

《机械制造基础》学习指导

第四部分 机械制造工艺

知识内容

涵盖夹具、机械加工质量和工艺规程的基本知识的教学内容

重点：机床夹具的分类、组成及作用、定位原理和定位类型、工件的夹紧
机械加工精度、影响加工精度的原因
机械加工工艺过程的基本概念、机械加工工艺规程

理解：机械加工工艺的基本概念、基本理论。

掌握：六点定位原则及夹紧机构的概念和功能。
制定机械加工工艺规程的基本原则和方法、步骤。

了解：机床夹具的组成。
机械加工精度的概念。
在生产中影响机械加工的精度的主要因素。

知识要点

机床夹具：在机械加工中，为了保证工件加工精度，使之占有确定位置以接受加工或检测的工艺装备统称。

六点定位原理（原则）：用合理分布的六个支承点限制工件的六个自由度（沿 x 、 y 、 z 轴线方向的移动自由度；称为绕 x 、 y 、 z 轴的转动自由度）的方法，使工件在夹具中的位置完全确定。应理解教材中图 10-2 工件的六点定位的解释。

夹具设计的核心元件：用以确定工件在夹具中的正确位置的元件定位元件。

工件定位中的几种情况：

- **完全定位** 工件的六个自由度全部被限制的定位，称为完全定位。当工件在 x 、 y 、 z 三个坐标方向上均有尺寸要求或位置精度要求时采用这种定位方式。如图 10-3 所示。
- **不完全定位** 根据工件的加工要求，对某些并不需要限制工件的自由度进行定位。在保证加工要求情况下的不完全定位是合理的定位方式。
- **欠定位** 根据工件的加工要求，应该限制的自由度被限制的定位。欠定位是不允许的。
- **过定位** 同一个自由度被几个支承点重复限制的定位(也称重复定位、超定位)。当以形状精度和位置精度很低的面作为工件定位基准时，不允许出现过定位；对精度较高的面作为定位基准时，为提高工件定位的刚度和稳定性，在一定条

件下允许采用过定位。

夹紧的基本要求：

必须的要求：夹紧既不应破坏工件的定位，又要有足够的夹紧力，同时又不产生过大的夹紧变形，不允许产生振动和损伤工件表面。对于手动夹紧机构要有可靠的自锁性；机动夹紧装置要统筹考虑其自锁性和稳定的原动力。

还要尽量满足 1. 夹紧动作迅速，操作方便、安全省力。2. 结构应尽量简单紧凑，工艺性要好。

夹紧力的确定：夹紧力包括方向、作用点、大小三个要素。

- 夹紧力的方向：夹紧力的方向应朝向主要限位面，以保证工件的定位精度。夹紧力的方向应有利于减小夹紧力。夹紧力的方向应使工件变形尽可能小。
- 夹紧力的作用点：夹紧力作用点应正对定位元件或落在定位元件的承范围内，以保证工件的定位不变。夹紧力的作用点应处在工件刚性较好部位，以减小夹紧变形。夹紧力应尽可能靠近加工表面。
- 夹紧力的大小的略计算：以主切削力为依据与夹紧力建立静平衡方程式，解此方程来求夹紧力大小。

基准：零件上用以确定其它点、线、面的位置所依据的那些点、线、面为基准。在图纸上分设计基准和工艺基准。

- 设计基准：在零件图上用以确定其它点、线、面位置的基准，称设计基准。。

• 工艺基准：零件在加工、测量、装配等工艺过程中所使用的基准统称为工艺基准。工艺基准可分为：

- 1 装配基准 在零件或部件装配时用以确定它在部件或机器中相对位置的基准。
- 2 测量基准 用以测量工件已加工表面所依据的基准。
- 3 工序基准 在工序图中用以确定被加工表面位置所依据的基准。所标注的加工面的位置尺寸称工序尺寸。
- 4 定位基准 用以确定工件在机床上或夹具中正确位置所依据的基准。

在生产中，通常是以工件上的几个表面同时作为定位基准，采取组合定位方式。最常用的就是以“一面两孔”作为定位基准，相应的定位元件是支承板和两定位销（或其中一个为削边销），俗称“一面两销”定位，。

定位误差：包括基准不重合误差和基准位移误差。

- 基准不重合误差：定位基准与工序基准不重合而造成的加工误差。
- 基准位移误差：由于定位元件的制造公差和最小间隙的影响，定位基准与限位基准不能重合，导致的误差。

机械加工质量：包括加工精度和表面质量。

机械加工精度：零件加工后的实际几何参数（尺寸、形状和位置）与理想几何参数的符合程度。机械加工经济精度是指某种加工方法，在正常生产条件下（采用符合质量标准的设备、工艺装备、标准技术等级的工人，不延长加工时间）所能保证的加工精度。

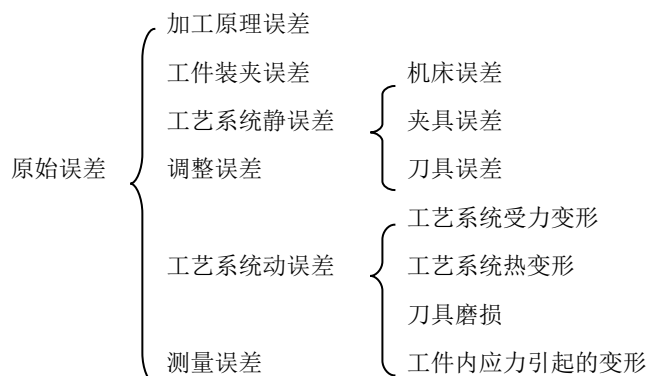
加工误差：指零件加工后的实际几何参数与理想几何参数的偏差程度。

误差分类：包括随机误差和原始误差（系统误差）。随机误差是偶然因素造成的，大小和误差方向是随机的，原始误差造成的误差大小和方向是确定的，需要对工艺系统

特征才能够消除。

工艺系统：由机床、夹具、刀具和工件组成的系统。

原始误差包括以下几方面：



- 原理误差：指由于采用近似的加工方法所产生的误差。
- 工件装夹误差：主要包括定位误差和由于夹紧力过大而引起的夹紧误差。
- 工艺系统静误差：包括机床误差、夹具误差、刀具误差
- 调整误差：工艺系统的调整问题造成的误差。
- 工艺系统动误差：工艺系统受力变形、热变形。刀具磨损、关键内应力变形等产生加工误差。

工艺系统的刚度 刚度是指弹性系统受力后抵抗变形的能力；工艺系统刚度是指垂直作用于工件加工表面（加工误差敏感方向）的径向分力与工艺系统在该方向的变形之间的比值。 $k = F/y$

工艺系统内各组成环节在切削加工过程中，都会产生不同程度的变形，工艺系统在某处的法向(误差敏感方向)总变形 y 是各个组成环节在同一位置处法向变形的叠加，

即： $y = y_{jc} + y_{dj} + y_{jj} + y_{gj}$

而各组成部分的刚度为： $k_{jc} = F/y_{jc}$ ， $k_{dj} = F/y_{dj}$ ， $k_{jj} = F/y_{jj}$ ，

$k_{gj} = F/y_{gj}$

工艺系统刚度的一般计算式为： $k = \frac{1}{1/k_{jc} + 1/k_{dj} + 1/k_{jj} + 1/k_{gj}}$

误差复映现象：是指由于毛坯（包括前工序已加工的零件）加工过程中，待加工表面的余量变化以及材料硬度的变化，引起了切削力和工艺系统受力变形的变化，因而使加工后工

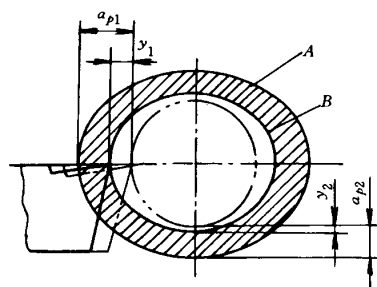


图 4-1 加工余量不等的误差复映

件的尺寸误差和形状误差产生了与毛坯误差相似的现象。如图 4-1。其毛坯形状如 A，理想的加工形状如双点划线，误差复映影响得到的零件形状如 B。

误差复映系数反映了毛坯误差经过加工后的减小程度，与工艺系统的刚度成反比，与切削力的系数成正比。要减小工件的复映误差可通过增加加工过程的工步解决，因为每个工步的复映系数分别为 ε_1 、 ε_2 、 ε_3 ……，则总的复映系数 ε 为： $\varepsilon = \varepsilon_1 \varepsilon_2 \varepsilon_3$

工艺系统热变形 在热源的作用下工艺系统产生的热变形破坏工件与刀具间正确的相对位置，造成加工误差。对于精密加工，热变形引起的加工误差占总加工误差的 40%~70%。工艺系统的热源分为内部热源和外部热源。

刀具磨损 随着切削的不断进行，刀具的尺寸逐渐减小，特别是较长走刀长度的切削易产生刀具磨损误差。

工件内应力引起的变形 零件内部残存内应力在恢复到稳定状态，即使在常温时，零件自身产生变形，降低原有精度。

测量误差 由于量具本身的制造误差，测量时的接触力、温度、目测正确程度等对加工精度的影响。

提高加工精度的工艺措施

- **减少误差法**：是在查明产生加工误差的主要因素后，设法对其直接进行消除或减弱。
- **误差补偿法**：是人为地造出一种新的原始误差，尽量使其与原始误差大小相等、方向相反，抵消原来工艺系统中存在的原始误差。
- **误差转移法**：误差转移法就是把原始误差从敏感方向转移到误差的非敏感方向。的主轴回转误差对镗孔精度不产生任何影响，镗孔精度完全由镗模来保证。
- **误差均分法**：是利用有密切联系的表面之间的相互比较和相互修正或者利用互为基准进行加工，以达到很高的加工精度。

表面质量：指机器零件在加工后的表面层状态。包括两加工表面的几何形状特征和表面层的物理、力学性能的变化。

切削层残留面积：在理想切削条件下，由于切削刃的形状和进给量的共同影响，在加工表面上遗留下来的切削层残留面积。

表面层的加工硬化：工件表层金属在机械加工过程中产生强烈的塑性变形，使工件表面的强度和硬度提高，塑性降低，又称冷作硬化。

表面残余应力：主要有冷塑变形引起的残余应力、热塑变形引起的残余应力和金相组织变化引起的残余应力。

表面层的金相组织变化与磨削烧伤：当工件表面温度超过金相组织变化的临界点时产生的金相组织变化。通常称为烧伤

生产过程：指把原材料转变为成品的全过程。

生产纲领指企业在计划期内应当生产的产品产量和进度计划。

生产类型及其特点：机械制造业的生产可分为单件生产、成批生产和大量生产三种类型。生产类型依据生产纲领划分，与零件的大小、精度及复杂程度有关。

- **单件生产** 单件生产的基本特点是生产的产品品种繁多，每种产品仅制造一个或少数几个，而且很少再重复生产。
- **成批生产** 成批生产是一年中分批地生产相同的零件，生产呈周期性重复。成批生产又可分为小批、中批、大批生产三种类型。
- **大量生产** 大量生产是在机床上长期重复地进行某一零件某一工序的加工。

工艺过程及组成：工艺就是制造产品的方法，工艺过程是指把生产过程中改变生产对象的形状、尺寸、相对位置和物理、力学性能等，使其成为成品或半成品的过程。机械加工工艺过程由一个或若干个顺次排列的工序组成，每一个工序又可分为若干个安装、工位、工步和走刀。

1 工序 一个（或一组）工人，在一个工作地点（或一台机床），对一个（或同时对几个）工件所连续完成的那部分工艺过程。工序是工艺过程划分的基本单元，也是制订生产计划、组织生产和进行成本核算的基本单元。一个工序包括若干工步，可以包括多次安装。

2 安装 工件在加工之前，在机床或夹具上占据正确的位置(定位)，然后再予以夹紧统称安装。加工中应尽量减少安装次数，以减小误差、节约辅助时间。一个安装可以完成一个或几个工位上的加工。

3 工位 为了减少工件安装的次数，常采用各种夹具，工件的一次安装后在几个不同位置进行加工。工件在机床上占据的每一个加工位置称为工位。

4 工步：在加工表面、切削刀具和切削用量（仅指转速和进给量）都不变的情况下，所连续完成的那部分工艺过程。为了提高生产率，用几把刀具同时加工一个零件的几个表面的工步为复合工步。一个工步可包括一次或几次走刀。

5 走刀 在一个工步内，若需要分几次切削，则每进行一次切削就是一次走刀。

工艺规程：机械加工工艺规程简称为工艺规程，是规定零件机械加工工艺过程 and 操作方法等的工艺文件。包括工件加工工艺路线及所经过的车间和工段；各工序的内容及所采用的机床和工艺装备；工件的检验项目及检验方法；切削用量；工时定额及工人技术等级等。

制定机械加工工艺规程应从以下几方面考虑：

- **技术上的先进性** 在制订机械加工工艺规程时，要了解当时国内外本行业工艺技术的发展水平，通过必要的工艺试验，积极采用合适的先进工艺和工艺装备。
- **经济上的合理性** 在一定的生产条件下，可能会出现几种能保证零件技术要求的工艺方案。此时应通过核算或相互对比，选择经济上最合理的方案，使产品的能源、原材料消耗和成本最低。
- **有良好的劳动条件** 在制订机械加工工艺规程时，要注意保证工人在操作时有良好而安全的工作条件。

拟定工艺路线包括：确定各工序的加工余量，计算工序尺寸和公差；确定各工序的设备、刀、夹、量具和辅助工具；确定切削用量和工时定额；确定各主要工序的技术

要求及检验方法；填写工艺文件。

零件图的工艺分析：包括加工表面的尺寸精度；主要加工表面的形状精度；主要加工表面之间的相互位置精度；各加工表面的粗糙度以及表面质量方面的其它要求；热处理要求及其它要求。

毛坯的选择：毛坯种类的选择不仅影响毛坯的制造工艺、设备及制造费用，而且对零件机械加工的工艺、设备和工具的消耗以及工时定额也都有很大的影响。

粗基准与精基准按照不同的工序性质和作用，定位基准分为粗基准和精基准两类。采用毛坯上未经加工的表面来定位的基准为粗基准，采用已加工表面作为定位的基准为精基准。

粗基准的选择：保证所有加工表面都有足够的加工余量，而且各加工表面对不加工表面具有一定的位置精度；保证加工表面余量均匀，常选取零件上重要的加工表面作为粗基准；为了避免因加工余量不足而造成的废品，对于所有表面都需要加工的零件应选择加工余量最小的表面作为粗基准；为减小定位误差和装夹可靠稳定，选择毛坯制造中尺寸和位置可靠、稳定、平整、光洁、面积足够大的表面为粗基准。**粗基准应尽量避免重复使用，原则上只能使用一次。**

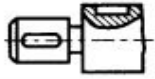
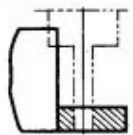
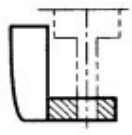
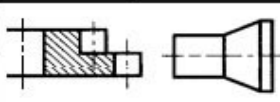
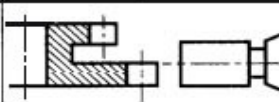
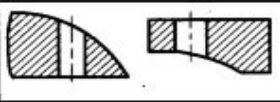
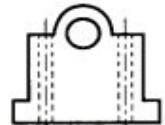
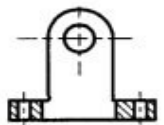
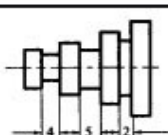
精基准的选择：选择精基准的出发点是保证加工精度。选择原则：

- 基准重合原则：直接选用设计基准为定位基准。
- 基准统一原则：同一零件的多道工序尽可能选择同一个定位基准。
- 互为基准原则：采用两个加工表面互相作为定位基准反复进行加工的方法。
- 自为基准原则：加工时以被加工表面本身作为定位基准。

辅助定位基准：在生产实际中，为便于工件安装和保证获得规定的加工精度，可以在制造毛坯时或在工件上增设和加工出定位基准，增设的辅助定位基准在零件全部加工后，还必须将其切除。

零件的结构工艺性 指所设计的零件在满足使用要求的前提下，其制造的可行性

表 4-1 零件机械加工工艺性对比的一些实例

序号	(A) 工艺性不好的结构	(B) 工艺性好的结构	说 明
1			键槽的尺寸、方位相同,则一次装夹中加工出全部键槽提高生产率
2			结构 A 的加工面不方便刀具
3			结构 B 的底面接触面积小,工量小,稳定性好
4			结构 B 有退刀槽保证了的可能性,减少刀具(砂轮磨损
5			加工结构 A 上的孔时钻易引偏
6			结构 B 避免了深孔加工,了零件材料
7			凹槽尺寸相同,可减少刀类,减少换刀时间。如结所示

和经济性。如表 4-1:

工艺路线的拟定: 包括选择毛坯; 选择基准、结构工艺性分析、拟定加工路线、选择加工方法、工序顺序安排。确定加工余量。首先要确定各个表面的加工方法和加工方案。表面加工方法和方案的选择。

加工方法的选择: 首先要保证加工表面的加工精度和表面粗糙度的要求, 应同时注意生产率和经济性等方面的要求。

加工阶段的划分: 划分加工阶段的作用是有利于消除或减小变形对加工精度的影响, 可尽早发现毛坯的缺陷, 有利于合理选择和使用设备, 有利于合理组织生产和安排工艺。

- 粗加工阶段 主要任务是切除毛坯的大部分加工余量, 因此, 此阶段的主要目标是提高生产率。

- 半精加工阶段 其任务是减小粗加工后留下的误差和表面缺陷层, 使被加工表面达到一定的精度, 并为主要表面的精加工做好准备, 同时完成一些次要表面的最后加工(扩孔、攻螺纹、铣键槽等)。

- 精加工阶段 其任务是各主要表面经加工后达到图样的全部技术要

求，因此，此阶段的主要目标是全面保证加工质量。

光整加工阶段 对于零件上精度和表面粗糙度要求很高(IT6级以上，表面粗糙度为Ra0.2μm以下)的表面，应安排光整加工阶段。其主要任务是减小表面粗糙度或进一步提高尺寸精度，一般不用于纠正形状误差和位置误差。

工序的集中与分散：工序集中是相对工序分散而言。

- **工序集中**指在一道工序中尽可能多地包含加工内容；究竟按何种原则确定工序数量，应根据生产纲领、机床设备及零件本身的结构和技术要求等作全面的考虑。

- **工序分散**对机床、工具、夹具结构要求简单，调整方便，对工人的技术水平要求低；便于选择更合理的切削用量；生产适应性强，转换产品较容易，但所需设备及工人人数多，生产周期长，生产所需面积大，运输量也较大。

机械加工顺序的安排原则

- **基面先行** 作为其它表面加工的精基准一般应安排在工艺过程一开始就进行加工。

- **(先主后次)** 零件的主要工作表面、装配基面应先加工。螺孔、键槽、光孔等可穿插进行，但一般应放在主要表面加工到一定的精度之后，最终精加工之前进行。

- **先粗后精** 一个零件的切削加工过程，总是先进行粗加工，再进行半精加工，最后是精加工和光整加工。

- **先面后孔** 表面尺寸为大的平面常用作定位基面，故一般先加工。

- **配套加工** 保证较高的配合精度表面的最后精加工，常安排在部装或总装过程中进行。

热处理工序的安排 主要取决于工件的材料及热处理的目的和种类，热处理一般分为：

- **预备热处理** 它包括退火、正火、调质等。其目的是改善切削加工性能，消除毛坯制造时的残余应力。其工序位置多在粗加工前后。

- **消除残余应力处理** 常用的有人工时效、退火等，一般安排在粗、精加工之间进行。

- **最终热处理** 常用的为淬火-回火，此外还有各种化学热处理(渗碳、渗氮、液体碳氮共渗等)。一般安排在精加工前后，目的是提高零件的强度、表面硬度和耐磨性。

辅助工序：包括工件的检验、去毛刺、清洗和涂防锈油等。

加工余量：毛坯尺寸与零件图的设计尺寸之差称为表面的加工总余量 $z_{\text{总}}$ ，而相邻两工序的工序尺寸之差称为工序余量 z_i 。

- **单边余量** 平面加工的非对称余量是。

- **双边余量** 对于回转表面和对称加工余量。

- **最小余量** 对于外表面为工序最小余量为前工序最小极限尺寸与本工序最大极限尺寸之差；对于内表面为本工序最小极限尺寸与前工序最大极限尺寸之差。

- **最大余量** 对于外表面为前工序最大极限尺寸与本工序最小极限尺寸之差；对于内表面为本工序最大极限尺寸与前工序最小极限尺寸之差。

确定加工余量的方法：

- **计算法** 按上述公式计算所得到的加工余量是最经济合理的，但由于难以获得齐全可靠的数据资料，故一般用得较少。
- **经验估计法** 即凭经验确定加工余量。为避免因余量不够而产生废品，所估余量一般偏大，仅用于单件小批生产。
- **查表修正法** 实际生产中常用的方法是将长期生产实践和试验研究所积累的大量数据列成表格，以便应用时直接查找，同时还应根据实际加工情况予以修正。

尺寸链 相互联系的尺寸按一定顺序连接成一个封闭的尺寸组。尺寸链具有如下两个特性：一是封闭性；二是相关性。

尺寸链的组成 构成尺寸链的各个尺寸称为环。尺寸链的环分为封闭环和组成环。

- **封闭环** 加工或装配过程中最后自然形成的那个尺寸。
- **组成环** 尺寸链中除封闭环以外的其他环。
- **增环** 与封闭环同向变动的组成环，即当该组成环尺寸增大(或减小)而其他组成环不变时，封闭环也随之增大(或减小)。
- **减环** 与封闭环反向变动的组成环，即当该组成环尺寸增大(或减小)而其他组成环不变时，封闭环的尺寸却随之减小(或增大)。

计算尺寸链方法： 校核常用计算完全互换法(极值法)的方法：

- 1) 画尺寸链图
- 2) 封闭环的基本尺寸。封闭环的基本尺寸 A_0 等于所有增环的基本

尺寸 A_i 之和减去所有减环的基本尺寸 $\sum A_j$ 之和，即：

$$A_0 = \sum_{i=1}^m \vec{A_i} - \sum_{j=m+1}^{n-1} \overleftarrow{A_j}$$

- 3) 封闭环的极限尺寸。封闭环的最大极限尺寸 $A_{0\max}$ 等于所有增环

的最大极限尺寸 $A_{i\max}$ 之和减去所有减环的最小极限尺寸 $\sum A_{j\min}$ 之和，即：

$$A_{0\max} = \sum_{i=1}^m \vec{A_{i\max}} - \sum_{j=i+1}^{n-1} \overleftarrow{A_{j\min}}$$

封闭环的最小极限尺寸 $A_{0\min}$ 等于所有增环的最小极限尺寸 $A_{i\min}$ 之和减去所有减

环的最大极限尺寸 $\sum A_{j\max}$ 之和，即：

$$A_{0\min} = \sum_{i=1}^m \vec{A}_{i\min} - \sum_{j=i+1}^{n-1} \overset{\sigma}{A}_{j\max}$$

4) 封闭环的平均尺寸。封闭环的平均尺寸 A_{0M} 等于所有增环的平均尺寸 A_{iM} 之和减去所有减环的平均尺寸 $\overset{\sigma}{A}_{jM}$ 之和，即：

$$A_{0M} = \sum_{i=1}^m \vec{A}_{iM} - \sum_{j=i+1}^{n-1} \overset{\sigma}{A}_{jM}$$

5) 封闭环的上、下偏差。封闭环的上偏差 ES_0 等于所有增环的上偏差 ES_i 之和减去所有减环的下偏差 $\overset{\sigma}{EI}_j$ 之和，即：

$$ES_0 = \sum_{i=1}^m \vec{ES}_i - \sum_{j=i+1}^{n-1} \overset{\sigma}{EI}_j$$

封闭环的下偏差 EI_0 等于所有增环的下偏差 EI_i 之和减去所有减环的上偏差 $\overset{\sigma}{ES}_j$ 之和，即：

$$EI_0 = \sum_{i=1}^m \vec{EI}_i - \sum_{j=i+1}^{n-1} \overset{\sigma}{ES}_j$$

6) 封闭环的公差。封闭环的公差 T_0 等于所有组成环的公差 T_i 之和，即：

$$T_0 = \sum_{i=1}^{n-1} T_i$$

四种装配方法：

互换法：机器或部件的所有合格零件，在装配时不经任何选择、调整 and 修配，装入后就可以使全部或绝大部分的装配对象达到规定的装配精度和技术要求的装配方法。互换法又可分为完全互换法(极值法)、大数互换法(概率法)。

分组装配法：在成批或大量生产条件下将组成环公差增大，使组成环零件可以按经济精度加工，然后再将各组成环按实际尺寸大小分为若干组，按对应组装配，且同组零件具有互换性。

修配法：多用于产品结构比较复杂（或尺寸链环数较多）、产品精度要求高以及单件和小批生产的场合。

调整法：各组成环也按经济精度加工，装配时通过对调整环的补充加工来实现补偿，达到装配精度的要求。