



高职高专教育“十二五”规划教材

数控编程与操作技术 项目化教程

高汉华 赵红梅 〇 主编



哈尔滨工程大学出版社
Harbin Engineering University Press



高职高专教育“十二五”规划教材

数控编程与操作技术 项目化教程

主 编 高汉华 赵红梅

副主编 王吴光 陈 凤 胡毅光
常州大学图书馆藏
参 周 书 李 章 张培彦
贾耀首 张劲松

内 容 简 介

本书是根据数控技术领域职业岗位群的需求,以“工学结合”为切入点,以“工作任务”为导向,模拟职业岗位要求开发的理论与实践一体化的项目式教材。本书以数控加工中典型零件的加工面为载体,重点突出操作技能及相关的专业知识,理论知识以实用、够用为度编写而成。在教材内容方面,安排了数控车削编程与操作、数控铣削编程与操作、数控加工中心编程与操作三个模块,模块中设置了八个项目;各项目的难度呈递进关系,每个项目中配有拓展训练任务,供学生课后训练使用。

全书适用于高职高专院校、成人教育及本科院校举办的二级职业技术学院数控技术专业及其他相关专业教学用书,还可作为数控机床编程与操作人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数控编程与操作技术项目化教程/高汉华,赵红梅
主编. —哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2011.2
ISBN 978-7-5661-0003-0

I. 数… II. ①高… ②赵… III. ①数控机床—程
序设计—教材 ②数控机床—操作—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 013696 号

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451-82519328
传 真 0451-82519699
经 销 新华书店
印 刷 北京朝阳印刷厂有限责任公司
开 本 787mm×1 092mm 1/16
印 张 15
字 数 355 千字
版 次 2011 年 2 月第 1 版
印 次 2011 年 2 月第 1 次印刷
定 价 28.00 元
<http://press.hrbeu.edu.cn>
E-mail:heupress@hrbeu.edu.cn

前言

本书是根据数控技术领域职业岗位群的需求,参考人力资源和社会保障部培训就业司颁发的《数控加工专业教学计划与教学大纲》,并结合《数控程序员国家职业标准》《数控车工国家职业标准》《数控铣工国家职业标准》和《加工中心操作工职业标准》,在广泛调研的基础上,组织企业生产一线人员和学校专任教师等共同编写的本书。

本书是以“工学结合”为切入点,以“工作任务”为导向,模拟职业岗位要求开发的理论与实践一体化的项目式教材。本书改变了传统的数控编程教材以指令为主线的章节分配形式,以数控加工中的典型零件为载体加工各种面,重点突出与操作技能相关的必备专业知识,理论知识以实用、够用为度。在教材内容方面,安排了数控车削编程与操作、数控铣削编程与操作和数控加工中心编程与操作三个模块,三个模块中包含车削编程与操作基础、轴套类零件的编程与操作、螺纹零件的编程与操作、复合轴的编程与操作、平面与外轮廓的编程与操作、槽腔铣削的编程与操作、孔板零件铣削的编程与操作和加工中心的编程与操作八个项目,每个项目中设置了若干任务,每个任务以 FANUC 系统为例提供了参考程序,具有较强的针对性和适应性,每个任务的内容相对独立,每个项目中各任务的难度总体上呈递进关系,每个任务中配有拓展训练任务,供学生课后训练使用。每个任务按“项目任务书→任务解析→知识准备→任务实施→拓展训练”内容展开,体现了数控加工岗位的职业工作过程。

本书以突出理论实践一体化教学为原则,适用于数控编程教学、数控仿真训练和机床实操训练,也适用于数控加工实训教材。

本书由无锡商业职业技术学院高汉华,九江职业大学赵红梅任主编;无锡商业职业技术学院王吴光、陈凤,湘潭职业技术学院胡毅光,常德职业技术学院王艳宜任副主编;郑州旅游职业学院周鹏、李丹丹、张培彦,漯河职业技术学院贾耀曾,湖南冷水江工业学校张劲松参与编写。全书由高汉华负责统稿,并总纂定稿。

在编写本书的过程中,得到无锡商业职业技术学院教改课题经费支持,无锡协易机床城等单位也给予了大力支持和帮助,在此谨对他们的支持表示衷心感谢。

编者

2010年11月

目 录

模块一 FANUC0i 系统车削编程与操作

项目一 车削编程与操作基础	3
任务1.1 圆柱轴的编程与操作	4
1.1.1 项目任务书	4
1.1.2 任务解析	4
1.1.3 知识准备——车削编程基础及工艺文件、G00/G01 指令用法	5
1.1.4 任务实施	22
1.1.5 拓展训练——圆锥轴的编程与操作	24
任务1.2 凸圆弧轴的编程与操作	24
1.2.1 项目任务书	24
1.2.2 任务解析	24
1.2.3 知识准备——圆弧插补指令 G02/G03	25
1.2.4 任务实施	26
1.2.5 拓展训练——凹圆弧轴的编程与操作	28
习题	28
项目二 轴套类零件的编程与操作	30
任务2.1 轴类零件的编程与操作	31
2.1.1 项目任务书	31
2.1.2 任务解析	31
2.1.3 知识准备——零点偏置及刀尖半径补偿功能、G90/G94 指令用法	31
2.1.4 任务实施	39
2.1.5 拓展训练——盘盖零件编程与操作	41
任务2.2 阶梯轴零件的编程与操作	42
2.2.1 项目任务书	42
2.2.2 任务解析	42
2.2.3 知识准备——G71/G72/G73/G70 指令用法	42
2.2.4 任务实施	49
2.2.5 拓展训练——阶梯轴零件编程与操作	51
任务2.3 套类零件的编程与操作	52
2.3.1 项目任务书	52

2.3.2 任务解析	53
2.3.3 知识准备——内孔加工工艺及测量方法	53
2.3.4 任务实施	55
2.3.5 拓展训练——套类零件编程与操作	57
习题	58
项目三 螺纹零件的编程与操作	60
任务3.1 螺纹零件的编程与操作	61
3.1.1 项目任务书	61
3.1.2 任务解析	61
3.1.3 知识准备——G32/G92 指令用法、螺纹加工工艺及测量方法	61
3.1.4 任务实施	68
3.1.5 拓展训练——锥堵零件的编程与操作	70
任务3.2 梯形螺纹零件的编程与操作	71
3.2.1 项目任务书	71
3.2.2 任务解析	71
3.2.3 知识准备——G76 指令用法、梯形螺纹加工工艺及刀具	72
3.2.4 任务实施	75
3.2.5 拓展训练——螺母零件的编程与操作	76
习题	77
项目四 复合轴的编程与操作	79
任务4.1 端盖的编程与操作	80
4.1.1 项目任务书	80
4.1.2 任务解析	80
4.1.3 知识准备——G74/G75/M98/M99 指令用法	81
4.1.4 任务实施	85
4.1.5 拓展训练——滑轮零件的编程与操作	87
任务4.2 复合轴的编程与操作	88
4.2.1 项目任务书	88
4.2.2 任务解析	89
4.2.3 知识准备——数控车床操作方法	89
4.2.4 任务实施	97
4.2.5 拓展训练——螺纹轴的编程与操作	99
习题	100

模块二 FANUC 系统铣削编程与操作

项目一 平面与外轮廓的编程与操作	105
任务1.1 平面的编程与操作	106
1.1.1 项目任务书	106

1.1.2 任务解析	106
1.1.3 知识准备——铣削编程基础、G90/G91/G92/G54~G59/G00/G01 指令用法	106
1.1.4 任务实施	125
1.1.5 拓展训练——模板上表面编程与操作	127
任务1.2 外轮廓的编程与操作	128
1.2.1 项目任务书	128
1.2.2 任务解析	128
1.2.3 知识准备——G40/G41/G42 /G43/G44/G49/G17/G18/G19/G02/ G03 指令用法	129
1.2.4 任务实施	133
1.2.5 拓展训练——凸模外轮廓编程与操作	136
习题	137
项目二 槽腔铣削的编程与操作	138
任务2.1 槽铣削的编程与操作	139
2.1.1 项目任务书	139
2.1.2 任务解析	139
2.1.3 知识准备——M98/M99/G51/G50/G52 指令用法、数控铣床操作 基础	140
2.1.4 任务实施	156
2.1.5 拓展训练——圆弧槽编程与操作	160
任务2.2 型腔铣削的编程与操作	161
2.2.1 项目任务书	161
2.2.2 任务解析	161
2.2.3 知识准备——G50.1/G51.1/G51/G50/G68/G69 指令用法	162
2.2.4 任务实施	167
2.2.5 拓展训练——型腔铣削编程与操作	171
习题	172
项目三 孔板零件铣削的编程与操作	173
任务3.1 孔板零件的编程与操作	174
3.1.1 项目任务书	174
3.1.2 任务解析	174
3.1.3 知识准备——固定循环指令、数控机床程序传输与通信	174
3.1.4 任务实施	184
3.1.5 拓展训练——盘类零件编程加工	186
任务3.2 FANUC 系统 A 类宏程序应用	187
3.2.1 项目任务书	187
3.2.2 任务解析	188

3.2.3 知识准备——A类宏程序基本知识	188
3.2.4 任务实施	193
3.2.5 拓展训练——盖板编程与操作	195
习题	196
模块三 FANUC 系统加工中心编程与操作	
项目一 加工中心的编程与操作	199
任务1.1 凸模的编程与操作	200
1.1.1 项目任务书	200
1.1.2 任务解析	200
1.1.3 知识准备——G16/G15 指令用法、加工中心操作基础	200
1.1.4 任务实施	213
1.1.5 拓展训练——凸台零件编程加工	217
任务1.2 FANUC 系统 B 类宏程序应用	217
1.2.1 项目任务书	217
1.2.2 任务解析	218
1.2.3 知识准备——B类宏程序基本知识、立式加工中心的仿真操作	218
1.2.4 任务实施	227
1.2.5 拓展训练——卡板零件编程加工	229
习题	230
参考文献	231

模块一

FANUC0i系统

车削编程与操作

项目一

车削编程 与操作基础

本章要点

- ◆ 数控车编程基础知识及基本指令应用。
- ◆ 数控加工工艺文件的编制方法。
- ◆ 简单轴类零件的编程方法。

技能目标

- ◆ 能够熟练地制定简单轴类零件数控加工工艺并能正确编制加工程序。
- ◆ 能够准确建立工件坐标系。
- ◆ 能够熟练应用 G00/G01、G02/G03 等编程指令。

任务 1.1 圆柱轴的编程与操作

1.1.1 项目任务书

某单位现准备加工如图 1.1 所示销钉零件。该件已完成粗加工，单边留有 0.25mm 加工余量。

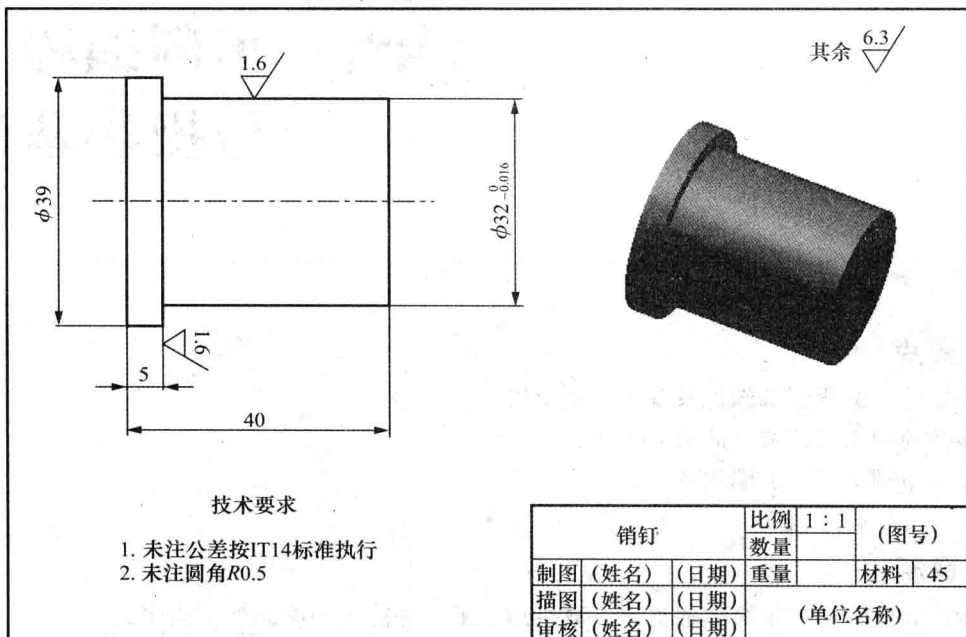


图 1.1 销钉

① 任务要求：制定该零件数控车削工艺并编制该零件的精加工程序。

② 学习目标：掌握数控程序的编制方法及步骤，学习 G00/G01 等基本编程指令的应用。

1.1.2 任务解析

图 1.1 所示零件，外圆和端面需要加工， $\phi 32$ 外圆加工精度较高。

① 设销钉零件毛坯尺寸为 $\phi 40 \times 100$ ，轴线为工艺基准，用三爪自定心卡盘夹持 $\phi 40$ 外圆，使工件伸出卡盘 50mm，一次装夹完成粗、精加工。

② 加工顺序。零件已完成端面及外圆的粗车，每面留有 0.25mm 精加工余量 ($\phi 32 \times 35$ 、 $\phi 39 \times 5$)，本工序从右到左精车端面及外圆，达到尺寸及精度要求。

③ 基点计算按标注尺寸的平均值计算。

1.1.3 知识准备——车削编程基础及工艺文件、G00/G01 指令用法

1. 编程方法和步骤

数控机床是一种自动化机床，在数控机床上加工零件时，首先要编制零件的加工程序。所谓数控编程是指从零件图纸到获得数控加工程序的全部工作过程。

(1) 数控程序的编制方法

数控编程的方法主要有手工编程和自动编程两种。

① 手工编程。主要由人工来完成数控编程中各个阶段的工作，如图 1.2 所示。对于几何形状不太复杂的零件，所需的加工程序不长、计算比较简单，故用手工编程比较合适。

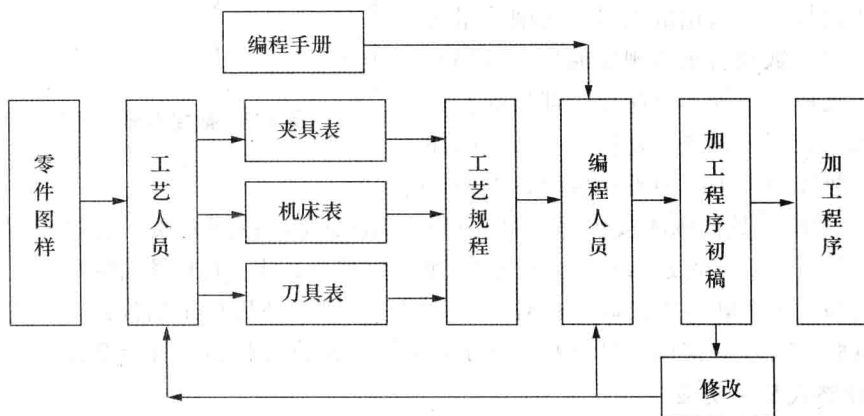


图 1.2 手工编程

手工编程的特点是耗费时间较长、容易出现错误，无法胜任复杂形状零件的编程。据国外资料统计，当采用手工编程时，一段程序的编写时间与其在机床上运行加工的实际时间之比平均约为 30 : 1，而无法使用数控机床加工的原因中有 20%~30% 是由于加工程序编制困难、编程时间较长。

② 自动编程。在编程过程中，除了分析零件图样和制定工艺方案由人工进行外，其余工作均由计算机辅助完成。

采用计算机自动编程时，数学处理、编写程序、检验程序等工作是由计算机自动完成的。由于计算机可自动绘制出刀具中心运动轨迹，编程人员可及时检查程序是否正确，需要时可随时修改。又由于计算机自动编程代替程序编制人员完成了繁琐的数值计算，可提高编程效率几十倍乃至上百倍，因此解决了手工编程无法解决的许多复杂零件的编程难题。

(2) 数控编程的步骤

编制数控程序一般要经过下面几个步骤，如图 1.3 所示。

① 分析零件图样和制定工艺方案。在分析零件图样时，要看懂零件的结构，根据工件的形状尺寸、尺寸精度、形位公差、表面粗糙度及热处理等要求，必要时还应根据零件相关的装配图，弄清零件的作用及关键部位的要求，以此来作为制定工艺方案的依据。在熟悉图样的基础上，就可以制定零件的工艺过程。制定工艺的主要工作是确定加工方法、加工顺序、选择定位面、确定夹紧方式、正确地选择刀具及合适的切削用量、正确使用切

削液等。制定的加工工艺，在保证零件精度的前提下，应使进给路线要短、进给次数要少、换刀次数也要尽可能少，加工安全可靠。

② 数学处理。数控机床加工是根据工件的几何图形分段进行的，因此在编程前，要对组成零件形状的几何元素进行分析、分段，并对几何元素之间的交点、切点、节点、圆心等特殊点的坐标值进行计算，以便编程时使用。

③ 编写加工程序单。按照已经确定的加工顺序、进给路线、选用的刀具、切削用量及辅助动作，结合数控机床所规定的指令代码及程序格式，逐段编写加工程序单，即用数控语言来描述加工过程。另外，还应附上必要的加工示意图、机床调整卡、刀具布置图、工序卡等。

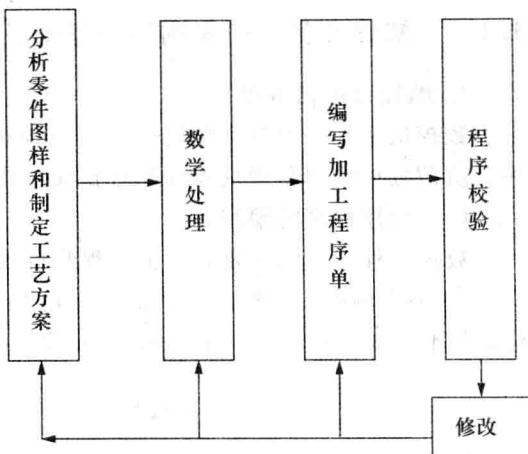


图 1.3 数控编程内容和步骤

④ 程序校验。数控机床按照程序自动进行切削加工，控制介质上的加工程序必须经过校验，确认正确后才可进入加工。一般可通过数控机床上 CRT 屏幕的显示功能进行模拟加工，以检查编程轨迹的正确性；对于复杂零件，则需使用加工铝件或木件等措施进行修正。对校验中发现的错误，必须及时改正，并再一次进行校验，直至全部顺利通过。

2. 编程格式及字功能

(1) 程序的结构

一个完整的数控加工程序，由程序名、程序内容和程序结束指令三部分组成。程序内容是整个程序的核心，它由若干程序段组成；一个程序段由若干个指令字组成，每个指令字是控制系统的一个具体指令，表示数控机床要完成的动作，由字母（地址符）和数字（有些数字还带符号）组成，字母、数字、符号通称为字符。

例如：

O0010

N0010 G97 G21 G40 G80

N0020 M03 S500 T0101 M08

...

N0060 M98 P1001 L5

...

N0090 M09

N0100 G00 X150 Z150

N0110 M05

N0120 M30

这是一个完整的零件加工程序，由 12 个程序段组成，每个程序段以字母“N”开头，可用“；”作结束符。整个程序开始于程序名“O0010”，以便区别于其他程序，程序名由字母“O”及数字“0010”组成。不同的数控系统程序名地址码不同，有些用字母“O”、

有些用“%”。整个程序结束用指令 M02 或 M30。

(2) 程序段的格式

零件的加工程序由程序段组成。通常有字地址程序段格式、带分隔符的程序段格式和固定顺序程序段格式，其中最常用的为字地址程序段格式。

字地址程序段格式由顺序号字、功能字和程序段结束符组成。每个字都以地址符开始，其后紧跟符号和数字，字的排列顺序没有严格要求，不需要的字及与上一程序段相同意义的字可以不写，如程序段“N0020 G90 G01 X50 Y50 Z50”中，N 为顺序号地址码，用于指令程序顺序号；G 为指令动作方式的准备功能字；X、Y、Z 为坐标轴地址，其后的数字表示该坐标移动的距离。该格式程序简短、直观，便于修改和校验，因此目前广泛使用。

字地址程序段格式的编排顺序如下：

N _ G _ X _ Y _ Z _ F _ S _ T _ M _ LF

注意

上述程序段中包括的各种指令并非在加工程序的每个程序段中都必须具备，而是根据各程序段的具体功能来编入相应的指令。

(3) 常用地址符及其含义

在程序段中表示地址的英文字母可分为尺寸字地址和非尺寸字地址两类。

尺寸字地址的英文字母有 X、Y、Z、U、V、W、P、Q、I、J、K、A、B、C、D、E、R、H 共 18 个字母；非尺寸字地址有 N、G、F、S、T、M、L、O 等 8 个字母。各字母的含义见表 1.1。

表 1.1 地址符的含义

地址	功能	意义	地址	功能	意义
A	坐标字	绕 X 轴旋转	M	辅助功能	机床开关指令
B		绕 Y 轴旋转	N	顺序号	程序段顺序号
C		绕 Z 轴旋转	O	程序号	程序号、子程序的指定
D	补偿号	刀具半径补偿指令	P		暂停或程序中某功能的开始使用的顺序号
E		第二进给功能字			
F	进给速度	进给速度指令	Q		固定循环终止段号或固定循环中的定距
G	准备功能	指令动作方式			
H	补偿号	刀具长度补偿指令	R		圆弧半径的指定
I	坐标字	圆弧中心 X 轴向坐标	S	主轴功能	主轴转速的指令
J		圆弧中心 Y 轴向坐标	T	刀具功能	刀具编号的指令
K		圆弧中心 Z 轴向坐标			
L	重复次数	固定循环及子程序的重复次数	U	坐标字	与 X 轴平行的附加轴或增量坐标值或暂停时间

续表

地址	功能	意义	地址	功能	意义
V	坐标字	与 Y 轴平行的附加轴或增量坐标值	X	坐标字	X 轴的绝对坐标或暂停时间
W		与 Z 轴平行的附加轴或增量坐标值	Y		Y 轴的绝对坐标
			Z		Z 轴的绝对坐标

(4) 字的功能

组成程序段的每一个字都有其特定的功能含义，以下是以 FANUC0i 数控系统的规范为主来介绍的。

① 顺序号字 N。顺序号字又称为程序段号或程序段序号。顺序号位于程序段之首，由顺序号字 N 和后续 2~4 位数字组成，一般可以省略。

② 准备功能字 G。准备功能字的地址符是 G，又称为 G 功能或 G 代码，是用于建立机床或控制系统工作方式的一种指令，如表 1.2 所示。

G 代码分为模态和非模态两大类，模态 G 代码已经指定，直到同组 G 代码出现为止一直有效。若在同一程序中有几个同组模态 G 代码出现，则在书写位置上仅排在最后一个 G 代码有效，非模态 G 代码仅在所在的程序段中有效，故又称为一次性 G 代码。

表 1.2 FANUC0i 系统数控车常用准备功能字

G 代码	组别	功能	说明
* G00	01	快速点定位	模态指令
G01		直线插补	
G02		顺圆插补	
G03		逆圆插补	
G04	00	暂停	非模态指令
G17	16	选择 XY 平面	模态指令
* G18		选择 XZ 平面	
G19		选择 YZ 平面	
G20	06	英制输入	模态指令
* G21		公制输入	
G32	01	螺纹切削	模态指令
* G40	07	刀尖半径补偿取消	模态指令
G41		刀尖半径左补偿	模态指令
G42		刀尖半径右补偿	模态指令
G50	00	坐标系设定	非模态指令

续表

G 代码	组别	功能	说明
* G54	14	选择工件坐标系 1	模态指令
G55		选择工件坐标系 2	
G56		选择工件坐标系 3	
G57		选择工件坐标系 4	
G58		选择工件坐标系 5	
G59		选择工件坐标系 6	
G70	00	精加切槽工循环	非模态指令
G71		粗车外圆循环	
G72		粗车端面循环	
G73		多重车削循环	
G74		端面切槽循环	
G75		外圆切槽循环	
G76		复合螺纹车削循环	
G90	01	内外径车削循环	模态指令
G92		螺纹车削循环	
G94		端面车削循环	
G96	02	主轴恒线速	模态指令
* G97		主轴恒转速	
G98	05	每分钟进给	模态指令
* G99		每转进给	

注：表中带有 * 号的 G 代码为初始 G 代码。

③ 尺寸字。尺寸字用于确定机床上刀具运动终点的坐标位置。

第一组 X、Y、Z、U、V、W、P、Q、R 用于确定终点的直线坐标尺寸；

第二组 A、B、C、D、E 用于确定终点的角度坐标尺寸；

第三组 I、J、K 用于确定圆弧轮廓的圆心坐标尺寸。

在一些数控系统中，还可以用 P 指令暂停时间、用 R 指令确定圆弧半径等。

④ 进给功能字 F。进给功能字的地址符是 F，又称为 F 功能或 F 指令，用于指定切削的进给速度。对于车床，F 可分为每分钟进给和主轴每转进给两种；对于其他数控机床，一般只用每分钟进给。

⑤ 主轴转速功能字 S。主轴转速功能字的地址符是 S，又称为 S 功能或 S 指令，用于指定主轴转速，单位为 r/min。

⑥ 刀具功能字 T。刀具功能字的地址符是 T，又称为 T 功能或 T 指令，用于指定加