

实 驗 指 导 书

公差配合与技术测量

(一)

沈阳航空工业学院公差教研室编

一九八一年一月

公差实验室实验规则

- 一、进入实验室必须更衣、换鞋，衣着整洁。实验室内不准大声喧哗。
- 二、除与本实验有关书籍外，勿带其它无关物品。保持实验室整洁。
- 三、爱护量具仪器，实验时轻拿轻放，节约实验时所用的一切油脂、棉花等物品。
- 四、凡室内陈列及与本次实验无关的量仪，请勿任意乱动。
- 五、所有仪器的光学镜头不得用手帕等自行擦抹，如有必要，请向实验指导人员领镜头纸使用。
- 六、实验前需自学实验指导书，必要时可参观实验用仪器，在熟知注意事项后，方可开始工作。
- 七、实验时如仪器发生故障，应立即通知实验指导人员处理，严禁私自拆修。
- 八、实验完毕后，要把使用过的仪器、量具，用汽油擦洗干净，并在需要防锈的部位涂上一层薄薄的凡士林，按规定位置放置后，才能离开实验室。
- 九、实验报告的填写应在实验室内完成，并经指导人员批阅签字认可。
- 十、凡同学不遵守实验规则时，指导人员有权停止其实验。

目 录

前 言

量块使用基本知识

- 一、 用立式光学计测量塞规直径和形位误差。
- 二、 用卧式测长仪测量卡规尺寸。
- 三、 表面光洁度标准介绍及表面光洁度的测量与评定。
- 四、 用干涉显微镜测量表面光洁度。
- 五、 平台测量零件位置误差。
- 六、 用准直仪测机床导轨直线度。
- 七、 螺纹测量。
- 八、 齿轮周节累积误差的测量。
- 九、 齿轮公法线长度的测量。
- 十、 齿轮齿圈径向跳动量的测量。
- 十一、 渐开线齿形误差的测量。
- 十二、 用基节仪测量齿轮基节偏差。
- 十三、 齿轮齿厚的测量。
- 十四、 齿轮的综合检验。

前 言

在“公差配合与技术测量”课程中，实验工作是重要的组成部份。本课程中有关测试技术的学习，在相当程度上是通过实验来获得的。

本课程实验的目的是：进一步巩固课堂所讲授的知识，初步熟悉机械加工中长度计量用的一些基本量仪；它的度量指标、应用范围、测量原理与使用方法。并练习操作这些量仪，为后继专业课程的学习及其实验工作打下必要的基础。

同学们在实验过程中，应严格遵守实验室规则。

一、爱护仪器就象爱护自己的眼睛一样。

- 1、必须在指导教师的同意下使用仪器。
- 2、与实验无关的仪器，严禁乱动。
- 3、迁到仪器发生故障，应立即报告指导教师处理，不得擅自拆修。
- 4、光学镜头一律不准用手帕擦拭，如有必要，可报告指导教师，领取镜头纸。

二、严格保持实验室的整洁、安静。

三、节约使用实验用品。

本课程的实验方式，一般以同学独立地进行操作为主。同学在实验前一天，应仔细地自学实验指导书，实验时由指导教师简要地说明本实验的要求、任务与注意事项后，即可开始工作。

实验完毕后，同学应在实验室内完成实验报告，经指导教师批阅签字后，清理好仪器，方可离开实验室。

量块使用基本知识

在机械制造业，量块是保持长度单位统一的基准工具，量块的典型用途有：

- 1、进行尺寸传递，如检验和校正量仪及量具。
- 2、相对测量，用来定准仪器的零位。
- 3、直接测量某些高精度工件。
- 4、用于精密划线和调整机床。

熟悉量块的使用是精密测量实验工作最基本的要求之一，每个同学都必须学习这种使用技术。

量块的工作面明亮如镜，很容易和非工作面相区分。工作面又有上下之分：当量块尺寸小于 5.5 毫米的时候，有数字的一面即为上工作面；当尺寸 ≥ 6 毫米时，数字表面的右侧面为上工作面。

量块在使用时，为满足给定的尺寸要求，须将几块量块研配成一个整体尺寸组（图 1），此时，应将一块量块的上工作面和另一量块的下工作面相研配。为避免成套量块可能普遍地受磨损，故在选用量块时，量块组的两端应选有保护量块——护块，并将它的一面朝外（图 2）。

另外，为了减少量块的组合误差，应该用尽可能少的量块数目来组成所要求的尺寸。

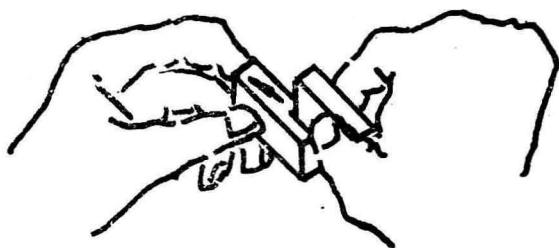


图 1

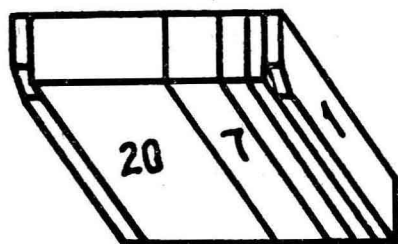


图 2

选用量块时，应按成套量块尺寸表（附表），从所需尺寸的最后一位数字开始选择，然后逐级递减。例如要在 87 块一套的量块中组合 28.785 毫米的尺寸时，可按如下步骤来选择量块：

所需量块的组合尺寸：

28.785

第一块量块尺寸：

$\begin{array}{r} -1 \\ \hline 1.005 \end{array}$

余 数：

27.78

第二块量块尺寸:	-)	1.28
余数:		26.5
第三块量块(护块)尺寸:	-)	1.0
余数:		25.5
第四块量块(护块)尺寸:	-)	1.0
余数:		24.5
第五块量块尺寸:	-)	4.5
第六块量块尺寸:		20

这样用上述六块量块就能组成 28.785mm 的量块组了。当需要组合的尺寸应精确到微米时,则还需与微米量块结合使用。

成 套 量 块 的 尺 寸 附 表

组	间 隔	成 套 量 块					
		87 块		42 块		补 充 量 块	
		尺 寸	块 数	尺 寸	块 数	寸 尺	块 数
1	0.001	1.005	1	1.005	1	1.001~1.009	9
2	0.01	1.01~1.49	49	1.01~1.09	9		
3	0.1	1.6~1.9	4	1.1~1.9	9		
4	0.5	1.5~9.5	19	1~9	9		
5	10	10~100	10	10~100	10		
保 护 量 块		1	2	1	2		
		1.5	2	1.5	2		

当量块选择已定,就可在盒内取出相应的量块,先用汽油洗净,并用干净绸布或麂皮等擦干,然后将两块量块的上下工作面叠置一部分,并以手指加少许压力后,逐渐推入,使两工作面完全重叠,则该两量块就会牢固地粘合在一起。这是由于量块的工作面具有很高的表面光洁度($\nabla 14$)与平面度,经擦净后还留有极薄的一层油膜(约 $0.2\mu\text{m}$),研合后靠分子间的引力使其牢固地联接在一起,一般称该性能为研合性。

量块使用时必须小心谨慎,不得用赤手接触工作面,在清洗、研配和测量过程中要轻拿轻放,不工作时把它放在干净棉布上摆开放置。量块的任何损伤均会影响其研合性或丧失原有精度。

实验一 用立式光学计测塞规直径和形位误差

一、实验目的:

- 1、了解光学计的基本工作原理及应用。
- 2、掌握由测量结果判断工件合格性的方法。

二、仪器说明:

立式光学计是一种长度比较仪器。是利用量块与工件相比较的方法来测量其尺寸差，故又称为光学比较仪。由于立式光学计的测量精度相当高，因此可作为长度基准传递仪器。它可检定五等精度的量块和高精度圆柱量规，是机械制造业中计量室的常用仪器之一，也可用于精密机加、装配车间中。

立式光学计的主要度量指标如下:

分度值 (毫米)	0.001
刻度范围 (毫米)	± 0.1
测量范围: 长度 (毫米)	0~180
直径 (毫米)	0~150

极限测量误差 (微米)	$\pm (0.5 + \frac{5L}{1000})$
-------------	-------------------------------

(L——被测工件长度, 单位为毫米)

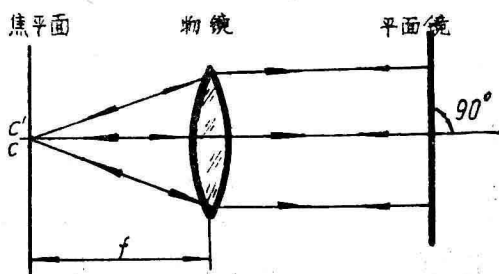


图 1-1

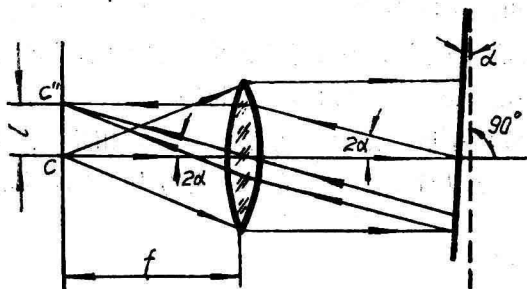


图 1-2

三、光学计管的工作原理

光学计管是立式光学计的主要部件，整个光学系统和测量部件装在光学计管内部。光学计管的工作原理是光学的自准直原理和机械的正切杠杆原理组合而成。

所谓自准直原理，就是指位于物镜焦平面内的目标，它所发出的光线经过物镜变为一束平行光，在迁到一块平面反射镜后被反射回来，重新进入物镜，光线仍能聚焦于焦平面内，并造成目标的实象。

如图 1—1 所示, 如果目标 C 位于物镜的焦点上。它所发出的光线通过物镜后变为一束平行于光轴的平行光。当它到垂直于光轴的平面反射镜时, 光线按原路被反射回来, 重新进入物镜, 且会聚于原来的焦点上, 则目标象 C' 与目标 C 完全重合。

若使平面反射镜偏转一个微小的角度 α , 如图 1—2 所示, 光线就按反射定律反射回来, 反射光线与入射光线的夹角就为 2α 。再经物镜会聚于焦平面上的 C'' 处, C'' 是目标 C 的象。C 和 C'' 相距为 l

$$l = f \tan 2\alpha$$

因此, 当物镜焦距 f 已知时, 可根据此公式计算后, 在物镜的焦平面上设置一个刻度尺作出相应的刻度。使用时, 从目镜视场中读出刻度尺上反射象的偏离值 l , 便可算出反射镜面的偏转角 α , 这就是用自准直原理测微小角度的原理。

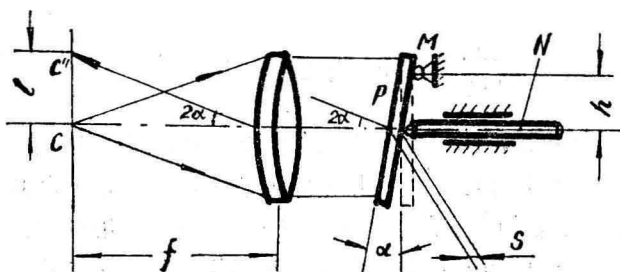


图 1—3

平面反射镜的角度偏转是应用了机械正切杠杆机构。如图 1—3 所示。在光轴方向上安装一根活动的测量轴 N, 让它的一端与平面反射镜 P 相接触, 同时给平面反射镜 P 安装一根摆动轴线 M。如果测量轴 N 发生移动, 就推动了平面反射镜 P 围绕轴线 M 而摆动。测量 N 的移动量 S 与平面反射镜 P 的摆动角 α 的关系是正切关系, 由图可知为

$$S = h \tan \alpha$$

式中 h ——臂长, 为测量轴至平面反射镜摆动轴线间的距离。

通过一块平面反射镜 P 把正切杠杆机构和自准直光学系统联系在一起。这样, 工件与量块之间的微差尺寸 S, 就使测量轴也移动了距离 S, 推动了平面反射镜 P 偏转了 α 角, 于是目标象 C'' 移动了距离 l 。只要把 l 测量出来, 就得到了测量值 S。这就构成了光学计管的工作原理。

目标象的移动量 l 与测量轴的移动量 S 的比值就为这个系统的放大倍数, 通常称为光学杠杆放大比, 用 K 表示

$$K = \frac{l}{S} = \frac{f \tan 2\alpha}{h \tan \alpha}$$

由于 α 角一般是很小的, 可取

$$\tan \alpha = \alpha \quad \tan 2\alpha = 2\alpha$$

则

$$K = \frac{2f}{h}$$

目前我国生产的光学计，常取镜焦距 $f = 200$ 毫米，短臂长 $h = 5$ 毫米，则传动放大比 $K = 80$ 。这样，当测量轴移动1微米时，刻度尺影象 C'' 将移动80微米（即移过一个分度间隔 $a = 0.08$ 毫米）。

在用12倍的目镜观察时，所见到的刻度尺影象的位移放大了12倍。因此，总传动放大比

$$K' = 12K = 960$$

在12倍目镜所看到的分度间隔 a' 也放大了12倍，则

$$a' = 12a = 12 \times 0.08 = 0.96 \text{ 毫米。}$$

由此可得分度值

$$i = \frac{a'}{K'} = \frac{0.96}{960} = 0.001 \text{ 毫米。}$$

图1—4是光学计管光路图。来自光源的光线，经反射镜1反射，通过三棱镜2反射至玻璃刻度板3（又称分划板）上，此玻璃刻度板位于物镜6的焦平面上，刻度板如图1—4（b）所示，在它的中心的一侧有刻度尺4，另一侧的对称面上有成象面9（其它部分都涂黑），在9的中间刻有指示箭头与指标线。刻度尺4上刻有 ± 100 个分

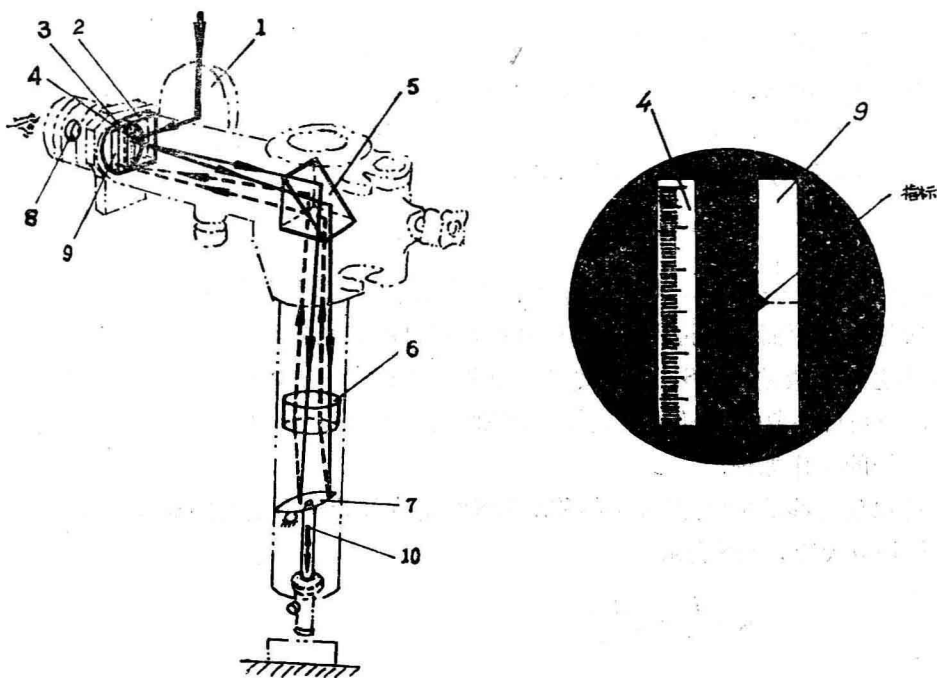


图1—4

度，分度间隔 $a=0.08$ 毫米，光束经过玻璃刻度尺后，由三棱镜5全反射，使光束向下转 90° ，透过物镜6成平行光线投射到可摆动的平面镜7上，反射后再经物镜6，三棱镜5，在位于物镜焦平面的刻度板上形成刻度尺影象。根据自准直原理，此刻度尺影象与刻度尺4应对称于主光轴两侧，即投影于成像面9上。同时刻度板3又位于目镜8的物方焦平面上，所以从目镜8观察到刻度尺影象。

又由前述正切杠杆原理可知，当测量轴10发生微差位移S时，平面镜7就会偏转一个很小的角度 α ，根据自准直原理，刻度尺的影象就在垂直于指标的方向，相对于指标移动一距离 l 。从目镜8上我们就能读出其位移变动量即读数了。

四、仪器的使用与调整。

立式光学计的外观见图1—5。仪器底座1上有带有螺旋的立柱2，立柱上的悬臂4可随转动螺母3而升降，悬臂前有孔可安装光学计管8，并可用螺钉7固定。测帽6和工作台5都备有不同形状和大小的多种，可按被测零件的形状和大小来选用。进光反射镜9可按光源方向调整其角度，使强光直射入光管的进光窗内。

1、测帽的选择：

为了适于测量各种形状的工件，测帽的工作面具有不同的形状，有平面和球面之分。平面测帽又分为小平面测帽（ $\Phi 2$ 毫米），平面测帽（ $\Phi 8$ 毫米）和刃形平面测帽。

选择原则：根据工件的形状，选择与工件接触面尽量小的工作台和测帽，即保证点接触或线接触，但又要考虑测量的方便性和可靠性。例如：测量凸球面时用平面测帽，测量平面或圆柱面时用球面测帽，测量小于10mm直径的圆柱体工件用刃形平面测帽；检定量块时则必须应用球面测帽和筋形平面工作台。

2、工作台的调整：

测量时是以工作台面为基准面，因此台面应与测量轴线严格垂直。可用工作台调整螺丝调整。（此调整较为麻烦，实验前已由指导教师调整好，请勿动）。

3、零点调整：

a)、将选好的量块以下工作面置于工作台上（注意勿使量块挪动，防止损伤量块的工作面），并使其上工作面中点对准仪器测帽中间。

b)、粗调节：放松立柱锁紧螺丝，转动大调节螺

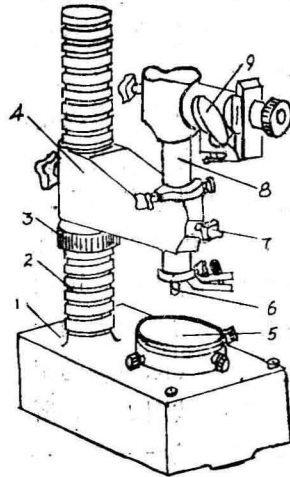


图 1—5

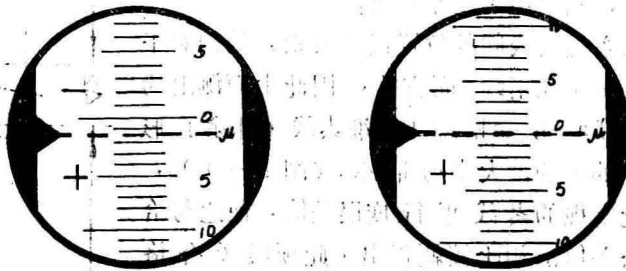


图 1—6

母，使悬臂下降，直到测帽与量块表面接触且在目镜内看到刻度尺为止（如图1—6a）。拧紧立柱锁紧螺丝。

C) 细调节：旋松光学计管锁紧螺丝，转动凸轮，使目镜内的刻度尺O线接近与固定指标线重合（如图1—6b）拧紧光管锁紧螺丝。

d) 微调节：轻轻按动杠杆，使量头起落数次，视零线位置稳定后，转动微动调节手柄，使刻度O线与固定指标线重合。

五、测量原理：

仪器调整好以后，要测图1—7所示塞规的直径尺寸、素线直线度以及相对素线的平行度。

1、测直径：

将塞规放在带筋工作台上，用挡铁靠住，用刀口测帽测出A、B、C三个断面（或更多），I~VI几个纵剖面（图1—8）的实际尺寸与量块基本尺寸的偏差值，按塞规给定极限偏差判断塞规直径尺寸的合格性。

2、测塞规素线直线度：

为塞规素线形状误差要求，须满足“最小条件”。在I~IV几个纵剖面上所测的偏差数A、B、C中，选取其中相邻差值均为最大的一组数a、b、c（除明显的粗误差外），按图1—9所示画出误差曲线a—b—c，然后用最小条件确定直线度误差值 Δ_1 ，与直线度公差值 δ_1 相比较得出塞规合格性结论。

3、测塞规素线平行度：

为塞规素线间的位置误差要求，是相对于基准——对径素线A而言的，因此上面测出的误差曲线a—b—c相对于基准素线（排除了形状误差的）的最大变动量 Δ （图1—9），即为此塞规的素线平行度误差值，使之与给定的公差值 δ_2 相比较就得出了此项误差合格性的结论。

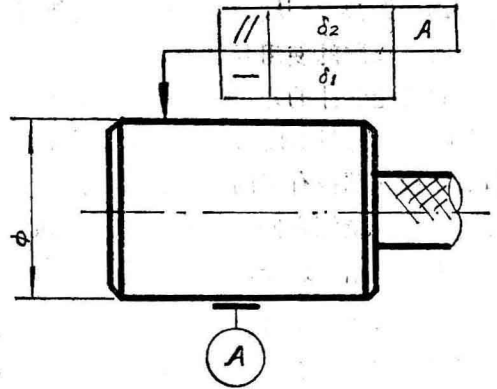


图1—7

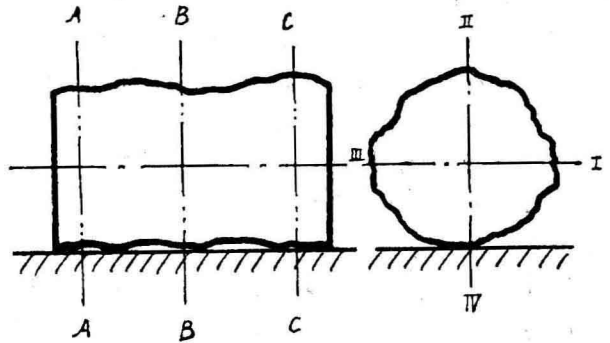


图1—8

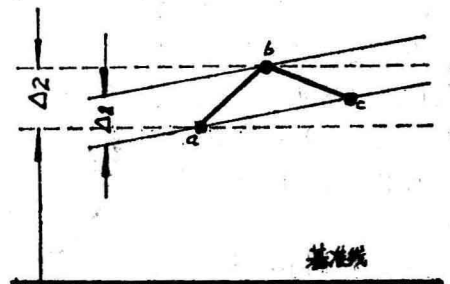


图1—9

六、实验步骤

- 1、根据被测塞规所检验工件的基本尺寸选择量块，研配好，调整仪器零位。
- 2、将塞规靠在工作台挡铁上，用刀口测帽按报告要求测出各纵剖面上各部位的读数，记入报告内。
- 3、按读数计算塞规实际偏差，并判断塞规通、止端直径尺寸的合格性。
- 4、选出其中相邻差值均为最大一组数，按报告要求比例，画出误差曲线。如无合适的相邻差值均为最大的一组数，无法判断误差为最大时，则须画出各组曲线进行对比。
- 5、确定素线直线度误差及素线平行度误差，判断塞规形位误差的合格性。
- 6、清理仪器。

七、思考题。

- 1、能否用千分尺、游标卡尺测量圆柱塞规的形位误差？
- 2、素线直线度与轴线直线度是一回事吗？
- 3、素线平行度与圆柱度有什么区别？
- 4、什么叫最小条件？为什么说最小条件是评定形状误差的准则？
- 5、位置误差中是否包括基准表面的形状误差？是否排除被测表面形状误差？为什么？

实验二 用卧式测长仪测量卡规尺寸

一、实验目的

- 1、熟悉卧式测长仪的使用方
- 2、掌握螺旋读数显微镜的读数原理。

二、使用仪器

测长仪是以精密刻线尺为基准，符合abbe原理，并利用螺旋读数显微镜读数的高精度长度量仪。可分为立式与卧式两种，立式测长仪用于测量外尺寸，卧式测长仪除可用于测外尺寸外，还可应用附件进行内尺寸、小孔及内外螺纹中径的测量。

卧式测长仪的外形见图 2—1，它由机座 1，abbe测量体 2，工作台 3，及尾座 4 等组成。

1、测量原理：

如图 2—2 所示，仪器的可换测帽 2 紧固在测量轴 1 上，砝码 9 通过拉线 8 与测量轴 1 相连，使测帽上得到一个恒定的测量力，测量内尺寸时，测头测力方向可通过砝码施力方向的改变而得到。主刻线尺 3 被牢固地安装在测量轴 1 上，刻线表面与测量轴 1 轴线完全重合。

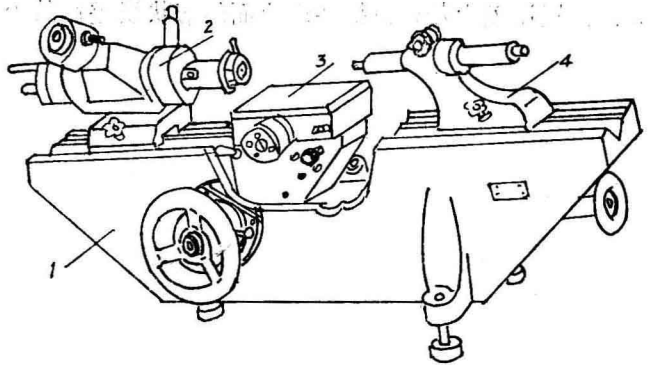


图 2—1

当测量时，主刻线尺 3 被照明器 10 照明，并通过螺旋读数显微镜读数。当用绝对测量时，测轴上测帽与尾座上的测帽相接触，此时仪器的读数应调整至零。因而当测轴上测帽与尾座上的测帽均与工件接触时，其读数即为工件实际尺寸。

2、工作台的调整：

安放被测件的工作台 3（图 2—1）具有四种调整可能性：

a) 松开固紧螺丝，转动升降手轮，可使工作台在 100 毫米范围内上下运动。左右两边的螺丝是工作台升降的限位器。

b) 工作台在 0~25 毫米范围内的前后移动，可以在千分尺鼓轮上读出数值。

c) 借助于小手轮，可以使工作台绕水平轴左右倾斜，用固紧手柄可将其固定在任意倾斜的位置上。以适应调整的需要。

d) 借助于手柄，能使工作台绕垂直轴回转。此外，活动工作台可在 5 mm 的范围内

在左右方向上自由浮动，而专为测量内螺纹使用的一个附加工作台（灵敏工作台），还

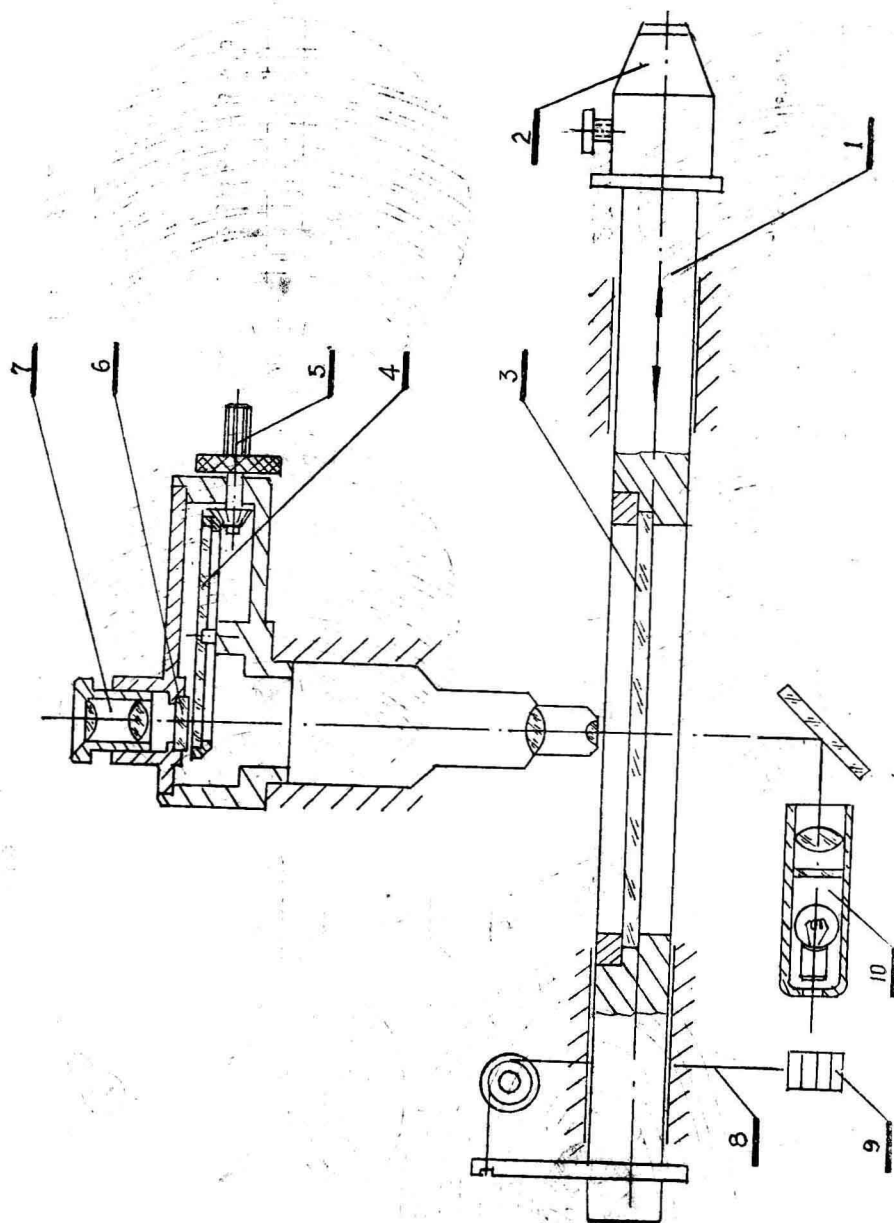


图 2—2

可以在一定范围内前后左右自由浮动，并能绕垂直轴自由转动。

3、螺旋读数显微镜

图 2—2 上部所示的螺旋读数显微镜是精密光学仪器中常见的一种读数装置，它可以直接读出 1 微米，估读最精可至 0.1 微米数值，图 2—2 上部是其结构示意图。主刻线尺 3 上共有 100 毫米的毫米刻线，通过显微镜的物镜，成象于螺旋分划板 4 上，在目镜 7 中可以观察到如图 2—3 丙的图象，读数为 74 (mm)。靠近此玻璃螺旋刻线圆盘有固定玻璃标尺 6，其上有 11 条刻线，间隔为 0.1mm，与主刻线尺 3 配合就可读出测量值精确到 0.1mm 的读数，如图 2—3 丁读数为 44.2mm。当被测值有 0.01, 0.001mm 数

时值、则用上述标尺读不出来，而要用由转动手轮 5 控制的可转动玻璃螺旋分划盘 4，

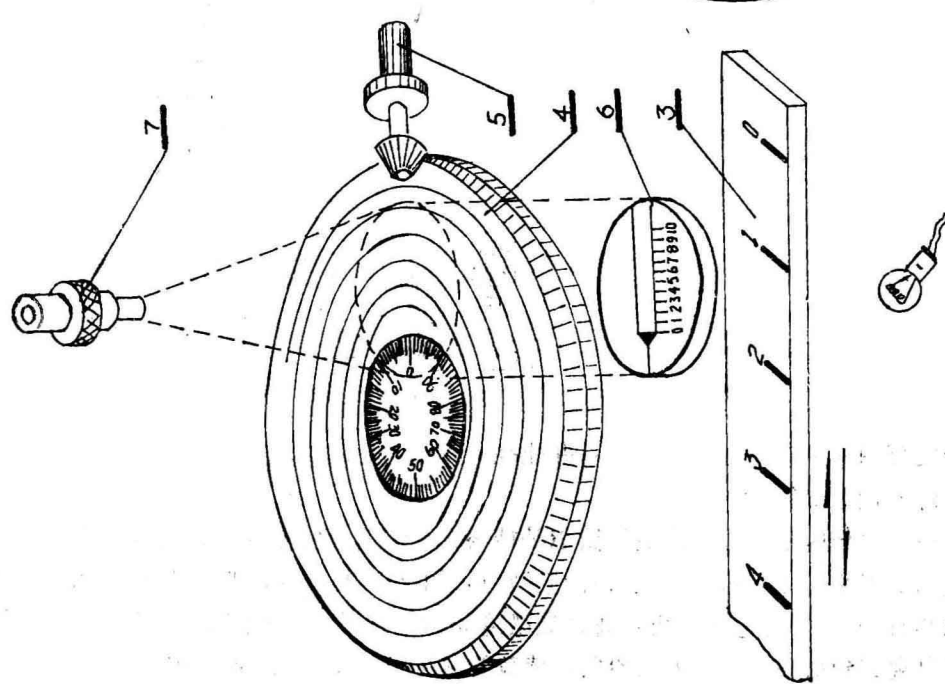
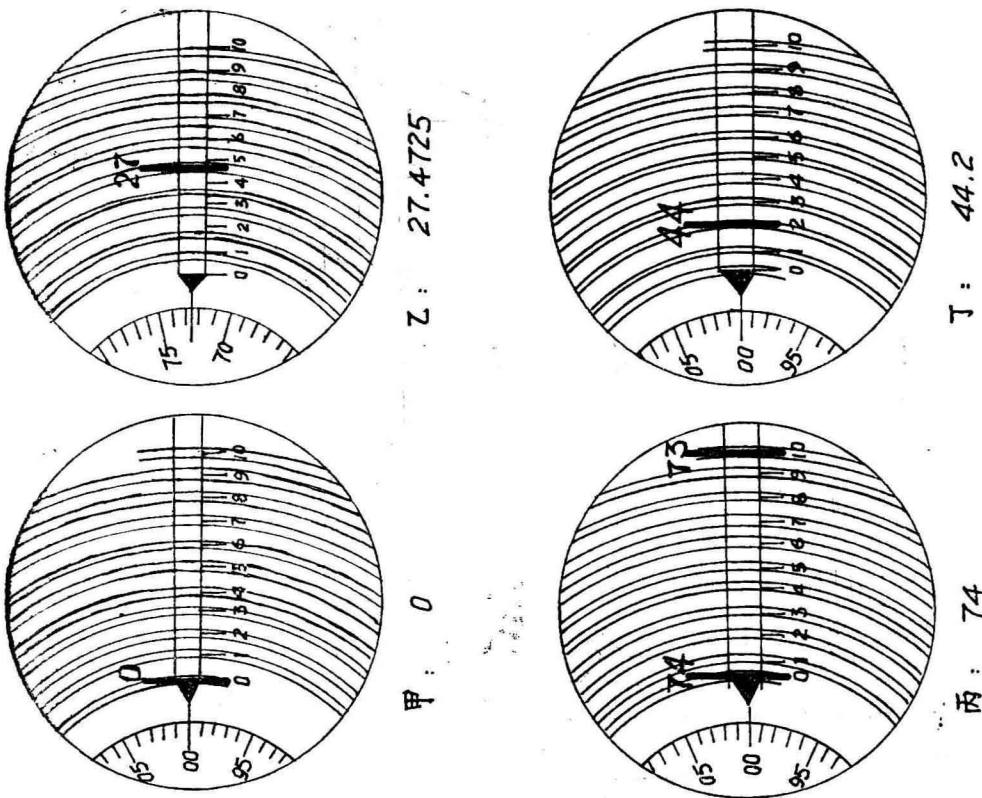


图 2—3

其上刻有一条双线阿基米德螺旋线，导程为0.1mm，并在圆盘中央刻有100个圆周刻度。这样，当圆盘旋转一周时，圆盘中央刻度即旋转100个刻度，螺旋线径向移

动一个导程 0.1mm ，而当圆盘旋转 $\frac{1}{100}$ 周，即一个分度，则螺旋线相当于径向移动了

$\frac{1}{100}$ 导程 $=\frac{1}{100}\times 0.1\text{mm}=0.001\text{mm}$ 。因此便可读出 0.001mm 的部份了。如图2—3乙为 27.4725 (0.0005 是估读出来的)。

测量前仪器应对准零位 (如图2—3甲)，或用标准件、量块等测出原始读数值。为测量瞄准方便，对零及读数时应使毫米刻线位于双阿基米德螺旋线中间。

三、实验步骤

- 1、按被测卡规所检工件的基本尺寸组合量块，装入量块附件两量爪间。
- 2、在测长仪上装好量钩、测球。
- 3、用量块组调整仪器，微微转动手轮，使工作台绕水平轴与垂直轴作左右摆动，找出仪器的最小读数值、即原始读数 A_0 。

4、取下量块组，测量卡规工作尺寸实际偏差，按实验报告处理数据。

5、处理测量结果，得出卡规合格性结论，清理仪器。

四、思考题：

- 1、在卧式测长仪上能进行那些测量工作？能进行间接测量吗？举例说明之。
- 2、螺旋读数显微镜的读数原理如何？
- 3、由于测量方法不正确而影响到测量结果都有那些情况？如何消除？

实验三 表面光洁度的测量与评定及标准介绍

一、实验目的

- 1、掌握表面光洁度国家标准的评定参数和分级规定。
- 2、熟悉用光切显微镜和标准样块评定工件表面光洁度的方法。

二、表面光洁度标准介绍

(从略, 见教科书)

三、使用仪器

光切显微镜又叫双管显微镜, 是一种测量零件表面光洁度的仪器, 一般用来测出表面的不平度平均高度 R_z , 以确定其表面光洁度。光切显微镜的测量范围是 $\nabla 3 \sim \nabla 9$ 。

1. 仪器结构:

图 3—1 XSG型光切显微镜外形

1、12—可换物镜, 2—显微镜支臂, 3—观察镜管限位和固紧螺丝, 4—观察镜管, 5—测微目镜, 6—显微镜升降微动手轮, 7—显微镜升降粗动手轮, 8—显微镜在立柱上升降手轮, 9—显微镜在立柱上固紧手轮, 10—照明管沿光轴方向微动手轮, 11—照明管摆动螺丝。

XSG型光切显微镜备有四对不同倍数(7x、14x、30x、57x)的物镜, 可根据被测工件表面光洁度的高低相应选择。

2、测量原理

光切显微镜是利用光截面原理来测量表面光洁度的, 见图 3—2、及图 3—3。

当照明管内的光线经过光缝后, 形成一狭窄的光束P, 经物镜后照射在工件表面(图 3—2 a), 并反射到观察镜管内, 在测微目镜的分划板上看到了表面粗糙不平的影象(图 3—2 b)。因为照明管射出来的光束还有一定的厚度, 所以在目镜中看到的是一条亮带(此光束带有两个边界)。而在测量时只根据其中比较清晰的一边进行测量。

由于照明窄光束的投射方向所形成的入射角及目镜测微千分尺结构和物镜的放大倍数的关系, 所以在目镜千分尺测微鼓轮上读出的峰谷间的高度数 A_i , 并不等于表面微观不平的波峰与波谷间的实际高度, 而要乘以测微千分尺的分度值E。E的数值随所选

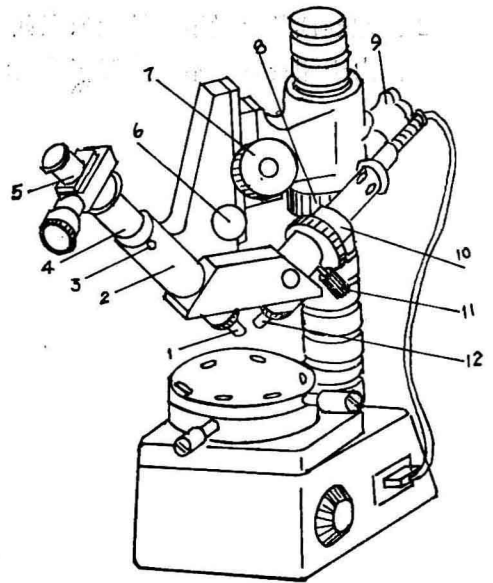


图 3—1