

光 学 量 度

〔苏联〕B·A·阿法纳西耶夫 著 張炳勳等 譯



79.84
335

光 学 量 度

〔苏联〕B·A·阿法纳西耶夫 著

張炳勳 何瑞栋 桂祖豪 譯

中国工业出版社

1100114



本书較全面而系統地介紹了光学量度的方法和仪器。全书共分五章，即光学零件的測量、光学玻璃的檢驗、光学系統焦距的測定、光学系統象差的測定、光度測量与分光光度測量。

本书內容較为丰富，列出了大量图表，以便讀者閱讀。本书可供光学量度工作者、光学實驗室人員、光学仪器制造专业师生参考。

本书譯校分工如下：前言、緒論和第一章由桂祖豪、张炳勳同志合譯；第二、四、五章由张炳勳同志譯出；第三章由何瑞栋同志譯出。全书經张炳勳同志校訂。

В. А. Афанасьев

ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

ГЕОДЕЗИЗДАТ МОСКВА 1961

光 学 量 度

张炳勳 何瑞栋 桂祖豪 譯

国家測繪总局測繪书刊編輯部編輯(北京三里河国家測繪总局)

中国工业出版社出版(北京左門南大街10号)

北京市书刊出版业营业许可证出字第110号

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ ·印张 $8^{13/16}$ ·字数228,000

1965年2月北京第一版·1965年2月北京第一次印刷

印数0001—4,150·定价(科六)1.30元

統一书号: 15165·3597(測繪-133)

前 言

本书可供“光学和物理光学仪器”专业的高等学校学生作为参考之用。

“光学量度”一书系叙述光学技术测量中所采用的仪器和方法。

考虑到学生們初次独立地进行光学量度工作，作者詳尽地阐述了工作方法并列举了一些有关测量精度結果处理的实例。

学生在光学实验室中的独立实验工作应与“光学量度”理論部分的学习同时进行，这乃是巩固光学知識的最好方法。

B.A.阿法納西耶夫

目 录

前 言

緒 論	1
-----------	---

第一章 光学零件的测量方法与测量仪器	5
--------------------------	---

§ 1. 厚度的测量	5
------------------	---

A. 光学零件厚度的接触测量法	5
-----------------------	---

1. 阿貝厚度計	5
----------------	---

2. 立式光学测长仪	7
------------------	---

B. 光学零件厚度的非接触测量法	9
------------------------	---

1. 气动式仪器	9
----------------	---

2. 光学厚度計	10
----------------	----

3. 非接触式光学测微器	12
--------------------	----

§ 2. 棱镜角和楔角的测量	14
----------------------	----

1. 光学量角器	14
----------------	----

2. 接触式指示器	15
-----------------	----

3. 自准直仪 (МИГАНК)	17
--------------------------	----

4. 自准直仪 (ГОИ)	22
-----------------------	----

5. 测角仪 (分光仪)	23
----------------------	----

6. 测量光楔微小角度的仪器	29
----------------------	----

§ 3. 球面曲率半径的测量	31
----------------------	----

A. 测量曲率半径的机械法	31
---------------------	----

1. 环形球径仪	33
----------------	----

2. 带活动滑杆的球径仪	38
--------------------	----

B. 测量曲率半径的光学方法	41
----------------------	----

1. 自准直法	42
---------------	----

2. 牛顿环法	45
---------------	----

3. 非接触干涉法	49
-----------------	----

4. 双面体和球面接触法	54
--------------------	----

§ 4. 光学和机械零件表面质量的檢驗	57
---------------------------	----

A. 光学零件表面光洁度的检验	57
1. 凹面反射镜法	61
2. 检验表面质量的干涉法	62
B. 机械零件表面光洁度的检验	68
1. 林尼克双管显微镜	70
2. 林尼克显微干涉仪	76
3. 光学表面光度仪	81
§ 5. 用于光学技术测量的光源	84
1. 白炽灯	86
2. 气体放电管	87
3. 弧光灯	92
第二章 光学玻璃的检验方法和仪器	93
§ 6. 玻璃折射率和色散的测定	93
1. 用最小偏向角法在分光仪上测定玻璃的 折射率与色散	94
2. 在测角仪上用自准直法测定玻璃的 折射率与色散	99
3. 在折射计上测定玻璃的折射率与色散	101
4. 用И. В. 奥布列莫夫法测定折射率与色散	114
5. 用А. Н. 查哈里耶夫斯基法测定透镜的 折射率	121
6. 压力改变时空气折射率的测定	123
§ 7. 光学均匀性的测定	128
§ 8. 玻璃双折射的测定	130
1. 筒式偏光仪	131
2. ПКС-М与ПКС-500型偏光仪	133
3. ПКС-56型偏光测定仪	135
4. 透镜和物镜内双折射的测定	137
§ 9. 玻璃条纹度的测定	137
§ 10. 玻璃气泡度的测定	140
§ 11. 玻璃吸收系数的测定	142
§ 12. 玻璃反射系数的测定	145

第三章 基本光学特性的测定	149
§ 13. 光学系统焦距的测定	149
1. 用放大率测量法测定焦距	153
2. 用角度测量法测定焦距	157
3. 尤金-法卜利法	159
4. 用影象对合法测定焦距	161
5. 负光学系统的焦距测定	163
§ 14. 光学系统入射和出射光瞳直径的测定	165
1. 望远镜的入射和出射光瞳直径的测定	166
2. 摄影和投影物镜的入射和出射光瞳直径的测定	168
§ 15. 摄影物镜渐晕的测定	169
§ 16. 摄影物镜象面照度下降的测定	172
§ 17. 光学系统放大率的测定	175
1. 望远镜放大率的测定	175
2. 放大镜放大率的测定	177
3. 显微镜放大率的测定	178
§ 18. 光学系统视场的测定	183
1. 望远镜视场的测定	183
2. 放大镜视场的测定	186
3. 显微镜视场的测定	187
4. 摄影物镜视场角的测定	187
§ 19. 显微镜数值孔径的测定	188
§ 20. 光学系统鉴别率的测定	191
1. 望远物镜鉴别率的测定	195
2. 放大镜鉴别率的测定	199
3. 显微镜鉴别率的测定	200
4. 摄影物镜鉴别率的测定	203
第四章 光学系统象差的测定	207
§ 21. 测定摄影物镜象差的几何方法	207
1. 目视调焦法	207
2. 焦外观测法	221

3. 物鏡畸变的測定	230
§ 22. 測定摄影物鏡象差的波动方法	242
1. 迈克尔逊干涉法	242
2. 維薩拉干涉法	243
第五章 光度測量与分光光度測量	252
§ 23. 光学系統散射系数与透射率的測定	252
§ 24. 感光层黑化光密度的測定	257
1. 楔式光密度計 (ГОИ)	257
2. МФ-2型測微光度計	259
§ 25. 万能光度計	264
1. 透射率或光密度的測定	268
2. 反射系数的測定	269
3. 耀度的測定	270
4. 分光光度的測量	270
参考文献	

緒 論

本書論述用于光学量度的基本仪器与方法；所謂測量就是在確定一個量的大小时，將其與所選定的測量單位進行比較。每次均要求求出所比較的量與所選定單位的多大一部分或多少倍相對應。幾乎所有的測量均可歸結為角度和長度的測定。“光学量度”這一概念包含四個要素：對象、單位、方法和精度。一般所用的測量方法有兩類：直接測量與間接測量。在直接測量中直接測定所測值，例如用量角器測定棱鏡角即是。如果直接測定所測值過於複雜甚至不可能時，則可不測定其數值本身，而測定在已知數學關係中能求出它的間接數值。所測值用直接測量中所得到的數值經換算後求得。例如球面的半徑是根據公式確定的，在公式中包括直接測量所得到的弧矢高和球徑儀圓環半徑的數值。

不論測量儀器和方法怎樣完善，也不論觀測者有怎樣高的技能，測量誤差的產生總是不可避免的。因此所得到的僅是近似值，而這種測量所包含的誤差就可表征測量本身的精度。我們取中誤差或者或然誤差來評價測量精度，誤差理論與誤差公式的推導在一系列的文獻中均有敘述。以後將舉出一些處理長度、角度以及其他光学系統常數測量結果的實例。用光学儀器、望遠鏡和顯微鏡測量時，它們的靈敏度對測量精度有着強烈的影響，這種靈敏度與光的本性、儀器內觀測過程的記錄方法以及儀器本身的特性有關〔18〕。

光的本性指的是在儀器上進行測量時所用的光的波長。

已知有四種測量過程記錄方法：目視、攝影、使用光电元件和热电偶。其中眼睛在光譜的可見部分最為敏感。眼睛最主要的特性是：調節能力、適應性和鑑別率或視覺銳度。

眼睛能夠看清各種不同距離的目標的性能稱為調節或調節能力。這時水晶體形狀和眼睛焦距均發生變化，以保證物象在眼睛

的网膜上成象清晰。

年青人的眼睛对目标位于距眼睛由无穷远到 70 毫米均能适应。年龄越大，其近视距离也将增大。对正常眼睛来说，观察的近点距离取为 250 毫米并称该距离为明视距离。眼睛可调节的界限或范围为 4 屈光度。

与光学仪器类似，眼睛也有清晰成象的深度，即所谓明锐调视度。位于距眼睛的距离为 S 的物体，在此距离稍远或稍近的地方，也就是 $S \pm dS$ （或以屈光度表示 $D \pm dD$ ）处均可明晰成象。当眼睛的瞳孔直径为 2 毫米时，明锐调视度在 ± 0.3 屈光度左右。随着眼睛瞳孔直径的增大，其明锐调视度将减小。

眼睛适应不同亮度的能力称为适应性。根据物体亮度的不同、仪器内观察时象的亮度不同，眼睛的瞳孔直径在 2 到 7~8 毫米之间变化。

鉴别率或视觉锐度是眼睛区分物体或象上两个紧邻细节的能力。对于点状物体而言，瞳孔直径为 2 毫米时眼睛的鉴别能力约为 1 分，它可按望远镜物镜的一般公式来确定，亦即将 $120''$ 除以按毫米计的物镜直径。随着眼睛瞳孔直径的增大或缩小，眼睛鉴别率将要降低。当眼睛瞳孔小于 1 毫米时，由于光的衍射会使鉴别率降低，当眼睛瞳孔大于 2 毫米时，由于球差、色差和在眼睛内光的散射的强烈影响也会使鉴别率降低。

光学仪器的基本特性是成象，象的结构与光的衍射、光学系统的剩余象差以及在仪器生产中的制造误差有关。

由于在仪器物镜圆框边缘光的衍射，物体细节（点）的象总是具有一定尺寸的圆斑（弥散圆），这种圆斑上的光能分布是不均匀的，它就是物体的不明晰的象的图形。

光的衍射现象难以消除，因而限定了成象清晰度的范围，同时也限制了仪器的灵敏度。象差和仪器在加工中缺陷的存在，使得成象质量以及仪器的灵敏度更为降低。

在测量过程中，总要进行仪器的纵向调节（调焦）和横向调节以对准分划线或物体的边缘。望远镜和显微镜对十字线的调焦

精度 df ，根据A.И.查哈里耶夫斯基教授的数据〔18〕为：

$$df = \frac{2\lambda}{6A^2}.$$

此值与孔径的大小 A 和光的波长 λ 有关。

当望远镜物镜的孔径为0.05（相对孔径1:10）和 $\lambda=555$ 毫微米时，调焦精度 $df \approx 0.07$ 毫米；对于物镜孔径为0.2的显微镜而言，其调焦精度 $df=5$ 微米。使用自准仪器其调焦精度将增加一倍。

无论望远镜还是显微镜，横向调节精度都和用于调节的刻度类型或形状以及目标特性有关。例如当用十字线瞄准刻度尺上粗线（图1a）或者暗圆边缘（图1b）时，在象空间的误差，亦即眼睛所引起的瞄准误差为30~60"。当游标的分划线与刻线重合时，眼睛具有最佳的视觉锐度（图1c）。正常的眼睛辨别分划线相对位移的精度为10~12"。

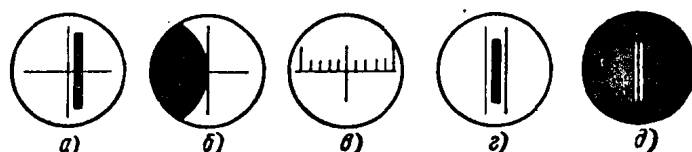


图 1

对于分划线横向位移的视觉锐度称为游标性锐度，一般取其近似等于10"。当分划线置于双线之间（图1e）或是向二亮缝之间调节（图1d）的情况下，可以达到最高的瞄准精度。对于这两种情况眼睛的瞄准精度可达10~15"。在使用螺旋式测微目镜或是工具显微镜时，常常不得不用眼睛在鼓轮上估读刻度间隔的分数值。可以认为，假如介于分划线之间的视距约为1.5~2毫米或角距20~27'，则可导出误差不大于0.1分划的刻线间隔分数值的估读精度。

视觉锐度同样也与照度有关，因此在使用仪器工作时应力求使

110011

目标和讀数刻度尺（盘）的照度在 50~250 勒克斯的范围内。在进行精确的綫度測量时，如測量长度、厚度、球面的弧矢高等等，非常重要的一项是遵循阿貝原則，这一原則是目标与讀数刻度尺应处于同一直綫上。

阿貝厚度計、立式測长仪、臥式比长仪等等都是按照这一原則工作的，这些仪器皆可消除因所測物体与比例尺之間的傾角而产生的一級誤差。

第一章

光学零件的测量方法与测量仪器

§1. 厚度的测量

为了测量透镜、平板和其他光学零件的厚度，同样，也为了测量光学系统中的空气隙，可采用各种不同类型的厚度计；这些厚度计有机械的、气动的和光学的等。

用于测量零件厚度的机械式仪器有简易厚度计、阿貝厚度计、千分尺、勒克司测微计、光学测长仪以及其他等等。

在机械厚度计上测量厚度时，所测零件的工作面必须与仪器的测量头相接触，因此这种测量方法称为接触法。而在气动和光学厚度计上进行测量时，零件的工作面无需与仪器的测量装置相接触，故此法称为非接触法。

A. 光学零件厚度的接触测量法

1. 阿貝厚度计

阿貝厚度计由放大率为50倍的读数显微镜 1（图 2）和测量杆 5 组成，二者装置在铸铁支架 2 上。

测量杆可容易地沿导架移动。在测量杆的上部每隔 0.1 毫米进行刻度，刻度总长30毫米，每隔 1 毫米标以数字。照明器 6 用来照明刻度尺。测微螺旋的螺距为 1 毫米而其测微鼓分为100格。当测微鼓转动一周时，其分划线移动刻度尺的一格，亦即 0.1 毫米，因此测微鼓的分划值为0.001毫米。在新型的仪器结构中，测量杆的槽内安有玻璃刻度尺，并用通过玻璃刻度尺的透射光照明。

使用厚度计时，将测量杆安放在承物台的台面 3 上，并按刻

表 1

复 测 序 号	台 面		$\frac{A+B}{2}$ (毫米)	透 镜 表 面		$\frac{A+B}{2}$ (毫米)	d (毫米)	v	v^2
	A 幼 刻 线 (毫米)	B 长 刻 线 (毫米)		A 幼 刻 线 (毫米)	B 长 刻 线 (毫米)				
1	1.4198	83	1.4190	13.1530	58	13.1544	11.7354	+0.0020	0.00000400
2	72	85	78	40	55	48	70	+0.0004	16
3	89	91	90	62	83	72	82	-0.0008	64
4	90	84	87	49	65	57	70	+0.0004	16
5	73	82	78	56	82	69	91	-0.0017	289
平 均	1.4184	85	1.4185	13.1547	69	13.1558	11,7374	$\Sigma v = 0.0003$	$\Sigma v^2 = 0.00000785$

透镜厚度 d 是由平均值 $\frac{A+B}{2}$ 之差值得到的, 一次测量的中误差为 $\sigma = \pm \sqrt{\frac{\Sigma v^2}{n-1}} = \pm 0.0014$ 毫米。测量结果算术平均值的中误差

$$S = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \pm 0.0006 \text{ 毫米。}$$

度尺与測微鼓讀取第一次讀数。然后提起測量杆，將所測零件 4 放在承物台上，再将測量杆放下（放在零件上），并讀取其第二次讀数。

二讀数之差即为該零件厚度值。在測量杆放在承物台面上或所測零件表面上时，測微器的双綫每次瞄准刻度尺上幼刻綫与长刻綫，按齿状指标的上下讀取刻綫。当对准刻度尺的幼刻綫与长刻綫时所得讀数的平均值即为第一次或第二次的讀数。在表 1 中列出了在阿貝厚度計上測量厚度的实例，并附有中誤差計算結果。

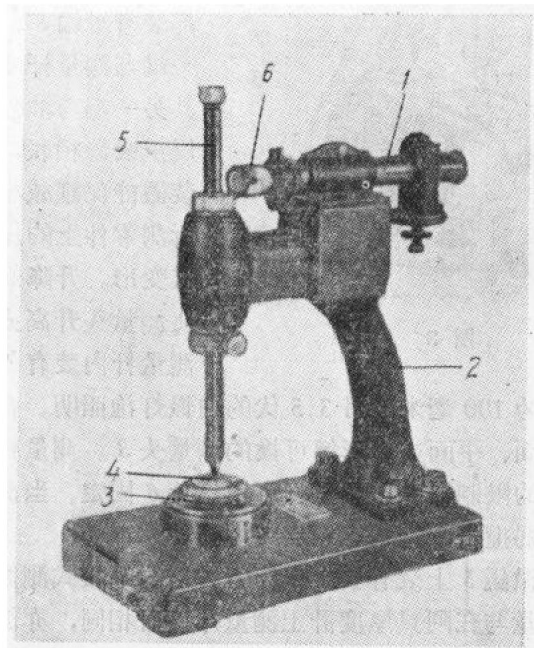


图 2

2. 立式光学测长仪

ИЗВ-1型立式光学测长仪（图 3）系供以绝对法测量尺寸小于 100 毫米的零件之用，当使用块規时可用比較法測量尺寸小于

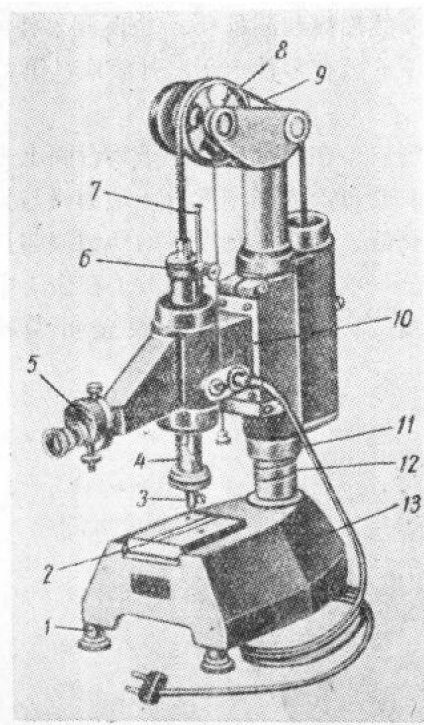


图 3

250毫米的零件。

这种仪器由基座13、带有螺旋槽的垂直圆柱支架12、测量头10、读数显微镜5和承物台2组成。基座13固定在三只脚螺旋1上，以便整平仪器。

带有读数显微镜5的测量头10可在垂直圆柱12上移动。在垂直圆柱的上部装有滑轮8，钢带9的一端与测量杆4连接，而其另一端与油阻尼器中的反重装置相联，这种反重装置能保证减小测量头在所测零件上的压力以消除其变形。升降螺母11用来使测量头升高或下降。在测量杆内装有毫米刻度

尺，其长度为100毫米，用3.5伏的白炽灯泡照明。在测量杆的下端可装球面、平面或刀形等可换的测量头3。测量杆上部装有测量头移动的限制器7，测量杆可用螺旋6固定。当测量杆升降时，为了减弱撞击，特装有橡皮减震器。

读数显微镜5上装有放大率为61.7倍的蜗线式测微目镜。零件厚度的测量与在阿贝厚度计上测量厚度时相同，亦即当测量杆的测量头与承物台台面相接触时，以及与放在承物台台面上的零件相接触时均读取读数，测量杆在此两位置上读数之差即为该零件的厚度。

B. 光学零件厚度的非接触测量法

1. 气动式仪器

图 4 所示, 为根据测量压力或空气流量原理工作的带水柱压力计的气动式仪器〔1〕。

气动式仪器由内部装水的容器 A 和密封盒 B 组成。密封盒 B 带有圆管 T 并通过水柱压力计 M 与 A 相联, T 管浸入水中的深度为 H 。容器中水位的高度约为 500~1000 毫米。密封盒 B 经 T 的接管或气管 C 与周围的大气联通。具有一定压力 P_1 的空气由活塞进入圆管 T 的上部, 并通过小孔 f_1 进入密封盒 B 。 T 管中自动保持等于容器 A 中水柱高 H 的定压。密封盒 B 中两个小孔 f_1 和 f_2 间的压力 P_2 由该二孔的截面之比确定。因此当入孔 f_1 的截面不变, 而出孔 f_2 的截面改变时, 则压力 P_2 将随之变化。

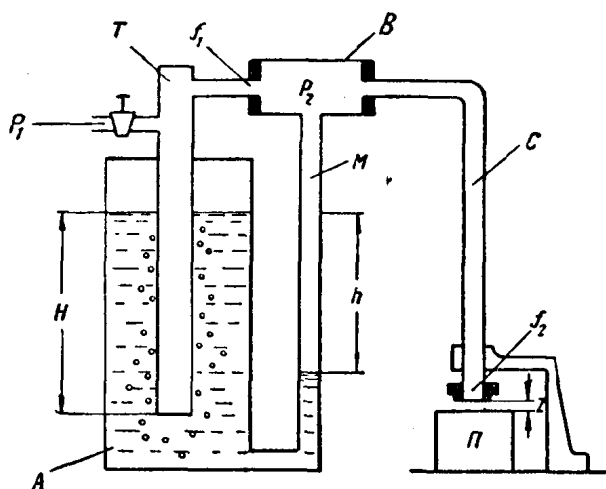


图 4

如果物体 II 的表面位于出孔 f_2 之前距离为 z 处, 则在物体表面与出孔之间将形成一环形缝隙, 随着环形缝隙的变化, 空气的流出量以及压力 P_2 将随之改变。这样一来, 密封盒 B 中压力 P_2 ,