

[illegible][illegible][illegible]

数控编程



SHUKONG BIANCHENG SHUKONG BIANCHENG

数控编程

数控编程

SHUKONG
BIANCHENG

数控编程

主编 / 罗永新



湖南科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

数控编程/罗永新编. —长沙: 湖南科学技术出版社,
2007. 8
ISBN 978-7-5357-5010-5

I. 数… II. 罗… III. 数控机床—程序设计 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 124478 号

数控编程

主 编: 罗永新

责任编辑: 赵 龙

出版发行: 湖南科学技术出版社

社 址: 长沙市湘雅路 276 号

<http://www.hnstp.com>

邮购联系: 本社直销科 0731-4375808

印 刷: 衡阳博艺印务有限责任公司

(印装质量问题请直接与本厂联系)

厂 址: 湖南省衡阳市黄茶岭光明路 21 号

邮 编: 421008

出版日期: 2007 年 8 月第 1 版第 1 次

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 14.25

字 数: 349000

书 号: ISBN 978-7-5357-5010-5

定 价: 25.00 元

(版权所有·翻印必究)

前 言

数控编程是数控机床应用最主要的内容,是数控机床操作首先要解决的问题。手工编程的意义在于熟悉机床,掌握机床的主要功能,发掘机床的工艺潜能,是一个数控机床工作人员应具备的基本知识;自动编程则是现代数控加工发展的方向,必将成为数控加工编程的主要手段。手工编程和自动编程应是数控编程两个不可偏废的方面,可以相辅相成,缺一不可。

尽管数控系统种类繁多,差别很大,但数控编程的原理与思路是一致的,分析和解决加工工艺问题的方法是相同的,所以,不管使用哪一种系统编程,编程的方法是相同的。但毕竟系统不同,指令格式有所区别,甚至功能有很大的区别,因而学习编写程序时扣住具体的系统也是必要的。出于这种考虑,本书在体现编程共性的同时,主要以 FANUC 系统为例,来说明编程指令和编程方法。

本书分五章。第一章介绍数控编程的基础知识,是数控编程入门时不能逾越的知识;第二章介绍数控铣削加工编程,考虑到加工中心的编程与数控铣床的编程差别不大,故本书没有独立介绍加工中心的编程,而是把加工中心的编程融入到第二章之中;第三章介绍车削编程;第四章介绍线切割编程;第五章介绍自动编程。在最后编辑了作者在教学培训工作中积累的部分操作训练题,供读者训练。自动编程的方法很多,应用 CAD/CAM 软件来自动编程,是自动编程的重要方面,无论是学习自动编程还是应用自动编程,都是目前普遍采用的手段。随着 PRO/E 在我国的推广应用,使用 PRO/E 自动编程也越来越受到关注,出于这样的想法,本书在自动编程一章里介绍了 PRO/E Wildfire 版的铣削加工。

本书内容由浅入深,层次分明,并注重了一定深度,其中有少量的全国数控大赛竞赛题解,以满足那些有一定数控编程基础的读者。

本书由湖南工业职业技术学院罗永新主编,任东主审。参加编写的还有湖南工业职业技术学院的皮智谋、周理、龙华,娄底市建设局的伍辉,河南理工大学的张健雄,怀化职业技术学院的杨友才,湖南工业职业技术学院的申晓龙、李平化、陈年华、陈波、欧阳陵江。本书在编写中得到了湖南工业职业技术学院数控中心其他老师的支持和帮助,在此一并表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中不足或错误难免,恳请读者批评指正。

编 者

2007 年 7 月

《数控编程》编委会名单

主 编：罗永新

副主编：皮智谋 周 理 张健雄 伍 辉
龙 华 杨友才

参 编：申晓龙 李平化 陈年华 陈 波 欧阳凌江

主 审：任 东

目 录

第一章 数控编程的基础知识	1
§ 1.1 数控机床坐标轴的命名及工件坐标系的建立	1
1.1.1 数控机床坐标轴的命名	1
1.1.2 数控机床坐标系	2
1.1.3 数控加工工件坐标系的建立与工件几何要素的数学处理	2
§ 1.2 数控加工程序的结构	3
1.2.1 数控加工程序的概念及格式	3
1.2.2 程序功能字	4
1.2.3 常用的 M 功能字与 S、F、T 功能字	5
1.2.4 数控加工程序的编制方法	5
§ 1.3 数控编程加工工艺分析	6
1.3.1 数控加工工艺的基本特点	6
1.3.2 起刀点、换刀点、加工切入点及走刀路线的确定	6
1.3.3 工件的装夹与刀具的选择	7
1.3.4 切削用量与余料处理	7
第二章 数控铣削加工程序编制	9
§ 2.1 数控铣削加工的特点	9
2.1.1 数控铣削加工的机床特点	9
2.1.2 数控铣削加工的工艺特点	9
§ 2.2 数控铣削加工的基本指令	13
2.2.1 与坐标有关的基本指令	13
2.2.2 基本成形指令	17
2.2.3 铣削加工的刀具半径补偿指令	19
2.2.4 外形铣削程序编制	21
2.2.5 凹槽及简单内腔铣削程序编制	26
§ 2.3 孔加工指令	28
§ 2.4 手工编程简化的手段与指令	38
2.4.1 数控铣削加工的子程序	38
2.4.2 镜像功能指令	40
2.4.3 旋转功能指令	42
2.4.4 缩放功能指令	44
2.4.5 极坐标功能指令	45
§ 2.5 数控铣削加工的宏指令及宏程序	45
2.5.1 变量与运算符、表达式	46
2.5.2 宏程序编制举例	49

§ 2.6 数控铣床加工程序综合举例·····	50
§ 2.7 数控加工中心机床程序举例·····	58
附 1 国内主流数控系统的指令简介 ·····	67
一、HNC-21M 华中数控系统 G 代码 ·····	67
二、SINUMERIK840 数控系统 G 代码 ·····	68
第三章 数控车削加工程序编制 ·····	69
§ 3.1 数控车削加工的特点·····	69
3.1.1 数控车削加工的机床特点·····	69
3.1.2 数控车削加工的工艺特点·····	72
§ 3.2 数控车削加工的基本指令·····	76
3.2.1 外圆与端面加工指令·····	76
3.2.2 螺纹加工指令·····	78
3.2.3 孔加工指令·····	80
§ 3.3 车削固定循环·····	83
3.3.1 简单固定循环·····	83
3.3.2 复合固定循环——G70、G71、G72、G73、G76 ·····	86
3.3.3 复合固定循环举例·····	93
§ 3.4 提高车削质量的办法·····	98
3.4.1 车刀刀尖圆弧半径补偿·····	98
3.4.2 恒线速度指令及其应用 ·····	100
§ 3.5 车削子程序 ·····	103
§ 3.6 车削加工宏指令及宏程序 ·····	106
3.6.1 变量与宏指令调用 ·····	106
3.6.2 分支和循环语句 ·····	107
3.6.3 宏调用 ·····	109
§ 3.7 车削加工应用 ·····	111
3.7.1 典型零件的加工 ·····	111
3.7.2 组合零件的加工 ·····	118
附 2 国内主流数控系统的指令简介 ·····	128
一、HNC-21/22T 华中数控系统 G 代码·····	128
二、SINUMERIK802D 数控系统 G 代码 ·····	128
第四章 数控线切割加工编程 ·····	130
§ 4.1 数控线切割加工的特点 ·····	130
4.1.1 数控线切割机床特点 ·····	130
4.1.2 数控线切割加工的工艺特点 ·····	133
§ 4.2 数控线切割编程指令 ·····	137
4.2.1 3B 格式程序编制·····	137
4.2.2 ISO 代码数控程序编制 ·····	143
4.2.3 锥度加工编程格式及定义 ·····	145
第五章 数控加工程序的自动编制 ·····	149

§ 5.1 自动编程概述 149

 5.1.1 自动编程的基本形式 149

 5.1.2 自动编程的主要内容 149

§ 5.2 Pro/E NC 的用户界面及基本操作 150

 5.2.1 数控加工的基本过程描述 150

 5.2.2 Pro/E NC 菜单 151

§ 5.3 加工工艺参数及加工方法 161

§ 5.4 块铣削 164

§ 5.5 轮廓铣削 173

§ 5.6 曲面铣削 175

§ 5.7 平面铣削 184

§ 5.8 铣槽 185

§ 5.9 雕刻 186

§ 5.10 螺纹铣削..... 187

§ 5.11 孔加工..... 193

§ 5.12 局部铣削——清根、清角..... 196

§ 5.13 后置处理及选配文件的制作方法..... 199

附 3 习题集 210

参考文献..... 218

第一章 数控编程的基础知识

§ 1.1 数控机床坐标轴的命名及工件坐标系的建立

1.1.1 数控机床坐标轴的命名

在编写数控加工程序、操作数控机床的时候，首先要了解机床性能，认识机床的坐标轴。数控机床的坐标轴是指进给驱动部分的动作方向，一个进给驱动动作方向就是一根轴。如立式铣 XK5032 机床工作台前后移动的动作，就是 Y 轴移动，铣头带着铣刀上下移动就是 Z 轴移动。显然，程序的编写与坐标轴的名称有关。为了准确地描述机床进给运动，简化程序的编制，使所编加工程序具有互换性，国际标准化组织已经统一了数控机床坐标轴的命名标准，据此，我国也制订了相应的 JB 3051—82（《数字控制机床坐标和运动方向的命名》的标准），对数控机床的坐标和运动方向作了明确规定，简述如下：

- 一、规定 1. 刀具运动、工件相对静止的运动原则。2. 用标准右手直角坐标系表示 X、Y、Z 三个直线运动的方向，用右手螺旋定则确定旋转进给坐标轴的方向，如图 1-1，A、B、C 分别绕 X、Y、Z 坐标轴旋转运动。3. 移动轴的正方向为刀具远离工件的方向。

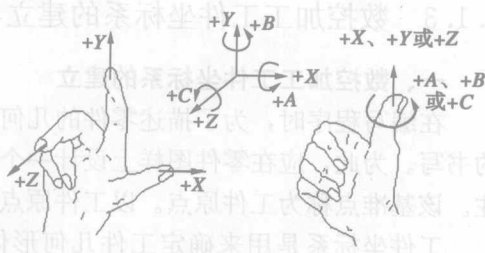


图 1-1 右手直角坐标系与右手螺旋定则

二、确定移动坐标轴的顺序

- 1. 先确定 Z 轴。(1) 主轴或与主轴平行的轴为 Z 轴。(2) 有多个主轴时，垂直于工件装夹平面的为主要主轴，平行于该轴方向的为 Z 轴。(3) 无主轴时，垂直于工件装夹平面的方向为 Z 轴。(4) 刀具远离工件的方向为 Z 轴正方向（如图 1-2、图 1-3）。

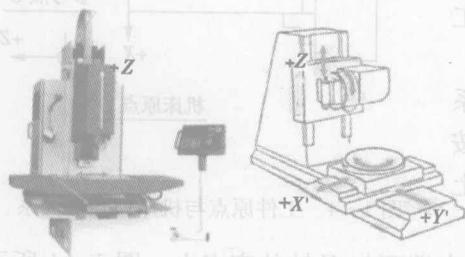


图 1-2 数控立式铣床机床坐标轴



图 1-3 数控车床机床坐标轴

- 2. 再确定 X 轴。(1) 主轴（Z 轴）带工件旋转的机床，如车床，X 轴分布在径向，平行于横向滑座，刀具远离主轴中心线的方向为正向。(2) 主轴（Z 轴）带刀具旋转的机床，如铣、钻、镗床，X 轴是水平的，或平行于工件的装夹平面。(3) 立式：主轴垂直布置，由

主轴向立柱看，X 轴的正方向指向右。(4) 卧式：主轴水平布置，由主轴向工件看，X 轴的正方向指向右。

3. 最后按右手定则确定 Y 轴。Y 轴的确定遵守右手定则，按图 1-1 来确定。

三、其他坐标轴的命名 (1) 如果把刀具看作静止，工件运动，则在坐标轴名上加'，如 X'。(2) 平行于 X、Y、Z 坐标轴的其他坐标轴叫副加轴，分别命名为 U、V、W 及 P、Q、R。

1.1.2 数控机床坐标系

以机床原点为坐标原点建立起来的 X、Y、Z 轴直角坐标系，称为机床坐标系。机床原点是机床上的一个固定点，也称机床零点，是数控机床设计制造的参考点。机床零点是通过机床参考点间接确定的，机床参考点也是机床上的一个固定点，与机床零点间有一确定的相对位置，一般设置在刀具运动的 X、Y、Z 正向最大极限位置。在机床每次通电之后，工作之前，必须进行回机床零点操作，使刀具运动到机床参考点，其位置由机械行程挡块初定位，然后通过电机零位脉冲精确确定。这样，通过机床回零操作，确定了机床零点，从而准确地建立起机床坐标系，即在数控系统内部建立一个以机床零点为坐标原点的机床坐标系。机床坐标系是机床固有的坐标系，一般情况下，机床坐标系在机床出厂前已经调整好，不允许用户随意变动。

1.1.3 数控加工工件坐标系的建立与工件几何要素的数学处理

一、数控加工工件坐标系的建立

在编写程序时，为了描述零件的几何形状，零件尺寸要用坐标值来表达，以便数控指令的书写。为此，应在零件图样上设计一个基准点，各项尺寸均以此点为基准进行坐标尺寸标注。该基准点称为工件原点。以工件原点为坐标原点建立的直角坐标系，称为工件坐标系。

工件坐标系是用来确定工件几何形体上各要素的位置而设置的坐标系。工件原点的位置是人为设定的，它是由编程人员在编制程序时根据工件的特点选定的，所以也称编程原点。同一工件，由于工件原点变了，程序段中的坐标尺寸也随之改变。因此，数控编程时，应该首先确定编程原点，确定工件坐标系。

工件坐标系的坐标轴应该是与加工机床坐标系相对应的，因为工件在加工时安装到机床上后，按工件坐标系编写的程序中所描述的坐标轴，实际上是指机床坐标轴。

数控车床加工零件的工件原点一般选择在工件右端面与 Z 轴的交点上。图 1-4 所示，是以工件右端面与 Z 轴的交点作为工件原点的工件坐标系。

数控铣床加工零件的工件原点选择时应该注意：工件原点应选在零件图的尺寸基准上，对于对称零件，工件原点应设在对称中心上；对于一般零件，工件原点设在工件外轮廓的某一角上，这样便于坐标值的计算。对于 Z 轴方向的原点，一般设在工件上表面，并尽量选在精度较高的工件表面上。

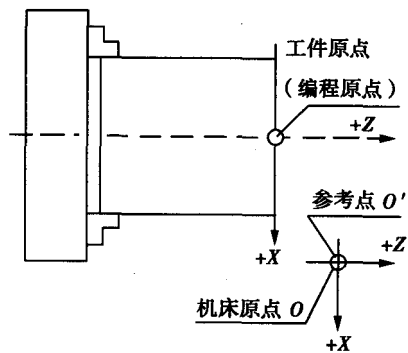


图 1-4 工件原点与机床原点的关系

编程原点在数控机床上的确定，是在工件装夹完毕后，通过对刀操作来实现的，工件坐标系与机床坐标系的关系如图 1-5 所示。

二、工件几何要素的数学处理

建立工件坐标系后，为用坐标尺寸描述工件形状，需要对工件尺寸进行数据处理，计算出编程时符合编程指令的基点和节点。基点是指构成零件轮廓的不同几何要素的交点或切点或其他特征点。一般数控系统只有直线和圆弧两种线型。直线的基点是直线的起点和终点，圆弧的基点包括圆弧的起点、终点和圆心点。其他曲线只能用直线或圆弧去逼近，逼近直线或圆弧与曲线的交点就叫节点。节点的计算与逼近方法有关，有函数规律关系的曲线，可以用宏变量表示逼近节点。有关节点的具体计算方法，请参阅有关曲线近似表达的文献。

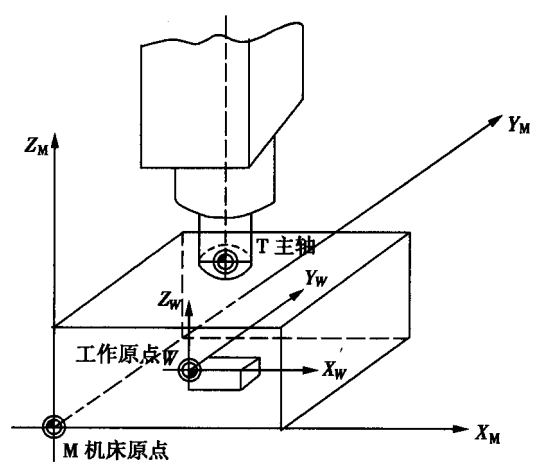


图 1-5 工件坐标系与机床坐标系的关系

§ 1.2 数控加工程序的结构

1.2.1 数控加工程序的概念及格式

数控加工程序是描述数控加工机床加工零件的过程的一种格式文件。如图 1-6 所示。

程序文件的内容是数控机床运动部件的全部顺序动作，包括切削用量、刀具参数等工艺内容。程序文件的格式是依据这样的包含关系编写的：程序由程序段组成，一行并在行尾加上行结束标志就是一个程序段，行结束标志一般用“;”表示，键盘输入时也有用一个回车键的输入方式结束的；程序段是由功能字组成的，一个功能字由一个英文字母（西门子程序中功能字有多个英文字母的）开头，后紧跟一些数字组成。数控加工程序从内容上看，包括三个部分：程序的开头部分，程序的主体部分，程序的结束部分。程序的开头部分多数系统采用程序号的形式，如图 1-6 中的“O0001”。有些系统用这个程序开头部分作程序的存储地址，所以也可以叫程序名。程序的最后一段是程序的结束部分，结束段内容和格式是统一的：主程序用 M02 或 M30 结束，子程序用 M99 或 RET 等结束。其他部分全是程序的主体部分。关于主程序与子程序的概念及内容请参阅第二章第四节。为了方便程序阅读，在程序段前加上程序段号，在功能字之间加上空格。

```
O0001; _____ 程序号
N1 G92 X40 Y30;
N2 G90 G00 X28 T01 S800 M03;
N3 G01 X-8Y8 F200;
N4 X0Y0;
N5 X28 Y30;
N6 G00 X40;
N7 M02; _____ 程序结束
```

程序内容

图 1-6 数控加工程序的格式

1.2.2 程序功能字

功能字是数控加工程序基本组成单元，功能字是描述机床具体动作或表示零件某一结构特征或机床某种工作状态的。功能字的定义见表 1-1。在数控编程中，26 个英文字母都有定义。在数控系统中，一般不区分大小写字母。其中表示坐标值的功能字称之为尺寸字，其他的功能字称之为非尺寸字。X、Y、Z、U、V、W、P、Q、R、I、J、K、A、B、C 是尺寸字，其他是非尺寸字。

表 1-1 地址字中英文字母的含义

英文字母	意 义	字 结 构	举例
O、P	程序号、子程序号	O (P) + 四位数字	O1234
N	程序段号	N+2~4 位数字	N05, N100
X、Y、Z	第一坐标系坐标值	X (Y、Z) + 坐标值	X15, y50
U、V、W	第二坐标系坐标值	同上	U23, w50
P、Q、R	第三坐标系坐标值	同上	P100, q20
A、B、C	绕 X、Y、Z 坐标的转动坐标值	同上	A90, B45
I、J、K	圆弧中心坐标	同上	I30, J10, K5
D、H	补偿号指定，附加旋转坐标	同上	D001, H10
G	准备功能字	G+两位数字	G01, G02
M	辅助功能字	M+两位数字	M02, M30
F	进给速度字	F+进给速度值	F300
S	主轴转速字	S+主轴转速	S1000
T	刀具功能字	T+两位数或四位数字	T0101
L	子程序调用次数	L+子程序调用次数	L5

G 功能是数控系统的主要功能字，它是描述数控机床插补动作的，是数控加工程序中最复杂的功能字。ISO 标准规定，G 功能由字母 G 与两个阿拉伯数字组成，从 G00~G99 共 100 条。但有些系统并没有遵守这一规定，因此，G 功能指令具体功能要参阅系统编程说明书。

M 功能是数控系统中描述机床主轴动作、切削液开关、夹具动作等其他辅助动作的功能字，是数控系统中又一种复杂的功能字。ISO 标准规定，M 功能由字母 M 与两个阿拉伯数字组成，从 M00~M99 共 100 条。

功能字也叫功能指令。功能指令分为模态指令和非模态指令两种。模态指令是指功能指令在数控程序中一直起作用，直到被同一组其他指令所取代才失去作用，这样的指令叫模态指令。只在指令程序段中起作用的功能指令叫非模态指令。多数功能字是模态指令，非模态指令是少数。为了叙述方便，在本书中，如没有指明是非模态指令，否则就是模态指令，以后不再谈及这个问题。

其他功能字的意义见表 1-1，读者在后续的阅读中理解。

1.2.3 常用的 M 功能字与 S、F、T 功能字

常用的 M 功能主要有：M00、M01、M02、M03、M04、M05、M06、M08、M09、M30、M98、M99。

M01——计划停止；M02——程序结束；M03——主轴正转；M04——主轴反转；M05——主轴停止；M06——换刀；M08——冷却液开；M09——冷却液关；M30——程序结束并返回程序程序开头；M98——子程序调用；M99——子程序结束并返回到调用程序处的下一个程序段。

F 进给功能字表示刀具插补运动时刀位点的速度。它由字母 F 与若干位数组成。这个数的单位取决于进给速度的指定方式。进给方式主要有每分钟进多少毫米（mm/min）和每转进多少毫米（mm/r）两种方式，它由 G 功能字来区分。每分钟进给多少毫米方式，如 F100 表示进给速度为 100mm/min；每转进给多少毫米方式，如 F0.8，表示进给速度为 0.8mm/r。还有一些有级调速的系统，采用代码来表示进给速度，如 F11，表示进给速度为第 11 级，具体数值要与机床使用说明书对照。在本书中今后如没有指明是哪一种进给方式，就默认为每分钟进多少毫米（mm/min）进给方式，多数数控系统也是这样规定的。

S 主轴功能字表示机床主轴的转速。由字母 S 与若干位数组成，单位为 r/min，如 S800 表示主轴转速为 800r/min。

T 刀具功能字表示机床当前刀具的刀位号，或者表示当前刀具刀位号和刀补号，如果只表示刀位号，则用 T 与两位数表示，如 T03，表示当前调用刀具是 03 号刀；如果表示刀位号和刀补号，则用四位数表示。如 T0202，前面的两位数 02 表示当前调用 02 号刀，后面的两位数表示调用存储单元的刀具补偿号是 02 号。

1.2.4 数控加工程序的编制方法

程序编制指对零件图进行分析、工艺处理、数学处理、编写程序清单、制作控制介质及程序检验的全过程，简单理解即为对加工零件编写加工程序。

数控机床加工程序编制的具体步骤主要有：1) 分析零件图样和制定加工工艺方案；2) 数学处理；3) 编写零件加工程序及程序检验。

数控机床程序编制的方法有两种：手工编制与自动编制。

(1) 手工编制：就是加工程序由人工来完成。被加工零件形状规则、简单的，就可采用手工编程。手工编写出的程序一般较短。手工编程是数控编程的基础，是数控操作人员必备的知识，因而，我们讲授的内容以手工编程为主，只在专门的章节讲述自动编程。

(2) 自动编制：即计算机自动编程，除拟订工艺方案主要依靠人工完成，其他工作由计算机自动完成。自动编程方法包括：高级编程语言、CAD 图形、语音等自动编程。高级编程语言主要是 APT 形式的专用数控编程系统，多数采用对话式、填表式等输入零件要素和工艺参数，由编程系统自动列出 G 代码指令，使用十分方便，不过，一般通用性不强。目前在国内外，比较流行的自动编程方式是 CAD/CAM 方式，这方面的软件主要是：Mastercam、pro/E、UG 等，本书在第五章自动编程一章专门讲述 pro/E 的 cam 部分。自动编程适用于复杂零件的程序编制，可提高编程效率。

§ 1.3 数控编程加工工艺分析

1.3.1 数控加工工艺的基本特点

与普通机床机械加工工艺相比较,数控机床的加工工艺有如下特点:

(1) 工序内容多,工艺过程相对集中。由于数控加工过程可编程控制,机床进给运动可十分复杂,五坐标机床可以做出空间各种加工动作,因而在一台数控机床上,甚至可完成一个相当复杂程度的零件全部机械加工。工序集中的另一个原因是,为提高加工精度,避免因多次装夹而带来的定位误差,所以,通常一次装夹,工序集中完成零件的全部加工。

(2) 工步、走刀内容十分详细,讲究动作顺序。与普通机床加工操作相比较,数控加工工艺比较严密地规定了刀具运动轨迹,因而对走刀顺序、起刀点、换刀点、工件坐标原点(一般是对刀点)都有详细的规定,不得随意变动。

(3) 切削用量更加讲究工艺系统加工过程切削受力的平稳性,注重最大限度地发挥机床、刀具的加工潜能。一般采用高主运动转速、大进给量、小吃刀量的切削用量原则选择切削用量。

(4) 尽量使用通用刀具、通用夹具,减少工装准备时间。用同一把刀加工的加工部位全部完成后,再换另一把刀来加工其他部位。同时应尽量减少空行程,用同一把刀加工工件的多个部位时,应以最短的路线到达各加工部位。

数控加工工艺分析主要内容有:

1) 分析零件图,确定零件特征表面的加工方法,选择数控加工机床;2) 制订加工工艺路线,确定工件装夹方法与次数,确定刀具运动轨迹,明确起刀点、换刀点和编程原点;3) 选择切削用量,选择刀具、量具;4) 编制加工程序清单,校验加工程序等。

1.3.2 起刀点、换刀点、加工切入点及走刀路线的确定

一、起刀点是机床加工时刀具运动的起点

起刀点的位置选择是与刀具切入工件的位置相关的,一般选择在切入点的切线延长线上。加工切入点是刀具与工件相接触的起点。考虑刀具的进、退刀(切入、切出)路线时,应注意使得刀具的切出或切入点在沿零件轮廓的切线上,以保证工件轮廓光滑;应避免在工件轮廓面上垂直上、下刀而划伤工件表面;尽量减少在轮廓加工切削过程中的暂停(切削力突然变化造成弹性变形),以免留下刀痕。起刀点往往也是加工程序运行完成时刀具停止运行的点,使刀具在整个程序运行后保持一个封闭的轨迹。但起刀点不一定是对刀点。对刀点一般是编程时工件坐标系的原点,是通过对刀操作来确定机床坐标系与工件坐标系关系的一个点。起刀点可以在程序开头通过一条快速移动指令来确定,也可以在程序运行前,通过手动操作来确定。

二、换刀点是机床在运行程序中,为更换刀具所选择的地点

不同的系统对换刀点有不同的要求。对换刀点没有固定换刀位置要求的机床,换刀点可以选择在刀具换刀时不与机床部位和工件发生碰撞的任何位置。换刀点要选择在于便于刀具退出切削和刀具换刀后切入工件,使整个换刀行程最短,时间最少。

三、走刀路线是指刀具在自动加工过程中的运动轨迹

走刀路线反应了加工的顺序，是编程工艺分析中的重点，是保证加工质量，提高加工效率的关键。确定走刀路线主要考虑以下几个方面：

1. 选择走刀路线时，要方便刀具的切入与切出，方便进刀和退刀；铣削时注意避免走尖角，车螺纹、加工孔时注意引入与越程。

2. 考虑好加工余量的分配。我们要尽可能地使整个走刀过程切削余量均匀，并保持工件在加工过程中刚度恒定，要考虑好精加工余量的处理，预留精加工余量，并保证通过精加工走刀达到零件精度的加工目的。

3. 在切削前调整好刀具，在切削过程中尽可能不调整刀具，以避免因刀具调整而引起的过切。这在铣削加工中相当重要，往往由于刀具调整引起刀补丢失或过切报警，是走刀路线选择不当的常见错误。

4. 走刀中，应尽量使切削力落在支持面上，避免在切削中改变工件位置。

走刀路线确定的基本思路是：先面后孔，先近后远，先简单后复杂，刀具集中（一把刀）的原则。

1.3.3 工件的装夹与刀具的选择

一、工件的装夹与工件的定位方式有关，与夹具有关

应考虑以下几点：1. 数控加工要尽可能地使用通用夹具，减少工装设计，提高单件生产的加工效率，降低加工成本；2. 工件装夹要能保证尽可能多的加工面，减少装夹次数，最好是一次装夹完成全部加工；3. 保证工艺系统的刚度，避免因装夹的原因而降低刀具和工件的刚度，因装夹而引起工件变形；4. 保证方便操作、切屑清除，避免不利于测量、装刀的工件安装。

二、刀具是数控加工中十分重要的角色，对提高加工效率，保证加工质量起关键性的作用

刀具选择应遵守如下原则：1. 分类选刀，尽量使用标准刀具。2. 尽量选择硬质合金刀具或硬质合金涂层刀具。这类刀具既有效率，又比较成熟，价格性能比占优。3. 在铣削加工中，尽量使用小尺寸的铣刀，减少因刀具尺寸问题而带来的换刀和刀具数量。当然，在去除大余量的加工中，大尺寸的铣刀不仅速度快，还且可简化走刀。用球头铣刀铣曲面时，为保证质量选择较小球头半径为好。4. 要选择能满足加工要求的刀具几何尺寸和几何角度。如车加工的切槽刀的刀宽、螺纹刀的牙形角、成形刀的形状和尺寸，铣加工的刀具半径，这些是在选择刀具时要考虑的几何尺寸和几何角度；在数控加工中，可采用小吃刀，大进给的切削用量，因而刀具可选择大的前、后角，以提高刀具的锋利程度。

工件的装夹和刀具的选择，与走刀路线和切削用量有关，要综合考虑，统筹安排，不能只及其一，不及其他。任何一个因素考虑不周到、不完善都会给加工带来危害。

1.3.4 切削用量与余料处理

切削用量是指切削速度、进给量（进给速度）、吃刀深度、铣削宽度。与普通机床加工相比，数控机床可达到的最高转速要高得多，切削速度要大得多，由于加工精度高而对机床的刚度要求也高得多，故对如何减小切削力、提高切削效率、保证机床刚度和零件的加工精度，是数控加工中切削用量选择要仔细权衡的问题。通常，高速度切削下，选择小的吃刀深

度、大的进给速度是解决诸多矛盾有效方法。这与传统的低切削速度、大吃刀量的粗加工切削用量是不同的。切削用量选择时考虑顺序是：1. 根据刀具耐用度与机床的调速范围确定切削速度（主轴转速）。2. 根据机床功率与刀具因素选择进给量。粗加工时，尽可能选择大的进给量以提高切削效率，精加工时为保证表面粗糙度，要选择小的进给量。对于铣削加工，无论是粗加工还是精加工，选择大的铣削宽度总是有利的，铣削宽度主要是受零件轮廓几何尺寸的制约。不过在功率较小的机床上，选择小尺寸的铣刀往往比大尺寸的铣刀有利，通过选择大的吃刀深度，减少走刀次数，更有利于提高切削效率。3. 根据机床的刚度、功率和刀具强度选择吃刀深度。粗加工时要选择尽可能大的吃刀深度，不过与普通机床加工相比较，吃刀深度要小得多，这是有过普通机床加工经验的编程人员要特别注意的。精加工时吃刀深度要把加工精度要求和刀具的锋利程度结合起来考虑，吃刀深度要选择小值。

余料处理是数控加工中重要工艺问题，数控车削与铣削有比较大的差别。车削加工中余料不多见，主要是坯料的两端夹持部分，其余的当做余量通过走刀切除了。在铣削加工中，许多时候零件的轮廓已加工出来，但留下了需要去除的大块余料。余料不多时，尽量不换刀，把余料处理放在精加工轮廓后进行；余料较大时，如果刀具尺寸小，可以考虑换成大尺寸的铣刀，但走刀次数越少越好。余料切除要尽可能的编程加工，避免手动切除。编程方法主要有：1. 通过增大刀补来去除余料。2. 要尽可能地使用固定循环来编程，对分散多处而形状相似者尤其要如此，必要时应使用子程序。

第二章 数控铣削加工程序编制

§ 2.1 数控铣削加工的特点

2.1.1 数控铣削加工的机床特点

数控铣削加工的机床主要有数控铣床和加工中心两大类。这两类机床是数控加工机床中品种最多,使用数量最大的机床,广泛应用在模具制造和其他精度高、形状复杂零件的机械加工行业中。

从编程的指令上看,数控铣削加工机床主要有:三坐标机床、四坐标机床、五坐标机床以及带自动换刀装置和刀具库的加工中心。从工件装夹的情况看,有平放式和壁挂式以及多工作台的铣床。从主轴与工作台的关系看,数控铣削加工机床主要有立式铣床和卧式铣床。

铣削加工机床加工工艺范围很广,可以完成的加工型面有:平面、曲面、沟槽、螺纹、齿轮、花键、圆柱面与半圆柱面,可以完成孔的各种加工方法(钻、扩、铰、镗、攻丝)等。

考察铣削加工机床工艺性能,完成铣削加工程序编制,主要有以下几个方面:

1. 机床的主要参数。如工作台的宽度、机床的最大行程、机床主轴与进给运动的调速范围、机床的功率、坐标轴数、刀具容量、换刀方式等。

2. 机床的编程系统。不同的数控系统,其指令格式有较大的差别,编程前仔细阅读编程说明书是编好数控加工程序的前提。为了方便编写和读者阅读,本章介绍的程序以采用FAUNC-0i系统为主。在附1中简介国内其他主流系统的指令体系。

3. 机床的辅助装置。数控铣削加工机床的辅助装置主要有对刀装置、排屑装置、测量装置及其他附件。

2.1.2 数控铣削加工的工艺特点

一、刀具特点

数控加工铣削的刀具种类很多,如图2-1所示。根据加工方法不同,可分成铣刀、钻头、铰刀、镗刀,其中铣刀又有许多种,总起来说有端面铣刀、圆周铣刀、平刀、键槽铣刀、三面刃铣刀、成形铣刀和球面铣刀等。本书中为体现数控编程的一般特点,加工二维形状的零件时,采用平刀(立铣刀),加工三维曲面时,才使用球面铣刀。成形刀具的使用,对编程有简化作用,不过成形刀具往往是近似刀具,零件加工精度要求高时反而不能使用,只能使用平刀。键槽铣刀在加工封闭型腔时可以用于垂直下刀。使用平刀加工封闭轮廓时,可以先用键槽铣刀加工出一个下刀小孔,然后用平刀加工。多数情况下,平刀加工封闭槽形时,一般采用螺旋式下刀或斜插式下刀,下刀的螺旋角为 $3^{\circ}\sim 5^{\circ}$,有时可以更大点。对窄槽,沿槽形轮廓下刀也是一种很好的方式。采用螺旋式下或斜插式下刀可以避免换刀和减轻刀具管理。