

Knowledge Lectures

长度计量基础知识讲座(二十五)

顾耀宗/上海市计量测试技术研究院

第二十五讲 光学计

1 概述

光学计是一种准确度较高、常用的端度光学机械式仪器。按其分度值分为精密光学计(如图1的超级光学计和图2的 $0.2\ \mu\text{m}$ 投影光学计)以及 $1\ \mu\text{m}$ 光学计(图3、4、5);按其结构型式分为带投影装置的(图3a、5a)和不带投影装置(图1、3b、5b)以及投影式的光学计(图2、3c);按其使用方式可分为立式光学计和卧式光学计(图1、2、3、4为立式,图5为卧式)。按其读数方式又可分为目视式(图1、3b、5b)、投影式(图2、3a、3c、5a)及数字显示式(图4)。其示值范围和测量范围见表1。

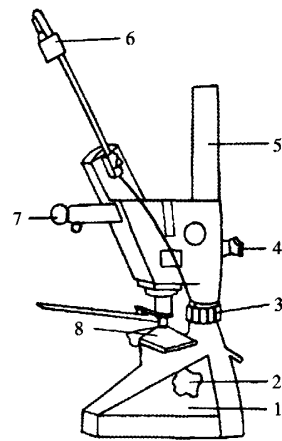


图1

1-基座; 2-工作台制动螺钉; 3-臂架升降螺母; 4-臂架制动螺钉; 5-立柱; 6-照明装置; 7-光管; 8-工作台

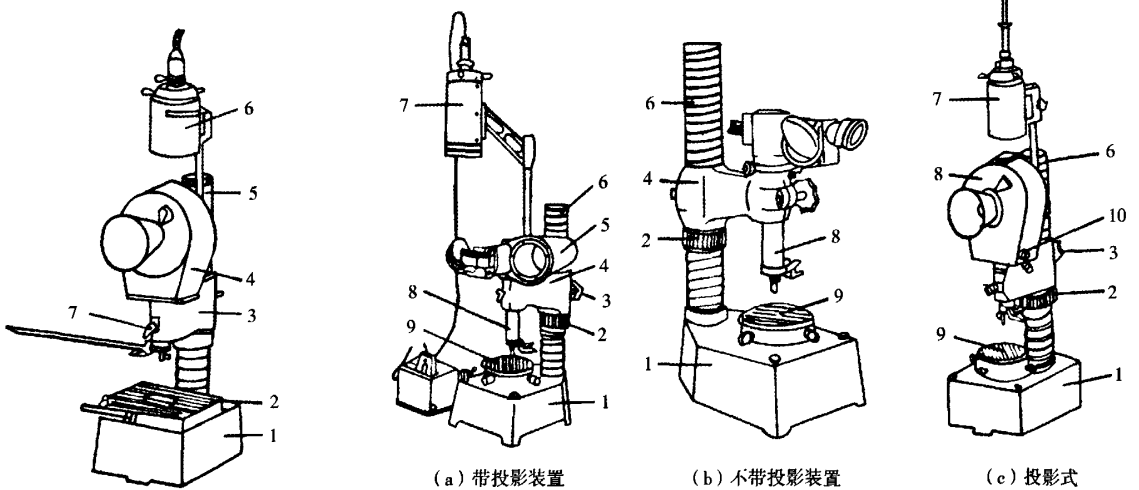


图2

1-基座; 2-工作台; 3-臂架; 4-光管; 5-立柱; 6-照明装置; 7-光管制动螺钉

(a) 带投影装置

(b) 不带投影装置

(c) 投影式

图3

1-基座; 2-升降螺母; 3-制动螺钉; 4-臂架; 5-投影筒; 6-立柱; 7-照明装置; 8-光管; 9-工作台; 10-分度尺微调旋钮

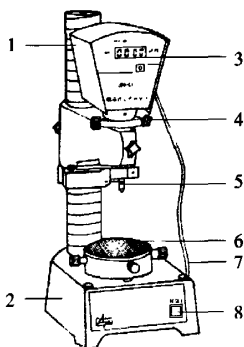


图4

1-光学计管；2-底座；3-数显窗；4-微动螺钉；5-测量头；6-可调工作台；7-电缆线；8-置零按钮

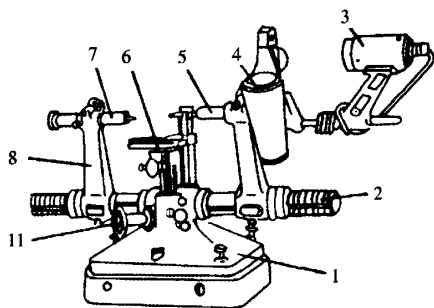


图5a 轴型导轨式

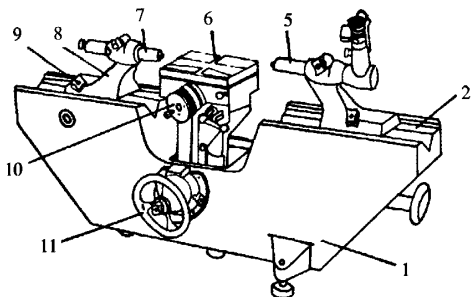


图5b 平面型导轨式

1-基座；2-导轨；3-照明装置；4-投影筒；5-光管；6-工作台；7-尾管；8-支架；9-制动螺母；10-工作台移动手轮；11-工作台升降手轮

表1 光学计的示值范围与测量范围

仪器类型	结构型式	示值范围/ μm	测量范围/mm
精密光学计	超级式	± 83	0~250
	投影式	± 20	0~200
立式光学计	带投影装置	± 100	0~180
	不带投影装置	± 100	0~180
	投影式	± 100	0~200
卧式光学计	轴形导轨式	± 100	外尺寸 0~300 内尺寸 13.5~150
	平面形导轨式	± 100	外尺寸 0~500 内尺寸 13.5~500

2 光学计工作原理

光学计利用光学自准直原理和机械的正切杠杆原理组合而成。光学计的光路系统如图6所示。经反光镜1反射的光线（也可由灯源发出的光线）折转后进入反射棱镜2，射至分划板3一侧的刻线尺4，再经直角棱镜5，将光线折转90°后至物镜6。由于分线尺4位于物镜的焦平面上，光线通过物镜后便成一束平行光。平行光束射至反射镜7，反射回来的光线经物镜6、直角棱镜5，分线尺4的反射像成像在分划板3刻有指标线的另一侧。如果被测件尺寸有变化，测量杆10便会上下位移。当测杆10作上下微量移动时，使反射镜7绕一转轴发生摆动，从而使返回去的平行光束发生较大偏转，使所成的分划板像相对于指标线产生较大位移。分划板像的位移与测量轴的上下位移成正比，这个移动量可通过目镜进行读数。

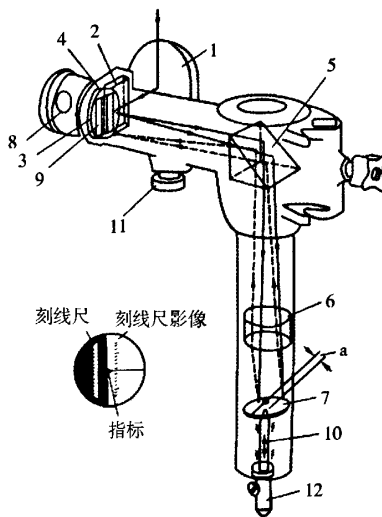


图6

1-反光镜；2-反射棱镜；3-分划板；4-刻线尺；5-直角棱镜；6-物镜；7-反射镜；8-目镜；9-毛玻璃；10-测量杆；11-分划板微调螺旋；12-测帽

根据光学自准直原理，分划板像的移动量 t 与反射镜7摆动角 α 以及物镜的焦距 f 的关系为：

$$t = f \tan 2\alpha \quad (1)$$

而测量杆移动距离 S 与反射镜7的摆动角 α 的关系为：

$$S = a \tan \alpha \quad (2)$$

式中： α —测杆至平面反射镜摆动轴间的距离，称臂长。

于是分划板像移动距离 t 与测量杆的移动量 s 的比值就是光学计管除目镜外的放大倍数, 用 K 表示:

$$K = \frac{t}{s} \quad (3)$$

则

$$K = \frac{f \tan 2\alpha}{a \tan \alpha} \quad (4)$$

$$\text{当 } \alpha \text{ 很小时, } K = \frac{2f}{a} \quad (5)$$

一般光学计的物镜焦距为 200 mm, 臂长 α 约为 5 mm,

$$K \approx \frac{2 \times 200}{5} \approx 80 \text{ 倍}$$

分度值为 $1 \mu\text{m}$ 光学计分度尺的分度间隔为 $1 \mu\text{m} \times 80 = 0.08 \text{ mm}$ 。分度尺共有 ± 100 个分度, 光学计的示值范围为 $\pm 0.1 \text{ mm}$ 。分度尺的像通过目镜来观察, 目镜的放大倍数为 12 倍, 这样光学计总放大倍数为 $12 \times 80 = 960$ 倍, 目视分度间隔为 0.96 mm , 因此可以很方便地估读到 $0.1 \mu\text{m}$ 。

3 主要技术要求和检定或校准方法

3.1 示值变动性

立、卧式光学计示值变动性要求不超过 $0.1 \mu\text{m}$; 精密光学计要求不超过 $0.02 \mu\text{m}$ 。检定时, 在光学计的工作台上放置一块尺寸 (5~10) mm 的 4 等量块, 调整仪器, 使其球面测帽与量块测量面接触, 同时使仪器的示值处于零位或邻近某分度线。然后拨动测量杆 10 次, 并记下仪器的示值。其中最大值与最小值之差即为示值变动性。

3.2 示值误差

3.2.1 精密光学计的示值误差要求: 不超过 $\pm(0.05 + A/400) \mu\text{m}$, A (单位: μm) 为被检点相对于零位的读数。

示值误差检定或校准时 (以下统称检定), 采用 3 等量块或 2 等量块以“配对法”检定。在 $0 \sim \pm 20 \mu\text{m}$ 范围内, 每间隔 $10 \mu\text{m}$ 检定一点; 超过 $\pm 20 \mu\text{m}$ 的范围, 每间隔 $20 \mu\text{m}$ 检定一点。各受检点所选用的量块尺寸以及配对的对数见表 2。

示值误差的检定, 可借助于三珠工作台或球筋工作台进行。检定时, 以第一块量块对准零位, 第二块量块检定受检点的示值误差, 再以第二块量块对准零位, 第三块量块检定受检点的示值误

表2 精密光学计示值误差检定时量块的选择

受检点 / μm	量块等级	配对数	量块尺寸 / mm
± 10	2等	3	1, 1.01, 1.02, 1.03
	3等	5	1, 1.01, 1.02, 1.03, 1.04, 1.05
± 20	2等	3	1, 1.02, 1.04, 1.06
	3等	4	1, 1.02, 1.04, 1.06, 1.08
± 40	2等	2	1, 1.04, 1.08
	3等	3	1, 1.04, 1.08, 1.12
± 60	2等	1	1, 1.06(直接测量)
	3等	2	1, 1.06, 1.12
± 80	2等	1	1, 1.08(直接测量)
	3等	2	1, 1.08, 1.16

差, 以此类推, 直至所需配对量块的最后一块量块。检定正向分度时, 量块的尺寸按递增方式进行; 检定负向分度时, 量块尺寸按递减方式进行。

各受检点的示值误差 δ 按式 (6) 计算求得。

$$\delta = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} r_i - (l_n - l_1) \times 1000}{n-1} \quad (\mu\text{m}) \quad (6)$$

式中: r_i —每一受检点用各对量块检定时读得的数值, (μm);

l_n —最后一块检定受检点示值误差用的量块实际尺寸 (mm);

l_1 —最初对准零位用的量块的实际尺寸 (mm);

n —每一受检点所用量块的块数。

3.2.2 立、卧式光学计相对于零位的示值误差要求: 在 $\pm 60 \mu\text{m}$ 范围内不超过 $\pm 0.2 \mu\text{m}$; 超过 $\pm 60 \mu\text{m}$ 范围时, 不超过 $\pm 0.25 \mu\text{m}$ 。检定方法采用 3 等量块以“配对法”检定。受检点应至少分布在 $\pm 30 \mu\text{m}$, $\pm 60 \mu\text{m}$ 和 $\pm 90 \mu\text{m}$ 等六个位置上。其检定方法与 3.2.1 相同。受检点所选用的量块尺寸及配对的对数见表 3。

表3 光学计示值误差检定时量块的选择

受检点 / μm	配对数	量块尺寸 / mm
± 30	4	1, 1.03, 1.06, 1.09, 1.12
± 60	4	1, 1.06, 1.12, 1.18, 1.24
± 90	3	1, 1.09, 1.18, 1.27

长度计量基础知识讲座(二十五)

作者: [顾耀宗](#)
作者单位: [上海市计量测试技术研究院](#)
刊名: [上海计量测试](#)
英文刊名: [SHANGHAI MEASUREMENT AND TESTING](#)
年, 卷(期): 2010, 37 (6)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_shjics201006018.aspx