

数控编程100例丛书

第2版

数控车床编程

陈伟强 刘鹏玉 王林强 编著

- 100个实例精心讲解
- 一步步掌握核心技术
- 精通数控车床编程不是梦

100例



非
外
借



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

数控编程 100 例丛书

数控车床编程 100 例

第 2 版

陈伟强 刘鹏玉 王林强 编著



机械工业出版社

本书注重实用性, 强调理论联系实际, 内容丰富, 详简得当。全书共分3章, 第1章为数控车床编程基础, 第2、3章通过具体实例, 由浅入深、图文并茂地讲解了FANUC和SIEMENS数控系统车削加工编程方法。

本书既可作为数控技术应用专业的教材, 也可作为机电一体化技术、机械制造等专业的实训教学用书, 还可作为数控技术培训机构的培训用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

数控车床编程 100 例/陈伟强, 刘鹏玉, 王林强编著. —2 版. —北京: 机械工业出版社, 2018. 8

(数控编程 100 例丛书)

ISBN 978-7-111-60359-7

I. ①数… II. ①陈…②刘…③王… III. ①数控机床-车床-程序设计 IV. ①TG519.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 146481 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 周国萍 责任编辑: 周国萍 王春雨

责任校对: 陈越 封面设计: 马精明

责任印制: 常天培

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2018 年 9 月第 2 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 16.25 印张 · 315 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-60359-7

定价: 45.00 元



凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: 010-88361066

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: 010-68326294

机工官博: weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网: www.golden-book.com

封面防伪标均为盗版

教育服务网: www.cmpedu.com

前 言

数控机床是实现装备制造业现代化的基础装备，以其高速、高效、高精度、高可靠性以及柔性化、网络化、智能化的卓越性能开创了机械产品向机电一体化发展的先河，成为先进制造技术中的一项核心技术。

随着数控机床的飞速发展，对数控人才的需求越来越大，教育部已将数控技术应用人才确定为国家技能型紧缺人才。数控编程是数控技术的核心，是充分发挥数控机床效率的关键，是连接数控机床与数控加工工艺的纽带，同时也是利用 CAD/CAM 软件进行自动编程加工的基础。学好数控编程技术对充分利用数控机床的功能与效率起着举足轻重的作用。

为满足广大读者自学与提高数控编程能力的迫切需求，根据教育部、国防科工委、中国机械工业联合会联合制定的数控技术应用专业人才培养方案的要求，并结合编者在数控加工工艺和数控编程方面的教学经验与工作经验编写了本书，希望读者能在最短的时间里掌握数控编程技术。

本书共分 3 章，通过具体实例，由浅入深、图文并茂地讲解了 FANUC 和 SIEMENS 数控系统车削加工编程方法。本书既可作为数控技术应用专业的教材，也可作为机电一体化技术、机械制造等专业的实训教学用书，还可作为数控技术培训机构的培训用书。本书注重实用性，强调理论联系实际，内容丰富，详简得当。

本书在第 1 版的基础上主要由陈伟强、刘鹏玉、王林强进行了修订。因编者水平和经验有限，书中难免存在错误和不妥之处，恳请读者批评指正。

编著者

目 录

前 言	
第1章 数控车床编程基础	1
1.1 数控车床加工概述	1
1.2 数控车床编程基础	2
1.2.1 数控车床坐标系	2
1.2.2 数控加工编程流程	2
1.2.3 数控加工程序的格式与组成	4
1.2.4 数控车床常用功能指令	6
1.2.5 数控车床常用刀具	7
1.2.6 数控车床夹具	8
1.2.7 数控编程中的数值计算	8
第2章 FANUC 数控车床编程实例	10
2.1 阶梯轴类零件加工编程	10
2.2 圆弧成形面零件加工编程	14
2.3 槽类零件加工编程	22
2.4 螺纹类零件加工编程	25
2.5 孔类零件加工编程	36
2.6 内/外轮廓加工循环编程	45
2.7 利用子程序编程	70
2.8 利用宏程序编程	76
2.9 数控车中级工考试样题	80
2.10 数控车高级工考试样题	122
第3章 SIEMENS 数控车床编程实例	143
3.1 阶梯轴类零件加工编程	143
3.2 圆弧成形面零件加工编程	149
3.3 槽类零件加工编程	157
3.4 螺纹类零件加工编程	160
3.5 孔类零件加工编程	166
3.6 内/外轮廓加工循环编程	171
3.7 参数编程	189
3.8 利用子程序编程	193
3.9 数控车中级工考试样题	197
3.10 数控车高级工考试样题	225
附录	246
附录 A 常用材料及刀具切削参数推荐值	246
附录 B FANUC 数控车床常用 NC 代码	251
附录 C SIEMENS 数控车床常用 NC 代码	252
参考文献	255

第1章 数控车床编程基础

1.1 数控车床加工概述

数控机床作为现代制造装备的代表，是衡量一个国家工业现代化程度的重要标志。数控机床的研发与应用关系到国家战略地位，体现国家综合国力水平。进入21世纪以后，我国制造业在世界上所占的比重越来越大，数控机床的使用率也随之逐步上升。

数控车床在数控加工中占据了重要地位，它适用于加工精度高、中小批量、形状复杂的零件，是机械加工中常用的数控机床。数控车床主要用于轴类或盘类零件的内外圆柱面、任意角度的内外圆锥面、复杂回转内外曲面和圆柱、圆锥螺纹等的切削加工，并能进行切槽、钻孔、扩孔、铰孔及镗孔等，特别适合加工形状复杂的零件。

随着数控技术的飞速发展，数控车床的功能也越来越强。一般来说，数控车床都具有以下主要功能：

(1) 直线插补 直线轨迹插补方式，是数控加工应具备的最基本功能之一。

(2) 圆弧插补 圆弧轨迹插补方式，是数控加工应具备的最基本功能之一。

(3) 固定循环 用于特定加工过程的固定子程序，在具体加工过程中只要改变参数就可以适应不同的加工要求，实现循环加工。使用固定循环可以有效简化程序，主要用于实现一些需要多次重复的加工动作，如粗车加工、螺纹车削加工等。

(4) 刀具补偿 将刀具路径从工件加工边界上按指定方向偏移一定的距离。指定刀具补偿号后，系统会自动计算刀具轨迹。刀具补偿包括刀具半径补偿、刀具长度补偿、刀具空间位置补偿等。

(5) 自动加减速控制 当数控机床在起动、停止，以及加工过程中改变进给速度时，为了运行平稳、平滑过渡，需要进行自动加减速控制，自动调整进给速度，保持稳定的加工状态，以尽量避免刀具变形、工件表面受损、加工过程速度不稳等情形。

(6) 数据输入输出功能及 DNC 功能 数控机床一般通过 RS232C 接口、以太网口或存储卡等方式进行数据的输入输出。当执行的加工程序超过存储空间时，采用 DNC 加工，即外部计算机直接控制机床进行加工。

(7) 子程序功能 为简化编程，对于需要多次重复的加工动作或加工区域，

可以将其编成子程序，在主程序需要的时候调用，子程序可以实现多级嵌套。

(8) 自诊断功能 数控系统的自诊断在开机时就开始进行，只有当全部项目都被确认无误以后，才能进入正常运行状态。自诊断功能对数控机床的维修具有举足轻重的作用。

1.2 数控车床编程基础

1.2.1 数控车床坐标系

1. 数控车床坐标轴

数控车床坐标轴的指定方法已标准化，ISO 和我国都拟定了相应命名标准。

(1) 坐标轴和运动方向的命名原则。

- 1) 标准的坐标系采用笛卡儿坐标系。
- 2) 永远假定刀具相对于静止的工件而运动，即刀具运动、工件静止。
- 3) 机床直角坐标运动的正方向是增大工件和刀具之间距离的方向。
- 4) 机床旋转坐标运动的正方向是按照右旋螺纹旋入工件的方向。

(2) 数控车床坐标轴的指定

1) Z 轴。Z 轴是首先要指定的坐标轴。数控车床主轴为 Z 轴，由它提供切削功率，传递切削动力。刀具远离工件的方向为正向。

2) X 轴。主轴法兰盘的外水平面为 X 轴，X 轴是水平轴，它垂直于 Z 轴，刀具远离工件的方向为正向。

2. 机床坐标系

机床坐标系是机床上固有的坐标系，并设有坐标原点，该原点称为机床原点。机床原点是机床上一个固定不变的点，在机床出厂时就已经确定下来，它一般为各个坐标轴移动的极限位置。数控机床开机后，一般首先执行原点回归操作，让机床回到机床坐标系原点。

3. 工件坐标系

工件坐标系又称为编程坐标系，是编程人员根据工件图样及其加工工艺而在工件上建立的坐标系。它用于确定工件几何图形上各个几何要素（点、直线、圆弧）的位置。工件坐标系在编程时使用，是为了编程方便而针对具体工件建立的，建立工件坐标系时不必考虑机床坐标系以及工件在机床上的实际装夹位置。

1.2.2 数控加工编程流程

采用数控机床加工零件，首先根据零件图样与工艺方案要求，将零件加工的

工艺过程、工艺参数、刀位轨迹数据（运动方向和坐标值）以及其他辅助功能（如主轴起停、正反转、冷却泵开闭、换刀等），根据执行顺序和所用数控系统规定的指令代码及程序格式编制数控加工程序，并输入数控系统，通过执行该程序来控制数控机床运动，从而实现零件的加工。

数控加工程序编制流程主要包括以下几个方面，如图 1-1 所示。

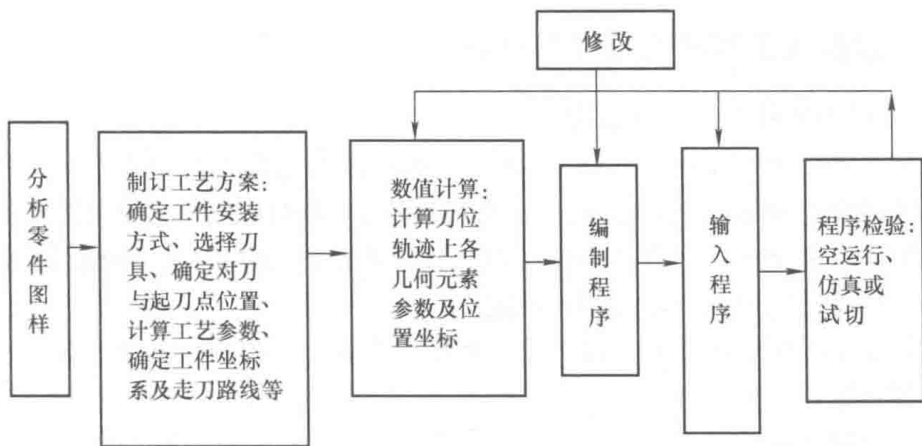


图 1-1 数控加工程序编制流程

1. 分析零件图样

对零件图样进行分析，明确零件的材料、加工精度、形状、尺寸以及热处理等要求，确定加工方案。

2. 制订工艺方案

根据零件图样信息，确定零件的加工方法、定位夹紧方法、刀具和夹具、走刀路线等工艺过程。

3. 数值计算

在确定了工艺方案后，就可以根据零件形状和走刀路线确定工件坐标系，计算出零件轮廓上各几何元素的坐标值。

4. 编制程序

在制订工艺方案并完成数值计算后，即可编写零件的加工程序。根据计算出的运动轨迹坐标和已确定的运动顺序、刀具、切削参数等信息，使用所用数控系统规定的指令代码及程序格式，进行加工程序的编制。

5. 输入程序

在完成程序编制后，将程序输入数控系统中。

6. 程序检验

编制好的数控程序在首次加工之前，一般都需要通过一定的方法进行检验。否则，如果编写的程序不合理或者有明显的错误，将会造成加工零件的报废，甚

至出现安全事故。通常可采用机床空运行的方式来检查机床动作和运动轨迹是否正确。在具有图形模拟显示功能的数控机床上，可通过显示走刀轨迹或模拟刀具切削工件的过程来对程序进行检验。这些方法只能检验走刀轨迹的正确性，而不能检查加工误差。一般用试切法进行实际切削检验，这样不仅能检查出程序错误，还可以检验出零件加工精度。

1.2.3 数控加工程序的格式与组成

1. 数控加工程序的一般结构

目前在国际上主要有两种标准：ISO（国际标准化组织）标准和 EIA（美国电子工业协会）标准，我国也制定了相应标准。目前国内外各种数控系统所使用的标准尚未完全统一，有关指令代码及其含义也不完全相同，编程时务必严格遵守具体机床使用说明书中的相关规定。

数控加工程序由若干程序段组成，程序段由若干字组成，每个字又由一系列字符与数字组成。

一般的程序结构如下：

```

%                               //程序开始符
O1000;                          //程序名
N10 T0101;                       }
N20 G00 X100 Z100 S800 M03;      } //程序体
N30 ... ,
:
N180 M30;                        //程序结束指令
%                               //程序结束符

```

(1) 程序开始符、结束符 程序开始符、结束符是同一个字母，ISO 代码中是“%”，EIA 代码中是“ER”，书写时一般单列一段。

(2) 程序名 程序名的书写一般有两种格式，一种由英文字母 O 和 1~4 位正整数组成；另一种由英文字母开头，字母、数字混合组成。书写时一般要求单列一段。

(3) 程序体 程序体由若干程序段组成，程序段又由若干字组成。每个程序段一般占一行。

(4) 程序结束指令 程序结束指令为 M02（程序结束）或 M30（程序结束，并返回程序头）。虽然 M02 与 M30 允许与其他程序字合用一个程序段，但是一般要求单列一段，或者只与程序段号共用一个程序段。

2. 格式

程序段格式主要有三种：固定顺序程序段格式、使用分隔符的程序段格式和

字地址程序段格式。现代数控系统大多采用的是字地址程序段格式。

字地址程序段格式由语句号字、数据字和程序段结束字组成，每个字之前都标有地址码以识别地址。一个程序段是由一组开头是英文字母、后面是数字组成的信息单元“字”，每个字根据字母来确定其意义。

字地址程序段的基本格式为：N_ G_ X_ Y_ Z_ F_ S_ T_ M_ ；

程序段中不需要的字可以省略，而且可按任意顺序排列。但为了编程以及阅读程序的方便，通常按上述顺序排列。

3. 字符代码

字地址程序段中各字含义如下：

(1) 程序段号字 用来标明程序段的编号，用地址码 N 和后面的若干位数字来表示。例如，N100 表示该程序段的段号为 100。

(2) 准备功能字 (G 指令) 准备功能字是使数控机床做好某种操作准备的指令，用地址 G 和两位数字来表示，例如 G01 表示直线插补指令。

(3) 坐标值字 坐标值字由地址码和带有符号的数值构成。坐标值的地址码有 X、Y、Z、U、V、W、P、Q、R、A、B、C、I、J、K 等，例如 X20。

(4) 进给功能字 它表示刀具运动时的进给速度，由地址码 F 和后面若干位数字组成。数字表示的含义取决于每个数控系统采用的进给速度的指定方法，例如 F50。

(5) 主轴转速字 由地址码 S 和后面的若干位数字组成，单位为 r/min，例如 S1000。

(6) 刀具功能字 由地址码 T 和后面的若干位数字组成，刀具功能字的数字是指刀具号，数字的位数由所用数控系统决定，例如 T02。

(7) 辅助功能字 (M 指令) 辅助功能字表示机床辅助动作的指令，用地址码 M 和后面两位数字表示，例如 M08。

(8) 程序段结束符 写在每一程序段之后，表示该程序段结束。用 ISO 标准代码时为“NL”或“LF”，用 EIA 标准代码时为“CR”；有的系统用“;”或“*”表示，还有的直接回车即可。

ISO 代码中的地址字符及其含义见表 1-1。

表 1-1 ISO 代码中的地址字符及其含义

字符	含义	字符	含义
A	绕 X 坐标轴的角度尺寸，有时指牙型角	F	第一进给速度功能
B	绕 Y 坐标轴的角度尺寸	G	准备功能
C	绕 Z 坐标轴的角度尺寸	H	偏置号
D	第二刀具功能，也有的称为偏置号	I	平行于 X 坐标轴的插补参数或螺纹螺距
E	第二进给速度功能	J	平行于 Y 坐标轴的插补参数或螺纹螺距

(续)

字符	含义	字符	含义
K	平行于 Z 坐标轴的插补参数或螺纹螺距	R	平行于 Z 坐标轴的第三坐标, 或圆弧插补的圆弧半径
L	固定循环和子程序的执行次数		
M	辅助功能	S	主轴转速功能
N	程序号	T	第一刀具功能
O	不用, 有的为程序编号	U	平行于 X 坐标轴的第二坐标
P	平行于 X 坐标轴的第三坐标, 固定循环参数或暂停时间	V	平行于 Y 坐标轴的第二坐标
		W	平行于 Z 坐标轴的第二坐标
Q	平行于 Y 坐标轴的第三坐标, 固定循环参数	X	X 方向的主运动
		Y	Y 方向的主运动
		Z	Z 方向的主运动

1.2.4 数控车床常用功能指令

1. 指令分组

指令分组就是将系统中不能同时执行的指令分为一组, 并以编号区别。同组指令具有相互取代作用, 在一个程序段中只能有一个生效。当在同一程序段内出现两个或两个以上的同组指令时, 一般以最后一个输入的指令为准。

2. 模态与非模态指令

模态指令又称为续效指令, 它一经指定便一直保持有效, 直到后续程序段中出现同组其他指令时才失效。非模态指令又称为非续效指令, 它只在所出现的程序段中有效, 下一个程序段需要时, 必须重新写出。

3. 准备功能指令 (G 指令)

准备功能字的地址符是 G, 所以又称为 G 指令。它的作用是建立数控机床工作方式, 为数控系统的插补运算、刀补运算、固定循环等做准备。

G 指令中的数字一般是从 00 到 99。但随着数控系统功能的增加, G00 ~ G99 已不够使用, 所以有些数控系统的 G 功能字中的后续数字已采用三位数。根据代码功能范围的不同, G 代码可以分为模态和非模态两种。

我国现有的中、高档数控系统大部分是从日本、德国、美国等国家进口的, 它们的 G 指令字功能相差很大。即使是国内生产的数控系统, G 指令字功能也不完全统一。

4. 辅助功能指令 (M 指令)

辅助功能指令主要用于对机床在加工过程中的一些辅助动作进行控制, 控制对象通常为开关量, 如主轴的正反转、切削液的开关等。辅助功能字由地址符 M 和其后的两位数字组成, 从 M00 到 M99 共 100 种。

1.2.5 数控车床常用刀具

车刀是一种单刃刀具，其种类很多，按用途可分为外圆车刀、端面车刀、镗刀、切断刀等，如图1-2所示。

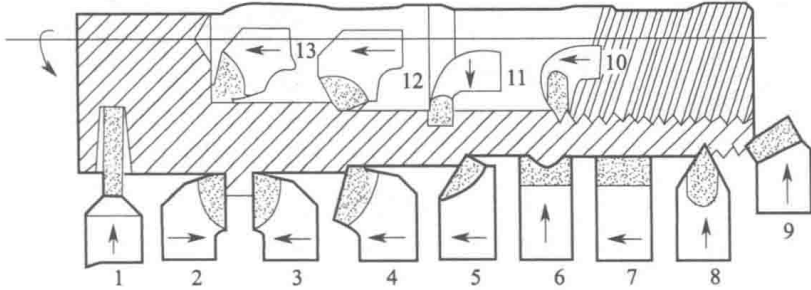


图1-2 常用车刀的种类、形状和用途

- 1—切断刀 2—90°左偏刀 3—90°右偏刀 4—弯头车刀 5—直头车刀
6—成形车刀 7—宽刃精车刀 8—外螺纹车刀 9—端面车刀
10—内螺纹车刀 11—内槽车刀 12—通孔车刀 13—盲孔车刀

车刀按结构形式分为以下几种：

1. 整体式车刀

整体式车刀的切削部分与夹持部分材料相同，用于在小型车床上加工零件或加工有色金属及非金属，高速工具钢刀具即属于此类，如图1-3所示。

2. 焊接式车刀

焊接式车刀的切削部分与夹持部分材料完全不同。切削部分材料多以刀片形式焊接在刀杆上，常用的硬质合金车刀即属于此类。适用于各类车刀，特别是较小的刀具，如图1-4所示。

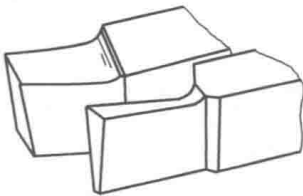


图1-3 整体式车刀

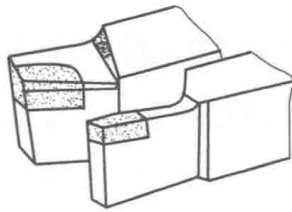


图1-4 焊接式车刀

3. 机夹式车刀

机夹式车刀分为机夹重磨式和不重磨式，前者用钝可集中重磨，后者切削刃用钝后可快速转位再用，也称为机夹可转位式刀具，特别适用于自动生产线和数控车床。机夹式车刀避免了刀片因焊接产生的应力、变形等缺陷，刀杆利用率高，如图1-5所示。

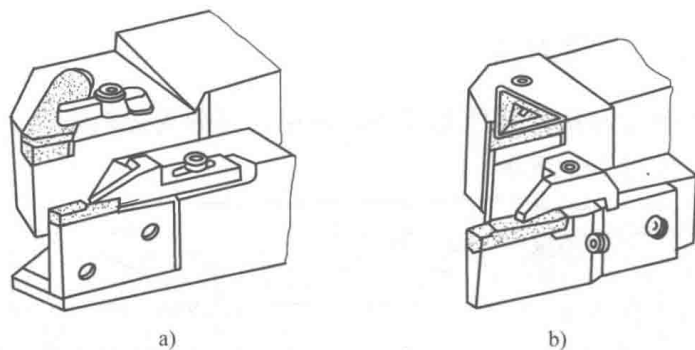


图 1-5 机夹式车刀

a) 机夹重磨式车刀 b) 机夹不重磨式车刀

粗车时,要选强度高、寿命长的刀具,以便满足粗车时大背吃刀量、大进给量的要求。精车时,要选精度高、寿命长的刀具,以保证加工精度的要求。为减少换刀时间和方便对刀,应尽量采用机夹刀和机夹刀片。

1.2.6 数控车床夹具

数控车床夹具主要有两类:一类是安装在主轴上,随着主轴旋转,常用的有自定心卡盘、单动卡盘、顶尖等通用夹具,以及心轴等专用夹具;另一类是安装在床身或者滑板上的夹具,主要用来加工一些尺寸大、形状不规则零件。夹具选择应遵循以下三原则:

- 1) 尽量选用通用夹具装夹工件,避免采用专用夹具。
- 2) 零件定位基准重合,以减少定位误差。
- 3) 减少装夹次数,尽量做到在一次安装中能把零件上所有要加工的表面都加工出来。

1.2.7 数控编程中的数值计算

数控编程时数值计算的主要内容是根据零件图样和选定的走刀路线、编程误差等计算出以直线和圆弧组合所描述的刀具轨迹。

1. 基点计算

零件轮廓曲线一般由许多不同的几何元素组成,如直线、圆弧、二次曲线、自由曲线等,各几何元素之间的连接点称为基点。如直线与直线之间的交点、直线与圆弧的交点或切点、圆弧与圆弧之间的交点与切点等。基点坐标是进行数控编程时所必需的重要数据。

对于由直线与圆弧组成的零件轮廓,基点的计算较简单,一般可通过联立方程的方法或三角函数法求解。对于形状复杂的零件,如含有自由曲线的零件,可借助 CAD/CAM 软件来完成基点的计算,或直接利用软件来完成程序的编制。

2. 节点计算

一般的数控系统都只具备直线和圆弧插补功能，当加工非圆曲线时，常用直线或圆弧线段去逼近曲线，则逼近线段的交点或切点称为节点。

节点的计算比较复杂，手工计算很难完成，一般需要借助 CAD/CAM 软件来完成。求得各节点坐标后，就可按相邻两节点间的直线来编写加工程序。

用直线或圆弧段逼近非圆曲线时，节点的数目决定了程序段的数目。节点数目越多，由直线或圆弧逼近非圆曲线时的逼近误差越小，精度越高，程序的长度也会越长。因此，节点数目的多少，决定了加工的精度和程序的长度。

第2章 FANUC 数控车床编程实例

日本 FANUC 公司是国际知名的数控系统生产商之一，自 1956 年开始生产数控系统以来，陆续开发了 40 多个系列的数控系统。2004 年 4 月 FANUC 公司在中国大陆市场推出 Oi Mate - C 系统，该系统是基于 16i/18i - B 的技术设计的，是高可靠性、高性价比、高集成度的小型化系统，使用了高速串行伺服总线（用光缆连接）和串行 I/O 数据口，配有以太网口，在目前常用的 CNC 中是非常先进的。本章所有实例均根据 FANUC Oi Mate - TC 数控系统编写，零件材料无特殊说明外均为 45 钢。

2.1 阶梯轴类零件加工编程

例 1 阶梯轴零件 1 如图 2-1 所示，试编写数控加工程序（无须切断）。

1. 零件分析

该工件的毛坯选用 $\phi 40\text{mm}$ 的圆柱棒料，装夹时注意控制毛坯外伸量，保证装夹刚性。

2. 工艺分析

从右至左轴向走刀车外圆轮廓。由于阶梯轴是由大逐渐变小，所以采用 G71，粗加工每次背吃刀量为 2mm，粗加工进给量为 100mm/min，精加工进给量为 100mm/min，精加工余量为 0.3mm。

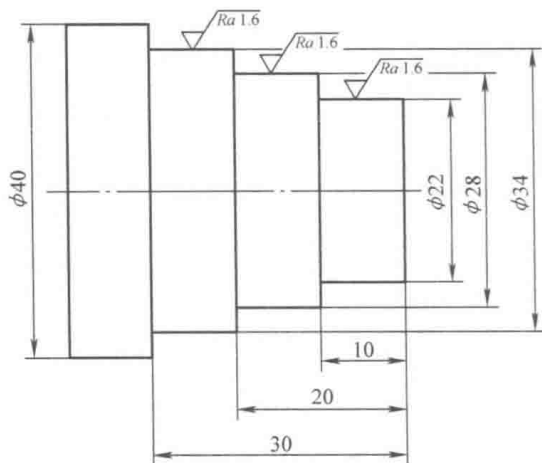


图 2-1 阶梯轴零件 1

【加工工序】

- 1) 车端面。用外圆端面车刀平右端面，用试切法对刀。
- 2) 从右端至左端粗加工外圆轮廓，留 0.3mm 精加工余量。
- 3) 精加工外圆轮廓至图样要求尺寸。

3. 参考程序

【工件坐标系原点】工件右端面回转中心。

【刀具】T01：外圆车刀。

```

O0001;
N10 G98 G21; (定义米制输入、每分钟进给方式编程)
N20 M03 S800; (主轴正转,  $n = 800\text{r}/\text{min}$ )
N30 T0101; (换 T01 号外圆车刀, 并调用 1 号刀补)
N40 G00 X45 Z3 M08; (快速点定位, 切削液开)
N50 G71 U2 R1; (外径粗加工循环)
N60 G71 P70 Q130 U0.3 W0.1 F100; (外径粗加工循环)
N70 G00 X22; (精车路线 N70 ~ N130)
N80 G01 Z - 10 F100;
N90 X28;
N100 Z - 20;
N110 X34;
N120 Z - 30;
N130 X35;
N140 T0101 M03 S1200;
N150 G00 X45 Z3;
N160 G70 P70 Q120; (用 G70 循环指令进行精加工)
N170 G00 X100; (退刀)
N180 Z150.; (快速返回换刀点)
N190 M30; (程序结束返回程序头)

```

例 2 阶梯轴零件 2 如图 2-2 所示, 试编写数控加工程序。

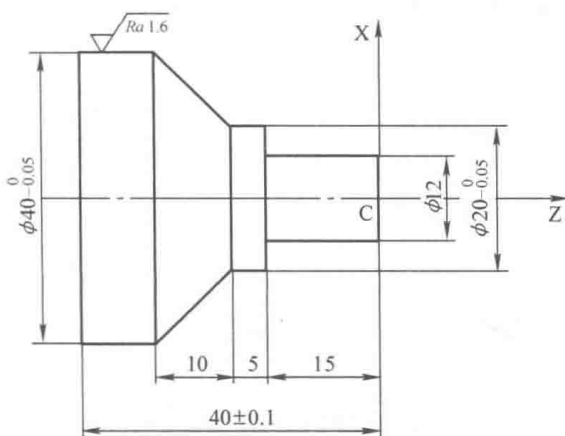


图 2-2 阶梯轴零件 2

1. 零件分析

该工件为阶梯轴零件, 其成品最大直径为 40mm, 由于直径较小, 可以采用

$\phi 45\text{mm}$ 的圆柱棒料加工后切断即可，这样可以节省装夹料头，并保证各加工表面间具有较高的相对位置精度。装夹时注意控制毛坯外伸量，保证装夹刚性。毛坯为 $\phi 45\text{mm} \times 1\text{m}$ 的圆钢棒料。

2. 工艺分析

以 $\phi 45\text{mm}$ 外圆为定位基准，用自定心卡盘装夹。在 XOZ 平面内确定以工件中心为工件原点，Z 方向以工件表面为工件原点，建立工件坐标系，采用手动对刀方法，把右端面点 C 作为对刀点。

【加工工序】

- 1) 车外圆轮廓并保证尺寸精度。
- 2) 切断并保证长度精度。
- 3) 去毛刺，检测工件各项尺寸要求。

3. 参考程序

【工件坐标系原点】工件右端面回转中心。

【刀具】T01：外圆车刀；T02：外切槽刀，刀宽 4mm。

O0001；

N10 G99 G21；（定义米制输入、每转进给方式编程）

N20 M03 S800 T0101；（主轴正转， $n = 800\text{r}/\text{min}$ ，换 1 号外圆车刀，导入该刀刀补）

N30 G00 X47. Z2. M08；（快速点定位，切削液开）

N40 G71 U2 R1；（外径粗加工循环）

N50 G71 P60 Q120 U0.4 W0.1 F0.3；（外径粗加工循环）

N60 G00 X12；（精车路线 N60 ~ N120）

N70 G01 Z - 15 F0.2；

N80 X20. ；

N90 W - 5. ；

N100 X40 Z - 30；

N110 Z - 45；

N120 X41；

N130 T0101 M03 S1200；

N140 G00 X47 Z2；

N150 G70 P60 Q120；（用 G70 循环指令进行精加工）

N160 G00 X100. Z150. ；（快速返回换刀点）

N170 T0202；（换 2 号 4mm 切槽刀，左刀尖对刀）

N180 X42 Z - 44；（快速定位到切断起始位置）

N190 G01 X0. F0.08；（切断）