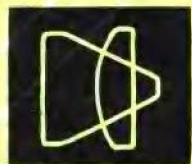


光学仪器丛书



光切显微镜 和 干涉显微镜

《光切显微镜和干涉显微镜》编写组 编

机械工业出版社

本书主要介绍光切显微镜和干涉显微镜的构造原理、操作、表面光洁度的测量及评定方法，同时对这两种仪器的维护、检修方法也作了叙述。

本书可供从事光学计量仪器及检验、测试人员阅读，有关大专院校师生亦可参考。

光学仪器丛书

光切显微镜和干涉显微镜

《光切显微镜和干涉显微镜》编写组 编著

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号）

上海商务印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092 1/32·印张 5 1/4·字数 112 千字
1978 年 12 月上海第一版·1978 年 12 月上海第一次印刷
印数：00,001—14,000·定价：0.43 元

*

统一书号：15033·4547

前 言

为了普及光学仪器知识,使广大工农兵能更好地使用光学仪器,特由上海光学仪器研究室组织有关单位编写了《光学仪器》丛书。

此丛书包括显微镜、光学计量仪器、物理光学仪器、测绘仪器等几方面,将按产品陆续分册出版。书的主要内容包括原理、结构、使用、维修等。

本分册由上海光学仪器研究室执笔。在编写过程中曾得到有关单位的大力协助,在此表示感谢。

由于水平有限,书中难免有错误之处,望广大读者批评指正。

目 录

第一章 概述	1
一、表面光洁度的基本概念	3
二、表面光洁度的作用	4
三、表面光洁度的评定和分级	5
第二章 光切显微镜的构造原理	13
一、光切显微镜的原理	14
1. 光切法原理	14
2. 光切显微镜原理	15
3. 光切显微镜的测量原理	17
二、光切显微镜的光学系统	18
1. 光切显微镜的光学原理	18
2. 光切显微镜的测量范围	21
3. 物镜的光学筒长为 ∞ 的意义	24
4. 物镜的放大率	24
5. 狭缝弯曲的作用	26
6. 仪器测量误差的估算	27
三、光切显微镜的结构	32
1. 测微目镜	35
2. 壳体	35
3. 显微镜升降微动机构	35
4. 工作台	37
第三章 光切显微镜的使用	40
一、操作方法	40
1. 操作步序	40

2. 目镜视场中狭缝、十字线、工作台、工件表面之间相互关系	42
3. XSG 型光切显微镜操作方法	44
二、物镜放大率的选择和确定	46
1. 物镜放大率的选择	46
2. 物镜放大率的确定	46
3. 仪器常数 C 值的确定	48
三、测量和计算	49
1. 用表征参数 R_z 评定表面光洁度	49
2. 用图表方法测量表面光洁度	51
3. 用表征参数 R_a 评定表面光洁度	52
四、照相方法测量表面光洁度	54
1. 照相操作方法	55
2. 照相放大率 M 的确定	55
3. 曝光时间	55
4. 用表征参数 R_z 测量表面光洁度	56
5. 用表征参数 R_a 测量表面光洁度	57
五、印模方法测量表面光洁度	58
六、几种特殊使用方法	60
1. 圆柱、圆锥和球形表面光洁度测量	60
2. 槽宽测量	61
3. 高度测量	62
4. 薄膜厚度测量	63
5. 小工件角度测量	64
第四章 光切显微镜的检修与维护	66
一、装校的大致步序和方法	66
1. 照明系统校正	66
2. 成象系统校正	67
3. 照相反射镜校正	67
4. 目镜分划板轴向位置、照相物镜校正	69

5. 校正物镜组	69	
二、主要检定项目和修理方法	71	2
三、其他故障修理方法	76	
四、仪器的维护与保养	78	
第五章 干涉显微镜的构造原理	79	
一、干涉条纹是怎样产生的	79	1
1. 光波的干涉现象	79	
2. 双光束干涉显微镜的产生	83	
3. 干涉显微镜的原理	86	
4. 干涉显微镜中的瞳窗和条纹的产生	88	
二、干涉条纹的定位	91	2
1. 定位面的确定	92	
2. 在仪器上的定位面	94	
三、干涉条纹的宽度与方向	95	
1. 条纹宽度和转动角度的关系	96	2
2. 条纹的方向	98	
四、干涉条纹的颜色	99	
1. 彩色的由来	99	
2. 在仪器中的干涉条纹的颜色	100	
五、干涉条纹的对比	101	2
1. 两束相干光的强度对对比的影响	101	
2. 两束相干光不一致的影响	103	
3. 杂光的影响	104	
六、狭缝目镜的原理	105	2
七、干涉显微镜中的某些问题	108	
1. 光束倾斜的校正因子	108	
2. 关于干涉显微镜的视场、放大率和数值孔径	111	
3. 干涉显微镜的精度分析	113	
八、干涉显微镜的构造原理	119	1

1. 工作台	120
2. 主体	121
3. 微调部分	122
第六章 干涉显微镜的使用	126
一、操作方法	126
1. 具体操作步序	128
2. 不同反射率的参考反射镜的使用	130
3. 狭缝目镜的使用	131
4. 大工件测量时操作方法	132
二、测量和计算	132
1. 用表征参数 R_z 测量表面光洁度	133
2. 测量中几个问题讨论	135
三、照相方法测量表面光洁度	137
四、几种特殊测量方法	138
1. 圆柱表面光洁度测量	138
2. 小工件曲率半径测量	140
3. 粒状和低反射率工件表面光洁度测量	140
4. 印模法测量表面光洁度	142
5. 等黑度法测量表面光洁度	142
6. 半导体零件测量	144
7. 小零件的微小角度测量	145
第七章 干涉显微镜的检修与维护	147
一、装校步序和方法	147
二、主要检定项目和调整、修理方法	151
1. 条纹清晰度	151
2. 条纹颜色	151
3. 条纹弯曲度	152
4. 条纹调节机构	153
5. 工作台表面跳动	153

6. 工作台轴向窜动	154
7. 工作台表面和光轴的垂直度	154
8. 摄影装置	155
9. 仪器示值精度	155
三、常见故障和修理方法	156
1. 微调座中参考光路的调焦机构失效	156
2. 条纹宽度调不狭	158
3. 干涉条纹漂移或跳跃	158
4. 干涉条纹调宽度时, 条纹产生倾斜	158
5. 调节条纹宽度时, 条纹中心位移	159
6. 条纹呈阶梯形	159
7. 视场里刀口象位置不对, 或目镜头转动时刀口象位移	160
8. 视场中干涉条纹调不宽	160
四、仪器的维护与保养	160

第一章 概 述

光切显微镜和干涉显微镜都是光学计量仪器，主要用于测量零件表面光洁度。零件有各种不同的形状和不同的光洁度级别。为了满足各类零件光洁度测量的需要，发展了四种光学仪器：

- 比较显微镜；
- 光切显微镜；
- 干涉显微镜；
- 内表面干涉显微镜。

它们组成一个光洁度测量仪器系列。

比较显微镜是将零件和光洁度样板分别放大成象在仪器视场的左半部分和右半部分，用眼睛观察，进行比较，确定零件的表面光洁度。但用这种方法只能定性，不能定量测量，测量的级别也较低，因此这种仪器已被淘汰。

内表面干涉显微镜主要用于测量零件内表面的光洁度，适用于轴承、齿面、波导管等特殊零件的测量，应用范围较窄。

光洁度从 $\nabla 3 \sim \nabla 14$ 的外表面零件是日常生产中最为常见的，因此测量 $\nabla 3 \sim \nabla 14$ 外表面光洁度的光切显微镜和干涉显微镜是应用最广的仪器。由于光学仪器性能的限制， $\nabla 3 \sim \nabla 14$ 级光洁度测量工作由两种仪器来完成。光切显微镜测量范围为 $\nabla 3 \sim \nabla 9$ ；干涉显微镜测量范围为 $\nabla 10 \sim \nabla 14$ 。

能够用于光洁度测量的光学仪器还有多光束干涉显微镜。多光束干涉显微镜和一般的干涉显微镜（双光束）相比，

主要优点是干涉条纹较窄,因此有较好的对准精度。但是多光束干涉显微镜有一系列缺点,如:多光束干涉显微镜测量时,一定要用一块测试平板和零件表面接触,因此很容易使平板表面镀层损坏;只能在单色光照明下工作,一般是在绿色背景上产生黑色条纹,这样当零件表面微不平度大于0.3微米,即干涉条纹弯折量大于一个干涉条纹宽度(指干涉条纹间隔)时,以及零件表面产生的干涉条纹断裂的情况下就很难测量,甚至无法测量;也由于多光束干涉,一定要用一块平板和零件相接触,再用显微镜放大观察、测量,这样物镜的工作距离应有足够大。工作距离大了,物镜的数值孔径受到限制,所以用多光束干涉显微镜测量高光洁度($\nabla 13$ 、 $\nabla 14$)表面是很困难的。鉴于上述原因,多光束干涉显微镜未被大量采用。

测量表面光洁度除光学仪器外,应用较多的是电动轮廓仪。它和光学仪器比较起来,具有一般电子仪器的特点:测量迅速方便。但也有很大的缺点,如测量时测头和零件表面相接触,会划伤零件表面,而且测头半径有一定的大小,对光洁度高的零件,测量误差较大,所以一般只能测量到 $\nabla 12$ 。

近年来,随着激光技术的出现,为光洁度测量提供了新的方法,如有人用相干辐射、激光斑点的方法测量表面光洁度,有的则利用激光全息照相干涉法测量表面光洁度。

本书主要描述目前应用最广泛的光切显微镜和干涉显微镜的原理、使用以及维修。

光切显微镜和干涉显微镜除用于测量光洁度外,也可用于测量微小阶梯的高度,如薄膜的厚度。这种方法在电子工业中半导体零件测量方面得到了广泛的应用。此外,还有应用干涉显微镜测量内球半径等特殊使用方法。在了解仪器的结构原理和性能后,就不难作这些推广的应用了。但是这两种

仪器最主要的应用乃是测量表面光洁度,为此,下面对光洁度概念作一简单介绍。

一、表面光洁度的基本概念

机械零件在切削加工过程中,由于刀具从零件表面上撕裂金属,形成切屑;刀具与零件表面的摩擦及机床和工具的振动等原因,在零件已加工的表面上,残留下了各种不同形状和尺寸的凸峰和凹谷组成的微小加工痕迹(图 1-1)。表征这种痕迹的峰谷高低、微小不平程度的参数,习惯上称为“表面光洁度”。由于这痕迹的微不平度很小,一般为几十微米、几微米甚至只有零点零几微米,而且具有峰和谷几何形状的特征,所以也常把表面光洁度称为“表面微观几何形状偏差”、“表面微不平度”、“表面粗糙度”、“表面微粗度”等等。

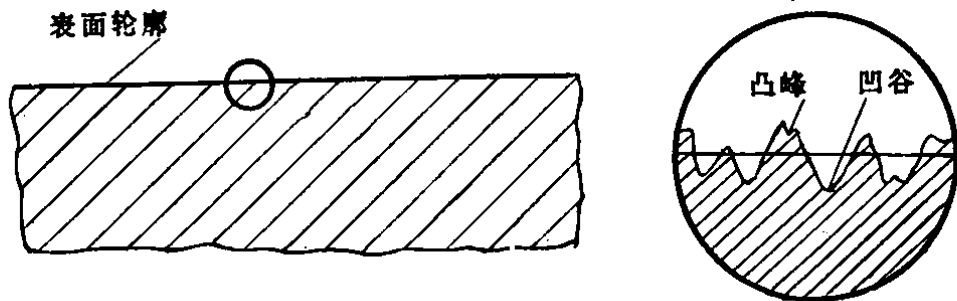


图 1-1 加工表面的微观几何形状

表面光洁度是一种表征表面微观的峰谷几何形状和一定微不平度的特性。它不表示表面宏观几何形状(不平度、不圆度等)和波度的偏差,也不表示由于人眼的视觉特性,例如表面的光泽程度、表面的反射能力、斑点等等。零件的表面光洁度等级高低,只取决于表面微观几何形状偏差的大小。

表面光洁度具有微观几何形状和线值的特性,因而也属于长度计量的范围。和长度的量值传递方法相似,从光波基准起,经标准干涉显微镜、标准量具、仪器和工作样板到零件,

有一个传递系统,以保证量值统一,准确一致。

二、表面光洁度的作用

随着社会主义工业的飞速发展,对零件表面的加工质量也提出了更高的要求。表面光洁度在机器制造业和仪器制造业中具有重大的意义。要保证产品装配后的质量和使用寿命,除了要求零件具有足够的尺寸形状精度外,还必须要求零件具有相应的表面光洁度。光洁度的选择问题是一个技术经济问题。如果说零件形状和尺寸精度主要关系到机械或仪器装配后的质量的话,那末零件光洁度高低就主要影响到机械或仪器装配后工作的可靠性和使用寿命的问题。例如:由于零件表面粗糙,在动配合中易于磨损,间隙增大,影响了配合精度,缩短了零件的使用寿命;在静配合中,零件粗糙表面的凸峰被挤平,使实际有效过盈减小,降低了连接强度;运动件表面越粗糙,摩擦系数越大,不但磨损快,而且用于克服摩擦力所消耗的能量也大;零件承受静载荷或动载荷的极限强度都随着表面光洁度的提高而增大,表面粗糙的零件,应力集中现象是严重的,尤其是裂纹状的凹谷,在动载荷下影响更大,容易引起破裂;表面粗糙的零件,如果不涂保护层则易于生锈等等。一般说来,零件的表面光洁度高,不仅外表美观,耐蚀性强,不易生锈,而且工作性能好、寿命长,特别是用于高速运转、高精度和密封性严的零件,更应该注意光洁度的问题。

但是,事物总是一分为二的,并不是任何零件都要求表面光洁度越高越好。光洁度高的表面需要经过复杂的加工工艺过程,因而加工成本较高。有些零件的表面光洁度提高了反而对工作性能不利。例如:需要涂料的表面和要求散热性好的表面,粗糙些比较好;对于某些运动件,表面太光了会不利

于润滑油的贮存,因而在工作时,工作面之间形成干摩擦或半干摩擦,反而使摩擦系数增大。因此,表面光洁度的合理选择,要根据各个零件工作条件的具体要求,按照使用合理,加工时经济的原则来确定。

三、表面光洁度的评定和分级

根据我国表面光洁度的国家标准 (GB1031-68) 规定,表面光洁度是由轮廓的平均算术偏差 R_a 或不平度平均高度 R_z 来评定的。表面光洁度划分为 14 个级别。

(1) 基本长度 l

“为了限制和减弱加工表面其他几何形状偏差,特别是表面波度对表面光洁度测量结果的影响,在评定表面光洁度时,所规定的一段表面长度”。基本长度 l 的系列如表 1-1 所示。

表 1-1

基 本 长 度 l (毫米)					
0.08	0.25	0.8	2.5	8	25

图 1-2 是加工后的表面。它是具有光洁度、波度和形状偏差的复杂的实际表面。在这表面上取几段基本长度 l 来分段测量表面光洁度,则测量结果就有可能使测得的光洁度从间距大于 l 的其他形式的不平度中区分出来,以排除波度和形状偏差的影响。如果选择的基本长度 l 过大,测量时将受

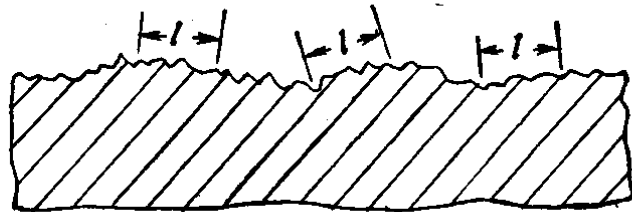


图 1-2 基本长度 l

到波度的影响而使光洁度数值偏大；如果选择的基本长度 l 过小，则有可能不能包含微小不平度的五个峰谷，此时所测量的结果就不能充分反映出光洁度的真实情况。因此，在标准中规定了不同等级的光洁度应选取的基本长度 l 值（见表 1-4）。如果遇到按规定的基本长度内少于五个峰谷时，则应选用较大一档的基本长度值。

(2) 测量长度 L

由于加工表面有着不同程度的不均匀性，为了充分地反映某一个表面的光洁度特性，在测量时所必需的一段最小的表面长度称测量长度 L 。它包含一个或数个基本长度。

加工结果所形成的表面有一定的不均匀性，按照同样的基本长度分别测量几段，所得光洁度数值会不一样，有时甚至相差较大。为了保证测量结果能合理地反映出加工表面光洁度的全面情况，在被测表面上，应在测量长度范围内，选取几段基本长度进行测量，将所得到的几个测量值，取其平均值作为这一表面光洁度的最可靠值。

测量长度一般应根据不同的加工方法和相应的基本长度来确定。根据经验，对于常用的几种机械加工方法的最小测量长度，推荐按表 1-2 选用。在一般情况下，表面微不平度均匀性较好或评定可靠性要求不高时，可选用表中所列范围的较小值，反之，表面微不平度均匀性较差或评定可靠性要求较高时，应选用表中所列范围的较大值。对其他加工方法，可参照表 1-2 数值确定相应的测量长度。

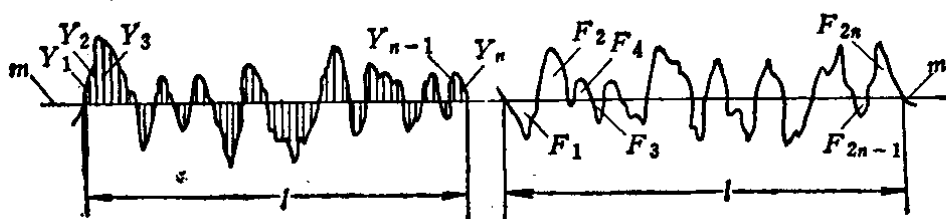
(3) 轮廓中线 m

国家标准中规定以轮廓中线 m 作为测量表面光洁度的基准线。轮廓中线是“具有和被测表面几何形状一致的几何轮廓形状（如：直线、圆弧线等），并将测量轮廓加以划分的线，在

表 1-2

表面轮廓的特点	基本长度 l (毫米)	测量长度 L (毫米)
比较规则和均匀(如: 车、铣、刨)	2.5	$(1\sim3)l$
不很规则和均匀(如: 精车、磨)	0.8	$(2\sim6)l$
很不规则和均匀(如: 精磨、研磨)	0.25	$(6\sim17)l$

基本长度范围内, 使被测轮廓上的各点至该线距离 (Y_1, Y_2, \dots, Y_n) 的平方和为最小”, 如图 1-3 所示。

图 1-3 轮廓中线 m

在测量时描绘、记录所得到的被测表面轮廓曲线图形上, 找到符合上述定义的轮廓中线是十分麻烦的。在实际工作中, 允许用下述方法求得: 中线的方向应与被测轮廓的方向一致, 并将轮廓曲线划分为上、下两半, 使在基本长度范围内, 由中线至轮廓线上下两边的面积相等, 即

$$F_1 + F_3 + \dots + F_{2n-1} = F_2 + F_4 + \dots + F_{2n} \quad (1-1)$$

按照轮廓中线的定义, 应该用最小二乘法才能得到最精确的中线位置。但这种方法计算繁杂, 只有在需要高精度测量时才采用。通常在轮廓图上可用目估中线方向和坐标法求中线高度的方法, 求得中线的位置(见第三章三、3)。

(4) 表面光洁度的评定参数

表面光洁度的表征参数很多, 各国标准中采用的也不一致。我国 GB1031-68 中规定表面光洁度按下列表征参数之

一来评定:

1) 轮廓的平均算术偏差 R_a

轮廓的平均算术偏差 R_a 是在基本长度内被测轮廓上各点至轮廓中线距离 (Y_1, Y_2, \dots, Y_n ; 取绝对值) 的总和的平均值, 如图 1-3 所示。

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |Y| dx \quad (1-2a)$$

近似为:

$$R_a = \frac{\sum_{i=1}^n |Y_i|}{n} \quad (1-2b)$$

式中 n ——所计算 Y 的个数。

2) 不平度平均高度 R_z

不平度平均高度 R_z 是在基本长度内, 从平行于轮廓中线的任意一条线起, 到被测轮廓的五个最高点(峰)和五个最低点(谷)之间的平均距离, 如图 1-4 所示。

$$R_z = \frac{(h_2 + h_4 + \dots + h_{10}) - (h_1 + h_3 + \dots + h_9)}{5} \quad (1-3)$$

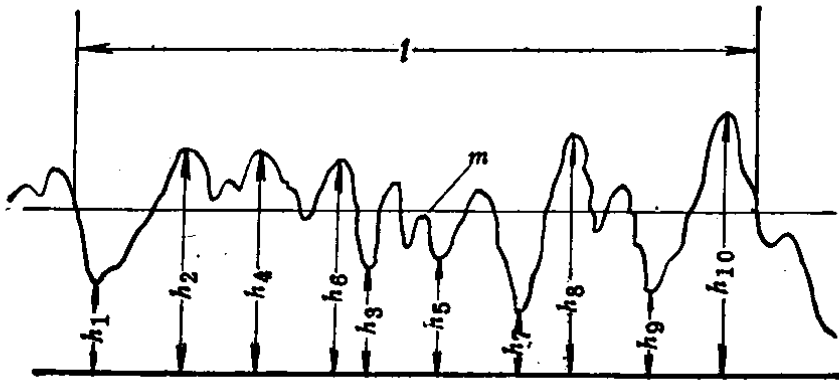


图 1-4 不平度平均高度 R_z

标准中规定, 当测量长度包含数个基本长度时, 作为评定某一表面光洁度的 R_a 或 R_z 的数值, 应取该测量长度内测得的数个 R_a 或 R_z 的平均值。

表征参数 R_a 和 R_z 之间,通过大量的实验观察,两者存在着具有一定发散性的统计关系,近似的换算可按公式(1-4)进行,其误差一般不超过一级:

对于 $\nabla 1 \sim \nabla 6$ 表面

$$R_z \approx 4R_a \quad (1-4a)$$

对于 $\nabla 7 \sim \nabla 14$ 表面

$$R_z \approx 5R_a \quad (1-4b)$$

表面光洁度的评定参数,微不平度的均方根偏差 H_{jf} 和微不平度的算术平均高度 H_{jg} ,简单介绍于下:

1) 微不平度的均方根偏差 H_{jf} (H_{ck})

微不平度的均方根偏差 H_{jf} 是指在测量长度范围内,被测轮廓上各点到中线距离的平方和平均值的平方根,如图 1-3 所示。

$$H_{jf} = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L y^2 dx} \quad (1-5a)$$

近似为:

$$H_{jf} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2} \quad (1-5b)$$

式中 n ——所计算的 y 的个数。

2) 微不平度的算术平均高度 H_{jg} (H_{cp})

微不平度的算术平均高度 H_{jg} 是指在测量范围内,被测轮廓上最高点(峰顶)和最低点(谷底)之间的高度 H 的算术平均值,如图 1-5 所示。

$$H_{jg} = \frac{H_1 + H_2 + \dots + H_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n H_i \quad (1-6)$$

式中 n ——所计算的峰谷高度 H 的个数,JB178-60 规定 n 的数目应大于 5。在计算 H_{jg} 时,个别与系列 H_i 值相差较大的数值要弃去。