

UG NX 8.0

数控加工基础教程



附光盘

- 本书全面讲述了NX 8.0 CAM操作的基本功能,着重讲解了平面铣、型腔铣、固定轴铣、车削加工、后置处理等的使用方法及过程。
- 本书结构严谨,讲解清晰,实例丰富且针对性强,使读者能够轻松入手,快速掌握数控加工的方法和技巧。



褚忠 郝国祥 邢晓江 等编著



21 世纪高等院校计算机辅助设计规划教材

UG NX 8.0 数控加工基础教程

褚 忠 郝国祥 邢晓江 等编著



机械工业出版社

本书是学习使用 NX 8.0 CAM 软件的入门指南, 首先介绍了数控技术基础, 然后在讲述 NX 8.0 CAM 操作基本功能上, 着重讲解了平面铣、型腔铣、固定轴铣、车削加工、后置处理等的使用方法及其过程。

在内容安排上, 本书以案例式方法讲解了 NX 数控加工的流程、方法与技巧, 这些案例都来源于实际生产中, 具有很强的实用性; 在写作方式上, 本书详细描述了软件操作过程中的对话框中参数设置、操作顺序等, 使初学者能够直观、准确地学习使用软件, 初步学会零件编程的方法和技巧, 并为进一步学习高级模块打下坚实的基础。

本书可作为大中专院校相关课程的教材、课程设计和毕业设计参考书, 同时也可作为从事数控设计与加工人员的参考工具书和企业培训教材。

本书配有电子教案, 需要的教师可登录 www.cmpedu.com 免费注册、审核通过后下载, 或联系编辑索取 (QQ: 2399929378, 电话: 010-88379753)。

图书在版编目 (CIP) 数据

UG NX 8.0 数控加工基础教程 / 褚忠等编著. —北京: 机械工业出版社, 2013.6
ISBN 978-7-111-42059-0

I. ①U… II. ①褚… III. ①数控机床—加工—计算机辅助设计—应用软件
IV. ①TG659-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 068541 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 和庆娣

责任印制: 张楠

中国农业出版社印刷厂印刷

2013 年 6 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·18 印张·445 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-42059-0

ISBN 978-7-89433-963-8 (光盘)

定价: 45.00 元 (含 1CD)

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010) 68326294

机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010) 88379649

机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

NX 作为 Siemens PLM Software Inc.的核心产品,功能强大,是当前世界上最先进的集成 CAD/CAM 的系统之一,覆盖产品的整个开发过程,是产品全生命周期管理的完整解决方案,广泛应用在航空航天、汽车、家电等行业。

随着 NX CAM 在国内外模具等行业中的应用普及,在实际生产和学习中迫切需要对软件的操作及技巧详细讲解的参考书。作者根据多年的教学培训和实际应用经验,将数控加工工艺理论、实践经验与软件操作相结合,详细讲解了 NX CAM 加工应用基础,包括 NX CAM 平面铣、型腔铣、固定轴铣、车削等,并深入介绍了 NX 后置处理技术。全书内容共分 8 章,具体内容如下。

第 1 章主要介绍了数控加工的基本原理、数控加工基本程序指令、数控编程及加工工艺基础知识,以帮助读者快速掌握 NX 8.0 数控加工的基础知识。

第 2 章主要介绍了 NX 8.0 的基础知识,包括 NX 模块及应用领域、基本操作,以及数控加工的通用基础知识等。

第 3 章主要介绍了 NX 8.0 平面铣削加工技术,包括平面铣的基本概念,创建平面铣操作的基本步骤,几何体的各种类型及其边界创建,平面铣中切削方式、步进距离、进、退刀方法及切削参数等各种参数的设置。

第 4 章主要介绍了 NX 8.0 型腔铣加工技术,包括型腔铣的基本概念,创建型腔铣操作的基本步骤,几何体的各种类型及其创建,切削层、非切削参数及切削参数等的设置,并给出了型腔铣的应用实例。

第 5 章主要对 NX 8.0 固定轴曲面轮廓铣加工技术进行了详细介绍,包括固定轴曲面轮廓铣的基本概念,创建固定轴曲面轮廓铣的基本步骤,固定轴曲面轮廓铣的常用驱动方式,固定轴曲面轮廓铣步进、进、退刀方法、切削参数及非切削参数的设置等。

第 6 章主要对 NX 8.0 车削加工技术进行了介绍,包括车削的基本概念,创建车削操作的基本步骤,车削几何体类型及其创建,走刀方式、非切削参数及切削参数等的设置,并给出了车削加工的应用实例。

第 7 章主要介绍了后置处理的基本概念、用途,详细讲述了 NX 软件提供的两种后置处理方法,即图形后置处理模块 GPM 和 NX POST 后置处理器。详细说明了 NX POST 后置处理工作流程,利用事件生成器、加工输出管理器、事件管理器和输出管理器,输出特定文件的格式。最后介绍了后置处理构造器的使用方法、步骤,包括机床参数、程序/刀具路径、NC 数据定义和输出设置等,并以实例说明后置处理构造器的使用过程。

第 8 章以实际模具中的三个零件:定模模板、型芯和前模仁电极为例,详细介绍了平面铣、面铣、型腔铣等操作的过程及方法,重点讲述了平面铣和型腔铣加工的刀具设置、加工参数设置等方法,在前模仁电极实例中对固定轴铣操作的参数设置做了详细的讲解。

本书在介绍 NX CAM 应用基础知识的基础上，为每种操作精选了实例，给出了操作的具体步骤，在所附光盘中提供了所有实例的源文件、操作结果文件以及部分实例的操作视频。

本书主要由褚忠、郝国祥、邢晓江编著，参加编写的还有管殿柱、李文秋、宋一兵、王献红、段辉、刘娜、杨德平、高玉新。另外，纪志杰、寇有松、李丽华、任鹏伟、逢玉红、于昕世、郭峰等为本书的编写提供了不少帮助，一并感谢！

由于作者水平有限，书中难免存在疏漏和不足，欢迎广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第 1 章 数控技术基础	1
1.1 概述	1
1.1.1 数控加工	1
1.1.2 数控机床	2
1.2 数控编程基础知识	6
1.3 数控编程方法	7
1.4 数控刀具	10
1.5 本章小结	13
1.6 思考与练习	13
第 2 章 NX 8.0 CAM 应用基础	14
2.1 NX CAM 概述	14
2.1.1 NX CAM 模块的特点	14
2.1.2 NX CAM 与 NX CAD 之间的关系	15
2.1.3 NX 8.0 CAM 加工类型	15
2.2 NX 8.0 加工环境	16
2.3 NX 8.0 CAM 界面介绍	21
2.4 操作导航器	23
2.4.1 导航器视图的切换	23
2.4.2 操作导航器中四种视图的用途	24
2.4.3 操作导航器中的信息显示	25
2.5 创建加工几何	26
2.6 创建刀具	32
2.7 创建程序	37
2.8 创建加工方法	37
2.9 创建操作	41
2.10 本章小结	42
2.11 思考与练习	42
第 3 章 平面铣	43
3.1 入门引例	43
3.1.1 工艺准备	43
3.1.2 创建工序	46
3.2 平面铣削概述	48
3.2.1 平面铣削特点	48

3.2.2	平面铣削子类型	48
3.2.3	创建单层平面铣工序	50
3.2.4	加工区域	51
3.2.5	边界	53
3.3	创建平面铣操作	54
3.3.1	创建平面铣削工序	54
3.3.2	几何体	55
3.3.3	刀具	57
3.3.4	刀轴	57
3.3.5	刀轨设置	58
3.3.6	设置切削参数	64
3.3.7	设置非切削运动参数	71
3.3.8	进给率和速度	77
3.3.9	机床控制相关设置	78
3.4	创建表面铣操作	81
3.4.1	创建表面铣削操作	81
3.4.2	创建表面铣几何体和刀具	81
3.4.3	刀轴	83
3.4.4	切削参数设置	84
3.5	平面铣实例	84
3.6	本章小结	88
3.7	思考与练习	88
第 4 章	型腔铣	89
4.1	入门引例	89
4.2	型腔铣概述	92
4.2.1	型腔铣	92
4.2.2	型腔铣子模板类型	92
4.3	创建型腔铣	93
4.3.1	创建型腔铣工序	93
4.3.2	创建型腔铣一般步骤	93
4.4	加工几何体	94
4.5	型腔铣的工艺参数设置	98
4.5.1	型腔铣切削层设定	98
4.5.2	设置型腔铣切削参数	101
4.6	型腔铣实例	109
4.6.1	工艺分析及加工步骤	109
4.6.2	CAM 操作步骤	109
4.7	本章小结	118
4.8	思考与练习	118

第 5 章 固定轴曲面轮廓铣	119
5.1 固定轴与可变轴曲面轮廓铣概述	119
5.2 创建固定轴铣操作	120
5.3 驱动方法	121
5.3.1 曲线/点驱动	122
5.3.2 螺旋驱动	123
5.3.3 边界驱动	125
5.3.4 区域铣削驱动	132
5.3.5 清根驱动	134
5.3.6 文本雕刻	140
5.4 投影矢量	141
5.5 刀轴	143
5.6 切削参数	143
5.7 非切削运动	149
5.8 固定轴曲面轮廓铣实例	150
5.9 本章小结	153
5.10 思考与练习	153
第 6 章 车削加工	154
6.1 入门引例	154
6.2 车削加工概述	157
6.2.1 车削加工的特点	157
6.2.2 车削加工的步骤	158
6.3 创建车削加工刀具	158
6.4 创建几何体	161
6.4.1 加工坐标系	161
6.4.2 车削几何体	163
6.4.3 车削横向截面	164
6.4.4 车削零件几何体	164
6.4.5 包容几何体	166
6.5 中心孔加工	168
6.6 粗车加工	170
6.6.1 粗车加工类型	171
6.6.2 粗车加工操作	172
6.7 精车加工	174
6.8 车削加工实例	178
6.8.1 工艺分析	178
6.8.2 操作步骤	178
6.9 本章小结	189
6.10 思考与练习	189

第 7 章 后置处理	190
7.1 后置处理概述	190
7.2 图形后置处理器简介	191
7.3 NX POST 后置处理过程	191
7.3.1 NX POST 后置处理器简介	191
7.3.2 NX POST 后置处理的步骤	193
7.4 后置处理构造器	195
7.4.1 后置处理构造器简介	196
7.4.2 后置处理构造器使用练习	201
7.5 定制后置处理	203
7.5.1 NX POST 的开发方法	203
7.5.2 TCL 语言简介	204
7.5.3 TCL 语法简介	205
7.5.4 TCL 变量	206
7.5.5 数据类型	208
7.6 本章小结	210
7.7 思考与练习	210
第 8 章 综合实例	211
8.1 定模模板	211
8.1.1 工艺分析	211
8.1.2 基本设置	212
8.1.3 面铣——前模框粗加工	215
8.1.4 面铣——槽 A 粗加工	219
8.1.5 面铣——槽 B 粗加工	222
8.1.6 面铣——槽 C 粗加工	223
8.1.7 面铣——槽 D 粗加工	224
8.1.8 面铣——槽 E 粗加工	225
8.1.9 面铣——光底精加工	226
8.1.10 平面铣——侧壁精加工	230
8.1.11 综合刀路实体仿真验证	236
8.1.12 产生 NC 程序	237
8.2 型芯数控编程	237
8.2.1 工艺分析	238
8.2.2 基本设置	239
8.2.3 面铣——上表面粗加工	242
8.2.4 型腔铣——上表面粗加工	245
8.2.5 型腔铣——槽 A 粗加工	246
8.2.6 固定轮廓铣——成型面 C 半精加工	249
8.2.7 固定轮廓铣——成型面 B 进行精加工	252

8.2.8	固定轮廓铣——成型面 C 精加工	253
8.2.9	深度加工轮廓铣——槽 A 侧壁半精加工	254
8.2.10	固定轴铣——槽 A 底部半精加工	256
8.2.11	深度加工轮廓铣——槽 A 侧壁精加工	257
8.2.12	深度加工轮廓铣——槽 A 底面精加工	258
8.2.13	固定轮廓铣——对流道 D 进行精加工	259
8.2.14	固定轮廓铣——对流道 E 进行精加工	262
8.2.15	综合刀路实体仿真验证	263
8.2.16	产生 NC 程序	263
8.3	前模仁电极数控编程与加工	263
8.3.1	工艺分析	264
8.3.2	基本设置	264
8.3.3	型腔铣编程加工——成型部位粗加工	267
8.3.4	平面铣编程加工——基准台和基座顶面精加工	269
8.3.5	区域铣削编程加工——成型部位顶部弧面和圆角精加工	272
8.3.6	深度加工轮廓铣编程加工——成型部位和基准台侧壁精加工	274
8.4	本章小结	276
8.5	思考与练习	276
参考文献		277

第1章 数控技术基础

数控加工 (Numerical Control Machining), 是指在数控机床上进行零件加工的一种工艺方法。从 1952 年美国麻省理工学院研制出三坐标数控铣床以来, 数控加工技术在全世界发展迅速。数控加工技术不仅涉及机械加工设备, 还涉及自动化技术、加工过程自动控制以及计算机网络。数控加工技术现在已经广泛应用于航空航天、汽车制造、模具制造、轮船制造、电子制造等各个制造行业中。数控加工设备种类很多, 有数控车床、数控铣床、数控冲床、电火花以及各种加工中心等。

本章重点

- 数控技术的概念、历史及发展趋势
- 数控机床概述
- 数控加工基础

1.1 概述

数控加工技术具有柔性好, 自动化程度高的特点, 特别适合加工轮廓形状复杂的零件, 以及具有大量孔、槽加工的复杂箱体件, 在多品种、小批量或单件生产中使用数控加工技术能获得较高的经济效益。

1.1.1 数控加工

数控 (Numerical Control, NC) 加工技术是指利用数字、文字以及符号组成的数字指令控制一台或多台机械设备来对零件进行加工的一种工艺方法。数控技术所要控制的通常是机床刀具的位置 (坐标)、角度、速度等机械量和与机械能量流向有关的开关量。

1952 年, 第一台数控机床问世, 成为世界机械工业史上一件划时代的事件, 推动了工业自动化的发展。机床数控系统, 即计算机数字控制 (CNC) 系统是在传统的硬件数控的基础上发展起来的。它主要由硬件和软件两大部分组成。通过系统控制软件与硬件的配合, 完成对进给坐标控制、主轴控制、刀具控制、辅助功能控制等。CNC 系统利用计算机来实现零件程序编辑、坐标系偏移、刀具补偿、插补运算、公英制变换、图形显示和固定循环等。

数控加工工艺与传统机床加工工艺从总体上讲是一致的, 所处理的问题与传统机加工工艺基本相同, 但也有其自身特点。

1) 对零件加工的适应性强。可以通过改变加工程序来实现对不同零件的加工, 尤其是多品种, 小批量的零件, 可有效缩短零件加工时间。

2) 能加工普通机床无法加工或者很难加工的零件, 完成一些有特殊技术要求的零件加工, 如具有高阶曲面的零件, 轮廓形状复杂的零件, 多面同时加工需要保证精度的零件等。

3) 自动化程度高, 能在一次装夹后完成多道工序加工, 减少了装夹和换刀等辅助时

间，大大减轻了工人的劳动强度。

4) 加工精度高，加工质量稳定可靠。加工过程中，机床自始至终都在给定的控制指令下工作，消除了因操作者的技术水平差异以及情绪变化引起的对加工质量的影响，因此加工的工件质量稳定且同批零件的尺寸一致性好。

5) 生产效率高。数控机床的主轴转速和进给量范围大，允许机床进行大切削量的强力切削，另外在加工中心上，由于刀库的使用，可以实现在一台机床上进行多道工序的连续加工，可在一台机床上完成车削、铣削、钻孔等工序，由程序自动更换刀具，而不需要更换设备，因而大大提高了生产效率。

6) 有利于生产管理现代化。数控机床使用数字信号与标准代码作为控制信息，易于实现加工信息的标准化，与计算机辅助设计与制造（CAD/CAM）技术有机结合，是实现集成制造（CIM）和敏捷制造（Agile Manufacturing, AM）的基础。

数控工艺的确定一般从加工对象、加工路线和加工方式等方面出发，按照工序集中的原则，划分方法如下。

1) 按安装次数划分工序：以一次安装完成的那一部分工艺过程为一道工序。该方法一般适合于加工内容不多的工件，加工完毕就能达到待检状态。

2) 按所用刀具划分工序：以同一把刀具完成的那一部分工艺过程为一道工序。这种方法适用于工件的待加工表面较多，机床连续工作时间过长，加工程序的编制和检查难度较大等情况。在专用数控机床和加工中心上常用这种方法。

3) 按粗、精加工划分工序：考虑工件的加工精度要求、刚度和变形等因素来划分工序时，可按粗、精加工分开的原则来划分工序，即以粗加工中完成的那部分工艺过程为一道工序，精加工中完成的那部分工艺过程为另一道工序。一般来说，在一次安装中不允许将工件的某一表面粗、精不分地加工至精度要求后再加工工件的其他表面。

4) 按加工部位划分工序：以完成相同型面的那一部分工艺过程为一道工序。有些零件加工表面多而复杂，构成零件轮廓的表面结构差异较大，可按其结构特点（如内形、外形、曲面或平面等）划分成多道工序。

综上所述，在划分工序时，一定要视零件的结构与工艺性、机床的功能、零件数控加工内容的多少、安装次数以及生产组织等实际情况灵活掌握。

工件的定位基准与夹紧方案的确定，应遵循有关定位基准的选择原则与工件夹紧的基本要求。此外，还应该注意下列三点：

1) 力求设计基准、工艺基准与编程原点统一，以减少基准不重合误差和数控编程中的计算工作量。

2) 设法减少装夹次数，尽可能做到在一次定位装夹中，能加工出工件上全部或大部分待加工表面，以减少装夹误差，提高加工表面之间的相互位置精度，充分发挥数控机床的效率。

3) 避免采用占机人工调整方案，以免占机时间太多，影响加工效率。

1.1.2 数控机床

数控机床（Computer Numerical Control Machine Tools）是采用了数控技术的高效率、高自动化加工机床。1952年美国麻省理工学院研制出了世界第一台三轴联动的数控铣床。1970年首次出现了第一台用计算机控制的数控机床（CNC）。1974年，出现了采用微处理器和半

导体存储器的微型计算机数控装置。

1. 数控机床的组成

数控机床一般包括三个基本组成部分：数控装置、伺服系统（包括伺服电动机和检测装置）和机床本体，具体包括：系统程序、输入/输出设备、通信设备、数控装置、可编程控制器、伺服驱动装置和测量装置等，数控机床的组成如图 1-1 所示。

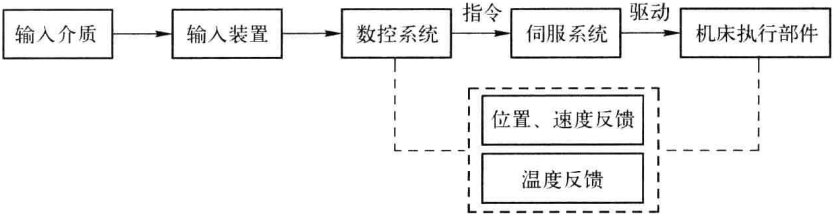


图 1-1 数控机床的组成

1) 控制介质。数控加工时，所需的各种控制信息要靠某种中间载体携带和传输，这种载体称为控制介质。在控制介质上保存着加工零件所必需的全部操作信息和刀具及工件移动的信息，它记载着零件的加工程序。

2) 数控装置。数控装置是数控机床的神经中枢，它由专用的或通用的计算机、输入/输出接口以及机床控制器（PLC）等部分组成，接收输入装置输入的加工信息，完成计算、逻辑判断、输入/输出控制等功能，发出相应的数字信号给伺服系统，进一步通过伺服系统来控制机床的运动。数控装置有两种类型：一是完全由逻辑电路的专用硬件组成的数控装置即 NC 装置；二是由计算机硬件和软件组成的计算机数控装置即 CNC 装置。由于计算机技术的不断发展，尤其是微处理器和微型计算机应用于数控装置后，现在 NC 装置已逐步被 CNC 装置所取代。

3) 伺服系统。伺服系统是数控系统的执行部分，它由速度控制单元、位置控制单元、测量反馈单元、伺服电动机以及机械传动装置所组成。它接收数控系统发来的数字信号，控制机床上的移动部件按所要求的定位精度和速度进行运动。伺服系统的性能直接影响到数控机床的加工精度和生产效率。

4) 机床本体。在数控机床上加工时，通常一次装夹后自动完成整个切削过程，粗、精加工均在一台机床上进行。因此要求数控机床具有较好的动态刚度、较小的热变形以及高精度等特性。

大多数数控机床还具有位置检测装置，用于检测实际的位移量。伺服系统中的位移比较环节就是对控制位移量与实际位移量进行比较，根据比较的差值，调整控制信号，适时控制机床的运动位置。

2. 数控机床的分类

数控机床按照不同的分类方法可分为不同的类型，具体如下。

(1) 按机床运动轨迹分类

1) 点位控制系统（Positioning Cotrol System）。点位控制系统又称为点控制系统（Point to Point Control System）。刀具从起点向终点移动时，不论其中间的移动轨迹如何，只要刀具最后能准确地到达终点即可。点位控制在移动过程中不进行加工，对其移动速度也无严格要求。可以先移动一个坐标轴，再沿另一个坐标轴移动，也可以多个坐标轴同时移动，甚至沿

空间曲线移动。通常是以快速移动速度沿直线运动，以缩短点位时间。点位控制系统主要用于数控钻床、数控坐标镗床和数控冲剪床等。

2) 直线控制系统 (Straight Control System)。直线控制系统控制刀具或工作台以所要求的速度，沿平行于某坐标轴方向进行直线切削。它也可以沿与坐标轴成 45° 的斜线进行切削，但不能沿任意角度的直线进行直线切削。直线控制系统通常也具备刀具半径补偿功能，主轴转速、进给量控制功能。

该类型控制系统通常还具备点位控制功能，称为点位-直线控制系统。主要用于数控镗铣床、数控加工中心。

3) 轮廓控制系统 (Contouring Control System)。轮廓控制系统又称为连续控制系统 (Continuous Control System)。这类控制系统可对两个或两个以上的运动坐标的位移以及速度进行连续控制，因而也可以进行空间曲线或曲面加工。

(2) 按伺服系统类型分类

1) 开环伺服系统。开环伺服系统为无位置反馈的系统，其驱动元件主要是功率步进电动机或电液脉冲马达。开环伺服系统原理如图 1-2 所示。开环系统由环形分配器、步进电动机功率放大器、步进电动机、齿轮箱、丝杠螺母传动副所组成。

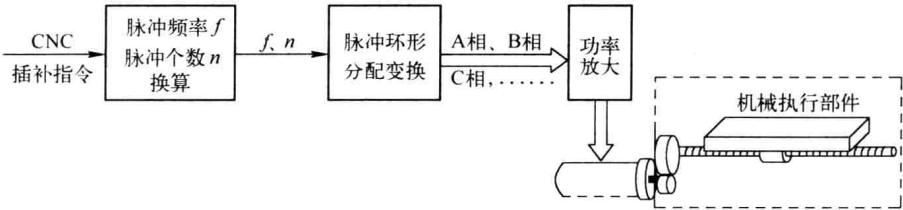


图 1-2 开环伺服系统原理

开环系统的结构简单，易于控制，但是没有位置检测装置，精度差（主要取决于传动链的精度和步进电动机角度精度）。如果负荷突变（如切深突增），或者脉冲频率突变（如加速、减速），则数控运动部件将可能发生“失步”现象，即丢失一定数目的进给指令脉冲，从而造成进给运动的速度变化，形成误差。因此被广泛应用于精度要求不太高的中小型数控机床系统中。

2) 半闭环伺服系统。半闭环伺服系统使用安装在进给丝杠或电动机轴端的角位移测量元件（如旋转变压器、脉冲编码器、圆光栅等）来测量丝杠或电动机轴的旋转角位移并反馈给数控系统。半闭环伺服系统工作原理如图 1-3 所示。

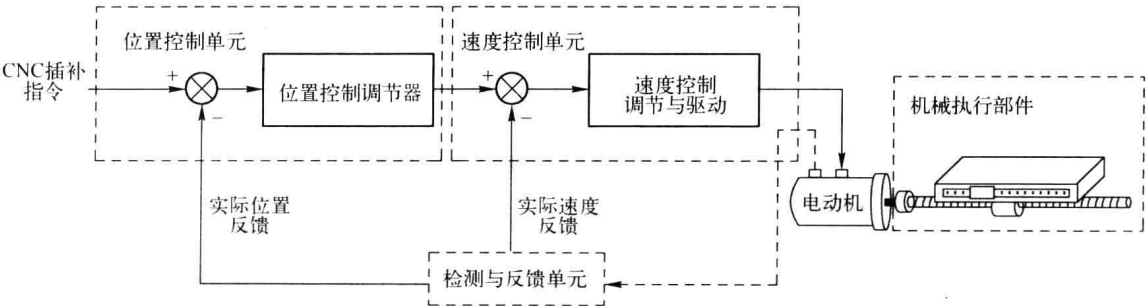


图 1-3 半闭环伺服系统工作原理

半闭环伺服系统未将丝杠螺母副、齿轮传动副等传动装置包括在闭环反馈系统中，故称之为半闭环伺服系统。它不能补偿位置闭环系统以外的传动装置的传动误差，其控制精度介于闭环和开环之间。由于角度位移测量元件价格便宜，系统成本较低，如在系统中采用传动精度高的滚珠丝杠和精密消除齿轮，再配以存储有螺距误差补偿或反向间隙补偿的数控装置，半闭环伺服系统也能达到较高的加工精度。

3) 闭环伺服系统。闭环控制伺服系统是在移动部件上直接装有直线位移检测装置，将测得的实际位移值反馈到输入端，与输入信号作比较，用比较后的差值进行补偿，实现移动部件的精确定位。闭环伺服系统由位置比较和放大元件、速度比较和放大元件、驱动部件、机械传动装置和测量反馈装置等组成。驱动部件可采用宽调速直流电动机或宽调速交流电动机，测量装置可采用感应同步器或光栅等直线测量元件。闭环伺服系统的工作原理如图 1-4 所示。

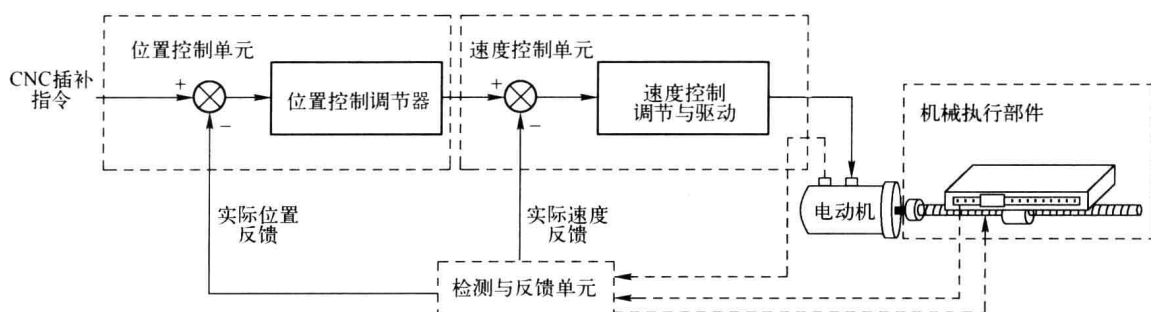


图 1-4 闭环伺服系统的工作原理

数控系统发出位移脉冲指令，经电动机和机械传动装置使刀具或工作台移动。此时，安装在工作台上的测量元件将机械位移转换为反馈脉冲，反馈到输入端与输入脉冲相比较，得到的差值经放大和变换，最后驱动工作台向减小误差的方向移动。

闭环控制伺服系统具有位置反馈装置，可以补偿机械传动机构中的各种误差，因而可达到很高的控制精度，一般应用在高精度的数控机床中。由于系统增加了检测、比较和反馈装置，所以结构比较复杂，调试维修比较困难。

(3) 按控制坐标数分类

控制坐标数是指同时能控制且互相独立的轴数。可分为 2 轴、2.5 轴、3 轴、4 轴、5 轴。

1) 2 轴控制是指能同时控制两个坐标轴；2.5 轴是指两个轴连续控制，第三个轴点位或直线控制，从而实现三个轴 X 、 Y 、 Z 的二维控制。

2) 3 轴控制是指能同时控制 X 、 Y 、 Z 三个坐标轴，刀具可在空间任意方位移动，进行三维立体加工。目前常用的数控机床大多是三坐标数控机床。

3) 4 轴控制是指能同时控制四个坐标运动，即在移动 X 、 Y 、 Z 三个坐标的同时再加一个旋转坐标。

4) 5 轴控制是指在移动 X 、 Y 、 Z 三个坐标的同时再加上两个旋转轴 A 、 B ，刀具可以在空间任意方向运动，可用来加工极其复杂的曲面，如叶片、叶轮等。

(4) 按加工类型分类

1) 普通数控机床。这类数控机床与传统机床一样，有车床、铣床、钻床、镗床、磨床

等。且每一类里又分为许多品种，如数控铣床可以分为立铣、卧铣、工具铣、龙门铣等。与传统机床相比，普通数控机床能加工具有复杂形状的零件。

2) 加工中心。在普通数控机床上增加一个刀具库和自动换刀装置就构成了加工中心。在加工中心加工零件，可经一次装夹加工除底面外的所有面。数控系统能控制机床自动地更换刀具，连续自动地进行铣（车）、镗、钻、铰、攻螺纹、倒角等多工序加工，故又称为多工序数控机床。某些加工中心还可以配上自动交换工作台、机械手，进一步提高加工效率。

3) 金属成型类数控机床。即对金属板件、管件进行成型处理的数控机床，如数控折弯机、数控冲床、数控弯管机、数控回转头压力机等。

4) 数控特种加工机床。与传统的切削方式不同，数控特种加工机床采用如电化学、激光等特殊加工方法。这类机床有数控线切割机床、数控电火花加工机床、数控激光切割机床等。

1.2 数控编程基础知识

1. 工件坐标系

工件坐标系是用于确定工件几何图形上各几何要素（点、直线和圆弧）的位置而建立的坐标系。工件坐标系的原点即是工件零点。选择工件零点时，最好把工件零点放在工件图样的尺寸能够方便地转换成坐标值的地方。车床工件零点一般设在水轴中心线上，工件的右端面或左端面。铣床工件零点，一般设在工件外轮廓的某个角上，进刀深度方向的零点，大多取在工件表面。工件零点的一般选用原则如下。

- 工件零点选在工件图样的尺寸基准上，这样可以直接用图样标注的尺寸，作为编程点的坐标值，减少计算工作量。
- 能使工件方便地装夹、测量和检验。
- 工件零点尽量选在尺寸精度较高的工件表面上。这样可以提高工件的加工精度和同一批零件的一致性。
- 对于有对称几何形状的零件，工件零点最好选在对称中心上。

2. 机床坐标系与参考点

机床原点是指机床坐标系的原点，即 $X=0$ ， $Y=0$ ， $Z=0$ 。机床原点是机床的基本点，它是其他所有坐标，如工件坐标系、编程坐标系，以及机床参考点的基准点。从机床设计的角度看，该点位置可以是任意点，但对某一具体机床来说，机床原点是固定的。数控车床的原点一般设在水轴前端的中心。数控铣床的工件坐标系及机床坐标系如图 1-5 所示。

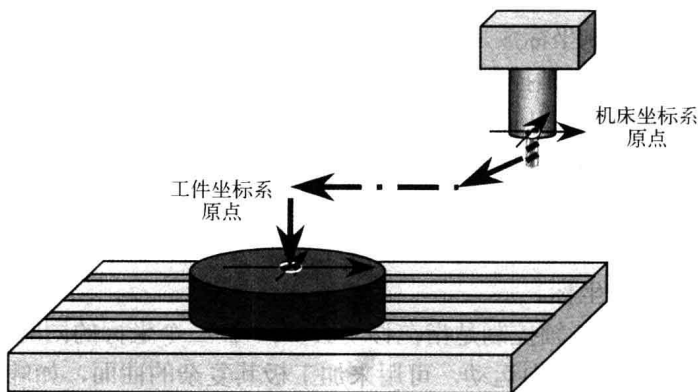


图 1-5 工件坐标系及机床坐标系

机床参考点是用于对机床工作台、滑板以及刀具相对运动的测量系统进行定标和控制的

点，有时也称机床零点。它是在加工之前和加工之后，用控制面板上的回零按钮使移动部件退回到机床坐标系中的一个固定不变的极限点。机床参考点的位置是由机床制造厂家在每个进给轴上用限位开关精确调整好的，坐标值已输入数控系统中，因此参考点对机床原点的坐标是一个已知数。数控机床在工作时，移动部件必须首先返回参考点，测量系统置零之后即可以参考点作为基准，随时测量运动部件的位置。

3. 编程坐标系

编程坐标系是编程人员根据零件图样及加工工艺等建立的坐标系。编程坐标系一般供编程使用，确定编程坐标系时，不必考虑工件毛坯在机床上的实际装夹位置。

1.3 数控编程方法

数控编程技术经历了三个发展阶段，即手工编程、APT 语言编程和目前使用的交互式图形编程。交互式图形自动编程是一种计算机辅助编程技术，通常以计算机辅助设计（CAD）软件为基础，利用 CAD 软件完成加工对象的几何图形的绘制，然后进入数控模块，采用人机交互的方式确定被加工区域，输入相应的加工工艺参数，计算机便可自动进行数学处理并生成刀具的加工轨迹。指定特定的数控系统，后置处理即可生成 NC 代码。数控加工程序编制的步骤如图 1-6 所示。

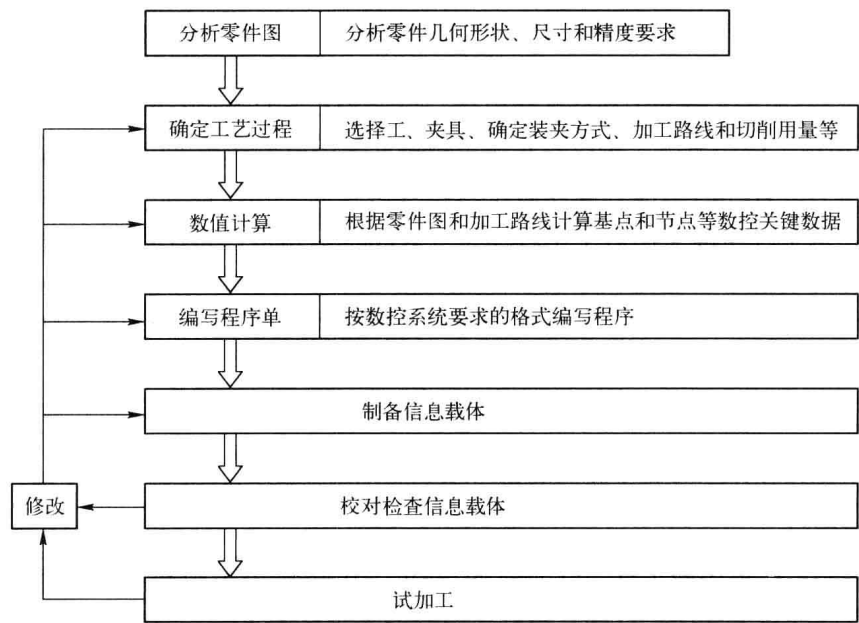


图 1-6 数控加工程序编制的步骤

1. 数控加工程序编制的内容

1) 工艺处理。工艺处理时应先对零件图样进行分析，以明确加工内容和要求，确定加工方案，选择夹具、刀具，确定合理的进刀路线及切削用量等。正确选择编程原点及编程坐标系，编程原点及编程坐标系的选择原则为：所选的程序原点及编程坐标系应使程