

# 中华人民共和国国家标准

GB 4315.1—84

---

## 光 学 传 递 函 数 术 语、符 号

Optical transfer function  
—Terminology, symbol

1984-04-12发布

1985-02-01实施

---

国 家 标 准 局 批 准

# 光学传递函数 术语、符号

Optical transfer function  
—Terminology, symbol

UDC 535.3  
:001.4  
+003.6  
GB 4315.1—84

## 1 引言

1.1 本标准从成象系统的光学传递函数与点扩散函数之间的关系出发,规定了与光学传递函数有关的术语以及它们之间的数学关系,也规定了在光学传递函数测量中需说明的各个重要参数,并列出了主要参数的符号和单位。

1.2 为了避免放大倍率不同所引起的问题,本标准中把所有的物和象都归结到同一参考平面。

1.3 本标准是光学传递函数标准的第一部分,光学传递函数标准的其他部分还应有光学传递函数的测量和表示方法及光学传递函数在各个专门系统中的应用。

1.4 本标准主要是参照ISO/DP 8436《光学传递函数》第一部分术语、符号标准制订的。还参照了ISO/DP 7979《光学传递函数》和ISO/DP 7184《摄影—光学传递函数—用语》。

## 2 基本术语的定义和关系

### 2.1 线性

Linearity

只有当一个成象系统对任意两个物方图样迭加所产生的象的强度分布,等于各个象的强度分布之和时,这个系统才是线性的。

### 2.2 线性范围

Linear range

只有当一个成象系统对输入信号强度的响应在测量准确度之内是线性时,这个成象系统才是在线性范围内工作的。这一范围限定了输入信号总和的最小和最大强度。

### 2.3 非相干照明

Incoherent illumination

非相干照明是一种从被照明物体上任意两点发出的反射或透射光可进行强度相加的照明。

### 2.4 成象状态

The imaging state

一个系统的成象状态是所有影响点扩散函数(见2.5)的参数的集合。这些参数诸如成象光谱、孔径、视场、倍率、离焦、方位、参考角等。

### 2.5 点扩散函数

Point spread function (PSF)

一个在线性范围内并在规定成象状态下工作的成象系统的点扩散函数PSF( $u, v$ ),是点源象F( $u, v$ )的归化辐照度分布。

$$\text{PSF}(u, v) = \frac{F(u, v)}{\int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} F(u, v) du dv} \dots\dots\dots (1)$$

这里  $(u, v)$  是参考平面上各点的笛卡儿坐标。

## 2.6 等晕区

### Isoplanatic region

在测量准确度之内, 点扩散函数可以认为是恒定的区域, 即为一个成象系统的等晕区。

如果成象器件是抽样或扫描器件, 则等晕区为在规定的允差范围内, 点扩散函数的傅里叶变换可以认为是恒定的区域。

## 2.7 等晕系统

### Isoplanatic system

如果一个成象系统的点扩散函数与相应的点源在物平面上的位置无关, 则这个系统为等晕系统。

## 2.8 空间频率

### Spatial frequency

空间频率  $(r, s)$  是与实空间位置变量  $(u, v)$  相对应的傅里叶空间中的变量。它可以用直线或角度坐标上的正弦空间分布周期的倒数来表示。空间频率的单位名称定为1/毫米, 1/毫弧度, 1/度。

## 2.9 光学传递函数

### Optical transfer function (OTF)

当光学成象系统在线性范围内工作时, 在它的等晕区内, 光学传递函数  $\text{OTF}(r, s)$  是相应的点扩散函数  $\text{PSF}(u, v)$  的傅里叶变换。

$$\text{OTF}(r, s) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \text{PSF}(u, v) \exp[-i2\pi(ur + vs)] du dv \dots\dots\dots (2)$$

光学传递函数是一个复函数, 它与调制传递函数 (见2.10) 和相位传递函数 (见2.11) 的关系为

$$\text{OTF}(r, s) = \text{MTF}(r, s) \exp[-i\text{PTF}(r, s)] \dots\dots\dots (3)$$

在零空间频率时, 它的值等于1。

## 2.10 调制传递函数

### Modulation transfer function (MTF)

调制传递函数  $\text{MTF}(r, s)$  是光学传递函数  $\text{OTF}(r, s)$  的模量。

## 2.11 相位传递函数

### Phase transfer function (PTF)

相位传递函数  $\text{PTF}(r, s)$  是光学传递函数  $\text{OTF}(r, s)$  的幅角, 相位传递函数在零空间频率时等于零。相位传递函数的值与点扩散函数的参考坐标系原点位置有关, 原点位置的位移会使相位传递函数产生一个对空间频率成线性的附加项。

## 2.12 线扩散函数

### Line spread function (LSF)

一个在线性范围内、并在指定成象状态下工作的成象系统, 在它的等晕区内, 线扩散函数  $\text{LSF}(u)$  是非相干线源象的归化辐照度分布。它与点扩散函数  $\text{PSF}(u, v)$  的关系为

$$\text{LSF}(u) = \int_{-\infty}^{+\infty} \text{PSF}(u, v) dv \dots\dots\dots (4)$$

## 2.13 刃边扩散函数

### Edge spread function (ESF)

一个在线性范围内、并在指定成象状态下工作的成象系统, 在它的等晕区内, 刃边扩散函数  $\text{ESF}(u)$

是一个刃边象的辐照度分布。它与线扩散函数LSF( $u$ )的关系为

$$\text{ESF}(u) = \int_{-\infty}^u \text{LSF}(u') du' \dots\dots\dots (5)$$

#### 2.14 一维传递函数

##### One-dimensional transfer function

一维传递函数是传递函数的一维表达形式。一维光学传递函数与单一的空间频率变量 $r$ 和一个方位变量 $\psi$ 有关

$$\text{OTF}(r) = \text{OTF}(r; \psi) \dots\dots\dots (6)$$

这里 $\psi$ 是成象状态的一部分。

一维光学传递函数OTF( $r$ )是线扩散函数LSF( $u$ )的傅里叶变换。

#### 2.15 光栅

##### Grating

透射比或反射比按周期变化的线状图样。

#### 2.16 正弦光栅

##### Sinusoidal grating

仅在一个方向上透射比或反射比呈正弦变化,而在其垂直方向上保持不变的光栅。

#### 2.17 调制度

##### Modulation (M)

一个周期性辐射量( $I$ )的调制度定义为

$$M = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \dots\dots\dots (7)$$

这里, $I_{\max}$ 和 $I_{\min}$ 分别是发射或照射的辐射量的极大值和极小值。

#### 2.18 调制传递系数

##### Modulation transfer factor

某一空间频率的调制传递系数,就是该空间频率时的调制传递函数值。当物是某一空间频率 $r$ 的正弦光栅时,并在线性范围和限定的等晕区内,调制传递系数 $M(r)$ 即为象的调制度与物的调制度之比。

#### 2.19 相位传递值

##### Phase transfer value

某一空间频率的相位传递值,就是该空间频率时的相位传递函数值。

在线性范围和等晕区内,当一个正弦图样的象相对于几何光学(高斯光学)象的位置产生横向位移时,这一位移与物的空间周期之比再乘以 $2\pi$ 弧度,就是相位传递值。

#### 2.20 波象差函数

##### Wavefront aberration function

波象差函数 $W(x, y)$ 表示了从一个物点出发,经过光学系统以后到达出瞳面上的波阵面,与一个以象点为中心的球面(称为参考球面)之间的光程差。

#### 2.21 光瞳函数

##### Pupil function

光瞳函数 $P(x, y)$ 表示了一个光学系统出瞳面上波阵面的复振幅分布,它只对所讨论的象点有效,光瞳函数可表示为

$$P(x, y) = \begin{cases} A(x, y) \exp \left[ i \frac{2\pi}{\lambda} W(x, y) \right] & \text{出瞳内} \\ 0 & \text{出瞳外} \end{cases} \quad \dots\dots\dots (8)$$

这里 $(x, y)$ 是参考球面上各点的笛卡儿坐标, $\lambda$ 是物点发出的辐射的波长, $A(x, y)$ 是振幅, $W(x, y)$ 是该点的波象差函数。

光瞳函数的相位由波象差函数来决定。

## 2.22 振幅扩散函数

Amplitude spread function (ASF)

振幅扩散函数ASF( $u, v$ )是点象复振幅的相对分布。采用一个适当的归化常数后,它非常近似于光瞳函数 $P(x, y)$ 的傅里叶变换。

$$\text{ASF}(u, v) = C \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} P(x, y) \exp \left[ -i \frac{2\pi}{\lambda R} (ux + vy) \right] dx dy \quad \dots\dots\dots (9)$$

这里 $(u, v)$ 是以物点的几何光学象点为原点的笛卡儿坐标,而 $u, v$ 轴分别取为与 $x, y$ 轴平行。 $C$ 是归化常数。

## 2.23 自相关积分

Autocorrelation integral

除了成像系统具有特别大的孔径比或视场角的情况之外,二维光学传递函数可表示为光瞳函数 $P(x, y)$ 的自相关积分。

$$\text{OTF}(\bar{r}, \bar{s}) = \frac{1}{S} \iint_G P^*(x - \bar{r}, y - \bar{s}) P(x, y) dx dy \quad \dots\dots\dots (10)$$

这里 $S$ 是出瞳面积; $\bar{r}$ 和 $\bar{s}$ 是简约空间频率,并分别为 $\bar{r} = \lambda R r$ 和 $\bar{s} = \lambda R s$ ;  $\lambda$ 及 $R$ 分别表示波长及参考球面半径; $G$ 表示光瞳重叠的公共区域; $P^*(x, y)$ 为 $P(x, y)$ 的共轭复数。

自相关积分又称杜费(Duffieux)积分。

## 2.24 复色光学传递函数

Polychromatic optical transfer function

复色光学传递函数 $\text{OTF}_p(r, s)$ 是各单色光学传递函数的加权平均

$$\text{OTF}_p(r, s) = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} F(\lambda) \text{OTF}(r, s; \lambda) d\lambda}{\int_{-\infty}^{+\infty} F(\lambda) d\lambda} \quad \dots\dots\dots (11)$$

在这种情况下,所有单色象的辐射分布都必须相对于同一坐标系。权函数 $F(\lambda)$ 由实际系统的光谱特性,即辐射的光谱分布、光学系统的光谱透射比或反射比、光敏材料或探测器的光谱灵敏度等因素综合确定。

## 2.25 组合成像系统光学传递函数

Optical transfer function of composite imaging system

当组合成像系统由几个非相干耦合的分系统所构成时,它的光学传递函数就等于各个分系统的光学传递函数的乘积。对于各分系统是相干耦合的系统(例如由物镜和目镜组成的望远镜系统),就不能采用“乘积法则”,而只有考虑整个系统才能确定它的光学传递函数。

# 3 测量中的术语

## 3.1 物方图样与象方图样

Object pattern; Image pattern

物方图样是能被测试系统成像的辐射量的空间分布;象方图样是与物方图样相应的、能在成像系统的输出端探测到的辐射量的空间分布。

### 3.2 物场与象场

Object field; Image field

物场确定了物方图样的允许范围, 象场确定了象方图样的范围。物场中心与象场中心应相互对应。

### 3.3 分析区域

Analyzed area

分析区域是测定象场中某一位置的光学传递函数时所分析的那个区域。

### 3.4 参考轴

Reference axis

参考轴是以能够唯一标定的一个适当的特性来定义的一条直线。它通常是一个组件的旋转对称轴, 或是测试系统中某一实际部位 (例如镜筒、安装法兰等) 的对称轴。对于具体系统, 参考轴通常就是光轴或与光轴相等效的机械轴。

参考轴的方向规定为从物场中心到象场中心的辐射传播方向为正。

### 3.5 孔径光阑, 入瞳与出瞳

Aperture stop, Entrance pupil, Exit pupil

孔径光阑是一个或一组实在的零件, 它从几何光学角度限制了从物场中心通过系统到达象场中心区域的辐射总量。

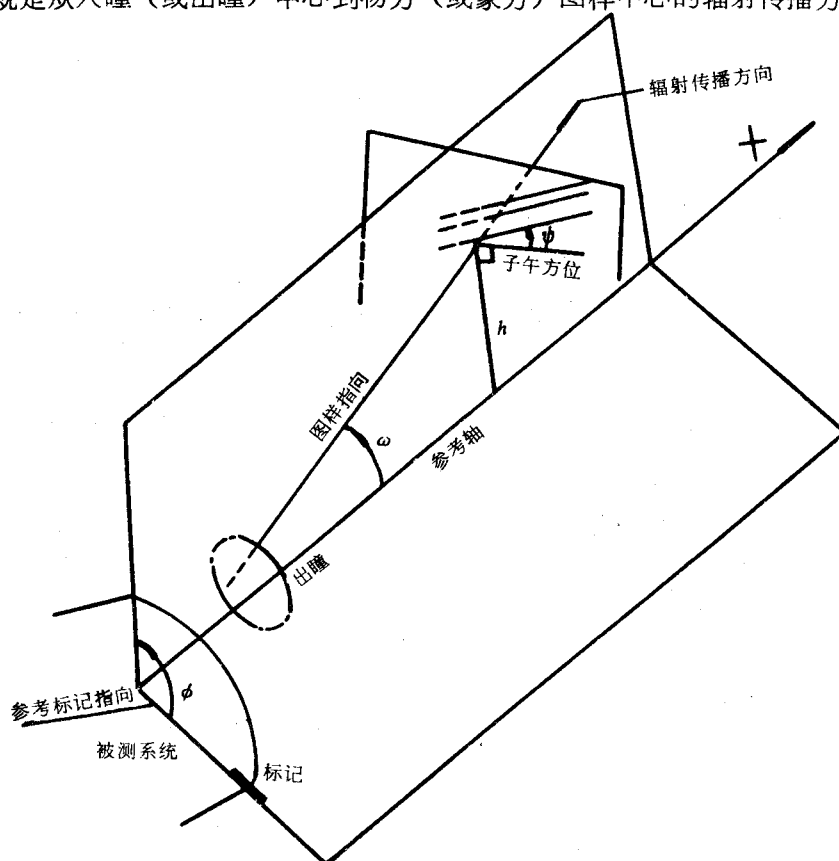
对于一个不可分的系统, 入瞳是孔径光阑在系统物方所成的象; 出瞳是孔径光阑在系统象方所成的象。

当系统由几个非相干耦合的分系统所构成时, 应注意到有两个实际起作用的光瞳。一个仅对从物方图样射来的辐射有影响, 通常定为人瞳; 另一个仅对射向象方图样的辐射有影响, 通常定为出瞳。

### 3.6 图样指向

Pattern vector

图样指向就是从入瞳 (或出瞳) 中心到物方 (或象方) 图样中心的辐射传播方向 (见图)。



**3.7 参考标记指向**

Reference mark vector

参考标记指向是垂直于参考轴并指向被测试系统上的一个参考标记的方向（见图）。

**3.8 参考角 ( $\phi$ )**

Reference angle

参考角是由参考标记指向和参考轴所组成的平面与由图样指向和参考轴所组成的平面之间的夹角。

**3.9 视场角 ( $\omega$ )**

Field angle

视场角是图样指向和参考轴之间夹角的绝对值。

**3.10 物高与象高 ( $h$ )**

Object height; Image height

物高是物方图样中心与参考轴之间的距离；象高是象方图样中心与参考轴之间的距离。物高和象高又称径向距离。

**3.11 参考面，参考平面**

Reference surface, Reference plane

参考面是一个正交于参考轴的面，它通常是一个平面。在测量中所有的位置参数和空间频率都以参考面作为依据。参考面可根据某一实际要求来确定，也可定在被测系统的某一指定位置上。当参考面是一个平面时，就成为参考平面。

**3.12 方位**

Azimuth

在光学传递函数测量中，测试图样可以选定在某一指定的方位。当狭缝、刃边物或光栅线条的延长线穿过参考轴时，规定为弧矢方位。狭缝、刃边物或光栅线条的方向与上述规定成直角时，定为子午方位。其它方位由从子午方位到狭缝、刃边物或光栅线条之间的夹角  $\psi$  来给定。当测试图样在轴上，狭缝刃边物或光栅线条的方向朝向参考标记时定为子午方位，这时透镜应安装到使参考标记处在最上面的位置。

**3.13 调焦**

Focusing

调焦是指把焦面调节到某一最佳位置，而使该焦面上的光学传递函数达到规定的指标。

**3.14 数据基准面，数据基准平面**

Datum surface, Datum plane

数据基准面是用来比较和引证光学传递函数测量结果的一个象面，这个面由指定的焦面位置来表示。除了特别指明外，基准面通常是一个垂直于参考轴的平面，并称为数据基准平面。

**3.15 区域比例系数**

Local scaling factor

区域比例系数是一个用来归算空间频率的系数。它与给定平面上的空间频率相乘，就得到了参考面上，包括被测系统和辅助成象系统的放大和畸变影响在内的、分析区域中的空间频率。

**3.16 成象比尺**

Image scale

当参考平面取在物平面上时，成象比尺就等于轴上的区域比例系数。成象比尺也可以用傍轴极限时象高与物高之比的绝对值来表示。在无限远物与有限距象共轭的情况中，成象比尺为零。当物和象都是无限远共轭时，成象比尺就是系统的角放大率。

## 4 符号和单位名称

| 参 数      | 符 号         | 单 位 名 称          |
|----------|-------------|------------------|
| 参考平面坐标   | $u, v$      | 毫米               |
| 视场角      | $\omega$    | 毫弧度, 度 (用于无限远)   |
| 物高、象高    | $h$         | 度, 毫弧度           |
| 参考角      | $\phi$      | 毫米               |
| 方位       | $\psi$      | 度                |
| 空间频率坐标   | $r, s$      | 度                |
| 光瞳坐标     | $x, y$      | 1/毫米, 1/毫弧度, 1/度 |
| 点扩散函数    | $PSF(u, v)$ | 毫米               |
| 线扩散函数    | $LSF(u)$    | 1/平方毫米, 1/平方毫弧度  |
| 刃边扩散函数   | $ESF(u)$    | 1/毫米, 1/毫弧度      |
| 光学传递函数   | $OTF(r, s)$ | 无量纲              |
| 一维光学传递函数 | $OTF(r)$    | 无量纲              |
| 调制传递函数   | $MTF(r, s)$ | 无量纲              |
| 一维调制传递函数 | $MTF(r)$    | 无量纲              |
| 相位传递函数   | $PTF(r, s)$ | 弧度, 度            |
| 一维相位传递函数 | $PTF(r)$    | 弧度, 度            |
| 调制度      | $M$         | 无量纲              |
| 光瞳函数     | $P(x, y)$   | 无量纲              |
| 波象差函数    | $W(x, y)$   | 毫米, 毫微米          |
| 出瞳振幅     | $A(x, y)$   | 无量纲              |
| 波长       | $\lambda$   | 毫米, 毫微米          |
| 分析区域     |             | 平方毫米             |
| 参考球面半径   | $R$         | 毫米               |

## 附加说明:

本标准由中华人民共和国机械工业部提出, 由上海光学仪器研究所归口。

本标准由上海光学仪器研究所负责起草。

本标准主要起草人钱振邦、刘叶木、沙定国、李正民。

本标准委托上海光学仪器研究所负责解释。

中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准  
光 学 传 递 函 数  
术 语、符 号  
GB 4315.1—84

\*

中国标准出版社出版  
(北京复外三里河)  
中国标准出版社印刷车间印刷  
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

\*

开本 880×1230 1/16 印张 3/4 字数 13,000  
1984年10月第一版 1984年10月第一次印刷  
印数 1—6,000

\*

书号: 15169·1—2616 定价 0.30 元