

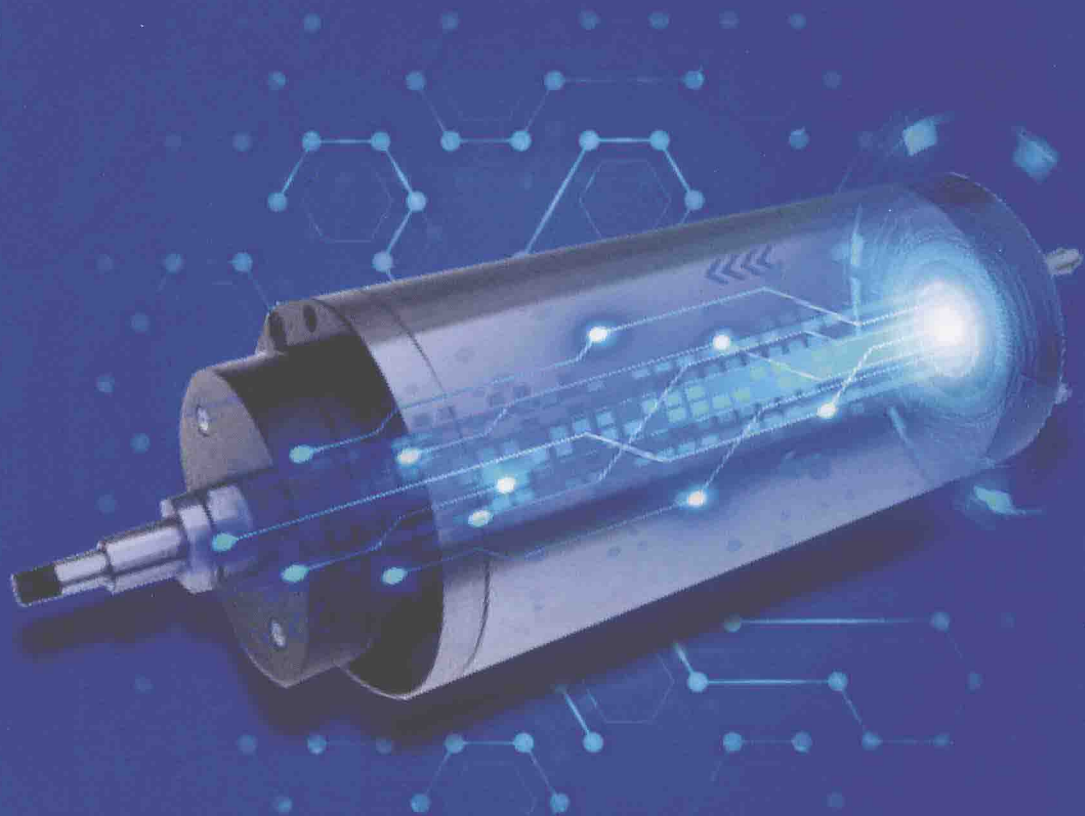


河南省科技著作出版资助项目

精密电主轴结构分析及测控技术

JINGMI DIANZHUZHOU JIEGOU FENXI JI CEKONG JISHU

何 强 李安玲 编著
张 勇 主审



中原出版传媒集团
中原传媒股份公司

河南科学技术出版社



河南省科技著作出版资助项目

精密电主轴结构分析及 测控技术

何 强 李安玲 编著
张 勇 主审

河南科学技术出版社

·郑州·

图书在版编目 (CIP) 数据

精密电主轴结构分析及测控技术/何强, 李安玲编著. —郑州:
河南科学技术出版社, 2018. 4
ISBN 978 - 7 - 5349 - 9153 - 0

I. ①精… II. ①何… III. ①数控机床 - 主轴 - 结构
分析 ②数控机床 - 主轴 - 工业测控系统 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 035473 号

出版发行: 河南科学技术出版社

地址: 郑州市经五路 66 号 邮编: 450002

电话: (0371) 65737028 65788613

网址: www.hnstp.cn

策划编辑: 孙 彤

责任编辑: 孙 彤

责任校对: 臧明慧

封面设计: 张德琛

责任印制: 朱 飞

印 刷: 河南新华印刷集团有限公司

经 销: 全国新华书店

幅面尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 15.5 字数: 416 千字

版 次: 2018 年 4 月第 1 版 2018 年 4 月第 1 次印刷

定 价: 98.00 元



如发现印、装质量问题, 影响阅读, 请与出版社联系并调换。

前 言

电主轴是将数控机床上的主轴与主轴电动机合二为一的新设备，即将主轴电动机的定子、转子直接装入主轴组件内部的装置，也被称为内藏式电主轴。

随着数控技术及切削刀具制作技术的飞速发展，越来越多的机械制造装备都在不断地向高速、高精、高效、高智能方向发展，电主轴已成为最能适应高性能工况的数控机床核心功能部件之一，电主轴技术水平的高低和性能的优劣直接决定和影响着数控机床整机的技术水平和性能。

近几年，通过“高速、精密、大功率电主轴的可靠性设计与性能试验技术”“高速高效加工工艺与装备技术创新平台”两个国家科技重大专项的实施，中国高中档数控机床的发展日新月异，精密电主轴的发展也突飞猛进。然而，国内的高质量、高水平的精密电主轴的关键核心工艺技术、高效专用设备和产品的可靠性等各方面，与国外相比较，依然存在着很大的差距。因此，加速发展国产精密电主轴，尽快实现产业化，已成为机床功能部件发展的刻不容缓的头等大事。

本书可帮助机械类初学者或者电主轴生产企业的设计人员和装配工人快速了解电主轴。通过阅读本书，可以熟悉电主轴的典型结构、设计方法、装配方法、测控仪器、测试标准及维护方法等。本书可作为机床电主轴行业设计人员的必备参考书。

本书共分为10章，第1章主要介绍了电主轴的作用和存在的问题，国内外电主轴的发展现状，以及未来电主轴的发展方向；第2章主要介绍电主轴的分类和常见电主轴典型结构；第3章介绍四种基础的机床电主轴的选用计算和一些电主轴型号样本，为电主轴的选用提供一种方法；第4~6章主要介绍电主轴内置电动机的计算和选用，轴承的选用，电主轴材料的选择、主轴直径的计算与校核、电主轴的极限转速的近似计算和电主轴功率计算，以及松拉刀电主轴中的碟簧计算；第7~9章主要介绍电主轴的工业测控仪器，电主轴的一些装配方法和注意事项，以及电主轴的工业测控方法；第10章主要介绍电主轴的应用、常见故障分析，以及电主轴的维护方法。

本书具有以下几个特点：

(1) 内容全面、新颖，涵盖了电主轴的选用、设计、装配、测控、使用和维护等内容。

(2) 注重工程应用，很多内容取材于工厂的设计准则、生产的标准，具有很强的实用



性。

(3) 语言简练，通俗易懂，避免了概念堆积和术语罗列。

本书由何强、李安玲编著，由张勇统稿并担任主审。在编写的过程中得到了安阳福沃德机械有限公司的大力支持与帮助，研究生张国焘、李均、张朋龙、吕海周、裴伟林、莫理超、赵永博做了大量的文字排版、校对工作，在此表示衷心的感谢。对于部分读者来说，本书内容可能不够全面。在学习本书的过程中，读者如果遇到不当之处，恳请不吝赐教。

编者

2017年10月

目 录

第1章 电主轴概述	1
1.1 电主轴的简介	1
1.1.1 电主轴的作用	1
1.1.2 存在的问题	2
1.2 电主轴发展现状	2
1.2.1 电主轴轴承配置	3
1.2.2 电主轴预紧装置	4
1.2.3 电主轴优化设计	4
1.2.4 电主轴冷却	5
1.2.5 电主轴性能测试	6
1.2.6 电主轴润滑	7
1.2.7 电主轴结构创新设计	9
1.3 电主轴的未来发展方向	12
1.3.1 在速度、功率和刚度方面的发展	12
1.3.2 在高精度、高可靠性和延长寿命方面的发展	13
1.3.3 在多功能、高智能方面的发展	13
1.3.4 向永磁同步电主轴发展	13
1.3.5 加快“新陈代谢”，向创新出发	14
第2章 电主轴典型结构分析	15
2.1 电主轴的分类	15
2.2 磨削用电主轴	16
2.3 钻铣用电主轴	19
2.4 车削用电主轴	23
2.4.1 用于车削的电主轴要具有的特点	23
2.4.2 车磨两用电主轴设计	23
2.4.3 电主轴轴端的确定	24
2.5 加工中心电主轴	26
2.5.1 冷却水道设计	29
2.5.2 吹气管道设计	30



2.6	木工用电主轴	31
2.6.1	结构设计	31
2.6.2	密封装置	32
2.7	特种加工用电主轴	35
2.7.1	平磨电主轴	36
2.7.2	结构优化设计	36
2.8	试验用电主轴	38
2.8.1	超高速试验用电主轴	38
2.8.2	结构设计	39
2.8.3	试验方法	39
2.9	动静压电主轴	41
2.10	搅拌摩擦焊电主轴	45
2.10.1	搅拌摩擦焊工作原理	46
2.10.2	搅拌摩擦焊电主轴特点	46
2.10.3	结构设计	47
2.10.4	轴承的选配	47
2.10.5	润滑冷却方法的选择	48
第3章	电主轴的选用与配型	51
3.1	车削用电主轴的选用与配型	51
3.1.1	车削用电主轴的选用	51
3.1.2	车削用电主轴的配型样本	55
3.2	铣削用电主轴的选用与配型	56
3.2.1	铣削用电主轴的选用计算	56
3.2.2	铣削用电主轴的配型样本	58
3.3	钻削用电主轴的选用与配型	59
3.3.1	钻削用电主轴的选用计算	59
3.3.2	钻削用电主轴的配型样本	61
3.4	磨削用电主轴选用与配型	62
3.4.1	磨削用电主轴的选用	62
3.4.2	磨削用电主轴的配型样本	63
第4章	电主轴内置电动机及驱动系统	65
4.1	电主轴内置电动机的结构特点	65
4.1.1	定子	65
4.1.2	转子	67
4.2	电主轴内置电动机的选用	69
4.2.1	切削力的理论公式	70
4.2.2	主轴功率估算	71
4.3	电主轴驱动系统	72
4.3.1	电主轴的变频驱动系统	73

4.3.2	电主轴的伺服系统	80
4.3.3	内装主轴电动机的调试	83
4.4	内置主轴注意事项	86
第5章	电主轴轴承的选用	87
5.1	电主轴滚动轴承常用类型	87
5.1.1	深沟球轴承	89
5.1.2	角接触球轴承	89
5.1.3	圆锥孔双列圆柱滚子轴承	92
5.1.4	双向推力角接触球轴承	92
5.2	轴承的性能	93
5.2.1	轴承的极限转速	93
5.2.2	轴承的刚度	94
5.2.3	轴承的额定载荷及额定寿命	95
5.2.4	轴承的预紧	96
5.2.5	轴承的配合	99
5.2.6	轴承允许的工作温度	101
5.3	轴承的润滑	102
5.3.1	脂润滑	103
5.3.2	油润滑	106
5.4	电主轴轴承选择程序及安装实例	107
5.4.1	一般轴承选择程序	108
5.4.2	电主轴轴承选择程序	109
5.4.3	电主轴轴承安装实例	110
第6章	电主轴的计算	112
6.1	电主轴材料的选择	112
6.2	主轴直径的计算与校核	113
6.2.1	主轴的计算	113
6.2.2	主轴直径校核	114
6.3	悬伸量的选择	117
6.4	主轴跨距的计算	118
6.4.1	近似求解法求主轴跨距	120
6.4.2	查图法求主轴最佳跨距	121
6.4.3	主轴过盈量计算	122
6.5	电主轴极限转速的近似计算	125
6.6	电碟簧数量计算	129
6.7	电主轴功率计算影响因素	133
6.7.1	电主轴功率的计算条件	133
6.7.2	电主轴功率的计算	133
第7章	电主轴的测试设备和测试方法	139



7.1	高速电主轴的回转精度测试	139
7.1.1	打表测量法	140
7.1.2	单向测量法	142
7.1.3	双向测量法	142
7.2	高速电主轴的动平衡测试	143
7.3	高速电主轴的温升测试	146
7.3.1	远距离测量	146
7.3.2	嵌入式测量	147
7.3.3	接触式测量	149
7.4	高速电主轴的噪声测试	150
7.5	电主轴静刚度测试	151
7.6	电主轴的切削力测试	152
7.7	电主轴内置电动机的测试	154
7.8	高速电主轴的振动测试	155
7.8.1	基于 LabVIEW 的振动、温度测试系统	158
7.8.2	基于嵌入式系统的高速电主轴轴承测试系统	167
7.9	高速精密电主轴测试发展方向	175
7.9.1	电主轴测试平台	176
7.9.2	电主轴动态刚度测试系统	176
7.9.3	基于 DIC 原理测试系统	177
第 8 章	电主轴的装配方法	180
8.1	准备工作	180
8.2	定子安装	181
8.2.1	定子的安装方法	181
8.2.2	检查水路的密封性	181
8.2.3	注意事项	181
8.3	转子安装	182
8.4	轴承的安装	183
8.4.1	轴承安装前的准备工作	183
8.4.2	轴承的组装	186
8.4.3	固定内圈	187
8.4.4	端盖压边余量	189
8.4.5	预紧方式	189
8.4.6	轴承安装的注意事项	190
8.5	编码器的安装	190
8.6	检验电主轴精度	191
8.7	电主轴安装注意事项	192
8.8	电主轴安装实例	192
8.8.1	SPM150-24/12 型电主轴安装实例	192

8.8.2	SPX80-24/1.5B 型电主轴安装实例	194
第9章	测试标准与检测方法	197
9.1	测试技术概述	197
9.2	电主轴整机测试标准	197
9.3	测试方法	199
9.3.1	定子三相交流电平衡测量方法	199
9.3.2	定子绝缘电阻检测	200
9.3.3	精度测试方法	201
9.3.4	振动速度有效值测试	205
9.3.5	噪声值测试	206
9.3.6	温升测试	206
9.3.7	预负荷检测	207
9.3.8	油膜电阻检测	208
9.3.9	绕组温升试验	208
9.3.10	测功机在电主轴测试中的应用	209
9.3.11	绕组匝间绝缘介电强度试验	210
9.4	实例分析	211
9.4.1	电主轴温度及振动实测试验	211
9.4.2	ADMG 电主轴实测实验	213
9.4.3	汽车齿轮检测专用电主轴实测试验	216
9.4.4	风冷式木工用电主轴实测试验	218
第10章	电主轴的应用、故障分析及维护	222
10.1	电主轴的应用	222
10.2	电主轴的常见故障分析	223
10.2.1	电主轴停转的分析	223
10.2.2	变频器失效的分析	224
10.2.3	电主轴发热的分析	225
10.2.4	电主轴工作时噪声过大分析	226
10.2.5	电主轴振动过大分析	226
10.2.6	电主轴维修注意事项	227
10.3	电主轴的维护	228
参考文献		231

第1章 电主轴概述

1.1 电主轴的简介

1.1.1 电主轴的作用

随着数控技术及切削刀具制作技术的飞速发展，越来越多的机械制造装备都在不断地向高速、高精、高效、高智能方向发展。内装式电主轴单元，简称电主轴，实际是指电主轴系统，由主轴、轴承、内置电动机、驱动控制器、编码器、润滑装置、冷却装置等组成，图1-1为电主轴三维剖面图。与传统机床主轴相比，电主轴具有十分明显的优势，由于电主轴由内装式电动机直接驱动，省去了皮带、齿轮、联轴节等中间变速和传动装置，具有结构简单紧凑、效率高、噪声低、振动小和精度高等特点。而且利用交流变频技术，电主轴可以在额定转速范围内实现无级变速，以满足机床工作时各种工况和负载变化的需要。早在20世纪50年代，就已出现了用于磨削小孔的高频电主轴。随着高速切削发展的需要和功率电子器件、微电子器件和计算机技术的发展，产生了全固态元件的变频器和矢量控制驱动器；加上高速球轴承的出现，使得在20世纪80年代出现了用于铣削、钻削、加工中心及车削等加工的大功率、大转矩、高转速的电主轴。

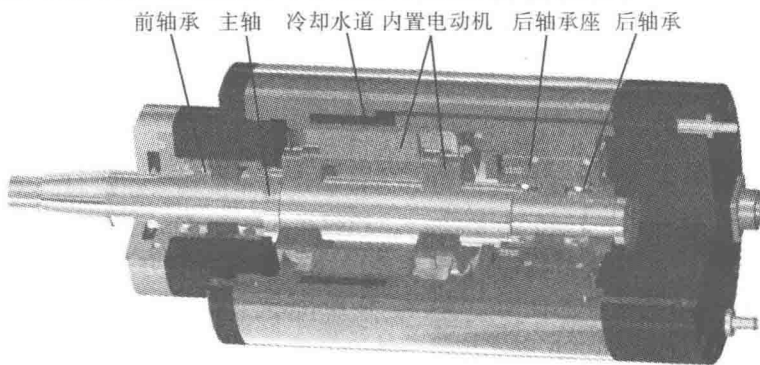


图1-1 电主轴三维剖面图

电主轴的产生为数控机床的发展带来了一次技术飞跃，为数控技术的发展注入了新的活力，电主轴已成为最能适宜高性能工况的数控机床核心功能部件之一。尤其是在多轴联



动、多面体加工、并联机床、复合加工机床等诸多先进产品中,电主轴的优异特点是机械主轴单元不能替代的。在未来制造业的发展中,电主轴将起到不可替代的关键作用。

电主轴应用广泛,涉及机床、轴承、电子加工、模具加工、食品加工、生物工程及医疗卫生、家电、军工、染料化工等行业。

早在 2005 年,我国机床产值达到了 51 亿美元,跃居世界第三位。在长足发展的背后,国产电主轴的开发取得了很大的进步,我国开发出了能应用于数控机床和加工中心的电主轴,并且已装备了部分国产数控机床。与发达国家机床产业相比,我国电主轴的研制和应用水平处于相对落后状态,总体水平同世界先进水平还有一定的差距,无论是产品品种、技术水平、可靠性还是产业化程度等方面均与国外有明显差距。国产的高转速、高可靠性、高精度磨削电主轴和加工中心所用的电主轴,尤其是用量最大的高精度磨削电主轴,仍然主要从国外进口。如果不提高电主轴国产化率,长期依靠进口,不仅会浪费大量外汇,而且会制约国产数控机床的发展。因此,解决电主轴生产制造及设计过程中存在的一些关键技术问题势在必行。

1.1.2 存在的问题

电主轴实际上是诸多学科、众多高新技术应用的综合体,它涉及机械设计、材料学、热力学、摩擦学、自动控制等。如果仅仅是精密加工、装配,其他依靠外购外协,依靠低廉劳动力来获取利润,初期可能实现。但在电主轴的核心竞争力方面,必然无法与国外公司抗衡,简单的拿来主义,不掌握核心技术、关键技术,就会受制于人,电主轴产业就无法健康发展,只能永远跟在别人后面。正是由于在高速电主轴耐磨性技术、高速电主轴仿真技术、高速精密轴承技术、高频低惯量电动机设计及制造技术、内置电动机伺服控制技术等关键技术上与国外先进水平有差距,才影响了国产电主轴的市场竞争力。因此,要想在电主轴技术方面迎头赶上发达工业国家,研制出优质的电主轴,加快电主轴国产化步伐,各个方面的关键技术都需要不断改良,提高自主创新能力。

1.2 电主轴发展现状

1.2.1 电主轴轴承配置

各类型电主轴按所配置轴承的类型可分为接触式和非接触式。接触式主要是滚动轴承电主轴,研究者 J. Jedrzejewski 和 W. Kwasny、杜超和 Shuyun Jiang 和 Shufei Zheng 考虑滚动轴承离心力和陀螺效应等因素,研究了电主轴的主轴系统的动力学特性。孟杰和康辉民、吕浪等考虑机电耦合研究电主轴动态特性。T. Holkup、Changlong Zhao 和 Xuesong Guan、A. Zahedi 基于有限元法,研究接触式轴承的热态特性及温度对轴承元件的刚度、电主轴系统热变形的影响。非接触式主要是液体、气体动静压和磁悬浮轴承电主轴, Su Zhao 等提出了一种新型的非接触轴承,具有很高载荷能力,主轴位置精度可以控制在纳米范围内。该轴承可以应用于超精密加工过程,但是其高速性能不稳定。Dongju Chen 和 Jinwei Fan 等研究静压轴承主轴的偏心率对油膜厚度、主轴系统的刚度和变形的影响。Xie Zhenyu 利用

有限元发现磁悬浮轴承的结构对电主轴动态特性影响很小。Etienne Gourc 提出了磁悬浮轴承具有抑制主轴颤振的可能性,从而提高电主轴的稳定性。Makoto Gohara 研究水润滑的静压推力轴承的静态特征,其使用膜限制器实现轴承高速下的更高的刚度和更低能耗,该静压推力轴承(图 1-2)的静态特性是在主轴静止状态下通过数值模拟和试验进行研究的。在数值模拟时,考虑膜限制器进口的不同黏性阻尼区域的孔眼效应,发现使用膜限制器可以使水润滑推力轴承达到一个非常高的静刚度,并利用试验装置(图 1-3)验证模拟结果。

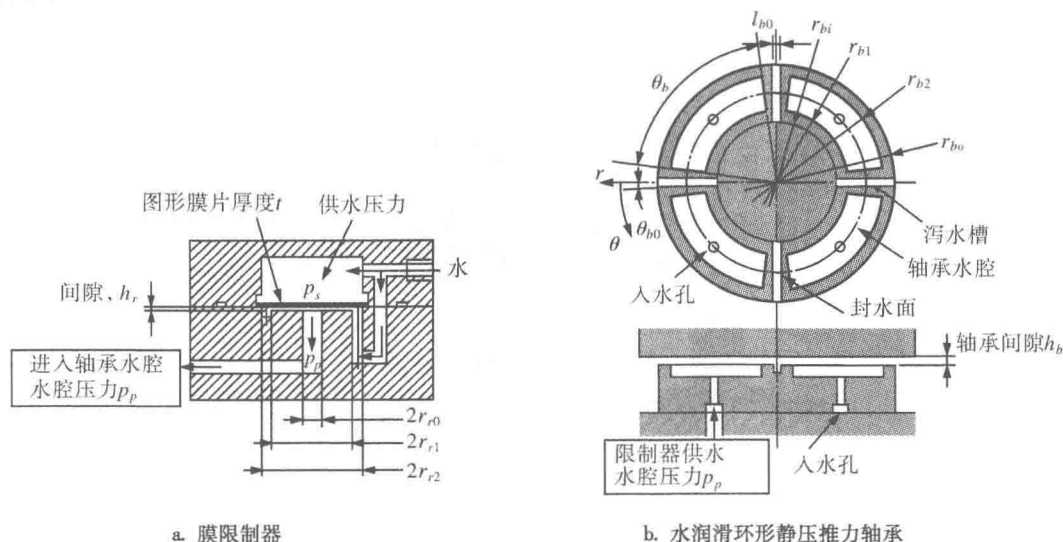


图 1-2 具有限制器的水润滑环形静压推力轴承结构

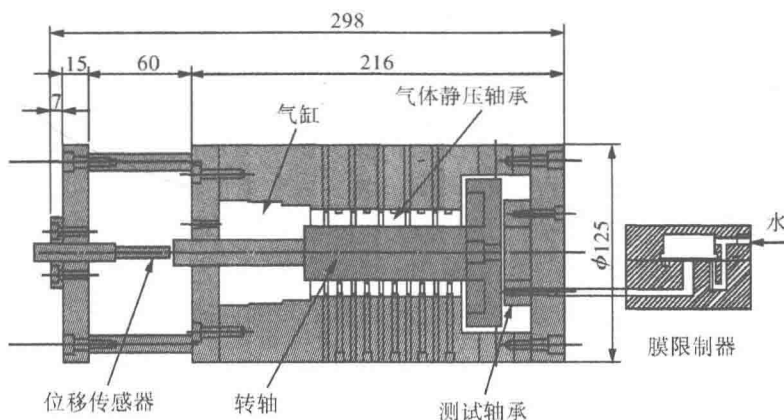


图 1-3 试验装置 (单位: mm)

由于磁悬浮轴承电磁测控系统过于复杂,价格昂贵,而动静压轴承必须进行专门设计,单独生产,标准化程度低,维修困难,所以这两者至今未能得到广泛应用,目前国内应用最广泛的是滚动轴承。



1.2.2 电主轴预紧装置

预紧力影响电主轴的固有频率、刚度特性和高速旋转性能,研究者 Ching Yuan Lin 和 Jui Pin Huang 等研究了直线导轨预紧力对主轴系统动态特性的影响。E. Ozturk 和 U. Kumar 等研究了铣削主轴轴承可变预紧力对电主轴动态性能的影响。Aydin Gunduz 发现轴承预紧力的性质和程度大大影响固有频率和共振的振幅,从而影响轴承组件的振动特性,图 1-4 为轴承预紧实验装置。

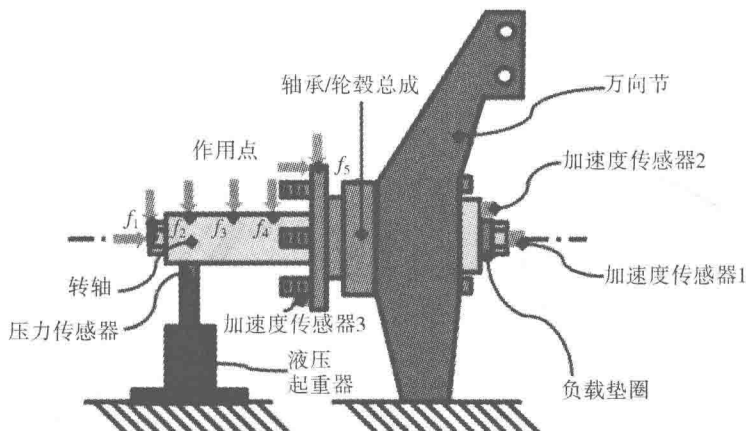


图 1-4 轴承预紧实验装置

研究者王建平研究了接触角和预紧力对电主轴的静刚度的影响,并提出了静刚度关于接触角和预紧力的拟合曲线。一个合理的预紧装置不仅能提高电主轴的刚度,而且能减少热量的产生,从而提高电主轴系统的高速性能,已经有许多关于可变预紧方法的研究,可变预紧取代了现有定位预紧和定压预紧。现在广泛应用液压控制方法来实现可变预紧力,例如东南大学开发了液压系统驱动的电主轴预紧力加载装置及预紧力控制的硬件系统,然而该方法有两个缺点:第一是转数和预紧力的相关性不确定;第二是成本比较高。Young Kug Hwang 和 Choonman Lee 基于电磁原理,开发了一个新的低成本的可变预紧控制装置,能够任意快速准确地调节滚动轴承上的预紧力,实现了电主轴系统从低速到高速的大范围旋转。该装置的缺点是周围组件容易被磁化,要实现实际应用,必须研究出防止周围组件被电磁铁磁化的隔离方法,而且还应该考虑电磁铁的冷却问题。

1.2.3 电主轴优化设计

加工条件、轴肩、电动机外形尺寸和轴承布置对电主轴动态特性有影响。电主轴优化设计主要是对电主轴的结构进行优化,进而提高电主轴的动静态性能。研究者 Xie hualong 提出了单目标优化和多目标优化方法,并对优化后的电主轴特性进行分析。Chi Weilin 对电主轴的结构的几个设计参数进行优化设计来提高电主轴在高速下的动态性能,图 1-5 所示为电主轴优化盘单元划分示意图。

研究者 Y. Kang 基于有限元,研究电主轴的设计参数对其动静态特性的影响,为电主轴的设计提供依据。李彦研究轴向预紧力、跨距、转轴各台阶外径得到合理的电主轴结

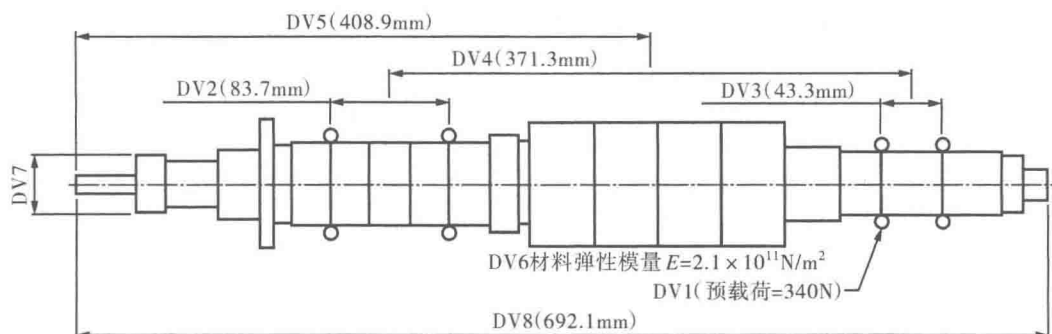


图 1-5 电主轴优化盘单元划分示意

构,并对高速电主轴的润滑、材料、密封、冷却等方面也进行了研究,实现最优化的设计,提高高速电主轴可靠性。应一帜提出在铬锰弹簧钢转子内套上开注油孔和环形内槽,方便了机床主轴和电动机转子的拆卸,在后轴挡的轴承支座外圈加一滚套的设计,解决了因主轴热变形导致的轴承预紧力过大的问题。孙彦旭通过靠锁紧锥套的弹性变形收缩使电动机转子内套两端紧紧抱在主轴上,方便了机床主轴和电动机转子的拆卸。刘士玉研究了电主轴结构设计安装过程中一些关键技术。何惜港指出,对悬跨比、预载荷、轴承的选配是电主轴设计中的关键,对电主轴整体性能起决定性的影响。

1.2.4 电主轴冷却

为了降低电主轴的温升,确保电主轴工作时的可靠性,对电主轴的冷却系统和润滑系统的研究也很重要。研究者 K. Prashanth Anandan 和 O. Burak Ozdoganlar 分析温度的波动、动态缺陷、接触轴承缺陷和刀具接触误差,实验发现主轴热态的周期性特性引起主轴运动的显著变化。主轴转速是影响轴承温升的主要因素。胡伟奇基于热流网络法研究发现轴向载荷和径向载荷对支撑系统温升及温度分布的影响相同。魏效玲等分析了轴承预紧力、电动机转速、冷却空气流量对电主轴热态特性的影响,发现预紧力的大小对主轴轴承的温升影响较小;电动机转速与冷却空气流量的大小对主轴轴承的温升影响比较明显。

C. H. Chien 表明几乎所有的热点都集中在主轴中间部分,且在螺旋水冷下,温升可以显著降低。邓君和许光辉采用轴芯冷却设计,有效地控制了电主轴的温升,减小了电主轴的热膨胀。阎树田等采用轴心-轴套联合冷却以及轴承座圈下润滑的冷却系统,对高速电主轴的转子和定子进行冷却,从而在根源上降低高速电主轴的转子和定子的温度,提高高速电主轴的热稳定性,减小它的热变形。He Qiang 根据 ADGM 电主轴的内部结构特点,进行了热源分析和计算,了解了电主轴的温度场分布和温升情况,通过变化进水量,轴承的温度得到了有效控制。何强等为了提高电主轴冷却系统的冷却效果,设计了环形冷却水道,发现该电主轴当冷却水流速为 0.7kg/s 时,冷却效果达到最佳,图 1-6 为环形冷却水道。

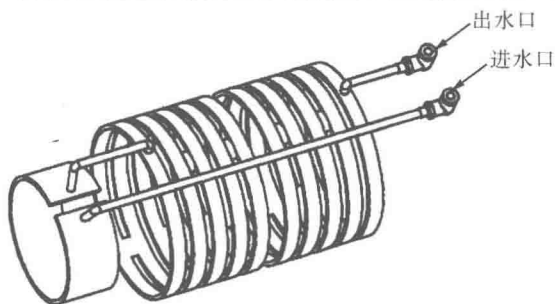


图 1-6 环形冷却水道

研究者陈文华等通过改变水冷系统有限元模型的边界条件,对不同冷却水的流量、工况及环境温度条件下电主轴的温升进行了对比分析,得出当冷却水流量增大到一定值时,仅依靠增大流量已不能控制温升;环境温度不是影响电主轴温升的主要因素,图 1-7 为三种冷却方式下外壳温度变化。

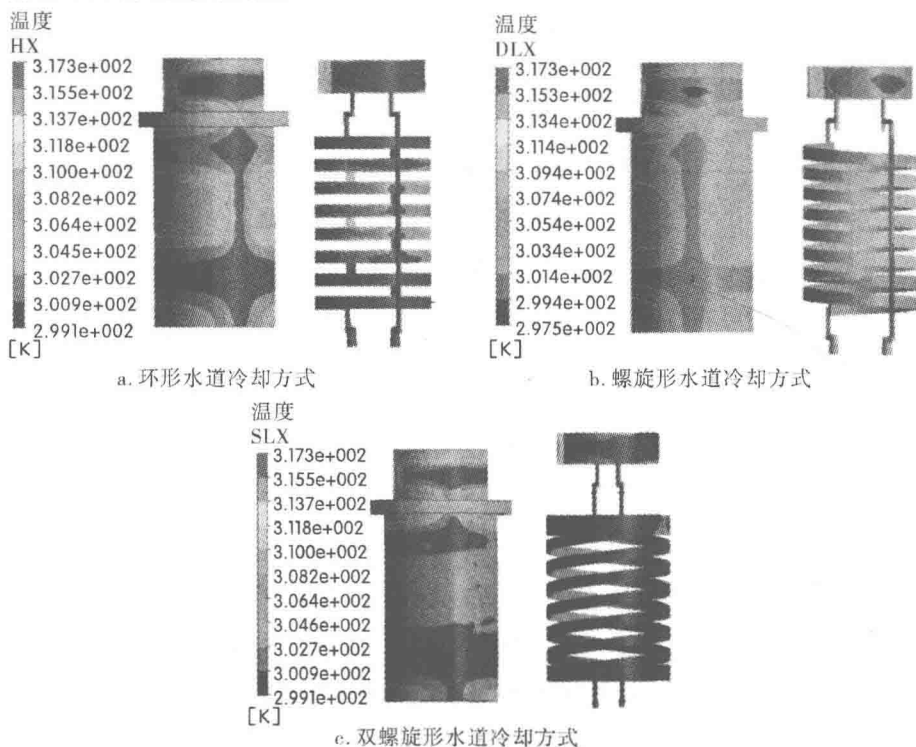


图 1-7 三种冷却方式下外壳温度变化

1.2.5 电主轴性能测试

电主轴的性能测试与评价是设计、制造高性能电主轴的关键。进一步了解电主轴的性能,优化电主轴结构设计,是电主轴生产企业提高产品质量和性能的重要手段。关于电主轴性能测试的测量技术的硬件方面,研究者 Wen - Yuh Jywe 和 Chun - Jen Chen 使用一个激光二极管和一个象限传感器对高速主轴的测量系统进行开发。非接触式方法测试高速电主轴的径向跳动的精度高于接触式,Atsushi Matsubara 等设计了一个磁加载装置测量旋转电主轴的径向刚度,使用该装置测量可以将速度和热效应对刚度的影响定量区分。Vincent Gagnol 和 Thien - Phu Le 等建立一个实验装置来确定在加工操作过程中旋转刀具的振动,在不停机的操作下可识别模态参数,从而实现了加工过程的实时监测。

关于测量技术的软件方面,研究者吴贵福介绍运用 LabVIEW 软件开发“电主轴综合性能测试与评价系统”的内容和特点,以便更好地掌握电主轴的静动态特性等相关关键技术。吴玉厚以 LabVIEW 为软件平台,开发出一套专门用于全陶瓷高速电主轴的温升检测模块。该模块具有良好的实时性和可视性,能直观准确地检测出电主轴的内外温度场分布情况。我们基于 LabVIEW 的高速电主轴振动测试与分析系统,设计了一套高速电主轴数

据采集系统,采用信号处理技术对高速电主轴的振动特性进行了实时分析,系统实现了高速电主轴振动特性和温度的动态实时监测,如图1-8所示。

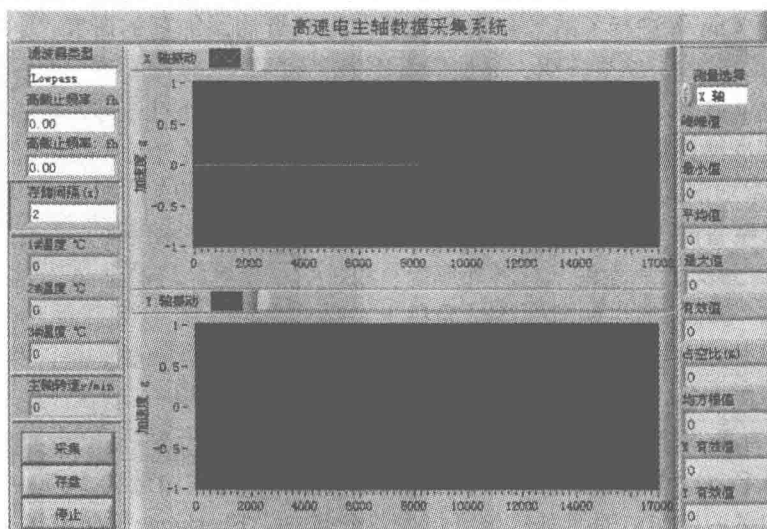


图1-8 高速电主轴数据采集系统界面

关于测得的信号分析,研究者高荣发现利用小波奇异性对电主轴振动信号进行处理,能够去除噪声对加工过程监控系统的影响,同时还可以对机械故障进行预测,达到了提高电主轴使用寿命的目的。Dongju Chen 等应用小波变换(WT)和功率谱密度(PSD)对主轴模态信息和被测工件表面误差频率进行计算比较,发现波纹中的信号特征与提取的主轴不平衡频率是一致的。

1.2.6 电主轴润滑

我们分析了电主轴的主要热源,针对高速旋转时轴承发热量较大的问题,制备了一种高速全钢角接触轴承专用导热润滑脂,可以迅速把热量传递出去,轴承温度能够降低1~5℃。研究者李松生等发现在油气润滑条件下,转速和供油量是影响轴承内部润滑油膜电阻和轴承温升的主要因素。S. H. Yeo 指出了油/空气喷雾润滑系统是一种有效的散热方法,并简化了主轴结构。Cheng-Hsien Wu 表示在油气润滑的电主轴系统中,主轴每次循环油的体积、润滑周期和气压是影响温度增加的最为主要的三个因素。高速电主轴轴承使用的润滑油和润滑脂性能差别较大,直接影响电主轴的可靠性,纳米微粒作为润滑油添加剂摩擦学特性的研究已受到广泛关注,与传统的润滑油减摩抗磨添加剂相比,纳米微粒具有更为优异的极压、抗磨性能和环境友好等特性,已被广泛用于摩擦学领域。S. Tarasov 等主要研究了纳米金属粒子作为摩托车油添加剂的实际应用,通过实验发现用纳米金属粒子作添加剂的润滑油与传统润滑油相比能够减少磨损。在高负荷和高转速条件下,纳米粒子能够显著降低摩擦系数,改变摩擦副表面形貌。张治军、张平余等将纳米Cu微粒添加到发动机润滑油中,在发动机运行一段时间以后发现纳米Cu微粒在连杆瓦表面上形成了沉积膜使得连杆瓦表面的磨损部分得到了有效的修复,并与表面修饰层形成的摩擦化学反应膜产生协同作用,从而表现出了良好的修复和抗磨作用,可延长发动机的磨损部件的使