

DOUZHOU SHUKONG JIAGONG ZHONGXIN
BIANCHENG YU JIAGONG JISHU

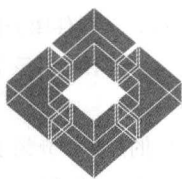
张喜江 编著

多轴数控加工中心

编程与加工技术



化学工业出版社



多轴数控加工中心 编程与加工技术

张喜江 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书从多轴加工中心（主要针对4轴、5轴）的编程基础讲起，详细介绍了多轴加工零件时UG NX软件的编程、后置处理定制、多轴零件的Vericut软件的仿真、多轴加工中心的具体操作和加工。书中通过许多典型案例详细阐述多轴加工的编程与操作实用技能，案例按照多轴零件的实际加工过程，从零件图分析、制定工艺过程、机床操作、编程、加工仿真，到机床加工的流程来安排。为了便于拓展学习，书中附录了很多4轴、5轴零件图。随书光盘中，附带各种类型机床的仿真项目，供读者练习编程使用。

在本书的案例中，提供了笔者多年来多轴加工中的经验，侧重介绍多轴加工中心机床的加工，介绍了如何通过最优的对刀方法来简化编程操作，或通过编程手段来简化对刀操作，从而实现最优的多轴加工工艺。

本书可作为各工厂、企业从事多轴加工的培训教材，适用于多轴加工编程及仿真应用的中、高级用户，可作为各类中、高职高专院校的机械、模具、机电及相关师生教学培训的教材和作为应用型本科工程训练培训的教材。

图书在版编目（CIP）数据

多轴数控加工中心编程与加工技术/张喜江编著. —北京：
化学工业出版社，2014.1

ISBN 978-7-122-18839-7

I. ①多… II. ①张… III. ①数控机床加工中心-程序设计②数控机床加工中心-加工 IV. ①TG659

中国版本图书馆CIP数据核字（2013）第256517号

责任编辑：张兴辉

文字编辑：张绪瑞

责任校对：蒋宇

装帧设计：王晓宇

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011）

印刷：北京永鑫印刷有限责任公司

装订：三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张14 1/2 字数358千字 2014年2月北京第1版第1次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899

网 址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：58.00元

版权所有 违者必究

前 言

近年来，随着我国国民经济的迅速发展，4轴、5轴联动机床不仅在军工企业得到普及，在中小企业也开始普遍装备多轴机床。针对不同的客户需求，市场上出现了种类繁多的多轴机床，从低端的5轴雕刻机到高档的进口5轴机床，如同雨后春笋般地出现在各类机械加工企业中。作为数控加工的辅助工具，CAM编程软件也纷纷推出多轴编程模块以适应多轴加工的需求。为适应社会需求，大量从事数控加工的技术人员学习5轴编程与操作技术。本书就是在这种背景下，结合编著者长期从事数控加工生产与教学经验编写的。

本书从多轴加工中心的编程基础讲起，详细介绍了多轴加工零件时UG NX软件的编程、后置处理定制、多轴零件的Vericut软件的仿真、多轴加工中心的具体操作和加工，这里多轴主要是针对目前制造业5轴、6轴加工中心而言的。同时，书中通过几个典型案例进一步阐述了多轴加工的编程与操作技术。案例按照多轴零件的实际加工过程，从零件图分析、制订工艺过程、机床操作、编程、加工仿真，到机床加工的流程来安排。多轴加工技术具有很强的系统连贯性，特别是5轴编程涉及很多方面的知识。为便于读者系统学习多轴加工技术，本书以典型零件的实际加工流程为主线，通过零件的工艺分析、机床操作、编程、虚拟仿真等环节来详细介绍了4轴、5轴加工的编程与操作。

为了便于拓展学习，书中附录了很多4轴、5轴零件图。随书光盘中，包括各种类型机床的仿真项目，书中所有案例配有Vecicut项目文件，部分项目配有UG后处理文件，提供图纸或实体文件，供读者练习编程使用。

在本书的案例中，提供了笔者多年来多轴加工中的经验，侧重介绍多轴加工中心机床的加工，介绍了如何通过最优的对刀方法来简化编程操作，或通过编程手段来简化对刀操作，从而实现最优的多轴加工工艺。

本书可作为各工厂、企业从事多轴加工的培训教材，适用于多轴加工编程及仿真应用的中、高级用户，可作为各类中、高职高专院校的机械、模具、机电及相关师生教学培训的教材和作为应用型本科工程训练培训的教材。

由于5轴数控系统的控制功能不断增加和完善，CAD/CAM软件也不断地推出更新更高档的版本，因此多轴加工工艺也在不断地更新、完善当中。限于编者水平，书中不妥之处，欢迎读者提出宝贵意见。

编著者

作者简介

张喜江，2006年获全国数控大赛加工中心教师组全国第一名，全国五一劳动奖章、全国技术能手、燕赵技能大奖、燕赵金牌技师、石家庄市管专业技术拔尖人才等荣誉称号

从1995年开始从事5轴、4轴数控加工中心的编程、操作工作，有丰富加工经验、技巧；1996年~2004年在石家庄拖拉机厂从事4轴、5轴加工中心的编程与操作工作，熟悉复杂机械零件的加工工艺过程，使用的编程工具包括宏程序、制造工程师CAXA、UG和仿真工具Vericut软件。

2004年至今在石家庄市职业技术教育中心从事一线教学工作，数控专业学科带头人，石家庄市学科名师。曾带领学生多次参加国家级数控技能竞赛，有着丰富的技能教学经验，先后有1名学生获全国第一名，1名学生获全国第4名，1名学生获全国第6名，1名学生获全国第9名。

目 录

第 1 章 多轴加工的相关基础知识介绍	1
1.1 常见多轴加工中心机床种类及加工特点	1
1.2 机床坐标系	4
1.3 多轴加工中心的对刀	6
1.3.1 相对对刀与绝对对刀	6
1.3.2 常见对刀工具	6
1.4 5 轴编程的高档功能 RTCP 与 RPCP	8
1.4.1 RTCP 应用介绍	9
1.4.2 RPCP 应用介绍	10
第 2 章 立式 4 轴加工中心的操作、编程与仿真	12
2.1 立式 4 轴加工中心操作与编程基础	12
2.1.1 4 轴加工中心的坐标系统	12
2.1.2 工件装夹	13
2.1.3 立式 4 轴加工中心的对刀	13
2.1.4 FANUC0i 系统 4 轴编程指令	13
2.2 UG CAM 软件的 4 轴编程	14
2.3 CAM 软件的 4 轴加工中心后处理定制	15
2.3.1 数据准备	15
2.3.2 定制后处理	15
2.4 4 轴零件的软件仿真	20
2.4.1 Vericut 界面介绍	20
2.4.2 传动轴零件的孔加工工艺	20
2.4.3 4 轴加工中心仿真流程	20
第 3 章 4 轴加工的典型案例	24
3.1 案例 1 简易箱体的 4 轴加工	24
3.1.1 零件加工工艺	24
3.1.2 对刀	25
3.1.3 使用 UG 编程	26
3.1.4 使用 Vericut 仿真切削过程	33
3.2 案例 2 偏心轴加工	36
3.2.1 零件加工工艺	36
3.2.2 对刀	37

3.2.3	UG 编程	38
3.2.4	使用 Vericut 仿真切削过程	44
3.2.5	仿真	45
3.3	案例 3 圆柱凸轮加工	46
3.3.1	零件加工工艺	46
3.3.2	对刀	47
3.3.3	编程方法一	47
3.3.4	使用 Vericut 仿真切削过程	53
3.3.5	编程方法二(手工编程)	54
3.3.6	编程方法三	58
3.4	案例 4 桨叶加工	78
3.4.1	零件加工工艺	78
3.4.2	对刀	78
3.4.3	UG 编程	80
3.4.4	使用 Vericut 仿真切削过程	102
第 4 章	5 轴双转台加工中心的操作、编程与仿真	104
4.1	5 轴双转台加工中心操作、编程基础	104
4.1.1	5 轴机床坐标系	104
4.1.2	工件装夹	105
4.1.3	对刀	105
4.2	UG 5 轴编程	106
4.2.1	用于定位加工的操作	106
4.2.2	用于 5 轴联动加工的操作	106
4.2.3	刀轴控制	106
4.3	UG 5 轴双转台加工中心后处理定制	107
4.3.1	搜集机床数据	107
4.3.2	定制后处理	108
4.4	5 轴零件的加工流程	111
4.4.1	工艺分析	111
4.4.2	机床操作	112
4.4.3	UG 编程	113
4.4.4	Vericut 仿真	116
第 5 章	5 轴加工的典型案例	121
5.1	案例 1 壳体	121
5.1.1	壳体零件的工艺分析	121
5.1.2	对刀	122
5.1.3	使用 UG 编程	124
5.1.4	加工仿真	137

5.2	案例 2 桨叶加工	140
5.2.1	零件加工工艺	140
5.2.2	对刀	142
5.2.3	使用 UG 编程	142
5.2.4	使用 Vericut 仿真切削过程	156
5.3	案例 3 叶轮加工	157
5.3.1	零件加工工艺	157
5.3.2	对刀	157
5.3.3	使用 UG 编程	158
5.3.4	使用 Vericut 仿真切削过程	171
第 6 章	其他五轴加工中心的操作与编程案例	172
6.1	案例工艺分析	172
6.1.1	零件分析	172
6.1.2	工件装夹	172
6.1.3	刀具选择	173
6.1.4	UG 编程	173
6.2	双摆头 5 轴加工中心机床加工案例	173
6.2.1	对刀	173
6.2.2	定制后处理	174
6.2.3	UG 编程	178
6.2.4	Vericut 仿真切削过程	179
6.3	一转台一摆头 5 轴加工中心机床加工案例	181
6.3.1	确定刀具长度和工件在机床中的位置	181
6.3.2	定制后处理	181
6.3.3	UG 编程	185
6.3.4	Vericut 仿真切削过程	186
6.4	非正交双转台 5 轴加工中心机床加工案例	187
6.4.1	对刀	187
6.4.2	定制后处理	188
6.4.3	UG 编程	189
6.4.4	Vericut 仿真切削过程	190
6.5	非正交双摆头 5 轴加工中心机床加工案例	191
6.5.1	选择刀柄, 装夹刀具, 并测量刀具长度	191
6.5.2	定制后处理	191
6.5.3	UG 编程	194
6.5.4	Vericut 仿真切削过程	196
6.6	非正交一转台一摆头 5 轴加工中心机床加工案例	197
6.6.1	确定刀具长度和工件在机床中的位置	197
6.6.2	定制后处理	197

6.6.3	UG 编程	200
6.6.4	Vericut 仿真切削过程	201
6.7	带 RTCP 功能的双摆头 5 轴加工中心机床加工案例	202
6.7.1	零件加工工艺	202
6.7.2	定制后处理	203
6.7.3	UG 编程	203
6.7.4	Vericut 仿真切削过程	204
6.8	带 RPCP 功能的双转台 5 轴加工中心机床加工案例	206
6.8.1	零件加工工艺	206
6.8.2	定制后处理	207
6.8.3	使用 UG 编程	208
6.8.4	Vericut 仿真切削过程	208
6.9	德马吉 DMC_DMU50 双转台 5 轴加工中心加工案例	209
6.9.1	零件加工工艺	210
6.9.2	定制后处理	210
6.9.3	使用 UG 编程	215
6.9.4	Vericut 仿真切削过程	215
附录 零件加工练习		217
附录 1 4 轴零件加工练习		217
附录 2 5 轴零件加工练习		220
参考文献		224

第 1 章

多轴加工的相关基础知识介绍

1.1 常见多轴加工中心机床种类及加工特点

通常所说的多轴铣床包括 4 轴加工中心、5 轴加工中心、5 轴车铣复合机床,本课程主要介绍 4 轴加工中心、5 轴加工中心机床的编程与操作技术。多轴机床种类很多,它们具有不同的机械结构,不同的加工特点。5 轴数控机床配套的数控系统,常见的有海德汉、西门子、法那科、华中等系统,为适应多轴加工编程的需要,几乎所有的数控系统都开发了和多轴加工相适应的特殊循环指令或循环。对于 5 轴编程熟悉这些特殊指令或循环,无论手工编程还是 CAM 编程,都是非常必要的、重要的工作。只有充分了解多轴机床的结构特点,熟悉数控系统编程指令,才能充分发挥多轴机床的加工特点,更好地完成加工任务。发达国家在数控加工领域已经大量采用多轴机床,即使在 3 轴铣床上可以加工的零件,为提高加工效率和加工精度,也要在 5 轴(或 4 轴)机床上加工。

(1) 4 轴卧式加工中心(图 1-1)

加工特点:通常用于箱体、支架类零件加工,主要加工大、中型零件。卧式加工中心一般带有交换工作台、大容量刀库,便于复杂零件的批量加工,减少加工辅助时间。



图 1-1 4 轴卧式加工中心

(2) 4 轴立式加工中心 (图 1-2)

加工特点: 通常由 3 轴加工中心附加回转工作台 (图 1-3) 组成, 可使用尾座顶尖, 便于轴类零件的铣削。立式加工中心的刀库容量一般不超过 30 把, 常用于小型零件、细长零件的铣削。

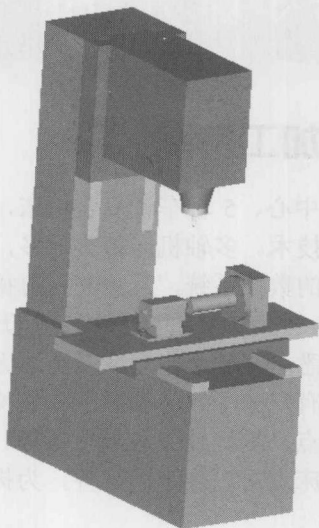


图 1-2 4 轴立式加工中心

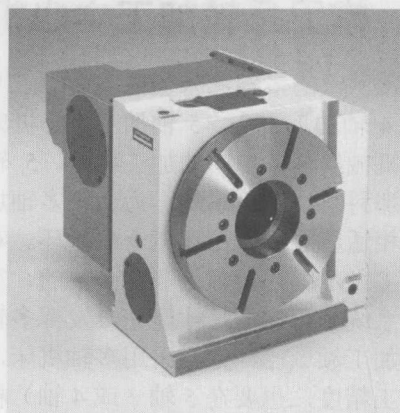


图 1-3 回转工作台

(3) 5 轴双转台加工中心 (图 1-4)

加工特点: 适用于加工小型、轻型工件, 工艺性较好, 能较好完成孔的钻、扩、铰、镗、攻螺纹等加工。常用于复杂箱体、精密机械零件、模具的加工。经济型 5 轴双转台加工中心通常由 3 轴加工中心附加 A、C 轴回转工作台 (图 1-5) 组成, 常用于加工精度要求不高的小型零件。

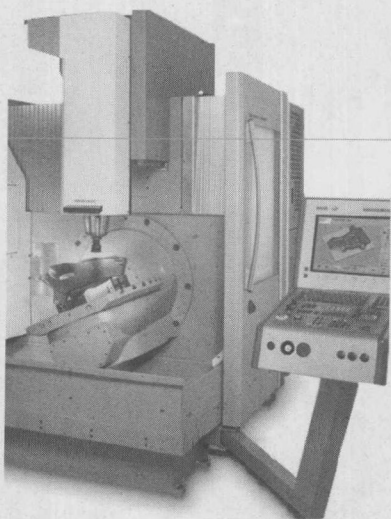


图 1-4 5 轴双转台加工中心

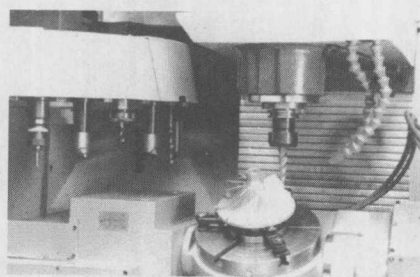


图 1-5 回转工作台

(4) 5 轴双摆动主轴头 (图 1-6)

加工特点：适用于大型、重型工件。机床结构一般为龙门式，常用于大型模具、飞机机翼等的加工。



图 1-6 5 轴双摆动主轴头

(5) 5 轴旋转工作台+摆动主轴头 (图 1-7)

加工特点：由于减少了旋转轴、摆动轴的叠加，提高了机床刚性。适合叶轮、支架类中小型零件加工。

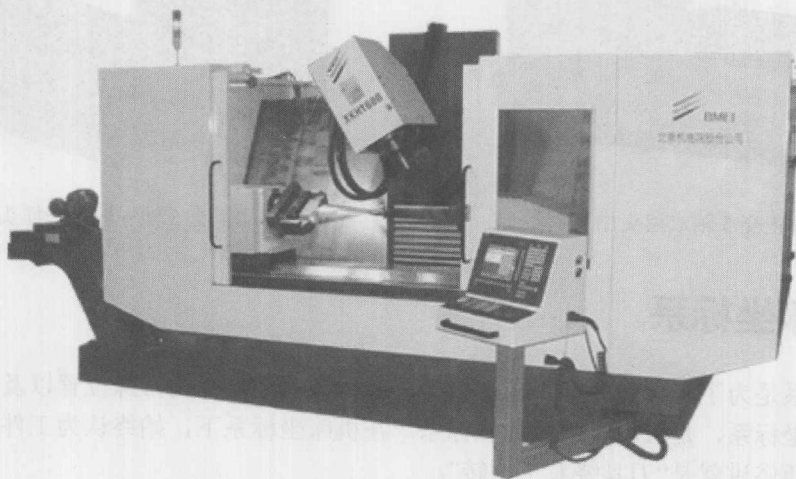


图 1-7 5 轴旋转工作台+摆动主轴头

(6) 非正交 5 轴加工中心

非正交 5 轴加工中心由于机床结构的特殊性,使得机床整体结构紧凑、操作灵活、刚性较好。常见的非正交机床有:非正交 5 轴双转台加工中心,见图 1-8;非正交 5 轴双摆头加工中心,见图 1-9;非正交 5 轴一转台一摆头加工中心,见图 1-10。这些特殊结构的 5 轴机床,都是为适应某一类产品的加工要求开发的。选择合适的机床,是多轴编程的第一步,熟悉每种机床的加工特点,是 5 轴加工的基础。

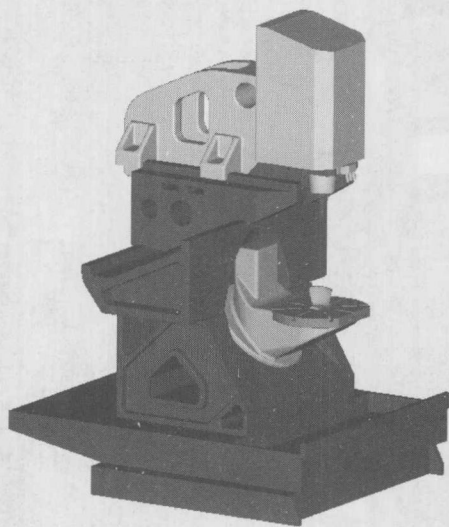


图 1-8 非正交 5 轴双转台加工中心

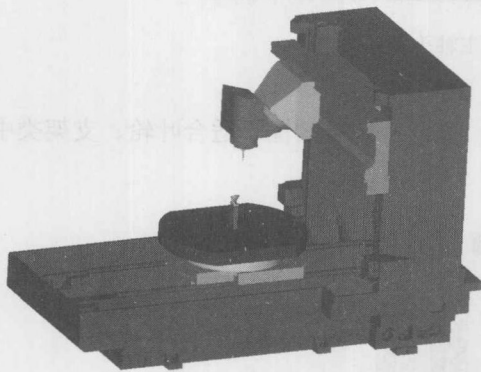


图 1-9 非正交 5 轴双摆头加工中心

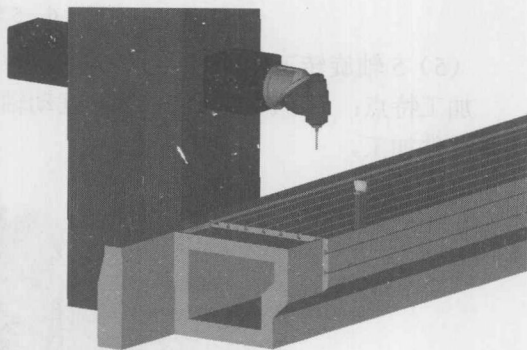


图 1-10 非正交 5 轴一转台一摆头加工中心

1.2 机床坐标系

机床坐标系是为了确定工件在机床上的位置、机床运动部件的特殊位置以及运动范围等而建立的几何坐标系,是机床上固有的坐标系。在机床坐标系下,始终认为工件静止,而刀具是运动的,通俗讲就是“刀具绕着工件转”。

标准机床坐标系采用右手直角笛卡儿坐标系,其坐标命名为 X 、 Y 、 Z ,常称为基本坐标系,如图 1-11 所示。其规定遵循右手定则,伸出右手的大拇指、食指和中指,并互相垂直,

则大拇指的指向为 X 坐标的正方向, 食指的指向为 Y 坐标的正方向, 中指的指向为 Z 坐标的正方向。围绕 X 、 Y 、 Z 坐标轴或与 X 、 Y 、 Z 坐标轴平行的坐标轴线旋转的圆周进给坐标分别用 A 、 B 、 C 表示, 根据右手螺旋定则, 大拇指的指向为 X 、 Y 、 Z 坐标中任意一轴的正向, 则其余四指的旋转方向即为旋转坐标 A 、 B 、 C 的正向, 如图 1-11 所示。

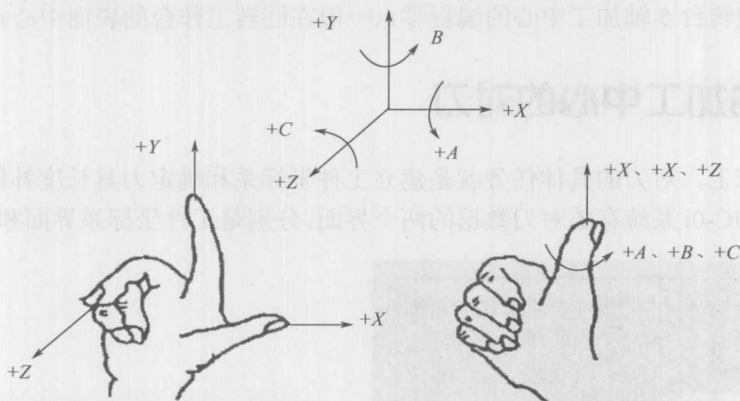


图 1-11 机床坐标系

了解多轴加工中心机床上的几个特征点, 有助于更好地理解坐标系。

(1) 机床参考点

机床参考点由机床厂家设定, 不允许用户修改。对于半闭环机床通常是在参考点处安装行程开关, 对于闭环机床则是在光栅尺上标记一个特殊的刻度作为参考点。通常在数控机床床上, 机床参考点与机床原点是重合的, 这时的返回参考点操作也可称之为“回零”。

(2) 机床原点

机床坐标系的原点称为机床零点, 机床零点是机床上的一个固定点, 一般由制造厂家确定, 它是其他所有坐标系, 如工件坐标系、编程坐标系的基准点。用户只有经过厂家授权才可调整机床零点, 机床零点的设定, 是通过调整机床参数, 从而使机床零点和机床上的某个特征点重合。机床零点的设置一般遵循两个原则: 一是简化机床操作, 提高操作灵活性; 二是保证机床运行具有较高的安全性。

(3) 刀长基准点

测量刀具真实长度的点, 通常在主轴端面 and 主轴轴线的交点, 如图 1-12 所示。

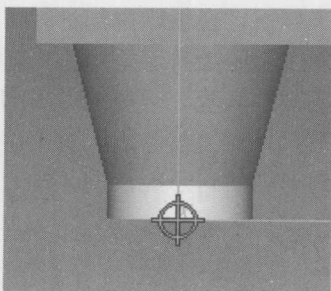


图 1-12 刀长基准点

(4) 工件零点

工件坐标系是用于确定工件几何要素(点、直线、圆弧)的位置而建立的坐标系, 工

件坐标系的零点即工件零点。工件零点的设置应遵循以下原则：简化编程、便于对刀。

立式4轴加工中心的编程零点一般在第4轴的轴线和回转工作台表面的交点。

立式双旋台5轴加工中心的编程零点一般在第4轴的轴线和第5轴轴线的交点。

双摆头5轴加工中心的编程零点一般在工件上的某个特征点，设定原则类似3轴机床。

一摆头一旋转台5轴加工中心的编程零点一般在回转工作台的表面中心点。

1.3 多轴加工中心的对刀

在数控机床上，对刀的具体任务就是建立工件坐标系和确定刀具长度补偿值。图1-13、图1-14是FANUC-0i系统存放对刀数据的两个界面，分别是工件坐标系界面和刀具补偿界面。

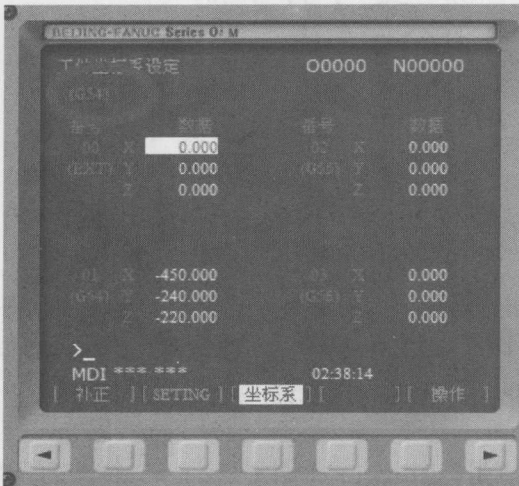


图 1-13 工件坐标系界面

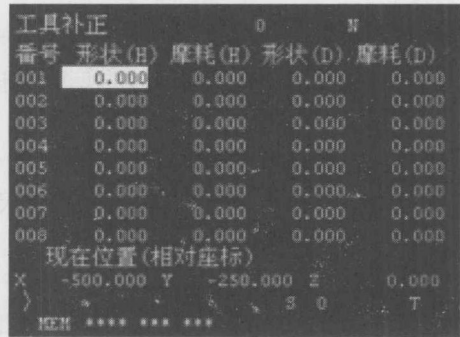


图 1-14 刀具补偿界面

1.3.1 相对对刀与绝对对刀

相对对刀，是指直接确定刀尖与工件零点的相对位置的一种对刀方法，直接测出图1-15中所示的刀具长度补偿即可。

绝对对刀，则要分2步，首先确定工件零点相对于机床零点的位置，再确定刀尖点相对于刀长基准点的长度。如图1-16所示，要分别测出刀具长度和工件坐标系偏置。

采用相对对刀，要在工件装夹好后，在机床内部进行，需要占用一定的加工辅助时间。但是由于操作简单，在立式4轴加工中心上普遍采用相对对刀。采用绝对对刀，可以减少对刀次数，降低对刀失误所带来的加工风险。采用绝对对刀方式，通常要配备光学对刀仪，以减少机床加工辅助时间，如果有机内对刀仪，那么对刀将变得非常轻松。

在高档机床上，一般采用绝对对刀。对于经济型4轴、5轴机床，一般采用相对对刀。

1.3.2 常见对刀工具

(1) 对刀棒

可用于确定编程零点的X轴、Y轴、Z轴坐标偏置和刀具长度补偿。一般采用直径是整数的圆柱销，亦有用对刀块来代替对刀棒的。对刀棒价格低廉，使用方便，广泛应用于小型加工企业。

例如φ10、φ6的对刀棒和8×8的对刀块。

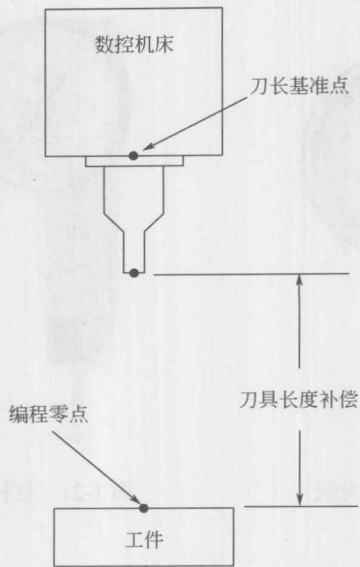


图 1-15 相对对刀

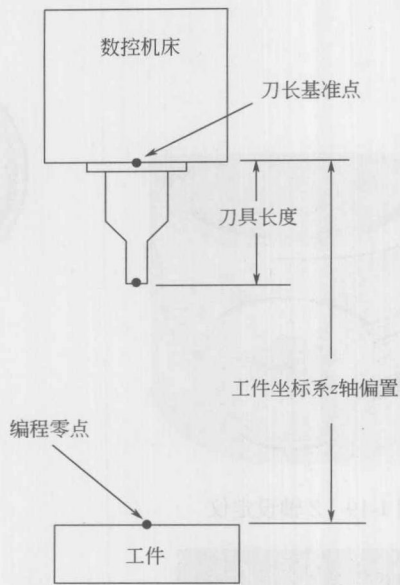


图 1-16 绝对对刀

(2) 寻边器

用来确定编程零点的 X 轴、 Y 轴坐标偏置。由于寻边器有一定的缓冲距离，对刀安全系数要比对刀棒高，操作要求比对刀棒低。常见的寻边器有光电式寻边器（图 1-17）和机械式寻边器（图 1-18）。

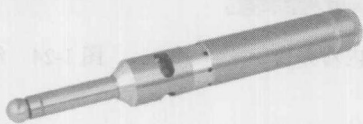


图 1-17 光电式寻边器

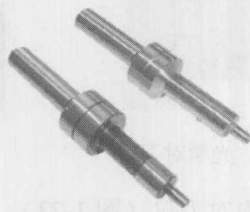


图 1-18 机械式寻边器

(3) Z轴设定仪

用来测量刀具长度补偿。由于 Z 轴设定仪有一定的缓冲距离，对刀安全系数要比对刀棒高，操作要求比对刀棒低，见图 1-19。

(4) 百分表

用来测量工件编程零点的 X 轴、 Y 轴、 Z 轴坐标偏置，见图 1-20。

(5) 杠杆表

杠杆表的功能同百分表，用来测量狭小区域的位置。

例如测量孔心的坐标，沟槽的坐标，见图 1-21。

(6) 光学对刀仪（图 1-22）

在绝对对刀方式中，光学对刀仪用于确定刀具长度。在使用前要使用标准长度的验棒进行校对，以确保刀具长度的准确性。

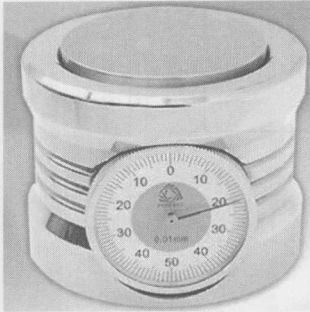


图 1-19 Z轴设定仪

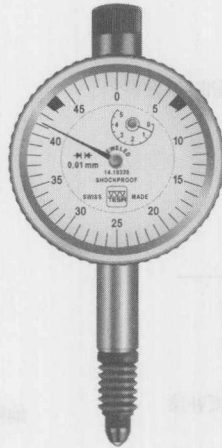


图 1-20 百分表

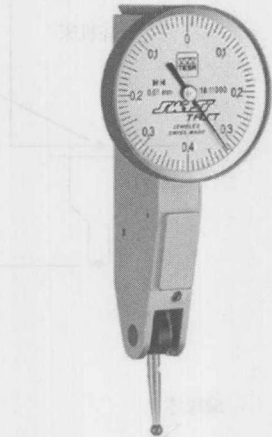


图 1-21 杠杆表

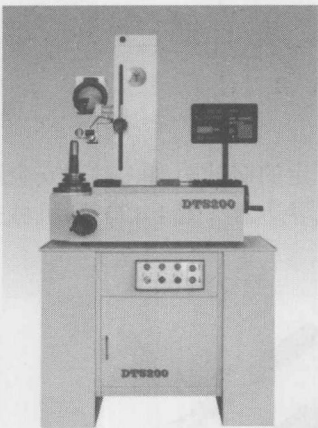


图 1-22 光学对刀仪



图 1-23 机内对刀仪

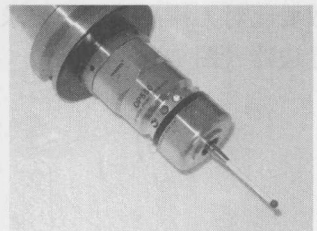


图 1-24 红外测头

(7) 机内对刀仪 (图 1-23)

通过调用对刀程序，数控系统自动测量刀具长度，并输入到指定的长度补偿寄存器中。机内对刀的出现，降低了操作工人的劳动强度，减少了人为的对刀失误，进一步提高了数控机床的加工效率。机内对刀是数控加工的发展方向，中高档加工中心大都配备机内对刀仪。

(8) 红外测头 (图 1-24)

绝对对刀方式中，红外测头一般用来自动测量工件编程零点的坐标偏置。通常采用宏程序实现自动测量，并把对应的坐标偏置值输入到指定的寄存器中。

1.4 5轴编程的高档功能 RTCP 与 RPCP

5轴联动数控系统相对3轴数控系统增加了两个回转坐标，使得刀具轴线的控制更加灵活，从而保持最佳的切削状态，有效避免刀具干涉。5轴加工中心的功能更加强大，一次装卡就可以完成复杂箱体、异形曲面的加工。但是由于增加了两个回转坐标，使5轴联动的数学模型相对3轴联动的数学模型要复杂许多。因此，相对3轴数控系统，5轴数控系统也增