

机械加工工艺基础知识

第一节 概述

一、生产过程和工艺过程

产品的生产过程是指把原材料变为成品的全过程。机械产品的生产过程一般包括：

- 1．生产与技术的准备 如工艺设计和专用工艺装备的设计和制造、生产计划的编制、生产资料的准备等；
- 2．毛坯的制造 如铸造、锻造、冲压等；
- 3．零件的加工 切削加工、热处理、表面处理等；
- 4．产品的装配 如总装、部装、调试检验和油漆等；
- 5．生产的服务 如原材料、外购件和工具的供应、运输、保管等；

在生产过程中改变生产对象的形状、尺寸、相对位置和性质等，使其成为成品或半成品的过程，称为工艺过程。如毛坯的制造、机械加工、热处理、装配等均为工艺过程。

工艺过程中，若用机械加工的方法直接改变生产对象的形状、尺寸和表面质量，使之成为合格零件的工艺过程，称为机械加工工艺过程。同样，将加工好的零件装配成机器使之达到所要求的装配精度并获得预定技术性能的工艺过程，称为装配工艺过程。

机械加工工艺过程和装配工艺过程是机械制造工艺学研究的两项主要内容。

二、机械加工工艺过程的组成

机械加工工艺过程是由一个或若干个顺序排列的工序组成的，而工序又可分为若干个安装、工位、工步和走刀。

（一）工序

工序是指一个或一组工人，在一个工作地对一个或同时对几个工件所连续完成的那一部分工艺内容。

区分工序的主要依据，是工作地（或设备）是否变动和完成的那部分工艺内容是否连续。

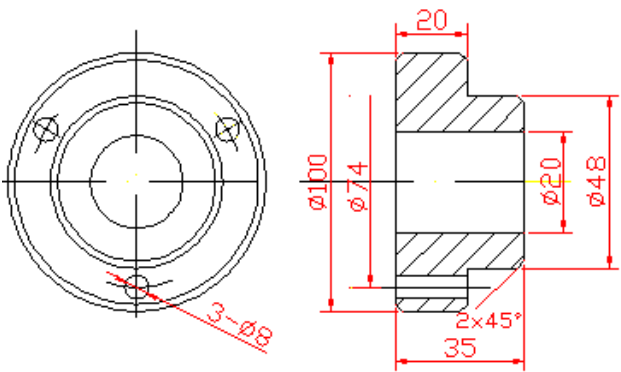


图1-1 圆盘零件

图1 -1 所示的圆盘零件，单件小批生产时其加工工艺过程如表1 -1 所示；成批生产时其加工工艺过程如表1 -2 所示。

表1 -1 圆盘零件单件小批机械加工工艺过程

工序号	工序名称	工装	工步	工序内容	设备
1	车削	I	1	（用三爪自定心卡盘夹紧毛坯小端外圆） 车大端端面	车床
			2		
			3	车大端外圆至 $\Phi 100$	
			4	钻 $\Phi 20$ 孔 倒角	
		II	5	（工件调头，用三爪自定心卡盘夹紧毛坯大端外圆） 车小端端面，保证尺寸 35mm	
			6		
			7	车小端外圆至 $\Phi 48$ ，保证尺寸 20mm 倒角	
2	钻削	I	1 2	（用夹具装夹工件） 依次加工三个 $\Phi 8$ 孔 在夹具中修去孔口的锐边及毛刺	钻床

表1 -2 圆盘零件成批机械加工工艺过程

工序号	工序名称	工装	工步	工序内容	设备
1	车削	I	1	(用三爪自定心卡盘夹紧毛坯小端外圆)	车床
			2	车大端端面	
			3	车大端外圆至 $\Phi 100$	
			4	钻 $\Phi 20$ 孔 倒角	
2	车削	I	1	(以大端面及涨胎心轴)	车床
			2	车小端面, 保证尺寸 35mm	
			3	车小端外圆至 $\Phi 48$, 保证尺寸 20mm 倒角	
3	钻削	I	1	(钻床夹具) 钻孔 3 — $\Phi 8$	钻床
4	钳	I	1	修孔口的锐边及毛刺	

由表1 -1 可知，该零件的机械加工分车削和钻削两道工序。因为两者的操作工人、机床及加工的连续性均已发生了变化。而在车削加工工序中，虽然含有多个加工表面和多种加工方法（如车、钻等），但其划分工序的要素未改变，故属同一工序。而表1 -2 分为四道工序。虽然工序了 1 和工序 2 同为车削，但由于加工连续性已变化，因此应为两道工序；同样工序 4 修孔口锐边及毛刺，因为使用设备和工作地均已变化，因此也应作为另一道工序。

工序不仅是组成工艺过程的基本单元，也是制订时间定额，配备工人，安排作业和进行质量检验的基本单元。

（二）工步与走刀

为了便于分析和描述工序的内容，工序还可以进一步划分工步。

工步是指加工表面（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。一个工序可以包括几个工步，也可以只有一个工步。如表1 -1 中工序 1 。在安装 I 中进行车大端面、车外圆、钻 $\phi 20$ 孔、倒角等加工，由于加工表面和使用刀具的不同，即构成四个工步。

一般来说，构成工步的任一要素（加工表面、刀具及加工连续性）改变后，即成为另一个工步。但下面指出的情况应视为一个工步：

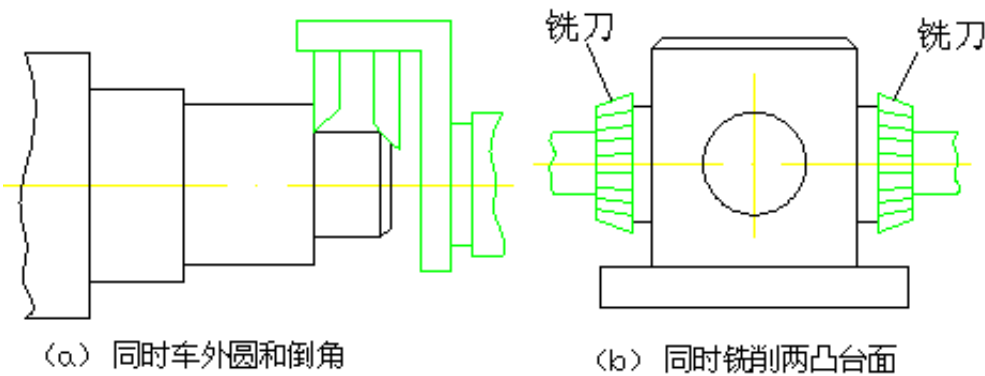


图1-2 复合工步

1. 对于那些一次装夹中连续进行的若干相同的工步应视为一个工步。如图1 - 1 零件上三个 $\phi 8$ 孔钻削。可以作为一个工步。即钻 3- $\phi 8$ 。

2. 为了提高生产率，有时用几把刀具同时加工几个表面，此时也应视为一个工步，称为复合工步。如图1 -2 的加工方案。

在一个工步内，若被加工表面切去的金属层很厚，需分几次切削，则每进行一次切削就是一次走刀。一个工步可以包括一次走刀或几次走刀。

(三) 安装与工位

工件在加工前，在机床或夹具上先占据一正确位置（定位），然后再夹紧的过程称为装夹。工件（或装配单元）经一次装夹后所完成的那一部分工艺内容称为安装。在一道工序中可以有一个或多个安装。表1 -1 中工序 1 即有两个安装，而工序 2 有一个安装。工件加工中应尽量减少装夹次数，因为多一次装夹就多一次装夹误差，而且增加了辅助时间。因此生产中常用各种回转工作台、回转夹具或移动夹具等，以便在工件一次装夹后，可使其处于不同的位置加工。为完成一定的工序内容，一次装夹工件后，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固定部分所占据的每一个位置，称为工位。

图1 -3 所示为一种利用回转工作台在一次装夹后顺序完成装卸工件、钻孔、扩孔和铰孔四个工位加工的实例。

图1-3 多工位加工

工位I--装卸工件； 工位II--钻孔；
工位III--扩孔； 工位IV--铰孔

三、 工件的夹紧

(一) 工作夹紧概述

如上所述，工件在加工前需要定位和夹紧。这是两项十分重要的工作。关于定位在后面章节中详细论述，本节对工件在机床上或夹具中的夹紧作一概略说明。

夹紧的目的是防止工件在切削力、重力、惯性力等的作用下发生位移或振动，以免破坏工件的定位。因此正确设计的夹紧机构应满足下列基本要求：

1. 夹紧应不破坏工件的正确定位；
2. 夹紧装置应有足够的刚性；
3. 夹紧时不应破坏工件表面，不应使工件产生超过允许范围的变形；
4. 能用较小的夹紧力获得所需的夹紧效果；
5. 工艺性好，在保证生产率的前提下结构应简单，便于制造、维修和操作。手动夹紧机构应具有自锁

一、机械加工工艺规程

机械加工工艺规程是规定零件机械加工工艺过程和操作方法的工艺文件。它是机械制造工厂最主要的技术文件。其具体作用如下：

1．工艺规程是指导生产的主要技术文件，是指挥现场生产的依据。

对于大批大量生产的工厂，由于生产组织严密，分工细致，要求工艺规程比较详细，才能便于组织和指挥生产。对于单件小批生产的工厂，工艺规程可以简单些。但无论生产规模大小，都必须有工艺规程，否则生产调度、技术准备、关键技术研究、器材配置等都无法安排，生产将陷入混乱。同时，工艺规程也是处理生产问题的依据，如产品质量问题，可按工艺规程来明确各生产单位的责任。按照工艺规程进行生产，便于保证产品质量、获得较高的生产效率和经济效益。

2．工艺规程是生产组织和管理工作的基本依据。

首先，有了工艺规程，在新产品投入生产之前，就可以进行有关生产前的技术准备工作。例如为零件的加工准备机床，设计专用的工、夹、量具等。其次，工厂的设计和调度部门根据工艺规程，安排各零件的投料时间和数量，调整设备负荷，各工作地按工时定额有节奏地进行生产等，使整个企业的各科室、车间、工段和工作地紧密配合，保证均衡地完成生产计划。

3．工艺规程是新建或改（扩）建工厂或车间的基本资料。

在新建或改（扩）建工厂或车间时，只有依据工艺规程才能确定生产所需要的机床和其它设备的种类、数量和规格；车间的面积；机床的布局；生产工人的工种、技术等级及数量；辅助部门的安排。

但是，工艺规程并不是固定不变的，它是生产工人和技术人员在生产过程中的实践的总结，它可以根据生产实际情况进行修改，使其不断改进和完善，但必须有严格的审批手续。

二、工艺规程制订的原则

工艺规程制定的原则是优质、高产、低成本，即在保证产品质量的前提下，争取最好的经济效益。在制订工艺规程时应注意下列问题：

1．技术上的先进性

在制订工艺规程时，要了解国内外本行业的工艺技术的发展水平，通过必要的工艺试验，积极采用先进的工艺和工艺装备。

2．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、材料消耗和生产成本最低。

3．有良好的劳动条件

在制订工艺规程时，要注意保证工人操作时有良好而安全的劳动条件。因此，在工艺方案上要注意采用机械化或自动化措施，以减轻工人繁杂的体力劳动。

三、制订工艺规程时的原始资料

制订工艺规程时的原始资料主要有：

1 . 产品图样及技术条件。

如产品的装配图及零件图；

2 . 产品的工艺方案。

如产品验收质量标准、毛坯资料等；

3 . 产品零部件工艺路线表或车间分工明细表。以了解产品及企业的管理情况；

4 . 产品的生产纲领（年产量）。以便确定生产类型；

5 . 本企业的生产条件。

为了制订的工艺规程切实可行，一定要了解和熟悉本企业的生产条件。如毛坯的生产能力、工人的技术水平以及专用设备与工艺装备的制造能力、企业现有设备状况等；

6 . 有关工艺标准。

如各种工艺手册和图表，还应熟悉本企业的各种企业标准和行业标准；

7 . 有关设备及工艺装备和资料。

对于本工艺规程选用的设备和工艺装备应有深入地了解，如规格、性能、新旧程度和现有精度等；

8 . 国内外同类产品的有关工艺资料。

工艺规程的制订，要经常研究国内外有关工艺资料，积极引进适用的先进的工艺技术，不断提高工艺水平，以获得最大的经济效益。

四、制订工艺规程的步骤

1 . 计算零件的生产纲领、确定生产类型；

2 . 分析产品装配图样和零件图样

主要包括零件的加工工艺性、装配工艺性、主要加工表面及技术要求，了解零件在产品中的功用；

3 . 确定毛坯的类型、结构形状、制造方法等；

4 . 拟订工艺路线

包括选择定位基准、确定各表面的加工方法、划分加工阶段、确定工序的集中和分散的程度、合理安排加工顺序等；

5 . 确定各工序的加工余量，计算工序尺寸及公差；

6 . 选择设备及工艺装备；

7 . 确定切削用量及计算时间定额；

8 . 填写工艺文件。

五、工艺文件格式

将工艺文件的内容，填入一定格式的卡片，即成为生产准备和施工依据的工艺文件。常用的工艺文件的格式有下列几种：

1 . 机械加工工艺过程卡

这种卡片以工序为单位，简要地列出整个零件加工所经过的工艺路线（包括毛坯制造、机械加工和热处理等）。它是制订其它工艺文件的基础，也是生产准备、编排作业计划和组织生产的依据。在这种卡片中，由于各工序的说明不够具体，故一般不直接指导工人操作，而多作为生产管理方面使用。但在单件小批生产中。由于通常不编制其它较详细的工艺文件，而就以这种卡片指导生产。

2 . 机械加工工艺卡片

机械加工工艺卡片是以工序为单位，详细地说明整个工艺过程的一种工艺文件。它是用来指导工人生产和帮助车间管理人员和技术人员掌握整个零件加工过程的一种主要技术文件，是广泛用于成批生产的零件和重要零件的小批生产中。机械加工工艺卡片内容包括零件的材料、重量、毛坯种类、工序号、工序名称、工序内容、工艺参数、操作要求以及采用的设备和工艺装备等。

3 . 机械加工工序卡片

机械加工工序卡片是根据机械加工工艺卡片为一道工序制订的。它更详细地说明整个零件各个工序的要求，是用来具体指导工人操作的工艺文件。在这种卡片上要画工序简图，说明该工序每一工步的内容、工艺参数、操作要求以及所用的设备及工艺装备。一般用于大批大量生产的零件。

一、分析研究产品的零件图样和装配图样

在编制零件机械加工工艺规程前，首先应研究零件的工作图样和产品装配图样，熟悉该产品的用途、性能及工作条件，明确该零件在产品中的位置和作用；了解并研究各项技术条件制订的依据，找出其主要技术要求和关键技术，以便在拟订工艺规程时采用适当的措施加以保证。

工艺分析的目的，一是审查零件的结构形状及尺寸精度、相互位置精度、表面粗糙度、材料及热处理等的技术要求是否合理，是否便于加工和装配；二是通过工艺分析，对零件的工艺要求有进一步的了解，以便制订出合理的工艺规程。

如图1 - 4所示的汽车钢板弹簧吊耳，使用时，钢板弹簧与吊耳两侧面是不接触的，所以吊耳内侧的粗糙度可由原来的设计要求 $Ra3.2\mu m$ 建议改为 $Ra12.5\mu m$ 。这样在铣削时可只用粗铣不用精铣，减少铣削时间。

再如图 1-5 所示的方头销，其头部要求淬火硬度 55~60HRC，所选用的材料为 T 8A，该零件上有一孔 $\phi 2H7$ 要求在装配时配作。由于零件长度只有 15mm，方头部长度仅有 4mm，如用 T 8A 材料局部淬火，势必全长均被淬硬，配作时， $\phi 2H7$ 孔无法加工。若建议材料改用 20Cr 进行渗碳淬火，便能解决问题。

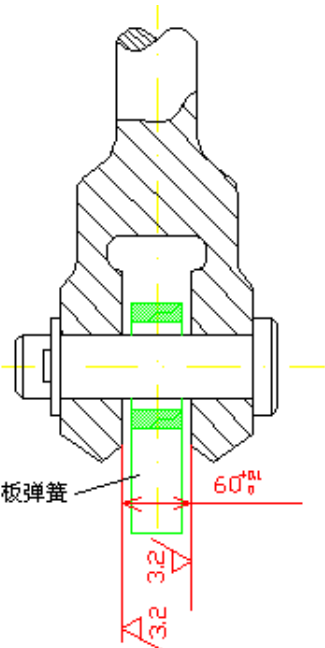


图1-4 汽车板弹簧吊耳

二、结构工艺性分析

零件的结构工艺性是指所设计的零件在满足使用要求的前提下，制造的可行性和经济性。下面将从零件的机械加工和装配两个方面，对零件的结构工艺性进行分析。

（一）机械加工对零件结构的要求

1．便于装夹 零件的结构应便于加工时的定位和夹紧，装夹次数要少。图 1-6 所示零件，拟用顶尖和鸡心夹头装夹，但该结构不便于装夹。若改为图 b 结构，则可以方便地装置夹头。

2．便于加工 零件的结构应尽量采用标准化数值，以便使用标准化刀具和量具。同时还注意退刀和进刀，易于保证加工精度要求，减少加工面积及难加工表面等。表 1-3 所示为便于加工的零件结构示例。

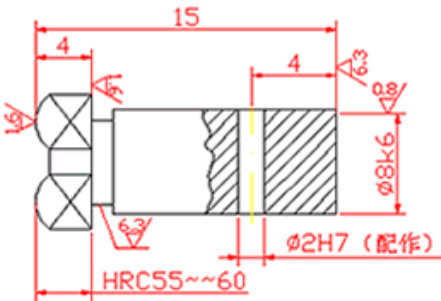


图 1-5 方头销

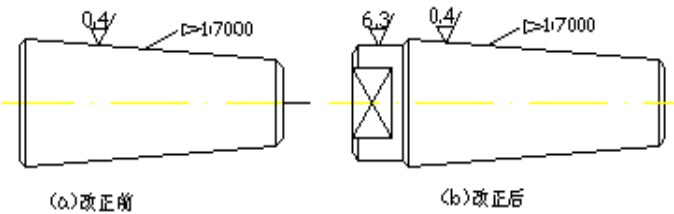
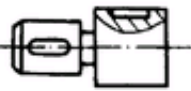

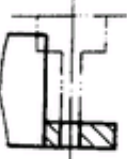



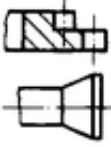
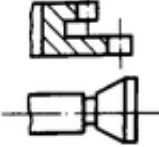

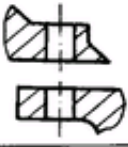
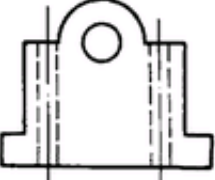


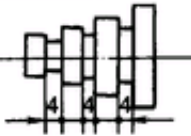


图 1-6 便于装夹的零件结构示例

表 1-3 零件机械加工工艺性实例

序号	工艺性不好的结构 A	工艺性好的结构 B	说 明
1			结构 B 键槽的尺寸、方位相同，则可在一次装夹中加工出全部键槽，以提高生产率
2			结构 A 的加工不便引进刀具
3			结构 B 的底面接触面积小，加工量小，稳定性好
4			结构 B 有退刀槽保证了加工的可能性，减少刀具（砂轮）的磨损
5			加工结构 A 上的孔钻头容易引偏或折断
6			结构 B 避免了深孔加工，节约了零件材料，紧固连接稳定可靠
7			结构 B 凹槽尺寸相同，可减少刀具种类，减少换刀时间

3 . 便于数控机床加工

被加工零件的数控工艺性问题涉及面很广，下面结合编程的可能性与方便性来作工艺性分析。

编程方便与否常常是衡量数控工艺性好坏的一个指标。例如图 1-7 所示某零件经过抽象的尺寸标注方法，若用 APT 语言编写该零件的源程序，要用几何定义语句描述零件形状时，将遇到麻烦，因为 B 点及其直线 OB 难于定义。解决此问题需要迂回，即先过 B 点作一平行于 L 1 之直线 L 3 并定义它，同时还要定义出直线 AB，于是方能求出 L 3 与直线 AB 交点 B，进而定义 OB。否则要进行机外手工计算，这是应该尽量避免的。由此看出，零件图样上尺寸标注方法对工艺性影响较大。为此对零件设计图样应提出不同的要求，凡经数控加工的零件，图样上给出的尺寸数据应符合编程方便的原则。

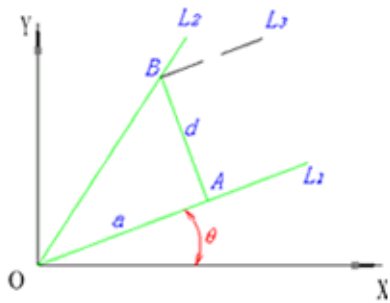


图 1-7 工艺性差的尺寸标注

零件的外形、内腔最好采用统一的几何类型或尺寸，这样可以减少换刀次数，还有可能应用控制程序或专用程序以缩短程序长度。例如图 1-8 所示，由于圆角大小决定

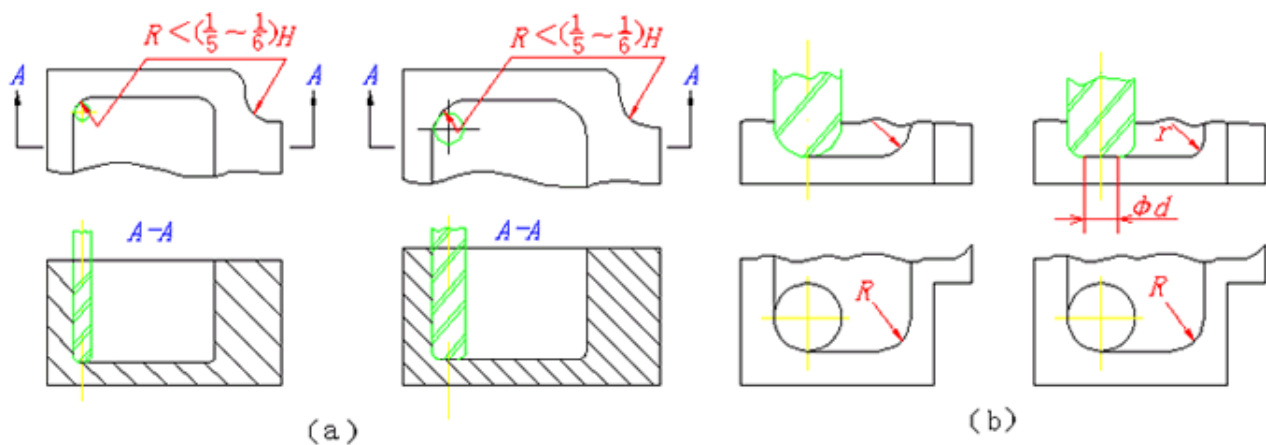


图 1-8 数控工艺性劣对比

着刀具直径大小，很容易看出工艺性好坏。所以应对一些主要的数控加工零件推荐规范化设计结构及尺寸。图 1-8b 表明应尽量避免用球头刀加工（此时 $R=r$ ），一般考虑为 $d=2(R-r)$ 。此外，有的数控机床有对称加工的功能，编程时对于一些对称性零件，如图 1-9 所示的零件，只需编其半边的程序，这样可以节省许多编程时间。

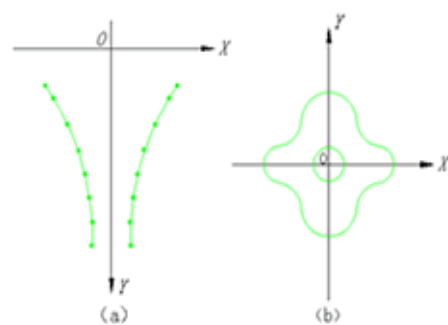


图 1-9 对称性零件图例

4. 便于测量

设计零件结构时，还应考虑测量的可能性与方便性。图 1-10 所示，要求测量孔中心线与基准面 A 的平行度。如图 1-10a 所示的结构，由于底面凸台偏置一侧而平行度难于测量。在图 1-10b 中增加一对称的工艺凸台，并使凸台位置居中，此时则测量大为方便。

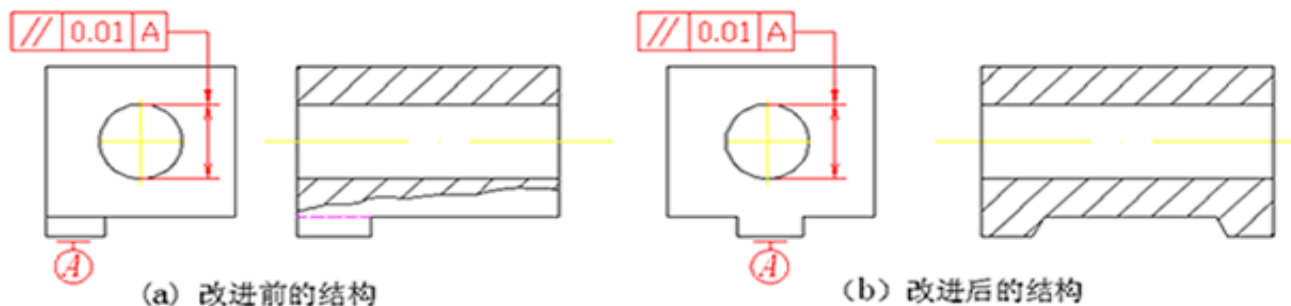


图1-10便于测量的零件结构示例

(二) 装配和维修对零件结构工艺性的要求

零件的结构应便于装配和维修时的拆装。如图 1-11a 左图结构无透气口，销钉孔内的空气难于排出，故销钉不易装入。改进后的结构如图 1-11a 右图。在图 1-11b 中为保证轴肩与支承面紧贴，可在轴肩处切槽或孔口处倒角。图 1-11c 为两个零件配合，由于同一方向只能有一个定位基面，故图 1-11c 左图不合理，而右图为合理的结构。在图 1-11d 中，左图螺钉装配空间太小，螺钉装不进。改进后的结构如图 1-11d 右图。

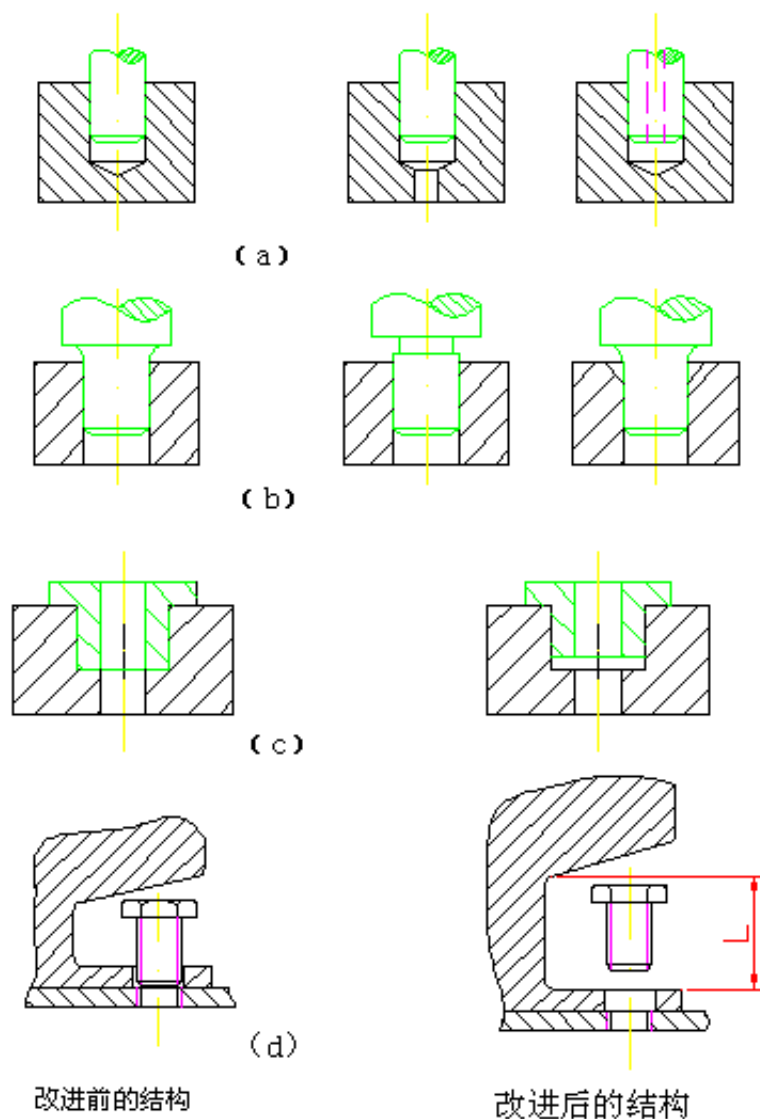


图 1-11 便于装配的零件结构示例

图 1-12 为便于拆装的零件结构示例。在图 1-12a 左图中，由于轴肩超过轴承内圈，故轴承内圈无法拆卸。图 1-12b 所示为压入式衬套。若在外壳端面设计几个螺孔，如图 1-12b 右图所示，则可用螺钉将衬套顶出

三、技术要求分析

零件的技术要求主要有：

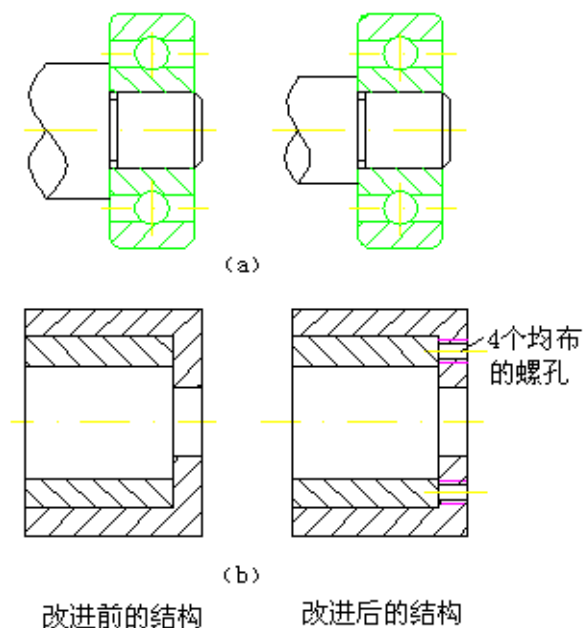
- 1 . 加工表面的形状精度（包括形状尺寸精度和形状公差）；
- 2 . 主要加工表面之间的相互位置精度（包括距离尺寸精度和位置公差）；

- 3 . 加工表面的粗糙度及其它方面的表面质量要求；

- 4 . 热处理及其它要求。

通过对零件技术要求的分析，就可以区分主要表面和次要表面。上述四个方面均要求较高的表面，即为主要表面，要采用各种工艺措施予以重点保证。在对零件的结构工艺性和技术要求分析后，对零件的加工工艺路线及加工方法就形成一个初步的轮廓，从而为下一步制订工艺规程作准备。

若在工艺分析时发现零件的结构工艺性不好，技术要求不合理或存在其它问题时，就可对零件设计提出修改意见，并经设计人员同意和履行规定的批准手续后，由设计人员进行修改。



改进前的结构 改进后的结构
图 1-12 便于拆卸的零件结构示例

第四节 毛坯选择

毛坯种类的选择不仅影响毛坯的制造工艺及费用，而且也与零件的机械加工工艺和加工质量密切相关。为此需要毛坯制造和机械加工两方面的工艺人员密切配合，合理地确定毛坯的种类、结构形状，并绘出毛坯图。

一、常见的毛坯种类

常见的毛坯种类有以下几种：

(一) 铸件

对形状较复杂的毛坯，一般可用铸造方法制造。目前大多数铸件采用砂型铸造，对尺寸精度要求较高的小型铸件，可采用特种铸造，如永久型铸造、精密铸造、压力铸造、熔模铸造和离心铸造等。各种铸造方法及工艺特点见表 1-4。

表 1-4 各种毛坯制造方法的工艺特点

毛坯制 造方法	最大质量 /kg	最小壁厚 /mm	形状的 复杂性	材 料	生产 方式	精度等级 (IT)	尺寸公差 值/mm	表面粗 糙度/ μm	其 他
手工砂 型铸造	不限制	3~5	最复杂	铁碳合金、 有色金属 及其合金	单件生产 及小批 生产	14~16	1~8	—	余量大，一般为 1~10mm；由砂眼和气泡造成的废品率高；表面有结砂硬皮，且结构颗粒大；适于铸造大件；生产率很低
机械砂 型铸造	至 250	3~5	最复杂		大批生产 及大量 生产	14 左右	1~3	—	生产率比手制砂型高数倍至数十倍；设备复杂；但要求工人的技术低；适于制造中小型铸件
永久型 铸造	至 100	1.5	简单或 平 常			11~12	0.1~0.5	12.5	生产率高，因免去每次制造铸型；单边余量一般为 1~3mm；结构细密，能承受较大压力；占用生产面积小
离心 铸造	通常 200	3~5	主要是 旋转体			15~16	1~8	12.5	生产率高，每件只需 2~5min；力学性能好且少砂眼；壁厚均匀；不需泥芯和浇注系统
压铸	10~16	0.5(锌) 1.0(其他合金)	由模子 制造难 易而定			11~12	0.05~ 0.15	6.3	生产率最高，每小时可制 50~500 件；设备昂贵；可直接制取零件或仅需少许加工
熔模 铸造	小型零件	0.8	非常 复杂	适于切削 困难的 材料	单件生产 及成批 生产		0.05~0.2	25	占用生产面积小，每套设备约需 30~40m ² ；铸件机械性能好；便于组织流水线生产；铸造延续时间长，铸件可不经加工

毛坯制造方法	最大质量 /kg	最小壁厚 /mm	形状的 复杂性	材 料	生产 方式	精度等级 (IT)	尺寸公差 值/mm	表面粗 糙度/ μm	其 他
壳模 铸造	至 200	1.5	复杂	铸铁和 有色金属	小批至 大量	12~14		12.5~6.3	生产率高，一个制砂工 班产为 0.5~1.7t；外表面 余量为 0.25~0.5mm；孔 余量最小为 0.08~ 0.25mm；便于机械化与自 动化；铸件无硬皮
自由 锻造	不限制	不限制	简单	铸钢、 合金钢	单件及 小批生产	14~16	1.5~2.5	—	生产率低且需高级技工； 余量大，为 3~30mm；适 用于机械修理厂和重型机 械厂的锻造车间
模锻 (利用 锻锤)	通常 至 100	2.5	由锻模 制造难 易而定	碳素钢、 合金钢 及合金	成批及 大量生产	12~14	0.4~2.5	12.5	生产率高且不需高级技 工；材料消耗少；锻件力 学性能好，强度增高
精密 模锻	通常 100	1.5	由锻模 制造难 易而定	碳素钢、 合金钢 及合金	成批及 大量生产	11~12	0.05~0.1	6.3~3.2	光压后的锻件可不经机 械加工或直接进行精加工

(二) 锻件

锻件毛坯由于经锻造后可得到连续和均匀的金属纤维组织。因此锻件的力学性能较好，常用于受力复杂的重要钢质零件。其中自由锻件的精度和生产率较低，主要用于小批生产和大型锻件的制造。模型锻造件的尺寸精度和生产率较高，主要用于产量较大的中小型锻件。其锻造方法及工艺特点见表 3-9。

(三) 型材

型材主要有板材、棒材、线材等。常用截面形状有圆形、方形、六角形和特殊截面形状。就其制造方法，又可分为热轧和冷拉两大类。热轧型材尺寸较大，精度较低，用于一般的机械零件。冷拉型材尺寸较小，精度较高，主要用于毛坯精度要求较高的中小型零件。

(四) 焊接件

焊接件主要用于单件小批生产和大型零件及样机试制。其优点是制造简单、生产周期短、节省材料、减轻重量。但其抗振性较差，变形大，需经时效处理后才能进行机械加工。

(五) 其它毛坯

其它毛坯包括冲压件，粉末冶金件，冷挤件，塑料压制件等。

二、毛坯的选择原则

选择毛坯时应该考虑如下几个方面的因素：

(一) 零件的生产纲领

大量生产的零件应选择精度和生产率高的毛坯制造方法，用于毛坯制造的昂贵费用可由材料消耗的减少和机械加工费用的降低来补偿。如铸件采用金属模机器造型或精密铸造；锻件采用模锻、精锻；选用冷拉和冷轧型材。单件小批生产时应选择精度和生产率较低的毛坯制造方法。

（二）零件材料的工艺性

例如材料为铸铁或青铜等的零件应选择铸造毛坯；钢质零件当形状不复杂，力学性能要求又不太高时，可选用型材；重要的钢质零件，为保证其力学性能，应选择锻造件毛坯。

（三）零件的结构形状和尺寸

形状复杂的毛坯，一般采用铸造方法制造，薄壁零件不宜用砂型铸造。一般用途的阶梯轴，如各段直径相差不大，可选用圆棒料；如各段直径相差较大，为减少材料消耗和机械加工的劳动量，则宜采用锻造毛坯，尺寸大的零件一般选择自由锻造，中小型零件可考虑选择模锻件。

（四）现有的生产条件

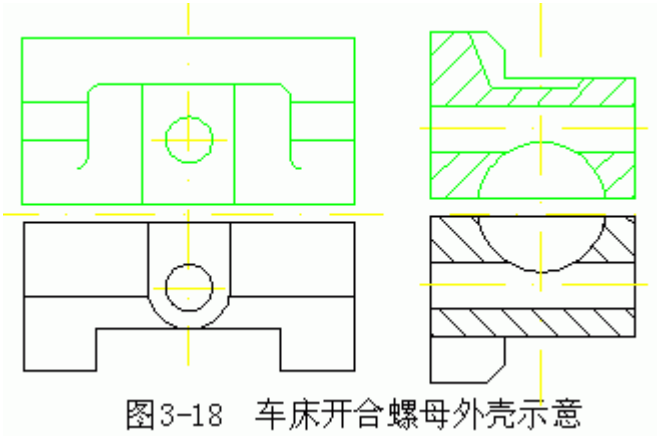
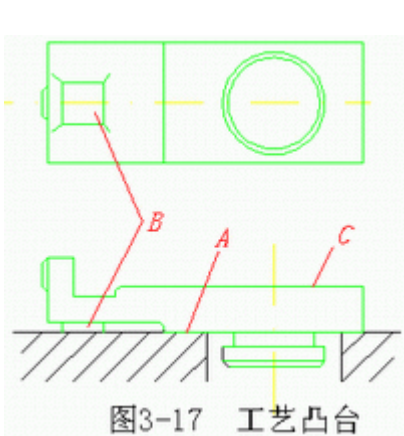
选择毛坯时，还要考虑本厂的毛坯制造水平、设备条件以及外协的可能性和经济性等。

三、毛坯的形状及尺寸

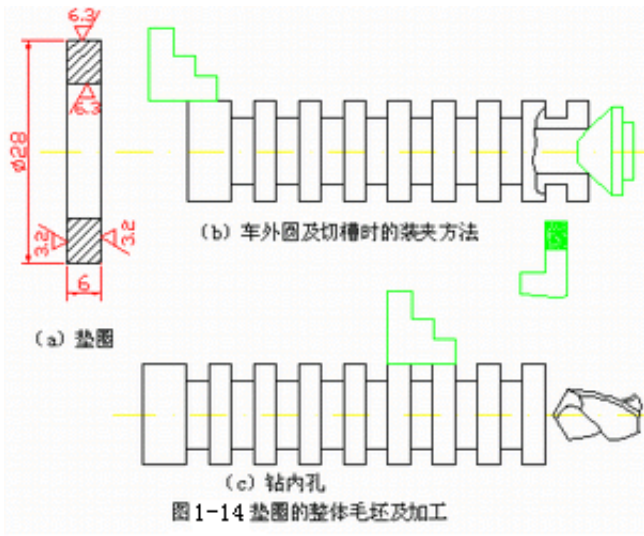
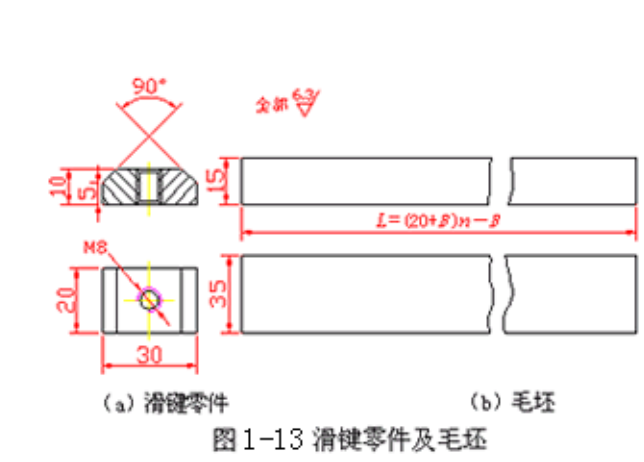
毛坯的形状和尺寸主要由零件组成表面的形状、结构、尺寸及加工余量等因素确定的，并尽量与零件相接近，以达到减少机械加工的劳动量，力求达到少或无切削加工。但是，由于现有毛坯制造技术及成本的限制，以及产品零件的加工精度和表面质量要求愈来愈高，所以，毛坯的某些表面仍需留有一定的加工余量，以便通过机械加工达到零件的技术要求。

毛坯尺寸与零件图样上的尺寸之差称为毛坯余量。铸件公称尺寸所允许的最大尺寸和最小尺寸之差称为铸件尺寸公差。毛坯余量与毛坯的尺寸、部位及形状有关。如铸造毛坯的加工余量，是由铸件最大尺寸、公称尺寸（两相对加工表面的最大距离或基准面到加工面的距离）、毛坯浇注时的位置（顶面、底面、侧面）、铸孔的尺寸等因素确定的。对于单件小批生产，铸件上直径小 30mm 和铸钢件上直径小于 60mm 的孔可以不铸出。而对于锻件，若用自由锻，当孔径小于 30mm 或长径比大于 3 的孔可以不锻出。对于锻件应考虑锻造圆角和模锻斜度。带孔的模锻件不能直接锻出通孔，应留冲孔连皮等。

毛坯的形状和尺寸的确定，除了将毛坯余量附在零件相应的加工表面上之外，有时还要考虑到毛坯的制造、机械加工及热处理等工艺因素的影响。在这种情况下，毛坯的形状可能与工件的形状有所不同。例如，为了加工时安装方便，有的铸件毛坯需要铸出必要的工艺凸台，如图 3-17 所示，工艺凸台在零件加工后一般应切去。又如车床开合螺母外壳，它由两个零件合成一个铸件，待加工到一定阶段后再切开，以保证加工质量和加工方便。如图 3-18 所示。



有时为了提高生产率和加工过程中便于装夹，可以将一些小零件多件合成一个毛坯，如图 1-13 所示的滑键为锻件，可以将若干零件先合成一件毛坯，待两侧面和平面加工后，再切割成单个零件。如图 1-14 所示为垫圈类零件，也应将若干零件合成一个毛坯，毛坯可取一长管料，其内孔直径要小于垫圈内径。车削时，用卡盘夹住一端外圆，另一端用顶尖顶住，这时可车外圆、车槽，然后用卡盘夹住外圆较长的一部分用 $\phi 16\text{mm}$ 的钻头钻孔，这样就可以分割成若干个垫圈零件。



第五节 基准与工件定位

制订机械加工规程时，定位基准的选择是否合理，将直接影响零件加工表面的尺寸精度和相互位置精度。同时对加工顺序的安排也有重要影响。定位基准选择不同，工艺过程也将随之而异。

一、基准的概念及其分类

所谓基准是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。基准根据功用不同可分为设计基准和工艺基准两大类。

(一) 设计基准

所谓设计基准是指设计图样上采用的基准。图 1-15 所示的钻套轴线 O-O 是各外圆表面及内孔的设计基准；端面 A 是端面 B、C 的设计基准；内孔表面 D 的轴心线是 $\phi 40h6$ 外圆表面的径向跳动和端面 B 的端面跳动的设计基准。同样，图 1-15b 中的 F 面是 C 面和 E 面的设计基准，也是两孔垂直度和 C 面平行度的设计基准；A 面为 B 面的距离尺寸及平行度设计基准。

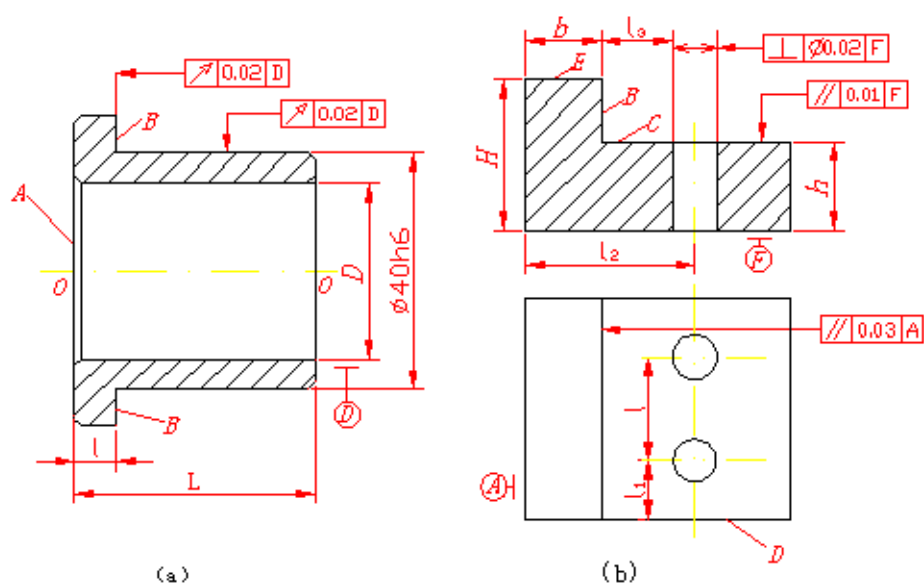


图 1-15 基准分析示例

作为设计基准的点、线、面在工件上有时不一定具体存在，例如表面的几何中心、对称线、对称面等，而常常由某些具体表面来体现，这些具体表面称为基准。

(二) 工艺基准

所谓工艺基准是在机械加工工艺过程中用来确定本工序的加工表面加工后尺寸、形状、位置的基准。工艺基准按不同的用途可分为工序基准、定位基准、测量基准和装配基准。

1. 工序基准

在工序图上用来确定本工序的加工表面加工后的尺寸、形状、位置的基准，称为工序基准。如图 1-16 所示，A 为加工面，母线至 A 面的距离 h 为工序尺寸，位置要求 A 面对 B 面的平行度（没有标出则包括在 h 的尺寸公差内）。所以母线为本工序的工序基准。

有时确定一个表面就需要数个工序基准。如图 1-16 所示， ϕE 孔为加工表面，要求其中心线与 A 面垂直，并与 B 面及 C 面保持距离 L1、L2，因此表面 A、B 和 C 均为本工序的工序基准。

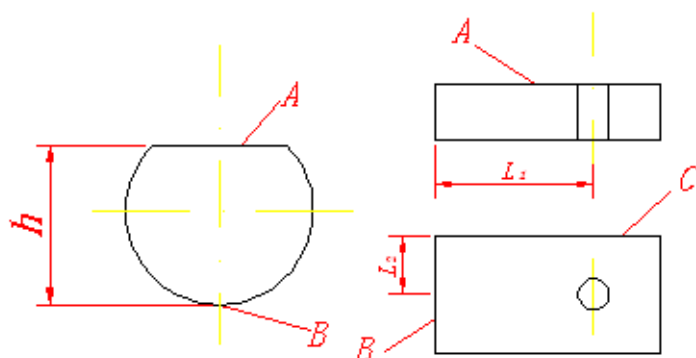


图 1-16 工序基准及工序尺寸

2 . 定位基准

在加工中用作定位的基准称为定位基准。例如，将图 1-15 所示的零件的内孔套在心轴上加工 $\phi 40h6$ 外圆时，内孔中心线即为定位基准。加工一个表面时，往往需要数个定位基准同时使用。如图 3-22b 所示的零件，加工 ϕE 孔时，为保证对 A 面的垂直度，要用 A 面作为定位基准；为保证 L 1 、 L 2 的距离尺寸，用 B 、 C 面作为定位基准。

作为定位基准的点、线、面在工件上也不一定存在，但必需由相应的实际表面来体现。这些实际存在的表面称为定位基面。

3 . 测量基准

测量时采用的基准称为测量基准。例如图 1-15 中，以内孔套在心轴上去检验 $\phi 40h6$ 外圆的径向跳动和端面 B 的端面跳动，内孔中心线为测量基准。

4 . 装配基准

装配时用来确定零件或部件在产品中相对位置时所用的基准称为装配基准。图 1-15b 所示的支承块，底面 F 为装配基准。

二、工件定位的概念及定位要求

（一）工件定位的概念

机床、夹具、刀具和工件组成了一个工艺系统。工件加工面的相互位置精度是由工艺系统间的正确位置关系来保证的。因此加工前，应首先确定工件在工艺系统中的正确位置，即是工件的定位。

而工件是由许多点、线、面组成的一个复杂的空间几何体。当考虑工件在工艺系统中占据一正确位置时，是否将工件上的所有点、线、面都列入考虑范围内呢？显然是不必要的。在实际加工中，进行工件定位时，只要考虑作为设计基准的点、线、面是否在工艺系统中占有正确的位置。所以工件定位的本质，是使加工面的设计基准在工艺系统中占据一个正确位置。

工件定位时，由于工艺系统在静态下的误差，会使工件加工面的设计基准在工艺系统中的位置发生变化，影响工件加工面与其设计基准的相互位置精度，但只要这个变动值在允许的误差范围以内，即可认定工件在工艺系统中已占据了一个正确的位置，即工件已正确的定位。

（二）工件定位的要求

工件定位的目的是为了保证工件加工面与加工面的设计基准之间的位置公差（如同轴度、平行度、垂直度等）和距离尺寸精度。工件加工面的设计基准与机床的正确位置是工件加工面与加工面的设计基准之间位置公差的保证；工件加工面的设计基准与刀具的正确位置是工件加工面与加工面的设计基准之间距离尺寸精度的保证。所以工件定位时有以下两点要求：一是使工件加工面的设计基准与机床保持一正确的位置；二是使工件加工面的设计基准与刀具保持一正确的位置。下面分别从这两方面进行说明：

1 . 为了保证加工面与其设计基准间的位置公差（同轴度、平行度、垂直度等），工件定位时应使加工表面的设计基准相对于机床占据一正确的位置。

如图 1-15a 所示零件，为了保证外圆表面 $\phi 40h6$ 的径向圆跳动要求，工件定位时必须使其设计基准（内孔轴线 O-O'）与机床主轴回转轴线 O，-O' 重合，见图 1-17a 所示。对于图 1-15b 所示零件，为了保证加工面 B 与其设计基准 A 的平行度要求，工件定位时必须使设计基准 A 与机床工作台的纵向直线运动方向平行，见图 1-16b 所示。孔加工时为了保证孔与其设计基准（底面 F）的垂直度要求，工件定位时必须使设计基准 F 面与机床主轴轴线垂直，见图 1-17c 。

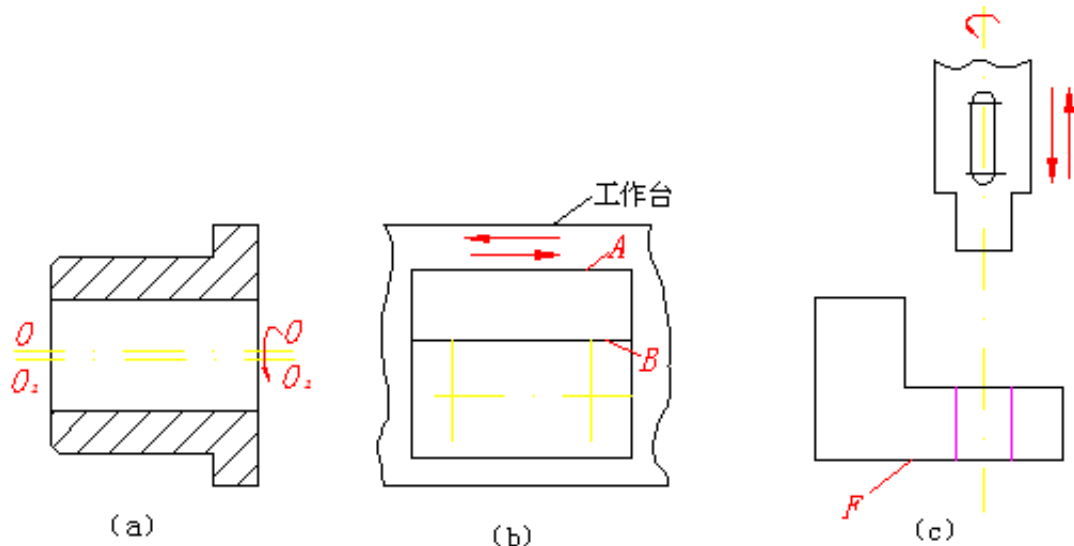


图 1-17 工件定位的正确位置示例

2. 为了保证加工面与其设计基准间的距离尺寸精度，工件定位时，应使加工面的设计基准相对于刀具有一正确的位置。

表面间距离尺寸精度的获得通常有两种方法：试切法和调整法。

试切法是通过试切——测量加工尺寸——调整刀具位置——试切的反复过程来获得距离尺寸精度的。由于这种方法是在加工过程中，通过多次试切才能获得距离尺寸精度，所以加工前工件相对于刀具的位置可不必确定。例如图 1-18a 中为获得尺寸 l ，加工前工件在三爪自定心卡盘中的轴向定位可以不必严格规定。试切法多用于单件小批生产中。

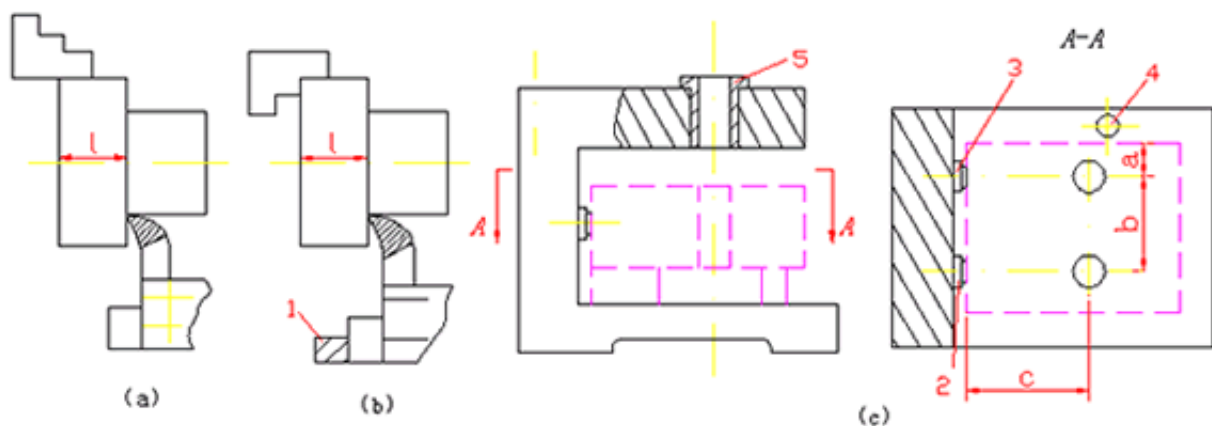


图 1-18 获得距离尺寸精度的方法示例
1-挡铁； 2, 3, 4-定位元件； 5-导向元件

调整法是一种加工前按规定的尺寸调整好刀具与工件相对位置及进给行程，从而保证在加工时自动获得所需距离尺寸精度的加工方法。这种加工方法在加工时不再试切。生产率高，其加工精度决定于机床、夹具的精度和调整误差，用于大批量生产。图 3-24 中示出了按调整法获得距离尺寸精度的两个实例。图 b 是通过三爪反装和挡铁来确定工件和刀具的相对位置；图 c 是通过夹具中的定位元件与导向元件的既定位置来确定工件与刀具的相对位置。

三、工件定位的方法

工件定位的方法有三种：

(一) 直接找正法定位

直接找正法定位是利用百分表、划针或目测等方法在机床上直接找正工件加工面的设计基准使其获得正确位置的定位方法。如图 1-19 所示，零件在磨床上磨削内孔，若零件的外圆与内孔有很高的同轴度要求，此时可用四爪单调卡盘装夹工件，并在加工前用百

分表等控制外圆的径向圆跳动，从而保证加工后零件外圆与内孔的同轴度要求。

这种方法的定位精度和找正的快慢取决于找正工人的水平，一般来说，此法比较费时，多用于单件小批生产或要求位置精度特别高的工件。

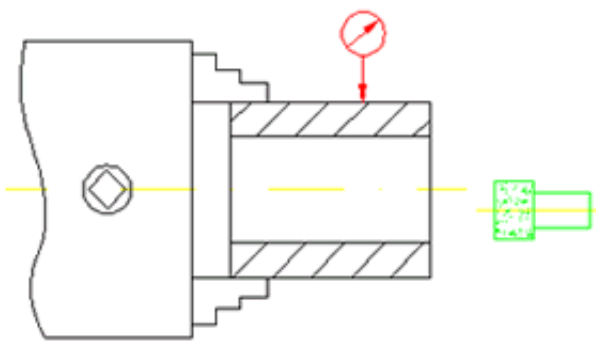


图 1-19 直接找正示例

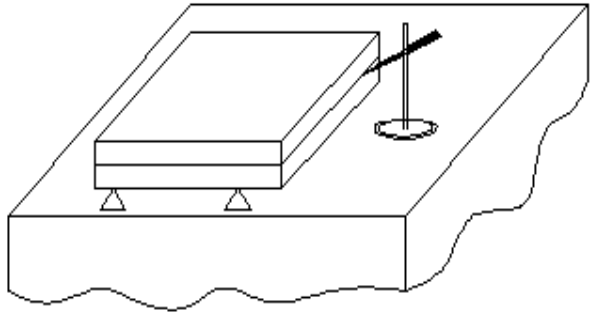


图 1-20 画线找正法示例

(二) 划线找正法定位

划线找正法定位是在机床上使用划针按毛坯或半成品上待加工处预先划出的线段找正工件，使其获得正确的位置的定位方法，如图 1-20 所示。此法受划线精度和找正精度的限制，定位精度不高。主要用于批量小，毛坯精度低及大型零件等不便于使用夹具进行加工的粗加工。

(三) 使用夹具定位

夹具定位即是直接利用夹具上的定位元件使工件获得正确位置的定位方法。由于夹具的定位元件与机床和刀具的相对位置均已预先调整好，故工件定位时不必再逐个调整。此法定位迅速、可靠，定位精度较高，广泛用于成批生产和大量生产中。

1. 机床夹具的工作原理

如图 1-21 所示为套筒钻孔的工序图及其钻夹具。钻孔时，应首先借助于夹具体 1 的底面 A 1 及钻套 2 的内孔 A 2 实现钻模在机床上的定位，并用机床公用螺栓夹紧在机床工作台上；然后工件以孔基准 S 1 和端面 S 2 为定位基准放在心轴 3 的 J 1 及 J 2 表面上定位，并借助于快换垫圈 4，用螺母 5 夹紧工件；最后将刀具插入钻套 2 的导向套孔 A 2 便可进行钻削加工

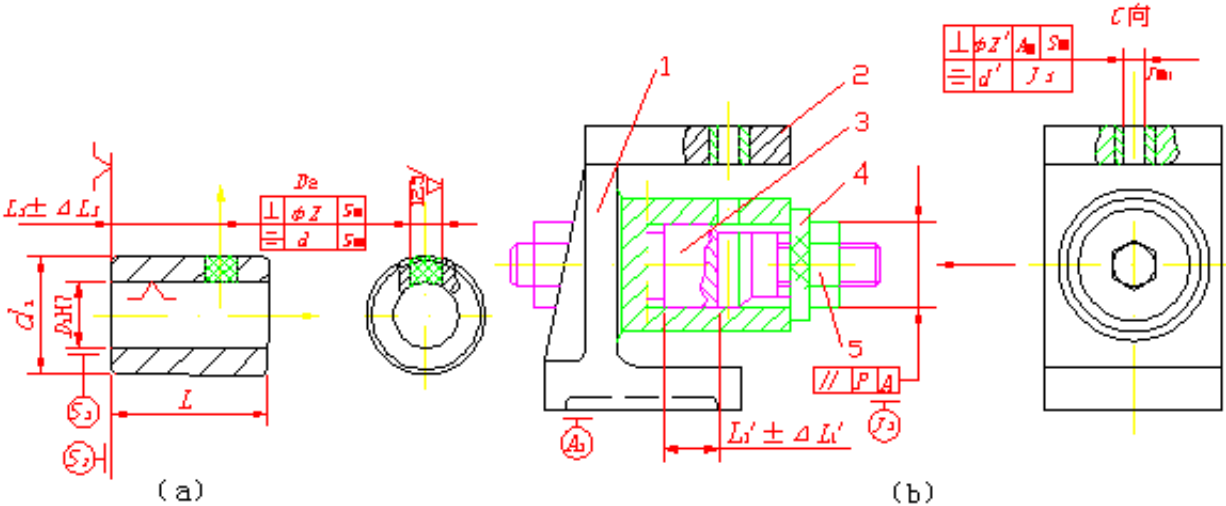


图 1-21 钻模夹具的工作原理

1-夹具体； 2-钻套； 3-心轴； 4-快换垫圈 5-螺母

如此，同一批工件在夹具中便可取得确定位置。显然本工序所要求的与基准直接联系的距离尺寸 $L_1 \pm \Delta L_1$ （单位为 mm）及位置公差 Φ_z （单位为 mm）主要靠夹具来保证的。

图1-22 所示为套筒铣槽工序图及铣夹具。铣削前，应借助于夹具体 1 的底面 A 1 及二个定位键 2 的公共侧面 A 2 与铣床工作台及中央 T 型槽结合而实现夹具与机床的定位，依靠 T 型螺栓将夹具夹紧在机床上；然后工件以外圆基准 S 1 和孔基准 S 2 为定位基准放在 V 形块 3 及支承 4 上定位并夹紧；最后通过对刀块 5 及塞尺 6 对刀后，便可进行铣削加工。

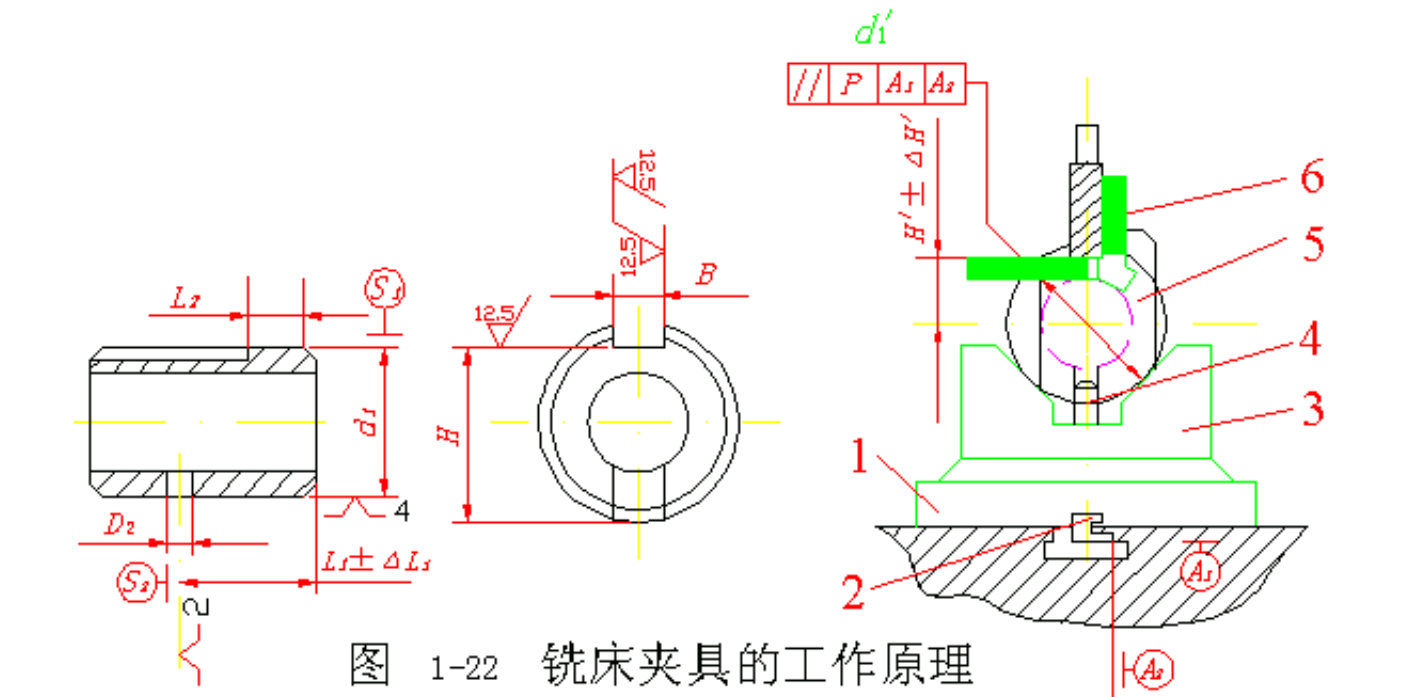


图 1-22 铣床夹具的工作原理

1-夹具体；2-定位键；3-V形块；4-支承；5-对刀块；6-塞尺

同理，该同批零件在夹具中可获得确定位置。显然本工序中与基准相联系的距离尺寸 H ，主要由夹具来保证的。

综合上述分析可知：欲保证工件加工面的位置精度要求，工艺系统各环节之间必须保证如下的正确几何关系：

- （1）使工件与夹具具有确定的相互位置；
- （2）使机床与夹具具有确定的相互位置；
- （3）使刀具与夹具具有确定的距离尺寸联系。

所以，机床夹具是能使同一批工件在加工前迅速进行装夹并使工件相对于机床、刀具具有确定位置且在整个加工过程中保持上述位置关系的一种工艺装备。

2．夹具的组成

- （1）定位元件

定位元件是保证工件在夹具中的正确位置的元件，如图 1-21 所示的件 3 及图 1-22 所示的件 3 及件 4。

- （2）安装元件

安装元件是保证机床和夹具正确位置的元件，如图 1-22 中的件 2。

- （3）调整元件（导向—对刀元件）

调整元件是保证刀具和夹具获得正确位置的元件。这类元件一般专指钻套、镗套、对刀块等元件，它通过对定位元件正确的位置精度，直接或间接地引导刀具，如图 1-21 中的件 2，图 1-22 中的件 4 和件 5。

（ 4 ） 夹紧装置

该装置一般由动力源、中间传力机构及夹紧元件组成，其作用是保持工件由定位所取得的确定位置，并抵抗动态下系统所受外力及其影响，使加工得以顺利实现，如图 3-27 中的件 4 和件 5 。

（ 5 ） 夹具体

用于连接夹具上各个元件或装置，使之成为一个整体的基础体。

（ 6 ） 其它装置或元件

为满足设计给定条件及使用方便，夹具上有时设有分度机构、上下料机构等装置。

3 . 夹具的分类

根据通用程度的不同，机床夹具可分为：

（ 1 ） 通用夹具 这类夹具具有很大的通用性。现已标准化，在一定范围内无需调整或稍加调整就可用于装夹不同的工件。如车床上的三爪自定心卡盘、四爪单调卡盘、铣床上的平口钳、分度头、回转盘等。这类夹具通常作为机床附件由专业厂生产。其使用特点是操作费时、生产率低，主要用于单件小批生产。

（ 2 ） 专用夹具 这类夹具是针对某一工件的某一固定工序而专门设计的。因为不需要考虑通用性，可以设计得结构紧凑，操作方便、迅速，它比通用夹具的生产率高。这类夹具在产品变更后就无法利用，因此适用于大批量生产。

（ 3 ） 成组可调夹具 在多品种小批量生产中，由于通用夹具生产率低，产品质量也不高，而采用专用夹具又不经济。这时可采用成组加工方法，即将零件按形状，尺寸和工艺特征等进行分组，为每一组设计一套可调整的“专用夹具”，使用时只需稍加调整或更换部分元件，即可加工同一组内的各个零件。

（ 4 ） 组合夹具 组合夹具是一种由预先制造好的通用标准部件经组装而成的夹具。当产品变更时，夹具可拆卸、清洗，并在短时间内重新组装成另一种形式的夹具。因此组合夹具既适合于单件小批生产，又可适合于中批生产。

机床夹具也可按适用的机床分为车床夹具、钻床夹具、铣床夹具、镗床夹具、齿轮加工机床夹具等。

若按所使用的动力源，机床夹具又可分为手动夹具、气动夹具、液压夹具、电动夹具，磁力夹具、真空夹具等。

第六节 工艺路线的拟订

拟订工艺路线是指拟订零件加工所经过的有关部门和工序的先后顺序。工艺路线的拟订是制订工艺规程的重要内容，其主要任务是选择各个加工表面的加工方法，确定各个表面的加工顺序以及整个工艺过程的工序数目和工序内容。它与零件的加工要求，生产批量及生产条件等多种因素有关。本节主要叙述工艺路线拟订的一些共性问题，具体拟订时，应结合实际情况分析比较，确定较为合理的工艺路线。

一、表面加工方法的选择

选择表面加工方法时，一般先根据表面的加工精度和表面粗糙度要求，选定最终加工方法，然后再确定精加工前的准备工序的加工方法，即确定加工方案。由于获得同一精度和同一粗糙度的方案有好几种，选择时还要考虑生产率和经济性，考虑零件的结构形状、尺寸大小、材料和热处理要求及工厂的生产条件等。下面分别简要说明表面加工方法选择时主要考虑的几个因素。

(一) 经济精度与经济粗糙度

任何一种加工方法可以获得的加工精度和表面粗糙度均有一个较大的范围。例如，精细的操作、选择低的切削用量，可以获得较高的精度，但又会降低生产率，提高成本；反之，如增大切削用量提高生产率，虽然成本降低了，但精度也降低了。所以，对一种加工方法，只有在一定的精度范围内才是经济的，这一定范围的精度就是指在正常加工条件下（采用符合质量标准的设备、工艺装备和标准技术等级的工人，合理的加工时间）所能达到的精度，这一定范围内的精度称为经济精度。相应的粗糙度称为经济粗糙度。

表 1-5 、表 1-6 、表 1-7 分别摘录了外圆、内孔和平面等典型加工方法和加工方案能达到的经济精度和经济粗糙度（经济精度以公差等级表示）。表 1-8 摘录了各种加工方法加工轴线平行的孔系时的位置精度（用距离误差表示）。

各种加工方法所能达到的经济精度精度和经济粗糙度等级，在机械加工的各种手册中均能查到。

表 1-5 外圆柱面加工方法

序号	加工方法	经济精度 (公差等级表示)	经济粗糙度值 Ra / um	适用范围
1	粗车	IT18~13	12.5~50	适用于淬火钢以外的各种金属
2	粗车 - 半精车	IT11~10	3.2~6.3	
3	粗车 - 半精车 - 精车	IT7~8	0.8~1.6	
4	粗车 - 半精车 - 精车 -滚压 (或抛光)	IT7~8	0.25~0.2	
5	粗车 - 半精车 -磨削	IT7~8	0.4~0.8	主要用于淬火钢,也可用于未淬火钢,但不宜加工有色金属
6	粗车 - 半精车 -粗磨 -精磨	IT6~7	0.1~0.4	
7	粗车 - 半精车 -粗磨 -精磨 - 超精加工(或轮式超精磨)	IT5	0.012~0.1 (或 R Z 0.1)	
8	粗车 - 半精车 -精车 -精细车 (金刚车)	IT6~7	0.025~0.4	主要用于要求较高的有色金属加工
9	粗车 - 半精车 - 粗磨 -精磨 - 超精磨(或镜面磨)	IT5 以上	0.006~0.025 (或 R Z 0.05)	极高精度的外圆加工
10	粗车 - 半精车 -粗磨 -精磨 - 研磨	IT5 以上	0.006~0.1 (或 R Z 0.05)	

表 1-6 孔加工方法

序号	加工方法	经济精度 (公差等级表示)	经济粗糙度值 $Ra/\mu m$	适用范围
1	钻	IT11~13	12.5	加工未淬火钢及铸铁的实心毛坯,也可用于加工有色金属。孔径小于15~20mm
2	钻-铰	IT8~10	1.6~6.3	
3	钻-粗铰-精铰	IT7~8	0.8~1.6	
4	钻-扩	IT10~11	6.3~12.5	加工未淬火钢及铸铁的实心毛坯,也可用于加工有色金属。孔径大于15~20mm
5	钻-扩-铰	IT8~9	1.6~3.2	
6	钻-扩-粗铰-精铰	IT7	0.8~1.6	
7	钻-扩-机铰-手铰	IT6~7	0.2~0.4	
8	钻-扩-拉	IT7~9	0.1~1.6	大批大量生产(精度由拉刀的精度而定)
9	粗镗(或扩孔)	IT11~13	6.3~12.5	除淬火钢外各种材料,毛坯有铸出孔或锻出孔
10	粗镗(粗扩)-半精镗(精扩)	IT9~10	1.6~3.2	
11	粗镗(粗扩)-半精镗(精扩)-精镗(铰)	IT7~8	0.8~1.6	
12	粗镗(粗扩)-半精镗(精扩)-精镗-浮动镗刀精镗	IT6~7	0.4~0.8	
13	粗镗(扩)-半精镗-磨孔	IT7~8	0.2~0.8	主要用于淬火钢,也可用于未淬火钢,但不宜用于有色金属
14	粗镗(扩)-半精镗-粗磨-精磨	IT6~7	0.1~0.2	
15	粗镗-半精镗-精镗-精细镗(金刚镗)	IT6~7	0.05~0.4	主要用于精度要求高的有色金属加工
16	钻-(扩)-粗铰-精铰-珩磨; 钻-(扩)-拉-珩磨; 粗镗-半精镗-精镗-珩磨	IT6~7	0.025~0.2	精度要求很高的孔
17	以研磨代替16中的珩磨	IT5~6	0.006~0.1	

表 1-7 平面加工方法

序号	加工方法	经济精度 (公差等级表示)	经济粗糙度值 $Ra/\mu m$	适用范围
1	粗车	IT11~13	12.5~50	端面
2	粗车-半精车	IT8~10	3.2~6.3	
3	粗车-半精车-精车	IT7~8	0.8~1.6	
4	粗车-半精车-磨削	IT6~8	0.2~0.8	
5	粗刨(或粗铣)	IT11~13	6.3~25	一般不淬硬平面(端铣表面粗糙度 Ra 值较小)
6	粗刨(或粗铣)-精刨(或精铣)	IT8~10	1.6~6.3	
7	粗刨(或粗铣)-精刨(或精铣)-刮研	IT6~7	0.1~0.8	精度要求较高的不淬硬平面, 批量较大时宜采用宽刃精刨方案
8	以宽刃精刨代替7中的刮研	IT7	0.2~0.8	
9	粗刨(或粗铣)-精刨(或精铣)-磨削	IT7	0.2~0.8	精度要求高的淬硬平面或不淬硬平面
10	粗刨(或粗铣)-精刨(或精铣)-粗磨-精磨	IT6~7	0.025~0.4	
11	粗铣-拉	IT7~9	0.2~0.8	大量生产, 较小的平面(精度视拉刀精度而定)
12	粗铣-精铣-磨削-研磨	IT5 以上	0.006~0.1 (或 $R_a 0.05$)	高精度平面

表 1-8 轴线平行的孔的位置精度(经济精度)

(mm)

加工方法	工具的定位	两孔轴线间的距离误差或从孔轴线到平面的距离误差	加工方法	工具的定位	两孔轴线间的距离误差或从孔轴线到平面的距离误差
立钻或摇臂钻上钻孔	用钻模	0.1~0.2	卧式镗床上镗孔	用镗模	0.05~0.08
	按划线	1.0~3.0		按定位样板	0.08~0.2
立钻或摇臂钻上镗孔	用镗模	0.05~0.03		按定位器的指示读数	0.04~0.06
	按划线	1.0~2.0		用块规	0.05~0.1
车床上镗孔	用带有滑磨的角尺	0.1~0.3		用内径规或用塞尺	0.05~0.25
	用光学仪器	0.004~0.015		用程度控制的坐标装置	0.04~0.05
坐标镗床上镗孔		0.008~0.02		用游标尺	0.2~0.4
金刚镗床上镗孔				按划线	0.4~0.6
多轴组合机床上镗孔	用镗模	0.03~0.05			

（二）零件结构形状和尺寸大小

零件的形状和尺寸影响加工方法的选择。如小孔一般用铰削而较大的孔用镗削加工；箱体上的孔一般难于拉削而采用镗削或铰削；对于非圆的通孔，应优先考虑用拉削或批量较少时用插削加工；对于难磨削的小孔，则可采用研磨加工。

（三）零件的材料及热处理要求

经淬火后的表面，一般应采用磨削加工；材料未淬硬的精密零件的配合表面，可采用刮研加工；对硬度低而韧性较大金属，如铜、铝、镁铝合金等有色金属，为避免磨削时砂轮的嵌塞，一般不采用磨削加工，而采用高速精车、精镗、精铣等加工方法。

（四）生产率和经济性

对于较大的平面，铣削加工生产率较高，而窄长的工件宜用刨削加工；对于大量生产的低精度孔系，宜采用多轴钻；对批量较大的曲面加工，可采用机械靠模加工、数控加工和特种加工等加工方法。

第七节 加工余量的确定

零件加工工艺路线确定后,在进一步安排各个工序的具体内容时,应正确地确定工序的工序尺寸,为确定工序尺寸,首先应确定加工余量。

一、加工余量的概念

由于毛坯不能达到零件所要求的精度和表面粗糙度,因此要留有加工余量,以便经过机械加工来达到这些要求。

加工余量是指加工过程中从加工表面切除的金属层厚度。加工余量分为工序余量和总余量。

(一) 工序余量

工序余量是指某一表面在一道工序中切除的金属层厚度。

1. 工序余量的计算

工序余量等于相邻两工序的工序尺寸之差。

对于外表面(见图 1-23a)

$$Z=a-b$$

对于内表面(见图 1-23b)

$$Z=b-a$$

式中 Z ——本工序的工序余量 (mm) ;

a ——前工序的工序尺寸 (mm) ;

b ——本工序的工序尺寸 (mm) 。

上述加工余量均为非对称的单边余量,旋转表面的加工余量为双边对称余量。

对于轴(图 1-23c)

$$Z=d_a-d_b$$

对于孔(图 1-23d)

$$Z=d_b-d_a$$

式中 Z ——直径上的加工余量 (mm) ;

d_a ——前工序的加工直径 (mm) ;

d_b ——本工序的加工直径 (mm) 。

当加工某个表面的工序是分几个工步时,则相邻两工步尺寸之差就是工步余量。它是某工步在加工表面上切除的金属层厚度。

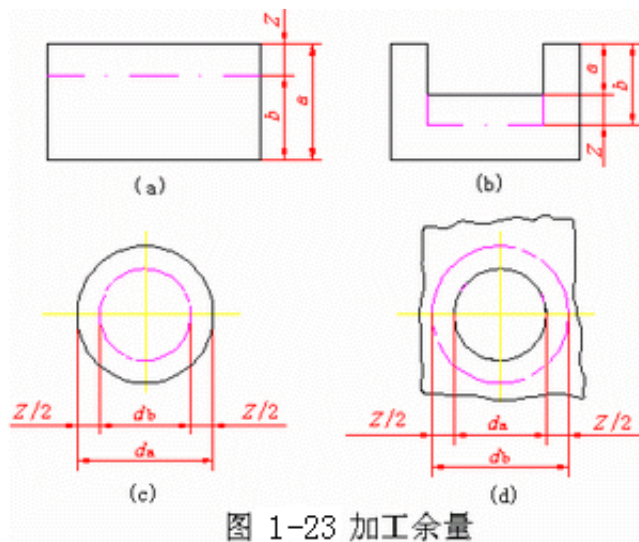


图 1-23 加工余量

2 . 工序基本余量、最大余量、最小余量及余量公差

由于毛坯制造和各个工序尺寸都存在着误差，加工余量也是个变动值。当工序尺寸用基本尺寸计算时，所得到的加工余量称为基本余量或公称余量。

最小余量 Z_{\min} 是保证该工序加工表面的精度和质量所需切除的金属层最小厚度。最大余量 Z_{\max} 是该工序余量的最大值。下面以图 1-23 所示的外圆为例来计算，其它各类表面的情况与此相类似。

当尺寸 a 、 b 均为工序基本尺寸时，基本余量为

$$Z=a - b$$

则最小余量 $Z_{\min}=a_{\min} - b_{\max}$

而最大余量 $Z_{\max}=a_{\max} - b_{\min}$

图 1-24 表示了工序尺寸公差与加工余量间的关系。余量公差是加工余量间的变动范围，其值为

$$T_Z=Z_{\max} - Z_{\min}=(a_{\max} - a_{\min})+(b_{\max} - b_{\min})=T_a+T_b$$

式中 T_Z ——本工序余量公差 (mm) ；

T_a ——前工序的工序尺寸公差 (mm) ；

T_b ——本工序的工序尺寸公差 (mm) 。

所以，余量公差为前工序与本工序尺寸公差之和。

工序尺寸公差带的分布，一般采用“单向入体原则”。即对于被包面（轴类），基本尺寸取公差带上限，下偏差取负值，工序基本尺寸即为最大尺寸；对于包容面（孔类），基本尺寸为公差带下限，上偏差取正值，工序尺寸即为最小尺寸但孔中心距及毛坯尺寸公差采用双向对称布置。

（二）加工总余量

毛坯尺寸与零件图样的设计尺寸之差称为加工总余量。它是从毛坯到成品时从某一表面切除的金属层总厚度，也等于该表面各工序余量之和，即

$$Z_{\text{总}} = \sum_{i=1}^n Z_i$$

式中 Z_i ——第 i 道工序的工序余量 (mm) ；

n ——该表面总加工的工序数。

加工总余量也是个变动值，其值及公差一般可从有关手册中查得或凭经验确定。如图 1-25 表示了内孔和外圆表面经多次加工时，加工总余量、工序余量与加工尺寸的分布图。

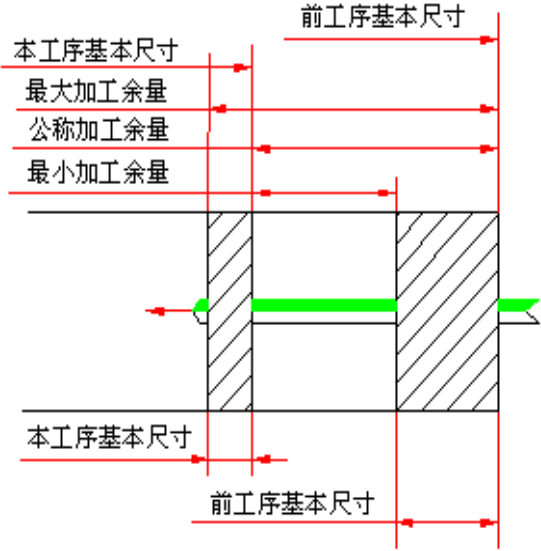


图 1-24 工序尺寸公差与加工余量

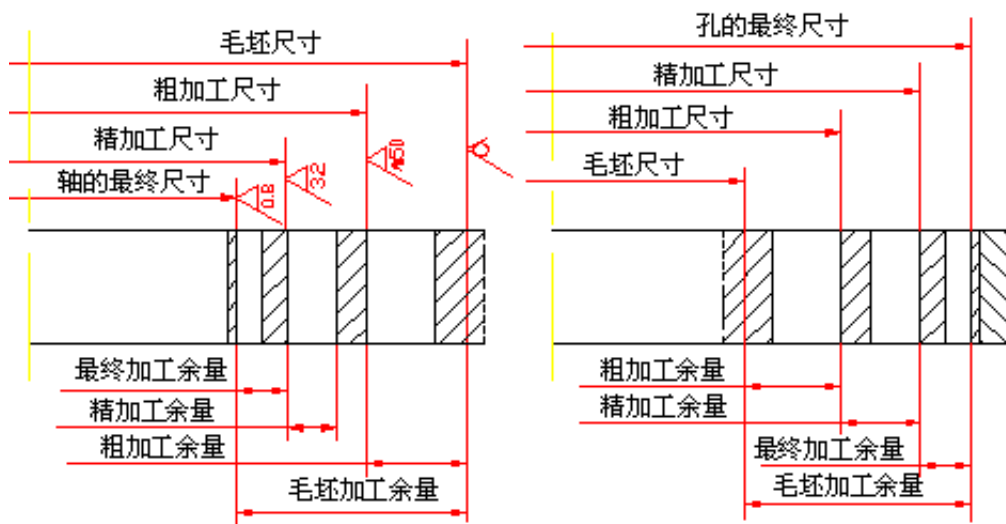


图 1-25 加工余量和加工尺寸分布

二、影响加工余量的因素

影响加工余量的因素如下：

- 1 . 前工序的表面质量（包括表面粗糙度 H_a 和表面破坏层深度 S_a ）；
- 2 . 前工序的工序尺寸公差 T_a ；
- 3 . 前工序的位置误差 ρ_a ，如工件表面在空间的弯曲、偏斜以及空间误差等；
- 4 . 本工序的安装误差 ε_b 。

所以本工序的加工余量必须满足下式

$$\text{用于对称余量时 } Z \geq 2(H_a + S_a) + T_a + 2|\rho_a + \varepsilon_b|$$

$$\text{用于单边余量时 } Z \geq H_a + S_a + T_a + |\rho_a + \varepsilon_b|$$

三、确定加工余量的方法

加工余量大小，直接影响零件的加工质量和生产率。加工余量过大，不仅增加机械加工劳动量，降低生产率，而且增加材料、工具和电力的消耗，增加成本。但若加工余量过小，又不能消除前工序的各种误差和表面缺陷，甚至产生废品。因此，必须合理地确定加工余量。其确定的方法有：

1 . 经验估算法

经验估算法是根据工艺人员的经验来确定加工余量。为避免产生废品，所确定的加工余量一般偏大。适于单件小批生产。

2 . 查表修正法

此法根据有关手册，查得加工余量的数值，然后根据实际情况进行适当修正。这是一种广泛使用的方法。

3 . 分析计算法

这是对影响加工余量的各种因素进行分析，然后根据一定的计算式来计算加工余量的方法。此法确定的加工余量较合理，但需要全面的试验资料，计算也较复杂，故很少应用。

第八节 工序尺寸及公差的确

工序尺寸是指某一工序加工应达到的尺寸，其公差即为工序尺寸公差，各工序的加工余量确定后，即可确定工序尺寸及公差。

零件从毛坯逐步加工至成品的过程中，无论在一个工序内，还是在各个工序间，也不论是加工表面本身，还是各表面之间，他们的尺寸都在变化，并存在相应的内在联系。运用尺寸链的知识去分析这些关系，是合理确定工序尺寸及其公差的基础。

一、工艺尺寸链的概念及计算公式

（一）工艺尺寸链的概念

1．尺寸链的定义

在机器装配或零件加工过程中，由相互连接的尺寸形成的封闭尺寸组，称为尺寸链。如图 3-78 所示，用零件的表面 1 定位加工表面 2 得尺寸 A_1 ，再加工表面 3，得尺寸 A_2 ，自然形成 A_0 ，于是 $A_1 - A_2 - A_0$ 连接成了一个封闭的尺寸组（图 3-78b），形成尺寸链。

在机械加工过程中，同一工件的各有关尺寸组成的尺寸链称为工艺尺寸链。

2．工艺尺寸链的特征

（1）尺寸链有一个自然形成的尺寸与若干个直接得到的尺寸所组成。

图 1-26 中，尺寸 A_1 、 A_2 是直接得到的尺寸，而 A_0 是自然形成的。其中自然形成的尺寸大小和精度受直接得到的尺寸大小和精度的影响。并且自然形成的尺寸精度必然低于任何一个直接得到的尺寸的精度。

（2）尺寸链一定是封闭的且各尺寸按一定的顺序首尾相接。

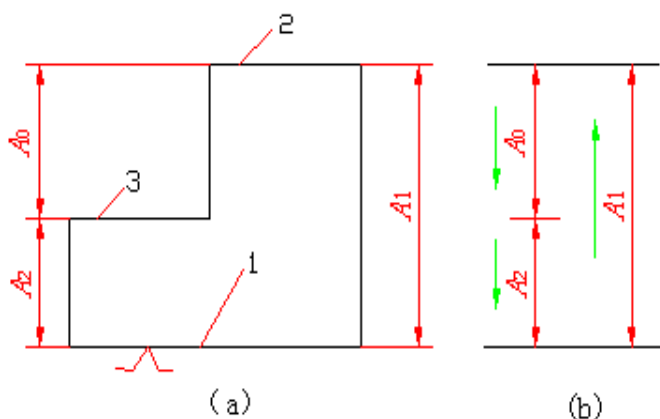


图 1-26 加工尺寸链示例

3．尺寸链的组成

组成尺寸链的各个尺寸称为尺寸链的环。图 1-26 中 A_1 、 A_2 、 A_0 都是尺寸链的环，它们可以分为：

（1）封闭环 在加工（或测量）过程中最后自然形成的环称为封闭环，如图 1-26 中的 A_0 。每个尺寸链必须有且仅能有一个封闭环，用 A_0 来表示。

（2）组成环 在加工（或测量）过程中直接得到的环称为组成环。尺寸链中除了封闭环外，都是组成环。按其对于封闭环的影响，组成环可分为增环和减环。

①增环 尺寸链中，由于该类组成环的变动引起封闭环同向变动，则该组成环称为增环，如图 1-26 中的 A_1 ，增环用 \overrightarrow{A} 来表示。

②减环 尺寸链中，由于该类组成环的变动引起封闭环反向变动，则该组成环称为减环，如图 1-26 中的 A_2 。减环用 \overleftarrow{A} 来表示。

同向变动是指该组成环增大时，封闭环也增大，该组成环减小时，封闭环也减小；反向变动是指该组成环增大时，封闭环减小，该组成环减小时，封闭环增大。

（ 4 ） 增环和减环的判别

为了简易地判别增环和减环，可在尺寸链图上先给封闭环任意定出方向并画出箭头，然后以此方向环绕尺寸链回路，顺次给每个组成环画出箭头。此时凡与封闭环箭头相反的组成环为增环，相同的为减环。如图 3-79 所示。

（二）工艺尺寸链的建立

工艺尺寸链的建立并不复杂，但在尺寸链的建立中，封闭环的判定和组成环的查找却应引起初学者的重视。因为封闭环的判定错误，整个尺寸链的解算将得出错误的结果；组成环查找不对，将得不到最少链环的尺寸链，解算的结果也是错误的。下面将分别予以讨论。

1 . 封闭环的判定

在工艺尺寸链中，封闭环是加工过程中自然形成的尺寸。因此，封闭环是随着零件加工方案的变化而变化的。仍以图 1-26 为例，若以 1 面定位加工 2 面得尺寸 A_1 ，然后以 2 面定位加工 3 面，则 A_0 为直接得到的尺寸，而 A_2 为自然形成的尺寸，即 A_2 为封闭环。又如图 1-28 所示的零件，当以表面 3 定位加工表面 1 而获得尺寸 A_1 ，然后以表面 1 为测量基准加工表面 2 而直接获得尺寸 A_2 ，则自然形成的尺寸 A_0 为封闭环；但以加工过的表面 1 为测量基准加工表面 2，直接获得尺寸 A_2 ，再以表面 2 为定位基准加工表面 3 直接获得尺寸 A_0 ，此时尺寸 A_1 便为自然形成而成为封闭环。

所以封闭环的判定必须根据零件加工的具体方案，紧紧抓住“自然形成”这一要领。

2 . 组成环的查找

组成环查找的方法，从构成封闭的两表面开始，同步地按照工艺过程的顺序，分别向前查找各表面最后一次加工的尺寸，之后再进一步查找此加工尺寸的工序基准的最后一次加工时的尺寸，如此继续向前查找，直到两条路线最后得到的加工尺寸的工序基准重合（即两者的工序基准为同一表面），至此上述尺寸系统即形成封闭轮廓，从而构成了工艺尺寸链。

查找组成环必须掌握的基本特点为：组成环是加工过程中“直接获得”的，而且对封闭环有影响。下面以图 1-29 为例，说明尺寸链建立的具体过程。图 1-29 为套类零件，为便于讨论问题，图中只标出轴向设计尺寸，轴向尺寸加工顺序安排如下：

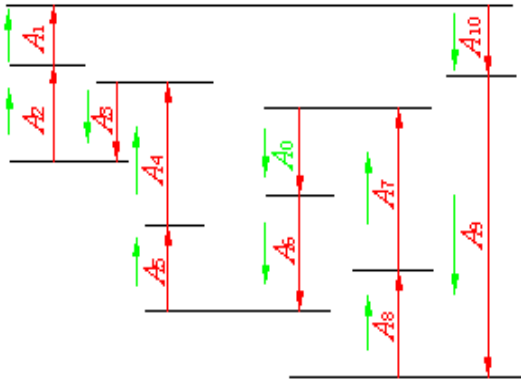


图 1-27 增、减环的简易判断

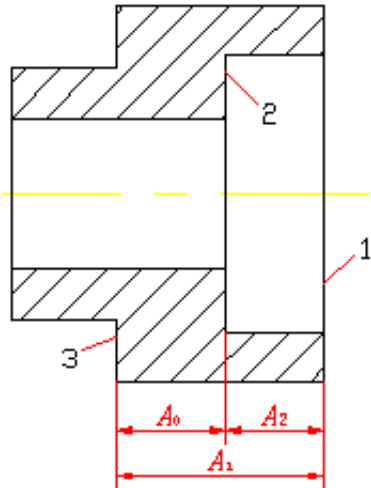


图 1-28 封闭环的判断

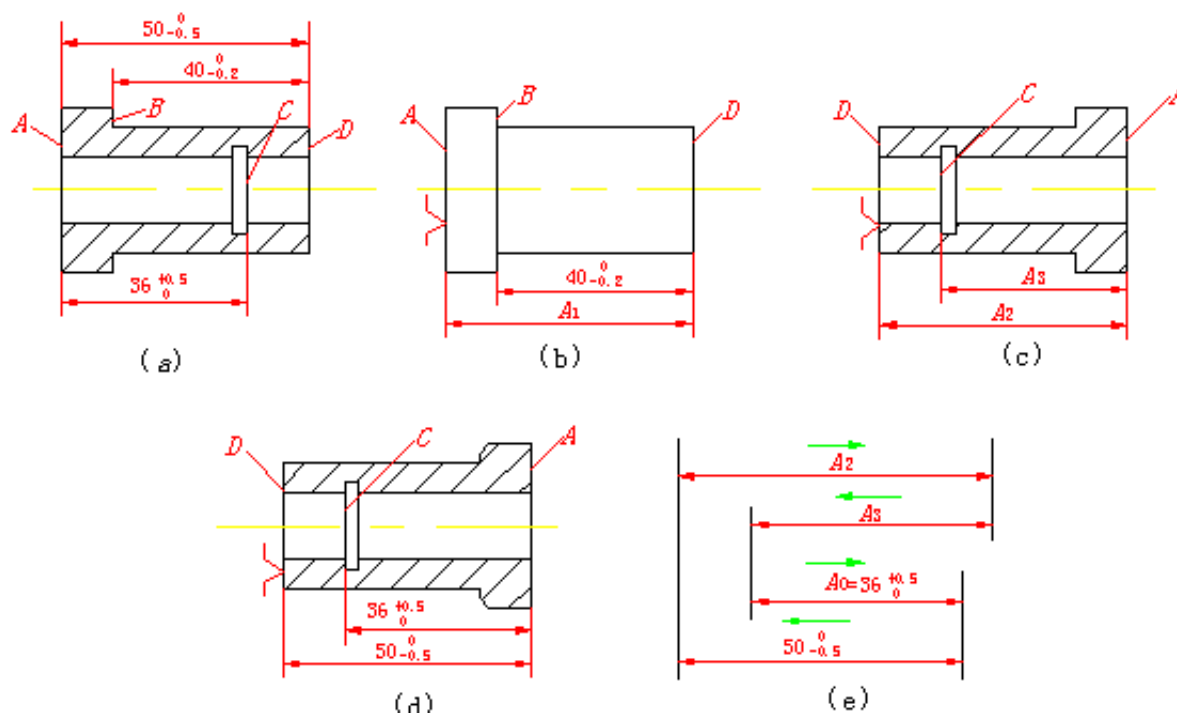


图 1-29 工艺尺寸链建立过程

①以大端面 A 定位，车端面 D 获得 A_1 ；并车小外圆至 B 面，保证长度 $40_{-0.2}^0$ mm（图 1-29b）；

②以端面 D 定位，精车大端面 A 获得尺寸 A_2 ，并在车大孔时车端面 C，获得孔深尺寸 A_3 （图 1-29c）；

③以端面 D 定位，磨大端面 A 保证全长尺寸 $50_{-0.5}^0$ mm，同时保证孔深尺寸为 $36_{+0.5}^0$ mm（图 1-29d）

由以上工艺过程可知，孔深设计尺寸 $36_{+0.5}^0$ mm 是自然形成的，应为封闭环。从构成封闭环的两界面 A 和 C 面开始查找组成环，A 面的最近一次加工是磨削，工艺基准是 D 面，直接获得的尺寸是 $50_{-0.5}^0$ mm；C 面最近的一次的加工是车孔时的车削，测量基准是 A 面，直接获得的尺寸是 A_3 。显然上述两尺寸的变化都会引起封闭环的变化，是欲查找的组成环。但此两环的工序基准各为 D 面与 A 面，不重合。为此要进一步查找最近一次加工 D 面和 A 面的加工尺寸。A 面的最近一次加工是精车 A 面，直接获得的尺寸是 A_2 ，工序基准为 D 面，正好与加工尺寸的 $50_{-0.5}^0$ mm 工序基准重合，而且 A_2 的变化也会引起封闭环的变化，应为组成环。至此，找出 A_2 、 A_3 、 $50_{-0.5}^0$ mm 为组成环，它们组成了一个封闭的尺寸链（图 1-29e）

（三）工艺尺寸链计算的基本公式

工艺尺寸链的计算方法有两种：极值法和概率法。目前生产中多采用极值法计算，下面仅介绍极值法计算的基本公式，概率法将在装配尺寸链中介绍。

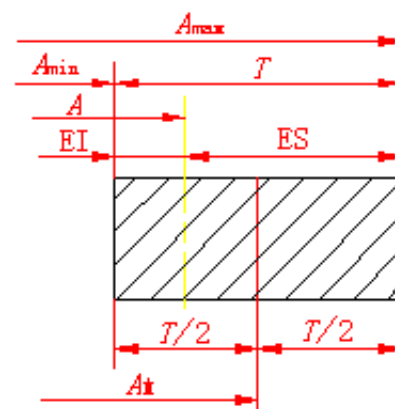


图 1-30 各种尺寸和偏差的关系

图 1-20 为尺寸链中各种尺寸和偏差的关系，表 1-9 列出了尺寸链计算中所用的符号。

表 1-9 尺寸链计算所用的符号

环名	符 号 名 称							
	基本尺寸	最大尺寸	最小尺寸	上偏差	下偏差	公差	平均尺寸	中间偏差
封闭环	A_0	A_{0max}	A_{0min}	ES_0	EI_0	T_0	A_{0av}	Δ_0
增 环	\vec{A}_i	\vec{A}_{imax}	\vec{A}_{imin}	ES_i	EI_i	T_i	A_{iav}	Δ_i
减 环	\tilde{A}_i	\tilde{A}_{imax}	\tilde{A}_{imin}	ES_i	EI_i	T_i	A_{iav}	Δ_i

1 . 封闭环基本尺寸

$$A_0 = \sum_{i=1}^n \vec{A}_i - \sum_{i=n+1}^m \tilde{A}_i$$

式中 n ——增环数目；

m ——组成环数目。

2 . 封闭环的中间偏差

$$\Delta_0 = \sum_{i=1}^n \vec{\Delta}_i - \sum_{i=n+1}^m \tilde{\Delta}_i$$

式中 Δ_0 ——封闭环中间偏差；

$\vec{\Delta}_i$ ——第 i 组成增环的中间偏差 ；

$\tilde{\Delta}_i$ ——第 i 组成减环的中间偏差。

$$\Delta = \frac{1}{2}(ES + EI)$$

中间偏差是指上偏差与下偏差的平均值：

3 . 封闭环公差

$$T_0 = \sum_{i=1}^m T_i$$

4 . 封闭环极限偏差

上偏差

$$ES_0 = \Delta_0 + \frac{T_0}{2}$$

下偏差

$$EI_0 = \Delta_0 - \frac{T_0}{2}$$

5 . 封闭环极限尺寸

最大极限尺寸 $A_{0\max} = A_0 + ES_0$

最小极限尺寸 $A_{0\min} = A_0 + EI_0$

6 . 组成环平均公差

$$T_{av,i} = \frac{T_0}{m}$$

7 . 组成环极限偏差

上偏差

$$ES_i = \Delta_i + \frac{T_i}{2}$$

下偏差

$$EI_i = \Delta_i - \frac{T_i}{2}$$

8 . 组成环极限尺寸

最大极限尺寸 $A_{i\max} = A_i + ES_i$

最小极限尺寸 $A_{i\min} = A_i + EI_i$

第九节 机械加工生产率和技术经济分析

在制定机械加工工艺规程时，必须在保证零件质量前提下，提高劳动生产率和降低成本。也就是说，必须做到优质、高产、低消耗。

一、机械加工生产率分析

劳动生产率是指工人在单位时间内制造的合格产品数量，或者指制造单件产品所消耗的劳动时间。劳动生产率可表现为时间定额和产量定额两种基本形式。时间定额又称为工时定额，是在生产技术组织条件下，规定一件产品或完成某一道工序需消耗的时间；产量定额是在一定的生产组织条件下，规定单位时间内生产合格产品数量的标准。目前，多数企业采用时间定额来反映劳动生产率。

（一）时间定额

时间定额不仅是衡量劳动生产率的指标，也是安排生产计划，计算生产成本的重要依据，还是新建或扩建工厂（车间）时计算设备和工人数量的依据。

制定合理的时间定额是调动工人积极性的重要手段，它一般是技术人员通过计算或类比的方法，或者通过对实际操作时间的测定和分析的方法进行确定的。在使用中，时间定额还应定期修订，以使其保持平均先进水平。

在机械加工中，完成一个工件的一道工序所需的时间 T_0 ，称为单件工序时间。它由下述部分组成。

1．基本时间 t_b

基本时间是直接改变生产对象的尺寸、形状、相对位置、表面状态或材料性质等工艺过程所消耗的时间。对机械加工而言，就是直接切除工序余量所消耗的时间（包括刀具的切入或切出时间）。基本时间可按公式求出。例如车削的基本时间 t_b 为：

$$t_b = \frac{L_j \cdot Z}{n \cdot f \cdot a_p}$$

式中 t_b ——基本时间（min）；

L_j ——工作行程的计算长度，包括加工表面的长度，刀具切出和

切入长度（mm）；

Z ——工序余量（mm）；

n ——工件的旋转速度（r/min）；

f ——刀具的进给量（mm/r）；

a_p ——背吃刀量（mm）。

2．辅助时间 t_a

辅助时间是为保证完成基本工作而执行的各种辅助动作需要的时间。它包括：装卸工件的时间、开动和停止机床的时间、加工中变换刀具（如刀架转位等）时间、改变加工规范（如改变切削用量）的时间、试切和测量等消耗的时间。

辅助时间的确定方法随生产类型而异。大批大量生产时，为使辅助时间规定得合理，需将辅助动作分解，再分别确定各分解动作的时间，最后予以综合。中批生产则可根据以往的统计资料来确定。单件小批生产则常用基本时间的百分比来估算。

3．技术服务时间 t_c

技术服务时间是指在工作进行期间内，消耗在照看工作地的时间，一般包括：更换刀具、润滑机床、清理切屑、修磨刀具、砂轮及修整工具等所消耗的时间。

4．组织服务时间 t_g

组织服务时间是指在整个工作班内，消耗在照看工作地的时间，一般包括：班前班后领换及收拾刀具、检查及试运转设备、润滑设备、更换切削液和润滑剂以及班前打扫工作场地、清理设备等消耗的时间。

5．自然需要及休息时间 t_n

自然需要及休息时间是工人在工作班内恢复体力和满足生理上需要所消耗的时间。在实际劳动量计算时，为了简化单件时间的计算，通常把 t_c 、 t_g 、 t_n 三部分时间统一化为占 t_b 和 t_a 的百分数，即

$$t_c + t_g + t_n = (t_b + t_a) \times \beta$$

式中 β —— t_c 、 t_g 、 t_n 占 t_b 、 t_a 的百分比。

因此单件工序时间 T_0 可用下式计算：

$$T_0 = (t_b + t_z) \times (1 + \beta)$$

单件工序时间不应包括以下内容：与基本时间重合的辅助时间；换件或换工序所需要的机床调整时间；由于生产组织、技术状态不良和工人偶然造成的时间损失；为返修或制造代替废品的工件而化费的时间

6 . 调整时间 T_j

调整时间是指成批生产中，为了更换工件或换工序而对设备及工艺装备进行重新调整所需的时间，又称为准备——终结时间。调整时间是工人为生产一批产品或零、部件，进行准备和结束工作所消耗的时间。如在单件或成批生产中，每次开始加工一批零件时，工人需要熟悉工艺文件、领取毛坯、材料、工艺装备、安装刀具和夹具、调整机床和其它工艺装备等消耗的时间。加工一批工件结束后，需拆下和归还工艺装备、送交成品等消耗的时间。调整时间 T_j 既不是直接消耗在每个零件上，也不是消耗在一个班内的时间，而是消耗在一批工件上的时间。因而分摊到每个工件上的时间为 T_j/N ， N 为批量。

7 . 计价时间 T_p

计价时间性又称单件核算定额，是指完成一件产品的一道工序规定的时间定额，是企业进行计划编制，核算生产能力和进行经济核算时的依据。因此，计价时间应由单件工序时间 T_0 和分摊到每个工件上的调整时间（ T_j/N ）两部分组成。

$$T_p = T_0 + \frac{T_j}{N}$$

大量生产中， N 值较大， $T_j/N \approx 0$ ，即可忽略不计。所以 $T_p \approx T_0 = (t_b + t_z)(1 + \beta)$

（二）提高劳动生产率的工艺途径

劳动生产率是衡量生产效率的一个综合性指标，它不是一个单纯的工艺技术问题，而是与产品的设计、生产组织和管理工作都密切相关，所以改进产品结构、改善生产组织和管理工作，都是提高生产率的有力措施。下面从机械加工工艺方面作一简单分析。

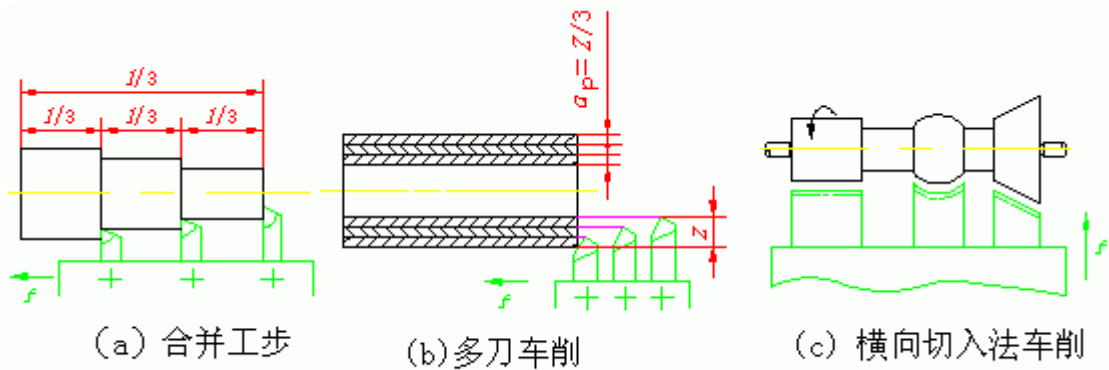


图3-89 减少或重合切削长度的方法

1 . 缩减时间定额

缩减时间定额，首先应缩减占时间定额中比重较大部分。在单件小批生产中，辅助时间和准备终结时间所占比重较大，此时应减少辅助时间；在大批大量生产中，基本时间所占比重较大，此时应缩减基本时间。

（1）缩减基本时间

①提高切削用量 v_c 、 f 、 a_p ，都可以缩减基本时间。这是机械加工中广泛采用的有效方法，但要采用大的切削用量，关键是提高机床的承载能力，特别是刀具的耐用度。

②减少或重合切削行程长度。如图 1-31a 所示为合并工步；b 所示为采用多刀加工；c 所示为采用横向切入。

③采用多件加工如图 1-32 所示。

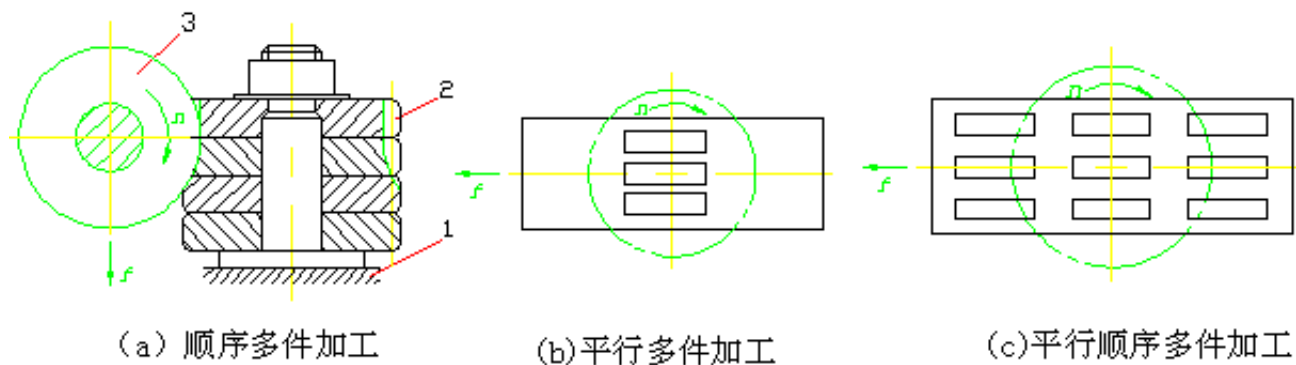


图 1-31 多件加工示意
1-工作台； 2-工件； 3-滚刀； 4-铣刀

（2）缩短辅助时间

当辅助时间占单件时间的 50%~70% 以上时，若用提高切削用量来提高生产率就不会取得大的效果，此时应考虑缩减辅助时间。

①采用先进高效的夹具。这不仅能保证加工质量，还能大大减少装卸和找正工件的时间。

②采用多工位加工。如图 1-32 所示为双工位夹具，使装卸工件的辅助时间与基本时间重合。

③采用连续加工。如图 1-33 所示为立式连续回转工作台铣床。

④采用主动检验或数字显示自动测量装置，可以减少停机测量的时间。

⑤采用各种快速换刀、自动换刀装置、刀具微调装置及可转位刀具，以减少在刀具的装卸、刃磨、对刀等方面所消耗的时间。

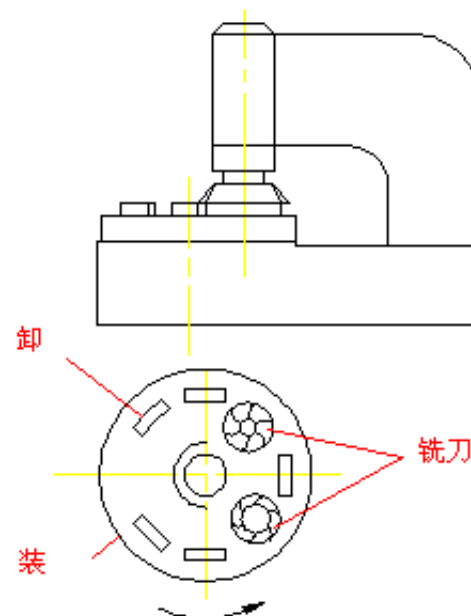
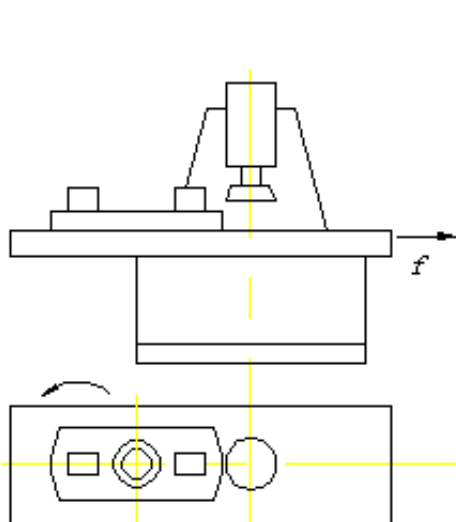


图 1-33 立式连续回转工作台铣床

（3）缩减准备终结时间

①使夹具和刀具高效通用化。

②采用先进加工设备以减少准备终结时间。如采用数控机床、液压仿形机床、顺序控制机床等。

2. 采用先进工艺方法

（1）采用先进的毛坯制造方法，提高毛坯精度，减少切削加工的劳动量。

（2）采用少、无切削加工工艺。如滚压加工等方法。

（3）采用特种加工。如用线电极电火花加工机床加工冲模可减少很多钳工工作量。