机械加工工序误差分析与计算(上)

贵州航天乌江机电设备有限责任公司 （遵义 563003） 冉启军 张玉峰

在机械加工过程中，工序误差分析的目的，在于校验本工序各种误差的总和不应超出尺寸公差的数值。

1. 工序误差分析的基本理论和方法

在机械加工过程工序误差的计算应满足下列算式的要求

$$\lambda + \delta_p + \delta_J + \tau \leqslant \alpha_u \qquad (1)$$

式中 α_u——工序中原始尺寸 A_u 的公差；

λ——定位基准与技术资料基准不重的误差，其数值为上述两基准之间的位置误差 s 在原始尺寸 A_u 方向上的投影；

δ_p——计算定位误差，其数值为定位误差 δ_s 在原始尺寸 A_u 方向上的投影；

δ_J——夹具安装误差；

τ——加工误差，一般由机床误差 δ_C、刀具调整误差（对刀误差）δ_H、刀具误差 δ_D 和工件变形误差 δ_B 所组成。

不等式（1）是工序误差分析的基本依据，在应用时，必须注意各项误差的方向问题，式中各个误差代号分别代表在某一原始尺寸方向上有关误差的最大值。当工序中的原始尺寸不止一个时，则每个原始尺寸都有各自的计算不等式，并应一一予以满足。

在计算工序误差时，要认真分析工序中与该原始尺寸有关的各种组成误差，根据分析列出本工序要求的计算不等式。

为了计算过程更加清晰，对不等式（1）展开成下列不等式

$$\lambda + \delta_p + \delta_J + \delta_C + \delta_H + \delta_D + \delta_B \leqslant \alpha_u \qquad (2)$$

$$\begin{cases} P = \lambda + \delta_p \\ \tau = \delta_C + \delta_H + \delta_D + \delta_B \end{cases}$$

式中 P——与工件在夹具中安装有关的误差，也称工件安装误差。

为满足上述计算不等式，现将其中各项组成误差的影响因素和处理方法介绍如下：

λ：在机械加工工艺规程中已经规定，一般不决定于加工过程。

δ_p（或 δ_s）：取决于定位基准和定位件的结构型式。在定位基准已定的情况下，仅取决于定位件；为了减少 δ_p，可选择适当的定位件或提高其精度。

δ_J：取决于夹具在机床上定位的误差。为了减少此项误差，在生产能力允许的情况下，可把夹具总图的有关技术公差定得较小；或者采用夹具装在机床上加工后，直接在该机床上使用该夹具；以及夹具在机床上仔细找正的办法使此项误差值减少。

δ_C：取决于机床的工作精度。如机床主轴的跳动量，机床台面移动方向对主轴的平行度，机床主轴对台面的垂直度等。这项误差如果机床已选定，则不能改变。如果此项误差对本序影响严重而不能保证工序要求时，则可另选机床进行加工。

δ_D：取决于刀具精度。它主要决定于刀具几何形状的误差、修磨误差、磨损误差以及刀具工作时对规定位置的不重合程度。刀具的磨损有时对工件加工精度的影响较大，比如利用靠模加工时就会发生这种误差。但对某些加工方法对刀具的磨损一般不影响原始尺寸，比如平面铣削的加工，刀具的磨损一般不影响原始尺寸，只影响加工表面的直径，又如车削加工中车刀的磨损或孔加工中钻头、铰刀、拉刀等的磨损就是如此。当此项误差对本工序影响特别严重时，应尽量提高刀具的精度，以减少误差。

δ_H：取决于刀具的导向误差、调整或定距对刀的误差。若刀具的位置是靠试切削来确定，则此项误差取决于操作者的操作。如果在夹具中采用了对刀或引导装置，则 δ_H 的大小取决于这些装置中有关元件的位置误差，如铣床夹具中对刀块的位置误差，钻模中钻套的位置误差等。此外，夹具上测量基准面与定位表面之间的

位置误差也可归并于此项误差进行处理。

在机械加工过程中，在使用钻模进行加工钻孔工序中，一般在确定 δ_H 时，应与 δ_D 一起考虑较好，因为 δ_H 与 δ_D 两者的关系是紧密相连的。同时在确定 δ_H 和 δ_D 一般有两种方法：一是选择全部参数进行验算，另一种是选择部分参数计算不等式以求其他参数。

δ_B：此项误差是由工件、机床零件、夹具和刀具的弹性变形，以及夹具零件和机床零件连接中的间隙所引起的，其数值一般不易算出。在机械加工过程中要减少这项误差，可从夹具结构中想办法，特别是对于加工刚度较小的工件时，更应注意这个问题。例如，有时可采用顶尖顶住、辅助支承托住，以及采用能进行均匀夹紧的自动定心装置等结构的措施，来减少发生这种误差的可能性。

根据以上 δ_C、δ_D、δ_H、δ_B 属于加工误差的四项误差，求其合成误差 τ 的方法，在具体的工序中，可以通过分析具体的加工条件来确定。现将其一般的确定方法分述如下，仅供参考。

（1）当加工误差中实际组成误差的数目为两项时，则可按求和方法求其加工误差。

例如，在一般钻床加工、镗床加工（用多刃刀具）、拉床加工及电火花加工中，当将机床误差 δ_C 及变形误差 δ_B 忽略不计时，加工误差可按下式确定

$$\tau = \delta_H + \delta_D \tag{3}$$

在一般车床加工、镗床加工（用单刃刀具）、磨床加工及铣床加工中，当将刀具误差 δ_D 及变形误差 δ_B 忽略不计时，加工误差可按下式确定

$$\tau = \delta_C + \delta_H \tag{4}$$

（2）当加工误差中实际组成误差的数目大于两项时，则可按均方根法求其加工误差。此时一般公式为

$$\tau = \sqrt{\delta_C^2 + \delta_D^2 + \delta_H^2 + \delta_B^2} \tag{5}$$

在实际中，由于往往将变形误差不计，因此其计算公式将变成下列形式

$$\tau = \sqrt{\delta_C^2 + \delta_D^2 + \delta_H^2} \tag{6}$$

计算不等式在机床夹具设计中比较有用。夹具总图的主要尺寸和技术条件的公差，一般直接或间接地决定了上述不等式中的误差 δ_P（或 δ_C）、δ_J 和 δ_H 等。

在设计夹具时，根据计算不等式的关系，分析有关误差的目的在于可以帮助正确地选择定位基准，正确地选择定位方法和定位元件及夹紧方法，分析产生误差的主要原因，从而寻找控制或减少误差的方法。然而，在实际设计夹具时，如果夹具上的主要尺寸和技术条件完全依靠用这个不等式的计算方法来确定，则往往很费时间，因此在实际工作中，常常先凭经验估算的方法来确定与控制各项误差的最大值。估算的原则一般是使夹具有关表面误差 δ 必须小于所要保证的工件原始尺寸的公差 A_n，即用经验公式

$$\delta = (1/3 \sim 1/5)\alpha_n \tag{7}$$

由式（7）初步定出有关表面的位置公差 δ，然后再参照常用的经验数据（公差组别）选定公差，最后再根据具体情况，应用计算不等式进行分析验算，来决定夹具上的各主要尺寸和技术条件的公差。

由此可知，对于不等式（1），还应给予足够的重视，它可以帮助分析有关精度的问题。通常在设计夹具时，应预先对计算不等式作适当的检查，以便发现问题和矛盾所在，并结合具体条件作出判断，以便定出合理的技术要求。

根据以上所述，对于如何满足计算不等式有了一个概念，但必须针对具体问题进行具体对待，只有对具体问题进行切合实际的分析后，才能列出符合客观情况的计算不等式。为了使计算不等式中的各个误差有一个直观的几何概念，我们在直角坐标系 XOY 中用线段相加的图解方法来表示，如图1所示。

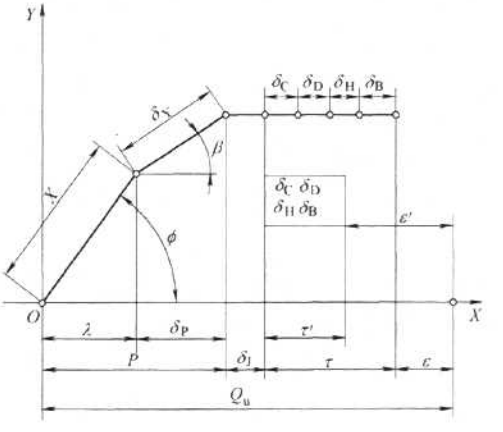


图1 工序误差分析的尺寸链

在图1中，假设 OX 轴为所要分析的原始尺寸的方向，而 OY 轴则为此原始尺寸无关的另一坐标尺寸的方向。由图1可知，各个组成误差在 OX 坐标轴（原始尺

寸方向）上的投影之和应不大于原始尺寸的公差 a_u。对于其中各个误差，如果是方向不定的量，则应取其绝对值去相加。另外，对于加工误差，图1中也表示出两种处理方法，即用各组成误差的求和之值 τ 或用均方根之值 τ' 去相加，具体采用那种方法，可参考以上所述的情况进行处理。

图1中 A_u 与各项误差总和之差，即为夹具的“精度储备”，以 ε 来表示，由此可知

$$\varepsilon = a_u - (P + \delta_j + \tau) \qquad (8)$$

对于夹具的磨损公差，一般也可以包括“精度储备”中来考虑。由图1分析可知，当加工误差按 τ' 计算时，精度储备可相应增大为 ε'。由此可知，当加工误差有条件认为可以按均方根法计算时，则往往可使夹具多留一些精度储备。

对于工序误差分析中所引入的各种公差及精度储备，也可用直线尺寸链线图来表示，因此图1也可把它当作是工序误差分析的尺寸链线图。按照这种方法，可以将原始公差 a_u 当作封闭环，把 λ、δ_p、δ_j、τ（δ_c、δ_{ll}、δ_{ll}、δ_B）及 ε 都当作增环。在误差分析后，应使 ε 保持为一个不于零的值。

由此可知，工序误差分析的方法实际上是属于尺寸链法的反计算问题，并采用“试算法”进行计算；即根据本工序所限定的原始尺寸公差，对加工中所产生的并与此原始尺寸有关的各项误差，应用计算不等式（1）进行分析和验算。如果不符，则对其中某些公差进行修正，重新验算，直到符合本工序的加工精度要求为止。

在具体应用计算不等式进行工序的误差分析时，一般会遇到下述一些情况，并采用相应的处理方法。设各项误差代入计算不等式所求得的误差之和为 $\sum\delta$，此时一般可以出现下述三种情况：

$\sum\delta > \alpha_u$，计算不等式显然不能满足要求，这时需要把其中某些组成误差进行修正，然后再用求和的方法重新代入计算不等式求出合成误差，使 $\sum\delta < \alpha_u$。

$\sum\delta \approx \alpha_u$，即 $\sum\delta$ 与 a_u 比较接近，这时虽然尚能满足计算不等式，但夹具的精度储备较少，因此为了保险起见，可把其中个别的组成公差按车间实际可能达到的水平加以缩小。但如发现这些公差太小将使加工难以保证时，则不宜过份提高加工精度。这时将其中各个偶然性误差提出来，按概率理论用“均方根法”求其合成误差，然后再代入计算不等式进行验算，使 $\sum\delta < \alpha_u$。

$\sum\delta < \alpha_u$，即 $\sum\delta$ 与 a_u 有合适的差值，这时可以认为夹具能满足工件的加工要求。**MW**

（待续） （收稿日期：20101112）

（上接第55页）

6. 结语

在批量生产过程中使用精确选配法（见图7），可以放宽零件加工的尺寸公差。在增加简单工序、少量投资的情况下，能够大大提高装配精度和装配效率，对提高产品质量具有积极意义和作用。但该方法有一定的条件限制，即该方法不能放宽零件的形位公差，因此不适用于形位公差要求很高的轴孔配合。

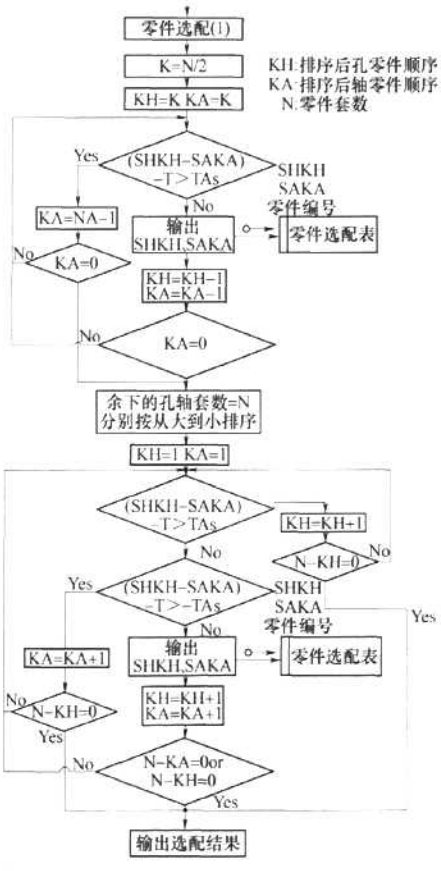


图7 零件选配流程

MW （收稿日期：20100712）