

工程软件高速加工实例详解



PowerMILL 10.0

数控高速加工 实例详解



刘江 高长银



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

附赠DVD光盘



基础知识够用
实例丰富，讲解透彻，可借鉴性强
学习后可轻松实现从入门到精通

工程软件高速加工实例详解

PowerMILL 10.0

数控高速加工实例详解

刘 江 高长银 黎胜容 主编



机械工业出版社

本书基于 PowerMILL 10.0 软件平台,通过大量典型实例,深入浅出地介绍了 PowerMILL 数控高速加工的原理、技术和实际应用。全书共 5 章,第 1、2 章为基础知识,简要介绍了高速加工机床的结构、工艺以及 PowerMILL 高速加工技术,使读者对高速加工特点与 PowerMILL 加工操作基础有一入门性的了解和熟悉;第 3~5 章为典型实例,从专业的角度,本着循序渐进、由浅至深的原则,分别介绍了 PowerMILL 三轴、PowerMILL 四轴和 PowerMILL 五轴高速加工实例。这些实例全部来自于实际项目,代表性和实践性强,讲解方式由点及面、化繁为简,无论读者是否具有数控基础,都可以轻松入门、上手和提高,最后达到熟练应用和精通的效果。

本书含光盘一张,包括书中所有实例素材文件和视频操作演示,方便读者使用。本书适合企业数控加工人员使用,同时也可作为大中专院校相关专业学生的理想教材,是读者学习高速加工的必备参考书。

图书在版编目(CIP)数据

PowerMILL10.0 数控高速加工实例详解/刘江,高长银,黎胜容主编. —北京:机械工业出版社,2011.11

(工程软件高速加工实例详解)

ISBN 978-7-111-36001-8

I. ①P… II. ①刘… ②高… ③黎… III. ①数控机床—加工—计算机辅助设计—应用软件, PowerMILL10.0 IV. ①TG659-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 198622 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 高依楠

封面设计:马精明 责任印制:杨 曦

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2012 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·20.25 印张·392 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-36001-8

;ISBN 978-7-89433-171-7(光盘)

定价:48.00 元(含 1DVD)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务 编辑热线:(010)88379733

社服务中心:(010)88361066 网络服务

销售一部:(010)68326294 门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 教材网:<http://www.cmpedu.com>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

本书创作背景

高速加工是一门先进的切削技术,与普通加工技术相比,高速加工具有非常快的切削速度和进给速度,不仅可使用户提高加工效率,缩短加工时间,而且还可获得较高的加工精度。因此,随着制造业技术的不断发展,高速加工逐渐得到了广泛的应用。**PowerMILL** 具有丰富强大的高速加工功能,拥有众多的用户,但是市场上同类的 **PowerMILL** 书籍比较少,而且主要以讲解基础操作为主,实用性不强。为了弥补这种不足,本书结合大量典型实例来讲解 **PowerMILL** 高速数控加工编程的方法与技巧。

本书内容导读

全书以最新的 **PowerMILL 10.0** 为写作平台,内容共 5 章,具体内容如下:

第 1 章为高速加工的专业知识,简要介绍了高速加工的特点和应用、机床结构与分类、加工刀具材料和结构以及高速加工的工艺。读者通过学习,将对高速加工技术有一入门性的了解,熟悉和掌握高速加工的机床结构、刀具选用以及加工工艺。

第 2 章介绍了 **PowerMILL** 数控高速加工的主要技术,包括三轴、四轴和五轴加工技术。为了加深读者学习印象和巩固学习效果,重点通过加工原理、操作方法和参数设置的形式来讲解。读者通过学习,将具备扎实的操作技术,为后面的实例学习打下基础。

第 3~5 章介绍了高速加工典型实例,其中三轴高速加工范例包括箱体腔槽高速加工、音乐盒曲面高速加工、望远镜高速铣削加工;四轴高速加工范例包括麻花钻高速加工、鞋模曲面高速加工、螺旋转子高速加工;五轴高速加工范例包括电吹风凹模高速加工、太阳镜凸模高速加工。实例类型从简单到复杂,循序渐进,同时全部来自于工程实践,代表性和指导性强,方便读者学习后举一反三,实现从入门到精通。

本书主要特点

归纳起来,本书主要特点如下:

1) 内容安排:专业理论→**PowerMILL** 高速加工技术→典型实例,技术理论为辅,工程实践为主,集专业性和实用性于一体。

2) 讲解方式:由点及面、化繁为简、深入浅出,无论读者是否具有高速加工基础,都可以轻松实现入门与提高。

3) 本书光盘: 提供全书所有实例操作的视频演示, 手把手指导读者练习和温习巩固, 物超所值。

本书读者对象

本书面向数控行业的初、中级用户, 既适合企业数控加工人员使用, 同时也可作为大中专院校相关机械专业学生的学习教材, 是读者学习高速加工技术与应用的有力帮手。

本书作者队伍

本书由刘江、高长银、黎胜容主编, 参加编写的还有黎双玉、李万全、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。

由于时间有限, 书中难免会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 高速加工的专业知识	1
1.1 数控高速加工基础	1
1.1.1 高速加工的特点和应用	2
1.1.2 高速加工机床的结构与分类	4
1.1.3 高速加工刀具材料和结构	17
1.2 数控高速加工工艺	26
1.2.1 高速加工的工艺特点	27
1.2.2 高速加工切削用量的选择	29
1.2.3 高速加工路径规划	34
1.3 本章小结	37
第 2 章 PowerMILL 10.0 高速加工基础	38
2.1 PowerMILL 三轴高速加工技术	38
2.1.1 三维粗加工	38
2.1.2 三维精加工策略	57
2.2 PowerMILL 四轴高速加工技术	119
2.3 PowerMILL 五轴高速加工技术	123
2.3.1 刀轴设置	123
2.3.2 SWARF 精加工	143
2.3.3 线框 SWARF 精加工	151
2.4 本章小结	153
第 3 章 PowerMILL 三轴高速加工范例	154
3.1 入门实例——腔槽零件高速加工	154
3.1.1 实例描述	154
3.1.2 加工方法分析	154
3.1.3 加工流程与所用知识点	155
3.1.4 具体操作步骤	156
3.1.5 实例总结	172
3.2 提高实例——音乐盒凸模高速加工	172

3.2.1 实例描述.....	172
3.2.2 加工方法分析.....	172
3.2.3 加工流程与所用知识点.....	173
3.2.4 具体操作步骤.....	174
3.2.5 实例总结.....	196
3.3 经典实例——望远镜高速铣削加工.....	196
3.3.1 实例描述.....	196
3.3.2 加工方法分析.....	197
3.3.3 加工流程与所用知识点.....	197
3.3.4 具体操作步骤.....	198
3.3.5 实例总结.....	215
第4章 PowerMILL 四轴高速加工范例.....	216
4.1 入门实例——鞋模曲面高速加工.....	216
4.1.1 实例描述.....	216
4.1.2 加工方法分析.....	216
4.1.3 加工流程与所用知识点.....	217
4.1.4 具体操作步骤.....	218
4.1.5 实例总结.....	231
4.2 提高实例——铣刀刀头高速加工.....	231
4.2.1 实例描述.....	231
4.2.2 加工方法分析.....	232
4.2.3 加工流程与所用知识点.....	232
4.2.4 具体操作步骤.....	233
4.2.5 实例总结.....	246
4.3 经典实例——螺旋丝杠高速加工.....	246
4.3.1 实例描述.....	246
4.3.2 加工方法分析.....	246
4.3.3 加工流程与所用知识点.....	247
4.3.4 具体操作步骤.....	248
4.3.5 实例总结.....	256
第5章 PowerMILL 五轴高速加工范例.....	257
5.1 入门实例——鞍形零件五轴高速加工.....	257
5.1.1 实例描述.....	257
5.1.2 加工方法分析.....	257

5.1.3 加工流程与所用知识点.....	258
5.1.4 具体操作步骤.....	259
5.1.5 实例总结.....	272
5.2 提高实例——机座凸模五轴高速加工.....	272
5.2.1 实例描述.....	272
5.2.2 加工方法分析.....	272
5.2.3 加工流程与所用知识点.....	273
5.2.4 具体操作步骤.....	275
5.2.5 实例总结.....	298
5.3 经典实例——瓶子凹模五轴高速加工.....	299
5.3.1 实例描述.....	299
5.3.2 加工方法分析.....	299
5.3.3 加工流程与所用知识点.....	299
5.3.4 具体操作步骤.....	301
5.3.5 实例总结.....	314
参考文献.....	315

第 1 章 高速加工的专业知识

高速加工是相对于常规加工而言的一种技术。对高速加工的描述国内外机构各有不同，分别如下：

1) 国际生产工程学院 CIRP 切削委员会在 1978 年提出，线速度在 $500\sim 7000\text{m/min}$ 的切削加工为高速加工。

2) 德国 Darmstadt 工业大学生产工程与机床研究所 PTW 提出，以高于普通切削速度 $5\sim 10$ 倍的切削加工为高速加工。

3) 对铣削加工而言，以刀具夹持装置达到平衡要求时的速度来定义高速加工，ISO1940 提出主轴转速超过 8000r/min 为高速加工。

4) 从主轴设计的角度，以沿用多年的主轴转速特征值 DN 值来定义高速加工， DN 值在 $(5\sim 15)\times 10^5\text{mm}\cdot\text{r/min}$ 时为高速加工。

5) 从主轴和刀具的动力学角度来定义，它取决于刀具振动的主模式频率，在 ANSI/ASME 标准中用来进行切削性能测试时选择转速范围。

本章将首先介绍高速加工的专业知识，包括高速加工的特点、高速加工机床、高速加工刀具以及高速加工的工艺，使读者对高速加工有一个基础性的了解。

1.1 数控高速加工基础

高速加工与普通加工有很大的不同，具体见表 1-1。

表 1-1 高速加工与普通数控加工的区别

项 目	普通数控加工	高 速 加 工
切削速度	一般不超过 6000r/min	约 10000r/min 以上
进给速度	一般不超过 10m/min	$30\sim 100\text{m/min}$
加工余量	小于刀具半径	$(0.1\sim 0.2)$ 刀具半径
切削力	大	小
运动传递方式	轴、齿轮	电主轴
刀具材料	普通刀具材料	超硬刀具材料
加工质量	一般	较好 ($Ra=0.4\mu\text{m}$)

(续)

项 目	普通数控加工	高 速 加 工
加工时间	长	短
机床	普通机床 (国产)	高速切削机床 (进口)
机床价格	较低	较高
工艺流程	粗、半精、精、清根加工	粗、精加工

高速加工英文全称 High Speed Cutting (HSC)。一般认为：高速加工是指采用比常规切削速度和进给速度高得多（一般要大于 5~10 倍）的速度来进行高效加工的先进制造技术。高速加工一般采用高的主轴转速、高的进给速度，较小的切削深度，其切削速度伴随刀具材料的超硬耐磨性的发展而不断提高，现阶段一般把主轴转速在 10 000~20 000r/min、进给速度在 30~100m/min 范围的切削归纳为高速加工。

1.1.1 高速加工的特点和应用

下面首先归纳介绍高速加工的特点。

1. 高速加工的特点

(1) 减少机加工时间，获得高的加工效率 高速加工提高了切削速度和进给速度，使单位时间内金属材料的切除率增大，减少了加工时间。对于精加工来说，高速加工的材料去除速度是常规加工的 4 倍以上，粗加工的材料去除率也可达到 45cm³/min 左右。此外，高速加工一般只需要进行粗、精加工，半精加工和清根加工可以省略，简化了工艺方案，机加工设备种类也有所减少。常规铣加工不能加工淬火后的材料，淬火变形必须人工修整或通过放电加工解决。高速加工可以直接加工淬火后的材料，省去了放电加工工序，消除了放电加工所带来的表面硬化问题，减少或免除了人工光整加工。由于高速加工采用极小的切削深度和小的切削宽度，所以可使更小的刀具加工细小的凹圆角和精细结构，从而免除了其他加工工序，减少了钳工的修整工作。在模具制造工业，高速加工为修模工作带来极大方便。以前只能由放电加工解决的修模工作现在可以由高速加工利用原有的 NC 程序来准确无误地直接完成，不需要再编程。

(2) 获得高的加工精度和表面质量 由于高速加工采用极小的切削深度和小的切削宽度，因此可以得到高质量的加工表面，节省人工修光工序和放电加工工序。

1) 高速加工时，切削深度很小，对同样的切削层，表现为切削力下降，工件变形减小。

2) 由于高速加工的切削速度高，对工件切削时间短，大量的切削热来不

及传导就随切屑排出,切削温度下降;工件的热变形小,仅受一次热冲击,工件表面损伤轻,使得表面粗糙度降低,可保持良好的表面力学性能,呈压应力状态。

3) 高速加工时与主轴转速相关的激振频率远远高于工艺系统的固有频率,对切削加工的不利因素(如振动等)被削弱。

(3) 高速加工可以加工薄壁零件 由于高速加工采用极小的切削深度和切削宽度,因此切削力较小,可以加工细弱零件和薄壁零件。此外,高速加工时随着切削速度的提高,切削剪切区温度升高,工件材料软化,材料屈服强度降低,使得单位时间切削力下降。因此高速加工在航空工业中可成功切削厚度为 0.1mm 的铝薄壁件。

(4) 改善加工环境 在一些精密加工中(如模具制造等),型面加工多采用电加工,由于电加工会产生一些有害气体和烟雾,生产效率也不高,这同目前低能耗、与环境协调的绿色加工的发展方向不一致,用高速铣削加工来代替特种加工是模具制造业的一个发展方向。HSM 可以获得较好的表面质量(R_a 可达到 $0.4\mu\text{m}$),这不仅可省去电火花加工后的磨削、抛光等工序,而且在工件表面上可形成压应力,提高模具的寿命。

2. 高速加工的应用

高速加工是一项高新技术,它的基本特征为三高:高效率、高精度和高表面质量,因此在汽车工业、航空航天、模具制造和仪器仪表等行业中应用比较多。

(1) 航空工业 航空工业是高速加工的主要应用行业,例如飞机上的一些零件为了提高可靠性和降低成本,采用整体制造法,将原来由多个铆接或焊接而成的部件改成整体实心材料制造。有的整体构件的材料去除率高达 90%,而其中许多零件为薄壁、细筋结构,厚度甚至不到 1mm,由于刚度差,不允许有很大背吃刀量,因此高速切削成为此类零件加工工艺的唯一选择。采用高速切削可大大提高生产效率,降低成本。

此外,对于飞机材料中的难加工材料(如钛合金、高温合金及高强度合金),它们的切削加工性能差,普通加工只能采用低速切削,制造和应用都受到限制,采用高速加工后,切削力减小,切削热大部分都被切屑带走,工件温度不高,制造难度下降。

(2) 汽车工业 现在汽车产品的样式越来越多样化,汽车产品的换型越来越快,产品纷繁多样化,由原来单一工件的大批量生产变成了多种工件的较小批量的叠加成的大批量生产。因此,汽车制造工业占统治地位的组合机床自动线虽然效率高,但却无法满足汽车行业快速更新的现实。而以高速加工技术为基础的敏捷柔性自动生产线被越来越多的国内外汽车制造厂家所采用。国外如美国 GM

发动机总成工厂的高度柔性自动生产线、福特汽车公司和 Ingersoll 机床公司合作研制以 HVM800 卧式加工中心为主的汽车生产线。大批量生产的汽车行业面临产品快速更新换代而形成的多品种生产线来代替组合机床生产线，高速加工中心则将柔性生产的生产速度提升到组合机床生产线水平。

(3) 模具工业 在模具行业，高速切削是典型的高转速、高进给、低切削量应用，可以取代传统的磨削加工、电火花加工以及光整加工，减少加工时间，缩短工艺流程，提高生产率。根据研究统计，采用高速加工，可以使模具的制造周期缩短 30%~80%。

(4) 精密制造业 在精密机械或光学仪器的制造中，尺寸精度、加工稳定性等方面往往要求较高，而采用高速加工时激振频率很高，工作平稳，容易获得较高的尺寸精度，高速加工正好大有用场，如图 1-1 所示为汽车远光灯反光杯手板的数控高速加工。

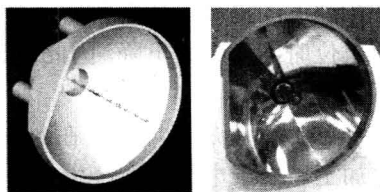


图 1-1 汽车远光灯反光杯手板的数控高速加工

1.1.2 高速加工机床的结构与分类

高速加工机床与普通加工机床存在很大不同，它必须能够提供高切削速度。在介绍机床结构与分类之前，首先对高速加工机床特点要求做一归纳。

1. 高速加工机床特点

(1) 高速主轴单元及驱动系统 高速主轴系统是高速切削的最关键技术之一。高速主轴系统不仅要提供高的转速，而且要有高的同轴度、高的传递力矩和传动功率、良好的散热或冷却装置，并具有动平衡精度。主轴部件的设计要保证具有良好的动态和热态特性，具有极高的角加减速速度来保证在极短的时间内实现升降速和在指定位置上准停。

高速加工机床与普通机床主轴单元的不同之处表现在：主轴转速一般为普通机床主轴转速的 5~10 倍，机床的最高转速一般都大于 10 000r/min，有的高达 60 000~100 000r/min；主轴的加、减速度比普通机床高得多，一般比常规数控机床高出一个数量级，达到 1~8g 的加速度，通常只需 1~2s 即可完成从启动到选定的最高转速（或从最高转速到停止）；主轴单元电动机功率一般高达 20~80kW，以满足高速、高效和重载荷切削的要求。

(2) 高速进给系统和数控伺服驱动系统 在高速切削加工中，高速机床进给速度和其加、减速度也必须大幅度提高。同时机床空行程运动速度也大大提高。现代高速加工机床进给系统执行机构的运动速度要求达到 40~120m/min，进给加

速度和减速度同样要求达到 $1\sim 8g$, 为此机床进给驱动系统的设计必须突破一般数控机床中的旋转伺服电动机+普通滚珠丝杠的进给传动模式。结构上采用主要措施如下:

1) 大幅度减轻进给移动部件的重量, 在结构上实现零传动, 即直接采用直线电动机驱动。

2) 采用多头螺纹行星滚珠丝杠代替常规钢球式滚珠丝杠以及采用无间隙直线滚动导轨, 实现进给部件的高速移动和快速准确定位。

3) 采用快速反应的伺服驱动 CNC 控制系统。

(3) 高刚度的床体结构 高速加工机床在高速切削状态下, 一方面产生切削力作用在床体上; 另一方面因速度很高, 还会产生较大的附加惯性力作用在床体上, 因而机床床身受受力较大。设计时要求其具有足够高的强度、刚度和高的阻尼特性。此外, 高刚性和高的阻尼特性也是高速加工中保证质量和提高刀具寿命的必备条件。

(4) 热态特性和精动态特性优良 高速切削加工情况下, 单位时间内其移动部件间因摩擦产生的热量较多, 热变性较大, 机床结构设计必须保证其在内部热源和外部热源作用下, 不能产生较大的热变形。为此, 高速切削加工机床一般要采取特殊的冷却措施来冷却主轴电动机、主轴支撑轴承、直线电动机、液压油箱、电气柜等, 有的设置冷却主轴箱、横梁、床身等大构件。由于高速切削加工下的动态力(惯性力、切削力、阻尼力)和静态力(夹紧力)较大, 机床各支撑部件和其总体必须要有足够的动、静刚度, 不致产生较大的变形, 保证零件的加工精度、加工安全和可靠性。

(5) 换刀装置方便可靠 随着切削速度的提高, 切削时间的不断缩短, 对换刀时间要求也逐渐提高。缩短换刀时间对于提高加工中心的生产率就显得更加重要, 也成为高水平加工中心的一项重要指标。自动换刀装置的高速化也是高速加工中心的重要技术内容。新型换刀结构的设计要保证高速切削加工下换刀方便、可靠、迅捷, 换刀时间短。

(6) 冷却系统高效快速 在高速切削加工条件下, 单位时间内切削区域会产生大量的切削热, 如果不能及时将这些热量迅速地从切削区域散出, 不但妨碍切削工作的正常进行, 而且会造成机床、刀具、工具系统的热变形, 严重影响加工精度和动刚度。高速电主轴结构设计时冷却系统设计也是不可忽略的一个重要方面。为了防止主轴部件在高速运转过程中出现过热现象, 支撑轴承必须考虑采用有效的强制冷却方法。

(7) 安全装置和实时监控系统 高速加工过程中若有刀具崩裂, 飞出去的刀具碎片如同出膛的子弹一般, 极易造成人身伤害。为此, 机床工作时必须用足够厚的钢板将切削区域封闭起来, 同时还要考虑便于人工观察切削区状况。此外,

工件和刀具必须保证夹紧牢靠,必须采用主动在线监控系统,对刀具磨损、破损和主轴运行状况等进行在线识别和监控,确保操作人员和设备安全。

2. 高速加工机床结构

高速加工机床与传统的机床有很大的区别变化,主要包括高速回转主轴、高速进给系统、高速机床支撑部件、高速数控系统和高速加工监测系统。

(1) 高速主轴系统 高速主轴在结构上大都采用交流伺服电动机直接驱动的集成化结构,取消了齿轮变速机构,采用电气无级调速,并配备强力的冷却和润滑装置。集成电动机主轴的特点是振动小、噪声小、体积紧凑。集成电动机主轴是把电动机转子与主轴做成一体,即将无壳电动机的空心转子用过盈配合的形式直接套装在机床主轴上,带有冷却套的定子则安装在主轴单元的壳体中,形成内装电动机主轴,简称为电主轴,如图 1-2 所示。电主轴电动机的转子就是机床的主轴,机床主轴单元的壳体就是电动机座,从而实现了变频电动机与机床主轴的一体化,这种传动方式把机床主传动链的长度缩短为零,实现了机床的零传动,具有机构紧凑、易于平衡、传动效率高等特点。

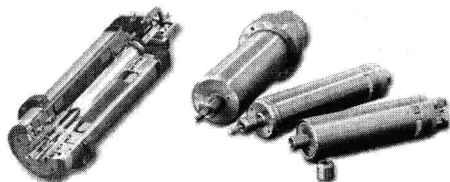


图 1-2 高速加工电主轴

1) 电主轴结构。高速电主轴的结构图如图 1-3。电主轴交流伺服电动机的转子套装在机床主轴上,电动机定子安装在主轴单元的壳体中,采用自来水或油冷却循环系统,使主轴在高速旋转时保持恒定的温度。电主轴的基本参数有套筒直径、最高转速、输出功率、转矩等,其中套筒直径为电主轴的主要参数。目前国内外专业的电主轴制造厂可供应几百种规格的电主轴,其套筒直径从 32mm 到 320mm,转速从 10 000r/min 到 150 000r/min,功率从 0.5kW 到 80kW。

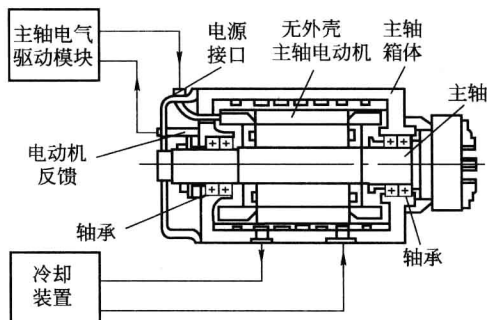


图 1-3 电主轴的结构

在电主轴中电动机内置会带来不少问题,但在高速加工中采用该措施几乎是

唯一的选择，也是最佳的选择，原因如下：

①如果电动机不内置，仍采用电动机通过带或齿轮等方式传动，则在高速运转条件下，由此产生的振动和噪声等问题很难解决，势必影响高速加工的精度、加工表面粗糙度，并导致环境质量的恶化。

②高速加工的最终目的是为了提高生产率，相应地要求在最短时间内实现高转速的速度变化，也即要求主轴回转时具有极大的角加、减速度。达到这个严酷要求的最经济的方法，是将主轴传动系统的转动惯量尽可能减至最小。而只有将电动机内置，省掉齿轮、带等一系列中间环节，才能达到这个目的。

③电动机内置主轴两支撑之间，与用带、齿轮等作为末端传动的结构相比，可以较大地提高主轴系统的刚度，也就提高了系统的固有频率，从而提高了其临界转速值。这样，电主轴即使在最高转速运转时，仍可确保低于临界转速，保证高速回转时的安全。

④由于没有中间传动环节的外力作用，主轴高速运行没有冲击而更为平稳，使得主轴轴承寿命相应得到延长。

2) 电主轴的冷却和轴承的润滑。电主轴最突出的问题之一就是内装式高速电动机的发热问题，这与一般主轴部件不同。因为电动机安装在主轴的两支撑轴承的中央，所以电动机的发热会直接影响主轴轴承的工作精度，即影响主轴的工作精度。解决的办法之一就是在电动机定子的外面加一带螺旋槽的铝质冷却套。机床工作时，冷却油-水不断地在该螺旋槽中流动，从而把电动机发出的热量及时带走。冷却油-水的流量可根据电动机发出的热量计算确定。图 1-4 为电主轴的油-水热交换系统。

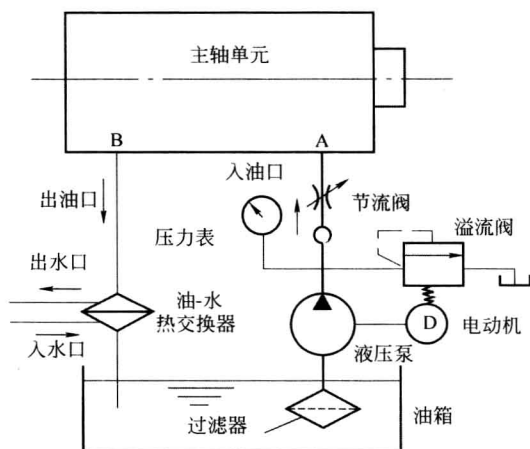


图 1-4 电主轴油-水热交换系统

另外，还必须解决主轴轴承的发热问题。由于电主轴的转速高，对主轴轴

承的动态和热态特性要求十分严格。除个别超高速电主轴采用磁悬浮轴承或液体动静压轴承外,目前国内外绝大多数高速电主轴都采用角接触的 Si3N4 陶瓷滚珠轴承,为了降低主轴轴承的温升,电主轴轴承可采用油-气润滑系统,如图 1-5 所示。它利用分配阀,对所需润滑的不同部位,按照其实际需要,定时、定量地供给油-气混合物,以保证轴承的各个不同部位既不缺润滑,又不会因润滑过量而造成更大的温升,并可将油雾污染降至最低程度。

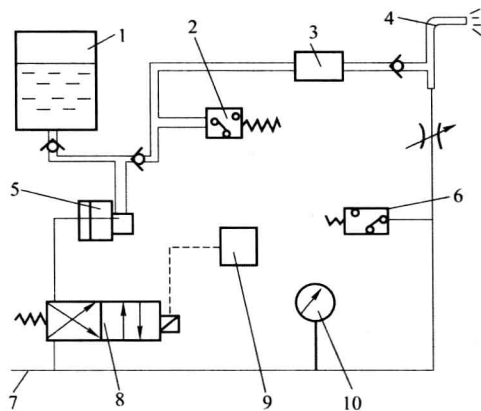


图 1-5 电主轴轴承油-气润滑系统

1—润滑油箱 2、6—压力开关 3—定量分配器 4—喷嘴 5—泵 7—压缩开关
8—电磁阀 9—时间继电器 10—压力表

(2) 高速进给系统 高速进给系统是高速数控机床的关键部件之一。目前对高速进给系统的要求包括以下几项:

①高速度。由于高速机床的主轴转速比常规机床要高得多,并且还有继续上升的趋势,因此为了保证高速切削的顺利进行和减少空程时间,提高数控加工效率,要求进给系统必须提供足够高的进给速度。目前高速机床对进给速度的基本要求为 60m/min,特殊情况可达到 120m/min,甚至更高。

②高加速度。由于大多数高速机床加工零件的工作行程范围只有几十毫米到几百毫米,如果不能提供很大的加速度来保证在瞬间达到高速和在高速行程中瞬间准停,高速度是没有意义的,因此对高速机床进给运动的加速度也提出了很高的要求。目前一般高速机床要求进给加速度为 1~2g,某些高速机床要求加速度达到 2~10g。

③高精度。精度是机床的关键指标,高速机床对精度的要求尤为突出。在高速运动情况下,进给驱动系统的动态性能对机床加工精度的影响很大,在设计高速机床进给系统时必须予以充分重视。此外,随着进给系统的不断提高,各坐标轴的跟踪误差对合成轨迹精度的影响将变得越来越突出,因此在开发新型高速机床时,一方面要提高各坐标轴自身位置闭环控制的精度,另一方面也须从合成轨

迹和闭环控制的角度来研究高速情况下轨迹控制方法与实现技术。

④高可靠性和高安全性。在高速加工情况下,如果机床可靠性与安全性差,将会造成灾难性的后果,这方面比普通数控机床的要求更加严格。由于进给伺服系统是数控机床中强、弱之间的接口环节,其故障率一般比较高,对机床整机的可靠性造成的影响也比较大,另一方面进给系统包含有运动部件,高速下一旦失控,将非常危险。因此提高高速进给系统的可靠性和安全性对提高高速机床的整机性能具有重要的意义。

⑤合理的成本。在保证质量和性能的前提下,降低高速机床的制造成本,提高其性能价格比,是推广应用这类新型机床的关键。考虑到进给系统的成本在高速机床总成本中占有比较大的比重,因此采取有效措施降低进给系统的成本,对控制整机成本具有重要意义。

1) 高速滚珠丝杠副进给系统。为了使传统的滚珠丝杠传动系统应用到高速机床中,国内外有关制造厂商不断采取措施,提高滚珠丝杠的高速性能。主要措施如下:

①适当加大丝杠的转速、导程和螺纹头数。目前常用大导程滚珠丝杠名义直径与导程的匹配为 40mm×20mm、50mm×25mm、50mm×30mm 等,其进给速度均可达到 60m/min 以上。为了提高滚珠丝杠的刚度和承载能力,大导程滚珠丝杠一般采用双头螺纹,以提高滚珠的有效承载圈数。

②改进结构,提高滚珠运动的流畅性。改进滚珠循环反向装置,优化回珠槽的曲线参数,采用三维造型的导珠管和回珠器,真正做到沿着内螺纹的导程角方向将滚珠引进螺母体中,使滚珠运动的方向与滚道相切而不是相交。这样可把冲击损耗和噪声减至最小。

③采用“空心强冷”技术。高速滚珠丝杠在运行时由于摩擦产生高温,造成丝杠的热变形,直接影响高速机床的加工精度。采用“空心强冷”技术,就是将恒温切削液通入空心丝杠的孔中,对滚珠丝杠进行强制冷却,保持滚珠副温度的恒定。这个措施是提高中、大型滚珠丝杠高速性能和工作精度的有效途径。

④对于大行程的高速进给系统,可采用丝杠固定、螺母旋转的传动方式。此时,螺母一边转动、一边沿固定的丝杠做轴向移动,由于丝杠不动,可避免受临界转速的限制,避免了细长滚珠丝杠高速运转时出现的种种问题。螺母惯性小、运动灵活,可实现的转速高。

⑤进一步提高滚珠丝杠的制造质量。通过采用上述种种措施后,可在一定程度上克服传统滚珠丝杠存在的一些问题。日本和瑞士在滚珠丝杠高速化方面一直处于国际领先地位,其最大快速移动速度可达 60m/min,个别情况下甚至可达 90m/min,加速度可达 15m/s^2 。由于滚珠丝杠历史悠久、工艺成熟、应用广泛、成本较低,因此在中等载荷、进给速度要求并不十分高、行程范围不太