

# 光学零件制造工艺学

402 教研室 编

(中册)

北京工业学院

1974.9

目 录

第六章 光学零件的精磨工艺..... 6.1

第一节 光学零件散粒磨料的精磨..... 6.1

§ 1 球面零件精磨前的装夹与工夹具设计..... 6.1

(一) 弹性装夹

(二) 刚性装夹

(三) 弹性装夹时透镜在镜盘上的分布

(四) 弹性装夹时透镜用夹具

(五) 刚性装夹时透镜在镜盘上的分布与夹具尺寸

(六) 加工透镜用精磨模和贴置模

(七) 各种球模非工作面结构尺寸及加工要求

§ 2 稜镜精磨前的装夹与工夹具设计..... 6.33

(一) 弹性胶法

(二) 石膏装盘

(三) 装体装夹法

(四) 光胶法

(五) 加工稜镜用磨模和贴置模

(六) 平面模、胶模、贴置模等非工作面结构尺寸

§ 3 平面平行零件精磨前的装夹与工夹具设计..... 6.48

(一) 分划板、度盘等的装夹

(二) 点胶法

(三) 浮胶法

(四) “毛光”

(五) 光胶

- (六) 分离器
- (七) 圆形平面平行零件在镜盘上的分布

§ 4 散粒磨料的精磨工艺 ..... 6.55

- (一) 散粒磨料精磨用机床
- (二) 粘结材料
- (三) 精磨磨料分类
- (四) 精磨模的修改
- (五) 如何在精磨中保持精磨模表面曲率半径的精度
- (六) 精磨中角度的控制
- (七) 稜镜精磨抛光中的工序安排
- (八) 精磨中的加工用量
- (九) 精磨中的加工余量
- (十) 平面精磨工艺
- (十一) 球面精磨工艺
- (十二) 采用准球心高速精磨抛光机，进行

球面散粒磨料的精磨 .....

第二节 金刚石烧结磨具的高速精磨 ..... 6.72

- § 1 采用金刚石高速精磨的优点 ..... 6.72
- § 2 高速精磨机介绍 ..... 6.73
- § 3 磨具简介 ..... 6.75
- § 4 镜盘的装夹问题 ..... 6.76
- § 5 加工余量、加工时间与加工精度 ..... 6.76
- § 6 冷却液简介 ..... 6.76

第七章 光学零件的抛光工艺 ..... 7.1

第一节 抛光原理 ..... 7.1

§ 1 纯机械作用.....	7.1
§ 2 流布作用.....	7.2
§ 3 化学作用.....	7.3
第二节 古典法抛光.....	7.5
§ 1 抛光付料的选配.....	7.5
(一) 抛光柏油的选配	
(二) 抛光剂和柏油的选配	
§ 2 光圈的识别与修改.....	7.6
(一) 识别光圈	
(二) 光圈的修改	
§ 3 球面镜盘抛光.....	7.15
§ 4 几种平面镜盘的抛光.....	7.16
(一) 立方体、长方体抛光特点	
(二) 分离器抛光特点	
(三) 平面手抛光	
§ 5 光学样板与玻璃角规的规格与制造特点.....	7.20
(一) 光学样板	
(二) 玻璃角规	
§ 6 平面光学工具的规格与制造.....	7.34
(一) 平行光学垫板、平面压板、平面托盘	
(二) 分离器规格参考数据及其加工特点	
(三) 长方体规格参考数据及其加工特点	
(四) 立方体规格参考数据	
第三节 准球心高速抛光.....	7.41
§ 1 准球心高速抛光的特点.....	7.41

§ 2	准球心高速抛光机床	7.43
(一)	中球面高速抛光机(1)—— GP5 或 QP50—1	
(二)	中球面高速抛光机(2)—— QP50	
(三)	中型球面高速抛光机(3)—— JP150	
(四)	大型球面高速抛光机 —— QP120	
(五)	平面高速抛光机 JP350	
§ 3	抛光模	7.59
(一)	对抛光模的要求	
(二)	球面抛光模	
(三)	平面抛光模	
§ 4	镜盘或抛光模具的准球心问题	7.76
§ 5	粘结火漆	7.77
§ 6	准球心高速抛光工艺	7.79
(一)	光圈的修改	
(二)	光洁度问题	
(三)	抛光效率问题	
第四节	范成法抛光	7.86
§ 1	范成法抛光原理	7.86
(一)	范成法抛光特点	
(二)	光圈调整原理	
§ 2	范成法抛光实验机床简介	7.91
(一)	卧式实验机床	
(二)	立式 Q8318A 型范成法抛光机	
§ 3	抛光轮	7.93
(一)	内外径的确定	

(二)	抛光轮的结构与外形	
(三)	抛光轮塑料层的组成	
§ 4	镜盘的装盘问题	7. 97
§ 5	范成法高速抛光粘结用火漆	7. 100
§ 6	实验生产情况	7. 101
第五节	离子抛光简介	7. 102
第六节	光学零件精磨抛光后的检验测试	7. 104
§ 1	表面光洁度检验	7. 104
§ 2	用光学样板检验表面曲率半径	7. 105
§ 3	环形球径仪检验表面曲率半径	7. 105
§ 4	自准直望远镜测量角度误差和平行差	7. 108
§ 5	平面干涉仪	7. 113
§ 6	激光球面干涉仪	7. 122
第八章	透镜的定心磨边工艺	8. 1
§ 1	机械法定心磨边	8. 1
(一)	机械法定心的原理	
(二)	机械法定心机床	
(三)	夹紧力	
(四)	机械法定心中易产生的疵病	
§ 2	光学法定心磨边	8. 24
(一)	光学法定心磨边机床	
(二)	用反射象定心	
(三)	用透镜象定心	
(四)	光学法定心用粘结胶	
(五)	光学法定心磨边中易产生的疵病	
§ 3	定心磨边的直径加工余量与公差	8. 32
§ 4	透镜偏心差检验	8. 34
§ 5	散粒磨料倒边用倒边模	8. 35

## 第六章 光学零件的精磨工艺

精磨是在粗磨以后的一道工序，国内称呼不一，有称精磨的，也有称细磨的，总之是指粗磨和抛光中间的这一道工序。这道工序的目的有两个：其一是通过精磨使零件表面凹凸层深度减小，以满足抛光的要求；其二是使零件表面的曲率半径或平面度进一步改善，为抛光作好准备。

在这一章中将讨论精磨前零件的装夹，精磨所需要的夹模具，精磨的工艺等。

近年来金刚石固着磨料的精磨有着很大的发展，国内不少单位正积极试验，它对于精磨本身，特别是对于抛光有着很大的意义。因为在适当的工艺条件下，金刚石精磨具有散粒磨料精磨所没有的优点，例如零件的表面光洁度比最细的金刚砂所加工的表面光洁度好得多，零件的几何形状精度高，加工效率高。因此，用金刚石精磨后的工件表面会大大缩短抛光所需要的时间，从而会使抛光过程只是把零件抛亮，而不破坏精磨以后的几何形状精度，解放抛光必须依靠操作者的技艺。从这方面来看，金刚石固着磨料的精磨对改变光学加工的落后面貌，提高劳动生产率有着很关键的意义。所以在这一章内用两节分别介绍散粒磨料的精磨与金刚石固着磨料的高速精磨。

### 第一节 光学零件散粒磨料的精磨

#### § 1 球面零件精磨前的装夹与工夹具设计

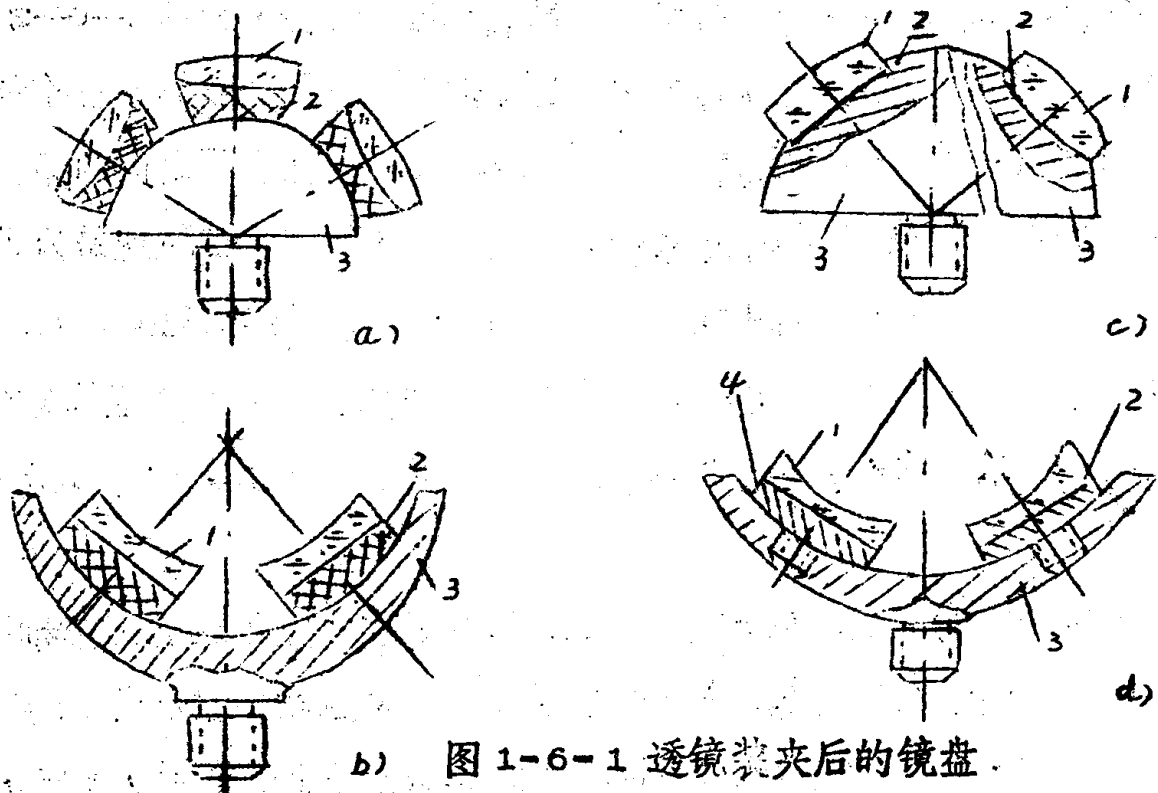
伟大领袖毛主席教导我们：“在某种意义上说来，最聪明、最有才能的，是最有实践经验的战士。”广大劳动人民在长期生产实践斗争中总结出了这样的一条经验：在球面和平面的研磨和抛光中，是使用一定的夹具把若干个光学零件的具有相同曲率半径的加工面装夹起

来成为一个球面或平面而后加工的。在车间里我们看到的也正是这样的。这样做不仅提高劳动生产率，也容易保证产品的质量。为什么可以这样做呢？“事物发展的根本原因，不是在事物的外部，而是在事物的内部的矛盾性”。因为，我们可以把光学零件的平面和球面看成是一个大平面或者一个相同曲率半径的球表面的一个部分，因此，我们可以把具有同一曲率半径的球面零件组成一个球面，这个球面就是镜盘的加工面，然后，进行加工。由此，我们可以联想到，假如零件的加工面本身没有具备这个性能的话，也就不可能成盘加工，例如，某些非球面零件。

光学零件的装夹方法是很多的。它主要决定于光学零件的形状、技术要求、生产量和加工用量。但是，不论何种装夹方法都应该达到一个共同的要求，这些就是：装夹过程应力求不产生应力，或者应力很小，以便保证光学表面应有的光圈和角度；装夹方法不应该产生机械损伤，以便防止光学表面的光洁度变坏；装夹要牢固，能够经受住加工时所承受的速度和压力；装夹方法应迅速简单。

透镜装夹以后所成的镜盘如图 1—6—1 所示，它们的共同点是：都是由被加工透镜、粘结火漆层和具有一定曲率半径的球面夹具（称胶球模）这三个部分所组成，夹具的球面应该与镜盘表面成同心圆。我们从图 1-6-1 看到，a，b 所示的粘结火漆层都较厚，夹具表面是一个球面；c，d 所示则粘结火漆层较薄，或者用真空吸气法吸住，夹具表面除是一个球面以外，在球面上还有不同形状和尺寸的凹坑或垫块。我们把前面这种装夹方法称为弹性装盘，因为，它的粘结火漆层比较厚，透镜加工时就粘结在足够弹性的粘结火漆层上；把后面这种装夹方法称为刚性装盘，它的粘结火漆层很薄，零件加工时装夹在夹具表面的专用垫块上。目前，国内工厂以采用弹性装盘法为主。





b) 图 1-6-1 透镜装夹后的镜盘

a、b 弹性装盘法      凸镜盘、凹镜盘  
 c、d 刚性装盘法      凸镜盘、凹镜盘

1. 被加工透镜    2. 粘结层    3. 夹具    4. 金属垫块

(一) 弹性装盘：

前面已经讨论过，球面之所以能够成盘加工，其根据是在我们把每一块透镜的加工面看成是镜盘球面的一部分。因此，我们在装夹时首要的一点，是要保证被装夹的加工表面必须处于同一球面上，这个球面就是镜盘的表面。如何实现这个要求呢？在弹性装盘时我们采用一个贴置模，贴置模表面的曲率半径应该基本上与被加工面的曲率半径相等（稍有出入后面再讨论），但符号相反，此表面即作为装夹过程的基准面。在小批试制中，一般不专门准备贴置模，而用第一号清磨模代替。

弹性装盘的方法是先将粘结用火漆粘结到透镜的非加工表面上，

如图 1-6-2(d)(e) 所示，将另件表面与贴置模表面用汽油等溶剂搽洗干净，然后，将透镜的加工表面贴置到贴置模内，如图 1-6-2(a)(b)所示，排列要整齐均匀，在透镜的最外圈的外面放置三个相距为  $120^\circ$  的钢珠，钢珠的直径等于夹具表面与镜盘表面之间的距离，也即粘结火漆层与透镜厚度的总和，所以要使用钢珠的目的就是为了控制粘结层的厚度，并保证贴置模表面与夹具表面呈同心圆。最后，把夹具加热到  $80 \sim 120^\circ\text{C}$ ，温度不能太高和太低，把夹具压向贴置模内的粘结火漆上，使粘结火漆软化，粘结于夹具表面，待冷却后，即得到镜盘。

如何将粘结火漆粘到透镜的非加工表面上呢？先把粘结火漆加热到可塑状态，把火漆倒入尺寸与被粘结零件相对应的圆锥形截头的凹坑内，如图 1-6-23 所示，再将透镜加热到手模上去觉得烫手，然后，将透镜的非加工面粘到凹坑内的火漆上，待其自然冷却。粘结得好的在粘结表面上看到很黑；如发现白色空隙，说明火漆团没有粘牢。在粘火漆时要注意这样几点：1. 不能将室温下的透镜直接放到温度已经升得很高的电炉上，这样，玻璃突然升温，易于炸裂；2. 粘结的房间应防止有冷风吹到正在加热的透镜上，否则，容易造成玻璃炸裂。

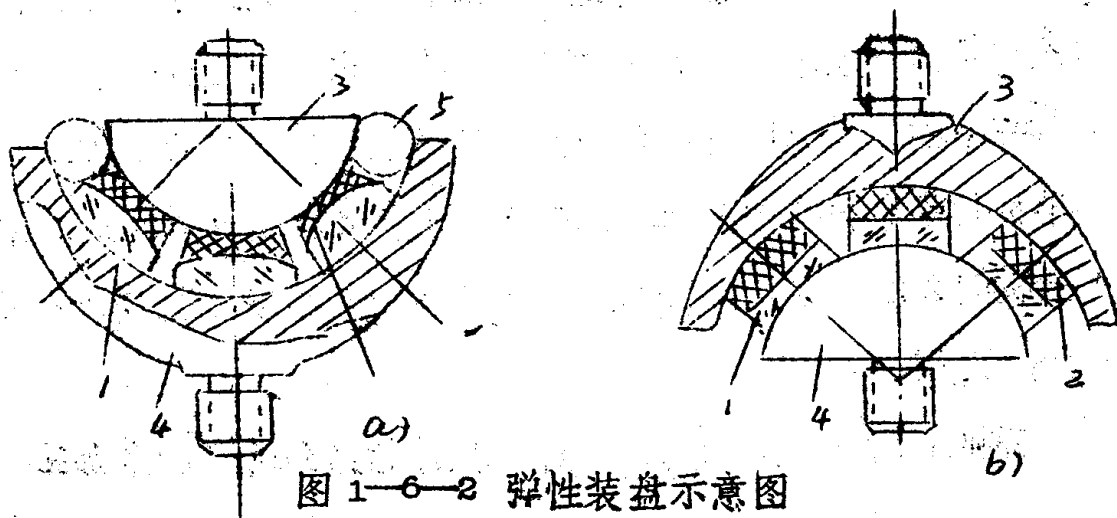
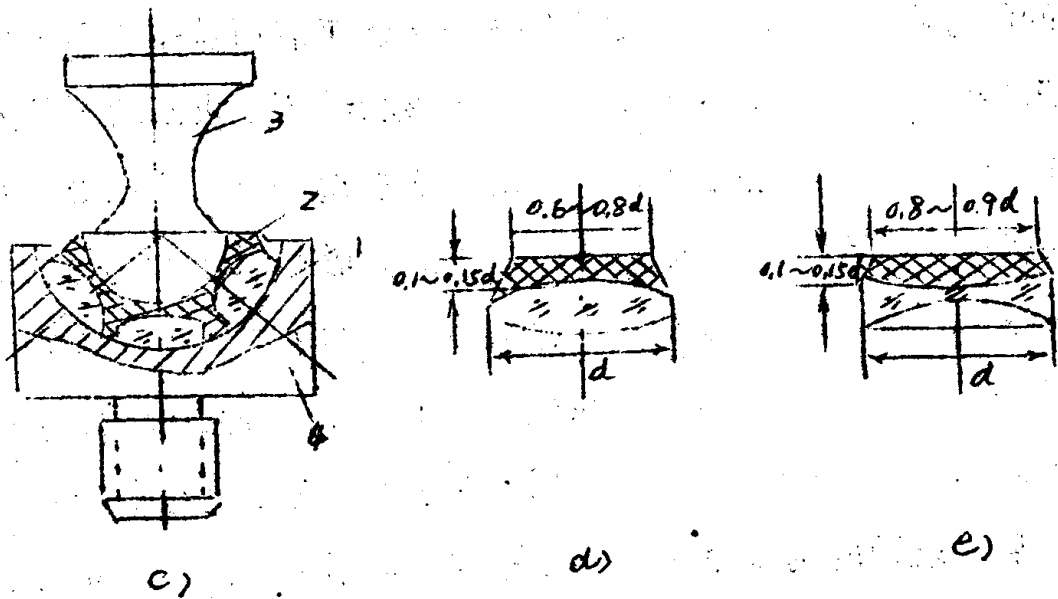


图 1-6-2 弹性装盘示意图

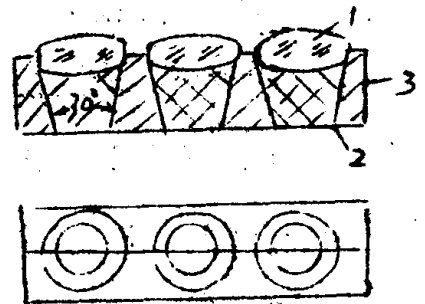


(a) 为凸镜盘 (b) 为凹镜盘 (c) 不用做火漆团  
 (d) 凸透镜火漆团 (e) 凹透镜火漆团

图 1—6—2 弹性装盘示意图

图 1-6-3 工件粘上火漆团示意

图 1——工件；2——火漆团；3——模具。



上面所介绍的弹性装盘的方法是目前各工厂用得很普遍的方法，它比较简单，能满足一般光学零件的技术要求，夹具具有较大的通用性，只要被加工面曲率半径相同，透镜中心厚度差不多，则夹具就可以适用于不同外圆直径、不同中心厚和背面曲率半径不同的各种零件，所以，特别适用于小批生产和试制。但是，我们必须学会全面地看问题，不但要看到事物的正面，也要看到它的反面。弹性装盘的缺陷是：1. 粘结火漆层的厚度较大，因此，在精磨、抛光过程中，在速度和压力的作用下，粘结火漆层易于受热变形，影响加工面的精度；

2. 装盘时必须加热，粘结火漆由塑性状态冷却下来，收缩大，对透镜的拉力也大，因此，等冷却下盘后，加工表面易于变形，所以，当加工透镜外圆直径大、中心厚度薄、表面精度要求高的零件，困难就比较大；3. 透镜粗磨（即装盘之前）所遗留下来的中心偏，通过弹性装盘并不能够消除，这是由于弹性装盘时是以贴置模的表面作为基准，对透镜来说是以被加工面作为定位面的，因此，精磨后透镜的偏心量就无法通过精磨抛光消除或改善，相反，装盘、精磨、抛光等过程中都有产生偏心的可能，所以，对于某些易于产生偏心的透镜，也即透镜两表面的曲率半径中心相距较小的零件，例如，同心透镜、弯月形透镜、曲率半径较大的平凸、平凹等零件往往由于偏心量超差而报废。所以，当我们遇到主要矛盾表现为“偏心”“变形”等等问题时，刚性装盘比较合适。

#### (二) 刚性装盘：

图 1—6—4 是刚性装盘的示意图。刚性装盘的方法比较简单，将透镜和夹具分别加热到  $80\sim 90^{\circ}\text{C}$ ，然后，将浸有粘结火漆的火漆布贴到夹具的专用承座上，最后，将一个个的透镜放到承座上，放正压紧即可。也可以用真空吸气的方法将零件夹紧在夹具上。刚性装盘的特

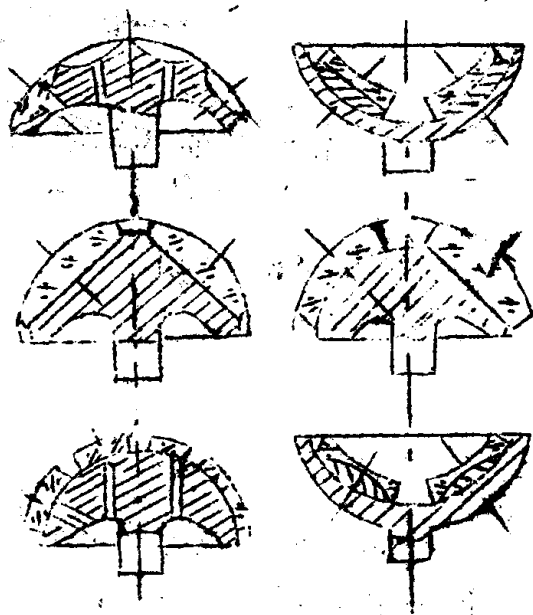


图 1—6—4

点是：1. 粘结火漆层薄，解决了弹性装盘中火漆层厚易于变形的矛盾，具备了精磨、抛光高速高压的可能性；2. 夹具表面具有安装透镜用的专用承座，这些承座的表面作为透镜装夹的基准面，因此，如果承座的位置、尺寸加工得很准确，那末从原则上来说，刚性装盘可

以改善粗磨单块加工所遗留的偏心量。实践证明，对于易于产生偏心的某些透镜，由于适当选用了上述装夹原则，透镜由于偏心所造成的废品就大幅度下降。但是，事物都是一分为二的。刚性装盘虽然具有这些优点，它也有很多缺陷。1. 夹具制造复杂，透镜承座不易铣正，大小也不易完全相等。承座不正，加工后透镜产生偏心；大小不等，透镜中心厚度就不等，因此，夹具制造不当，同样不能发挥它的有利条件；2. 夹具专用性强，通用性差，在小量试制时不符合毛主席关于“用较少的钱，办较多的事”的教导。在具体生产中，到底选择那一种装夹方法，就要根据具体情况，作出正确的决定。按一般情况来说，弹性装盘是能够满足一般透镜的技术要求的，也是符合多、快、好、省的原则的。

(三) 弹性装盘时透镜在镜盘上的分布：

(1) 如何确定镜盘的初定尺寸——镜盘的张角的一半  $r_{初}$ 。

镜盘的大小决定于这样三个因素：

1. 生产量；

2. 机床的加工能力：当透镜的曲率半径很大时，镜盘的球面可以装得很大，以致达到机床带不动的程度。此时，就要限止镜盘球面的矢高  $H_j$ （也称镜盘的盘高）。决定  $H_j$  的原则是：球面镜盘被加工面的面积不大于两轴机所能加工的平面镜盘的最大面积。两轴机所能加工的最大的平面镜盘的直径为  $\phi 350\text{mm}$ 。

$$\therefore 2\pi R_j H_j \leq \frac{\pi \times 350^2}{4} \dots\dots\dots(1)$$

$$H_j \leq \frac{15312.5}{R_j} \dots\dots\dots(2)$$

式中  $R_j$  为镜盘完工后曲率半径，也即透镜加工面所要求的曲率半径。

3. 加工的可能性：当透镜的曲率半径较小时，即便装成半球，也不存在机床带不动的问题。在这种情况下，矛盾转化为加工的可能性问题。特别在古典法抛光中，镜盘接近半球或等于半球时，镜盘边缘在精磨和抛光时，所受到的法线方向的分压力等于零，由于压力所引起的不均匀磨耗很大。所以，镜盘一般小于半球，使  $H_j = 0.85R_j$  或  $H_j = 0.66R_j$ 。在高速抛光中情况就不一样，由于高速抛光中上架机构始终围绕着主轴上某一点摆动，假如夹具设计合理，使镜盘的曲率半径中心正好与上架机构的摆动中心相重合，那末，上盘对于下盘的压力始终是沿着法线方向的，镜盘上的压力分布不因上盘与下盘间相对位置不同而不同，因此，高速抛光中，镜盘可以装成半球，甚至稍超过半球。

上面讨论的  $H_j$  是镜盘的初定盘高，由  $H_j$  很容易按下式决定镜盘的初定张角的一半  $\gamma_{初}$ 。

$$H_j = R_j (1 - \cos \gamma_{初}) \dots \dots \dots (8)$$

(2) 当  $n_1 = 1$  时，如何确定镜盘上可以装多少行透镜：

透镜在夹具上如何分布呢？透镜在夹具的分布原则是“均匀”。否则就会引起精磨和抛光不均匀。因为，假如透镜在镜盘上分布不均匀，那末，精磨模或抛光模在镜盘上不同部位所接触的透镜加工面积的总和就不同，因此，镜盘不同部位所承受的单位面积压力也不相同，这样就造成精磨和抛光的不均匀。

如何能满足分布均匀的要求呢？毛主席教导我们：“就人类认识运动的秩序说来，总是由认识个别的和特殊的事物，逐步地扩大到认识一般的事物。”我们现在就来分析一个例子，即镜盘中心为一个透镜的凸镜盘为例进行说明。从车间里我们看到透镜在镜盘上是以同心圆的次序排列的。中心为一个透镜时，这一个透镜就称为第一行，逐



为  $2r_{初}$  (也即弧高为  $H_j$ )。以圆弧顶点  $I$  为圆心, 以透镜在装盘时的外圆直径  $d$  (即透镜完工外圆尺寸加以定心滚边加工余量) 的一半, 即  $0.5d$  为半径截取圆弧  $AIB$ , 得  $a$ 、 $a'$  两点, 则  $\widehat{aIa'}$  代表第一行透镜。为了行与行之间分布均匀, 行与行之间的透镜间隔取为  $b$ , 一般使  $b = 0.05d$  在实际生产中也有取  $b = 1 \sim 2 \text{ mm}$ 。于是, 分别以  $a$  和  $a'$  为起点, 相间以  $b$  和  $d$  为半径截取圆弧  $AIB$ , 得  $b_1$ 、 $b_2$ 、 $c_1$ 、 $c_2$ 、 $d_1$ 、 $d_2$ 、 $e_1$ 、 $e_2$  以及  $b'_1$ 、 $b'_2$ 、 $c'_1$ 、 $c'_2$ 、 $d'_1$ 、 $d'_2$ 、 $e'_1$ 、 $e'_2$  等各点,  $\widehat{b_1 b_2}$  和  $\widehat{b'_1 b'_2}$  代表第二行零件, 同理  $\widehat{c_1 c_2}$  和  $\widehat{c'_1 c'_2}$  为第三行,  $\widehat{d_1 d_2}$  和  $\widehat{d'_1 d'_2}$  为第四行, 依此类推 由此可知, 此镜盘可以装 5 行, 行与行之间是均匀的。

## 2. 计算法:

镜盘表面上, 弧长  $d+b$  所对镜盘中心  $O$  点的张角设为  $2\alpha$ , (图 1—6—5 所示), 则:

$$\sin \alpha = \frac{d+b}{2R_j} \dots\dots\dots (4)$$

根据前面所确定的镜盘的初定张角  $r_{初}$ , 则行数  $m$  可由下式决定:

$$m = \frac{r_{初}}{2\alpha} + \frac{1}{2} \dots\dots\dots (5)$$

(8) 当  $n_1 = 1$  时如何确定每一行的透镜数:

### 1. 作图法:

如图 1—6—6 所示 (图见下页),  $I$ 、 $II$  (或  $II'$ )、 $III$  (或  $III'$ )、 $IV$  (或  $IV'$ )、 $V$  (或  $V'$ ) 各代表第一、二、三、四、五行透镜的中心点。以第三行为例: 通过第三行透镜的中心点  $III$  (或  $III'$ ), 作垂直于镜盘对称轴  $OO'$  的切面, 此切面为一圆。此圆即连接  $III$ 、 $III'$  两点, 交  $OO'$  于  $F$  点, 以  $F$  为圆心, 以  $FI$  (或  $FI'$ ) 为半径作圆。然后, 以  $II$  或  $II'$  为起点, 以  $d+b$  为半径截取此圆, 得 1、2、3、……



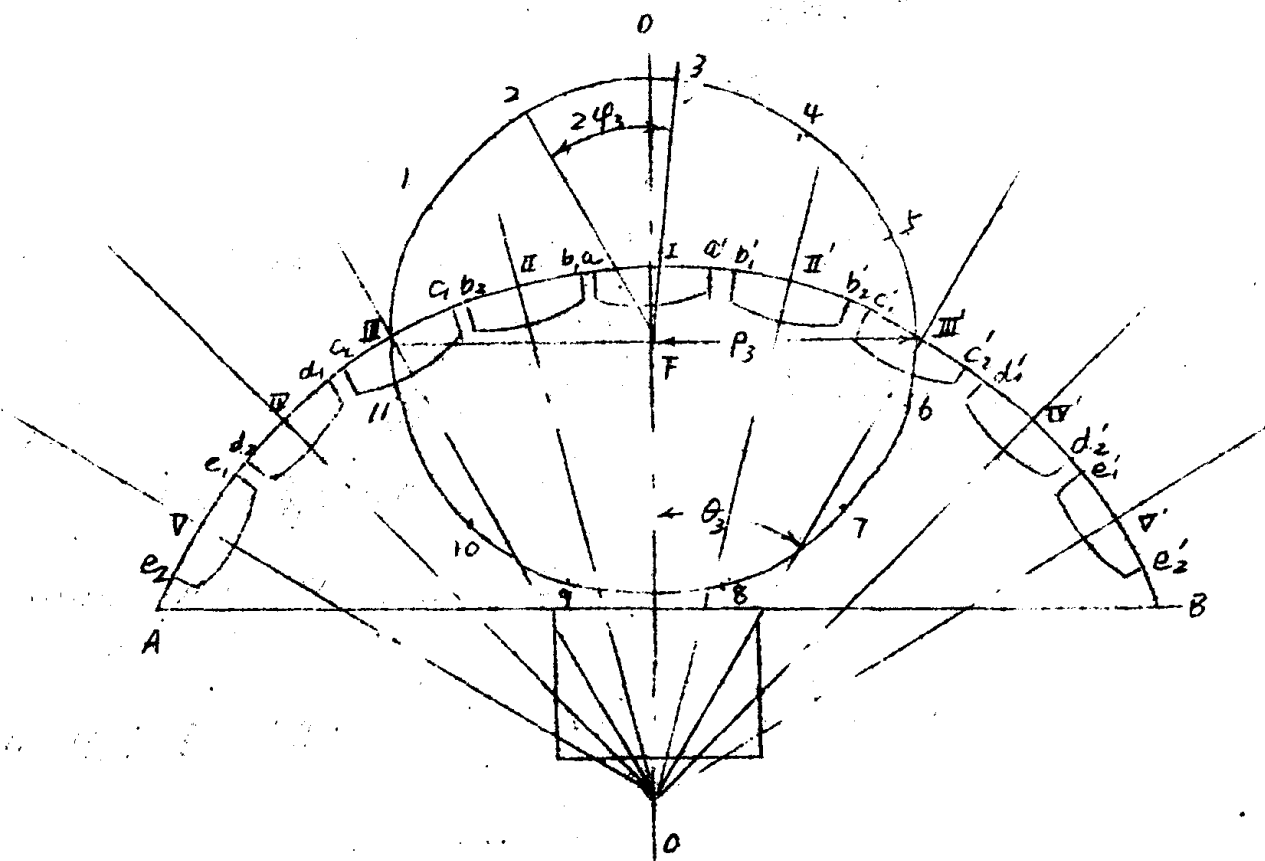


图 1-6-6 通过每行透镜的中心，作垂直于镜盘对称面的切面，零件在每一行上均匀分布的情况

11 等各点，所截得的段数，即此行所能装夹的透镜数，其他各行的透镜数，以此类推。

从图 1-6-6 我们发现二个情况：①截到最后一点，并没有与起始点重合，说明能装夹的透镜数不是整数，在考虑能装的透镜数时，只能以整数部分为准，在装盘操作时，可将每块透镜之间的间隙稍加调整，使透镜在圆周上分布均匀；②截到第 5，第 6 段时没有与重合，我们从总段数为 11，可以看出不重合是很自然的，实际上我们在车间看到的镜盘，在通过  $O-O'$  轴的切面上，透镜并不象图 1-6-5 所示那样，完全排在同一圆弧上，我们前面说排在一个圆弧上，为的是说明均匀方便，这两个情况在实际装盘时，特别是在弹性装盘时，都是允许的，而图 1-6-5 和图 1-6-6 在考虑透镜的装夹