

数控机床电主轴系统结构特性分析

温得英^{1,2}, 谢黎明¹

(1.兰州理工大学机电工程学院,甘肃兰州730050;2.青海大学机械工程学院,青海西宁810016)

摘要 随着当今数控机床高速切削技术的快速发展,高速电主轴已成为目前发展的普遍趋势,而发展高速电主轴的关键又在于提高其关键技术的研究,如主轴轴承技术、动平衡技术、冷却技术及其润滑技术等。各项关键技术得到保障,才能保证电主轴向着更加高速、稳定、可靠的方向发展。

关键词 数控机床;电主轴;结构;分析

中图分类号: TG659

文献标识码: A

文章编号: 1672-545X(2012)02-0044-03

随着当今数控机床高速切削技术的快速发展,高速电主轴已成为目前发展的普遍趋势,而其几项关键技术:主轴轴承技术、动平衡技术、冷却技术及其润滑技术等又是影响和制约电主轴发展水平的关键,若能将各项关键技术水平得以提高,电主轴就能迈向更高的台阶,使得数控机床向着更先进的技术水平方向发展。高速电主轴的切削技术,因为其本身所具有的特性之一高速性,可以解决产品制造过程中机械主轴解决不了的很多技术问题,可以很大程度地提高零件的加工精度以及表面质量。高速电主轴系统,是各种高效性的高档数控机床的主体部件,是实现高速切削功能的关键,所以高速电主轴技术在各项装备制造行业中得到了越来越广泛的应用,尤其是在各项尖端技术产品的制造领域发挥了其特有的优越性,同时也为各个制造行业做出了巨大的贡献。目前国内外在高速电主轴技术的发展方面都比较关注,其中主要的科技攻关点在于其高速度、高刚度、高精度、高加工效率、可靠性、节能性、环保性、智能化等方面的研究,以期使这一高速加工技术向着更高层次发展。

1 电主轴的结构特点

电主轴是数控机床高速加工中的核心功能部件,它是将主轴旋转部件和电机融为一体的高效智能部件,其所采用的这一形式与传统的传动方式相比,取消了如齿轮和皮带等中间环节传动,实现了机床的“零传动”。其主要组成部分包括主轴电机驱动系统、主轴、前后轴承、主轴电机、主轴箱体、冷却装

置和润滑装置等,主轴由前后轴承支承,与电机的转子被压配做成一体,电机的定子通过冷却安全套安装在主轴单元的壳体中,主轴变速由主轴驱动模块控制,温升由冷却装置来限制,主轴前后端分别还装有用于安装刀具的内锥孔和端面、以及用于测速和测角位移的传感器,其结构简图如图1所示。

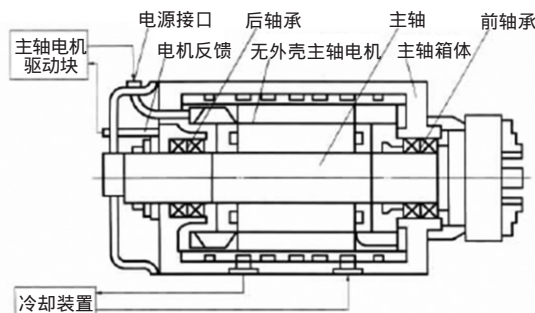


图1 电主轴结构简图

由此可见,电主轴不但具有高转速、高精度、高效率、响应快、大功率等特点,还包括轻便性、紧凑性、小振动、低噪音等一些优点,其自动控制系统可以控制数控机床参数如主轴温升及振动等,所以作为数控机床的主要功能部件,高速电主轴,为更安全可靠以及高效的加工技术做出了应有的贡献,也被更广泛地应用于各种制造行业。

2 电主轴的关键技术

由图1可见,电主轴的机械结构不太复杂,但是这种不太复杂的机械结构却有要求比较严格的制造工艺。同时,这种简单的机械结构还带来了一系列新的技术难题,本文通过对青海第一机床有限责任公

收稿日期: 2011-12-13

作者简介: 温得英(1978—),女,青海互助人,讲师,工学学士,主要研究方向为先进制造技术。

司的实地考察(见图2现场实物图(a)、(b)),谈谈其中几项关键技术的研究,如主轴单元的冷却技术、高速主轴的动平衡技术、主轴支承及其合理的润滑方式等技术,实现主轴的高速、高效及高精度的加工特性,必须从影响其运转的各项关键技术入手,只有保证各项关键技术的稳妥性、正确性,才能保证主轴系统的安全可靠性。



图2 现场实物图

2.1 电主轴的冷却

由结构简图1可见,主轴电机的两侧就是轴承,如果电机的温升不加以控制,就会使得轴承温度升高直接影响轴承的使用寿命,还会引起主轴的热变形。另外轴承在高速运转时也会发热,作为电主轴的两个主要的内部热源,应当将其加以控制,否则不但会影响数控机床的加工精度,还会降低主轴的使用寿命以及各种附件的使用寿命。

主轴电机在高速运转的过程中,内部产生功率损耗(包括机械损耗、电损耗等),从而使电机发热。由于电主轴电机装在主轴单元壳体内,所以主轴电机不能直接采用风扇散热,自然散热条件也比较差。调查结果表明,主轴高速运转时,转子的温度可高达 $140\sim 160^{\circ}\text{C}$,定子温度也可达 $45\sim 85^{\circ}\text{C}$ 。在这样的一种温度条件下,转子产生的绝大部分热量,都通过转子与定子间的气隙传入定子中,而只有少部分热量传入主轴和端盖。由此可见,大部分热量在电机定子中,所以主轴电机的冷却部件主要在于电机定子的冷却,只要将定子的温度控制在较低的范围之内,就能将电机的温度加以控制。其冷却方式是对电机定子采用外循环水式冷却液实行强制冷却,来控制主轴电机温升。

主轴轴承的发热,主要是因为滚动体与滚道接触区间的滚动摩擦、高速下所受陀螺力矩产生的滑动摩擦以及润滑油的粘性摩擦等产生的。根据 Palmgren 公式,滚动体与滚道接触区间的滚动摩擦为

$$Q = M\omega \quad (1)$$

式中, Q 为轴承摩擦发热量; M 为轴承摩擦总力矩; ω 为轴承内圈的旋转速度。由式(1)可见,控制主轴轴承的温度主要是在保证一定转速的前提下降低摩擦总力矩,减小轴承的摩擦发热量来保证轴承正常运转进而保证数控机床的加工精度以及稳定性。其主要措施包括:通过适当减小滚动体的直径来减小摩擦,从而减少轴承发热量;采用较合理的油气润滑方式,此种方式不但对轴承具有润滑作用,还具有一定的冷却作用,而且轴承产生的热量会被其大量的压缩空气带走,达到降低温度和散热的目的,以减小轴承热量。

2.2 电主轴的动平衡

电主轴的微小不平衡量(包括结构不对称、轴承振动等)在其转速越高的情况下,引起的主轴振动会越来越严重,从而影响加工精度和表面品质问题。因此,在设计制造工艺上,尽量减小不平衡量,轴上连接不用键连接和螺纹连接,而应采用过盈连接,另外,电主轴结构还应严格遵守结构对称原则,以此来实现转矩的传递。研究表明,通常高速电主轴的动平衡精度要求达到G1~G0.4级,对于这种高等级的动平衡精度,不但要求在装配前进行常规的动平衡试验,即对每个零件进行动平衡,而且在装配后必须进行整体的动平衡,有时,甚至要求实现更高水平的主轴在线动平衡,即自动平衡系统。

2.3 电主轴的轴承选择

数控机床电主轴在向高速化精密化的方向发展的同时,要求提高其加工精度和生产效率,实现这些技术的关键又跟高速精密轴承技术息息相关,同时为满足主轴高刚度、低温升的要求,常用角接触球轴承多联背对背的组配结构,来增大主轴轴承的支撑跨距以及刚度。为实现电主轴的更多优越性能,混合陶瓷球轴承被广泛地应用于电主轴,因为其自身的一些特殊性能,如滚动体使用氮化硅陶瓷球,轴承套圈使用高氮化合金钢,所以其价格低廉、自身质量又小、寿命也长,更重要的是对机床机构的改动不大,而且标准化程度较高也便于后期的维修保养,所以这种轴承更适合高速电主轴。在前面的冷却技术当中也谈过,减小摩擦总力矩即减小滚动体与滚道之间的摩擦可以控制轴承的温升,从而实现主轴的高速性能,所以混合陶瓷球轴承就是实现这一系列技术的首选。

2.4 电主轴的润滑

电主轴的高速性是贯穿主轴始终的核心问题,电主轴的润滑是决定这一问题的关键,尤其是主轴轴承的润滑,轴承的润滑方式主要包括油脂润滑、油雾润滑和油气润滑等。在近期研究的一些主轴轴承

当中多以油气润滑方式为主。润滑过程中供油量的多少直接决定润滑的效果,所以传统的油脂和油雾润滑方式都不能精确的控制供油量的数量,这就很难提高轴承转速以及使用寿命。相反,时下最流行的油气润滑不但可靠性高,供油量的可控性能好,而且适合再次回收利用,节能环保、更有利于人体健康。油气润滑方式是将少量的润滑油不经雾化直接由压缩空气定时、定量、均匀地沿油气管道被带到轴承的润滑区,在此过程中油气始终处于分离状态,压缩空气主要推动润滑油运动还可冷却轴承温度,而润滑油主要起润滑作用,油气润滑方式为保证其润滑的整体效果,每个轴承采用独立式的油气喷嘴,严格要求轴承喷射处的位置;增大压缩空气流量和油气压力,以提高冷却效果以及润滑油能够顺畅到达润滑区,来提高主轴轴承的转速以及寿命。通常这种增大压力法会比常规压力法更能提高轴承转速。因此,油气润滑是高速大功率电主轴轴承的最理想的润滑方法,但其也有发展过程中的制约点,如所需设备复杂,成本高等。

3 结束语

目前,高速电主轴在数控机床领域已被广泛地

应用,高速电主轴不但可以大大缩短数控机床加工周期,而且可以提高产品性能。国外由于研究高速电主轴技术较早,技术更先进,其电主轴转速及技术水平始终遥遥领先,而我国,由于各项技术的制约所在,电主轴技术在很多环节上还比较落后,比如在高转速方面,国外用于加工中心的电主轴转速可高达75 000r/min,而国内则多在30 000r/min以内。为此,要赶上与世界制造先进水平,就应从各项关键技术抓起,只有融合了各项关键技术的先进水平,才能研制优质的电主轴,为数控机床的发展奠定基础。

参考文献:

- [1] 温建立. 高速电主轴动力学特性研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2004.
- [2] 严道发. 电主轴技术综述[J]. 机械研究与应用 2006, (6): 1-3.
- [3] 胡爱玲. 高速电主轴的动静态特性的有限元分析[D]. 广州: 广东工业大学, 2004.
- [4] 蒋书运. 高速电主轴动态设计方法[J]. 世界制造技术与装备市场, 2004, (5): 54-56.
- [5] 张瑜胜. 电主轴在数控机床中的应用[J]. 机械管理开发, 2011, (2): 137-138.
- [6] 刘水发. 高速电主轴热态性能分析[J]. 制造业自动化, 2011, (1): 141-144.

Structure Characteristics Analysis for Machine Tool Electric Spindle System which Numerical Controlled

WEN De-ying^{1,2}, XIE Li-ming¹

(1. School of Mechanical and Electromechanical Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China

2. School of Mechanical Engineering, Qinghai University Xining 810016, China)

Abstract: With the rapid development of high speed of the cutting technology of numerical controlled machine, high-speed electric spindle has become the general trend of development at present, and the development of the key and high-speed electric spindle is to improve the key technology, such as spindle bearing technology and dynamic balance technology, cooling technology and its lubrication technology, etc. AS the key technology to be guaranteed, thus we can ensure that electric spindle towards a more high speed, stable, reliable direction the exhibition.

Key words: CNC machine ; motorized spindle ; structure ; analyze

(上接第 25 页)

The Interfere Analysis of the Across-rock and Vertical-rock to AIRSEA System

XIE Qing-lu, JU Xiang-ming

(Naval Bengbu Petty Officer Academy, Bengbu Anhui 233012, China)

Abstract: Basing on the fact of marine gravimetry, and integrating with the characteristic of the structure on AIRSEA System, the effect on the AIRSEA System is analyzed by the across-rock and vertical-rock. Then the measure of the top base is taken to weaken the effect, which control the sail of the survey ship real time and improve operational efficiency have a very important role.

Key words: AIRSEA System ; across-rock and vertical-rock; survey ship; the top base