

软性亲水性接触镜几何参量的光电成像测量方法

陈伟民 张 洁

(重庆大学光电工程学院, 光电技术及系统教育部重点实验室, 重庆 400030)

摘 要 提出了对软性亲水性接触镜采用非接触的光电成像检测方法. 将浸于液体中的软性亲水性接触镜置于高准确度的标准环上, 采用投影光学系统将其投影放大, 并用光电图像探测器接收软性亲水性接触镜的放大图像. 通过计算机图像处理、计算出放大后的图像尺寸, 然后利用成像公式、标准环的尺寸等相关参量, 最终计算出软性亲水性接触镜的实际几何参量. 采用放大倍率为 20 倍的投影成像光学系统, 像元中心距为 $50 \mu\text{m}$ 、像元数为 512 位的 CCD 线阵, 51 系列单片机进行数据处理. 经计算, 该光电成像测量系统对软性亲水性接触镜的中心厚度、曲率半径的测量分辨力达到了 0.005 mm , 远高于系统 0.01 mm 的准确度要求.

关键词 软性亲水性接触镜; 几何参量; 光电成像

中图分类号 TH71 **文献标识码** A

0 引言

软性亲水性接触镜作为一种非手术性的屈光矫正手段, 在美观性、舒适性方面, 具有普通框架眼镜无法比拟的优势, 在全世界得到了极大普及, 然而角膜镜的质量良莠不齐, 不合格的角膜接触器会严重影响视力. 据国家药品监督局对 15 家企业的 15 个批次样品抽样检验, 合格率仅为 40%. 因此, 完善软性亲水性接触镜的质量保障体系十分重要.

软性亲水性接触镜的质量保证体系主要有材料的理化参量、镜体的几何参量两大类. 镜体的几何参量主要有前、后表面曲率半径 r_1 和 r_2 , 中心厚度 t , 外径 d 等几种. 在其制造、验收及患者配戴过程中, 都要求对其主要几何参量进行测量. 由于软性亲水性接触镜用高分子软性含水材料制作, 当其受到外部夹持力或离开液体以后皆会产生变形, 影响测量结果, 因此普通光学镜片几何参量的高准确度测量方法都不能使用; 另一方面, 其软性亲水性接触镜中心厚度及曲率半径分别只有 0.1 mm 和毫米数量级, 故测量准确度必须达到 0.01 mm 数量级. 因此其几何参量的测量是十分困难的.

目前有的光栅位移传感器测量方法利用接触式测量, 对测头的要求很高, 只能在脱水状态下测量前表面曲率半径或中心厚度, 不能同时测量前、后表面曲率半径及中心厚度, 且因镜片是柔性的, 故测头压迫镜片的接触力大小变化, 会对测量结果产生极大的影响. 光学机械式扫描测量方法, 可以在亲水下测量, 但是不能对后表面曲率半径进行测量, 同时由于采用机械扫描, 准确度较低. 为了解决软性亲水

性接触镜既不能离水夹持、又要求高准确度测量的矛盾, 有必要研究一种全新的软性亲水性接触镜几何参量高准确度测量方法, 以满足迅速增长的社会需求.

1 软性亲水性接触镜几何参量的特点及现有测量方法

1.1 软性亲水性接触镜几何参量的特点

软性亲水性接触镜又称隐形眼镜, 是一种附贴在角膜表面, 随着眼球运动而活动的镜片. 接触镜后表面与角膜前表面之间, 通常由泪液所充填称为液体透镜. 接触镜、液体透镜、角膜及房水的屈光指数十分相近, 因此可以认为是一个屈光中间质. 此新形成的屈光中间质的表面, 即软性亲水性接触镜的规则球形表面, 实际上起着屈光表面的作用. 利用这一性质, 即可矫正屈光不正, 包括远视、近视、散光, 尤其是不规则散光, 以及单侧无晶体眼和屈光参差等. 它的几何参量主要有前、后表面曲率半径 r_1 、 r_2 及中心厚度 t 、外直径 d 等四项, 如图 1. 以近视

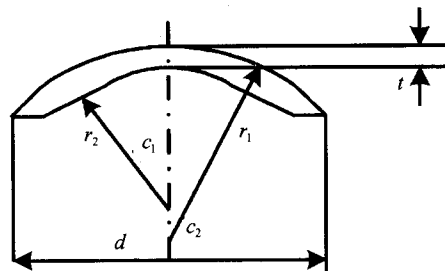


图 1 软性亲水性接触镜
Fig. 1 Structure of contact lens

眼为例, 为校正近视眼, 在其前面加一负透镜, 根据几何光学^[1]的知识, 单透镜的焦距为

$$f' = \frac{nn'r_1r_2}{(n-n')[n(r_1-r_2) + (n-n')t]} \quad (1)$$

式中 n 为透镜的折射率, n' 为与透镜接触介质的折射率. 写成光焦度形式, 令 $\rho = \frac{1}{r_1}, \rho_2 = \frac{1}{r_2}$, 则

$$\phi = (n - n')(\rho_1 - \rho_2) + \frac{(n - n')^2 t \rho_1 \rho_2}{nn'} \quad (2)$$

医学上所称的近视读数, 即屈光度为

$$D = 100 \cdot \phi = 100 \cdot \left[(n - n') \cdot \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) + \frac{(n - n')^2 \cdot t}{n' n \cdot r_1 \cdot r_2} \right] \quad (3)$$

为了校正近视眼, 要求负透镜的焦距恰好与近视眼的远点距离相同, 所以软性亲水性接触镜的几何参数的准确与否, 将直接影响到软性亲水性接触镜屈光度的准确性.

一般标准软性亲水性接触镜的中心厚度为 0.15 mm~0.35 mm, 曲率半径为 8 mm~8.5 mm, 外径为 13.5 mm~15.0 mm. 需要测量仪器的准确度至少达到 0.01 mm 数量级.

1.2 现有软性亲水性接触镜几何参量测量的主要方法

1.2.1 千分表测量法

中心厚度的千分表测量法原理如图 2, 是一种接触性测量. 即以底座平面为基准, 用千分表测出在底座上放置镜片前后测头的位置差, 即是镜片的中心厚度. 对于中心厚度的测量也可以采用具有相当测量准确度的光栅位移传感器^[2].

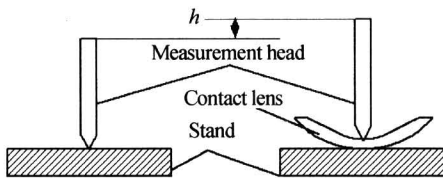


图 2 千分表测量法
Fig. 2 Contact method in measuring thickness

1.2.2 弓高弦长法

图 3 是弓高弦长法测量曲率半径的原理示意图. 用螺旋测微计测出平板及镜片对应的测头位置, 差值即是弓高, 而该弓高对应的弦长是环座的外径, 利用弓高弦长公式, 求出后曲率半径.

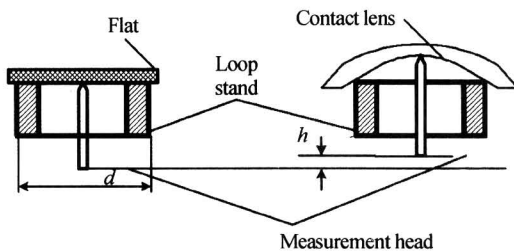


图 3 弓高弦长法
Fig. 3 Contact method in measuring retral radius

1.2.3 显微镜曲率计法

图 4 是光学显微镜曲率计测量曲率半径的原理, 是一种非接触性测量. 在系统中软性亲水性接触镜只有处在图示的两个位置时, 显微镜中的狭缝才能在显微镜的视场中成清晰像. 这样通过移动软性亲水性接触镜、在显微镜中观察到狭缝清晰时, 读出相应的位置, 算出两个位置的差值, 即可求得后曲率半径.

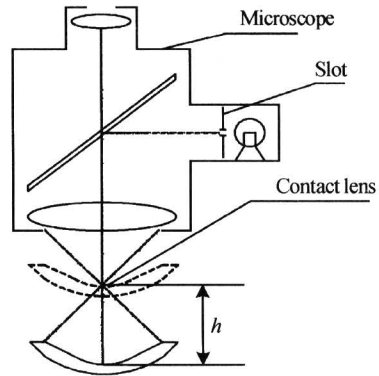


图 4 光学显微镜曲率计
Fig. 4 Microscope curvature meter

1.2.4 光学机械扫描法

将图 4 中角膜镜放置在一个盛有液体的容器中, 通过光学机械扫描的方法可以在亲水状态下测量后表面的曲率半径.

镜片外直径 d 的测量则一般采用投影法. 即将镜片放大投影到一个有标尺的屏幕上, 在屏幕的标尺上直接读出该参量.

1.3 现有测量方法的主要缺陷

据上面的分析, 千分表、光栅位移传感器、弓高弦长法测量方法采用的是接触式测量, 对测头的要求很高. 将软性亲水性接触镜置于干燥环境中, 测量其中心厚度 d 和后表面曲率半径 r_2 , 镜片会因脱水而变形, 影响测量结果. 另外因镜片是软性材料, 在测头的压迫下会产生变形, 故测头对镜片的接触力大小会因操作人员的水平差异, 对测量结果产生极大的影响. 显微镜曲率计法虽然解决了接触力对测量结果的影响问题, 但镜片却不能浸于溶液中, 因而又存在镜片脱水变形的问题. 不能同时测量前、后表面曲率半径及中心厚度. 光学机械扫描的方法可以在亲水状态下测量前表面的曲率半径, 但是由于采用机械扫描装置, 降低了测量的准确度, 且只能测量后表面的曲率半径.

不管采用哪几种仪器组合, 总要分别用二、三种不同的仪器测量前表面曲率半径及中心厚度、外径三个参量, 而不能测后表面曲率半径 r_2 , 更不能用一种仪器同时测量测 r_1, r_2, t, d 四个参量. 因此, 有必要提出一种新方法解决镜片干燥脱水及接触力对测量结果的影响, 并提供一种装置同时完成软性亲水性接触镜四个参量的测量.

2 软性亲水性接触镜几何参量光电测量方法

2.1 光电测量方法基本原理

利用接触测量方法简单和非接触测量方法没有测量力、不产生变形的优点,并考虑了克服测量力产生变形、限制了准确度、高准确度机械运动测量机构的复杂性与可靠性问题,提出光电成像测量的方法.

2.1.1 中心厚度测量

中心厚度测量方法如图 5. 将软性亲水性接触镜放置在一个放大成像光学系统中,且位于光轴上,用 CCD 检测软性亲水性接触镜的放大像,其中 CCD 的中心间距为 $\Delta x'$, t' 为中心厚度在成像面上的尺寸,如果放大倍数为 β ,软性亲水性接触镜的中心厚度为

$$t = t' / \beta \tag{4}$$

如果 $\beta > 1, t \ll t'$, 也就是说,可以增加 β , 得到对中心厚度高准确度的测量.

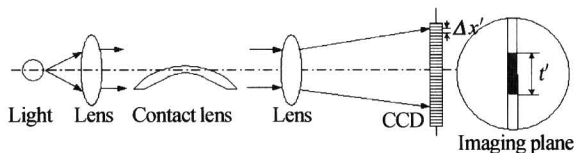


图 5 中心厚度测量方法
Fig. 5 Measurement of central thickness

2.1.2 曲率半径测量

曲率半径测量方法如图 6. 将软性亲水性接触镜放置在一个已知直径 d_1, d_2 的基准圆环座上面, 同时将整个图示结构放置在一个放大成像光学系统

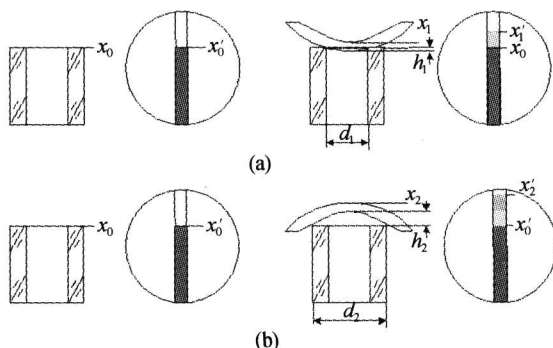


图 6 曲率半径测量方法
Fig. 6 Measurement of retral and fore radius

中,在 CCD 上读出 x'_i 的位置,其中 x'_i 分别为 x_i 在成像面上对应的位置,引入放大倍数,根据弓高弦长公式,曲率半径为

$$r_i = \left[\frac{d_i^2}{4} + \left| \frac{x'_i - x'_0}{\beta} - t \right|^2 \right] / 2 \left| \frac{x'_i - x'_0}{\beta} - t \right| \tag{5}$$

2.1.3 外直径的测量

如图 7,软性亲水性接触镜放置在一个 V 型槽里,在 V 型槽像面的中轴线上放置 CCD,以标准的外半径为 d_1 的软性亲水性接触镜外直径边缘在 V 型槽中轴线上的位置作为 x'_6 , x'_6 位于 CCD 的中

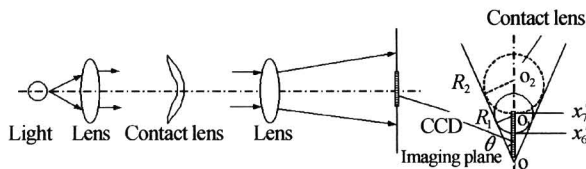


图 7 外直径测量
Fig. 7 Measurement of outside diameter

央,对于检测软性亲水性接触镜,通过检测像面上的 x'_7 点,可以得到外直径,根据几何关系可知

$$x'_7 - x'_6 = (R_2 - R_1) \left[\frac{1}{\sin \theta} - 1 \right] \tag{6}$$

$$d = d_1 + \frac{2(x'_7 - x'_6) \sin \theta}{(1 - \sin \theta) \beta} \tag{7}$$

式中 R_1 和 R_2 分别为标准软性亲水性接触镜和待测软性亲水性接触镜的外半径, θ 为 V 型槽的角度.

2.2 光电测量系统

根据原理构建的光电测量系统如图 8^[3](图中 1 为环形座;2 为顶针;3 为正照明系统;4 为正投影物镜;5 为正投影屏;6 为侧照明光源;7 为侧投影物镜;8 为摄像机;9 为计算机;10 为透明容器;11 为密封圈;12 为控制杆;13 为调节手柄;14 为软性亲水性接触镜). 采用白炽灯准直照明,将浸于盐液中的镜片从下面与侧面两个方向投影放大,正投影物镜与侧投影物镜皆将软性亲水性接触镜 14 放大 20 倍后分别投影到摄像机或屏幕上. 中心距为 $50 \mu\text{m}$ 、总共 512 像元的线阵摄像机摄取镜片侧投影图像;将软性亲水性接触镜去掉后,再用线阵摄像机摄取镜片环形座及顶针的侧投影图像;用 MCS-51 单片机对摄像机输出数据进行图像处理,得出 t . 由于投影会带来边缘清晰度的下降,利用图像处理中的边缘锐化方法,提高对中心厚度的处理准确度. 利用弦长弓高公式,分别根据环形座内、外径 d_1, d_2 几个参量,依照式(5)、(7)用 MCS-51 单片机计算机出前、后表面曲率半径 r_1, r_2 和外直径的 d .

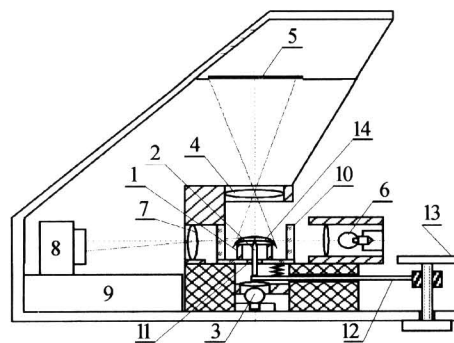


图 8 光电成像测量系统
Fig. 8 Measurement system of imaging method

该系统可以同时完成四个参量测量,所有测量皆为非接触测量,避免了接触力压迫镜片产生的变形现象;而镜片始终浸于液体中,避免了镜片因干燥

脱水产生变形, 因而能真正保证镜片在无变形条件下的准确测量. 该系统经实验已经用于商业中.

3 误差分析

对于中心厚度 t 的测量分辨率由图像探测器的像元中心距和光学放大倍数决定, 即

$$\Delta t = 2\Delta x' / \beta \quad (8)$$

根据软性亲水性接触镜的常规尺寸、采用的光学系统和 CCD 阵列, 达到了 0.005 mm 数量级. 根据误差合成理论^[4], 由式(5)、(7)可得曲率半径和外直径的测量误差为

$$\Delta r_i = \left[1 + \frac{\left(\frac{d_i^2}{2} + 2 \left| \frac{x_i - x_0}{\beta} - t \right|^2 \right)}{4 \left| \frac{x_i - x_0}{\beta} - t \right|^2} \right] \frac{1}{\beta} \Delta x' \quad (9)$$

$$\Delta d = [4 \sin \theta / (1 - \sin \theta) \beta] \Delta x' \quad (10)$$

根据 2.2 中提到的参量的基本尺寸, 曲率半径和外直径测量误差优于 0.005 mm 数量级. 经过上面的分析可以看出, 使用高分辨率的 CCD 图像探测器和高放大倍数或 2 次放大光学系统, 可以提高角膜参量测量的分辨率和测量准确度.

4 结论

本文提出的非接触光电成像测量方法, 能很好解决软性亲水性接触镜几何参量测量时软性亲水性接触镜脱水测量和接触测量受力变形的问题, 提高

了测量准确度.

其特点为: 1) 该方法保证了软性亲水性接触镜在亲水状态下测量; 2) 测量对象是像, 实现了非接触测量; 3) 采用高分辨率的 CCD 和高放大倍数的光学系统或二次放大, 测量准确度可以进一步提高; 4) 对软性亲水性接触镜的中心厚度、曲率半径的测量分辨力达到了 0.005 mm, 远高于系统 0.01 mm 的准确度要求; 5) 该方法可以对四个参量的测量用一台仪器完成.

参考文献

- 1 M 玻恩, E 沃尔夫[著], 杨葭荪等[译]. 光学原理. 北京: 科学出版社, 1978. 179~210
Max Born, Emil wolt. Principle of Optics. Beijing: Science Press, 1978. 179~210
- 2 关柏鸥, 刘志国, 开桂云, 等. 基于悬臂梁结构的光纤光栅位移传感研究. 光子学报, 1999, 28(11): 983~985
Guan B O, Liu Z G, Kai G Y, et al. Acta Photonica Sinica, 1999, 28(11): 983~985
- 3 陈伟民. 软性亲水性接触镜几何参数的光电成像测量方法. 中国专利. ZL00120534X, 2003, 11
Chen W M. Imaging method for measuring Geometrical Parameters of Contact Lens. Chinese Patent. ZL00120534X, 2003, 11
- 4 费业泰. 误差理论与数据处理. 第四版. 北京: 机械工业出版社, 2000. 58~64
Fei Y T. Error Theory and Data Disposal. No. 4 edition. Beijing: Mechanism Industry Publishing Company, 2000. 58~64

Geometrical Parameters Measurement of Contact Lens With A Novel Imaging Method

Chen Weimin, Zhang Jie

Opto-electronic Engineering Department, Chongqing University, Chongqing 400030

Received date: 2004-11-22

Abstract An imaging method to measure the geometrical parameters of contact lens is put forward. In imaging method, contact lens is projected into an enlarged image with a projecting lens. An imaging sensor is used to acquire the enlarged image, and a single board computer is adopted to process the image and to do the calculation of parameters. In addition, a glass ring emerged in the liquid was introduced to hold contact lens without any distortion or dehydration. An example of system is provided. With the system, the thickness t can be measured directly, and fore radius r_1 and retral radius r_2 can be calculated with the help of h_1 and h_2 and d_1 and d_2 . With an imaging system of 20 times magnification, and a 512 pixels CCD linear imaging sensor of a 50 μm pixel spacing, the system has a resolution of 5 μm , which is much higher than the accuracy requirement of measurement 0.01 millimeter.

Keywords Contact lens; Geometrical parameter; Imaging



Chen Weimin male, Dr. and professor, was born in 1955 in Chongqing, China. His research interesting includes optoelectronic system, optical fiber sensing system, etc.