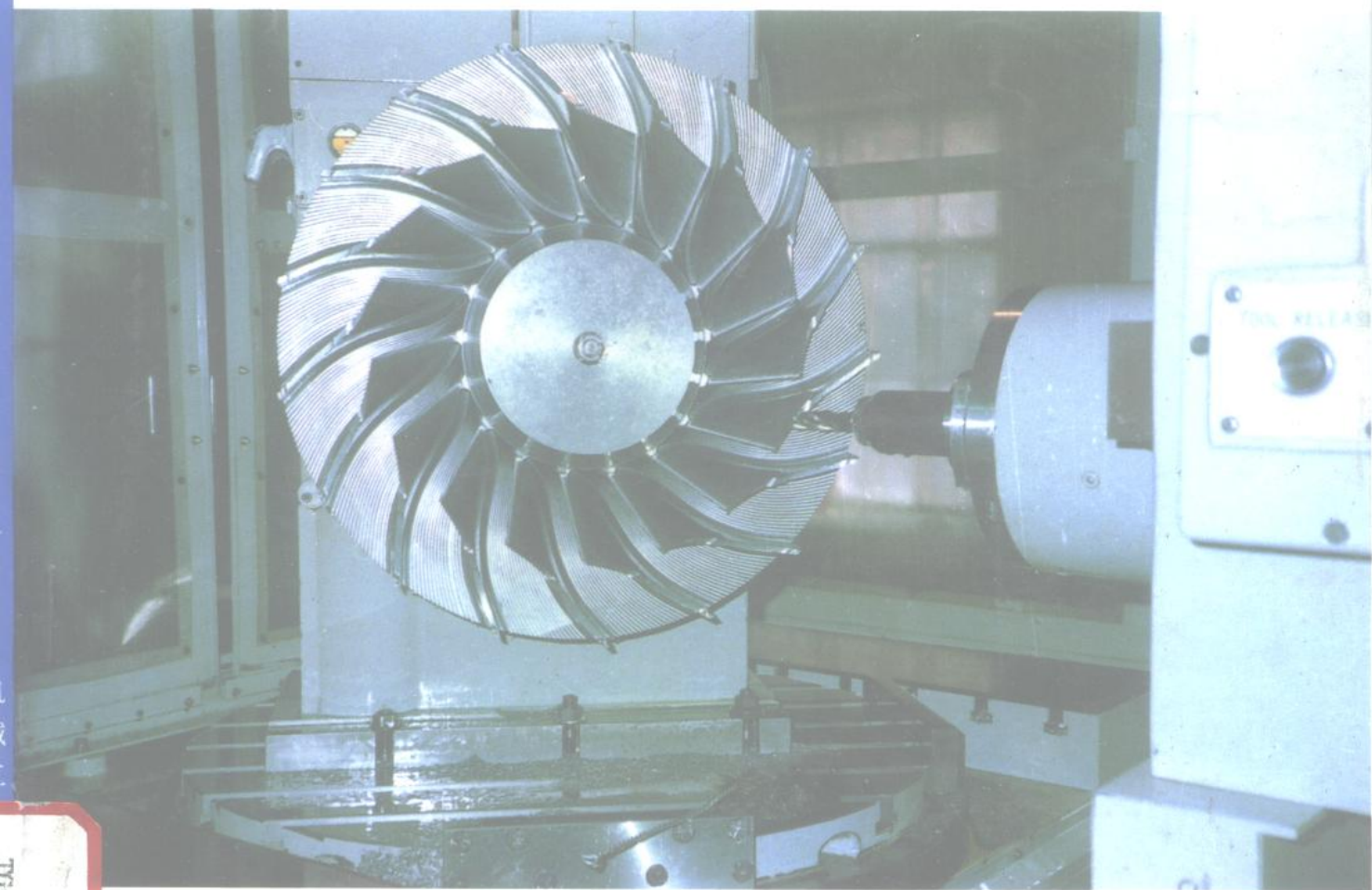


数控加工理论与 编程技术

刘雄伟 等编著



机械工业出版社

数控加工理论与编程技术

刘雄伟 张定华

王增强 杨海成 姜寿山

编 著



机械工业出版社

(京)新登字 054 号

0134/53

本书全面、系统地介绍了数控加工理论与编程技术的各个方面及其相关基础内容,包括现代数控机床、曲线曲面几何基础、手工编程、自动编程、多坐标数控加工刀具轨迹生成、刀位计算、刀具轨迹编辑、刀位验证、后置处理、图象数控编程系统等,适合于从事计算机辅助设计与制造、数控机床、数控加工工艺及编程等工作的工程技术人员使用,可作为高等工科院校高年级学生和研究生的教材,亦可供科研机构的研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工理论与编程技术/刘雄伟等编著. —北京:机械工业出版社,1994

ISBN 7-111-04129-1

I. 数…

II. 刘…

III. ①数控机床-加工-理论②加工-数控机床-理论③数控机床-加工-程序设计④程序设计-加工-数控机床

IV. TG659

出版人:马九荣(北京市百万庄南街1号,邮政编码100037)

责任编辑:徐彤 版式设计:王颖 责任校对:孙志海

封面设计:方 芬 责任印制:卢子祥

二二〇七印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1994年7月第1版·1994年7月第1次印刷

787mm×1092mm_{1/16}·10.75印张·253千字

0 001—3 250册

定价 18.00 元

谨以此书献给杨彭基教授

执教五十周年暨八十寿辰

序

自 1952 年美国 Parson 公司与麻省理工学院(MIT)合作研制出世界上第一台数控铣床以来,数控机床按照控制机的发展已经经历了五代。与此同时,数控编程也有了很大的发展,由手工编程到自动编程,进一步又从语言编程发展到图象编程,当前正向集成化、智能化的纵深方向发展。数控编程技术的发展对提高数控加工的生产效率、发挥数控机床的潜力及改善产品加工质量具有十分重要的作用。数控编程技术的研究深受世界各国的关注与重视。

作者近年来从事数控加工理论与数控编程技术的研究颇有建树,硕果累累。在总结他们的科研、教学及生产实践成果的基础上编写了这本著作,颇有特色,其主要特点如下:

1. 取材新颖

复杂曲面零件的多坐标图象数控编程是当今数控加工及编程技术的关键问题,作者对此给予了高度重视。从数控机床的多坐标插补运算、三维刀具半径补偿、多坐标数控加工进给速度等基础内容开始,系统介绍了多坐标数控加工刀具轨迹生成、刀位计算、刀具轨迹编辑、刀位验证、后置处理及图象数控编程系统的原理与应用,这些内容在同类专业书籍中尚不多见,特别是作如此系统的介绍,更属少见。

2. 系统性强

本著作内容涉及数控加工及数控编程的各个方面及相关领域,包括各种类型数控机床(机械加工)的编程,从手工编程到自动编程,从点位加工到五坐标复杂曲面加工编程,从加工理论到编程实践,从相关的微分几何、计算几何到几何造型,直到图象数控编程系统的开发。系统性很强,有助于读者深入理解和掌握。

3. 内容实用

数控加工理论与编程技术本身就是一门实用科学技术。作者在力求理论严密和先进的前提下,充分注意到理论与实践相结合。本著作中所介绍的许多理论方法都是作者多年在研究开发图象数控编程系统的实践中所采用的方法,所提供的许多实例(主要是多坐标加工)也是从生产实践中挑选出来的。

纵观全书,取材新颖,内容充实、先进、实用,理论与实践相结合,系统性强,是本学科领域一本很有价值的专著。它既适用于从事 CAD/CAM、数控机床、数控加工工艺及编程等工作的工程技术人员,也适用于高等工科院校高年级本科生和研究生使用。它的出版必将为提高我国数控加工编程技术的水平、促进 CAD/CAM 技术在我国推广应用、加速科学技术转化为生产力的进程、提高我国机械工业自动化和综合国力作出贡献。

叶尚辉

西安电子科技大学

1993 年 7 月 17 日

前 言

近年来,机械制造业正经历着一个从大批量生产到中小批量及单件生产的转变过程,亦即将连续生产同一产品改变为生产批量不同、种类繁多的大量产品,以适应国内外市场需求迅速变化的要求。这一转变使传统的设计与制造手段已经不能完全适应当前技术革命迅速发展的形势。数控(NC)技术及计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)技术的迅速发展,正在使传统的机械设计与制造方式发生根本性的变化。特别是现代 CNC 机床的普及应用,采用计算机辅助数控编程,大幅度地缩短了产品的制造周期,提高了产品的加工质量,加速了产品的更新换代,提高了产品的竞争能力,因而具有显著的经济效益及广阔的发展前景。数控技术已是衡量一个国家机械制造工业水平的重要标志之一,更是体现一个机械制造企业技术水平的重要标志。

数控机床是柔性制造系统(FMS)和计算机集成制造系统(CIMS)中最主要的组成部分,数控编程是应用数控机床进行零件加工的必要前提。80 年代以后,随着 CNC 机床功能的不断扩大及数控系统性能的不断提高,数控机床在航空、航天、造船、汽车、模具等各个机械制造领域得到了普遍应用,并且将越来越普及。为此,我们编写了这本系统介绍数控加工理论与数控编程技术方面的专题论著,以提高我国 CAD/CAM 技术的应用水平,充分发挥数控机床的潜力。

本书内容涉及数控加工理论与数控编程技术的各个方面,包括现代数控机床、有关曲线曲面几何基础、手工编程、APT 语言编程、多坐标数控加工刀具轨迹生成、刀位计算、刀具轨迹编辑、刀位验证、后置处理、图象数控编程系统等。本书的主要特色是书中很多内容与实例取材于作者近年来的科研成果及生产经验。

本书可作为高等工科院校高年级学生和研究生教材,也可作为工程技术人员更新知识的自修用书,还可作为数控机床编程、工艺及操作人员的理论指导和技术参考书。

在本书的编写过程中,得到了西北工业大学 CAD/CAM 国家专业实验室的大力支持,得到了哈尔滨工业大学袁哲俊教授的指导和帮助。西北工业大学杨彭基教授、西安电子科技大学叶尚辉教授、西北工业大学魏生民副教授审阅了书稿,提出了宝贵意见,叶尚辉教授为本书作了序,谨此表示感谢。

参加本书编著的有:刘雄伟(第一章、第二章、第四章、第五章、第六章、第七章部分内容、第九章、第十章、附录 B、附录 C),张定华(第四章部分内容、第五章部分内容、第六章部分内容、第七章、第九章部分内容),王增强(第三章、第八章部分内容),杨海成(第八章、第九章部分内容),姜寿山(第二章部分内容、附录 A),沈梅(第十章部分内容),哈尔滨电机厂王长生工程师、沈阳鼓风机厂王如意工程师、金玉淑工程师提供了部分编程实例。全书由刘雄伟统稿主编。

数控加工理论与编程技术随着数控技术及 CAD/CAM 技术的发展而不断发展,希望广大读者将使用本书的意见和信息反馈给我们,以便充实提高,改进工作。由于作者水平有限,加之时间仓促,书中难免出现疏漏和错误,恳请读者批评指正。

作 者

1993 年 7 月于西北工业大学

目 录

序	
前言	
第一章 数控机床简介	1
第一节 数控机床的基本概念	1
第二节 数控机床的插补原理	2
第三节 数控机床的坐标轴及其运动方向	4
第四节 数控机床的刀具补偿	5
第五节 数控机床的进给速度	9
第六节 数控编程概述	10
第二章 用于数控加工及其编程的曲线曲面几何基础	13
第一节 概述	13
第二节 Bezier 曲线曲面	13
第三节 B 样条曲线曲面	18
第四节 NURBS 方法	23
第五节 曲线曲面的 BOX 求交算法	24
第六节 曲面的等距面生成方法	28
第三章 二坐标数控加工原理及其编程方法	29
第一节 点位数控加工原理	29
第二节 二坐标数控加工刀位计算	29
第三节 手工编程	37
第四节 APT 语言自动编程	43
第四章 多坐标数控加工刀具轨迹计算方法	65
第一节 概述	65
第二节 多坐标点位加工刀具轨迹计算方法	65
第三节 参数线加工方法	66
第四节 截面线加工方法	70
第五节 三坐标球形刀多面体曲面加工方法	72
第六节 曲面交线加工方法	73
第七节 曲面间过渡区域加工方法	75
第八节 曲面腔槽加工方法	76
第九节 叶轮通道加工方法	78
第五章 多坐标端铣数控加工刀位计算方法	82
第一节 球形刀端铣数控加工基本原理	82
第二节 球形刀三坐标曲面加工刀位计算方法	82
第三节 球形刀五坐标端铣加工刀位计算方法	86
第四节 环形刀五坐标端铣曲面加工刀位计算方法	87
第五节 环形刀五坐标交线加工刀位计算方法	93
第六章 多坐标侧铣数控加工刀位计算方法	94
第一节 基本原理	94
第二节 棒铣刀五坐标侧铣数控加工刀位计算方法	95
第三节 五坐标侧铣数控加工刀心的约束面控制	100
第七章 刀具轨迹编辑	102
第一节 刀具轨迹编辑系统的功能	102
第二节 刀具轨迹编辑系统的设计	103
第三节 刀具轨迹编辑系统的功能模块说明	106
第八章 刀位验证	107
第一节 概述	107
第二节 显示验证	107
第三节 截面法验证	111
第四节 距离验证	112
第五节 加工过程的动态仿真验证	113
第九章 图象数控编程系统的原理与应用	114
第一节 数控编程技术的发展概况	114
第二节 数控编程系统的发展趋势	115
第三节 图象数控编程系统的原理与功	

能	116	途径	144
第四节 图象数控编程系统的开发	117	第四节 通用后置处理系统的应用	
第五节 图象数控编程系统的应用	120	举例	146
第六节 图象数控编程系统的应用		附录 A 微分几何学基础	152
举例	121	附录 B 准备功能 G 代码及其功能	
第十章 后置处理	135		160
第一节 基本概念	135	附录 C 辅助功能 M 代码及其功能	
第二节 后置处理算法	135		161
第三节 通用后置处理系统原理及实现		参考文献	162

第一章 数控机床简介

第一节 数控机床的基本概念

一、数控机床及数控系统

数字控制(Numerical Control)是用数字化信号对机床的运动及其加工过程进行控制的一种方法,简称为数控(NC)。

数控机床,就是采用了数控技术的机床,或者说是装备了数控系统的机床。

与普通机床相比,数控机床取代了手工操作。在传统的加工中,是操作人员操纵机床手轮使刀具沿着工件表面移动而进行零件的加工;而在数控机床中,凡是以前需要操作人员干的活,现在都可以由数控系统在程序控制下自动完成。

数控系统是一种程序控制系统,它自动阅读输入载体上事先给定的数字值,并将其译码,从而使机床运动。

早些时候的数控系统是由数控装置、可编程序控制器(PC)、主轴驱动及进给驱动装置等部分组成,数控系统的所有功能都由硬件实现,故又称为硬件数控。

现代计算机数控系统是由程序、输入输出设备、计算机数控装置、可编程序控制器、主轴控制单元及速度控制单元等部分组成,习惯上又称为 CNC(Computer Numerical Control)系统。图 1-1 是 CNC 系统框图。

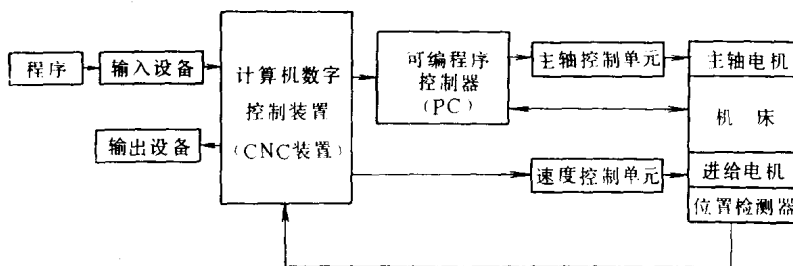


图 1-1 CNC 系统框图

计算机数控装置(CNC 装置)是 CNC 系统的核心,其主要功能包括:

- 1)多坐标控制(多轴联动)。
- 2)准备功能(G 功能)。
- 3)实现多种函数的插补(直线、圆弧、抛物线等)。
- 4)代码转换(EIA/ISO 代码转换、英制/公制转换、二—十进制转换、绝对值/增量值转换等)。
- 5)固定循环加工。
- 6)进给功能:指定进给速度。

- 7) 主轴功能: 指定主轴转速。
- 8) 辅助功能: 规定主轴的起、停、转向, 冷却泵的接通和断开等。
- 9) 刀具选择功能。
- 10) 各种补偿功能: 包括刀具半径、刀具长度、传动间隙、螺距误差的补偿。
- 11) 字符图形在 CRT 上的显示。
- 12) 故障的自诊断。
- 13) 联网及通信。
- 14) 人机对话、手动数据输入、加工程序的输入、编辑及修改。

二、数控机床的分类

数控机床的种类、型号繁多, 按机床的运动方式进行分类, 现代数控机床可分为点位控制数控机床和轮廓控制数控机床两大类。

点位控制数控机床的数控装置只能控制刀具从一个位置精确地移动到另一个位置, 在移动过程中不作任何加工。这类机床有数控钻床、数控镗床和数控冲孔机床等。

轮廓控制数控机床的数控系统能同时对两个或两个以上的坐标轴进行连续轨迹控制, 加工时不仅要控制刀具运动的起点和终点, 而且要控制整个加工过程中的走刀路线和速度。轮廓控制数控机床又可进一步分为两坐标联动(两坐标两联动或三坐标两联动)、三坐标联动、四坐标联动和五坐标联动数控机床。

三、数控加工及数控编程

数控加工: 首先必须根据零件图纸及工艺要求等原始条件编制数控加工程序, 输入数控系统, 控制数控机床中刀具与工件的相对运动, 以完成零件的加工。编制数控加工程序就成为数控加工中一个极为重要的问题。

从零件图纸到获得数控加工程序的全过程, 称为数控编程。

本章从数控加工及数控编程的角度出发, 介绍数控机床的有关基本原理。

第二节 数控机床的插补原理

一、概述

数控编程提供了刀具运动(相对于工件)的起点、终点和运动方式, 而刀具怎样从起点走向终点则由数控系统的插补装置或插补软件来控制。一般数控系统都具有直线、圆弧插补功能, 在某些高性能的数控系统中还具有抛物线、螺旋线插补功能, 其插补原理在有关数控机床专业书籍中均有介绍, 在此就不赘述。

对于多坐标数控加工(指三、四、五坐标数控加工), 一般只采用直线插补(更确切地说应该是线性插补)。因此在这里重点讨论多坐标线性插补原理。

线性插补的任务就是根据进给速度的要求, 在刀具运动的起点和终点之间计算出若干个中间点的坐标值。由于每个中间点的计算所需的时间直接影响数控系统的控制速度, 而插补中间点的计算精度又影响到整个数控系统的控制精度, 所以插补算法对整个数控系统的性能指标至关重要。多年来人们一直在努力探求一种简单而有效的线性插补算法。

目前在多坐标联动数控系统中, 插补性能好且应用广泛的线性插补算法是数据采样插补算法。

二、数据采样插补算法

这种插补算法的特点是插补运算分两步完成。第一步为粗插补,它是在给定起始刀位点和终止刀位点的连线之间插入若干个刀位点,即对于每一个运动坐标来说,用若干微小位移来逼近,每一微小位移的长度 ΔL 相等,且与给定的进给速度有关。粗插补在每个插补运算周期中只计算一次,每一微小位移的长度 ΔL 与给定的进给速度 F 和插补周期 T 有关,即 $\Delta L = FT$ 。第二步为精插补,它是在粗插补算出的每一微小位移上再做“数据点的密化”工作。

该插补方法适用于闭环和半闭环,以直流或交流伺服电机为驱动装置的位置采样控制系统。粗插补在每个插补周期内计算出坐标位置增量值,而精插补则在每个采样周期内采样闭环和半闭环反馈位置增量值及插补输出的指令位置增量值。然后算出各坐标轴相应的插补指令位置 and 实际反馈位置,并将两者进行比较,求得跟随误差。根据所求得的跟随误差算出相应轴的进给速度指令,并输出给驱动装置。在实用中,粗插补运算一般称为插补,通常用软件实现。而精插补可以用软件也可以用硬件实现。插补周期与采样周期可以相等,也可以不相等,通常插补周期可以是采样周期的整数倍。

(一)插补周期的选择

1. 插补周期与插补运算时间的关系 一旦选定了插补算法,则完成该算法所需的最大的指令条数也就确定。根据最大指令条数可以大致确定插补运算所占用 CPU 的时间 $T_{\text{插}}$ 。一般来说,插补周期必须大于插补运算所占用的 CPU 时间。这是因为当系统进行轮廓控制时,CPU 除了要完成插补运算外,还必须实时地完成其它一些工作,如显示、监控甚至精插补。插补周期 T 必须大于插补运算时间与完成其它实时任务所需时间之和。

2. 插补周期与位置反馈采样的关系 插补周期和采样周期可以相同,也可以不同。如果不同,则一般插补周期是采样周期的整数倍。

3. 插补周期与精度、速度的关系 在线性插补中,插补所形成的每个小线段与给定的直线重合,不会造成轨迹误差,即插补周期与插补精度及刀具移动速度无关。

(二)线性插补算法

1. 线性插补算法的基本原理 设刀心在三维空间中作直线运动,如图 1-2 所示。

在这一程序段中,起点 P_s 的坐标为 (X_s, Y_s, Z_s) , 终点 P_e 坐标为 (X_e, Y_e, Z_e) , 刀具沿直线移动的速度为 F , 设插补周期为 T , 则每个插补周期的进给步长为:

$$\Delta L = FT \quad (1-1)$$

X 轴和 Y 轴的位移增量分别为 $(X_e - X_s)$, $(Y_e - Y_s)$, $(Z_e - Z_s)$, 直线段长度为:

$$L = \sqrt{(X_e - X_s)^2 + (Y_e - Y_s)^2 + (Z_e - Z_s)^2} \quad (1-2)$$

从图 1-2 中可以得到如下关系:

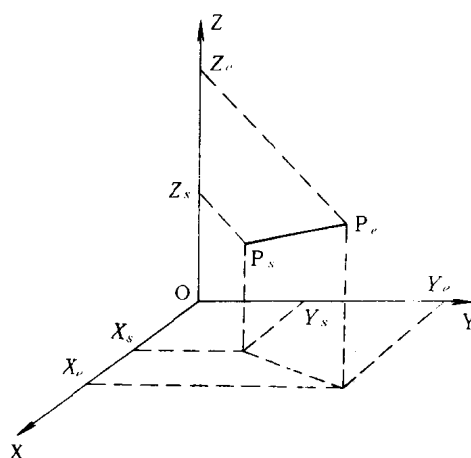


图 1-2 线性插补

$$\begin{cases} \frac{\Delta X}{X_e - X_s} = \frac{\Delta L}{L} \\ \frac{\Delta Y}{Y_e - Y_s} = \frac{\Delta L}{L} \\ \frac{\Delta Z}{Z_e - Z_s} = \frac{\Delta L}{L} \end{cases} \quad (1-3)$$

设

$$\frac{\Delta L}{L} = K \quad (1-4)$$

则

$$\begin{cases} \Delta X = \frac{\Delta L}{L}(X_e - X_s) = K(X_e - X_s) \\ \Delta Y = \frac{\Delta L}{L}(Y_e - Y_s) = K(Y_e - Y_s) \\ \Delta Z = \frac{\Delta L}{L}(Z_e - Z_s) = K(Z_e - Z_s) \end{cases} \quad (1-5)$$

2. 实用线性插补算法 在 CNC 装置中,一种曲线的插补计算通常分两步来完成。第一步是插补准备,它完成一些在插补计算过程中固定不变的常值的计算,如式(1-1)中的 $K = \Delta L/L$ 的计算就是在插补准备中完成的,插补准备通常在每个程序段只运行一次。第二步是插补计算,它要求在每个插补周期内计算一次,并算出一个插补点。在多坐标线性插补中,最典型的算法是进给率数法:

插补准备

$$K = \frac{\Delta L}{L} \quad (1-6)$$

插补计算

$$\begin{aligned} \Delta U_i &= K(U_e - U_s) \\ U_i &= U_{i-1} + \Delta U_i \end{aligned} \quad (1-7)$$

其中 U 代表 X, Y, Z, A, B, C (A, B, C 为多坐标 CNC 系统中的转角坐标)。

第三节 数控机床的坐标轴及其运动方向

数控机床的坐标轴命名和运动方向的规定,是一个十分重要的问题。每一个数控机床的编程员和操作人员,都必须对坐标轴及其运动方向有一个统一的、正确的理解。否则,程序编制将发生混乱,操作时会发生事故。因此,ISO 对数控机床的坐标轴及其运动方向作了如下规定。

一、数控机床的坐标系

数控机床的坐标系采用右手法则,直角笛卡尔坐标系。基本坐标轴为 XYZ 直角坐标,相对于每个坐标轴的旋转运动坐标为 A、B、C,如图 1-3 所示。

二、数控机床的运动方向

不论机床的具体结构是工件静止、刀具运动,还是工件运动、刀具静止,为便于数控编程,规定数控机床的运动是刀具相对于静止的工件坐标系的运动。

Z 轴作为平行于机床主轴的坐标轴,如果机床有一系列主轴,则选尽可能垂直于工件装夹

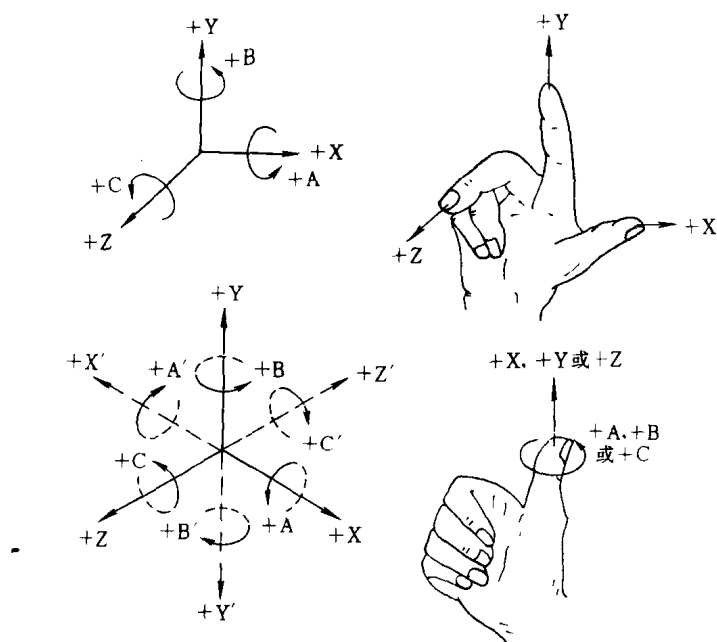


图 1-3 右手直角笛卡尔坐标系

面的主要轴为 Z 轴,其正方向定义为从工件到刀具夹持的方向。

X 轴作为水平的、平行于工件装夹平面的轴,它平行于主要的切削方向,且以此方向为正向。Y 轴的运动方向则根据 X 和 Z 轴按右手法则确定。

旋转坐标轴 A、B 和 C 相应地在 X、Y、Z 坐标轴正方向上,按右旋螺纹前进的方向来确定。

有关附加直线轴和附加旋转轴,ISO 均有相应的规定,读者可查阅有关参考资料。

第四节 数控机床的刀具补偿

为了简化零件的数控编程,使数控程序与刀具形状和刀具尺寸无关,在数控系统中必须具备刀具补偿机能。在目前流行的数控系统中,刀具补偿一般包括刀具长度补偿和刀具半径补偿。前者可使刀具垂直于走刀平面(比如 XY 平面,由 G17 指定)偏移一个刀具长度修正值;后者可使刀具在走刀平面内偏移编程轨迹一个刀具半径修正值,两者均是对二维走刀加工情况下的刀具补偿。在现代 CNC 系统中,有的已具备三维刀具半径补偿功能。

一、刀具长度补偿

在目前流行的 CNC 系统中,一般都具备刀具长度补偿功能。

在数控编程中,刀具长度一般是无需考虑的。程序运动假定机床主轴轴端相对于工件运动,在加工之前,采用对刀仪测量刀尖(或刀心)到刀柄与主轴轴端接触基准的长度(即刀具长度 L),并将刀具长度值输入 CNC 系统的刀具数据寄存器中,当该刀具被采用时,CNC 系统自动进行刀具长度补偿,使刀尖(或刀心)沿程序要求的轨迹运动。

二、二维刀具半径补偿

在轮廓加工过程中,由于刀具总有一定的刀具半径,刀具中心的运动轨迹并不等于所需加工零件的实际轮廓。如图 1-4 所示,在进行内轮廓加工时,刀具中心偏移零件的内轮廓表面一

个刀具半径值。在进行外轮廓加工时,刀具中心又偏移零件的外轮廓表面一个刀具半径值。这种偏移习惯上称为刀具半径补偿。

需要指出的是,刀具半径补偿通常不是程序编制人员完成的,程序编制人员只是按零件的加工轮廓编制程序。同时用 G41、G42、G40 告诉 CNC 系统刀具是沿零件内轮廓运动还是沿零件外轮廓运动。实际的刀具半径补偿是在 CNC 系统内部由计算机自动完成的。CNC 系统根据零件轮廓尺寸和刀具运动的方向指令(G41、G42、G40),以及实际加工中所用的刀具半径值自动地完成刀具半径补偿计算。

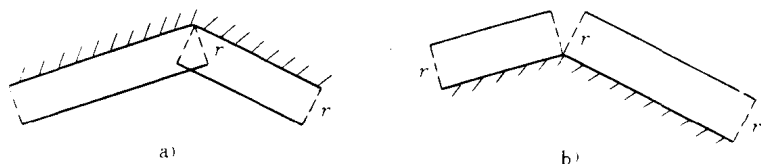


图 1-4 刀具半径补偿
a) 加工内轮廓 b) 加工外轮廓

根据 ISO 标准,当刀具中心轨迹在程序轨迹前进方向右边时称为右刀具补偿,用 G42 表示;反之用 G41 表示;当不需要进行刀具半径补偿时用 G40 表示。

在实际轮廓加工过程中,刀具半径补偿执行过程一般分为三步。

1. 刀具补偿建立 刀具由起刀点接近工件,刀具中心轨迹由 G41 或 G42 确定,在原来的程序轨迹基础上伸长或缩短一个刀具半径值,如图 1-5 所示。

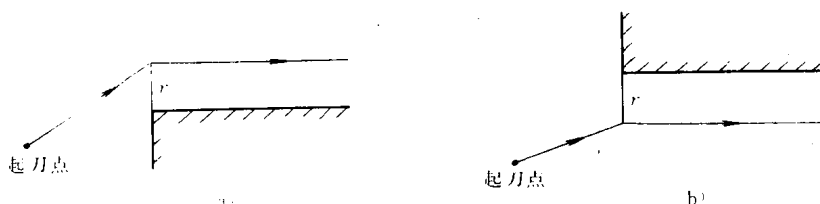


图 1-5 建立刀具补偿
a) 建立刀具补偿 G41 b) 建立刀具补偿 G42

2. 刀具补偿进行 一旦建立了刀具补偿状态则一直维持该状态,除非撤消刀具补偿。在刀具补偿进行期间,刀具中心轨迹始终偏离程序轨迹一个刀具半径值的距离。

3. 刀具补偿撤消 刀具撤离工件,回到原点。和建立刀具补偿时一样,刀具中心轨迹也要比程序轨迹伸长或缩短一个刀具半径值的距离。刀具补偿撤消用 G40 指令。

二维刀具半径补偿仅在指定的二维坐标平面内进行。而平面的指定是由 G 代码 G17(XY 平面)、G18(YZ 平面)和 G19(ZX 平面)表示。刀具半径值则是通过刀具号 H 来指定的。

现代数控系统的刀具半径补偿不仅可以自动完成刀具中心轨迹的偏置,而且还能自动完成直线与直线转接、圆弧与圆弧转接和直线与圆弧转接等尖角过渡功能,如图 1-6 所示。

二维刀具半径补偿的有关计算方法在许多数控机床的专业书籍中均有介绍,在此不多述。

值得指出的是,二维刀具半径补偿计算是 CNC 系统自动完成的,而且不同的 CNC 系统所采用的计算方法一般来说也不相同,程序员在进行零件加工编程时不必考虑刀具半径补偿的

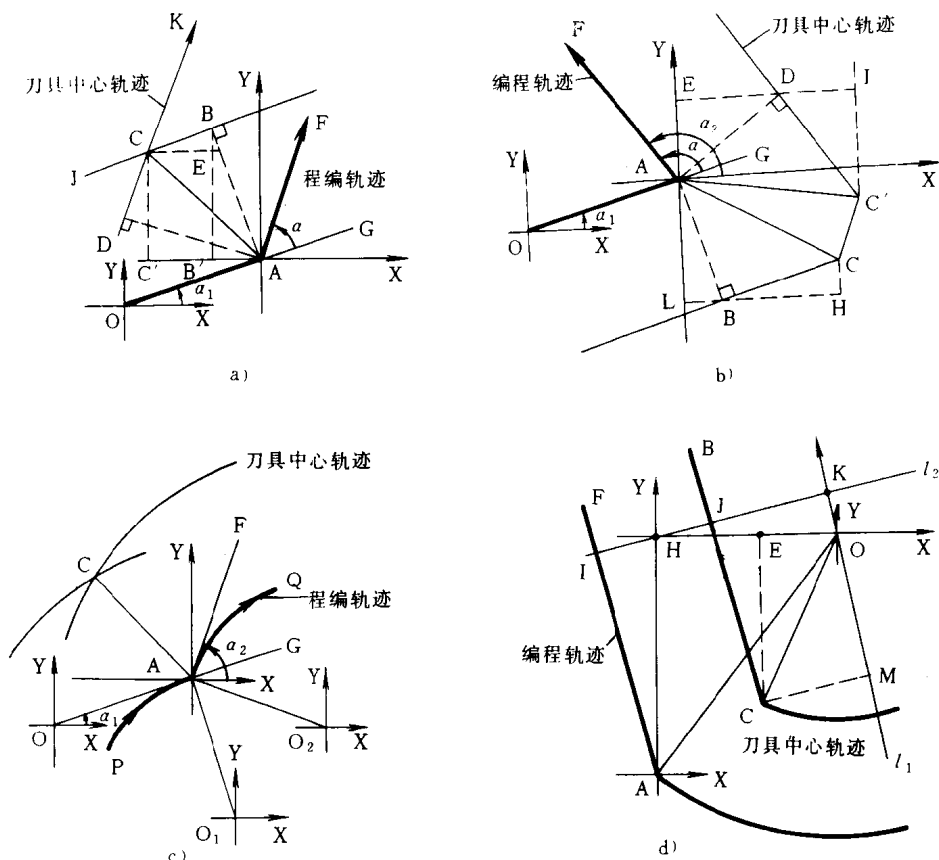


图 1-6 刀具半径补偿的尖角过渡

- a) 直线与直线缩短型转换 b) 直线与直线插入型转换
c) 圆弧与圆弧缩短型转换 d) 直线与圆弧缩短型转换

计算方法。

三、三维刀具半径补偿

以上所说的刀具半径补偿均是针对二维轮廓加工而言的。对于多坐标数控加工,一般的 CNC 系统目前还没有刀具半径补偿功能,程序员在进行零件加工编程时必须考虑刀具半径的影响,对于同一零件,采用相同类型的刀具加工,当刀具半径不同时,必须编制不同的加工程序。但在现代先进的 CNC 系统中,有的已具备三维刀具半径补偿功能。

(一)若干基本概念

1. 加工表面上切触点坐标及单位法向矢量 对于三维刀具半径补偿,要求已知加工表面上刀具与加工表面的切触点坐标及单位法向矢量,如图 1-7 所示。

2. 刀具类型及刀具参数 本章所说的三维刀具半径补偿方法适用于图 1-8 所示三种刀具类型。

图中, L 表示刀具长度, R 表示刀具半径, R_1 表示刃口半径。

3. 刀具中心 如图 1-8 所示,定义球形刀($R=R_1$)的球心 O 、环形刀($R>R_1$)的刀刃圆环中心 O 、端铣刀($R_1=0$)的底面中心 O 为刀具中心。

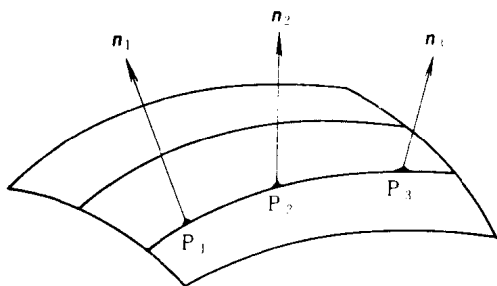


图 1-7 加工表面上切触点坐标及单位法向矢量

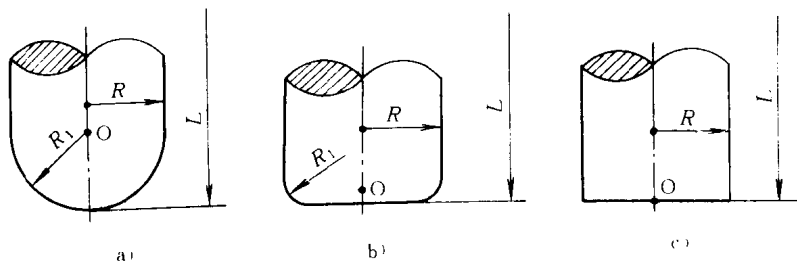


图 1-8 刀具类型及刀具参数

a) 球形刀($R=R_1$) b) 环形刀($R>R_1$) c) 端铣刀($R_1=0$)

(二) 三维刀具半径补偿原理

设刀具与加工表面切触点 P 的坐标为 (x, y, z) , 加工表面在 P 点的单位法向矢量为 $\mathbf{n}(\mathbf{n} = n_x\mathbf{i} + n_y\mathbf{j} + n_z\mathbf{k})$ 。

对于环形刀($R>R_1$), 如图 1-9 所示, 其刀心坐标为:

$$\begin{cases} x_0 = x + n_x R_1 + \frac{n_x}{\sqrt{n_x^2 + n_y^2}} (R - R_1) \\ y_0 = y + n_y R_1 + \frac{n_y}{\sqrt{n_x^2 + n_y^2}} (R - R_1) \\ z_0 = z + n_z R_1 \end{cases} \quad (1-8)$$

对于端铣刀($R_1=0$), 如图 1-10 所示, 其刀心坐标为:

$$\begin{cases} x_0 = x + \frac{n_x}{\sqrt{n_x^2 + n_y^2}} R \\ y_0 = y + \frac{n_y}{\sqrt{n_x^2 + n_y^2}} R \\ z_0 = z \end{cases} \quad (1-9)$$

对于球形刀($R=R_1$), 如图 1-11 所示, 其刀心坐标为:

$$\begin{cases} x_0 = x + n_x R_1 \\ y_0 = y + n_y R_1 \\ z_0 = z + n_z R_1 \end{cases} \quad (1-10)$$

综合式(1-8)、(1-9)、(1-10), 可以发现式(1-1)乃是适用于三种不同类型刀具的通用三维刀具半径补偿表达式。当 $R=R_1$ 时(球形刀), 式(1-8)转化为式(1-10); 当 $R_1=0$ (端铣刀)时,

式(1-8)转化为式(1-9)。

需要注意的是,当 $n_x=n_y=0$ 时,令

$$\begin{cases} x_0 = x \\ y_0 = y \\ z_0 = z + n_z R_1 \end{cases} \quad (1-11)$$

(三)三维刀具半径补偿的实现途径

1. 寄存器设置 数控系统中,为了实现不同的功能,设置了许多专用寄存器。每一寄存器对应一个特定的地址代码,如 G、M、S、F、X、Y、Z、I、J、K、R 等。我们知道,数控系统中的二坐标联动加工有直线插补(G01)和圆弧插补(G02 和 G03)机能,而三坐标联动一般则只有直线插补机能,插补算法中用到的寄存器只有 X、Y、Z。在新一代数控系统中,增加三维刀具半径补偿机能,在其直线插补算法中,设置了六个寄存器,即 X、Y、Z、I、J、K,其中 X、Y、Z 的功能不变,I、J、K 用于存放 n_x 、 n_y 、 n_z ,则式(1-8)可写成:

$$\begin{cases} x_0 = X + R_1 I + \frac{I}{\sqrt{I^2 + J^2}}(R - R_1) \\ y_0 = Y + R_1 J + \frac{J}{\sqrt{I^2 + J^2}}(R - R_1) \\ z_0 = Z + R_1 K \end{cases} \quad (1-12)$$

其中 R 为刀具半径, R_1 为刃口半径,存放在刀具寄存器 R 和 R_1 中。

2. 功能代码设置 三维刀具半径补偿建立用 G141 实现。撤消三维刀具半径补偿用 G40 或按 RESET,或按 MANUAL CLEAR CONTROL。G141 与 G41、G42、G43、G44 为同一 G 功能代码组,当一个有效时,其余 4 个无效。当 G141 有效时,下列功能可编程:G0、G1、G4、G40、G90、G91、F、S。

3. 编程格式 程序段基本格式为:

G1X...Y...Z...I...J...K...

刀具参数用 G141 设置,格式如下:

G141R...R1=...

如果不定义 R 和 R_1 ,则自动将它们设置为 0。

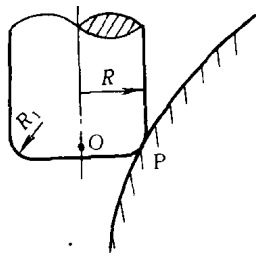


图 1-9 环形刀三坐标加工

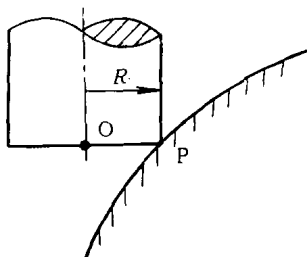


图 1-10 端铣刀三坐标加工

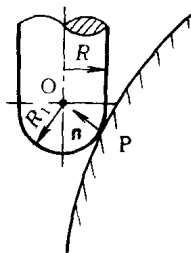


图 1-11 球形刀三坐标加工

第五节 数控机床的进给速度

对于点位、二坐标和三坐标数控加工,编程所给的进给速度,是以每分钟进给距离的形式指定刀具切削进给速度,是各坐标的合成运动速度,用 F 字母和它后续的数值指定。各运动坐标方向的分速度是根据进给速度与各运动坐标分量来计算的。设进给速度为 F ,相邻两刀位点之间的距离为 L , L 的各运动坐标分量分别为 L_x 、 L_y 和 L_z , $L = \sqrt{L_x^2 + L_y^2 + L_z^2}$,则各运