

偏摆马达少齿差内锥齿轮数控加工

刘鹄然

(浙江科技学院 机械与汽车工程学院,杭州 310023)

摘 要: 提出偏摆少齿差气动马达,设计了独特的内锥齿轮传动结构,对偏摆马达传动所需内锥齿轮的加工工艺进行了研究,提出了内锥齿轮数控加工新方法,解决了偏摆气动马达之少齿差内齿锥齿轮的数控加工问题,并利用 AutoCAD 的一些性质简化了数控编程。

关键词: 内锥齿轮;偏摆马达;数控加工

中图分类号: TG61;TG659.022

文献标志码: A

文章编号: 1671-8798(2012)06-0433-06

Cutting of internal bevel gear with few tooth difference for swinging motor by NC machine tool

LIU Hu-ran

(School of Mechanical and Automotive Engineering, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: The principle of bevel gear is so complicated that the construction and adjustment of the machine tool become complicated too. In order to deal with this problem, the new method to machine the bevel gear is presented—the manufacture of bevel gear with NC machine. By this method, the internal bevel gear of the pneumatic motor is made out successfully. Meanwhile, NC programming is simplified by using AutoCAD.

Key words: internal bevel gear; swinging motor; NC machining

内锥齿轮是偏摆式减速器和偏摆式气动马达的关键传动部件^[1-5]。内锥齿轮的设计相当复杂,同样它的加工制造也是较复杂的。锥齿轮的加工方法属于专业性技术性较强的工作,该工种的操作工人必须经过专门的培训。本研究对内锥齿轮加工工艺进行了探讨,提出了内锥齿轮的新加工方法——数控加工^[6]。

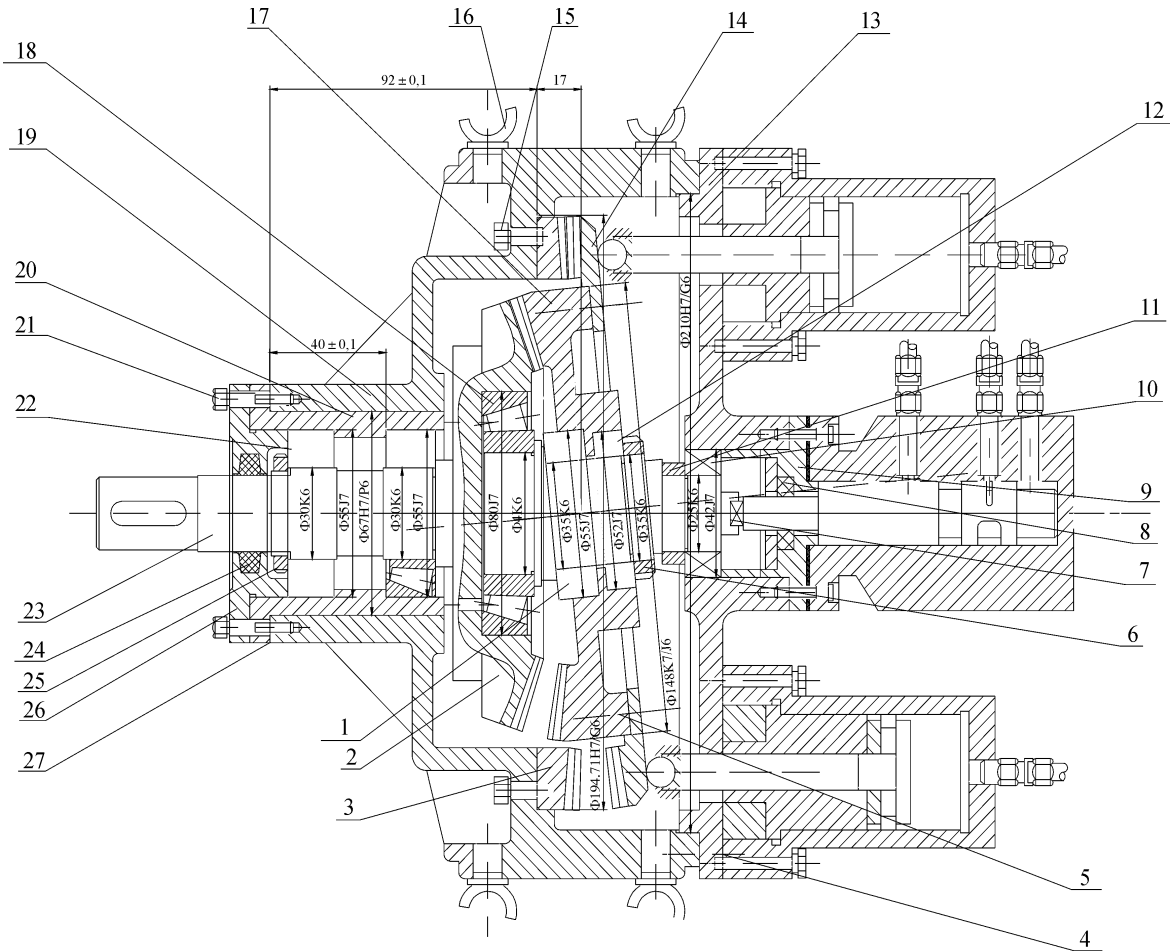
收稿日期: 2012-04-01

基金项目: 浙江省自然科学基金资助项目(Y106047, Y1080093)

作者简介: 刘鹄然(1953—),男,江西省南城人,教授,博士,主要从事机械传动研究。

1 内外锥齿轮啮合

根据偏摆马达的结构需求,必须采用内置锥齿轮来达到偏摆运动(图 1 和图 2)。偏摆锥差行星传动原理为:当输入轴转动带动偏角轴绕轴线转动,又偏角轴头的轴线与轴线有个锥角,此时偏角轴头的轴线便形成了一个顶锥角为 2 倍的锥束空间。同时,装在偏角轴头上的锥齿轮 2 受到周向限制副的约束,无法做周向运动。迫使锥齿轮在锥束空间内做绕中性点的偏摆往复运动,与装在输出轴上的锥齿轮形成循环开合的啮合状态。两锥齿轮在上部呈全部啮合状态,而在下部为全脱开状态。当转过半圈,来到相反位置时,两锥齿轮在下部呈全部啮合状态,而在上部为全脱开状态。当再次转过半圈后,偏转角回到原来位置,两锥齿轮在上部呈全部啮合状态,而在下部为全脱开状态,正好完成一个偏摆啮合循环。显然,偏转轴头在绕轴转动的时候,内锥齿轮的轮齿在绕圆周方向做循环进入有循环推出的啮合,使啮合区沿输出锥齿轮的节锥面转移。由于两齿轮齿数相差不多,所以当偏角轴头转一周时,被动锥齿轮沿反方向转过 $(z_2 - z_1)$ 个齿,相当于 $(z_2 - z_1)/z_1$ 转,具有相当大的减速能力。



1—套筒;2—锥齿轮;3—齿圈;4—盖板 5—内锥齿轮;6—圆螺母;7—心轴;8—密封件;9—镶块;10—套筒;
11—轴承;12—轴承;13—螺钉;14—偏摆齿轮;15—壳体;16—吊钩;17—接头;18—液压管;
19—套筒;20—腿力轴承;21—配油筒;22、23—圆锥滚子轴承;24—相体;25—螺柱

图 1 内锥齿轮传动结构在偏摆少齿差气动马达中的应用

Fig. 1 Internal bevel gear and its application in pneumatic motor

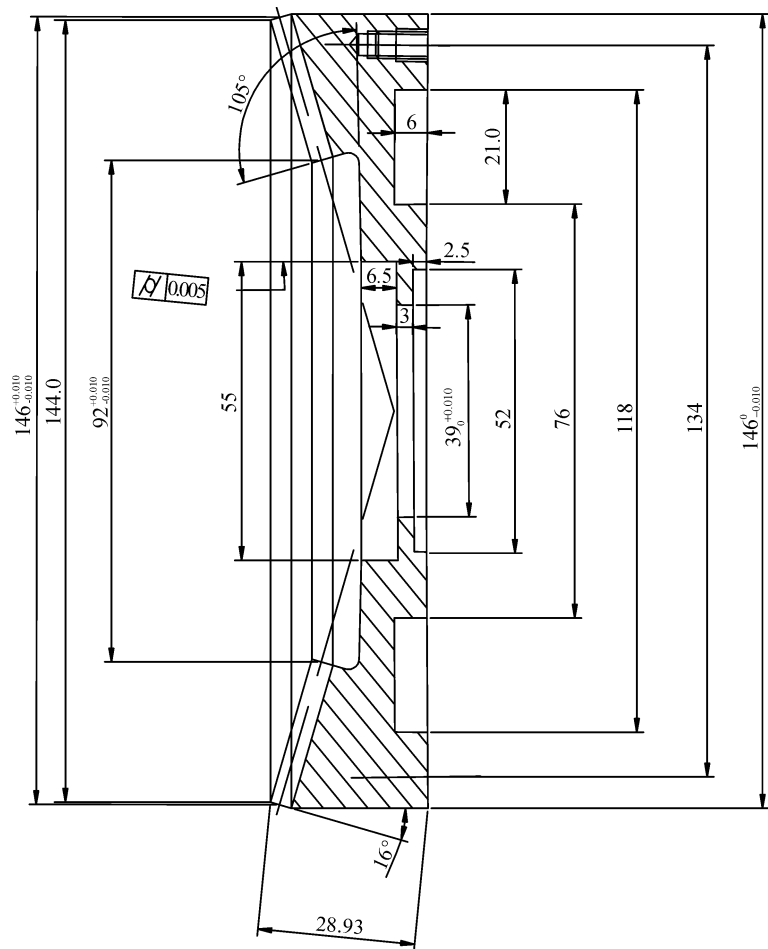


图 2 内锥齿轮

Fig. 2 Internal bevel gear

2 内锥齿轮数控铣齿

齿轮轮齿的加工方法很多,如切削法、铸造法、轧制法、冲压法、锻造法等。其中最常用的有切削法。按其原理分仿形法和展成法两类。笔者所设计的圆锥齿轮均采用仿形法加工,因其加工方法简单,故不需要专用的机床;缺点是精度难以保证,生产效率较低。但这种方法特别适用于修配、单件生产及加工精度要求不高的齿轮。

```
%PM12042(程序名)
M12042
N1 G54(选用 3 号坐标系)
N2 G99 X150 Z180 (固定循环返回)
N3 G96 S1500 D2500 T1013 M4 (粗加工外圆车刀)
N4 G10 X200 Z20 I0.5 K0.5 C2.5 F0.5(速度等)
N5 G0 X200 Z0(定位快速移动)
N6 G42(右侧刀具补偿)
N7 G1 X-1(直线插补走刀)
.....
N26 G1 X200(直线插补走刀)
N27 G0 X200 Z30 M4(定位快速移动)
```

```
N28 G40(取消刀具补偿)
N29 T2023 M4 (精加工外圆车刀)
N30 G12 X200 Z30 S800(加工外圆)
N31 G13 N1=5 N2=28
N32 G0 X200 Z30 M5(定位快速移动)
N33 T3033 M4 (切断刀宽度 1)
N34 G0 X150 Z-177 S800(定位快速移动)
N35 G1 X35(走刀)
N36 G74 X26 W1 I0 K0
N37 G1 X150(直线插补走刀)
N38 G0 X150 Z-66(定位快速移动)
N55 G51 (设置局部坐标系)(直线插补走刀)
N56 M30 (程序结束并返回程序头)
```

笔者和操作人员独创出一种简便方法,直接用 AutoCAD 自动标出加工关键点坐标,直接数控编程,见图 3。

3 内锥齿轮毛坯的加工程序

与传统加工方法相比,数控齿轮加工机床具有以下特点:

1) 结构简单,刚性好。新型数控弧齿锥齿轮加工机床大都为模块化结构,简单明快。与传动机械式铣齿机比较,零部件数量和占地面积大大减少。据格里森资料介绍,凤凰型数控机床的刚性要比传统 No. 116 机械式铣齿机高十倍以上。

2) 无展成链,精度高。一般的数控机床不仅没有展成链,每个伺服电机到执行部件之间的传动链很短,通常只有一级到二级齿轮传动,各轴之间的相对运动完全由计算机直接控制,消除了机械误差和人为误差对加工的影响,因此齿轮的加工精度高。过去机械机床最高只能加工出 5 级精度的齿轮,现在可以加工出 3 级以上的齿轮。

3) 程序控制,柔性好。数控机床完全由计算机程序控制,不需要人工调整。加工调整好的数据可以存储在计算机里,下次加工时调出来即可使用,而且没有机械误差和人为误差,重复性非常好。

4) 调整方便,效率高。数控机床在转换加工零件时只需调换刀盘和夹具,其余则完全由程序控制,不需要人工干预,可以很方便地在多种产品类型和多种齿制之间转换。因此,减少了很多人工调整环节,极大地提高了机床调整和加工效率。

5) 安全性高,满足环保要求。传统机械式机床在加工时需要用到大量切削油和冷却介质,容易造成环境污染;且大多数机床为敞开式结构,对操作人员的防护并不全面。数控机床在加工过程中实现封闭,对人员安全是个极大的保护。在毛坯质量稳定的情况下,允许实现干式切削,从而减少了污染物的排放,满足了环保的要求。

对刀步骤:

- 1) 先在三爪夹头上装上一段圆柱形棒,并使圆柱棒的轴线与砂轮轴线大致处于同一高度。
- 2) y 向微调工件台,使圆柱棒的侧面与砂轮大端圆周恰好相切,并记下该位置所对应的 y 值。
- 3) y 向移动工作台相当于圆柱棒半径 r 的距离,这时分度头轴线正好过砂轮大端圆周内侧换上工

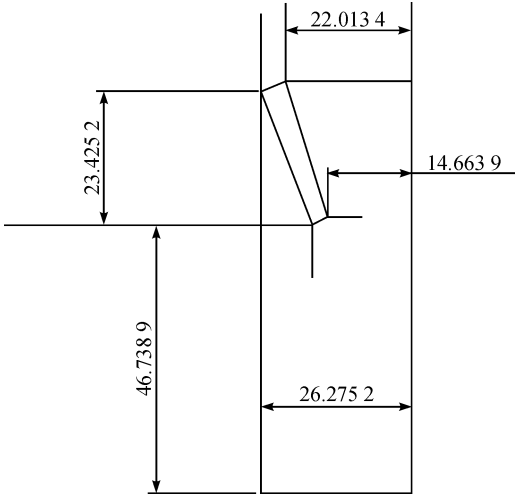


图 3 用 AutoCAD 自动标出加工坐标
Fig. 3 Determination of machined coordinate by AutoCAD

件,悬伸量以砂轮与夹头不发生干涉为度。

- 4) x 向微调工作台,使工件头部顶点与砂轮大端圆周恰好相切,并记下该位置对应的 x 位置。
- 5) 令工作台从上述位置分别沿 x,y 方向移动。

4 齿轮加工过程

铣刀的选择:铣刀是根据当量圆柱齿轮的数据,是按当量齿数 $Z_{\text{当}}$ 、压力角 α 和模数 m 来设计的。铣刀厚度除外。用三步加工法时要用带有 T 形标志的专用刀具。

当量圆柱齿轮的齿数, $Z_{\text{当}} = \frac{Z}{\cos\delta}$

当当量齿数大于等于 135 时,应选用 8 号刀。本次实验选用的即是 8 号刀。

对刀:将顶尖装入分度头主轴孔内,调整横向工作台的位置,使铣刀的中心平面与顶点正对(初步校对),再取下顶尖,装上齿坯。

- 1) 试开槽。
- 2) 调整齿向。
- 3) 切出小端齿槽。工作台升到全齿深,依次铣出全部齿槽。
- 4) 切去大端两侧加工余量。先切一侧(右侧),将工作台向右横向移动一个距离 k , k 值可按下式计算:

$$k = \frac{mb}{2L}$$

式中: b — 齿宽,mm; L — 节锥长,mm; m — 模数,mm。

再切齿槽的左侧,如图 4 所示,将工作台反方向移动 2 倍 k 值(要注意消除丝杆间隙的影响,最好通过安装千分表来控制横向位移量 k),然后按上述方法将这一侧的齿厚切到满足图纸的要求,并顺次将各齿这一侧都切出来。

这种方法与其他方法比较,具有如下特点:

- 1) 调整计算比较简单,不必借助表格数据,也省去了测量铣刀刀尺寸等辅助工作,在现场使用比较方便。
- 2) 由于用这种方法加工,小端的齿厚比理论上要求的稍薄一点,因此加工后一般都不用修锉小端的齿形便能使用,可以节省大量的人力和时间。
- 3) 当遇到一些节锥角很小的锥齿轮,加工后小端的齿厚特别是齿顶厚无法符合要求,这时候可以通过调整位移量 k 来控制齿顶厚。
- 4) 切削时最好是从大端向小端切过去,这样比较安全。因为万一没有锁紧分度头(或因工作时松动),切削力将使分度头主轴推向水平位置,可避免发生于机床主轴相碰撞的事故,而且测量大端尺寸也比较方便。

内锥齿加工和加工实物见图 5。

通常,圆锥齿轮的齿形精度是靠机床和刀具来保证的,目前没有简便的检验方法。工程实践中最常用的就是检验毛坯齿顶圆直径和外形。加工后检验齿根圆直径,看是否切到位。齿面精密检测要用三坐标测量仪,但本实验加工的齿轮太小,没有如此小的测头,因而无法用三坐标测量仪检测。此外,还可以在工具显微镜下扫描大端背锥齿形。而最根本的是运转试验,本装置齿轮已经运转试验,一直运转良好。

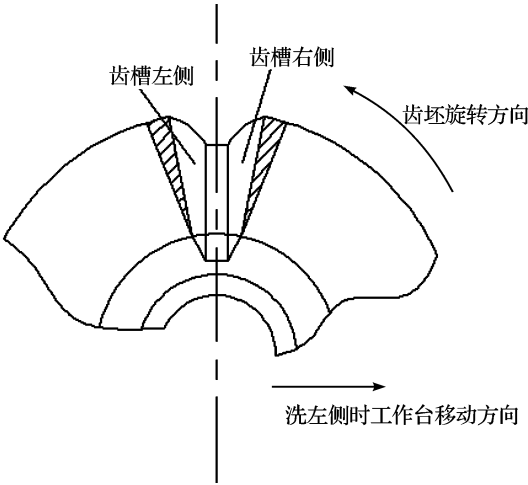


图 4 位移量与回转方向的关系
Fig.4 Relationship between displacement and turning direction

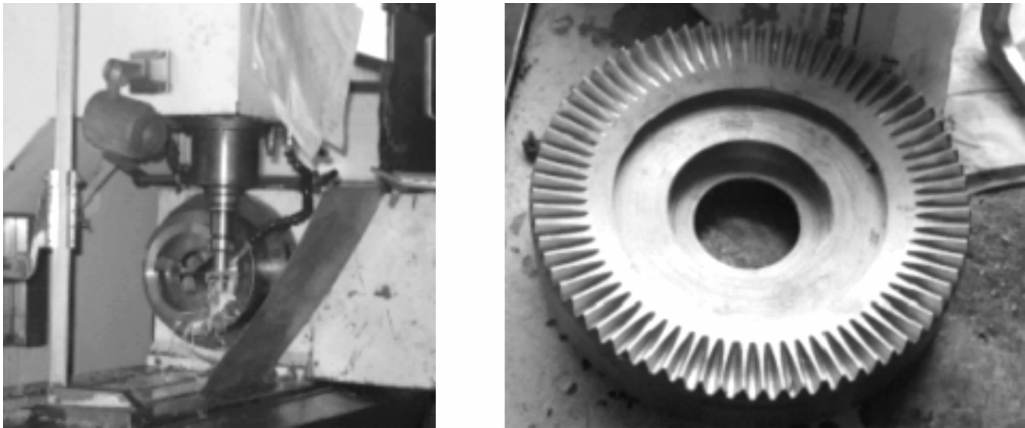


图 5 内锥齿加工(左)和加工好的实物(右)

Fig. 5 Machining of gear(left) and product(right)

5 结 语

本研究提出的内锥齿轮数控加工工艺,在以下方面有创新:一是首创在四坐标数控铣床用成型铣刀铣锥齿轮;二是解决了偏摆行星减速器内锥齿轮加工的难题;三是用 CAD 在电脑上直接打出刀具的起始和终止坐标,方便简洁。所加工的齿轮经使用效果良好。

参考文献:

[1] Lambeck R P. Hydraulic Pumps and Motors[M]//Selection and Application for Hydraulic Power Control System . New York:Marcel Dekker Inc,1983.

[2] Lambeck R P. Vehicle hydraulic system and digital/electrohydraulic controls[J]. Science Applied Engineering,1990 (6);314-316.

[3] Liu H R. Calculul randa mentului motor hidtanlic cu angrenaj conjc precesional[J]. Tehnologll Calitate Masini Materiale(Romania),1996,12(4):1-8.

[4] 陈卓如. 低速大扭矩液压马达理论计算与设计[M]. 北京:机械工业出版社,1989.

[5] 刘鹄然. 锥差式液压马达效率分析[J]. 机械传动,1996,16(4):11-16.

[6] 刘鹄然. 三位一体锥差式液压马达[J]. 现代零部件,2005,10(12):34-38.