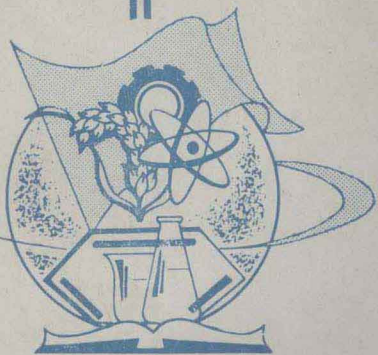


中等专业学校试用教材



化工机械制造工艺 与安装修理

南京化学工业公司化工学校等合编
楼宇新 主编

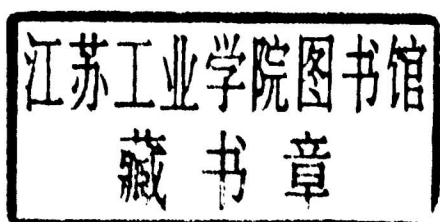
化 学 工 业 出 版 社

中等专业学校试用教材

化工机械制造工艺 与安装修理

南京化学工业公司化工学校等合编

楼宇新 主编



化学工业出版社

目 录

第一篇 化工机械的制造工艺

绪论	1
第一章 机械加工的基本知识	2
第一节 尺寸链及其应用	2
第二节 机械加工精度和表面质量	13
第三节 零件加工的定位、基准选择和安装方法	27
第四节 结构工艺性	37
第五节 机械加工工艺过程	42
第二章 化工机器典型零件的制造工艺	52
第一节 离心式压缩机主轴的制造工艺	52
第二节 活塞式压缩机曲轴的制造工艺	58
第三节 活塞式压缩机连杆的制造工艺	64
第四节 活塞式压缩机活塞的制造工艺	69
第五节 活塞式压缩机缸套的制造工艺	72
第六节 活塞式压缩机机身的制造工艺	77
第三章 化工设备的制造工艺	83
第一节 准备工艺	83
第二节 成型工艺	96
第三节 化工设备的制造	105
第四节 化工设备的焊接	132
第四章 化工设备的质量检验	161
第一节 概述	161
第二节 焊缝的无损检验	162
第三节 射线探伤	163
第四节 超声波探伤	168
第五节 表面探伤	171
第六节 探伤方法发展概况	174
第七节 设备的整体试验	176

第二篇 化工机械的安装与修理

绪论	178
第一章 摩擦、磨损和润滑	179
第一节 摩擦的本质和摩擦的种类	179
第二节 磨损的种类和磨损的规律	181

第三节	影响磨损的因素和减少磨损的措施	182
第四节	润滑剂	188
第二章	机器零件的修理	200
第一节	磨损零件的修理	200
第二节	机械损伤零件的修理	212
第三节	转子的平衡	217
第三章	机器零件的装配	236
第一节	滑动轴承的装配	236
第二节	滚动轴承的装配	241
第三节	齿轮传动装置的装配	248
第四节	联轴器的装配	262
第四章	常用的起重机具和测量工具	269
第一节	起重工具	269
第二节	起重机械	289
第三节	测量工具	296
第五章	典型化工机械的安装与修理	311
第一节	化工机械的基础	311
第二节	塔类设备的安装与修理	318
第三节	离心泵的安装与修理	333
第四节	活塞式压缩机的安装与修理	344
第五节	离心式压缩机的安装与修理	363
第六章	化工管路的安装	380
第一节	化工管路的标准化	380
第二节	管子	382
第三节	管件	387
第四节	阀门	390
第五节	管路的热变形、热应力和热补偿	408
第六节	管路的跨度和管架	412
第七节	管子的加工	416
第八节	管路的安装	428
第九节	化工管路的保温和涂色	443
第七章	化工机械安装与修理工作中的安全技术	446
第一节	一般的安全技术	446
第二节	检修封闭设备、容器、贮槽的安全技术	446
第三节	高处作业的安全技术	447
第四节	起重工作的安全技术	447
第五节	检修酸、碱、液氨等容器的安全技术	448
第六节	防火的安全技术	448

第三篇 化工机械的腐蚀与防护

绪论	449
第一章 腐蚀的基本概念	455
第一节 金属电化学腐蚀的基本概念	455
第二节 局部腐蚀	472
第三节 应力腐蚀破裂	475
第四节 大气腐蚀	478
第五节 水和蒸汽的腐蚀	480
第六节 气体腐蚀及非电解质腐蚀	483
第二章 耐蚀金属材料	486
第一节 碳钢和普通铸铁	486
第二节 高硅铸铁	490
第三节 低合金钢	492
第四节 不锈钢	494
第五节 铝及铝合金	504
第六节 铜及铜合金	505
第七节 镍及镍合金	506
第八节 铅及铅合金	507
第九节 钛及钛合金	508
第十节 难熔金属	508
第三章 耐蚀非金属材料	510
第一节 非金属材料耐蚀性能的一般特点	510
第二节 塑料	510
第三节 玻璃钢	515
第四节 化工陶瓷、玻璃、搪瓷和熔融辉绿岩	516
第五节 不透性石墨	518
第六节 天然耐酸材料	519
第四章 常用的化工防腐蚀方法	520
第一节 表面清理	520
第二节 金属覆盖层	521
第三节 非金属覆盖层	524
第四节 电化学保护	530
第五节 腐蚀抑制剂	532
附录一 阀门型号编制方法	535
附录二 阀门的涂漆	539
参考文献	539

第一篇 化工机械的 制造工艺

绪 论

在为我国全面实现四个现代化的新的历史时期中，化工机械制造工业必须尽可能生产出质量高、品种全、数量多的化工机器和设备，以满足化学工业高速度发展的迫切要求。要完成这一任务，必须尽快地提高化工机械的设计和制造水平，以加速化工机械制造业本身现代化的步伐。

同其他机械制造业相比，化工机械制造业具有自身的一些特点。化工机械必须满足化工生产流程对它提出的高温、高压、高速、低温、低压以及防漏、防蚀等特殊的技术要求。因此，带来了化工机械产品的结构和形式的多样化；材料品种和性能上的特殊性，以及制造工艺上的复杂性。化工设备由于大型化发展的结果，它的重量和体积大大增加，目前除中小型设备在制造厂内加工和装配外，某些大型化工设备还必须在现场制造和组装。

《化工机械制造工艺》的实践性很强，在学习本篇之前，应具有一定的机械制造的实践基础。并应安排在《机械制图》、《金属工艺学》、《机械零件》等课程之后，即要求学生在 学习本篇前，应有各种机械加工方法的基本概念、原理及应用范围；公差与配合的基本概念；化工机械常用金属材料的基本性质及其热处理；以及化工机械常见的零件结构特征等方面的基础知识。

在学习时应当理论联系实际，从生产实际出发提出问题，着重向理论方面提高。在教学过程中，应广泛阅读本专业有关的科学技术资料，注意学习国内外化工机械制造工艺方面的新工艺、新技术，以丰富和充实本课程的内容。

通过这一篇的学习，使学生具有一般的分析和解决化工机械制造工艺问题的能力，并能够根据具体的生产条件，制订出合理的化工机械制造工艺过程。

第一章 机械加工的基本知识

本章，我们将对机械加工的基本知识进行较全面的分析，其中包括：尺寸链及其应用、机械加工精度和表面质量、零件加工的定位、基准选择和安装方法、结构工艺性、机械加工工艺流程等五节。通过本章的学习，要求掌握机械加工的较全面的基础理论知识，为分析各典型零件的机械加工，拟定零件的加工工艺过程奠定基础。

第一节 尺寸链及其应用

尺寸链理论在产品设计、零件的加工和装配工艺方面得到了愈来愈广泛的应用。在这一节里，我们将较系统地介绍尺寸链的基本概念、计算公式和计算方法，并通过较多的实例，阐明其在生产实际中的具体应用。

一、基本概念

尺寸链是一组构成封闭形式的尺寸组合。在这些尺寸中，每一个尺寸的变化都会影响精度，如图1-1、图1-2所示。

尺寸链的主要特征是：1) 尺寸连接起来构成封闭外形；2) 构成这个封闭外形的任何一个尺寸的偏差，都将直接影响着某一个尺寸的精度。所以，在研究机器零件的加工和装配问题时，通常都必须联系其有关尺寸全盘考虑，即应进行尺寸链的分析计算。

在分析计算尺寸链问题时，为方便起见，常不画出零件或部件的具体结构，也不必按照严格的比例，而只依次画出各个尺寸，将这些尺寸排列成封闭外形，叫尺寸链图。

若尺寸链中所有尺寸都在同一零件上，则构成零件尺寸链，如图1-1所示。零件尺寸链表示一个零件上表面或轴线间的尺寸联系。

若尺寸链中的尺寸不在同一零件上，则构成装配尺寸链，如图1-2所示。装配尺寸链表示若干零件、部件或机构之间的尺寸联系。尺寸链中的各个尺寸简称为环。

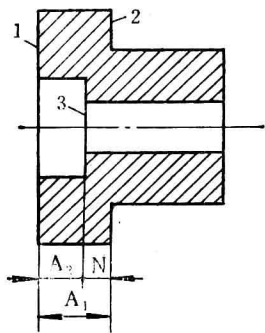


图 1-1 零件尺寸链

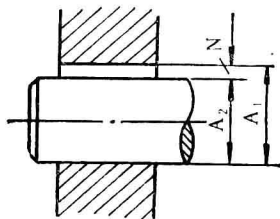


图 1-2 装配尺寸链

在每一尺寸链中都有这样一个特殊的环，这个环在加工完毕或装配完成之前并不存在，

是在加工或装配过程中最后形成的一环,叫封闭环(或终结环),常用字母N表示。除封闭环以外的各环都叫组成环。属于同一尺寸链的组成环以同一字母表示。例如 $A_1, A_2, A_3, \dots, A_i$ 。

各组成环尺寸的变动,对封闭环所产生的影响往往不同,例如在图1-2中孔径 A_1 增大,间隙N也增大;而当轴径 A_2 增大时,间隙N将减小。若封闭环随某组成环增大而增大,则此组成环为增环,用 A_z 表示;反之,则此组成环为减环,用 A_j 表示。

二、计 算 公 式

1. 尺寸链各环公称尺寸的计算 由于尺寸链是封闭形状,故各环之间有一定的关系。从图1-1和图1-2可知:

$$N = A_1 - A_2$$

式中 A_1 ——增环; A_2 ——减环; N ——封闭环。

上式仅是最简单的三环尺寸链方程式,只是个别的例子,所以必须总结出具有普遍意义的多环尺寸链方程式。

若根据某装配图,首先画出尺寸链图,如图1-3所示。其次分清增环、减环和封闭环。从图中可以看出: A_1, A_2, A_3 和 A_4 为增环,因为 A_1, A_2, A_3 和 A_4 任何一环增大时,都引起封闭环N增大; A_5, A_6 和 A_7 为减环,因为 A_5, A_6 和 A_7 任何一环增大时,都引起封闭环N减小。

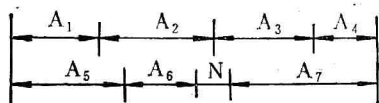


图 1-3 尺寸链图

列出方程式:

$$N = (A_1 + A_2 + A_3 + A_4) - (A_5 + A_6 + A_7)$$

此式共8环,其中4个增环,3个减环和1个封闭环。

设总环数为n个,其中增环数为m个,则减环数应为 $n - m - 1$ 个。其普遍方程式为:

$$N = \sum_{z=1}^m A_z - \sum_{j=m+1}^{n-1} A_j \quad (1-1)$$

公式(1-1)说明了尺寸链中各环公称尺寸之间的关系,即封闭环的公称尺寸等于所有增环公称尺寸之和减去所有减环公称尺寸之和。亦即封闭环的公称尺寸等于所有增环和减环公称尺寸之差。

2. 用极大极小法解尺寸链 在计算尺寸链时,从各环的最大与最小极限尺寸出发,而不考虑各环尺寸分布特性的方法,称为极大极小法。

(1) 封闭环的最大极限尺寸 在公式(1-1)中,当所有增环皆为最大极限尺寸,而所有减环皆为最小极限尺寸时,将得到封闭环最大极限尺寸。以 $N_{\text{最大}}$ 表示。

$$N_{\text{最大}} = \sum_{z=1}^m A_{z\text{最大}} - \sum_{j=m+1}^{n-1} A_{j\text{最小}} \quad (1-2)$$

即封闭环的最大极限尺寸等于所有增环的最大极限尺寸之和减去所有减环的最小极限尺寸之和。

(2) 封闭环的最小极限尺寸 在公式(1-1)中,当所有增环皆为最小极限尺寸,而所有减环皆为最大极限尺寸时,将得到封闭环最小极限尺寸,以 $N_{\text{最小}}$ 表示。

$$N_{\text{最小}} = \sum_{z=1}^m A_{z\text{最小}} - \sum_{j=m+1}^{n-1} A_{j\text{最大}} \quad (1-3)$$

即封闭环的最小极限尺寸等于所有增环的最小极限尺寸之和减去所有减环的最大极限尺寸之和。

(3) 封闭环的上偏差, 以 B_{SN} 表示。并以 B_{SA_z} 表示增环上偏差, 以 B_{xA_i} 表示减环下偏差。

由于上偏差等于最大极限尺寸减去公称尺寸。所以封闭环的上偏差等于封闭环的最大极限尺寸减去公称尺寸,

$$\begin{aligned}
 B_{SN} &= N_{\text{最大}} - N = \left(\sum_{z=1}^m A_{z\text{最大}} - \sum_{j=m+1}^{n-1} A_{j\text{最小}} \right) - \left(\sum_{z=1}^m A_z - \sum_{j=m+1}^{n-1} A_j \right) \\
 &= \left(\sum_{z=1}^m A_{z\text{最大}} - \sum_{z=1}^m A_z \right) - \left(\sum_{j=m+1}^{n-1} A_{j\text{最小}} - \sum_{j=m+1}^{n-1} A_j \right) \\
 &= \sum_{z=1}^m B_{SA_z} - \sum_{j=m+1}^{n-1} B_{xA_j} \quad (1-4)
 \end{aligned}$$

即封闭环的上偏差等于所有增环上偏差之和减去所有减环下偏差之和。

(4) 封闭环的下偏差, 以 B_{xN} 表示。并以 B_{xA_z} 表示增环下偏差, 以 B_{SA_i} 表示减环上偏差。

由于下偏差等于最小极限尺寸减去公称尺寸。所以封闭环的下偏差等于封闭环的最小极限尺寸减去其公称尺寸,

$$\begin{aligned}
 B_{xN} &= N_{\text{最小}} - N = \left(\sum_{z=1}^m A_{z\text{最小}} - \sum_{j=m+1}^{n-1} A_{j\text{最大}} \right) - \left(\sum_{z=1}^m A_z - \sum_{j=m+1}^{n-1} A_j \right) \\
 &= \left(\sum_{z=1}^m A_{z\text{最小}} - \sum_{z=1}^m A_z \right) - \left(\sum_{j=m+1}^{n-1} A_{j\text{最大}} - \sum_{j=m+1}^{n-1} A_j \right) \\
 &= \sum_{z=1}^m B_{xA_z} - \sum_{j=m+1}^{n-1} B_{SA_j} \quad (1-5)
 \end{aligned}$$

即封闭环的下偏差等于所有增环下偏差之和减去所有减环上偏差之和。

(5) 封闭环的公差, 以 B_N 表示。并以 B_{A_z} 表示增环公差, 以 B_{A_i} 表示减环公差, 以 B_{A_i} 表示组成环公差。

由于公差等于最大极限尺寸减去最小极限尺寸。所以封闭环的公差等于封闭环的最大极限尺寸减去其最小极限尺寸,

$$\begin{aligned}
 B_N &= N_{\text{最大}} - N_{\text{最小}} \\
 &= \left(\sum_{z=1}^m A_{z\text{最大}} - \sum_{j=m+1}^{n-1} A_{j\text{最小}} \right) - \left(\sum_{z=1}^m A_{z\text{最小}} - \sum_{j=m+1}^{n-1} A_{j\text{最大}} \right) \\
 &= \left(\sum_{z=1}^m A_{z\text{最大}} - \sum_{z=1}^m A_{z\text{最小}} \right) + \left(\sum_{j=m+1}^{n-1} A_{j\text{最大}} - \sum_{j=m+1}^{n-1} A_{j\text{最小}} \right) \\
 &= \sum_{z=1}^m B_{A_z} + \sum_{j=m+1}^{n-1} B_{A_j} = \sum_{i=1}^{n-1} B_{A_i} \quad (1-6)
 \end{aligned}$$

即封闭环的公差等于所有增环公差之和加上所有减环公差之和, 亦即封闭环公差等于所有组成环公差之和。

由式(1-6)可知:封闭环公差比任何组成环公差都大,换句话说,封闭环精度为各组成环精度的最低者,因此在零件尺寸链中,应该选择最不重要的环作为封闭环。但在装配尺寸链中,这个要求常常是不可能的。例如在圆柱形动配合中,封闭环恒为间隙,而间隙则是装配时的技术要求。

由式(1-6)还可以得出这样的结论:为了使封闭环公差减小,应该使尺寸链组成环数目尽可能减少,这叫做最短尺寸链原则,这一原则在设计时应该注意遵守。

三、尺寸链在装配中的应用

装配方法与解尺寸链的方法是密切相关的,装配的最终精度是从有关尺寸链的求解而获得。所谓解尺寸链,就是结合设计的要求与制造方面的可能性与经济性,确定尺寸链中各环的极限尺寸或极限偏差。因此装配方法的不同,对于单个零件的机械加工精度就不同。

机械制造业中装配方法主要有完全互换装配法、修配法和调整法三种。现在分述如下:

1. 完全互换装配法 采用完全互换装配法时,机器中的每个零件,不需经过任何选择和修整,将其装配起来后就能达到规定的装配技术要求。显然这是最方便的一种装配法。那么怎样才能保证这种完全互换装配呢?可以应用解尺寸链的方法,根据装配精度的要求,计算出尺寸链中各环的公差,只要加工的零件都符合这些公差要求,用这些零件进行装配时,就可以实现完全互换装配。在设计中,通常遇到以下三种情况来解决完全互换装配的问题。

第一种情况:正计算问题。就是对照已设计出的总装配图和零件图,运用尺寸链有关计算公式,复算其尺寸公差是否正确。即所谓审核图纸。

解决这类问题的步骤如下:

(1) 画尺寸链图:画图时,可以从任一表面或轴线出发,依次画出每一环,环与环之间不得间断,最后应构成封闭外形;

(2) 按照加工或装配顺序找出封闭环,分清增环与减环;

(3) 按公式(1-1)求出封闭环公称尺寸;

(4) 按公式(1-2), (1-3)或(1-4), (1-5)分别求出封闭环的最大、最小极限尺寸及公差,或封闭环上、下偏差及公差。

在计算极限尺寸时,若极限尺寸小数位数过多,则按(1-4), (1-5)式以微米(μ)为单位计算封闭环上、下偏差要方便一些;

(5) 求出封闭环公差后,按式(1-6)进行验算。

例 1-1 如图1-4所示为某滑轮架装配图,要求轮在轴上能自由转动,其轴向间隙必须保证为0.15~0.50毫米。

已知: $A_1 = 50^{+0.15}_0$, $A_2 = 40^{+0.10}_{-0.10}$, $A_3 = 10^{+0.15}_{-0.25}$

试验算尺寸链中各组成环的轴向尺寸,能否保证轴向间隙在0.15~0.50毫米范围内。

解:首先根据装配图画出尺寸链图,如图1-5所示,并分清增环、减环和封闭环。

其中: A_1 ——增环; A_2 和 A_3 ——减环; N ——封闭环。

在已知条件中给出的装配间隙为0.15~0.50毫米,因此最小间隙不得小于0.15毫米,即 $N_{\text{最小}} = 0.15$ 毫米;而最大间隙不得大于0.50毫米,即 $N_{\text{最大}} = 0.50$ 毫米。

现在按尺寸链计算公式,验算 $N_{\text{最小}}$ 和 $N_{\text{最大}}$ 是否在0.15~0.50毫米范围内。

由公式(1-2)

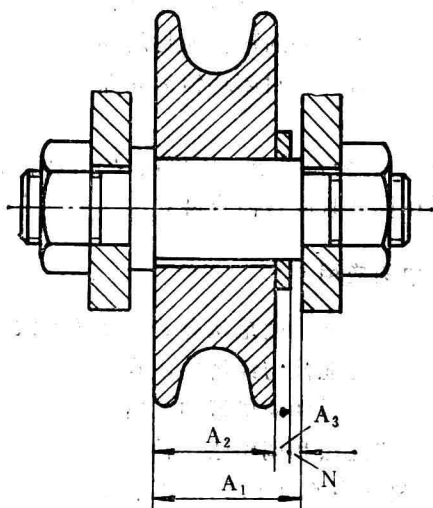


图 1-4 滑轮架装配图

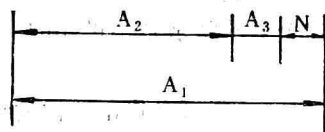


图 1-5 尺寸链图

$$N_{\text{最大}} = \sum_{z=1}^m A_{z\text{最大}} - \sum_{j=m+1}^{n-1} A_{j\text{最小}}$$

$$= 50.15 - (39.90 + 9.75) = 0.50 \text{ 毫米}$$

由公式 (1-3)

$$N_{\text{最小}} = \sum_{z=1}^m A_{z\text{最小}} - \sum_{j=m+1}^{n-1} A_{j\text{最大}}$$

$$= 50 - (40 + 9.85) = 0.15 \text{ 毫米}$$

验算结果表明在图纸上标注的尺寸公差无误。

例 1-2 如图 1-6 所示, 已知某往复泵部件的尺寸和极限偏差, 求活塞行程的极限尺寸 $N_{\text{最大}}$ 和 $N_{\text{最小}}$, 并核算活塞行程长度的公差 B_N 。按技术条件要求 B_N 不得大于 3 毫米。

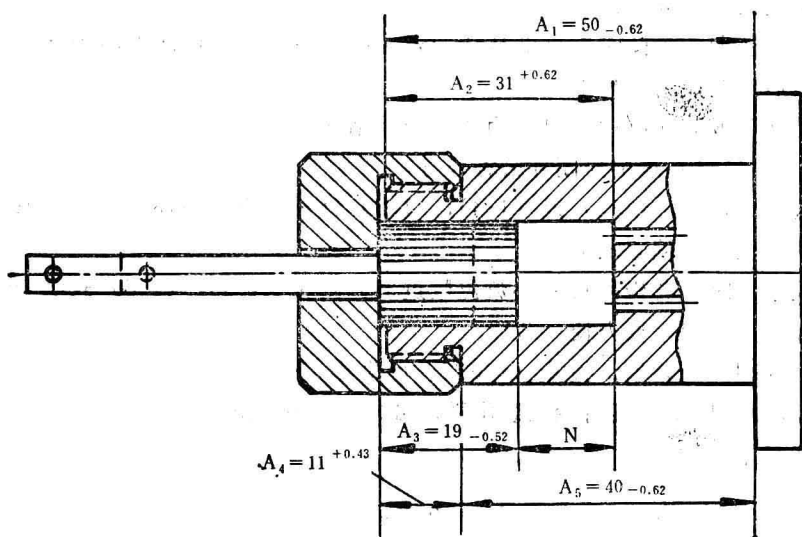


图 1-6 某往复泵装配图

解: 首先根据装配图, 画出尺寸链简图, 如图 1-7 所示。

从图 1-7 可知 A_2 、 A_4 、 A_5 为增环, A_1 、 A_3 为减环, N 为封闭环。

由公式 (1-2)

$$N_{\text{最大}} = (A_{2\text{最大}} + A_{4\text{最大}} + A_{5\text{最大}}) - (A_{1\text{最小}} + A_{3\text{最小}})$$

$$= (31.62 + 11.43 + 40) - (49.38 + 18.48)$$

$$= 15.19 \text{ 毫米};$$

$$\begin{aligned} \text{由公式 (1-3)} \quad N_{\text{最小}} &= (A_{2\text{最小}} + A_{4\text{最小}} + A_{5\text{最小}}) - (A_{1\text{最大}} + A_{3\text{最大}}) \\ &= (31 + 11 + 39.38) - (50 + 19) = 12.38 \text{ 毫米} \end{aligned}$$

$$\text{则} \quad B_N = N_{\text{最大}} - N_{\text{最小}} = 15.19 - 12.38 = 2.81 < 3 \text{ 毫米}$$

计算结果表明, 活塞行程的变动值没有超过技术条件规定界限。

第二种情况: 反计算问题。根据装配精度的要求(封闭环公差), 运用尺寸链公式, 算出各组成环零件的公差(上、下偏差)。在决定组成环上、下偏差时, 必须满足公式 (1-2)、(1-3), 即需进行封闭环极限值的计算。在反计算问题中, 按照组成环公差分配方法的不同, 可分为试算法、等公差法。

(1) 试算法 根据生产实际情况, 各环加工的难易程度, 用试算法确定各组成环的公差, 使之满足于:

$$\sum_{i=1}^{n-1} B_{Ai} \leq B_N \quad (1-7)$$

即各组成环公差之和等于或小于封闭环公差。

在采用试算法确定各组成环的公差时, 需要有较丰富的生产实践经验。

(2) 等公差法 首先假设各组成环的公差相等, 在满足 (1-6) 式的条件下, 求出组成环的平均公差, 并以 B'_{Ai} 表示。

$$\text{假定} \quad B_{A1} = B_{A2} = \cdots = B_{A_{n-1}} = B'_{Ai}$$

$$\text{则封闭环的公差} \quad B_N = \sum_{i=1}^{n-1} B_{Ai} = (n-1) B'_{Ai}$$

$$\text{所以} \quad B'_{Ai} = \frac{B_N}{n-1} \quad (1-8)$$

即平均公差等于封闭环公差被组成环的总环数除。

在求出组成环的平均公差后, 按各环加工难易程度进行调整, 将某些环的公差加大, 某些环的公差减小, 但调整后各组成环公差之和仍应等于或小于封闭环公差。

在确定了各组成环的恰当公差之后, 还须解决各环公差对名义尺寸的分布, 即标注各环的上、下偏差。通常是按“向体内伸展原则”注成单向公差, 一般当组成环为包容面(如孔)时, 令下偏差为零; 当组成环为被包容面(如轴)时, 令上偏差为零。也就是说, 对于内尺寸如孔、槽宽等, 由于加工时其尺寸由小到大(孔)、由窄到宽(槽)、由浅到深, 所以它们的尺寸可注成 $A^{+\Delta}$, 即上偏差就是公差值, 下偏差为零; 对于外尺寸如轴、厚度等, 由于加工时是由大到小, 由厚到薄, 所以它们的尺寸可注成 $A^{-\Delta}$, 即上偏差为零, 下偏差就是公差值。

例 1-3 如图 1-8 所示为对开式齿轮箱部件, 按技术条件规定, 使用上要求轴向间隙为 0.1~0.85 毫米范围内。若已知各零件公称尺寸为: $A_1=40$, $A_2=100$, $A_3=A_5=5$, $A_4=130$ 试决定各组成环公差和上、下偏差。

解 首先根据装配图, 画出尺寸链简图, 如图 1-9 所示。

根据尺寸链图分清增环、减环和封闭环。其中 A_1 、 A_2 为增环; A_3 、 A_4 、 A_5 为减环; N 是装配后才得到的, 所以为封闭环。

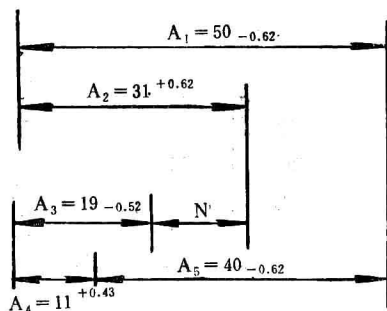


图 1-7 尺寸链图

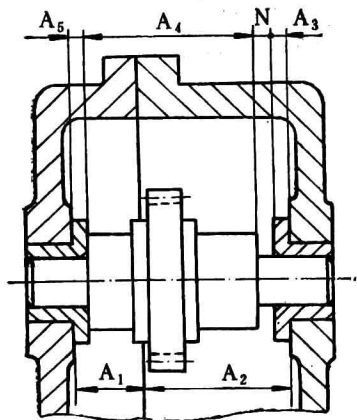


图 1-8 对开式齿轮箱部件

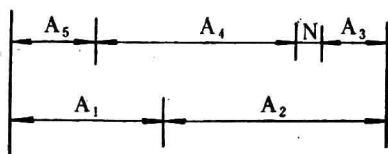


图 1-9 尺寸链图

由题意可知，封闭环的极限尺寸分别为：

$$N_{\text{最大}} = 0.85 \text{ 毫米}, \quad N_{\text{最小}} = 0.1 \text{ 毫米}$$

封闭环公差：

$$B_N = N_{\text{最大}} - N_{\text{最小}} = 0.85 - 0.1 = 0.75 \text{ 毫米}。$$

尺寸链总环数： $n = 6$ 。

按等公差法，由式 (1-8) 求得各组成环平均公差为：

$$B'_{Ai} = \frac{B_N}{n-1} = \frac{0.75}{6-1} = 0.15 \text{ 毫米}$$

求出各组成环的平均公差后，如果对每一环都规定同样的公差 0.15 毫米，显然是很不恰当的。由于 A_1 和 A_2 较难加工，故将其公差适当放大为： $B_{A1} = 0.2$ 毫米， $B_{A2} = 0.3$ 毫米；

由于 A_3 和 A_5 较易加工，故将其公差适当缩小为：

$$B_{A3} = B_{A5} = 0.06 \text{ 毫米}。$$

为满足公式 (1-6)，对 B_{A4} 应进行计算

$$\begin{aligned} B_{A4} &= B_N - (B_{A1} + B_{A2} + B_{A3} + B_{A5}) \\ &= 0.75 - (0.2 + 0.3 + 0.06 + 0.06) = 0.13 \text{ 毫米}。 \end{aligned}$$

求出各组成环的公差后，再根据极限偏差“向体内伸展的原则”确定各环的上、下偏差，于是得各环尺寸为：

$$A_1 = 40^{+0.20}, \quad A_2 = 100^{+0.30}, \quad A_3 = A_5 = 50_{-0.06}^{+0.06}$$

为了使上述组成环零件的上、下偏差与装配精度要求一致，组成环 A_4 的上、下偏差应由有关公式计算确定，由公式 (1-3) 确定 A_4 环的上偏差 B_{SA4} ，

$$\begin{aligned} N_{\text{最小}} &= \sum_{z=1}^m A_{z\text{最小}} - \sum_{j=m+1}^{n-1} A_{j\text{最大}} \\ 0.1 &= (40 + 100) - (5 + 5 + 130 + B_{SA4}) \end{aligned}$$

整理后得： $B_{SA4} = -0.1$ 毫米；

由公式 (1-2) 确定 A_4 环的下偏差 B_{XA4} ：

$$\begin{aligned} N_{\text{最大}} &= \sum_{z=1}^m A_{z\text{最大}} - \sum_{j=m+1}^{n-1} A_{j\text{最小}} \\ 0.85 &= (40.20 + 100.30) - (4.94 + 4.94 + 130 + B_{XA4}) \end{aligned}$$

整理后得： $B_{XA4} = -0.23$ 毫米。

所以最后求得： $A_4 = 130_{-0.23}^{+0.10}$

第三种情况：中间计算问题。在于确定尺寸链中某一组成环的极限尺寸及偏差。

在尺寸链中，以 M 表示某未知组成环，利用公式 (1-2)、(1-3) 可求出该未知组成环的

极限尺寸 $M_{\text{最大}}$ 、 $M_{\text{最小}}$ ，利用公式(1-4)、(1-5)可求出其上、下偏差 B_{SM} 、 B_{XM} ，从而确定某未知组成环的尺寸和公差。

例 1-4 如图1-1所示零件，按设计要求，应保证尺寸 $N=10^{+0.1}_{-0.05}$ 毫米，但加工时是以1面为基准面，因此应在图纸上标明尺寸 A_1 及 A_2 ，若已知 $A_1=40_{-0.05}$ 毫米，试求 A_2 的尺寸和公差。

解：按零件图1-1，首先画出尺寸链简图，如图1-10所示。

以1面为基准面，按尺寸 A_1 和 A_2 ($=M$)加工时，则尺寸 N 最后得到，所以 N 为封闭环；分析尺寸链图可知 A_1 为增环， $A_2=M$ 为减环。

由公式(1-1)可得 $N=A_1-M$

所以 $M=A_1-N=40-10=30$ 毫米

由公式(1-2)可得 $N_{\text{最大}}=A_{1\text{最大}}-M_{\text{最小}}$

所以 $M_{\text{最小}}=A_{1\text{最大}}-N_{\text{最大}}=40-10.1=29.9$ 毫米；

由公式(1-3)可得 $N_{\text{最小}}=A_{1\text{最小}}-M_{\text{最大}}$

所以 $M_{\text{最大}}=A_{1\text{最小}}-N_{\text{最小}}=39.95-9.95=30$ 毫米；

故 $A_2=M=30_{-0.1}$ 毫米

例 1-5 如图1-11 a 所示为零件孔的加工图，假设加工工序为：

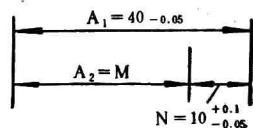


图 1-10 尺寸链图

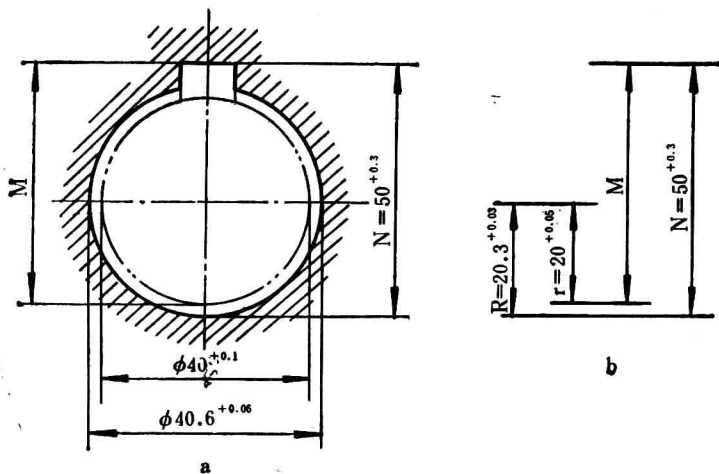


图 1-11 孔的加工及尺寸链图

a) 孔的加工图；b) 尺寸链图

- (1) 钻孔至 $\phi 40^{+0.1}$ ；
- (2) 插键槽得尺寸 M ；
- (3) 铰孔至 $\phi 40.6^{+0.06}$ 。

而最后要求得到尺寸 $N=50^{+0.3}$ ，试求工序尺寸 $M=?$

解：首先画出尺寸链简图，如图1-11 b 所示，为计算方便，可以从圆心画起，并假定铰孔与钻孔偏心很小，忽略不计。

分析尺寸链图可知： N 为封闭环； M 与 R 为增环； r 为减环。

由公式 (1-2) 可得

$$N_{\text{最大}} = \sum_{z=1}^m A_{z\text{最大}} - \sum_{j=m+1}^{n-1} A_{j\text{最小}}$$

$$50.3 = M_{\text{最大}} + 20.33 - 20$$

所以整理得

$$M_{\text{最大}} = 49.97 \text{ 毫米}$$

由公式 (1-3) 可得

$$N_{\text{最小}} = \sum_{z=1}^m A_{z\text{最小}} - \sum_{j=m+1}^{n-1} A_{j\text{最大}}$$

$$50 = M_{\text{最小}} + 20.3 - 20.05$$

所以整理得

$$M_{\text{最小}} = 49.75 \text{ 毫米}$$

故

$$M = 49.7^{+0.27}_{-0.3}, B_M = 0.22$$

以上简略地讲述了实现完全互换装配法的尺寸链运算。总的说来, 完全互换装配法有以下几点好处。

(1) 因各零件和部件能够完全互换, 所以装配工作简单而经济, 生产率高。

(2) 装配过程所需的时间容易确定, 故能保证一定的生产节奏, 对于组织装配流水线特别有利。

但是, 对零件的加工精度要求较高, 加工困难, 所以一般只适用于成批生产中精度较高而尺寸链环数较少的接合, 以及加工精度要求不高的多环尺寸链接合中。

2. 修配法 当尺寸链中环数较多, 而封闭环精度又要求很高时, 可以采用修配法。

所谓修配法就是考虑到零件加工工艺的方便和可能性, 有意将公差加大到易于制造, 在装配时, 则通过修配方法来改变尺寸链中某一预先被规定的组成环尺寸, 使其能满足封闭环的要求。这个预先被规定要修配的组成环叫做“补偿环”, 常用字母“K”表示。

考虑现有生产条件, 设将尺寸链中各组成环, 按照经济可行的公差 $B'_{A1}, B'_{A2}, \dots, B'_{A_{n-1}}$ 进行加工, 则装配时, 封闭环的实际变动量 B'_N 为:

$$B'_N = \sum_{i=1}^{n-1} B'_{Ai}$$

显然, 装配时所得封闭环实际变动量 B'_N 将比允许变动量, 即所规定的封闭环公差 B_N 为大, 其差值为:

$$\Delta K = B'_N - B_N$$

ΔK 叫做尺寸链的最大补偿量, 我们即按 ΔK 来修配尺寸链中某一预先被规定的组成环的尺寸, 从而满足封闭环精度要求。

例 1-6 在图 1-12 中, 根据机床精度的要求, 主轴中心与旋转刀架刀杆孔中心的不同轴度允许在 $0 \sim 0.02$ 毫米范围内变动, 试选定补偿环。

已知: $N = 0 \sim 0.02$ 毫米,

所以

$$B_N = 0.02 \text{ 毫米}。$$

为了保证这一精度要求, 若按等公差法可以求出各组成环的平均公差。

由公式 (1-8) 可得:

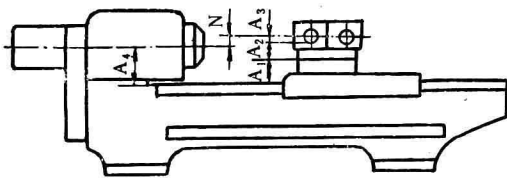


图 1-12 用修配法加工机床刀架孔

$$B'_{A1} = \frac{B_N}{n-1} = \frac{0.02}{4} = 0.005 \text{ 毫米}$$

显然各组成环公差太小, 加工是很困难的。

现在选 A_3 作为补偿环, 预先就将孔径 A_3 做小些, 其它各环均按经济可行的较大公差制造, 当装配好以后, 在主轴上固定一带刀的镗杆, 用此镗刀去镗 A_3 孔, 即修配补偿环的预留量, 从而使封闭环达到设计的精度要求。在制造机床时, 经常可遇到这种处理方法。

例 1-7 图 1-13 所示为键与键槽的配合, 按技术要求应保证其配合间隙不超过 0.05 毫米 (即最大间隙 $\Delta_{\text{最大}} = 0.05$ 毫米, 最小间隙 $\Delta_{\text{最小}} = 0$), 试选定补偿环。

已知: $N = 0 \sim 0.05$ 毫米,

即 $B_N = 0.05$ 毫米。

若按等公差法求出组成环的平均公差,

由公式 (1-8) 得

$$B'_{A1} = \frac{B_N}{n-1} = \frac{0.05}{2} = 0.025 \text{ 毫米}$$

显然按照 $B'_{A1} = B'_{A2} = B'_{A3} = 0.025$ 毫米的公差来制造键和键槽是很不经济的。

现在预先选定键宽 A_1 为补偿环, 将键宽 A_1 的公差放大到 $B_{A1} = 0.1$ 毫米, 键槽宽 A_2 的公差放大到 $B_{A2} = 0.2$ 毫米, 则装配后, 封闭环的实际变动量, 即可能的最大间隙为:

$$\Delta_{\text{最大}} = B_N = 0.1 + 0.2 = 0.3 \text{ 毫米。}$$

为了保证规定的封闭环公差 $B_N = 0.05$ 毫米, 必须由尺寸链中除去一个补偿值 ΔK , 而

$$\Delta K = B'_N - B_N = 0.3 - 0.05 = 0.25 \text{ 毫米}$$

即为了在键与键槽的装配中, 都能按所选定的补偿环进行修配, 则键宽的公称尺寸必须增大 0.25 毫米。

在应用修配法解尺寸链时, 一方面应保证各环有经济可行的制造公差; 另一方面不应使补偿环的补偿量 ΔK 值过大, 以免过分增加对补偿环的修配量。

此外, 在选定补偿环时, 应该注意选择容易加工的环作为补偿环, 尽量不要选择几个尺寸链共有的环作为补偿环, 以免补偿环尺寸的变动影响到所有的尺寸链。

用修配法解尺寸链时, 其主要优点是扩大了组成环的制造公差, 并且能够得到高精度的装配质量; 但其缺点是完全没有互换性, 装配时增加了昂贵的手工修配量, 同时修配时间定额难于掌握, 所以不便组织流水生产。

因此, 修配法一般用于单件小批生产中的多环高精度尺寸链。在机床制造中, 这种方法得到了广泛的应用。

3. 调整法 调整法解尺寸链, 与修配法解尺寸链基本类似, 但在改变补偿环的方法上有所不同。修配法改变补偿件尺寸的方法是从其上除去一层金属, 而调整法是用改变补偿件

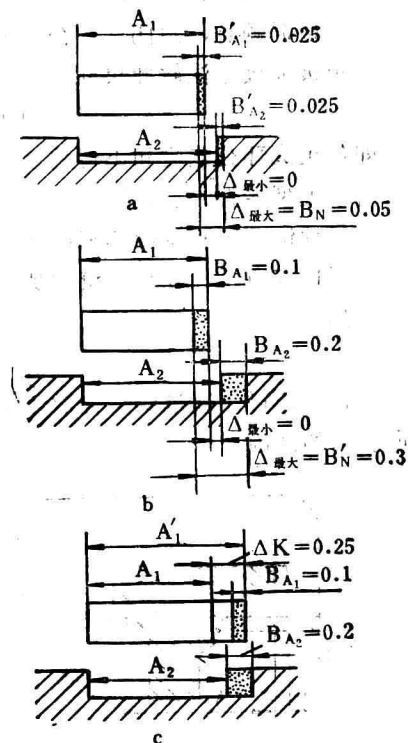


图 1-13 键与键槽的配合

位置或更换补偿件的方法来改变补偿环尺寸，以保证封闭环的精度要求。

(1) 采用可动补偿件 即改变补偿环零件的相对位置，以达到规定的装配精度要求。

例 1-8 在图1-14中，要求车床的拖板与导轨之间的间隙 N 不得超过0.01毫米。

解，根据题意，封闭环的公差 $B_N = 0.01$ 毫米。

若用极大极小法解此尺寸链，则组成环 A_1 与 A_2 之公差分别定为：

$$B_{A_1} = 0.006 \text{ 毫米}; B_{A_2} = 0.004 \text{ 毫米}.$$

即各组成环公差之和不得超过封闭环公差。

对于大型零件，若按这样高的精度来进行加工，这是很困难和很不经济的，若采用调整法来解尺寸链，则特别简单和经济。

如图1-15所示，在尺寸链中加入一补偿环 A_3 （调整楔——镶条），并将 A_1 、 A_2 之公差适当加大到：

$$B'_{A_1} = 0.05 \text{ 毫米}; B'_{A_2} = 0.1 \text{ 毫米}.$$

而在装配时，通过调整补偿环 A_3 的位置，便可方便地达到封闭环所要求的尺寸，从而保证所要求的间隙。

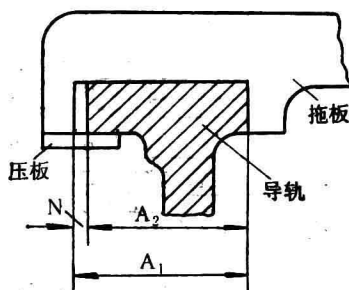


图 1-14 拖板与导轨间的间隙

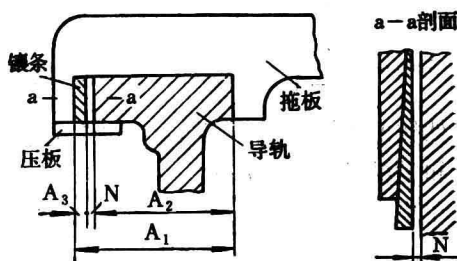


图 1-15 拖板与导轨间隙的调整

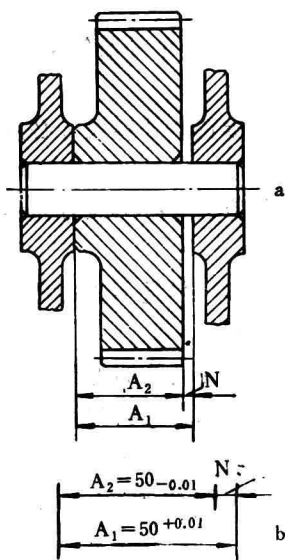


图 1-16 齿轮与箱体间的间隙
a) 结构图 b) 尺寸链图

(2) 采用固定补偿件 在尺寸链中加入一个具有一定尺寸的专用固定零件，这个零件叫做固定补偿件。固定补偿件通常采用各种不同厚度尺寸的圆环或垫块，其厚度尺寸由计算确定，装配时按需要选择合适厚度尺寸的补偿件，即可达到装配精度的要求。因此采用这种方法时，各环的公差通常也是按经济可行的精度来制造的。

例 1-9 在图1-16所示的结构中，要求保证齿轮与箱体端面间的间隙 N 在 $0 \sim 0.02$ 毫米范围内。

解：根据题意封闭环的公差 $B_N = 0.02$ 毫米。

若用极大极小法解此尺寸链，则组成环 A_1 与 A_2 之公差分别定为：

$$A_1 = 50^{+0.01} \text{ 毫米}; A_2 = 50_{-0.01} \text{ 毫米}$$

即各组成环公差之和不得超过封闭环公差。

但由于各组成环公差太小，加工很困难，因此，可采用调整法来解决，即在该尺寸链中加入一个固定