

工程软件多轴数控加工典型实例详解丛书

UG NX 10.0 多轴数控加工 典型实例详解

第3版

高长银 张新月 刘丽 黎胜容 主编

免费赠送书中所有范例的素材源文件



微
智
造

机械人APP

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

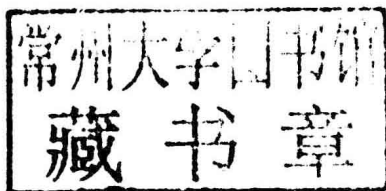


工程软件多轴数控加工典型实例详解丛书

UG NX 10.0 多轴数控加工 典型实例详解

第3版

高长银 张新月 刘丽 黎胜容 主编



机械工业出版社

本书从实用角度出发,通过基础技术与应用实例结合的形式,全面系统地介绍了UG NX 10.0多轴数控加工功能、操作技巧及典型应用。本书包括14章,其中第1~3章介绍了UG NX 10.0多轴数控加工机床、参数设置及多轴加工基本技术,引导读者入门;第4~14章介绍了UG NX 10.0多轴数控加工实例,包括四轴铣削加工、五轴铣削加工、车铣复合加工及线切割多轴加工实例。这些实例全部取自一线工程实例,由浅入深,深入浅出,实践性和指导性强,有利于读者学完后举一反三,快速提升UG NX 10.0多轴数控编程能力和水平。

本书赠送书中所有范例的素材源文件,可通过联系QQ:296447532获取。本书适合学习UG数控编程的初中级用户使用,也可作为高校相关数控专业的教材使用。

图书在版编目(CIP)数据

UG NX 10.0多轴数控加工典型实例详解/高长银等主编。—3版。

—北京:机械工业出版社,2017.7

(工程软件多轴数控加工典型实例详解丛书)

ISBN 978-7-111-57336-4

I. ①U… II. ①高… 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(2017)第162922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 王良

责任校对:张征 封面设计:马精明

责任印制:李昂

北京宝昌彩色印刷有限公司印刷

2017年9月第3版第1次印刷

184mm×260mm·23.25印张·721千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-57336-4

定价:79.00元

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

服务咨询热线:010-88361066

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-68326294

机工官博:weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网:www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网:www.cmpedu.com

前 言

UG NX 10.0 软件作为世界上先进的 CAD/CAM/CAE 集成的大型高端应用软件,其 CAM 模块广泛应用于航空、航天、汽车、造船、通用机械和电子等工业领域,在工业界被公认为最好的 CAM 软件之一。UG NX 10.0 常用的多轴加工主要包括四轴铣削加工、五轴铣削加工、车铣复合加工、四轴线切割加工等,功能非常强大,但也比较难学。为了给读者提供有效的指导和参考,我们编写了本书。

本书共包括 14 章,具体内容如下:

第 1 章为多轴数控机床结构与加工特点,引导读者认识多轴数控机床的结构与加工特点。

第 2 章介绍了多轴数控加工工艺与基本操作。读者通过学习,将对多轴数控加工工艺与基本操作有所熟悉。

第 3 章介绍了 UG NX 10.0 多轴加工技术,主要内容有:UG NX 10.0 五轴加工父级组、创建工序(操作)、可变轴曲面轮廓铣、管理刀具路径。

第 4~6 章为四轴铣削加工实例,包括导向轮四轴数控加工、凸轮导向轴数控加工、螺旋铣刀四轴数控加工。读者通过学习,可以掌握 UG 四轴铣削加工的各种方法及应用。

第 7~9 章为五轴铣削加工实例,包括泳镜凸模数控加工、异形模具安装架五轴数控加工、发动机整体叶轮五轴数控加工。

第 10~12 章为 UG 车铣复合加工实例,包括安装套管数控加工、液压缸螺纹连接套数控加工、铜凸轮机座数控加工。实例由浅入深,读者通过学习,可以掌握 UG 车铣复合加工的流程和基本方法。

第 13、14 章为 UG 四轴线切割加工实例,介绍了车模线切割加工和心形配饰线切割加工,分别通过几何体创建线切割和通过工序对话框创建线切割。

本书实例典型丰富,全部取自一线工程实例,实践性和指导性强,有利于读者在工作中举一反三。

本书赠送书中所有范例的素材源文件,可通过联系 QQ: 296447532 获取。本书适合学习 UG 数控编程的初中级用户使用,也可作为高校相关数控专业的教材使用。

本书由高长银、张新月、刘丽、黎胜容主编,参加编写的有李万全、黎双玉、邱大伟、马龙梅、涂志涛、刘红霞、刘铁军、何文斌、邓力、王乐、杨学围、张秋冬、闫延超、董延、郭志强、毕晓勤、贺红霞、史丽萍、袁丽娟、刘汝芳、夏劲松。

由于编者水平有限,书中难免有一些错误和不足之处,欢迎广大读者及业内人士予以批评指正。

目 录

前言	
第1章 多轴数控机床结构与加工特点	1
1.1 多轴数控加工特点	1
1.2 四轴联动数控机床	2
1.2.1 立式四轴联动数控机床	2
1.2.2 卧式四轴联动数控机床	2
1.3 五轴联动数控机床	2
1.3.1 立式五轴联动数控机床	3
1.3.2 卧式五轴联动数控机床	3
1.4 多轴车铣复合数控机床	3
1.5 本章小结	5
第2章 多轴数控加工工艺与基本操作	6
2.1 多轴数控加工工艺	6
2.1.1 多轴数控加工工件、工艺装备及切削液	6
2.1.2 多轴数控加工刀具	12
2.1.3 多轴数控加工机床的坐标系及设定	18
2.1.4 多轴数控机床加工切削用量	20
2.1.5 多轴数控加工步骤及常用工艺路线	23
2.2 多轴数控机床基本操作	26
2.2.1 多轴数控机床操作面板的组成和基本操作	26
2.2.2 机床的手动操作	31
2.2.3 程序文件的调用与编辑	32
2.2.4 多轴数控机床的对刀	37
2.2.5 机床与刀具参数的设置	38
2.2.6 多轴数控机床的MDI操作	40
2.2.7 多轴数控机床自动方式加工	41
2.3 本章小结	42
第3章 UG NX 10.0 多轴加工技术	43
3.1 UG NX 10.0 多轴加工	43
3.1.1 UG NX 10.0 四轴铣加工	43
3.1.2 UG NX 10.0 五轴加工	44
3.1.3 车铣复合加工	44
3.1.4 UG NX 10.0 五轴加工的一般流程	45
3.2 UG NX 10.0 五轴加工父级组	46
3.2.1 创建程序组	46
3.2.2 创建刀具组	47
3.2.3 创建几何组	49
3.2.4 创建方法组	52
3.3 创建工序(操作)	55
3.3.1 工序(操作)的概念	55
3.3.2 创建工序步骤	55
3.4 可变轴曲面轮廓铣	56
3.4.1 可变轴曲面轮廓铣简介	56
3.4.2 驱动方法	57
3.4.3 投影矢量	78
3.4.4 刀轴控制	82
3.5 管理刀具路径	87
3.5.1 刀具路径生成	87
3.5.2 刀具路径验证	88
3.5.3 刀具路径后处理	88
3.6 本章小结	89
第4章 四轴铣削加工入门实例——导向轮 数控加工	90
4.1 实例分析	90
4.1.1 实例整体分析	90
4.1.2 实例加工分析	90
4.2 加工流程与每步所用知识点	90
4.3 具体的加工操作过程	92
4.3.1 初始化加工环境	92
4.3.2 创建加工父级组	92
4.3.3 可变轴曲面轮廓铣外圆精加工	96
4.3.4 可变轴曲面轮廓槽精加工	99
4.3.5 刀具路径后处理	103
4.4 实例小结	103
第5章 四轴铣削加工提高实例——凸轮导向 轴数控加工	104
5.1 实例分析	104
5.1.1 实例整体分析	104
5.1.2 实例加工分析	104
5.2 加工流程与每步所用知识点	104
5.3 具体的加工操作过程	106
5.3.1 初始化加工环境	106
5.3.2 创建加工父级组	107
5.3.3 可变轴曲面轮廓铣外圆精加工	111

5.3.4 可变轴曲面轮廓槽精加工.....	115	8.2 加工流程与每步所用知识点.....	170
5.3.5 旋转阵列复制槽工序.....	119	8.3 具体的加工操作过程.....	172
5.3.6 创建钻孔加工.....	119	8.3.1 初始化加工环境.....	172
5.3.7 旋转阵列复制钻孔工序.....	123	8.3.2 创建加工父级组.....	173
5.3.8 刀具路径后处理.....	124	8.3.3 型腔铣粗加工.....	178
5.4 实例小结.....	124	8.3.4 等高轮廓铣半精加工.....	181
第6章 四轴铣削加工经典实例——螺旋铣		8.3.5 可变轴曲面轮廓铣精加工斜曲面.....	185
刀数控加工.....	125	8.3.6 可变轴曲面轮廓铣右侧面精加工.....	190
6.1 实例分析.....	125	8.3.7 平面铣精加工侧面直凹槽.....	192
6.1.1 实例整体分析.....	125	8.3.8 可变轴曲面轮廓铣精加工侧斜直壁.....	196
6.1.2 实例加工分析.....	125	8.3.9 铣削加工几何体.....	198
6.2 加工流程与每步所用知识点.....	125	8.3.10 可变轴曲面轮廓铣精加工侧壁凹槽.....	200
6.3 具体的加工操作过程.....	127	8.3.11 创建钻侧壁面上的孔.....	202
6.3.1 初始化加工环境.....	127	8.3.12 创建钻底面上的孔.....	206
6.3.2 创建加工父级组.....	128	8.3.13 刀具路径后处理.....	209
6.3.3 可变轴曲面轮廓铣沟道精加工.....	130	8.4 实例小结.....	209
6.3.4 可变轴曲面轮廓铣左侧面精加工.....	135	第9章 五轴铣削加工经典实例——发动机	
6.3.5 可变轴曲面轮廓铣右侧面精加工.....	137	整体叶轮数控加工.....	210
6.3.6 旋转阵列工序.....	139	9.1 实例分析.....	210
6.3.7 刀具路径后处理.....	140	9.1.1 实例整体分析.....	210
6.4 实例小结.....	140	9.1.2 实例加工分析.....	210
第7章 五轴铣削加工入门实例——泳镜凸		9.2 加工流程与每步所用知识点.....	210
模数控加工.....	141	9.3 具体的加工操作过程.....	212
7.1 实例分析.....	141	9.3.1 初始化加工环境.....	212
7.1.1 实例整体分析.....	141	9.3.2 创建加工父级组.....	212
7.1.2 实例加工分析.....	141	9.3.3 流道精加工.....	216
7.2 加工流程与每步所用知识点.....	141	9.3.4 左叶片侧面精加工.....	224
7.3 具体的加工操作过程.....	143	9.3.5 右叶片精加工.....	231
7.3.1 初始化加工环境.....	143	9.3.6 旋转阵列操作.....	234
7.3.2 创建加工父级组.....	144	9.3.7 刀具路径后处理.....	235
7.3.3 型腔铣粗加工.....	148	9.4 实例小结.....	235
7.3.4 等高轮廓铣半精加工.....	151	第10章 车铣复合加工入门实例——安装套	
7.3.5 可变轴曲面轮廓铣精加工顶面.....	154	管数控加工.....	236
7.3.6 可变轴曲面轮廓铣精加工圆角.....	159	10.1 实例分析.....	236
7.3.7 可变轴曲面轮廓铣精加工侧壁.....	162	10.1.1 实例整体分析.....	236
7.3.8 型腔铣精加工分型面.....	166	10.1.2 实例加工分析.....	236
7.3.9 刀具路径后处理.....	168	10.2 加工流程与每步所用知识点.....	236
7.4 实例小结.....	168	10.3 具体的加工操作过程.....	239
第8章 五轴铣削加工提高实例——异形模		10.3.1 初始化加工环境.....	239
具安装架数控加工.....	169	10.3.2 车削加工.....	239
8.1 实例分析.....	169	10.3.3 铣削加工.....	250
8.1.1 实例整体分析.....	169	10.3.4 创建切断工序.....	263
8.1.2 实例加工分析.....	169	10.4 实例小结.....	264
		第11章 车铣复合加工提高实例——液压缸	
		螺纹连接套数控加工.....	265
		11.1 实例分析.....	265

11.1.1 实例整体分析.....	265	13.1.1 实例整体分析.....	341
11.1.2 实例加工分析.....	265	13.1.2 实例加工分析.....	341
11.2 加工流程与每步所用知识点.....	265	13.2 加工流程与每步所用知识点.....	341
11.3 具体的加工操作过程.....	268	13.3 具体的加工操作过程.....	343
11.3.1 初始化加工环境.....	268	13.3.1 初始化加工环境.....	343
11.3.2 车削加工.....	268	13.3.2 定义加工坐标系.....	343
11.3.3 铣削加工.....	285	13.3.3 创建外轮廓线切割加工.....	344
11.3.4 创建切断工序.....	292	13.3.4 后处理.....	347
11.4 实例小结.....	294	13.4 实例小结.....	348
第12章 车铣复合加工经典实例——铜凸轮 阀座数控加工.....	295	第14章 四轴线切割提高实例——心形配饰 数控加工.....	349
12.1 实例分析.....	295	14.1 实例分析.....	349
12.1.1 实例整体分析.....	295	14.1.1 实例整体分析.....	349
12.1.2 实例加工分析.....	295	14.1.2 实例加工分析.....	349
12.2 加工流程与每步所用知识点.....	295	14.2 加工流程与每步所用知识点.....	349
12.3 具体的加工操作过程.....	300	14.3 具体的加工操作过程.....	351
12.3.1 初始化加工环境.....	300	14.3.1 初始化加工环境.....	351
12.3.2 右端轮廓车削加工.....	300	14.3.2 定义加工坐标系.....	352
12.3.3 调头左端内圆轮廓车削加工.....	317	14.3.3 创建线切割刀具.....	352
12.3.4 铣削加工.....	330	14.3.4 创建内轮廓线切割加工左腔.....	352
12.4 实例小结.....	340	14.3.5 创建内轮廓线切割加工右腔.....	357
第13章 四轴线切割入门实例——车模 数控加工.....	341	14.3.6 创建外轮廓线切割.....	359
13.1 实例分析.....	341	14.3.7 后处理.....	363
		14.4 实例小结.....	363
		参考文献.....	364

第1章 多轴数控机床结构与加工特点

航空航天、发电、船舶等行业产品往往具有复杂的型面，同时有较高的精度要求，对机械加工设备的要求非常严格。为了满足这些行业的需求，多轴联动数控机床应运而生。本章将主要介绍常用的多轴加工机床。

本章知识要点：

- 了解多轴加工特点。
- 了解四轴联动数控机床。
- 了解五轴联动数控机床。
- 了解车铣复合数控机床。

1.1 多轴数控加工特点

所谓多轴数控机床是指在一台机床上至少具有第4轴，如四轴数控机床有3个直线坐标轴和1个旋转坐标轴，并且4个坐标轴可以在计算机数控系统的控制下同时协调运动进行加工。五轴数控加工机床具有3个直线坐标轴和两个旋转坐标轴，并且可以同时控制、联动加工。与三轴联动数控机床相比较，多轴加工具有^[1, 3]：

1) 可以一次装夹完成多面多方位加工，从而提高零件的加工精度和加工效率。当前，为了进一步提高产品性能和质量，现代产品不仅是航空、航天产品和运载工具，而且包括精密仪器、仪表、运动器械等产品的零件，都越来越多地采用整体材料铣成，而且其上面还有许多各式各样的复杂曲面和斜孔，如果采用三轴加工，必须经过多次定位安装才能完成，而采用五轴加工可一次装夹完成大部分工作。

2) 由于多轴机床的刀轴可以相对工件状态而改变，刀具或工件的姿态角可以随时调整，故可以加工一般三轴数控机床不能加工或很难一次装夹完成加工的连续、平滑的自由曲面，如航空发动机和汽轮机的叶片、螺旋推进器等，如图1-1所示。如采用三轴数控机床加工，由于其刀具相对于工件的姿态在加工过程中不能改变，加工某些复杂曲面时，就可能产生干涉和欠加工。而用五轴加工由于刀具的轴线可随时调整，避免了刀具与工件的干涉，并能一次装夹完成全部加工。

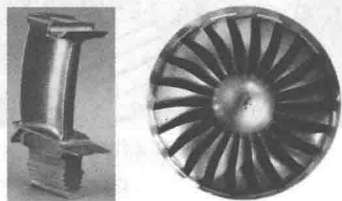


图1-1 典型复杂型面零件
a) 叶片 b) 叶轮

3) 由于多轴机床的刀具或工件的姿态角可调，所以可以避免刀具干涉、欠切和过切现象发生，可以提高空间自由曲面的加工精度、质量和效率。例如采用三轴数控机床加工复杂曲面时，多采用球头铣刀，球头铣刀是以点接触工件，切削效率低，刀具/工件姿态在加工过程不能调整，一般很难保证用球头上的最佳切削点（即球头上线速度最高的点）进行切削。如果采用五轴机床加工，由于刀具/工件姿态在加工过程可随时调整，可获得更高的切削速度、切削效率和切削质量。

4) 多轴加工机床的应用可以大大简化刀具形状，从而降低刀具成本，同时还可以改善刀具的长径比，使刀具的刚性、切削速度和进给速度得到很大的提高。

5) 在多轴机床上进行加工时，工件夹具较为简单。由于有了坐标转换和倾斜面加工功能，使得有些复杂型面加工转变为二维平面加工。由于有了刀轴控制功能，斜面上孔加工的编程和操作也变得更加方便。

1.2 四轴联动数控机床

四轴联动数控机床有 3 个直线坐标轴和一根旋转轴 A 轴或者 B 轴, 并且 4 个坐标轴在计算机数控 (CNC) 系统的控制下可以同时协调运动进行加工。典型的四轴联动数控机床如图 1-2 所示。

1.2.1 立式四轴联动数控机床

3+1 形式的四轴联动数控机床是在三轴立式数控铣床或加工中心上, 附加一个具有旋转轴的数控转台来实现四轴联动加工, 如图 1-3 所示。

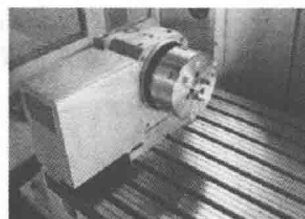
由于以立式铣床或加工中心作为主要加工形式, 所以数控转台只能算是机床的一个附件。这类机床的特点是:

- (1) 价格相对便宜 由于数控转台是一个附件, 所以用户可以根据需要选配。
- (2) 装夹方式灵活 可以根据工件的形状选择不同的附件, 既可以选择自定心卡盘装夹, 也可以选配单动卡盘或者花盘装夹。
- (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。当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。

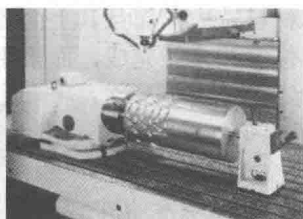
立式加工中心可以选用沈阳机床厂生产的 VMC850E 机床, 如图 1-4 所示。该机床的特点是: 结构紧凑, 性价比高。



图 1-2 典型的四轴联动数控机床



数控转台安装在工作台上



数控转台装夹工件

图 1-3 数控转台

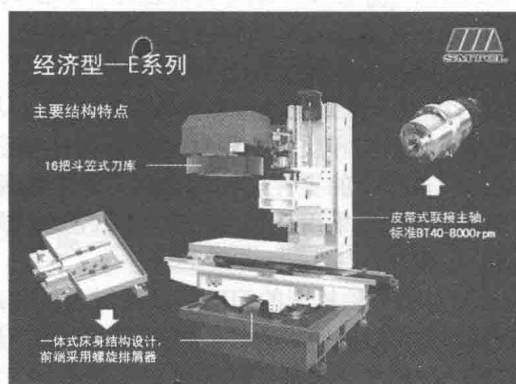


图 1-4 沈阳机床厂的 VMC850E 机床

1.2.2 卧式四轴联动数控机床

图 1-5 所示为日本三井精机的 HR-3C 卧式加工中心, 是具有 B 轴的卧式四轴加工中心。该机床是高精度加工中心, 它采用全闭环控制系统, 反馈元件是精密直线光栅尺和圆光栅, 主机采用横梁式、框架式动立柱布局, 分度转台采用高精度多齿盘, 数控系统是 FANUC 11M。该机床配有两个可自动交换的工作台, 当左工作台上的工件处于加工状态时, 操作者可在右工作台上对另一个工件进行准备工作, 从而提高加工效率。该机床适合于箱体类零件的加工, 如减速箱、阀体及需多面加工的零件等。

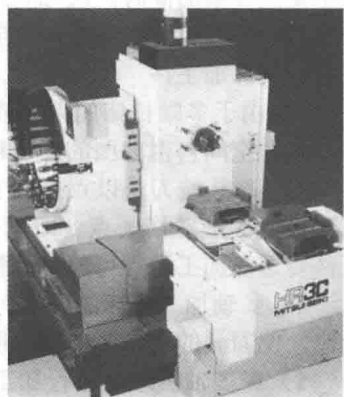


图 1-5 日本三井精机的 HR-3C 卧式加工中心

1.3 五轴联动数控机床

五轴数控加工就是指在一台机床上至少有 5 个坐标轴 (三个直

线坐标和两个旋转坐标), 而且可在计算机数控系统控制下同时协调运动进行加工。图 1-6 所示为典型的五轴联动数控机床。

和三轴联动数控机床相比, 五轴联动数控机床多了两个转动轴, 但是在结构布置方面, 往往不是在三轴联动数控机床上添加两个转动轴那么简单。按照主轴的位置关系可分为以下两大类: 立式五轴联动数控机床和卧式五轴联动数控机床。

1.3.1 立式五轴联动数控机床

图 1-7 所示为工作台回转的立式五轴加工中心, 设置在床身上的工作台可以环绕 X 轴回转, 定义为 A 轴, A 轴工作范围一般在 $+30^{\circ}$ 至 -120° 。工作台的中间还设有一个回转台, 在图示的位置上环绕 Z 轴回转, 定义为 C 轴, C 轴都是 360° 回转。这样通过 A 轴与 C 轴的组合, 固定在工作台上的工件除了底面之外, 其余的 5 个面都可以由立式主轴进行加工。A 轴和 C 轴最小分度值一般为 0.001° , 这样又可以把工件细分成任意角度, 加工出倾斜面、倾斜孔等。A 轴和 C 轴如与 XYZ 3 直线轴实现联动, 就可加工出复杂的空间曲面, 当然这需要高档的数控系统、伺服系统及软件的支持。这种设置方式的优点是主轴的结构比较简单, 主轴刚性非常好, 制造成本比较低。但一般工作台不能设计太大, 承重也较小, 特别是当 A 轴回转大于等于 90° 时, 工件切削时会对工作台带来很大的承载力矩。

另一种是主轴回转的立式五轴加工中心, 如图 1-8 所示。主轴前端是一个回转头, 能自行环绕 Z 轴 360° 回转, 成为 C 轴, 回转头上还带可环绕 X 轴旋转的 A 轴, 一般可达 $\pm 90^{\circ}$ 以上, 实现上述同样的功能。这种设置方式的优点是主轴加工非常灵活, 工作台也可以设计得非常大, 客机庞大的机身、巨大的发动机壳都可以在这类加工中心上加工。

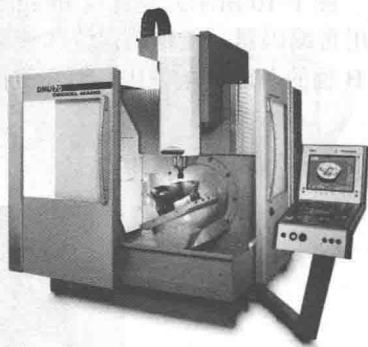


图 1-6 典型的五轴联动数控机床

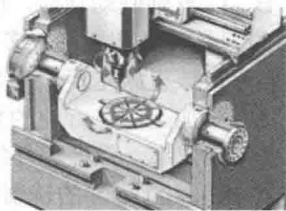


图 1-7 工作台回转的立式五轴加工中心

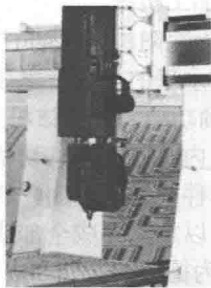


图 1-8 主轴回转的立式五轴加工中心

1.3.2 卧式五轴联动数控机床

图 1-9 所示为传统的工作台回转的卧式五轴加工中心加工叶轮, 设置在床身上的工作台 A 轴工作范围一般 $+20^{\circ}$ 至 -100° 。工作台的中间也设有一个回转台 B 轴, B 轴可双向 360° 回转。这种卧式五轴加工中心的联动特性比较好, 常用于加工大型叶轮的复杂曲面。回转轴也可配置圆光栅尺反馈, 分度精度可达到几秒。这种回转轴结构比较复杂, 价格也昂贵。

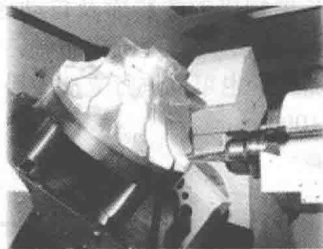


图 1-9 工作台回转的卧式五轴加工中心加工叶轮

1.4 多轴车铣复合数控机床

复合加工是目前国际上机械加工领域最流行的加工工艺之一, 是一种先进制造技术。复合加工就是把几种不同的加工工艺在一台机床上实现。复合加工应用最广泛、难度最大的就是车铣复合加工。车铣复合加工中心相当于一台数控车床和一台加工中心的复合。

图 1-10 所示为马扎克 Integrex—420H 车铣复合加工中心。车铣中心的车床主轴和铣削主轴头都采用带编码器、能精确定位和锁紧的电主轴，在车削时车床主轴带动工件旋转，铣削主轴锁紧，作为带 B 轴的车床刀架使用，而在铣削时，车床主轴则反过来作为 A 轴转盘使用。

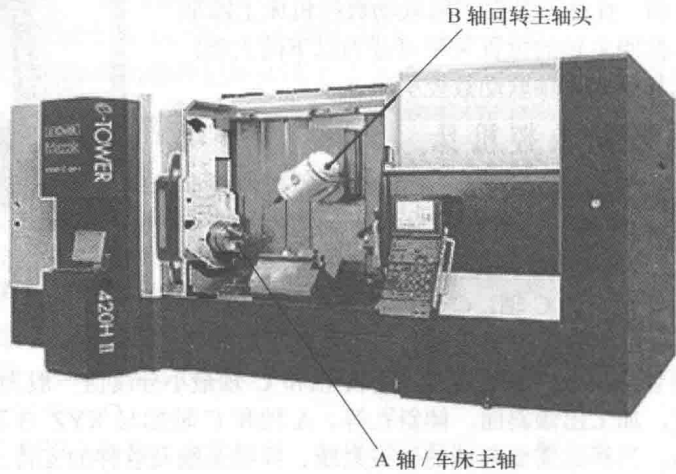


图 1-10 马扎克 Integrex—420H 车铣复合加工中心

1. 车铣复合加工的特点

与常规加工设备不同的是，一台车铣复合加工中心实际上相当于一条生产线，工序集中是复合加工最为鲜明的工艺特点。如何根据零件工艺特性和车铣复合加工的工艺特点制订合理的工艺路线、装夹方法和选用合理的数控刀具是实现高效精密加工的关键。

2. 车铣复合加工机床

图 1-11 所示为沈阳机床厂的 HTM63150iy 五轴车铣复合机床。HTM63150iy 五轴车铣复合机床是一台具有国际先进水平的产品，主要特点是具有 X、Y、Z、B、C 五轴联动功能，配有前后主轴。由于具有 Y 轴和 B 轴功能，因此该机床加工工艺范围广，采用的刀具种类和规格较多，可以加工盘类、轴类零件的外圆、内孔、端面、切槽、螺纹及锥面、圆弧曲面等。该机床主要应用是铣削加工叶片螺旋面、加工偏心零件、铣削斜面，特别适用于军工、航天、航空等加工制造行业的复杂零件的加工，零件经一次装夹可以加工完成全部或大部分工序，大大提高了工作效率，保证零件的加工精度。

图 1-12 所示为德国的 Mill 800 铣车复合加工中心。它是在 Mill 800 优异的铣削性能基础上，进一步增加了车削功能，可实现功能强大的铣车复合加工。为了满足不同种类的加工需求，该机床的配置非常丰富，包括：数控 B 轴具有摆动功能（达 $\pm 100^\circ$ ）的铣头、转速达 5000r/min 的高速车削主轴、多种长度规格的棒料库及自动送料装置、顶尖和虎钳合二为一的数控尾座、自动下料装置、9000~20000r/min 不同转速的电主轴，以及不同容量的刀库系统等。Mill 800 不但可以进行复杂的 5 轴联动铣削加工，也可以进行立式或卧式车削加工，一次上料可以完成 6 面完全加工，其最大可加工棒料直径达 100mm。

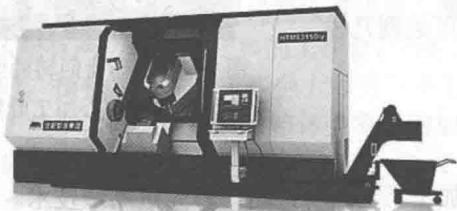


图 1-11 HTM63150iy 五轴车铣复合机床



图 1-12 德国的 Mill 800 铣车复合加工中心

图 1-13 所示为德马吉生产型车铣复合加工中心 GMX 200 S linear。除了保留 GMX linear 车铣加工系列机床的所有优点外,还吸取了德马吉其他机床的众多优点。集合了 Siemens SolutionLine 和 ShopTurn 的编程控制系统;采用图形辅助编程技术,解除了大多数人对于万能车削加工中心操作编程复杂的顾虑,这项技术可以应用于零件的 3D 模拟加工,甚至可以加入 B 轴的模拟加工。

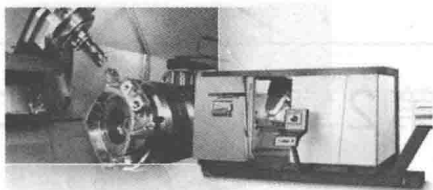


图 1-13 德马吉生产型车铣复合加工中心 GMX 200 S linear

1.5 本章小结

本章介绍了多轴数控机床知识,包括立式和卧式四轴联动机床、立式和卧式五轴联动机床及多轴数控车铣复合机床等。通过本章的学习,读者可以对多轴数控机床有一大致的了解,为后面利用 UG NX10.0 进行多轴数控编程奠定理论基础。

第2章 多轴数控加工工艺与基本操作

本章将对多轴数控加工工艺进行详细介绍,包括多轴加工工件特点、工装夹具、切削刀具、多轴加工坐标系、切削用量选择及工艺路线确定等。其中,切削用量选择和工艺路线确定是本章学习的重点及难点。

本章知识要点:

- 了解多轴加工工艺装备。
- 了解多轴加工切削刀具。
- 掌握多轴加工坐标系。
- 掌握多轴加工切削用量的选择。
- 掌握多轴加工工艺路线的确定。
- 了解 HEIDENHAIN 数控系统机床操作。

2.1 多轴数控加工工艺

2.1.1 多轴数控加工工件、工艺装备及切削液

多轴加工就是多坐标加工,常用于加工复杂曲面产品。本节介绍多轴加工零件、工装及切削液等。

1. 多轴加工工件

采用多轴联动机床加工模具可以很快完成模具加工,使模具加工变得更加容易,并且使模具修改变得容易。在传统的模具加工中,一般用立式加工中心来完成工件的铣削加工。随着模具制造技术的不断发展,立式加工中心本身的一些弱点表现得越来越明显。现代模具加工普遍使用球头铣刀来加工,球头铣刀在模具加工中带来的好处非常明显,但是如果用立式加工中心的话,其底面的线速度为零,这样底面的表面质量就很差,如果使用四轴、五轴联动机床加工技术加工模具,就可以克服上述不足。例如车灯模具(图2-1),汽车大灯模具的精加工用双转台五轴联动机床加工,由于大灯模具的特殊光学效果要求,用于反光的众多小曲面对加工的精度和表面质量都有非常高的指标要求,特别是表面质量,几乎要求达到镜面效果。

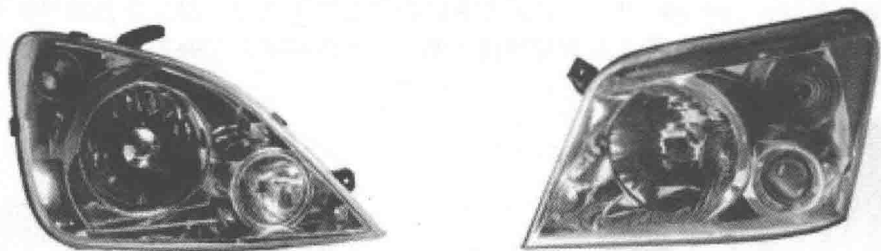
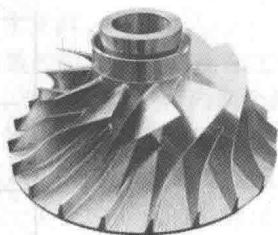


图2-1 车灯零件

典型复杂型面零件如图2-2所示,如采用三轴数控机床加工,由于其刀具相对于工件的姿态在加工过程中不能改变,加工某些复杂曲面时,就可能产生干涉和欠加工。而用五轴加工由于刀具的轴线可随时调整,避免刀具与工件的干涉,并能通过一次装夹完成全部加工,可用于发动机的叶片、船用螺旋桨和各种人工关节骨骼等的加工,此类零件占五轴加工类零件的5%,如图2-2和图2-3所示。



a)



b)

图 2-2 典型复杂型面零件

a) 叶片 b) 叶轮

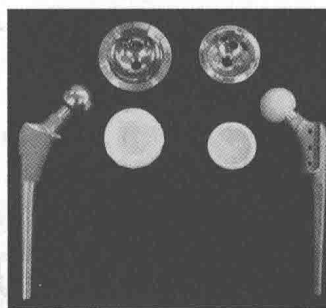


图 2-3 人工关节骨骼

多轴定位加工是指两个旋转轴根据不同需要转动到一定的角度，然后锁紧进行加工，当完成某一加工区域后，再根据需要调整两个旋转轴的加工。此类零件占五轴加工类零件的 95%。五轴定位加工零件如图 2-4 所示。

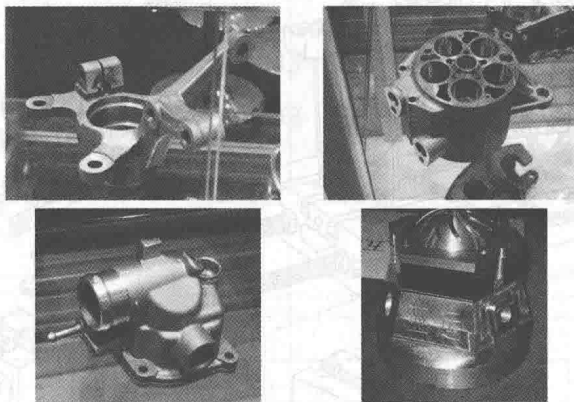


图 2-4 五轴定位加工零件

2. 工艺装备

数控机床夹具必须适应数控机床的高精度、高效率、多方向同时加工、数字程序控制及单件小批量生产的特点。为此，对数控机床夹具提出了一系列新的要求：

- 标准化、系列化和通用化。
- 发展组合夹具和拼装夹具，降低生产成本。
- 高精度。
- 提高夹具的高效自动化水平。

(1) 数控铣床夹具 数控铣床常用夹具是平口钳。先把平口钳固定在工作台上，找正钳口，再把工件装夹在平口钳上，这种方式装夹方便，应用广泛，适用于装夹形状规则的小型工件，如图 2-5 所示。

(2) 组合夹具 组合夹具把专用夹具的设计、制造、使用、报废的单向过程变为组装、拆散、清洗入库、再组装的循环过程。可用几小时的组装周期代替几个月的设计制造周期，从而缩短了生产周期，节省了工时和材料，降低了生产成本，还可减少夹具库房面积，有利于管理。

组合夹具的元件精度高、耐磨，实现了完全互换，元件精度一般为 IT6~IT7 级。用组合夹具加工的工件，位置精度一般可达 IT8~IT9 级，若精心调整，可以达到 IT7 级。

由于组合夹具有很多优点，又特别适用于新产品试制和多品种、小批量生产，所以近年来发展迅速，应用较广。组合夹具的主要缺点是体积较大、刚度较差、一次投资多、成本高，这使组合夹具的推广应用受到一定限制。

图 2-6 所示为盘类件钻径向孔工序图，用来钻径向分度孔的组合夹具立体图及其分解图如图 2-7 所示。

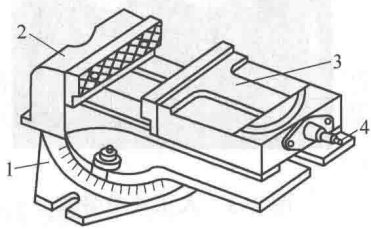


图 2-5 平口钳

1—底座 2—固定钳口 3—活动钳口 4—螺杆

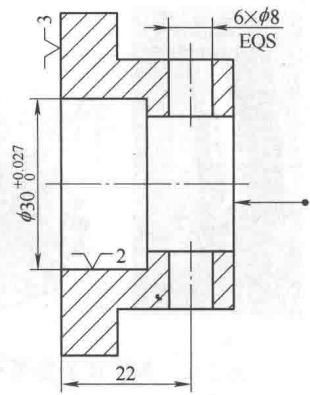


图 2-6 盘类件钻径向孔工序图

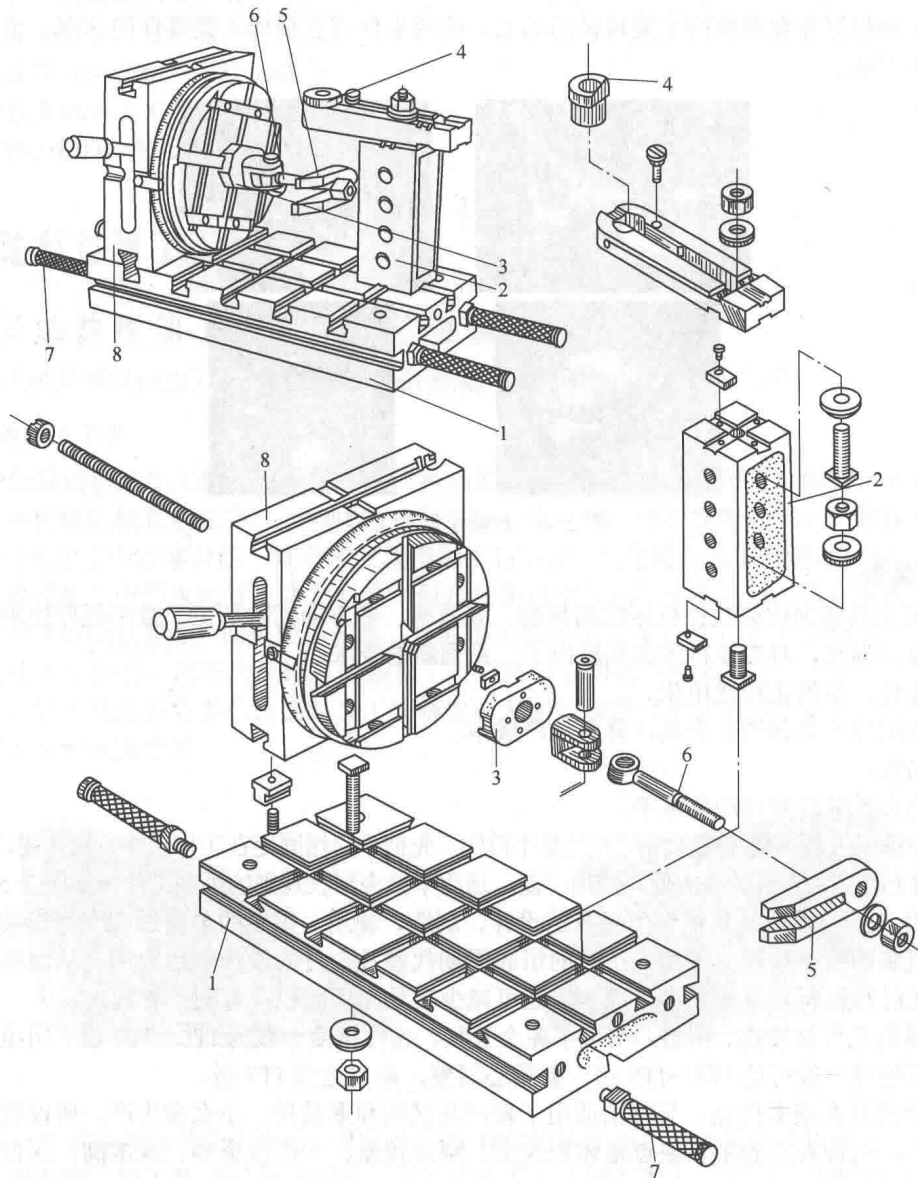


图 2-7 钻盘类零件径向孔的组合夹具立体图及其分解图

1—基础件 2—支承件 3—定位件 4—导向件 5—夹紧件 6—紧固件 7—其他件 8—合件

(3) 拼装夹具 拼装夹具是在成组工艺基础上,用标准化、系列化的夹具零部件拼装而成的夹具。它有组合夹具的优点,且比组合夹具具有更好的精度和刚性、更小的体积和更高的效率,因而更适合柔性加工的要求,常用作数控机床夹具。

图 2-8 所示为镗箱体孔的数控机床夹具,需在工件 6 上镗削 A 、 B 、 C 3 个孔。工件在液压基础平台 5 及三个定位销孔 3 上定位;通过基础平台内两个液压缸 8、活塞 9、拉杆 12、压板 13 将工件夹紧;夹具通过安装在基础平台底部的两个连接孔中的定位键 10 在机床 T 形槽中定位,并通过两个螺旋压板 11 固定在机床工作台上。可选基础平台上的定位孔 2 作为夹具的坐标原点,与数控机床工作台上的定位孔 1 的距离分别为 X_0 、 Y_0 。3 个加工孔的坐标尺寸可用机床定位孔 1 作为零点进行计算编程,称为固定零点编程;也可选夹具上方便的某一定位孔作为零点进行计算编程,称为浮动零点编程。

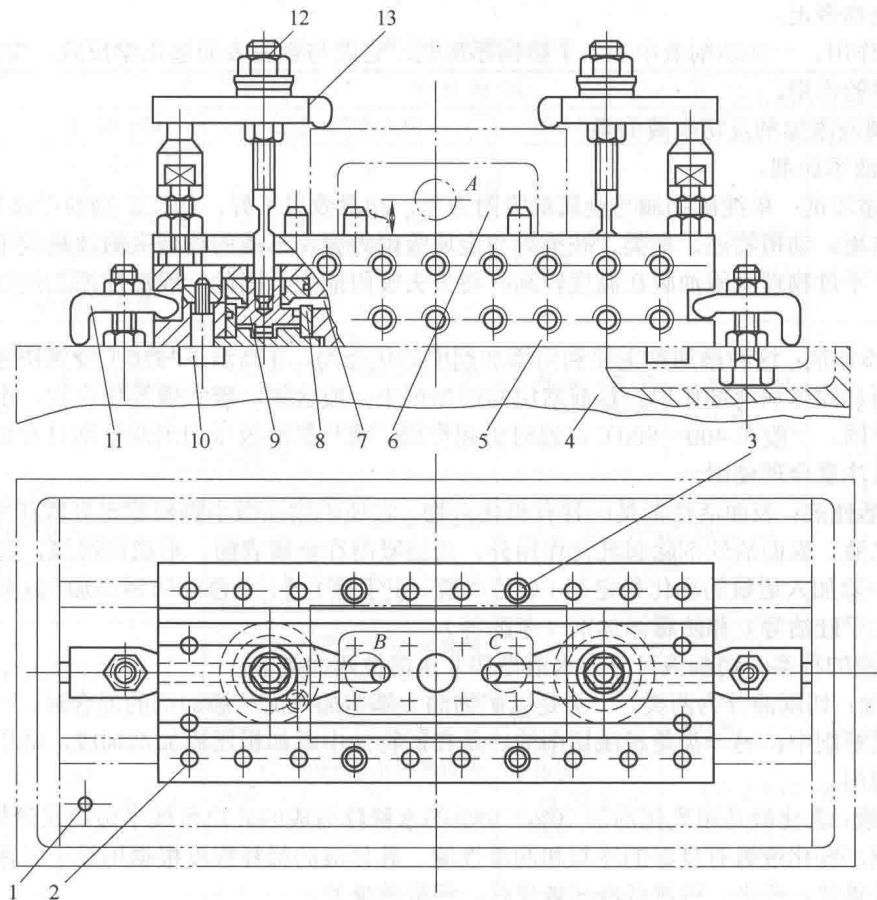


图 2-8 镗箱体孔的数控机床夹具

- 1、2—定位孔 3—定位销孔 4—数控机床工作台 5—液压基础平台
6—工件 7—通油孔 8—液压缸 9—活塞 10—定位键 11、13—压板 12—拉杆

3. 切削液

切削液的主要功能是起润滑和冷却作用,它对于减少刀具磨损、提高加工表面质量、降低切削区温度和um提高生产效率都有非常重要的作用。

(1) 切削液的作用

1) 润滑作用。切削液能在刀具的前、后面与工件之间形成一层润滑薄膜,可减少或避免刀具与工件或切屑间的直接接触,减轻摩擦和黏结程度,因而可以减轻刀具的磨损,提高工件表面的加工质量。

切削速度对切削液的润滑效果影响最大,一般速度越快,切削液的润滑效果越差。切削液的润滑效果还与切削厚度、材料强度等切削条件有关。切削厚度越大,材料强度越高,润滑效果越差。

2) 冷却作用。流出切削区的切削液带走大量的热量, 从而降低工件与刀具的温度, 提高刀具寿命, 减少热变形, 提高加工精度。不过切削液对刀具与切屑界面的影响不大, 试验表明, 切削液只能缩小刀具与切屑界面的高温区域, 并不能降低最高温度, 一般的浇注方法主要冷却切屑。切削液如喷注到刀具副后面处, 对刀具和工件的冷却效果更好。

切削液的冷却性能取决于它的导热系数、比热容、汽化热、气化速度及流量、流速等。切削热的冷却作用主要靠热传导。因为水的导热系数为油的3~5倍, 且比热也大一倍, 所以水溶液的冷却性能比油好。

切削液自身温度对冷却效果影响很大。切削液温度太高, 冷却作用小; 切削液温度太低, 切削液黏度大, 冷却效果也不好。

3) 清洗作用。在车、铣、磨削、钻等加工时, 常浇注和喷射切削液来清洗机床上的切屑和杂物, 并将切屑和杂物带走。

4) 防锈作用。一些切削液中加入了防锈添加剂, 它能与金属表面起化学反应, 生成一层保护膜, 从而起到防锈的作用。

(2) 切削液添加剂及切削液分类

1) 切削液添加剂。

① 油性添加剂: 单纯矿物油与金属的吸附力差, 润滑效果不好, 如在矿物油中添加油性添加剂, 将改善润滑作用。动植物油、皂类、胺类等与金属吸附力强, 形成的物理吸附油膜较牢固, 是理想的油性添加剂。不过物理吸附油膜在温度较高时将失去吸附能力, 因此一般油性添加剂切削液在200℃以下使用。

② 极压添加剂: 这种添加剂主要利用添加剂中的化合物, 在高温下与加工金属快速反应形成化学吸附膜, 从而起固体润滑剂作用。目前常用的添加剂中一般含氯、硫和磷等化合物。由于化学吸附膜与金属结合牢固, 一般在400~800℃高温时仍起作用。硫与氯的极压切削油分别对有色金属和钢铁有腐蚀作用, 应注意合理使用。

③ 表面活性剂: 表面活性剂是一种有机化合物, 它使矿物油微小颗粒稳定分散在水中, 形成稳定的水包油乳化液。表面活性剂除起乳化作用外, 还能吸附在金属表面, 形成润滑膜, 起润滑作用。

乳化液中除加入适量的乳化稳定剂(如乙二醇、正丁醇)外, 还添加防锈添加剂(如亚硝酸钠等)、抗泡沫剂(二甲硅油等)和防霉添加剂(苯酚等)。

2) 切削液的种类。切削液可分为水溶性和非水溶性两大类。

① 切削油: 切削油分为两类, 一类是以矿物油为基体加入油性添加剂的混合油, 一般用于低速切削有色金属及磨削中; 另一类是极压切削油, 是在矿物油中添加极压添加剂制成, 适用于重切削和难加工材料的切削。

② 乳化液: 乳化液是用乳化油加70%~98%的水稀释而成的乳白色或半透明状液体, 它由切削油加乳化剂制成。乳化液具有良好的冷却和润滑性能。乳化液的稀释程度根据用途定。浓度高润滑效果好, 但冷却效果差; 反之, 浓度低冷却效果好, 润滑效果差。

③ 水溶液: 水溶液的主要成分是水, 具有良好的防锈性能和一定的润滑性能, 常加入一定的添加剂(如亚硝酸钠、硅酸钠等)。常用的水溶液有电介质水溶液和表面活性水溶液。电介质水溶液是在水中加入电介质作为防锈剂; 表面活性水溶液是加入皂类等表面活性物质, 增强水溶液的润滑作用。

(3) 切削液的选用原则 切削液的效果除由本身的性能决定外, 还与工件材料、刀具材料、加工方法等因素有关, 应该综合考虑, 合理选择, 以达到良好的效果。表2-1为常用切削液选用表。以下是一般的选用原则:

① 粗加工: 粗加工时, 切削用量大, 产生的切削热量多, 容易使刀具迅速磨损。此类加工一般采用冷却作用为主的切削液, 如离子型切削液或3%~5%乳化液。切削速度较低时, 刀具以机械磨损为主, 宜选用润滑作用为主的切削液; 速度较高时, 刀具主要是热磨损, 应选用冷却作用为主的切削液。

硬质合金刀具耐热性好, 热裂敏感, 可以不用切削液。如采用切削液, 必须连续、充分浇注, 以免冷热不均产生热裂纹而损伤刀具。

② 精加工: 精加工时, 切削液的主要作用是提高工件表面加工质量和加工精度。