

高等学校轻工专业试用教材

# 计时仪器制造工艺学

牟景林 龚振起 主编

.06

轻工业出版社

## 内 容 简 介

本书共分十章，分别介绍了计时仪器工艺规程制定的基本概念、机械加工精度与表面质量、夹具设计基础、冲压工艺、纵切单轴自动车床加工、计时仪器典型零件的加工、特种加工、塑料零件加工、装配工艺及结构工艺性等内容。阐述各部分的制造工艺、专用设备及工艺装备设计。本书可作为高等学校有关专业的教材，亦可供有关方面技术人员参考。

## 高等学校轻工专业试用教材

### 计时仪器制造工艺学

牟景林 龚振起 主编

\*

轻工业出版社出版

(北京广安门南滨河路25号)

北京龙华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

\*

787 × 1092 毫米 1/16 印张: 21 字数: 472 千字

1989年4月 第一版第一次印刷

印数: 1—900 定价: 5.35 元

ISBN 7—5019—0579—7 / TH · 018

## 前 言

《计时仪器制造工艺学》是按照1984年10月轻工业部计时仪器专业教材编审委员会会议制定的教学大纲，由哈尔滨工业大学编写，天津大学负责审查的教材。

本书是在原《机械手表制造工艺学》的基础上重新改编的，增加了工艺理论基础、特种加工和塑料零件加工等内容，减少了手表典型零件加工的内容。

本书由牟景林、龚振起主编，匡之衡主审。第一、二、三、五、六、八、十章由龚振起编写，第四章由杨乐民编写，第七章由朱宪德编写，第九章由牟景林编写。

由于时间紧和我们的水平有限，书中难免存在不足之处，恳请读者提出宝贵意见，以便今后进一步修改。

哈尔滨工业大学  
时间计控技术与仪器专业

# 目 录

第一章 制定工艺规程的基本概念.....	(1)
§ 1-1 生产过程与工艺过程 .....	(1)
§ 1-2 工艺规程及其在生产中的作用 .....	(1)
§ 1-3 工艺过程的组成 .....	(2)
§ 1-4 生产类型与生产规模 .....	(3)
§ 1-5 制定工艺规程的原则和方法 .....	(4)
第二章 机械加工精度与表面质量.....	(6)
§ 2-1 机械加工精度概述 .....	(6)
§ 2-2 零件的尺寸精度 .....	(6)
§ 2-3 零件的形状精度 .....	(13)
§ 2-4 零件表面的位置精度 .....	(20)
§ 2-5 加工过程中其它因素对加工精度的影响 .....	(22)
§ 2-6 机械加工表面质量 .....	(30)
第三章 夹具设计基础.....	(39)
§ 3-1 夹具概述 .....	(39)
§ 3-2 工件的定位 .....	(40)
§ 3-3 工件的定位方法及定位元件 .....	(46)
§ 3-4 工艺尺寸换算 .....	(57)
§ 3-5 工件的夹紧 .....	(60)
§ 3-6 夹具设计步骤 .....	(71)
第四章 冲压工艺.....	(73)
§ 4-1 概述 .....	(73)
§ 4-2 冲裁 .....	(75)
§ 4-3 冲裁模 .....	(81)
§ 4-4 精密冲裁 .....	(91)
§ 4-5 修正 .....	(96)
§ 4-6 成型工艺 .....	(101)
§ 4-7 冲压设备.....	(111)
第五章 纵切单轴自动车床加工 .....	(118)
§ 5-1 概述.....	(118)

§ 5-2	纵切单轴自动车床的传动	(118)
§ 5-3	纵切单轴自动车床的主要组成部分	(120)
§ 5-4	纵切单轴自动车床的加工工艺方法	(127)
§ 5-5	工艺调整卡片及凸轮的设计计算	(132)
<b>第六章</b>	<b>计时仪器典型零件的加工</b>	<b>(149)</b>
§ 6-1	钟表齿轮加工	(149)
§ 6-2	擒纵调速机构主要零件的加工	(163)
§ 6-3	手表夹板加工	(184)
<b>第七章</b>	<b>特种加工</b>	<b>(194)</b>
§ 7-1	概述	(194)
§ 7-2	电火花加工	(194)
§ 7-3	电解加工	(214)
§ 7-4	电解磨削	(224)
§ 7-5	超声波加工	(225)
§ 7-6	激光加工	(229)
§ 7-7	电子束加工	(231)
<b>第八章</b>	<b>塑料零件加工</b>	<b>(234)</b>
§ 8-1	概述	(234)
§ 8-2	塑料零件的成型	(239)
§ 8-3	塑料模具设计	(253)
<b>第九章</b>	<b>机械计时仪器装配工艺</b>	<b>(269)</b>
§ 9-1	手表装配工艺	(271)
§ 9-2	成品表的检验	(304)
§ 9-3	手表机构的摩擦、磨损和润滑	(313)
<b>第十章</b>	<b>结构工艺性</b>	<b>(318)</b>
§ 10-1	概述	(318)
§ 10-2	零件的结构工艺性	(319)
§ 10-3	仪器的结构工艺性	(324)

# 第一章 制定工艺规程的基本概念

## § 1-1 生产过程与工艺过程

### 一、生产过程

产品的生产过程，是指将送入工厂的原材料制成成品的全部劳动过程。其中包括：原材料的运输与保管，毛坯制造，零件加工，产品装配，检验及调试，油封和包装等。

在现代化生产中，某一产品的生产，往往是由许多工厂联合完成的，如手表的游丝、发条、宝石等元件是由专门工厂单独生产的。这样做，有利于零、部件的标准化和组织专业化生产。能在保证质量的前提下，提高劳动生产率和降低产品成本。所以生产过程这个概念可以是整个产品的制造过程，也可以是某一部件或零件的制造过程。

### 二、工艺过程

工艺过程是指直接改变毛坯形状、尺寸和材料性能的那一部分生产过程。

工艺过程可分为铸造、锻造、冲压、焊接、机械加工、热处理、装配等。其中铸造工艺过程是将熔化的金属或合金浇入已经制好的铸型中，经冷却凝固后获得所需铸件的过程；锻造工艺过程是利用锤（或压力机）对已加热的金属进行锻打，使金属改变形状和尺寸的过程；冲压工艺过程（如冲裁、弯曲、拉深等）是用压力改变毛坯形状和尺寸的无屑加工的过程；焊接工艺过程是将两块分离的金属接头部分加热到熔化或半熔化状态，加压或不加压填充其它金属，使之结合成一整体的过程；机械加工工艺过程是用刀具切去一层金属而使毛坯改变其形状和尺寸的过程；热处理工艺过程，如淬火、回火、退火等，是使金属材料的物理性能和化学性能发生很大变化的过程；装配工艺过程是将各合格零件按一定的技术要求装配成产品的过程。

还有很多，此处不再列举了。

## § 1-2 工艺规程及其在生产中的作用

任一零件的工艺过程，即由毛坯到零件制成的主要途径可以是多种多样的，我们可以选择其中最合理的一个，将工艺过程的各项内容写成工艺文件，称之为工艺规程。如机械加工工艺规程、热处理工艺规程等等。

工艺规程的作用归结起来有以下几点：

(1) 工艺规程是指导生产的技术文件。因为工艺规程是根据现有的科学技术水平和生产条件，在不断总结生产经验的基础上制定的。因此，只有按照工艺规程进行生产，才能把先进的科学技术和生产经验贯彻到生产中去。才能做到各工序紧密配合，保证产品质量，提高

产量。

(2) 工艺规程是生产管理工作的依据。有了工艺规程, 在新产品投入生产之前, 就可以根据它进行生产前的一系列准备工作。如准备加工零件的机床, 设计、制造专用的工、夹、量、模具等。工厂的计划和调度部门根据生产计划和工艺规程安排各零件的投料时间和数量, 调整设备负荷, 使生产有组织有节奏地进行。

(3) 工艺规程是设计和扩建工厂的基础。根据工艺规程、生产规模和协作配套条件等, 才能确定所需机床设备的品种和数量、车间面积、生产工人的工种和数量等等。

## § 1-3 工艺过程的组成

要编制工艺规程, 必须要了解工艺过程的组成。工艺过程的基本组成部分是工序。

### 1. 工序

工序是一个工人在一个工作地点或一部机床上, 在一个(或同时几个)零件上连续完成的工作。例如图1-1所示的手表柄轴零件, 在大量生产时, 可划分为下列工序来完成:

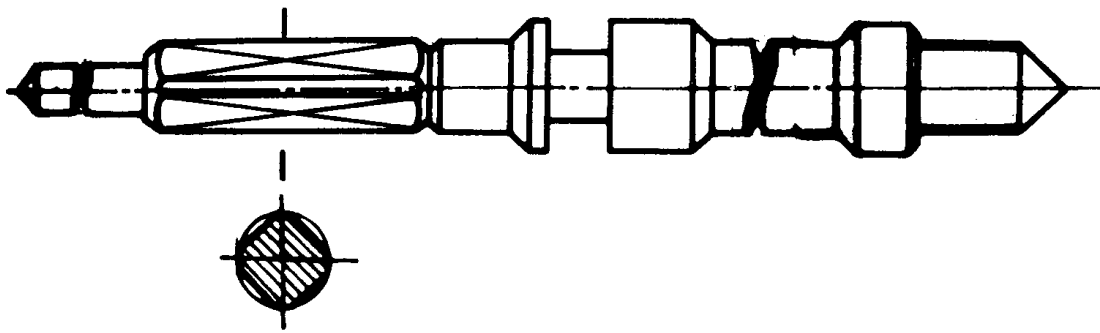


图 1-1 柄轴

- (1) 在自动车床上车外圆、倒角、套丝、切断。
- (2) 在铣方机上铣方。
- (3) 淬火。
- (4) 回火。
- (5) 串光。
- (6) 电镀。

### 2. 安装

在同一工序中, 每装卸一次工件称为一次安装。

### 3. 工位

同一工序中, 工件在机床上所占有的每一个位置称为工位。例如图1-1所示的柄轴, 在铣方时, 当铣完一个小平面后, 将工件转 $90^\circ$ , 改变工件位置后再铣另一个平面。这样直到铣完四个平面, 工件采用了四个不同工位。

### 4. 工步

也是工序的一部分, 即在加工表面、刀具、切削用量中的转速和进给量均保持不变时所

完成的工作。例如在自动车床上车削轴件时，弹簧夹头的松开、夹紧，主轴箱的前进与后退，刀具的送进与退出等皆为该工序的工步。

#### 5. 走刀

在一个工步中，有时金属层需经过几次重复切削才能去除，则每切去一层金属称为一次走刀。

在制定工艺过程时，常常按生产规模的大小来决定需要把工艺过程分析到什么程度。如单件小批生产时，由于加工的零件少，所以只考虑到工序。而大量生产中，有时连一些动作，如预进、送进、停车、退刀等都要考虑进去。

## § 1 - 4 生产类型与生产规模

制定工艺规程时，首先要考虑生产规模的大小。根据生产规模的大小，生产类型可以分为三种基本类型：单件小批生产、成批生产和大量生产。

### 1. 单件小批生产

在这种类型的生产规模下，产品的数量只有一批或几件。这种生产类型多属于试制。

由于单件小批生产的产品数量很少，多半采用万能机床设备和通用工夹具加工。由于在万能机床上加工的零件种类很多，经常变换，所以需要技术高的操作工人，机床排列采用“机群式”，即按机床种类排列。在同一机床上加工多种零件，完成多道工序，有效的切削加工时间少，因此劳动生产率比较低。

### 2. 成批生产

成批地生产产品称为成批生产（一般手表年产量在5万块左右即称为成批生产）。成批生产所用的机床设备和加工方法与批量有关。当产品种类多而批量不大时就接近单件生产，常使用万能机床和通用工夹具。当产品种类少而批量大时，成批生产也采用大量生产所用的专用机床设备和专用工夹具。

成批生产的特点是分期分批地投入和生产某一种产品，即经过一定时间，生产可重复一次，在每一个工作地点上的工作都是周期性的。

### 3. 大量生产

产品品种少而产量大的生产叫做大量生产（一般手表年产量在10万块以上称为大量生产）。大量生产时，在经济上值得把大量的费用化在专用机床设备和专用工夹具上，因此就有条件广泛采用现代最先进的加工方法，以降低生产成本，提高生产效率和减轻工人劳动强度。在大量生产时，由于每一部机床经常加工一种零件，所以机床可按工序的程序排列成流水线，以缩短半成品在机床之间的运输路程，节省辅助时间。

制定流水线作业法的工艺规程时，必须使完成每一道工序的时间相等，或者等于节奏的倍数。所谓“节奏”就是生产前后两个成品之间的时间间隔。“节奏”可由下式计算：

$$\tau = \frac{T}{N} \text{ (min)}$$

式中  $\tau$  ——节奏 (min)



$T$ ——一定的工作时间间隔 (min)

$N$ ——在此时间间隔内生产的成品数量

## § 1-5 制定工艺规程的原则和方法

### 一、制定工艺规程的原则

产品在正式投产前，应该进行充分的工艺准备工作，其内容包括：编制工艺规程、专用刀具、夹具和模具的设计、制造，编制检验规程和其它必要的技术规范及说明书。

编制工艺规程是工艺准备工作的第一项工作，也是最重要的一项工作。编制工艺规程的基本原则是：保证以最低的成本和最高的效率来达到产品图纸上的全部技术要求。

技术要求包括尺寸精度、形状精度、位置精度、表面质量和其它技术要求。

工艺人员的任务就是在保证产品质量，即保证规定的技术要求的条件下，最大限度地提高生产率和降低成本。

提高生产率和降低成本，二者是矛盾统一的关系。有时为了提高生产率采用了价格较高的机床设备，看来可能使产品成本提高。但由于生产率提高了，产品成本却下降了。因此我们必须综合地进行调查，正确认识保证质量、提高生产率和降低成本三者之间的辩证关系，在实践的基础上制定合理的工艺规程。

### 二、制定工艺规程的步骤和方法

制定零件的机械加工工艺规程，一般可按下列步骤进行：

#### 1. 研究分析产品的装配图和零件图

首先要对产品的装配图进行分析，以熟悉该产品的用途、性能及工作条件，并明确要加工的零件在产品中的位置与作用。然后对零件工作图进行分析和工艺审查：

(1) 检查图纸的完整性，即是否有足够的投影、剖视、剖面，全部尺寸、表面粗糙度，制造零件所用的材料是否标注齐全，对于零件的特殊要求(例如对热处理及表面处理等要求)是否给出。

(2) 分析图纸上的尺寸公差，表面形状和位置精度以及表面粗糙度等技术要求的合理性，找出其中最关键的要求，以便在拟定工艺路线时，选择适当的工艺方法予以保证。

(3) 审查零件的结构工艺性，即从工艺角度出发，分析零件结构的合理性。若零件的结构在某一生产规模下，以完全满足产品使用性能为前提，能够采用生产成本低、生产效率高的工艺过程，则其结构工艺性好，反之则不好。

如发现图纸在完整性、技术要求的合理性及结构工艺性等方面有缺点或错误，工艺人员应当及时同设计人员共同研究，并按照规定的审批手续对图纸作必要的修改和补充。

#### 2. 掌握生产类型

因为编制工艺规程必须了解生产类型后才能进行。如果是大量生产并采用流水作业，则应采用高效率的加工方法和机床设备，广泛应用专用的工艺装备。同时还要严格地平衡各工序的加工时间，使之按规定的节奏进行生产。而在单件小批生产中，则广泛采用万能机床和通用工艺装备，不需平衡各工序的时间，只需考虑各机床的负荷。且工艺过程也不必分得过

细，一般以工序为最小单元即可。

### 3. 确定毛坯

根据工作图和生产类型确定适当的毛坯制造方式，即选择铸坯、锻坯、棒料、型材、冲压等。

### 4. 拟订工艺路线

工艺路线的拟订，包括加工方法的选择，加工顺序的安排，基面的选择，怎样安装，采用什么机床及工、夹、量具等，最后达到产品图纸上所规定的技术要求。

为了确定合理的工艺规程，可以拟出几个工艺路线方案进行比较，从工厂的实际情况和经济成本考虑确定最佳方案。

### 5. 确定工序间加工余量、工序间尺寸及其公差。

### 6. 确定切削过程中的各工艺参数。

### 7. 确定各工序的工时定额。

一般由工厂中有经验的工时定额员，参照工厂的技术经济定额，根据各工序的余量和切削用量等进行计算确定。

### 8. 填写工艺文件。

填写工艺文件是编制工艺规程的最后一项工作，是全部工作的总结。工艺文件的格式与生产类型有关。单件小批生产时，多半只填一张工艺过程卡片。在卡片上填明各道工序名称，并对其加以说明：加工车间、机床设备名称型号、刀具、夹具、量具、工时定额等。

成批生产的工艺规程往往填写工艺卡片。其格式与工艺过程卡片相仿，只是内容较详细。除了工艺过程卡片上的各项外，很多正规工厂还规定了各个工步切削用量等加工条件和说明。

大量生产采用工序卡片。每一张工序卡片上有工序图，工序图上明显地表示出进行这一道工序时工件的安装方式，必须获得的尺寸和形位精度要求。卡片的内容包括了更多的规定和说明。

## 第二章 机械加工精度与表面质量

### § 2-1 机械加工精度概述

任何一台仪器的质量在相当程度上取决于所组成零件的质量。因此，在设计仪器上的每个零件时，都必须根据仪器的性能及每个零件的作用，对其提出各方面的质量要求。我们这里所说的精度，只是质量要求的一个方面。此外，还有强度、刚度、材料性能及表面质量等方面的要求。

所谓零件的精度，实际上包括设计精度和加工精度两个方面：

(1) 设计精度 即根据仪器的性能，对组成零件的各有关表面在尺寸、形状和位置三方面提出具有一定范围的精度要求，它们在零件图上是以公差表示的。

例如，图2-1所示的手表周历快拨杆钉，为了保证装配后的工作性能，设计者标出了尺寸和形位方面的精度要求，这就是设计精度。

(2) 加工精度 即指加工后的零件在尺寸、形状和表面相互位置三方面与理想状态相符合的程度，它们之间的差异则以加工误差表示。若此加工误差在零件的公差范围之内，则所加工的零件是合格的，否则就是废品或只能勉强处理使用。

任何加工方法都不能把零件加工得绝对准确，在形状、尺寸和表面相互位置三方面，总是存在着加工误差。加工误差越小，加工精度就越高。

从零件的设计来看，公差越严说明对此零件的精度要求越高。而从零件的加工来看，所产生的加工误差越小，则说明此零件的加工精度越高。但是，一般来说，在设计零件时，应在保证仪器性能的条件下，尽量放宽对零件的公差要求。在加工零件时，则应考虑如何能最高效、最经济地加工出合乎公差要求的零件。总之，无论是设计一个零件，还是加工一个零件，都不应盲目地追求过高的精度。

### § 2-2 零件的尺寸精度

#### 一、尺寸精度概述

尺寸精度是指对零件加工表面本身或各加工表面之间在尺寸方面的精度要求。如图2-1中的轴径尺寸、长度尺寸，仪器零件的孔径、孔中心距、高度、宽度和厚度尺寸等，均属于

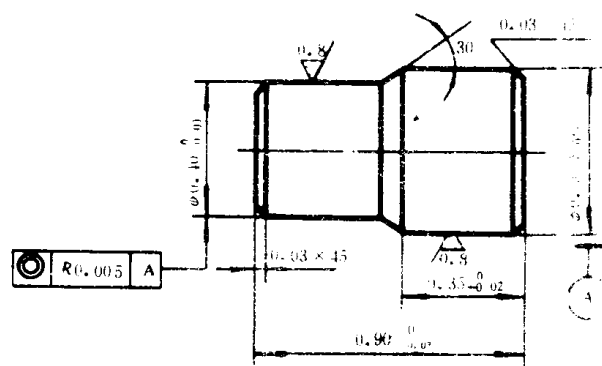


图 2-1 周历快拨杆钉

尺寸精度。

### 1. 获得尺寸精度的方法

对于零件的尺寸精度，可以分别用以下四种方法来获得：

(1) 试切法 即在零件加工过程中，不断地对已加工的尺寸进行测量，并相应调整刀具相对于工件加工表面的位置，进行试切，直到达到尺寸精度要求的加工方法。

如图2-2所示。(a)为车外圆，当被车削外圆直径尺寸接近要求时，再在端部试切一小段，量一下尺寸，根据剩下的余量，酌量进行下一次试切，直到达到尺寸要求，然后继续向前走刀，车出全长；(b)为手工精研长度块规，当接近要求尺寸时，不断试研测量，直到达到尺寸要求为止。

(2) 调整法 即按试切好的首件或对刀块最后调整好机床、夹具、刀具相对于工件的准确位置，并在保持此位置不变的条件下对一批零件进行加工的方法。例如图2-3，利用对刀块在铣床上铣槽；又例如，在六角车床或自动车床上加工轴类零件等。

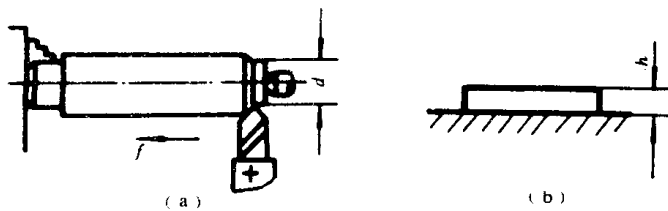


图 2-2 试切法

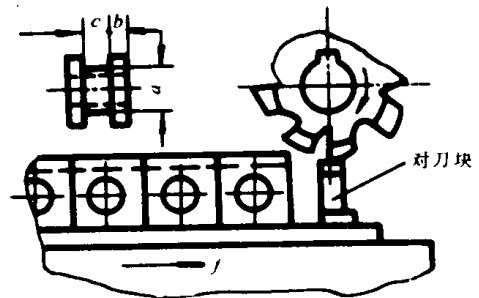


图 2-3 调整法

(3) 定尺寸刀具法 采用具有一定尺寸和形状的刀具来保证被加工零件尺寸精度的一种加工方法。一般多用于封闭表面或对称表面的加工。例如图2-4，用成型拉刀拉孔；用铰刀、钻头、扩孔钻、镗刀块加工孔；用丝锥、板牙加工螺纹等

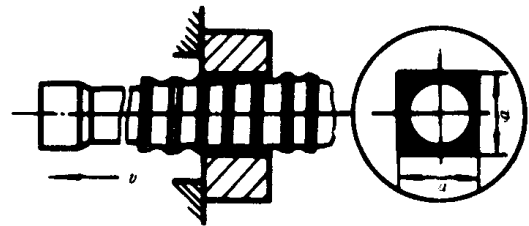


图 2-4 定尺寸刀具法

用定尺寸刀具加工，其加工精度主要由刀具本身精度来保证，生产率一般均较高。

此外，刀具的磨损和安装，以及切削时的条件，如切削热、刀瘤、冷却润滑等也都影响工件的尺寸精度。

(4) 自动控制法 即在加工过程中，通过由尺寸测量装置、动力进给装置和控制系统等组成的自动控制加工系统，使加工过程中的尺寸测量、刀具补偿调整和切削加工等一系列工作都自动完成，从而自动获得所要求尺寸精度的方法。例如，采用数字控制法加工零件，只要用对刀装置将刀具安装在一定的位置上，依靠穿孔带输入的信息，通过数控装置或电子计算机，就能使数控机床保证刀具和工件间按预定的相对运动动作，获得所要求的加工尺寸。

### 2. 影响尺寸精度的主要因素

虽然获得尺寸精度的方法有上述四种，但调整法是在试切好第一个零件，确定了刀具相对于工件的准确位置，并在保持此位置不变的条件下对一批零件进行的加工，其尺寸精度首先取决于试切的第一个工件；定尺寸刀具的尺寸精度取决于刀具制造时的尺寸精度，而这又直接与试切法的精度有关；自动控制法的实质就是试切法的自动化，它的基础也是试切法。因此，分析尺寸精度的问题，从根本上说，主要是分析研究如何提高试切法加工精度的问题。因此，影响获得尺寸精度的主要因素有：

- (1) 对加工工件的尺寸测量精度。
- (2) 加工时机床进给机构的微量进给精度。
- (3) 加工时的最小切削层的极限厚度。

例如，用试切法加工一个尺寸精度很高的轴颈。当试切一小段之后，首先要准确地测出试切后的这一小段尺寸，以便确定刀具是否需要进一步调整和调整量的大小。这就要求测量要准确。若测量后发现这一小段试切部分与要求尺寸相差极小，这时机床进给机构能否实现这样微小的刀具位置调整量是个关键问题。最后，当我们实现了微小的刀具位置调整量之后，又会出现这样薄的切屑刀具能否切下来的问题，这便是最小切削层的极限厚度问题。

## 二、尺寸测量精度

如前所述，零件尺寸精度的提高往往首先受到尺寸测量精度的限制。目前，有不少零件用现有的加工工艺完全可以加工得非常精确，但由于尺寸测量精度不高而无法分辨出来。尺寸测量的精度决定于：量具、量仪和测量方法的精度以及测量时的条件，也和测量者的技术经验有关。

在加工过程中，采用万能量具、量仪对零件尺寸进行测量时，常用以下两种测量方法：

### 1. 直接测量法

测量结果直接表示了被测零件的尺寸，如采用千分尺、游标卡尺、测长仪等测量零件尺寸。由于这些量具、量仪上有刻度尺，故可直接反映出被测尺寸的实际值。

### 2. 间接测量法

测量结果只是与被测零件尺寸有关的一些尺寸或几何参数，须再按它们之间的函数关系计算出被测零件的尺寸。如图 2-5，通过千分尺和三针测量螺纹中径即属间接测量。

量针直径：

$$d = \frac{t}{2 \cos \alpha / 2} \quad (\text{mm})$$

螺纹中径：

$$d_{\Phi} = M - d \left( 1 + \frac{1}{\sin \alpha / 2} \right) + \frac{t}{2} \operatorname{ctg} \alpha / 2 \quad (\text{mm})$$

式中  $M$ ——千分尺测得的数值 (mm)

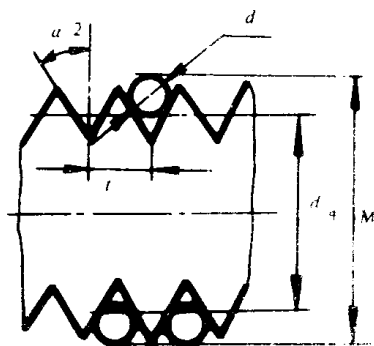


图 2-5 间接测量法

$\alpha/2$  ——牙形半角

$t$  ——螺纹螺距 (mm)

### 3. 影响尺寸测量精度的主要因素

采用上述测量方法对零件尺寸进行测量时, 从其测量过程、测量条件及使用的测量工具来看, 影响尺寸测量精度的主要因素有以下几个方面:

(1) 测量工具精度的影响 在对零件尺寸进行测量时, 所使用的测量工具不可能制造得绝对准确, 因而测量工具的精度必然对被测零件的尺寸测量精度有着直接的影响。对零件的尺寸进行测量时, 使用的测量工具本身精度必须高于被测零件尺寸所要求的精度, 否则就很难, 甚至不可能测量出零件尺寸的真实数值。因此, 在测量前, 首先要了解各种测量工具的精度, 以便根据被测零件尺寸的精度要求, 正确地选取相应精度的测量工具。

表 2 1 各种常用卡尺的极限误差

测 量 工 具 名 称	分 度 值 mm	用 途	被测尺寸范围 (mm)				
			0 ~ 10	10 ~ 50	50 ~ 80	80 ~ 120	120 ~ 180
			极限误差 $\pm \Delta$ (mm)				
游 标 卡 尺	0.10	测外尺寸	150	150	160	170	190
		测内尺寸		200	230	260	280
	0.05	测外尺寸	80	80	90	100	100
		测内尺寸		100	130	130	130
	0.02	测外尺寸	40	40	45	45	45
		测内尺寸		45	60	60	60

选择测量工具时, 应明确分清量具或量仪的最小分度值 (刻线值) 和测量工具的测量精度 (极限误差) 这两个概念。对一般常用的量具和量仪来说, 其测量精度大多低于最小分度值。例如, 从表 2. 1 中可知, 分度值为 0.02 mm 的游标卡尺, 当测量工件的尺寸在 50 ~ 80 mm 范围内时, 其极限误差为  $\pm 0.045$  mm。当测量一工件的尺寸为 65.02 mm 时, 则工件的实际尺寸应为  $65.02 \pm 0.045$  mm。

(2) 测量过程中温度和测量力的影响 在测量过程中, 外界因素会对尺寸测量精度有所影响, 而其中以温度和测量力的影响最为明显, 尤其在测量精密零件的尺寸时, 表现得更为突出。

当温度升高  $\Delta t$  时, 被测尺寸  $L$  就会增加,  $\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta t$ , 式中  $\alpha$  为物体的线胀系数。从理论上讲, 如果被测工件和量具的材料相同, 测量时两者温度也相同, 那么, 测量时的温度变化对测量尺寸的精度并无影响。但实际上这种情形是很少的, 加工后的零件由于切削热的作用, 在未完全冷却前, 温度将高于量具; 量具和人手接触时间较长时, 温度将高于工件。这时测量尺寸的精度就将受到温度的影响。

为了减少温度所造成的测量误差，测量时，应尽量使量具和被测工件的温度保持一致。例如，加工后的零件要冷却一段时间，待温度稳定后再进行测量。如测量的时间较长，量具或工件应用工具夹持或戴棉线手套操作，以减少人体热量的传导。精度较高的零件应在相应等级的恒温室中测量，量仪前面还要装置绝热板，甚至采用镊子取放零件，这样可以减少室内外各种热源和人体辐射的影响。

在测量过程中，测量力的大小也影响尺寸的测量精度。测量力过大时，会使量具的测量触头与被测零件表面产生较大的接触变形，从而出现测量误差。例如，在硬质合金平面触头间测量钢球，其变形大小为：

$$\Delta L = 14.01 \sqrt[3]{\frac{P^2}{D}} \quad (\mu\text{m})$$

式中  $P$ ——测力 (N)

$D$ ——钢球直径 (mm)

由上式可知，当测量力越大而被测零件直径越小时，其影响越大。

测量力过小时，则被测工件表面微观的不平会使读数不稳。因此，测量力的大小要适当。

(3) 测量过程中，测量位置、目测或估计不准的影响 对零件尺寸进行测量时，测量者的视力、判断能力和测量经验等都会影响测量精度。当用卡尺、千分尺测量轴颈或孔径时，往往由于测量面的位置不准确而造成测量误差，如图 2-6 (a) 所示。

由图 2-6 (a) 的几何关系，通过近似计算，可求得在测量时测量线偏离被测线  $\varphi$  角时，被测孔径的测量误差。设测量孔径为  $D$ ，测量误差  $\Delta D$  为：

$$\begin{aligned} \Delta D &= \sqrt{D^2 + D^2 \text{tg}^2 \varphi} - D = D\sqrt{1 + \text{tg}^2 \varphi} - D \\ &= D\left(\frac{1}{\cos \varphi} - 1\right) = D\left(\frac{1 - \cos \varphi}{\cos \varphi}\right) \quad (\text{mm}) \end{aligned}$$

因  $\varphi$  很小， $\therefore \cos \varphi \approx 1$

$$\text{故 } \Delta D \approx D(1 - \cos \varphi) = D \frac{\varphi^2}{2} = \frac{D}{2} \varphi^2 \quad (\text{mm})$$

如图 2-6 (b) 所示，目测刻度值时，观测方向必须垂直盘面。否则，将产生斜视测量误差。

另外，在精密测量时，如果量仪指针停留在两条刻线之间，就要求用目力来估计指针移过的小数部分，这样也会出现目测和估计时的判断误差。提高目测和估计的准确性，主要靠测量者不断通过测量实践来提高操作技术。

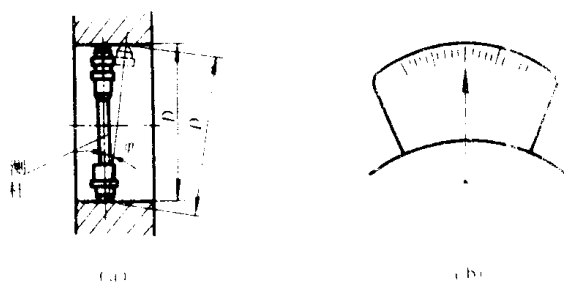


图 2-6 测量位置不准和目测的影响

### 三、微量进给精度

用试切法加工时刀具的最后位置,以及用调整法加工时为补偿刀具磨损所作的补偿调整,都是根据进给机构的刻度盘进行的。

在机床上加工具有一般尺寸精度的零件时,机床进给机构的进给精度是完全可以满足要求的。但当加工具有更高尺寸精度的零件时,虽经准确的尺寸测量得知试切后的实际尺寸与图纸要求尺寸之间的差值,但往往由于这个差值太小,机床进给机构的进给精度很难满足要求。这就提出了微量进给精度问题。

在机床上实现微量进给的方法很多,通常是通过一套减速系统,例如通过蜗轮副(图2-7)可以获得微小进给量。

从结构设计的角度来看,完全可以通过减速机构获得极其微小的进给,实现 $1\mu\text{m}$ 甚至更微小的进给。但在实际操作过程中,常常出现所谓“爬行”现象。即在转动手柄时,虽已消除了传动机构的内部间隙,但刀架并不相应地移动,待手柄转过较大角度时,刀架突然向前跃进较大距离,而后又停下来,直到手柄再转过一定角度后,再次跳跃。这样,刀架的实际位移和刻度盘上所显示的不一致,根据刻度盘显示的刀架位置进行加工就会出现误差。图2-8是一个实验记录,横坐标代表刻度盘上所显示的刀架进给量,每次相当于 $2.5\mu\text{m}$ ,纵坐标为刀架实际的位移。

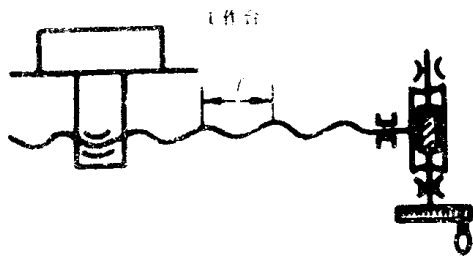


图 2-7 蜗轮副进给机构

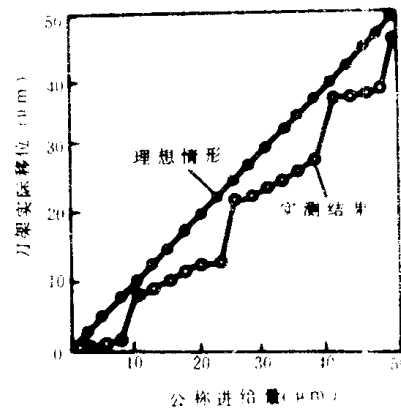


图 2-8 爬行对进给的影响

为什么机床的刀架会在不同程度上产生爬行现象而影响进给精度呢?

从分析研究整个传动过程来看,产生爬行现象的根本原因是整个进给机构中各个相互运动的零、部件之间有摩擦力存在。这些摩擦力在一开始转动手柄时就阻止刀架的移动,并促使整个进给转动机构产生弹性变形。随着进给手柄的进一步转动,进给传动机构的弹性变形程度和相应产生的弹性驱动力逐渐增大,当达到能克服整个进给传动机构摩擦力时,刀架便开始移动了。当刀架一开始移动,摩擦表面由静摩擦状态变为动摩擦状态,由于摩擦系数下降使刀架的移动速度产生了一个加速度,因而刀架突然向前跃进较大距离。刀架移动到一定距离后,又因为摩擦力大于逐渐减小的弹性驱动力而停下来,恢复到不动的状态。这样周而复始地进行,即出现了爬行现象。



从上面的分析来看，提高微量进给精度，减少爬行现象的根本途径在于：

(1) 控制进给机构传动系统的间隙，提高其传动刚度。如在进给机构允许的条件下，适当加粗进给机构中传动丝杠的直径，缩短传动丝杠的长度并减少和消除各传动副之间的间隙。尽量缩短进给机构的传动链。

在设计进给机构传动丝杠时，若按一般的强度、磨损等条件进行计算，则直径很小，这样刚度也就很低，因此需在可能的条件下适当地加粗丝杠直径尺寸。一般可参考下述经验公式计算：

$$d_{\text{中}} = 1.5\sqrt{L} \text{ (mm)}$$

式中  $d_{\text{中}}$ ——传动丝杠的中径 (mm)

$L$ ——传动丝杠长度 (mm)

(2) 使进给机构各传动副之间的动、静摩擦系数下降或使其两者接近。在整个进给机构的传动系统中，各个相互摩擦表面都对进给精度有影响，而其中工作台与机床导轨、传动丝杠与螺母之间的摩擦影响占主要地位。因而常采用如下一些措施：

①改善润滑条件。在工作台与机床导轨接触面之间施加适当的润滑油，使之在滑移面之间形成一层油膜。这样就可以在滑移面相对运动时把金属之间的干摩擦变成为油膜之间的粘性摩擦，使摩擦系数下降。

理想的润滑油应具有表面张力小而吸附力强的性质，这样在滑移面间就容易形成油膜而又不易被挤掉。对一般润滑油来讲，这两个性质是矛盾的。粘度小的润滑油表面张力小但吸附力也弱，因而虽然易形成油膜，但也容易被挤破；粘性大的润滑油则相反，表面张力大但吸附力也大，因而油膜虽不易被挤破，但也不易形成。

在润滑油中添加少量的某些活性物质可以改善润滑油的性质。这类物质，如油酸 ( $\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH}$ )，其长链状的分子一端带正电，另一端带负电，可以一端牢固地吸附在金属面上，整齐地、定向地排列。而润滑油中的非极性分子在静电场的作用下，吸附在油酸的分子上，这样就形成一层机械强度较大的油膜。

在润滑油中加添某些固态润滑剂，如二硫化钼、四氯化碳、氯化石蜡等硫化物、氯化物也可以防止爬行。

②改进机床设计。在机床设计方面，采用滚珠丝杠螺母和滚动导轨结构，可变一般的滑动摩擦为滚动摩擦，由于滚动摩擦系数很小，故可以大大提高微量进给精度。

采用静压螺母和导轨，可使滑动副各表面之间保持有一层压力油膜，变固体摩擦为液体摩擦，就可以大大降低静、动摩擦系数，并使它们相接近，从而使微量进给精度提高。

采用新的导轨材料，使摩擦系数小且动摩擦系数无下降特性。在用于导轨的材料中，虽然大多数塑料导轨的摩擦系数都较小，但其动摩擦系数仍有下降特性。而塑料中的聚四氟乙烯则有所不同，它的摩擦系数很小 (0.04 左右)，且动摩擦系数几乎没有下降特性，是一种较为理想的滑动导轨材料。但这种材料的刚度低和很难与金属粘接在一起，故不能直接应用。可在厚度为 1.5~3 mm 的钢板上先喷镀一层青铜粉或烧结一层细目的青铜钢作为中间层，然后在聚四氟乙烯的溶液中浸附上一层厚度约为  $25 \sim 50 \mu\text{m}$  的薄膜，最后再用机械方法或粘接剂固定在床身和工作台上。