

中 华 人 民 共 和 国 国 家 标 准

GB/T 44221—2024

光学系统波前像差的测定 夏克-哈特曼光电测量法

Determination of wavefront aberration in optical systems—
Electro-optical Shack-Hartmann method

2024-07-24发布

2025-02-01实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发 布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 测量原理及方法 2

 4.1 测量原理 2

 4.2 光学系统波前像差测量方法 2

 4.3 光学零件面形偏差的测量 3

5 测量条件 4

 5.1 测量环境 4

 5.2 样 品 4

6 设备及装置 4

 6.1 测量仪 4

 6.2 辅助镜头 5

7 测量步骤 5

 7.1 测量前准备 5

 7.2 波前重构方法的选择 6

 7.3 光路对准 6

 7.4 测量与数据的判定 6

8 测量数据处理 6

9 测量报告 7

附录 A(资料性) 波前复原方法 8

附录 B(资料性) Zernike 多项式序列 11

附录C(资料性) 测量报告 13

参考文献 14



前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国科学院提出。

本文件由全国光测量标准化技术委员会(SAC/TC 487)归口。

本文件起草单位：中国科学院苏州生物医学工程技术研究所、中国科学院光电技术研究所、中国标准化研究院、中国科学院空天信息创新研究院、中国科学院长春光学精密机械与物理研究所、苏州慧利仪器有限责任公司、中国计量科学研究院、长春奥普光电技术股份有限公司、浙江舜宇光学有限公司、成都科奥达光电技术有限公司、苏州一光仪器有限公司、舟山市质量技术监督检测研究院。

本文件主要起草人：史国华、邢利娜、何益、杨金生、蔡建奇、王璞、刘春雨、韩森、洪宝玉、冯长有、包明帝、叶虹、谢桂华、伍开军、沈晨雁、郝华东。

光学系统波前像差的测定

夏克-哈特曼光电测量法

1 范围

本文件描述了采用夏克-哈特曼法测量光学系统波前像差的原理及方法、测量条件、设备及装置、测量步骤以及测量数据处理。

本文件适用于采用夏克-哈特曼法测量光学系统波前像差的测量，也适用于光学零件面形偏差的测量。

2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

波前 wavefront
光波传播时的等相位面。
[来源：GB/T 13962—2009,2.28]

3.2

波前像差 wavefront aberration
 ϕ
波前与理想波前的偏差。
[来源：GB/T 41869.2—2022,3.1,有修改]

3.3

面形偏差 surface form deviation
被测光学表面相对于参考光学表面的偏差。
[来源：GB/T 2831—2009,3.1]

3.4

波前重构 wavefront reconstruction
通过子孔径的斜率计算得到入射波前的相位分布的过程。

3.5

口径 diameter
仪器能够检测的光学零件或系统的通光孔径。

3.6

自准直法 autocollimation method
使平行光管发出的平行光照射在试样上，再由试样反射回平行光管，根据焦点附近像的情况测定试样的倾斜等的方法。可用于对准、调焦、测量微小位移和角度。

[来源: GB/T 13962—2009,8.20]

3.7

波前像差峰-谷值 peak-to-valley value of wavefront aberration

Φ_p

波前与理想波前的偏差的峰-谷值。

[来源: GB/T 41869.2—2022,3.2,有修改]

3.8

波前像差均方根值 root-mean-square of wavefront aberration

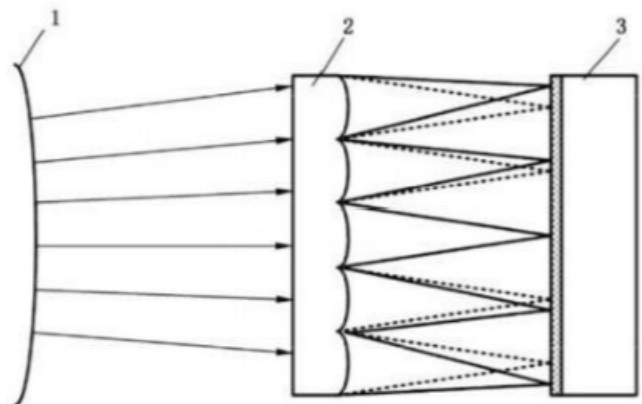
Φ_{ms}

波前与理想波前的偏差的均方根值。

4 测量原理及方法

4.1 测量原理

利用阵列聚焦器件(微透镜阵列或者微光学阵列光栅加会聚透镜)将光束孔径分割成若干子孔径,并在探测器上聚焦形成多个光斑(实际像点)。通过光斑坐标计算得到光斑相对于焦点(理论像点)的偏移量。通过计算光斑的相对偏移量获得入射波前对应到每个子孔径上的斜率。按照每一个子孔径内波前的斜率信息,进行波前重构,得到全孔径上的波前相位分布。原理图见图1。



标引序号说明:

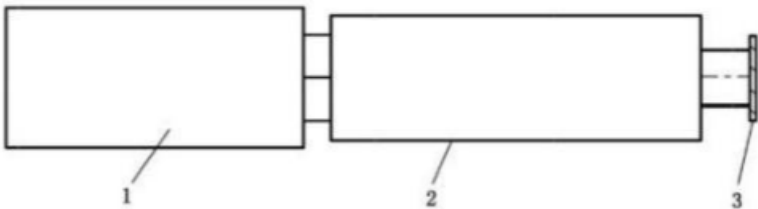
- 1——波面;
- 2——微透镜阵列;
- 3——CCD探测器。

图 1 夏克-哈特曼光电测量法原理图

4.2 光学系统波前像差测量方法

4.2.1 自准直法

采用自准直法进行测量时,平行光通过被测光学系统后被反射,反射光包含被测件的面形误差信息,该反射光作为入射光,平行入射到夏克-哈特曼波前像差测量仪(简称测量仪)。光路两次经过待测系统,得到的测量结果是光学系统波前像差的两倍。图2以望远系统为例,给出了测量仪采用自准直法测量光学系统波前像差的示意图。测量前,应使用辅助平面镜标定测量仪的波前像差。



标引序号说明：
1——测量仪；
2——被测望远系统；
3——辅助平面镜。

图 2 自准直法测量光学系统波前像差示意图

4.2.2 直接法

采用直接法进行测量时，测量仪输出的平行光通过被测光学系统后直接进入测量仪的夏克-哈特曼传感器，测量结果即为光学系统的波前像差。图3以望远系统为例，给出了测量仪采用直接法测量光学系统波前像差的示意图。



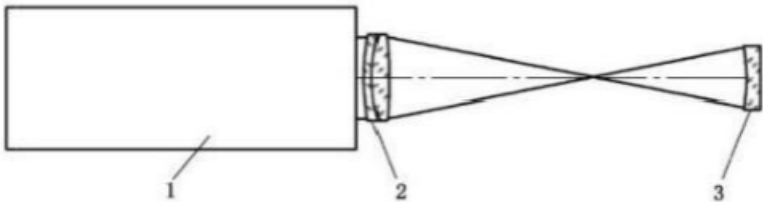
标引序号说明：
1——测量仪的光源与系统光路部分；
2——被测望远系统；
3——测量仪的夏克-哈特曼传感器。

图 3 直接法测量光学系统波前像差示意图

4.3 光学零件面形偏差的测量

4.3.1 球面光学零件

测量球面光学零件面形偏差采用自准直法。测量仪输出的平行光经辅助镜头汇聚到待测球面的球心后被待测球面反射，再经辅助镜头平行入射到测量仪，得到待测球面的面形偏差，其结果是待测面形偏差的两倍。测量凹球面光学零件面形偏差的示意图见图4。测量前，应使用标准球面镜标定带有辅助镜头的测量仪。



标引序号说明：
1——测量仪；
2——辅助镜头；
3——被测光学零件。

图 4 测量凹球面光学零件面形偏差的示意图

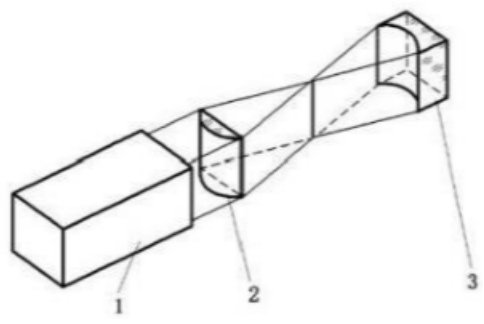
4.3.2 非圆形光学零件

按照4.3.1直接测量得到的是非圆形光学零件在实际测量区域内的结果。可采用区域重构算法，给出全口径上的测量结果。

4.3.3 非球面光学零件

非球面光学零件的测量需要辅助镜头，使测量仪出射的平行光，经待测元件和辅助镜头后实现平行光进入测量仪。

以柱面镜为例，其测量示意图见图5。测量前，应使用标准柱面镜标定带有辅助镜头的测量仪。



标引序号说明：
1——测量仪；
2——辅助镜头；
3——待测柱面镜。

图 5 测量柱面镜面形偏差的示意图

5 测量条件

5.1 测量环境

测量环境要求如下：

- a) 应在室内，常压条件下，无影响测量的振动、避免阳光直射；
- b) 相对湿度：不大于75%；
- c) 温度： $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，温度24 h 内变化量在 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 之内。

当测量环境不能满足此要求时，应在此环境下对测量设备进行校准，并将被测样品放置于测量环境中进行等温调节，并应在测量报告中注明测量环境情况。

5.2 样品

样品的要求如下：

- a) 表面应洁净无尘土颗粒及其他污物；
- b) 口径应小于测量仪的测量口径；
- c) 应在测量环境中进行等温调节至少2 h。

6 设备及装置

6.1 测量仪

测量仪示意图见图6。测量仪由光源、系统光路、夏克-哈特曼传感器、软件与显示单元、辅助镜头

等组成。测量仪光源优先采用632.8 nm 波长激光器，若采用其他波长，则应在结果中注明。测量仪通过软件实现波前复原，波前复原包括质心计算、斜率计算和波前重构，实现波前重构的方法有多种，常用的有模式重构法和区域重构法，参见附录A。

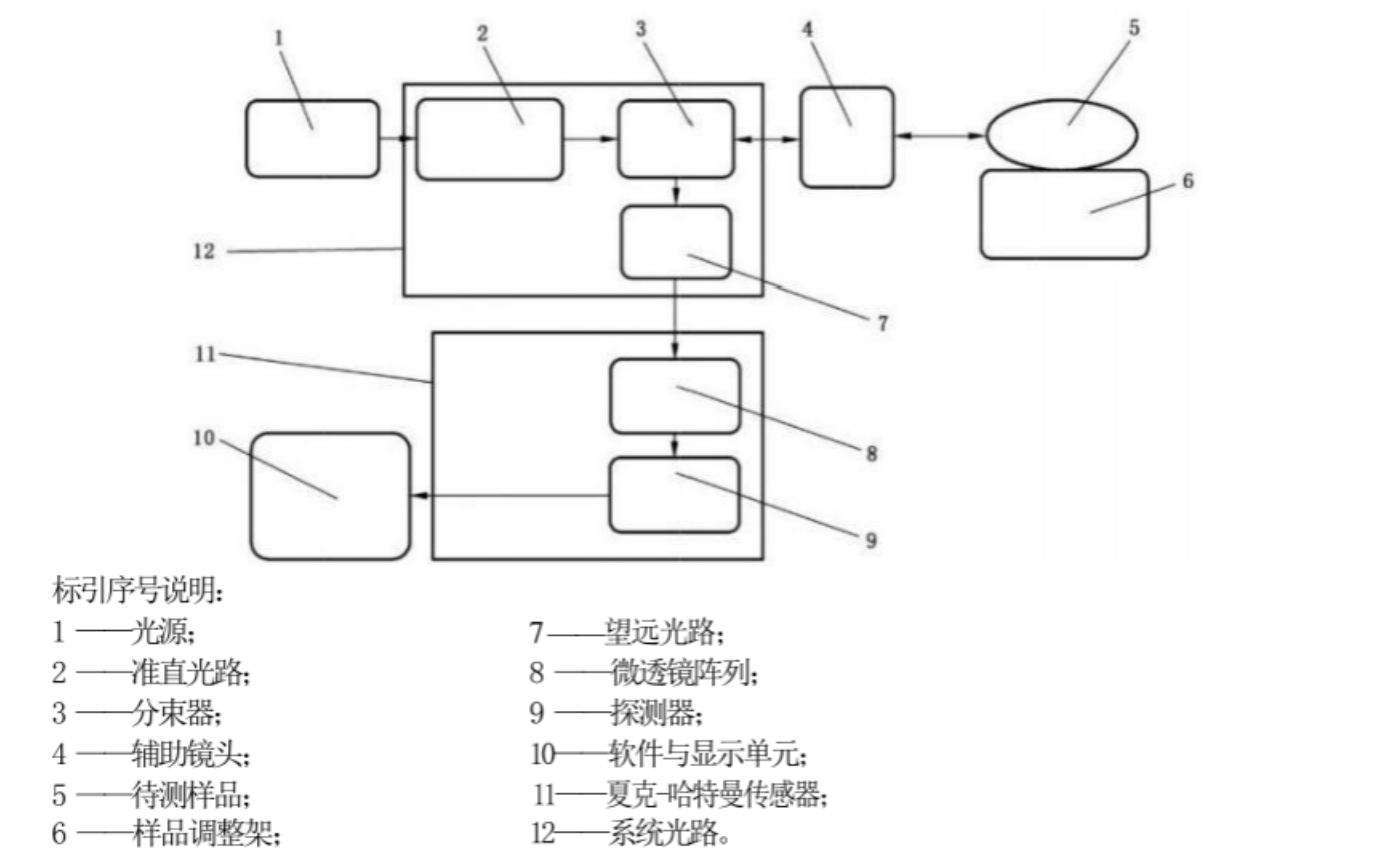


图 6 测量仪示意图

测量仪应定期校准，并在有效期内。若校准已超过有效期，应校准设备后使用。

6.2 辅助镜头

6.2.1 通则

包含辅助透镜组和辅助反射镜等附件。宜对带有辅助镜头的测量仪进行自校；如果无法实现自校，辅助镜头的波前像差应高于被测样品至少一个数量级。

6.2.2 辅助透镜组

测量发散或汇聚的光学系统和光学零件时，应使用相匹配的辅助透镜组，将其光束转化成平行光。辅助透镜组的F 数(透镜组焦距与有效孔径之比)应不大于被测样品的曲率半径与通光孔径的比值，且越接近越好。辅助透镜组的后焦距应大于被测凸球面的曲率半径。

6.2.3 辅助反射镜

辅助反射镜口径应大于被测光学系统的出射口径。

7 测量步骤

7.1 测量前准备

测量前准备工作如下：

- a) 查看测量仪的校准情况;
- b) 确认测量仪在测量环境中等温调节24 h以上;
- c) 确认样品信息及并将样品进行等温调节2 h 以上;
- d) 选择适合的测量方法及辅助镜头;
- e) 记录测量环境温度、相对湿度、气压以及样品等温调节情况。

7.2 波前重构方法的选择

采用模式重构法进行波前重构时, 需选择模式函数序列, 圆形孔径优先选用泽尼克(Zernike) 多项式序列 (见附录B), 矩形孔径优先选用勒让德(Legendre)、埃尔米特(Hermite) 或者切比雪夫(Tchebyshev) 多项式序列。

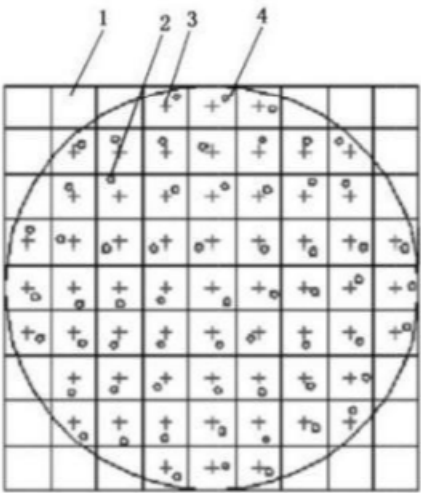
7.3 光路对准

根据所选的测量方法, 调整被测光学零件或光学系统, 使其中心轴与测量仪光轴对齐。

7.4 测量与数据的判定

测量与数据判定过程如下:

- a) 调整被测样品的位置, 使测量光斑聚焦在每个子孔径区域以内, 不应在边线上, 光斑聚焦示意图见图7;
- b) 检查聚焦器件焦点的位置, 确认子孔径成像完整, 若不完整, 应查找原因并重新测量;
- c) 每间隔一段时间 (不少于1s) 记录一组测量数据, 重复记录j(j≥10) 组测量数据。



- 标引序号说明:
- 1——子孔径区域;
 - 2——实际像点在边线上;
 - 3——理论像点;
 - 4——实际像点。

图 7 光斑聚焦示意图

8 测量数据处理

判断测量结果中是否存在异常值。若无, 按照公式(1)和公式(2)计算得到的平均值作为测量结果; 若有, 则剔除异常值后, 重新按照公式(1)和公式(2)计算算术平均值作为测量结果。

$$\Phi_{pv} = \frac{\sum_{i=1}^j \Phi_{pv,i}}{j} \dots\dots\dots (1)$$

$$\Phi_{ms} = \frac{\sum_{i=1}^j \Phi_{ms,i}}{j} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- Φpv——波前像差峰-谷值的测量结果, 单位为微米(μm);
- j——记录数据的组数;
- Φp,i——记录的第i组波前像差峰-谷值, 单位为微米(μm);
- Φms——波前像差均方根值的测量结果, 单位为微米(μm);
- Φms,i——记录的第i组波前像差均方根值, 单位为微米(μm)。

计算结果保留至小数点后三位有效数字。

按照公式(3)和公式(4)计算标准偏差, 即为测量的重复性。

$$s_{pv} = \sqrt{\frac{1}{(j-1)} \sum_{i=1}^j (\Phi_{pv,i} - \Phi_{pv})^2} \dots\dots\dots (3)$$

$$s_{ms} = \sqrt{\frac{1}{(j-1)} \sum_{i=1}^j (\Phi_{ms,i} - \Phi_{ms})^2} \dots\dots\dots (4)$$

式中:

- spv——波前像差峰-谷值的测量重复性, 单位为微米(μm);
- 5ms——波前像差均方根值的测量重复性, 单位为微米(μm)。

9 测量报告

测量报告包含下列信息, 参见附录C:

- a) 样品名称及参数;
- b) 测量时间、地点和环境;
- c) 测量设备的型号、最大测量口径、工作波长及采样分辨力;
- d) 波前重构的方法;
- e) 波形图、波前像差峰-谷值/均方根值及测量口径等;
- f) 其他影响测量结果的因素。

附录 A (资料性) 波前复原方法

A.1 概述

测量仪通过测量波前局部斜率来复原入射波前，波前复原包括质心计算、斜率计算和波前重构三个步骤。质心计算是确定光斑的质心位置坐标，斜率计算是由理论光斑质心位置与实际光斑质心位置的偏差，以及微透镜阵列的子孔径和焦距参数，计算出波前的局部斜率。波前重构是根据子孔径的斜率计算得到入射波前的相位分布。实现波前重构的算法有多种，常用的有模式重构法和区域重构法。

A.2 模式重构法

模式重构法将全孔径内的波前相位展开成不同的模式(例如：平移、倾斜、离焦、像散、彗差和球差等)，用全孔径内的测量数据去求解各模式的系数，得到完整的波前展开式，重构出入射波前。

模式重构法常用的展开多项式是Zernike 正交多项式。当被测波前在圆域内时按公式(A.1) 用Zernike多项式描述。

$$\Phi(x, y) = a_0 + \sum_{n=1}^N a_n Z_n(x, y) + \epsilon \quad \text{.....(A.1)}$$

式中：

$\Phi(x,y)$ —— 被测波前；

a_0 ——平均相位波前；

n ——Zernike多项式系数的模式阶数；

a ——第 k 项Zernike多项式系数；

$Z_A(x,y)$ —— 第 k 项Zernike 多项式；

E ——波前相位测量误差。

测量仪第 i 个子孔径内的平均斜率与Zernike 多项式系数的关系可用公式(A.2) 和公式(A.3) 表示。

$$G_x(i) = \sum_{n=1}^N a_n Z_{n,x}(i) + \epsilon_x(i) \quad \text{.....(A.2)}$$

$$G_y(i) = \sum_{n=1}^N a_n Z_{n,y}(i) + \epsilon_y(i) \quad \text{.....(A.3)}$$

式中：

$G_x(i)$ —— 第 i 个子孔径在 x 方向的平均斜率；

$Z(i)$ —— 第 k 项Zernike多项式在 x 方向上的分量；

$E_x(i)$ —— 波前相位第 i 个子孔径内在 x 方向上的测量误差；

$G_y(i)$ —— 第 i 个子孔径在 y 方向的平均斜率；

$Z(i)$ —— 第 k 项Zernike多项式在 y 方向上的分量；

$e_y(i)$ —— 波前相位第 i 个子孔径内在 y 方向上的测量误差。

设测量仪有 m 个子孔径，并取模式函数系列 $Z(x,y)$ 的前 n 项进行波前重构，则模式重构的矩阵表达式为公式(A.4)，可用公式(A.5) 表示。

$$\begin{bmatrix} G_x(1) \\ G_y(1) \\ G_x(2) \\ G_y(2) \\ \vdots \\ G_x(m) \\ G_y(m) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{x1}(1)Z_{x2}(1)\cdots Z_{xn}(1) \\ Z_{y1}(1)Z_{y2}(1)\cdots Z_{yn}(1) \\ Z_{x1}(2)Z_{x2}(2)\cdots Z_{xn}(2) \\ Z_{y1}(2)Z_{y2}(2)\cdots Z_{yn}(2) \\ \vdots \\ Z_{x1}(m)Z_{x2}(m)\cdots Z_{xn}(m) \\ Z_{y1}(m)Z_{y2}(m)\cdots Z_{yn}(m) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \epsilon_x(1) \\ \epsilon_y(1) \\ \epsilon_x(2) \\ \epsilon_y(2) \\ \vdots \\ \epsilon_x(m) \\ \epsilon_y(m) \end{bmatrix} \cdots \cdots \cdots (A.4)$$

$$G=DA+e$$

.....(A.5)

式中：

G——波前相位斜率向量，包括测量仪所有子孔径测量的x 和y 方向平均斜率；

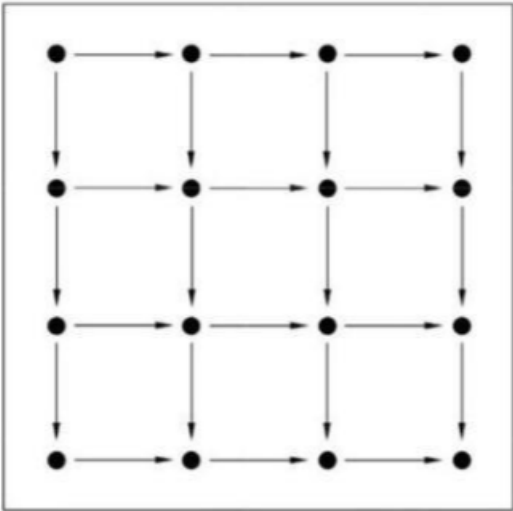
D——Zernike 多项式的偏导矩阵；

A——Zernike 系数矩阵。

测量仪测量得到波前相位斜率向量G 后，求出D 的广义逆D⁺，解出Zernike 系数矩阵 A 的值，计算得到波前相位。

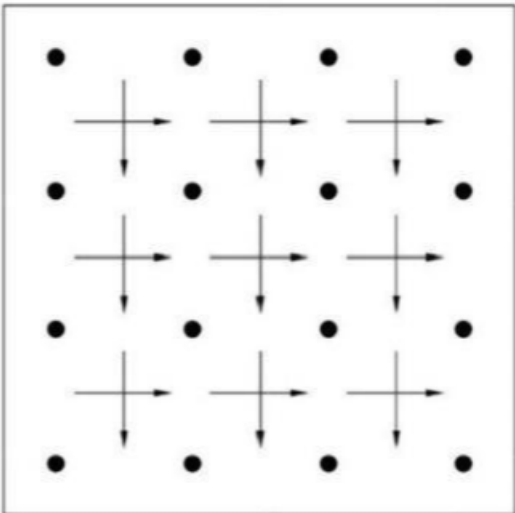
A.3 区域重构法

将每个子孔径上波前相位离散化，用若干个点取代连续面，一个完整波前被细分成一定数量的子区间(子孔径)。区域重构法利用各子孔径边界上测量的波前梯度或相位差数据，重构整个波前相位。根据测量参数的性质(梯度或相位差)、重构波前相位的位置和重构的算法的不同，有多种重构波前的方法。按照相位测量点和重构点相对位置不同，有休晋模型、弗雷德模型和绍契威尔模型三种重要重构模型，见图A.1～图 A.3。图中●代表待估计的相位点，→代表测量数据位置。

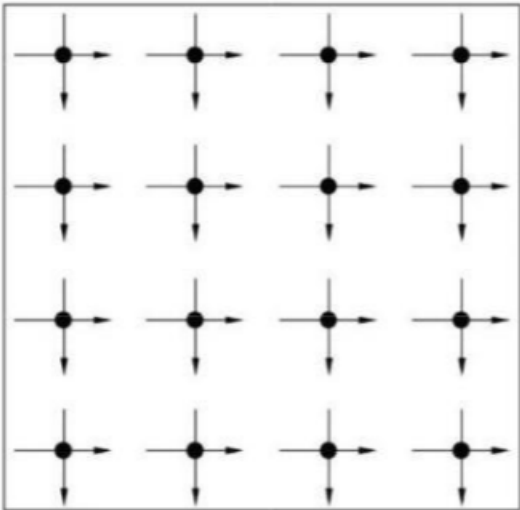


图A.1 休晋模型





图A.2 弗雷德模型



图A.3 绍契威尔模型

休晋模型测量数据是栅格点间的相位差，重构相位的点在栅格点上。休晋模型在区域内斜率是连续的，但在边界上不连续，区域内的相位按线性规律变化。弗雷德模型相位的位置在栅格点上，测量斜率的位置在区域的中央，在计算区域中央的斜率时，取边界相位的平均值。弗雷德模型的波前斜率在区域内部是连续的，相位线性变化，在边界上同样不连续。绍契威尔模型测量数据和相位均在栅格点上，可认为相邻栅格点的相位差是与相邻栅格点间中点的斜率对应，区域内部的斜率是连续线性变化的，相位将按抛物线规律变化。

附录 B
(资料性)
Zernike多项式序列

B.1 概述

Zernike多项式是由无穷数量的多项式完全集组成的，用极坐标表述，径向坐标 r 和角度坐标 θ 。Zernike多项式在单位圆内部是连续正交的，但在单位圆内部的离散的坐标上是不具备正交性质的。Zernike多项式和光学检测中观测到的像差多项式的形式是一致的，常被用来描述波前特性。在B.2给出的48项Zernike多项式中， Z_0 项是平移项，是第0组系数； Z_1 到 Z_2 项是第2组系数，代表波前的高斯或者近轴特性， Z_1 和 Z_2 项分别是水平和竖直方向的倾斜项， Z_3 代表了离焦； Z_3 到 Z_4 项是第4组系数， Z_3 和 Z_4 项代表了水平和竖直方向的像散， Z_5 和 Z_6 项代表水平和竖直方向的彗差， Z_7 项代表了一阶球差； Z_7 到 Z_8 项是第6组系数； Z_9 到 Z_{12} 项是第8组系数， Z_{13} 到 Z_{16} 项是第10组系数， Z_{17} 到 Z_{20} 项是第12组系数。

B.2 前48项Zernike多项式数学表达式

参见ISO/TR 14999-2:2019,给出前48项Zernike多项式序列数学表达式如下：

$$\begin{aligned} Z_0(r, \theta) &= 1 \\ Z_1(r, \theta) &= r \cos \theta \\ Z_2(r, \theta) &= r \sin \theta \\ Z_3(r, \theta) &= 2r^2 - 1 \\ Z_4(r, \theta) &= r^2 \cos 2\theta \\ Z_5(r, \theta) &= r^2 \sin 2\theta \\ Z_6(r, \theta) &= (3r^2 - 2)r \cos \theta \\ Z_7(r, \theta) &= (3r^2 - 2)r \sin \theta \\ Z_8(r, \theta) &= 6r^4 - 6r^2 + 1 \\ Z_9(r, \theta) &= r^3 \cos 3\theta \\ Z_{10}(r, \theta) &= r^3 \sin 3\theta \\ Z_{11}(r, \theta) &= (4r^2 - 3)r^2 \cos 2\theta \\ Z_{12}(r, \theta) &= (4r^2 - 3)r^2 \sin 2\theta \\ Z_{13}(r, \theta) &= (10r^4 - 12r^2 + 3)r \cos \theta \\ Z_{14}(r, \theta) &= (10r^4 - 12r^2 + 3)r \sin \theta \\ Z_{15}(r, \theta) &= 20r^6 - 30r^4 + 12r^2 - 1 \\ Z_{16}(r, \theta) &= r^4 \cos 4\theta \\ Z_{17}(r, \theta) &= r^4 \sin 4\theta \\ Z_{18}(r, \theta) &= (5r^2 - 4)r^3 \cos 3\theta \\ Z_{19}(r, \theta) &= (5r^2 - 4)r^3 \sin 3\theta \end{aligned}$$

$$Z_0(r,0)=(15r^4-20r^2+6)r^2\cos\theta \quad 20$$

$$Z_{2-1}(r,\theta)=(15r^4-20r^2+6)r^2\sin\theta$$

$$Z_2(r,0)=(35r^6-60r^4+30r^2-4)r\cos\theta \quad Z_3(r,0)=(35r^6-60r^4+30r^2-4)r\sin\theta$$

$$\begin{aligned}
Z_{2\ 4}(r,0) &= 70r^8 - 140r^6 + 90r^4 - 20r^2 + 1 \\
Z_{2\ 5}(r,\theta) &= r^5 \cos \quad 50 \\
Z_{2\ s}(r,\theta) &= r^5 \sin \quad 50 \\
Z_{2\ 7}(r,0) &= (6r^2 - 5)r^4 \cos \quad 40 \\
Z_{2\ 8}(r,\theta) &= (6r^2 - 5)r^4 \sin \quad 40 \\
Z_{2\ o}(r,\theta) &= (21r^4 - 30r^2 + 10)r^3 \cos \quad 30 \\
Z_{3\ o}(r,0) &= (21r^4 - 30r^2 + 10)r^3 \sin \quad 30 \\
Z_{3\ 1}(r,\theta) &= (56r^6 - 105r^4 + 60r^2 - 10)r^2 \cos \quad 20 \\
Z_{3\ 2}(r,0) &= (56r^6 - 105r^4 + 60r^2 - 10)r^2 \sin \quad 20 \\
Z(r,0) &= (126r^8 - 280r^6 + 210r^4 - 60r^2 + 5)r \cos 0 \\
Z_{3\ 4}(r,0) &= (126r^8 - 280r^6 + 210r^4 - 60r^2 + 5)r \sin 0 \\
Z_{3\ 5}(r,\theta) &= 252r^{10} - 630r^8 + 560r^6 - 210r^4 + 30r^2 - 1 \\
Z_{3\ 6}(r,0) &= r^6 \cos \quad 60 \\
Z_{3\ 7}(r,0) &= r^6 \sin 60 \\
Z_{3\ g}(r,\theta) &= (7r^2 - 6)r^5 \cos \quad 50 \\
Z_{3\ 9}(r,0) &= (7r^2 - 6)r^5 \sin \quad 50 \\
Z_{4\ 0}(r,0) &= (28r^4 - 42r^2 + 15)r^4 \cos \quad 40 \\
Z_{4\ 1}(r,0) &= (28r^4 - 42r^2 + 15)r^4 \sin 40 \\
Z_{4\ 2}(r,\theta) &= (84r^6 - 168r^4 + 105r^2 - 20)r^3 \cos \quad 30 \\
Z_{4\ 3}(r,0) &= (84r^6 - 168r^4 + 105r^2 - 20)r^3 \sin \quad 30 \\
Z(r,0) &= (210r^8 - 504r^6 + 420r^4 - 140r^2 + 15)r^2 \cos \quad 20 \\
Z_{5\ 1}(r,0) &= (210r^8 - 504r^6 + 420r^4 - 140r^2 + 15)r^2 \sin \quad 20 \\
Z_{4\ 5}(r,\theta) &= (462r^{10} - 1260r^8 + 1260r^6 - 560r^4 + 105r^2 - 6)r \cos \theta \\
Z_{4\ 7}(r,0) &= (462r^{10} - 1260r^8 + 1260r^6 - 560r^4 + 105r^2 - 6)r \sin 0 \\
Z_{4\ 8}(r,\theta) &= 924r^{12} - 2772r^{10} + 3150r^8 - 1680r^6 + 420r^4 - 42r^2 + 1
\end{aligned}$$

附录 C
(资料性)
测量报告

测量报告见表C.1。

表C.1 测量报告

样品名称			测量机构			
样品数量			测量时间			
送样机构			测量地点			
送样时间			测量环境	温度 ℃	相对湿度 %	
样品等温调节时间						
波前重构方法			像差去除情况			
样品参数		基本参数	测量口径	备注		
测量设备		型号	最大测量口径	采样分辨率	工作波长	设备校准
测 试 结 果						
备 注						
测量人(签名)			日期			
审核人(签名)			日期			

参 考 文 献

- [1]GB/T 2831—2009 光学零件的面形偏差
- [2]GB/T 13962—2009 光学仪器术语
- [3]GB/T 41869.2—2022 光学光子学 微透镜阵列第2部分：波前像差的测试
- [4] ISO/TR 14999-2:2019 Optics and photonics—Interferometric measurement of optical elements and optical systems—Part 2:Measurement and evaluation techniques

