



中华人民共和国国家标准

GB/T 34334—2017

光热玻璃反射镜面形测试方法

Test method of mirror shape for solar collector

2017-10-14 发布

2018-09-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布
中国国家标准化管理委员会

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国建筑材料联合会提出。

本标准由全国工业玻璃和特种玻璃标准化技术委员会(SAC/TC 447)归口。

本标准起草单位:北京奥博泰科技有限公司、中国建材检验认证集团股份有限公司、中海阳能源集团股份有限公司、中广核太阳能开发有限公司。

本标准主要起草人:卜聪、王精精、张喆民、李孟蕾、王珊珊、陆钧、张玉霞、苑静、王冬、邱娟、李博野、李洋、王立闯、杨帆、冯甜、付璐、朱小炜、张继、杨慧、齐彬。

光热玻璃反射镜面形测试方法

1 范围

本标准规定了基于条纹反射原理的光热反射镜面形测试方法的术语和定义、符号、测试原理、仪器、测试过程、参数计算和试验报告。

本标准适用于槽式、碟式、塔式用太阳能光热反射镜面形的测试。

2 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

2.1

面形高度偏差 height deviation

实际表面与理想表面在参考方向上的高度偏差。

2.2

斜率 slope

反射镜某点上切平面与参考平面的夹角正切值。

2.3

倾斜偏差 slope deviation

反射镜某点处实际表面法线和理想表面法线的夹角。

2.4

聚焦偏差 focus deviation

使用条件下,反射光线到反射镜理想焦点或焦线的距离。

2.5

聚焦偏差分布 focus deviation distribution

反射镜各点聚焦偏差在参考平面上的分布。

2.6

平行光截断因子 parallel ray intercept factor

沿理想入射方向均匀分布的平行光线,经反射镜反射至吸热装置上的光线数量与入射到反射镜上的光线数量之比。

2.7

太阳光截断因子 sun intercept factor

沿理想入射方向的太阳光经反射镜反射至吸热装置上的光线数量与入射到反射镜上的光线数量之比。

2.8

截断因子分布 intercept factor distribution

以吸热装置的口径为横坐标,对应口径的实际镜面平行光截断因子为纵坐标,形成不同口径条件下平行光截断因子分布曲线。

2.9

会聚质量因子 concentrating quality factor

以吸热装置某一使用口径作为平行光截断因子分布曲线的边界条件,实际镜面平行光截断因子分

布曲线下面积与理想镜面平行光截断因子分布曲线下面积之比。

3 符号

下列符号适用于本文件。

CQF :会聚质量因子

FD_x :使用坐标系(xyz)下,在 x 轴方向的聚焦偏差均方根

$fd_x(X,Y)$:测量坐标系(XYZ)下,在 X 轴方向聚焦偏差分布

FD_y :使用坐标系(xyz)下,在 y 轴方向的聚焦偏差均方根

$fd_y(X,Y)$:测量坐标系(XYZ)下,在 Y 轴方向聚焦偏差分布

HD :测量坐标系(XYZ)下,面形高度偏差均方根

$hd(X,Y)$:测量坐标系(XYZ)下,面形高度偏差分布

IC :平行光截断因子

IC_{sun} :太阳光截断因子

$RIC(\varphi)$:吸热装置平行光截断因子分布

SD_x :测量坐标系(XYZ)下,在 X 轴方向的倾斜偏差均方根

$sd_x(X,Y)$:测量坐标系(XYZ)下,在 X 轴方向的倾斜偏差分布

SD_y :测量坐标系(XYZ)下,在 Y 轴方向的倾斜偏差均方根

$sd_y(X,Y)$:测量坐标系(XYZ)下,在 Y 轴方向的倾斜偏差分布

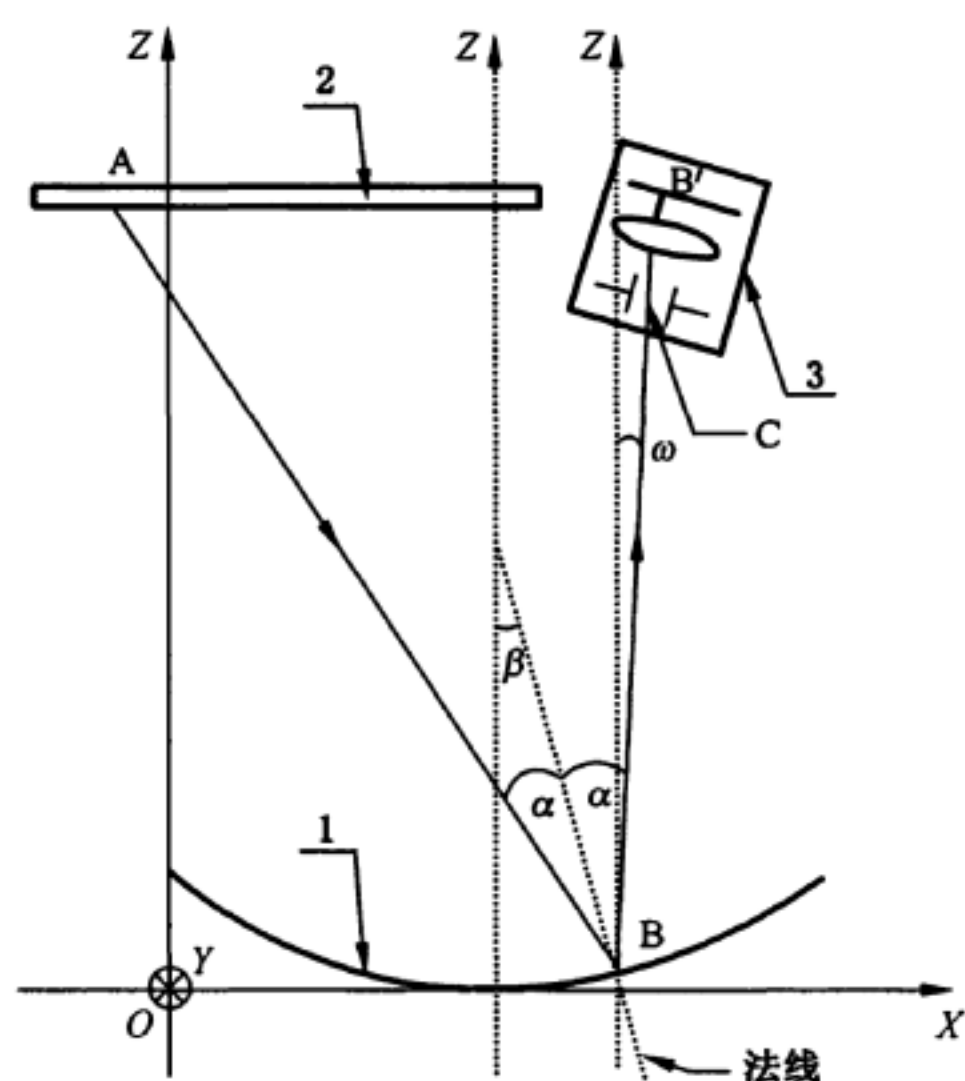
4 测试原理

采用条纹反射原理进行光热玻璃反射镜面形测试。依据图形发生器、被测试样、图像采集器对应点位置关系计算镜面各点斜率分布,进而求得倾斜偏差、聚焦偏差等面形参数,可由光线追迹法计算截断因子等集光参数。

5 仪器

5.1 组成

仪器由图形发生器、被测试样、图像采集器、样品台、计算机和测试软件等部分组成,测试原理示意图见图 1。



说明:

- 1 ——被测试样；
2 ——图形发生器；
3 ——图像采集器；
A ——图形发生器上某点；
B ——试样镜面测试点；
B' ——图像采集器像面上的一点，与镜面上的 B 点共轭；
C ——图像采集器光阑中心；
 α ——入射光线或反射光线相对于法线的夹角；
 β ——镜面测试点处法线方向与 Z 轴的夹角；
 ω ——反射光线与 Z 轴的夹角。

图 1 反射镜面形测试原理示意图

5.2 数据采集及处理过程

5.2.1 建立测试坐标

建立测试坐标系 XYZ , 以 XOY 面作为参考平面, Z 轴方向为参考方向, 图形发生器和图像采集器沿 X 轴方向离轴分置。对于槽式反射镜, X 轴垂直于母线方向, Y 轴为母线方向。图 1 中 A 点坐标为 (X_A, Y_A, Z_A) ; B 点坐标为 (X_B, Y_B, Z_B) ; C 点坐标为 (X_C, Y_C, Z_C) 。

5.2.2 确定测试点位置

镜面上的 B 点与图像采集器像面上的 B' 点为共轭点, 根据图像采集器像面与镜面的成像对应关系, 并结合镜面方程可确定 B 点坐标 (X_B, Y_B, Z_B) 。图形发生器可分别产生平行于 X、Y 方向的条纹, 平行于 X 方向的条纹沿 Y 方向进行扫描, 由 B' 探测的时序光强可确定 A 点的位置坐标 Y_A ; 平行于 Y 方向的条纹沿 X 方向进行扫描, 由 B' 探测的时序光强可确定 A 点的位置坐标 X_A , 由图形发生器的位置可确定 A 点的位置坐标 Z_A , 即得图形发生器上的 A 点坐标 (X_A, Y_A, Z_A) 。

5.2.3 获得测试点斜率及面形

由 B' 坐标可确定经 C 点(光阑中心)的光线与 Z 轴的夹角 ω , 由 $\angle ABC$ 可计算出光线相对于法线的夹角 α , 则镜面 B 点处法线方向与 Z 轴的夹角 $\beta = \alpha - \omega$ 。反射光线与 Z 轴为逆时针方向夹角时 ω 为正

值。在测试坐标系下,被测点的切平面与 XOY 面的夹角正切值,即为测试坐标系下的斜率。反射镜面上各点 B 的面形斜率 g 在 X 和 Y 方向的分量 g_x 、 g_y 分别由式(1)、式(2)计算:

$$g_x = \tan\beta_x \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$g_y = \tan\beta_y \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中:

β_x —— β 角在 XOZ 平面上的投影角;

β_y —— β 角在 YOZ 平面上的投影角。

被测面形 $Z(X,Y)$,可由式(3)计算:

$$Z(X,Y) = \int_c g(X,Y) dr + Z(X_0,Y_0) \quad \dots\dots\dots(3)$$

式中:

c ——从被测面上一定点 (X_0,Y_0) 到 (X,Y) 点的积分路径;

$Z(X_0,Y_0)$ ——被测面上一定点 (X_0,Y_0) 的 Z 坐标;

$dr = \sqrt{dX^2 + dY^2}$;

$g(X,Y)$ ——被测面上某一定点 (X,Y) 处的斜率,其模值计算见式(4):

$$|g(X,Y)| = \sqrt{g_x^2(X,Y) + g_y^2(X,Y)} \quad \dots\dots\dots(4)$$

5.2.4 获得面形参数

5.2.4.1 根据测试坐标系下所得反射镜面形,可计算出如下参数:面形高度偏差分布 $hd(X,Y)$ 、面形高度偏差均方根 HD 、在 X 轴方向倾斜偏差分布 $sd_x(X,Y)$ 、在 Y 轴方向倾斜偏差分布 $sd_y(X,Y)$ 、在 X 轴方向的倾斜偏差均方根 SD_x 、在 Y 轴方向的倾斜偏差均方根 SD_y 、在 X 轴方向聚焦偏差分布 $fd_x(X,Y)$ 、在 Y 轴方向聚焦偏差分布 $fd_y(X,Y)$ 。

5.2.4.2 将测试坐标系 XYZ 下的斜率分布 $g_x(X,Y)$ 、 $g_y(X,Y)$,根据使用要求转换至使用坐标系 xyz 下的斜率分布 $g_x(x,y)$ 、 $g_y(x,y)$ 。使用坐标系 xyz 中,以理想入射光方向为 z 轴,镜面母线方向为 y 轴,垂直 yoz 平面方向为 x 轴。用线性插值或面积投影加权等方法,在使用坐标系 xyz 平面上,根据参数计算要求,形成等间隔的斜率分布,结合太阳光发散角、集热装置口径,可计算出如下参数:在 x 轴方向的聚焦偏差均方根 FD_x 、在 y 轴方向的聚焦偏差均方根 FD_y 、平行光截断因子 IC 、太阳光截断因子 IC_{sun} 、吸热装置平行光截断因子分布 $RIC(\varphi)$ 、会聚质量因子 CQF 。

5.3 要求

5.3.1 样品台

样品台应满足被测样品的定位安装,样品定位精度应小于 1 mm。

5.3.2 图形发生器

图形发生器可以由可生成动态图案的显示器或投影方式实现,显示区域应满足被测试样的完整反射面测试。

5.3.3 图像采集器

图像采集器应采用线性响应图像传感器,可以由多图像传感器拼接采集,实现大尺寸反射镜测试,图像采集器采样点数、镜头焦距应满足样品尺寸和测试点数要求。

5.3.4 计算机及数据处理

计算机满足图像采集和数据处理要求。

数据处理用软件应具备面形解算功能,输出面形参数(HD 、 SD_x 、 SD_y 、 FD_x 、 FD_y 、 IC 、 IC_{sun} 、 CQF),面形参数二维分布图 $[hd(X,Y)$ 、 $sd_x(X,Y)$ 、 $sd_y(X,Y)$ 、 $fd_x(X,Y)$ 、 $fd_y(X,Y)$ 、 $RIC(\varphi)]$ 等结果。

5.3.5 校准反射镜

校准反射镜由已知面形的整体反射镜或平面拼接反射镜构成,其面形、角度关系稳定,斜率不确定度不大于 0.05 mrad。应有重复定位装置,斜率重复定位误差不大于 0.05 mrad。

5.3.6 测量分辨率

在被测试样表面的测量空间分辨率不小于 300 点/m。

5.3.7 测量不确定度

倾斜偏差的测量不确定度应不大于 0.5 mrad。

倾斜偏差均方根扩展不确定度($k=2$)不大于 0.2 mrad。

5.4 仪器调试

仪器调试应包含以下步骤:

- a) 对图形发生器和图像采集器位置进行测量;
- b) 对图形发生器的畸变进行校正;
- c) 对图像采集器使用条件下的畸变进行校正;
- d) 对样品支架坐标位置进行测量;
- e) 根据校正结果,调整系统初始参数和初始条件;
- f) 采用校准反射镜对测试系统进行核验。

6 测试过程

6.1 仪器核验

根据仪器稳定情况,定期使用已知参数的校准反射镜对仪器进行核验,验证仪器是否满足使用要求。

6.2 测试准备

测试前应进行如下准备:

- a) 试样准备:清洁试样测试表面,被测表面应无灰尘、污渍。
- b) 试样安装:将试样按测试的定位要求放置于样品台上,必要时按实际使用条件进行固定。

6.3 测试步骤

应按照如下步骤进行测试:

- a) 图像发生器产生 X 方向特定条纹,并沿 Y 方向移向,采集记录相应的序列反射条纹图像;
- b) 图像发生器产生 Y 方向特定条纹,并沿 X 方向移向,采集记录相应的序列反射条纹图像;
- c) 对图像进行数据处理,分别解算出各点 X 方向斜率分量 g_x 、 Y 方向的斜率分量 g_y ;
- d) 按照第 7 章要求进一步计算得到各面形参数。

7 参数计算

7.1 面形高度偏差计算

在测试坐标系下,以 Z 轴方向为参考方向。被测试样表面某一测试点 H 与其在理想表面 Z 轴方向上的投影点 H_0 在 Z 轴方向的高度差,即为被测试样表面某一测试点处的面形高度偏差 hd_i ,计算见式(5):

$$hd_i = Z - Z_0 \quad \dots\dots\dots(5)$$

式中:

hd_i ——被测试样表面某一测试点处的面形高度偏差;

Z ——被测试样表面测试点 H 在 Z 轴方向的坐标;

Z_0 ——理想试样表面 H_0 点在 Z 轴方向的坐标。

被测试样表面的面形高度偏差均方根 HD 计算见式(6):

$$HD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n hd_i^2}{n}} \quad \dots\dots\dots(6)$$

式中:

HD ——被测试样表面的面形误差均方根;

hd_i ——被测试样表面某一测试点处的面形高度偏差;

n ——测试点总数。

面形的高度偏差分布 $hd(X, Y)$ 为试样表面各测试点的高度偏差 hd_i 在 XOY 坐标平面上的分布,以二维误差图的形式表示。

7.2 倾斜偏差计算

7.2.1 X 轴方向的倾斜偏差均方根 SD_x

在测试坐标系下,被测试样表面测试点在 X 轴方向的倾斜偏差 sd_x ,等于在 XOZ 投影面上测试点实际法线方向与理想法线方向的夹角,计算见式(7):

$$sd_x = \beta'_x - \beta_x \quad \dots\dots\dots(7)$$

式中:

sd_x ——被测试样表面测试点在 X 轴方向的倾斜偏差,单位为毫弧度(mrad);

β'_x ——测试点实测法线在 XOZ 面的投影方向与 Z 轴的夹角,单位为毫弧度(mrad);

β_x ——测试点理想法线在 XOZ 面的投影方向与 Z 轴的夹角,单位为毫弧度(mrad)。

被测试样在 X 轴方向的倾斜偏差均方根 SD_x 计算见式(8):

$$SD_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n sd_{xi}^2}{n}} \quad \dots\dots\dots(8)$$

式中:

SD_x ——被测试样在 X 轴方向的倾斜偏差均方根,单位为毫弧度(mrad);

sd_{xi} ——被测试样表面某一测试点在 X 轴方向的倾斜偏差,单位为毫弧度(mrad);

n ——测试点总数。

X 轴方向倾斜偏差分布 $sd_x(X, Y)$ 为试样表面各测试点的倾斜偏差 sd_{xi} 在 XOY 坐标平面上的分

布,以二维误差图的形式表示。

7.2.2 Y轴方向的倾斜偏差均方根 SD_Y

在测试坐标系下,被测试样表面测试点在Y轴方向的倾斜偏差 sd_Y ,等于在YOZ投影面上测试点实际法线方向与理想法线方向的夹角,计算见式(9):

$$sd_Y = \beta'_Y - \beta_Y \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中:

sd_Y ——被测试样表面测试点在Y轴方向的倾斜偏差,单位为毫弧度(mrad);

β'_Y ——测试点实测法线在YOZ面的投影方向与Z轴的夹角,单位为毫弧度(mrad);

β_Y ——测试点理想法线在YOZ面的投影方向与Z轴的夹角,单位为毫弧度(mrad)。

被测试样在Y轴方向的倾斜偏差均方根 SD_Y 计算见式(10):

$$SD_Y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n sd_{Yi}^2}{n}} \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中:

SD_Y ——被测试样在Y轴方向的倾斜偏差均方根,单位为毫弧度(mrad);

sd_{Yi} ——被测试样表面某一测试点在Y轴方向的倾斜偏差,单位为毫弧度(mrad);

n ——测试点总数。

Y轴方向倾斜偏差分布 $sd_Y(X, Y)$ 为试样表面各测试点的倾斜偏差 sd_{Yi} 在 XOY 坐标平面上的分布,以二维误差图的形式表示。

7.3 聚焦偏差计算

7.3.1 聚焦偏差示意图

在使用条件下,在反射镜面表面某一定点处的实际反射光线到反射镜理想焦点或焦线的距离为聚焦偏差。X方向的聚焦偏差示意图见图2,其中 fd_x 即为聚焦偏差。

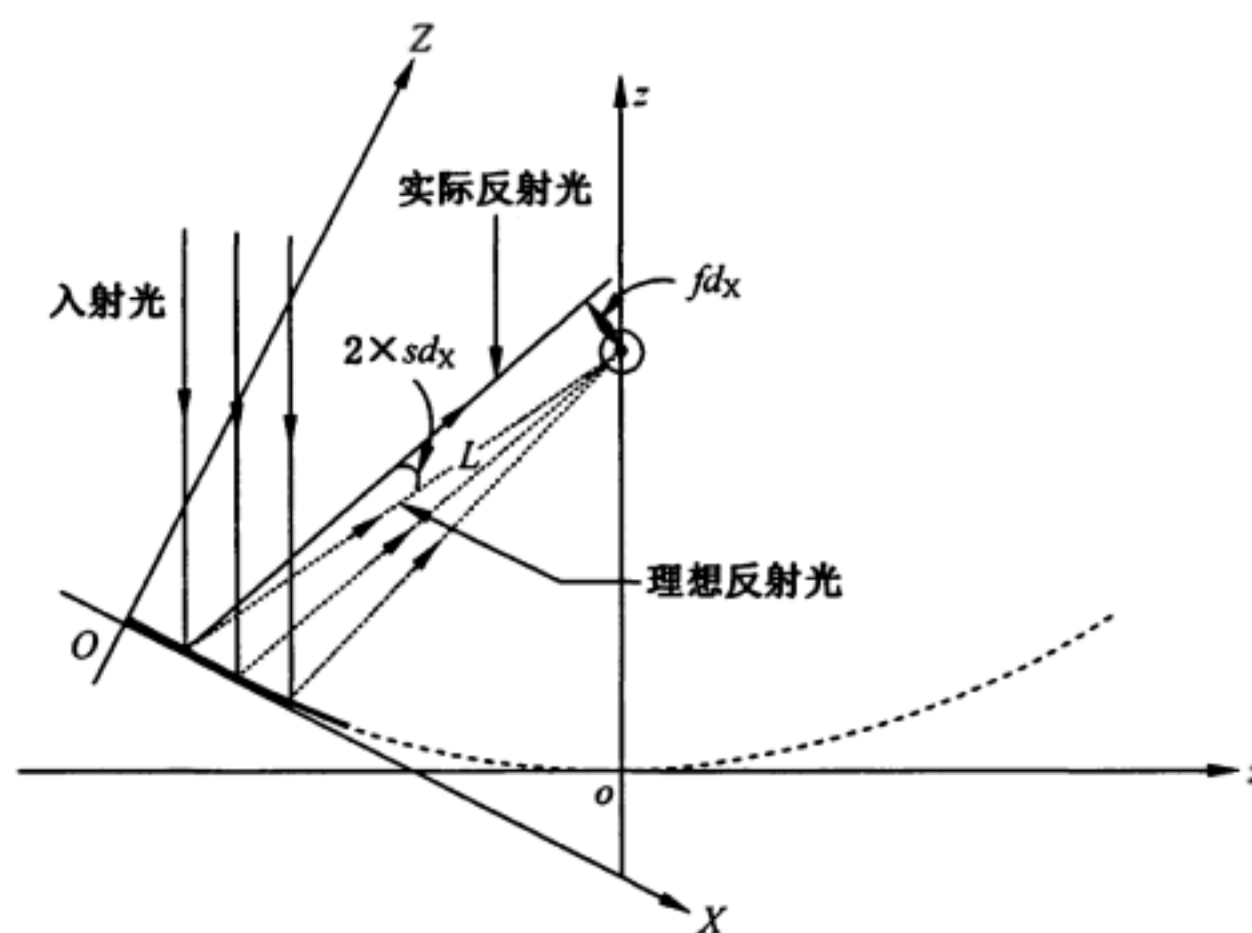


图2 聚焦偏差示意图

7.3.2 x轴方向的聚焦偏差均方根 FD_x

X方向聚焦偏差 fd_x 计算见式(11):

$$fd_x = 2 \times sd_x \times L \quad \dots\dots\dots(11)$$

式中:

fd_x ——被测试样表面测试点沿 X 方向的聚焦偏差,单位为毫米(mm);

sd_x ——被测试样表面测试点在 X 轴方向的倾斜偏差,单位为毫弧度(mrad);

L ——被测试样表面测试点到理想焦点或焦线的距离,单位为毫米(mm)。

将测量坐标系转换为使用坐标系,可采用插值等方式实现光线均匀采样,得到使用坐标系下的聚焦偏差 fd_x 。在 x 轴方向的聚焦偏差均方根 FD_x 计算见式(12):

$$FD_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m fd_{xi}^2}{m}} \quad \dots\dots\dots(12)$$

式中:

FD_x ——被测试样在 x 轴方向的聚焦偏差均方根,单位为毫米(mm);

fd_{xi} ——被测试样表面某一测试点沿 X 方向的聚焦偏差,单位为毫弧度(mrad);

m ——数据点总数。

以 XOY 平面为参考平面, X 轴方向聚焦偏差分布 $fd_x(X,Y)$ 为试样表面各测试点的聚焦偏差 fd_{xi} 在 XOY 坐标平面上的分布,以二维误差图的形式表示。

7.3.3 y 轴方向的聚焦偏差均方根 FD_y

Y 方向聚焦偏差 fd_y 计算见式(13):

$$fd_y = 2 \times sd_y \times L \quad \dots\dots\dots(13)$$

式中:

fd_y ——被测试样表面测试点沿 Y 方向的聚焦偏差,单位为毫米(mm);

sd_y ——被测试样表面测试点在 Y 轴方向的倾斜偏差,单位为毫弧度(mrad);

L ——被测试样表面测试点到理想焦点或焦线的距离,单位为毫米(mm)。

将测量坐标系转换为使用坐标系,可采用插值等方式实现光线均匀采样,得到使用坐标系下的聚焦偏差 fd_y 。在 y 轴方向的聚焦偏差均方根 FD_y 计算见式(14):

$$FD_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m fd_{yi}^2}{m}} \quad \dots\dots\dots(14)$$

式中:

FD_y ——被测试样在 y 轴方向的聚焦偏差均方根;

fd_{yi} ——被测试样表面某一测试点沿 Y 方向的聚焦偏差;

m ——数据点总数。

以 XOY 平面为参考平面, Y 轴方向聚焦偏差分布 $fd_y(X,Y)$ 为试样表面各测试点的聚焦偏差 fd_{yi} 在 XOY 坐标平面上的分布,以二维误差图的形式表示。

7.4 截断因子计算

7.4.1 计算原则

截断因子可采用光线追迹模拟计算的方法,得到入射光线数量和经反射镜反射至吸热装置上的光线数量,从而计算得到截断因子。

7.4.2 平行光截断因子 IC

在已知吸热装置口径条件下,平行光截断因子 IC 按式(15)计算:

$$IC = \frac{I}{I_0} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (15)$$

式中:

IC ——平行光截断因子;

I_0 ——入射到反射镜上的平行光线数量;

I ——经反射镜反射至吸热装置上的平行光线数量。

7.4.3 太阳光截断因子 IC_{sun}

在已知吸热装置口径条件下,太阳光截断因子 IC_{sun} 按式(16)计算:

$$IC_{\text{sun}} = \frac{I'}{I'_0} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (16)$$

式中:

IC_{sun} ——太阳光截断因子;

I'_0 ——入射到反射镜上的太阳光线数量,太阳光发散角取值为 $\pm 4.65 \text{ mrad}$;

I' ——经反射镜反射至吸热装置上的太阳光线数量。

7.4.4 吸热装置平行光截断因子分布 $RIC(\varphi)$

以吸热装置口径 φ 为横坐标,对应口径的平行光截断因子 $RIC(\varphi)$ 为纵坐标,绘制吸热装置平行光截断因子分布图,示意图如图 3 所示。

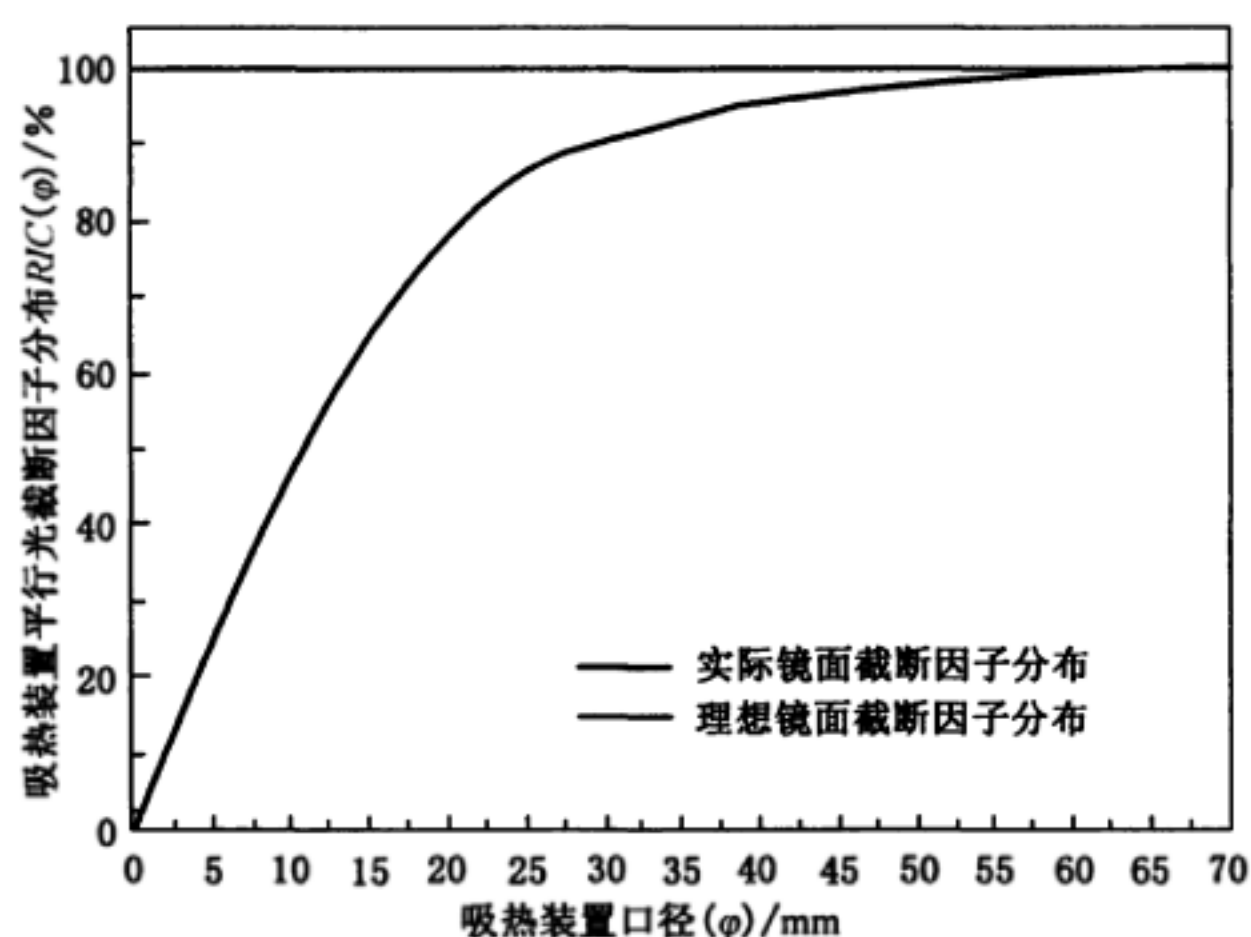


图 3 吸热装置平行光截断因子分布图

7.5 会聚质量因子 CQF

以吸热装置某一使用口径 φ_0 作为截断因子分布曲线的边界条件,实际镜面截断因子分布曲线下面积与理想镜面截断因子分布曲线下面积之比为会聚质量因子,以 CQF 表示,计算见式(17):

$$CQF = \frac{\int_0^{\varphi_0} RIC(\varphi) d\varphi}{\int_0^{\varphi_0} RIC_{\text{ideal}}(\varphi) d\varphi} = \frac{\int_0^{\varphi_0} RIC(\varphi) d\varphi}{\varphi_0} \quad \dots\dots\dots (17)$$

式中:

CQF ——实际镜面的会聚质量因子;

$RIC(\varphi)$ ——实际镜面的吸热装置平行光截断因子分布;

$RIC_{ideal}(\varphi)$ ——理想镜面的吸热装置平行光截断因子分布,一般取值为 1;
 φ_0 ——吸热装置的某一使用口径,单位为毫米(mm)。

8 试验报告

试验报告宜包括下列内容:

- a) 采用标准(本标准编号);
 - b) 试样来源;
 - c) 试样名称;
 - d) 试样规格;
 - e) 测试仪器名称及型号;
 - f) 测试结果;
 - g) 测试人员;
 - h) 测试日期。
-

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
光热玻璃反射镜面形测试方法
GB/T 34334—2017

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址 www.spc.net.cn

总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 1 字数 22 千字
2017 年 10 月第一版 2017 年 10 月第一次印刷

*

书号: 155066 • 1-57942 定价 18.00 元



GB/T 34334—2017