



全国高等职业教育规划教材
机械设计制造类专业

UG NX 5

数控加工实用教程

中文
版

张小红 郑贞平 主编

内容提要

- ◎ 数控加工基础知识
- ◎ UG NX5 数控加工入门
- ◎ UG NX5 平面铣、型腔铣、固定轴曲面轮廓铣、点位加工技术讲解及实例操作
- ◎ 典型平面铣加工实例、碗形零件数控加工实例和砂芯模具型腔加工实例讲解



随书附赠光盘



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

全国高等职业教育规划教材
机械设计制造类专业

UG NX5 中文版数控加工实用教程

张小红 郑贞平 主编



机械工业出版社

本书从工程实用的角度出发,通过基础内容和实例精讲的形式,详细介绍 UG NX5 中文版数控加工的基本功能、操作、方法和技巧。全书共分 9 章,主要内容包括数控加工基础、UG NX5 数控加工入门、UG NX5 平面铣加工技术、UG NX5 型腔铣加工技术、UG NX5 固定轴曲面轮廓铣加工技术、UG NX5 点位加工技术和三个典型实例。本书附有包含实例和练习等内容的教学资源光盘。

本书可以作为高等职业院校机械制造、数控加工、模具制造等专业的 CAD / CAM 课程的教材,也可供广大 UG 初、中级读者和数控编程人员学习使用。

图书在版编目(CIP)数据

UG NX5 中文版数控加工实用教程 / 张小红, 郑贞平主编. —北京: 机械工业出版社, 2009.1

(全国高等职业教育规划教材·机械设计制造类专业)

ISBN 978-7-111-25479-9

I. U… II. ①张…②郑… III. 数控机床—加工—计算机辅助设计—应用软件, UG NX 5—高等院校: 技术学校—教材 IV. TG659-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 167881 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: 祝 伟

责任印制: 李 妍

北京蓝海印刷有限公司印刷

2009 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·17.25 印张·426 千字

0001—5000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-25479-9

ISBN 978-7-89482-868-2 (光盘)

定价: 33.00 元(含 1CD)

凡购本书,如有缺页,倒页,脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010) 68326294 68993821

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 88379753 88379739

封面无防伪标均为盗版

出版说明

根据《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》中提出的高等职业院校必须把培养学生动手能力、实践能力和可持续发展能力放在突出的地位,促进学生技能的培养,以及教材内容要紧密结合生产实际,并注意及时跟踪先进技术的发展等指导精神,机械工业出版社组织全国近 60 所高等职业院校的骨干教师对在 2001 年出版的“面向 21 世纪高职高专系列教材”进行了全面的修订和增补,并更名为“全国高等职业教育规划教材”。

本系列教材是由高职高专计算机专业、电子技术专业和机电专业教材编委会分别会同各高职高专院校的一线骨干教师,针对相关专业的课程设置,融合教学中的实践经验,同时吸收高等职业教育改革的成果而编写完成的,具有“定位准确、注重能力、内容创新、结构合理和叙述通俗”的编写特色。在几年的教学实践中,本系列教材获得了较高的评价,并有多品种被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。在修订和增补过程中,除了保持原有特色外,针对课程的不同性质采取了不同的优化措施。其中,核心基础课的教材在保持扎实的理论基础的同时,增加实训和习题;实践性较强的课程强调理论与实训紧密结合;涉及实用技术的课程则在教材中引入了最新的知识、技术、工艺和方法。同时,根据实际教学的需要对部分课程进行了整合。

归纳起来,本系列教材具有以下特点:

- (1) 围绕培养学生的职业技能这条主线来设计教材的结构、内容和形式。
- (2) 合理安排基础知识和实践知识的比例。基础知识以“必需、够用”为度,强调专业技术应用能力的训练,适当增加实训环节。
- (3) 符合高职学生的学习特点和认知规律。对基本理论和方法的论述要容易理解、清晰简洁,多用图表来表达信息;增加相关技术在生产中的应用实例,引导学生主动学习。
- (4) 教材内容紧随技术和经济的发展而更新,及时将新知识、新技术、新工艺和新案例等引入教材。同时注重吸收最新的教学理念,并积极支持新专业的教材建设。
- (5) 注重立体化教材建设。通过主教材、电子教案、配套素材光盘、实训指导和习题及解答等教学资源的有机结合,提高教学服务水平,为高素质技能型人才的培养创造良好的条件。

由于我国高等职业教育改革和发展的速度很快,加之我们的水平和经验有限,因此在教材的编写和出版过程中难免出现问题和错误。我们恳请使用这套教材的师生及时向我们反馈质量信息,以利于我们今后不断提高教材的出版质量,为广大师生提供更多、更适用的教材。

机械工业出版社

前 言

Unigraphics NX（简称UG NX）是由西门子UGSPLM软件公司推出的面向制造行业的CAID/CAD/CAE/CAM 高端软件，是当今世界上最先进、最流行的工业设计软件之一。它集合了概念设计、工程设计、分析与加工制造的功能，实现了优化设计与产品生产过程的组合，广泛应用于机械、汽车、模具、航空航天、消费电子、医疗仪器等各个行业。

为了满足我国高等职业教育发展和高级应用型技术人才培养的需要，我们经过多年的教学实践，根据高等职业教育的特点和区域经济发展的情况，确定了本教材的编写内容。本书以UG NX5 中文版为操作平台，根据软件的实际应用步骤，由浅入深、图文并茂地介绍了UG NX5 中文版数控加工的基本应用和实践技巧。

本书作者都是多年从事教学和实际生产的一线人员，本书是作者对UG NX5 数控加工技术的归纳与总结。全书实例丰富、代表性强，每章都有典型实例和上机练习，这些实例具有较强的实用性、指导性和可操作性。读者学完本书，就可以举一反三，掌握多种常见零件数控加工的基本方法和技巧。

本书由无锡职业技术学院张小红、郑贞平主编，参加编写的还有无锡职业技术学院实习工厂孙晨光和吴克行、无锡职业技术学院张清和陈平、黄冈职业技术学院刘良瑞、无锡工艺职业技术学院徐小东。

在本书编写工作中，编者得到了无锡叶片厂金丽花高级工程师、北京辛辛那提机床服务部续新力高级工程师、无锡中野机械有限公司刘德仲高级工程师、济南柴油机厂技术处刘德春高级工程师、江苏大学材料学院孙少纯教授、江南大学机械学院副院长吉卫喜博士（教授）的指导、帮助和技术支持，在此向他们表示衷心的感谢！

本书尽管是我们多年工作经验的总结，但是由于作者的水平所限，书中缺点和错误难免。恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

出版说明

前言

第 1 章 数控加工基础	1	2.3.2 生成刀具路径	47
1.1 数控加工入门	1	2.3.3 刀具路径重播	48
1.1.1 数控技术基础知识	1	2.3.4 列出刀具路径信息	48
1.1.2 数控加工基础知识	2	2.3.5 刀具路径模拟	48
1.1.3 数控加工基本原理	4	2.3.6 刀具路径编辑	51
1.2 常用的编程指令	6	2.4 后置处理	52
1.2.1 数控机床的坐标系	6	2.4.1 图形后处理器	52
1.2.2 程序结构与格式	8	2.4.2 UG NX 后置处理器	54
1.2.3 字与字的功能	9	2.5 训练实例：进入 UG 加工环境并 创建坐标系	55
1.2.4 常用的编程指令	11	2.6 上机练习	58
1.3 数控加工的工艺处理	14	第 3 章 UG NX5 平面铣加工技术	59
1.3.1 数控加工的工艺特点	14	3.1 平面铣操作模板介绍	59
1.3.2 工序划分	15	3.1.1 创建平面铣操作	59
1.3.3 CAM 软件中的参数设置	15	3.1.2 平面铣的各子类型	60
1.3.4 数控程序的后处理	23	3.2 平面铣加工的基本概念	61
第 2 章 UG NX5 数控加工入门	25	3.2.1 平面铣加工概述	61
2.1 UG NX5 数控加工模块介绍	25	3.2.2 平面铣加工的特点和应用	62
2.1.1 UG NX5 数控加工方式和特点	25	3.2.3 平面铣操作对话框	62
2.1.2 进入 UG NX5 加工模块	27	3.3 平面铣加工的几何体	65
2.1.3 UG NX5 数控加工主要工具条	28	3.3.1 平面铣加工几何体的类型	65
2.1.4 UG NX5 加工环境中的操作导 航器的应用	31	3.3.2 边界的创建	66
2.2 UG NX5 数控加工的一般流程	33	3.3.3 边界的编辑	71
2.2.1 UG NX5 生成数控程序的一般 步骤	33	3.4 平面铣加工的操作参数设置	72
2.2.2 加工前的准备工作	35	3.4.1 常用切削方法的选用	72
2.2.3 创建几何体	36	3.4.2 用户化参数设置	77
2.2.4 创建刀具	39	3.4.3 切削深度参数	80
2.2.5 创建加工方法	43	3.4.4 切削参数	83
2.2.6 创建程序组	45	3.4.5 非切削运动参数	86
2.2.7 创建操作	46	3.4.6 角控制	93
2.3 管理刀具路径	46	3.4.7 进给和速度	94
2.3.1 操作对话框中的刀轨图标	46	3.5 表面铣	96
		3.5.1 表面铣概述	96

3.5.2 表面铣的几何体	97	4.6.2 等高轮廓铣加工实例	146
3.5.3 混合切削方法	98	4.7 上机练习	151
3.5.4 表面铣切削参数	102	第5章 UG NX5 固定轴曲面轮廓铣	
3.6 平面铣加工实例	103	加工技术	152
3.6.1 打开文件并进入加工环境	103	5.1 固定轴曲面轮廓铣概述	152
3.6.2 创建刀具	103	5.1.1 固定轴曲面轮廓铣操作模板	
3.6.3 创建几何体	104	介绍	152
3.6.4 粗加工: 创建平面铣操作	107	5.1.2 固定轴曲面轮廓铣简介	153
3.6.5 精加工: 创建平面铣操作	110	5.2 固定轴曲面轮廓铣基本概念	154
3.7 上机练习	112	5.2.1 创建固定轴曲面轮廓铣的一般	
第4章 UG NX5 型腔铣加工技术	113	流程	154
4.1 型腔铣操作模板介绍	113	5.2.2 固定轴曲面轮廓铣的几个重要	
4.1.1 创建型腔铣操作	113	概念	154
4.1.2 型腔铣对话框	114	5.2.3 固定轴曲面轮廓铣操作对话框	155
4.1.3 型腔铣的各子类型	114	5.2.4 定义需要加工的零件几何体	155
4.2 型腔铣加工的基本概念	115	5.3 固定轴曲面轮廓铣的驱动	
4.2.1 型腔铣加工概述	115	方式	156
4.2.2 型腔铣的特点和应用	115	5.3.1 边界驱动方式	157
4.2.3 型腔铣与平面铣的异同	116	5.3.2 曲线/点驱动方式	163
4.2.4 创建型腔铣加工的一般流程	116	5.3.3 区域铣削驱动方式	165
4.3 型腔铣操作的几何体	117	5.3.4 曲面区域驱动方式	167
4.3.1 几何体的类型	117	5.3.5 清根驱动方式	169
4.3.2 部件几何体	118	5.4 固定轴曲面轮廓铣的操作参数	
4.3.3 毛坯几何体	120	设置	172
4.3.4 检查几何体	120	5.4.1 刀轴和投影矢量	172
4.3.5 切削区域	120	5.4.2 切削参数	175
4.3.6 修剪边界	121	5.4.3 非切削运动	179
4.4 型腔铣操作的参数设置	121	5.5 固定轴曲面轮廓铣加工实例	184
4.4.1 型腔铣参数与平面铣参数的		5.5.1 打开文件并进入加工环境	184
异同	121	5.5.2 创建操作	185
4.4.2 切削层	122	5.5.3 确定驱动方式	185
4.4.3 切削参数	126	5.5.4 设置切削参数	187
4.5 等高轮廓铣加工	132	5.5.5 设置非切削运动	187
4.5.1 等高轮廓铣加工介绍	132	5.5.6 设置进给参数	188
4.5.2 等高轮廓铣操作步骤	132	5.5.7 产生刀具路径	188
4.5.3 等高轮廓铣的操作参数	133	5.6 上机练习	189
4.5.4 等高轮廓铣的切削参数	133	第6章 UG NX5 点位加工技术	190
4.6 典型零件加工实例	136	6.1 创建点位加工操作	190
4.6.1 型腔铣加工实例	136	6.1.1 概述	190

6.1.2 创建点位加工的基本步骤	192	7.3.5 创建型腔粗加工操作	222
6.2 点位加工几何体	193	7.3.6 轮廓精加工	227
6.2.1 指定加工位置	194	7.3.7 底面精加工	229
6.2.2 优化刀具路径	198	7.4 上机练习	232
6.2.3 避让	200	第 8 章 碗形零件数控加工实例	233
6.2.4 反向	200	8.1 实例分析	233
6.2.5 圆弧轴控制	200	8.2 加工工艺方案	233
6.2.6 定义部件表面	201	8.3 加工步骤	234
6.2.7 部件底面设置	201	8.3.1 打开文件并进入加工模块	234
6.3 循环控制	201	8.3.2 设置加工方法	234
6.3.1 循环参数组	202	8.3.3 创建坐标系	235
6.3.2 设置循环参数	204	8.3.4 型腔粗加工 CAV_ROU	236
6.4 一般参数设置	207	8.3.5 半精加工	241
6.4.1 最小安全距离	208	8.3.6 曲面精加工 CAV_FINI	243
6.4.2 孔深偏置量	208	8.3.7 底面精加工	246
6.4.3 避让、进给率和机床控制	208	8.4 上机练习	248
6.5 点位加工实例	208	第 9 章 型芯模具型腔加工实例	249
6.5.1 打开文件并进入加工环境	208	9.1 实例分析	249
6.5.2 创建点位加工操作	209	9.2 加工工艺方案	249
6.6 上机练习	214	9.3 加工步骤	250
第 7 章 典型平面铣加工实例	215	9.3.1 打开文件并进入加工模块	250
7.1 实例分析	215	9.3.2 创建刀具	250
7.2 加工工艺方案	216	9.3.3 创建几何体	252
7.2.1 生成刀轨的编程步骤	216	9.3.4 型腔粗加工	254
7.2.2 加工方案	216	9.3.5 半精加工 CAV_SEMI	257
7.3 加工步骤	217	9.3.6 精加工 FIXED_FIN	261
7.3.1 打开文件并进入加工环境	217	9.3.7 表面精加工	264
7.3.2 确定加工坐标系和安全平面	217	9.4 上机练习	267
7.3.3 创建边界	218	参考文献	268
7.3.4 创建刀具	220		

第 1 章 数控加工基础

1.1 数控加工入门



1.1.1 数控技术基础知识

1. 数控技术

数控 (Numerical Control, NC) 技术是指用数字化的信息对某一对象进行控制的技术, 控制对象可以是位移、角度、速度等机械量, 也可以是温度、压力、流量、颜色等物理量, 这些量的大小不仅是可测量的, 而且可以经 A/D 或 D/A 转换, 用数字信号来表示。数控技术是近代发展起来的一种自动控制技术, 是机械加工现代化的重要基础与关键技术。

2. 数控加工

数控加工是指采用数字信息对零件加工过程进行定义, 并控制机床进行自动运行的一种自动化加工方法。数控加工是一种具有高效率、高精度与高柔性特点的自动化加工方法, 可有效解决复杂、精密、小批、多变零件的加工问题, 充分适应现代化生产的需要。数控加工必须由数控机床来实现。

3. 数控机床

数控机床就是采用了数控技术的机床。数控机床将零件加工过程所需的各种操作 (如主轴变速、主轴起动和停止、松夹工件、进刀退刀、冷却液开或关等) 和步骤以及刀具与工件之间的相对位移量都用数字化的代码来表示, 由编程人员编制成规定的加工程序, 通过输入装置输入到数控系统, 由数控系统对输入的信息进行处理与运算, 发出各种指令来控制机床的运动, 使机床自动地加工出所需要的零件。

现代数控机床综合应用了微电子技术、计算机技术、精密检测技术、伺服驱动技术以及精密机械技术等多方面的最新成果, 是典型的机电一体化产品。

数控机床主要由输入装置、数控装置、伺服系统、检测装置和机床本体四个部分组成, 如图 1-1 所示。

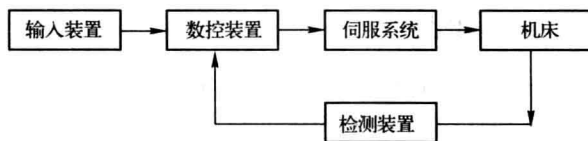


图 1-1 数控机床的组成

4. 数控编程

数控编程（NC Programming）就是生成用数控机床进行零件加工的数控程序的过程。数控程序是由一系列程序段组成的，它把零件的加工过程、切削用量、位移数据以及各种辅助操作，按机床的操作和运动顺序，用机床规定的指令及程序格式排列成一个有序指令集。

零件加工程序的编制（数控编程）是实现数控加工的重要环节，特别是对于复杂零件的加工，其编程工作的重要性甚至超过数控机床本身。此外，在现代生产中，产品形状及质量信息往往需通过坐标测量机或直接在数控机床上测量来得到，测量运动指令也有赖于数控编程来产生。因此，数控编程对于产品质量控制也有着重要的作用。

数控编程技术涉及制造工艺、计算机技术、数学、计算机几何、微分几何、人工智能等众多学科领域知识，它所追求的目标是如何更有效地获得满足各种零件加工要求的高质量数控加工程序，以便充分地发挥数控机床的性能，获得更高的加工效率与加工质量。

5. 数控加工的应用范围

数控加工是一种可编程的柔性加工方法，但其设备费用相对较高，故目前数控加工多应用于加工零件形状比较复杂、精度要求较高，以及产品更换频繁、生产周期要求短的场合。

下面这些类型的零件最适宜于数控加工：

- (1) 形状复杂（如用数学方法定义的复杂曲线、曲面轮廓）、加工精度要求高的零件；
- (2) 公差带小、互换性高、要求精确复制的零件；
- (3) 用普通机床加工时，要求设计制造复杂的专用工装夹具或需要很长调整时间的零件；
- (4) 价值高的零件；
- (5) 小批量生产的零件；
- (6) 需一次装夹加工多部位（如钻、镗、铰、攻螺纹及铣削加工联合进行）的零件。

可见，目前的数控加工主要应用于以下两个方面：

一方面的应用是常规零件加工，如二维车削、箱体类镗铣等。其目的在于：提高加工效率，避免人为误差，保证产品质量；以柔性加工方式取代高成本的工装设备，缩短产品制造周期，适应市场需求。这类零件一般形状较简单，实现上述目的的关键在于提高机床的柔性自动化程度、高速高精加工能力、加工过程的可靠性与设备的操作性能。同时，合理的生产组织、计划调度和工艺过程安排也非常重要。

另一方面的应用是复杂形状零件加工，如模具型腔、涡轮叶片等。这类零件型面复杂，用常规加工方法难以实现，它不仅促使了数控加工技术的产生，而且也一直是数控加工技术主要研究及应用的对象。由于零件型面复杂，在加工技术方面，除要求数控机床具有较强的运动控制能力(如多轴联动)外，更重要的是如何有效地获得高效优质的数控加工程序，并从加工过程整体上提高生产效率。



1.1.2 数控加工基础知识

数控铣床具有丰富的加工功能和较宽的加工工艺范围，面对的工艺性问题也较多。在开始编制铣削加工程序前，一定要仔细分析数控铣削加工工艺性，掌握铣削加工工艺装备的特点，以保证充分发挥数控铣床的加工功能。

1. 数控程序编制的内容及步骤

数控编程是指从零件图样到获得数控加工程序的全部工作过程。编程工作主要包括：

(1) 分析零件图样和制定工艺方案

这项工作的内容包括：对零件图样进行分析，明确加工的内容和要求；确定加工方案；选择适合的数控机床；选择或设计刀具和夹具；确定合理的走刀路线及选择合理的切削用量等。这一工作要求编程人员能够对零件图样的技术特性、几何形状、尺寸及工艺要求进行分析，并结合数控机床使用的基础知识，如数控机床的规格、性能、数控系统的功能等，确定加工方法和加工路线。

(2) 数学处理

在确定了工艺方案后，就需要根据零件的几何尺寸、加工路线等，计算刀具中心运动轨迹，以获得刀位数据。数控系统一般均具有直线插补与圆弧插补功能，对于加工由圆弧和直线组成的较简单的平面零件，只需要计算出零件轮廓上相邻几何元素交点或切点的坐标值，得出各几何元素的起点、终点、圆弧的圆心坐标值等，就能满足编程要求。当零件的几何形状与控制系统的插补功能不一致时，就需要进行较复杂的数值计算，一般需要使用计算机辅助计算，否则难以完成。

(3) 编写零件加工程序

在完成上述工艺处理及数值计算工作后，即可编写零件加工程序。程序编制人员使用数控系统的程序指令，按照规定的程序格式，逐段编写加工程序。程序编制人员应对数控机床的功能、程序指令及代码十分熟悉，才能编写出正确的加工程序。

(4) 程序检验

将编写好的加工程序输入数控系统，就可控制数控机床的加工工作。一般在正式加工之前，要对程序进行检验。通常可采用机床空运转的方式，来检查机床动作和运动轨迹的正确性，以检验程序。在具有图形模拟显示功能的数控机床上，可通过显示走刀轨迹或模拟刀具对工件的切削过程，对程序进行检查。对于形状复杂和要求高的零件，也可采用铝件、塑料或石蜡等易切材料进行试切来检验程序。通过检查试件，不仅可确认程序是否正确，还可知道加工精度是否符合要求。若能采用与被加工零件材料相同的材料进行试切，则更能反映实际加工效果。当发现加工的零件不符合加工技术要求时，可修改程序或采取尺寸补偿等措施。

2. 数控程序编制的方法

数控加工程序的编制方法主要有两种：手工编制程序和自动编制程序。

(1) 手工编程

手工编程是指主要由人工来完成数控编程中各个阶段的工作。

一般对几何形状不太复杂的零件，所需的加工程序不长，计算比较简单，用手工编程比较合适。

手工编程的特点：耗费时间较长，容易出现错误，无法胜任复杂形状零件的编程。据国外资料统计，当采用手工编程时，一段程序的编写时间与其在机床上运行加工的实际时间之比平均约为 30:1，而数控机床不能开动的原因中有 20%~30%是由于加工程序编制困难，编程时间较长。

(2) 计算机自动编程

自动编程是指在编程过程中，除了分析零件图样和制定工艺方案由人工进行外，其余工作均由计算机辅助完成。

采用计算机自动编程时，数学处理、编写程序、检验程序等工作是由计算机自动完成的。

由于计算机可自动绘制出刀具中心运动轨迹,编程人员可及时检查程序是否正确,需要时可及时修改,以获得正确的程序。而且计算机自动编程代替程序编制人员完成了繁琐的数值计算,可提高编程效率几十倍乃至上百倍,从而解决了手工编程无法解决的许多复杂零件的编程难题。因此,自动编程的特点就在于编程工作效率高,可解决复杂形状零件的编程难题。

根据输入方式的不同,可将自动编程分为图形数控自动编程、语言数控自动编程和语音数控自动编程等。图形数控自动编程是指将零件的图形信息直接输入计算机,通过自动编程软件的处理,得到数控加工程序。目前,图形数控自动编程是使用最为广泛的自动编程方式。语言数控自动编程是指将加工零件的几何尺寸、工艺要求、切削参数及辅助信息等用数控语言编写成源程序后,输入到计算机中,再由计算机进一步处理得到零件加工程序。语音数控自动编程是采用语音识别器,将编程人员发出的语音加工指令转变为加工程序。



1.1.3 数控加工基本原理

机床上的刀具和工件的相对运动,称为表面成形运动,简称成形运动,或切削运动。数控加工是指数控机床按照数控程序所确定的轨迹(称为数控刀轨)进行表面成形运动,从而加工出产品的表面形状。图 1-2 所示是一个外形轮廓加工。图 1-3 所示是一个曲面加工的切削示意图。

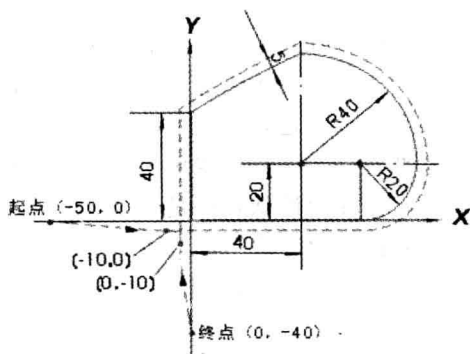


图 1-2 外形轮廓加工

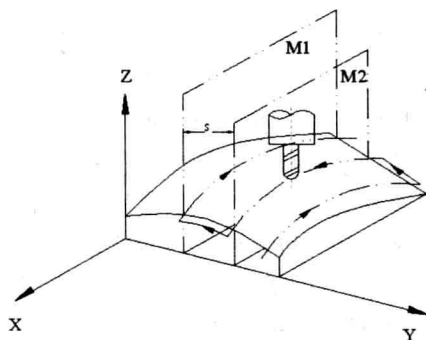


图 1-3 曲面切削加工

数控刀轨是由一系列简单的线段连接而成的折线,折线上的节点称为刀位点,如图 1-4 所示。刀具的中心点沿着刀轨依次经过每一个刀位点,从而切削出工件的形状。

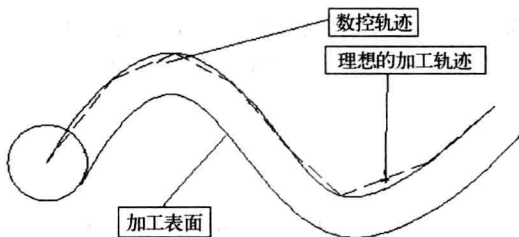


图 1-4 刀轨的插补误差

刀具从一个刀位点移动到下一个刀位点的运动称为数控机床的插补运动。由于数控机床一般只能以直线或圆弧这两种简单的运动形式完成插补运动,因此数控刀轨只能是由许多直线段和圆弧段将刀位点连接而成的折线。

数控编程的任务是计算出数控刀轨,并以程序的形式输出到数控机床,其核心内容就是计算出数控刀轨上的刀位点。

在数控加工误差中,与数控编程直接相关的有两个主要部分:

(1) 刀轨的插补误差。由于数控刀轨只能由直线和圆弧组成,因此只能近似地拟合出理想的加工轨迹,如图 1-4 所示。

(2) 残余高度。在图 1-3 所示的曲面加工中,相邻两条数控刀轨之间会留下未切削区域,如图 1-5 所示,它主要影响加工表面的粗糙度。

刀具的表面成形运动通常分为主运动和进给运动,如图 1-6 所示。

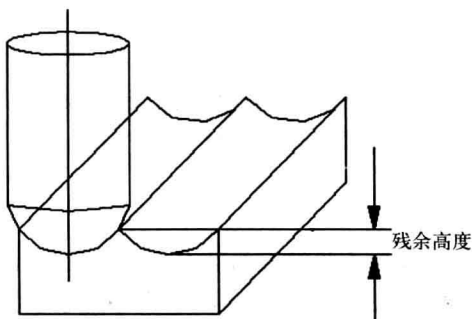


图 1-5 刀轨的残余高度

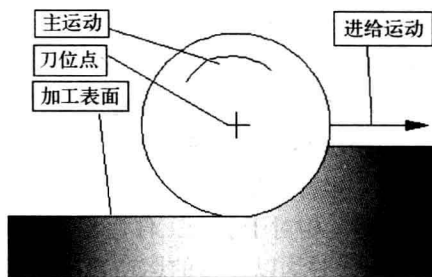


图 1-6 刀具的表面成形运动

(1) 主运动。由机床或人力提供的主要运动。它促使刀具和工件之间产生相对运动,从而使刀具前刀面接近工件,从工件上直接切除金属。它具有切削速度最高,消耗功率最大的特点,如图 1-6 所示。如车削时工件的旋转运动,刨削时工件或刀具的往复运动,铣削时铣刀的旋转运动等。在切削中必须有一个主运动、且只能有一个主运动。

(2) 进给运动。由机床或人力提供的运动。它使刀具和工件之间产生附加的相对运动,使主运动能够继续切除工件上多余的金属,以便形成所需几何特性的已加工表面,如图 1-6 所示。进给运动可以是连续的,如车削外圆时车刀平行于工件轴线的纵向运动;也可以是步进的,如刨削时工件或刀具的横向移动等。在切削中可以有一个或多个进给运动,也可以不存在进给运动。

由主运动和进给运动合成的运动,称为合成切削运动。刀具切削刃上选定点相对工件的瞬时合成运动方向称为该点的合成切削运动方向,其速度称为合成切削速度 v_c 。常见机床的切削运动如表 1-1 所示

表 1-1 常见机床的切削运动

机 床 名 称	主 运 动	进 给 运 动	机 床 名 称	主 运 动	进 给 运 动
卧式车床	工件旋转运动	车刀纵向、横向、斜向直线移动	卧式、立式铣床	铣刀旋转运动	工件纵向、横向直线移动（有时也作垂直方向移动）
牛头刨床	刨刀往复移动	工件横向间歇移动或刨刀垂向、斜向间歇移动	钻床	钻头旋转运动	钻头的轴向移动
龙门刨床	工件往复移动	刨刀横向、垂向、斜向间歇移动	内圆磨床	砂轮高速旋转	工件转动，同时工件往复移动，砂轮横向移动
外圆磨床	砂轮高速旋转	工件转动，同时工件往复移动，砂轮横向移动	平面磨床	砂轮高速旋转	工件转动，砂轮横向、垂向移动

1.2 常用的编程指令



1.2.1 数控机床的坐标系

在编写数控加工程序过程中，为了确定刀具与工件的相对位置，必须通过机床参考点和坐标系描述刀具的运动轨迹。在国际 ISO 标准中，数控机床坐标轴和运动方向的设定均已标准化。我国原机械工业部 1982 年颁布的 JB3052—1982 标准与国际 ISO 标准等效。

1. 坐标系及运动方向

(1) 坐标系的确定原则

1) 刀具相对于静止工件而运动的原则。这个原则规定不论数控机床是刀具运动还是工件运动，编程时均以刀具的运动轨迹来编写程序，这样可按零件图的加工轮廓直接确定数控机床的加工过程。

2) 标准坐标系的规定。标准坐标系是一个直角坐标系，如图 1-7a 所示，按右手直角坐标系规定，右手的拇指、食指和中指分别代表 X、Y、Z 三根直角坐标轴的方向；如图 1-7b 所示，旋转方向按右手螺旋法则规定，四指顺着轴的旋转方向，拇指与坐标轴同方向为轴的正旋转，反之为轴的反旋转，图中 A、B、C 分别代表围绕 X、Y、Z 三根坐标轴的旋转方向。

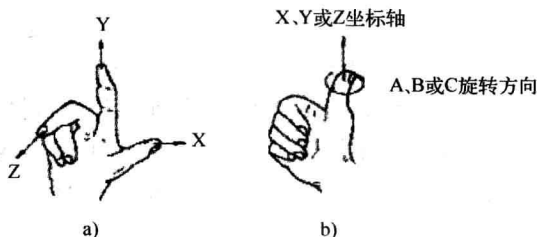


图 1-7 右手直角坐标系和轴的正旋转方向的确定

3) 坐标轴正负的规定。使刀具与工件之间距离增大的方向规定为轴的正方向，反之为轴的反方向。

(2) 机床坐标轴的确定方法

Z 轴表示传递切削动力的主轴，X 轴平行于工件的装夹平面，一般取水平位置，根据右

手直角坐标系的规定，确定了 X 和 Z 坐标轴的方向，自然能确定 Y 轴的方向。

车床坐标系：如图 1-8 所示，Z 坐标轴与车床的主轴同轴线，刀具横向运动方向为 X 坐标轴的方向，旋转方向 C 表示主轴的正转。

立式铣床坐标系：如图 1-9 所示，Z 坐标轴与立式铣床的直立主轴同轴线，面对主轴，向右为 X 坐标轴的正方向，根据右手直角坐标系的规定，确定 Y 坐标轴的方向朝前。

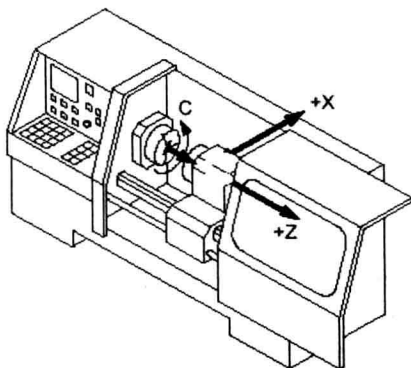


图 1-8 车床坐标系

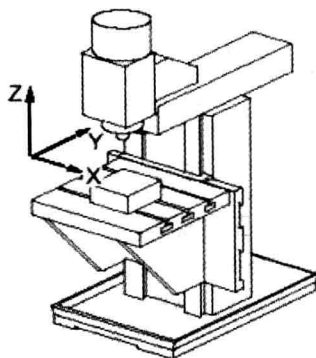


图 1-9 立铣床坐标系

2. 机床原点的设置

机床原点是指在机床上设置的一个固定点，即机床坐标系的原点。它在机床装配、调试时就已确定下来，是数控机床进行加工运动的基准参考点。

(1) 数控车床的原点

在数控车床上，机床原点一般取在卡盘端面与主轴中心线的交点处，如图 1-10 所示。同时，通过设置参数的方法，也可将机床原点设定在 X、Z 坐标的正方向极限位置上。

(2) 数控铣床的原点

在数控铣床上，机床原点一般取在 X、Y、Z 坐标的正方向极限位置上，如图 1-11 所示。

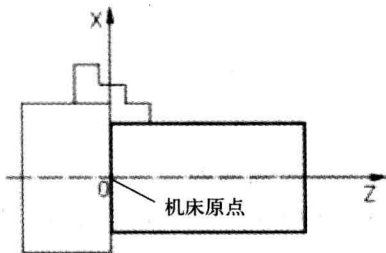


图 1-10 数控车床的机床原点

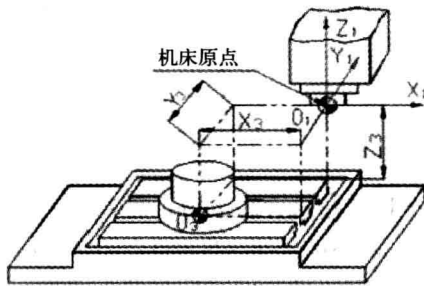


图 1-11 数控铣床的机床原点

3. 工件坐标系

设定工件坐标系 $X_p Y_p Z_p$ 的目的是为了编程方便。设置工件坐标系原点的原则尽可能选择在工件的设计基准和工艺基准上，工件坐标系的坐标轴方向与机床坐标系的坐标轴方向保持一致。在数控车床中，如图 1-12 所示，原点 O_p 点一般设定在工件的右端面与主轴轴线的

交点上。在数控铣床中,如图 1-13 所示,Z 轴的原点一般设定在工件的上表面,对于非对称工件,X、Y 轴的原点一般设定在工件的左前角上;对于对称工件,X、Y 轴的原点一般设定在工件对称轴的交点上。

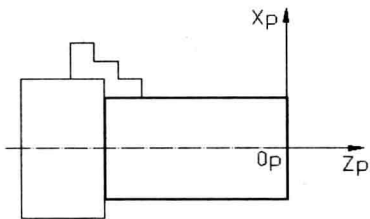


图 1-12 数控车床工件坐标系的原点

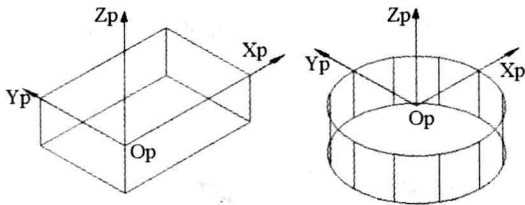


图 1-13 数控铣床工件坐标系的原点

4. 加工坐标系

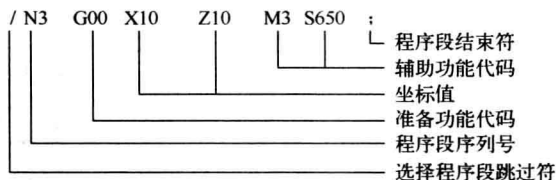
加工坐标系是指以确定的加工原点为基准所建立的坐标系。加工原点也称为程序原点,是指零件被装夹好后,相应的编程原点在机床坐标系中的位置。

在加工过程中,数控机床是按照工件装夹好后所确定的加工原点位置和程序要求进行加工的。编程人员在编制程序时,只要根据零件图样就可以选定编程原点、建立编程坐标系、计算坐标数值,而不必考虑工件毛坯装夹的实际位置。对于加工人员来说,则应在装夹工件、调试程序时,将编程原点转换为加工原点,并确定加工原点的位置,在数控系统中给予设定(即给出原点设定值),设定加工坐标系后就可根据刀具当前位置,确定刀具起始点的坐标值。在加工时,工件各尺寸的坐标值都是相对于加工原点而言的,这样数控机床才能按照准确的加工坐标系位置开始加工。



1.2.2 程序结构与格式

一个完整的零件加工程序由若干程序段组成,一个程序段由序号、若干代码字和结束符号组成,每个代码字由字母和数字组成,如下所示。



一个程序段包含三部分:程序标号字(N字)+程序主体+结束符。

(1) 程序标号字(N字)。也称为程序段号,用以识别和区分程序段的标号,不是所有程序段都要有标号,但有标号便于查找。对于跳转程序来说,必须有程序段号。程序段号与执行顺序无关。

(2) 结束符号。用“;”,有些系统用“*”或“LF”,任何程序段都必须有结束符,否则不予执行。一般情况下,在数控系统中直接编程时,按回车键,可自动生成结束符,但在电脑中编程时,需手工输入结束符。

(3) 程序段主体部分。一个完整加工过程包括各种控制信息和数据,由一个以上功能字组成。功能字包括准备功能字(G)、坐标字(X、Y、Z)、辅助功能字(M)、进给功能字

(F)、主轴功能字(S)、刀具功能字(T)等。



1.2.3 字与字的功能

1. 字符与代码

字符是用来组织、控制或表示数据的一些符号,如数字、字母、标点符号、数学运算符等。数控系统只能接受二进制信息,所以必须把字符转换成 8bit 信息组合成的字节,用“0”和“1”组合的代码来表达。国际上广泛采用两种标准代码:① ISO 国际标准化组织标准代码;② EIA 美国电子工业协会标准代码。

这两种标准代码的编码方法不同,在大多数现代数控机床上这两种代码都可以使用,只需用系统控制面板上的开关来选择,或用 G 功能指令来选择。

2. 字

在数控加工程序中,字是指一系列按规定排列的字符,作为一个信息单元存储、传递和操作。字是由一个英文字母与随后的若干位十进制数字组成,这个英文字母称为地址符。

3. 字的功能

组成程序段的每一个字都有其特定的功能含义。下面以 FANUC-0M 数控系统的规范为主来介绍。实际工作中,请遵照机床数控系统说明书来使用各个功能字。

(1) 顺序号字 N

顺序号又称程序段号或程序段序号。顺序号位于程序段之首,由顺序号字 N 和后续数字组成。顺序号字 N 是地址符,后续数字一般为 1~4 位的正整数。数控加工中的顺序号实际上是程序段的名称,与程序执行的先后次序无关。数控系统不是按顺序号的次序来执行程序,而是按照程序段编写时的排列顺序逐段执行。

顺序号的作用:对程序的校对和检索修改;作为条件转向的目标,即作为转向目的程序段的名称。

一般使用方法:编程时将第一程序段冠以 N10,以后以间隔 10 递增的方法设置顺序号。这样,在调试程序时,如果需要在 N10 和 N20 之间插入程序段时,就可以使用 N11、N12 等。

(2) 准备功能字 G

准备功能字的地址符是 G,又称为 G 功能或 G 指令,是用于建立机床或控制系统工作方式的一种指令。后续数字一般为 1~3 位正整数,如表 1-2 所示。

表 1-2 FANUC 0M-C 铣床准备功能表

G 代码	组 号	功 能	G 代码	组 号	功 能
*G00	01	快速点定位	G15	18	极坐标指令取消
G01		直线插入	G16		极坐标指令
G02		顺时针圆弧插补	*G17	02	XY 平面选择
G03		逆时针圆弧插补	G18		ZX 平面选择
G04	00	暂停	G19		YZ 平面选择
G07		假象轴插补	G20	06	英制输入
G09		准确停止校验	G21		公制输入
G10		偏移量设定	*G22	04	存储行程限位 ON