



教育部 高职高专 规划教材

技能型 **紧缺** 人才培养培训系列教材

数控铣削(含加工中心)编程与考级 (FANUC系统)

► 龙光涛 主编



化学工业出版社
教材出版中心

教育部高职高专规划教材

技能型紧缺人才培养培训系列教材

数控铣削(含加工中心)编程与考级 (FANUC 系统)

龙光涛 主编



化学工业出版社
教材出版中心

· 北京 ·

本书是根据中华人民共和国劳动和社会保障部制定的“数控铣工”职业标准中的中级和高级数控铣工的要求编写的。

本书内容分两部分：第一篇主要介绍数控铣削编程和操作所必需的基本知识；第二篇为入门、中级工和高级工的训练。在入门级中，不仅对主要命令进行解释和说明，同时以案例的形式介绍命令在编程中的应用。中级和高级的每个题目中都明确指出了该题目的实训目的，还配有零件图、工艺过程、工具清单、注意事项和评分表，绝大部分题目给出了参考程序，使该书通俗易懂。

本书可作为高职以及中职院校数控技术应用专业的教材，也可作为数控铣工的中级工和高级工的培训教材，以及机械制造工人岗位培训的自学用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

数控铣削 (含加工中心) 编程与考级 (FANUC 系统)/龙光涛主编. —北京: 化学工业出版社, 2006. 7

教育部高职高专规划教材

ISBN 7-5025-9124-9

I. 数… II. 龙… III. ①数控机床: 铣床-金属切削-程序设计-高等学校: 技术学校-教材②数控机床: 铣床-金属切削-加工-高等学校: 技术学校-教材 IV. TG547

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 084080 号

教育部高职高专规划教材

技能型紧缺人才培养培训系列教材

数控铣削 (含加工中心) 编程与考级 (FANUC 系统)

龙光涛 主编

责任编辑: 高 钰 韩庆利

责任校对: 凌亚男

封面设计: 于 兵

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010) 64982530

(010) 64918013

购书传真: (010) 64982630

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

*

新华书店北京发行所经销
北京市兴顺印刷厂印装

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 7¼ 字数 174 千字

2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-9124-9

定 价: 14.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

数控技术专业系列教材编委会

主 任

覃 岭

副主任

冯建雨 唐义锋 苑章义

编 委

(按姓氏汉语拼音排序)

常红梅	陈粟宋	程时甘	洪 凯
黄劲枝	孔 杰	龙光涛	麻 艳
毛卫秀	孙贵杰	吴新腾	徐建高
杨永平	尹玉珍	赵俊生	钟江鸿

出版说明

高职高专教材建设工作是整个高职高专教学工作中的重要组成部分。改革开放以来,在各级教育行政部门、有关学校和出版社的共同努力下,各地先后出版了一些高职高专教育教材。但从整体上看,具有高职高专教育特色的教材极其匮乏,不少院校尚在借用本科或中专教材,教材建设落后于高职高专教育的发展需要。为此,1999年教育部组织制定了《高职高专教育专门课课程基本要求》(以下简称《基本要求》)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(以下简称《培养规格》),通过推荐、招标及遴选,组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师,成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍,并在有关出版社的积极配合下,推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版500种,用5年左右时间完成。这500种教材中,专门课(专业基础课、专业理论与专业能力课)教材将占很高的比例。专门课教材建设在很大程度上影响着高职高专教学质量。专门课教材是按照《培养规格》的要求,在对有关专业的人才培养模式和教学内容体系改革进行充分调查研究和论证的基础上,充分汲取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用型专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的。这套教材充分体现了高等职业教育的应用特色和能力本位,调整了新世纪人才必须具备的文化基础和技术基础,突出了人才的创新素质和创新能力的培养。在有关课程开发委员会组织下,专门课教材建设得到了举办高职高专教育的广大院校的积极支持。我们计划先用2~3年的时间,在继承原有高职高专和成人高等学校教材建设成果的基础上,充分汲取近几年来各类学校在探索培养技术应用型专门人才方面取得的成功经验,解决新形势下高职高专教育教材的有无问题;然后再用2~3年的时间,在《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上,通过研究、改革和建设,推出一大批教育部高职高专规划教材,从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

本套教材适用于各级各类举办高职高专教育的院校使用。希望各用书学校积极选用这批经过系统论证、严格审查、正式出版的规划教材,并组织本校教师以对事业的责任感对教材教学开展研究工作,不断推动规划教材建设工作的发展与提高。

教育部高等教育司

2001年4月3日

前 言

高等职业教育是以市场需求为导向,以职业能力培养为本位,以服务地方经济发展为宗旨,以培养生产、建设、管理、服务一线所需的“能工巧匠型的大学生”为目标的高等教育。在教学过程中,注重实践和职业技能的培养,教材的选用应符合应用型技术人才与技能人才培养的需要,突出知识和技术的应用技能训练,突出动手能力培养、职业素质的培养。因此,找到一本“教学内容先进,知识结构合理”的教材是非常必要的。

从世界发达国家高等职业教育来看,随着社会经济发展和科技进步,发达国家均形成了各具特色的职教模式。例如,德国的“双元制”,美国的“合作教育”,英国、澳大利亚为代表的以就业为导向的职业与培训的资格证书体系,日本“产学合作”主要采用“课题制”培养创新人才。认真借鉴这些模式,对于高职教育提高办学质量和办学水平,实现由数量扩展型向质量提高型的战略转变,将起到积极的作用。

为适应高等职业教育对人才培养的需要,必须改变过去对课程体系以学科为主线的教学内容模式,改为以理论够用、实训为主、注重应用能力培养的教学内容模式。本教材主要以案例的形式,层层深入,由最基本功能命令应用开始,按“数控铣工”的国家职业标准,对中级工和高级工进行循序渐进的培训。本教材的内容深度与国家职业标准所规定的中级和高级数控铣工的要求相符。因此该书不仅能作为高职及中职院校数控专业的相关课程的教材,也可作为数控铣工等级培训的教材。

本书由龙光涛任主编,杨通凯任副主编。第一章至第四章由龙光涛编写,第五章由杨通凯编写,第六章由黄力编写。在该书的编写过程中,得到裘敏浩、薛运强、赵传宾等同事的大力帮助,在此表示感谢。

限于编者水平,书中难免有不当之处,请各位读者指正和赐教。

编 者

2006年6月

目 录

第一篇 数控铣床基本知识与操作

第一章 数控铣床编程基础.....	1
第一节 数控铣床简介.....	1
第二节 数控铣削加工常用工具.....	3
第三节 数控铣削基本知识.....	5
第四节 数控铣削工艺.....	6
第五节 数控铣床加工指令代码.....	7
第二章 数控铣床操作	10
第一节 XK5032C 数控铣床	10
第二节 数控铣床操作	13
第三章 加工中心简介	15
第一节 概述	15
第二节 MVC350 型加工中心	16

第二篇 实训进程

第四章 初级工编程与操作	18
题目一 坐标应用	18
题目二 刀具补偿设置	21
题目三 直线加工	22
题目四 圆弧加工 (含平面选择)	25
题目五 固定钻孔、镗孔循环	27
题目六 等螺距螺纹加工	30
题目七 子程序调用	33
题目八 工件多坐标系应用	34
题目九 工件坐标旋转	36
题目十 宏程序	38
题目十一 镜像功能	41
第五章 中级工编程与操作	43
题目一 台阶垫块	43
题目二 斜面模板	46
题目三 凸轮	48
题目四 凹模板	51
题目五 密封盖	52

题目六	固定板	56
题目七	轴承端盖	59
题目八	牙嵌式离合器	63
题目九	十字凹槽板	67
题目十	盖板	71
第六章	高级工编程与操作	75
题目一	型芯	75
题目二	多边形	78
题目三	凸轮	82
题目四	半圆球凸模	85
题目五	不同心圆弧槽	87
题目六	矩形槽板	91
题目七	十字形槽	95
题目八	凸凹模板	98
题目九	月牙盘	101
题目十	旋钮型腔模	105
参考文献		108

第一篇 数控铣床基本知识 with 操作

第一章 数控铣床编程基础

第一节 数控铣床简介

一、数控铣床布局及组成

数控铣床有许多类型，下面以 XK5032C 数控铣床为例，说明数控铣床的基本布局，如图 1-1 所示。

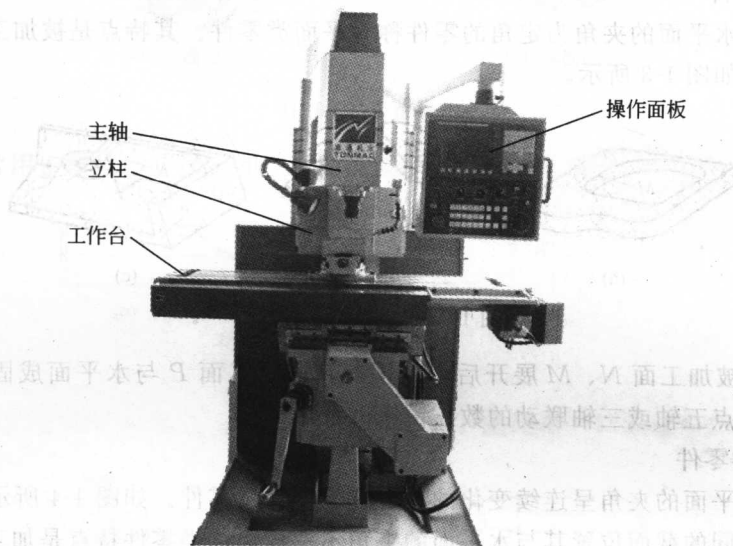


图 1-1 数控铣床的布局

工作台用于安装工件，可以带动工件作左右（X 向）运动和前后（Y 向）运动。主轴上安装刀具，主轴带动刀具转动对工件进行切削，同时主轴可沿床身立柱导轨作上下（Z 向）运动。床身（立柱）是机床的主体，对主轴起支承和导向作用。其后面是电气柜，电气柜里有数控系统、伺服系统、电源等。操作面板由显示器、数控系统的操作键盘和机床的操作面板三部分组成。

数控铣床一般由机械主体、数控系统、伺服驱动系统、测量反馈系统和输入输出装置五个部分组成。如图 1-2 所示。

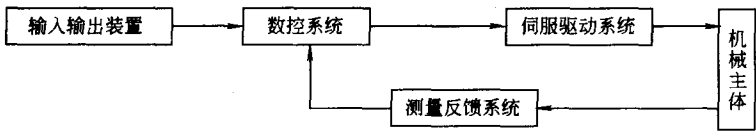


图 1-2 数控铣床的组成

机械主体是铣床的机械部分，包括床身、主轴箱、工作台和进给机构等。数控系统（简称 NC 系统）是数控铣床的控制核心，机床所有动作都是由该部分控制完成的。伺服驱动系统是机床的执行机构，包括驱动电路和伺服电机。测量反馈系统是对位移、速度等进行检测，并把检测结果反馈给数控系统。输入输出装置主要完成对工件加工程序的输入、输出和编辑，有操作面板键盘和显示器、RS232 接口、COM 接口、磁盘驱动器等。

把被加工零件按照数控加工的工艺要求，用数控语言编写成加工程序，从输入装置将程序输入到数控系统中，数控系统根据加工指令进行计算，并输出控制脉冲，通过伺服驱动，控制刀具对工件进行加工，直到程序结束，机床自动停止，加工出合格的工件。

二、数控铣削主要加工对象

数控铣削适合加工以下三种类型的零件。

1. 平面类零件

被加工面与水平面的夹角为定角的零件称为平面类零件。其特点是被加工面为平面或展开后成为平面。如图 1-3 所示。

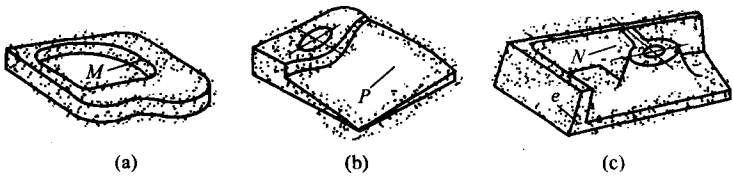


图 1-3 典型平面类零件

图 1-3 中的被加工面 N、M 展开后均为平面，被加工面 P 与水平面成固定夹角，这些面可用二轴、二点五轴或三轴联动的数控铣床进行加工。

2. 变斜角类零件

加工面与水平面的夹角呈连续变化的零件称为变斜角零件。如图 1-4 所示飞机上的变斜角梁橡条，在不同的截面位置其与水平面的夹角不一样，该类零件特点是加工面不能展开为平面，但在加工中，铣刀圆周与加工面接触的瞬时为一条直线。变斜角类零件一般采用四轴或五轴联动的数控铣床进行加工，也可以在三轴数控铣床上通过两轴联动用鼓形铣刀分层近似加工，但精度稍差。



图 1-4 变斜角梁橡条

3. 曲面（立体）类零件

加工面为空间曲面的零件称为曲面类零件。其特点：一是加工表面不能展开为平面；二

是加工面与铣刀始终为点接触。这类零件在数控铣削加工中也较常见,通常采用两轴半联动数控铣床来加工精度要求不高的曲面;精度要求高的曲面需用三轴联动数控铣床加工;若曲面周围有干涉面,则需用四轴甚至五轴联动数控铣床加工。

第二节 数控铣削加工常用工具

数控铣削加工常用的工具有铣刀具、铣夹具和量具。

一、刀具

数控立式铣削方式常用的刀具有平面铣刀、球面铣刀、成形铣刀、孔加工刀具。

平面铣刀主要用于平面铣削加工和矩形槽加工,常用的如图 1-5 所示。

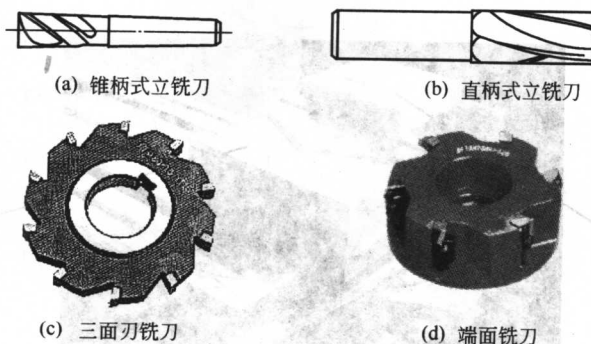


图 1-5 平面铣刀

球面铣刀常用于模具型腔加工和三维曲面加工,如图 1-6 所示。

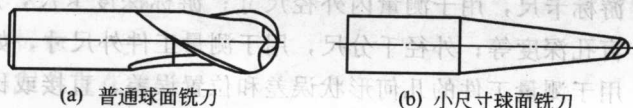


图 1-6 球面铣刀

成形铣刀常用于型槽的加工,如梯形槽、矩形槽、燕尾槽、V形槽等,如图 1-7 所示。

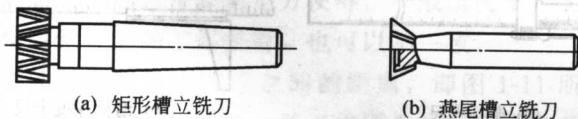


图 1-7 成形铣刀

孔加工工具有中心钻、麻花钻、扩孔钻、铰刀、丝锥等。中心钻用于钻定位孔;麻花钻用于钻小直径孔;扩孔钻用于扩孔,加工比较大的孔径尺寸;铰刀用于孔的半精加工和精加工;丝锥用于内螺纹加工。如图 1-8 所示。

二、夹具

数控铣削加工常用夹具有机用平口钳、三爪卡盘及专用夹具。如图 1-9 所示为机用平口钳。

通常还用垫板和压块作为辅助夹紧工具。

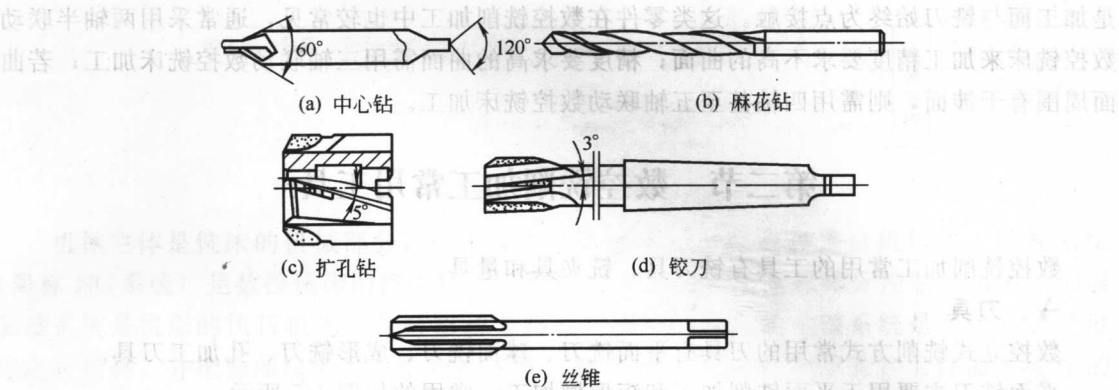


图 1-8 孔加工刀具

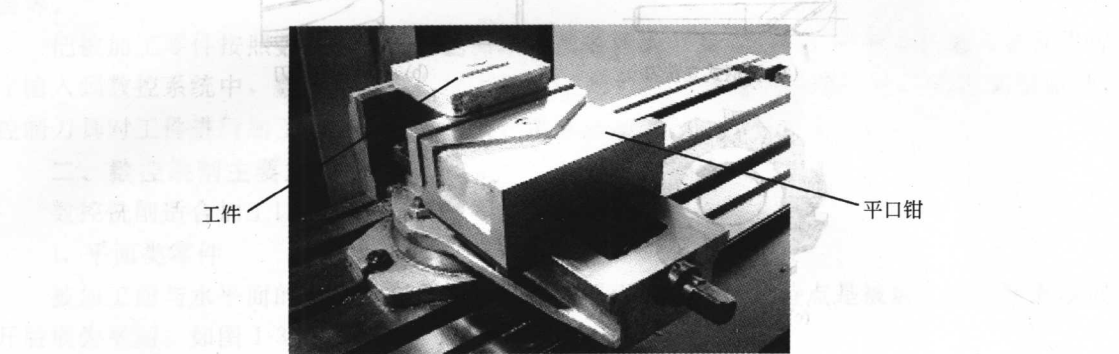


图 1-9 机用平口钳

三、量具

常用的量具有：游标卡尺，用于测量内外径尺寸；游标深度卡尺，用于测量深度尺寸，如阶梯长度、槽深、盲孔深度等；外径千分尺，用于测量工件外尺寸，如长度、厚度、外径及台肩等；百分表，用于测量工件的几何形状误差和位置误差，直接或比较测量工件的长度尺寸。如图 1-10 所示。

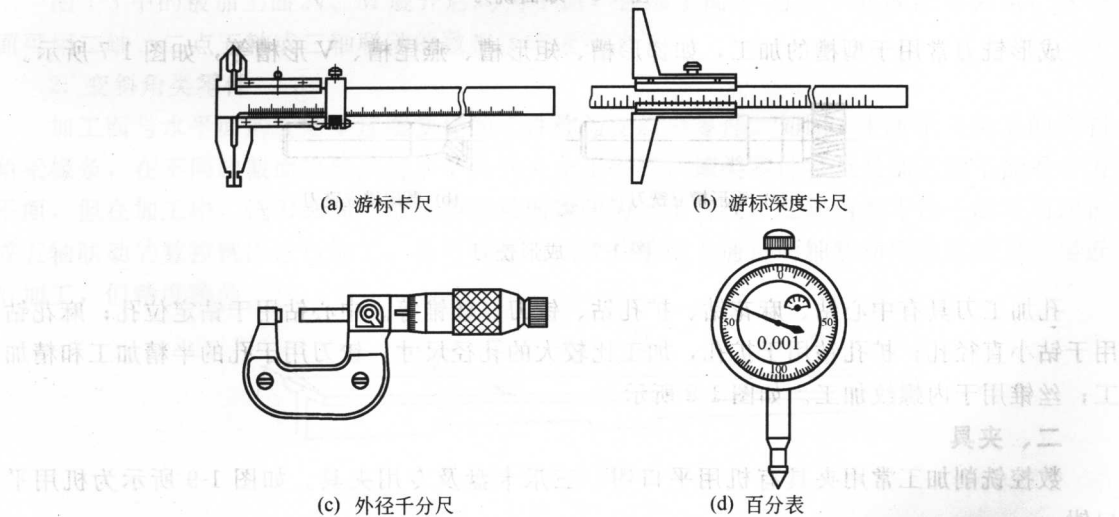


图 1-10 常用量具

第三节 数控铣削基本知识

一、坐标系

坐标系分为机床坐标系和工件坐标系，如图 1-11 所示。机床坐标系是机床上固有的，用来确定刀具、工件及工件坐标系，并建立在机床原点上。机床原点是数控机床的一个基准位置，也是机床上的一个物理位置。

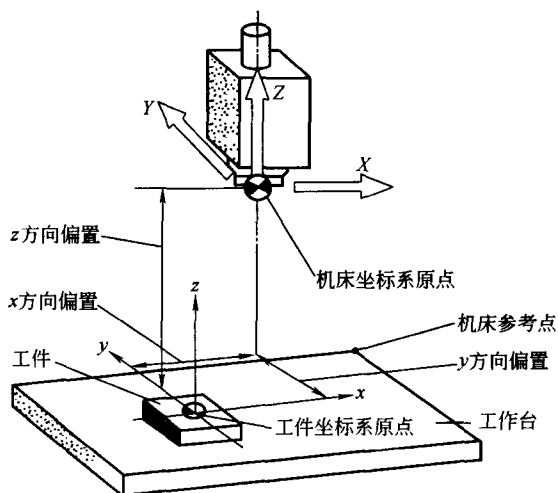


图 1-11 坐标系及参考点

机床上另一个相对固定点是机床的参考点，通常参考点与机床原点有相对固定的位置，参考点是通过机械挡块来确定其与机床原点相对位置的。机床在进行切削以前，要通过回参考点来建立机床的坐标系。

工件坐标系是编程人员在编程时，根据零件尺寸、形状，为便于编程而在零件图上设定的坐标系。该坐标系一旦确定，工件在机床上的安装位置和方向也就确定。建立工件坐标系包括确定坐标原点和坐标轴方向。坐标原点通常是建立在零件最重要的设计基准上。例如基准面的中心点、基准面和基准线的交点等。在确定原点位置时，主要考虑编程计算方便、机床调整方便、对刀方便及其毛坯上位置确定方便等。一般情况下，工件坐标系的坐标轴方向和机床坐标轴的方向相一致，当加工需要时，也可以不一致。

加工时，先测量工件原点与机床原点之间的距离，即图 1-11 所示的 X 、 Y 、 Z 的偏置值，将该偏置值预存到数控系统中，在加工时工件原点偏置值便自动加到工件坐标系上，使数控系统可按机床坐标系确定的加工坐标值进行加工，而编程人员则按照工件坐标系进行编程，这样使用起来非常方便。

二、刀具补偿

刀具补偿由数控机床自动进行，但是补偿值的大小要由操作人员进行设置。刀具补偿的作用是编程人员不用考虑刀具半径和刀具半径变化对编程的影响，使编程方便。刀具补偿包括刀具半径补偿和刀具长度方向补偿。

在切削时，刀具轴线或球形刀具球心点偏离被加工轮廓，偏离值为刀具半径，这种方式称为刀具半径补偿。沿着刀具的进给方向，刀具位于被加工轮廓的左侧，为左刀补（G41）；

反之，为右刀补（G42）。如图 1-12 所示。

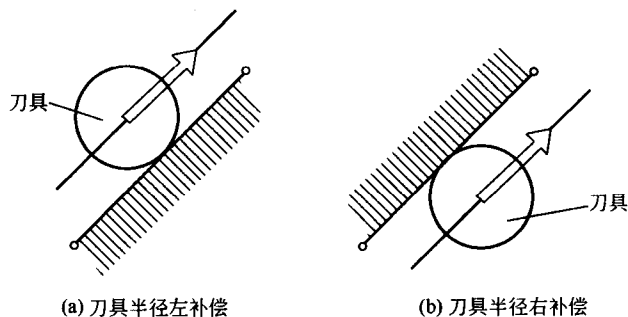


图 1-12 刀具半径补偿

使用刀具补偿时，要注意两点：一是要注意刀具可能产生过切现象；二是刀补使用结束时要用功能命令取消刀补（G40）。

在加工时，为了使刀具顶端到达编程位置而使刀具在其轴线方向多移动或少移动某一个数值，称为刀具长度补偿。立式数控铣床或铣削加工中心，刀具长度方向的补偿是在 Z 轴方向，即刀具轴线方向，使刀具在轴线方向的实际位移量小于或大于程序的给定量。如图 1-13 所示。

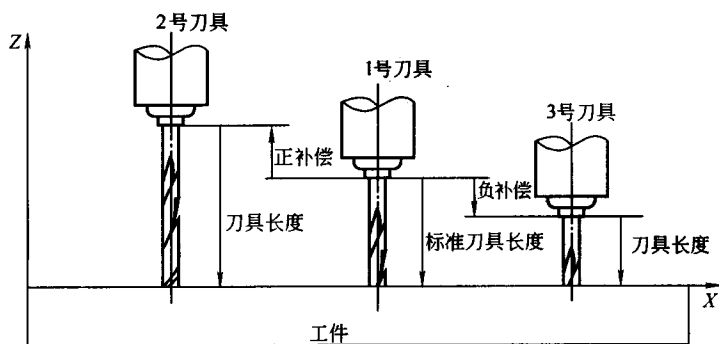


图 1-13 刀具长度补偿

$$\text{实际位移量} = \text{程序给定量} - \text{刀具长度}$$

第四节 数控铣削工艺

数控铣削加工较多地用于复杂曲面加工，在进行工艺分析时，主要考虑以下几个方面的问题。

一、零件的工艺分析

- (1) 根据零件图形，检查零件图的完整性和正确性，分析所标注尺寸及公差完整性。
- (2) 分析零件结构工艺性，根据铣削加工能力，选择符合于数控铣削加工的结构进行加工。

二、起始点、返回点，进刀点、退刀点

程序在开始时，刀具中心初始停留点，称为起始点；一把刀具切削结束后，刀具中心点返回后的停留点，为返回点，该点一般也为换刀点。同一个零件的加工，无论需要几个程

序, 起始点和返回点最好相同, 且应定义在被加工零件表面最高点上方 50~100mm 的位置, 以防碰刀。

在曲面的初始切削位置上, 刀具与曲面的接触点, 称为进刀点; 曲面切削完毕后, 刀具离开曲面瞬间, 与曲面的接触点称为退刀点。

进刀点位置选择: 粗加工时, 以曲面的最高角点为进刀点, 因为该点的切削余量小, 进刀时不易损坏刀具; 精加工时, 以曲面内曲率比较小的角点为进刀点, 因为该点刀具所受的弯矩小, 不易折断刀具。

退刀点位置选择: 主要考虑曲面能连续完整地加工及曲面与曲面间非切削加工时间尽可能短, 换刀方便。被加工曲面为开放型, 以角点为退刀点; 被加工曲面为封闭型, 选择圆弧处为退刀点。

三、进刀及退刀方式

进刀方式是指加工零件前, 刀具接近工件表面的运动方式; 退刀方式是指零件或零件区域加工结束后, 刀具离开加工表面的运动方式。无论是进刀还是退刀, 都是按照规定的路线进行的, 该路线称为进刀或退刀线。常用的进刀、退刀方式有以下几种。

(1) 从法向进、退刀。该方式是沿被加工表面的法向垂直进、退刀, 这样定义简单。但会在该点留下驻刀痕迹, 影响工件表面质量, 且不适用于表面铣削。

(2) 从曲面切向进、退刀。从被加工表面的切线方向进、退刀, 如图 1-14 所示。

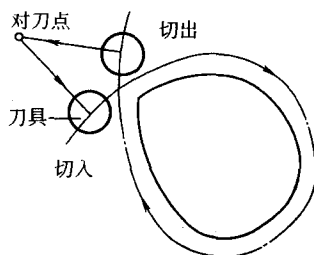


图 1-14 切向进、退刀方式

(3) 沿圆弧线进、退刀。以圆弧线的方式切入和退出加工表面, 如图 1-15 所示。该方式用于不能用直线直接进刀和退刀的场合。



图 1-15 圆弧线进、退刀方式

(4) 线或斜线进、退刀。在两个切削层之间, 刀具从上一层的高度沿螺旋线或斜线以渐进的方式切入, 直到下一层高度, 然后开始切削下一层。

第五节 数控铣床加工指令代码

通过编程并运行这些程序而使数控机床能够实现的功能称为可编程功能。一般可编程功能分为两类。一类用来实现刀具轨迹控制即各进给轴的运动, 如直线、圆弧插补、进给控

制、坐标系原点偏置及变换、尺寸单位设定、刀具补偿等，这类功能被称为准备功能，以字母 G 以及两位数字组成，也被称为 G 代码。另一类功能被称为辅助功能，用来完成程序的执行控制、主轴控制、刀具控制、辅助设备控制等功能。在这些辅助功能中，Sxx 用于控制主轴转速，Fxx 用于控制刀具进给速度。其他功能由以字母 M 与两位数字组成的 M 代码来实现。

一、准备功能（G 功能）

FANUC 0i 数控系统 G 功能代码及其功能，如表 1-1 所示。

表 1-1 G 功能代码

G 代码	分组	功 能	G 代码	分组	功 能
* G00	01	定位(快速移动)	G59	14	选用 6 号工件坐标系
* G01	01	直线插补(进给速度)	G60	00	单一方向定位
G02	01	顺时针圆弧插补	G61	15	精确停止方式
G03	01	逆时针圆弧插补	* G64	15	切削方式
G04	00	暂停,精确停止	G65	00	宏程序调用
G09	00	精确停止	G66	12	模态宏程序调用
* G17	02	选择 XY 平面	* G67	12	模态宏程序调用取消
G18	02	选择 ZX 平面	G73	09	深孔钻削固定循环
G19	02	选择 YZ 平面	G74	09	反螺纹攻丝固定循环
G27	00	返回并检查参考点	G76	09	精镗固定循环
G28	00	返回参考点	* G80	09	取消固定循环
G29	00	从参考点返回	G81	09	钻削固定循环
G30	00	返回第二参考点	G82	09	钻削固定循环
* G40	07	取消刀具半径补偿	G83	09	深孔钻削固定循环
G41	07	左侧刀具半径补偿	G84	09	攻丝固定循环
G42	07	右侧刀具半径补偿	G85	09	镗削固定循环
G43	08	刀具长度补偿+	G86	09	镗削固定循环
G44	08	刀具长度补偿-	G87	09	反镗固定循环
* G49	08	取消刀具长度补偿	G88	09	镗削固定循环
G52	00	设置局部坐标系	G89	09	镗削固定循环
G53	00	选择机床坐标系	* G90	03	绝对值指令方式
* G54	14	选用 1 号工件坐标系	* G91	03	增量值指令方式
G55	14	选用 2 号工件坐标系	G92	00	工件零点设定
G56	14	选用 3 号工件坐标系	* G98	10	固定循环返回初始点
G57	14	选用 4 号工件坐标系	G99	10	固定循环返回 R 点
G58	14	选用 5 号工件坐标系			

从表 1-1 中可以看到，G 代码被分为不同的组，这是由于大多数的 G 代码是模态的。所谓模态 G 代码，是指这些 G 代码不只在当前的程序段中起作用，而且在以后的程序段中一直起作用，直到程序段中出现另一个同组的 G 代码为止，同组的模态 G 代码控制同一个目标但起不同的作用，它们之间是不相容的。00 组的 G 代码是非模态的，这些 G 代码只在它们所在的程序段中起作用。标有 * 的 G 代码是上电时的初始状态。对于 G01 和 G00、G90 和 G91 上电时的初始状态由参数决定。如果程序中出现了未列在表 1-1 中的 G 代码，CNC 会显示 10 号报警。

同一程序段中可以有几个 G 代码出现,但当两个或两个以上的同组 G 代码出现时,最后出现的一个(同组的) G 代码有效。

在固定循环模态下,任何一个 01 组的 G 代码都将使固定循环模态自动取消,成为 G80 模态。

二、辅助功能 (M 功能)

FANUC 0i 数控系统辅助功能代码,如表 1-2 所示。

表 1-2 M 辅助功能代码

M 代码	功 能	M 代码	功 能	M 代码	功 能
M00	程序停止	M05	主轴停止	M19	主轴定向
M01	条件程序停止	M06	刀具交换	M29	刚性攻丝
M02	程序结束	M08	冷却开	M30	程序结束并返回程序头
M03	主轴正转	M09	冷却关	M98	调用子程序
M04	主轴反转	M18	主轴定向解除	M99	子程序结束返回/重复执行

一般地,一个程序段中, M 代码最多可以有一个。

三、主轴功能 (S 功能)

该功能用来指定主轴转速,由 S 和数字组成,如 S3000,表示主轴转速为 3000r/min。

四、进给功能 (F 功能)

该功能用于指定刀具的进给速度,由 F 和数字组成,如 F50,表示刀具的进给速度为 50mm/min。