



中华人民共和国国家标准

GB/T 4315.1—XXXX/ISO 9334: 2012

代替 GB/T 4315.1—2009

光学传递函数 第1部分：术语、符号

Optical transfer function—Part 1:Terminology and symbol

(ISO 9334: 2012, Optics and photonics—Optical transfer function—Definitions and mathematical relationships, IDT)

(征求意见稿)

在提交反馈意见时, 请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

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。

本文件代替GB/T 4315.1—2009《光学传递函数 第1部分：术语、符号》。与GB/T 4315.1—2009相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

——更改了范围（见第1章，见2009年版的第1章）；
——更改了规范性引用文件（见第2章，见2009年版的第2章）；
——增加了表1（见表1）；
——更改了术语名称及定义，并增加了许用术语（见3.1～3.15、3.17～3.21、3.24、3.25、4.6、4.12～4.18、4.23、4.24，见2009年版的3.1～3.15、3.17～3.21、3.24、3.25、4.6、4.12～4.18、4.23、4.24）；
——更改了注的内容（见3.4，见2009年版的3.4）；
——更改了公式（见3.8，见2009年版的3.8）；
——更改了图1的标引序号和符号说明（见图1，见2009年版的图1）；
——更改了公式（见3.21，见2009年版的3.21）

——更改了图2的标引序号和符号说明（见图2，见2009年版的图2）；
——更改了图3的标引序号和说明（见图3，见2009年版的图3）；
——更改了标题（见第4章，见2009年版的第4章）；
——删除了第5章；
——更改了参考文献；
——增加了中英文索引。

本文件等同采用ISO 9334:2012《光学和光子学 光学传递函数的定义和数学关系》。

本文件做了下列编辑性改动：

——更改了标准名称，以符合我国标准用语习惯；
——增加了中文索引（按汉语拼音次序）。

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。

本文件由中国机械工业联合会提出。

本文件由全国光学和光子学标准化技术委员会（SAC/TC103）归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

——1984年首次发布为GB/T 4315.1-1984，2009年第一次修订；
——本次为第二次修订。

光学传递函数 第1部分：术语、符号

1 范围

本文件定义了与光学传递函数相关的术语，并在相关情况下指明了这些术语之间的数学关系。它还定义了与光学传递函数测量相关的应规定的重要参数。

表1列出了本文件中的主要参数的符号和单位，以及ISO 9335和ISO 9336中使用的符号和单位。

本文件中定义的术语和参数适用于所有光学、电光和其他成像系统的光学传递函数测量。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

ISO 9335:2012 光学和光子学光学传递函数测量原理和程序 (Optics and photonics — Optical transfer function — Principles and procedures of measurement)

注：GB/T 4315.2-XXXX光学传递函数 第2部分：测量导则（ISO 9335:2012, IDT）。

表1

参数	数学符号	绘图符号	单位名称	相应条款、章节
参考平面坐标	u, v	u, v	毫米, 毫弧度 ^{a)} , 度 ^{a)}	—
空间频率坐标	r, s	r, s	1/毫米, 1/毫弧度, 1/度	3.12
光瞳坐标	x, y	x, y	毫米, 毫弧度 ^{a)} , 度 ^{a)}	—
物方视场角	ω	ω	度, 毫弧度	4.13
像方视场角	ω'	ω'	度, 毫弧度	4.14
物高	h	h	毫米	4.15
像高	h'	h'	毫米	4.16
参考角	Φ	Φ	度	4.12
方位	Ψ	Ψ	度	—
像点光辐射分布	$F(u,v)$	$F(u,v)$	1/平方毫米, 1/平方毫弧度	—
点扩散函数	$P(u,v)$	PSF	1/平方毫米, 1/平方毫弧度	3.5
单色点扩散函数	$P_\lambda(u,v)$	PSF λ	1/平方毫米, 1/平方毫弧度	—
光学传递函数	$D(r,s)$	OTF	1	3.8
调制传递函数	$T(r,s)$	MTF	1	3.9
相位传递函数	$\theta(r,s)$	PTF	弧度, 度	3.10
一维光学传递函数	$D(r)$	OTF	1	3.11
线扩散函数	$L(u)$	LSF	1/毫米, 1//毫弧度	3.13
刃边扩散函数	$E(u)$	ESF	1	3.14

调制度	M	—	1	3.17
调制传递函数	$T(r_o)$	—	1	3.18
相位传递值	θ	—	弧度, 度	3.19
波像差函数	$W_\lambda(x,y)$	WFE $_\lambda$	纳米, 米	3.20
光瞳函数	$P_\lambda(x,y)$	$P_\lambda(x,y)$	1	3.21
振幅点扩散函数	$A_{p,\lambda}(u,v)$	$A_{p,\lambda}(u,v)$	1/平方毫米, 1/平方毫弧度	3.22
出瞳振幅	$A_\lambda(x,y)$	$A_\lambda(x,y)$	1	—
单色 OTF	$D_\lambda(r,s)$	OTF $_\lambda$	1	3.24
复色 OTF	$D_p(r,s)$	OTF p	1	3.25
相关光谱加权函数	$F(\lambda)$	$F(\lambda)$	1	—
波长	λ	λ	纳米, 米	—
积分区域	G	G	平方毫米	—
参考球面半径	R	R	毫米	—
a) 当坐标系是在无限远时, 使用毫弧度和度单位。				

3 基本术语和定义

3.1

线性度 linearity

成像系统对输入信号强度成比例的响应特性

3.2

线性范围 linear range

成像系统保持线性的输入信号范围

注: 若成像系统对特定输入信号电平范围的响应在规定精度范围内呈线性, 则该系统被认为处于线性工作状态。应由最小和最大电平值来规定输入信号的范围。

3.3

非相干照明 incoherent illumination

一种照明形式, 使得图像空间中任一点接收到的辐射总和, 等于这两个点光源单独作用时所产生的强度之和。。

3.4

成像状态 imaging state

I-状态 I- state

所有影响点扩散函数的所有相关参数的集合。

注: ISO 9335:2012附录A中已给出了影响该函数的参数。即使没有给出这些参数, 假定下列定义中的所有关系与这些参数是关联的。

3.5

点扩散函数 point spread function

点扩散函数 PSF

点光源图像中辐照度的归一化分布。

$$D(r, s) = D(r', \psi) \dots \dots \dots \quad (3)$$

为方便起见, $D(r', \psi)$ 写为 $D(r)$ 。按惯例, 子午 OTF 对应子午方向 $\psi = 90^\circ$, 弧矢 OTF 对应弧矢方向 $\psi = 0^\circ$ 。

注2：图1中分别介绍了区域右旋坐标系 (u, v) 和 (r, s) ，以及右旋光瞳坐标系。方位角 ψ 的参考线垂直于像方图样的恒量辐照度线。当对狭缝或刃边进行扫描时，垂直方向与扫描方向一致，则角 ψ 是 u 轴线或 r 轴线与该扫描方向的夹角。

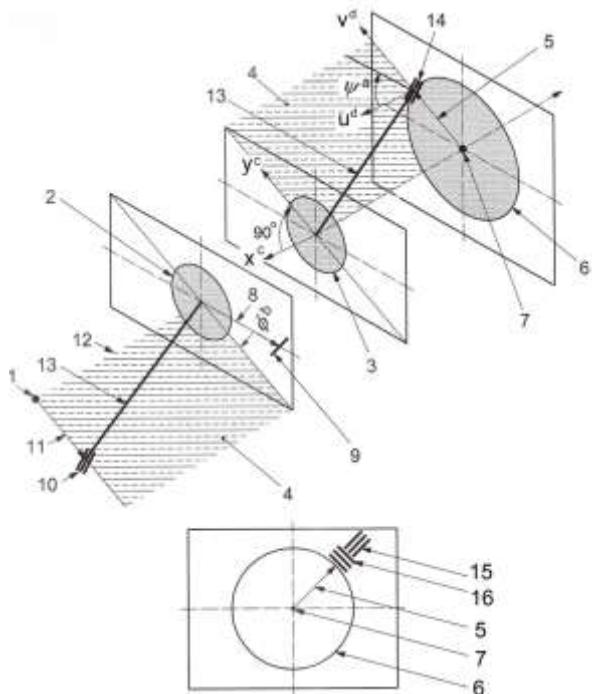
若以起始点为前提，则必须使用右旋坐标系。

通常对一个 (x_1, x_2, x_3) 坐标系, 一个右旋坐标系由 x_1 到 x_2 的最短位置上的旋转和 x_3 产生。 x_3 是一个被明确说明带有方向感的参考轴。对二维表达形式 [2D-坐标系 (x_1, x_2)], 一个是朝 x_3 方向的相反方向, 那么数学正旋是逆时针方向的。

接着起始点：子午面包含 x_2 轴并不包含 x_1 轴。这一惯例通常用于光学。

基于这些情况，下列说明包含：

- a) 参考轴是 z 轴;
 - b) 在出瞳中心内, 出瞳坐标系具有它的原点。 x 轴垂直于子午面, y 轴位于子午面内, 并且 x 、 y 、 z 组成一个右旋坐标系;
 - c) 对像方矢量 h' 的终点, 区域像场坐标系 (u, v) [或对各个付里叶可逆空间的 (r, s)] 具有它的原点。 u 轴(或 r 轴)垂直于子午面, v 轴(或 s 轴)位于子午面内, 例如: 在像方矢量 h' 的方向, 一个右旋坐标系的参考轴方向由 (u, v) 或 (r, s) 组成;
 - d) 从参考线的 u 轴或 r 轴到图像恒量强度线的垂直方向计算方位角 ψ ;
 - e) 从参考线的参考标记矢量到子午面计算参考角 φ 。当标记朝着参考轴的反方向时, 逆时针旋转的标记是正的。



标引序号和符号说明:

- 1——物场中心；
 - 2——入瞳；
 - 3——出瞳；
 - 4——子午面；
 - 5——像方图样矢量 h' ；
 - 6——半径 h 的像圆；

- 7——像场中心；
 8——参考标记矢量；
 9——参考标记（在被测图样上）；
 10——物方图样；
 11——物方图样矢量 h ；
 12——参考轴；
 13——主光线；
 14——像方图样；
 15——弧矢像圆；
 16——子午像圆。
^a 方位, ψ 。
^b 参考角, Φ 。
^c 出瞳坐标系 x, y 。
^d 区域像场坐标系 u, v 或 r, s 。

冬 1

3. 12

空间频率 spatial frequency

r

线性正弦空间分布周期的倒数。

注：空间频率是付里叶空间中的变量。它可以用线性或角度维度来表示，空间频率的单位名称定为1/毫米或1/毫弧度(1/度)。

3. 13

线扩散函数 line spread function

线扩散函数 LSF

非相干辐射线源图像中辐照度的归一化分布，可以表示为点扩散函数 $P(u,v)$ 与无限窄的直线 $\delta(u)$ 的卷积，该线段平行于 v 轴且长度在等晕区域内，其中 $\delta(u)$ 为狄拉克 δ 函数。

注1：线扩散函数仅存在于一个等晕区内。

注2：一维光学传递函数 $D(r)$ 是线扩散函数 $L(u)$ 的付里叶变换。

3. 14

边缘扩散函数 edge spread function

边缘扩散函数 ESF

边缘图像中的辐照度分布。

沿 y 轴方向的边缘。

出瞳外：

式中：

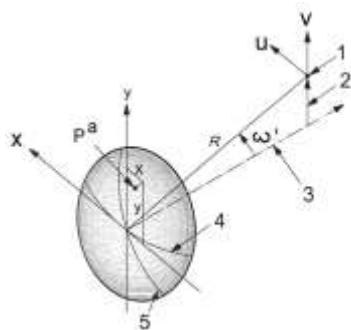
x 、 y ——参考球面上以像点为中心的笛卡儿坐标；

$A_\lambda(x, y)$ ——点的振幅;

$W_\lambda(x, y)$ ——点的波像差函数。

注：采用该定义的一个光学系统出瞳对所讨论的像点有效。

这样的波像差由物点发出的辐射单色波长 λ 的光学系统所产生。



标引序号说明:

1——像点=球面中心;

2——像方图样矢量 h' ;

3——参考轴 z ；

4—— xz 平面的球面交线；

5——yz平面的球面交线；

^a 在参考球面上。

冬2

3. 22

振幅点扩散函数 amplitude point spread function

振幅脉冲响应 amplitude impulse response

$$A_{p,\lambda}(u, -v)$$

点源图像中复振幅的相对分布。

注1：经适当归一化后，振幅点扩散函数是光瞳函数 $P_\lambda(x, y)$ 的付里叶变换。

式中：

u, v ——以物点的几何光学像点为原点的笛卡儿坐标, u 、 v 轴分别取为与 x 、 y 轴平行;

R——所选像点的参考球面半径。

见图1和3.11注2。

注2: 点扩散函数和振幅点扩散函数的关系为:

$$P_{\lambda}(x, y) = A_{p, \lambda}(u, v) A_{p, \lambda}^*(u, v) \dots \quad (10)$$

星号表示复共轭。

3. 23

自相关积分 autocorrelation integral

杜费积分 Duffieux integral

在本部分中评价单色照明光瞳函数的自相关所运用的数学运算方法。

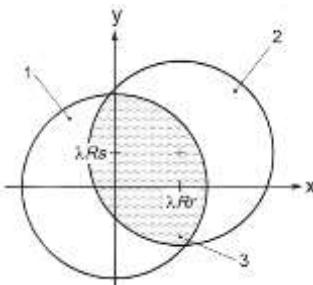
注: 除了成像系统有特别大的孔径比或视场角的情况之外, 二维光学传递函数可表示为光瞳函数 $P_{\lambda}(x, y)$ 的自相关积分。按照方程式:

$$D_{\lambda}(r, s) = \frac{1}{s} \iint_G P_{\lambda}(x, y) P_{\lambda}^*(x - \lambda Rr, y - \lambda Rs) dx dy \dots \quad (11)$$

式中:

S ——出瞳区域;

G ——积分区域 (见图3)。



标引序号说明:

1——出瞳区域 S ;

2——剪切光瞳;

3——积分区域 G 。

图3

3. 24

单色光学传递函数 monochromatic optical transfer function

OTF_λ

单波长 λ 的辐射的光学传递函数。

3. 25

复色光学传递函数 polychromatic optical transfer function

OTF_p

有限带宽波长范围的辐射成像的光学传递函数。

注1: 为使 $D_p(r, s)$ 有意义, 必须规定光谱权函数 $F(\lambda)$ 。权函数 $F(\lambda)$ 由设备的复合光谱特性, 即辐射的光谱分布, 设备的光谱透射比, 滤光器或探测器的光谱灵敏度等因素综合确定。

注2: 权函数 $F(\lambda)$ 必须与应用相关的成像设备的光谱特性相匹配。

4 通用术语和定义

4. 1

物方图样 object pattern

待测系统成像的辐射量的空间分布。

4. 2

像方图样 image pattern

与物方图样相应的, 在成像系统的输出端探测到的辐射量的空间分布。

4. 3

物场 object field

物方图样的允许范围。

注: 物场中心与像场中心应相互对应。

4. 4

像场 image field

测试中由系统形成的可探测到的像方图样的范围。

4. 5

分析区域 analysed area

在测定OTF时所分析的像场那部分区域。

4. 6

参考轴 reference axis

一条以某些适当特征为基准、可唯一确定的直线。。

注: 参考轴的方向规定为从物场中心到像场中心的辐射传播方向为正。参考轴通常是一个组件的旋转对称轴, 或是测试系统中某一个实际部位(例如镜筒、安装法兰)的对称轴。对于具体系统, 参考轴通常就是光轴(为所有光学元件的公共对称轴的理想系统的光轴)的机械轴。

4. 7

孔径光阑 aperture stop

一个或一组实际的零件, 它从几何光学角度限制了从物场中心通过系统到达像场中心的辐射总量。

4. 8

入瞳 entrance pupil

孔径光阑在系统物方所成的像。

注: 如果孔径光阑是辐射作用的第一个元件, 则入瞳与孔径光阑一致。

4. 9

出瞳 exit pupil

孔径光阑在系统像方所成的像。

注1: 如果孔径光阑是辐射作用的最后一个元件, 则出瞳与孔径光阑一致。

注2: 当系统由几个非相干耦合的分系统所构成时, 应注意到两个实际起作用的光瞳: 第一个仅对从物方图样射来的辐射有影响, 通常定为入瞳; 第二个仅对射向像方图样的辐射有影响, 通常定为出瞳。

4. 10

物方(像方)图样矢量 object (image) pattern vector

指向物方(像方)图样中点的矢量(见图1)。

4. 11

参考标记矢量 reference mark vector

垂直于参考轴并指向试样的一个参考标记的矢量(见图1)。

4. 12

参考角 reference angle

ϕ

由参考标记矢量和参考轴所组成的平面与由图样矢量和参考轴所组成的平面之间的夹角。

注：这样定义的参考轴的坐标系是一个右旋坐标系，因此参考角 ϕ 定义为如图1所示（见图1和3.11注2）。

4.13

物方视场角 object field angle

 ω

参考轴和无限远物方到测试样本入瞳的辐射传播方向之间夹角的绝对值。

4.14

像方视场角 image field angle

 ω'

参考轴和测试样本的出瞳到无限远像方的辐射传播方向之间夹角的绝对值。

4.15

物高 object height

 h

物方矢量的长度。

注：当物方为有限变化时，则使用物高这一概念；反之，则使用物方视场角。

4.16

像高 image height

 h'

像方矢量的长度。

注：当像方为有限变化时，则使用像高这一概念；反之，则使用像方视场角。

4.17

基准面 datum surface

具有预期接收图像的表面形状、方向和位置的表面。

注1：基准面的特征是特定的焦距或机械设置，用于测试结果的对比或引用。

注2：除非另有规定，基准面应视为基准平面（4.18）。

4.18

基准平面 datum plane

基准面（4.17），即垂直于参考轴的平面

注：注1：基准面的特征是特定的焦距或机械设置，用于测试结果的对比或引用。

4.19

参考面 reference surface

正交于参考轴的面，在测量中所有的轴向位置参数都以参考面作为依据。

注1：这个面通常是一个参考平面。

注2：参考平面与被测系统（例如安装法兰或安装特殊用途的夹具）的一个物理特征有关。

4.20

参考平面 reference plane

参考面的一个平面。

4.21

弧矢方位 radial azimuth

当狭缝、边缘物或光栅线条的方向为物方或像方图样矢量的方向时物方图样的方位。

注：其它方位由角 ψ 来给定，见图1和3.11注2。

4.22

子午方位 tangential azimuth

当狭缝、刃边物或光栅线条的方向与物方或像方图样矢量的方向成直角时所规定的物方图样的方位。

注1：其它方位由角 ψ 来给定，见图1。

注2：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。

4. 23

图像比例 image scale

放大率 magnification

在近轴极限条件下，图像高度与物体高度的比值。

注：当物体与像的共轭为无限大而像的共轭为有限时，像的放大倍率为零。若物体与像的共轭均为无限大，则像的放大倍率等于仪器的角放大倍率，。角放大率为 $\tan\omega'$ 与 $\tan\omega$ 之比。

4. 24

局部图像比例 local image scale

局部放大率 local magnification

在给定图像位置，小图像元素尺寸与对应对象元素尺寸的比值。

注：局部图像比例也可能取决于目标方位角。

参 考 文 献

- [1] ISO 9336-1, Optics and photonics — Optical transfer function — Application — Part 1: Interchangeable lenses for 35 mm still cameras
- [2] ISO 9336-3, Optics and optical instruments — Optical transfer function — Application — Part 3: Telescopes
- [3] ISO 11421, Optics and optical instruments — Accuracy of optical transfer function (OTF) measurement
- [4] ISO 15529, Optics and photonics — Optical transfer function — Principles of measurement of modulation transfer function (MTF) of sampled imaging systems

索引

中文索引（按汉语拼音次序）

英文索引

A

amplitude impulse response 3.22
amplitude point spread function 3.22
analysed area 4.5
aperture stop 4.7
autocorrelation integral 3.23

D

datum plane 4.18
datum surface 4.17
Duffieux integral 3.23

E

edge spread function 3.14
entrance pupil 4.8
ESF 3.14
exit pupil 4.9

G

grating 3.14
I
image field 4.4
image field angle 4.14
image height 4.16
image pattern 4.2
image scale 4.23
imaging state 3.4
incoherent illumination 3.3
isoplanatic region 3.7
isoplanatic system 3.6

I-state

L
line spread function 3.13
linear range 3.2
linearity 3.1
local image scale 4.24
local magnification 4.24
LSF 3.1

M

magnification 4.23

modulation 3.17

modulation transfer function 3.9

monochromatic optical transfer function 3.24

MTF 3.9

O

object [image] pattern vector 4.10

object field 4.3

object field angle 4.13

object height 4.15

object pattern 4.1

one-dimensional optical transfer function 3.11

optical transfer function 3.8

OTF 3.8

P

phase transfer function 3.10

phase transfer value 3.19

point spread function 3.5

polychromatic optical transfer function 3.25

PSF 3.5

PTF 3.10

pupil function 3.21

R

radial azimuth 4.21

reference angle 4.12

reference axis 4.6

reference mark vector 4.11

reference plane 4.20

reference surface 4.19

S

sinusoidal grating 3.16

spatial frequency 3.12

T

tangential azimuth 4.22

W

wavefront aberration function 3.20

