

# 接触式干涉仪原理与使用

徐孝恩 编著



中国计量出版社

# 接触式干涉仪原理与使用

徐孝思 编著

江苏工业学院图书馆  
藏书章

中国计量出版社

## 内 容 提 要

本书全面系统地论述了接触式干涉仪的原理、工作中的调整、构成测量误差的因素、仪器检定方法、在计量检定测试中的应用以及扩大仪器使用范围和改装、组合的方法。

本书可供工厂计量室、计量系统实验室、计量测试人员阅读，亦可供大专院校公差实验室师生参考。

## 接触式干涉仪原理与使用

徐孝恩 编著

责任编辑 栾桂芬

—♦—

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲2号

中国计量出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

—♦—

开本 787×1092/32      印张 4.25 字数 92千字  
1990年5月第1版      1990年5月第1次印刷

印数 1—6 000

ISBN 7-5026-0329-8/TB·271

定价 3.00 元

# 目 录

|                                |        |
|--------------------------------|--------|
| 绪 言 .....                      | ( 1 )  |
| 第一章 接触式干涉仪的外型、结构和工作原理 .....    | ( 3 )  |
| 一、外型结构 .....                   | ( 3 )  |
| 二、仪器的工作原理 .....                | ( 9 )  |
| 第二章 仪器使用前的预调和工作台的应用 .....      | ( 20 ) |
| 一、仪器干涉带的寻找和调整 .....            | ( 20 ) |
| 二、仪器的定度和读数 .....               | ( 21 ) |
| 三、仪器干涉头的结构 .....               | ( 25 ) |
| 四、仪器所附工作台种类和选用说明 .....         | ( 28 ) |
| 第三章 仪器误差及其检定方法 .....           | ( 32 ) |
| 一、仪器误差的产生原因 .....              | ( 32 ) |
| 1. 分度值误差对测量精度的影响 .....         | ( 32 ) |
| 2. 在检定仪器时, 基准量块引入的误差 .....     | ( 37 ) |
| 3. 估读误差 .....                  | ( 37 ) |
| 4. 仪器示值不稳定性对测量精度的影响 .....      | ( 38 ) |
| 5. 干涉光管的示值最大不准确度 .....         | ( 38 ) |
| 二、仪器的测量方法误差 .....              | ( 39 ) |
| 1. 作为基准用一等量块带来的误差 .....        | ( 40 ) |
| 2. 温度误差 .....                  | ( 40 ) |
| 3. 测量轴轴线与工作台不垂直度对测量精度的影响 ..... | ( 41 ) |
| 三、仪器示值误差的检定方法 .....            | ( 43 ) |
| 四、接触式干涉仪单色滤光片的检定 .....         | ( 46 ) |

|                                                       |       |
|-------------------------------------------------------|-------|
| 1. 利用钠光灯波长作标准, 在被检的接触式干涉<br>仪上检定滤光片波长 .....           | (47)  |
| 2. 利用 1 等量块作标准在柯氏干涉仪上检定单色<br>滤光片的波长 .....             | (49)  |
| 第四章 接触式干涉仪在计量测试中的应用 .....                             | (54)  |
| 一、量块的检定 .....                                         | (54)  |
| 1. 检定前的技术要求和准备工作 .....                                | (54)  |
| 2. 量块的检定 .....                                        | (72)  |
| 二、接触式干涉仪在精密测试中的应用 .....                               | (76)  |
| 1. 测帽的选择 .....                                        | (76)  |
| 2. 测帽和砧座之间平行度的调整 .....                                | (77)  |
| 3. 标准量块的选用和组合 .....                                   | (80)  |
| 4. 零件的精密测试 .....                                      | (82)  |
| 三、接触式干涉仪用于微小尺寸的绝对<br>测量 .....                         | (100) |
| 第五章 扩大仪器使用范围, 改装、组合接触<br>式干涉仪的实用方法 .....              | (104) |
| 一、与测长机结合测量大量块和高精度<br>校对杆 .....                        | (104) |
| 二、与象点比较仪结合提高孔径的测量<br>精度 .....                         | (105) |
| 三、与万能测长仪组合测量孔径 .....                                  | (107) |
| 1. 组合方法 .....                                         | (107) |
| 2. 测量结果误差的分析 .....                                    | (110) |
| 四、用接触式干涉仪改装为非接触式孔径<br>干涉比较仪测量高精度孔径、深孔、<br>盲孔的方法 ..... | (115) |
| 1. 测量原理 .....                                         | (116) |

|                  |       |
|------------------|-------|
| 2. 仪器的改装 .....   | (120) |
| 3. 测量精度 .....    | (124) |
| 五、组合小角度发生器 ..... | (125) |
| 参考文献 .....       | (126) |

## 绪 言

接触式干涉仪亦称乌氏干涉仪,型号为 ПИУ 型\*。50 年代由苏联引进时,因为设计者为乌威尔斯基(И.Т.Уверский)工程师,因此当时许多书籍、文献和工厂计量室均以此称呼。60 年代我国仪器制造厂对此作出新的设计,进行成批生产型号为 JOS-型,同时日本、瑞典等国家也有类似产品,目前该量仪已在我国许多计量研究所、工厂计量室和学校公差互换性实验室作为长度计量中的主要仪器。该仪器设置在基准室用以比较测量量块的长度,作为精密测试仪器时,可以使用量块或标准零件作为标准,比较测量各种零件的外尺寸。诸如精密的轴径、球径等。同时仪器也可用绝对法精密测量微小零件的尺寸、测量微小位移量。如经常用它来检定分度值大于  $0.2\text{ }\mu\text{m}$  的指示式量仪,在仪器光路上附加进法布里——珀罗标准具后,还可以扩大它的测量范围。苏联考伦凯维奇(В.П.Коронкевич)采用了  $10\text{ }\mu\text{m}$  长度的标准具安置在仪器的光路中,这样当光管中带测量反射镜的测杆每位移一个标准具长度量后,就可在仪器视场中顺序地观察到一组带有消色差干涉带的白光干涉条纹,从而使测量范围扩大到原来比较测量时量程的 32 倍。为高精度小尺寸零件在该仪器上的测量提供一个方便的条件。

在目前计量测试工作要求的精确度不断提高,小尺寸精密零件亦越来越多,为使这干涉仪充分发挥它的作用,提高

---

\* ПИУ 型是 60 年代前的老型号,我国工厂基本上都是此型号。目前苏联把立式接触干涉仪改为 ИКПВ 型,卧式接触干涉仪为 ИКПГ 型。

工厂仪器设备的经济效益，本书从仪器使用原理、调整方法、精确度检定和扩大它的使用范围上作了详尽的介绍。以使仪器操作技术人员，从理解原理的基础上掌握它的操作调整要领，并灵活地与其它仪器组合应用，从而发挥仪器的使用潜力。

# 第一章 接触式干涉仪的外型、 结构和工作原理

## 一、外型结构

接触式干涉仪在国外有立式和卧式两种，国内应用的多是立式接触干涉仪。它是当前检定 2、3、4 等量块用得最为广泛的仪器。同时也可以用作 150 mm 以下的其它精密零件的尺寸作相对测量及高精度细小尺寸零件的绝对测量之用。

仪器的技术数据：

- |                              |                                             |
|------------------------------|---------------------------------------------|
| ①可测工件的最大长度（或直径）              | 150 mm                                      |
| ②工作台升程                       | 5 mm                                        |
| ③干涉头光管安装时的配合直径               | $\phi 28$                                   |
| ④与测帽配合的测杆端头配合直径              | $\phi 5$                                    |
| ⑤测杆的升程                       | 1 mm                                        |
| ⑥相对零刻线的刻度数                   | $\pm 50$                                    |
| ⑦按仪器所用波长定度刻度的分度值从 0.000 05 到 | 0.000 2 mm                                  |
| ⑧推荐的刻度定度值                    | 0.000 1 mm                                  |
| ⑨仪器示值误差的表达式                  | $\delta = \pm (0.03 + 3 ni \Delta \lambda)$ |
- $n$ ——距离零刻线的分划刻度数；  
 $i$ ——分划刻度定度值 ( $\mu\text{m}$ )；  
 $\Delta \lambda$ ——波长检定误差。

⑩测量力调整范围 80~270 gf

⑪规定的测量力 150±7gf

⑫刻度定度值在 0.000 05 mm 时, 在示值范围内测量力的变动量 1 gf

⑬干涉头的外形尺寸 65×245×310 mm

为了达到仪器设计的使用功能, 应具有下述各类附件。

①支架及基座, 并附有:

五筋平台 1个

辅助平台 1个

②干涉光管, 并附有:

照明器 1个

测杆提升器 (拨叉) 1个

隔热屏 1块

小球面测帽 ( $\phi 3$ , R 14) 1个

③除上述部分外, 仪器还应包括有:

220 V/6 V, 5 W 调压变压器 (ПИУ-2 型为 127-220/8 V) 1只

平面工作台 1个

玛瑙工作台 1个

带有补偿环的附加筋形工作台 (ПИУ 型) 1个

平行平晶 1块

高量块移动框 } (尺寸 9×30, 9×35) 2个

小量块移动框 } 1个

平面测帽 ( $\phi 8$ ) 2个

小球面测帽 ( $\phi 3$ , R 14) 1个

备用灯泡 (6V, 5 W) (ПИУ 型为 СЦ-80 灯泡) 2个

干涉带调节扳手 1个

自由状态调节扳手 1个

测力装置 1 个

干涉滤光片波长检定证书 1 份

此外还应有仪器的检定合格证书。

仪器通过对参考镜的调整，推荐有  $0.2$ ， $0.1$  和  $0.05\mu\text{m}$  三种分度值，在日常用作检定时，多使用  $0.1\mu\text{m}$  一档的分度值。

立式接触干涉仪的外形如图 1 所示。它由“Γ”形的干涉仪光管悬臂 1，立臂 2，底座 3 及工作台所组成。干涉系统则由测量杆筒 4，干涉箱 5 和观察镜管 6 所组成。

仪器各旋钮和部件的作用说明如下：

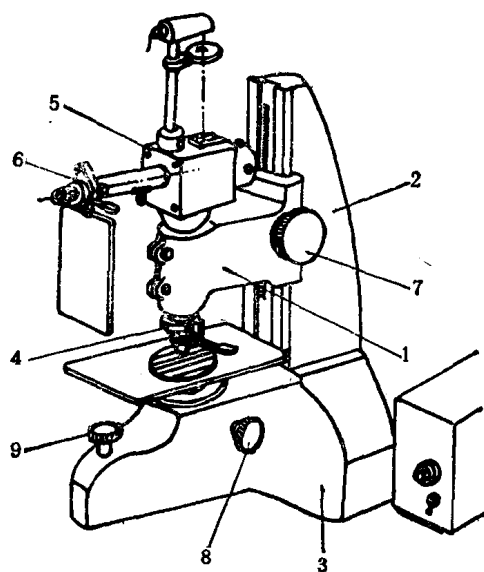
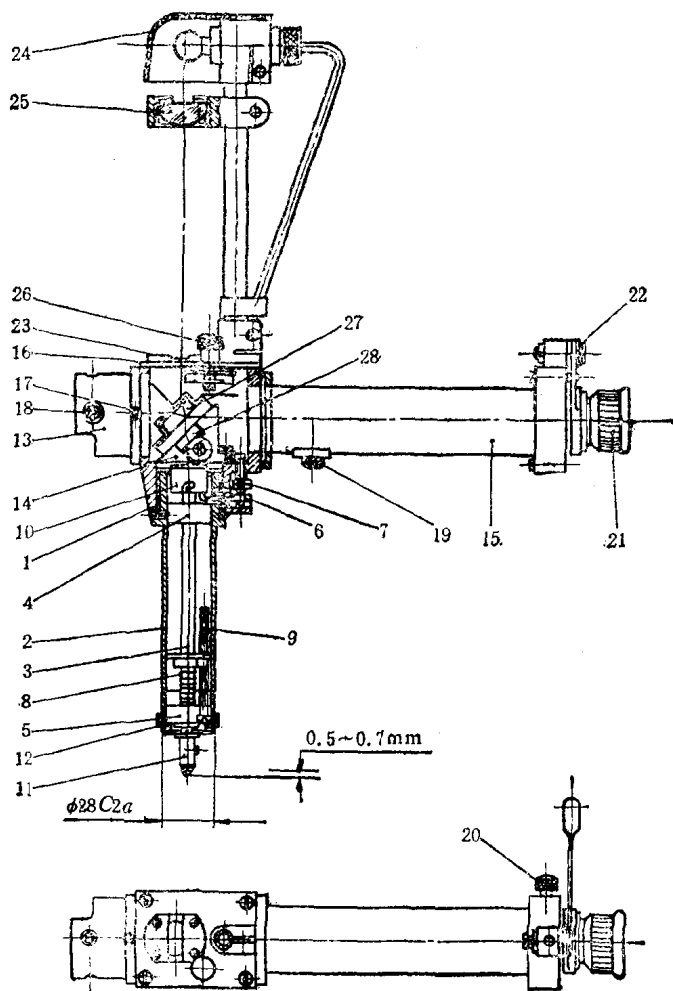


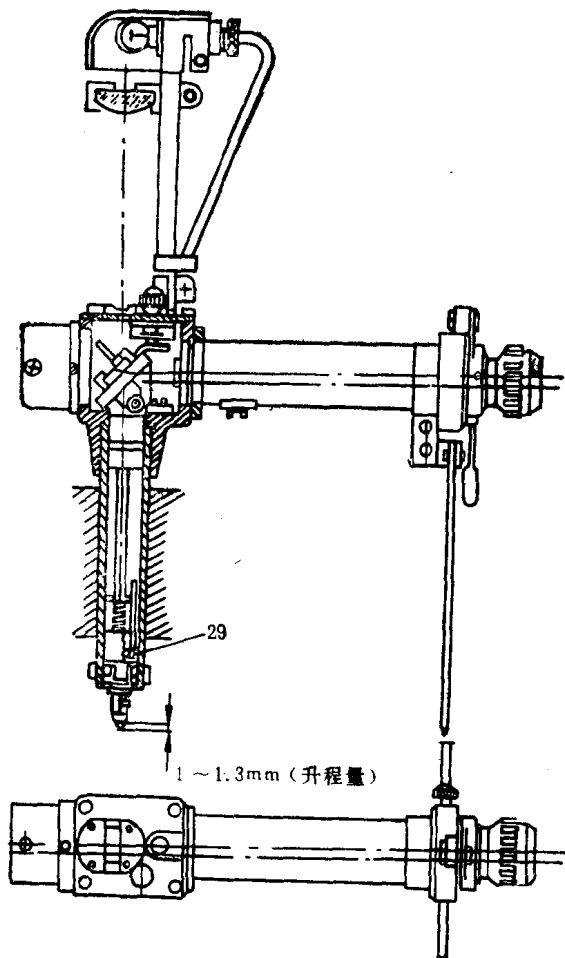
图 1

把变压器的电源插头与电路接通，打开照明开关，把罩 (24) 内灯泡开亮，参阅图 2 (a)。远心透镜 (25) 安置在距灯泡合适的位置，使仪器成远心光束照明。这时在目镜

(21) 的视野内,应当可以看到干涉带,如果这时在视野内边缘没有干涉带,则必须小心缓慢地旋 转 限位调节螺钉 (7) (或挡块 (29), ПИУ-1 型,参阅图 2(b)), 沿着顺时针方



(a)



(b)

图 2

1. 干涉头接管；2. 测量杆筒；3. 测量杆；4. 上平行片簧框架；
5. 下平行片簧框架；6. 限位杠杆；7. 限位调节螺钉；8. 测力弹簧；9. 测力调整螺钉；10. 测量反射镜座；11. 测帽；12. 测杆提升器；13. 参考镜座；14. 分光镜座；15. 观察镜管；16. 盖；17. 螺纹顶尖；18. 参考镜微动螺钉；19. 物镜固定螺钉；20. 标尺零位调节螺钉；21. 目镜；22. 目镜摆动轴；23. 盖框；24. 灯罩；25. 远心透镜；26. 滤光片移动钮；27. 分光镜；28. 补偿镜；29. 挡块

向或反时针方向进行，直到干涉带出现在合适位置。干涉带在视场刻度平面上像的清晰度的调整，可把螺钉（19）放松后，顺着观察显微镜轴线移动内部的物镜来达到。然后检查干涉带的移动方向，这时当用手指压下拨叉，测量头向上提升时，视场内干涉带指标应当顺着正的方向行进。如果出现情况与上面相反时，可利用侧向微动螺钉（18）调整参考镜，使视场中干涉带间距的宽度到最大，最后直到一片色。这时再继续调整，干涉带又出现，并开始向需要的另一方向变化。如干涉带有倾斜，则可调整另一个微动螺钉使干涉带和分度线方向一致。最后达到干涉带移动方向和测量头提升方向对应起来。

根据被测物尺寸的大小，放松侧面的锁紧螺钉（图中未示出）如图 1，用旋钮 7 粗调带干涉头悬臂的高低，然后加以固紧。精调是放松基座右侧面定位螺钉 8，通过基座前面的旋钮 9 使工作台上（或下降）到合适位置后，把定位螺钉 8 旋紧。在图 2（a）中，目镜头的右侧面滚花螺钉 20 用为仪器刻度尺零位的精确调整。目镜头 21 可以围绕转动支轴 22 摆动，这样可以观察目镜中心的任意一段刻度，其目的在于消除色差影响。这一部分在早期接触式干涉仪 ПИУ-1 型是没有的，只有 ПИУ-2 型和目前我国生产的接触式干涉仪才有这目镜摆动装置。从仪器的技术数据上规定，测量力调整范围从 80~270 gf，这一调整通过干涉仪镜管的下端面旋出螺圈后在测杆旁边的调节螺钉 9 可以使测力弹簧张紧或放松。由于镜管内的动镜和测头系统靠上、下平行片簧把移动反射镜固定圈和测杆三者连在一起，这时移动镜和测杆的重量由圆平行片簧支承，测力弹簧作用力去掉后，测杆下垂，作用在测件上的重力约 75 gf。因此，该仪器最小测力也就处于这一程度。只有当这干涉镜管以卧式位置使用时，

这重力引起的附加测力才可趋近于零。仪器测杆下行行程范围的限制,通过测杆下端的限位调节螺钉来达到。对于后期生产的 ПИУ-2 型接触式干涉仪,这一限位调整系统已改在干涉镜管方框的下面,通过调整螺钉 7 来进行。

## 二、仪器的工作原理

接触式干涉仪是建立在迈 克尔逊 (Albart Michelsen) 干涉仪的原理基础上,在叙述本仪器的工作原理之前,首先简述一下光波干涉和干涉带产生的物理现象。

按照经典的电动力学所阐述的光的电磁辐射理论,所谓光也就是带电粒子在它平衡位置附近的振动所激发的迅速交变着的电场和磁场在空间的传播。光波是横波,振动平面垂直于传播方向。光的干涉和机械振动干涉相似,但光波干涉的条件只有光线同时从光源一点出发再于空间之某一点重新会合时才能产生。亦即应该遵守下列三个条件: a) 振幅相等; b) 周期相同; c) 位相差保持恒定。满足以上三个条件的二束或多束的光束才称之为相干光束。二个相干的光束自其公共光源出发至产生干涉之一点间所经之几何路程与光路中介质折射率的乘积之差称为该两束光的光程差。有了光程差,想在干涉场上观察到清晰的干涉带,还要考虑光的相干能力。这一点要从原子发光持续时间来说明。每个单元发光体(原子或分子)都以很短的时间间隔  $\tau$  ( $10^{-8} \sim 10^{-10} \text{s}$ ) 进行发光辐射,每次辐射发出一个波列,然后经过一段暂短的间歇,新的波列又接踵而来……。而且,每一个波列的起始振动相位都具有它们各自的任意值。所以在与  $\tau$  相比足够长的时间内,两个或几个互不相关的光源所辐射之振动的相位差,总是不断地无规则地改变着,总合光强将等于各个相叠

加的单个辐射的光强之和，也就是说不发生干涉现象。由此可见，目前除激光光源外，互不相关的独立光源是不相干的。

在干涉系统中通常是把来自同一光源的光线分割成两束，然后再进行合光。在这种情况下，虽然在经过一定的时间间隔  $\tau$ ，两个相叠加的振动相位也发生不规则的变化，可是这两个振动的这些变化是按照同样的规律发生的，所以它们之间的相位差，始终保持不变，也就是说这些振动是相干的。

当然，相干光束的程差  $\Delta$  不能超过  $\tau$  时间内光波所行进的距离  $l = c\tau$  ( $c$ —光速)。参阅图 3。而且这两光束是在一个波列里发射出来的光波才有上述的可能。如果  $\Delta > l$  则就会从不同的波列里所辐射出来之光波的相互叠加。在这种情况下，两个光波振动的相位差将取决于各个波列之起始相位的

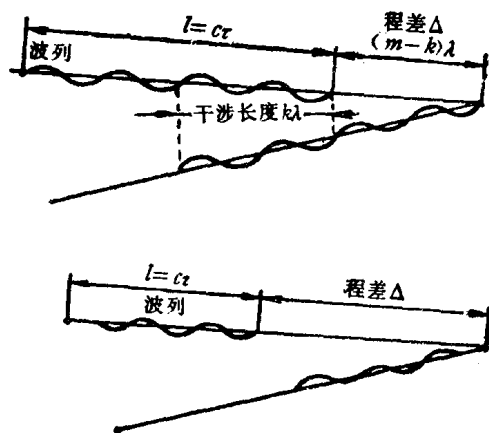


图 3

不规则的变化。这样当然不可能在观察时间内保持不变，因此说这些相互叠加的振动是不相干的。

时间  $\tau$  称为相干时间，而距离  $l = c\tau$  称为辐射的相干距离。 $\tau$  和  $l$  的量值与辐射的谱线宽度  $d\lambda$  直接有关。干涉图样的对比度与  $d\lambda$  有关。

当程差  $\Delta$  从零增加到  $l$  的过程中，干涉条纹的对比度逐渐降低，这种现象可以解释为波列的相干时间  $\tau$  不同。无论这些波列是由同一个单元发光体所辐射的，还是几个不同的发光体所辐射的。在这种情况下，两个相互叠加振动之相位不规则变化是不完全相关的，因此称为部分相干性。

在光波干涉中，除了上述这种与时间  $\tau$  有关的时间相干性外，还有空间相干性的概念。空间相干性是：对于一个有若干长度的光上的不同点（所发出的光辐射）在干涉场某指点上各干涉结果的相关程度。

对于时间相干性的干涉仪来说，为了获得相干光束，这样就要分光。分光方法主要有两种：一种是波前分光法；另一种是振幅分光法。

波前分光法。它是按波前分割光波。利用光阑、反射镜或其它光学零件，将波面分割为几个部分，由这些部分发出的光线在干涉仪内经过不同的路径然后再彼此叠加在一起，如菲涅尔 (A.J.Frenel) 双镜实验、罗埃 (Lloyd) 镜等，这种类型的干涉现象。

振幅分光法。它是把光线在两种介质的界面上发生部分反射和折射的时候，将波面分割为两部分（或几部分），这样可利用分光玻璃板产生部分反射和部分透射，并分别在第二个表面反射后返回合光彼此叠加并发生干涉。因此任何干涉现象和装置都在于它能够给出同一辐射中心的二个（或多个）象，以便得到两个相干的光源。对于干涉装置来说为了获