

《机械制造工艺学》第二分册

机械制造工艺规程制订及装配尺寸链

(第二版)

哈尔滨工业大学 上海工业大学 主编

上海科学技术出版社

《机械制造工艺学》第二分册

机械制造工艺规程制订 及装配尺寸链

(第二版)

哈尔滨工业大学 上海工业大学 主编

上海科学技术出版社

内 容 提 要

《机械制造工艺规程制订及装配尺寸链》为《机械制造工艺学》第二分册,内容包括:加工零件的设计基准与工艺基准的关系;工艺尺寸链计算;工艺规程制订程序;提高劳动生产率的途径;装配精度与零件精度间的关系;装配尺寸链计算;由零件加工误差决定的各种装配方法;以及成组技术、计算机辅助工艺过程设计、柔性制造系统、独立制造岛。本分册条理清晰、叙述简明。

本书读者对象:主要为高等工科院校机械制造专业师生及有关技术人员。

(附 二 册)

主 编 李 大 业 工 程 师 李 大 业 工 程 师 副

《机械制造工艺学》第二分册 机械制造工艺规程制订及装配尺寸链 (第二版)

哈尔滨工业大学 上海工业大学 主编

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路 450 号)

发行所上海发行所发行 商务印书馆上海印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 8 字数 180,000

1980 年 8 月第 1 版

1988 年 4 月第 2 版 1988 年 4 月第 8 次印刷

印数: 114,301—118,900

ISBN 7-5323-0513-9/TH·17(课)

定价: 1.50 元

编写说明

根据大专院校机械制造工艺及设备专业教学上的需要和有关工程技术人员的要求,东北工学院、哈尔滨工业大学、吉林工业大学、上海工业大学、华南工学院等发起并联合有关院校,共同组织编写了本专业的教材与教学参考书。其中《金属切削原理与刀具》、《金属切削机床设计》、《机床设计图册》、《机床夹具设计手册》、《机械制造工艺学》、《机床夹具设计》、《数控机床》等由上海科学技术出版社出版。

《机械制造工艺学》一书由哈尔滨工业大学、上海工业大学、吉林工业大学、大连工学院、沈阳机电学院、第一汽车制造厂工人大学、清华大学、北京工业大学、天津大学、西安交通大学、合肥工业大学、南京工学院、浙江大学、江西工学院、湖南大学、武汉工学院、昆明工学院等编写。

《机械制造工艺学》共分四册出版。第一册《机械制造工艺理论基础》;第二册《机械制造工艺规程制订及装配尺寸链》;第三册《轴、箱体、丝杠加工》;第四册《圆柱齿轮加工》。

本书主编单位为哈尔滨工业大学和上海工业大学。参加主编及审稿工作的有:哈尔滨工业大学侯镇冰、葛鸿翰、陶崇德;上海工业大学杨质苍、张景勘。此外还邀请了大连工学院王小华、山东工学院程韦德、清华大学朱耀祥、华南工学院苏树珊、沈阳机电学院经以广参加审稿。

本书在编写与审定过程中,哈尔滨工业大学、上海工业大学、华南工学院、昆明工学院、云南工学院、广西大学等曾做了大量的组织工作。

本分册《机械制造工艺规程制订及装配尺寸链》的编写人为上海工业大学张景勘(编写工艺规程制订);天津大学曾庆福、北京工业大学何振华、黄绍明(编写装配尺寸链)。本分册特邀审稿人为山东工学院程韦德。

本书不足之处,恳请读者批评指正。

一九八〇年一月

第二版说明

为了使本《机械制造工艺学》更好适应教学和生产的需要,特对第一版内容作了更新、精简、修正和补充。

本书是在主编单位、主编支持下,由我社邀请各位编者修改的,并由特邀修订人上海第二工业大学何绍杰(重点对第八章装配尺寸链)作进一步修改,以求书稿质量精益求精,更臻完善。

由于修改时间仓促,难免考虑不周,希请各位读者不吝指正,谢谢。

大概父交西, 学大郭天, 学大业工京北, 学大崇南, 学大人工 (徽南李州一第, 湖学申时团武
湖学工即灵, 湖学工乃危, 学大南隆, 湖学工西昌, 学大野南, 湖学工京南, 学大业工服合, 学

黄浦区图书馆藏二套；《新基础园艺工艺学》（张一第），由上海四行公共园艺工艺图书馆藏。

。《工部待制封國》冊四卷，《工部待制封國》冊三卷，《授士只圖發及百歸歸封封工
部待制。事詳工部待制及職主冊參。學大業工部待制學大業工部待制及百歸歸封封工
部待制。事詳工部待制及職主冊參。學大業工部待制學大業工部待制及百歸歸封封工

清华大学图书馆、湖南大学图书馆、上海交通大学图书馆、中国地质大学图书馆、中国科学院图书馆

。非工除恩前量天下端普等治太西，獨學工南云
經() 曉景將學大業工新土代人民處由() 封衣兒頭榮英百排整縣芝工盡歸財用() 册公本
批公本。() 册衣兒頭榮英() 即恩黃 半群博學大業工京北，册衣兒頭榮英() 册公本

月一五〇八六一

目 录

第七章 机械加工工艺规程制订	1
§7-1 概述	1
一、生产过程及工艺过程	1
二、机械加工艺过程	1
三、生产类型及工艺特点	2
四、基准	3
§7-2 工艺换算尺寸链	6
一、直线尺寸链	6
二、平面尺寸链	8
三、平面角度尺寸链	10
四、空间尺寸链	12
§7-3 制订机械加工艺规程的程序	19
一、零件图的审查	19
二、毛坯的选择	20
三、定位基准的选择	21
四、加工路线的确定	33
五、工艺装备的选择	38
六、加工余量的确定	39
七、工序尺寸及其公差确定	42
八、技术经济分析	50
九、工艺文件的编制	52
§7-4 制订机械加工艺规程的实例	53
一、零件的工艺分析	54
二、毛坯的选择	54
三、定位基准的选择	54
四、加工方法的选择	60
五、加工阶段的划分	60
六、加工余量、工序尺寸及其公差确定	60
七、工艺文件的编制	60
§7-5 提高劳动生产率的途径	60
一、缩短单件工时定额	61
二、实施多台机床看管	64
三、进行高效和自动化加工	65
第八章 装配尺寸链	67
§8-1 装配精度及其获得方法	67

一、装配精度的概念	67
二、获得装配精度的几种方法	67
§ 8-2 装配尺寸链分析	74
一、装配尺寸链的基本概念	74
二、装配尺寸链的组成和查找方法	75
三、装配尺寸链组成的最短路线(环数最少)原则	77
§ 8-3 装配尺寸链的计算方法	78
一、极值法	78
二、概率法	78
§ 8-4 装配尺寸链的解算步骤	81
一、互换法	81
二、分组互换法	81
三、固定调整法	82
四、修配法	84
§ 8-5 装配尺寸链分析解算实例	84
例1 用极值法解直线尺寸链	84
例2 用极值法解角度尺寸链	85
例3 用概率法解直线尺寸链	86
例4 解分组互换的三环尺寸链	88
例5 解调整补偿的装配尺寸链	88
例6 解修配补偿的装配尺寸链	89
例7 用装配尺寸链进行工艺分析	91
例8 分析包含动态因素的装配尺寸链	93
第九章 柔性制造技术	94
§ 9-1 成组技术	94
一、成组技术的统计依据	94
二、零件的成组分类编码	95
三、产品零件设计的成组技术	102
四、成组工艺	103
五、成组技术的效益	105
§ 9-2 计算机辅助工艺过程设计(CAPP)	106
一、CAPP 的基本原理	106
二、典型的 CAPP 系统	107
三、CAPP 的经济效益	115
§ 9-2 柔性制造方案	116
一、柔性制造系统	116
二、独立制造岛	120

第七章 机械加工

工艺规程制订

§7-1 概 述

一、生产过程及工艺过程

1. 生产过程

制造和修理产品所必需的全部劳动的总和称为生产过程。机器制造生产过程包括：生产手段的准备和工作地点的组织服务；材料和半成品的取得与保管；机器零件的各个加工阶段；产品装配；材料、毛坯、工件、成品的运输；生产各阶段的技术检查；成品包装和其它与产品有关的劳动。

2. 工艺过程

工艺过程为改变和逐步确定对象状态的那部分生产过程，是把原材料、半成品变为成品的相关劳动的总和。这是生产过程中最重要的部分。工艺过程按完成的先后分为：毛坯制造、热处理、机械加工和产品装配。本章主要讨论的是机械加工工艺过程及机械加工工艺规程的制订。

二、机械加工工艺过程

用机械加工方法，按一定顺序逐步地改变毛坯或原材料的形状、尺寸和材料性能，使之成为合格零件所进行的全部过程，称为机械加工工艺过程。

机械加工工艺过程由一系列工序组成，每一个工序又可分为若干个安装、工位、工步或走刀。

1. 工序

一个(或一组)工人在一台机床(或一个工作地点)上对一个(或同时几个)工件进行加工所连续完成的那一部分工艺过程称为一个工序。

2. 安装

在某一工序中，有时需要对零件进行多次装夹加工，每装夹一次所完成的那一部分工艺过程称为安装。

3. 工位

在某一工序中，有时为了减少由于多次装夹而带来的误差及时间损失，往往采用转位(或移位)工作台或转位夹具，工件在机床所占的每一个位置上所完成的那一部分工艺过程称为工位。

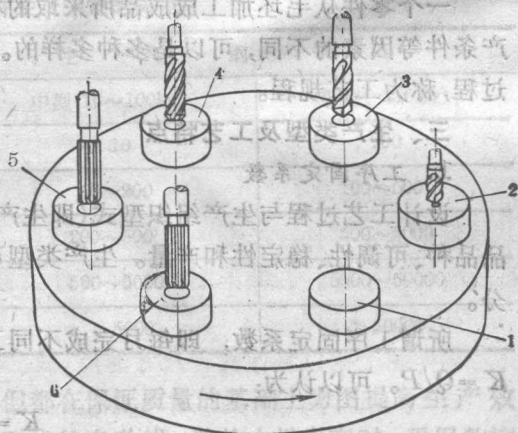


图 7-1 多工位加工

工位 1—装卸工件；工位 2—预钻孔；工位 3—钻孔；
工位 4—扩孔；工位 5—粗铰；工位 6—精铰

图 7-1 所示为在多工位机床上加工 IT7 级精度孔的例子。在该工序中工件仅安装一次,但利用回转工作台使每个工件能在六个工位上顺次地进行钻、扩、铰加工。

由此可见,采用多工位加工可以减少工件安装次数,提高生产率。

4. 工步

一道工序(一次安装或一个工位)中,可能需要加工若干个表面;也可能虽只加工一个表面,但却要用若干把不同刀具;或虽只用一把刀具,但却要用若干种不同切削用量分作若干次加工;在加工表面、切削刀具和切削用量(仅指转速和进给量)都不变的情况下所完成的那一部分工艺过程,即称为一个工步。

有时,为了提高生产率,还经常把几个待加工表面用几把刀具同时进行加工,这也可看作一个工步,称为复合工步。如图 7-2a 所示,为用两把铣刀同时加工,图 7-2b 为用两把车刀、一个钻头同时加工。

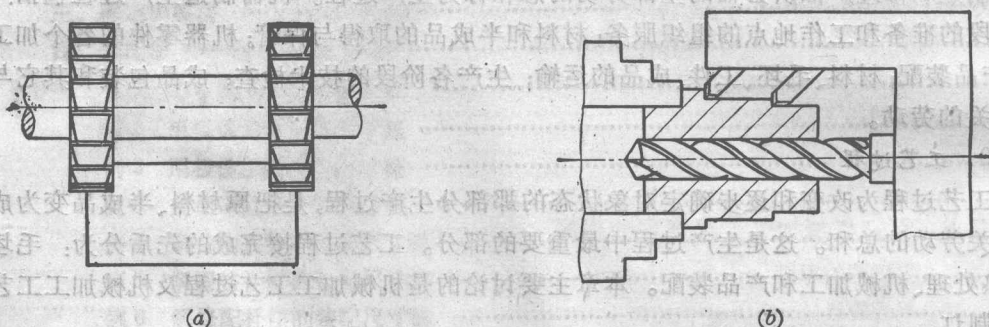


图 7-2 复合工步

5. 走刀

有些工步,由于余量较大或其它原因,需要同一刀具在同一切削用量(仅指转速及进给量)下对同一表面进行多次切削,这样,刀具对工件的每一次切削就称为一次走刀。

一个零件从毛坯加工成成品所采取的机械加工工艺过程(或工艺方案),由于产量及生产条件等因素的不同,可以是多种多样的。实际生产中用一定的文件形式规定下来的工艺过程,称为工艺规程。

三、生产类型及工艺特点

1. 工序固定系数

设计工艺过程与生产组织型式(即生产类型)密切相关。确定生产类型的基本特征是产品品种、可调性、稳定性和产量。生产类型可用反映工序重复程度的工序固定系数来定量划分。

所谓工序固定系数,即每月完成不同工艺工序全部数目和工作地点总数目之比,即 $K=Q/P$ 。可以认为:

$K=1$, 大量生产

$1 < K \leq 10$, 大批生产

$10 < K \leq 20$, 中批生产

$20 < K \leq 40$, 小批生产

如果有 12 个工作地点,第 1、2、3、7、10 地点是单工序;第 4、5、12 地点是双工序;其

余 4 个地点为三工序, 则

$$K = \frac{(1 \times 5) + (2 \times 3) + (3 \times 4)}{12} = 1.9$$

这时的生产性质属于大批生产。

当计算得 $K=1$, 即大量生产时, 还要计算节拍, 以满足年产量要求。节拍 t , 是周期地生产一件确定形状和名称的产品的时间间隔。

$$t = \phi \cdot 60 / N \quad (\text{min/件})$$

式中: ϕ ——全年机床工作总时数;
 N ——全年生产零件总数(生产纲领);

$$\phi = C \cdot m \cdot n \cdot \eta$$

式中: C ——每天工作班次(以 2 计);
 m ——每年周数(以 51 计);
 n ——每周一班工作时数(以 42 计);
 η ——设备利用系数, 中等复杂机床的 $\eta=0.95$ 。

2. 生产纲领

生产类型亦可用生产纲领来定量划分。

生产纲领通常也称为年产量。产品某零件的生产纲领 $N_{\text{零}}$, 除了国家规定的年生产计划以外, 还必须包括它的备品率 α 及平均废品率 β 。

$$N_{\text{零}} = Nn(1 + \alpha)(1 + \beta)$$

式中: N ——产品的生产纲领;
 n ——每一产品中包含该零件的数量。

零件的生产纲领确定后, 即可根据产品零件的大小、特征, 按表 7-1 确定生产类型。

表 7-1 生产类型与零件生产纲领的关系

生产类型	零 件 生 产 纲 领		
	重型(>100kg)	中型(10~100kg)	轻型(<10kg)
单件生产	5	10	100
小批生产	5~100	10~200	100~500
中批生产	100~300	200~500	500~5000
大批生产	300~1000	500~5000	5000~50000
大量生产	>1000	>5000	>50000

各种类型的生产各有其工艺特点(表 7-2), 但都在保证质量的基础上力图提高生产效率及自动化程度。在大批大量生产时, 采用各种形式的自动线; 单件小批生产时, 采用数控机床、加工中心及加工系统; 中批生产时, 广泛组织成组加工及可调自动线。

四、基准

基准是确定零件或部件上某些点、线、面的位置时所依据的该零件上的点、线、面, 也即尺寸标注、计算和测量的起点。

表 7-2 各种生产类型的特点及要求

	单件小批生产	中 批 生 产	大批、大量生产
产 品 数 量	少	中 等	大 量
加 工 对 象	经常变换	周期性变换	固定不变
机床设备和布置	采用万能设备按机群布置	采用万能和专用设备,按工艺路线布置成流水线	广泛采用专用设备和自动生产线
夹 具 和 工 具	必要时不采用专用夹具和特种工具	广泛使用专用夹具和特种工具	广泛使用高效能专用夹具和特种工具
刀 具 和 量 具	一般刀具和量具	专用刀具和量具	高效率专用刀具和量具
安 装 方 法	划线找正	部分划线找正	不需划线找正
工 作 性 质	根据测量进行试切加工	用调整法加工,有时还可组织成组加工	使用调整法自动化加工
零 件 互 换 性	钳工试配	普遍应用互换性,同时保留某些试配	全部互换,某些精度较高的配合件用配磨、配研、分组选择装配,不需钳工试配
毛 坯 制 造 及 加 工 余 量	木模造型和自由锻造毛坯精度低,加工余量大	金属模造型和模锻,毛坯精度中等,加工余量中等	采用金属模机器造型、模锻、压力铸造等高效率毛坯制造方法。毛坯精度高,加工余量小
工 人 技 术 要 求	高	中、低等	一 般
工 艺 规 程 的 要 求	只编制简单的工艺过程卡片	除有较详细的工艺过程卡片外,对重要零件的关键工序需有详细说明的工序操作卡	详细编制工艺规程和各种工艺文件
生 产 率	低	中	高
成 本	高	中	低

机械工艺学中称为基准的术语的有装配基准、设计基准、工序基准、定位基准和测量基准。

1. 装配基准

用来确定零件在产品中装配位置的点、线、面,称为装配基准。例如支承轴颈、支承轴肩是轴的装配基准。在装配图上标注零件位置尺寸的起点都是装配基准。

2. 设计基准

零件图上用以标注设计尺寸的点、线、面,称为设计基准。

设计人员常从零件的工作条件、性能和结构工艺性的要求出发,在零件图上以设计基准为依据标出一定的尺寸或相互位置要求,如平行度、垂直度、同轴度等。如图 7-3 所示,图 a 中 A 面与 B 面互为设计基准;图 b 中 D 为平面 O 的设计基准;图 c 中 $\phi 60\text{mm}$ 的圆柱面为 $\phi 40\text{mm}$ 圆柱面的设计基准。

3. 工序基准

在工序卡(或施工图)上,据以标定被加工表面位置尺寸(即工序尺寸)的点、线、面称为

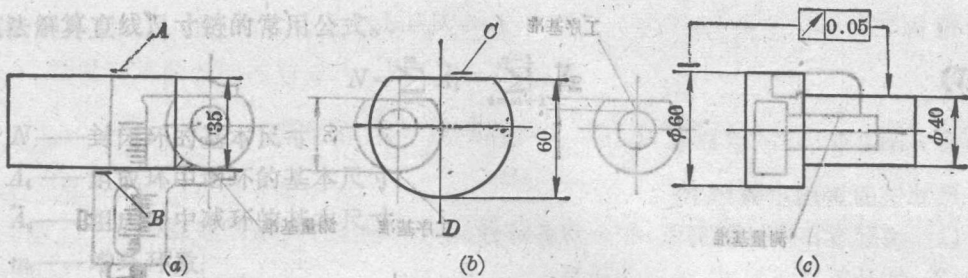


图 7-3 设计基准

工序基准。工序基准有时用作定位基准,有时则用作测量基准。

图 7-4 所示为钻孔工序的工序简图,图 *a* 及 *b* 表示对被加工孔的工序基准的两种不同选择。工序基准不同,工序尺寸也就因此不同。

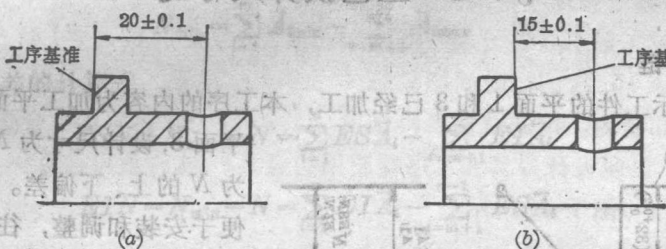


图 7-4 工序基准

4. 定位基准

定位基准是工件上用以与机床上、夹具上定位件相贴合的点、线、面。它使工件在工序尺寸方向上相对刀具获得确定的位置。

图 7-5 所示为加工某工件的两个工序简图,由于工序尺寸位置方向要求的不同,因此作为定位基准的表面也就不同,图 *a* 的底平面为加工上平面时保证工序尺寸 60 的定位基准;图 *b* 的两个内圆柱面及底平面为加工右平面时保证工序尺寸 40,并使加工面垂直于底面的定位基准。

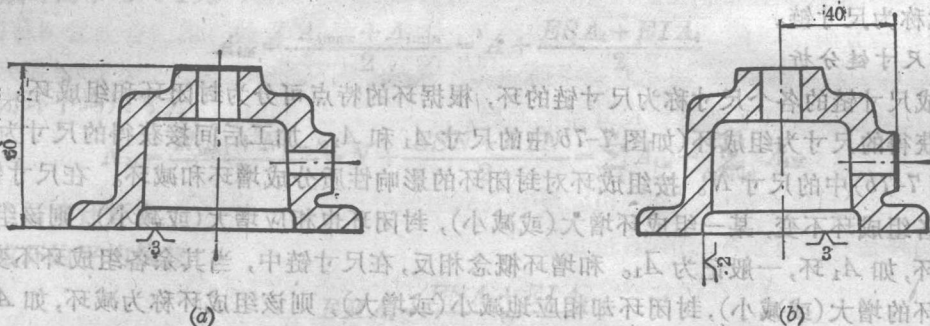


图 7-5 定位基准

5. 测量基准

测量基准是据以测量被检尺寸的点、线、面。图 7-6 所示为检验被加工平面的位置时的两种不同的测量基准。图 *a* 中小圆的上素线就是工序尺寸 10 的测量基准;图 *b* 中大圆的下

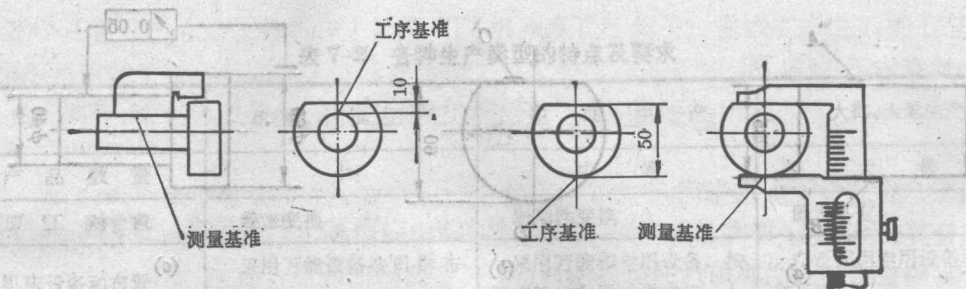


图 7-6 测量基准

素线是工序尺寸 50 mm 的测量基准。

§7-2 工艺换算尺寸链

一、直线尺寸链

设图 7-7a 所示工件的平面 1 和 3 已经加工，本工序的内容为加工平面 2，设计基准为平面 3，设计尺寸为 N ， ESN 和 EIN 为 N 的上、下偏差。在加工时，为了便于安装和调整，往往选平面 1 为定位基准，因而定位基准与设计基准不重合。

很清楚，采用这样的定位方案加工平面 2，设计尺寸及其上、下偏差是通过直接保证工序尺寸及其上下偏差

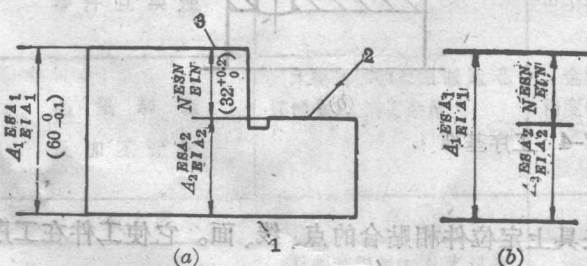


图 7-7 直线工艺尺寸链

即 $A_2^{ES/A_2^{EI}}$ 来间接获得的。究竟 $A_2^{ES/A_2^{EI}}$ 应该是怎样的数值才能间接保证设计尺寸及其上下偏差 $32^{+0.2}_{-0}$ 呢？这就需要进行基本尺寸及其上、下偏差(或公差)的换算。

为了换算出工序尺寸及其上、下偏差(或公差)，就必须研究设计尺寸与工艺尺寸之间的相互关系。把有关尺寸首尾相接，连成一个尺寸封闭图形，如图 7-11b 所示。这种尺寸封闭图形，就称为尺寸链。

1. 尺寸链分析

组成尺寸链的各个尺寸称为尺寸链的环，根据环的特点可分为封闭环和组成环。由加工直接获得的尺寸为组成环(如图 7-7b 中的尺寸 A_1 和 A_2)。加工后间接获得的尺寸为封闭环(如图 7-7b)中的尺寸 N 。按组成环对封闭环的影响性质分成增环和减环。在尺寸链中，如其余各组成环不变，某一组成环增大(或减小)，封闭环也相应增大(或减小)，则该组成环称为增环，如 A_1 环，一般记为 $\bar{A}_1$ 。和增环概念相反，在尺寸链中，当其余各组成环不变，某一组成环的增大(或减小)，封闭环却相应地减小(或增大)，则该组成环称为减环，如 A_2 环，一般记为 $\bar{A}_2$ 。

2. 尺寸链的计算式

解算尺寸链的方法，有极值法和概率法两种。解工艺尺寸链，目前在实际生产中较多的是采用极值法。概率法则用于自动化和半自动化生产中，或尺寸链环数较多的场合。下列

为极值法解算直线尺寸链的常用公式。

$$N = \sum_{i=1}^m \bar{A}_i - \sum_{i=m+1}^{n-1} \bar{A}_i \quad (7-1)$$

式中: N ——封闭环的基本尺寸;

$\bar{A}_i$ ——组成环中增环的基本尺寸;

$\bar{A}_i$ ——组成环中减环的基本尺寸;

m ——增环环数;

n ——包括封闭环在内的总环数。

代入式可得本例中 A_2 的基本尺寸, $A_2 = 62 - 32 = 28 \text{ mm}$ 。

极限尺寸的计算式

$$N_{\max} = \sum_{i=1}^m \bar{A}_{i\max} - \sum_{i=m+1}^{n-1} \bar{A}_{i\min} \quad (7-2)$$

$$N_{\min} = \sum_{i=1}^m \bar{A}_{i\min} - \sum_{i=m+1}^{n-1} \bar{A}_{i\max} \quad (7-3)$$

上偏差及下偏差的计算式

$$ESN = N_{\max} - N = \sum_{i=1}^m ES\bar{A}_i - \sum_{i=m+1}^{n-1} EI\bar{A}_i \quad (7-4)$$

$$EIN = N_{\min} - N = \sum_{i=1}^m EI\bar{A}_i - \sum_{i=m+1}^{n-1} ES\bar{A}_i \quad (7-5)$$

据此,即可算出本例中工序尺寸 A_2 之上、下偏差为:

$$ES A_2 = EI A_1 - EIN = (-0.1) - (0) = -0.1$$

$$EI A_2 = ES A_1 - ESN = (0) - (+0.2) = -0.2$$

因此根据上述计算即得

$$A_{2 \frac{ES A_2}{EI A_2}} = 28 \frac{-0.1}{-0.2} \text{ mm}$$

公差计算式

$$TN = ESN - EIN = \sum_{i=1}^{n-1} TA_i \quad (7-6)$$

平均尺寸计算式:

组成环的平均尺寸为

$$\bar{A}_{iM} = \frac{A_{i\max} + A_{i\min}}{2} = \bar{A} + \frac{ES\bar{A}_i + EI\bar{A}_i}{2} \quad (7-7)$$

封闭环平均尺寸为

$$N_M = \frac{N_{\max} + N_{\min}}{2} = N + \frac{ESN + EIN}{2} = \sum_{i=1}^m \bar{A}_{iM} - \sum_{i=m+1}^{n-1} \bar{A}_{iM} \quad (7-8)$$

平均偏差计算式:

组成环的平均偏差

$$EM\bar{A}_i = \frac{ES\bar{A}_i + EI\bar{A}_i}{2} \quad (7-9)$$

封闭环的平均偏差

$$EMN = \frac{ESN + EIN}{2} = \sum_{i=1}^m EM\bar{A}_i - \sum_{i=m+1}^{n-1} EM\bar{A}_i \quad (7-10)$$

只要求出 $EM\bar{A}_i$ 或 EMN , 即可方便地求出 $\bar{A}_{iM}$ 或 N_M 值。

$$A_{\Delta M} = A_i + EM A_i$$

$$N_M = N + EM N$$

从而将 $A_{\Delta M}^{ES/EL}$ 或 $N_M^{ES/N}$ 改注成 $A_{\Delta M} \pm \frac{TA_i}{2}$ 或 $N_M \pm \frac{TN}{2}$ 的形式。

尺寸链的解题步骤如下:

- (1) 按题意作尺寸链简图, 并分辨各环性质, 找出封闭环、增环和减环。
- (2) 按计算式求尺寸、公差并验算。

二、平面尺寸链

平面尺寸链中各环虽位于同一平面内, 但彼此不完全平行, 也即平面尺寸链是由成一定角度关系的直线尺寸构成的一个封闭的尺寸图形。

1. 尺寸链分析

图 7-8a 所示为一燕尾导轨横截面, 图中 45 ± 0.6 、 $15_{-0.2}^{+0.2}$ 及 $60^\circ \pm 30'$ 是该零件的设计尺寸和公差。加工时先用组合铣刀铣两侧斜面和顶面, 保证达到 $X_{ES/X}$ 及 $60^\circ \pm 30'$ 。然后磨削底平面, 在保证 $15_{-0.2}^{+0.2}$ 的同时间接保证 45 ± 0.6 。显然, 45 ± 0.6 受 $X_{ES/X}$ 、 $15_{-0.2}^{+0.2}$ 及 $60^\circ \pm 30'$ 的影响和制约。因此就需要换算出 $X_{ES/X}$, 并把它标注在组合铣削两侧斜面及顶面的工序简图上, 以便设计刀具和工序检验用的量具。这样就可按零件几何形状和加工顺序绘出尺寸链简图如图 7-8b 所示。

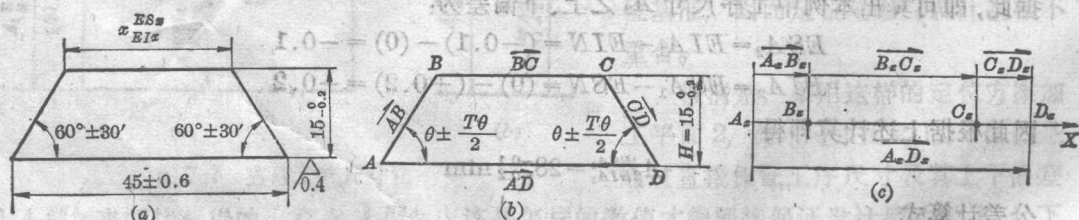


图 7-8 平面尺寸链

图中 $\overrightarrow{AB}$ 、 $\overrightarrow{BC}$ 、 $\overrightarrow{CD}$ 和 $\overrightarrow{AD}$ 各矢量构成一首尾相接的封闭系统。其中角度 $\theta \pm T\theta/2$, 尺寸 H 和 BC 是加工直接获得的尺寸, 而 AD 是加工后间接获得的尺寸, 也即是封闭环。合矢量 $\overrightarrow{AD}$ 为分矢量 $\overrightarrow{AB}$ 、 $\overrightarrow{BC}$ 和 $\overrightarrow{CD}$ 的矢量和。若选坐标轴 X 的方向与合矢量 $\overrightarrow{AD}$ 的方向一致, 将各矢量投影到 X 轴上后就得到 $A_e B_e$ 、 $B_e C_e$ 、 $C_e D_e$ 和 $A_e D_e$, 如图 7-8c 所示, 这时解平面尺寸链就变成了解直线尺寸链的问题。

2. 尺寸链的通用函数式

由于在平面尺寸链中, 直线组成环和直线组成环与封闭环的夹角都是影响封闭环的变数, 封闭环是各个组成环的函数, 故记作

$$N = F(A_1, A_2, \dots, A_{n-1}, f_1(\theta_1), f_2(\theta_2), \dots, f_q(\theta_q)) \quad (7-11)$$

式中: $N, A_1, A_2, \dots, A_{n-1}$ ——分别为封闭环和组成环的基本值;

$f_1(\theta_1), f_2(\theta_2), \dots, f_q(\theta_q)$ ——分别为各有关组成环基本尺寸与所选投影坐标轴间夹角的任意三角函数。

用极值法解平面尺寸链时, 须先根据尺寸链简图(各尺寸的几何关系)列出基本尺寸的计算方程后, 求基本方程的全微分表达式, 再用各环的公差 TA_i 、 $T\theta_i$ 和 TN 去替换式中各

变数的微分项 dA_i , $d\theta_i$ 和 dN , 即可导出公差的计算式。式 7-11 是基本尺寸的函数通式。式 7-12 则是计算公差的函数通式。

$$TN = \sum_{i=1}^{n-1} \left| \frac{\partial N}{\partial A_i} \right| TA_i + \sum_{i=1}^q \left| \frac{\partial N}{\partial \theta_i} \right| T\theta_i \quad (7-12)$$

式中: TN ——封闭环尺寸的公差;

TA_i ——各组成环直线尺寸的公差;

$\frac{\partial N}{\partial A_i}$ ——封闭环尺寸 N 对各组成环直线尺寸的偏导数, 其绝对值为尺寸 A_i 的误差传递比。

$T\theta_i$ ——有关组成环直线尺寸与所选投影坐标轴之间夹角的公差;

$\frac{\partial N}{\partial \theta_i}$ ——封闭环尺寸 N 对有关组成环直线尺寸与所选投影坐标轴之间夹角的偏导数, 其绝对值为角度 θ_i 的误差传递比。

当可以不考虑角度公差时, 角度尺寸就可以看作常量, 公差计算的一般关系式 7-12 就可简化为

$$TN = \sum_{i=1}^{n-1} \left| \frac{\partial N}{\partial A_i} \right| TA_i \quad (7-13)$$

由全微分表达式可见:

1) 偏导数的绝对值表示组成环尺寸变化对封闭环尺寸变化的影响程度。偏导数绝对值越大, 组成环尺寸变化对封闭环尺寸变化的影响也就越大, 反之越小。

2) 偏导数的正负符号表示组成环尺寸增大时引起封闭环尺寸的变化是增还是减。偏导数为正时组成环为增环, 反之为减环。

图 7-8 一例的基本方程为

$$N = x + 2H \operatorname{ctg} \theta$$

基本尺寸 $x = 45 - 2 \times 15 \operatorname{ctg} 60^\circ = 27.69 \text{ mm}$

对基本方程微分后, 若用 TH 、 $T\theta$ 、 Tx 、 TN 分别取代 dH 、 $d\theta$ 、 dx 和 dN , 则有

$$dN = \frac{\partial N}{\partial x} dx + \frac{\partial N}{\partial H} dH + \frac{\partial N}{\partial \theta} d\theta$$

和

$$TN = \left| \frac{\partial N}{\partial x} \right| Tx + \left| \frac{\partial N}{\partial H} \right| TH + \left| \frac{\partial N}{\partial \theta} \right| T\theta$$

可求得

$$TN = Tx + 2TH \operatorname{ctg} \theta + \frac{2H}{\sin^2 \theta} T\theta$$

$$0.12 = Tx + 2 \times 0.2 \times \operatorname{ctg} 60^\circ + \frac{2 \times 15}{\sin^2 60^\circ} \times 0.0175$$

$$Tx = 0.27 \text{ mm}$$

式中 $T\theta$ 用弧度值代入。

上偏差和下偏差的函数通式

根据封闭环尺寸对组成环尺寸偏导数的符号判别出增环后, 将增环的上偏差或下偏差代替公差计算关系式 7-12 中增环的增量, 将减环的下偏差或上偏差代替公差计算关系式 7-12 中减环的增量, 即可得到下列上、下偏差的计算关系式。

$$ESN = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^q \left(\left| \frac{\partial N}{\partial A_i} \right| ES\bar{A}_i + \left| \frac{\partial N}{\partial \theta_j} \right| ES\bar{\theta}_j \right) - \sum_{i=m+1}^{n-1} \sum_{j=p+1}^q \left(\left| \frac{\partial N}{\partial A_i} \right| EI\bar{A}_i + \left| \frac{\partial N}{\partial \theta_j} \right| EI\bar{\theta}_j \right) \quad (7-14)$$

$$EIN = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^q \left(\left| \frac{\partial N}{\partial A_i} \right| EI\bar{A}_i + \left| \frac{\partial N}{\partial \theta_j} \right| EI\bar{\theta}_j \right) - \sum_{i=m+1}^{n-1} \sum_{j=p+1}^q \left(\left| \frac{\partial N}{\partial A_i} \right| ES\bar{A}_i + \left| \frac{\partial N}{\partial \theta_j} \right| ES\bar{\theta}_j \right) \quad (7-15)$$

当角度公差可以不考虑, 即把角度看作常量时, 可得到下列上、下偏差的计算关系式:

$$ESN = \sum_{i=1}^m \left| \frac{\partial N}{\partial A_i} \right| ES\bar{A}_i - \sum_{i=m+1}^{n-1} \left| \frac{\partial N}{\partial A_i} \right| EI\bar{A}_i \quad (7-16)$$

$$EIN = \sum_{i=1}^m \left| \frac{\partial N}{\partial A_i} \right| EI\bar{A}_i - \sum_{i=m+1}^{n-1} \left| \frac{\partial N}{\partial A_i} \right| ES\bar{A}_i \quad (7-17)$$

在本例中 $ES\theta = +30' = +0.0087 \text{ rad}$, $EI\theta = -30' = -0.0087 \text{ rad}$; $ESN = +0.6$, $EIN = -0.6$, $ESH = 0$, $EIH = -0.2$, 代入式 7-15 及式 7-16, 即得

$$ESX = (+0.6) - 1.15 \times (0) + 40 \times (-0.0087) = +0.25 \text{ mm}$$

$$EIX = (-0.6) - 1.15 \times (-0.2) + 40 \times (+0.0087) = -0.02 \text{ mm}$$

经校核得

$$TX = ESX - EIX = (+0.25) - (-0.02) = 0.27 \text{ mm}$$

因此最后得

$$X_{ESX}^{EIX} = 27.94_{-0.27}^{+0.27} \text{ mm}$$

三、平面角度尺寸链

由角度环和位置环(垂直度、平行度)组成的尺寸链称为角度尺寸链。

1. 尺寸链分析

图 7-9 表示用角度样板测量工件上的角度, 当被测角度大于样板角度时, 直接构成具有公共顶角的平面角度尺寸链。工件被测角为封闭环 α_N , 样板角 α_1 和塞尺所对圆心角 α_2 (图 7-9a) 均为增环。它们构成的基本角度关系式为

$$\alpha_N = \alpha_1 + \alpha_2$$

式中的 α_2 可由塞尺厚度和长度 l 求得。

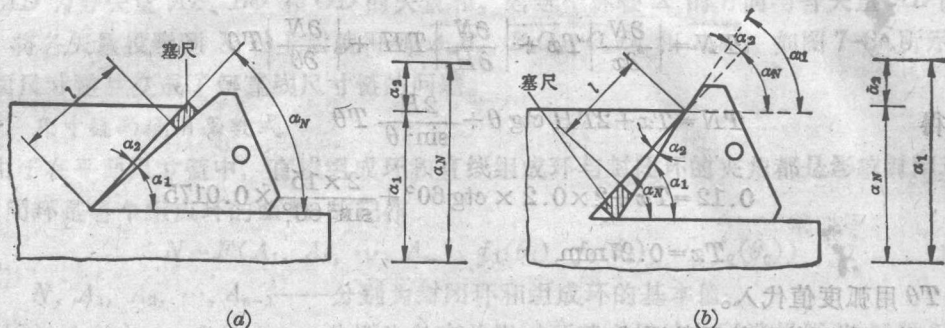


图 7-9 具有公共顶角的平面角度尺寸链

当被测角度小于样板角度时, 虽不直接构成公共顶角, 但如从工件顶面的尖角上引一平行于底面的虚线, 并延伸工件和样板的角度线, 就可转化为具有公共顶角的角度尺寸链(图