

数控加工手册

(上册)

宣振宇 主 编

宋 铁 副主编

辽宁科学技术出版社

· 沈 阳 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

数控加工手册: 全2册 / 宣振宇主编. —沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2015.3

ISBN 978-7-5381-9090-8

I. ①数… II. ①宣… III. ①数控机床—加工—技术手册 IV. ①TG659-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 025289 号

出版发行: 辽宁科学技术出版社

(地址: 沈阳市和平区十一纬路29号 邮编: 110003)

印刷者: 沈阳全成广告印务有限公司

经销者: 各地新华书店

开本: 787mm × 1092mm 1/16

印张: 95.5

字数: 2000 千字

出版时间: 2015 年 3 月第 1 版

印刷时间: 2015 年 3 月第 1 次印刷

责任编辑: 高 鹏

封面设计: 杜 江

版式设计: 于 浪

责任校对: 李淑敏 栗 勇 李 雪

书 号: ISBN 978-7-5381-9090-8

定 价: 280.00 元

联系电话: 024-23284373

邮购热线: 024-23284502

E-mail: lnkj1107@126.com

<http://www.lnkj.com.cn>

本社法律顾问: 陈光律师

咨询电话: 13940289230

第一部分

数控车削编程技术

黄俊刚 沈建峰 主编

前 言

数控技术的应用不但给传统制造业带来了革命性的变化，使制造业成为工业化的象征，而且随着数控技术的不断发展和应用领域的扩大，对国计民生的一些重要行业（IT、汽车、轻工、医疗等）的发展起着越来越重要的作用。

产业布局、产品结构的调整使就业结构发生了较大变化，企业对较高层次的第一线应用型人才的需求明显增加。对于数控加工专业，不仅要求从业人员有过硬的实践能力，更要求其掌握系统而扎实的机加工理论知识。因此，既有学历又有很强操作能力的数控加工人才更是成为社会较紧缺、企业最亟需的人才。为满足当前社会对数控机床编程与操作高级技术人才的需求，以及高职高专院校教学的需要，编者编写了本书。

本书内容简明扼要、图文并茂、通俗易懂，针对每个知识点配备了大量的实例。并以岗位需求和职业能力为依据，融合相关职业资格标准，由浅至深，由小到大，循序渐进，对每个项目提出了明确的工作任务及要求，引领整个学习过程。项目下的相关知识以技术实践知识为焦点，以技术理论知识为背景，提高读者的职业能力。

本书由江苏省常州技师学院黄俊刚、沈建峰、魏小燕，泰州技师学院高斌，天津电子信息高级技术学校谢宝民同志负责编写，黄俊刚、沈建峰主编，高斌、谢宝民、魏小燕副主编，江苏省常州技师学院金玉峰同志审稿。另外，在本书的编写过程中借鉴了国内外同行的最新资料与文献，并得到了陈宏高级讲师的精心指导，在此一并致以衷心的感谢。

由于我们水平有限，书中难免存在错误之处，敬请读者给予批评指正。

编 者

2010年9月

总目录

第一部分/1……217

数控车削编程技术

黄俊刚 沈建峰 主编

第二部分/1……261

数控车削加工编程实例

宣振宇 主编

第三部分/1……266

数控车床操作与编程疑难问答

曹亚军 主编

第四部分/1……238

数控铣削加工编程实例

宣振宇 关颖 主编

第五部分/1……263

数控铣床及加工中心操作与编程疑难问答

曹亚军 主编

第六部分/1……239

数控加工工艺方案设计与实施

段晓旭 主编

目 录

第一章 数控车床编程基础

第一节	认识数控车床的坐标系	1
第二节	认识数控车床加工程序	6
第三节	快速定位与直线插补指令	16
第四节	圆弧插补指令	26
第五节	倒圆与倒角指令	35
第六节	数控加工工艺文件	38
第七节	数控车床的日常维护和保养	42

第二章 单一循环指令的编程与应用

第一节	刀具功能	46
第二节	内、外径切削指令 G90	56
第三节	端面车循环 G94	75

第三章 复合循环指令的编程与应用

第一节	粗、精车循环 G71、G70	83
第二节	平端面粗车 G72	93
第三节	型车复合循环 G73	101
第四节	切槽循环 G74、G75	107
第五节	子程序的编程与应用	119
第六节	综合编程实例	127

第四章 螺纹加工工艺与编程

第一节	G32、G34 螺纹指令	131
第二节	G92、G76 螺纹循环指令	146

第五章 宏程序

第一节	A 类宏程序	161
第二节	B 类宏程序	167

第六章 编程与加工实例

第一节	数控车综合实例 1	178
第二节	数控车综合实例 2	183
第三节	数控车综合实例 3	186
第四节	数控车综合实例 4	189
第五节	数控车综合实例 5	192
第六节	数控车综合实例 6	194
第七节	数控车综合实例 7	198
第八节	数控车综合实例 8	201
第九节	数控车综合实例 9	204
第十节	数控车综合实例 10	206
参考文献		217

第一章

数控车床编程基础

第一节 认识数控车床的坐标系

【工作任务】

采用手摇或手动切削方式加工如图 1-1 所示零件，毛坯选用 $\phi 50\text{mm} \times 60\text{mm}$ 的钢料或尼龙棒。

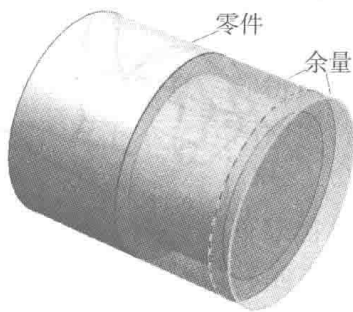
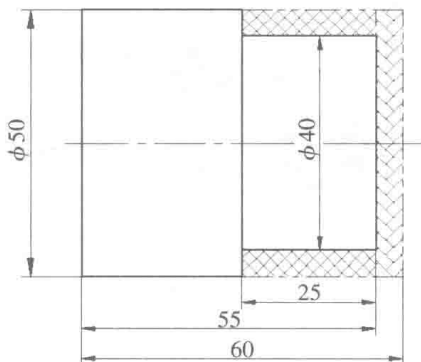


图 1-1 手动切削操作实例



在手动进给前一定要判断好刀具的移动方向及手摇脉冲发生器的旋向后再进行进给，切不可采用“试一试”的方法进行进给。

【相关理论】

要实现刀具在数控机床中的移动，首先要知道刀具向哪个方向移动。这些刀具的移动方向即为数控机床的坐标系方向。因此，数控编程与操作的首要任务就是确定机床的坐标系。

一、机床坐标系（标准坐标系）

1. 机床坐标系的定义

在数控机床上加工零件，机床的动作是由数控系统发出的指令来控制的。为了确定机床的运动方向和移动距离，就要在机床上建立一个坐标系，这个坐标系就叫机床坐标系，也叫标准坐标系。

2. 机床坐标系中的规定

数控车床的加工动作主要分为刀具的运动和工件的运动两部分，因此，在确定机床坐标系的方向时规定：永远假定刀具相对于静止的工件而运动。

对于机床坐标系的方向，统一规定增大工件与刀具间距离的方向为正方向。

数控机床的坐标系采用符合右手定则规定的笛卡尔坐标系。如图 1-2 左图所示，大拇指的方向为 X 轴的正方向，食指指向 Y 轴的正方向，中指指向 Z 轴的正方向。右图则规定了转动轴 A 、 B 、 C 轴转动的正方向。对工件旋转的主轴（如车床主轴），其正转方向（ $+C'$ ）与 $+C$ 方向相反。对前置刀架式的各类车床，现称的“正转”，按标准应为反转（ $-C'$ ），其“正转”是指习惯上的俗称。

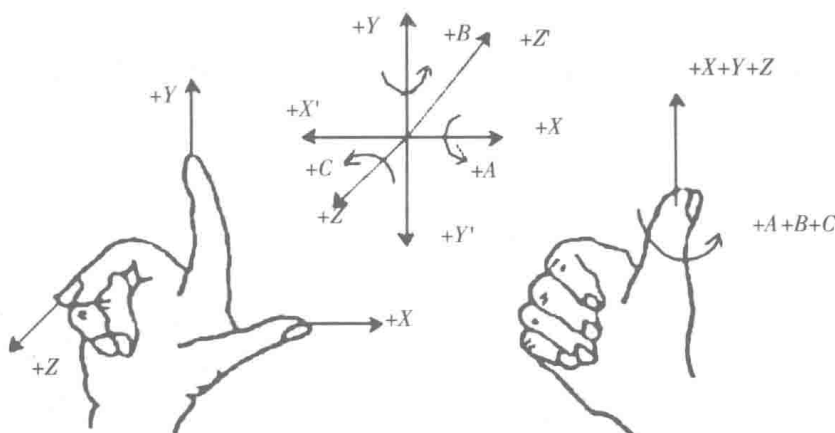


图 1-2 右手笛卡尔坐标系

3. 机床坐标系的确定

数控车床的机床坐标系方向如图 1-3、图 1-4 所示，其确定方法如下：

(1) Z 坐标方向 Z 坐标的运动由主要传递切削动力的主轴所决定。对任何具有旋转主轴的机床，其主轴及与主轴轴线平行的坐标轴都称为 Z 坐标轴（简称 Z 轴）。根据坐标系正方向的确定原则，刀具远离工件的方向为该轴的正方向。

(2) X 坐标方向 X 坐标一般为水平方向并垂直于 Z 轴。对工件旋转的机床（如车床）， X 坐标方向规定在工件的径向上且平行于车床的横导轨，同时也规定其刀具远离工件的方向为 X 轴的正方向。

确定 X 坐标方向时，要特别注意前置刀架式数控车床（图 1-3）与后置刀架式数控车床（图 1-4）的区别。

(3) Y 坐标方向及确定各轴的方法 Y 坐标垂直于 X 、 Z 坐标轴。按照右手笛卡尔坐标系确定机床坐标系中各坐标轴时，应根据主轴先确定 Z 轴，然后再确定 X 轴，最后确定 Y 轴。数控车床坐标系如图 1-3 及图 1-4 所示。

(4) 旋转轴方向 旋转坐标 A 、 B 、 C 对应表示其轴线分别平行于 X 、 Y 、 Z 坐标轴的旋转坐标。 A 、 B 、 C 坐标的正方向分别规定在沿 X 、 Y 、 Z 坐标轴正方向并按照右旋螺纹旋进的方向，如图 1-2 中的右图所示。

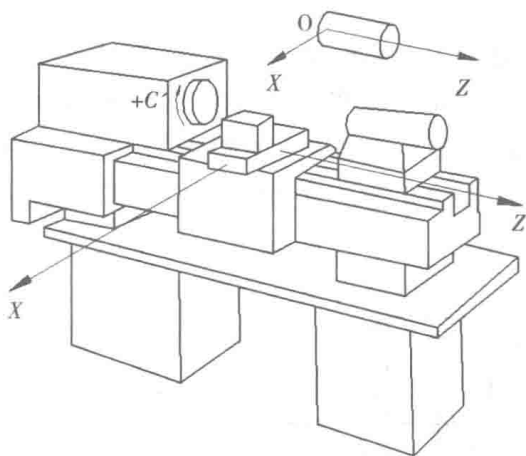


图 1-3 水平床身前置刀架式数控车床的坐标系

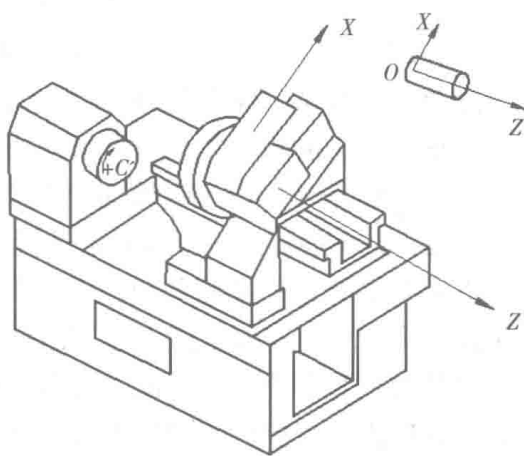


图 1-4 倾斜床身后置刀架式数控车床的坐标系

二、机床原点和机床参考点

1. 机床原点

机床原点（亦称为机床零点）是机床上设置的一个固定的点，即机床坐标系的原点。机床原点在机床装配、调试时就已调整好，一般情况下不允许用户进行更改，因此它是一个固定的点。

机床原点又是数控机床进行加工或位移的基准点。有一些数控车床将机床原点设在卡盘中心处（图 1-5），还有一些数控机床将机床原点设在刀架位移的正向极限点位置（图 1-6）。

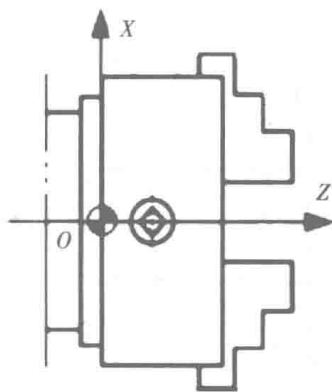


图 1-5 机床原点位于卡盘中心

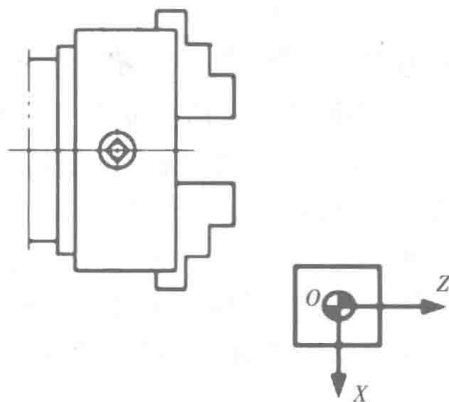


图 1-6 机床原点位于刀架正向运动极限点

2. 机床参考点

机床参考点是数控机床上一个特殊位置的点。通常，数控车床的第一参考点一般位于刀架正向移动的极限点位置，并由机械挡块来确定其具体的位置。机床参考点与机床原点的距离由系统参数设定，其值可以是零；如果其值为零则表示机床参考点和机床零点重合。

对于大多数数控机床，开机第一步总是先使机床返回参考点（即所谓的机床回零）。当机床处于参考点位置时，系统显示屏上的机床坐标系显示系统参数中设定的数值（即参考点与机床原点的距离值）。开机回参考点的目的就是为了建立机床坐标系，即通过参考点当前的位置和系统参数中设定的参考点与机床原点的距离值（图 1-7 中的 a 和 b ）来反推出机床原点位置。机床坐标系一经建立后，只要机床不断电，将永远保持不变，且不能通过编程来对它进行改变。

机床上除设立了参考点外，还可用参数来设定第 2、3、4 参考点，设立这些参考点的目的是为了建立一个固定的点，在该点处数控机床可执行诸如换刀等一些特殊的动作。

三、工件坐标系

1. 工件坐标系的概念

机床坐标系的建立保证了刀具在机床上的正确运动。但是，由于加工程序的编制通常是针对某一工件根据零件图样进行的，为了便于尺寸计算、检查，加工程序的坐标系原点一般都与零件图样的尺寸基准相一致。这种针对某一工件，根据零件图样建立的坐标系称为工件坐标系（也称编程坐标系）。

2. 工件坐标系原点

工件坐标系原点也称编程坐标系原点，该点是指工件装夹完成后，选择工件上的某一点作为编程或工件加工的原点。工件坐标系原点在图中以符号“ $\odot$ ”表示。

数控车床工件坐标系原点选取如图 1-8 所示。 X 向一般选在工件的回转中心，而 Z 向一般选在完工工件的右端面（ O 点）或左端面（ O' 点）。采用左端面作为 Z 向工件原点有利于保证工件的总长，而采用右端面作为 Z 向工件原点则有利于对刀。

3. 工件坐标系原点设定

工件坐标系原点通常通过零点偏置的方法来进行设定，零点偏置设定的工件坐标系实质就是在编程与加工之前让数控系统知道工件坐标系在机床坐标系中的具体位置。其设定过程为：选择装夹后工件的编程坐标系原点，找出该点在机床坐标系中的绝对坐标值（图 1-9 中的 X 、 Z 值），将这些值通过机床面板操作输入机床偏置存储器参数（这种参数有 G54 ~ G59 共计 6 个）

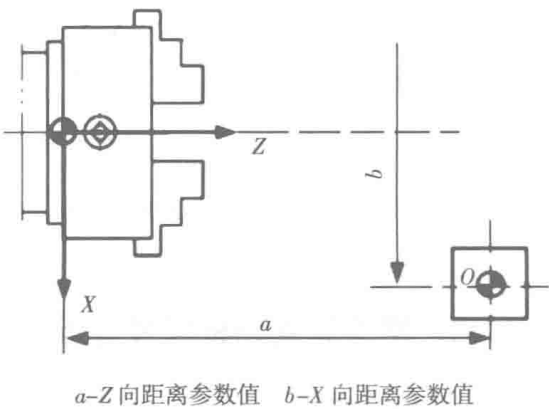
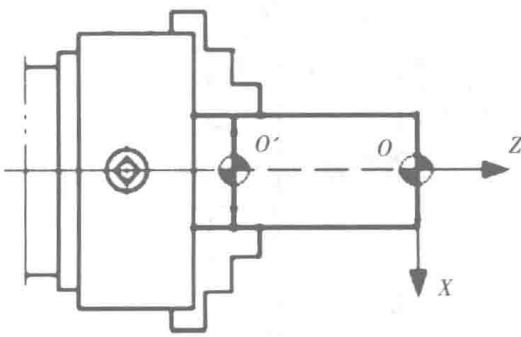


图 1-7 机床原点与参考点



O —机床原点 O' —机床参考点

图 1-8 工件坐标系原点

中,从而将机床坐标系原点偏移至工件坐标系原点。找出工件坐标系在机床坐标系中位置的过程称为对刀。

零点偏置的数据,可以设定 G54 等多个,如图 1-10 所示。在 FANUC 及 SIEMENS 802D 系统中可设置 G54 ~ G59 共 6 个能通过系统参数设定的偏置指令;而在 SIEMENS 802C/S 系统中,则规定可设置 G54 ~ G57 共 4 个通过系统参数设定的偏置指令。这些指令均为同组的模态指令。

通过这种方法设定的工件坐标系,只要不对其进行修改、删除操作,该工件坐标系将永久保存,即使机床关机,其坐标系也将保留。

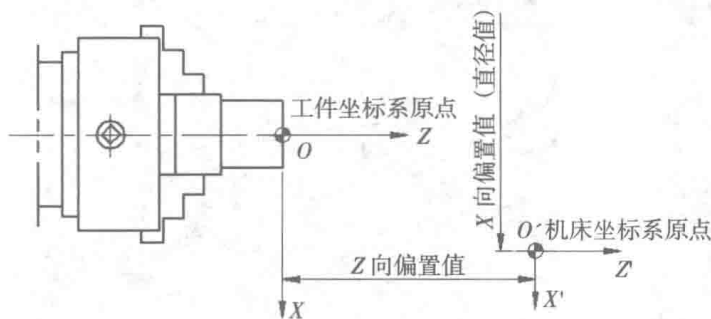


图 1-9 工件坐标系零点偏置

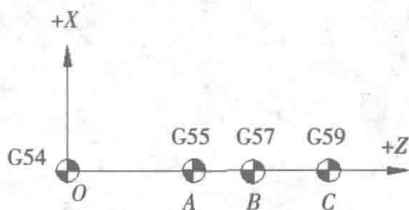
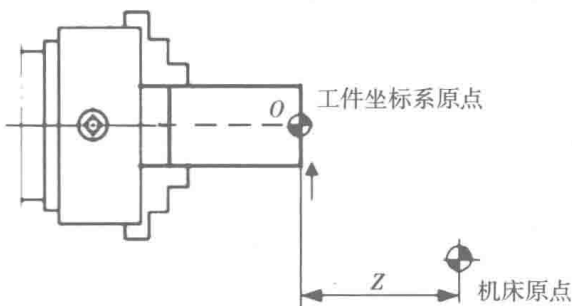


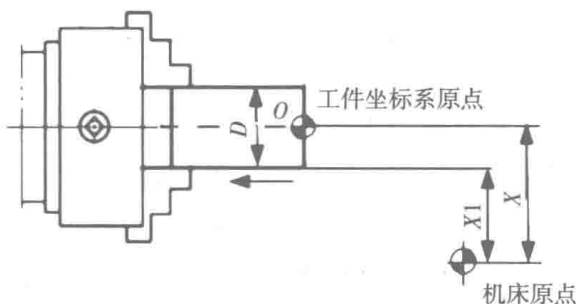
图 1-10 工件零点偏置的选择

4. 试切削对刀与设定工件坐标系

采用 G54 设定工件坐标系,对刀操作的过程如图 1-11 所示。



(a) Z 轴对刀过程图



(b) X 轴对刀过程图

图 1-11 对刀过程图

(1) Z 轴方向的对刀

①切削端面。工作方式按钮选“手动”或者“手摇”,点击操作面板上的主轴“正转”按钮,主轴转动。将刀具移至如图 1-11 (a) 的位置,选择相应的“X”轴选择旋钮,点击“-X”按钮,切削工件端面。然后按“+X”按钮,Z 方向保持不动,刀具退出。

②点击操作面板上的“主轴停止”按钮,使主轴停止转动。

③按下“POS”键,再按下软键[综合]记录屏幕显示画面中的机械坐标系的 Z 值,

如图 1-12 所示。

- ④点击“OFS/SET”软键，把光标定位在需要设定的坐标系上，如图 1-13 所示。
- ⑤在键盘面板上按下需要设定的轴“Z”键。
- ⑥输入工件坐标系原点的距离（注意距离有正负号，一般为 0）。
- ⑦按菜单软键[测量]，自动计算出坐标值填入，核查是否与记录的机械坐标系的 Z 值一致。

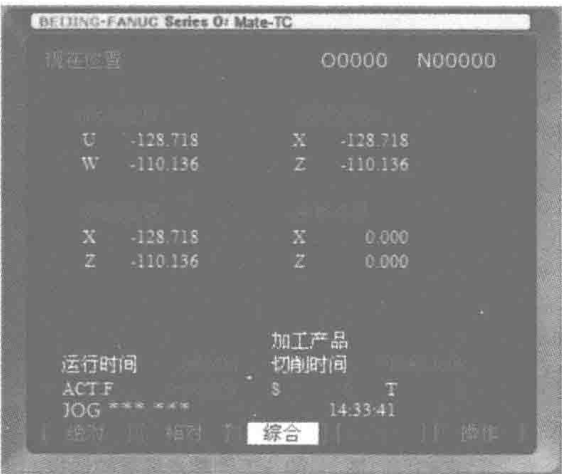


图 1-12 对刀操作与屏幕显示图

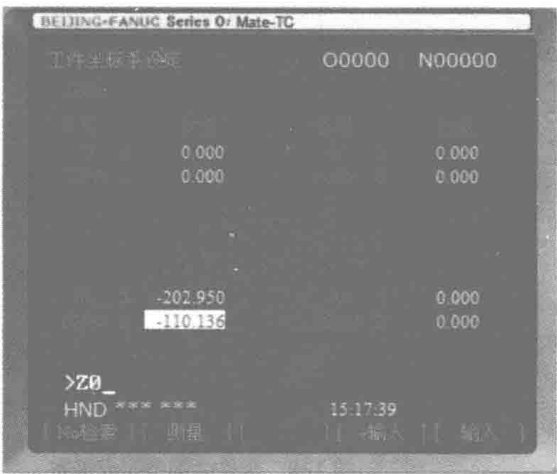


图 1-13 工件坐标系的设定显示画面

(2) X 轴方向的对刀

- ①切削外径。工作方式按钮选“手动”或者“手摇”，点击操作面板上的主轴“正转”按钮，主轴转动。将刀具移至如图 1-11 (b) 的位置，选择相应的“Z”轴选择旋钮，点击“-Z”按钮，切削工件外圆。然后按“+Z”按钮，X 方向保持不动，刀具退出。
- ②测量切削位置的直径。点击操作面板上的“主轴停止”按钮，使主轴停止转动，用游标卡尺测量加工的工件外圆（直径）。
- ③按下“POS”键，再按下软键[综合]记录屏幕显示画面中的机械坐标系的 X1 值。
- ④点击“OFS/SET”软键，把光标定位在需要设定的坐标系上。
- ⑤在键盘面板上按下需要设定的轴“X”键。
- ⑥输入测量的工件外圆（直径 ϕD ）。
- ⑦按菜单软键[测量]，自动计算出坐标值填入，核查坐标系是否有误。

第二节 认识数控车床加工程序

【工作任务】

分析下列程序（加工中使用的刀具为 93°外圆偏刀），完成表 1-1 的填写。
O0050; (PROGRAM NAME=50)

```
N10 G90 G99 G40 G21 F0.3;
N20 T0101;
N30 M03 S500 M08;
N40 G00 X100.0 Z50.0;
N50 G00 X52.0 Z5.0;
N60      Z0.0;
N70 G01 X-2.0 F0.25 S800;
N80 G01 Z5.0 F0.25;
N90 G00 X52.0;
N100      X48.0;
N110 G01 Z-25.0;
N120      X52.0;
/N130 G00 Z5.0;
N140      Z50.0;
N150 M30;
```

表 1-1 分析程序

问 题	答 案
N10 程序段中哪些是开机默认指令?	
N50 程序段中哪些代码可省略不写?	
N80 程序段可简写成?	
N110 程序段刀具的进给速度是多少?	
N110 程序段刀具的转速是多少?	
N110 程序段刀具的线速度是多少?	
哪个程序段是可跳跃程序段?	
表示程序注释的内容有哪些?	
表示程序结束的程序段是哪个?	

【相关理论】

一、数控编程

1. 数控编程的定义

为了使数控机床能根据零件加工的要求进行动作，必须将这些要求以机床数控系统能识别的指令形式告知数控系统，这种数控系统可以识别的指令称为程序，制作程序的过程称为数控编程。

数控编程的过程不仅仅指编写数控加工指令代码的过程，它还包括从零件分析到编写加工指令代码再到制成控制介质以及程序校核的全过程。在编程前首先要进行零件的加工工艺分析，确定加工工艺路线、工艺参数、刀具的运动轨迹、位移量、切削用量（切削速度、进给量、背吃刀量）以及各项辅助功能（换刀、主轴正反转、切削

液开关等)；接着根据数控机床规定的指令代码及程序格式编写加工程序单；再把这一程序单中的内容记录在控制介质上(如软磁盘、移动存储器、硬盘)，检查正确无误后采用手工输入方式或计算机传输方式输入数控机床的数控装置中，从而指挥机床加工零件。

2. 数控编程的分类

数控编程可分为手工编程和自动编程两种。

(1) 手工编程 手工编程是指编制加工程序的全过程，即图样分析、工艺处理、数值计算、编写程序单、制作控制介质、程序校验都是由手工来完成。

手工编程不需要计算机、编程器、编程软件等辅助设备，只需要有合格的编程人员即可完成。手工编程具有编程快速及时的优点，但其缺点是不能进行复杂曲面的编程。手工编程比较适合批量较大、形状简单、计算方便、轮廓由直线或圆弧组成的零件的加工。对于形状复杂的零件，特别是具有非圆曲线、列表曲线及曲面的零件，采用手工编程比较困难，最好采用自动编程的方法进行编程。

(2) 自动编程 自动编程是指用计算机编制数控加工程序的过程。

自动编程的优点是效率高，程序正确性好。自动编程由计算机代替人完成复杂的坐标计算和书写程序单的工作，它可以解决许多手工编制无法完成的复杂零件编程难题，但其缺点是必须具有自动编程系统或编程软件。自动编程较适合于形状复杂零件的加工程序编制，如模具加工、多轴联动加工等场合。

采用 CAD/CAM 软件自动编程与加工的过程为：图样分析、零件造型、生成刀具轨迹、后置处理生成加工程序、程序校验、程序传输并进行加工。

3. 数控手工编程的内容与步骤

编程步骤如图 1-14 所示，主要有以下几个方面的内容：

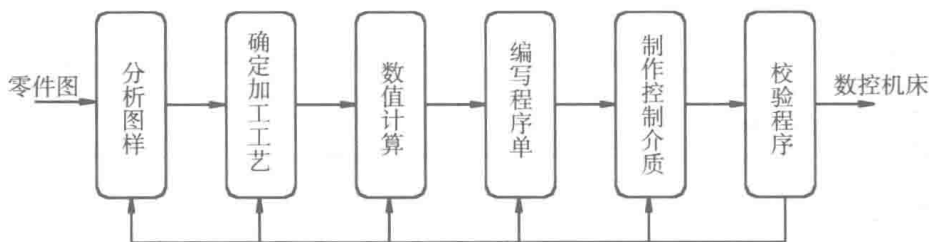


图 1-14 数控编程的步骤

(1) 分析图样 分析图样包括零件轮廓分析，零件尺寸精度、形位精度、表面粗糙度、技术要求的分析，零件材料、热处理等要求的分析。

(2) 确定加工工艺 确定加工工艺的内容包括选择加工方案，确定加工路线，选择定位与夹紧方式，选择刀具，选择各项切削参数，选择对刀点、换刀点等。

(3) 数值计算 数值计算包括选择编程坐标系原点，对零件轮廓上各基点或节点进行准确的数值计算，为编写加工程序单做好准备。

(4) 编写程序单 根据数控机床规定的指令及程序格式编写加工程序单。

(5) 制作控制介质 简单的数控加工程序可直接通过键盘进行手工输入。当需要

自动输入加工程序时，必须预先制作控制介质。现在大多数程序采用软盘、移动存储器、硬盘作为存储介质，采用计算机传输进行自动输入。

(6) 校验程序 加工程序必须经过校验并确认无误后才能使用。程序校验一般采用机床空运行的方式进行，有图形显示功能的机床可直接在 CRT 显示屏上进行校验，另外还可采用计算机数控模拟等方式进行校验。

4. 数控车床编程特点

(1) 混合编程 在一个程序段中，根据图样上标注的尺寸，可以采用绝对或增量方式编程，也可采用两者混合编程。在 SIEMENS (西门子) 系统中用 G90/G91 指令来指定绝对尺寸与增量尺寸，而在某些数控系统 (如 FANUC) 中则规定直接用地址符 U、W 分别指定 X、Z 坐标轴上的增量值。

(2) 径向尺寸以直径量表示 由于被车削零件的径向尺寸在图样标注和测量时均采用直径尺寸表示。所以在直径方向编程时，X (U) 通常以直径量表示。如果要以半径量表示，则通常要用相关指令在程序中进行规定。

(3) 径向加工精度高 为提高工件的径向尺寸精度，X 向的脉冲当量取 Z 向的 1/2。

(4) 固定循环简化编程 由于车削加工时常用棒料或锻料作为毛坯，加工余量较多，为了简化编程，数控系统采用了不同形式的固定循环，便于进行多次重复循环切削。

(5) 刀尖圆弧半径补偿 在数控编程时，常将车刀刀尖看作一个点，而实际的刀尖通常是一个半径不大的圆弧。为了提高工件的加工精度，在编制采用圆弧形车刀的加工程序时，常采用 G41 或 G42 指令来对车刀的刀尖圆弧半径进行补偿。

(6) 采用刀具位置补偿 数控车床的对刀操作及工件坐标系的设定通常采用刀具位置补偿的方法进行。

二、数控加工程序的格式

每一种数控系统，根据系统本身的特点与编程的需要，都规定有一定的程序格式。对于不同的机床，其程序格式也不同。因此，编程人员必须严格按照机床 (系统) 说明书规定的格式进行编程。但加工程序的基本格式是相同的。

1. 程序的组成

一个完整的程序由程序号、程序内容和程序结束三部分组成，如下所示：

O0001;	}	程序号	
N10 G98 G40 G21;		}	程序内容
N20 T0101;			
N30 G00 X100.0 Z100.0;			
N40 M03 S800;			
.....			
N200 G00 X100.0 Z100.0;			
N210 M30;		程序结束	

(1) 程序号 每一个存储在系统存储器中的程序都需要指定一个程序号以相互区别，这种用于区别零件加工程序的代号称为程序号。