

高等学校试用教材

工程机械制造工艺学

重庆建筑工程学院 黄渝敏 主编

BAOJING XUE
JIAO CHU

机械工业出版社

前 言

本书是受全国高等工业学校工程机械类专业教材编审委员会的委托,按照1984年教材编审委员会重庆会议制定的教学大纲,在总结以前出版的本专业各种机械制造工艺学教材的基础上更新了内容,并根据工程机械的特点,吸取了其它专业各种机械制造工艺学教材中的有益部分编写的。

本书概念的说明、原理的论证、公式的推导,尽量严密清晰;数据的引用和现象的叙述,依据充分可靠。并贯彻理论结合实际、少而精和循序渐进的原则。书中注意到反映现代科学技术的新成就,编入了一些加深、加宽的内容,全书共分八章,包括机械制造工艺学的基础理论知识、工程机械典型零件加工及机床夹具设计等内容。

本书在一定程度上反映了工程机械制造的特色,全部采用国家规定的新标准及法定计量单位,并结合理论教学内容编写了必要的习题。

参加本书编写的人员有:重庆建筑工程学院张荣瑞(第二、七章)、黄渝敏(绪论、第一、五、六章);太原重型机械学院于纬武(第三、四章)、金德源、赵春明(第八章);哈尔滨建筑工程学院董锡翰(习题)。全书由重庆建筑工程学院黄渝敏任主编,重庆大学许香穗、徐发仁任主审。

在本书编写过程中,得到了吉林工业大学、柳州工程机械厂、四川建筑机械厂、贵阳矿山机械厂、泸州长江挖掘机厂和长江起重机厂等单位的大力支持,谨致谢意。

书中若有错误和不足之处,恳请读者批评指正。

编者

1988年10月

目 录

绪论	1
第一章 机械加工工艺过程概述	2
§ 1-1 生产过程和工艺过程	2
§ 1-2 机械加工工艺过程的组成	2
§ 1-3 生产纲领和生产类型	4
§ 1-4 工件的安装与获得加工精度的方法	6
第二章 机械加工质量	8
§ 2-1 机械加工精度概述	8
§ 2-2 工艺系统几何因素对加工精度的影响	11
§ 2-3 工艺系统中运动误差对加工精度的影响	17
§ 2-4 工艺系统中可控制因素对加工精度的影响	23
§ 2-5 工艺系统干扰因素对加工精度的影响	26
§ 2-6 加工误差的统计分析方法	36
§ 2-7 机械加工表面质量	47
§ 2-8 机械加工中的振动	51
§ 2-9 保证和提高机械加工质量的途径	57
第三章 提高机械加工劳动生产率的途径	59
§ 3-1 概述	59
§ 3-2 提高机械加工劳动生产率的工艺措施	60
§ 3-3 成组工艺	66
§ 3-4 计算机辅助制造CAM	73
第四章 结构工艺性	76
§ 4-1 概述	76
§ 4-2 零件机械加工的工艺性	76
§ 4-3 机器装配的结构工艺性	83
第五章 机械加工工艺规程的制订	87
§ 5-1 概述	87
§ 5-2 基准及其选择	90
§ 5-3 工艺路线的拟定	95
§ 5-4 加工余量、工序尺寸和公差确定	99
§ 5-5 工艺过程的技术经济分析	102
§ 5-6 工艺文件	105
第六章 工艺尺寸链	120
§ 6-1 概述	120
§ 6-2 尺寸链的计算	122
§ 6-3 加工尺寸链	130
§ 6-4 装配尺寸链	140

第七章 典型零件加工	154
§ 7-1 轴加工	154
§ 7-2 箱体加工	163
§ 7-3 圆柱齿轮加工	174
§ 7-4 油缸体加工	181
第八章 机床夹具设计	190
§ 8-1 概述	190
§ 8-2 工件在夹具中的定位	192
§ 8-3 工件在夹具中的夹紧	214
§ 8-4 夹具的其它组成部分	234
§ 8-5 夹具设计的方法和步骤	241
§ 8-6 机床夹具的发展方向	250
习题	253
参考文献	280

绪 论

机械制造工业在国民经济中起着重要的作用。机械制造工业要为国民经济的各个部门提供先进的技术装备,所以它又是技术改造的先行部门。

工程机械制造业是机械制造工业的一个专门部门,它主要是为基本建设提供机械装备。基本建设的顺利进行、施工机械化水平的不断提高,在很大程度上取决于工程机械制造业的发展。

工程机械制造业的发展与机械制造工业的发展是分不开的。我国机械制造具有悠久的历史。然而,在解放前我国机械制造业的发展异常迟缓,没有自己独立的机械制造业,只是维修来自国外的机械,就更谈不上能生产工程机械了。解放后,在中国共产党的领导下,我国机械制造业有了很大的发展,机械工业产品的生产已具有相当的规模,形成了产品门类基本齐全,布局比较合理的机械制造业体系。研制出一批具有世界先进水平的产品,不仅为生产建设提供了必要的装备,而且已开始进入国际市场。机械制造业的发展,必然会促进工程机械制造业的相应发展。目前已发展到能自行设计制造挖掘机械、铲土运输机械、工程起重机械、压实机械、桩工机械、钢筋混凝土机械、装修机械、路面机械、凿岩机械与气动工具、军用工程机械等产品。

随着国民经济与科学技术的发展,对工程机械产品的质量要求越来越高,产品更新换代的时间要求越来越短,产品的成本要求越来越低。因此,采用先进技术、先进设备、以及大力加强制造工艺方面的科学研究,提高工艺水平等,则是工程机械制造业迫切需要解决的繁重任务。

机械制造工艺是指应用机械设备和工艺装备制造机器的一门生产技术,其中包括了零件的加工、机器的装配以及必要的工艺装备的设计和制造。为了能够优质高产而又经济地制造机器,需要研究制造过程中的各种工艺问题,从而制订出正确的工艺规程。

工程机械制造工艺学,就是以工程机械制造中的工艺问题为研究对象的一门技术科学。由于生产中的工艺问题牵涉面极为广泛,因此工程机械制造工艺学主要是研究机械加工及装配方面的工艺问题。

工程机械制造工艺学是工程机械专业的主要课程之一。通过本课程的学习,应使学生掌握零件制造工艺的基本理论和机械加工工艺规程设计的基本原则,基本能够对具体的工艺问题进行分析并提出改进质量、提高生产率、降低成本的工艺措施;掌握零件机械加工和机器装配的结构工艺性的一般原则,设计的零件和机器应具有良好的结构工艺性;掌握保证机器装配精度的工艺方法;掌握夹具设计原理,具有设计夹具的初步能力,以便为参加工程机械的设计、制造、使用和维修工作奠定必要的基础。

第一章 机械加工工艺过程概述

§ 1-1 生产过程和工艺过程

一、生产过程

各种工程机械的生产都要经过一系列复杂的过程。例如，生产装载机的工厂，首先要把各种原材料（如钢材、生铁、工程塑料等）在毛坯车间制造成各种零件的毛坯，然后运到机械加工及热处理车间，进行零件的机械加工和热处理，制成所需要的机械零件，再运送到装配车间装配成装载机，最后经过检验、试车、油漆、包装出厂。因此，所谓生产过程是指由原材料到成品之间各个相互关联的劳动过程的总和。它包括：原材料的运输和保存，生产的准备工作，毛坯的制造，零件的加工与热处理，部件和机器的装配，检验、试车、油漆和包装等。

为了便于组织生产、提高劳动生产率和降低成本，现代机械制造的发展趋势是组织专业化生产，即一种产品的生产（尤其是比较复杂产品的生产），是分散在许多专业化工厂进行毛坯制造和零部件的加工，最后集中在一个工厂里制造成完整的机械产品。例如，一个装载机制造厂就要利用许多其它工厂的成品（如玻璃、电气设备、轮胎、仪表、标准件、某些零部件等），来完成整个装载机的生产过程。如挖掘机制造厂、推土机制造厂等，都是如此。一个工厂按一定的顺序将原材料制成该厂产品的全部过程，即为该厂的生产过程。

一个工厂的生产过程，又可分为各个车间的生产过程。某一车间所用的“原材料”，可能是另一车间的成品，而它的成品又可能是其它车间的“原材料”。例如，机械加工车间的“原材料”是铸造车间或锻压车间的成品，而机械加工车间的成品又是装配车间的“原材料”。

二、工艺过程

生产过程不仅包括与原材料改变为成品直接有关的主要过程（如机械加工、热处理、装配等），而且还包括与原材料改变为成品间接有关的辅助过程（如运输、保管、生产准备、检验等）。其中直接改变原材料的形状、尺寸、性能和位置，使之变为成品的主要过程称为工艺过程。因此，工艺过程又可具体地分为铸造、锻造、冲压、焊接、机械加工、热处理、电镀、装配等工艺过程。本课程主要是研究机械加工及装配工艺过程中的一系列问题。

机械加工工艺过程是指用机械加工方法，直接改变毛坯的形状、尺寸和性能，使之变为成品的那一部分工艺过程。把机械加工工艺过程的有关内容写成工艺文件，就是机械加工工艺规程。

零件依次通过的全部加工过程称为工艺路线（或工艺流程）。工艺路线是制订工艺规程和进行车间分工的重要依据。

§ 1-2 机械加工工艺过程的组成

机械加工工艺过程由一个或若干个顺序排列的工序组成，每一个工序又可分为一个或若

千个安装、工位、工步和走刀。毛坯依次地通过这些工序而变为成品。

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，称为工序。

如图1-1所示的阶梯轴，在单件、小批生产时，其工艺过程由三个工序组成，见表1-1。

随着车间的条件和生产类型不同，工序的划分及每一工序所包含的加工内容是不同的。例如，上述阶梯轴在大批、大量生产时，其工艺过程可以由五个工序组成，见表1-2。

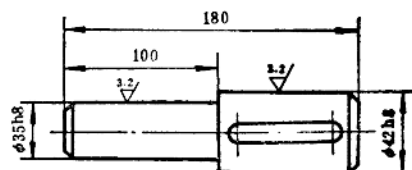


图1-1 阶梯轴

工序是工艺过程的基本组成部分，又是生产计划的基本单元。

表1-1 阶梯轴单件小批生产的工艺过程

工序编号	工 序 内 容	设 备
1	车一端面、打中心孔，调头车另一端面、打中心孔	车床
2	车大外圆及倒角，调头车小外圆及倒角	车床
3	铣键槽，去毛刺	铣床

表1-2 阶梯轴大批大量生产的工艺过程

工序编号	工 序 内 容	设 备
1	铣两端面、打中心孔	铣端面打中心孔机床
2	车大外圆及倒角	车床
3	车小外圆及倒角	车床
4	铣键槽	键槽铣床
5	去毛刺	钳工台

2. 安装

工件在机械加工前，必须确定它在机床上或夹具中的正确位置，这个过程称为定位。工件定位以后，为了在切削力、重力等作用下不改变其正确的位置，还需要把它压紧夹牢，这个过程称为夹紧。使工件在机床上或夹具中定位并夹紧的整个过程称为安装。

一个工序可以包括一次或几次安装。例如，在表1-1的工序1和2中都是两次安装，而在表1-1、表1-2中，其它工序都是一次安装。

3. 工位

一次安装的情况下，工件在机床上所占的每一个位置称为工位。

如图1-2所示，在铣床上加工一件具有台阶面的工件。当铣完工件的台阶面Ⅰ后，不卸下工件而仅将夹具旋转工作台转动180°，使台阶面Ⅱ进入加工位置，此工序包括两个工位。采用多工位加工，可以减少工件的安装次数，缩短辅助时间，提高劳动生产率。

4. 工步

当加工表面、切削工具和切削用量中的转速与进给量均保持不变时，所完成的那部分工序，称为工步。

一个工序包括一个或几个工步。如表1-1的工序1中，包括两次车端面、两次打中心孔，共四个工步。

当工件在一次安装下，可以连续进行几个完全相同的工步（仅被加工表面在工件上所占

的位置不同）时，这些重复进

行的工步，在工艺规程中可写

为一个工步。如图1-3所示，

在工件上钻四个 $\phi 15\text{mm}$ 的

孔，用一个钻头顺次加工，则

在工艺规程中可写为一个工

步——“钻四个 $\phi 15\text{mm}$ 的

孔”，用几把刀具同时分别加工

几个表面的工步称为复合工

步，复合工步在工艺规程中也

写作一个工步。如图1-4所示，

用两把车刀、一个钻头同时加

工，就是一个复合工步。

5. 走刀

在一个工步中，刀具相对

被加工表面移动一次，切去一

层金属的过程，称为走刀。

在一个工步中，若需切去

多层金属层，要分几次切

削。每切削一次就是一次走

刀。一个工步可包括一次或几

次走刀。

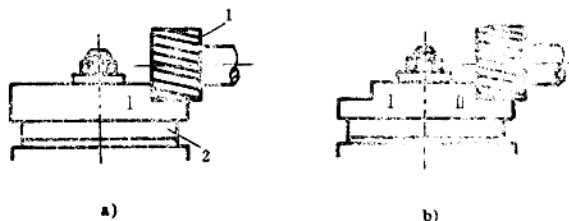


图1-2 一次安装两个工步

1—铣刀 2—夹头钻工作

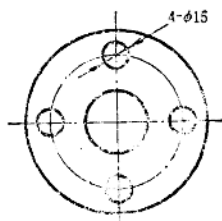


图1-3 包括四个相同加工
表面的工步

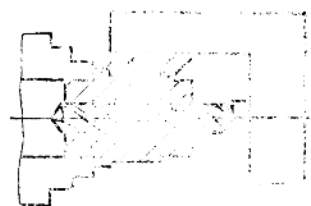


图1-4 复合工步

§ 1-3 生产纲领和生产类型

一、生产纲领

根据国家或市场的需要，结合本企业的生产能力编制的、企业在计划期内应当生产的产品产量，称为生产纲领。

生产纲领不同，制订的工艺规程也不相同。因此，制订的工艺规程只有和生产纲领相适应，才能取得最大的经济效益。

产品的生产纲领确定后，就可根据各种零件在产品中的数量、供维修用的备品、在整个加工过程中允许的总废品率来确定零件的生产纲领。

某零件的年生产纲领可按下式计算：

$$N_0 = Nn(1 + a\% + b\%) \quad (1-1)$$

式中 N_0 ——零件的年生产纲领, [N_0]为件/a;
 N ——产品的年生产纲领, [N]为台/a;
 n ——每台产品中该零件的数量, [n]为件/台;
 $a\%$ ——备品的百分率;
 $b\%$ ——废品的百分率。

二、生产类型

根据产品的大小、特征和生产纲领,一般可分为下列三种生产类型:

1. 单件生产

单个地生产不同结构、尺寸的产品,很少重复,甚至完全不重复,这种生产称为单件生产。例如,大型塔式起重机制造、重型机器制造、新产品试制等。

2. 成批生产

成批地制造相同的产品,而且通常是周期地重复生产,这种生产称为成批生产。例如,装载机生产、挖掘机生产、机床制造、液压传动装置生产等。每批制造的相同产品的数量称为批量。根据批量的大小,成批生产又可分为小批生产、中批生产和大批生产。小批生产的工艺特点和单件生产相似;大批生产的工艺特点和大量生产相似。

3. 大量生产

产品数量很大,大多数工作地点经常重复地进行某一零件的某一工序的加工,这种生产称为大量生产。例如,轴承、汽车和拖拉机等制造,通常是以大量生产的方式进行的。

由于同一种产品中,相同零件的数量可能不止一件,因此在成批生产产品的工厂,亦可能会有大量生产零件的车间或工段。这样,对一个车间或工段来说,最关心的还是零件的生产纲领和生产类型。

零件的生产类型不但与零件的生产纲领有关,而且还与零件的大小和复杂程度有关。生产类型与生产纲领的关系请参考表1-3。各种生产类型的工艺特点请参考表1-4。

表1-3 零件的生产类型与生产纲领的关系

生产类型	零件的年生产纲领/(件·a ⁻¹)		
	重型零件	中型零件	轻型零件
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

表1-4 各种零件的生产类型的工艺特点

特 点	单 件 生 产	成 批 生 产	大 量 生 产
零件数量	少	中等	多
加工对象	经常变换	周期性变换	固定不变
零件互换性	配对制造,无互换性,广泛采用钳工修配	普遍具有互换性,保留某些试配	全部互换,某些高精度配合件采用分组选择装配,配磨或配研

(续)

特 点	单 件 生 产	成 批 生 产	大 量 生 产
毛坯情况	木模手工造型或自由锻造, 毛坯精度低, 加工余量大	部分用金属模或模锻, 毛坯精度及加工余量中等	广泛采用金属模机器造型、模锻或其它高效方法, 毛坯精度高, 加工余量小
工艺装置	采用通用夹具、刀具和量具, 极少用专用夹具, 由划线试切法保证尺寸	广泛采用专用夹具、刀具和量具, 部分由划线试切法保证尺寸	广泛采用高效的专用夹具、刀具和量具, 由夹具及调板法自动化加工保证尺寸
工人技术要求	需要技术熟练的工人	需要一定熟练程度的工人	对操作工人要求一般技术, 对调整工人要求熟练技术
工艺规程	编制简单的工艺过程卡片	编制较详细的工艺卡片, 重要工序有工序卡片	编制详细的工序卡片及各种工艺文件
生产率	低	中	高
成本	高	中	低
发展趋势	箱体类复杂零件采用加工中心加工	采用成组技术, 由数控机床或柔性制造系统等进行加工	采用计算机控制的自动化制造系统进行加工

§ 1-4 工件的安装与获得加工精度的方法

一、工件的安装方法

由于生产类型、加工精度和工件大小的不同, 工件的安装方法有以下三种:

1. 直接找正安装

直接找正安装是利用千分表、划针等测量工具来直接找正工件在机床上的位置, 然后夹紧。

在车床上用四爪卡盘安装圆形工件, 以及在刨床和铣床上安装简单工件, 就经常采用这种安装方法。直接找正安装的精度主要取决于工人的经验、技术水平及其所用的工具 (如千分表、划针等), 而且找正很费时间, 生产率低。因此, 直接找正安装一般只适用于单件、小批生产, 以及工件的定位精度要求特别高 (如误差小于 $0.01 \sim 0.005 \text{ mm}$), 采用夹具而其本身的制造误差又不能保证精度的情况。

2. 划线找正安装

划线找正安装是先在工件的待加工表面上划线, 再利用划针等工具按所划的线找正工件在机床上的位置, 然后夹紧。

工程机械的一些箱体加工常采用这种方法。通过划线将工件需要加工的表面轮廓划出来, 可保证工件的加工表面具有足够的、均匀的余量; 通过划线可以检查毛坯的质量, 及时发现毛坯的缺陷 (如气孔、砂眼和余量不足等), 并采取相应措施进行补救, 以减少机械加工工时的浪费。但是, 由于划线本身有一定的宽度, 划线又有划线误差, 找正时还有观察误差, 所以划线找正安装的定位精度不高。另外, 还要增加一道划线工序, 生产率也不高。这种方法只适用于生产批量不大, 形状复杂, 毛坯精度较低, 以及大型工件的加工。

3. 采用夹具安装

采用夹具安装是利用机床上的夹具对工件进行定位和夹紧, 不需要进行找正。

这种方法可使工件安装方便迅速、稳定可靠，重复定位精度较高，但增加了夹具的设计制造费用，并且夹具的设计制造周期较长。因此，主要适用于成批和大量生产中。

二、获得加工精度的方法

加工精度是指零件加工后的实际几何参数（尺寸、形状和位置）与理想零件的几何参数相符合的程度。它一般可分为尺寸精度、形状精度和位置精度三个方面。

1. 获得尺寸精度的方法

（1）试切法 通过试切、测量、调整、再试切的反复过程，直到达到尺寸精度要求后，再切整个加工表面。

（2）调整法 按试切好的工件尺寸或按对刀样板，调整好刀具与工件的相对位置，然后进行一批工件的加工。

（3）定尺寸刀具法 用具有一定形状和尺寸的刀具加工，使加工表面得到要求的形状和尺寸。例如，钻孔、铰孔、拉孔、攻丝和用铣刀铣槽等。

（4）自动控制法 用测量装置、进给装置和控制系统组成一个自动加工的循环过程，使加工过程中的测量、补偿调整和切削等一系列工作自动完成，来获得所要求的尺寸精度。

2. 获得形状精度的方法

（1）轨迹法 这种方法是依靠刀具与工件的相对运动轨迹来获得工件的形状精度。例如，一般的车削、刨削、端铣以及用靠模进行仿形加工等。

（2）成形法 利用刀具刃口形状，作成工件形状的偶件，来加工工件以获得工件的形状精度。例如，用成形车刀加工回转曲面、成形刨削、拉削、螺纹切削等。

（3）展成法 刀具与工件要作具有严格运动关系的啮合运动，以获得工件的形状精度。例如，滚齿、插齿、剃齿等齿形加工。

3. 获得位置精度的方法

（1）一次安装获得法 通过工件在一次安装的加工中，来获得各加工表面之间的相互位置精度的方法。例如，轴类零件上的外圆柱面之间的同轴度，箱体零件上孔系中的各孔之间的同轴度、平行度和垂直度，盘形齿轮上的孔与端面的垂直度等就可用一次安装法来获得。

（2）多次安装获得法 通过工件在多次安装的加工中，来获得各加工表面之间的相互位置精度的方法。例如，当采用通用机床加工时，箱体零件上的平面与平面之间的平行度、垂直度，孔与平面的平行度、垂直度等就需要用多次安装法获得。

必须指出，一般尺寸、形状和位置精度是相互关联的，因此获得加工精度的某一种方法，是指主要获得某一方面精度的方法而已。

第二章 机械加工质量

保证机械产品质量是机械制造的首要任务。机械产品的质量是由零件的加工和装配而达到它所要求的技术指标,因此机械加工工艺必须有效地保证与提高零件的加工质量。

机械产品的质量包括:性能指标、运动平稳性、工作可靠性、寿命和外观等。

零件的加工质量包括:加工精度和表面质量两部分。由于零件的加工一般是在不同的设备上经很多工序加工的,每个工序又是在三维空间状态下受许多因素综合影响,这样就使保证质量成为十分错综复杂的影响关系。所以分析研究零件加工质量的问题是相当繁琐的,需要应用系统的理论分析与估计,用先进的测试方法来评价,并采用有效的技术措施补偿修正,从而提高零件加工质量。

本章将对分析零件加工质量的方法与措施,作概括的介绍。

§ 2-1 机械加工精度概述

一、加工精度的特点

机械加工精度的定义,如前章所述是指零件的尺寸、形状、表面位置的实际值相对理论值的符合程度。相差的程度即所谓的误差。

零件经机械加工后不能得到绝对准确的尺寸和形状,必然有误差产生。加工精度是以误差大小与方向来衡量和评价的,所以研究加工精度的实质也就是研究误差产生的因素与状态,从而采取措施保证规定的加工精度。为此要对产生加工误差的因素进行预期估计与控制。

从零件加工后产生误差的特征来分析,机械加工精度有以下一些特点:

(1) 在一定的机床上应用某些刀具或工具,采取一定的加工方法对某种零件进行加工,所能达到的加工精度有一定的特定范围,即产生误差在一定的范围之内。

(2) 对具体加工某一个零件时,所产生的误差,是在上述误差范围中的某一实际数值,这个实际误差在上述范围中是任意的随机数量,可能偏大,也可能偏小。

(3) 分析加工精度有两种不同的观点:一种是分析产生最大误差的原因和数值,通过改进设备和加工工艺,绝对保证产品加工精度。另一种是分析产生误差的可能范围和误差的平均数值,从而实现误差的有效控制。

(4) 在一定的生产条件下,一批零件的加工误差,在一定范围中有最大误差,也有最小误差,以中间数值的可能性居多。

(5) 在由机床、夹具、刀具和工件所构成的机械加工工艺系统中,它们都是在三维空间中配置的,产生的误差是空间误差的综合,所以零件加工后产生的尺寸误差、形状误差和相互位置误差,通常都是同时综合反映。在分析加工精度时,一般以对尺寸误差的影响为主要分析对象。

(6) 机械加工所能达到的加工精度,有一定的时间性,在已经调整好的设备和工具上

加工时, 随着时间的延续加工精度会发生变化, 产生误差随时间而增大。从一定时间内能够保持精度的观点看, 加工精度应当在相当长的时间内具有一定的可靠性。这种加工精度的可靠性, 可用重复加工某零件产生的误差大小来评价, 即所谓的“重复精度”。

二、研究加工精度的方法

机械加工精度的分析, 实质上就是误差因素和状态的分析, 一般有以下几种方法:

1. 误差因素分析法

工艺系统中各个部分具有各种误差产生的因素, 整个系统中总的误差是各种误差因素的综合。这种关系可用下式表达:

$$\Delta_r = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial y}{\partial x_i} \right)^2 \Delta x_i^2} \quad (2-1)$$

式中 Δ_r ——系统的综合总误差;

Δx_i ——影响系统误差的因素;

$\left(\frac{\partial y}{\partial x_i} \right)$ ——误差传递函数 (或系数)。

由这个式子可以看出, 当系统中各个因素的规律和它们的误差传递关系确定时, 就可计算系统总的误差, 并可由此实现控制总的误差, 保证与提高加工精度。

应用误差因素分析法估计与评价加工精度时, 各个误差影响因素都是按产生极限最大误差的状况来进行分析的。

2. 误差的统计分析法

误差的统计分析法是从产生误差的范围和误差的平均值 $\bar{x}$, 来分析工艺系统的误差状态, 应用概率论和数理统计学的方法, 估计与评价产生误差的可能性, 由此来控制误差。

由于对某一具体零件上误差因素综合影响的结果是随机的, 因此从实测一批零件的实际值来进行统计, 只从总体误差的范围来分析, 更能直接应用于生产, 通过控制总的综合误差, 实现加工质量的保证。

3. 误差因素的全微分法

当各个因素呈现函数关系时, 可以对各个误差因素求偏导数, 以全微分表示误差的综合关系, 这时:

$$\Delta y = \frac{\partial y}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial y}{\partial x_2} \Delta x_2 + \cdots + \frac{\partial y}{\partial x_n} \Delta x_n \quad (2-2)$$

式中 Δy ——各误差因素综合的总函数误差;

Δx_i ——各个独立变量的误差因素。

上述误差分析方法应用在各个误差因素 x_i 形成一定的函数关系时, 例如阿基米德曲面的加工, 和机器物理机械性能参数的保证。

三、影响加工精度的因素

工艺系统是三维空间中的几何构成体, 各个组成部分都有原始误差输入, 经由各种干扰因素和控制条件的作用和影响, 最后在被加工零件上形成总的加工误差。这种误差因素的影响关系可由图 2-1 所示的系统框图来说明。

由图可看出影响工艺系统的因素是相当复杂的, 其中主要的影响因素可分为以下四类:

1. 原始几何误差

原始几何误差是机床、夹具、刀具和工件的几何误差，经过空间几何量的转化，影响到被加工表面的某些部位上。这一类型的误差有：

- (1) 加工原理误差；
- (2) 机床制造误差；
- (3) 夹具制造误差；
- (4) 刀具制造误差；
- (5) 定位误差。

以上这一类型误差的分析计算，是应用平面几何方法，或者立体解析几何方法建立误差传递的几何关系来分析的。计算方法的特点是由“原始误差”推导反映在工件上的“诱导误差”，其计算纯属三角几何问题。

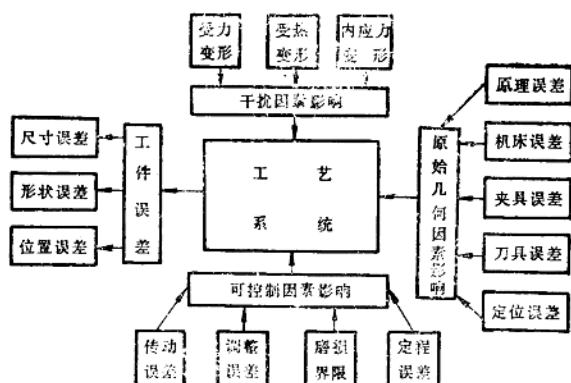


图2-1 误差因素系统框图

几何误差的影响往往是既产生尺寸误差，又有形状误差和相互位置误差，是误差综合影响，而又综合反映的复杂状态。

2. 运动误差

工艺系统中的运动误差是由机床或夹具的传动而产生的，其中有些是属于机床的动态精度，和机床的制造误差相类似；有些属于机床传动链的运动误差，这一类型可以看作是对工艺系统的可控制影响因素。这一类型误差有：

- (1) 机床主轴回转误差；
- (2) 工作台分度定位误差；
- (3) 机床或夹具的传动链误差。

这些误差的产生与系统中元件的结构参数和传动方式有关，大多数是通过运动而呈现或反映出来的。运动误差一般可分为：周期性运动误差和非周期性误差两种。主轴和分度机构的传动误差属于周期性误差，而直线移动的走刀运动误差，则为非周期性误差。

在运动误差中，周期性运动误差与运动副的几何偏心有关，而误差的周期性变化则与运动的速度有关。在运动件每一回转过程中，误差由最小值向最大值逐渐转化，然后又由最大值向最小值转变。由于误差是角位移的函数，所以最大误差的产生，有一定的初始相位角。在每一回转中误差变化和角位移的函数关系，可用正弦波曲线表达，如图2-2所示。

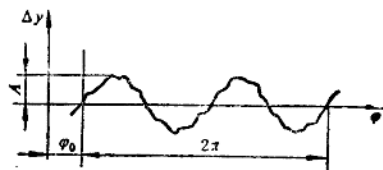


图2-2 周期性运动误差变化

由图可看出产生的最大误差为 $\delta_{max} = A$ ，而 A 的初始相位角为 φ_0 ， A 是运动的幅值，是由运动链中回转件的原始几何偏心引起的。

3. 工艺系统的受干扰变形

机械加工工艺系统是通过切削加工来改变工件尺寸和形状的，切削所产生的切削力和切

削热,都会影响系统的变形,从而引起工件产生误差。这种受负荷变形相当于对工艺系统产生的干扰,除与受力大小有关外,还直接与系统中组成元件的强度和刚度有关,刚度不同,则抗干扰的阻抗能力不同,产生的误差也就不一样。

工艺系统受干扰变形的影响因素有:

- (1) 工艺系统的受力变形;
- (2) 工艺系统的受热变形;
- (3) 工件内部的残余应力引起的变形。

由于工艺系统中各个组成部分在结构上大多是不规则的组合件,几个组成构件在加工过程中的相互位置随着切削运动而改变其在空间中的相互位置关系,因此实际产生的受负荷变形,随着相互位置的变化而改变。这一类型误差分析的特点,是查找出最薄弱的部位和环节,确定工件加工时可能产生的最大误差。

4. 工艺系统中可控制误差

在工艺系统中,无论是总体的误差分布范围,或者是个别组成环节的综合误差,甚至某些结构的实际误差,都是可能调节与控制的。例如在机床上安装刀具的位置和尺寸距离、运动的行程长度,希望能调节到理论的精确程度,但是受运动和各种外力的影响,实际上也会有误差产生。这类误差有:

- (1) 刀具的调整误差;
- (2) 机床行程运动机构的定程误差;
- (3) 刀具的磨损。

以上这些因素是工艺系统中可控制的误差影响因素,在干扰因素的影响下,产生误差的状态随时间而变化,经过一定的时间加工后,需要重新调整而进行补偿,重新调整后误差可以修正和减小。工艺系统的传动误差有时也是可控制的误差,可以实现调节与控制。

§ 2-2 工艺系统几何因素对加工精度的影响

在工艺系统中,机床、夹具、刀具和工件及其有关的结构,都是以具体的几何形状而存在的,各个组成部分制造时已有几何误差,将使工件产生尺寸误差、形状误差和位置误差。在这些误差因素中,关于定位误差的分析与计算,将在后面夹具设计一章中分析,这里只就机床、夹具和刀具制造误差对工件加工精度的影响作一些介绍。

一、机床几何误差的影响

在机床上用刀具来加工工件时,机床主轴和工作台或机床导轨形成一个工作空间,这个工作空间可用三维坐标系来确定它们的空间位置关系。机床主轴箱的安装,以及工作台或床身导轨都有本身的制造误差,这些原始的制造误差将影响机床运动的直线度、平行度以及对主轴线的垂直度,从而使切削形成的表面也相应地产生加工误差。

机床上有关部件制造精度对工件加工误差的影响在各种机床上是不同的,而且沿空间坐标轴各个方向的实际误差也有很大差异。机床原始制造误差可由沿各坐标轴方向的误差分量来表达。这种原始误差对工件影响作用,随工件的具体结构形式和切削形成状态而会有不同影响,可能产生尺寸误差,也可能同时还有形状误差和位置误差。

在一般机床上加工工件时,影响加工精度的主要因素有:

- (1) 机床导轨沿两坐标方向的直线度误差;
- (2) 机床导轨之间的平行度和垂直度误差;
- (3) 机床工作台与主轴轴线的垂直度误差;
- (4) 机床工作台的平面度误差;
- (5) 机床主轴滑动套筒移动的直线度误差。

下面以车床为例(如图 2-3),建立以主轴轴线和主轴锥孔前面构成的空间坐标系来分析机床几何精度对工件加工精度的影响。

1. 车床导轨直线度误差对加工精度的影响

从图 2-3 中导轨的位置可以看出,床身导轨应当与主轴中心线 $o-o'$ 相关的 $x-o-y$ 坐标平面,及 $x-o-z$ 坐标平面平行。但是由于床身加工和变形等原因,实际上床身导轨会产生相对两坐标平面的倾斜和弯曲。

当工件在机床上进行切削加工长圆柱表面时,刀架是沿床身导轨纵向移动而实现切削的,床身导轨的直线度误差使刀尖相对主轴轴线 $o-o'$ 的距离尺寸改变,引起被加工直径产生误差。

(1) 床身导轨在垂直面内 (xoz) 的直线度误差

由于床身导轨在垂直面内的直线度误差,将引起刀具产生垂直位移 Δz (图 2-4 a) 对工件直径的影响为:

$$\Delta z^2 + R^2 = (R + \Delta R)^2 \quad (2-3)$$

式中 ΔR ——工件的半径误差;

R ——工件半径。

上式中, ΔR^2 数值很小可以忽略不计,则有:

$$\Delta R = \frac{\Delta z^2}{2R}$$

即工件的直径误差为:

$$\Delta D = \frac{\Delta z^2}{R} \quad (2-4)$$

由上式可看出,刀具垂直位移误差 Δz 对工件直径的影响是很小的。

(2) 床身导轨在水平面 (xoy) 的直线度误差

导轨在水平面内的直线度误差,将引起刀具产生水平位移 Δy (图 2-4 b)。从图 b 可看出, Δy 将直接影响工件直径产生误差,这时 $\Delta y = \Delta R$, 在直径上为 $\Delta D = 2\Delta y$ 。

2. 车床床身导轨沿坐标轴方向平行度误差对加工精度的影响

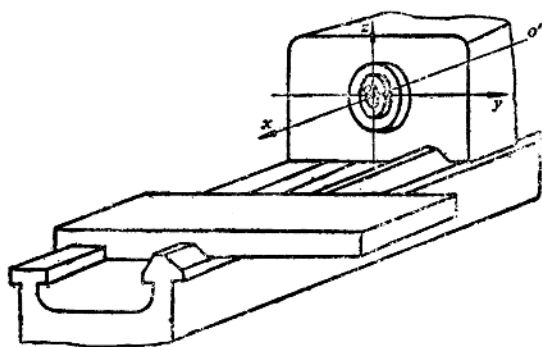


图2-3 车床的空间坐标系

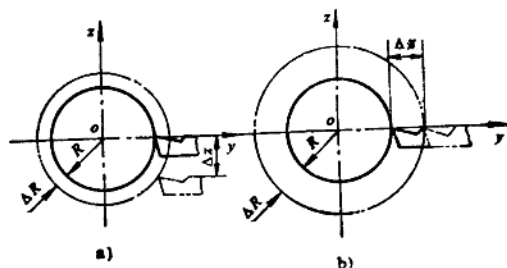


图2-4 刀具在不同方向上的位移对工件直径的影响

床身导轨的平行度误差,将使刀架运动产生倾斜,刀架在各个方向的倾斜是各不相同的。

当相对 $x-o-y$ 平面沿 x 轴方向产生倾斜时,导致刀具产生 z 轴方向位移误差 Δz ,如前所述,对工件直径误差的影响较小。

当相对 $x-o-z$ 坐标平面沿 z 轴方向产生倾斜时,导致产生 y 向位移误差 Δy ,将会直接影响工件直径误差 ΔD 。

当相对 $x-o-y$ 坐标平面沿 y 轴方向产生倾斜时,对工件的影响如图 2-5 所示。

由图可看出,当导轨倾斜而产生误差 ΔH 时,对工件直径影响为:

$$\Delta D = 2\Delta R = 2\left(\frac{H}{B}\right)\Delta H \quad (2-5)$$

式中 H ——车床主轴中心高度;

B ——车床导轨宽度。

一般车床 $\frac{H}{B} \approx \frac{2}{3}$, 因此导轨倾斜的原始误差 ΔH , 反映在工件直径上的误差 ΔD 有所放大,其影响是较为显著的,不应忽视。

3. 车床导轨几何精度对工件形状精度的影响

导轨的直线度误差和平行度误差在各个坐标轴方向都可能产生。当刀架拖板沿 x 轴纵向移动时,各个方向的误差分量同时综合反映,综合影响的结果在沿 x 轴方向各个径向截面中,在各个切削行程的瞬时状态,都是不一样的。这种空间状态的误差综合是很复杂的,同时有尺寸误差、形状误差和表面相互位置误差存在,其中影响较大的,主要表现为对工件圆柱度的影响,以及对端面垂直度的影响。

导轨几何精度的原始误差,在三维空间中任意部位的误差分量,都可能导致沿三个坐标轴 x 、 y 、 z 方向的位移误差和转角误差。这些原始误差为:

(1) 沿 x 轴方向的位移误差 Δx_i 。这一部分误差对工件的圆柱度误差影响极小,但影响加工端面的垂直度误差。

(2) 沿 y 轴方向的位移误差 Δy_i 。这一部分误差直接影响工件直径误差 ΔD 。

(3) 沿 z 轴方向的位移误差 Δz_i 。影响工件的直径误差,但影响较小。

(4) 床身导轨相对 $x-o-y$ 坐标平面,沿 y 轴方向的倾斜。可看作是绕 x 轴产生的转角误差,以 $\Delta\theta$ 表示。

(5) 床身导轨相对 $x-o-y$ 坐标平面,沿 x 轴方向的倾斜,可看作是绕 y 轴产生的转角误差,以 $\Delta\phi$ 表示。

(6) 床身导轨相对 $x-o-z$ 坐标平面沿 x 轴方向的倾斜。可看作是绕 z 轴产生的转角误差,以 $\Delta\psi$ 来表示。

在以上各个误差分量中,机床导轨直线度误差,反映空间位移误差 Δy_i 和 Δz_i ; 导轨的平行度误差和前后导轨的倾斜,则反映空间角度误差 $\Delta\theta$, $\Delta\phi$ 和 $\Delta\psi$ 。

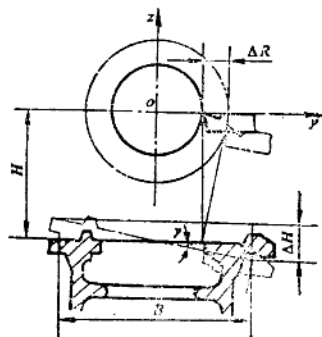


图2-5 导轨倾斜对工件直径的影响