

渐开线球齿轮及范成法加工方案研究*

陈革 潘存云 尚建忠

(国防科技大学机械电子工程与仪器系 长沙 410073)

摘要 在球冠面上分布着一道道环形齿廓而形成的球齿轮是一种新型齿轮。球齿轮机构可用于传递空间球面运动。为推广应用,有必要对球齿轮的加工进行研究。本文在分析球形齿轮的形状特性的基础上,将常规齿轮的范成法加工原理推广应用到球齿轮的加工上,从而形成球齿轮的范成加工方法。在应用范成法的前提下,设计了车削加工与铣削加工方案,并具体设计了一套球齿轮车削加工装置,为球齿轮加工的进一步研究提供了最基本的实验手段。

关键词 球齿轮, 范成法, 加工方案

分类号 TH16

Spherical Gear with Ring Involute Teeth Profile and It's Manufacture by Generating Method

Chen Ge Pan Cunyun Shang Jianzhong

(Department of Mechatronics and Instrumentation, NUDT, Changsha, 410073)

Abstract The spherical gear formed by attributing ring teeth on a spherical face is a new type of gear. The spherical gear device can be used to deliver spherical motion. In order to popularize its application, it is necessary to study its manufacture. Base on the study of configuration characteristic of the spherical gear, extending the generating method principle of general gear's manufacture to the spherical gear's manufacture, we ratiocinate out the generating method principle of spherical gear's manufacture. On precondition of applying generating method, we design the scheme of turning and milling of the spherical gear, and we work out a suit of device accessioned on the lathe for manufacturing spherical gears. It provides a basic means for studying the manufacture of spherical gears.

Key words spherical gear, generating method, manufacture scheme

球齿轮机构^[1]是一种新型齿轮机构,具有两个回转自由度,可用于传递空间球面运动。这种运动特性在机械传动中具有很重要的应用价值。要将球齿轮推广应用,必须解决球齿轮的加工问题。本课题组曾研制了一套拟人型机器人的柔性手腕关节^[2],其中的球齿轮是采用仿形铣削法加工的,因仿形法固有的缺陷,所加工的球齿轮精度不高,效率也很低。采用范成法加工球齿轮,同一把刀具可加工出相同模数下的不同齿数的球齿轮,而且加工的效率 and 精度都较高,不失为一种较好的加工方法。

1 球齿轮齿廓的形成原理及特性

1.1 齿廓形成原理

图 1 所示为一对球齿轮组成的机构,由中凹球齿轮与中凸球齿轮配对组成。如图 2 所示, $K-K$ 为一渐开线发生线, OP 为基圆的半径,当发生线 $K-K$ 在基圆弧上进行纯滚动时,线 $K-K$ 的端点轨迹形成渐开线,当此渐开线随基圆弧一起绕过半径 OP 的直线旋转一周时,基圆弧就形成球齿轮的基球冠面(点 P 为冠顶,过半径 OP 的直线为球齿轮的极轴),渐开线就形成环形渐开面。因此,渐开线球齿轮的齿廓曲面为一环形渐开面。

1.2 球齿轮的特性

球齿轮在使用时,中凹球齿轮与中凸球齿轮须配对使用。一对球齿轮在啮合过程中,中凹球齿轮与

* 国家自然科学基金资助项目

1999 年 2 月 9 日收稿

第一作者: 陈革,男,1966 年生,工程师

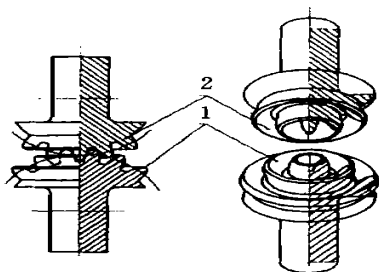


图1 球齿轮机构

Fig. 1 spherical gear device

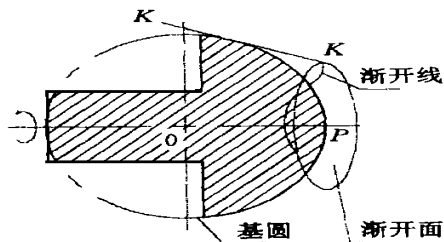


图2 环形渐开面齿廓的形成

Fig. 2 The forming of ring involute tooth profile

中凸球齿轮的极轴始终是相交的。在通过两球齿轮极轴的截平面内, 一对球齿轮的啮合原理与直齿圆柱齿轮的啮合原理相同。一对球齿轮啮合传动时, 两个节球在作纯滚动。

由于一对球齿轮是由直齿圆柱齿轮的一个扇形截面绕极轴旋转而成, 在通过两球齿轮的极轴的截面, 即在两球齿轮的法面内, 这一对直齿圆柱齿轮的齿形与球齿轮的法面齿形完全一致, 且球齿轮啮合过程是在法面内进行的, 因此, 一对球齿轮的正确啮合条件是它们的法面参数相同, 即

- ① $m_{n1} = m_{n2} = m$, ② $\alpha_{n1} = \alpha_{n2} = \alpha$, 且 m, α 均取标准值。③ 中凹球齿轮与中凸球齿轮须配对使用。

当一个球齿轮的分度球半径趋于无穷大时, 球齿轮就演变成平面齿盘, 中凹球齿轮就演变成中凹齿盘, 中凸球齿轮就演变成中凸齿盘, 球齿轮的极轴就成为齿盘的轴线。于是球齿轮机构就演变成球齿轮齿盘机构^[3]。

2 球齿轮的范成法加工

2.1 范成原理

从上一节的论述中得知, 球齿轮可以演变成齿盘。若将齿盘做成刀具, 并保证刀具与被加工球体之间保持球齿轮齿盘的啮合运动, 就可实现球齿轮的范成法加工。其原理可简述如下:

轮坯和刀具之间的范成运动是在过球齿轮轮坯的球心及球冠冠顶的平面内发生的, 其特征为轮坯与圆盘形齿条作纯滚动, 该运动形成齿廓母线——渐开线。轮坯绕过球心和球冠冠顶的直线——极轴的回转运动完成切削过程, 并形成齿廓的渐开线环形面。其渐开线齿廓形成过程如图3所示。

2.2 在普通卧式车床上进行球齿轮加工机床的改造

要完成球齿轮的加工, 必须有下列几方面的运动:

- ① 梳齿刀与工件的范成运动, 即在过齿坯极轴的截平面

内刀具与工件的纯滚动;

- ② 齿坯绕其极轴的旋转运动。

在卧式车床上进行车削加工, 工件是装夹在车床床头箱主轴卡盘上绕车床主轴旋转, 产生加工所需的切削力, 同时在齿坯球冠面上形成环形齿。加工所需的范成运动只能通过刀具的运动来实现。刀具的运动由两个运动复合而成。定义过齿坯球心的垂线为立轴。为实现范成运动, 梳齿刀一方面要绕立轴旋转, 同时沿梳齿刀的中线方向直线移动相应距离。为实现刀具与齿坯的纯滚动, 梳齿刀的旋转运动与直线运动间需满足: 梳齿刀绕立轴旋转 θ 角, 梳齿刀需直线移动 $S = \pi d \theta / 360$ (d 为球齿轮分度球直径)。球齿轮加工装置传动原理见图4。齿坯装夹在车床主轴花盘上, 以花盘端面进行定位, 主轴轴线与齿坯极轴重合; 扇形齿轮固定在车床床身导轨上, 扇形齿轮的轴线与立轴重合; 变速箱置于扇形齿轮上, 可绕扇形齿轮轴线旋转; 刀架一方面随变速箱绕扇形齿轮的轴线进行旋转, 另一方面可作相对于变速箱的沿刀具中线方向的直线移动。传动路线分为:

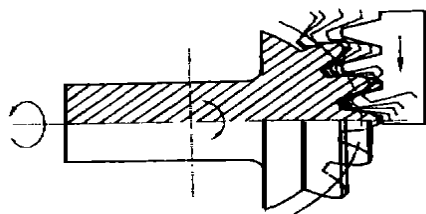


图3 范成法加工

Fig. 3 Generating method to manufacture

① 电机经变速系统 i_z 到齿轮 1, 齿轮 1 与扇形齿轮啮合, 带动变速箱绕扇形齿轮的轴线——立轴进行旋转;

② 由齿轮 1 的轴经变速系统 i_s 带动齿轮 2 旋转, 齿轮 2 带动齿条, 进而带动刀架沿刀具中线移动。

2.3 专用球齿轮铣床设计

本方案采用铣削加工球齿轮, 刀具采用由齿盘经分齿、铲背而形成的盘形球齿轮铣刀。切削力依靠铣刀的高速旋转产生。因此, 与车削方案不同, 铣削加工应增加一条由电机到铣刀传动链。其它的运动要求与车削加工相似。球齿轮加工专用铣床传动原理见图 5。工件的装夹、定位采用卡盘, 球齿轮工件的球心应位于卡盘端面与卡盘轴线的交点上。定义过齿坯球心的垂直线为立轴。工件传动箱可绕立轴进行旋转运动(转速用 n_s 来表示), 刀具传动箱由丝杠带动可沿刀具水平直径方向做直线运动(用 S 来表示)。

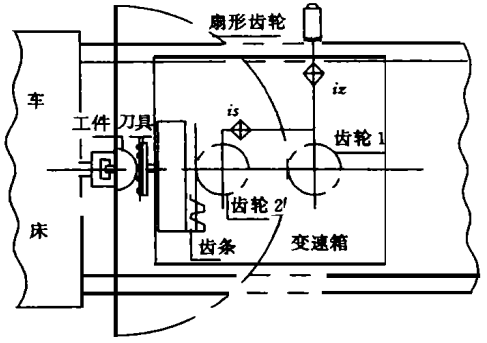


图 4 车削加工原理
Fig. 1 Turning principle

(1) 机床的主要运动:

① 铣刀的旋转运动, 转速用 n_d 来表示;

② 刀具与工件间的范成运动, 由工件传动箱绕立轴的旋转运动与刀具传动箱沿刀具水平直径方向的直线运动组合而成;

③ 工件绕极轴旋转的环形进给运动。

(2) 传动关系:

① 主体传动链——铣刀与电机间的传动链 i_v , 将运动由电机传至铣刀。

② 范成传动链——图 5 中的传动链 i_s , 它联系刀具与齿坯。严格按一定的速比关系形成刀具的直线运动与齿坯的转动, 其速比关系随所要加工的球齿轮的参数(模量、齿数) 而变。运动链的两端为刀具传动箱传动丝杠与工件传动箱。

③ 环形进给传动链——图 5 中的传动链 i_c 。该运动链的两端为进给电机与工件旋转轴。它决定刀具沿环形面的进给量。

④ 工件旋转轴至刀具传动箱传动丝杠的传动链 i_f 。该传动链将环形进给运动与范成运动联系起来, 同时也为范成运动链提供动力。

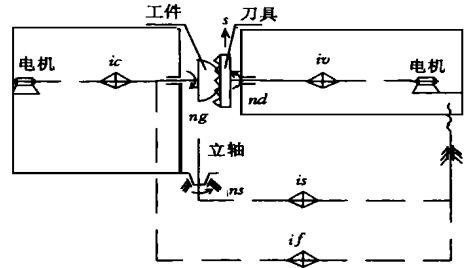


图 5 铣削加工原理
Fig. 5 Milling principle

3 结论

范成法加工球齿轮克服了仿形法加工的原理性误差, 且效率较高。经研究, 找到了两种范成法加工球齿轮的方法, 并已具体设计了一套加工球齿轮的车床附加试验装置, 并配套设计了一套球齿轮梳齿刀, 为球齿轮加工的进一步研究提供了基本的实验手段。目前设备正在加工中。

参考文献

- 1 潘存云等. 球齿轮机构及其应用. 机械科学与技术, 1997, (1)
- 2 潘存云等. 基于球齿轮传动的柔性手腕动作原理及其运动分析. 机器人, 1996, 18(4)
- 3 潘存云等. 球形齿轮传动理论与运动分析. 机械设计与研究, 1996, 96(4)