计算机控制高精度磨齿机设计研究

罗生梅　赵　学　姚天鹏
兰州理工大学机电工程学院，兰州，730050

罗生梅　副教授

摘要：为克服基圆展开法锥面砂轮磨齿机换向带来的传动误差及磨削速度变化大的问题，在工件轴上设置一个附加旋转运动和工作台直线运动的伺服驱动环节，把一个变化控制的机械运动分解为常量与变量的合成，常量部分通过刚性传动链实现无误差运动匹配，变化量部分由伺服系统调节，使产生的传动误差比例份额变小，提高了系统的整体传动链精度。磨削时的展成过程运动均匀，机床调整方便，机械传动系统中无高难技术，结构简单，易保证高的机床制造精度，成本低。

关键词：运动合成；计算机控制；高精度；磨齿机
中图分类号：TH11；TG61　　**文章编号**：1004－132X(2004)16－1440－03

Research on the Design of High Precision Gear Grinder Controlled by Computer

Luo Shengmei　Zhao Xue　Yao Tianpeng
Lanzhou University of technology, Lanzhou, 730050

Abstract: The defects of cone－shaped gear grinder based on base circle generating method were overcome. With the help of servo driving tache, which produces additional revolving movement and straight movement of the worktable, the mechanical movement controlled by variability was separated into the constant and variable synthesize . The constant realizes the non－ error match of movement by rigid transmission chain, and the variable adjustment by servo system reduces transmission errors. It improved the accuracy of all transmission chain. The problems of transmission errors produced by changing－direction of mechanical gear grinder were solved and large change speed when grinding was eliminated and the generating process was evened. The generating process of gear－grinder was automatically realized by speed－ratio adjustment of two servo driving taches . Due to convenient adjustment of machine tool, the structure is simple, and there are no very difficult technologies in mechanical transmission system. The high manufacturing accuracy is not only satisfactory but also the cost is low. It is of ultimate significance in high accuracy gear manufacturing field.

Key words: movement synthesize; computer control; high precision; gear grinder

0　引言

随着各种机械精度的不断提高，对齿轮的要求也越来越高，迫切希望能有精度高、加工方便、成本低廉的新型磨齿机出现。目前采用展成法设计的齿轮加工机床有蜗杆砂轮磨齿机、齿轮齿条啮合的锥面砂轮磨齿机及基圆展开方法锥面砂轮磨齿机。前两种机床在驱动工件旋转上均有蜗轮蜗杆传动，对机床传动链精度要求特别高，高精度蜗轮蜗杆副的制造在普通机床制造厂很难实现。基圆展开法从原理上对展成过程的传动链无特殊要求，但实现渐开线展开运动的是一对偏心机构，工作中滑块存在换向问题，影响了加工齿形精度，而且机床展成速度不均匀，加工齿轮基圆直径调整困难，对刀不方便，目前这种加工方法基本淘汰[1]。为此，本文设计了一种新型计算机控制高精度基圆差动式钢带展成磨齿机。

1　计算机控制高精度基圆差动式钢带展成磨齿机传动原理及关键技术

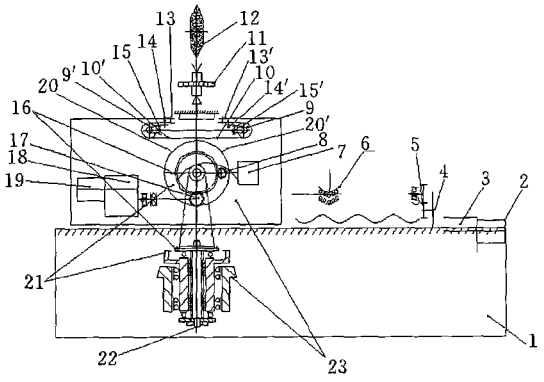
1.1　计算机控制高精度基圆差动式钢带展成磨齿机传动原理

图1是计算机控制高精度基圆差动式钢带展成磨齿机传动原理图。伺服电机2与减速器3输入轴相连，减速器固定在床身1上，减速器输出轴上装有齿轮5，齿轮5与滚珠丝杠6端头所装齿轮4啮合，滚珠丝杠6的螺母与工作台23固连。工作台23可在床身1上滑动，在床身1上装有两个固定滑轮9、滑轮9′的支座15、支座15′，在两个

收稿日期：2003－07－29

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

滑轮上分别绕钢带 10 和钢带 10′，两个钢带的一个端头各由一个固连件 20、固连件 20′固定在基圆盘 21 的两侧。绕过滑轮的另一个端头分别可由固连件 14、固连件 14′与床身 1 固定，或由固连件 13、固连件 13′与工作台 23 固定。基圆盘 21 空套在工作台 23 上的孔中，工件轴 22 空套在基圆盘 21 的孔中，在基圆盘 21 上固定一个高分辨率旋转编码器 7 及减速器 18，减速器 18 输入轴与伺服电机 19 相连，输出轴装有齿轮 17，齿轮 17 与工件轴 22 上所装高精度齿轮 16 啮合。旋转编码器 7 的转轴上安置有消隙齿轮 8，齿轮 8 与齿轮 16 啮合，当齿轮 16 相对基圆盘 21 转动时，可带动编码器 7 的转轴转动。



1. 床身　2. 伺服电机　3. 减速器　4. 齿轮　5. 齿轮　6. 滚珠丝杠　7. 高分辨率旋转编码器　8. 消隙齿轮　9. 固定滑轮　9′. 固定滑轮　10. 钢带　10′. 钢带　11. 工件(齿轮)　12. 砂轮　13. 固连件　13′. 固连件　14. 固连件　14′. 固连件　15. 支座　15′. 支座　16. 高精度齿轮　17. 齿轮　18. 具有自锁能力的减速器　19. 伺服电机　20. 固连件　20′. 固连件　21. 基圆盘　22. 工作轴　23. 工作台

图 1　磨齿机传动原理

当伺服电机 2 通过滚珠丝杠 6 推动工作台 23 以速度 v 移动时，若用固连件 14 固定钢带的一端时，基圆盘 21 相对工作台 23 的转速为

$$\omega_1 = v/R_0$$

式中，R_0 为基圆盘 21 的半径。

若用固连件 13 固定钢带的一端时，则基圆盘 21 相对工作台 23 的转速为

$$\omega_1 = 2v/R_0$$

由具有自锁能力的减速器 18 及齿轮 17 把基圆盘 21 的转动传递给工件轴 22，使工件轴 22 与基圆盘 21 同步旋转。为了加工不同基圆半径 R_b 的齿轮 11，需工件齿轮 11 在 ω_1 基础上附加一定量的差动旋转角速度 ω_2，这一旋转速度由伺服电机 19 通过减速器 18、齿轮 17 直接附加到工件轴 22 的齿轮 16 上，通过齿轮 16 把 ω_1 与 ω_2 合成，实现工件轴旋转角速度 ω 的展成要求：

$$\omega = v/R_b = \omega_1 + \omega_2$$

1.2　展成过程中传动链误差处理

现有技术中由滚珠丝杠实现部件匀速运动已不成问题，主要是解决由伺服电机 19 所决定的差动运动 ω_2 不准确引起的工件加工误差，当齿轮 17、齿轮 16 采用大减速比时，ω_2 主要取决于齿轮 16 的误差。而齿轮 16 的误差在被加工工件 11 上的误差复映量为

$$\Delta = K_1 K_2 \Delta_1 \tag{1}$$

式中，Δ_1 为齿轮 16 在展成角度范围内所对应的制造误差；K_1 为差动速度比例系数，$K_1 = \omega_2/\omega = \omega_2/(\omega_1 + \omega_2)$；$K_2$ 为误差放大系数，$K_2 = R_b/R_{b1}$；R_{b1} 为齿轮 16 基圆半径。

若取 $R_{b1} = R_0$，最大加工基圆半径 $R_{bmax} = 5R_0/4$，则被加工齿轮基圆半径 $R_b = 2R_0/3$ 时，有最大误差复映量 Δ_{max} 为

$$\Delta_{max} = K_1 K_2 \Delta_1 = \Delta_1/4.5$$

上式说明差动运动的 ω_2 在旋转运动所占分量较小，引起的误差也小，当齿轮 16 有加工误差时，在最大误差复映时，也仅是齿轮 16 误差的 0.22 倍，所以用一个较高精度的齿轮 16 完全可以胜任机床的高精度加工要求。

1.3　机床调整及控制

当被加工齿轮 11 的基圆半径 $R_b \geqslant 2R_0/3$，钢带由固连件 14 与床身 1 固定，工作中滑轮 9 不动，运动控制方程为

$$\omega = v/R_0 + \omega_2 \tag{2}$$

当被加工齿轮 11 的基圆半径 $R_b < 2R_0/3$ 时，钢带由固连件 13 与工作台 23 固定，工作中滑轮 9 有旋转运动，运动控制方程为

$$\omega = 2v/R_0 + \omega_2 \tag{3}$$

在式(2)、式(3)中，由机械结构保证 ω_1 完全跟随 v，无瞬时不同步现象，不会产生传动误差。由于传动链存在制造误差，在 v 恒定情况，ω_2 不可能准确跟随 v，在展成过程中会使工件 11 产生加工误差。解决的方法是齿轮 16、齿轮 17 采用高精度特大降速比，使齿轮 17 及以前各元件误差忽略，选较大直径的齿轮 16，降低齿轮 16 误差在工件 11 上的误差复映量。若齿轮 16 的基圆半径等于基圆盘 21 半径，加工工件 11 的最大基圆半径规定为 $5R_0/4$，则在加工工件 11 的基圆半径为 $2R_0/3$ 时，齿轮 16 的制造误差对工件 11 有最大复映值，为 $\Delta_1/4.5$。这一值表明，在磨齿机关键齿轮 16 精度不十分高的情况下，也能磨削出高精度齿轮。

1.4　对刀及吃刀量的实现

对刀　由手动使伺服电机 19 驱动工件轴 22

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

附加正负旋转角度实现对刀。

吃刀 由人工通过面板自动设定，工作台换向时，伺服电机19在附加对刀量的基础上，增加吃刀量，驱动工件轴22磨削前的偏转角调整。

分齿的实现 在齿轮11展成完全脱离砂轮12后，展成停止。附加旋转的伺服电机19转动，由齿轮16与齿轮8，以大升速比啮合，驱动固定在基圆盘21上的高分辨率编码器7进行闭环准确定位，齿轮16本身的制造误差所引起的分度误差由软件进行位置补偿消除，达到高精确的分度。

2 控制系统

机床采用工业控制计算机直接控制，其主要控制流程见图2。

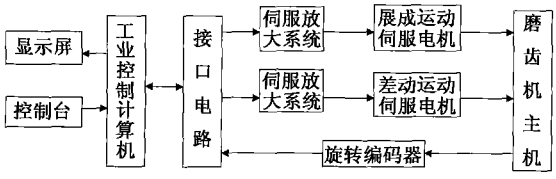


图2 控制流程图

首先输入如下工件参数：工件的齿数 Z、模数 m、吃刀量 S 及工作台的移动速度 v，然后通过控制台实现机床调整及对刀。对刀时工业控制计算机自动记录对刀偏转的调整量，由加工余量计算磨削圈数及各圈吃刀量，计算分度量。通过控制台人工通知计算机控制伺服电动机2使工作台23移动，调整工件轴轴线与砂轮对称面在同一平面。工件安装后，人工点动控制砂轮进给系统使砂轮引入工件齿槽并到位，调整砂轮两侧间隙相等。启动砂轮旋转电机及上下的冲程电机，由控制台通知计算机控制伺服电机19，使工件轴22相对基圆盘偏转，当有磨削火花时，通知计算机让伺服电机19使工件轴相对基圆盘反向偏转，当砂轮另一侧与工件接触有火花时，对刀完成，并由计算机自动记录工件轴的反向偏转角 θ_0。

3 磨削程序

启动自动加工的控制程序，程序流程见图3。

计算差动旋转角速度 ω_2：

$$\omega_2 = \begin{cases} v(1/R_b - 1/R_0) & R_b \geqslant 2R_0/3 \\ v(1/R_b - 2/R_0) & R_b < 2R_0/3 \end{cases}$$

磨削中工件轴换向后，计算工件偏转转角量 θ_1 及 θ_1'：

$$\theta_1 = \theta_0 + 2S/R_b = \theta_0 + 4S/(Zm)$$

$$\theta_1' = \theta_0 + S/R_b = \theta_0 + 2S/(Zm)$$

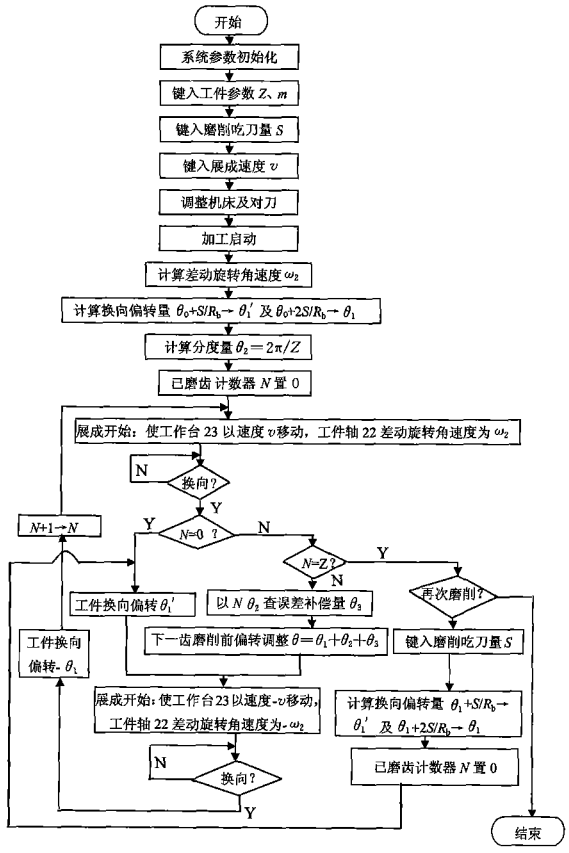


图3 工业控制计算机程序流程框图

4 结论

(1)把一个变化控制的机械运动分解为常量与变量的合成，常量部分通过刚性传动链实现无误差运动匹配，变化量部分由伺服系统调节，调节幅度，使产生的传动误差比例份额变小，提高系统的整体传动链精度。

(2)基圆差动式钢带展成磨齿机调整方便，机械传动系统中无高难技术，结构简单，易保证高的机床制造精度，制造成本低，一般机床生产厂均可制造，磨削精度高，传动方案在高精度齿轮制造业具有重要意义。

参考文献：

[1] 《磨齿工作原理》编写组. 磨齿工作原理. 北京：机械工业出版社，1977

（编辑 郭 伟）

作者简介：罗生梅，女，1964年生。兰州理工大学机电工程学院副教授。研究方向为制造技术及自动化、数控技术等。获中国发明专利3项。出版专著1部，发表论文30余篇。赵 学，男，1961年生。兰州理工大学机电工程学院副教授。姚天鹏，男，1964年生。兰州理工大学机电工程学院工程师。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net