

1.7 工艺过程的技术经济分析

在制订机械加工工艺规程时,必须在保证零件质量要求的前提下,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。

1.7.1 时间定额

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。劳动生产率一般用时间定额来衡量。

时间定额又称为工时定额,是在一定的生产技术组织条件下,规定的完成单件产品(如一个零件)或完成某项工作(如某一道工序)所必需的时间。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。

制订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来确定的。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定额,称为单件时间定额。它由下述部分组成:

(1) 基本时间($T_{\text{基本}}$) 基本时间是指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),又称机动时间。基本时间可计算求出。以车削外圆为例,基本时间的计算公式为

$$T_{\text{基本}} = \frac{L+L_1+L_2}{nf} i = \frac{\pi D(L+L_1+L_2)}{1000vf} \frac{Z}{a_p}$$

式中 L ——零件加工表面的长度(mm);

L_1 、 L_2 ——刀具切出和切入的长度(mm);

n ——工件每分钟转数(r/min);

f ——刀具的进给量(mm/r);

i ——进给次数(取决于加工余量 Z 和背吃刀量 a_p);

v ——切削速度(m/min);

D ——工件直径(mm);

$T_{\text{基本}}$ ——基本时间(min)。

(2) 辅助时间($T_{\text{辅助}}$) 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)的时间、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;中批生产时,则可根据以往的统计资料来确定;单件小批生产时,则常用基本时间的百分比来估算。

基本时间($T_{\text{基本}}$)和辅助时间($T_{\text{辅助}}$)的总和称为操作时间($T_{\text{操作}}$)。



(3) 布置工作地时间 ($T_{\text{布置}}$) 布置工作地时间是指在工作进行期间内, 消耗在照看工作地点及保持正常工作状态所耗费的时间。例如, 在加工过程中更换刀具、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。布置工作地时间 ($T_{\text{布置}}$) 可取操作时间的 2%~7%。

(4) 休息与生理需要时间 ($T_{\text{休息}}$) 休息与生理需要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, 一般可取操作时间的 2%。

上述时间的总和称为单件时间 ($T_{\text{单件}}$)。即

$$T_{\text{单件}} = T_{\text{基本}} + T_{\text{辅助}} + T_{\text{布置}} + T_{\text{休息}}$$

(5) 准备与终结时间 ($T_{\text{准终}}$) 准备与终结时间是指一批工件的加工开始和终结时, 所做的准备工作和结束工作而消耗的时间。准备工作所消耗的时间包括: 熟悉工艺文件, 领取毛坯、材料、工艺装备, 安装刀具和夹具, 调整机床和其他工艺装备等消耗的时间。结束工作所消耗的时间包括拆下和归还工艺装备、送交成品等消耗的时间。准备与终结时间对一批零件只消耗一次, 也就是说, 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, 故分摊到每个工件上的时间为 $T_{\text{准终}}/N$, N 为批量。

所以批量生产时, 单件时间定额为上述时间之和。即

$$T_{\text{定额}} = T_{\text{基本}} + T_{\text{辅助}} + T_{\text{布置}} + T_{\text{休息}} + T_{\text{准终}}/N$$

在大量生产时, 每个工作地点完成固定的一道工序, 一般不需要考虑准备终结时间, 如果要计算, 因 N 值很大, $T_{\text{准终}}/N \approx 0$, 也可忽略不计。所以大批量生产的单件时间定额为

$$T_{\text{定额}} = T_{\text{单件}} = T_{\text{基本}} + T_{\text{辅助}} + T_{\text{布置}} + T_{\text{休息}}$$

1.7.2 提高机械加工生产率的工艺措施

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, 所以改进产品结构设计、改善生产组织和管理工作, 都是提高生产率的有力措施。下面仅讨论与机械加工有关的一些工艺措施。

1. 缩减时间定额

在时间定额的 5 个组成部分中, 缩减每一项都能降低时间定额, 从而提高劳动生产率。但主要应缩减占时间定额中比重较大部分。例如在单件小批生产中, 辅助时间所占比重较大, 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。休息与生理需要时间 $T_{\text{休息}}$ 本来所占比重很小, 不宜作为缩减对象。

(1) 缩减基本时间

1) 提高切削用量 v_c 、 f 、 a_p 。增加切削用量可以缩减基本时间, 但会增加切削力、切削热和工艺系统的变形以及刀具的磨损等。因此, 必须在保证质量的前提下采用。

要采用大的切削用量, 关键是提高机床的承载能力, 特别是刀具寿命; 要求机床刚度好、功率大; 要采用优质的刀具材料, 如陶瓷车刀的切削速度可达 500m/min, 聚晶立方氮化硼刀具可达 900m/min, 并能加工淬硬钢。

2) 减少或合并工作行程长度。在切削加工时, 可以通过采用多刀加工、多件加工的方法减少或合并工作行程长度。

图 1-36a 所示为采用三把刀具同时切削同一表面, 工作行程约为工件长度的 1/3。

图 1-36b 所示为合并工作行程, 采用三把刀具一次性完成三个工作行程, 工作行程约可



减少 $2/3$ 。

图 1-36c 所示为复合工步加工, 也可大大减少工作行程。

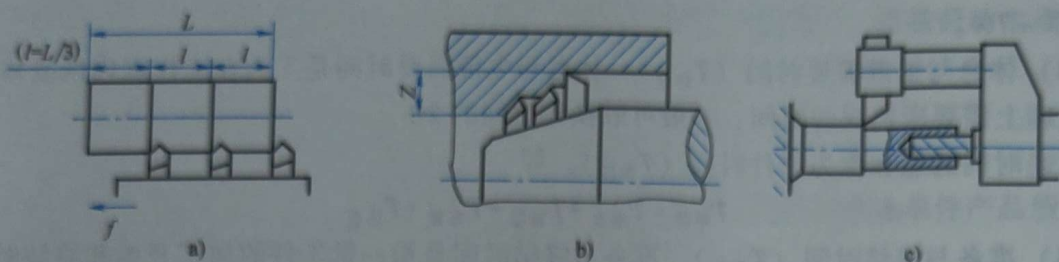


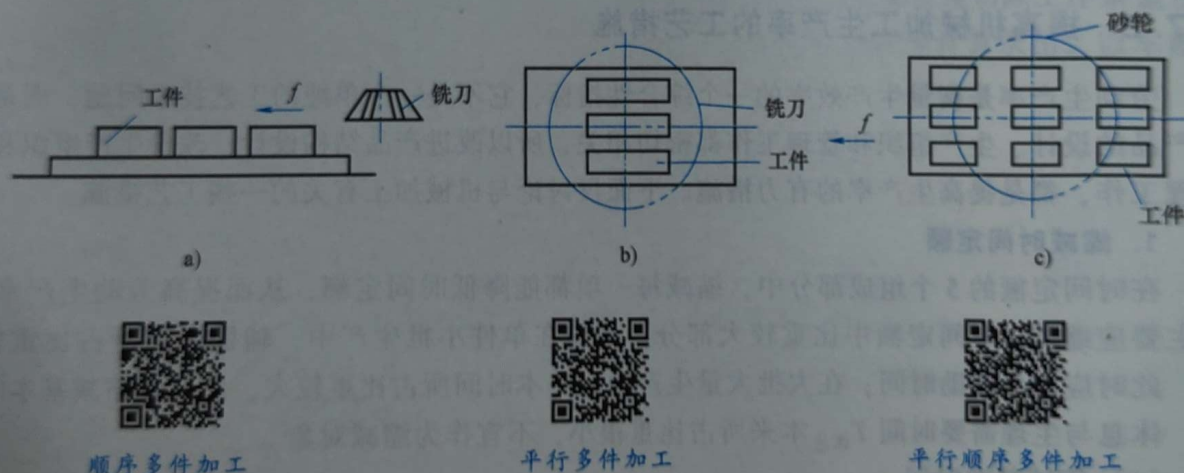
图 1-36 采用多刀加工减少工作行程

多件加工可分为顺序多件加工、平行多件加工和平行顺序多件加工三种方式, 如图 1-37 所示。

图 1-37a 所示为顺序多件加工, 这样可以减少刀具的切入和切出长度。这种方式多见于龙门刨床刨削、镗削及滚齿加工中。

图 1-37b 所示为平行多件加工, 一个工作行程可以同时加工几个零件, 所需基本时间与加工一个零件时基本相同。这种方式常用于铣床和平面磨床上。

图 1-37c 所示为平行顺序多件加工。这种加工方式能显著减少基本时间, 常用于铣削和立轴式平面磨削加工中。



顺序多件加工

平行多件加工

平行顺序多件加工

图 1-37 采用多件加工减小切削行程长度

(2) 缩减辅助时间 当辅助时间占单件时间的 $50\% \sim 70\%$ 以上时, 若用提高切削用量的方式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。缩减辅助时间的方法主要是实现机械化和自动化, 或使辅助时间与基本时间重合。具体措施如下:

1) 采用先进高效的夹具。在大批大量生产时采用高效的气动或液压夹具, 在单件小批生产或中批生产时采用组合夹具、可调夹具或成组夹具, 都可减少装卸和找正工件的时间。

2) 采用多工位连续加工。采用回转工作台和转位夹具, 可在不影响切削的情况下装卸工件, 使辅助时间和基本时间重合, 例如: 图 1-38 所示的利用回转工作台的多工位立铣和图 1-39 所示的采用双工位夹具。



3) 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。

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

(3) 缩减布置工作地时间 缩减布置工作地时间主要是缩减调整和更换刀具的时间,延长刀具或砂轮的寿命。主要方法是采用各种快换刀夹、自动换刀装置、刀具微调装置以及不重磨硬质合金刀片等,以减少工人在刀具装卸、刃磨和对刀等方面所消耗的时间。

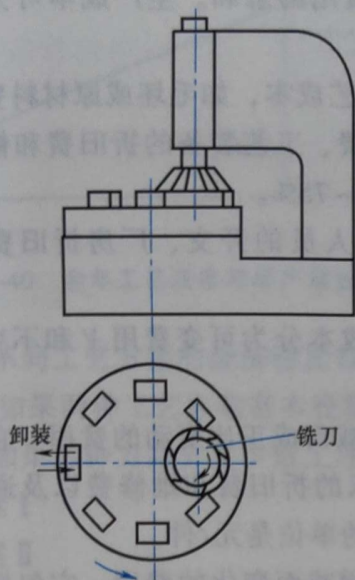


图 1-38 利用回转工作台的多工位立铣

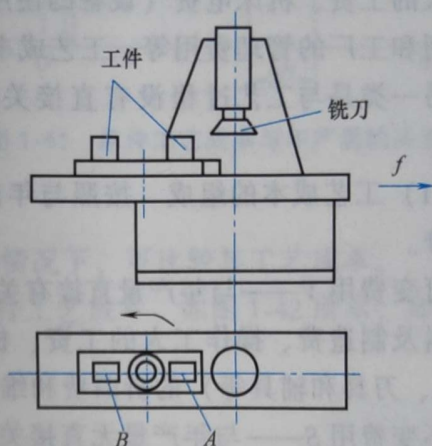


图 1-39 采用双工位夹具

(4) 缩减准备与终结时间 在批量生产时,应设法缩减安装工具、调整机床的时间,同时应尽量扩大零件的批量,使分摊到每个零件上的准备与终结时间减少。在中、小批生产时,由于批量小,准备与终结时间在时间定额中占有较大的比重,影响到生产率的提高。因此,应尽量使零件通用化和标准化,或者采用成组技术,以增加零件的生产批量。

2. 采用先进工艺方法

采用先进的工艺方法是提高劳动生产率极为有效的手段。主要有以下几种:

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,提高劳动生产率。

2) 采用少、无切屑加工工艺,如滚压、冷轧、挤齿等工艺方法,都能有效地提高劳动生产率。

3) 采用特种加工。对于某些特硬、特脆、特韧的材料及复杂型面等,采用特种加工能极大地提高劳动生产率。例如,用线电极电火花加工机床加工冲模可减少很多钳加工工作量。

4) 改进加工方法,如用拉孔代替镗孔、铰孔,用精刨、精磨代替刮研等,都可提高生产率。



1.7.3 工艺方案的经济性分析

制订机械加工工艺规程时,在满足加工质量的前提下,要特别注意其经济性。一般情况下,满足同一质量要求的加工工艺方案可以有很多种,在这些方案中,必然有一种是经济性最好的工艺方案。所谓经济性好,就是指在机械加工中能用最低的成本制造出合格的产品。这样,就需要对不同的工艺方案进行技术经济分析,从技术上和生产成本等方面进行比较。

1. 生产成本和工艺成本

生产成本是制造一个零件(或产品)所必需的一切费用的总和。生产成本可分为两类费用。

一类是与工艺过程直接有关的那一部分费用,称为工艺成本,如毛坯或原材料费用、生产工人的工资、机床电费(设备的使用)、折旧费和维修费、工艺装备的折旧费和修理费以及车间和工厂的管理费用等。工艺成本占生产成本的70%~75%。

另一类是与工艺过程没有直接关系的费用,如行政人员的开支、厂房折旧费、取暖费等。

(1) 工艺成本的组成 按照与年产量的关系,工艺成本分为可变费用 V 和不变费用 S 两部分。

可变费用 V ——与年产量直接有关,即随年产量的增减而成正比变动的费用。它包括毛坯材料及制造费、操作工人的工资、机床电费、通用机床的折旧费和维修费以及通用工装(夹具、刀具和辅具等)的折旧费和维修费等。可变费用的单位是元/件。

不变费用 S ——与年产量无直接关系,不随年产量的增减而变化的费用。它包括调整工人的工资、专用机床的折旧费和专用工艺装备的折旧费和维修费。专用机床和专用工艺装备是专为某工件的某道工序所用,它不能被其他工序所用,当产量不足、负荷不满时,就只能闲置不用。专用机床和专用工艺装备的折旧年限是确定的。因此,专用机床和专用工艺装备的费用不随年产量的增减而变化。不变费用的单位是元/年。

(2) 工艺成本的计算 零件加工全年工艺成本可按式计算:

$$E = VN + S$$

式中 E ——某一零件全年的工艺成本(元/年);

V ——可变费用(元/件);

N ——零件年产量(件/年);

S ——不变费用(元/年)。

每个零件的工艺成本可按式计算:

$$E_d = V + S/N$$

式中 E_d ——单件工艺成本(元/件)。

全年工艺成本与年产量的关系可用图1-40表示, E 与 N 成线性比例,说明年工艺成本随着年产量的变化而成正比变化。

单件工艺成本与年产量是双曲线的关系,如图1-41所示。在曲线的 A 段, N 值很小,设备负荷低, E_d 就高,当 N 略有变化时, E_d 将有较大的变化。在曲线的 C 段, N 值很大,大多采用专用设备(S 较大、 V 较小),且 S/N 值小,故 E_d 较低, N 值的变化对 E_d 的影响很小。



上述分析表明,当 S 值一定时(主要指专用工装设备费用),就应该有一个相适应的零件年产量。所以,在单件小批生产时,因 S/N 值的占比大,就不适合使用专用工装设备(以降低 S 值);在大批大量生产时,因 S/N 值的占比小,最好采用专用工装设备(以降低 V 值)。

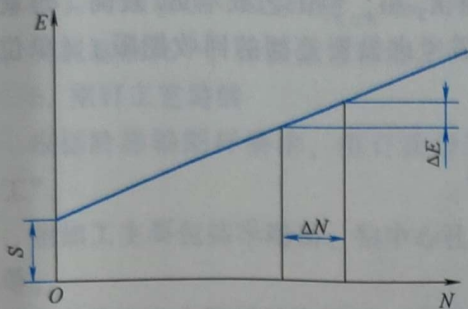


图 1-40 全年工艺成本与年产量的关系

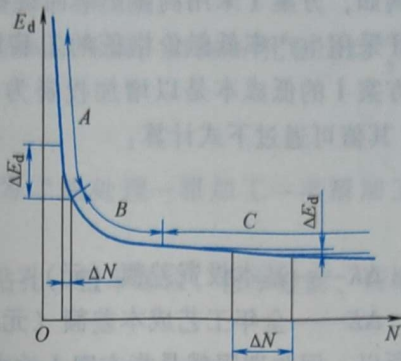


图 1-41 单件工艺成本与年产量的关系

2. 不同工艺方案的经济性比较

1) 如果两种工艺方案基本投资相近,在现有设备情况下,可比较其工艺成本。

① 如果两种方案只有少数工序不同,可比较其单件工艺成本。如图 1-42 所示,即

$$\text{方案 I} \quad E_{d1} = V_1 + S_1/N$$

$$\text{方案 II} \quad E_{d2} = V_2 + S_2/N$$

则 E_d 值小的方案经济性好。

② 如果两种方案有较多工序不同时,应比较其全年工艺成本。如图 1-43 所示,即

$$\text{方案 I} \quad E_1 = V_1 N + S_1$$

$$\text{方案 II} \quad E_2 = V_2 N + S_2$$

则 E 值小的方案经济性好。

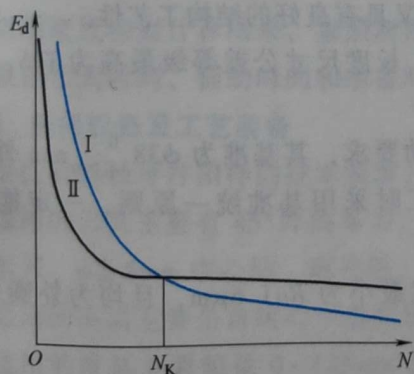


图 1-42 两种方案单件工艺成本的比较

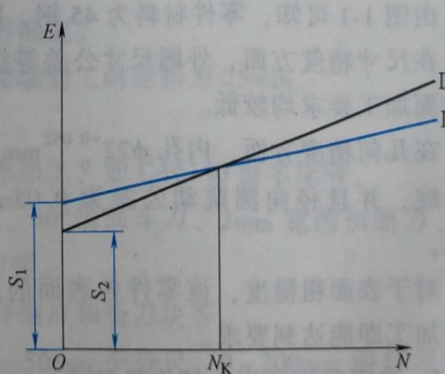


图 1-43 两种方案全年工艺成本的比较

由此可知,各方案的经济性好坏与零件年产量有关,当两种方案的工艺成本相同时的年产量称为临界年产量 N_K 。即

$$E_1 = E_2 \text{ 时} \quad V_1 N_K + S_1 = V_2 N_K + S_2$$



则

$$N_k = \frac{S_2 - S_1}{V_1 - V_2}$$

若 $N < N_k$, 宜采用方案 II; 若 $N > N_k$, 宜采用方案 I。

2) 如果两种工艺方案基本相差较大时, 则应比较不同方案的基本投资差额的回收期限 t 。

例如, 方案 I 采用高生产率而价格高的工装设备, 基本投资 K_1 大, 但工艺成本 E_1 低; 方案 II 采用生产率低但价格低的工装设备, 基本投资 K_2 小, 但工艺成本 E_2 较高。也就是说, 方案 I 的低成本是以增加投资为代价的, 这时需考虑投资差额的回收期限 t (单位为年), 其值可通过下式计算:

$$t = \frac{K_1 - K_2}{E_2 - E_1} = \frac{\Delta K}{\Delta E}$$

式中 ΔK ——基本投资差额 (元);

ΔE ——全年工艺成本差额 (元/年)。

所以, 回收期限就是指方案 I 比方案 II 多花费的投资, 需要多长时间由于工艺成本的降低而收回来。显然回收期限 t 越小, 经济性越好。但回收期限 t 至少应满足以下要求:

① t 应小于所采用设备的使用年限。

② t 应小于生产产品的更新换代年限。

③ t 应小于国家规定的年限。例如普通机床的回收期限为 4~6 年, 夹具的回收期限为 2~3 年。

案例实施

根据图 1-1 所示阶梯轴的相关信息, 按照制订机械加工工艺规程的步骤, 为其设计加工工艺规程。

1. 计算生产纲领, 确定生产类型

已知阶梯轴为单件小批生产, 在此无须计算生产纲领, 确定生产类型。

2. 零件图的分析

由图 1-1 可知, 零件材料为 45 钢, 既便于加工, 又具有良好的结构工艺性。

在尺寸精度方面, 外圆尺寸公差等级最高为 IT8, 长度尺寸公差等级最高为 IT6, 螺纹和锥面加工要求均较低。

在几何精度方面, 内孔 $\phi 22^{+0.052}_0$ mm 有径向圆跳动要求, 其基准为 $\phi 38^{+0.039}_0$ mm 外圆的中心线, 并且径向圆跳动公差为 0.05mm, 只要加工时采用基准统一原则, 一定能达到要求。

对于表面粗糙度, 该零件各表面的表面粗糙度值最小为 $Ra1.6\mu\text{m}$, 且均为外圆表面, 车削加工即能达到要求。

3. 确定毛坯种类、结构及尺寸

考虑该零件的结构为圆形棒状、生产类型为单件小批生产、材料为 45 钢、零件最大直径 $\phi 38^{+0.039}_0$ mm, 长度为 75mm, 零件毛坯采用 $\phi 40$ mm 下料件, 下料长度为 78mm。

4. 选择定位基准

(1) 目测 根据阶梯轴的毛坯长度 78mm 与零件长度 75mm, 用目测方法测定阶梯轴一端的加工余量, 一般用在第一个面。

