



# 机械加工工艺流程尺寸链

李凯岭 著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

机械加工工艺过程尺寸链/李凯岭著. —北京:国防工业出版社, 2008. 1

ISBN 978-7-118-05392-0

I. 机... II. 李... III. 机械加工—尺寸链 IV. TG801

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 156813 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

京南印刷厂印刷

新华书店经售

\*

开本 850×1168 1/32 印张 6 $\frac{1}{2}$  字数 200 千字

2008 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 26.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

## 前 言

机械加工工艺过程尺寸链在制定机械加工工艺规程以及机械制造生产过程中具有十分重要的地位。确定机械加工过程中的加工工艺尺寸及其要求,是机械加工工艺规程制定工作中的重要内容,也是工艺工程人员、质量检查人员、机械技术人员在工作中经常遇到的问题。正确地运用和理解机械加工工艺过程尺寸链理论和技术,分析、计算加工工艺尺寸问题,对于保证产品的加工质量、降低成本、提高效益具有十分重要的意义。

经过作者二十几年的研究和整理,认为应当将机械加工工艺过程尺寸链明确起来,专门建立关于机械加工工艺过程尺寸链的理论,针对机械加工工艺过程尺寸链的分析应用特点进行专门的研究和讨论,从而建立专门的分析应用理论体系和分析思路方法,使人们在具体工程应用过程中,更容易发现其规律性和特点,更加容易掌握和实际应用尺寸链的理论和方法解决实际工程中的工艺技术问题。

在国家标准中,将本书谈论涉及的尺寸链内容叫做“工艺尺寸链”。此前,许多作者对工艺尺寸链应用方法和思路以及工艺尺寸分析计算的实例进行了较多的讨论,本书则试图建立一套关于机械加工工艺过程尺寸链理论的体系,并在此基础上介绍运用机械加工工艺过程尺寸链理论求解机械加工工艺规程制定工作中的各种工艺尺寸的思路和方法,研究其规律性和特点,使广大工程技术人员在实际工作中,应用更加简单,思路容易理解,使加工工艺尺

寸的分析和运算过程更加简洁、方便、快捷。

本书集中了作者的研究成果,从一般尺寸链的概念出发,围绕机械加工工艺过程尺寸链的构成特点,根据机械加工过程的目的就是保证产品设计提出的全部设计要求,把间接保证与直接控制的概念从总体上进行研究,解决了十分混乱的机械加工工艺过程尺寸链的理论体系中的尺寸链的构成问题,明确指出:机械加工工艺过程尺寸链的封闭环只能是产品零件的设计要求和加工工序余量,而组成环是在加工工艺规程制定过程中涉及到的全部的工艺尺寸(诸如毛坯尺寸、加工工序尺寸、调整对刀尺寸、测量尺寸等);而在加工尺寸链中,存在着至关重要的独立尺寸链和并联尺寸链关系;尤其是并联尺寸链关系的存在,使得二环加工尺寸链在加工工艺尺寸公差和偏差分析计算过程中起着重要的决定性的作用。对平面尺寸链、线性尺寸链、二维尺寸链进行了详细的讨论。结合大量的例子,对加工尺寸链的理论体系进行了演绎分析。

在本书的撰写过程中,山东大学田志仁教授对初稿和编写体系给予了仔细的审查,并且提出了详细的意见和建议。山东铁路职业技术学院崔剑平对书稿进行了认真的统稿。我的研究生对于本书的编写给予了帮助,许多同事提出了很好的建议。在此表示衷心的感谢。

由于作者水平所限,书中必有不妥之处。望各位读者给予批评指正。

作者

# 目 录

02	..... 博举算长时代游七只工赋差直	章 4 第
02	..... 宝爵的差公,七只和工工工赋各良本面委工赋	1.4
	..... 前差公麻七只置立前同之面委工赋各各件零	2.4
82	..... 宝爵	
	..... 前七只乳工间之味喜本面委工赋件零宝爵扣同	3.4
22	..... 宝爵合添	
00	..... 宝爵前七只乳工面委工赋件工宝爵游其	4.4
00	..... 器同品爽期的中游代算差七只乳工	2.4
<b>第 1 章</b>	<b>尺寸链概述</b> .....	<b>1</b>
85	1.1 尺寸链及其组成.....	1
85	1.2 尺寸链简图与方程式.....	4
85	1.3 尺寸链的分类.....	5
88	1.4 尺寸链的特性.....	12
89	1.5 尺寸链的建立.....	14
<b>第 2 章</b>	<b>机械加工工艺过程尺寸链</b> .....	<b>17</b>
89	2.1 机械加工工艺过程中工艺尺寸与基准转换.....	17
101	2.2 加工尺寸链的组成特点.....	19
101	2.3 加工尺寸链的查找.....	20
101	2.4 加工尺寸链的基本形式.....	21
101	2.5 加工尺寸链的特色和作用.....	28
851	2.6 加工尺寸链的分析计算方法.....	28
851	2.7 机械加工工艺尺寸链理论要点.....	29
<b>第 3 章</b>	<b>直线加工尺寸链的极值解法</b> .....	<b>31</b>
132	3.1 极值算法基本关系.....	32
141	3.2 极值解法的一般表达形式.....	34
121	3.3 各组成环公差的分配方法.....	37
121	3.4 各组成环尺寸偏差的确定.....	41
	3.5 工序尺寸的跟踪图解法.....	43

<b>第 4 章 直线加工尺寸链分析计算举例</b> .....	50
4.1 加工表面本身各加工工序尺寸、公差确定 .....	50
4.2 零件各被加工表面之间的位置尺寸和公差的确 定 .....	53
4.3 同时确定零件加工表面本身和之间工序尺寸的 综合情况 .....	55
4.4 其他确定工件加工表面工序尺寸的情况 .....	60
4.5 工序尺寸换算分析中的假废品问题 .....	66
4.6 用工艺尺寸图表追迹法计算工序尺寸和余量 .....	71
<b>第 5 章 二维尺寸链基本方程式</b> .....	73
5.1 基本方程式的一般形式 .....	73
5.2 各种基本方程求解方法 .....	76
5.3 单个零件及图形尺寸链基本方程式 .....	83
<b>第 6 章 平面加工尺寸链的分析与计算</b> .....	93
6.1 平面加工尺寸链分析计算方程 .....	93
6.2 组成环增减性的判断 .....	96
6.3 极限尺寸方程式的建立 .....	102
6.4 公差方程式的建立 .....	103
6.5 封闭环上、下偏差公式 .....	107
6.6 几种平面加工尺寸链的计算方法 .....	109
<b>第 7 章 加工尺寸链的概率算法</b> .....	128
7.1 理论基础 .....	128
7.2 加工尺寸链的概率算法原理 .....	132
7.3 直线尺寸链的概率算法的基本方程 .....	135
7.4 平面加工尺寸链概率解法的基本方程及实例 .....	147
<b>第 8 章 形位公差与尺寸并存尺寸链的分析处理</b> .....	151
8.1 工件的几何特征 .....	151
8.2 处理尺寸公差与形状、位置公差之间关系的公差 .....	

原则 .....	151
8.3 尺寸公差、形状与位置公差之间应用相关要求时的 相互补偿 .....	153
8.4 对称度公差和直线尺寸的工艺性计算 .....	164
8.5 遵守独立原则时位置公差与尺寸公差之间的 工艺性计算 .....	166
<b>第 9 章 机械加工尺寸链的计算机算法</b> .....	167
9.1 概述 .....	167
9.2 加工尺寸链分析计算原始模型 .....	169
9.3 加工尺寸链辅助计算模型 .....	172
9.4 加工工艺数据库的结构 .....	176
9.5 CAMDS 流程设计概况 .....	177
9.6 系统运行结果 .....	179
<b>第 10 章 平面孔系坐标尺寸链的分析计算</b> .....	182
10.1 坐标尺寸链的投影解法 .....	182
10.2 坐标尺寸链的特点 .....	186
10.3 全微分法解孔系坐标尺寸链 .....	187
10.4 孔系加工中的轴线公差带形状分析 .....	193
10.5 实例分析计算 .....	199
<b>参考文献</b> .....	208



# 第 1 章 尺寸链概述

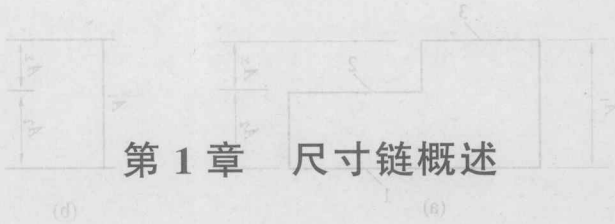


图 1-1 所示为块状零件加工工艺尺寸链 1-1 图

进行机械制造、加工工艺(装配工艺)分析时,都有关于尺寸公差和技术要求的分析计算问题。运用尺寸链的基本原理进行分析计算,可以使这些分析计算大为简化。

## 1.1 尺寸链及其组成

在拟定机械加工工艺流程之后,即应确定各个工序所应达到的加工工序尺寸及其公差,以及所应切除的加工余量,这一工作通常是运用尺寸链原理进行的。

### 1.1.1 尺寸链

在工件的机械加工过程设计中,经常遇到一些相互联系的尺寸组合,这种相互联系、并按一定顺序排列的封闭尺寸组合称为尺寸链。在工件加工过程中,由加工过程中有关的加工工艺尺寸作为组成环所构成的尺寸链,称为机械加工工艺流程尺寸链,简称加工尺寸链。

图 1-1 所示是一块状零件机械加工工艺流程尺寸链的例子。在工件的加工过程中,控制  $A_1$ 、 $A_2$  两个工序尺寸,就可以确定尺寸  $A_S$ 。这样,  $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_S$  三个尺寸构成一个封闭的尺寸组合,即形成一个加工尺寸链。

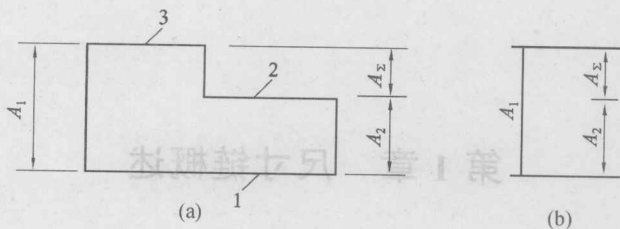


图 1-1 加工尺寸链示意图

### 1.1.2 链环

尺寸链中的每一个尺寸称为尺寸链的链环,简称环。按尺寸的几何特征,链环分为线环(长度尺寸)及角环(角度尺寸)。环根据其不同的特性,又分为封闭环和组成环。

### 1.1.3 封闭环

尺寸链反映了各个有关的尺寸和要求之间的约束关系。往往要按照产品的设计性能要求、工艺要求或检验要求确定其他尺寸的基本尺寸或公差、偏差变化范围,其中起决定作用的要求尺寸称为封闭环。一个尺寸链,每种形态的封闭环只有一个。封闭环可为线环,以  $A_{\Sigma}$  表之;亦可为角环,以  $\alpha_{\Sigma}$  表之。

从另一种角度研究封闭环可以发现,封闭环尺寸是在工件加工过程中间接形成的尺寸,其精度是被间接保证的。如图 1-1 所示的尺寸链中,  $A_{\Sigma}$  是封闭环。

### 1.1.4 组成环

封闭多边形的全部链环,除封闭环外其余各环称为组成环。在尺寸链中,由加工或装配直接控制,影响封闭环精度的各个尺寸称为组成环。如图 1-1 中的  $A_1$  和  $A_2$  是组成环。

### 1.1.5 组成环增减性

组成环按其对封闭环的影响,又分增环和减环,或者正环和负环。

(1) 增环:当其余各组成环不变,如某组成环与封闭环成正变关系,即其尺寸增大会使封闭环尺寸也随之增大的组成环称为增环,以向右的箭头表示。例如,尺寸  $A_1$  就是增环。

(2) 减环:当其余各组成环不变,如某组成环与封闭环成反变关系,即其尺寸的增大使封闭环尺寸随之减小的组成环称为减环,以向左的箭头表示。如图 1-1 中尺寸  $A_2$  就是减环。

在尺寸链中,从一系列的组成环中分辨增环或减环,有以下方法。

(1) 按照定义判断:根据增环、减环的定义,逐个对组成环分析其尺寸的增减对封闭环的影响,以判断其为增环或者减环。这是最基本的判断方法。但是在环数较多,尺寸链的结构较复杂时,此法比较麻烦,容易产生差错。

(2) 按照联结封闭环的形式判断:凡是与封闭环串联的组成环,属于减环;而与封闭环并联的组成环,则属于增环(图 1-2)。

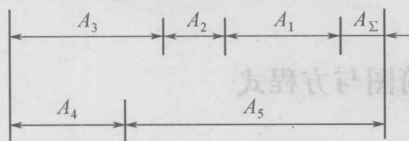


图 1-2 串并联法判断

当尺寸链的结构形式更为复杂时,这种识别方法的简便性特点更加明显。根据上述的思路可以推论:在结构复杂的尺寸链中,与增环并联者为减环;与减环并联者为增环(图 1-3)。

(3) 组成环所在行数识别法:如图 1-3 所示,将封闭环所在行定义为 0 行,然后分别向上、向下顺序给每一行编号。显然,处

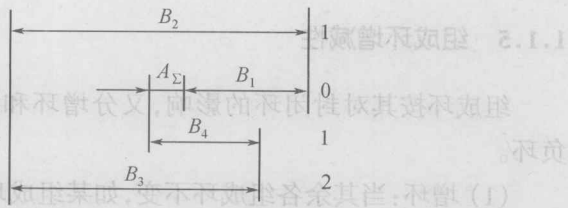


图 1-3 行数识别法示例

于偶数行上的组成环为减环；处于奇数行上的组成环属于增环。

(4) 按照箭头方向判断：组成环数较多时，可以用画箭头的方法来判断组成环的增减性。即在绘制尺寸链简图时，从封闭环的一端开始，顺着一个封闭的方向在各个组成环的尾端画单向箭头符号(图 1-4)。凡是箭头方向与封闭环的箭头方向相同的组成环为减环；而箭头方向与封闭环箭头方向相逆者为增环。

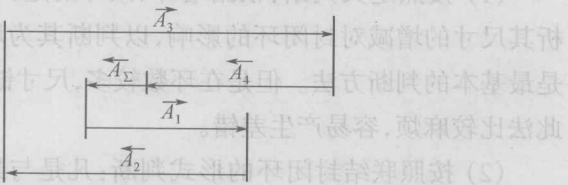


图 1-4 箭头法判别增减环

## 1.2 尺寸链简图与方程式

### 1.2.1 尺寸链简图

在运用尺寸链原理进行分析计算时，为简单扼要地表示尺寸链中各尺寸之间的关系，常将相互联系的尺寸组合从零件(部件)的具体结构中抽象出来，用简单的线段勾画成如图 1-1(b)所示的图形，这种简化了的尺寸关系图形，称作尺寸链简图，简称尺寸链图。此图绘制时不需要按照严格的比例画出，但是必须保证各

个环之间的原有联接关系不改变。同一个尺寸链中各个环以同一个字母表示,并以脚标加以区别。

### 1.2.2 尺寸链方程式

尺寸链中封闭环与组成环的关系可用方程式表示。尺寸链方程式是确定尺寸链中封闭环(因变量)和组成环(自变量)的函数关系式,则封闭环为组成环的函数或叫因变量,组成环为自变量。其一般形式为:

$$L_{\Sigma} = f(L_1, L_2, \dots, L_{n-1}) \text{ 或者 } L_{\Sigma} = f(L_i) \quad (1-1)$$

式中  $L_{\Sigma}$  为封闭环;  $L_i$  为组成环;  $n$  为组成环数。

## 1.3 尺寸链的分类

根据不同分类方法,尺寸链可以有各种类型。

### 1.3.1 根据尺寸链的应用场合分类

根据应用场合不同,可分为零件设计尺寸链(全部组成环为同一零件的设计尺寸)、机械加工(工艺)尺寸链(全部组成环为同一工件的加工工艺尺寸,如图 1-1 所示)、检验测量尺寸链(组成环是由直接控制的尺寸量来组成)和机械装配(工艺)尺寸链(全部组成环为不同零件的完工尺寸,如图 1-5 所示)。设计尺寸是指零件图样上标注的尺寸,加工工艺尺寸是指工序尺寸、测量尺寸、毛坯尺寸和对刀尺寸等在工件加工过程中直接控制的尺寸。

(1) 机械装配(工艺)尺寸链中的各组成环尺寸为不同零件上的,经过实际加工得到的满足设计要求的合格尺寸,而它的封闭环一般为部件装配关系中的一项装配设计要求,比如间隙量、垂

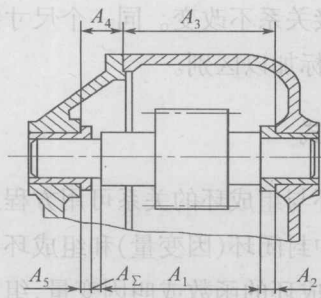


图 1-5 直线装配尺寸链

直度、距离要求、平行度等等。这种尺寸链，简称为装配尺寸链。

(2) 机械加工(工艺)尺寸链中的各个组成环为同一零件上的各个工序或工步间的工艺尺寸(包括工序尺寸、对刀尺寸、毛坯尺寸、测量尺寸等),封闭环为加工零件所要求的设计尺寸或工艺过程所需要的加工余量尺寸,称为机械加工工艺过程尺寸链,简称为加工尺寸链。

(3) 检验尺寸链:在检验过程中,有时需要根据实际测量条件和手段,对某项测量要求或项目进行转换,这时实际测量的尺寸往往要作为直接控制的参数量来对待,其余各组成环为同一零件上的各个直接控制得到的尺寸,而原始要求的被检验或测量项目或者参数尺寸为封闭环,这种尺寸链称为检验尺寸链。

(4) 设计尺寸链:这是在产品的设计开发阶段为了确定某些未知尺寸而采用的一种尺寸链。组成环为已知的设计尺寸(同一零件上的、或者具有装配关系的相关零件上的某一个尺寸),封闭环是未知的待求设计尺寸。

### 1.3.2 按链环尺寸的几何特征分类

按尺寸链各尺寸环的几何特征,尺寸链可分为长度尺寸链及角度尺寸链。

## 1. 长度尺寸链

它的各链环全部是由位于同一平面的若干平行线上的长度尺寸组成的尺寸链,称作长度尺寸链,或称直线尺寸链,见图 1-6。这种尺寸链在机械制造中用得最多,是尺寸链最基本的形式。

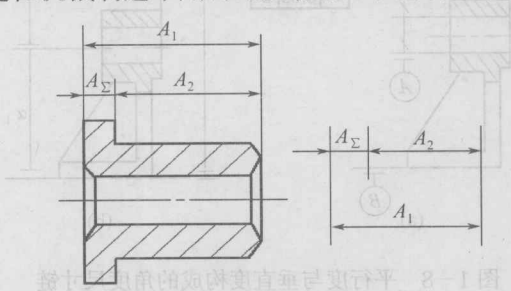


图 1-6 阶梯轴套的长度尺寸链

## 2. 角度尺寸链

各链环全部是由角度尺寸(包括平行度、垂直度等角度尺寸参数)组成的尺寸链,称为角度尺寸链。常见的是处于同一平面或者平行平面的角度尺寸链。如图 1-7 所示为角度尺寸链两种常见的形式,其中图(a)为具有公共角顶的封闭角度图形,图(b)是由角度尺寸构成的封闭角度多边形。

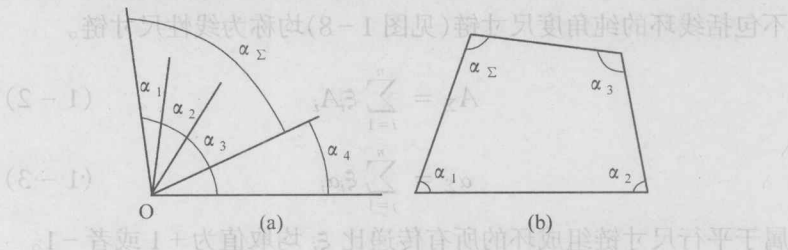


图 1-7 角度尺寸链示例

另一类角度尺寸链是由平行度、垂直度等位置关系构成的尺寸链。例如,图 1-8(a)所示工件, A 面对 B 面的平行度(用  $\alpha_1$  表示)已经确定。加工 C 面时,不仅得到垂直度  $\alpha_2$ ,同时也得到了 C

面对 A 面的垂直度  $\alpha_{\Sigma}$ 。  $\alpha_1$ 、 $\alpha_{\Sigma}$  以及 C 面对 B 面的垂直度  $\alpha_2$  构成了一个角度尺寸链,如图 1-8(b)所示。

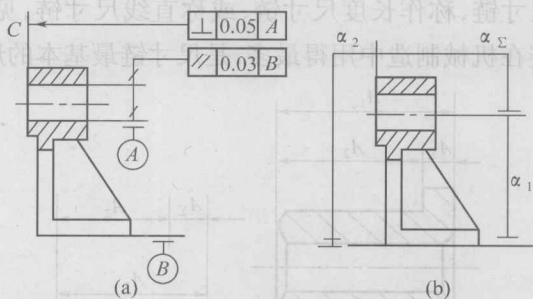


图 1-8 平行度与垂直度构成的角度尺寸链

### 1.3.3 按链环尺寸的相互空间位置关系分类

分为线性尺寸链(又称平行尺寸链)、平面尺寸链(又称二维尺寸链)及空间尺寸链。

#### 1. 线性尺寸链

不包括角环的,处于同一个平面内或者相互平行的平面内,并且所有链环尺寸平行于封闭环尺寸的长度尺寸链(见图 1-6)和不包括线环的纯角度尺寸链(见图 1-8)均称为线性尺寸链。

$$A_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \xi_i A_i \quad (1-2)$$

$$\alpha_{\Sigma} = \sum_{j=1}^n \xi_j \alpha_j \quad (1-3)$$

属于平行尺寸链组成环的所有传递比  $\xi_i$  均取值为 +1 或者 -1。

#### 2. 平面尺寸链

平面尺寸链由直线尺寸和角度尺寸组成,所有组成环与封闭环处于同一平面或几个相互平行的平面内,由成角度关系布置的直线尺寸和位置精度要求(角度尺寸)构成,但其中某些组成环不



平行于封闭环, 而能形成封闭的多边形, 称为平面尺寸链。属于平面尺寸链的各组成环的传递比  $\xi_i$  中, 有一部分或全部不等于  $\pm 1$ 。如图 1-9(a) 所示的箱体零件中, 坐标尺寸  $A_1$  和  $A_2$  与孔的中心距  $A_\Sigma$  和夹角  $\alpha_\Sigma$  构成一个平面尺寸链(图 1-9(b))。在该尺寸链中, 参与组成的尺寸不仅有直线尺寸( $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_\Sigma$ ), 还有角度尺寸( $\alpha_\Sigma$  以及各坐标尺寸之间的夹角, 其基本值为  $90^\circ$ ), 而且封闭环也不仅只有直线尺寸  $A_\Sigma$ , 还有角度尺寸  $\alpha_\Sigma$ 。

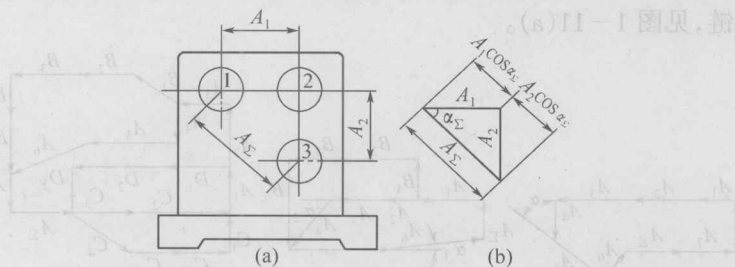


图 1-9 平面尺寸链

在箱体、机体等零件上的孔系加工过程中, 有关坐标尺寸和孔心距设计要求往往共同构成一种平面尺寸链, 通常称作坐标尺寸链。

### 3. 空间尺寸链

各组成环尺寸不处于同一平面内或者互相平行的平面内, 由分布在三维空间内, 成角度关系的长度尺寸和位置精度构成, 而能形成空间封闭的多边形, 称为空间尺寸链, 见图 1-10。空间尺寸

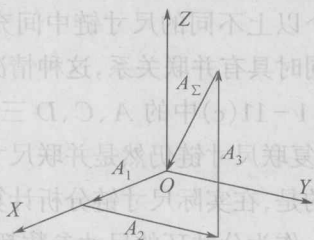


图 1-10 空间尺寸链