

第5章 光学系统中的光束限制

5.1 光阑及其作用 

5.2 孔径光阑、入射光瞳和出射光瞳 

5.3 视场光阑、入射窗和出射窗 

5.4 光学系统的景深 

5.5 远心光路

5.1 光阑及其作用

1. 孔径光阑 ψ

孔径光阑是限制轴上物点成像光束立体角的光阑。如果在过光轴的平面上来考察，这种光阑决定轴上点发出的平面光束的孔径角。孔径光阑有时也称为有效光阑。在任何光学系统中，孔径光阑都是存在的。

孔径光阑的位置在有些光学系统中是有特定要求的。如目视光学系统中的光阑或者光阑的像一定要在光学系统的外边，以使眼睛的瞳孔可以与之重合，达到良好的观察效果；又如在光学计量仪器中，为了实现精确的测量，光阑常被放在物镜的焦平面上。除此之外，其它光学系统中的光阑位置理论上是可以任意选择的，不过合理地选择光阑位置可以改善轴外点的成像质量。因为对于轴外点发出的宽光束而言，选择不同的光阑位置，就等于在该光束中选择不同部分的光束参与成像，这样，在不改变轴上点光束的前提下，可选择成像质量较好的光束参与成像，而把成像质量较差的光束拦掉。

如图5-1所示，当光阑在位置1时，轴外点B以光束成像，而光阑在位置2时，即以光束成像，这样可以把成像质量较差的那部分光束拦掉。必须指出，光阑位置改变时，应相应地改变其直径以保证轴上点的光束的孔径角不变。此外，合理地选取光阑的位置，在保证成像质量的前提下，可以使整个光学系统的横向尺寸减小，结构均匀对称。由上图可以看出，光阑在位置2时所需的透镜孔径比在位置1时所需的孔径要小。

作为目视观察用的光学系统，如放大镜、望远镜等，一定要把眼睛的瞳孔作为整个系统的一个光阑来考虑。

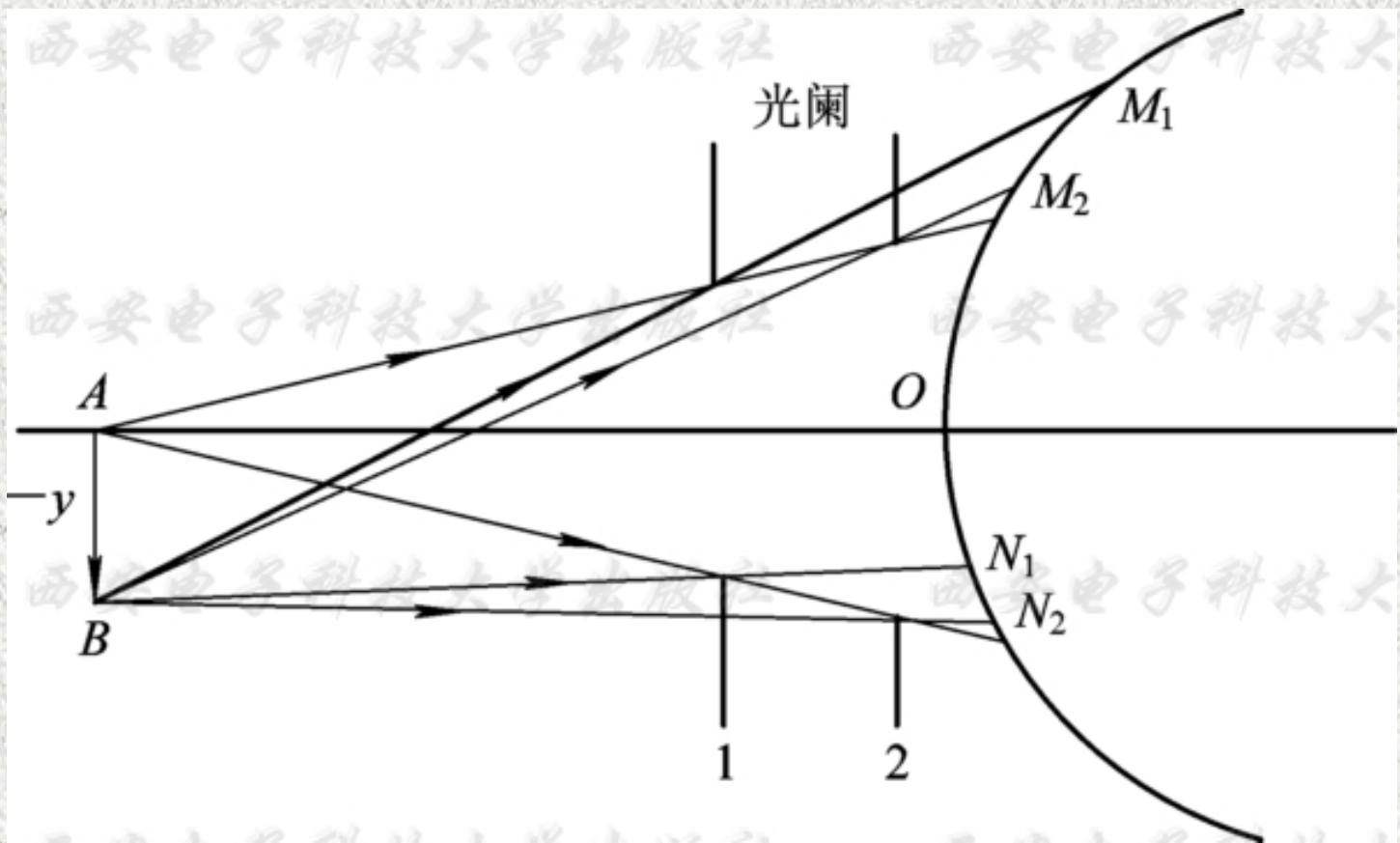



图5-1 光阑对光束的限制

2. 视场光阑 ψ

视场光阑是限制物平面或物空间中最大成像范围的光阑。视场光阑的位置是固定的，总是设在系统的实像平面或中间实像面上。如照相机中的底片框就是视场光阑。若系统没有这种实像平面，则不存在视场光阑。视场光阑的形状是根据光学系统的用途来确定的。

3. 渐晕光阑

渐晕光阑以减小轴外像差为目的，使物空间轴外发出的、本来能通过上述两种光孔的成像光束只能部分通过。 

如图5-2所示，透镜框 Q_1Q_2 作为孔径光阑，限制轴上点A发出的光束，即点A以充满孔径光阑的光束成像。设在孔径光阑之前有光阑 M_1M_2 ，对轴上点光束没有任何限制，但对由轴外点B发出的充满孔径光阑的光束有限制作用，如图上阴影部分即是被光阑 M_1M_2 拦掉的部分光束。轴外光束被拦截的现象称为“渐晕”，产生渐晕的光阑称为渐晕光阑。渐晕光阑一般为透镜框。

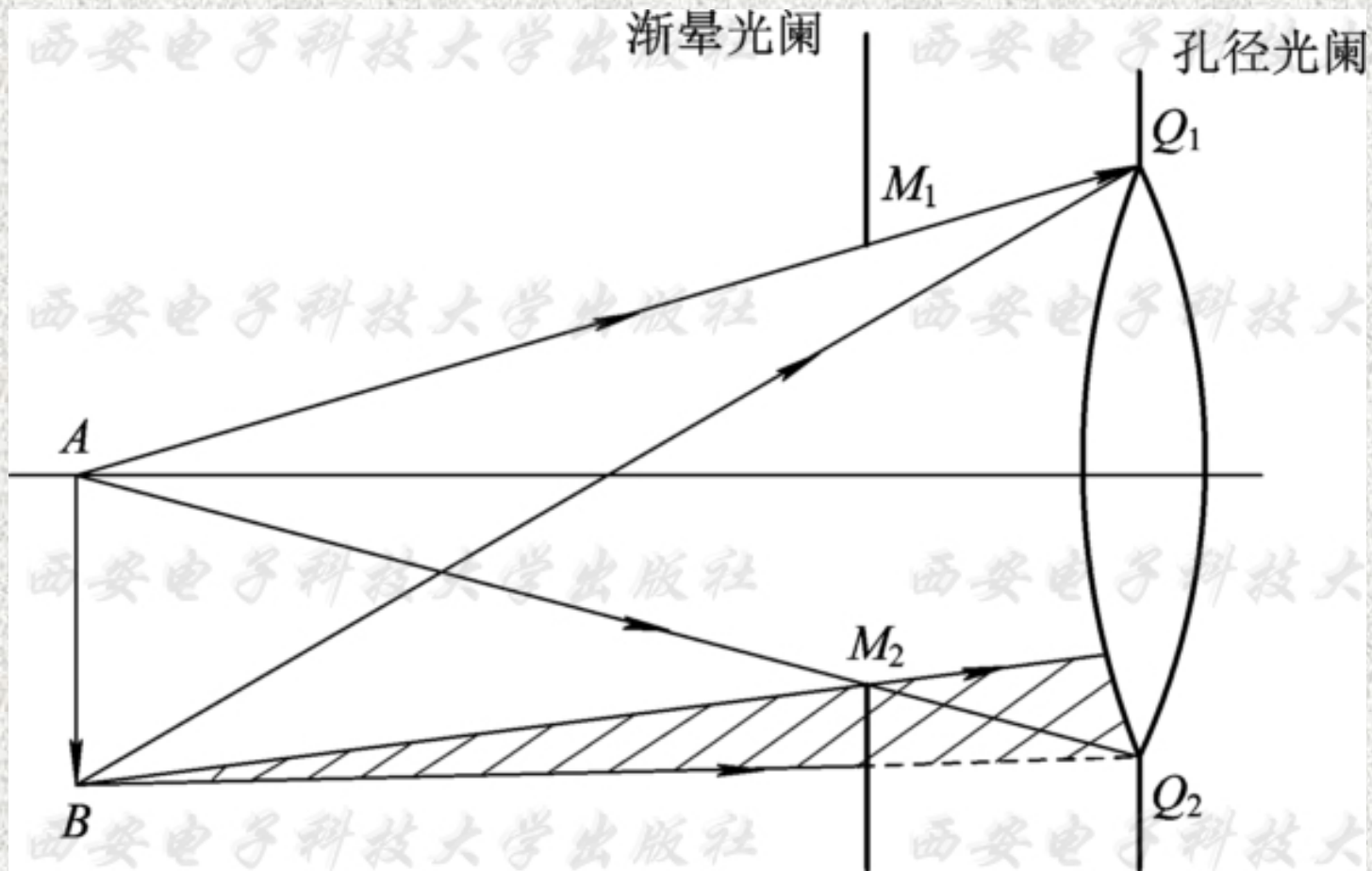


图5-2 渐晕光阑

4. 消杂光光阑

消杂光光阑不限制通过光学系统的成像光束，只限制那些从视场外射入系统的光。光学系统各折射面反射的光和仪器内壁反射的光等，都称为杂光。杂光进入光学系统，将会使像面产生明亮背景，使像的衬度降低，这是非常有害的。利用消杂光光阑可以拦掉一部分杂光。一些重要的光学系统，如天文望远镜、长焦距平行光管等，均装有消杂光光阑，这种光阑在一个光学系统中可以有几个，如图5—3所示；而在一般的光学系统中，常把镜管内壁加工成细螺紋，并涂以无光黑漆来吸收杂光。

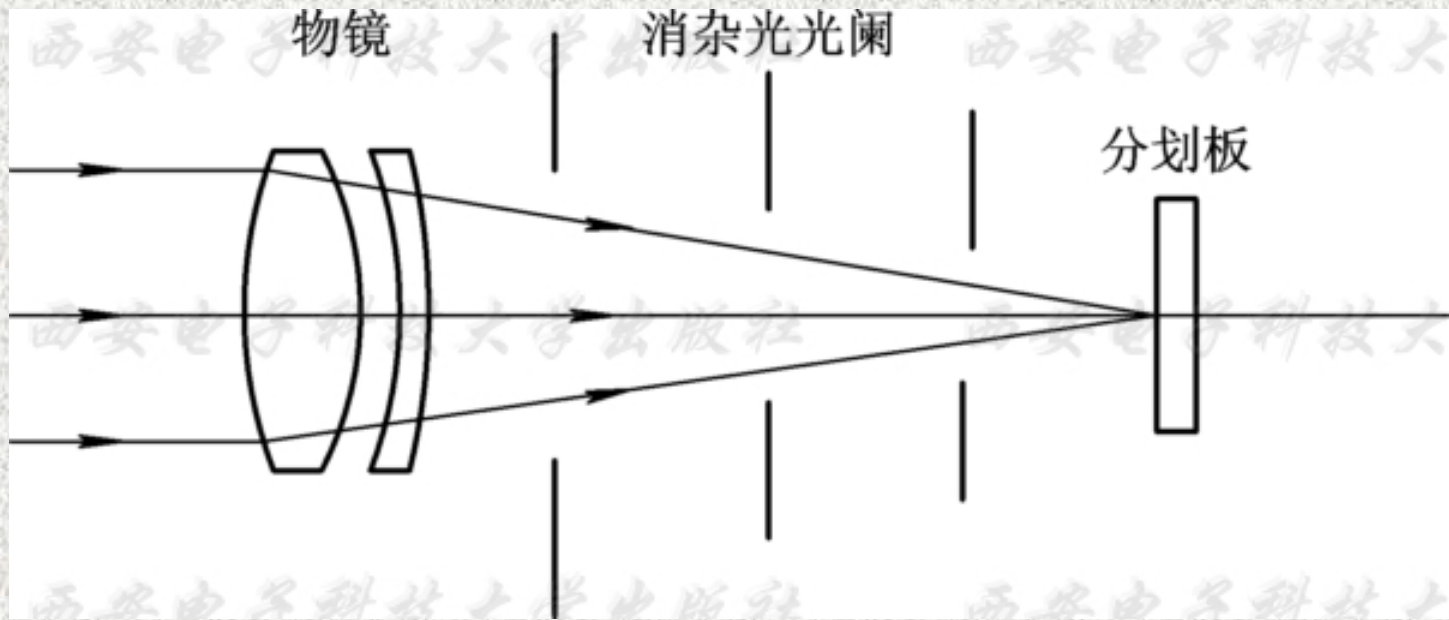
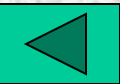


图5-3 消杂光光阑



5.2 孔径光阑、入射光瞳和出射光瞳

光学零件是有一定的直径的，不可能让任意大的光束通过，而实际光学系统总是对一定大小的光束成像，因此必有一个光孔(可能是某一透镜框，也可能是专门设置的光阑)限制着光束的大小。

孔径光阑通过它前面的光学系统所成的像称为入射光瞳，简称入瞳；孔径光阑通过它后面的光学系统所成的像称为出射光瞳，简称出瞳。显然，入射光瞳、孔径光阑、出射光瞳三者是相互共轲的。对整个光学系统来说，出射光瞳也是入射光瞳的像。图5—4表示了由 k 个折射面组成的共轴球面系统中，入射光瞳、出射光瞳和孔径光阑三者的共轲关系。根据共轲原理，由轴上点 A 发出的光束首先被入射光瞳限制，然后充满整个孔径光阑，最后从出射光瞳边缘出射，会聚到像点 A' 。由轴外一物点发出，并通过孔径光阑中心的光线称为主光线，显然，任意一条主光线，必定通过与孔径光阑相共轲的入瞳和出瞳的中心。

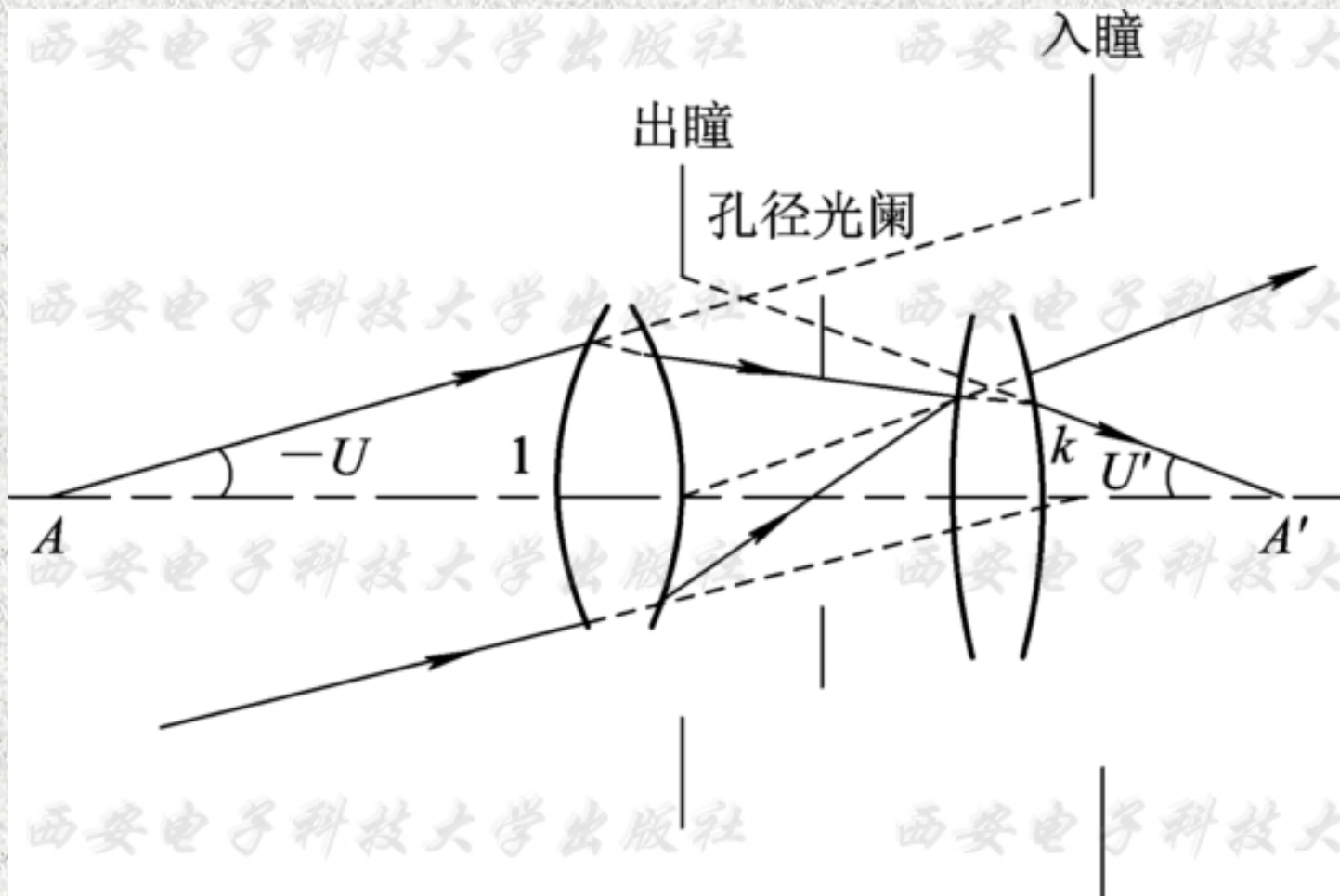


图5-4 孔径光阑

在实际光学系统中孔径光阑未知的情况下，寻找孔径光阑的步骤为：首先将光学系统中所有的光孔，经其前面的光学系统成像到整个系统的物空间；然后比较这些像的边缘对轴上物点张角的大小，其中张角最小者，即为入射光瞳；与入射光瞳共轭的实际光阑即为孔径光阑。用类似的方法，也可将所有的光孔，经其后面的光学系统成像到整个系统的像空间，然后比较这些像的边缘对轴上的像点张角的大小，其中张角最小者，即为出射光瞳；与出射光瞳共轭的实际光阑即为孔径光阑。

必须指出，光学系统中的孔径光阑是对一定的物体位置而言的。如果物体位置发生了变化，原来的孔径光阑可能会失去限制光束的作用，成像光束将由其它光孔来限制。🔥

入瞳的大小是由光学系统对成像光能量的要求或者对物体细节的分辨能力(分辨率)来确定的。如望远物镜和摄影物镜的入瞳常以相对孔径来表示，相对孔径为入瞳直径和焦距的比值 D/f ，它是光学系统的一个重要的性能指标。对于照相机，入瞳常以另一个术语，即光阑指数（ F 数，俗称光圈）来表示，它是相对孔径的倒数。而显微物镜的入瞳则常用数值孔径 $NA=n \sin U$ 来表示，其中 U 为物方孔径角， n 为物方空间的介质折射率。

以上就光学系统如何寻找孔径光阑以及相关的问题进行了分析和讨论。至于一个实际的光学系统，其孔径光阑该如何设置，是一个需要在设计阶段就解决的问题。一般而言，孔径光阑的位置是根据是否有利于缩小光学系统的外形尺寸，是否有利于改善镜头结构设计，是否能使光学系统的使用更为方便，尤其是是否有利于改善轴外点成像质量等因素来考虑的。它的孔径大小则由轴上点所要求的孔径角的边缘光线在光阑面上的高度来决定。最后，按所确定的视场边缘点的成像光束和使轴上点的边缘光线无阻拦地通过的原则，来确定光学系统中各个透镜和其他光学元件的通光直径。可见，孔径光阑位置不同，会引起轴外光束的变化和系统各透镜通光直径的变化，而对轴上点光束却无影响。因此，孔径光阑的位置实质上是由轴外光束来确定的。



5.3 视场光阑、入射窗和出射窗

任何光学系统，根据它的用途和要求，总需要对一定大小的物平面和空间范围成清晰的像。限制系统成清晰像的范围的光阑称为视场光阑。🔥

视场光阑经其前面的光学系统成的像称为入射窗，简称入窗；视场光阑经其后面的光学系统所成的像称为出射窗，简称出窗。显然，入射窗、视场光阑、出射窗三者是互相共轭的，对整个系统来说，出射窗也就是入射窗的像。

实际光学系统中，孔径光阑和视场光阑是同时存在的，如图5—5所示。由入瞳中心至入射窗直径边缘所引连线的夹角，或者说，过入射窗边缘两点的主光线间的夹角，称为物方视场角，用 2ω 表示；同样，由出瞳中心至出射窗直径边缘所引连线的夹角，也就是过出射窗边缘两点的主光线间的夹角，称为像方视场角，用 $2\omega'$ 表示。当物体在无限远处时，习惯用前面定义的角度 2ω 或 $2\omega'$ 表示视场。当物体在有限远处时，习惯用入瞳(或出瞳)中心与入窗(或出窗)边缘连线和物面交点之间的线距离来表示视场，称为线视场 y (或 $2y'$)。所以，无论是用角视场还是线视场来表示成像范围，光学系统成像范围的大小均由入射窗或出射窗的大小来决定。

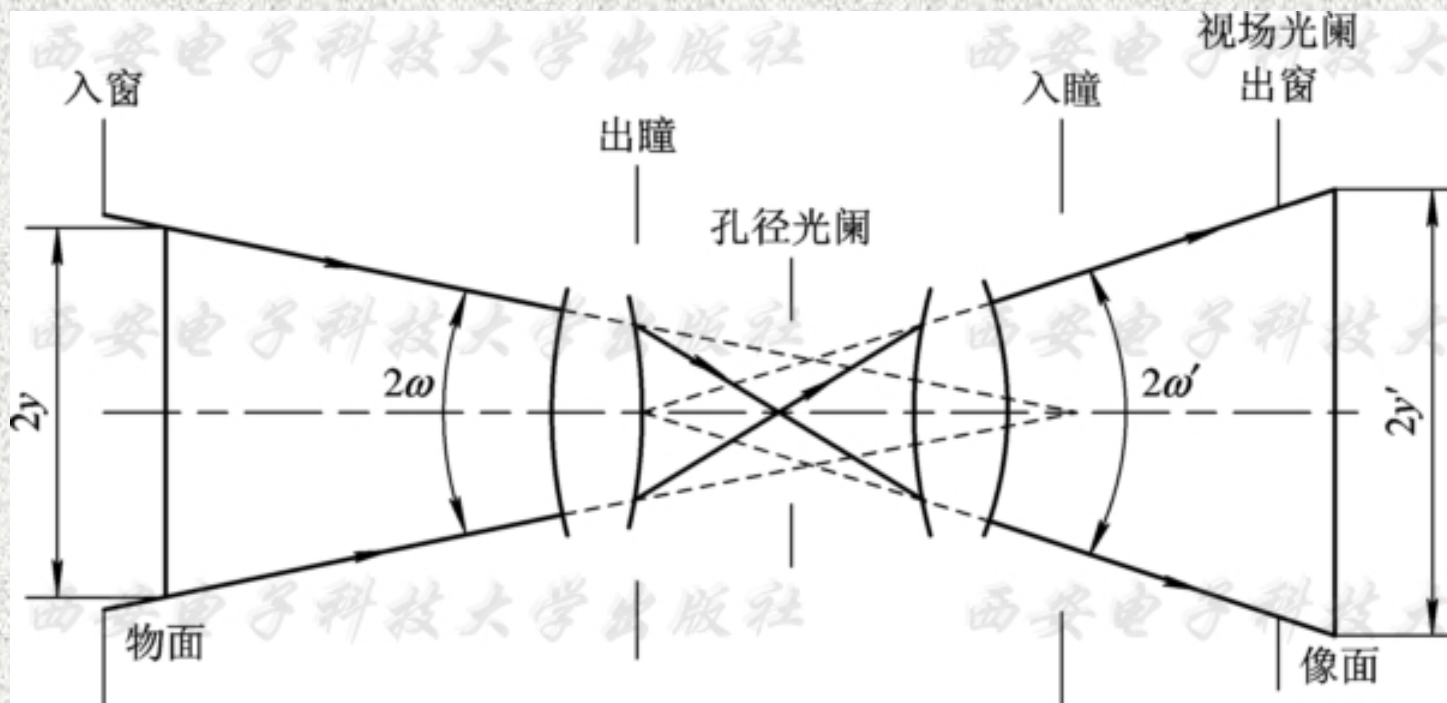


图5—5 视场光阑

根据上面的讨论可以得出在众多的光阑中确定视场光阑的方法为：首先将光学系统中的所有光孔经其前面(或后面)的光学系统成像在整个系统的物空间(或像空间)，然后，从系统的入瞳（或出瞳）中心分别向物空间（或像空间）所有的光阑像的边缘作连线，其中张角最小的光阑像为入射窗(或出射窗)，与其共轭的实际光阑即为视场光阑。

由入射窗(或出射窗)所决定的成像范围仅适用于入瞳(或出瞳)很小的情况。实际光学系统的入瞳和出瞳不一定很小,有时甚至还很大,这时,光学系统的视场并不完全由主光线和入射窗(或出射窗)来决定,还与入瞳(或出瞳)有关。下面讨论入瞳有一定大小时,物面上各点发出的光束被入射窗与入瞳联合限制的情况。为了便于说明问题,如图5—6所示,略去光学系统中的其它光孔,仅画出物平面、入瞳平面、入射窗平面,来分析物空间的光束限制情况。当入瞳为无限小时,物面上能成像的范围应该是由入射光瞳中心与入射窗边缘连线所决定的 AB_2 区域。但是当入射光瞳有一定的大小时, B_2 点以外的一些点,虽然其主光线不能通过入射窗,但光束中还有主光线以上的一小部分光线可以通过入射窗,被系统成像,因而系统的成像范围扩大了。图5—6中, B_3 点才是能被系统成像的最边缘点,因为由 B_3 点发出的充满入射光瞳的光束中只有最上面的一条光线能通过入射窗。

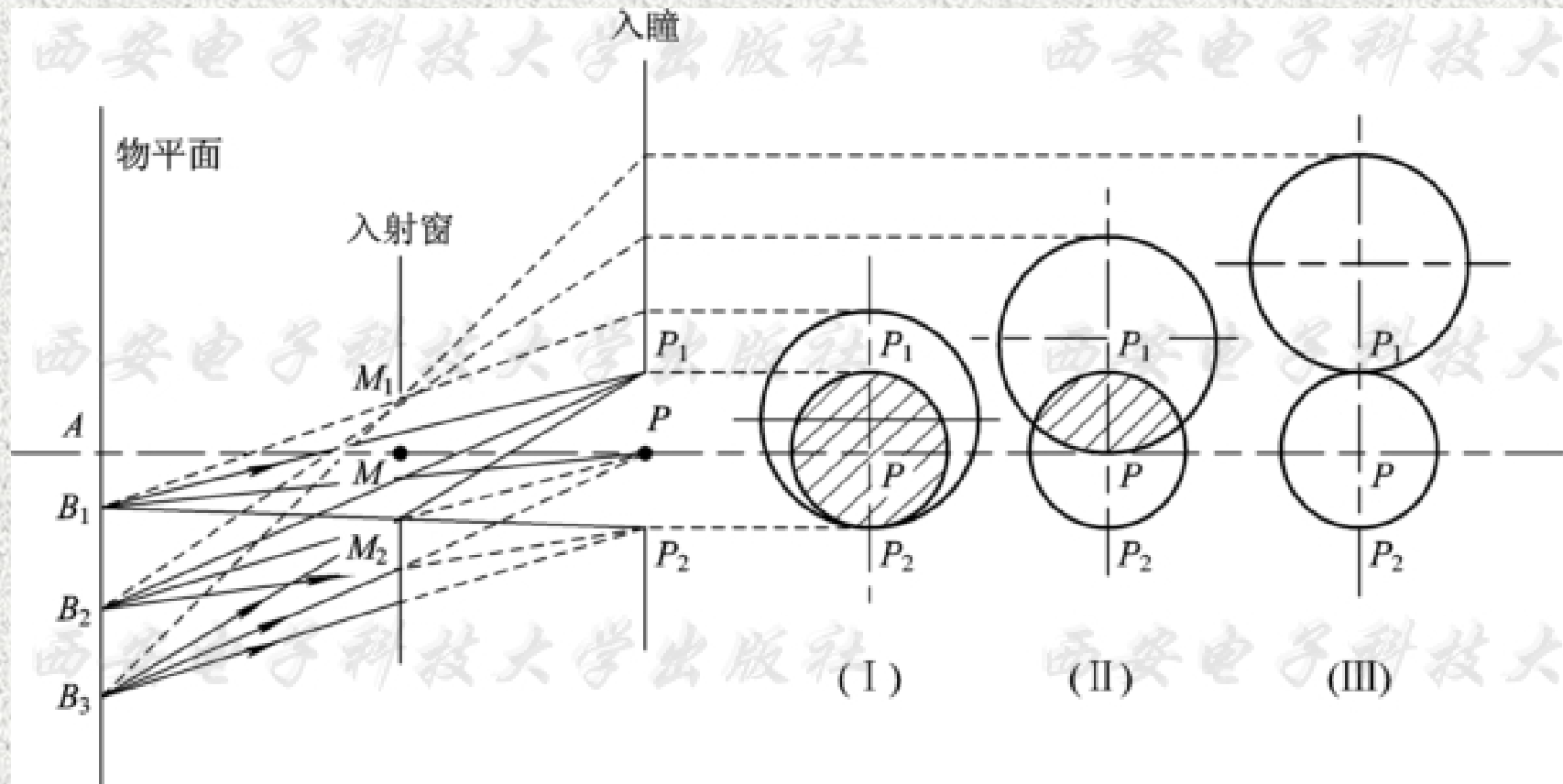


图5-6 入瞳大小对成像范围的影响及渐晕的形成

在物面上按其成像光束孔径角的不同可分为三个区域：

第一个区域是以为半径的圆形区。其中每个点均以充满入射光瞳的全部光束成像，此区域的边缘点由入射光瞳下边缘和入射窗下边缘点的连线所确定。在入射光瞳平面上的成像光束截面如图5-6a)所示。

第二个区域是以绕光轴旋转一周所形成的环形区域。在此区域内，每一点已不能用充满入射光瞳的光束成像，在含轴面内看光束，由点到点，能通过入射光瞳的光束由100%到50%渐变，这就是轴外点渐晕。这个区域的边缘点由入射光瞳中心和入射窗下边缘的连线确定。点发出的光束在入射光瞳面上的截面如图5-6b)所示。

第三个区域是以 B_2B_3 绕光轴旋转一周所得的环形区域。在此区域内各点能通过入射光瞳的光进一步变少，在含轴面内看光束，当由 B_2 点到 B_3 点时，光束由50%渐变到零，渐晕更严重。 B_3 点是可见视场最边缘点，它由入射光瞳上边缘点 P_1 和入射窗下边缘点 M_2 的连线所决定。 B_3 点发出的光束在入射光瞳面上的截面如图5-6c)所示。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/257050022065010006>