

第一章 机械加工工艺规程的制订

§ 1-1 生产过程和工艺过程

在柴油机制造时，将原材料转变为成品的全过程称为生产过程。其中包括原材料的运输和保管、生产准备、毛坯制造、零件的机械加工和热处理、部件的装配和机器的总装、产品的检验和试车、成品的油漆和包装等。

工厂的生产过程又可分为若干车间的生产过程。某一车间所用的原材料（或半成品）可能是另一车间的成品，而它的成品又可能是其他车间的原材料（或半成品）。例如，机械加工车间的毛坯是铸造车间的成品；机械加工车间的成品又是装配车间的半成品。柴油机就是通过总装车间进行的部件装配、总装和调整试验才达到规定的性能和可靠性指标。

目前，柴油机的生产过程，往往是由许多专业厂分工协作完成的，例如，柴油机的活塞、活塞环、缸套、轴瓦、燃油设备、热交换器及增压器等重要零部件和设备。这样做有利于专业化生产，提高产品质量和劳动生产率及降低生产成本。

工艺过程是生产过程中最主要的一部分。是指与改变生产对象的形状、尺寸、相对位置和性质有关的生产过程。如铸造、锻造、热处理、机械加工和装配作业等工艺过程。工艺过程不包括工件的运输、包装和贮存、生产准备、机床设备维修等辅助工作。

§ 1-2 工艺过程的组成

构成工艺过程的工艺要素有序序、安装、工步、工位和走刀。

工序 一个或一组工人，在一个工作地对同一个或同时对几个工件所连续完成的那一部分工艺过程。

安装 工件（或装配单元）经一次装夹后所完成的那一部分工序。在一道工序中，工件可能被装夹一次或多次，才能完成加工。

工步 在加工表面（或装配时的连接表面）和加工（或装配）工具不变的情况下，所连续完成的那一部分工序。

工位 为了完成一定的工序部分，一次装夹后，工件（或装配单元）与夹具或设备的可动部分一起相对刀具或设备的固定部分所占据的每一个位置。

图 1-1 所示为工件在三轴组合钻床上钻、扩、铰孔加工的情况。工件装夹在回转工作台上，这时工件与回转工作台一起相对刀具位置改变四次，一个工件便完成了该工序的工作（工位 I 为工件的装卸工位）所以这种情况为四个工位。又如 在单轴立式

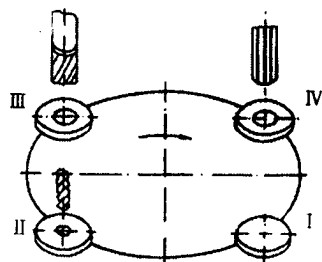


图 1-1 四工位三轴钻

镗床上镗机体的气缸孔时，每镗一个孔，机体与机床工作台一起移动一个气缸轴线距离后的位置就是一个工位。

图 1-2 所示轴件在成批生产时的工艺过程：

工序 1 在双面铣床上铣两端面。

工序 2 在中心钻床上打两端中心孔（在一次装夹中完成）。

工序 3 在车床上粗车 A、B、C 段各级外圆和 E、F 台肩面。

安装 1 粗车 B、C 段外圆、F 台肩面，工件用两中心孔定位，夹头夹持 A 段毛坯外圆。工步 1 车 B 段外圆。工步 2 车 C 段外圆（有时为了提高生产率，用多刀半自动车床同时车削 B、C 段外圆时，称为复合工步）。工步 3 车 F 台肩面。

安装 2 粗车 A 段外圆及 E 台肩面，工件用两中心孔定位，夹头夹持 C 段外圆。工步 1 车 A 段外圆；工步 2 车 E 台肩面。

工序 4 在另一台车床上精车 A、B、C 段各级外圆及 E、F 台肩面（安装、工步同粗加工）。

工序 5 在铣床上铣 H 和右端键槽（工件在一次装夹中，利用分度头转 180°来加工第二个键槽）。工步 1：铣 H 键槽（在工位 1 上）；工步 2 铣右端键槽（在工位 2 上）。

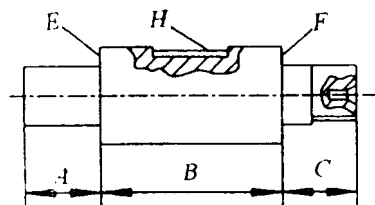


图 1-2 轴加工的工艺过程

§ 1-3 生产纲领和生产类型

生产纲领是指企业在计划期内应当生产的产品产量。计划期常定为 1 年，所以生产纲领也称年产量。

零件的生产纲领要计入备品和废品的数量，可按下式计算：

$$N = Q \cdot n(1 + \alpha\%)(1 + \beta\%)$$

式中：N——零件的年产量（件/年）；

Q——产品的年产量（台/年）；

n——每台产品中该零件的数量（件/台）；

$\alpha\%$ ——备品的百分率；

$\beta\%$ ——废品的百分率。

在批量生产中，若零件生产纲领确定后，可根据车间具体情况，按一定期限分批投产。

生产批量 一次投入或产出同一产品（或零件）的数量。

生产类型 企业（或车间、工段、班组、工作地）生产专业化程度的分类。一般分为大量生产、成批生产和单件生产三种类型。

大量生产 指连续不断的生产，它要求每一个工作地重复地进行一种零件的某一工序加工。一些中、小柴油机制造厂和柴油机某些零部件（活塞、活塞环、轴瓦、油泵油嘴等）专业化制造厂属于这种生产类型。

成批生产 指周期地成批地进行产品生产，一个工作地点的加工对象是一批一批地定期转换。一些船用中速或高速柴油机厂是属于这种生产类型。

单件生产 每一种产品只做一个或数个。工作地点的加工对象是经常改变的。造船厂的

大型低速柴油机制造车间是属于这种生产类型。

表 1-1 列出了各种不同生产类型的工艺特点的比较。从中可以看出生产批量与工艺方法和生产效率之间的关系。若批量大,可通过采用先进工艺、高效设备和专用工装,来提高机械化和自动化水平,从而大大提高生产率和降低生产成本;若批量小,按传统的生产组织方法,则只能采用常规的工艺方法,即采用通用机床和万能工装,从而导致生产效率低,零件加工成本高。

表 1-1 各种不同生产类型的工艺特点

项目	单件生产	成批生产	大量生产
毛坯制造方法	木模手工制造和自由锻造	部分用金属模和模锻	广泛使用金属模和机器造型、模锻、压铸等高生产率毛坯制造方法
零件的互换性	较多采用配对制造(配制配合)和修配法装配	大部分零件有互换性,少数零件用钳工修配	全部零件有互换性,某些精度较高的零件配合采用分组选择装配
机床设备及其组织形式	采用万能机床,按机床类别和规格大小以“机群式”排列布置	部分通用机床和部分高生产率专用机床及数控机床等。机床设备按加工零件的类别分“工段”排列布置	广泛采用高生产率的专用机床和多功能数控机床及自动机床。设备按流水线形式排列
夹具	很少采用专用夹具,按划线及试切法达到尺寸要求	广泛采用夹具,部分靠划线进行加工	广泛采用高生产率夹具和采用调整法达到尺寸要求
工具及量具	采用标准刀具和万能量具	广泛采用刀具和量具	广泛采用高生产率的刀具和量具
先进工艺的采用	较少采用	采用投资不大、调整简单的先进工艺	广泛采用高效先进工艺
对工艺文件的要求	通常只有简单的工艺过程卡	除有较详细的工艺过程卡外,对重要零件的关键工序有详细说明的工序操作卡	有详细的工艺文件
对操作工人的要求	需要技术熟练的操作工人	各个工种需要一定熟练程度的操作工人	对专用机床调整工技术要求较高,对一般操作工人要求不高

为了适应不断增多的产品的品种、规格和生产批量逐渐减少的生产发展趋势,则采用成组批量为基础的成组技术是最有成效的。

成组批量 它是按照若干产品的零件结构和加工相似性,将那些具有相似性的零件组织在一起形成成组批量。这种批量的扩大就相当于把中、小批量的性质改变为大批甚至大量生产的性质。另外,电子计算机在加工中越来越广泛地应用(从数据机床到柔性制造系统),为多品种、中小批生产的自动化开辟了广阔的前景。

§ 1-4 机械加工工艺规程概念

所谓“工艺规程”就是规定产品或零部件制造工艺过程和操作方法的工艺文件。

工艺规程包括下述内容：工件的加工工艺路线和所经过的车间与工段；各工序的内容和所采用的机床与工艺装备（包括刀具、夹具、量具、检具、辅具、钳工工具等）；工序尺寸和公差；检验项目；切削用量；时间定额和工人技术等级等。

合理的工艺规程是生产组织和管理工作的基本依据。首先，在新产品投入生产之前就必须根据工艺规程进行有关的技术准备工作，如为零件的加工准备工艺装备。其次，工厂的计划和调度部门根据生产计划和工艺规程，安排零件的投料时间和数量，调整设备负荷，下达任务计划，使整个生产有计划地进行。

在制定工艺规程时，必须做到优质、高产、低成本，还应注意改善劳动条件和安全生产。

一般按下述步骤制定工艺规程：

(1) 对被加工零件的图纸进行工艺分析，并结合车间生产条件和加工类似零件的情况及经验进行深入的调查研究。

(2) 按零件的结构和工艺的特征将其分类分组。对同类同组零件，可以先制定其中有代表性的零件的工艺规程，其他零件的工艺规程可能只需增减或更换个别工序，这样就可大大减少制定工艺规程的时间。此外，还便于考虑机床和工艺装备的通用性，减少专用工艺装备的需要量，以提高利用率。

(3) 根据生产纲领确定生产的组织形式。生产组织形式对工艺过程的影响很大，因此，在制定工艺规程之前，必须首先确定形式。例如，在大量大批生产的单一流水线中，应采用高效率的加工方法和机床，广泛应用专用工艺装备，同时还要严格平衡各工序的时间，使之按节拍生产。而在单件小批量生产中，应广泛采用万能机床和通用工艺装备，不需平衡各工序的时间，但应考虑机床的负荷率。

(4) 选择毛坯。毛坯选择的基本出发点是保证零件的质量要求和尽可能地节约原材料及降低成本。在条件可能的情况下，应尽可能选择高精度的毛坯，以节约原材料和减少机械加工的劳动量。在有条件时，最好委托专业厂家提供毛坯。同时注意新工艺、新材料、新技术的应用。

(5) 工艺路线的拟订。拟订工艺路线的主要工作是：确定装夹方式；选择定位基准；确定各表面的加工方法和划分阶段；合理安排各表面加工顺序；决定工序集中或分散的程度。

(6) 确定各工序所需的工艺设备（如机床）和工艺装备（工、夹、量具）。如果是专用的，则提出设计任务书及设计与试制计划。

(7) 确定工序余量、工序尺寸和公差。

(8) 在制定详细工艺规程时，应确定切削用量、时间定额和工人的技术等级。

(9) 填写工艺文件。

§ 1-5 零件的工艺分析

对被加工零件进行工艺分析，包括下面几个方面的内容：

(1) 了解零件在机器中的部位和作用，明确该零件与整个机器之间的关系，以及该零件的

加工质量对整个机器质量的影响。

(2) 检查图纸的完整性和正确性。例如是否有足够的视图、尺寸和公差，技术要求是否标注齐全等。用尺寸链原理，对有关尺寸和公差进行校核。

(3) 审查零件的材料的选择是否恰当。在满足零件的使用和可靠性的条件下，应尽量立足于国内，采用我国资源丰富的材料，不要轻易采用贵重金属。此外，如果材料用得合理，可能使整个工艺过程的安排发生困难。

(4) 分析零件的技术要求。零件的技术要求包括：加工表面的尺寸精度、形状精度、位置精度、表面粗糙度和其他表面质量方面的要求等。分析这些要求是否合理，在现有的生产条件下能否达到，以便采取措施。

(5) 审查零件的结构工艺性。如果发现有些零件的结构工艺性不好时，可提出修改意见，交设计部门考虑修改。

在设计柴油机及其零件时，除了要考虑它们的工作条件、结构形状及材料选择外，还必须注意结构工艺性，否则会給制造过程的各个阶段带来许多困难，甚至不能制造。有些即使能制造，但造成成本提高。

结构工艺性是指所设计的产品在能满足使用要求的前提下，制造、维修的可行性和经济性。

柴油机的结构工艺性包括：铸件、锻件、焊接件的结构工艺性，零件的机械加工和装配的结构工艺性。

一、铸件的结构工艺性

在柴油机零件中，有很多零件是铸造的，如机体、机座、气缸盖、活塞、球墨铸铁曲轴等。

为了获得良好的铸件，避免产生砂眼、气孔、疏松、裂纹等铸造缺陷，除了应根据铸造材料的流动性、收缩的方向和程度而采取相应的工艺措施外，更重要的是要求铸件的外形、内腔、壁厚、壁与壁的连接及加强筋方面具有良好的结构工艺性。

例如柴油机机体零件的加强筋形状采用曲线比直线好。如图 1-3(a) 所示机体加强筋是直线形的，改进设计如图中(b)所示。曲线形加强筋在铸件收缩时能够适应铸件变形的变化，故可防止产生裂纹，这点对于收缩量较大的金属（如钢、可锻铸铁等）更为有利。此外筋的尖端加设凸缘，变成工字形断面，这样也可以增加刚性。

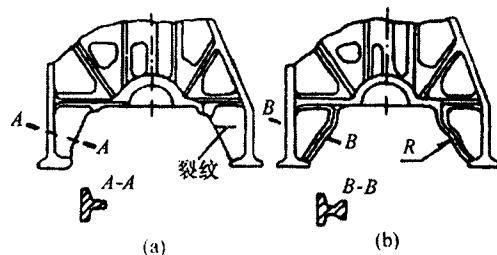


图 1-3 加强筋的形状

二、锻件的结构工艺性

柴油机的锻件有曲轴、凸轮轴、连杆、气门等。

不同的锻造方法对零件的结构形状有不同的要求。设计锻造零件时，首先应按生产批量、零件形状和尺寸，以及具备的生产条件，选择技术上可行、经济上合理的锻造方法。然后按所选用的锻造方法的工艺性要求进行零件的结构设计。例如，不同类型的柴油机对连杆杆身的截面形状及杆身质量要求不同。除此之外，还必须考虑生产批量、锻造方式对结构工艺性的要求。

图 1-4 示出连杆杆身截面的几种形状。当生产批量小，采用自由锻造的毛坯时，宜采用图中(a)、(b)所示截面形状。这样的杆身形状简单，便于自由锻造，且不需要复杂的机械加工。图

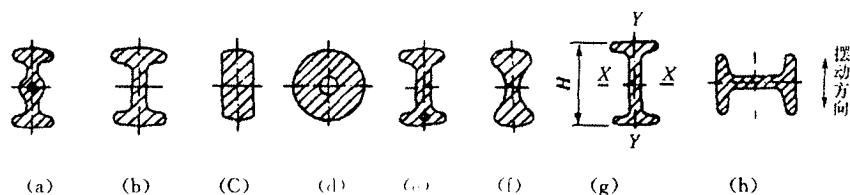


图 1-4 连杆杆身截面形状

中(c)~(h)所示工字形截面，材料利用合理。强化程度不高时，连杆杆身不需加工，但毛坯多系模锻，故适用于成批大量生产。锻件的结构设计应避免造成充填不足、折叠、凹缩、裂纹等缺陷。

三、焊接件的结构工艺性

随着焊接技术的发展，在柴油机制造中、起初在大型，随后又在中型发动机上采用了焊接件 如油底壳、曲柄箱、机座、托架和进排气管等。

焊接结构的设计原则如下：

- (1) 尽量多用轧材；
- (2) 减少焊缝；
- (3) 选择适当截面形状，以增加截面惯性矩，提高构件的抗弯、抗扭和抗压强度；
- (4) 操作方便；
- (5) 合理布置焊缝；
- (6) 不用或少用坡口；
- (7) 受弯曲的焊缝，未焊的一侧不要放置在拉应力区；
- (8) 不宜采用薄而带锐角的板料作加强筋，在焊缝处锐角必须去掉。

四、零件机械加工的结构工艺性

提高零件机械加工结构工艺性的原则是：

- (1) 尽量采用标准化、系列化的零、部件。
- (2) 合理规定零件的技术要求。
- (3) 正确选择设计基准和标注设计尺寸。
- (4) 零件的结构要求有便于在机床或夹具上装夹的定位基准，如果零件的工作表面不能作为定位基准，则要求专门设计加工所用的辅助基准。

- (5) 应使零件加工时的刚度尽可能好。
- (6) 在使用允许的情况下，零件不要有过深的孔。
- (7) 零件的结构应便于加工。
- (8) 尽量减少加工表面数和缩小加工表面面积。
- (9) 同一零件上的类似参数应尽量一样。
- (10) 使零件结构尽可能减少加工装夹的次数。
- (11) 使零件加工尽量避免采用特殊的机床、夹具和刀具。
- (12) 零件结构应与生产类型和具体的生产条件相适应。

五、零、部件装配的结构工艺性

零、部件装配工艺性的好坏，直接影响装配质量、装配周期、装配所需的劳动量以及机器维修的可行性与经济性。

零、部件的装配工艺性往往和零件机械加工的结构工艺性矛盾。例如，采用完全互换法求

解装配尺寸链而确定的各组成零件的公差，装配工艺性好，但对零件的精度要求就高，因此机械加工的工艺性就相对变差；采用修配法，情况则刚好相反。所以只有熟悉产品的整个生产过程，根据具体情况全面考虑，才能解决这些矛盾。

改进零、部件装配工艺性的几个基本原则是：

(1) 机器结构应尽可能分成独立进行装配的装配单元以便于平行装配。

(2) 减少装配时的补充机械加工量和钳工修配工作量。

(3) 尽量减少装配尺寸链的环数。

(4) 要求便于装配和调整。

(5) 柴油机在使用中常常要更换气缸套、活塞环、轴瓦等易损件，在设计时应考虑机器的拆卸和维修。

(6) 应便于起吊。

§ 1-6 工件的装夹

工件加工时，首先要使它相对于机床和刀具具有一个正确的位置，只有处在这一位置上进行加工，才能保证加工表面对其他表面的位置精度。确定工件在机床上或夹具中占有正确位置的过程称为“定位”。工件在定位后将其固定，使其在加工过程中保持定位位置不变的操作称为“夹紧”。将工件在机床上或夹具中定位、夹紧的过程谓之“装夹”。

随着生产批量、加工精度、尺寸大小的不同，工件的装夹方法也不同，通常有以下三种：

一、直接找正装夹

图 1-5 示出在车床上找正装夹工件的示例。用划针校端面 A 和外圆柱面 B ，使它们分别与车床主轴回转轴线垂直和同轴，然后夹紧工件。用划针找正可达到的精度为 0.5 mm ，精度不高，又费时，一般只适用于单件小批生产中形状简单的零件。若对工件的定位精度要求很高（例如允许的定位误差小于 $0.01\sim 0.005\text{ mm}$ ），即使采用专用夹具也无法保证其精度要求时，则只能用精密量具进行直接找正装夹。

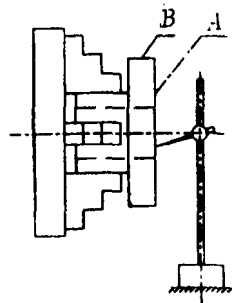


图 1-5 直接找正安装

二、按划线找正装夹

根据图纸要求预先在毛坯上划出待加工面位置线，然后按线痕找正装夹。这种方法首先增加了一道划线工序，需要技术水平高的划线工，而且划线和按划线找正装夹费时，定位精度不高，一般其经济精度为 0.2

$\sim 0.5\text{ mm}$ 。此种方法的优点是不需要专用夹具，在单件小批生产中，形状复杂的铸件其精度不高，用划线找正，能保证工件各待加工表面都有足够的加工余量；还能使不需要加工的表面与加工面之间的相互位置不致有太大的偏移。因此，此法适用于单件小批生产形状复杂、尺寸很大的铸件和锻件。例如，柴油机的机座、气缸体、大型曲轴等。

三、用夹具装夹

这是一种先进完善的装夹方法。但用夹具装夹，需设计和制造适合于某一工序的夹具，因而生产准备周期长，夹具的制造精度要求高，有时需要精密设备（如坐标镗床），所以此法在成批、大量生产中广泛采用，单件生产中较少采用。但对那些结构复杂、精度要求又高的工件，如柴油机的曲轴，在普通车床上加工曲柄销时，则非用夹具不可。

§ 1-7 基准和定位基准的选择

一、基准

基准 用来确定生产对象上几何要素间的几何关系所依据的那些点、线、面。按照基准的作用不同可将基准分为两大类，即设计基准和工艺基准。

1. 设计基准

指产品设计图样上所采用的基准，即零件图上用来确定尺寸、形状（有位置要求的轮廓度）和位置（如平行度、垂直度、同轴度等）所依据的点、线、面。如图 1-6 所示，平面 C、D 的位置尺寸是依据平面 A 标注的，所以平面 A 是 C、D 平面的设计基准；平面 A 还是用来确定 $\phi 6H6$ 轴线方向（垂直度）的设计基准。

2. 工艺基准

指在工艺过程中采用的基准，按其用途不同又可分为工序基准、测量基准、定位基准、装配基准。

(1) **工序基准** 在工序图上用来确定本工序所加工表面加工后的尺寸、形状、位置的基准。在用调整法加工时，工序基准应与定位基准重合；在用试切法加工时，工序基准应与测量基准重合。

(2) **测量基准** 测量时所采用的基准。应该尽可能用设计基准作为测量基准。但有时用设计基准作测量基准不方便，甚至不可能，不得不改用其他表面作测量基准。

(3) **定位基准** 在加工中作定位的基准。

在定位基准中，未加工过的毛坯面称为粗基准；已加工过的面称为精基准；为满足工艺需要，在工件上专门设计的定位面，称为辅助基准，如轴类零件的中心孔，筒状活塞的下端面及止口，它们在零件装配和机器运转中无任何用处。

工件以找正装夹时，用来校正工件在机床上的位置的几何要素，一般称“校验基准”，实质上是属于定位基准。

(4) **装配基准** 装配时用来确定零件或部件在机器中的相对位置所采用的基准。

二、定位基准的选择

在制定零件的机械加工工艺规程时，一般首先考虑选择怎样的精基准把各个表面加工出来，然后考虑选择怎样的粗基准把精基准加工出来。

1. 精基准选择

选择精基准要以保证加工精度和装夹方便为出发点。一般应考虑下述原则：

(1) 尽可能采用设计基准作为定位基准，这是所谓“基准重合”的原则。因为定位基准与设计基准不重合时会引起基准不重合误差。例如图 1-7 所示镗活塞销孔时的定位情况，按设计需要，零件图上的标注尺寸为 A 。但在图示情况下镗杆的位置尺寸由 C 调整，即使不考虑其他误差（如刀具位置的调整误差），由于在前面工序中加工尺寸 B 时有误差 δ_B ，使尺寸 A 的设计基准（活塞顶面）相对于定位基准（活塞下端面）的位置有变化，变动量为 δ_B ，则尺寸 A 也产生误差。

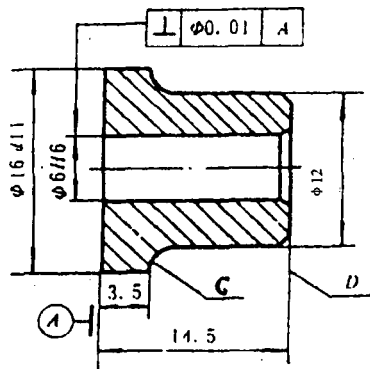


图 1-6 零件的设计基准

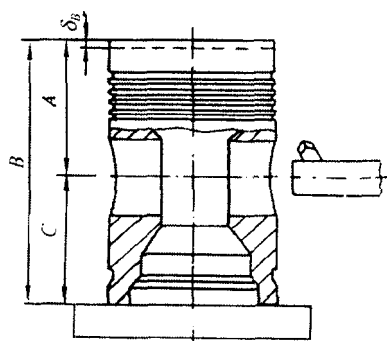


图 1-7 基准不重合误差

差 δ_{B_0} 。这样的误差是由于定位基准与设计基准不重合造成的，故称为“基准误差”。当定位基准与零件图上所注位置公差的基准不重合时，也同样产生基准不重合误差。

(2) 当工件以某一组精基准定位，便于加工其他表面时，要求后续工序尽可能都用这组精基准定位。这就是通常讲的“基准统一”原则。

基准统一可以简化工艺过程，并减少设计制造夹具的时间和费用。例如活塞加工以下端面 and 止口（辅助基准）作为统一精基准，可使大多数工序的夹具结构相同；另外在配件生产中，活塞的外圆尺寸不同，作为辅助基准的止口尺寸可以不变，可用同一夹具进行加工。除此之外，由于避免了

基准变换过多所带来的误差，特别是位置误差，在一定程度上还有利于提高加工精度。

(3) 某些精加工工序要求加工余量小而均匀，则可选被加工面本身作为精基准，这就是所谓“自为基准”的原则。例如在精镗活塞销孔及精镗连杆大、小端孔时常用孔表面本身作为精基准。

(4) 所选的精基准，应能保证工件装夹稳定可靠，夹具结构简单，操作方便。

对于上述原则，必须结合整个工艺过程和工件的定位夹紧方式全面加以分析，并从保证加工精度出发选择合适的精基准。

2. 粗基准选择

精基准选定以后，应在最初的工序中把这些精基准加工出来。这时只能用粗基准来定位。为了说明所选粗基准的不同对工件的影响，现以活塞为例进行分析。

选择活塞的粗基准，通常有两种不同方案：

(1) 用外圆作粗基准，夹在三爪卡盘车出下端面及止口，再以下端面和止口作为以后工序的精基准。如果活塞铸出来的内腔和外圆有偏心现象（内、外圆不同轴），用止口定位车外圆之后这种偏心现象依然如故，因而活塞的壁厚是不均匀的。但由于止口是用外圆定位加工出来的，所以反过来用止口定位加工外圆时加工余量是均匀的；

(2) 用内腔作粗基准车出外圆，再用外圆作为以后各工序的精基准；或者车出外圆后，再以外圆为基准车出止口，在以后工序中以止口为辅助基准。在这种方案中，活塞的壁厚将是均匀的，但车外圆时的加工余量不均匀。

从这里可以归纳出选择粗基准的两个主要原则：

(1) 如果必须保证零件某重要表面的加工余量均匀时，则应选择该表面作为粗基准。

(2) 如果必须保证工件某一不加工表面与加工表面之间的相互位置要求，则应以不加工面作为粗基准。如果有好几个不加工面，则选择其中与加工面相互位置要求较高的表面作为粗基准。

应当指出，上述两方面的要求是相互矛盾的。因此在选择粗基准时，必须明确零件在哪方面的要求是主要的。

对于活塞，若壁厚不均，会使其强度不一致，重量不对称，将影响它在气缸内工作的平稳性。所以保证壁厚的均匀性是主要的。至于保证加工余量均匀则处于从属的地位，因为加工余量不均匀虽然影响外圆的加工精度，但可以在以后的工序中给予修正。所以，在单件小批生产

中采用木模砂型浇铸的毛坯，由于筒壁厚簿不均，故在粗车外圆时应按内腔划线或直接按内腔找正安装。然而，在大批大量生产中，毛坯系用金属硬模浇铸，壁厚均匀，所以可以采用外圆和顶面作粗基准，用三爪卡盘装夹，这样既保证了壁厚均匀，又不要复杂的夹具，加工时操作也较为方便。

除了上述原则外，在选择粗基准时还必须注意：

(1)粗基准必须使定位可靠，便于夹紧，夹具结构简单。所以，粗基准表面必须平整光滑，没有毛刺、浇冒口或其他缺陷。

(2)粗基准一般只使用一次，应尽量避免重复使用，因为粗基准本身是毛面，表面粗糙度大，精度差，不能保证工件在前后两次定位中占据同一正确的位置，从而引起相应的加工表面出现较大的位置误差。

但是在某些情况下，重复使用粗基准也是可以的。例如毛坯是精密铸件或精密锻件，作为粗基准的表面较平整，光洁，精度较高，而加工精度要求又不高时，可以重复使用某一粗基准。

§ 1-8 工艺路线的拟订

一、表面加工方法的选择

1. 外圆的加工

对于外圆表面来说，根据加工质量的要求不同，可分别采用下列加工方案（参看表 1-2）。

(1)粗车（加工精度达 IT12~IT13 粗糙度为 $Ra_{100\sim 25\mu m}$ ）。

(2)粗车一半精车 IT10~IT11, $Ra_{12.5\sim 3.2\mu m}$ ）。

以上两种方案适合于加工除淬火钢以外的各种金属。

(3)粗车一半精车一磨削（IT7~IT9, $Ra_{1.6\sim 0.8\mu m}$ ）。

(4)粗车一半精车一粗磨一精磨 IT6, $Ra_{0.8\sim 0.4\mu m}$ ）。

(5)粗车一半精车一粗磨一精磨一研磨或超精加工、镜面磨削、砂带磨（IT5, $Ra_{0.2\sim 0.01\mu m}$ ）

以上三种方案最适用于加工淬火钢件，也可用于要求高或较高的未淬火钢件、铸铁件等，但对有色金属，因其韧性很大，磨削时易堵塞砂轮，难以得到光洁的表面，一般不宜采用。

(6)粗车一半精车一精车（IT7, $Ra_{3.2\sim 1.6\mu m}$ ）。

(7)粗车一半精车一精车一细车 IT5~IT6, $Ra_{0.8\sim 0.4\mu m}$ ）。

这两种方案适用于加工有色金属。在加工大型零件的精密外圆时，常用精细车代替磨削加工。如果零件的表面质量有更高要求时，可在精车后采用滚压，或在精细车后进行光整加工（如抛光、砂带磨等）以降低表面粗糙度的高度值。

除了上述典型加工路线外，对于大直径的外圆，还可以选用铣削加工提高生产率。

由上述分析可知，有一定加工要求的外圆，往往可以采用几种加工方案，但在具体条件下最合理的方案却只有一个。例如曲轴轴颈加工的技术要求，尺寸公差为 IT6 粗糙度为 $Ra_{0.8\mu m}$ 。它可以选用下述两种方案：

方案 I 粗车一半精车一精车一细车

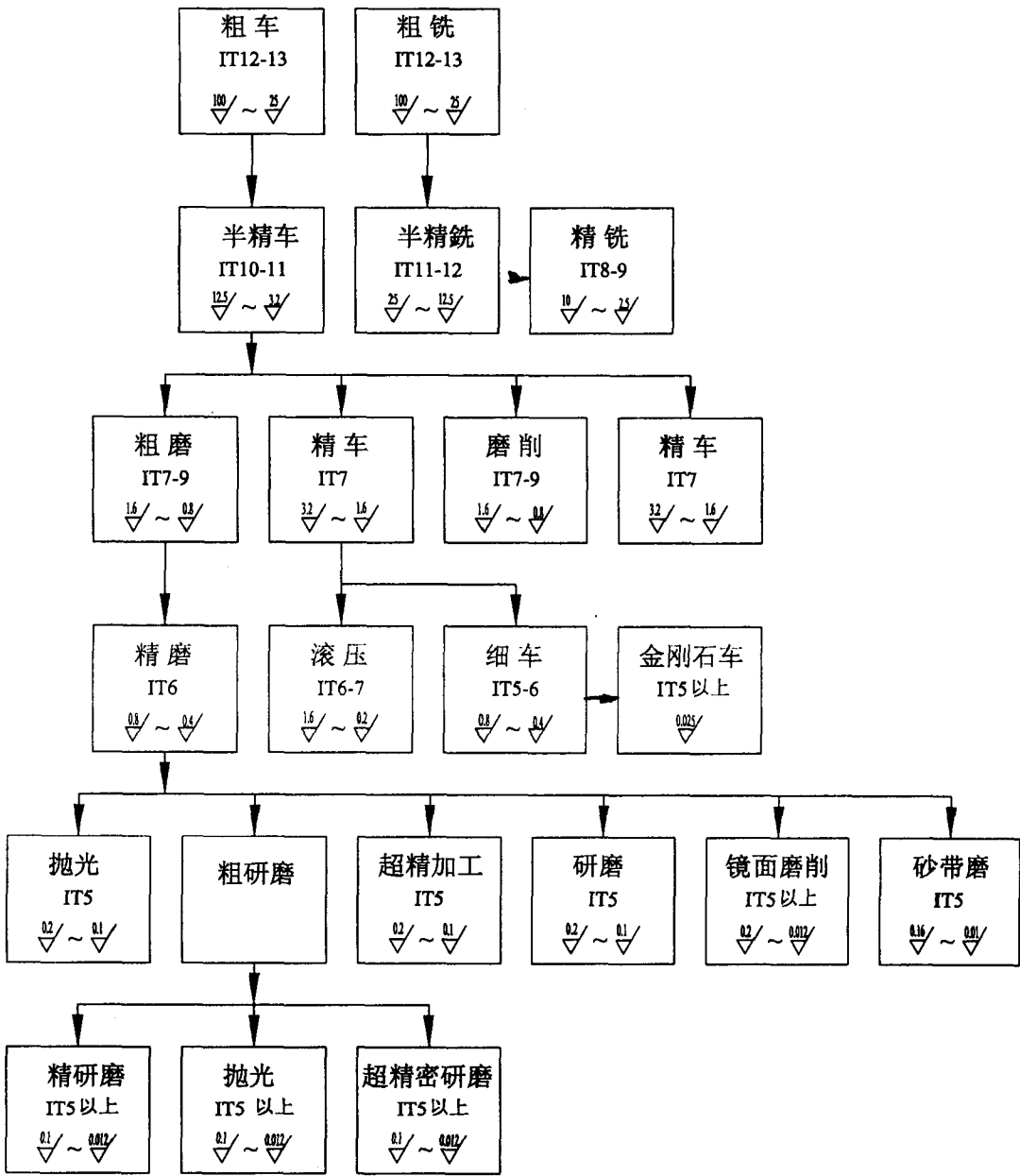
方案 II 精车一半精车一粗磨一精磨

方案 I 用普通车床就可以实现，无需专门的曲轴磨床。但应指出的是，采用本方案时，必须

严格划分加工阶段以及合理选择切削用量，同时还要由技术水平较高的工人来操作，否则难以达到加工要求。此外，在普通车床上进行精细车时生产率较低。因而这种方案适用于单件小批生产。

方案 Ⅰ 需采用曲轴磨床来实现。这种加工方案不仅能保证加工精度和粗糙度要求，且生产率较高。然而由于采用的曲轴磨床设备费用较高，故只适用于成批大量生产。

表 1-2 外圆柱表面的加工路线

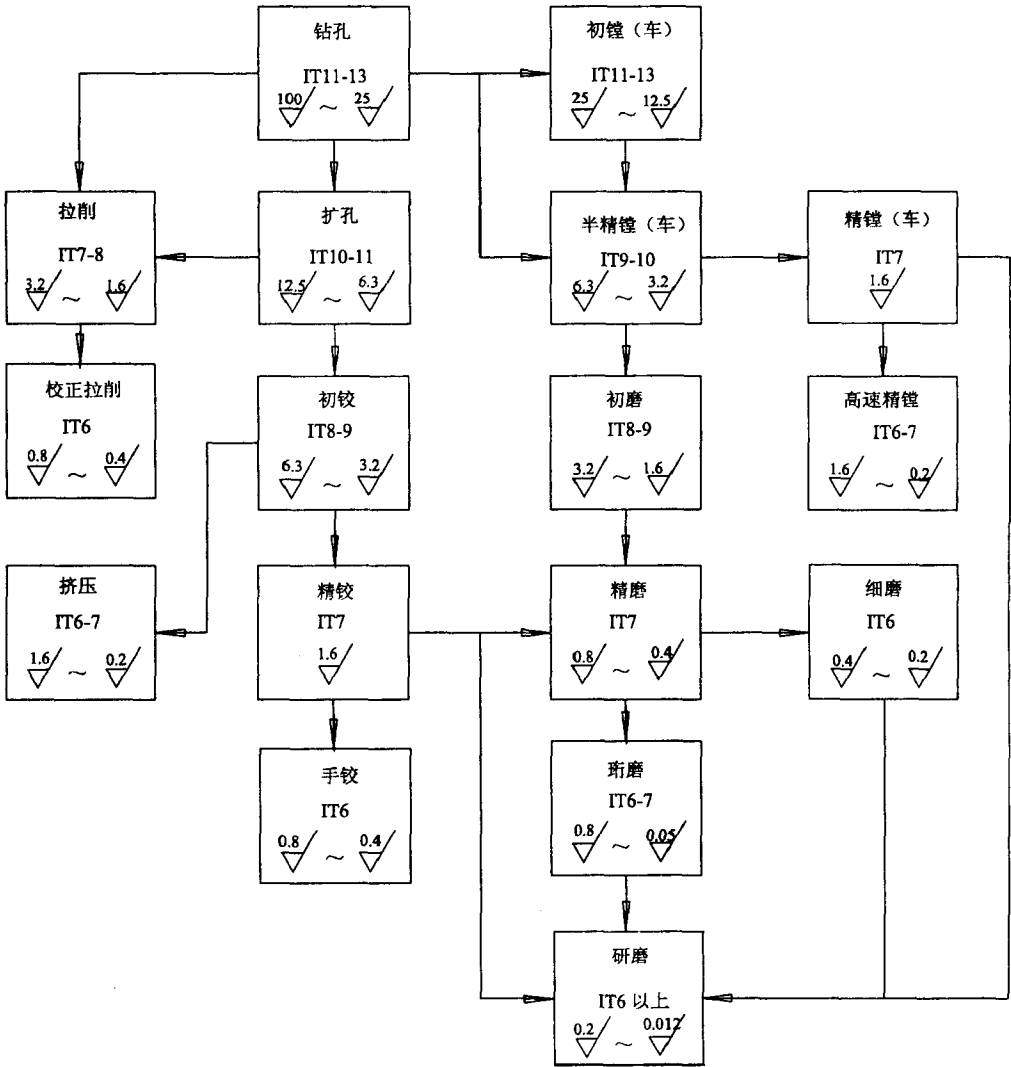


2. 孔加工

孔的加工方案可参考表 1-3。直径小于 30 mm 的孔，毛坯都是实心的，因此第一道工序都

是钻孔。直径大于 50 mm 的孔，在毛坯上一般都铸出或锻出孔，第一道工序为粗镗或扩孔。直径在 30~50 mm 的孔，毛坯上是否有孔，需视具体情况而定。如果它位于箱体零件上面，则一般不铸出，因为铸出的孔由于泥芯在浇铸时的偏斜反而会给加工带来很大困难。如果它位于

表 1-3 孔的加路线



中小零件上面，则一般铸或锻出孔，以节约金属和减少加工工作量。直径小于 80 mm 的孔用定尺寸刀具和用钻、扩、铰进行加工，可以提高生产率，保证加工质量。工件材料应为未淬火钢或铸铁，对于有色金属虽可加工，但铰孔后不易保证所需的表面粗糙度。

镗孔，可作为粗加工，也可作为精加工；可以加工各种零件上尺寸不同的孔，而对于直径为 100 mm 以上的孔几乎是惟一的加工方法；由于镗孔刀具结构简单，又可以在各种机床上进行，故在单件和成批生产中，镗孔是较经济的方法；高速精镗是有色金属零件上孔精加工的主要方法。

车孔，用车削方法加工孔，这种方式多用来加工盘类和套筒类零件，它便于保证外圆表面与孔的同轴度。

磨孔，由于砂轮直径受孔径限制，磨削速度太低，生产效率及加工质量都远不如外圆磨削，因此主要用在淬硬工件的加工。

珩孔，可加工直径为 5~500 mm 甚至更大的孔，能加工长径比达 10 以上的深孔，且表面呈网状痕迹，耐磨性和润滑性能较好，故广泛用于柴油机气缸套孔和针阀套筒中孔的加工。

拉孔，由于拉刀成本较高和拉削时有很大的轴向力，因此主要用在材料为未淬火钢、铸铁及有色金属的基准孔和具有很大轴向刚度的盘形零件、短套筒等的大量生产中。

3. 平面加工

平面加工方案可参考表 1-4。铣和刨是平面加工的主要方法。一般说来，铣比刨生产效率要高，但对窄长形平面（如导轨），刨的生产效率不见得比铣低。平面的粗加工和精加工在成批、大量生产中多采用铣削；单件、小批生产或狭长平面加工，常用刨削，其特点是刀具结构简单，调整方便。与圆柱面轴线相垂直的端面一般都和圆柱面在同一工序的同一装夹内加工，即用车床车出或外圆磨磨出。平面的精加工主要用磨削，但对于大件，常用宽刀精刨的方法加工不淬硬的工件。平面的光整加工主要用研磨和刮研。前者主要用在淬硬件和小件，后者适用于单件、小批生产中加工如导轨等平面精度高的大型平面。

表 1-4 平面的加工路线

加工路线	公差等级	表面粗糙度参数 $Ra \mu m$
粗刨 粗铣 粗车	IT13~IT11	25~12.5
粗刨一半精刨 粗铣一半精铣 粗车一半精车	IT11~IT8	12.5~3.2
拉削	IT9~IT7	12.5~3.2
粗刨一半精刨 } 粗铣一半精铣 } 粗车一半精车一磨	IT9~IT6	1.6~0.4
粗拉—精拉 粗铣—拉削	IT6	0.4~0.2
粗刨一半精刨 } 粗铣一半精铣 } 粗磨—精磨	IT6~IT5	0.4~0.2
粗刨一半精刨 } 粗铣一半精铣 } 粗磨—精磨—研磨	IT5	0.2~0.012

二、加工顺序的安排

加工顺序是指工序排列的先后，它与加工质量、生产率和经济性有密切关系，是拟订工艺

路线的关键之一。

1. 加工阶段的划分

加工质量要求较高的零件，应分别进行粗、精加工。当零件加工质量要求很高时，其加工过程甚至可分成四个阶段：

- (1)粗加工 ——从坯料上切除较多余量，所能达到的精度较低，是粗糙度较大的加工过程。
- (2)半精加工 ——在精加工和粗加工之间所进行的切削加工过程。
- (3)精加工 ——从工件上切除较少的余量，所得精度比较高，是粗糙度比较小的加工过程。
- (4)光整加工 ——精加工后，从工件上不切除或仅切除极薄金属层，用以减小工件表面粗糙度或强化表面的加工过程。

外圆表面光整加工常用的方法有：金刚石车、镜面磨削、砂带磨、超精加工、研磨、抛光和滚压。

平面光整加工常用的方法有：抛光、研磨和刮研。

孔的光整加工常用高速精镗、细磨、珩磨、研磨、挤压等。

把机械加工工艺过程划分几个阶段的意义在于：

(1)保证加工质量 粗加工时切削力大，切削热大，因此受力和热变形影响都大；另外工件的内应力会由于表面切除一层金属而重新分布，也将使工件产生变形。如果粗、精加工连续进行，或在某些表面的精加工之后进行另一些表面的粗加工，就无法避免由于变形而造成的加工误差。

(2)合理使用设备 在精密机床上进行精加工，由于切削力小，有利于长期保持机床的精度；粗加工在功率大、精度一般的高效率机床上进行，能充分发挥设备的潜力。

(3)粗加工工序安排在前，可以及时发现毛坯缺陷，例如气孔、裂纹、夹杂或加工余量不足等，因而可及时确定后续工序可否进行。精加工安排在后可减少精加工表面受到损伤的机会。

(4)适应热处理的需要 例如淬硬前安排粗加工和半精加工，淬硬后安排精加工等。

必须指出：上述各点仅是一般原则，不能认为它对任何情况和条件都是合适的。一般在大批大量生产时，加工阶段划分比较细，而单件小批生产时，有时将粗、精加工混在一起。另外，当加工重型零件时，工件的运输、装夹很费时，常在一台机床上完成某些表面的粗、精加工，但要采取一些措施。例如在粗加工后将工件稍微松开，让其自由变形，然后用较小的力夹紧工件，再进行精加工。

2. 加工顺序安排的原则

(1)要求最高的表面精加工，应安排在加工过程的最后，以免受加工其他表面时的影响。

(2)前面的工序要为后面的工序准备好基准。任何一个高精度表面加工之前，作为其定位基准的表面应在前面的工序中加工完毕，而这些作为精基准的表面加工时又有其加工所需的定位基准，这些定位基准又要在更前面的工序加工完毕，直至使用粗基准。各工序的定位基准选择问题解决后，就可以从最终精加工工序向前推出整个工艺过程的大致轮廓。

(3)可能产生很高废品率的工序应尽量在最先进行，以避免工时的浪费。

(4)在单件小批生产、车间按机群制布置时，为了避免工件往返运输，应力求将相同工序安排在一起（例如开始全部为车削工序，然后全部为铣削工序）。

(5)次要表面的加工工序可插入主要表面加工工序之间。所谓次要表面是指键槽、螺孔、连接螺纹等表面。这些表面一般都与主要表面有一定的相对位置要求，应以主要表面作为基准进

行加工。因其本身去除金属量不大，因此这些表面的加工一般放在主要表面的半精加工之后、精加工以前一次加工完毕。也可放在最后加工，但应以不影响主要表面的加工精度和表面粗糙度为前提。

(6)热处理工序的安排。热处理是用来提高材料的机械性能，改善金属的加工性能和消除内应力，其安排应视其作用而定。

正火、调质等改善材料机械性能和加工性的热处理，应放在粗加工以前或粗加工与半精加工之间进行。放在粗加工以前可改善粗加工的加工性能并可减少车间之间的转换次数；放在粗加工与半精加工之间可缩短热处理时间，并可消除粗加工的内应力。

消除内应力的人工时效，一般放在粗加工与半精加工之间进行。对于高精度的零件，应安排多次时效工序。有的工厂为了减少工件的往返运输，缩短生产周期，对精度要求不很高的零件或大型零件，放在粗加工之前进行，这样不能消除粗加工的内应力。

淬硬工序一般放在半精加工和精加工之间进行。在淬硬之前将键槽，螺纹等次要表面加工完，以免零件淬硬后加工困难。渗碳淬火的工件，由于渗碳时变形很大，常将渗碳工序提前到次要表面加工之前，渗碳后即加工次要表面，然后再淬火，这样可以减少淬硬后次要表面与主要表面之间的位置误差，且可保证次要表面不被淬硬。氮化处理变形很小，需要的时间很长，因此安排在粗磨之后、精磨之前进行。必须重视淬火前的去毛刺工作，否则这些毛刺淬硬后将难以去除。

(7)辅助工序的安排。检验工序是重要的辅助工序，为了保证产品和零件的加工质量，除在工序中由操作者自检外，在主要工序前后、送往外车间前后（特别是热处理前后）以及工件全部加工完成后，要安排专门的检验工序。此外，还须在有关的加工工序之后，安排去毛刺、清洗、涂防锈油、以及探伤、退磁等辅助工序。

柴油机中有些零件，如机座轴承座孔和连杆大头孔的半精镗和精镗，都要在装上轴承盖和连杆盖以后进行，因此在半精镗孔之前应安排钳工装配工序。

3. 工序的集中和分散

同一零件的加工工艺规程，会出现不同的工序数目，它随一定条件下的工艺特点和组织特点而改变。在解决这个问题时，可以采用原则上完全不同的方法，即工序集中和工序分散法。

工序分散就是将工件的各个表面的加工分得很细，工序多，工艺路线长，而每个工序所包含的加工内容少；工序集中则相反，一种工件的加工只集中在少数几道工序里完成，而每道工序所包含的加工内容都很多。

工序集中的优点：

(1)减少工件的装夹次数。当工件上某些加工表面相互位置精度要求较高时，最好在一次装夹中把它们都加工出来，这样有利于保证这些表面的位置精度，又可以减少装卸工件的辅助时间。

(2)减少机床的数量，并相应减少工人，节省车间面积，同时还可以简化生产管理。

工序分散的优点：

(1)机床和工夹具比较简单，调整比较容易，生产工人易于掌握操作技术。

(2)有利于选择最合理的切削用量，也易于平衡工序时间，组织流水作业。

由此可见，工序集中和工序分散的优缺点正好相反。因此在拟订工艺规程时，必须根据生产规模、零件的结构特点和技术要求、机床设备等具体生产条件进行综合分析，才能合理选择

工序集中或工序分散。

在一般情况下，单件小批生产只能是工序集中，多采用通用机床。大批量生产可以集中，也可分散。从技术发展要求来看，一般趋向工序集中的原则来组织生产。例如采用数控机床、加工中心等高效机床。但也有许多零件，例如连杆、活塞等是按照工序分散原则制定工艺规程的，因为这些零件的加工表面不便于集中加工。

§ 1-9 加工余量

一、基本概念

在切削加工过程中，为了使零件表面得到所要求的尺寸、形状、相对位置和表面质量，必须从毛坯上切除的金属层厚度称为加工余量。加工余量分为加工总余量（毛坯余量）和工序余量。加工总余量是指毛坯尺寸与零件图的设计尺寸之差。工序余量指相邻两工序的工序尺寸之差。外圆和孔的工序尺寸是加工表面的直径，因此加工余量是指直径上的，故为双边余量，即实际所切除的金属层厚度是加工余量之半；平面的加工余量则是单边余量，它等于实际切除的金属层厚度。加工总余量也等于该加工表面的各个工序余量之和。

某工序加工后应达到的尺寸，即为工序尺寸。工序尺寸的公差一般规定在零件的“向体内”方向。故对于外表面，工序基本尺寸就是最大极限尺寸；而对于内表面，工序尺寸则是最小极限尺寸。而对毛坯尺寸，其公差一般都标注为对称分布的。因此，无论是总余量还是工序余量，都有一定的公差。所以加工余量又可分为基本余量、最大余量和最小余量。对于外表面，它们之间的关系如图 1-8 所示。

对于外表面来说，最小余量等于上工序的最小极限尺寸与本工序的最大极限尺寸之差；最大余量是上工序的最大极限尺寸与本工序最小极限尺寸之差。对于内表面来说则相反。余量公差为最大余量与最小余量之差，亦即本工序的工序尺寸公差与前一工序的工序尺寸公差之和。基本余量即相邻两工序的工序基本尺寸之差，亦即最小余量加前一工序的工序尺寸公差。

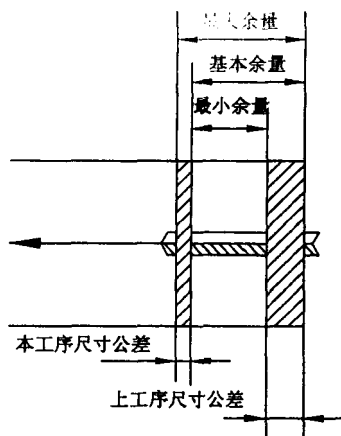


图 1-8 外表面的加工余量

二、影响加工余量的因素

最小加工余量的数值，应保证将具有各种缺陷和误差的金属切去，提高表面的精度和表面质量。因此，影响最小加工余量的因素如下：

(1) 上工序的表面质量。上一工序的表面粗糙度和表面缺陷层的深度是本工序最小余量的基本组成因素。

(2) 上工序的形位误差。工件在上道工序加工后所留下的形状误差，如平面度、圆柱面的圆柱度等，应在本工序中除去。因这类误差包括在上道工序加工尺寸公差范围内，故在此不予考虑。对于不包括在尺寸公差范围内的圆柱面轴线的直线度误差，需另外考虑。如加工细长轴时往往引起轴线的弯曲变形。若上一工序后轴线的直线度误差为 $\phi\Delta$ ，则本工序必须增加余量 Δ ，才能保证该轴加工后消除变形。因此，细长轴的加工余量应比用同样方法加工短轴时的余量大一些。

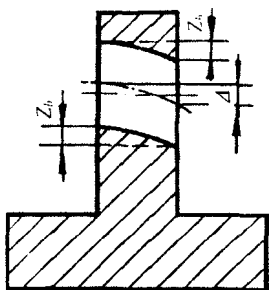


图 1-9 位置误差对余量的影响

在确定本工序余量时，需考虑上一工序不包括在尺寸公差范围内的位置误差的影响。如图 1-9 所示，粗镗后孔的轴线对底面的平行度误差为 Δ 为了纠正它，在没有其他误差存在时，粗镗的加工余量应不小于平行度误差。对于像平面对平面的平行度这样的位置误差，它包括在尺寸公差范围内，在确定加工余量时，不再另行考虑。还需指出的是，如图 1-9 所示孔的轴线的直线度误差，已包含在孔的轴线对底面的平行度误差内，因此也不再另行考虑。

(3) 本工序的装夹误差。工件在本工序中存在的装夹误差将直接影响加工余量。如图 1-10 所示，在内圆磨床上，由于三爪卡盘本身定心不准，使孔原来的轴线与主轴回转轴线偏移 e ，双

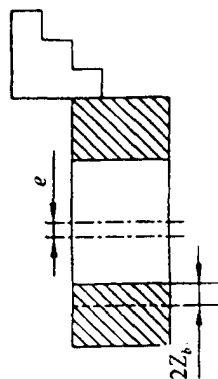


图 1-10 装夹误差对余量的影响

边余量 $2Z_b$ 将增大 $2e$ 。

分析上述影响加工余量的各个因素，确定它们的数值，从而计算出各工序余量和总余量。用算法确定加工余量的方法，比较科学和精确，但需要很多原始数据，因此目前仅在大批量生产中，对一些重要工序应用此法。在生产中，加工余量都是根据手册中推荐的数据，结合实际情况进行一定修正后确定。

§ 1-10 工艺尺寸的计算

根据加工的需要，在工艺附图或工艺规程中所给出的尺寸，称为工艺尺寸。工艺尺寸的计算包括：工序尺寸的确定和基准改换时尺寸和公差的换算。计算工艺尺寸时，要用到尺寸链原理。下面举例说明。

例 1 某零件上一个孔，孔长 40 mm 孔径为 $\phi 60^{+0.03}_0$ mm，粗糙度 R_a 为 $1.6 \mu\text{m}$ 需淬硬，材料为钢。工艺路线是：粗镗—精镗—热处理—磨削，各工序的加工余量如下：磨削余量为 0.5 mm 精镗余量为 1 mm 粗镗余量为 3.5 mm。试求各工序的工序尺寸。

解 磨削后要达到零件图上的尺寸，故

磨削工序尺寸为： $D = 60^{+0.03}_0$ (mm)；

精镗后孔径基本尺寸为：

$$D_1 = 60 - 0.5 = 59.5 (\text{mm})$$

粗镗后孔径基本尺寸为： $D_2 = 59.5 - 1 = 58.5 (\text{mm})$

毛坯孔径基本尺寸为： $D_3 = 58.5 - 3.5 = 55 (\text{mm})$

规定各工序尺寸的公差时，主要考虑本工序所能达到的经济精度，并使各工序有适当的加

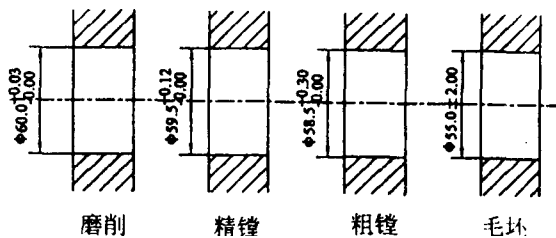


图 1-11 工序尺寸图