

四坐标数控龙门加工中心进给传动系统设计

Design of Feed Drive System in 4-Axis CNC Gantry Machining Center

北京航空制造工程研究所 王增新 马岩 王茜 许翠芳

[摘要] 进给传动系统负责传递转矩和转速,是数控机床的重要组成部分,其传动精度、灵敏度和稳定性将直接影响工件的加工质量。为了保证机床的定位精度和工作的稳定性,进给传动系统需要具备无间隙、低摩擦、低惯量、高刚性、高谐振以及适宜的阻尼比等特点。

关键词: 加工中心 进给传动系统 滚珠丝杠 反向间隙 刚度 预紧 误差补偿

[ABSTRACT] Feed drive system is responsible for transferring torque and speed and is an important part of CNC machine tool, and its transmission accuracy, sensitivity and stability will directly affect the manufacturing quality of workpieces. It needs to have characteristics of no clearance, low friction, low inertia, high rigidity, high resonance and the appropriate damping ratio in order to ensure its accuracy and stability.

Keywords: Machining center Feed drive system Ball screw Backlash Stiffness Preload Error compensation

随着航空结构件的不断整体化和轻量化,钛合金在航空领域的应用越来越广泛,其切削加工特点是导热率低和粘刀倾向较为严重,属于大扭矩强力切削。钛合金航空件的加工设备,有别于用于铝合金加工的机床:对机床除了具有更高的强度要求之外,还必须具备高精度、高刚性的进给驱动机构以满足强力切削的要求。

如图1所示,四坐标数控龙门加工中心(以下简称G4 1230 AJ)正是为了满足钛合金航空结构件的加工需求研制的,其结构配置合理,各坐标均具有较大的驱动扭矩,尤其是配备了大扭矩机械驱动A摆角进给机构,适用于形状复杂的航空零件的强力切削加工。

1 整体概述

G4 1230 AJ的总体结构为固定龙门工作台移动式,X、Y、Z、A四轴四联动。先将床身水平布置,再将其同两侧的立柱连接并固定于地基上,最后与上部的横梁连接在一起形成刚性较好的封闭龙门结构。工作台沿床身导轨作纵向移动(X轴),横向滑板在横梁上横向移动



图1 四坐标数控龙门加工中心

Fig.1 Four-axis CNC gantry machining center

(Y轴),垂向滑板在横滑板上作垂向移动(Z轴),摆角滑板在垂滑板上摆动(A轴),主轴固定于摆角滑板上。

G4 1230 AJ各坐标均采用性能优越的数字交流伺服驱动,X、Y、Z坐标由带预载的进口高性能滚珠丝杠驱动,A坐标由同步带—蜗轮蜗杆—齿轮齿条传动机构消除并预紧后进行驱动,其中Z坐标和A坐标配备液压平衡系统,保证机床具有良好的动态性能。

高刚性大扭矩的机械主轴由伺服电机经变速箱驱动,两级机械变速,并配备恒温冷却系统,满足机床大负载切削加工要求。

G4 1230 AJ的位置反馈均采用全闭环控制,X、Y、Z反馈元件采用高精度的HEIDENHAIN光栅尺,A坐标采用角度编码器进行反馈,并用压缩空气进行清洁防护,保证机床具有很好的定位精度和重复定位精度。

2 进给传动系统

进给传动系统是数控机床伺服系统的重要组成部分,其作用是传递转矩和转速。进给传动系统的传动精度、灵敏度和稳定性将直接影响工件的加工质量。因此,为了保证定位精度和工作的稳定性,机床的进给传动系统需要具备无间隙、低摩擦、低惯量、高刚性、高谐振以及适宜的阻尼比等特点。

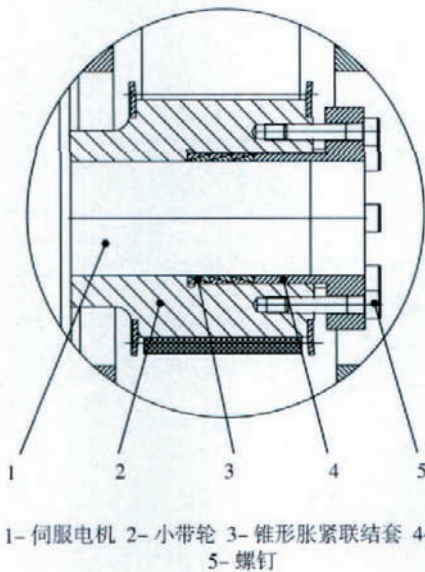
为了达到这些要求,G4 1230 AJ的线性进给系统在设计中尽量采用低摩擦的传动副如线性导轨、滚珠丝杠等以减小摩擦力;采用预紧的办法来提高传动刚度;采

用消除的方法来减小反向死区误差等。其中,提高进给传动刚度尤其重要。下面介绍横、纵向(X、Y向)、A坐标进给传动系统中消除反向间隙、提高传动刚度的结构措施及方法。

2.1 胀紧联结套消除反向间隙

为了优化传动系统,提高传动效率,G4 1230 AJ的横、纵向进给传动系统均采用一级同步带减速,带动滚珠丝杠驱动运动部件。为了减少动力传递的反向间隙,伺服电机与小带轮2、大带轮7与滚珠丝杠之间的联结均采用胀紧联结套进行胀紧。

图2为伺服电机1与小带轮2通过锥形胀紧联结套3联结的结构图。螺钉5通过压圈4对锥形胀紧联结套3施加轴向力时,由于锥环之间的楔紧作用,内外环分别产生径向弹性变形,消除配合间隙,并产生接触压力,传递扭矩。胀套的螺钉应使用力矩扳手按对角、交叉均匀地逐次以1/3Max、1/2 Max、Max拧紧,足够大的轴向力产生足够的接触压力以传递所需的扭矩。螺钉的拧紧力矩不得过大,若锥环超过弹性变形的允许范围,拆卸时就不易松脱。



1- 伺服电机 2- 小带轮 3- 锥形胀紧联结套 4- 压圈
5- 螺钉

图2 消除胀紧结构

Fig.2 Structure of backlash swelling

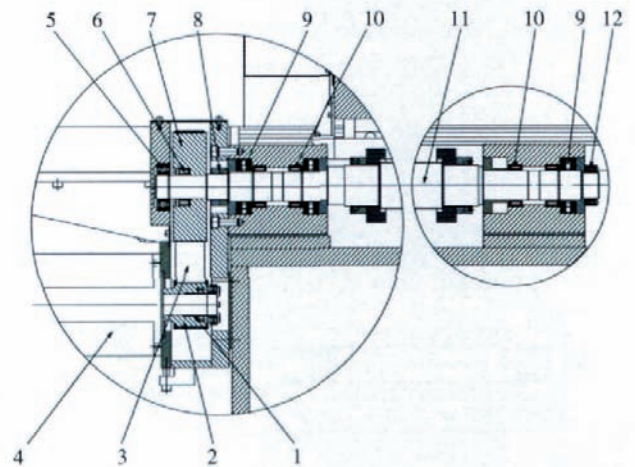
2.2 提高丝杠及其支承的刚度

对于一端固定支承的丝杠来说,其抗压刚度($K = \frac{\pi d^2 E}{4l} = \frac{\pi d^2 E}{4L} \cdot \frac{1}{n}$)随螺母距固定端的距离的增加而下降。而两端固定支承的丝杠,其轴向抗压刚度($K = \frac{\pi d^2 E}{4} \left(\frac{1}{l} + \frac{1}{L-l} \right) = \frac{\pi d^2 E}{4L} \cdot \frac{1}{n(1-n)}$)大大提高,并且在整个工作行程范围内刚度变化较小。其中d为丝杠中径(cm);E为弹性模量(kgf/cm²);l为受力点到

支承端距离(cm);n为行程比: $n = \frac{l}{L}$;L为总行程长(cm)。

从刚度公式可以看出,两端固定、螺母处于中间位置时(n=0.5)的刚度最低,但仍为一端固定时最低刚度(n=1)的4倍。

因此,G4 1230 AJ的X、Y向丝杠采用两端固定的支承方式,如图3所示,一端采用双径向滚子轴承和双推力滚子轴承,另一端采用双径向滚子轴承和单推力滚子轴承,这样不仅有较强的径向承载能力,而且具有足够的轴向刚性。同时,为了提高支承座的连接刚度,在设计时要求配合表面及支承表面均经过磨削,尽量避免采用中间隔套和窄而薄的衬垫。因为每一个接触表面都因表面粗糙度而形成弹性元素,窄而薄的衬垫将起到弹簧垫圈的作用,增大弹性变形,从而降低整个系统的刚度。



1- 锥形胀紧联结套 2- 小带轮 3- 同步带 4- 伺服电机 5- 深沟球轴承 6- 胀紧联结套 7- 大带轮 8- 锁紧螺母 9- 推力轴承 10- 滚针轴承 11- 滚珠丝杠 12- 锁紧螺母

图3 X、Y进给传动系统结构图

Fig.3 X-axis, Y-axis feed drive system structure

两端固定支承的丝杠,螺母两端的丝杠相当于并联弹簧,如图4所示。丝杠传动的综合抗压刚度主要由丝

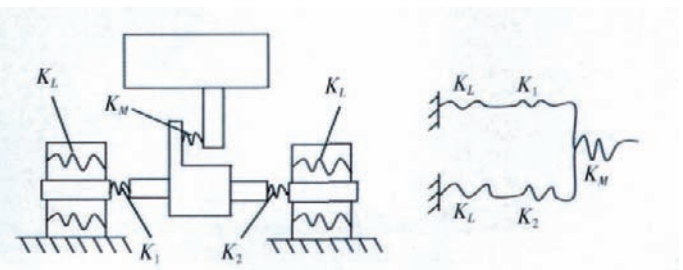


图4 两端支承丝杠模型

Fig.4 Dynamic model of screw fixed at both ends

$\eta_0=0.9$ 计算,当 $n_0=3$ 时, $\eta=0.85$; $\eta_0>3$ 时(即 $P_0 < \frac{1}{3}P_t$),

η 增长缓慢。所以,一般取 $P_0 \approx \frac{1}{3}P_t$,这时滚珠丝杠与螺母的接触变形量比无预紧力时减少一半。

丝杠生产厂家根据实际使用经验,一般将螺母预紧力设定为丝杠额定动载的 1/10,保证丝杠消除的同时丝杠螺母具有足够的刚性。

2.4 A 坐标进给系统

G4 1230 AJ 采用传统的机械驱动 A 摆角进给系统如图 5 所示:伺服电机 15 通过同步带 13 进行减速(传动比 2:1),轴 9 用联轴节 8 连接蜗杆 4、6,蜗杆带动蜗轮 20(传动比 20:1),驱动与蜗轮同轴的齿轮轴 18,使双输出齿轮同扇形齿条 19 啮合(传动比 9:1),扇形齿条再带动整个主轴头进行摆动。

其中蜗杆 4 的顶端配置一套碟簧预紧机构,碟簧 1 对其施加一定轴向推力,使蜗杆 4 沿右端的花键套产生相应的轴向滑移,这样蜗杆 4 驱动的蜗轮与蜗杆 6 驱动的蜗轮就产生了大小相等、方向相反的预紧载荷,使得与蜗轮同轴的 2 个齿轮具有了同样的预载,最终双输出齿轮同扇形齿条进行消除啮合,提高了摆角进给传动的定位精度和重复定位精度,降低了系统的反向误差。

消除传动机构是高精度进给系统的基础,最终的全行程高精度进给是靠闭环控制系统来保证的。A 坐标进给传动采用 HEIDENHAIN 角度编码器 ERA180 作为闭环控制系统的反馈元件。由于是第一次使用,不了解它的特性,所以在进行角度误差补偿之初总是不能达到要求的精度。

通过采取以下措施对角度误差进行调试补偿:

(1) 调整转轴轴承和蜗轮蜗杆机构的预紧,降低了装配误差,提高了传动精度。

(2) 将安装于转轴后端的角度编码器重新安装找正,减少了编码器安装误差带来的精度影响(ERA180 对安装有很高的同轴度要求,1 μm 的同轴度误差最大产生 13" 角度误差)。

(3) 采用编码器系统精度的整数倍(ERA180 系统精度: $\pm 7.5''$) 作为精度补偿时的测量步距,避免了测量步距非整数部分带来的角度误差积累引起的局部误差突变。

(4) 坐标回零后以角度编码器的零点作为精度补偿的起点,直接按回零方向进行误差补偿,有效地减少了反向误差的影响。

采用以上方法对角度误差进行多次调试补偿后,最终得到了理想的精度(定位精度:6", 重复定位精度:2", 反向误差:2")。

3 结束语

经过用户近 2 年的使用验证,基于以上设计的四坐标数控龙门加工中心,因其设计合理,性能稳定可靠等特点在航空领域的应用越来越广泛。如今,运用该机床已加工各类型飞机零件十多种、数百件,取得了良好的经济效益,有力地保障了航空工业的发展。

(责编 飞翔)

(上接第 104 页)



图6 典型案例优化前后方案对比

Fig.6 Comparison of typical case before and after optimization

数据的录入中还提供了数据审批流程,只有经过专业人员审核通过后的数据,才能正式提供给用户使用。

通过对优化型切削参数数据库的研究与开发,解决了缺乏合理适用的切削数据的困难,对加快切削技术的推广应用具有非常重要的意义。

参考文献

- [1] 吴斌,夏伟,汤勇,等.基于模糊理论和数据库技术的材料切削加工性评价.机械设计与制造工程.2003,29(2):12-15.
- [2] 金问林.切削过程数据采集与处理以及优化研究.南京航空航天大学[D].1988.
- [3] 陈志刚.基于特征结构的优化型数控铣削加工数据库研制,北京航空航天大学[D].2006.

(责编 小城)