

光学仪器丛书



生物显微镜

光学仪器丛书《生物显微镜》编写组编

42.1

机械工业出版社

前 言

在毛主席革命路线指引下，光学仪器工业战线上的广大职工，坚持以阶级斗争为纲，坚持党的基本路线，认真贯彻“独立自主、自力更生”的方针，高举“鞍钢宪法”的旗帜，深入开展“工业学大庆”的群众运动，使我国光学仪器工业得到了迅速发展。为了普及光学仪器知识，使广大工农兵能更好地使用光学仪器，使国产仪器在三大革命运动中充分发挥其效用，特由上海光学仪器研究室组织有关单位编写了《光学仪器》丛书。

此丛书包括显微镜、光学计量仪器、物理光学仪器、测绘仪器等几方面，将按产品陆续分册出版。书的主要内容包括原理、结构、使用、维修等。

本分册由江南光学仪器厂、哈尔滨工业大学执笔。在编写过程中，曾得到有关单位的大力协助，在此表示感谢。

由于水平有限，书中难免有错误之处，望广大读者批评指正。

目 录

第一章 概述	1
一、生物显微镜在国民经济中的作用	1
二、生物显微镜的分类	2
三、生物显微镜的发展概况	2
第二章 透镜成象原理	4
一、透镜的分类	4
二、透镜的焦点和主点	7
1. 焦点和焦平面	7
2. 主点和主平面	8
三、透镜成象的作图法	10
四、透镜成象公式	13
1. 牛顿公式	14
2. 高斯公式	15
五、透镜成象质量	16
1. 色差	17
2. 轴上点的单色象差——球差	18
3. 轴外点的单色象差	19
六、组合透镜	23
1. 组合透镜总焦距及焦点、主点位置的确定	23
2. 组合透镜公式的应用	24
3. 组合透镜的成象质量	25
第三章 显微镜光学原理	26
一、眼睛的光学性质	26
1. 眼睛的构造及其视觉作用	26
2. 眼睛的鉴别率	26

3. 眼睛的调节和适应	29
二、放大镜	30
三、显微镜光学原理	31
1. 显微镜的放大率	33
2. 显微镜的光束限制	34
3. XSP-13型1250×生物显微镜光学原理	36
四、显微镜物镜	37
五、显微镜目镜	40
1. 目镜的种类	41
2. 双目显微镜	46
六、显微镜的基本光学参量	48
1. 物镜的数值孔径	48
2. 显微镜的鉴别率	49
3. 显微镜的放大率	51
4. 显微镜的视场	53
5. 显微镜的工作距离	54
6. 显微镜的景深	54
7. 显微镜的图象亮度和清晰度	55
8. 各光学参量间的关系及正确选择	55
七、显微镜的照明系统	59
1. 临界照明	59
2. 柯拉照明	60
3. 常用聚光镜的类型	61
4. 暗场照明	63
第四章 显微镜的机械结构	65
一、直筒显微镜与弯把显微镜的结构比较	65
二、显微镜的调焦机构	67
1. 粗动调焦机构	67
2. 微动调焦机构	68

3. 粗动与微动同轴式	71
三、物镜转换器	72
四、载物台	74
1. 固定载物台加移动尺	74
2. 活动式载物台	76
3. 固定载物台与活动载物台的比较	78
第五章 生物显微镜的操作、维护和修理	79
一、生物显微镜的操作	79
1. 使用环境的选择	79
2. 试样准备	81
3. 光学系统的安装	83
4. 物镜的正确调焦	86
5. 摄影法	89
6. 投影法	98
7. 操作实例	99
二、生物显微镜的维护保养	107
1. 光学仪器的特点及一般维护保养	107
2. 显微镜光学零件常见疵病	108
3. 显微镜的防霉、防雾措施	112
4. 显微镜光学部分常见疵病的处理	114
三、显微镜的机械维修	116
1. 粗动调焦机构的维护和修理	116
2. 微动调焦机构的维护和修理	122
3. 物镜转换器的维护和修理	125
4. 载物台的维护和修理	127
5. 其他	129
四、生物显微镜的保管	132
1. 显微镜在使用状态下的保管	132
2. 仓库中的保管	133

五、显微镜的包装和运输	134
1. 成批仪器的包装和运输	134
2. 单件显微镜的携带和运输	135
第六章 国产生物显微镜介绍	136
一、2XA 型生物显微镜	136
二、L-301型生物显微镜	137
三、XSB-03 型生物显微镜	138
四、XSP-9 型生物显微镜	139
五、TWX-1 型微型生物显微镜	140
六、其他显微镜	141
1. XSA-1 型暗场生物显微镜	141
2. XSA-5D 型暗场生物显微镜	142
3. XSY-1 型荧光生物显微镜	143
4. XSX-1 型相衬显微镜	144
5. XSJ-1 型研究用生物显微镜	146
6. XST-1 型投影生物显微镜	148
7. XSS-1 型摄影生物显微镜	149
8. 电影显微镜	150
9. XSD-1 型电视显微镜	151
七、展望	152
附 几种国产普通生物显微镜性能表	154

第一章 概 述

一、生物显微镜在国民经济中的作用

光学仪器广泛应用于国防和国民经济各部门，如检定产品质量、控制生产流程、研究微观世界、宇宙探索等。

显微镜的发明，突破了人类的天然生理限制，把视觉伸展到肉眼所不能见到的细小结构里去了。从此，人们可以窥探自然界的秘密，把知识范围大大扩展开来。

生物显微镜是一种比较简单的光学仪器。目前，它已成了不可缺少的重要工具之一。不管是生物学、细菌学、细胞组织学、药物化学、临床试验、粮食种子检查、植物纤维分析、植物保护和教学示范等各方面，都几乎不能离开生物显微镜而进行研究或进行日常工作。

农业是国民经济的基础。发展农业的措施之一就是提倡科学种田。而防治植物病虫害，培育新品种，改良土壤和合理施肥等一系列科学种田方法，都离不开生物显微镜。例如，水稻的一大病虫害——螟虫的防治就需要利用生物显微镜对螟虫卵随时取样观察、判别，掌握它的孵化期，及时预报，提早准备，在幼虫刚出来时马上用农药消灭。这是保证水稻丰产的重要措施之一。

在畜牧区，大牲畜的人工受精繁殖已成为发展畜牧业的关键措施之一，而开展这项工作就离不开生物显微镜。

我国工业、农业、国防和科学技术领域中的一些尖端项目的研究与生产也都需要生物显微镜。

二、生物显微镜的分类

生物显微镜按用途可分为普通型、特种型和高级型三类。

普通型生物显微镜仅供作一般使用和普通研究用。如旋毛虫显微镜、倒置式生物显微镜、携带式生物显微镜以及通常的农用和医用显微镜均属这一类。本书将以这类显微镜为例向操作者详细介绍生物显微镜的有关知识。

特种型生物显微镜，供在特定条件下使用、观察和研究，或作某种专门使用、观察和研究。干涉显微镜、暗场生物显微镜、相衬生物显微镜、荧光生物显微镜、紫外光生物显微镜和电视生物显微镜均属这一类。

高级型生物显微镜系指大型多用途、附件比较齐全的生物显微镜。如研究用生物显微镜和万能研究用生物显微镜等均属这一类。

三、生物显微镜的发展概况

生物显微镜虽然是一种比较简单的利用光学原理进行观察分析的仪器，但在灾难深重的旧中国，中国人民深受三座大山的压迫、剥削和掠夺，生物显微镜完全依赖进口，国内只有一两所修修配配的所谓“修理所”，根本没有自己的光学工业。

新中国成立以后，随着国民经济的发展，光学工业也发展起来了。生物显微镜就是光学仪器中发展最早的一个品种。

一九五三年，我国开始成批生产675倍生物显微镜，一九五五年开始生产1500倍生物显微镜。现在，我国已能生产

多种普通型生物显微镜和特种生物显微镜，也能生产研究用生物显微镜。平场消色差物镜正在逐步推广。

二十多年来，我国的光学仪器工业是在毛主席关于“独立自主、自力更生、艰苦奋斗、勤俭建国”的方针指引下，抵制、批判了刘少奇等崇洋迷外的修正主义路线，冲破了限制光学工业发展的条条框框，从无到有，从小到大建立和发展起来的。特别是在大跃进的年代里和无产阶级文化大革命中，生物显微镜伴随着光学工业的蓬勃发展，变化很大。目前，我国已有一定数量的生物显微镜畅销欧洲、东南亚和非洲。

虽然我国光学工业取得了很大成绩，由于受刘少奇、林彪的反革命修正主义路线的干扰，远远不能满足国民经济各部门的要求，特别是科学种田和合作医疗的要求。今后应大力增加产量，发展品种，提高质量，加强科研工作，采用新技术、新工艺和新材料。对物镜系列和目镜系列进行标准设计，这对增加显微镜的产量、品种和提高成象质量都有重要作用。

第二章 透镜成像原理

一、透镜的分类

在显微镜中，透镜是用得最多，也是最重要的一种光学零件。它是由两个球面（也可能一个是平面）构成的圆形零件。通过球面的中心并垂直于平面的直线称为透镜的光轴。

按透镜性质可分为两大类：

(1) 会聚透镜

这种透镜能使光线向光轴靠拢。它中间厚边缘薄，所以又叫凸透镜或正透镜，如图2-1 a 所示。

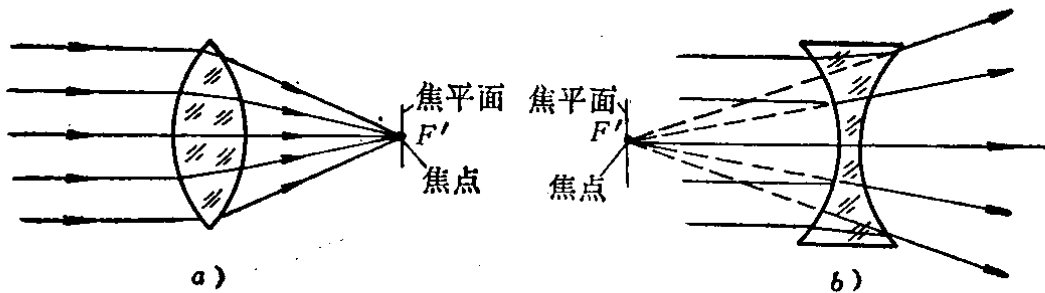


图 2-1

a) 会聚透镜 b) 发散透镜

(2) 发散透镜

这种透镜能使光线背向光轴散开。它中间薄边缘厚，所以又叫凹透镜或负透镜，如图2-1 b 所示。

无论是正透镜还是负透镜，光线沿光轴通过以后，都不改变方向。

按透镜的形状，又可以分成三类：

(1) 双凸 (或双凹) 透镜

透镜两球面的球心在透镜的两边, 如图 2-2 左边所示的球镜。

(2) 凹凸 (或凸凹) 透镜

透镜两球面的球心在透镜的一边, 如图 2-2 中间所示的透镜。

(3) 平凸 (或平凹) 透镜

透镜表面的一个面是平面, 如图 2-2 右边所示的透镜。

由图 2-2 可以看出,

a 图的透镜都是中间比边缘厚, 所以全是会聚透镜。
b 图的透镜都是中间比边缘薄, 所以全是发散透镜。

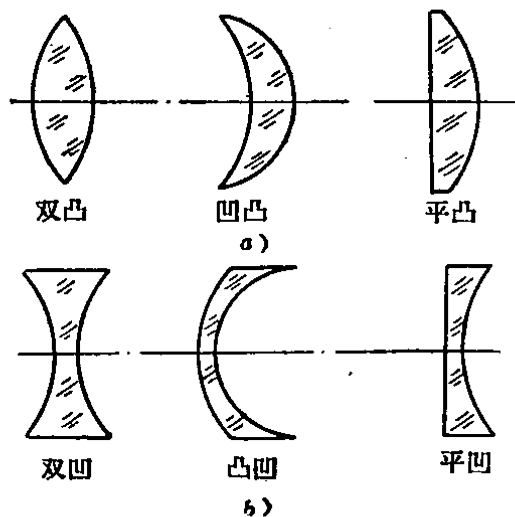


图 2-2

a) 会聚透镜 *b)* 发散透镜

按透镜的复杂程度, 还可以把透镜分成:

(1) 单透镜

仅仅是由两个球面 (或其中有一个是平面)

构成的透镜叫单透镜。如图 2-1、2-2 所示的透镜。

(2) 复透镜

由两个或两个以上单透镜胶合而成的透镜叫复透镜, 或叫胶合透镜。最常见的是两块单透镜用冷杉树脂胶胶合而成的双胶合透镜。也有用三块单透镜胶合起来的三胶合透镜, 如图 2-3 中 *a*、*b* 所示。

(3) 透镜组

由两个或两个以上的、互相隔开一定距离的单透镜 (或

复透镜)组成的系统,叫透镜组。

透镜组在显微镜中用得最多。图2-3中的c图是江南光学仪器厂生产的5倍惠更斯目镜。它是由两块单透镜构成的透镜组。

图2-3中的d图是同一厂生产的10倍生物显微镜物镜,它是由两块复透镜构成的透镜组。

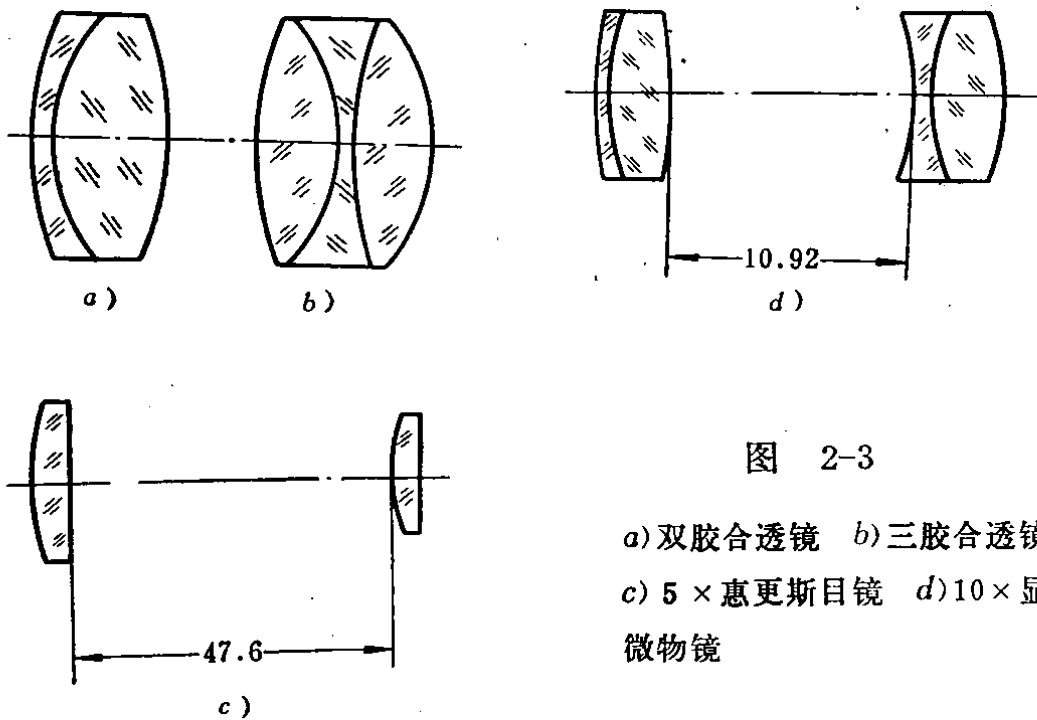


图 2-3

a) 双胶合透镜 b) 三胶合透镜
c) 5 × 惠更斯目镜 d) 10 × 显微镜物镜

透镜的表面一般都做成球形的,这倒不是说只有球面构成的透镜才最理想,这仅仅是由于目前的透镜加工方法,平面和球面比较容易,能够保证加工精度的缘故。除非在极特殊的场合,才采用其他形状的表面,统称非球面(例如抛物面等)透镜。非球面透镜虽然比较理想,但制造比较复杂,不易保证应有的加工精度。所以较多的是用非球面作聚光镜系统。

二、透镜的焦点和主点

1. 焦点和焦平面

一束平行于光轴的光线通过透镜后聚交于一点(如图2-1中 F')，这个点就叫焦点。例如，拿一块凸透镜，让它的光轴对着太阳一照，就会在透镜后面某个距离上得到一个非常亮的小圆斑。这个小圆斑能点着纸或烟一类容易着火的物体。它就是透镜的焦点。它实际上是太阳经过这块透镜的象，如图2-1中 a 图所示的那样。以后，我们把透镜左面的空间叫物空间，右面的空间叫象空间。物空间里的物体(如太阳)，经过透镜后在象空间里成象(如焦点)；而且离透镜一定距离的物体，只能在离透镜一定距离的位置上产生一个象，这种关系，我们叫它“共轭”。

这样，太阳和焦点，就算是共轭的了。

通过焦点并垂直光轴的平面，叫焦平面。

很明显，焦点有两个，如图2-1那样，在象空间里的焦点，写作 F' ，叫象方焦点。焦平面叫象方焦平面。反过来，在物方空间里也有一个焦点，叫物方焦点，写作 F 。同样，也有一个物方焦平面。

对凹透镜来说，从太阳来的光线(因为太阳离我们很遥远，所以它的光线对我们来说都是平行的)通过透镜以后都散开了，在象空间没有交点，只有它们的延长线才能相交，而且交点在物空间里，如图2-1中的 b 图所示。

这种不是光线真正交点而是它们延长线交点所成的象，叫“虚象”，而图2-1中 a 图的透镜所成的象是光线真正的交点，叫“实象”。

这样，凹透镜的焦点就是虚焦点，而且和凸透镜不同，

是在透镜的左方。同样，它的物方焦点也是虚的，而且在透镜的右方。正好和凸透镜完全相反。

实象因为是光线的真正交点，所以能在纸上显出亮点，甚至把纸点着，而虚象则显不出亮点，更不能把纸点着，但是我们若对着透镜看，却完全能看见它，好象它真在那里（如图2-1中b图的透镜之焦点 F' ）一样。

2. 主点和主平面

上面讲到，焦点是透镜的一个特殊点，和它共轭的物体是太阳，离透镜很遥远，我们以后统一说成是无限远，并以符号“ ∞ ”表示。

除此之外，透镜还有一对特殊的共轭点，如图2-4所示，就是物方主点 H 和象方主点 H' ；还有一对共轭面，就是分别通过物方主点和象方主点而垂直于光轴的物方主平面和象方主平面。

按照共轭的规定，如果物体在物方主平面上，象一定在象方主平面上，而且这对共轭面还有一个特点，就是成的象和原来的物体完全一样，也就是说，还是那样大小，也没有颠倒（物象方向一致）。由图2-4可见，透镜的象方主点 H' ，是

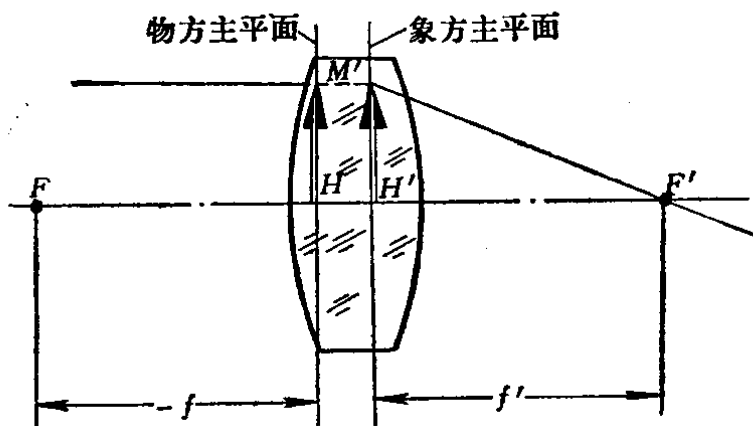


图 2-4

由通过入射光线延长线和出射光线的交点 M' 作光轴的垂线而得到的。

根据透镜的形状不同,它的两个主平面的位置也不一样。常见的透镜主平面的位置如图2-5所示。

由图可见,与焦点不同,透镜的两个主点可以在透镜里面,也可以在透镜外面。

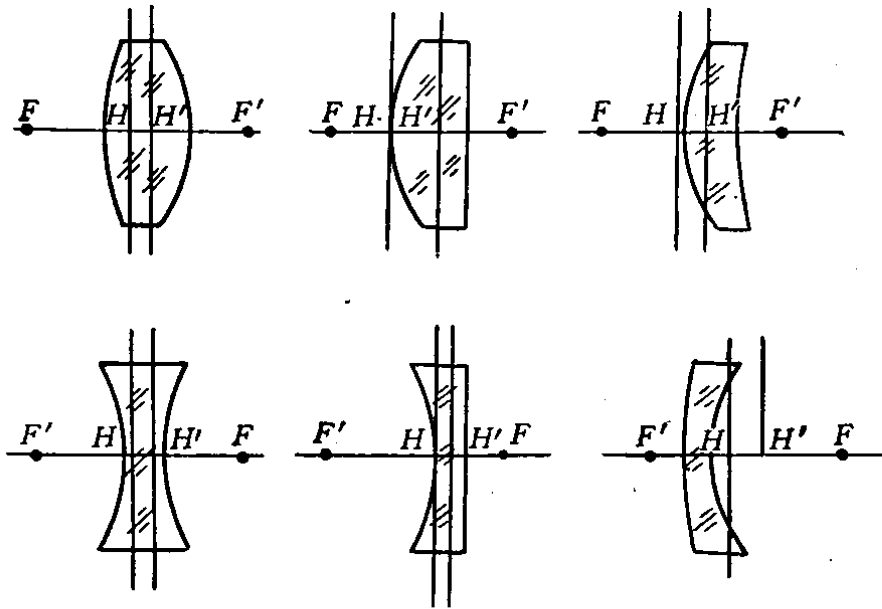


图 2-5

从主点到焦点的距离,叫焦距。从象方主点到象方焦点的距离叫象方焦距,用 f' 表示,规定以 H' 为起点,由左向右为正;从物方主点到物方焦点的距离叫物方焦距,用 f 表示,规定以 H 为起点,也是从左向右为正(参看图2-6)。

综上所述,一块透镜一共有四个特殊点,即物方焦点、物方主点、象方主点和象方焦点 (F 、 H 、 H' 、 F');有四个通过基点的特殊面,即物方焦平面、物方主平面、象方主平面和象方焦平面。这些特殊的点和面,虽然不象一般的物质点和物质面一样,能看得见摸得着,但是对一块透镜来说确

实是存在的。只要透镜的材料、厚度和表面形状（即球面的半径）一定时，它们的位置就可以用公式计算出来，也可以用实验的方法找出来。同样，用这两种方法也就定出了透镜的焦距。

透镜的这些点和面能正确的、全面的反映透镜的性质。以后再研究透镜成像规律时，就可以利用这些点和面来代替透镜而不管实际透镜如何，就如同拿 5 来代替 $2 + 3$ 一样。这种代替的结果，使我们能迅速地、正确地找出透镜成像情况，而这些情况，正是我们工作中所需要掌握的。

三、透镜成像的作图法

研究透镜成像，就是要找出它的规律。所谓透镜成像规律，就是物体（它的大小、形状和离透镜的距离）、透镜（它的基点位置和焦距）和象的性质（它的大小、离透镜的距离、象的倒正、虚实和质量等）间的普遍关系。

解决这个问题的途径有两个：作图法和计算法。这里先介绍作图法。

如果透镜的基点位置已知（如图 2-6 所表示的那样），则

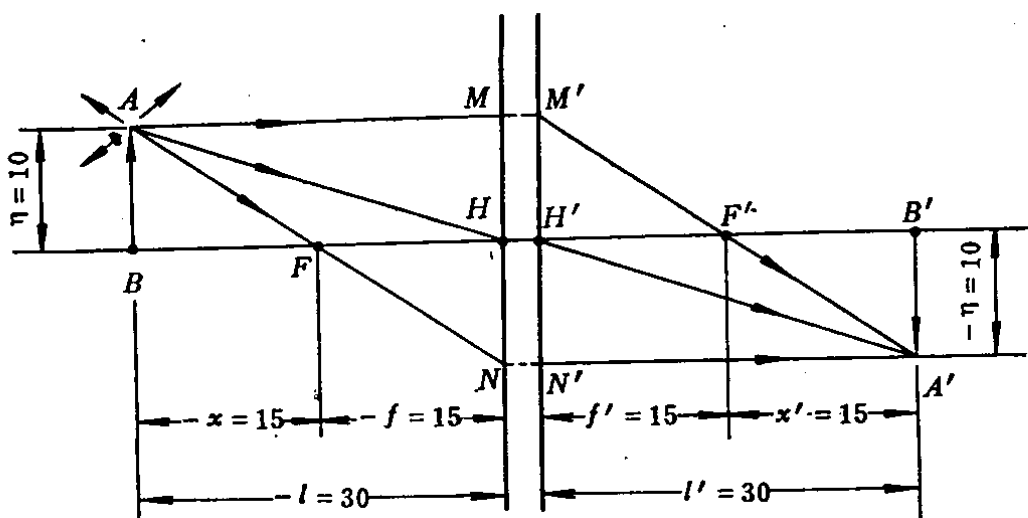


图 2-6

根据这些点的位置，通过作图确定某物体成象性质的方法就是透镜成象的作图法。

如图2-6，已给定四个基点： F 、 H 、 H' 和 F' ，透镜的焦距 $f' = 15$ 毫米。因为 F' 在透镜右面，在象空间里，可见这代表的是一块正透镜。按前面焦距的符号规定，物方焦距应该是负的，即 $-f = 15$ 毫米，(或 $f = -15$ 毫米)。由光学理论证明，因为透镜都放在空气当中用，两边都是空气，它的物方焦距 f 和象方焦距 f' 总是大小相等、方向相反的，也就是说：

$$f' = -f$$

现在在物方焦点 F 左方15毫米处放一个物体 AB ， AB 离开焦点 F （或主点 H ）的距离叫物距，以 x （或 l ）表示。同样，象 $A'B'$ 离开象方焦点 F' （或象方主点 H' ）的距离叫象距，以 x' （或 l' ）表示。物距从 F （或 H ）点起算，象距从 F' （或 H' ）点起算，都是从左向右为正。图2-6上已经标出了它们的符号。至于物体大小的符号 η ，规定光轴以上为正，以下为负。

现在，我们来确定 AB 的象 $A'B'$ 。先确定 A 点的象 A' 。

从 A 点向各方向发出许多光线。因为从一点发出的光线，经过透镜后都要相交于它的共轭点（即象点），所以要确定 A 的象，只要找到象空间里两条共轭光线的交点就够了。

对于求这两条光线，当然应当以简单方便为宜。这就要利用前面讲过的基点的性质。就是：

(1) 在物空间平行于光轴的光线，例如光线 AM ，经过透镜后应该通过象方焦点(F')，成为 $M'F'A'$ 。

(2) 在物空间通过物方焦点的光线，例如光线 AFN ，经过透镜后应该平行于光轴，成为光线 $N'A'$ 。