

轴孔零件精确选配法

长春工艺设备研究所 (吉林 130012) 徐向兰 王 静 姜合萍 王佰超

1. 现有零件装配配合方法简介

轴孔的配合是机械结构中最普遍、最重要的配合。其配合质量直接影响机构的运动精度、运动平稳性以及机构的使用寿命等。由于加工过程中受到各种因素的影响,零件的加工尺寸具有一定的分散性。当工艺调整正确时,一般以零件公差带中心呈正态分布特性。根据产品的结构、批量、生产条件等不同因素,传统的装配方法一般分为五种:完全互换法、不完全互换法、分组互换法、修配法和调整法。

对加工合格的零件,不再经选择、修配或调整,直接进行装配,这是完全互换法,亦称极值法。完全互换法装配工作简单,生产率高,质量稳定,对装配技术水平要求不高,利于组织流水生产,利于维修工作。但由于这种方法必须满足尺寸极限值的装配要求,对于一定精度的加工零件其配合精度分散较大。假设孔尺寸的极限偏差为 $\pm\delta_k$ (相对中间尺寸),轴尺寸的极限偏差为 $\pm\delta_z$,则装配的极限偏差(相对于孔、轴中间尺寸的配合间隙或过盈) δ_p 为

$$\delta_p = \pm (\delta_k + \delta_z) \quad (1)$$

由式(1)中可以看到,为了保证装配精度 δ_p ,完全互换装配法对轴、孔极限偏差的要求为 $\delta_p/2$ 左右。在装配精度较高的条件下,轴孔的加工精度必然要求很高,往往会超出设备的加工能力。因此,完全互换装配法不适用于高精度装配。

不完全互换法是根据概率理论,适当放大零件配合尺寸的公差,不改变零件的装配精度。假设孔尺寸的均方差为 σ_H ,轴尺寸的均方差为 σ_s ,由于孔、轴的尺寸呈正态分布,故装配的均方差(相对于孔、轴公差带中心尺寸的配合间隙或过盈)为

$$\sigma_p = \sqrt{\sigma_H^2 + \sigma_s^2} \quad (2)$$

根据统计学正态分布理论,轴、孔及装配的极限偏

差为

$$\delta_k = 3\sigma_k \quad (3)$$

$$\delta_z = 3\sigma_z \quad (4)$$

$$\delta_p = 3\sigma_p \quad (5)$$

由式(1)、式(2)和式(5)可以看到,不完全互换法在孔和轴的极限偏差相当(相等)的情况下,装配的极限偏差 δ_p 约为

$$\delta_p = \sqrt{2}\delta_k \quad (6)$$

装配的极限偏差大大小于完全互换装配法的极限偏差。

在加工工艺困难,又不能减小轴孔公差带的情况下,按完全互换法和不完全互换法组成的装配公差带仍然不能达到满意的装配结果时采用分组装配法。分组装配法就是轴孔零件均按一定的经济精度加工,在装配前分别按各自的尺寸大小分成几组(轴孔组数相同),然后按相应的组进行装配。

修配法与调整法的实质相同,是将尺寸链中某一组成环预留一定的余量,用于调整或修配。调整法一般不用于轴孔的加工装配。修配法用于高精度的配合件,如发动机的配偶件采用配磨法进行最后的精加工等。

分组装配法只能在较小的分组范围内进行互换,修配法和调整法都使零件丧失完全互换性。

本文提出精确选配法,即分别将轴孔按照经济加工方法进行加工,将一批轴孔零件分别按尺寸大小排序,大尺寸和大尺寸相配,小尺寸和小尺寸相配。当采用分组装配法依然不能满足配合要求,而采用配磨法既增加加工难度又增加加工成本,这种情况下适于采用精确选配法。

2. 精确选配法装配精度分析

在进行装配精度分析时,不考虑加工的系统误差,只考虑加工偶然误差的影响,工件尺寸按正态分布曲线

分布。尺寸分布曲线的特性用三个特性指标来衡量,即实际尺寸的算术平均值 A 、均方差 σ 及尺寸分布范围 R 。当工艺系统调整正确时,算术平均尺寸非常接近公差带的中心,一般视为重合。分布范围接近公差带,本文视为相等,对于正态分布, $R=3\sigma$ 。

对于孔有 A_k 、 σ_k 、 R_k , 对于轴有 A_s 、 σ_s 、 R_s 。设 $T = A_k - A_s$, 则 T 视为理想的配合间隙(过盈)。普遍情况下, σ_k 、 R_k 的值大于 σ_s 、 R_s 。对于间隙配合 $A_k > A_s$, 过渡配合 $A_k = A_s$, 过盈配合 $A_k < A_s$ 。图1所示为满足完全互换法的孔轴间隙配合尺寸分布示意图。

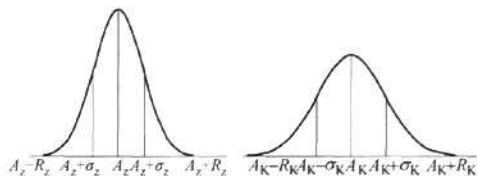


图1 孔、轴间隙配合尺寸分布

3. 对于完全互换装配法

最大间隙为

$$T_{\max} = (A_k + R_k) - (A_s - R_s) = T + (R_k + R_s)$$

最小间隙为

$$T_{\min} = (A_k - R_k) - (A_s + R_s) = T - (R_k + R_s)$$

配合极限误差为

$$\delta_p = (R_k + R_s) = 3(\sigma_k + \sigma_s) \quad (7)$$

而对于精确选配法,最大间隙为

$$T_{\max} = (A_k + R_k) - (A_s + R_s) = T + (R_k - R_s)$$

最小间隙为

$$T_{\min} = (A_k - R_k) - (A_s - R_s) = T - (R_k - R_s)$$

配合极限误差为

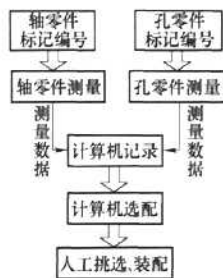
$$\delta_p = (R_k - R_s) = 3(\sigma_k - \sigma_s) \quad (8)$$

由式(8)与式(7)、式(6)比较,可以看到在同样的加工条件下,装配精度大大提高。因此,对于装配精度要求较高的零件装配,采用精确选配法可以适当放宽尺寸加工公差。这对于提高工件合格率、提高产品质量、提高生产效率具有积极意义。

4. 精确选配法的应用方法

实际生产过程中,对于少量、单件或试制零件,可以采用人工选择的方法,进行孔、轴的选配。而对于大批量生产的零件,完全人工选择就难以胜任了。本文提出的方法需要采用人工和计算机技术相结合,人工编

号、测量,计算机记录测量数据并自动进行装配零件选配。具体方法是由人工对每个零件按顺序进行编号并在零件上进行标记,采用有数据输出的测量工具(如带数据输出接口的千分尺、测微仪等)对每个工件进行测量,测量数据直接输入计算机;计算机对每个零件尺寸按类别、编号记录;在批相应配对的零件全部测量完成后,由计算机按照大孔配大轴、小孔配小轴的原则进行选配;由人工按照计算机选择的结果,该批零件中进行挑选、装配。工作流程如图2所示。



由选配工序的相关工作流程可以看到,工序中除增加了一台计算机外,

图2 精确选配法工序流程

相对于其他装配配合方法,只简单增加了一些工具、辅具,而由此却带来了配合精度的大幅度提高。

5. 精确选配法应用分析

实际生产过程中,零件的加工尺寸往往受到各种因素的影响,不只有偶然误差,也有可能会出现系统误差。在实际应用过程中,应根据实际情况加以调整。下面就零件尺寸只有偶然误差和既有偶然误差又有系统误差情况,分别进行应用方法讨论。

(1) 不考虑加工的系统误差,只考虑加工偶然误差的影响,零件加工误差分布如图1所示。

如果零件装配极限误差 $(R_k - R_s)$ 小于装配公差 F ,则在计算机中将孔和轴零件按尺寸大小分别排序,按顺序依次大孔配大轴、小孔配小轴,即可完成选配任务。

如果对于按大孔配大轴、小孔配小轴原则,装配极限误差 $(R_k - R_s)$ 超过装配公差 F 的零件,则将小于平均尺寸的孔和轴零件分别按大小排序,依次大孔配大轴、小孔配小轴,从大到小选配;将大于平均尺寸的孔和轴零件分别按大小排序,按小孔配小轴、大孔配大轴,依次从小到大连配。对于选配后装配误差超出公差范围以外的轴孔配对零件,予以剔除,留与下一批零件一起选配。

(2) 在零件既有偶然误差,又有系统误差的情况下,孔和轴的加工误差依然呈正态分布,只是分布中心

偏离了孔和轴的公差带中心。考虑到零件孔的加工难度大于轴的加工,因此采用以孔为优先、为孔配轴的原则。如果轴的加工难度大、成本高,则采用以轴为优先、为轴配孔的原则。

零件装配极限误差为

$$\begin{aligned}\delta_p &= |(A_k \pm R_k) - (A_z \pm R_z) - T|_{\max} \\ &= |\Delta| + |(R_k - R_z)| \\ \Delta &= (A_k - A_z) - T\end{aligned}$$

式中 Δ ——零件中心尺寸偏差;

T ——装配零件公差带中心差。

如果 δ_p 小于装配公差 F , 则同样在计算机中将孔和轴零件按尺寸大小分别排序, 按顺序依次大孔配大轴、小孔配小轴, 即可完成选配任务。

(3) 如果 δ_p 大于装配公差 F , 并且 $|\Delta| < F$ 。如果 $\Delta > 0$, 则最大装配误差发生在最大尺寸处, 选配方法为孔、轴零件分别从小到大排序, 一一对应选配。对于配合误差超差的零件, 以孔为优先重新按照遍历法挑选与之配合合格的轴零件。

(4) 如果 δ_p 大于装配公差 F , 并且 $|\Delta| < F$ 。如果 $\Delta < 0$, 则最大装配误差发生在最小尺寸处, 选配方法为孔、轴零件分别从大到小排序, 一一对应选配。对于配合误差超差的零件, 以孔为优先重新按照遍历法挑选与之配合合格的轴零件。

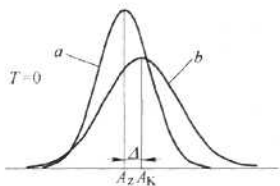


图3 装配误差 $\Delta > 0$ 轴零件尺寸误差分布

(5) 如果 δ_p 大于装配公差 F , 并且 $|\Delta| > F$ 。假设 $\Delta > 0$, 如图3所示。图中 $T = 0$, a 为轴零件尺寸分布曲线, b 为孔零件尺寸分布曲线。 A_k 为孔中间尺寸, A_z 为轴中间尺寸。如图所示最大装配误差发生在最大尺寸处, 选配方法为: 大于孔中间尺寸的孔零件从小到大, 依次在轴零件中挑选轴零件, 使孔轴的配合误差 Δ 满足条件 $\Delta < F$, 且 Δ 为最大。小于孔中间尺寸的孔零件从大到小, 依次在轴零件中挑选轴零件, 使孔轴的配合误差 Δ 满足条件 $\Delta < F$, 且 Δ 为最大。上述方法保证在该批零件中选出最多的满足装配公差要求的轴孔零

件。

(6) 在上面情况中 (δ_p 大于装配公差 F , 并且 $|\Delta| > F$), 如果 $\Delta < 0$, 则最大装配误差发生在最小尺寸处。如图4所示。选配方法为: 小于孔中间尺寸的孔零件从大到小, 依次在轴零件中挑选轴零件, 使孔轴的配合误差 Δ 满足条件 $-\Delta < F$, 且 Δ 为最小。剩余的孔零件和大于孔中间尺寸的孔零件从小到大, 依次在轴零件中挑选轴零件, 使孔轴的配合误差 Δ 满足条件 $-\Delta < F$, 且 Δ 为最小。

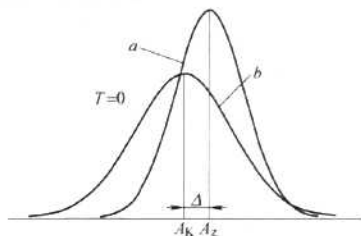


图4 装配误差 $\Delta < 0$ 轴零件尺寸误差分布

通过上述选配方法, 在满足配合要求的条件下, 将最大限度地利用现有工艺条件和现有零件, 提高装配配合质量, 并使零件的超差率大大降低, 而工序中工艺保证条件的投入却很少。

在分析了各种尺寸分布状态及选配方法后, 进行计算机选配软件设计。软件功能模块如图5所示。精确选配流程如图6所示。



图5 精确选配软件功能模块

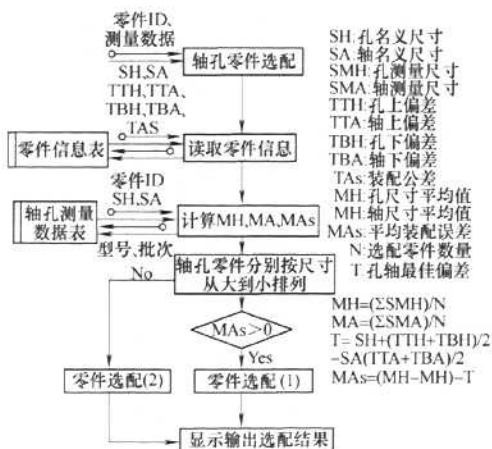


图6 精确选配流程

(下转第58页)

寸方向)上的投影之和应不大于原始尺寸的公差 a_n 。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_0 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

$$\varepsilon = a_{\perp} - (P + \delta_{\perp} + \tau) \quad (8)$$

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_i 当作封闭环,把 λ 、 δ_F 、 δ_j 、 τ (δ_c 、 δ_D 、 δ_H 、 δ_N)及 ε 都当作增环。在误差分析后,应使 ε 保持为一个不等于零的值。

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误差之和为 $\Sigma\delta$,此时一般可以出现下述三种情况:

$\Sigma \delta > \alpha_n$, 计算不等式显然不能满足要求, 这时需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 $\Sigma \delta < \alpha_n$ 。

$\Sigma\delta \approx \alpha_n$ ，即 $\Sigma\delta$ 与 α_n 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 $\sum \delta < \alpha$ 。

$\Sigma\delta < \alpha_n$, 即 $\Sigma\delta$ 与 α_n 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。

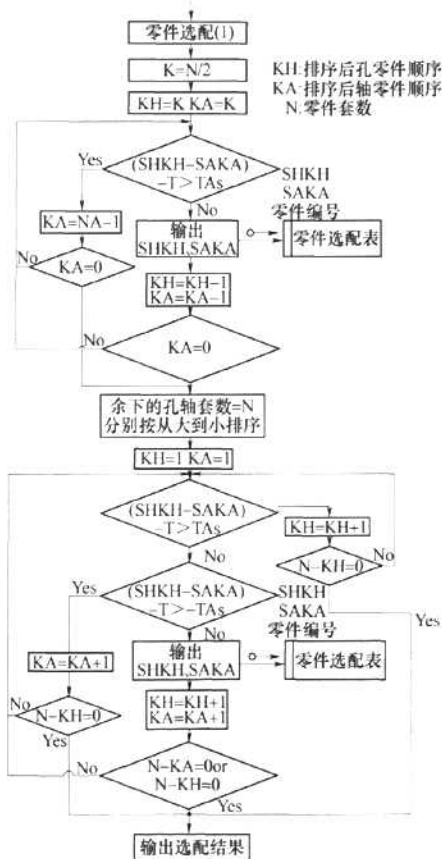


图7 零件选配流程

MW (收稿日期: 20100712)