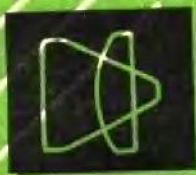


光学仪器丛书



投影仪

龚仕炎 黄友强 著

1.5

机械工业出版社

本书在叙述投影仪的原理、结构的基础上，详细介绍了国产投影仪的使用方法和维护、修理知识。书末附有各国投影仪型号、性能表及轮廓比较测量用的玻璃放大样板的制造方法。

本书可供计量检测人员阅读；此类仪器的设计、制造人员亦可参考。

附：本套丛书其它书目：

《生物显微镜》、《工具显微镜》、《摄谱仪器》、《水准仪》、《光切显微镜和干涉显微镜》、《光学分度头和光学分度台》、《平板仪》、《光学计和接触式干涉仪》、《自准直仪》、《分光光度计》、《金相显微镜》、《光学经纬仪》和《电子显微镜》。

光学仪器丛书

投 影 仪

龚仕炎 黄友强 著

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

中国农业机械出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本 787×1092 1/32·印张 7·字数 154 千字

1985年9月北京第一版·1985年9月北京第一次印刷

印数 0,001—3,250·定价 1.70 元

统一书号：15033·5814

目 录

第一章 概述	I
一、投影仪的用途和特点	I
二、光学量仪原理与投影仪的分类	7
三、投影仪的评价	9
四、投影仪的发展	10
第二章 投影仪的成象原理	12
一、理想光学系统	12
二、实际光学系统	12
1. 实际光学系统的限制(12) 2. 系统成象质量的评价(14)	
三、光学系统象差	16
1. 色差(16) 2. 轴上单色象差(21) 3. 轴外单色象差(23)	
4. 色象差(28)	
四、消象差系统——透镜的组合	29
1. 透明组合的总焦距、焦点位置、主平面(30) 2. 消色差胶	
合片(32) 3. 组合透镜的剩余象差(33)	
五、人眼的光学特性	33
1. 人眼的成象特性(33) 2. 视觉与光学特性 (34)	
3. 衬度灵敏度(37)	
六、投影放大原理与光路结构	38
1. 立式投影仪的典型光路(39) 2. 卧式投影仪典型光路(43)	
七、投影仪各部分的基本要求	45
1. 成象清晰(45) 2. 放大率准确(46) 3. 照度适中(55)	
4. 工作距离大	
八、照明系统.....	56
1. 照明系统的要求(56) 2. 透射照明光束对不同形状工件成	
象的影响(59)3. 反射照明(61) 4. 光源(62)	

九、物镜	65
1. 基本结构(66) 2. 远心光路(67) 3. 色光的选择(70)	
4. 中继物镜(71) 5. 成象分辨率(72) 6. 照度(74)	
十、平面反射镜系统	75
十一、投影屏	78
第三章 投影仪的结构原理	82
一、照明系统	82
1. 照明系统的结构要求(84) 2. 照明系统结构(85)	
二、工作台	97
1. 工作台的功能(98) 2. 对工作台的要求(98) 3. 卧式	
投影仪工作台结构(98) 4. 立式投影仪工作台结构(113)	
5. 台式投影仪工作台结构(117)	
三、物镜组及换倍机构	119
1. 物镜结构(120) 2. 换倍机构(123)	
四、主反射镜架	125
五、投影屏	127
六、仪器壳体	130
第四章 投影仪的使用	132
一、照明系统的选择、调整和使用	132
1. 照明系统的选择(132) 2. 照明系统的调整(133)	
3. 照明系统使用的注意事项(136)	
二、测量前的准备工作	137
1. 被测件的固定(137) 2. 物镜放大率的选择(138)	
3. 调焦(138)	
三、测量	139
1. 在投影屏上用玻璃刻尺测量(139) 2. 在投影屏上与标	
准长度作比较测量(139) 3. 利用放大样板进行比较测量	
(140) 4. 用工作台作座标测量(140) 5. 角度测量(141)	
6. 小孔间距测量(142) 7. 螺纹测量(142)	

四、投影仪的测量误差	143
第五章 投影仪的维护、检修和调整	151
一、投影仪的维护	151
1. 使用的环境条件(151) 2. 开箱与安装(152) 3. 日常 维护和保养(153) 4. 光学零件的维护和保养(154)	
二、投影仪的检修和调整	156
1. 工作台纵向导轨运动精度的检验和修理(157) 2. 工作 台横向导轨运动精度的检验和修理(168) 3. 工作台垂向导 轨运动精度的检验和修理(168) 4. 工作台示值准确度的检 验和修理(172) 5. 物镜放大率的检验和调整(175) 6. 回 转投影屏的检验和修理(187)	
附录	189
一、轮廓比较测量用的玻璃放大样板的制造方法	189
二、国外投影仪型号、性能	192

第一章 概 述

一、投影仪的用途和特点

随着国民经济的发展，工业、农业等各部门对精密机械制造业和仪器制造业提出了越来越高的质量要求。为了保证产品质量，首先要求产品零件的几何尺寸及形状位置等几何量准确。这些几何量包括长度、角度、表面的相对位置等等。投影仪就是将这些被测尺寸以精确的放大率放大，对这些几何量进行测量的一种非接触式综合光学计量仪器。它由照明系统、投影物镜系统、转象系统、工作台及读数装置等组成。照明系统照明被测工件，通过物镜，将工件的放大象投影在投影屏上，利用投影屏上的米字线可对影象进行瞄准以便进行坐标测量；或在投影屏上安置标准图样对影象进行轮廓测量。因此利用它可以同时测量长度、角度和表面相对位置，故可广泛地用于各部门。如国防工业、精密机械工业、内燃机制造业、汽车制造业、矿山机械、石油工业、钟表工业、电子工业、医疗或食品检验。在测量小工件的外形，比较或辨认真伪等方面，都是必不可少的计量仪器。它具有直观性强、检测稳定、操作简便、非接触测量、快速、高效等优点。且由于对环境条件要求较低，故能在车间使用。尤其适用于量大、面广、品种繁多的计量部门。在某些计量工作中，投影仪甚至是唯一的检验手段。因此，它在光学计量仪器中占有重要的地位。以工业较为发达的美、日、

英、瑞士、联邦德国五国为例，他们生产投影仪的厂家、品种、数目如下表1-1所示：

表 1-1

国 别	厂 家 数	投影仪品种数
美 国	10	34
日 本	9	58
英 国	7	37
瑞 士	4	23
联邦德国	3	16
总 计	33	168

随着工业发展，投影仪较多地布置在生产车间或生产线上。因此，不仅要求具有一定的精度，而且要求能适应千变万化的各种测量的要求。因此投影仪由原来的简单轮廓测量向万能测量发展，同时利用某些附件扩大使用范围。在测量方法上可分为轮廓测量和坐标测量。

轮廓测量法：目前多用此法。工件经投影仪放大某一固定倍数，并使之成象在投影屏上。犹如幻灯一样，在屏幕上看到一个放大的影象。但由于投影仪的影象与实物是完全相似的，而放大的倍数也是准确地已知，在投影屏上放上该工件的标准放大图，与工件的影象直接进行比较，即可发现工件的几何形状的局部或某些尺寸对标准图的偏差。而工件实际的偏差则应在影屏上测出偏差量后再除以投影物镜的放大率。例如在投影屏上影象与标准图偏差0.2毫米，而投影物镜的放大率为 $10\times$ 时，则实物偏差为 $0.2/10=0.02$ 毫米。若在投影屏上用玻璃刻尺对影象直接测量，所得尺寸除以放大率即得工件的实际尺寸。显然，这种测量方法的精度除人为误

差外，还与物镜放大率准确度、成象清晰度及投影屏上的照度等有关。此时工作台只起安置工件及调焦的作用。目前国内外生产的投影仪放大率的不准确度都小于0.1%。

座标测量法：目前生产的投影仪，除了作轮廓测量外，尚能作平面座标测量。此时，利用投影屏上的米字线瞄准被测尺寸影象的起始点，并在工作台的读数装置上读出数值，然后移动工作台，在投影屏上瞄准被测尺寸的末端，并重新读出工作台读数装置上的数值。两次读数之差即为被测尺寸（注意，此值与放大率无关，但被测尺寸方向应与工作台转动方向一致）。测量精度决定于投影屏上的瞄准精度和工作台座标测量精度。而对物镜则要求成象清晰，以提高瞄准精度。目前国外生产的新式投影仪都带有数字显示装置，能方便地显示工作台移动的尺寸。有的仪器则带有自动读数头、计算机、打印设备等，使座标测量特别方便。一般工作台的精度在微米级，量程可达 150×100 毫米，甚至 300×200 毫米，能满足一般工业计量的要求。

由于投影仪同时具有以上两种测量方法，所以它具有以下几个特点：

（1）具有中等测量精度，能满足一般工业测长、测角及外形测量要求。一个有经验的计量人员，在一般的投影屏上能达到0.05毫米的瞄准精度，对于非专业计量人员，瞄准精度不低于0.15毫米。这种瞄准精度在物方的对应误差为 $0.15/\beta$ （ β 为所用物镜的放大率）。这个瞄准误差在物方引入的实际误差如表1-2所列。

一般投影仪标准要求包括畸变在内的放大率相对误差小于0.1%，这时在物方引入的误差如表1-3所示。

此外，轮廓测量误差还得加上标准图绘制误差及标准图

表 1-2 (单位: 毫米)

物镜放大率		10×	20×	50×	100×
物方 实际 误差	非熟练人员	0.015	0.0075	0.003	0.0015
	熟练人员	0.005	0.0025	0.001	0.0005

表 1-3

投影屏上 被测尺寸 (毫米)	各倍物镜的物方误差 (毫米)			
	10×	20×	50×	100×
100	0.01	0.005	0.002	0.001
300	0.03	0.015	0.006	0.003
600	0.06	0.03	0.012	0.006

材料本身因温度、湿度变化引入的误差。对于一般瞄图纸其误差有可能达到 0.2 毫米以上。但若采用晒象的办法在玻璃板上制成放大样板, 其标准图误差可小于 0.05 毫米左右。对应各倍物镜, 物方误差不大于表 1-4 所示。

表 1-4 (单位: 毫米)

标准图误差	10×	20×	50×	100×
0.2	0.02	0.01	0.004	0.002
0.1	0.01	0.005	0.002	0.001
0.05	0.005	0.0025	0.001	0.0005

以上分别列出了瞄准误差, 倍率误差, 标准图误差。实际使用时, 以投影屏直径 $\phi 600$ 毫米为例, 考虑中误差, 则总的综合误差如表 1-5 所示。

当然, 在一般情况下精度应高于上述数值, 实际出厂放大率调整精度总是高于 0.1%。使用者也可对物镜放大率进一步调整, 使影屏的常用范围内的误差小于 0.05%。

表 1-5

放 大 率	10×	20×	50×	100×
综合误差	≈0.035	≈0.018	≈0.007	≈0.004

用座标法测量工件时的误差，由上述的瞄准误差加工作台座标系统误差构成。目前生产的投影仪工作台座标测量系统的精度都较高，一般约4~8微米左右，可满足一般长度计量要求。

(2) 使用简单，测量快速，适应范围大，可用于批量生产检验。由于轮廓测量是用实物的放大象与标准图比较，因而能同时比较许多被测尺寸，易于发现影象与标准图不符之处。所以使用极为简单，快速。以手表厂的某些零件为例：从生产线上每日生产的手表零件由数百件到数千件不等。为了保证手表质量，关键零件必须100%全检。如手表中的擒纵叉，检测尺寸需6个以上。一个检验人员用一台投影仪检测这种零件，日检量约400~1000件左右，其检测精度要求在0.01毫米左右。这种高精度和高速度的检测是其它人工测量仪器所达不到的。而这种检测在生产线上是必不可少的，并且目前也很难用其它类似的通用量仪来代替。

(3) 工件的外形轮廓经投影仪放大后投影在投影屏上，即可看到工件被投影部分的轮廓形状。它与标准图比较时，其缺陷明显可见，极易判别缺陷的性质，十分直观。尤其对于某些外形较为复杂的零件，如各种曲线样板，我们不只是要知道工件上某点的座标误差，更重要的是需知作为整体而言的曲线线型与标准图的差异。某厂过去在手工修锉如图1-1的曲线样板时，用万能工具显微镜测量曲线上各点的座标值，标出误差，然后由钳工对曲线逐点地进行修锉。这

样工效很差，远不能满足要求。后改用卧式投影仪，将工件用虎钳夹持于工作台上，在投影屏上直接看到曲线样板的轮廓，与标准曲线比较，样板误差一目了然，可很方便地在工作台上直接进行修锉，从而大大提高了效率。

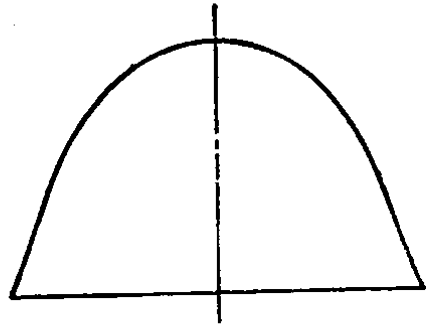


图1-1 曲线样板

同时，投影仪的线视场远大于显微镜的线视场。这不但在找点、对准等方面较显微镜方便，而且能得到较为全面的影象。又由于投影屏能同时供多人观察，便于共同讨论。

(4) 可进行特殊测量。利用投影仪的特点，增加某些附件后可扩大测量范围。

1) 反射光测量法

如某些金属零件上的盲孔，表面花纹等，可利用反射光照明零件表面，因而能在投影屏上观察到被测件表面花纹或盲孔的位置、形状。若同时加上透射光照明，则形成透-反两用光路，从而可在投影屏上测量盲孔或花纹对某些透孔或边界的距离。这对模具制造和检验是特别有用的。

2) 阴模形状测量

利用一对同步测头，其一安置在阴模内，另一个安置在投影物镜的视场内。当阴模内的测头沿表面移动时，另一测头作同步移动，因而在投影屏上能看到测头的移动偏离标准图的情况，从而可以检测阴模内的表面形状。亦可利用这一方法检测叶片断面的形状。

3) 专用投影仪测量

如专为检测叶片断面线型用的断面投影仪。它系利用多个发出片状光束的照明系统，照明需测定的叶片某一断面。

此叶片表面经一定的处理后,将光散射。利用投影物镜收集叶片散射的一部分光成象于投影屏上,因而在屏上将看到叶片上对应断面的形状,以便对叶片断面进行检定。又如手表摆轮,需同时检查摆轮的径向跳动及摆轮对轴的端面跳动,为此设计了光轴相互垂直的双物镜双屏投影仪,可同时检测摆轮的径向跳动与对轴的偏摆。当然还有一些其它的特殊的投影器,可直接安装在工作母机上,以便在加工过程中检测,严密控制产品质量。光学曲线磨床也可算作一种专用投影仪。

二、光学量仪原理与投影仪的分类

光学计量仪器在设计、制造与使用过程中,必须遵守某些基本原则,这些原则包括阿贝原则,统一基准原则,最短测量链原则等。

阿贝原则要求作长度测量时,基准器与被测件安置在同一条测量直线上。符合这点时就可以避免一阶误差,从而能够避免由于仪器的导轨、工作台等制造误差对测量准确度的影响。但对基准器进行结构设计时往往受条件的限制而不能满足上述要求。

立式投影仪轻型工作台的基准器——测微螺杆可与被测尺寸位于同一直线上,所以阿贝误差为零或接近于零。但卧式投影仪要作到这点是很困难的。所以卧式投影仪多采用精密机械结构并且尽量缩小被测件到标准件之间的距离。这是因为阿贝误差为 δ ,即

$$\delta = L\varphi$$

式中 L ——基准器到被测件之间的垂直距离;

φ ——导轨的不直度角值。

由上式知，当 $L \rightarrow 0$ 时，则 $\delta \rightarrow 0$ 。这对每一个使用者是必须注意的。即在安装工件时，应尽力使 L 有最小的值，也就是将工件安置在基准器的延长线上，使误差最小。因此，仪器设计时考虑了尽量不使用顶针架，或使顶针架高度最小，并符合统一基准原则及最短测量链原则。对使用者而言，则要求将工件以最简单而可靠的方法紧固在工作台上，最大限度地排除产生误差的可能。

投影仪的分类方法有三种：第一种是按投影屏的大小分为特大型、大型、中型、小型四类。第二种是按仪器使用性能分为万能型、通用型、简易型、专用型四类。第三种按光路与工作台的关系分类。当物镜成象光束与工作台台面垂直时称立式投影仪；当物镜成象光束与工作台面平行时称卧式投影仪。

上述三种分类方法可供选购时参考。例如，第一种分类法，可以依据所需检测的工件尺寸及精度要求选购。工件测量尺寸大，或工件虽不大但要求测量精度较高的则需采用特大型或大型投影仪。第二种分类法需根据被测工件及使用性质选购。若被测件形状复杂，检测项目多，则多用万能型或通用型。若只在某生产线上专门检测某种或几类工件，则用简易或专用型。第三种分类法，对大型仪器和大型工件，则多采用卧式投影仪。因为卧式投影仪往往能承受较大的重量和较大尺寸的零件，对大工件安置方便，尤其对于丝杠类要求工作台偏转一个螺旋角的零件更为方便。对于中小型仪器和工件，则多采用立式投影仪。这样不仅仪器有较小的体积，较小的占地面积，更重要的是在工作台上便于安置小零件，如手表零件等。

由于分类较为复杂，所以目前国内外多在以投影屏大小

投影屏大小

为主要参数的基础上，再分别冠以万能、通用和立式、卧式等说明词。现因投影仪工作台的精度不断提高，故用投影仪作座标测量的日益增多。因此，除考虑屏的大小外，还必须注意工作台座标测量能力，如工作台读数精度、台面尺寸、行程大小等。

三、投影仪的评价

对一台投影仪进行评价，应该考虑若干评价因子，由这些评价因子组成客观的评价函数。同时为了排除制造等因素的影响，设参予评价的仪器全部满足某一固定的质量标准。这时有意义的评价因子显然全部由投影仪的基本参数来确定。日本岩崎岑子等根据大量投影仪的统计结果，作相关分析，以投影屏的大小、物镜的放大倍率及工作距离作为评价因子提出评价函数 P_e ，它与物镜倍率 β 、投影屏直径 ϕ 、物镜工作距离 L_k' 之间存在着以下关系

$$P_e = 1.65 \times 10^{-6} \times \beta^{2.6} \times \phi^2 \times L_k' \quad (1-1)$$

即，评价函数与投影屏的直径的平方成正比。上式中令：

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 \times L_k' \quad (1-2)$$

表示投影仪允许最大测量体积

(图 1-2)。显然， V 值越大，投影仪所适应的测量范围越大。

将式 (1-2) 代入式 (1-1)，得：

$$P_e = 2.1 \times 10^{-6} \times \beta^{2.6} \times V \quad (1-3)$$

即评价函数与 V 成正比。

当然，仅用放大倍率，投影

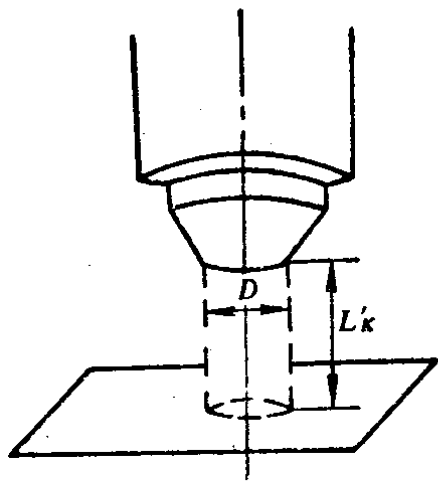


图1-2 投影仪物镜可测最大范围示意图

屏直径及物镜工作距离组成的评价函数对目前众多的投影仪作全面评价是不够的。因为它忽略了两个方面的情况，首先是目前很多投影仪配有高精度、大量程的工作台，它们除了作轮廓测量外，还可以作坐标测量，但上述评价函数中没有包括作坐标测量的因子。其次是没有区别投影仪的基本型式对评价函数的影响。实践证明，卧式投影仪在某些方面具有明显的优越性，而且一般远较立式投影仪复杂。因此，在评价函数组成中应包括以上两个方面的因子。所以上述公式仅可用于同类型的仪器比较。对于不同类型的仪器，还应考虑上述两个因素的影响。

四、投影仪的发展

投影仪是一种很早就出现了的光学计量仪器。从问世以来，它一直在不停地发展，尤其近来发展很快，各种先进技术都被用在投影仪上。它的发展大多集中在以下几个方面：

1) 投影屏越来越大。早期产品的投影屏多为200~300毫米，中期发展到500~600毫米，目前则又大到1000毫米左右。我们知道，投影屏越大，则对于相同放大率而言可增大测量范围，而对于同一工件，则可提高测量精度。但是，投影屏加大的结果，使结构尺寸加大，加工困难，成本上升。

2) 数字化，自动化。为减轻操作者的工作强度，及克服仪器大型化带来的操作问题，提高可靠性，近年来不少厂家纷纷将仪器工作台读数数字化（如东德ZEISS，意大利MICROTECNIC，美国JONES & LAMSOM，日本神港精机厂等公司）。数字化的结果，亦为仪器的自动化打下了基础。如美国JONES & LAMSOM公司的EPIC-50，利用光导纤维及光敏电池作自动瞄准，用电子计算机控制工作台的行程，在电

传机上打出测量数据，或直接控制座标仪绘制实物图形。

3) 万能性与专用两极化。大多数大型投影仪有多种附件，以扩大仪器使用范围，尽量作到其万能性，因而价格昂贵。而在某些特殊的场合，只须作某种单一性质的测量，或者为了在生产线上使用，使价格降低，多用简单的专用投影仪，如公差带投影仪，偏光投影仪，教学投影仪，光谱投影仪等。由于它们分别用于各种专业部门，因而要求各异。

总之，对投影仪而言，它属于信息传递过程中的一个复杂系统，可归纳为如下方框图1-3：

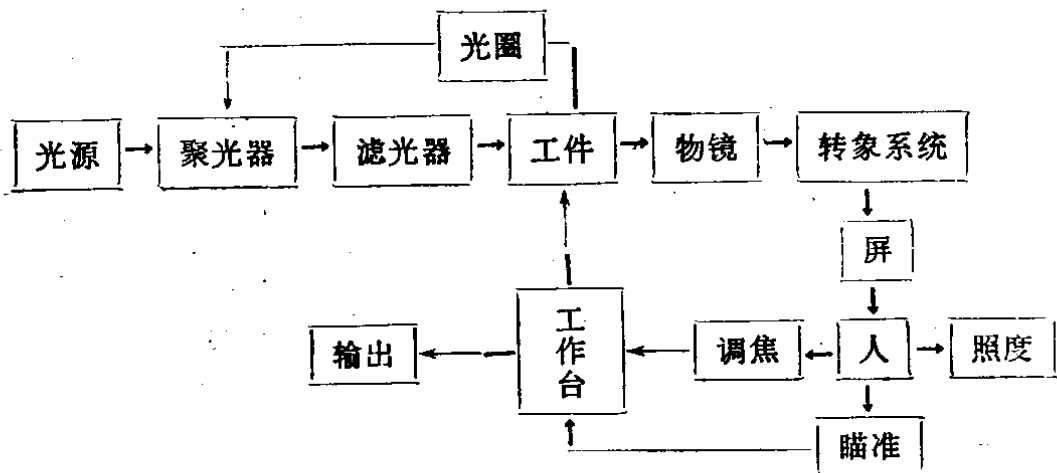


图 1-3 图象信息传递过程方框图

方框图中（图1-3）的每一个环节都需设计者、制造者及使用者共同研究和探讨。

第二章 投影仪的成象原理

一、理想光学系统

所谓理想光学系统，即假定这种光学系统的物空间上任一点，以任意宽的共心光束通过后，仍为共心光束。即物空间与象空间一一对应，而与光学系统的具体结构无关。这种系统的基本特性，已在本丛书中的《生物显微镜》一书中介绍过了。该书亦介绍了透镜的成象原理，基本性质及分类，在此不再重复。利用理想光学系统成象原理，可得到仪器结构的粗略尺寸和概念，甚至作出某种安排。但理想光学系统在实际上是做不到的，是无法实现的。因为对于任何实际光学系统而言，物方发出的某一共心光束，在通过光学系统后，一般不再是共心光束了，而是为光学系统在不同程度上所歪曲。所以理想光学系统只能作某些粗略的描述，不能作最后的结论。因此，我们应对实际的光学系统进行讨论。

二、实际光学系统

每一个实际的光学系统通光口径总是有一定的大小，成象范围受一定的限制，且所成象总存在一些缺陷。下面我们分别介绍。

1. 实际光学系统的限制

一切实际的光学元件，如透镜、反射镜、棱镜，总是有一定的大小尺寸。因此实际光学系统的光束总限制在一定的