

机械设计中齿轮传动侧隙的解决方法

杨学华

(云南机电职业技术学院, 云南 昆明 650203)

摘要: 以数控落地铣镗床立柱滑座进给箱的设计为例, 从结构原理上阐述了处理齿轮传动侧隙的方法, 并计算出此结构的传递动力及传递速度。

关键词: 落地镗床; 齿轮侧隙; 齿轮传动

中图分类号: P28 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007 - 855X(2007)05 - 0009 - 05

A Solution to the Drive Gear Backlash in the Mechanical Design

YANG Xue-hua

(Yunnan Vocational Institute of Machinery and Electricity, Kunming 650203, China)

Abstract: By citing an example of the design process of a feed box on the vertical column slide rest in a CNC floor type boring and milling machine, the method of dealing with the drive gear backlash is expatiated from the aspect of the structure theory, and finally the transmission power and the velocity of the structure are worked out

Key words: floor type boring and milling machine; gear backlash; gear drive

0 前言

数控机床是由计算机数控系统、机床本体和附属装置组成的现代自动化机床, 具有高精度、高效率和高适应性的特点。要发挥数控机床的高精度, 就要在设计上必须采用一些适合于高精度的结构。

数控机床的进给系统, 要求对部件的位置和进给速度 2 个方面同时实现自动控制, 而且要求有较高的定位精度和动态响应特性。数控机床进给系统由于经常处于自动变向状态, 如果传动链中齿轮传动副存在间隙, 反向时就会使进给运动滞后于指令系统, 影响了传动链的系统精度, 从而影响加工精度。基于此, 要想得到高的加工精度, 就必须采取措施消除齿轮传动副中的间隙, 以提高数控机床的传动精度和定位精度。笔者在企业进行机械设计的多年工作中, 对 TK6216 数控落地铣镗床的开发时, 承担了立柱滑座部件及其进给箱部件的设计。对于此类机床而言, 进给箱所控制的 X 轴是行程最大、负荷最重的轴。在数控落地铣镗床的 X 轴进给箱设计中, 我们采用了双片薄齿错齿结构和预载双小齿轮齿条结构来处理齿轮传动侧隙, 有效地解决了进给轴爬行问题。具体设计方法叙述如下。

1 机床概述

TK6216 型数控落地铣镗床有 X、Y、W、U 4 个进给轴, 能实现任意三轴联动, 是一种性能优良、工艺范围广泛、精度及生产效率高的先进设备, 可以取代龙门刨床, 一次装夹即可完成钻孔、扩孔、镗孔、切沟槽, 以及平面的铣削等加工^[1]。如图 1 所示, 此机床主要由床身、滑座、进给箱、立柱、主轴箱等组成。立柱在床身上移动称为 X 轴, 主轴箱在立柱上垂直移动称为 Y 轴, 镗杆轴向移动称为 W 轴, 平旋盘滑块移动称为 U 轴。各向行程值如下:^[1]

X: 6 000 mm; Y: 3 000 mm; W: 900 mm; U: 200 mm.

收稿日期: 2007 - 06 - 14 基金项目: 云南省自然科学基金项目 (2004E0129M), 教育部科学技术研究重点项目 (206137), 云南省教育厅科学基金项目 (06Z058A, 5J0111A)。

作者简介: 杨学华 (1970 -) 男, 高级工程师。主要研究方向: 机械和机床设计。

E - mail: liujianping312@163.com

2 对 X轴状况的分析

与普通卧镗相比, TK6216型数控落地铣镗床 X轴有以下特点:

2.1 行程大

由于该机床主要是用来加工大型工件的, 固行程较大. X轴的行程为 6 m, 根据用户的要求还可能会更大.

2.2 负重大

此轴移动的部件有滑座、进给箱、立柱、主轴箱、重锤等, 约重 30 t左右. 按 0.1的摩擦系数计算^[2], 要有 3 t的推动力, 再加上切削力、惯性等其它因素, 拟定按 7 t的推动力计算.

x轴的进给若采用丝杠, 则丝杠的拉压变形约占整个传动系统总变形的 30% ~ 50%^[5], 当机床进给轴较长时, 普通滚珠丝杆就难以胜任大负荷的传动, 并且滚珠丝杆的制造也将有一定的困难.

由于负重大等因素的影响, 立柱移动时的阻力会有一些的波动, 设计不好就很容易发生爬行现象. 基于以上情况, 拟定在 x坐标上采用双片薄齿齿啮及预载双小齿轮齿条进给机构, 这样就有效地避免采用滚珠丝杠的弊端以及爬行现象的发生.

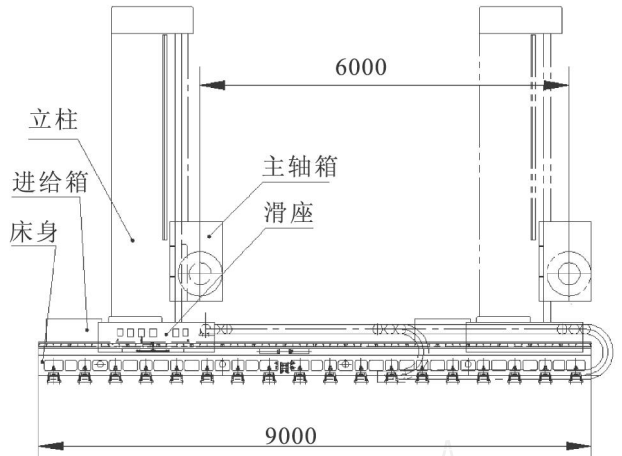


图1 机床总图
Fig.1 General diagram of the machine

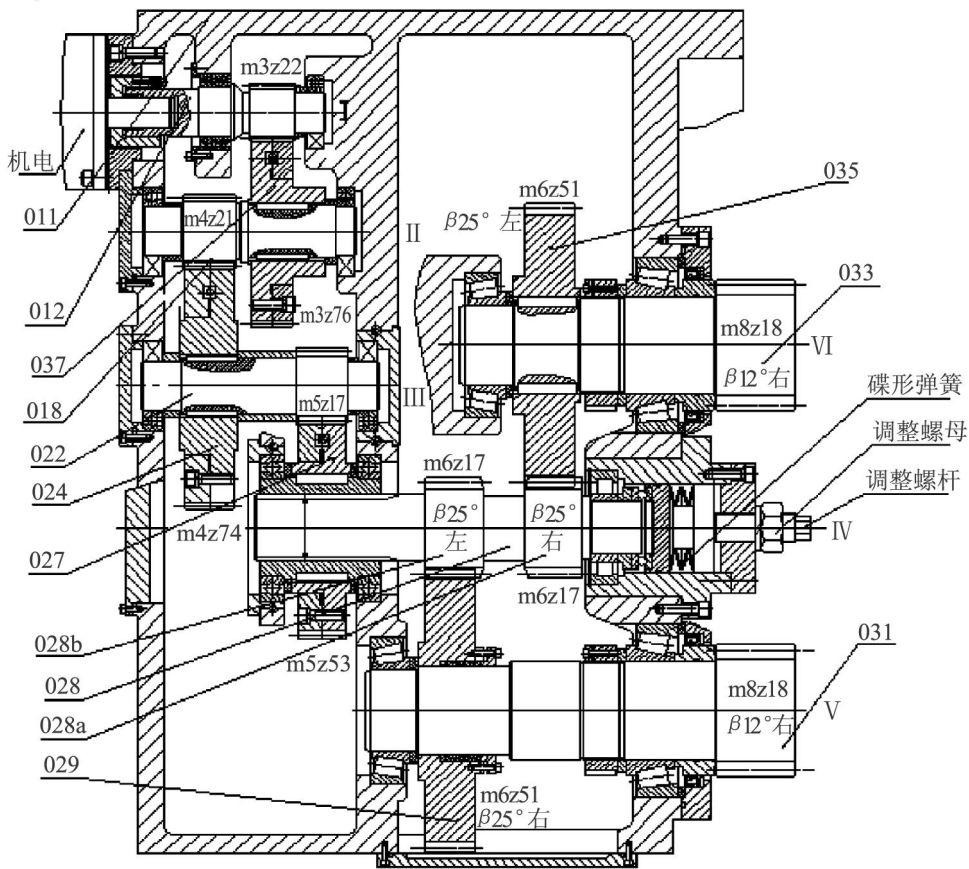


图2 进给箱装配图
Fig.2 Assembly diagram of the feed box

3 X轴进给箱的原理及结构

如图 2 所示, 件号为 031 及 033 的即为 2 个小齿轮. 这 2 个小齿轮分别与齿条之间在一侧有侧隙, 另一侧则无侧隙. 但 2 个都与齿条接触以后, 对整体来说就不会有串动. 如图 4 所示, 031 的左齿面紧紧地与齿条相靠, 而 033 的右齿面也与齿条紧密相靠. 这样就有效地消除了齿轮传动侧隙.

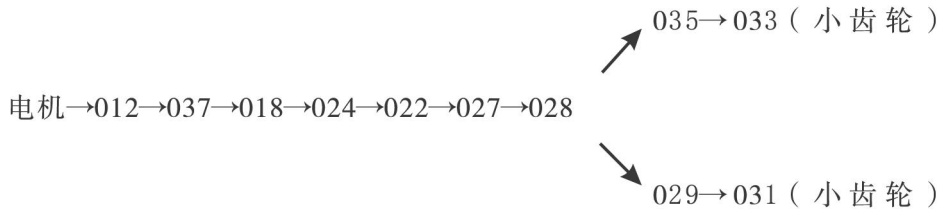


表 1 各齿轮的主要参数

Tab 1 Primary parameters of gears

参数	件号											
	012	037	018	024	022	027	028a	028b	029	035	031 (33)	齿条
z	22	76	21	74	17	53	17	17	51	51	18	
m	3	3	4	4	5	5	6	6	6	6	8	8
	20°	20°	20°	20°	20°	20°	20°	20°	20°	20°	20°	20°
	0°	0°	0°	0°	0°	0°	25°(右)	25°(左)	25°(右)	25°(左)	12°(右)	12°(左)

如图 2, 各零件传递的路径如下:

从图表中可看出 5 对齿轮啮合及 2 对齿轮齿条啮合都满足了能够正确啮合的条件, 即^[3]

$$m_1 = m_2 \quad i_1 = i_2 \quad i_1 = i_2$$

为了消除齿轮侧隙, 在这个进给箱里采用了 2 种方式:

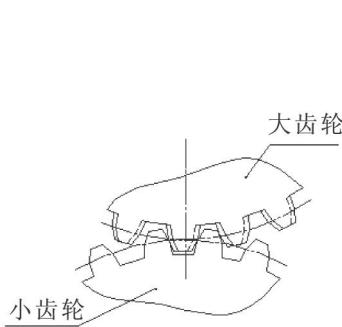


图3 组合双齿轮结构图

Fig.3 Structure diagram of combined double gears

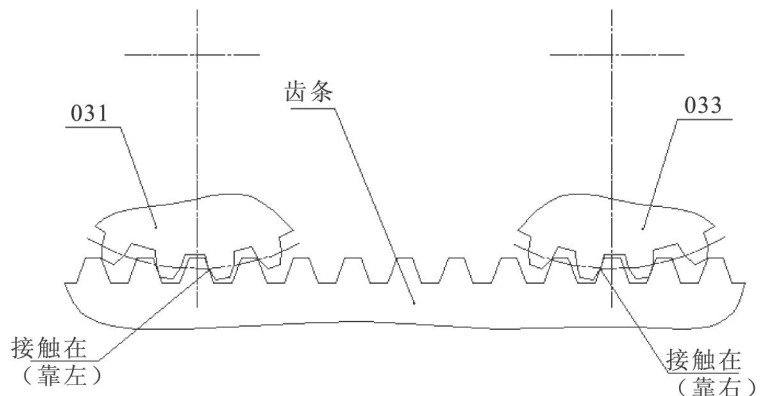


图4 双小齿轮齿条结构图

Fig.4 Structure diagram of double pinion and rack

3.1 双片薄齿错齿结构

在从电机传到 028 (双齿轮轴) 的过程中, 3 个齿轮副传动中的大齿轮均采用双片薄齿错齿的组合双齿轮结构形式 (图 3). 在这组合双齿轮的 2 片齿轮中周向上安装有弹簧, 在装配时通过弹簧的弹性可使 2 片齿轮相互转动一个转角来自动找正消除后上紧连接螺钉, 这样两片大齿轮的左、右齿面就分别与小齿轮的右、左齿面啮合 (即 2 个大齿轮中, 其中 1 个用到左齿面, 则另 1 个用到右齿面), 从而消除了侧隙. 当然, 在设计时齿宽只能按 1 片大齿轮的齿宽计算.

3.2 预载双小齿轮齿条结构

在从 028 传到双小齿轮 (031 和 033) 的过程中, 采用 028 为双齿轮轴, 2 齿轮均为斜齿轮, 但螺旋方向不同. 如图 2 所示, 028a 为右旋, 028b 为左旋, 分别传给 035 (左旋) 和 029 (右旋). 在装配时, 当调整 028 产

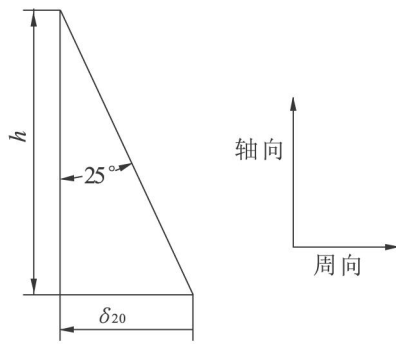


图5 消除间隙时斜齿轮转角计算原理图

Fig.5 Principle diagram of rotation angle calculation of bevel gear with clearance eliminated

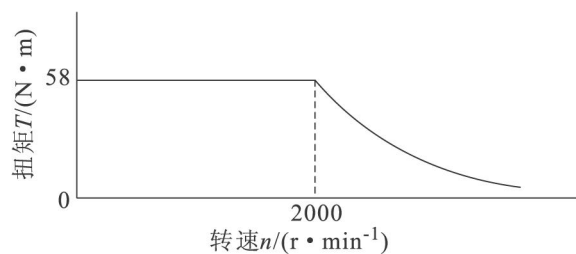


图6 电机扭矩特性图

Fig.6 Diagram of motor torque characteristics

生轴向位移时, 031和 033就会产生一个互为相反方向的转角, 使 031的左齿面与齿条的右齿面接触, 033的右齿面与齿条的左齿面接触 (或反之), 从而就消除了与齿条的间隙 (图 4)。029及 035的分度圆直径 $d_{29} = 337.63$, 031及 033的分度圆直径 $d_{31} = 147.22$ 028两齿轮的螺旋角均为 $\beta = 25^\circ$ 设调整 028的轴向位移为 h , 那么 029与 035的分度圆就会以相反的方向转过一个相同的弧长及转角。根据三角函数的知识可得转过的弧长为:

$$l_{29} = l_{35} = h \cdot \tan 25^\circ \quad (\text{图 5})$$

由于 031与 029同轴、033与 035同轴, 所以它们的转角都相同, 即为:

$$\alpha = 2 \cdot l_{29} / (d_{29} \cdot \beta) = 2 \cdot l_{31} / (d_{31} \cdot \beta)$$

由此可得当 028轴向调整 h 时, 则 031与 033分度圆能够转过的弧长为:

$$l_{31} = l_{33} = d_{31} \cdot h \cdot \tan 25^\circ / (d_{29} \cdot \beta) = d_{31} \cdot h \cdot \tan 25^\circ / d_{29}$$

那么 031与 033可以与齿条消除的侧隙即为 $2 \cdot l_{31}$ 。则有下列关系:

当 h 为 1 mm 时, 则:

$$2 \cdot l_{31} = 147.22 \times 1 \times \tan 25^\circ / 337.63 = 0.2 \text{ mm}$$

即每当 028 齿轮轴在轴向调整 1 mm, 则每个小齿轮使其分度圆转过一个 0.2 mm 的弧长, 从而可消除齿轮、齿条间的侧隙 $2 \cdot l_{31} = 0.4 \text{ mm}$ 。

由于受齿条 (由很多小齿条组合起来) 槽宽不一至、直线度的误差以及小齿轮齿宽的误差等因素的影响, 齿轮齿条的侧隙会有一定的变化, 但在有预载荷的情况下, 使用时可经自动调整来弥补。这是由于侧隙的调整是通过调整螺母及调整螺杆来实现的, 调整螺杆传力而使碟形弹簧受压缩, 碟形弹簧具有弹性, 在侧隙变化时, 028 齿轮轴在碟形弹簧的作用下, 会及时发生微量的轴向移动 (因为螺旋角 25° 远远大于当量摩擦角而不会自锁), 从而弥补增加或减少的侧隙。

由于齿轮齿条承受高速重载的作用, 会产生一定的热量, 这个可以通过润滑油把热量分散后通过箱体散发到大气中。显然双小齿轮及齿条的润滑是滴油润滑而至使润滑油带走的热量少, 但齿条的散热效果远远大于齿轮的散热效果。

4 传递动力及速动的计算

要求 X 轴进给范围为 $1 \sim 4000 \text{ mm/m in}$, 快速移动 $v = 8000 \text{ mm/m in}$, 传递动力为 $F = 7 \text{ t}$ 经过反复的计算及反复的齿轮配对后, 决定采用 SIEMENS 电机 1FT6 108 8AC711AG1^[4] (扭矩特性如图 6), 其有关参数如下:

扭矩: $T = 58 \text{ N} \cdot \text{m}$ (最大 $70 \text{ N} \cdot \text{m}$)

最大转速: $n = 2000 \text{ r/min}$

功率: $P = 14.7 \text{ kW}$

如图 2 所示,从电机到 031 及 033 (双小齿轮) 的传动比为:

$$i = 76 \times 74 \times 53 \times 51 / (22 \times 21 \times 17 \times 17) = 113.85$$

4.1 传递动力 F 的计算.

考虑到齿轮副及轴承等的效率问题,粗略地传递总效率按 $\eta = 0.8$ 算. 进给电机在 $0 \sim 2000 \text{ r/min}$ 转速范围内为恒扭矩. 由于进给箱的降速以及能量的损耗,传到双小齿轮处的扭矩 $T_{\text{双}}$ 为:^[6]

$$T_{\text{双}} = T \cdot i \cdot \eta = 58 \times 113.85 \times 0.8 = 5282.64 \text{ N} \cdot \text{m}$$

双因为 $T_{\text{双}} = F \cdot r$ (r 为双小齿轮的分度圆半径), 则

$$\text{传递动力 } F = T_{\text{双}} / r = 2T_{\text{双}} / d_{31} = 2 \times 5282.64 / (147.22 \times 10^{-3}) = 71765 \text{ N} \quad 7 \text{ t}$$

4.2 立柱滑座移动速度的计算.

立柱进给的最大速度 $v_{\text{大}} = n \cdot i \cdot \pi \cdot d_{31} = 2000 \times 3.14 \times 147.22 / 113.85 = 8124 \text{ mm/m in} \quad 8000 \text{ mm/m in}$

以上计算说明:当进给电机转速从 $0 \sim 2000 \text{ r/min}$ 时,滑座移动速度从 $0 \sim 8000 \text{ mm/m in}$,而且此速度范围内能够保持 7 t 左右的推动力. 当然,当负载小于 7 t 时,则电机的输出功率自然就会小于 $58 \text{ N} \cdot \text{m}$.

5 结语

与普通进给箱相比,采用预载双小齿轮齿条结构的进给箱结构相对复杂,体积也偏大一些,对装配工人的技术水平要求也相应的要高一些. 但是预载双小齿轮齿条结构的进给箱,解决了长行程高负荷下滚珠丝杠难以胜任的问题. 它有效地消除了齿轮与齿轮、齿轮与齿条间的侧隙,保证了立柱平稳地进给,在实际使用中有效地解决了机床进给轴的爬行现象. 现在,在昆明机床股份有限公司的长行程大负荷的机床,特别是在落地铣镗床中,普遍采用此结构,取得了满意的效果.

参考文献:

- [1] 昆明机床股份有限公司. TK6216 数控落地铣镗床使用说明书 [Z]. 2003: 3 - 5.
- [2] 机械工程手册编辑委员会. 机械工程手册 [M]. 北京:机械工业出版社, 1997: 22.
- [3] 栾学钢. 机械设计基础 [M]. 北京:高等教育出版社, 2001: 137.
- [4] SNUMER IK&SMODRIVE 机床用的数控和驱动系统样本 [Z]. NC 60.1 1996, 120.
- [5] 戴曙. 金属切削机床设计 [M]. 修订版. 北京:机械工业出版社, 1981: 200.
- [6] 机械设计手册编委会. 机械设计手册 (单行本) 齿轮传动 [M]. 北京:机械工业出版社, 2007: 43.