

# 从光的衍射看小孔成像与大孔成影

刘 华

(阜阳教育学院 236016)

小孔成像是人们熟知的一种光学现象,并常把小孔成像作为光在均匀介质中沿直线传播的例证.然而很少研究为什么小孔成像而大孔却成影,甚至有的把像和影混为一谈.笔者想从波动光学的观点出发,以光的衍射现象为参照对小孔成像的特点谈点认识.

## 小孔成像特点

1 当孔相对于光源或物体为小孔时,则在像屏上就会接收到该光源或物体的倒立实像,像与小孔的形状无关.孔稍大些像浓,孔小些像淡.

2 小孔逐渐增大,当孔的线度远大于光源的波长,即  $D \gg \lambda$ ,并且光源离孔很近,以致于孔屏上的孔相对于光源或成像物体为一大孔,则像屏上的像逐渐消失,在像屏上接收到的是一幅清晰的孔的投影.投影区域内的光强是均匀的,该亮斑的形状与孔形状相似,与光源形状无关.此时称为大孔成影.

3 在光源通过小孔成像过渡到大孔成影的过程中,当孔的线度介于小孔与大孔之间时,在像屏上将接收到一幅影像,该影像的边缘不再分明,看起来既像光源形态又似光孔的形状.

## 如何认识小孔的成像特点

从波动光学的观点看,任何成像系统对点光源所成的像都是点光源的衍射图样,只要衍射图样的中央亮斑不是太大(即衍射现象不显著)我们就可近似地认为它是物点的像点.同时,波动光学认为,光的传播过程在一定意义上讲就是一个衍射过程,光衍射的显著与否取决于发生衍射的孔或屏的线度与可见的光波长之比值的大小.从这一观点出发,来看小孔成像的实质是什么.

我们认为,小孔成像的过程实质上是一个衍射过程,一点光源发出的光通过小孔后发生衍射,在像屏上形成一个相应的衍射图样,该衍射图样中央主极大就是点光源经小孔所成的像.对于一个成像物体,其上每一光点都将对应地在像屏上形成各自的中央亮斑,这许许多多亮斑的集合就是物体的

像.一般地说发生显著衍射时,孔的孔径线度  $D$  约在  $10\lambda$  至  $1000\lambda$  之间,由于成像小孔的孔径线度往往限制在几千毫米,大于发生明显衍射时孔的线度,因此光通过小孔发生的衍射并不显著.同时由光的衍射规律可知,衍射图样的中央主极大的半角宽度  $\theta_0$  与孔线度  $D$  成反比,孔线度  $D$  越大,  $\theta_0$  越小,这样当光通过小孔衍射后形成的中央主极大的半角宽度  $\theta_0$  相对较小,在像屏上接收到的中央亮斑弥散就小,亮斑越小,像的清晰度越高,亮斑越小,由成像物体上相邻点形成的中央亮斑重迭就不严重,以致于人眼能够不费力地分辨出像的细节.因此,我们说小孔的成像可以看作光通过小孔衍射形成的.

为什么小孔成的像与光源相像,而与小孔的形状无关呢?从光的衍射规律看,光通过衍射孔发生衍射时,零级衍射斑(即中央主极大)中心位置从来就是几何光学像点的位置,是衍射光中沿直线传播的“直流”分量形成的,线状光源通过单缝的夫琅和费衍射形成的中央亮斑是一条亮线条,点光源通过单缝衍射形成的中央亮斑是一亮点,可见衍射屏上开的是一条缝,点光源在其后焦面上形成的衍射主极大是一个点而决不是与缝相似的直线型条纹.即使衍射屏是三角形、矩形等其他形状的孔,点光源通过它们衍射的平行光形成的中央主极大都是一个点像而与孔无关,所以说夫琅和费衍射的中央主极大主要记录的是光源的信息,并不反映孔的特征.这里并不是说小孔成像属于夫琅和费衍射,但是光通过截面有限的小孔必定会发生衍射,该衍射的中央主极大也应该具有一般衍射主极大的特点.与光源有关而与孔无关.我们再看几条光的夫琅和费衍射规律,中央主极大的半角宽度  $\theta_0$  与孔的线度成反比,这是与孔的形状无关的一个普遍有效的结论;在衍射装置中,点光源与接收屏不动,衍射屏沿光轴上下平移,或前后平移,零级衍射斑(中央主极大)的位置是不变的,其他各级次极大的位置也

是不变的,改变的是零级斑两侧高级斑的数目;如果光屏不动,而点光源的位置发生上下或左右的移动,零级衍射斑将朝着相反方向移动,这些都从不同角度说明了衍射的中央主极大与光源的对应关系.光源通过小孔成的像,是光通过小孔衍射主极大的中心,衍射主极大的集合即小孔的像应集中反映光源的特征,而不能直接反映出孔的形状.从光屏不动,光源的位置发生移动时,光的零级衍射斑将向着相反方向移动这一衍射特点,可以直接推出小孔成的像是倒像.孔大像浓孔小像淡与衍射图形中任一处光强度正比于孔的面积的正方的规律一致.

顺便指出,小孔的形状是否对该孔成的像不产生影响呢?不是的.我们知道,点光源的单缝夫琅和费衍射图样是以中央亮斑为中心其他各级次极大亮斑对称分布在两侧,点光源的圆孔夫琅和费衍射图样是以中央亮斑(爱里斑)为中心,次极大是一系列同心亮环.仅就中央亮斑来讲,同一光源,单缝衍射主极大集中了全部衍射光的能量接近80%;而圆孔衍射中央亮斑却集中了全部光能量的84%.所以,尽管孔的形状不影响衍射主极大的位置等特征,但由于孔衍射作用将影响各级衍射极大光强的分配,它却调制了主极大的强度.因此,同一光源通过不同形状孔成的像的亮度不会相同.

随着衍射屏上孔的线度的增加,衍射效应减小,当孔的线度  $D \gg \lambda$  时,衍射效应可以忽略,光沿直线传播,当光在传播过程中遇到大的障碍物时,就在物体背后形成一个黑暗区域叫做影.同理,当小孔的线度增大到远远大于光源的波长时,衍射效应也不易观察到,光源发出的光沿直线传播时遇到大孔,如同遇到其他障碍物一样,在大孔背后留下一个清晰的投影,投影区域内的光强是均匀的,轮廓分明,此时就是大孔成影,影的形状不再能直接反映光源的形状,而与孔的形状相似.

当孔的线度在小孔与大孔之间时,像屏上会出现既像光源形状又像孔形状的影像.这一现象与光的衍射现象是相似的.一幅夫琅和费衍射图样既能反映光源的特征也能反映衍射屏上孔的形状,衍射屏上的孔可以是单缝,可以是三角形、圆形等,但每个形状的孔都有一个与之相对应的夫琅和费衍射图样.同理,当小孔逐渐增大到还不足以成为大孔时,光的衍射趋势在减弱,光的直线传播成分在增

强,在像屏上可看到在大孔的几何投影亮区上重迭着一幅小孔的衍射图样.此时大孔成的影与小孔成的像的光强相互迭加,影像在像屏上共存.笔者做过这样一个实验,以一个等腰三角形作为小孔,三角形的腰长有15 mm,边长约5 mm.一支点燃的蜡烛离它很近时,在像屏上接收到的是该三角形亮斑,轮廓清晰.当烛焰逐渐远离三角形孔时,三角形亮区的边缘逐渐变得模糊,三个角逐渐变得圆滑,亮区内依稀可看到的烛焰在闪动.这说明光的衍射与光的直线传播之间并没有严格的分界线.

从以上讨论可以看出,把小孔成像看作孔在一定线度内光的衍射的结果,可以恰当地解释小孔成像与大孔成影等现象.这种解释并不排斥把小孔成像看作光的直线传播的例证的观点.然而,严格按直线传播的光实际上并不存在,光的直线传播只是光的衍射在一定条件下的特例.从光的衍射的角度去看小孔成像,可以对孔成的像和影做出更为合理解释,同时也说明了光在传播过程中,当障碍物的线度由小到大,光将会发生从量变到质变的现象.小孔成像也提供说明光的直线传播与光的衍射在光的电磁理论的基础上是统一的例证.

#### 参考文献

梁绍荣,刘昌年,盛正华.普通物理学.第四分册,光学.

### 变“洋葱”为金刚石

石墨能变成金刚石,但必须在高温(1600 K)和高压( $10 \times 10^9$  Pa)下,并有催化剂的情况下方能实现.现在,纳米金刚石产品已能靠用离子束辐照“碳洋葱”(施有较大预应力的石墨)成核和生长出来.利用3 MeV的氮离子轰击“洋葱”30小时,通过离子同碳核的碰撞,处理石墨中的空隙和填隙物.金刚石在“洋葱”心的高曲率处成核,这地方像一个小型的高压室,成核以后,金刚石的生长便不需要高压了.

天津大学物理系 陈宜生

(摘译自《Physics Today》)