

数控机床加工工艺 分析与设计

黄添彪 / 著

ShuKong JiChuang JiaGong GongYi
FenXi Yu SheJi



经济科学出版社
Economic Science Press

数控机床加工工艺 分析与设计

黄添彪 / 著

ShuKong JiChuang JiaGong GongYi
FenXi Yu SheJi



经济科学出版社
Economic Science Press

图书在版编目 (CIP) 数据

数控机床加工工艺分析与设计/黄添彪著. —北京: 经济科学出版社, 2015. 7

ISBN 978 - 7 - 5141 - 2385 - 2

I. ①数… II. ①黄… III. ①数控机床 - 加工 - 高等学校 - 教材②数控机床 - 程序设计 - 高等学校 - 教材
IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 142659 号

责任编辑: 段 钢

责任校对: 徐领柱

责任印制: 邱 天

数控机床加工工艺分析与设计

黄添彪 著

经济科学出版社出版、发行 新华书店经销

社址: 北京市海淀区阜成路甲 28 号 邮编: 100142

总编部电话: 010 - 88191217 发行部电话: 010 - 88191522

网址: [www. esp. com. cn](http://www.esp.com.cn)

电子邮件: [esp@ esp. com. cn](mailto:esp@esp.com.cn)

天猫网店: 经济科学出版社旗舰店

网址: [http: //jjkxbs. tmall. com](http://jjkxbs.tmall.com)

北京万友印刷有限公司印装

787 × 1092 16 开 16 印张 420000 字

2015 年 7 月第 1 版 2015 年 7 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 5141 - 2385 - 2 定价: 48.00 元

(图书出现印装问题, 本社负责调换。电话: 010 - 88191502)

(版权所有 侵权必究 举报电话: 010 - 88191586)

电子邮箱: [dbts@ esp. com. cn](mailto:dbts@esp.com.cn))

前言

随着数控技术的不断发展和应用领域的扩大，它对国计民生的一些重要行业的发展起着越来越重要的作用，因为这些行业所需装备的数字化已是现代发展的大趋势。充分发挥数控机床的高自动化、高精度、高效率，本身优势外，主要体现在数控加工工艺编制人员与机床操作人员对数控控制系统的熟悉了解，对控制系统编程代码的熟悉，还需较扎实的专业基础知识，如作图识图知识，刀具切削参数知识，机械加工工艺知识，夹具使用知识等。

著者 1995 年走上数控应用岗位就开始接触数控机床加工程序与工艺：从多功能 AMADA 数控冲床的数控系统程序及工艺到发那科系统的数车数铣程序及工艺和西门子数车数铣程序及工艺。从了解数控程序代码到熟悉数控工艺到弄清数车数铣同系统数控代码的异同到不同系统数车数铣系统数控代码的异同。根据它们各自的特殊性编制高质量的加工程序，并尽力根据不同特点编制各自的宏程序。在日常工作中遇到的成百上千种零件编制了的数车、数铣与加工中心加工时的控制程序与数控工艺。遇到一个就编一个，工作任务多时，兴趣使然，有时能编到凌晨一两点，乐此不疲；简单的程序，直接用于加工。完成加工也就意味着这个程序通过了验证。稍复杂的编完后进行仿真测试与仿真模型检测。随着用于生产的数控程序的积累，著者就把自己采用不同代码与坐标系编制的程序与工艺进行了分析总结与归纳得出了一些反常规的“窍门”与方法，使编制程序更方便更容易，识别程序内容更简单，闯出了不同于大多数书本介绍编程象限相反的数控程序。

近几年，数控应用和数控职业教育领域蓬勃发展，社会上掀起了学习数控程序与工艺的热潮。必须明确，学习数控程序与数控工艺的目的是为了应用：用自己编制的数控程序与数控工艺或别人包括制造厂家开发的部分宏程序模块加工或做别的工作。而自己编制数控程序及工艺的前提条件是懂程序代码与变量和数控工艺的基础知识以及宏程序开发的技巧。掌握数控程序分三个阶段。第一阶段是会编制并使用简单的数控代码根据加工工艺要求编简单的数控程序和现成宏程序模块的使用；第二个阶段是会编制并使用中等复杂的数控代码程

序和现成中等复杂的循环指令与宏程序模块；第三阶段是会编制并使用比较复杂的数控代码程序与循环指令与宏程序。本著对加工工艺中的宏程序运用有一定篇幅介绍，主要介绍数控铣、数控加工中心与数控车代码使用与其加工工艺编制。

作为编写和使用数控程序与工艺已有 20 多年经验的数控应用工作者，著者一直想把自己对数控程序与工艺的认识、体会和开发应用心得与同行交流。本著从构思到对以往心得的整理完稿，耗时三年有余，同时借鉴引用同行的部分心血作为本著的补充，借此表示衷心的感谢。在本著编写过程中，著者原想把西门子、发那克和 AMADA 数控系统的数控程序比较编写，但后改为只写发那科系统与西门子系统的数控程序，并且以发那科系统为主。

著者希望本书对于掌握数控工艺的同行人都有帮助。个人能力总是有限，由于时间仓促，书中难免会有错误和疏漏之处，请广大读者指正。

作 者

2015 年 7 月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 数控加工的基础知识	1
1.2.1 数控编程技术的基本概念	1
1.2.2 数控工艺中编程方法	2
1.3 数控加工的工艺设计	8
1.3.1 数控加工工艺的特点	8
1.3.2 粗、精加工的工艺选择	9
1.3.3 加工路线的确定及优化	10
1.3.4 数控加工工作流程	12
1.3.5 按工艺用途分类	14
第2章 采用相对坐标编程与绝对坐标编程对加工精度影响的研究	15
2.1 基点	15
2.2 节点	16
2.3 绝对尺寸指令和增量尺寸指令	16
2.4 G 功能字指定	17
2.5 CNC 装置的数据转换流程	17
2.5.1 译码	17
2.5.2 软件译码过程	21
2.5.3 速度预处理	24
2.5.4 插补计算	25
2.5.5 位置控制处理	26
2.5.6 脉冲当量	26
2.6 插补的基本概念	27
2.6.1 插补方法的分类	27
2.6.2 逐点比较法	28

第3章 数控铣床程序编制与加工工艺分析	31
3.1 平面类零件.....	31
3.1.1 直纹曲面类零件	31
3.1.2 立体曲面类零件	32
3.2 数控铣床的工艺装备	33
3.2.1 夹具	34
第4章 数控铣床铣刀的选用与切削工艺性分析	35
4.1 数控铣床刀具.....	35
4.1.1 铣刀类型选择	35
4.1.2 铣刀结构选择	37
4.1.3 铣刀角度的选择	39
4.1.4 铣刀的齿数(齿距)选择	40
4.1.5 铣刀直径的选择	41
4.1.6 铣刀的最大切削深度	41
4.1.7 刀片牌号的选择	41
4.1.8 铣削术语、单位和运行参数及主刀具主偏角	42
4.1.9 表面粗糙度与刀尖半径、进给量之间的关系	43
4.2 数控铣削的工艺性分析	44
4.2.1 选择并确定数控铣削加工部位及工序内容	44
4.2.2 零件图样的工艺性分析	46
4.3 零件的加工路线	50
4.3.1 铣削轮廓表面	50
4.3.2 顺铣和逆铣对加工的影响	50
第5章 数控铣床加工坐标系与特殊加工指令的分析	52
5.1 数控铣床程序手工编制的基本方法	52
5.1.1 设置加工坐标系—G92	53
5.1.2 选择机床坐标系—G53	53
5.1.3 选择1~6号加工坐标系—G54、G55、G56、G57、G58、G59	53
5.1.4 注意事项	54
5.1.5 常见错误	55
5.2 刀具半径补偿功能 G40、G41、G42	55
5.2.1 半径补偿功能的定义及编程格式	55
5.2.2 刀具半径补偿设置方法	55
5.2.3 应用举例	55

5.3 坐标系旋转功能 G68、G69	56
5.3.1 基本编程方法	57
5.3.2 坐标系旋转功能与刀具半径补偿功能的关系	58
5.3.3 坐标系与比例编程方式的关系	58
5.4 子程序调用	59
5.4.1 各轴按相同比例编程	60
5.4.2 各轴以不同比例编程	60
5.4.3 镜像功能	61
5.4.4 设定比例方式参数	62
5.5 A 类宏功能应用	62
5.5.1 变量	62
5.6 图形的数学处理	69
5.6.1 两平行铣削平面的数学处理	69
5.6.2 两相交铣削平面的数学处理	70
5.6.3 空间曲面的数学处理	72
5.7 数控铣削加工综合举例	75
5.7.1 凸轮的数控铣削工艺分析及程序编制	75
5.8 应用宏功能指令加工空间曲线	79
5.9 平面移丝凸轮槽的加工	81
 第 6 章 加工中心程序编制基础及工艺装备	 84
6.1 加工中心程序编制的基础	84
6.1.1 加工中心的主要功能	84
6.1.2 加工中心的工艺及工艺装备	85
6.2 工艺性分析	85
6.3 工艺过程设计	86
6.4 零件的装夹	87
6.5 刀具的选择	89
6.6 加工中心编程的特点	89
 第 7 章 加工中心编程 FANUC 系统与 SIEMENS 系统固定循环指令程序的应用	 91
7.1 FANUC 系统固定循环功能	91
7.1.1 高速深孔钻循环指令 G73	92
7.1.2 螺纹加工循环指令 (攻螺纹加工)	93
7.1.3 精镗循环指令 G76	93
7.1.4 应用举例	95
7.2 SIEMENS 系统固定循环功能	97

7.2.1	主要参数	97
7.2.2	钻削循环	97
7.2.3	镗削循环	98
7.2.4	线性孔排列钻削	100
7.2.5	矩形槽、键槽和圆形凹槽的铣削循环	101
7.3	应用举例	103
第8章 加工中心编程 FANUC 系统与 SIEMENS 系统宏程序的应用		107
FANUC 系统 B 类宏程序应用		107
8.1	基本指令	107
8.1.1	宏程序的简单调用格式	107
8.1.2	宏程序的编写格式	107
8.1.3	变量	108
8.1.4	算术运算指令	108
8.1.5	控制指令	109
8.1.6	应用举例	110
8.2	SIEMENS 系统宏程序应用	112
8.2.1	计算参数	112
8.2.2	赋值方式	112
8.2.3	控制指令	112
8.2.4	应用举例	113
8.3	加工中心的调整	113
8.3.1	加工中心的对刀方法	114
8.3.2	加工中心回转工作台的调整	115
第9章 箱体类零件加工工艺制定实例		118
9.1	箱体类数铣与加工中心加工零件图研究 (审查零件图)	118
9.2	高精度箱体零件加工工艺分析 (参考文献 1 详细列出了其加工工艺)	120
9.2.1	加工技术要求分析	120
9.2.2	定位基准选择	126
9.2.3	加工设备选择	126
9.2.4	工艺方案拟定	126
9.2.5	详尽的准备文件和加工文件	129
第10章 数控车床中顺逆圆弧插补指令运行方向研究		185
10.1	顺逆圆弧插补指令运行方向的常见形式	185

10.2	回旋体加工实例中顺逆圆弧插补指令运行方向的准确判别分析	186
10.3	回旋体加工顺逆圆弧插补指令与其相关程序结合实例	189
第11章	数控车床加工指令与车刀选工艺使用技巧	190
11.1	数控车床程序编制	190
11.1.1	数控车床可转位刀具特点	190
11.1.2	数控车床刀具的选刀过程	191
11.2	数控车床的对刀	198
11.2.1	数控车床一般对刀	198
11.2.2	机外对刀仪对刀	198
11.2.3	自动对刀	198
11.3	数控车床的基本编程方法	199
11.3.1	F 功能	201
11.3.2	S 功能	201
11.3.3	T 功能	202
11.3.4	M 功能	202
11.3.5	加工坐标系设置	202
11.3.6	倒角、倒圆编程	202
11.3.7	刀尖圆弧自动补偿功能	205
11.3.8	单一固定循环	207
11.3.9	复合固定循环	210
11.3.10	精加工循环	215
11.3.11	深孔钻循环	215
11.3.12	外径切槽循环	216
11.3.13	螺纹切削指令	217
第12章	数控车削加工工艺综合举例	222
12.1	车削加工工艺分析	222
12.2	确定工序和装夹方式	223
12.3	工艺设计和选择工艺装备及手动编程	223
12.3.1	选择数控车刀	223
12.3.2	数控车削加工步骤及装夹方式	225
12.3.3	数控车削各工序的刀具及运行参数	228
12.3.4	编程时使用基点计算	229
12.3.5	手动编制加工控制程序	231
	参考文献	240

第 1 章

绪 论

1.1 概述

现代数控加工技术是指高效、优质地实现零件，特别是复杂形状零件加工的有关理论、方法与实现技术，是自动化、柔性化、敏捷化和数字化制造的基础与关键技术。数控加工过程包括按给定的零件加工要求（零件图纸、CAD 数据或实物模型）进行加工的全过程。一般来说，数控加工技术涉及数控机床加工工艺和数控编程技术两方面；本著主要讨论数控铣，加工中心，数控车床上的加工工艺设计与工艺分析。

数控机床是采用数字形式信息控制的灵活、高效的自动化机床，数控加工就是根据被加工零件和工艺要求编制成以数码表示的程序，输入数控机床的数控装置或控制计算机中，以控制工件和刀具的相对运动，使之加工出合格零件的方法。在使用数控机床加工时，必须编制零件的加工程序，理想的加工程序不仅应保证加工出符合设计要求的零件，同时还应使数控机床功能得到合理的应用和充分的发挥，且能安全可靠和高效的工作。数控加工中的工艺问题的处理与普通机械加工基本相同，但又有其特点，因此在设计零件的数控加工工艺时，既要遵循普通加工工艺的基本原则的方法，又要考虑数控加工本身的特点和零件编程要求。

数控编程技术是数控加工工艺技术应用中的关键技术之一，也是目前 CAD/CAPP/CAM 系统中最能明显发挥效益的环节之一。数控编程技术在实现设计加工自动化、提高加工精度和加工质量、缩短产品研制周期等方面发挥着重要作用，在机械制造业、汽车工业等领域有着广泛的应用。

1.2 数控加工的基础知识

1.2.1 数控编程技术的基本概念

数控编程是从零件图纸到获得数控加工程序的全过程。数控编程的主要内容包括；分析加工要求并进行工艺设计，以确定加工方案，选择合适的数控机床、刀具、夹具，确定合理的走刀路线及切削用量等；建立工作的几何模型，计算加工过程中刀具相对工作的运动轨迹或机床运动轨迹；按照数控系统可接受的程序格式，生成零件加工程序，然后对其进行验证和修改，

直到合格的加工程序。根据零件加工表面的复杂程度、数值计算的难易程度、数控机床的数量及现有编程条件等因素，数控加工程序可通过手工编程或计算机辅助编程来获得。

因此，数控机床加工工艺分析与设计中编程包含数控加工与编程、机械加工工艺、CAD/CAM 软件应用等多方面的知识，其主要任务是计算加工走刀中的刀位点（Cutter Location Point，CL 点），多轴加工中还要给出刀轴矢量。数控车、数控铣或者数控加工中心的加工编程是目前应用最广泛的数控编程技术，在本书中若无特别说明，数控编程一般是指数控车、数控铣或数控加工中心编程。

1.2.2 数控工艺中编程方法

数控工艺中编程通常分为手工编程和计算机辅助编程两类，而计算机辅助编程又分为数控语言自动编程、交互图形编程和 CAD/CAM 集成系统编程等多种。目前数控编程正向集成化、智能化和可视化方向发展。

1.2.2.1 手工编程

手工编程就是从工艺分析、数值计算直到数控程序的试切和修改等过程全部或主要由人工完成。这就要求编程人员不仅要熟悉数控代码及编程规则，而且还必须具备机械加工工艺知识和数值计算能力。对于点位加工或几何形状不太复杂的零件，数控编程计算较简单、程序段不多，手工编程是可行的特别是使用数控宏程序。但对形状复杂的零件，特别是具有曲线、曲面（如叶片、复杂模具型腔）或几何形状并不复杂但程序量大的零件（如复杂孔系的箱体），以及数控机床拥有量较大而且产品不断更新的企业，手工编程就很难胜任。据生产实践统计，手工编程时间与数控机床加工时间之比一般为 30：1，可见手工编程效率低、出错率高，因而必然要被其他先进编程方法所替代。但机械制造行业（除模具制造外）大多数还采用手工编程，手工编程是夯实初学者工艺编制能力与熟悉数控代码指令功能的有效途径。本书中主要介绍数控机床加工手工编程及分析与设计。

手工编程的一般步骤如图 1-1 所示。

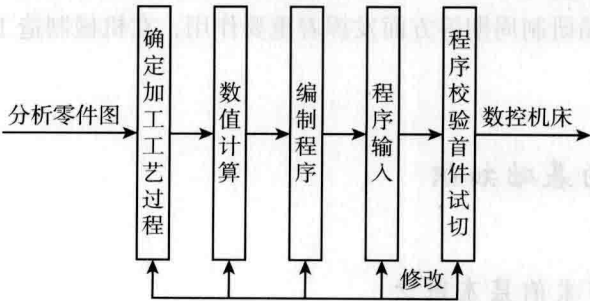


图 1-1 数控工艺编程步骤流程图

(1) 确定加工工艺过程。在确定加工工艺过程时，编程人员要根据被加工零件图样对工件的形状、尺寸、技术要求进行分析，选择加工方案，确定加工顺序、加工路线、装夹方式、刀具及切削参数等，同时还要考虑所用数控机床的指令功能，充分发挥机床的效能，尽

量缩短走刀路线,减少编程工作量。

(2) 数值计算。根据零件图的几何尺寸确定工艺路线及设定工件坐标系,计算零件粗、精加工运动的轨迹,得到刀位数据(刀位点包括基点和节点)。

① 基点的计算。刀位数据中的基点计算可通过手工计算和绘图软件的特性菜单栏查询得到。一般精度高、速度快,在实际的编程中得到广泛的使用。

【例】使用 AutoCAD 计算图 1-2 中 A、B、C、D 基点的坐标。图 1-2 中的 A、B、C、D 是该零件轮廓上的基点。基点坐标的确定如下:

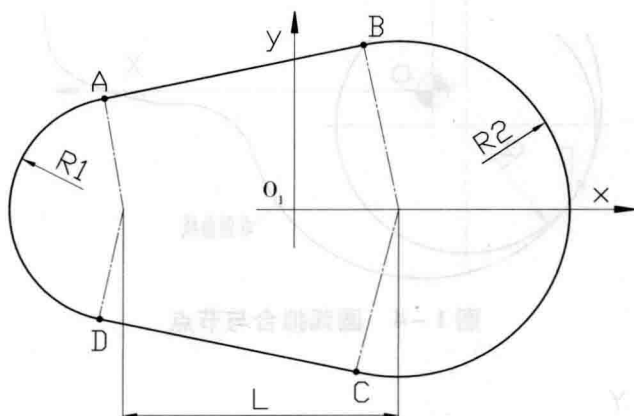


图 1-2 利用 CAD 或 CAXA 软件求基点

- a. 在 AutoCAD 或 CAXA 软件中完成图形的绘制。
- b. 使用 UCS 工具栏建立工件坐标系,在 AutoCAD 或 CAXA 软件中建立的用户坐标系的原点与工作坐标系的原点重合,如图 1-3 所示。

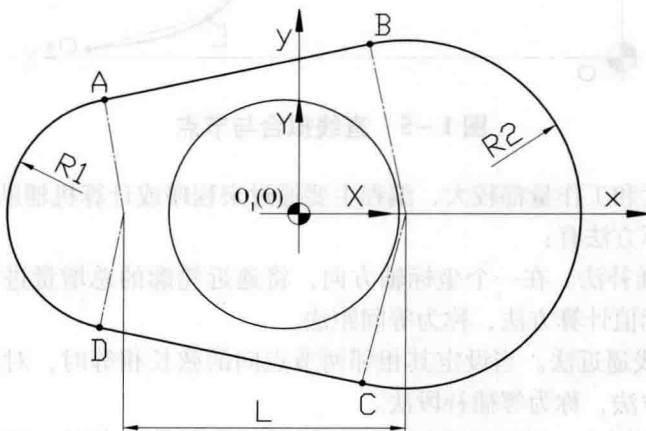


图 1-3 建立用户坐标系

② 节点坐标计算。在只有直线和圆弧插补功能的数控机床上加工零件时,有一些平面轮廓是非圆方程曲线,如渐开线、阿基米德螺线、双曲线、抛物线等。还有一些平面轮廓是用一系列实验或经验数据点表示的,没有表达轮廓形状的曲线方程(称为列表曲线)。这就使被加

工的零件轮廓形状与机床的插补功能出现不一致。对于这类零件的加工,就只能采用逼近法。

当采用不具备非圆曲线插补功能的数控机床加工非圆曲线轮廓的零件时,在加工程序的编制时,常常需要用多个直线段或圆弧段去近似代替非圆曲线,这个过程称为拟合(逼近)处理。拟合线段的交点或切点称为节点。图 1-4 中的 F 点为圆弧拟合非圆曲线的节点,图 1-5 中的 A、B、C、D、E 点均为直线逼近非圆曲线时的节点。

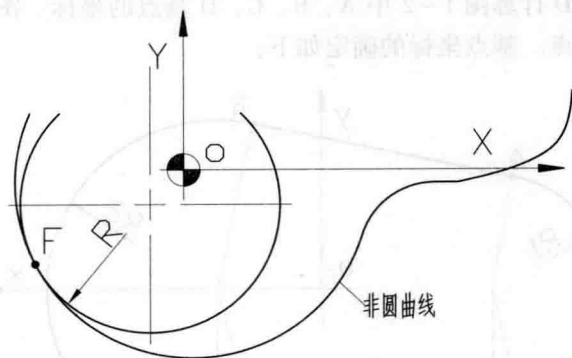


图 1-4 圆弧拟合与节点

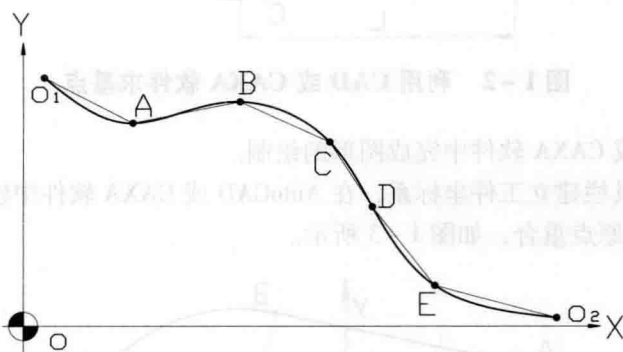


图 1-5 直线拟合与节点

节点计算的难度和工作量都较大,编程主要通过宏程序或计算机辅助编程来实现。

通用的逼近计算方法有:

a. 等间距直线插补法。在一个坐标轴方向,将逼近轮廓的总增量进行等分后,按其设定节点所进行的坐标值计算方法,称为等间距法。

b. 等插补段直线逼近法。当设定其相邻两节点间的弦长相等时,对轮廓曲线所进行的节点坐标值的计算方法,称为等插补段法。

c. 等误差直线逼近法。以满足各插补段的插补误差相等为条件,对轮廓曲线所进行的拟合方法,称为误差法。该法为使每个直线段的逼近误差相等,并小于或等于所允许的误差限,所以比上面两种方法合理些,大型、复杂零件轮廓采用这种方法较合理。

d. 圆弧逼近法。如果数控机床有圆弧插补功能,则可以用圆弧段去逼近工作的轮廓曲线,这就是圆弧逼近法。此时,需求出每段圆弧的圆心、起点、终点的坐标值及圆弧的半径等。当然,计算的依据仍然是要使每个圆弧段与工作轮廓曲线间的误差小于或等于允许的逼近误差。

③ 辅助计算。

a. 无刀具半径补偿功能的数值计算。在铣削加工中,是用刀具中心作为刀位点进行编程。但在平面轮廓加工中,零件的轮廓形状总是由刀具切削刃部分直接参与切削形成的,因此有时编程轨迹和零件轮廓并不完全重合。对于具有刀具半径补偿功能的机床,只要在程序中加入有关的刀具补偿指令,就会在加工中进行自动偏置补偿。但对于没有刀具半径补偿功能的机床,只能在编程时作有关的补偿计算。

b. 按进给路线进行一些辅助计算。在平面轮廓加工中,常要求切向切入和切向切出。例如,在铣削如图 1-6b) 所示内圆弧时,最好安排从圆弧过渡到加工路线,以便提高内孔表面加工半径精度,这时,过渡圆弧的坐标值也要进行计算。要求高的平面也要求如此,如图 1-6a)。

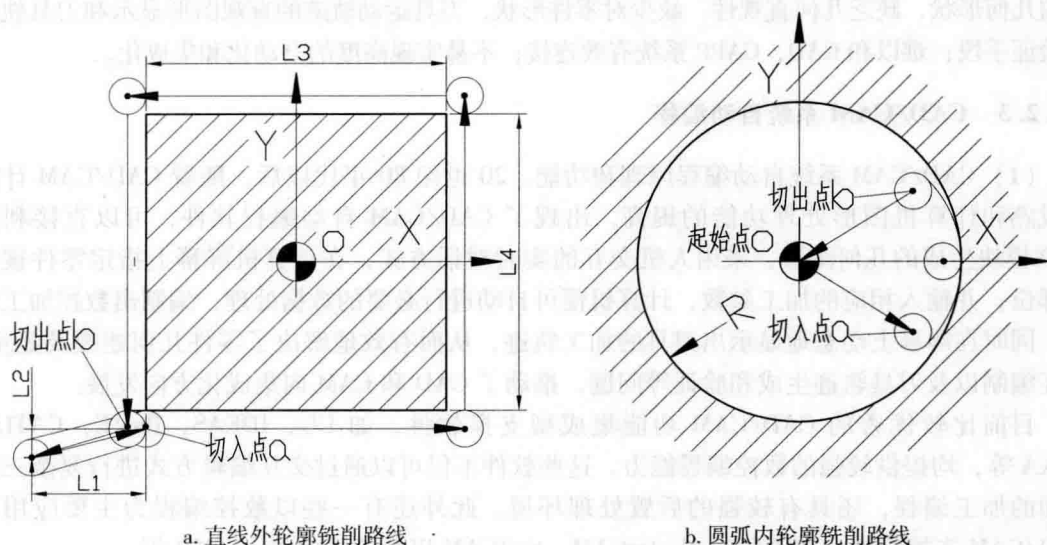


图 1-6 铣削路线

(3) 编制零件加工程序、加工路线、工艺参数及刀位数据确定以后,编程人员根据数控系统规定的功能指令代码及程序段格式,逐段编写加工程序。

(4) 输入加工程序,把编制好的加工程序通过控制面板输入数控系统,或通过程序的传输(或阅读)装置送入数控系统。

(5) 程序校验与首件试切。输入数控系统加工程序必须经过校验和试切才能正式使用。校验的方法是直接让数控机床空运转,以检查机床的运动轨迹是否正确,在有 CRT 图形显示的数控机床上,用模拟刀具与工具切削过程的方法进行检验更为方便,但这些方法只能检验是否正确,不能检验被加工零件的精度,因此要进行零件的首件试切。当发现有加工误差时,分析误差产生的原因,找出问题所在,加以修正。最后利用检验无误的数控程序进行加工。

1.2.2.2 数控语言自动编程

自动编程是用计算机把人工输入的零件图纸信息改写成数控机床能执行的数控加工程序,即数控编程的大部分工作由计算机来完成。目前常使用自动编程语言系统来实现。

数控语言自动编程方法几乎是与数控机床同步发展起来的。20 世纪 50 年代初期,MIT

开始研究专门用于机械零件数控加工程序编制的 APT 语言。其后经过多年的发展, APT 形成了诸如 APT II, APT III, APT IV, APT - AC 和 APT - SS 多种版本。除了 APT 数控编程语言之外, 其他各国也纷纷研制了相应的自动编程系统, 如德国 EXAPT、法国 IFAPT、日本 FAPT 等。我国也在 20 世纪 70 年代研制了如 SKC, ZCX 等铣削, 车削数控自动编程系统。20 世纪 80 年代相继出现了 NCG, APTX, APTXGI 等高水平软件。近几年来又出现了各种小而专的编程系统和多坐标编程系统。

采用 APT 语言编制数控系统, 具有程序简练、走刀控制灵活等优点, 使数据加工编程从面向机床指令的“汇编语言”级上升到面向几何元素。但 APT 仍有许多不便之处: 采用 APT 语言定义被加工零件轮廓, 是通过几何定义语句一条条进行描述, 编程量非常大; 难以描述复杂的几何形状, 缺乏几何直观性, 缺少对零件形状, 刀具运动轨迹的直观图形显示和刀具轨迹的验证手段; 难以和 CAD, CAPP 系统有效连接; 不易实现高度的自动化和集成化。

1.2.2.3 CAD/CAM 系统自动编程

(1) CAD/CAM 系统自动编程原理和功能。20 世纪 80 年代以后, 随着 CAD/CAM 计算的成熟和计算机图形处理功能的提高, 出现了 CAD/CAM 自动编程软件, 可以直接利用 CAD 模块生成的几何图形, 采用人机交互的实时对话方式, 在计算机屏幕上指定零件被加工部位, 并输入相应的加工参数, 计算机便可自动进行必要的数据处理, 编制出数控加工程序, 同时在屏幕上动态地显示出刀具的加工轨迹, 从而有效地解决了零件几何建模及显示、交互编制以及刀具轨迹生成和验证等问题, 推动了 CAD 和 CAM 向集成化方向发展。

目前比较优秀的 CAD/CAM 功能集成型支撑软件, 如 UG, IDEAS, Pro/E, CATIA, CAXA 等, 均提供较强的数控编程能力。这些软件不仅可以通过交互编辑方式进行复杂三维型面的加工编程, 还具有较强的后置处理环境。此外还有一些以数控编程为主要应用的 CAD/CAM 支撑软件, 如美国的 MasterCAM, SurfCAM 以及英国的 DelCAMD 等。

CAD/CAM 软件系统中的 CAM 部分有不同的功能模块可供选用, 如二维平面加工、3 ~ 5 轴联动的曲面加工、车削加工、电火花加工 (EDM)、钣金加工及线切割加工等。用户可根据实际应用需要选用相应的功能模块。这类软件一般均具有刀具工艺参数设定、刀具轨迹自动生成与编辑、刀位验证、后置处理、动态仿真等基本功能。

(2) CAD/CAM 系统编程的基本步骤。不同 CAD/CAM 系统的功能, 用户界面有所不同, 编程操作也不尽相同。但从总体上讲, 其编程的基本原理及基本步骤大体一致的, 如图 1-7 所示。

① 几何类型。利用 CAD/CAM 系统的几何建模功能, 将零件被加工部位的几何图形准确地绘制在计算机屏幕上, 同时在计算机内自动形成零件图形的数据文件。也可借助与三坐标测量仪 CAM 或激光扫描仪等工具测量被加工零件的形体表面, 通过反求工程将测量的数据处理后送到 CAD 系统进行建模。

② 加工工艺分析。这是数据编程的基础, 通过分析零件的加工部位、确定装夹位置、工件坐标系、刀具类型及其几何参数、加工路线及切削工艺参数等。目前该项工作主要仍由编程员采用人机交互方式输入。

③ 刀具轨迹生成。刀具轨迹的生成是基于屏幕图形以人机交互的方式进行的。用户根据屏幕提示通过光标选择相应的图形目标, 确定代加工的对刀点, 选择切入方式和走刀方

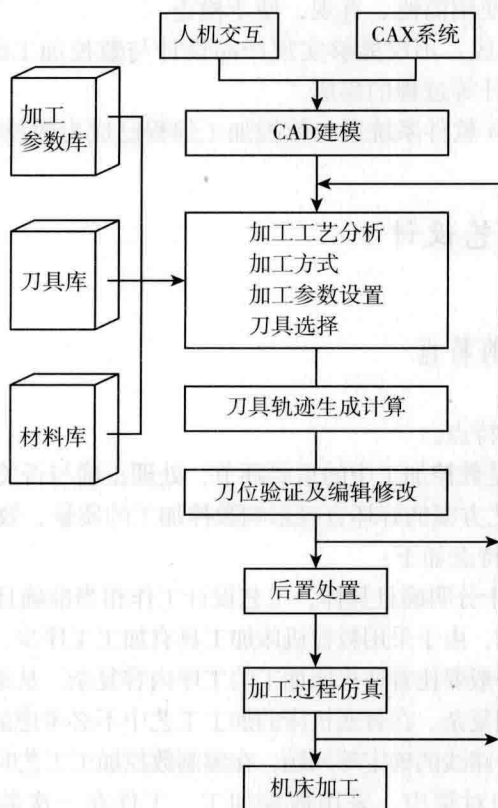


图 1-7 CAD/CAM 系统数控编程原理流程图

式。然后软件系统将自动地从图形文件中提取所需要的几何信息，进行分析判断，计算节点数据，自动生成走刀路线，并将其转换为刀具位置数据，存入指定的刀位文件。

④ 刀位验证及刀具轨迹的编辑。对所生成的刀位文件进行加工过程仿真，检查验证走刀路线是否正确合理，是否有碰撞干涉或过切现象，根据需要可对已生成的刀具轨迹进行编辑修改、优化处理，以得到用户满意的、正确的走刀轨迹。

⑤ 后置处理。后置处理的目的是形成具体机床的数控加工文件。由于各机床所使用的数控系统不同，其数控代码及其格式也不尽相同。为此必须通过后置处理，将刀位文件转换成具体数控机床所需的数控加工程序。

⑥ 数控程序的输出。由于自动编程软件在编程过程中可在计算机内部自动生成刀位轨迹文件盒数控指令文件，因此生成的数控加工程序可以通过计算机的各种外部设备输出。若数控机床附有标准的 DNC 接口，可由计算机将加工程序直接输送给机床控制系统。

(3) CAD/CAM 软件系统的编程特点。CAD/CAM 系统自动数控编程是一种先进的编程方法，与 APT 语言编程比较，具有以下特点：

① 将被加工零件的几何建模、刀位计算、图形显示和后置处理等过程集成在一起，有效地解决了编程的数据来源、图形显示、走刀模拟和交互编辑等问题，编程速度快、精度高填补了数控语言编程的不足。

② 编程过程是在计算机上直接面向零件几何图形交互进行，不需要用户编制零件加工