

数控编程与加工技术

郑向周 主编



北京理工大学出版社



数控编程与加工技术

主 编 郑向周

副主编 刘宝珠 王国章



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书按照项目教学法的教学形式来组织编写，全书共分 3 部分：第一部分介绍数控编程与加工基础，第二部分介绍数控车床编程与加工，第三部分介绍数控铣床（加工中心）编程与加工。

本书以 FANUC 0i 数控系统和华中数控系统为背景，以零件的数控编程与加工为主线，将多个训练项目按照基础训练、专项训练、综合训练的顺序排列，由浅入深地介绍数控编程与加工技术，并以典型零件的加工为例介绍宏程序的应用与装配件的编程和加工。每个项目都配备了丰富的实训练习和自测试题供学习者巩固提高。

本书可作为高等院校数控专业及机械、机电类专业的教材，也可作为从事机械制造的工程技术人员的参考、学习、培训用书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目（CIP）数据

数控编程与加工技术 / 郑向周主编. —北京：北京理工大学出版社，2018.2
ISBN 978-7-5682-5320-8

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2018）第 031646 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775（总编室）
(010) 82562903（教材售后服务热线）
(010) 68948351（其他图书服务热线）

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 /

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 15

字 数 / 344 千字

版 次 / 2018 年 2 月第 1 版 2018 年 2 月第 1 次印刷

定 价 / 59.00 元

责任编辑 / 多海鹏

文案编辑 / 多海鹏

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李 洋

图书出现印装质量问题，请拨打售后服务热线，本社负责调换

前 言

2015 年 5 月 8 日，国务院印发《中国制造 2025》，作出全面提升中国制造业发展质量和水平的重大战略部署，其根本目标在于改变中国制造业“大而不强”的局面。《中国制造 2025》中多次提及数字化制造、智能制造、高端数控机床等内容，数控技术是我国从制造大国向制造强国转变的关键技术，是制造工业现代化的重要基础。这个基础是否牢固直接影响到一个国家的经济发展和综合国力，关系到一个国家的战略地位。因此，培养大批能熟练掌握数控机床编程、操作、修理、维护的高技能人才一直是紧迫的需求。

本书每一项目均按照项目任务式驱动，引入要学习的内容，由典型案例引入需要掌握的操作技能、相关知识解析、工艺分析计算、程序编制、实训内容，以便于理解和掌握。

本书特点在于例证丰富，每一个知识点都用实例来说明和验证，尽量减少文字叙述，多用图、表展示和说明。每一项目后面配备了丰富的自测题，用于学习者检测和巩固所学内容。

本书由郑向周担任主编，刘宝珠、王国章担任副主编，其中项目 1 和项目 9~13 由郑向周编写，项目 2、3、7、8、14 由刘宝珠编写，项目 4~6 由王国章编写。

全书由郑向周主审并修改整理。

由于编者水平所限，时间仓促，书中错误和缺陷在所难免，恳请广大读者来电、来函批评指正，共同探讨。

编 者

目 录

学习情境一 数控编程与加工基础

项目 1 数控机床坐标系和编程规则	3
1.1 技能解析	3
1.2 相关知识	3
1.2.1 数控机床的坐标系	3
1.2.2 数控程序的编制、结构与功能	7
1.2.3 常用编程指令	9
1.3 实训内容	13
1.4 自测题	14

学习情境二 数控车床编程与加工

项目 2 数控车床操作与加工	17
2.1 技能解析	17
2.2 相关知识	17
2.2.1 数控车床熟悉与生产现场定置管理	17
2.2.2 数控车床面板操作	19
2.2.3 数控车床仿真加工	24
2.3 实训内容	34
2.4 自测题	35
项目 3 数控车床加工工艺、刀具与原点设置	36
3.1 技能解析	36
3.2 相关知识	36
3.2.1 数控车床的工件装夹与刀具选择	36
3.2.2 典型车削零件的工艺分析	41
3.2.3 数控车对刀及工件零点的设置	47
3.2.4 刀具偏置（补偿）的设定	49
3.3 实训内容	52
3.4 自测题	52

项目 4 阶梯轴类零件加工与编程	54
4.1 技能解析	54
4.2 相关知识	54
4.2.1 主轴转速功能设定 (G96、G97、G50)	54
4.2.2 进给功能设定 (G98、G99)	55
4.2.3 刀具功能 T 指令	55
4.2.4 快速定位运动 (G00)	56
4.2.5 直线插补 (G01)	56
4.2.6 暂停指令 (G04)	58
4.2.7 内 (外) 径车削单一固定循环指令 (G90)	58
4.2.8 端面车削单一固定循环指令 (G94)	62
4.3 工艺分析及数据计算	64
4.3.1 零件工艺分析及尺寸计算	64
4.3.2 工艺方案	65
4.3.3 选择刀具、量具及切削用量	65
4.4 程序编制	66
4.5 实训内容	67
4.6 自测题	67
项目 5 圆弧成型面零件加工与编程	69
5.1 技能解析	69
5.2 相关知识	69
5.2.1 圆弧插补指令 (G02、G03)	69
5.2.2 刀具补偿功能指令	72
5.3 工艺分析及数据计算	76
5.3.1 零件工艺分析及尺寸计算	76
5.3.2 工艺方案	76
5.3.3 选择刀具及切削用量	77
5.4 程序编制	77
5.5 实训内容	79
5.6 自测题	79
项目 6 数控车螺纹加工与编程	81
6.1 技能解析	81
6.2 相关知识	81
6.2.1 车螺纹的走刀路线设计及尺寸计算	81
6.2.2 车螺纹切削用量的选择	83
6.2.3 螺纹车削编程指令	84
6.3 工艺分析及数据计算	90
6.3.1 工艺分析及尺寸计算	90
6.3.2 工艺方案	91

6.3.3 选择刀具及切削用量	92
6.4 程序编制	93
6.5 实训内容	94
6.6 自测题	95
项目 7 数控车内/外轮廓加工循环	96
7.1 技能解析	96
7.2 相关知识	96
7.2.1 内/外径粗车循环指令 (G71)	96
7.2.2 端面粗车循环指令 (G72)	98
7.2.3 成型车削循环指令 (G73)	98
7.2.4 精车循环指令 (G70)	100
7.3 工艺分析及数据计算	101
7.3.1 零件工艺分析及尺寸计算	101
7.3.2 工艺方案	102
7.3.3 选择刀具及切削用量	102
7.4 程序编制	103
7.5 实训内容	104
7.6 自测题	104
项目 8 数控车槽加工与子程序	106
8.1 技能解析	106
8.2 相关知识	106
8.2.1 端面 (外圆) 切槽指令 (G01)	107
8.2.2 端面切槽循环指令 (G74)	108
8.2.3 内 (外) 圆切槽循环指令 (G75)	109
8.2.4 子程序调用指令 (M98)	111
8.2.5 子程序结束指令 (M99)	113
8.2.6 编写子程序的注意事项	113
8.3 工艺分析及数据计算	114
8.3.1 工艺分析	114
8.3.2 制定工艺方案	114
8.3.3 选择刀具及切削用量	114
8.4 程序编制	115
8.5 实训内容	115
8.6 自测题	116

学习情境三 数控铣床 (加工中心) 编程与加工

项目 9 数控铣床与铣削加工工艺	121
9.1 技能解析	121

9.2 相关知识	121
9.2.1 数控铣床熟悉	121
9.2.2 数控铣床的工件装夹	125
9.2.3 数控铣床用刀具	126
9.2.4 数控铣床的对刀	130
9.2.5 典型铣削零件的工艺分析	134
9.3 实训内容	139
9.4 自测题	140
项目 10 数控铣平面及外轮廓加工	142
10.1 技能解析	142
10.2 相关知识	143
10.2.1 圆弧插补 (G02、G03)	143
10.2.2 数控铣床刀具半径补偿功能	145
10.2.3 自动返回参考点指令 G28、从参考点返回指令 G29	148
10.3 工艺分析及数据计算	150
10.3.1 典型案例零件工艺分析及尺寸计算	150
10.3.2 工艺方案	151
10.3.3 选择刀具及切削用量	151
10.4 程序编制	152
10.5 实训内容	153
10.6 自测题	154
项目 11 数控铣槽特征零件加工	155
11.1 技能解析	155
11.2 相关知识	156
11.2.1 插补平面选择指令 (G17、G18、G19)	156
11.2.2 极坐标编程指令	157
11.2.3 刀具长度补偿指令 (G43、G44、G49)	158
11.3 工艺分析及数据计算	160
11.3.1 零件工艺分析及尺寸计算	160
11.3.3 选择刀具及切削用量	161
11.4 程序编制	161
11.5 实训内容	162
11.6 自测题	163
项目 12 数控铣孔系加工	165
12.1 技能解析	165
12.2 相关知识	165
12.2.1 孔加工循环的动作	165
12.2.2 孔加工循环指令通式	166
12.2.3 孔加工循环指令	167

12.3 工艺分析及切削用量选择	174
12.3.1 切削用量选择	174
12.3.2 典型案例零件工艺分析	174
12.3.3 选择刀具及切削用量	174
12.4 典型案例程序编制	175
12.5 实训内容	175
12.6 自测题	176
项目 13 数控铣型腔零件加工	178
13.1 技能解析	178
13.2 相关知识	178
13.2.1 子程序使用指令 (M98、M99)	178
13.2.2 缩放编程指令 (G51、G50)	180
13.2.3 镜像编程指令 (G51.1、G50.1)	181
13.2.4 旋转编程指令 (G68、G69)	182
13.2.5 加工中心自动换刀指令 M06、选刀指令 T	184
13.3 工艺分析及数据计算	184
13.3.1 零件工艺分析及尺寸计算	184
13.4 程序编制	185
13.5 实训内容	186
13.6 自测题	187
项目 14 数控宏程序应用	188
14.1 技能解析	189
14.2 相关知识	189
14.2.1 宏程序认识	189
14.2.2 变量及变量的运算	191
14.2.3 变量的赋值	196
14.2.4 转向语句	197
14.2.5 与宏程序编程有关的问题	199
14.3 工艺分析及数据计算	201
14.3.1 椭圆零件加工典型案例 1 的工艺分析及数据计算	201
14.3.2 椭圆零件加工典型案例 2 的工艺分析及数据计算	202
14.3.3 典型案例 3 数控铣床加工零件上均布的 20 mm 孔	203
14.4 程序编制	204
14.4.1 典型案例 1 程序的编制	204
14.4.2 典型案例 2 程序的编制	205
14.4.3 典型案例 3 程序的编制	206
14.5 实训内容	207
14.6 自测题	208

附录	210
附录 1 FANUC 数控系统 G 代码、M 代码功能表	210
附录 2 华中数控系统 G 代码功能表	213
附录 3 数控铣床操作工国家职业标准	216
附录 4 数控车床操作工国家职业标准	220
参考文献	224



学习情境一

数控编程与加工基础

项目 1 数控机床坐标系和编程规则

1.1 技能解析

(1) 掌握数控机床坐标系概念, 包括坐标轴方向的确定及机床坐标系、工件坐标系、机床参考点的概念等。

(2) 掌握数控编程的步骤和内容、数控加工程序的结构格式、数控程序编制的规定, 以及程序段、字功能等。

(3) 掌握常用编程 M 功能指令和 G 功能指令的使用方法。

1.2 相关知识

1.2.1 数控机床的坐标系

1. 机床坐标系的定义

在数控机床上加工零件时, 刀具与工件的相对运动必须在确定的坐标系中才能按编制的程序进行加工。刀具的每一个位置必须参照某一个基准点, 准确地用坐标描述, 这个基准点称为坐标系原点, 再根据原点和坐标轴建立相应的机床坐标系。

数控加工之前, 必须建立适当的坐标系, 数控机床用户、数控机床制造厂及数控系统生产厂家必须有一个统一的标准建立和使用坐标系。

2. 右手笛卡尔坐标系

在 ISO 标准中统一规定采用右手直角笛卡尔坐标系对机床的坐标系进行命名。机床坐标轴的命名方法如图 1-1 所示。右手的拇指、食指和中指互相垂直, 其三个手指所指的方向分别为 X 轴、Y 轴和 Z 轴的正方向。绕 X、Y、Z 轴的转动轴用字母 A、B、C 表示, 其转动的正方向用右手螺旋法则确定, 如图 1-1 所示。

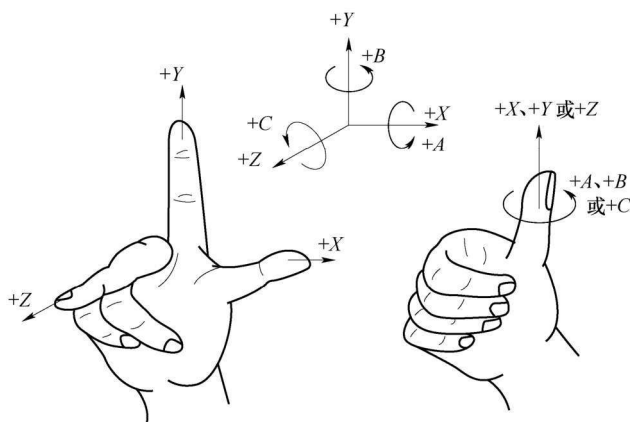


图 1-1 右手笛卡尔坐标系

3. 数控机床坐标轴及方向的确定

标准规定：机床某部件运动的正方向，是增大工件与刀具之间距离的方向，坐标轴确定顺序为先确定 Z 轴，再确定 X 轴，最后确定 Y 轴。

1) Z 轴的确定

Z 坐标轴是由传递主切削动力的主轴所决定的，一般平行于数控机床主轴轴线的坐标轴即为 Z 坐标轴， Z 坐标轴的正方向为刀具离开工件的方向。如图 1-2 所示。

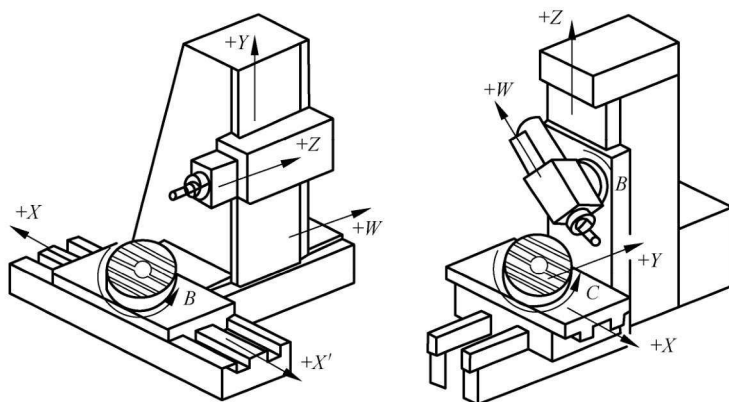


图 1-2 与主轴所在轴线方向一致的为 Z 轴

2) X 坐标轴

X 坐标轴通常平行于工件的装夹平面，一般在水平面内。确定 X 轴的方向时，要考虑两种情况：

(1) 如果工件做旋转运动（车床）， X 轴在工件的径向，且刀具离开工件的方向为 X 坐标轴的正方向。图 1-3 所示为数控车床的 X 坐标轴。

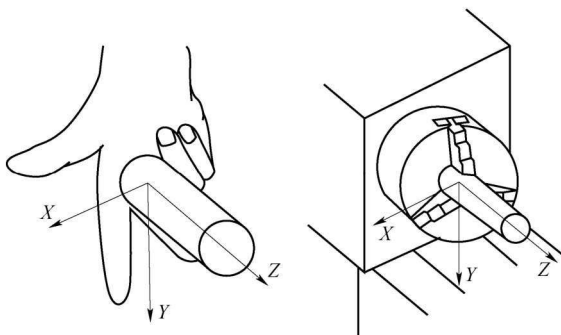


图 1-3 数控车床的坐标系

(2) 如果刀具做旋转运动，则又分为两种情况：当 Z 坐标轴垂直，观察者面对刀具主轴向立柱看时， $+X$ 运动方向指向右方，图 1-4 所示为立式数控铣床的 X 坐标轴；当 Z 坐标轴水平，观察者沿刀具主轴正方向看（ Z 轴正向）， $+X$ 向指向左侧（用右手笛卡尔坐标系判定），图 1-5 所示为立式数控铣床的 X 坐标轴。

3) Y 坐标轴

在确定了 X 、 Z 坐标轴的正方向后，可以根据 X 和 Z 坐标轴方向，按照右手笛卡尔坐标系规则来确定 Y 轴，如图 1-4 和图 1-5 所示。

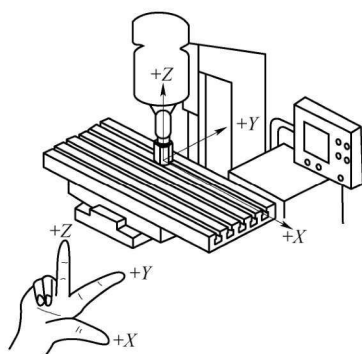


图 1-4 立式数控铣床的坐标系

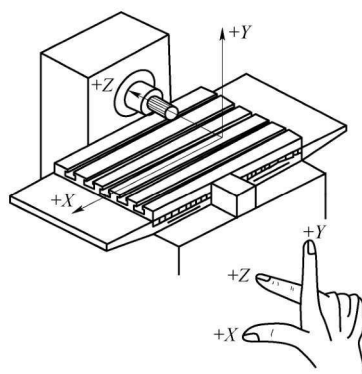


图 1-5 卧式数控铣床的坐标系

4. 常见数控机床的坐标系

图 1-6 所示为常见数控机床的坐标系。

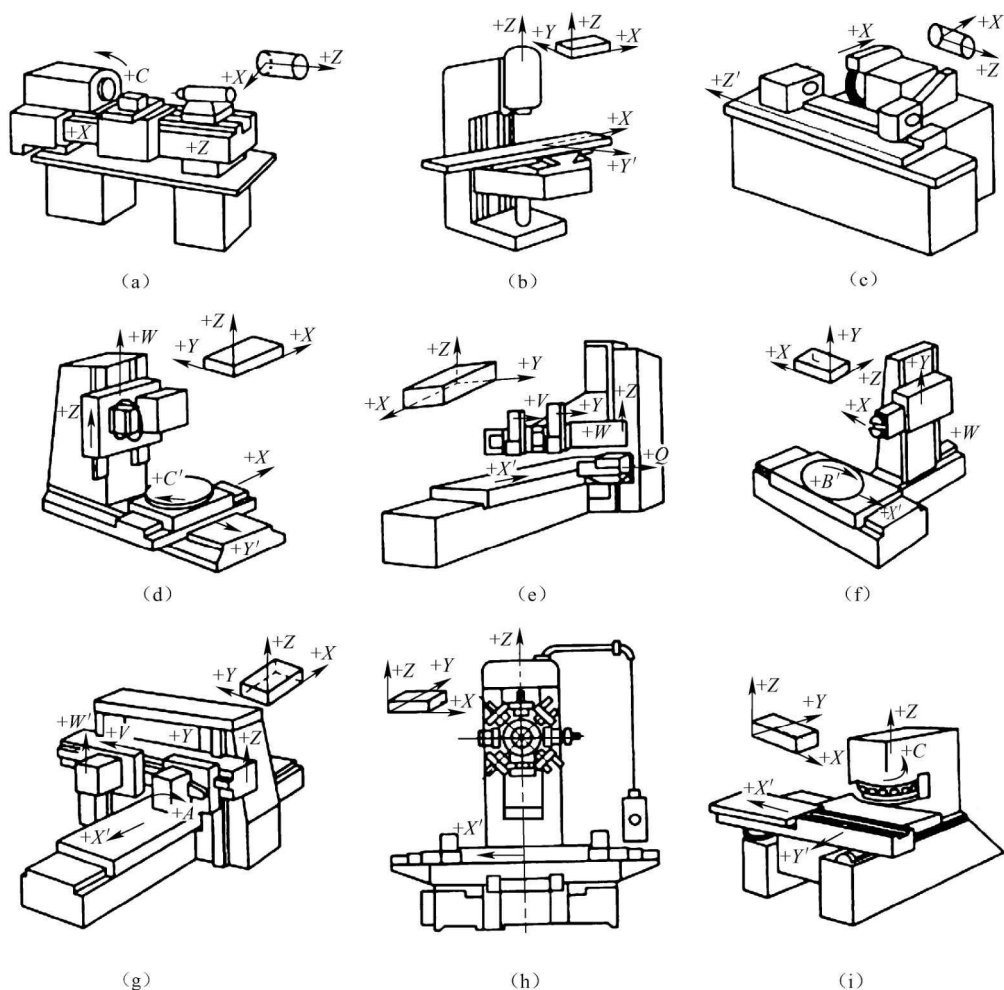


图 1-6 常见数控机床的坐标系

(a) 卧式数控车床；(b) 立式升降台数控铣床；(c) 数控外圆磨床；(d) 五坐标摆动铣头数控铣床；(e) 悬臂数控刨床；
(f) 卧式数控镗铣床；(g) 数控龙门铣床；(h) 数控水平转塔钻床；(i) 数控立式冲床

5. 对于运动方向的规定

标准规定，刀具远离工件的方向为正方向。对于工件运动而不是刀具运动的机床，用带“'”的字母表示，如 X' 表示工件相对于刀具的正向运动指令，即“ $X'=-X, Y'=-Y, Z'=-Z$ ”，这样规定之后，程序员在编程时不必考虑具体的机床上是工件固定还是工件移动进行的加工，而是永远假设工件固定不动，刀具相对于工件移动来决定机床坐标的正方向。

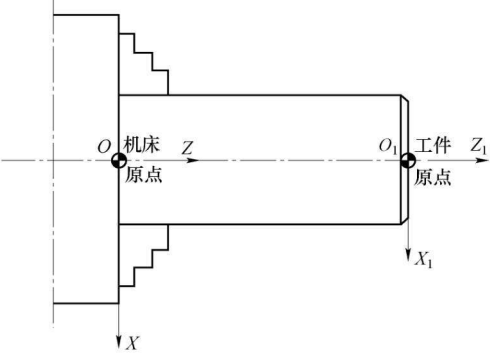


图 1-7 数控车床的原点

6. 机床坐标系与工件坐标系

1) 机床坐标系与机床原点

数控机床坐标系是机床的基本坐标系，机床坐标系的原点也称机械原点或零点，这个零点是机床固有的点，由生产厂家事先确定，不能随意改变，它是其他坐标系和机床内部参考点的出发点。不同数控机床坐标系的零点也不同。数控车床的机械零点在主轴前端面的中心上，如图 1-7 所示。

数控铣床的机械原点，因生产厂家而异，其一般位于坐标轴的最大极限点，如图 1-8 所示。

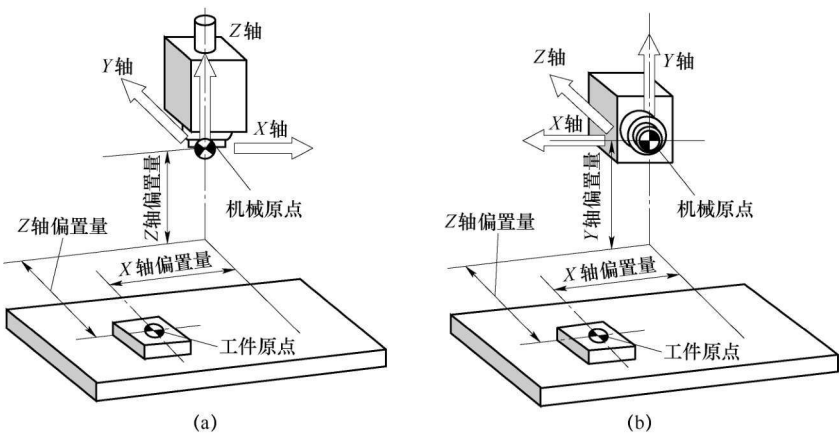


图 1-8 数控铣床的机械原点与工件原点

(a) 立式数控铣床的原点偏置；(b) 卧式数控铣床的原点偏置

2) 机床坐标系与机床参考点

机床参考点是大多数数控机床所必须具有的，它是在数控机床工作区确定的一个点，与机床原点有确定的尺寸联系。参考点在各轴以硬件方式用固定的凸块和限位开关实现。机床通电后，如果移动件（刀架或工作台）进行返回参考点的操作，则数控装置通过移动件（刀架或工作台）返回参考点后确认出机床原点的位置，数控机床也就建立了机床坐标系。

数控铣床的参考点一般与机械原点重合，如图 1-8 所示。数控车床的参考点在坐标值的最大极限位置，如图 1-9 所示。

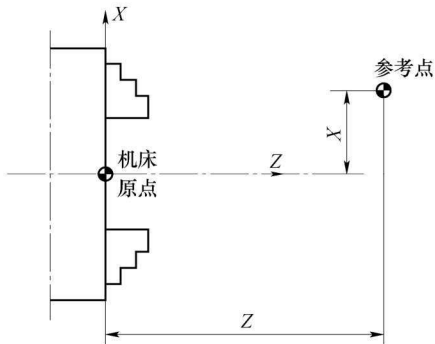


图 1-9 数控车床的机械原点与工件原点

3) 工件坐标系与工件原点

工件坐标系是编程人员使用的,以图纸上的某一点为原点所建立的坐标系。一般工件坐标系与机床坐标系的坐标轴要平行且方向一致,其原点也称为工件原点、编程原点。图 1-7 所示为数控车床的工件原点,图 1-8 所示为数控铣床的工件原点。

1.2.2 数控程序的编制、结构与功能

1. 数控编程的定义、内容和方法

1) 编程定义

把零件的加工工艺路线、工艺参数、刀具的运动轨迹、位移量、切削参数(主轴转数、进给量、背吃刀量等)以及辅助功能(换刀,主轴正转、反转,切削液开、关等),按照数控系统规定的指令代码及程序格式编写成加工程序,再把这一程序中的内容输入到数控机床的数控系统中,从而指挥机床加工零件。这种从零件分析到形成数控加工程序的全部过程叫数控编程。

2) 编程内容

零件图样分析→工艺过程确定→数值的计算→程序的编写→程序的校核并试切。

3) 编程的方法

(1) 手工编程。

① 定义:数控加工程序编制的各个阶段均由人工完成的编程方法,称为手工编程。

② 方法:一般都采用 ISO 数控标准代码和指定格式进行程序编写,然后通过操作键盘送入数控系统内,再进行调试和修改等。

③ 特点:方便、实用,不受条件限制,人工完成编程各阶段工作。

④ 缺点: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。

⑤ 适用:零件轮廓形状(无非圆曲线、曲面)较简单。

(2) 自动编程。

① 定义:除了分析图样和制定工艺方案由人工进行外,由计算机完成程序编制中的大部分或全部工作的编程方法,称为自动编程。

② 方法:

a. 用编程语言编程,它是利用计算机和相应的前置、后置处理程序对零件源程序进行处理,以得到加工程序的一种编程方法。

b. 对于复杂的三维问题可用 CAD/CAM 编程软件进行,如 UG、MASTERCAM、CAXA 制造工程师、中望 3D 软件等,目前较多地采用了计算机 CAD / CAM 图形交互式自动编程。

③ 过程: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。其数学处理、编写程序和检验程序等工作是由计算机自动完成的。

④ 特点:计算机自动编程代替程序编制人员完成了烦琐的数值计算,可极大地提高编程效率,因此解决了手工编程无法解决的许多复杂零件的编程难题。因而,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。

2. 数控加工程序的结构、格式与功能

程序的组成与结构:一个完整的数控加工程序由程序号、程序内容和程序结束三部分组成。