



尺寸链的分析与计算

甘肃人民出版社

内 容 提 要

本书介绍了机械制造过程中各类尺寸链的形成过程和分析方法；并运用误差分析理论对装配尺寸链和工艺尺寸链进行了讨论；对尺寸链的设计计算与工艺计算结合生产中的实例作了详细的论述。

本书内容是机械制造业中设计、工艺和检验技术人员必须掌握的基本理论，可以帮助工程技术人员合理地进行产品设计和工艺设计，对分析产品故障和处理生产现场的工艺问题也能起很大帮助作用，还可供同类专业院校师生参考。

责任编辑：赵兰泉

封面设计：张润秀

尺寸链的分析与计算

余光国 编著

甘肃人民出版社出版

(兰州第一新村51号)

甘肃省新华书店发行 兰州八一印刷厂印刷

开本787×1092毫米1/32 印张10.825插页1 字数223,000

1984年4月第1版 1984年4月第1次印刷

印数：1—6,300

书号：15096·68 定价：0.82元

前 言

尺寸链理论是机械制造业中设计、工艺和检验技术人员必须掌握的基本理论之一，它的应用非常广泛。在机械制造业中，经常会碰到有关尺寸链的分析与计算问题，而且在进行产品设计和工艺设计时，它又是不可缺少的一环。因此，机械行业的工程技术人员，能够熟练地掌握尺寸链的分析和计算方法，是非常必要的。

本书从生产实际出发，力图用通俗的文字把尺寸链理论中最基本的内容叙述清楚，向读者介绍机器结构和零部件制造过程中尺寸误差的传递关系，介绍装配尺寸链和工艺尺寸链的形成过程和分析方法，并运用误差分析理论对尺寸链进行了讨论，对尺寸链的设计计算和工艺计算也作了详尽的论述。根据多年的教学工作以及工厂实践，总结和归纳出如下尺寸链的解算方法，第一种是极值法，也就是最简单的解算尺寸链的方法，但它过于保守，会造成尺寸公差要求过高的情况；第二是应用数理统计中偶然误差分布规律性来解算尺寸链的概率法；这种方法得到的结果比极值法经济合理，此外还有补偿法和分组互换法，它们都是利用误差补偿的原理，其基本出发点是：按经济加工精度来确定组成环的偏差，采用补偿、修配或分组的方法消除封闭环的误差来达到设计要求。

由于在现有的有关尺寸链的书籍文献中，对尺寸链的形

成过程和分析方法介绍比较少，而这一问题又是掌握尺寸链理论的关键问题之一。因此，我们尽可能利用生产实际例子对这一问题作了较详细的介绍。同时，考虑到误差分布理论已较多地用于质量管理，而这部分内容又是概率法计算尺寸链的基本内容，所以单独列为一章介绍这方面的内容。

本书的出版，希望能对机械制造行业分析加工精度、保证加工质量和经济性等方面有所裨益，供机械制造工程技术人员和有关院校师生参考。

本书承蒙天津大学内燃机教研室李厚生副教授审阅，在此表示感谢。由于编者水平有限，谬误之处在所难免，热诚希望广大读者批评指正。

编者

目 录

第一章 装配尺寸链的分析方法	(1)
§1 装配尺寸链的形成	(1)
§2 确定尺寸链组成环的基本原则	(5)
§3 组成环的性质——有向性环和无向性环	(7)
§4 平面尺寸链的分析方法和特点	(15)
§5 各组尺寸链的关系	(26)
§6 结论	(30)
第二章 尺寸误差的传递和极限误差的计算	(32)
§1 基本概念	(32)
§2 尺寸误差的传递	(34)
§3 用极值法计算尺寸链封闭环误差的基本公式	(40)
§4 尺寸链的验算和验算举例	(44)
第三章 零件加工尺寸误差的统计特性	(55)
§1 误差及其分类	(55)
§2 频数分布与概率分布	(59)
§3 偶然误差的聚集特性	(67)
§4 偶然误差的分散特性	(70)
§5 正态分布	(76)
§6 加工尺寸误差的实际分布	(84)
§7 结论	(103)
第四章 用概率法计算尺寸链	(105)
§1 概述	(105)

§2	封闭环误差的分布中心 M_z ·····	(106)
§3	封闭环误差的均方根偏差和误差范围·····	(108)
§4	对概率法应用条件的讨论·····	(112)
§5	概率法验算实例·····	(118)
第五章	装配尺寸链的设计计算·····	(122)
§1	确定组成环公差的方法和原则·····	(122)
§2	确定组成环公差带位置的方法·····	(137)
第六章	用补偿法计算尺寸链·····	(145)
§1	补偿法的实质·····	(145)
§2	补偿法的分类·····	(146)
§3	选择补偿环的基本原则·····	(150)
§4	对用补偿法进行设计计算时补偿可能性的讨论·····	(152)
§5	固定补偿件的尺寸计算·····	(156)
第七章	位置度尺寸链的分析与计算·····	(172)
§1	位置度尺寸链的形成和特点·····	(172)
§2	位置度尺寸链的计算特点和计算方法·····	(178)
第八章	工艺尺寸链的分析与计算·····	(186)
§1	工艺尺寸链的形成和分类·····	(186)
§2	尺寸的基准转换计算·····	(190)
§3	工序尺寸链的分析与计算·····	(202)
§4	工艺系统尺寸链的分析与计算·····	(217)
§5	结论·····	(229)
第九章	应用实例·····	(232)
§1	S195柴油机气门碰活塞问题的分析·····	(232)
§2	S195柴油机调速系统中油泵齿条初始装配位置的 计算·····	(263)
§3	进气门凹坑容积的计算·····	(269)
§4	S195柴油机曲轴加工轴向尺寸链的分析与计算·····	(275)

间接测量气缸盖涡流室中心与喷油器孔中心距时， 测量系统尺寸链的分析.....	(304)
§6 S195柴油机供油提前角的调整计算.....	(309)
参考资料.....	(329)

第一章 装配尺寸链的分析方法

§1 装配尺寸链的形成

一、产品结构中的尺寸和位置精度要求

在进行产品的结构设计时，为了保证产品的设计性能、结构的可靠性和使用寿命，必须对产品装配图中某些表面之间的尺寸和相对位置关系提出一定的精度要求。这些要求并不是由哪一个具体零件所决定的，而是在装配之后由一系列零件相结合才形成的。

对于柴油机来说，压缩比是一个很重要的性能参数。为了从设计结构上保证这一要求，就有必要对活塞处于上止点时活塞端面与气缸盖平面之间的距离（通常称为压缩余隙） A_z 提出一定的精度要求，如图 1—1。而压缩余隙 A_z 本身的精度，并不只是活塞或其它某一个零件所能够决定的，而涉及到一系列零件的一系列尺寸。

曲轴的轴向间隙 B_z 的大小，是指曲轴装入机体后，曲轴两主轴颈端面与两主轴瓦端面之间的相对位置关系， B_z 的大小对于整机工作性能的影响无疑是很重要的。同样，它也不只是由哪一个零件所能够决定的，也涉及到一系列零件的一系列尺寸，如图 1—1。

在柴油机中，为了保证其启动燃烧性能，供油提前角是一个需要很好地控制和调整的重要参数。它不仅涉及到与油泵

滚轮和供油凸轮的轴向间隙 D_2 有关的一系列零件尺寸，如图1—2，而且还涉及到有关传动链零件的传动精度、凸轮升程和相位角等精度要求。

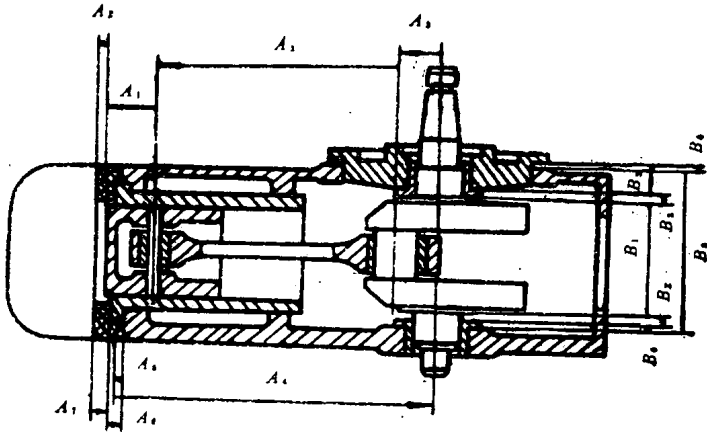


图1—1

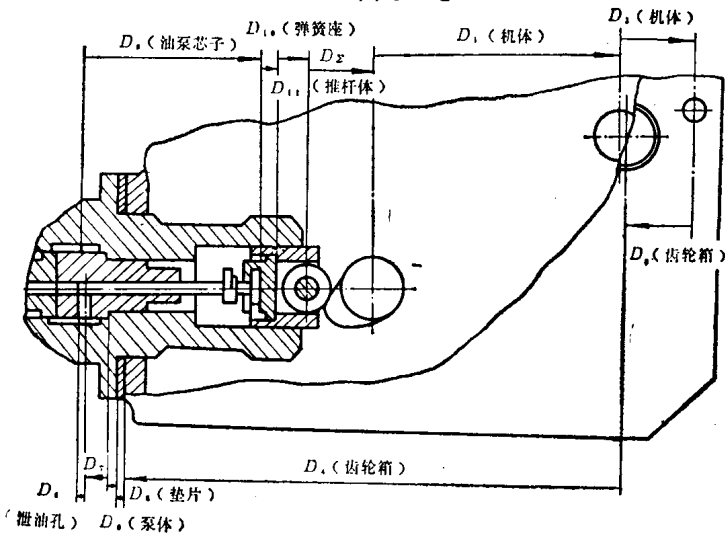


图1—2

为了保证产品的性能，必须从装配结构上明确影响性能的装配尺寸的精度要求。而要保证这些要求的实现，就得对所涉及到的一系列有关零件的有关尺寸进行分析和计算，这就是我们所要研究的装配尺寸链。

二、装配尺寸链的形成过程

既然结构中的尺寸和位置的精度要求涉及到一系列零件的一系列尺寸，那么，这一系列零件的一系列尺寸与结构中要求的装配尺寸之间存在着什么关系呢？为了解决这个问题，让我们来考查一下图 1—1 所示的柴油机压缩余隙 A_z 的形成过程。

压缩余隙 A_z 所涉及到的第一个零件尺寸是活塞端面至活塞销孔的距离 A_1 ，活塞端面通过活塞销的连接与连杆发生关系；连杆大小头孔的距离 A_2 ，通过曲轴的曲拐轴颈确定了位置而与曲轴发生关系；曲拐的偏心距 A_3 ，又通过主轴颈在机体上的定位而与机体发生关系；机体主轴孔至缸套止口端面的距离 A'_4 确定了曲轴与缸套之间的位置关系；而缸套止口台的高度 A_6 、缸垫厚度 A_7 又确定了气缸盖的位置，由此而最后形成了压缩余隙 A_z 。

显而易见，压缩余隙 A_z 是由尺寸 A_1 、 A_2 、 A_3 、 A'_4 、 A_6 、 A_7 所形成的，它们构成了一个封闭的尺寸回路，这个回路是在装配之后才形成的。这个最后形成的尺寸 A_z ，通常被称为封闭环。其它尺寸是零件上固有的，通常称为组成环。由组成环和封闭环所形成的封闭尺寸回路，就被称为尺寸链，因为它是在装配过程中形成的，因此被称为装配尺寸链。

从以上尺寸链的形成过程，可以看出几个问题：

(1) 尺寸链的封闭环是通过装配而最后形成的尺寸，也是设计提出要求装配保证的尺寸。

(2) 在尺寸链中，除了与封闭环直接相连的那个零件尺寸之外，每个组成环尺寸都是零件上的两个结合定位面之间的距离。我们把每一零件上两结合面之间的距离尺寸称为原始组成环尺寸。这就是说，封闭尺寸回路，是参加这一回路的零件以结合面相互定位而最后形成的。参加尺寸链的原始组成环，就是零件上两个结合面间的距离尺寸。

(3) 尺寸链的封闭环既然是由组成环相互连接而最后形成的封闭尺寸，那么，它的大小和变动范围，就取决于各组成环的大小和误差范围的大小。就是说，封闭环的误差是各组成环误差共同影响的结果。

以上三点就为分析装配尺寸链提供了两条基本原则：

1. 封闭回路原则

分析装配尺寸链时，首先应明确在装配中保证的尺寸，即封闭环。然后，从封闭环的一个面出发，按顺序寻找与之有关的每一零件上的结合定位面，最后又回到封闭环的另一面，这样就可以确定出由原始组成环所构成的封闭尺寸回路，即原始尺寸链。

2. 最短路原则

由于尺寸链封闭环的误差是各组成环误差共同影响的结果，因此，组成环越多，对于分配封闭环的误差越不利。设计时，总是希望尽可能地减少尺寸链的环数。而由原始组成环所构成的尺寸链，是环数最少的尺寸链，所以，它是最短路的。

按照“最短路原则”分析尺寸链时，一定要先按照零件

的相互定位关系来确定原始组成环，然后再根据加工、测量或其它需要对原始组成环做必要的分解，并尽可能保证尺寸链的环数最少。

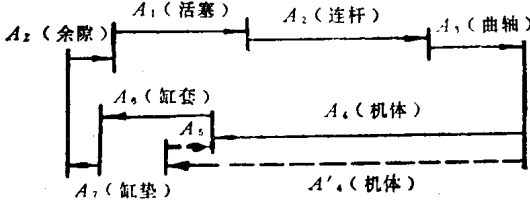


图 1—3

§2 确定尺寸链组成环的基本原则

尽管通过分析装配的结合定位面而得到的原始组成环能构成“最短路”的原始尺寸链，但是，每一个原始组成环尺寸在加工和测量中并不一定有较好的工艺性。也就是说，有些原始组成环并不是加工和测量中便于直接控制的尺寸。因此，一个设计人员，必须善于运用必要的工艺知识对每一原

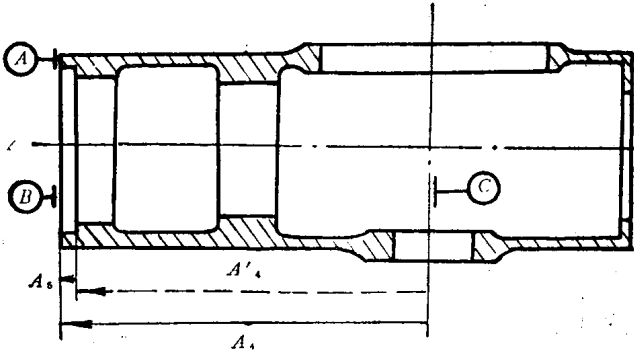


图 1—4

始组成环进行具体的工艺分析，并从零件的加工工艺性和测量的方便性出发，根据具体情况把一个零件上的原始组成环按加工或测量的基准面重新进行标注，即把原来按装配定位结合面所确定的原始组成环分解为两个或两个以上的尺寸。

图 1—4 所示的机体零件尺寸 A'_4 ，是参加图 1—1 所示的压缩余隙尺寸链的一个原始组成环。在实际加工和测量中，要直接控制主轴孔 C 到缸套孔止口端面 B 的距离 A'_4 是有一定困难的。往往都是以机体的缸盖平面 A 为基准，通过获得止口深度 A_5 和控制 A 面到孔 C 的距离 A_4 来保证 A'_4 的。这就是说，实际加工中，原始组成环 A'_4 被分解为尺寸 A_4 和 A_5 ，这种从加工和测量的方便性出发而进行的尺寸变换是完全必要的，它从设计图纸上解决了设计基准与工艺基准变换中的矛盾，避免了加工中由于基准变换而引起的一系列困难。因此，每一个设计人员，都应当尽可能地考虑到这方面的问题。这是确定尺寸链组成环时，应当确立的一条基本原则，即“工艺性原则”。

但是，按“工艺性原则”进行尺寸变换也必须有一定的限制，以防尺寸链组成环过多的增加，而引起设计计算时分配公差困难，无形中提高了每个零件尺寸的加工要求。因此，还得正确处理“工艺性原则”与“最短路原则”之间的矛盾，权衡利弊找出最佳的方案。

值得提出的是，有时往往为了尽可能地缩短尺寸链，以保证在不致于过高地增加加工成本的前提下获得所要求的封闭环精度，而采用了组合加工和装配加工的方法。例如，总装柴油机时，要进行一系列零件的组装，这时要保证主轴瓦装配后的同心度有一定的困难，可以采用压装主轴瓦以后，

用专用的镗瓦机来对主轴瓦进行组合镗削的办法。另外，还可以把某些部件划分为独立的小组合件进行组合加工，以组合加工后的尺寸来参加尺寸链。这些，都是在产品设计和编制加工工艺时应当考虑的问题。

但是，组合加工的结果往往会破坏参加组合加工的零件的互换性。同时，也造成装配中“配对”的困难。例如，主轴瓦镗削后，该机体上的主轴承盖只能与该机体配对。在流水装配中还得跟着这个机体走，给大批生产时的管理造成了麻烦。但在另外一些情况下，考虑到单纯由控制零件精度来保证装配尺寸链的封闭环十分困难时，就不得不采用组合加工的方法，连杆大头孔的加工中，杆身和瓦盖的配对就是一个例子。

§3 组成环的性质——有向性环和无向性环

一、有向性环——增环和减环

在尺寸链中，每一组成环对封闭环的影响是不完全相同的，例如在图 1—1 的尺寸链中，尺寸 A_4 （机体主轴孔到机体顶面的距离）在其它尺寸不变的情况下，它的增大会引起封闭环 A_z 的增大，它的减小会引起 A_z 的减小，即它对 A_z 的影响是起正作用的。可是，尺寸 A_2 却与之相反，在其它尺寸不变的条件下， A_2 的增大反而使 A_z 减小， A_2 的减小反而使 A_z 增大，即它对 A_z 的影响是起负作用的。

我们把其本身增大引起封闭环增大的组成环称为增环，而把其本身增大引起封闭环减小的组成环称为减环。增环在

尺寸链中总是起着正作用，而减环总是起着负作用。因此，在尺寸封闭回路这个统一体中，存在着两种最基本的组成环，即增环和减环。无论增环或是减环，它们对封闭环的影响是一定的，因此把它们称为“有向性环”，以区别于可能存在的其它环节。

根据增环和减环的特定性质，可以用很简便的方法来判断

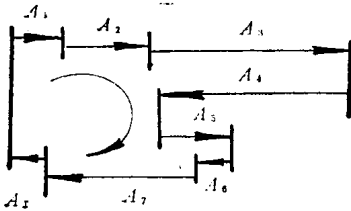


图 1—5

每一组成环到底是增环还是减环。判断的方法是：沿回路的某一旋转方向在每一组成环尺寸的前端划单向箭头，凡是箭头方向与封闭环箭头方向一致的组成环，都是减环，箭头方向相反的，就是增环。

图 1—5 所示为压缩余隙尺寸链。按上述方法分析组成环的性质的时候，在每一组成环尺寸的前进方向画单向箭头，则尺寸 A_1 、 A_2 、 A_3 和 A_5 的箭头方向与封闭环 A_2 的箭头方向相反。因此，可以判断出它们都是增环。而尺寸 A_4 、 A_6 和 A_7 的箭头方向与封闭环箭头方向一致，因此，它们都是减环。

为了便于识别，增环以 $\overset{\rightarrow}{A_i}$ 来表示，减环以 $\overset{\leftarrow}{A_i}$ 来表示。

二、无向性环

和有向性环相反，在实际机构中存在着这样一种尺寸：它的公称尺寸为零，而允许偏差是双向的（即有正负偏差）。该尺寸虽然有一定的数值变化范围，但实际值可能为正，也可能为负。就是说，尺寸的实际方向并不是肯定的。

这种尺寸在某些机构中的影响是不能忽视的，在分析尺寸链时就不得不加以考虑。由于它的方向不定，因此，把它们称为无向性环。

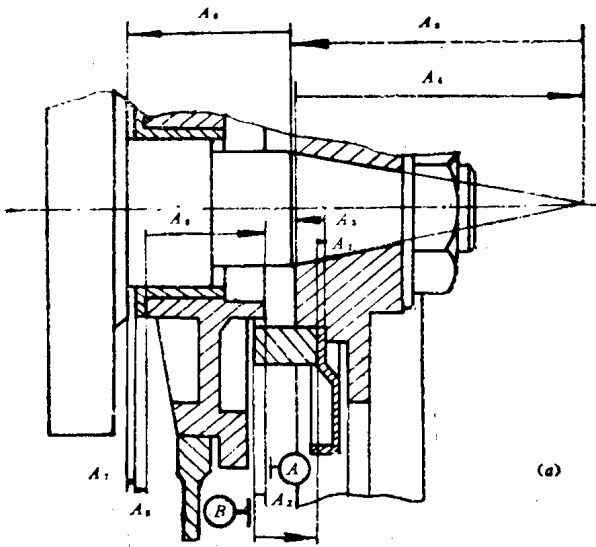
无向性环可以是封闭环，也可能是组成环，分两种情况讨论：

1. 当封闭环是无向性环时的情况

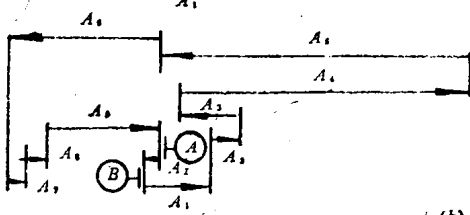
如图 1—6 所示的飞轮发电机装配尺寸链，在此尺寸链中，若以主轴承盖端面 A 为基准零线，以发电机转子端面 B 相对于主轴承盖端面 A 的距离为封闭环，那么 B 面可能与 A 面之间存在有一间隙（设此时 A_z 为正值），也可能 B 面伸入到 A 面（此时 A_z 为负值）。这时，封闭环的公称尺寸为 零，其尺寸变化范围在 A 面的两边。

在封闭环为无向性环时，给判断尺寸链的组成环究竟是增环还是减环带来了困难。如果把图 1—6 的尺寸链封闭环的正方向假定在 A 面的左侧，其尺寸链如图 1—6 (b) 所示，这时尺寸 A_1 、 A_2 、 A_4 、 A_7 、 A_8 、 A_9 的箭头方向与 A_z 相反，为增环，而其它尺寸为减环。如果假定 A 面的右侧为正方向〔图 1—6 (c)〕，这时尺寸 A_1 、 A_2 、 A_7 、 A_8 和 A_9 的箭头方向与 A_z 一致，为减环，而其它尺寸为增环。这两种情况容易给人们分析尺寸链时造成疑虑，甚至怀疑计算的正确性。

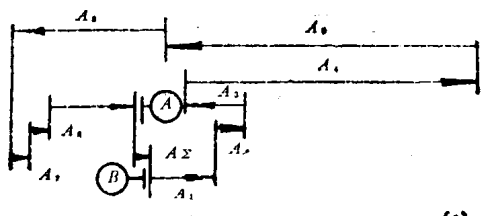
实际上正好反映了封闭环是无向性环时的尺寸链的特点。在分析这类尺寸链时，只要假定封闭环在某一方向上为正，暂且把它当做有向性环对待，并以此来判断组成环的性质。这样做并不会影响尺寸链的实际计算结果，只不过要注意分清封闭环为正和为负时的具体方向罢了。



(a)



(b)



(c)

图 1-6