

数控机床机械结构与性能优化探析

刘晓莹

(通用技术集团机床工程研究院有限公司沈阳分公司 辽宁 沈阳 110000)

摘要: 数控机床机械结构的优化对于提高数控机床的加工精度、加工效率与使用寿命具有十分重要的意义。本文分析了数控机床的部分工作原理,以及机械振动与热变形对于机床的影响,指出优化机械结构的重要性,从传动系统、主轴系统与进给系统三方面出发,讨论了对机械结构的优化措施,并且探讨了数控机床机械结构优化的集成化、自动化、绿色化和信息化发展方向,希望为从事有关研究的人士提供参考。

关键词: 数控机床; 机械结构; 性能优化

0 引言

数控机床的机械结构是保障数控机床运行、加工平顺度及精度的根本,也是数控系统能够有效运行的基础。数控机床的机械结构能否在保障稳定性的同时实现自动化高精度加工是数控机床品质决定性因素,因此对数控机床的机械结构进行优化有着至关重要的意义。

1 机床工作原理与机械结构的优化分析

数控机床是一种通过数控程序控制的自动化加工仪器,加工精度、速度与稳定性是数控机床所关注的重点。由于数控机床的机械结构与制造材质刚性有限,长时间加工所产生的机械振动与零部件之间的磨损会对数控机床内部造成磨损或变形,带来不可逆转的加工误差,同时这种加工误差测量难度较高且不可控,因此从数控编程方面弥补这一部分误差并不具有可行性。同时,数控机床行业高速发展所带来的加工精度需求数量级式的增长,材料的进步对超高精度数控机床的优化能力有限,因此只有从机械结构方面进行优化才能够在真正意义上推动数控机床的发展。

在数控机床的工作中,主轴承承担了大部分机械压力同时参与了大部分加工环节,因此主轴支撑部分机械结构的可靠性尤为重要。同时,数控机床在加工过程中会产生一定的机械振动,并且对自身的位置平衡具有较大的需求,因此要对机床的主体进行密封处理,并通过加装振动空隙、使用液体缓震等方式减少机床的变形^[1]。此外,机床主体的承托部分要充分考虑到机床满载甚至过载的工作情况,应当采用扩充接触点等方式提高承托机械结构的受压上限。

机床工作中动态刚性的提高也主要依托于机械结构的优化,动态刚性不仅要能够承受机械振动,还要能够控制机床工作所产生的热变形。除了提高承载体的物理刚性

与加装缓震系统外,增强发生振动的阈值是一种更为有效的方式。提高阈值的主要方式为增加阻尼系数,机械结构的阻尼通常采用线性黏性阻尼作为分析模型^[2],增大阻尼系数能使受迫振动的振幅在共振区附近显著下降,采用钢板焊接床体、横梁与立柱之间的连接处能够提高阻尼系数。对于热变形而言,加强机床的散热能力是比降低机床产生热能更有效且更为经济的方式,机床的散热通常是通过冷凝设备对过热位置进行针对性降温,但这种方式可能会造成床体各部分温度不平均,易导致非直接接触部分的热变形,因此也可以适当对床体低温部分进行加热的方式平衡数控机床各部分的温度。降低热变形的方法还有缩小热变形的作用范围,例如在减小主轴热变形时将热变形控制于与刀具平行或与主轴垂直的方向上,这样不仅能够缩小热变形的作用面积,还能够实现对主轴侧倾的保护。热变形导致的数控机床主轴侧倾示意图如图 1 所示。

综上所述,在进行机床机械结构的优化时,应当重点遵守以下几点设计原则:

- (1) 要提高数控机床的动态刚性与静态刚性,提高机床的抗变形能力;
- (2) 保持机床在运行过程中机体温度的均匀性,在限制温度上升的同时也要注意过快的温度下降,采用热源与主体分离的设计理念;
- (3) 要实现对热量产生、机械振动幅度的控制;
- (4) 要尽量提高各部分零部件的耐磨性能与运转的平顺性;
- (5) 要在保证稳定性的同时,尽可能提高加工效率。

2 机床机械结构的优化策略

2.1 对传动系统的优化

传统系统是数控机床运转的核心动力系统,主要由变频器、电动机、联轴器和机械传动系统组成。传动系

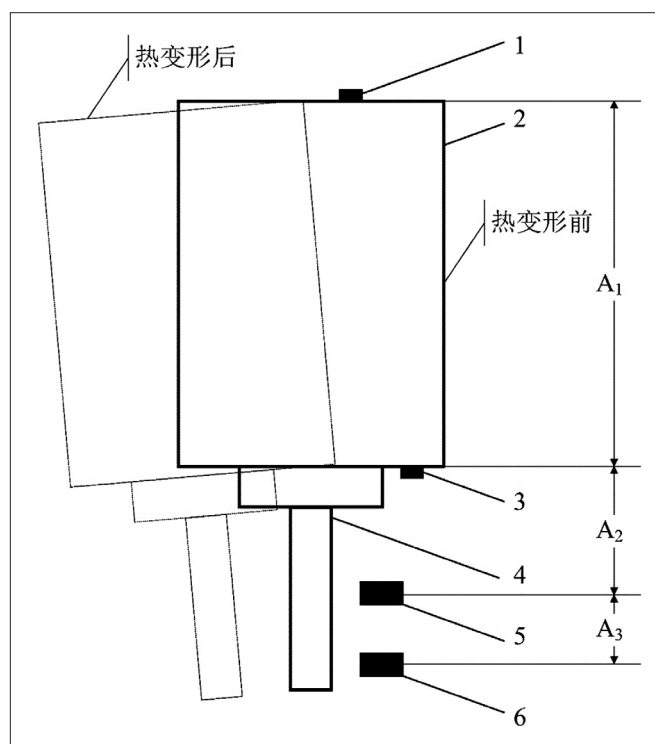


图 1 热变形导致的数控机床主轴侧倾示意图

统是机械振动与热能产生的主要部分,因此要使得传动系统在满足动力需求的情况下更为可控。数控机床一般有着较为宽泛的调速区间,当加工时需要更大的动力(如强力切削)时,就需要传动系统输出更大的转矩,但在单电动机工作时单纯提高转速则会导致数控机床的摩擦热与机械振动都显著增加,这就需要传动系统采用变速系统。采用分级变速的形式适应不同的加工需求,在每个单位中采用无级变速提高速度调节的平顺性,并降低最高主轴转速^[3],其原理如图 2 所示。

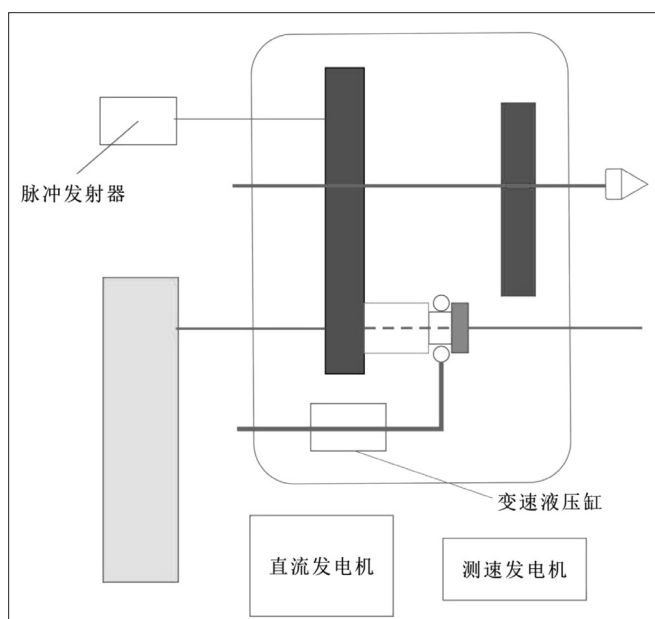


图 2 数控机床传动系统原理图

为减少传动系统的热量、机械振动与噪声的产生,并尽可能地缩小其对加工精度的影响,首先要缩短传动链的长度并简化传动链的结构,以降低传动速度并提高传动比;其次,应尽可能提高变速齿轮之间、齿轮与轴承之间的贴合度,最大限度地提高主轴刚度和回转精度,减少机床的刚度荷载,防止空隙所产生的振动与噪声;最后,要充分考虑传动系统运转过程中撞击对轴承钻孔表面粗糙度造成的不规则影响,以及轴承连接处密封装置受振动产生的松动风险,根据实际情况和标准对数控机床主传动系统进行优化。

2.2 对主轴系统的优化

主轴系统贯穿加工过程的各个部分,对加工精度起到决定性的影响,但在主轴要频繁切换工作状态,例如粗加工与精加工的切换、高精度与高效率的切换等。不同的工作频率下主轴的各零部件会处于不同时间的共振状态,共振会导致主轴产生切削颤振,因此主轴的动态特性需要通过机械结构的改进加以优化:一方面要缩短主轴跨距与轴向长度,并适当加大主轴外径,将主轴跨距设计在 (270 ± 10) mm 的范围内,能够有效提高主轴的静态刚性;另一方面,避免主轴的质量集中于前端,以减少 Y 向的谐振影响。

对于主轴的支撑结构而言,大部分主轴采用前轴段圆柱支撑、后端球形支撑的支撑结构,这种结构适用于质量均匀且承载较轻的主轴,但在主轴承增大时支撑性存在一定的风险,因此在此结构的基础上采用双立柱结构,双立柱结构以其对称性增强了 X 向与 Y 向的抗变形能力,同时还能够实现对坐标的修正量进行补偿。在结构上,还应当尽可能减小主轴中心与主轴箱底面的距离,以减少热变形的总量。此外,还可以采用锥滚轴承提高轴承刚性,进而提高其承载能力,综合考虑运转速度与运转刚性的需求,才能够实现主轴稳定、可靠且高效的运转。

2.3 对进给系统的优化

对进给系统进行优化能够有效提高机床运转效率,进给伺服系统式数控装置与数控机床的连接部分,主要由滚珠丝杠结构、齿轮齿条传动结构或双导程蜗轮蜗杆结构组成。滚珠丝杠结构适用于短行程低摩擦传动的情况,齿轮齿条传动结构适用于长行程大型数控机床的小负载传动的情况,双导程蜗轮蜗杆结构适用于较大传动比的情况。

进给系统还需要注重导轨的动态与静态性能,导向精度是指机床的运动部件沿导轨移动时的直线性和它与有关基面之间相互位置的准确性,要保证导轨精度要求,除了力求减少导轨面磨损量外,还应使导轨面在磨损后能自动补偿和便于调整。

联轴器是进给系统的重要组成部分,采用凸缘式联

轴器能够在较大转矩的条件下工作,为了弥补凸缘式联轴器工作中可能发生的侧倾问题(图3),联轴器也要加入自适应调节功能。此外,为避免电动机齿轮长期处于高转速的情况下,在加入变速系统的同时也应加装减速装置,将高转速的小转矩伺服电动机的输出转变为低转速大转矩的执行件的输入。

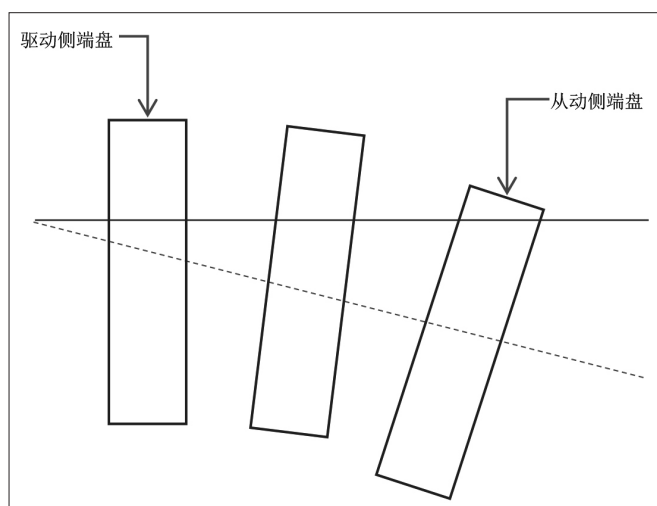


图3 联轴器倾斜示意图

3 机床机械结构的创新方向

3.1 集成化、自动化与柔性化

由于市场竞争日趋激烈,机械加工企业不断追求高效生产,因此对数控机床的功能及自动化程度都提出了更高的要求,这促使着数控机床不断向集成化、柔性化和自动化方向发展。数控机床的集成化是指对数控机床能够实现锉、铣、钻等多功能于一体。增加数控机床的集成度不仅有助于生产效率的提升,更能够有效地减少设备加工的运输成本、转载成本和误差累加。集成化也代表着数控机床机械结构复杂度的飞跃式增长,目前我国已经能够实现五轴联动数控机床的制造,极大地提高了生产效率与生产质量。柔性化是指数控机床的生产能够满足不同的定制化需求,集成化的数控机床能够更为自由地调整生产工序与加工设备,机械制造企业也能够更为灵活地制定生产计划。自动化是数控机床的核心技术与核心竞争力,自动化技术应当满足从原材料加装到锉、铣、钻,再到废料的自动排出与润滑材料的自动填充等辅助功能,数控机床还应当实现对加工物件的自动定位、刀具系统的智能调控以及加工误差的自适应补偿。

自动化的数控机床极大地降低了人工介入,在降低

人工误差的同时,一名技术人员就能够同时监督管理多个数控机床,数控机床的生产也不受技术人员工作时间的限制,在不停机的情况下长时间批量化生产将更具有可行性。

3.2 信息化与绿色化

信息技术的介入能够实现对数控机床内部机械结构的高效管控,并对机床的工作状态有了动态检测,对于故障的管理也从事后的处理变为了事中的控制,例如通过检测刀具的磨损程度来决定刀具使用的优先级,而非传统数控机床中刀具损坏后的更换,更为可靠的故障自检也成为现实。此外,信息技术通过建立工作数据库实现了数控机床的“自主记忆”与“自我学习”功能,数控机床能够对各种工况下的最优参数加以储存并不断更新。

绿色化的生产理念是未来制造业所必须贯彻的重要原则。绿色化是指生产过程中的低能耗、低排放、低废料和生产材料的回收与再利用等一系列生产技术。集成化的设计理念不仅提高了生产效率,同样也通过减少运输、转载等工序降低了这一部分的能耗与原材料损耗。此外,对于小批量产品的生产而言,无模化生产也要依托于多主轴设备的加工,提高对于原材料的利用率,也要通过精密的锻造技术和精密的冲压技术来进行生产加工。绿色化的生产理念还催生了一批如干式切削技术、油雾分离技术、微量润滑切削技术、低温切削技术和绿色环保切削液技术等无害化、清洁化加工技术,解决了传统制造业的资源浪费与环境污染问题。

4 结语

数控机床机械结构的改进对其性能有着明显的优化作用,在应对机械变形、热变形,以及提高机床刚性等方面,对于机械结构优化还有着非常大的提升空间,进一步探讨满足高负载、高精度、高效率加工的数控机床机械结构还应从主轴系统、变速系统等方面出发,提高我国数控机床的技术实力。

参考文献:

- [1] 朱士云, 仲小敏. 数控机床机械结构设计和制造技术优化[J]. 中国金属通报, 2021(17): 72-73.
- [2] 张勃. 互联网背景下数控机床机械结构设计优化[J]. 内燃机与配件, 2021(17): 165-166.
- [3] 安红卫, 朱健. 数控机床机械结构设计和制造技术优化[J]. 内燃机与配件, 2021(3): 75-77.