

英国Delcam(中国)有限公司正式授权培训教材



PowerMILL

多轴数控加工编程

实例与技巧

朱克忆 编著



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

附赠学习光盘,
含语音讲解

英国 Delcam (中国) 有限公司正式授权培训教材

PowerMILL 多轴数控加工编程实例与技巧

朱克忆 编著



机械工业出版社

本书主要讲解 PowerMILL2012 四轴加工、五轴加工的编程方法、实例、技巧及后处理文件订制。全书分两篇展开,第 1 篇介绍 PowerMILL 多轴加工编程的基础知识,其中,第 1 章着重介绍多轴数控加工技术基础知识,包括多轴加工的定义、功能,多轴机床的分类、结构及其特点,并概述了 PowerMILL2012 的编程策略、特点及其优势;第 2 章集中介绍 PowerMILL 控制刀轴矢量的 10 种方法;第 3 章全面、详细地介绍 PowerMILL 提供的多轴加工编程专用策略;第 4 章介绍了 PowerMILL 刀轴矢量编辑与校验。第 2 篇介绍具体零件多轴加工编程方法和技巧,其中,第 5 章介绍铣刀柄零件四轴数控加工编程;第 6 章介绍柱面上成形特征四轴数控加工编程;第 7 章介绍底座零件五轴定位数控加工编程;第 8 章介绍整体车模五轴定位数控加工编程;第 9 章介绍单叶片及整体叶轮五轴联动加工编程;第 10 章介绍五轴刻线钻孔加工及清角加工编程;第 11 章介绍多轴加工后置处理文件的修改与订制。为方便读者学习,本书附带了一张光盘,包含了书中所有的实例文件以及部分视频资料。

本书可作为大中专院校、技工学校和各类型培训班师生的教材使用,也可供机械加工企业、工科科研院所从事数控加工的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

PowerMILL 多轴数控加工编程实例与技巧/朱克忆编著. —北京:
机械工业出版社, 2013. 3
ISBN 978-7-111-41572-5

I. ①P… II. ①朱… III. ①数控机床—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 033282 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 周国萍 责任编辑: 周国萍

版式设计: 霍永明 责任校对: 王欣 刘雅娜

封面设计: 路恩中 责任印制: 邓博

三河市宏达印刷有限公司印刷

2013 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 21.75 印张 · 538 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-41572-5

ISBN 978-7-89433-814-3 (光盘)

定价: 68.00 元 (含 1CD)

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

策划编辑: (010) 88379733

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



关于本书叙述及使用过程中的一些约定

- 为简明描述，避免赘述，本书将“刀具路径”简称为“刀路”。
- PowerMILL 软件中的表格具有参数众多、集中度高的特点，在设置参数时，并不是每个参数都需作改动，因此，本书将有改动的参数用虚线椭圆框将它们标示出来，以便读者清楚要设置哪些参数，从而提高阅读效率。另外，有些参数设置时是有先后顺序之分的，书中用顺序号①、②、③……来标注说明。
- 关于切削用量的设置，要特别郑重地说明：不同的机床、刀具、夹具等组成的工具系统的刚性是不一样的，有些机床刚性好，而有些机床刚性要较差一些，因此，即便是加工同一个产品，不同的加工工厂所给定的切削用量都有可能不一样。本书的一部分加工实例设置的切削用量是作者所用的参数，还有一部分加工实例设置的切削用量则是从刀路计算速度更快这个角度出发来考虑的，例如精加工刀路计算公差设为 0.1mm，行距设为 2mm。在此，要特别提示读者，在实际编程过程中，一定要根据自身所处的实际加工条件来设置切削用量。
- 在本书中，有一部分对话框（或表格）的截图是不完整的，不需要更改参数的部分没有包括进来，这主要是为了节省版面。
- 在本书的例子中，大部分下切方式设置为“无”，这是为了更清楚地看到刀具路径的分布情况。而在实际加工中，初次下切方式以及后续的下切方式极为重要，根据所用刀具和工件材料的不同，一般会将下切方式设置为各种“斜向”下切方式，请读者务必注意这一点。
- 就编写五轴加工程序而言，给刀具添加实际的刀具夹持最好还包括机床主轴相当有必要。因为，相对于三轴刀路，五轴刀路发生刀具夹持与工件、工作台、夹具碰撞的可能性更大。因此，在本书的练习中，对刀具都添加了夹持，编著者建议读者将所用刀具夹持制作成数据库，以方便调用。
- 本书最后一章所介绍的多轴加工后处理文件并没有考虑到具体机床的功能，因此，读者不宜直接将该后处理文件用于实验或生产，而需要结合具体机床及数控系统作进一步修改。

前 言

在零（部）件多轴铣削加工领域，英国 Delcam 公司推出的 PowerMILL 软件是目前全球市面上广泛应用的 2~5 轴数控铣削加工自动编程系统。该软件具有安全性高、计算速度快、编程策略丰富、易学易用等鲜明的特色。

本书以编程实例为主，可以视作机械工业出版社已经出版的《PowerMILL 多轴数控加工编程实用教程》一书的姊妹篇，主要介绍在 PowerMILL2012 软件平台上，编制具体零件多轴数控加工刀具路径的思路、方法、操作步骤及相关技巧。

CAM 软件有大量的自学读者，这些读者往往不具备到学校学习的条件，那么在没有指导老师的情况下，一本编排讲究的自学教材就成了最合适的“老师”。本书在编写时，默认的阅读对象就是这些自学读者。所以，全书内容体系特别注意按照自学读者的学习思路来编排。例如，在展开实例的过程中，会告诉读者遇到什么问题？解决问题的思路是怎样的？哪种加工方式是最经济、最高效、加工质量最好的？写出软件实际运用的切身感受与体会，这是作为教材（尤其是主要面向自学者的教材）应关注的极为重要的一面。

说明书或操作手册不同于实例教材，这些资料只是对软件或机床功能的一个解释和说明，而没有站在使用者这个角度来思考问题。因此，在编著本书的过程中，一直十分注意联系工作实际。操作流程是怎样的？如何着手？要注意哪些问题？软件的、机床的、操作者的相关注意事项都是教材要涉及的。

由于编著者水平有限，书中难免存在一些错误和不妥之处，恳请各位读者在发现问题后告诉编著者，以便改正。

湖南大学 朱克忆

2013 年 3 月

电子邮件: keyizhu@163.com



关于本书叙述及使用过程中的一些约定

前言

第 1 篇 PowerMILL 多轴数控加工编程基础篇


第 1 章 多轴数控加工技术基础	2
1.1 多轴加工的基本概念和定义	2
1.2 多轴数控加工技术的特点	4
1.2.1 多轴数控加工技术的优势	4
1.2.2 多轴数控加工技术在应用中的不足之处	7
1.3 多轴联动数控机床的结构	7
1.4 多轴联动数控机床使用的数控系统	13
1.4.1 多轴联动数控机床数控系统须具备的功能	13
1.4.2 典型多轴联动数控机床用数控系统介绍	15
1.5 多轴加工使用的 CAM 软件及典型代表	16
1.6 PowerMILL 多轴加工编程功能及其优势	17
1.7 PowerMILL2012 多轴编程策略概述	19
1.8 多轴数控加工刀具路径及加工工艺	22
1.8.1 多轴数控加工刀具路径质量	22
1.8.2 高速多轴加工机床对刀具路径的要求	24
1.8.3 多轴数控加工工艺规划概述	24
1.8.4 典型零件多轴加工工艺	25
第 2 章 PowerMILL 刀轴矢量控制方法	28
2.1 刀轴矢量控制概述	28
2.2 前倾/侧倾	29
2.3 朝向点	35
2.4 自点	40
2.5 朝向直线	44
2.6 自直线	47
2.7 朝向曲线	50


2.8 自曲线	56
2.9 固定方向	62
2.10 自动	65
第3章 PowerMILL 多轴加工编程专用策略	67
3.1 点投影精加工策略	68
3.2 直线投影精加工策略	74
3.3 投影曲线精加工策略	85
3.4 平面投影精加工策略	91
3.5 曲面投影精加工策略	96
3.6 SWARF 精加工策略	111
3.7 参数螺旋精加工策略	128
3.8 流线精加工策略	131
第4章 PowerMILL 刀轴矢量编辑与校验	137
4.1 编辑刀轴矢量	137
4.2 刀轴限界与五轴机床加工校验	143
4.3 自动碰撞避让	151
4.4 刀轴矢量光顺	157
4.5 方向矢量	162
第2篇 PowerMILL 多轴数控加工编程实例篇	
第5章 铣刀柄零件四轴数控加工编程实例	168
5.1 数控编程工艺分析	168
5.2 详细数控编程步骤	170
第6章 柱面上成形特征四轴数控加工编程实例	179
6.1 旋转精加工策略	179
6.2 衣模零件四轴数控加工编程	181
6.3 带螺旋槽零件四轴加工编程	188
6.4 柱面上不规则结构四轴加工编程	192
第7章 底座零件五轴定位数控加工编程实例	201
7.1 五轴定位加工概述	202
7.2 用户坐标系的创建与编辑	203
7.2.1 PowerMILL 软件中各坐标系的概念	203
7.2.2 创建与编辑用户坐标系	204
7.3 单一朝向外侧面型腔零件五轴定位加工实例	206

7.4 不同朝向多外侧面型腔零件加工实例	219
第 8 章 整体车模五轴定位数控加工编程实例	242
8.1 整体车模加工概述	242
8.2 1:5 整体车模五轴数控加工编程实例	243
第 9 章 单叶片及整体叶轮五轴联动加工编程实例	270
9.1 单个叶片五轴数控加工编程实例	270
9.2 整体叶轮五轴联动加工编程	282
第 10 章 五轴刻线钻孔及清角加工编程实例	293
10.1 五轴刻线加工编程	293
10.2 五轴钻孔加工编程	299
10.3 五轴清角加工编程	305
第 11 章 多轴加工后置处理文件修改与订制	310
11.1 PowerMILL 后置处理过程	311
11.2 使用 PM-Post 后处理刀具路径	313
11.3 根据需要修改三轴机床选项文件	318
11.4 典型四轴数控加工中心后处理文件订制	328
11.5 典型五轴数控加工中心后处理文件订制	331
附录	338
附录 A PowerMILL 实用命令一览	338
附录 B 提高刀具路径安全性的措施	339
参考文献	340

第 1 篇

PowerMILL 多轴数控加工编程基础篇

 多轴数控加工技术基础 // 2

 PowerMILL 刀轴矢量控制方法 // 28

 PowerMILL 多轴加工编程专用策略 // 67

 PowerMILL 刀轴矢量编辑与校验 // 137

Chapter 1

第1章

多轴数控加工技术基础



本章要点

- 多轴数控加工的基本概念和定义
- 多轴联动数控加工机床、数控系统及 CAM 软件
- PowerMILL 在多轴联动加工编程应用中的优势
- 多轴加工刀具路径策略及质量评价
- 多轴加工工艺及典型零件加工工艺分析

在数控加工领域，位于三轴加工技术高层级的四轴加工技术、五轴加工技术已经广泛地应用于工厂实际生产中。在消费者对产品质量要求不断提高、制造业者对生产质量和效率提出新的更高的要求以及技术更新换代等一系列因素推动下，以高精度和高效率为典型技术特征的四轴和五轴数控加工技术正从其传统的应用领域——军工制造业、尖端精密制造业推广应用到民用产品的制造过程中。

1.1 多轴加工的基本概念和定义

1. 数控机床坐标轴的定义

要进行多轴加工的编程与操作，必须首先理解并牢固掌握数控机床各坐标轴的定义。标准的坐标系是一个右手笛卡儿坐标系，如图 1-1 所示。数控机床基本坐标轴为 X、Y、Z 三根直线运动轴，对应每一根直线运动轴的旋转运动轴分别用 A、B 和 C 轴来表示。

一般规定，Z 轴为平行于传递切削动力的机床主轴的坐标轴，Z 轴的正方向是增大工件与刀具距离的方向。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，且以此为正方向。Y 轴的运动则根据 X 和 Z 轴按右手法则确定。

如图 1-1 所示，绕 X、Y 和 Z 轴做旋转运动的旋转轴分别命名为 A、B 和 C 轴。A、B 和 C 轴的正方向相应地表示在 X、Y 和 Z 坐标轴正方向上，按照右手螺旋前进方向确定。

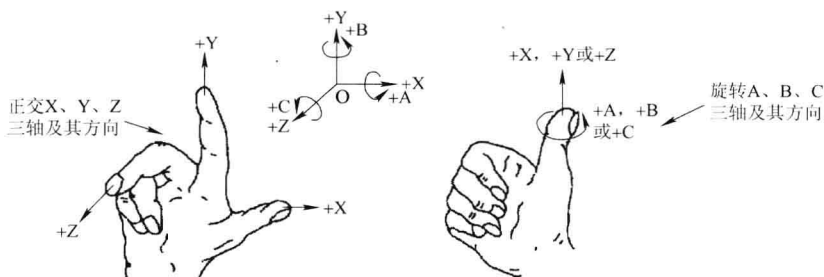


图 1-1 机床坐标名称及方向定义

根据需要,机床可能还具有除 X、Y 和 Z 三个直线轴, A、B 和 C 三个旋转轴以外的附加轴。对于直线运动,把平行于 X、Y 和 Z 轴以外的第二组直线轴,分别命名为 U、V 和 W 轴,机床实例如图 1-2 所示。如果还有第三组直线轴,则分别命名为 P、Q 和 R 轴。对于旋转轴,如果机床具备第一组旋转运动 A、B 和 C 的同时,还有平行于 A、B 的第二组旋转运动,命名为 D、E 轴。

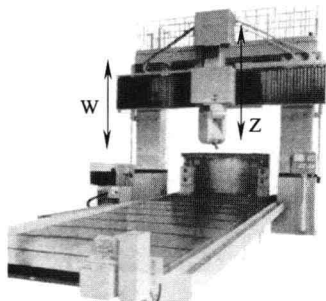


图 1-2 带附加轴的机床实例

2. 数控机床的可动轴与联动轴

机床的可动轴是指可以实现直线或回转运动功能的单根轴。在设计专用机床设备时,可以根据工艺需要,配置任意数目的可动轴。数控机床的联动轴是指在数控系统的控制下,可以同时动作的运动轴。因此,机床具备的联动轴数目除取决于机床本身结构外,还与数控系统具备同时控制这些可动轴的能力有关。例如,我们说一台“九轴五联动”的机床,就是指机床的可动轴数目有 9 根,而能同时联动的轴数目为 5。

3. 多轴加工及其方式

一般约定,运动轴的数目大于 3 的机床为多轴加工机床。多轴加工是指多轴机床参与加工的运动轴数目大于 3 时的一种加工方式。

根据参与加工运动轴的数目,实现多轴加工主要有以下四种方式。

(1) 四轴定位加工 通俗地称为 3+1 轴加工。它是指在四轴数控机床上,实现三根运动轴同时联合运动,另一根运动轴间歇运动或者固定在某一位置的一种加工方式。如图 1-3 所示,机床加工完方形零件的一个侧面后,旋转第四轴来定位另一个加工面,从而实现一次装夹完成四面加工。

(2) 四轴联动加工 在四轴联动数控机床(比较常见的机床运动轴配置是 X、Y、Z 和 A 四根轴)上进行四根运动轴同时联合运动的一种加工方式。四轴联动加工能完成图 1-4 所示零件以及类似零件的加工。

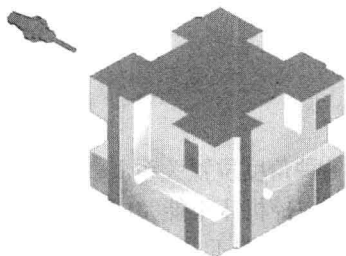


图 1-3 3+1 轴加工方式

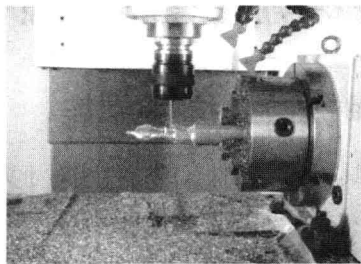


图 1-4 四轴联动加工方式

(3)五轴定位加工 这种加工方式可以进一步细分为 3+2 轴加工和 4+1 轴加工两种加工方式。

3+2 轴加工是指在五轴数控机床（典型机床运动轴配置为 X、Y、Z 轴和 A、C 轴）上，两根旋转轴（如 A、C 轴）固定在某一个角度不动，三根直线轴（X、Y、Z 轴）联合运动的一种加工方式。3+2 轴加工是五轴加工中最常用的加工方式，能完成大部分倒勾结构的加工。图 1-5 所示是双摆头五轴数控机床倾斜刀轴进行 3+2 轴加工的实例。

4+1 轴加工是指在五轴数控机床上，一根旋转运动轴定位在一个固定角度，其余三根直线运动轴和一根旋转运动轴同时联合运动的一种加工方式。图 1-6 所示是五轴数控机床将刀轴置成水平状态对倒锥面进行 4+1 轴精加工的实例。

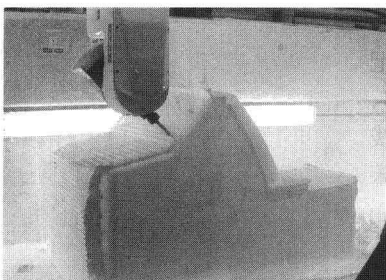


图 1-5 3+2 轴加工方式

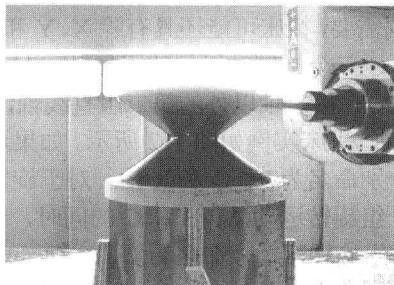


图 1-6 4+1 轴加工方式

(4)五轴联动加工 也叫连续五轴加工。五轴联动加工是指在五轴数控机床上进行五根运动轴同时联合运动的一种加工方式。五轴联动加工能加工出诸如发动机整体叶轮、整体车模一类形状复杂的零（部）件。图 1-7 所示是双摆头五轴数控机床使用五轴联动加工方式加工整体车模车灯轮廓线实例。

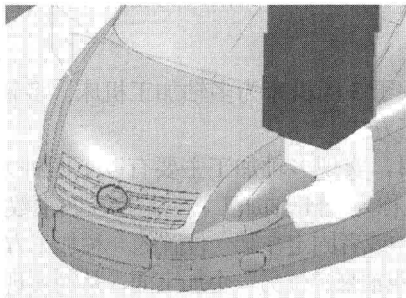


图 1-7 五轴联动加工方式

1.2 多轴数控加工技术的特点

1.2.1 多轴数控加工技术的优势

由于刀具相对于工件（或工件相对于刀具）能形成各种角度位置关系，多轴联动数控机床在具备三轴联动数控机床全部功能的同时，解决了三轴联动数控机床不能完成的如下难题。

(1) 一次装夹后，完成零件除安装面外的全部结构特征加工 多轴联动机床能完成复杂型腔、孔位的壳体和模具等一般三轴数控机床不能加工或很难一次装夹完成的加工。例如，

零件上的孔,看似细小,实际上,钻大量的斜孔会浪费很多的时间。如果使用三轴机床进行钻斜孔,必须为每一个孔做不同的工装,而采用多轴加工方式则可以减少夹具,避免多次装夹。

另外,这一优势在加工空间的、平滑的三维自由型面方面尤为重要,例如航空发动机和汽轮机的叶片、舰艇用的螺旋推进器,以及许多特殊曲面特征。图1-8所示为汽轮机整体叶片零件。

这一类零(部)件如果用三轴数控机床加工,由于其刀具相对于工件的位姿角在加工过程中不能变,如图1-9所示,加工空间自由曲面时,刀具和工件就有可能发生干涉或者出现欠加工的情况(即加工不到,如图1-9所示,叶片根部刀具切不进去);而用五轴联动机床加工时,刀具相对于工件的位姿角在加工过程中随时可调整,如图1-10所示,就可以避免刀具与工件间的干涉,并能一次装夹完成全部加工。

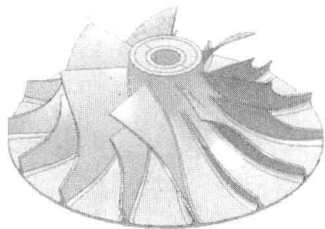


图1-8 整体叶片零件

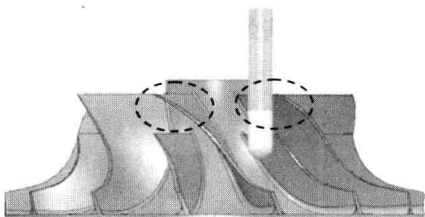


图1-9 整体叶轮零件与刀轴



图1-10 整体叶轮零件五轴联动加工

(2) 使用更短的刀具加工零件的深长型腔和高陡峭侧壁部位 在零件加工过程中,刀具悬出机床主轴越长,刀轴的偏摆量越大,容易导致凸模欠切、凹模过切,零件加工质量会显著降低。如图1-11所示台阶零件,在三轴机床上加工,必须选用刀柄和切削刃都足够长的刀具才能切削成型,并且越向下加工,侧壁与底平面的垂直度越差;而使用五轴加工机床能在加工相同对象时,通过摆动刀轴从而实现使用短刀具加工出深长型腔或高陡峭壁的表面,大大改善侧壁与底平面的垂直度,如图1-12所示。

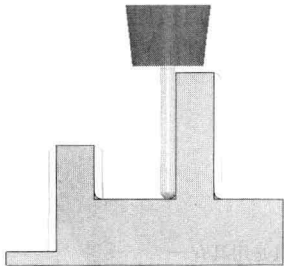


图1-11 使用长刀具加工零件

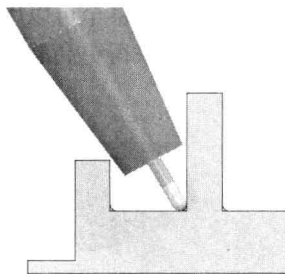


图1-12 使用短刀具加工零件

(3) 五轴加工技术是大型模型、模具零件生产的必需技术 在加工诸如1:1整体车模、1:1风力发电电动机叶片(分段)等大型零部件时,由于模型侧壁往往较深且带有成型特征,必须使用五轴机床才能加工出产品。如图1-13所示整体车模,其高度一般都超过1m,并且车模侧围不是

简单的平面，而是有凹凸不平的结构特征，使用三轴机床是不能完整加工出来的，而必须使用五轴机床通过调整刀具与工件的角度位置进行加工，如图 1-14 所示。

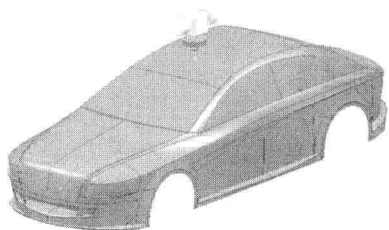


图 1-13 三轴正向加工车模

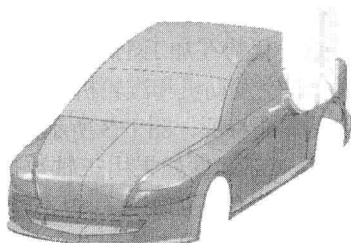


图 1-14 五轴加工整体车模

(4) 避免使用球头铣刀加工时可能出现的静点切削状况 使用三轴机床加工复杂曲面时，通常采用球头铣刀。而球头铣刀是以点接触成形的，不仅切削效率低，而且由于刀具与工件间的位姿角在加工过程中不能改变，一般很难保证用球头铣刀上的最佳切削点（即球头上线速度最高的点）进行切削，经常出现切削点落在球头铣刀上线速度等于零的旋转中心线上的情况（即所谓的“静点切削”），如图 1-15 所示轴测图和图 1-16 所示向视图，可以清楚看出刀具与工件表面的接触点位置。

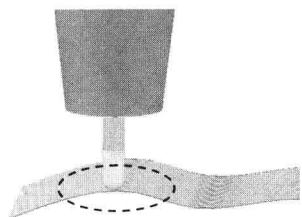


图 1-15 球头铣刀静点切削（轴测图）

在这个位置切削时，刀具是用切削线速度为0的点来切削的

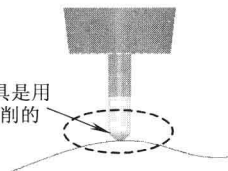


图 1-16 球头铣刀静点切削（向视图）

静点切削不仅造成切削效率低下，加工表面质量严重恶化，而且往往需要采用手动修补，因此也就可能丧失加工精度。而采用五轴机床加工，由于刀具与工件间的位姿角随时可调，如图 1-17 轴测图和图 1-18 向视图所示，不仅可以避免这种情况的发生，而且还可以随时充分利用刀具的最佳切削点来进行切削，甚至可以用线接触成形的螺旋立铣刀来代替点接触成形的球头铣刀进行型面的铣削加工，从而获得更高的切削速度、侧吃刀量，也即获得更高的切削效率和更好的加工表面质量。

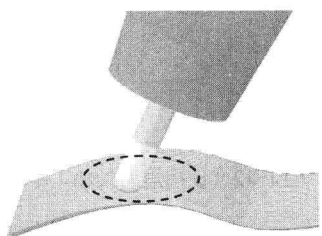


图 1-17 刀具非静点切削（轴测图）

倾斜刀轴后，刀具是用具有一定切削线速度的点来切削的

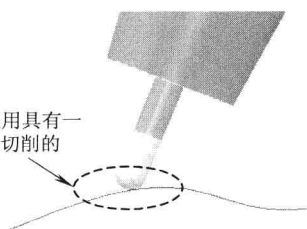


图 1-18 刀具非静点切削（向视图）

(5) 使用刀具侧刃加工型面, 提高模具零件的加工效率 这一功能突出地表现在带角度表面的侧面铣削加工方面。如图 1-19 所示圆锥面加工, 若在三轴机床上加工, 需要使用球头铣刀来成形; 而使用五轴机床切削此类表面时, 可以使用圆柱立铣刀的侧刃来加工, 一方面大大地提高了加工效率, 另一方面, 这种工艺也可以消除由球头铣刀加工所造成的肋骨状纹路, 达到较为理想的表面质量, 减少因清理表面而增加的人工铣削和手工作业量。

(6) 提高刀具寿命 五轴加工通过改变刀具切削工作部位来延长刀具寿命。使用高速加工机床虽然可以获得高的切削效率, 缩短工时, 但刀具磨损往往只发生在刀尖, 使得刀具寿命缩短了。使用五轴加工机床进行加工时, 刀具除了刀尖切削外, 更多时候是使用刀具侧刃来切削(图 1-20), 所以刀具利用率提高了很多, 也因此提高了刀具寿命。

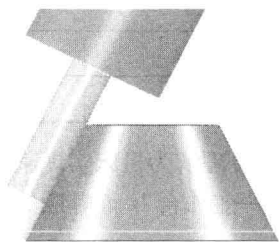


图 1-19 五轴加工圆锥台

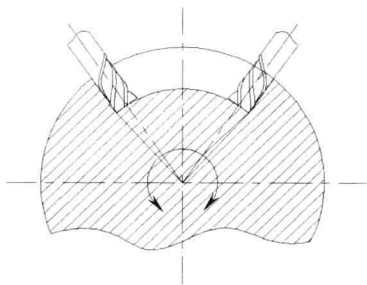


图 1-20 刀具侧刃切削工件示意图

1.2.2 多轴数控加工技术在应用中的不足之处

我们已经知道, 多轴数控加工技术是一种高精度、高效率、减少夹具、降低费用和工时的先进生产力。但是, 在实际应用中, 还存在不少不足之处。

(1) 企业初期资金投入过大 在硬件方面, 多轴联动机床的价格动辄上百万元, 其配套的刀具、辅具价格也在几千到几十万元之间; 在软件方面, 数控编程系统需要由三轴升级到四轴、五轴编程, 升级软件模块或者专门购买多轴加工软件需要投入一大笔费用; 在人员方面, 多轴机床的编程人员、操作人员均需要专门的培训。

(2) 多轴加工编程复杂、难度大 因为多轴加工不同于三轴, 它除了三个直线运动外, 还有 1~2 个旋转运动参与, 其所形成的合成运动的空间轨迹非常复杂和抽象, 一般难以想象和理解。如为了加工出所需的空间自由曲面, 往往需通过多次坐标变换或使用复杂的刀轴指向控制方式, 同时还要考虑各轴运动的协调性, 避免干涉、碰撞。

(3) 多轴加工的效率以及刚性有待进一步提高和优化 例如, 机床在进行五轴联动加工时, 由于要完成五根坐标轴同时运动, 实际切削进给率往往要远远低于 NC 程序中设定的切削进给率, 在切削自由型面时, 这一点表现得更为突出。另外, 同时运动的五根坐标轴在加工过程中, 其刚性比三轴加工低, 这直接影响到机床的加工精度和工件的加工质量。

1.3 多轴联动数控机床的结构

在机构组成结构上, 多轴联动数控机床与普通机床的最大区别在于, 它除了具有普通机床三

个直线坐标轴外，还有 1~2 个旋转坐标轴，而且可以多轴联动加工。

根据机床主轴的安装状态，首先可以将多轴联动数控机床分为立式和卧式两大类。

进一步地细分，多轴联动数控机床的结构形式和运动配置方式见表 1-1。在表 1-1 中，一种结构形式与一种运动配置方式相组合，就可以得到一类多轴联动数控机床的结构类型。

表 1-1 多轴联动数控机床结构形式和运动配置方式

运动配置方式 \ 结构形式	1. 传统串联结构	2. 并联结构	3. 串并混合结构
1. 四个运动全在刀具侧	A11	A21	A31
2. 四个运动分配在刀具和工件侧	A12	A22	A32
3. 五个运动全在刀具侧	A13	A23	A33
4. 五个运动全在工件侧	A14	A24	A34
5. 五个运动分配在刀具和工件侧	A15	A25	A35

机构的结构形式分为串联结构和并联结构。串联结构可简单理解为机床实现某一种运动的各个构件是串接起来的，例如“伺服电动机—联轴器—滚珠丝杠—工作台”；而并联结构的机床实现某一种运动的各个构件相对独立，是并行关系。

在实际生产领域，传统串联结构的数控机床占据主要的大部分。下面就来重点介绍几种典型的传统串联结构多轴联动数控机床。

1. 四轴联动数控机床

典型的四轴联动数控机床是表 1-1 中定义的 A12 型机床，即四个运动分配在刀具和工件侧的传统串联结构机床，其结构原理如图 1-21 所示。大部分四轴联动数控机床是在三轴联动数控铣床的工作台上，增加一个绕 X 轴旋转的 A 轴或绕 Y 轴旋转的 B 轴，再由具备同时控制至少四根轴运动的数控系统支配以获得四轴联合运动。

图 1-22 所示是四川长征机床公司生产的 KVC650 型四轴联动数控加工中心。该机床的四根运动轴分别为直线轴 X、Y、Z 和绕 X 轴旋转的 A 轴其技术参数见表 1-2。

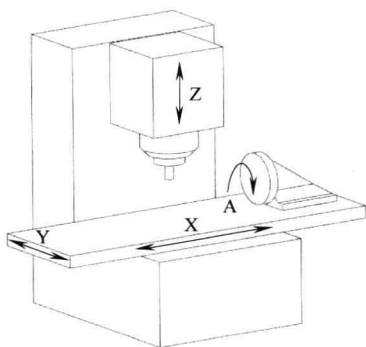


图 1-21 典型四轴联动数控机床结构原理

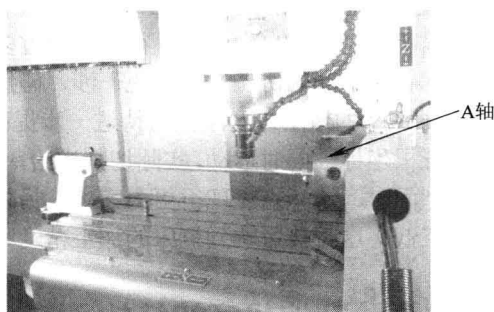


图 1-22 典型四轴联动数控加工中心

表 1-2 KVC650 型四轴联动数控加工中心技术参数

技术规格名称	技术规格参数
X、Y、Z 轴行程/mm	650×460×550
A 轴行程/ (°)	n×360
工作台尺寸/mm (长×宽)	1000×460
定位精度/mm	0.012
重复定位精度/mm	0.008
快速移动速度/ (mm/min)	0~15000
进给速度/ (mm/min)	0~10000
回转速度/ (r/min)	16.6
主轴转速/ (r/min)	20~8000
刀柄型号	BT40
主轴电动机功率/kW	7.5
刀具容量/把	16
数控系统	FANUC Oi mate MC

图 1-22 所示机床 (3+1 形式的四轴联动机床) 是在三轴立式数控铣床或加工中心上, 附加具有一个旋转轴的数控转台来实现四轴联动加工的。由于是基于立式铣床或加工中心作为主要加工形式, 所以数控转台只能算作机床的一个附件。这类机床的优点是:

(1) 价格相对便宜 由于数控转台是一个附件, 所以可以根据需要选配。

(2) 装夹方式灵活 可以根据工件的形状选择不同的附件。既可以选择三爪卡盘装夹, 也可以选配四爪卡盘或者花盘装夹。

(3) 拆卸方便 在利用三轴加工大工件时, 可以把数控转台拆卸下来。需要时, 可以很方便地把数控转台安装在工作台上进行四轴联动加工。

这类机床主要用于加工非圆截面柱状零件, 例如带螺旋槽的传动轴零件等。

2. 主轴倾斜型五轴联动数控机床

典型的主轴倾斜型五轴联动数控机床是表 1-1 中定义的 A13 型机床, 即五个运动全部分配在刀具侧的传统串联结构机床, 其结构原理如图 1-23 所示。因为主轴倾斜型五轴联动数控机床的两个旋转轴都分布在工作台的刀具侧, 所以也称为双摆头机床, 结构实例如图 1-24 所示。大多数情况下, 这两个旋转轴通常是绕 X 轴旋转的 A 轴与绕 Z 轴旋转的 C 轴组合, 或者是绕 Y 轴旋转的 B 轴与绕 Z 轴旋转的 C 轴组合。

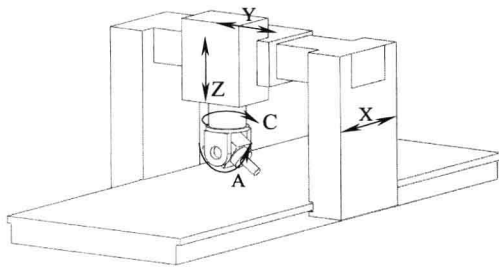


图 1-23 主轴倾斜型五轴联动数控机床结构原理



图 1-24 双摆头结构实例

图 1-25 所示是西班牙 ZAYER 公司生产的 MEMPHIS 6000-U 型双摆头机床, 该机床的五根运动