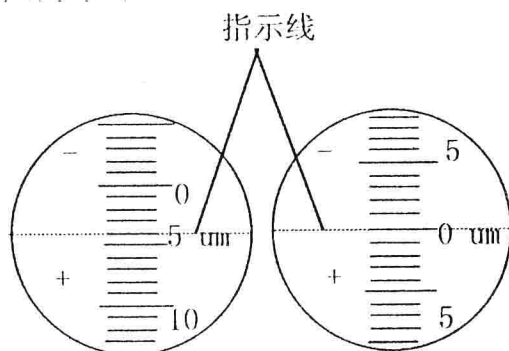
将量块组置于仪器工作台 16 的中心，并使测头 14 对准量块组的上测量面的中心。调节零位，步骤如下：

①粗调节 松开横臂 5 上的紧固螺钉 4，转动调节螺母 3，使横臂缓慢下降，直到测头与量块的测量面接触，而在视场中能看见刻线尺的象时，则将螺钉 4 扭紧。

②细调节 松开紧固螺钉 12，转动手轮 13，使在目镜中看到的象与指示线接近（见图 1-3a），然后拧紧螺钉 12。

③微调节 转动微调螺钉 10，使刻线尺的零刻线的影象与 u 指示线重合（见图 1-3b），然后按下拨叉 15 数次，使零位稳定。

④检查零位 按下拨叉 15，抬起测头 14，推出量块组，再推进量块组，放



a) 图 1-3 光学比较仪零位调节 b)

下测头，再微旋螺钉 10，使零线影象与指示线再次重合。

⑤检查示值 按动拨叉三次，若零线影象变动不超过 1/10 格，则表示光学比较仪的示值稳定可用。

4. 按图 1-4 分别测量塞规上六个部位处的直径。测量时，将被测塞规按在工作台上，在测头下慢慢滚过，读出刻线象偏离指示线的最大值（估读 1/10 格），即为被测塞规的实际偏差。

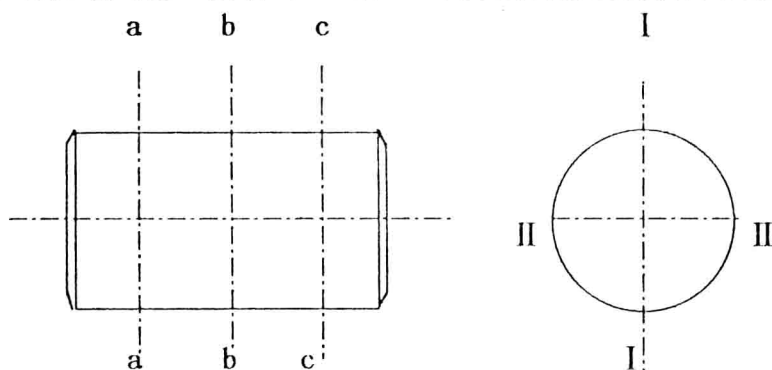


图 1-4 测量部位

5. 从国家标准《GB1957-81》中，查出塞规的尺寸公差和形状公差，计算塞规的极限尺寸，根据测量结果判断塞规的合格性。

五、思考题

1. 用立式光学比较仪测量工件和塞规属于什么测量方法？绝对测量与相对测量各有何特点？
2. 什么是分度值、刻线间距？它们与放大倍数的关系如何？
3. 仪器的测量范围和刻线尺的示值范围有何不同？
4. 仪器工作台对测杆轴线的垂直度如何调节？

实验 1-2 用内径指示表测量内径

一、目的与要求

1. 掌握内径比较测量的原理。
2. 了解内径指示表的结构，学会用内径指示表测量内径的方法。

二、测量原理

用内径指示表测量内径，是采用比较测量的方法进行的。测量内径与测量外径的比较方法略有不同，要将量块组装在量块夹子中，通过卡脚形成内尺寸 L ，再用它来调准内径指示表的指针到达零位，然后用内径指示表去测量孔径。从指示表上读出的指针偏移量，即为被测孔径与量块尺寸之差值 ΔL ，则被测孔径为 $x = L + \Delta L$ 。

三、仪器简介

图 1-5 所示的内径指示表是两点式，它与孔壁接触的是固定测头 1 和活动测头 2，活动测头向里位移，通过等臂直角杠杆 3，推动挺杆 4 向上，压缩弹簧 5，并推转指示表 9 的指针顺时针回转，弹簧反力使活动测头向外，对孔壁产生测力。在活动测头 2 的两侧有定心板 6，它在两只弹簧 7 的作用下，对称地压靠在孔壁上，以保证两测头与孔壁接触的两点落在横截面的直径上。

仪器附有一组长短不同的固定测头，可更换使用，以测量各种大小不同的孔径。

内径指示表的测量范围有 6~10, 10~18, 18~50, 50~100, ... mm 几种规格。

四、操作步骤（参见图 1-6）

1. 根据被测孔径的基本尺寸 L 组合量块，将量块组和专用卡脚 5 一起放入量块夹 4 内夹紧，构成标准内尺寸卡规。
2. 根据被测孔径尺寸，选择合适的固定测头 1，拧入内径指

示表的螺孔中，扳紧螺母 7。

3. 用标准内尺寸卡规调准指示表零位，一手握隔热手柄 8，

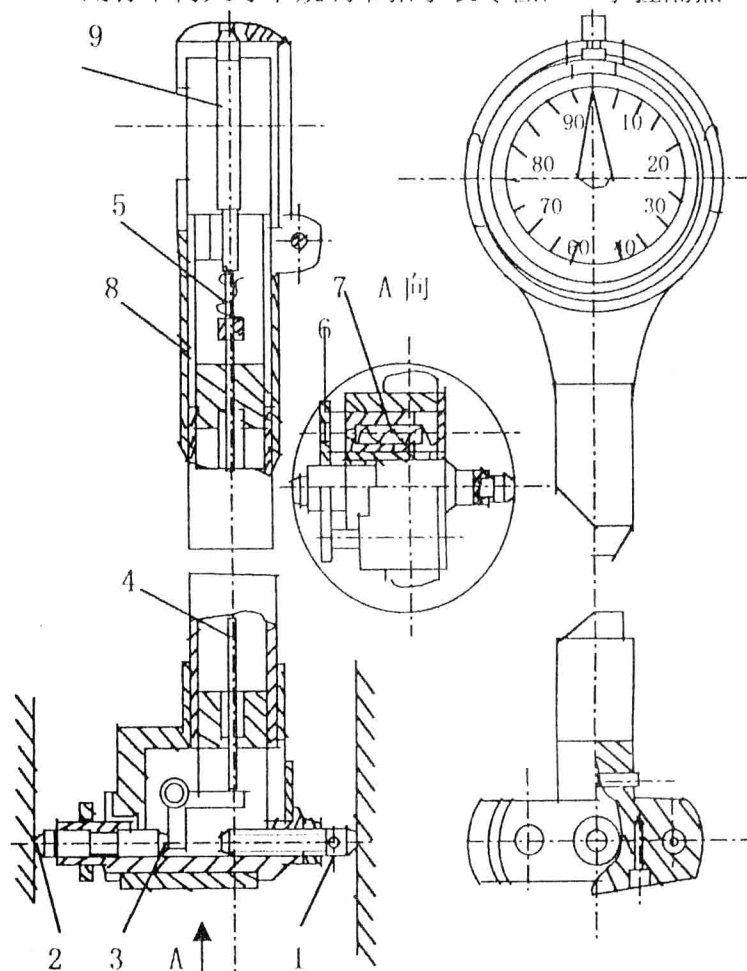


图1-5 内径指示表结构

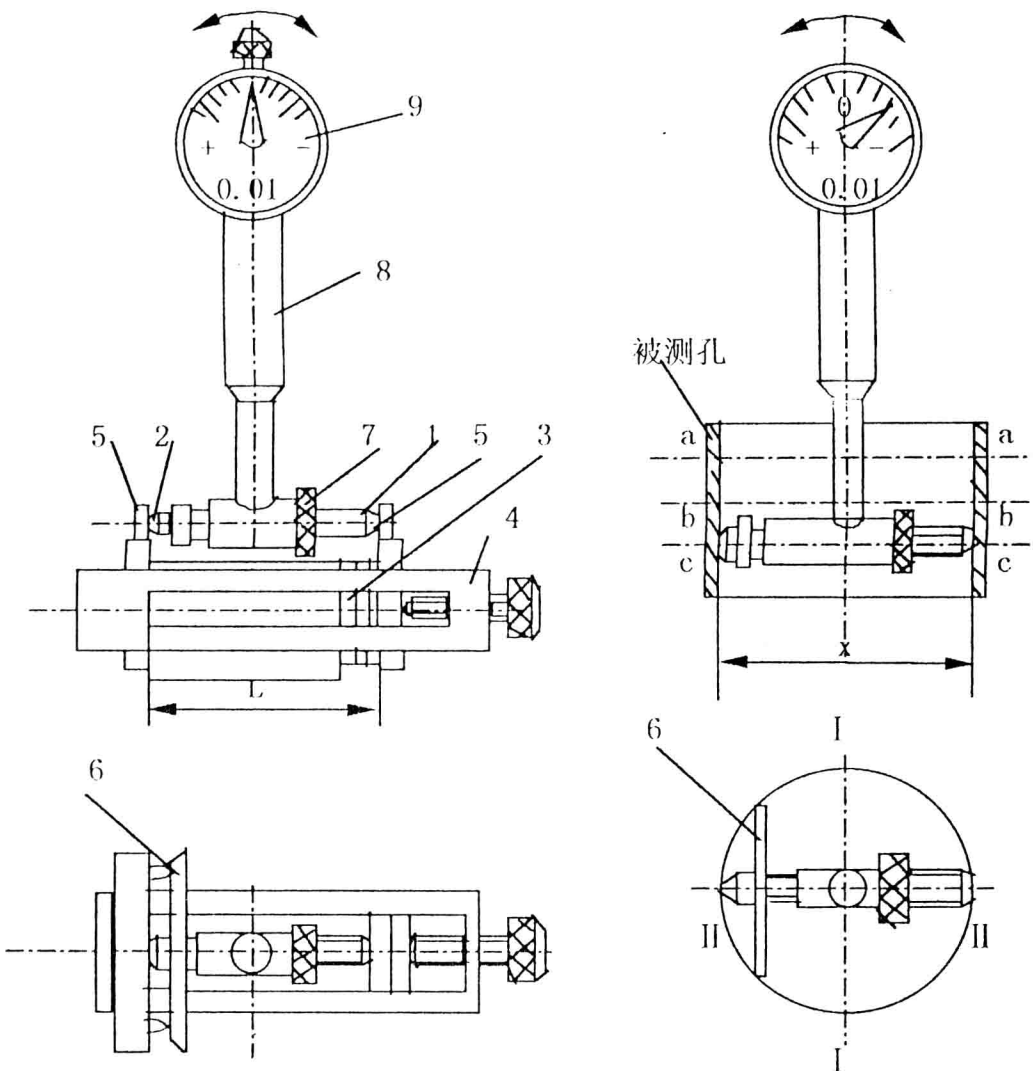
1-固定测头 2-活动测头 3-等臂直角杠杆 4-挺杆

5、7-弹簧 6-定心板 8-隔热手柄 9-指示表

另一手将活动测头 2 压入，使两测头的距离小于量块组尺寸后，放入两卡脚 5 之间，让两测头与卡脚两平面接触，摆动内径指示表，当指针顺时针回转到转折点（读数最小）时，表示内径指示表测头与卡脚接触的两个点的连线与卡脚平面垂直，此时，两接触点间的距离等于量块尺寸。转动指示表 9 的滚花环，使刻度盘的零位转到指针的转折点处。再摆动内径指示表，转动滚花环，如此反复几次，直到指针准确地在刻度盘的零位处转折为止。

4. 测量孔径：手握隔热手柄，将内径指示表伸入孔中，先伸进定心板和活动测头，再伸进固定测头。当测头达到指定的测量

部位时，按图上箭头方向摆动内径指示表，记下指针顺时针回转到转折点时的读数，此时表示两测头与孔壁接触在直径上。若读数取偏离零位的格值，乘上指示表的分度值 i ，即为被测孔径的实际偏差。要注意：按顺时针方向超过零点的读数是负值，因为此时，孔径小于量块尺寸，活动测头缩入。将实际偏差加上量块尺寸，得被测孔径的实际尺寸。



a) 图 1-6 用内径指示表测量孔径 b)

1-固定测头 2-活动测头 3-量块组 4-量块夹子 5-卡脚 6-定心板
7-固定测头锁紧螺母 8-隔热手柄 9-指示表

按图 1-6b 测此三个横截面上，两个大致相互垂直方向的孔径 x ，用以代表孔的各处尺寸。

5. 查表 1-1，根据孔径的安全裕度，确定其验收极限，若孔的各处实际尺寸都在验收极限范围内，则可判断孔径合格。

表 1-1 安全裕度

工件公差 $T/\mu\text{m}$		安全裕度 $\Delta/\mu\text{m}$
大于	至	
9	18	1
18	32	2
32	58	3
58	100	6
100	180	10
180	320	18

五、思考题

1. 试分析用内径指示表测量孔径有哪些测量误差？
2. 用内径指示表与内径千分尺测量孔径，从测量方法上讲有何异同？

实验 1-3 表面粗糙度测量

一、目的与要求

1. 掌握用光切显微镜测量表面粗糙度的原理和方法。
2. 加深理解微观不平度十点高度 R_z 和单峰平均间距 S 的实际含义。

二、测量原理

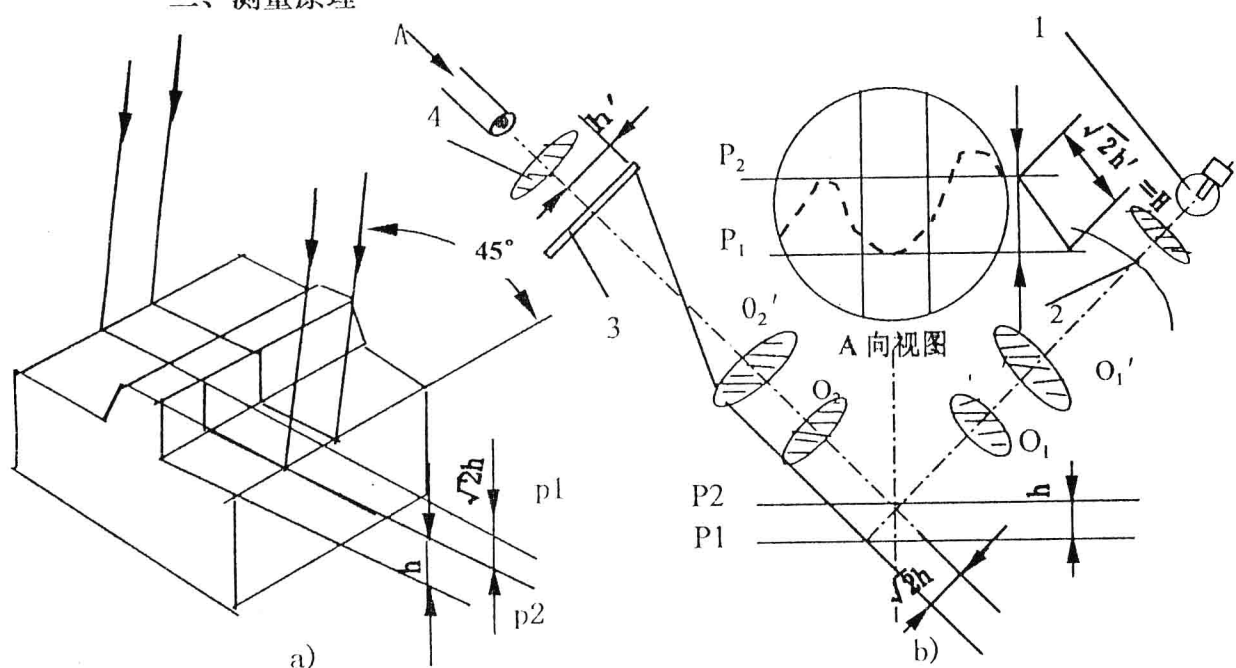


图 1-7 光切法原理

1-光源 2-夹缝 3-分划板 4-目镜

光切显微镜是利用光切法测量表面粗糙度。见图 1-7，由光源 1 发出的光，穿过夹缝 2，形成带状光束，经物镜组 O_1O_1' ，斜向 45° 射向工件，凹凸不平的表面上呈现出曲折光带，再以 45° 反射，经物镜组 O_2O_2' ，到达分划板 3 上。从目镜里看到的曲折光带，有两个边界，光带影象边界的曲折程度表示影象的峰谷高度 h' 。 h' 与表面凸起的实际高度 h 之间的关系为

$$h' = \frac{hM}{\cos 45^\circ} = \sqrt{2}hM$$

式中 M ——物镜组 O_2O_2' 的放大倍数。

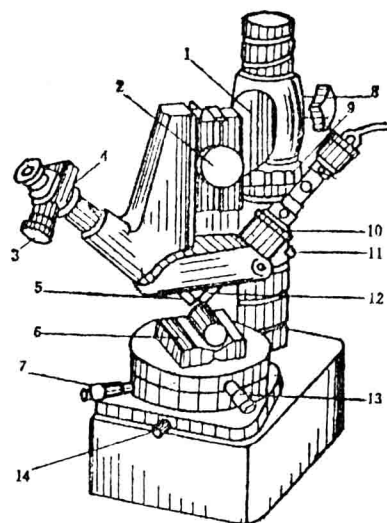


图 1-8 光切显微镜

1-横臂 2-手轮 3-目镜千分尺 4、8、11、14-螺钉 5、12-物镜 6-V 型块 7、13-千分尺 9-螺母 10-调焦环 15-目镜

在目镜视场里，对高度 h' 是沿 45° 方向测量的，设用目镜千分尺 3（见图 1-8 所示的光切显微镜）读数的值为 Π ，则 h' 与 Π 之间的关系为

$$h' = \Pi \cos 45^\circ$$

上二式合一后得

$$h = \frac{H \cos 45^\circ}{\sqrt{2}M} = \frac{H}{2M} = iH$$

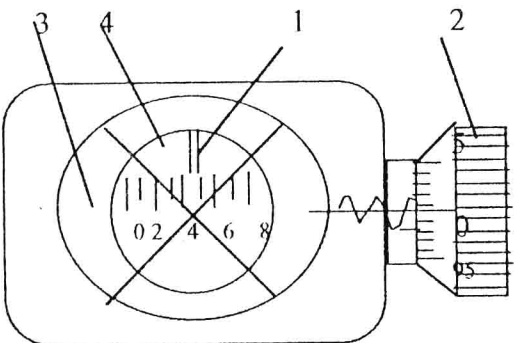
式中，令 $1/(2M)=i$ ，作为目镜千分尺装在光切显微镜上使用时的分度值。此值由仪器说明书给定，可用标准刻线尺校对。

四、仪器简介

光切显微镜由照明管和观察管组成，故又称双管显微镜。其外形结构见图 1-8，图的两只可换物镜 5 和 12 的相对位置要调整。

在观察管的上方装目镜千分尺 3，也可装照相机。

在目镜千分尺(图 1-9)的视场里有两块分划板：固定分划板 4 上刻有 8mm 长的刻线尺，可动分划板 3 上刻有 100 条刻线。转动刻度筒一周，通过螺杆使可动分划板上双标线 1 相对刻线尺移动 1mm。由于放大 2M 倍（见前述），故目镜千分尺的分度值小于 0. 01mm，如表 1-2 所示。



1-双标线 2-刻度筒 3-可动分划板 4-固定分划板

图 1-9 目镜千分尺

表 1-2 光切显微镜的主要技术数据

可换物镜 放大倍数	物镜组的 放大倍数	目镜视场 直径/mm	目镜千分尺 分度值/ μm	测量范围 $R_z/\mu\text{m}$
60	31. 3	0. 3	0. 16	0. 8~1. 6
30	17. 3	0. 6	0. 29	1. 6~6. 3
14	7. 9	1. 3	0. 63	6. 3~20
7	3. 9	2. 5	1. 28	20~ 63

四、操作步骤

1. 准备工作

估计被测表面的 R_z 值，参考表 1-2 选择一对合适的物镜，分别安装在照明管的下方。并按表 1-3 选用取样长度和评定长度。

表 1-3 取样长度 l 和评定长度 l_n 的选用值

$\frac{R_z, R_y}{\mu m}$	$\frac{l}{mm}$	$\frac{l_n=5l}{mm}$
$\geq 0.025 \sim 0.10$	0.08	0.4
$> 0.10 \sim 0.50$	0.25	1.25
$> 0.50 \sim 10.0$	0.8	4.0
$> 10.0 \sim 50.0$	2.5	12.5
$> 50 \sim 320$	8.0	40.0

接通电源。擦净工件。将工件放在工作台上，转动工作台，转动工作台，使要测量的截面方向与光带方向平行，未指明截面时，一般尽可能使表面加工纹理方向与光带方向垂直。移动工作台，将工件上要测量的点移到光带处，对外圆柱表面则将最高点移到光带处。

2. 调节仪器(参看图 1-8)

①粗调焦

松开支臂 1 上锁紧螺钉 8，缓慢地旋转螺母 9，使横臂带着双管一起移动，同时观察目镜，当视场中可看到清晰的工作表面加工痕迹时，停止移动，拧紧螺钉 8（调焦时为避免镜头碰工件，最好由下向上移动双管）。

略微转动目镜 15 上的滚花环，直到视场中的十字线最清晰为止。

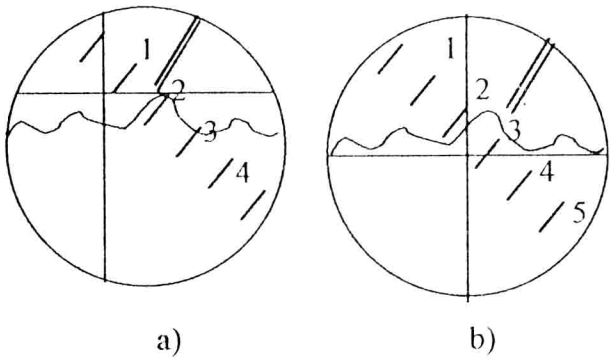


图 1-10 目镜视场的图象
a)瞄峰顶 b)瞄谷底

②精调焦

转动手轮 2、调焦环 10 和调节螺钉 11，使视场中光带最窄，并使一个边界最清晰。再微转动手轮 2，使此边界落在表面的痕迹上。此时的边界代表光切面，见图 1-10。

③对线

松开目镜千分尺上螺钉 4，转动镜架，使目镜中十字线的横线与光带方向大致平行以体现轮廓中线，此时刻线尺对光带方向倾斜 45° ，拧紧螺钉 4。

3. 测量微观不平度十点高度 R_z

用目镜中十字线的横线瞄准轮廓，从目镜千分尺上读数，以确定轮廓高度。测量方法是：转动目镜的刻度筒，使横线与轮廓影象的清晰边界在取样长度 l 的范围内与五个最高点（峰）依次相切（图 1-10），记下数值 H_{p1} 、 H_{p2} 、 $\dots$ 、 H_{p5} （见图 1-11），再移动横线与同一轮廓影象的五个最低点（谷）依次相切（图 1-10），记下数值 H_{v1} 、 H_{v2} 、 $\dots$ 、 H_{v5} （见图 1-11）。 H_{pi} 和 H_{vi} 数值是相对于某一基准线（平行于轮廓中线）的高度。设中线 m 到基准线的高度为 H ，则 $y_{pi} = H_{pi} - H_{vi}$ ， $y_{vi} = H - H_{vi}$ ，代入

$$R_z = \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 y_{pi} + \sum_{i=1}^5 y_{vi} \right)$$

化简得

$$R_z = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 (H_{pi} - H_{vi})$$

将记下的读数代入上式即可得微观不平度十点高度 R_z 。

测量时，目镜视场可能小于取样长度（参见表 1-2 和表 1-3），此时需要转动工作台上的千分尺 13（图 1-8），使工件平移，以便找出在所选取样长度上轮廓的十点高度。

再移动工作台，测出评定长度范围内 n 个取样长度上的 R_z 值，并取平均值，即得所测表面的微观不平度十点高度 R_z 。

$$R_z = \sum_{i=1}^n R_{zi} / n$$