

工艺尺寸链及计算示例

一、概述

在航空发动机工厂，经常会遇到工艺尺寸链计算的问题。仅以某厂喷嘴、活门和中小钢零件车间涡轮喷—6甲型的生产为例：在195种零组件中，有22种需要进行化学热处理，有88种需要进行表面处理，占整个零件的56%，为了保证零件加工后，能得到零件图上要求的渗层厚度，必须对渗碳工序（或氧化、氰化）的渗入深度和渗碳前工序的有关表面加工的尺寸及公差作出规定；为了保证零件表面电镀以后的镀层厚度和电镀表面的尺寸精度，对有关工序的尺寸及公差也要作出规定，这就要事先进行尺寸换算。在编制工艺规程时，为了加工和测量的方便，在工艺上采用的基准往往和设计基准并不重合，产生了基准不重合误差，因而加工中所用的原始尺寸和公差不能直接取自设计图，必须进行尺寸换算，这样的计算工作是经常遇到的。还有一种情况，当加工基~~表面~~表面时，有时要求同时保证几个位置尺寸，而在工序图表中只能标注~~一个~~一个尺寸，（要求操作者在加工过程中同时保证几个位置~~尺寸~~，~~这显然是不合理的~~，也是比较困难的。）这就是我们经常遇到的多尺寸保证的问题。多尺寸保证问题发生在作为主要设计基准的表面需要进行最终精加工时，因为，其它表面在此之前均已加工完毕，这就需要通过尺寸换算来间接保证。✓

综上所述，工序尺寸的换算一般发生在下述情况：

- 1、为保证渗碳（或渗氮、氰化）层留的深度。
- 2、为保证电镀表面的镀层厚度和电镀表面尺寸精度。
- 3、原始基准和设计基准不重合。
- 4、多尺寸保证。

尺寸链计算并不复杂，但稍不注意容易发生差错，这里介绍几种常用的计算方法，供参考。

二、尺寸换算方法：

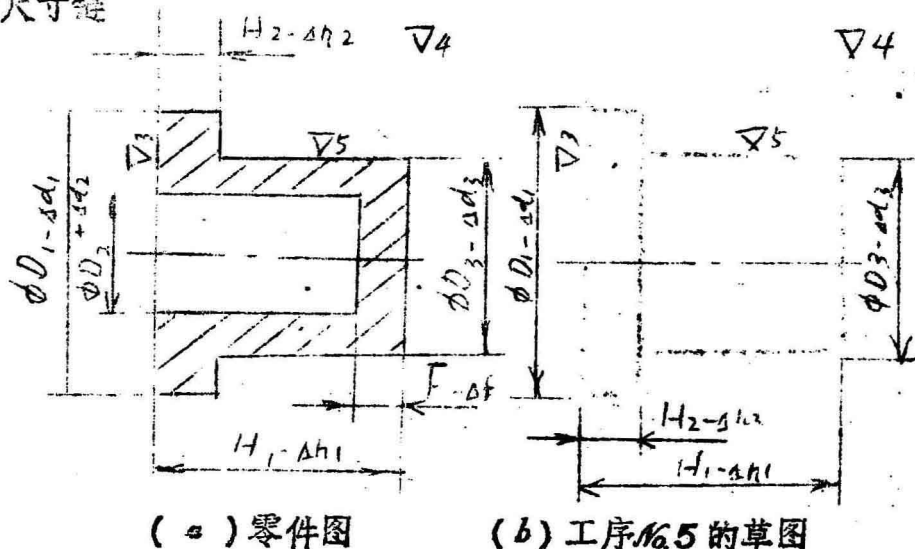
步骤

1. 建立工艺尺寸链。
2. 确定封闭环和组成环。
3. 确定组成环中的增环和减环。
4. 计算。

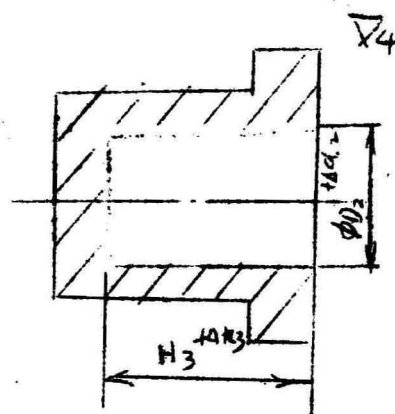
(一) 工艺尺寸链

1. 尺寸链

由互相联系的一组尺寸，按一定的顺序首尾相接排列成的尺寸封闭图称为尺寸链



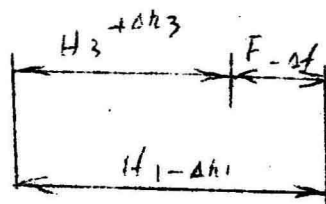
(c) 工序№10的草图



(图一)

图一 a) 为某零件的设计图, b)、c) 为两道工序图, 欲求加工一批零件底部尺寸的变化是否符合设计图的要求需列出图二所示的尺寸链。

在工艺过程中进行尺寸换算时所列的尺寸链称为工艺尺寸链。



2、封闭环, 组成环

组成尺寸链的各个尺寸称为尺寸链的环。封闭环:

环间接获得的或间接保证的尺寸称为封闭环如图二中的尺寸

$F - \Delta f$ 为区别于其它组成环用

“ $\longleftrightarrow$ ”表示

组成环:

即在工序图中, 标注的尺寸, 即经过是加工时直接获得的尺寸, 如图二中的 $H_1 - \Delta h_1$, $H_3 + \Delta h_3$

都称为组成环。

3、增环, 减环

为进行尺寸链计算, 首先应了解每个组成环对封闭环的影响, 根据影响的不同可将组成环分成增环与减环两类。

增环:

当组成尺寸链的其余各组成环不变, 而某个组成环增大时, 使封闭环也随之增大者, 这个环就叫增环。

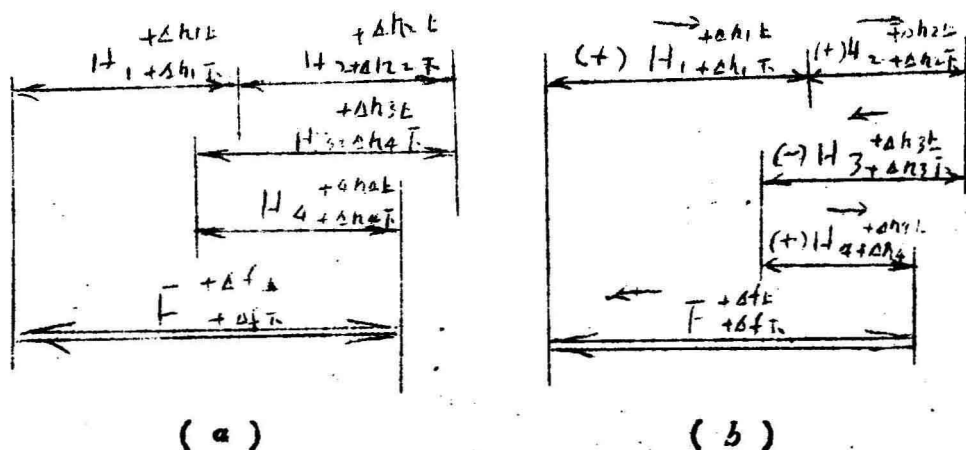
如图二中, 当 $H_3 + \Delta h_3$ 不变, $H_1 - \Delta h_1$ 增大时, $F - \Delta f$ 也随之增大, $H_1 - \Delta h_1$ 即谓增环, 用 H_2 表示

减环:

当组成尺寸链的其余各组成环不变，而某个组成环增大时，使封闭环随之减小者，这个环就叫减环。用 H_2 表示。

如图二中，当 $H_1 - \Delta h_1$ 不变， $H_2 + \Delta h_2$ 增大时， $F - \Delta f$ 随之减少， $H_2 + \Delta h_2$ 即谓减环。

当组成尺寸链的环数不多，用上述方法就能区分那一个组成环是增环，那一个组成环是减环。当组成尺寸链的环数较多时，为防止别时发生不必要的差错，有一种更为简便的区分方法。



(图 三)

图三 a) 是一个工艺尺寸链，共有 5 个环组成，其中 $F + \Delta f_{上}$ 为封闭环，其余 4 个组成环，为将个组成环，区分为增环还是减环，用作图法来鉴别，先给封闭环任定一个方向，然后沿尺寸链的封闭回路依次给每一组成环划出箭头。(象闭合回路中的电流) 如图三 b) 而后判别：凡箭头方向与封闭环箭头方向相同者为减环，并在尺寸数字旁边写上符号(-)；凡箭头方向与封闭环的箭头方向相反者为增环，并在尺寸数字旁边写上符号(+) 用上述方法可正确无误的将增环和减环加以区分，图三 b) 所示： $H_1 + \Delta h_{1上}$ ； $H_2 + \Delta h_{2上}$ ； $H_3 + \Delta h_{3上}$ ； $H_4 + \Delta h_{4上}$ ； $F + \Delta f_{上}$ 。

为增环, $H_3 + \Delta h_3$ 上 为减环, $H_3 - \Delta h_3$ 下

4. 尺寸链的主要特性: ✓

1) 封闭性:

尺寸链必须是一组用来决定零件上某些表面相互位置的尺寸, 按首尾相接形成的尺寸封闭图, 其中包含一个 (也只有一个) 间接保证的尺寸 (即封闭环) 和若干个对此有影响的直接加工获得的尺寸 (即若干个组成环)。 ⇔

2) 关联性:

尺寸链中, 封闭环的尺寸及精度, 受直接获得的组成环的尺寸精度所支配, 即封闭环的公差, 等于各组成环的公差之和, 间接保证的尺寸精度必须低于直接获得的尺寸精度。

(二) 尺寸链的计算方法:

第一种方法:

$$F = \sum H_i^{\rightarrow} - \sum H_i^{\leftarrow} \quad \dots\dots ①$$

$$\Delta f_{\text{上}} = \sum \Delta h_i^{\rightarrow \text{上}} - \sum \Delta h_i^{\leftarrow \text{下}} \quad \dots\dots ②$$

$$\Delta f_{\text{下}} = \sum \Delta h_i^{\rightarrow \text{下}} - \sum \Delta h_i^{\leftarrow \text{上}} \quad \dots\dots ③$$

即封闭环的名义尺寸等于各增环的名义尺寸之和减去各减环的名义尺寸之和 (根据尺寸链的封闭性)

当组成环中的增环都是最大极限尺寸, 减环都是最小极限尺寸时, 封闭环的尺寸必然是最大极限尺寸;

反之当组成环中的增环都是最小极限尺寸, 减环都是最大极限尺寸时, 封闭环的尺寸必然是最小极限尺寸, 即:

$$F_{\text{max}} = \sum H_i^{\rightarrow \text{max}} - \sum H_i^{\leftarrow \text{min}}$$

$$F_{\text{min}} = \sum H_i^{\rightarrow \text{min}} - \sum H_i^{\leftarrow \text{max}}$$

上述方法亦称极大极小法。

经整理后得出②③两式。」

即封闭环的上偏差，等于各增环的上偏差之和减去各减环的下偏差之和。

封闭环的下偏差，等于各增环的下偏差之和减去各减环的上偏差之和。

以图三为例：代入①②③式

$$F = H_1 + H_2 + H_4 - H_3$$

$$\Delta f_{\text{上}} = \Delta h_{1\text{上}} + \Delta h_{2\text{上}} + \Delta h_{4\text{上}} - \Delta h_{3\text{下}}$$

$$\Delta f_{\text{下}} = \Delta h_{1\text{下}} + \Delta h_{2\text{下}} + \Delta h_{4\text{下}} - \Delta h_{3\text{上}}$$

①②③式中

$\overrightarrow{H_i}$ 增环的名义尺寸

$\overleftarrow{H_i}$ 减环的名义尺寸

F 封闭环的名义尺寸

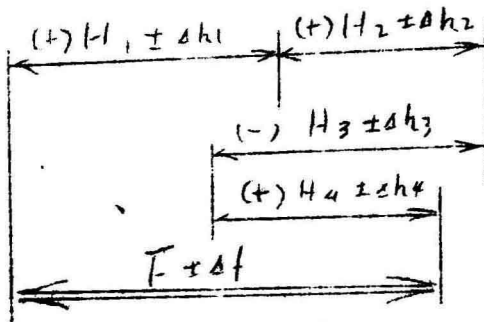
$\Delta f_{\text{上}}, \Delta f_{\text{下}}$ 封闭环的上下偏差

$\overrightarrow{\Delta h_i}, \overleftarrow{\Delta h_i}$ 增环的上下偏差

$\Delta h_{i\text{上}}, \Delta h_{i\text{下}}$ 减环的上下偏差

第二种方法：

当图三的尺寸公差以对称双向偏差的形式给定时，如图四的形式，



则计算方法较第一种更为简化

$$F = \sum \overrightarrow{H_i} - \sum \overleftarrow{H_i}$$

(图四)

$$\pm \Delta f = \pm (\Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3 + \Delta h_4) \quad \dots\dots\dots ⑤$$

第三方法

利用公式：

$$F_{max} = \sum H_{i_{max}}^{\rightarrow} - \sum H_{i_{min}}^{\leftarrow} \quad \dots\dots\dots ⑥$$

$$F_{min} = \sum H_{i_{min}}^{\rightarrow} - \sum H_{i_{max}}^{\leftarrow} \quad \dots\dots\dots ⑦$$

将所求尺寸的最大最小值求出来，而后按入体方向给出名义尺寸和公差

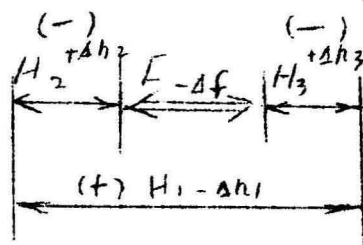
第四种方法：

图五尺寸链中所有组成环都按入体方向标注。

$$F_{max} = H_{1_{max}} - H_{2_{min}} - H_{3_{min}}$$

$$\Delta f = \Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3$$

$$H_1 - \Delta h_1 = (H_{1_{max}} - H_{2_{min}} - H_{3_{min}}) - (\Delta h_1 + \Delta h_2 + \Delta h_3) \quad \dots\dots\dots ⑧$$



(图 五)

$$H_{1_{max}} = F_{max} + H_{2_{min}} + H_{3_{min}}$$

$$\Delta h_1 = \Delta f - \Delta h_2 - \Delta h_3$$

$$H_1 - \Delta h_1 = (F_{max} + H_{2_{min}} + H_{3_{min}}) - (\Delta f_1 - \Delta f_2 - \Delta f_3)$$

$$(\Delta f - \Delta h_1 - \Delta h_2) \dots\dots\dots ⑨$$

$$H_{2min} = H_{1max} - H_{3min} - E_{max}$$

$$\Delta h_2 = \Delta f - \Delta h_1 - \Delta h_3$$

$$H_2 + \Delta h_2 = (H_{1max} - H_{3min} - E_{max}) + (\Delta f - \Delta h_1 - \Delta h_3) \dots\dots\dots ⑩$$

同理：

$$H_2 + \Delta h_2 = (H_{1max} - H_{2min} - E_{max}) + (\Delta f - \Delta h_1 - \Delta h_3) \dots\dots\dots ⑪$$

上述方法简化为解出所求组成环的一个极限尺寸和它的公差（注意接入体方向），可以大大简化计算过程，并避免不必要的差错，不同的尺寸链可以推导出不同的公式。

（三）注意事项

为正确的解一个尺寸链，必须注意下述事项。

1、工艺尺寸链的构成，取决于工艺方案和具体的加工方法，即和零件图的尺寸注法及工艺过程的安排有关，也就是说，必须建立正确的工艺尺寸链。

2、确定封闭环。如果将封闭环搞错，整个计算肯定错误。

3、确定组成环是增环还是减环，如果发生错误，计算结果也将随之发生错误。用图解法来鉴别是一种既简便而又可靠的办法。

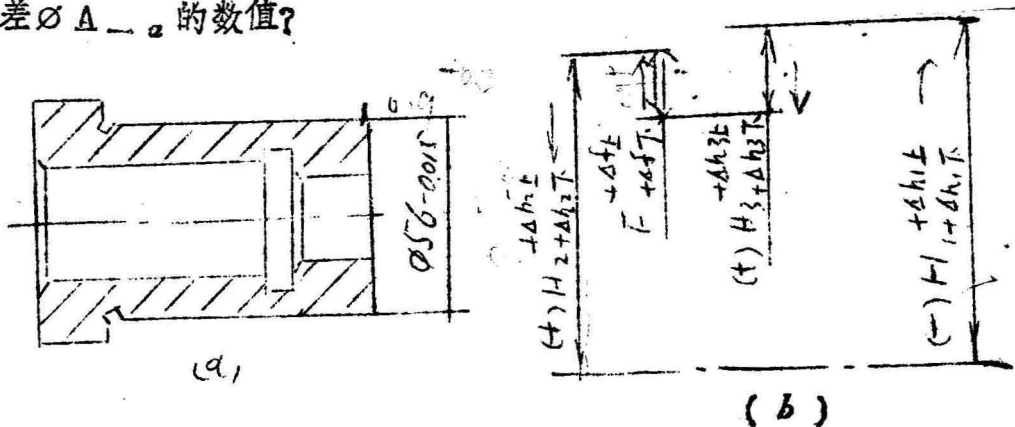
4、一个尺寸链，只能有一个封闭环，也只能解一个封闭环，（正计算问题）式封闭环已知一可解一个组成环，（反计算问题）。

5、计算方法的选用，视具体情况而定，如果所有的尺寸都以对称双向偏差的形式给定，则用第二种方法就很方便，在计算电镀表面和进行化学热处理的有关表面的尺寸公差时，用第四种方法更为方便。

三、工艺上常见的尺寸链计算举例

(一) 为保证渗氮、渗碳式氰化 深度所进行的尺寸换算、

例 1, 图六 a) 所示轴套零件外圆 $\phi 56_{-0.015}^{+0.015}$ 上需要渗碳, 图纸要求渗碳深度为 $0.9 \sim 1.1$ (即 $0.9_{+0.3}^{+0.3}$), 加工顺序为: 1) 车外圆至 $\phi A_{-0.015}^{+0.015}$; 2) 渗碳、淬火, 渗碳渗入深度为 $1.2 \sim 1.35$; 3) 磨外圆至 $\phi 56_{-0.015}^{+0.015}$, 求渗碳前车工工序的尺寸及公差 $\phi A_{-0.015}^{+0.015}$ 的数值?



(图 六)

根据题意建立工艺尺寸链如图六 b)

$$H_1 + \Delta h_1 \begin{matrix} \text{上} \\ \text{下} \end{matrix}, H_2 + \Delta h_2 \begin{matrix} \text{上} \\ \text{下} \end{matrix} \text{ 为增环}, H_3 + \Delta h_3 \begin{matrix} \text{上} \\ \text{下} \end{matrix} =$$

$$28_{-0.0075}^{+0.0075}; H_1 + \Delta h_1 \begin{matrix} \text{上} \\ \text{下} \end{matrix} = 0.9_{+0.3}^{+0.3} \quad H_3 + \Delta h_3 \begin{matrix} \text{上} \\ \text{下} \end{matrix} \text{ 为减环}.$$

$$H_3 + \Delta h_3 \begin{matrix} \text{上} \\ \text{下} \end{matrix} = 1.2_{+0.15}^{+0.15}$$

利用第一种方法中的式①②③解尺寸链、

$$F = H_1 + H_2 - H_3$$

$$H_1 = H_3 + H_2 - F = 28 + 1.2 - 0.9 = 28.3$$

$$\Delta f_{\text{上}} = \Delta h_2_{\text{上}} + \Delta h_3_{\text{上}} - \Delta h_1_{\text{下}}$$

$$\Delta h_1_{\text{下}} = \Delta h_2_{\text{上}} + \Delta h_3_{\text{上}} - \Delta f_{\text{上}}$$

5.9

$$= 0 + 0.15 - 0.2 = -0.05$$

$$\Delta f_{\text{下}} = \Delta h_{2\text{下}} + \Delta h_{3\text{下}} - \Delta h_{1\text{上}}$$

$$\Delta h_{1\text{上}} = \Delta h_{2\text{下}} + \Delta h_{3\text{下}} - \Delta f_{\text{下}}$$

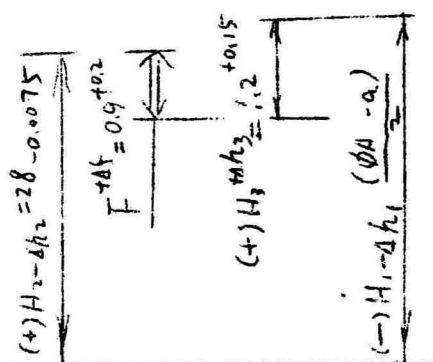
$$= -0.0075 + 0 - 0 = -0.0075$$

$$H_{1\text{上}} + \Delta h_{1\text{上}} = 28.3 - 0.0075 = 28.2925$$

$$\begin{aligned} \phi A_{\text{上}} &= 2 (H_{1\text{上}} + \Delta h_{1\text{上}}) = 2 (28.2925 - 0.0425) \\ &= 56.585 - 0.085 \end{aligned}$$

利用第四种方法，尺寸链

中尺寸法如图七所示：



(图七)

$$F_{\text{min}} = H_{2\text{min}} +$$

$$H_{3\text{min}} - H_{1\text{max}}$$

$$H_{1\text{max}} = H_{2\text{min}} +$$

$$H_{3\text{min}} - F_{\text{min}}$$

$$= (28 - 0.0075) +$$

$$1.2 - 0.9$$

$$= 28.2925$$

$$\begin{aligned} \Delta h_2 &= \Delta f - \Delta h_1 - \Delta h_3 = 0.2 - 0.0075 - 0.15 \\ &= 0.0425 \end{aligned}$$

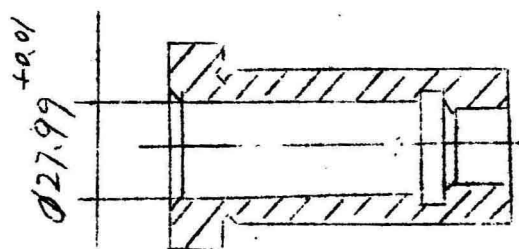
$$H_{1-\Delta h_2} = H_{1\text{max}} - \Delta h_2 = 28.2925 - 0.0425$$

$$\begin{aligned} \phi A_{\text{上}} &= 2 (H_{1-\Delta h_1}) = 2 (28.2925 - 0.0425) \\ &= 56.585 - 0.085 \end{aligned}$$

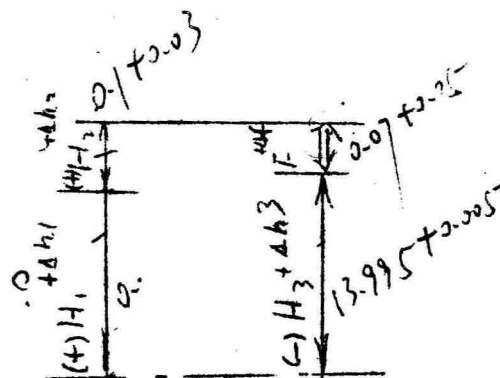
比较上述两种方法，利用第四种方法，则更为简便。

例2，图八·)所示轴套零件内孔 $\phi 27.99^{+0.01}$ 孔壁要求氮化，氮化层厚度要求 $0.07 \sim 0.12\text{mm}$ ，加工顺序：细研孔——

氮化——精研孔至图纸尺寸，氮化工序渗氮深度 $0.1 \sim 0.13$ ，求氮化前研孔尺寸小公差



(a)



(b)

(图 八)

根据题意建立工艺尺寸链如图八 b)

其中: $H_2 + \Delta h_2 = 0.1 + 0.03$

$F + \Delta f = 0.07 + 0.05$

$$H_2 + \Delta h_2 = \frac{27.99 + 0.01}{2} = 13.995 + 0.005$$

用第一种方法计算

$F = H_1 + H_2 - H_3$

$H_1 = F + H_3 - H_2 = 0.07 + 13.995 - 0.1 = 13.965$

$\Delta f_{上} = \Delta h_{1上} + \Delta h_{2上} - \Delta h_{3下}$

$\Delta h_{1上} = \Delta f_{上} + \Delta h_{3下} - \Delta h_{2上}$
 $= 0.05 + 0 - 0.03 = 0.02$

$\Delta f_{下} = \Delta h_{1下} + \Delta h_{2下} - \Delta h_{3上}$

$\Delta h_{1下} = \Delta f_{下} + \Delta h_{3上} - \Delta h_{2下}$
 $= 0 + 0.005 - 0 = 0.005$

$$H_1 + \Delta h_1 \begin{matrix} \text{上} \\ \text{下} \end{matrix} = 13.965 \pm 0.020$$

氮化前研孔尺寸为 $2 (H_1 + \Delta h_1 \begin{matrix} \text{上} \\ \text{下} \end{matrix}) = 2 ($

$$= 2 (13.965 \pm 0.020)$$

$$= 2 (13.97 \pm 0.015) = 27.94 \pm 0.03$$

用第四种方法：

$$E_{min} = H_{1min} + H_{2min} - H_{3max}$$

$$H_{1min} = E_{min} + H_{3max} - H_{2min}$$

$$= 0.07 + 14 - 0.1 = 13.97$$

$$\Delta f = \Delta h_2 + \Delta h_3 + \Delta h_1$$

$$\Delta h_1 = \Delta f - \Delta h_2 - \Delta h_3 = 0.05 - 0.03 - 0.005 = 0.015$$

$$\text{氮化前研孔尺寸为 } 2 (H_{1min} + \Delta h_1) = 2 (13.97 + 0.015) = 27.94 \pm 0.03$$

在工厂实际工作中，类似例1，例2的计算是经常遇到的，简化计算过程，保证计算过程正确无误，对保证产品质量将是至关重要的。

(二) 电镀零件的工序尺寸换算

在航空工业中，为了提高零件防腐性能，大量的零件需要电镀，（镀铬、镀锌、镀锡、镀铜、镀锌等），为了保证一定的镀层原度和零件表面尺寸精度，须进行有关尺寸公差的换算。在计算时，常遇到下述两种情况：

第一种情况：零件经电镀后，不再加工就达到零件设计图纸要求。

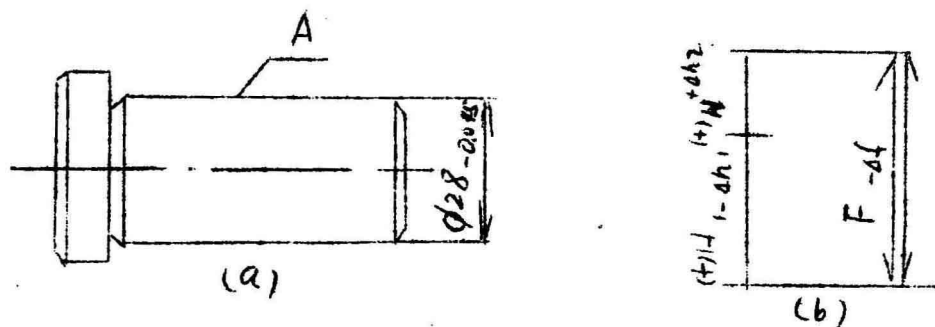
✓（图纸尺寸为封闭环）
取 R_1, R_2, R_3 为已知， R_4 为未知， R_4 是已知的。

✓ 第二种情况：零件经电镀后需要进行机械加工，才能达到设计图纸要求（镀层厚度为封闭环）。*（镀层厚度为封闭环）*

这两种情况在进行尺寸链计算时，封闭环是不同的，必须引起足够的重视。

1. 第一种情况计算示例：

例3，一轴套零件，表面A镀铬，铬层厚度为0.006~0.008，A表面的加工顺序为车加工——磨加工——镀铬。镀后不再加工直接达到设计图的要求，求镀铬前磨削工序的尺寸及公差。零件图如图九·a)所示



(图 九)

由工艺过程分析，零件最终尺寸，镀层厚度和磨削工序尺寸组成一尺寸链，图九b)

$$E - \Delta f = 28 - 0.045$$

$$H_1 - \Delta h_1 \text{ 磨削工序尺寸和公差}$$

$$H_2 + \Delta h_2 = 2(0.006 + 0.002) = 0.012 + 0.004 \text{ 镀层厚度 (直径方向厚度).}$$

在此，电镀层厚度可通过控制电镀工艺过程的有关参数（电流强度、槽液浓度、温度、电镀时间等）在工序中直接获得的，镀前磨削

工序尺寸及公差是工序中直接获得的, $H_1 - \Delta h_1$, $H_2 + \Delta h_2$ 都是组成环, 设计图纸尺寸 $\phi 28_{-0.045}^{+0.012}$ 是间接保证的, 所以它是封闭环, 属第一种情况。

用第一种方法解:

$$F = H_1 + H_2$$

$$H_1 = F - H_2 = 28 - 0.012 = 27.988$$

$$\Delta f_{\text{上}} = \Delta h_{1\text{上}} + \Delta h_{2\text{上}}$$

$$\Delta h_{1\text{上}} = \Delta f_{\text{上}} - \Delta h_{2\text{上}} = 0 - 0.004 = -0.004$$

$$\Delta f_{\text{下}} = \Delta h_{1\text{下}} + \Delta h_{2\text{下}}$$

$$\Delta h_{1\text{下}} = \Delta f_{\text{下}} - \Delta h_{2\text{下}} = -0.045 - 0 = -0.045$$

$$H_1 + \Delta h_{1\text{上}} = 27.988 - 0.004$$

$$H_1 - \Delta h_{1\text{下}} = 27.988 - 0.045$$

用第四种解法

$$F_{\text{max}} = H_{1\text{max}} + H_{2\text{max}}$$

$$H_{1\text{max}} = F_{\text{max}} - H_{2\text{max}} = 28 - 0.016 = 27.984$$

$$\Delta f = \Delta h_1 + \Delta h_2$$

$$\Delta h_1 = \Delta f - \Delta h_2 = 0.045 - 0.004 = 0.041$$

$$H_1 - \Delta h_1 = (F_{\text{max}} - H_{2\text{max}}) - (\Delta f - \Delta h_2)$$

$$= 27.984 - 0.041$$

对第一种情况而言, 如外表面电镀, 则: 镀前尺寸及公差 = (镀后最大尺寸 - 直径方向镀层最大厚度) - Δ (A)

Δ = (镀后尺寸公差 - 直径方向镀层厚度公差)

将上题直接代入上式: 得

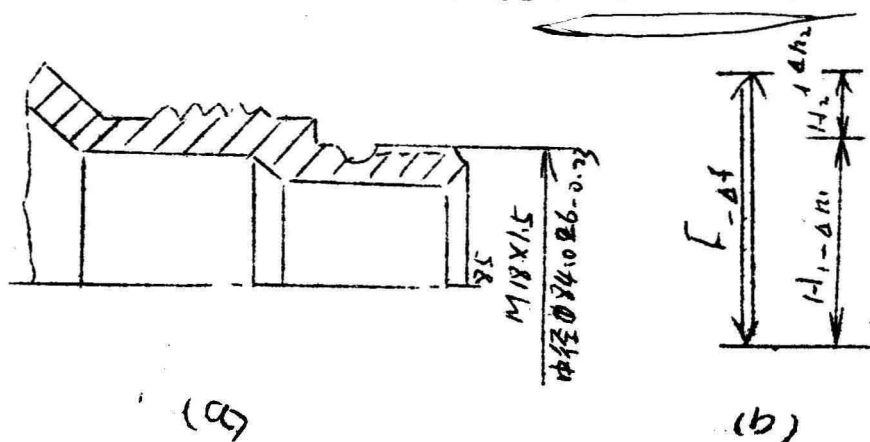
$$H_1 - \Delta h_1 = (28 - 0.016) - (0.045 - 0.004)$$

$$= 27.984_{-0.041}^{+0.041}$$

在需要进行电镀的零件中,属于第三例的情况最多,如果能事先推导出上述通式,那计算工作变得非常简单而且不易出差错。

例4, (图十c)) 发动机上前轴颈螺纹需要镀铜,铜层厚 $0.006 \sim 0.008$, 螺纹尺寸为 $M85 \times 1.5$, 镀后不再加工, 保证有效中径为 $84.026_{-0.033}^{+0.033}$, 求电镀前螺纹的加工尺寸及公差?

公 螺纹的牙型角为 60° , 在垂直于螺纹工作面上镀上 $T \pm \Delta t$ 的铜层, 则铜层在垂直于轴线方向的厚度为 $2(T \pm \Delta t)$ (半径方向) 图十c) 直径方向的厚度为 $4(T \pm \Delta t)$

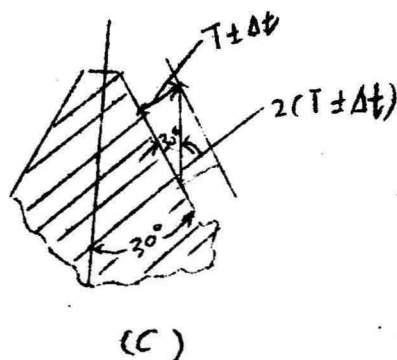


本题亦属于第一种情况。

按题意建立工艺尺寸链如图十b)

$$\begin{aligned} E_{\Delta f} &= 84.026_{-0.033}^{+0.033} \\ H_2 + \Delta h_2 &= 4(0.006 + 0.002) \\ &= 0.024_{-0.008}^{+0.008} \end{aligned}$$

直接利用公式 A



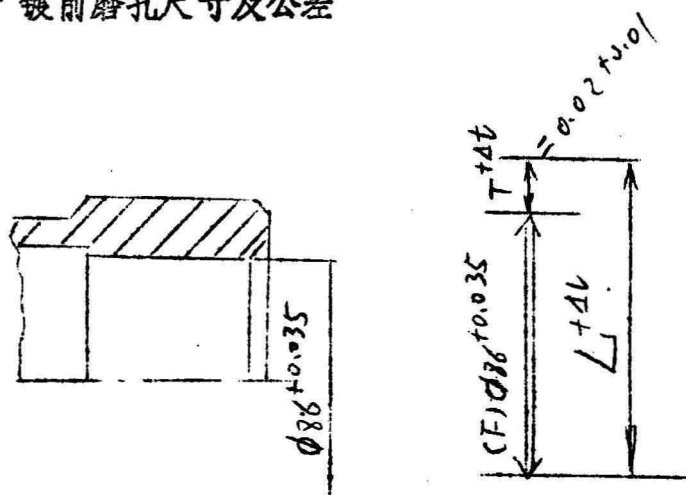
(图十)

$$H_1 - \Delta h_1 = (84.026 - 0.032) - (0.23 - 0.008) \\ = 83.994 - 0.222$$

例 5, 图十一所示内孔 $\phi 86^{+0.035}$ 表面要求镀铬, 铬层要求为 $0.01^{+0.005}$, 电镀后即保证内孔尺寸符合设计图要求 (不再加工)。求电镀前磨孔尺寸及公差。图 a) 为零件简图 图 b) 为工艺尺寸链。

$$F = \phi 86^{+0.035}$$

$L + \Delta L$ 镀前磨孔尺寸及公差



(图十一)

$$T + \Delta t = 0.02^{+0.01} \text{ (直径方向镀层厚度及公差)}$$

$$F_{min} = L_{min} - T_{max}$$

$$L_{min} = F_{min} + T_{max} = 86 + 0.03 = 86.03$$

$$\Delta f = \Delta L + \Delta t$$

$$\Delta L = \Delta f - \Delta t = 0.035 - 0.01 = 0.025$$

$$L + \Delta L = 86.03^{+0.025}_0$$

对孔而言, 如镀后不加工, 直接保证设计图纸尺寸, 则: