

# 第5章 数控加工工艺设计

5.1 概述

5.2 数控加工工艺路线设计


5.3 数控加工工序设计


习 题




# 5.1 概述


## 5.1.1 数控加工内容的选择


(1) 普通机床无法加工的内容应作为首选内容（如内腔成型面）。

(2) 普通机床加工困难、质量也难以保证的内容应作为重点选择的内容（如表面粗糙度要求一致的锥面、端面的车削）。


(3) 普通机床加工效率低、工人劳动强度大的内容，可在数控机床尚存在富余能力的基础上选择加工，即作为可选内容。

相比之下，下列一些加工内容则不宜进行数控加工： 

(1) 占机调整时间长的加工内容(例如以毛坯的粗基准定位加工第一个精基准)，或要用专用工装协调的加工内容。 

(2) 加工部位分散，要多次安装、设置原点的加工内容，这时采用数控加工很不方便，效果也不明显。 

(3) 加工余量极不稳定，且数控机床上又无法自动调整零件坐标位置的加工内容。 

(4) 按某些特定的制造依据（如样板等）加工的型面轮廓，因为其获取数据困难，易与检验依据发生矛盾，故增加了编程难度。 

(5) 当铸、锻坯件的加工余量过大或很不均匀时，若采用数控加工，则既不经济，又降低了机床的使用寿命。

## 5.1.2 数控加工的工艺性分析

### 1. 零件图尺寸的标注方法

对数控加工来说，零件图上应以同一基准引注尺寸或直接给出坐标尺寸。这种尺寸标注法不仅便于编程，也便于尺寸之间的相互协调，在保持设计基准、工艺基准、测量基准与编程原点设置的一致性方面带来很大方便。由于零件设计人员在标注尺寸时，一般总是较多地考虑装配、使用等方面的因素，因而常采取局部分散的尺寸标注方法，这给数控工序的安排与加工带来诸多不便。由于数控加工精度及重复定位精度都很高，不会产生较大的积累误差而破坏使用特性，因而可将局部尺寸分散标注法改为以同一基准引注尺寸或直接给出坐标尺寸的标注法。

## 2. 构成零件轮廓的几何元素条件

手工编程时要计算构成零件轮廓的每一个节点坐标，自动编程时要对构成零件轮廓的所有几何元素进行定义，但实际生产中由于设计等多方面的原因，在图样上可能出现加工轮廓的数据不充分、尺寸模糊不清及尺寸封闭等缺陷，这就增加了编程工作的难度，有时甚至无法编程。几何要素缺陷示例如图5-1所示。

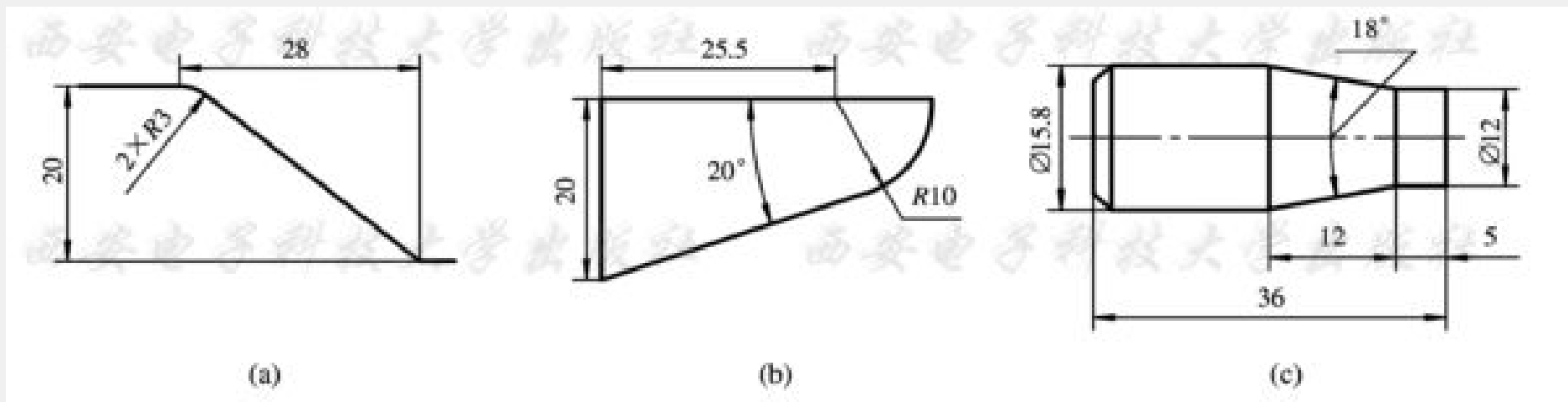



图5-1 几何要素缺陷示例

(1) 图样上加工轮廓曲线的位置模糊或尺寸标注不清，使编程工作无从下手。如图5-1(a)所示两段圆弧的圆心位置是不确定的，不同的理解将会得到完全不同的结果。又如图5-1(b)所示圆弧与斜线要求是相切的，但经仔细计算后的结果却为相交（割）关系。

(2) 图样上给定的几何条件自相矛盾，或漏掉尺寸，或形成封闭尺寸等。例如，在图5-1(c)中，构成圆锥体的各尺寸已经封闭，这不仅给数学处理造成困难，还可能产生不必要的计算误差。

### 3. 零件的结构工艺性

(1) 零件的内腔与外形应尽量采用统一的几何尺寸，尤其是加工面交接处的凹圆弧半径、一根轴上直径相差不大的各轴肩处的退刀槽宽度等，尺寸最好统一，这样可以减少刀具规格种类和加工时的换刀次数，既方便编程，又能提高生产效益。 

(2) 内槽及缘板之间的转接圆角半径不应过小，这是因为此处圆角半径大小决定了刀具的直径，而刀具直径与被加工工件轮廓的高低又影响着工件加工工艺性的好坏。如图一2所示，通常当 $R < 0.2H$  ( $H$ 为被加工工件轮廓面的最大高度)时，可以判定零件的该部位工艺性不好。



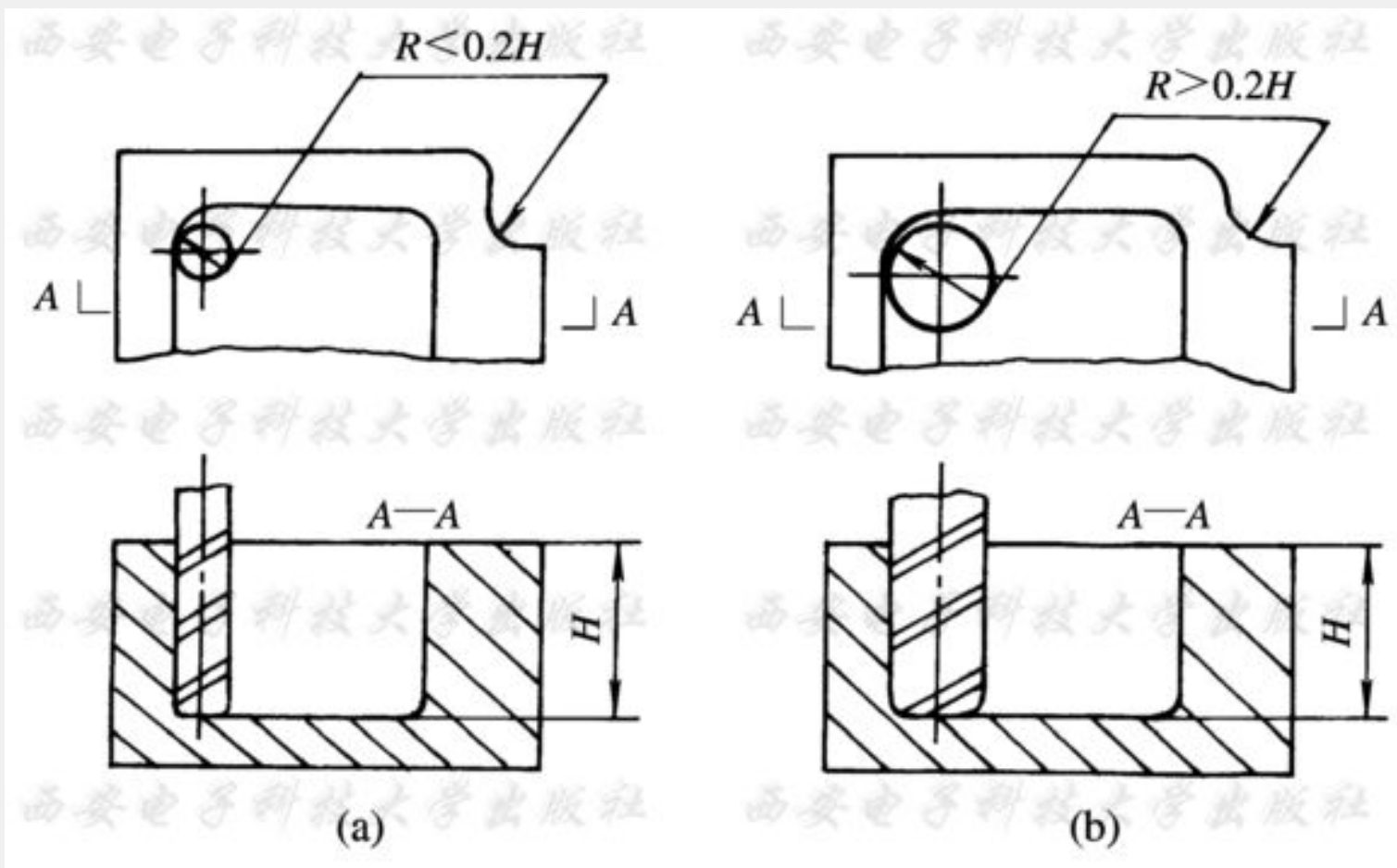


图5-2 数控加工工艺性对比  
 (a) 工艺性不好； (b) 工艺性好

(3) 铣削零件底平面时，槽底圆角半径 $r$ 不应过大。如图5-3所示，圆角半径 $r$ 越大，铣刀端刃铣削平面的能力就越差，生产效益也越低。当 $r$ 大到一定程度时，甚至必须用球头铣刀来加工，这是应尽量避免的，因为铣刀与铣削平面接触的最大直径 $d = D - 2r$ （ $D$ 为铣刀直径），当 $D$ 一定时， $r$ 越大，铣刀端刃铣削平面的面积就越小，加工表面的能力越差，工艺性也越差。

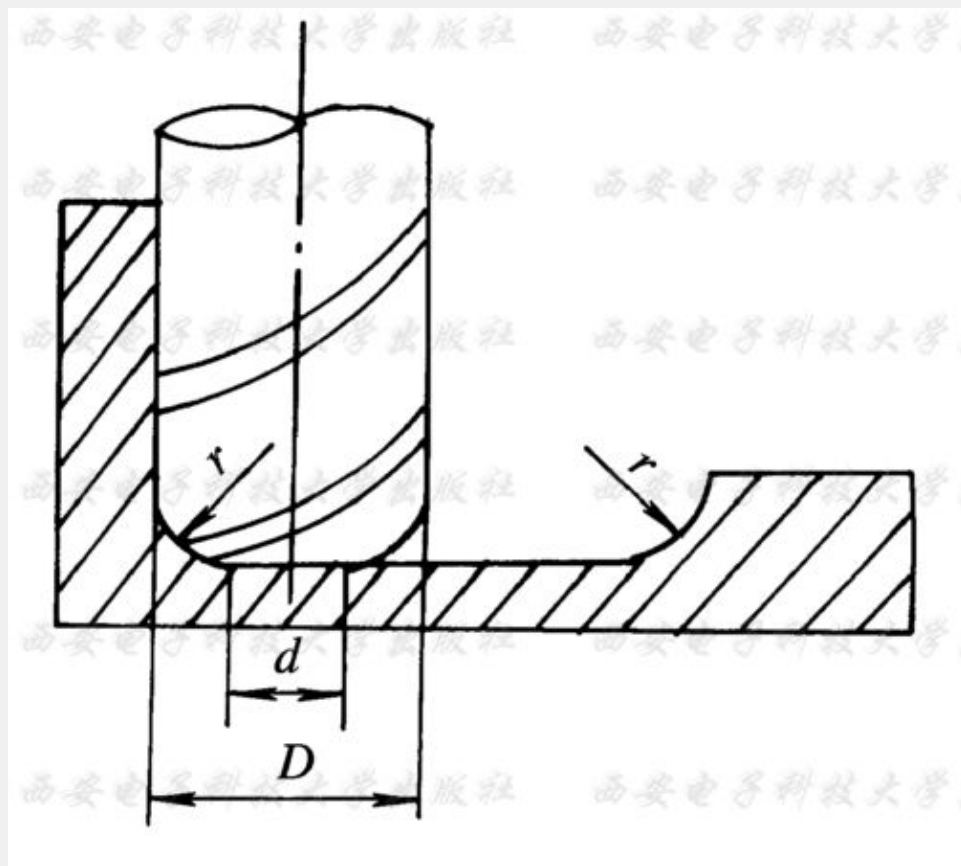



图5-3 零件底面圆弧半径对工艺性的影响

## 4. 数控加工的定位基准

(1) 应采用统一的基准定位。数控加工工艺特别强调定位加工，若无统一的定位基准，则会因工件重新安装产生的定位误差而导致加工后的两个面上的轮廓位置及尺寸不协调。因此，为保证两次装夹加工后其相对位置的准确性，应采用统一的定位基准。 

(2) 统一的基准可以是工件上已有的表面或增设的辅助基准。工件上最好有合适的孔作为定位基准。若没有，应专门设置工艺孔作为定位基准，称之为辅助基准。工件上如果没有合适的辅助基准位置，可在毛坯上增加工艺凸台，制出工艺孔或在后续加工工序要加工掉的余量上设置工艺孔，待完成定位加工后再去除工艺凸台。

### 5.1.3 数控机床的工具系统

由于在数控机床上要加工多种工件，并完成工件上多种表面的加工，因而需要使用的刀具品种、规格和数量较多。例如图5-4所示为在车削加工中心上加工某工件时所需要的刀具，有多种车刀并且还要用铣刀。要加工不同工件所需刀具更多，这将给加工造成很大困难。

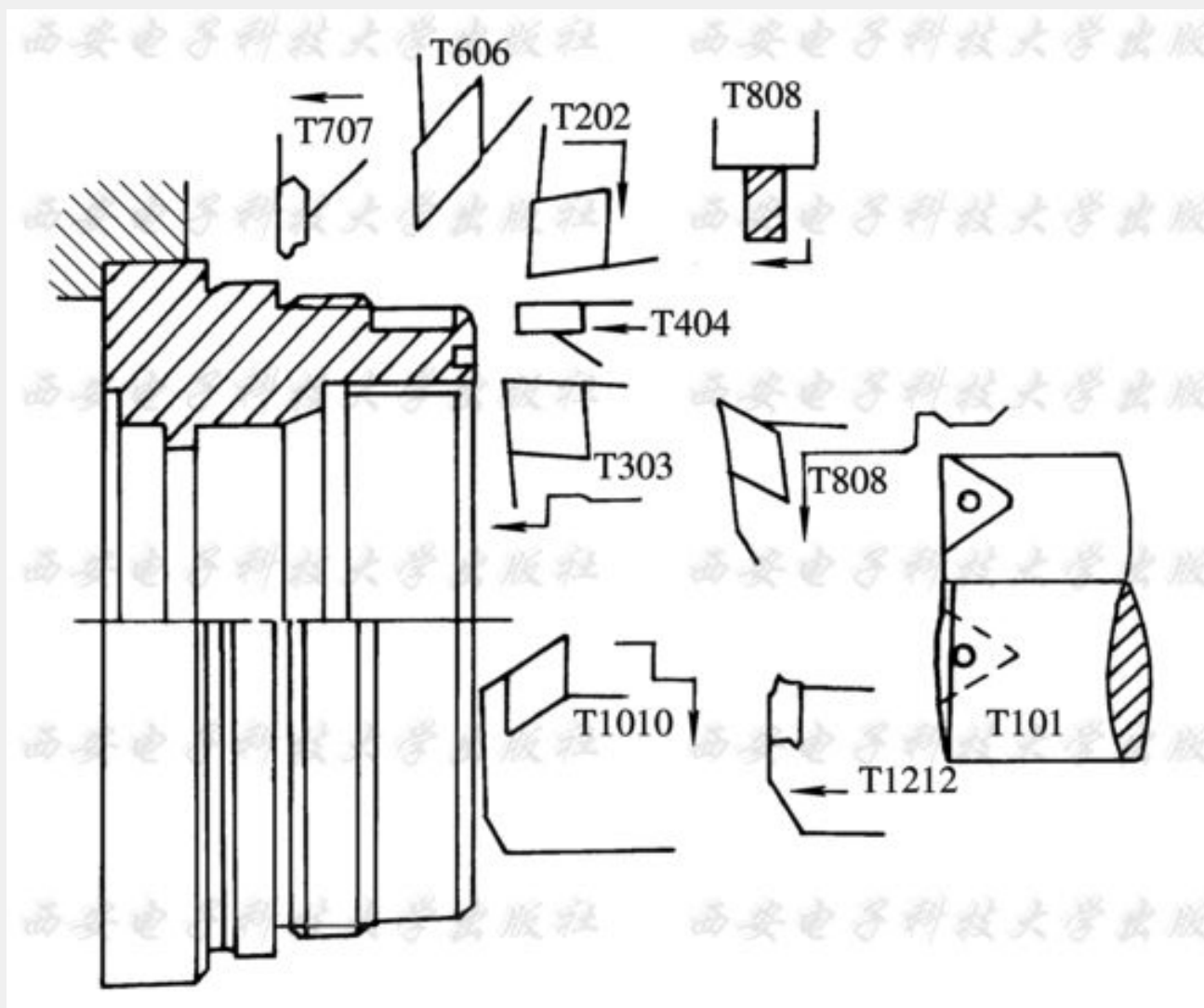
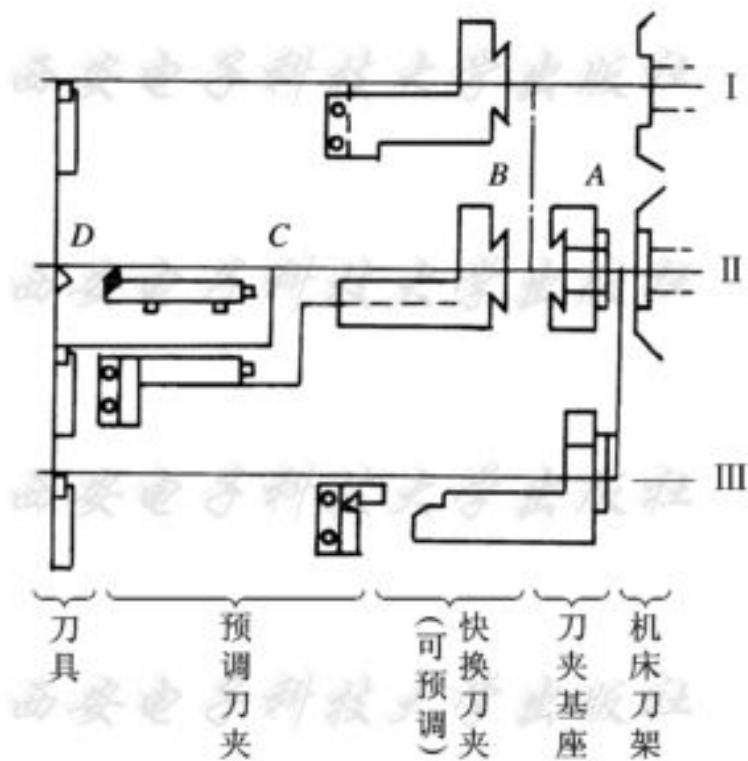


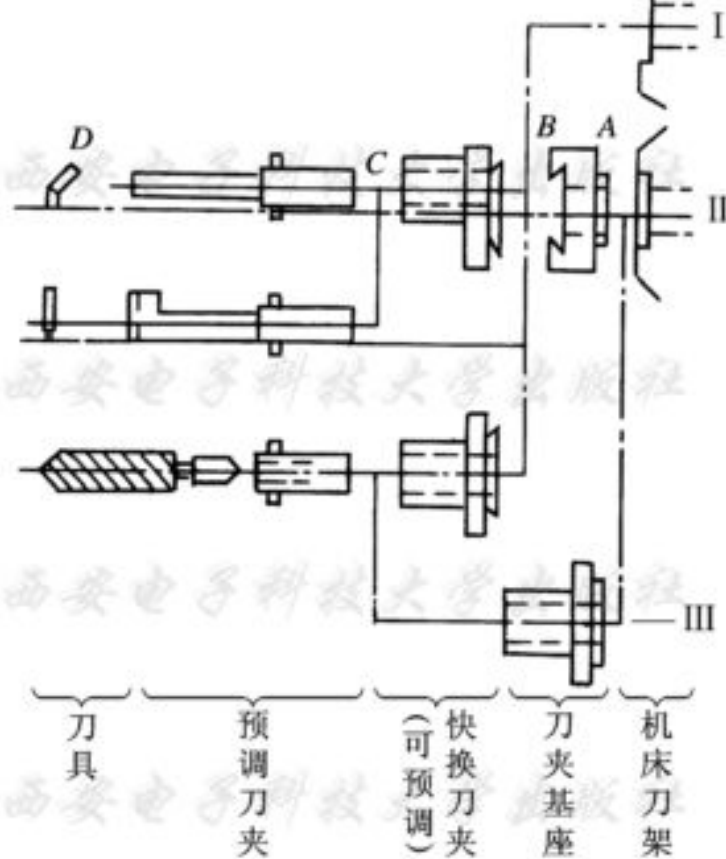
图5-4 在车削加工中心上加工工件时需要的刀具

## 1. 车削类工具系统

数控车削加工用工具系统的构成和结构与机床刀架的形式、刀具类型及刀具是否需要动力驱动等因素有关。数控车床常采用立式或卧式转塔刀架，刀库容量一般为4~8把刀具，通常按加工工艺顺序布置，通过数控系统由程序控制实现自动换刀。其特点是结构简单，换刀快速，每次换刀仅需1~2 s。图5-5所示为数控车削加工用工具系统的一般结构体系。目前广泛采用的德国DIN69880工具系统具有重复定位精度高、夹持刚性好、互换性强等特点，可分为非动力刀夹和动力刀夹两部分。



(a)



(b)

图5-5 数控车削加工用工具系统的一般结构体系  
(a) 车外圆刀夹的结构； (b) 车内孔刀夹的结构



## 2. 镗铣类工具系统

(1) 整体式工具系统。图5-6所示为镗铣类整体式工具系统，即TSG整体式工具系统。它把机床夹持用的工具柄部和装夹刀具的工作部分做成一体，要求不同工作部分都具有同样结构的柄部，以便与机床的主轴相连。该系统具有可靠性强、使用方便、结构简单、调换迅速及柄部（刀柄）的种类较多等特点。图5-7所示为TSG工具系统图，该图清楚地表明了TSG工具系统中各种工具的组合形式。

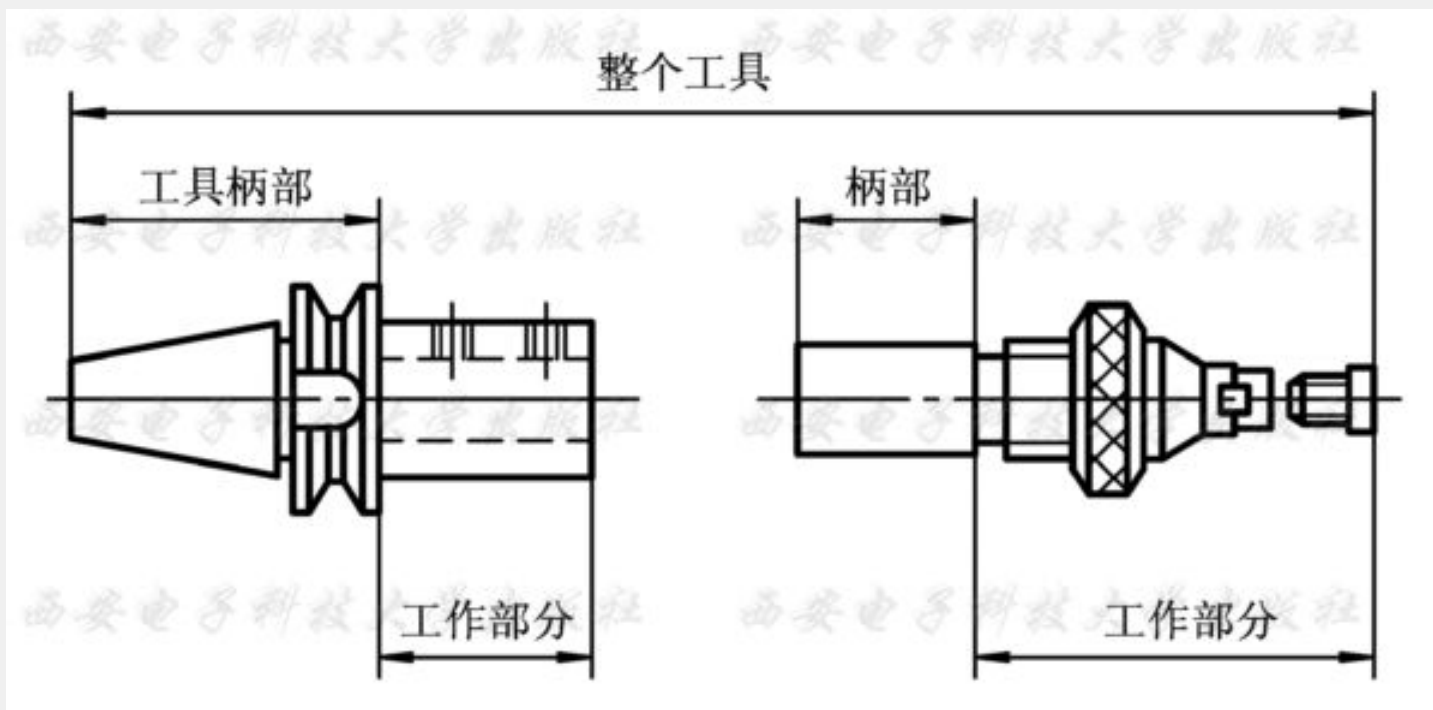


图5-6 TSG整体式工具系统

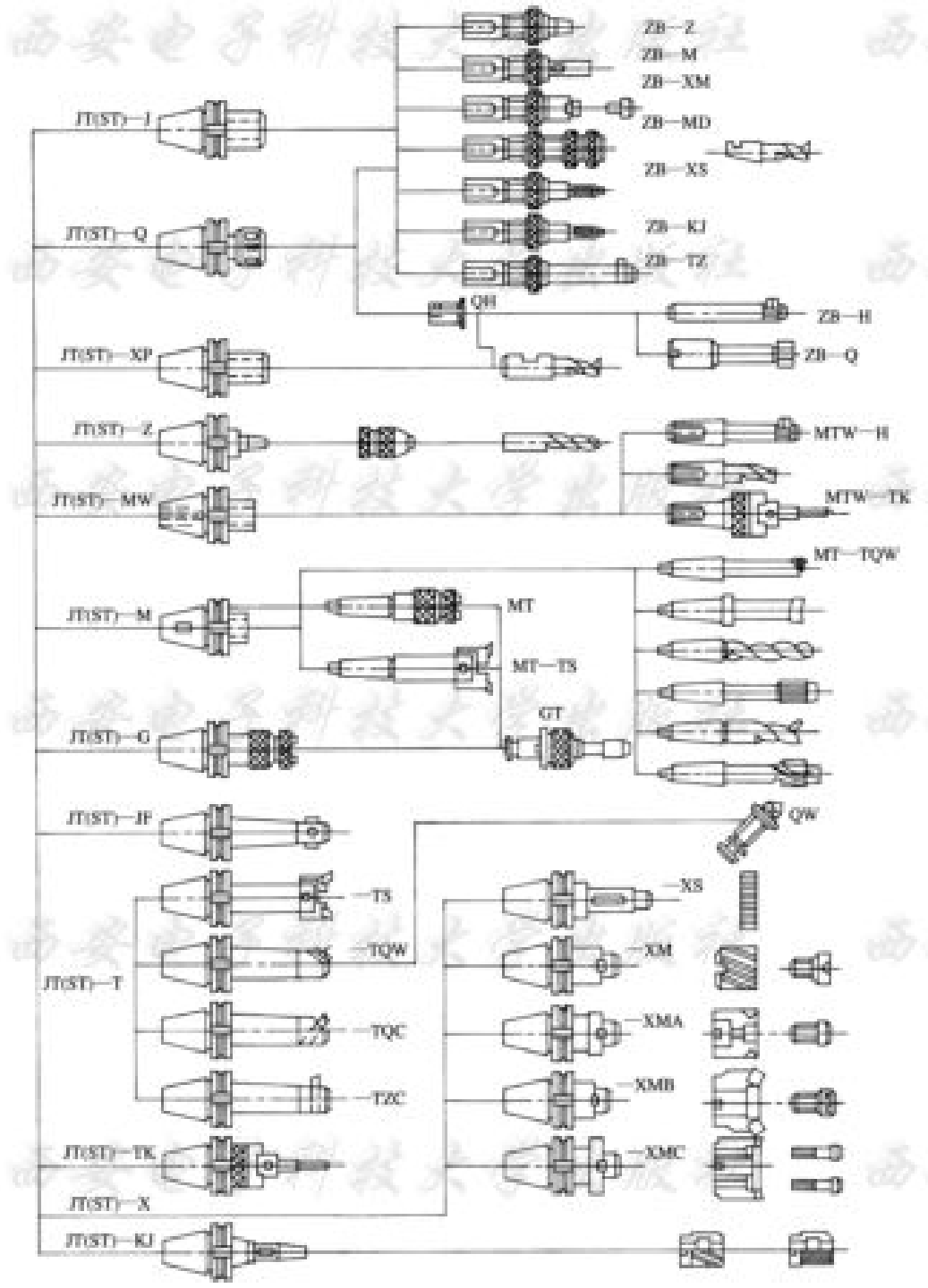


图5-7 TSG工具系统

(2) 模块式工具系统。 镗铣类模块式工具系统即TMG工具系统。它把整体式刀具分解成柄部（主柄模块）、中间连接块（连接模块）和工作头部（工作模块）三个主要部分， 然后通过各种连接结构，在保证刀杆连接精度、强度、刚性的前提下，将这三部分连接成一个整体，如图5-8所示。

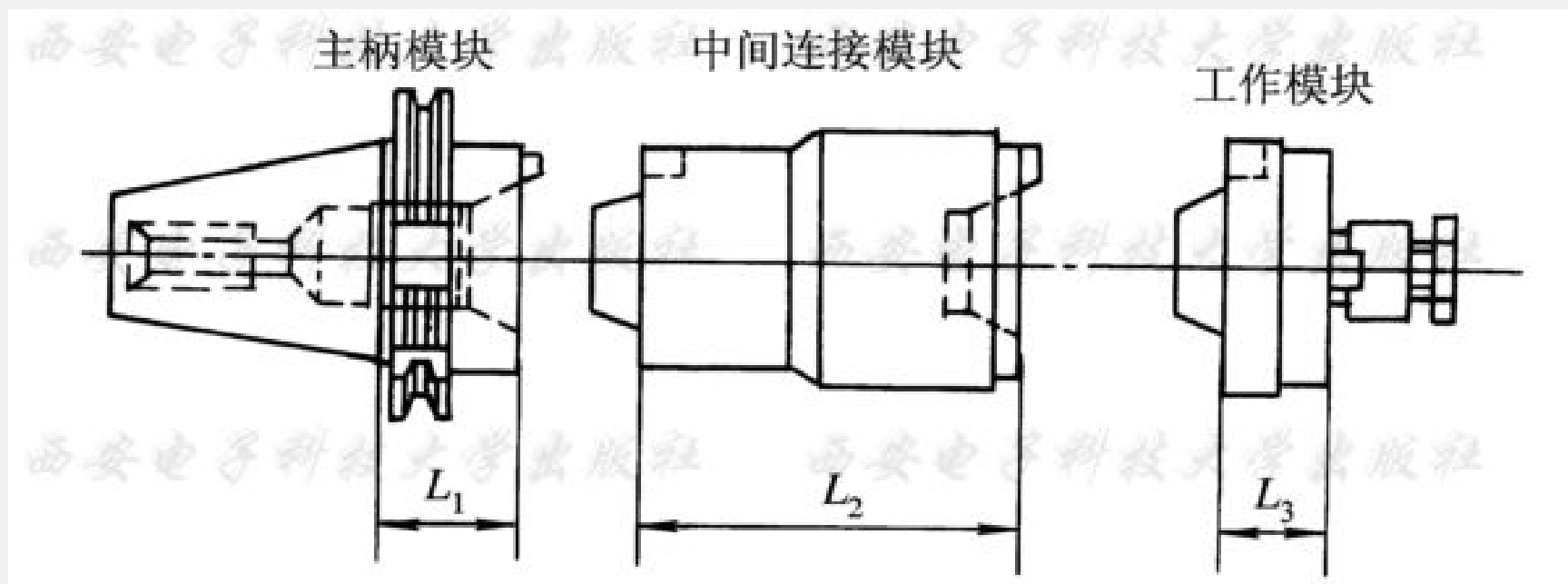


图5-8 模块式工具系统组成

这种工具系统可以用不同规格的连接模块组成不同用途的模块工具系统，既灵活、方便，又大大减少了工具的储备。例如国内生产的TMG10、TMG21（如图5-9所示）模块工具系统，发展迅速，应用广泛，是加工中心使用的基本工具。

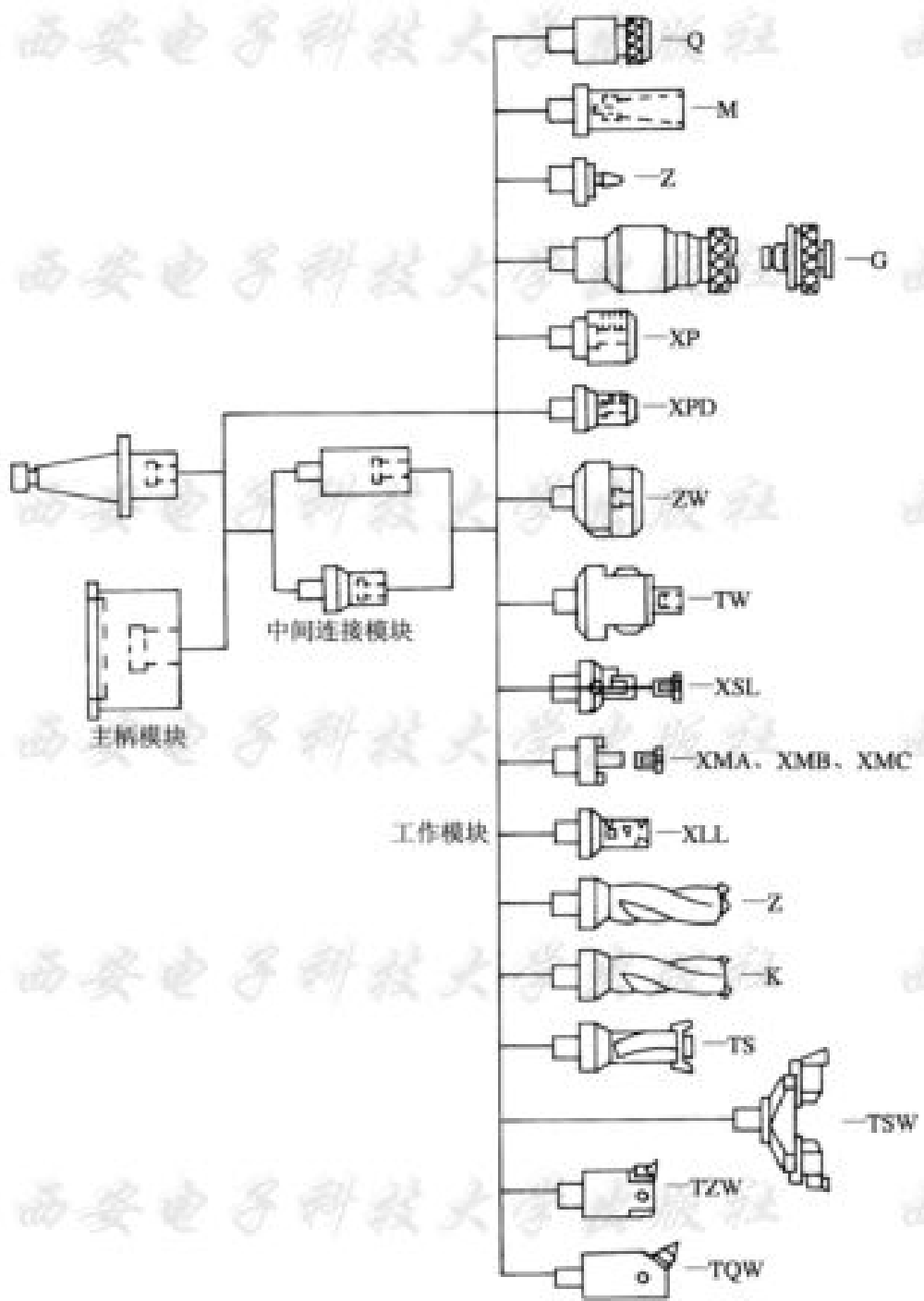


图5-9 TMG21 工具系统

## 5.2 数控加工工艺路线设计

### 1. 工序的划分

(1) 按定位方式划分工序。这种方法一般适合于加工内容不多的简单工件，加工完后就能达到待检状态，通常以一次安装作为一道工序。如图5-10所示的凸轮零件，其两端面、 $R38$ 外圆面以及 $\phi 22H7$ 和 $\phi 4H7$ 两孔均在普通机床上进行加工，而在数控铣床上以加工过的两个孔和一个端面定位作为一道工序，铣削凸轮外表面曲线。



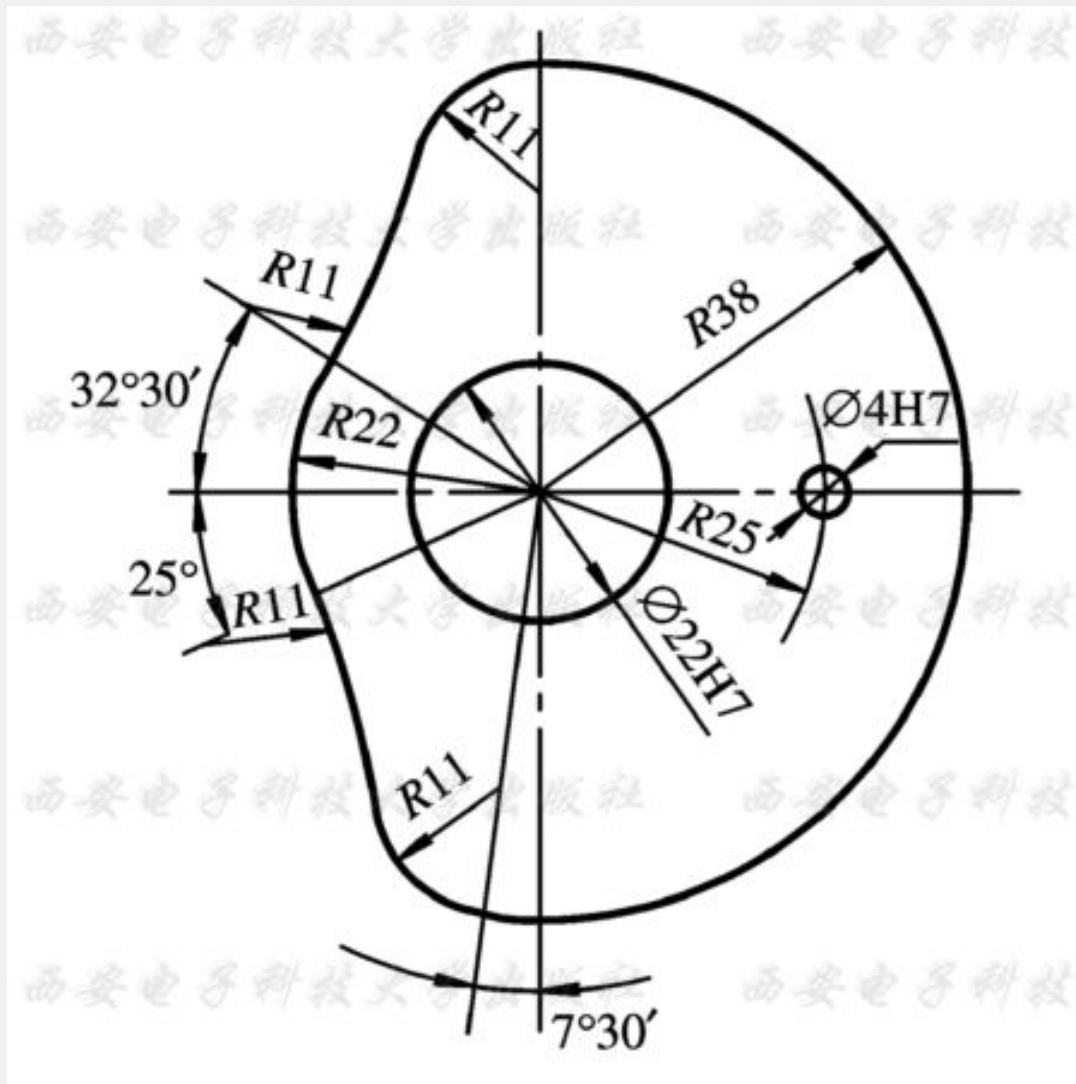



图5-10 凸轮零件图

(2) 按所用刀具划分工序。有些零件虽然能在一次安装中加工出很多待加工面，但为了减少换刀次数，缩短空行程时间，可按刀具集中的方法划分工序，在加工中尽可能用同一把刀加工出可加工的所有部位，然后再换一把刀加工其它部位，即以同一把刀具加工的内容划分工序。在专用数控机床和加工中心上常用这种方法。

(3) 按粗、精加工划分工序。 根据工件的加工精度要求、刚度和变形等因素，一般来说，在一次安装中不允许将工件的某一表面粗、精加工不分地加工至精度要求后再加工工件的其它表面。此时可用不同的机床或不同的刀具分两道工序进行加工，即将零件的粗、精加工分开，先粗加工，后精加工。 

对于如图5-11所示的工件，应先切除整个工件的大部分余量，再将其各表面精车至要求的加工精度和表面粗糙度要求。

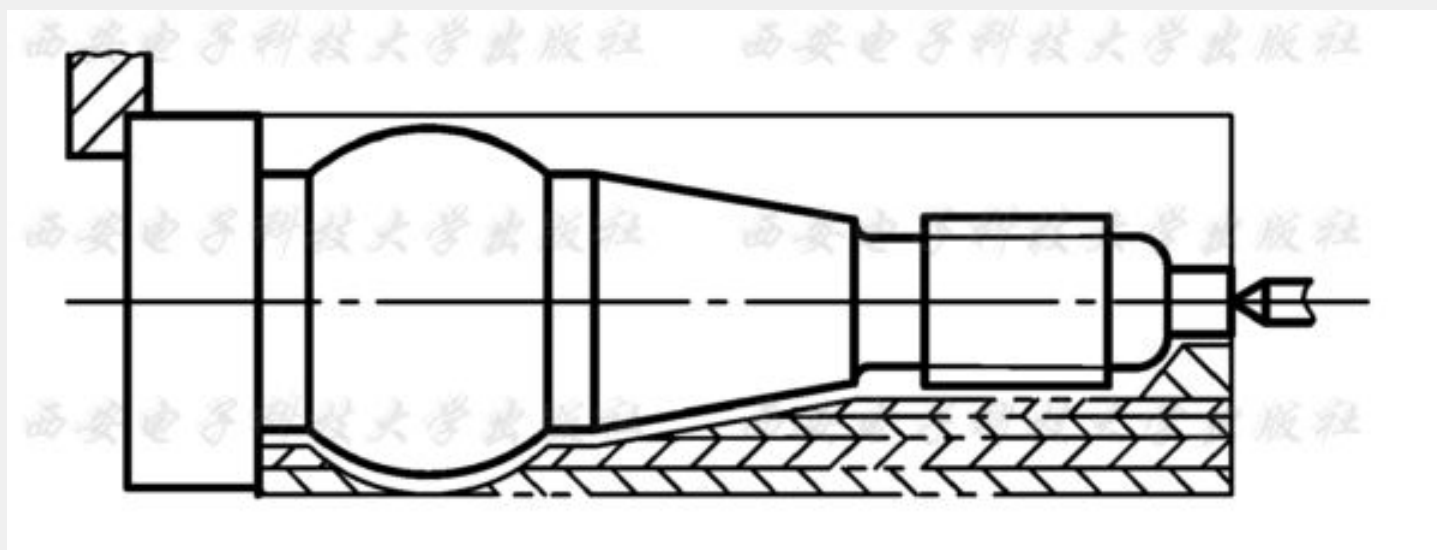


图5-11 车削加工的工件

(4) 按加工部位划分工序。有些零件加工内容很多，零件轮廓结构的差异较大，这时可按其结构特点将加工部位分成几部分分别在几道工序中进行加工，如内型面、外型面、平面等。

☞ 综上所述，在划分工序时，一定要视零件的结构与工艺性、机床的功能、零件数控加工内容的多少、安装次数以及生产组织状况等实际情况灵活地进行划分。

## 2. 工步的划分


(1) 同一加工表面按粗加工、半精加工、精加工依次完成，还是全部加工表面都先粗加工后精加工分开进行，主要应根据零件的精度要求考虑。若加工尺寸精度要求较高，考虑到零件尺寸、精度、刚性等因素，可采用前者；若零件的加工表面位置精度要求较高，则建议采用后者。

(2) 对于既要加工平面又要加工孔的零件，可以采用“先面后孔”的原则划分工步。先加工面可提高孔的加工精度，因为铣平面时切削力较大，工件易发生变形，而先铣平面后镗孔，则可使其变形有一段时间恢复，减少由于变形引起的对孔的精度影响。反之，如先镗孔后铣面，则铣削平面时极易在孔口产生飞边、毛刺，进而破坏孔的精度。 ❁

(3) 按所用刀具划分工步。某些机床工作台回转时间比换刀时间短，可采用刀具集中的方法划分工步，以减少换刀次数，缩短辅助时间，提高加工效率。 ❁

(4) 在一次安装中，尽可能完成所有能加工的表面，有利于保证表面相互位置精度的要求。

### 3. 加工顺序的安排

- (1) 基准先行。
- (2) 先面后孔， 先简单后复杂。
- (3) 先粗后精， 粗精分开。 
- (4) 减少安装次数。






#### 4. 数控加工工序与普通工序的衔接

数控加工工序只是穿插于整个机械加工工艺过程中的一道或几道工序，其前后一般有其他普通加工的工序，二者若衔接得不好就容易产生矛盾，最好的办法是相互建立状态要求，如：要不要留加工余量、留多少，定位面的尺寸精度要求及形位公差，对校形工序的技术要求，对毛坯的热处理状态要求等，都需要前后兼顾，统筹衔接。

## 5.3 数控加工工序设计

### 5.3.1 进给路线的确定

#### 1. 确定进给路线的原则

- (1) 选择工件刚性破坏小的路线，以减少加工变形对加工精度的影响。 
- (2) 寻求最短的进给路线，以提高加工效率。 
- (3) 切入和切出的路线应考虑外延，以保证加工的表面质量。 
- (4) 完工时的最后一刀应一次走刀连续加工，以免产生刀痕等缺陷。

## 2. 点位控制进给路线的确定

点位控制机床一般要求定位精度较高，定位过程尽可能快，而刀具相对零件的运动轨迹则无关紧要。因此，这类机床大都采用分级减速的方法接近目标位置，有时还采用单向趋近的方法接近目标位置。进给路线应力求最短，对点阵类零件，应保证各点间的运动路线总和最短。以图5-12(a)所示的零件为例，按一般习惯应先加工一圈均布于圆上的8个孔，然后再加工另一圈，如图5-12(b)所示。但是对于数控加工来说，它并不是最好的进给路线，按图5-12(c)所示的路线加工，可以节省近一半的空程时间。

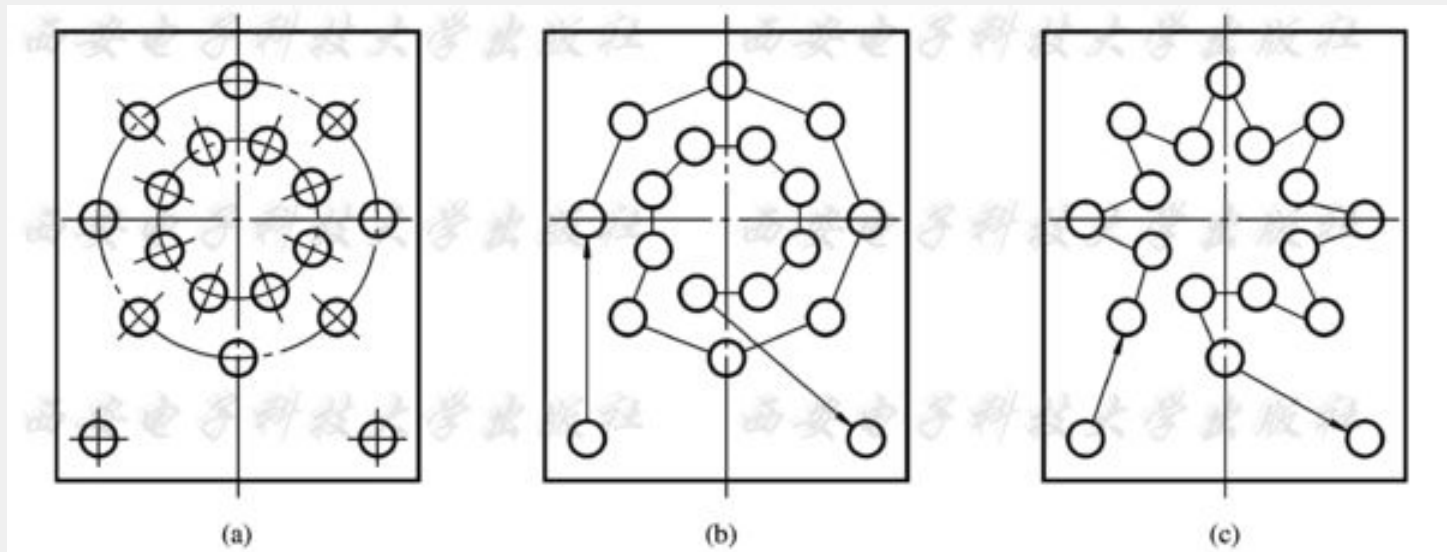


图5-12 最短进给路线示例

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/238050033131006123>