

# 滚珠丝杠副的浮动反向器及其摩擦特性

一机部机床研究所

北京实验机床厂

滚珠丝杠攻关组

1978年我所厂研制成功的新型“浮动反向器”经过两年多的生产考验和进一步的性能试验与改进,已先后为XK 5040型和XK-516型数控铣床, GSK 32型数控车床, JCS-013型、THK 6345型、THK4680型加工中心机床,以及DK-6740型、DK 6750型数控精密线切割机床等各类机床配套使用。

## (一) 运动机理的探讨

内循环滚珠丝杠副设计制造的一个关键问题是,确保反向器回珠槽(简称S槽)进出口与滚珠螺母的内螺纹滚道在接口处平滑而准确地对接,使滚珠反向流畅(见图1)。为此设计时规定了以下几项零件精度:

1) 滚珠螺母反向孔中心“O”与螺纹齿顶中心在轴向( $y$ 向)的不对中允差(简称“孔位精度”);

2) 反向器S槽空间曲线的坐标精度;

3) 反向器S槽的进出口处在 $z$ 向的不等高允差。

对于“固定式”反向器,还要规定“定位键”的不对称允差等等。此外,内、外螺纹滚道的齿形误差,接触角的误差以及丝杠齿顶圆角制造的优劣,也是影响滚珠丝杠副摩擦力矩的重要因素<sup>[1]</sup>。

固定反向器是用“静定位”或“过静定位”来实现反向器S槽出入口的对接。在批量生产中为保证上述的零件精度必须付出很大代价。当零件精度达不到时,在装配中需用高速小磨头修磨S槽的接口,其恶果是破坏了基本滚道和S槽的理论曲线,当施加予紧力后导致摩擦力

矩迅速加大。

为克服“静定位”不足,使反向器在螺母的反向孔中既能微量地浮动,又能稍许摆动,利用两个自由度的微量运动来补偿上述零件的制造误差,并让不断循环滚动的“滚珠链”定位S槽,实现S槽接口与螺纹滚道的自动对接。我所厂研制了单螺母浮动反向器滚珠丝杠副的结构(见图2)。图中圆柱形的浮动反向器3与滚珠螺母2上的反向孔保持滑配合,在它的外圆弧面

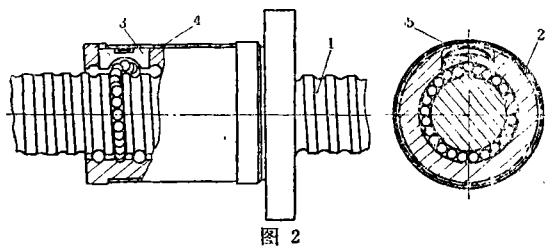


图 2

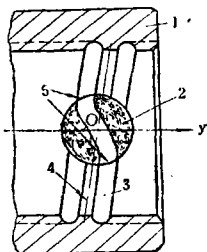


图 1  
1—滚珠螺母 2—反向器 3—螺纹滚道 4—螺纹齿顶中心线 5—接口

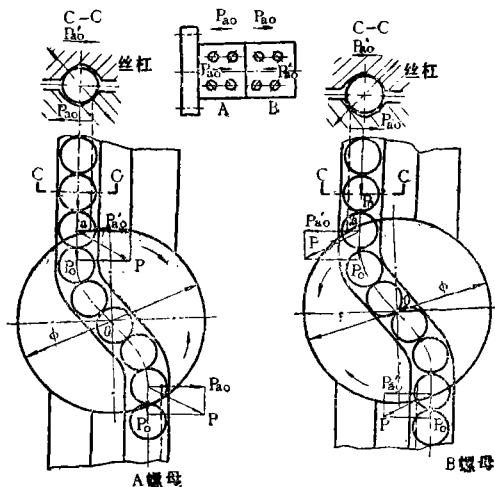


图 3

上有对称的弧槽,弧槽内安装拱形片簧5,借助于片簧的弹力,始终给反向器一个向心推力,使S槽内的滚珠始终与丝杠1保持一定的微小压力,弹簧套4卡在滚珠螺母2的槽内,防止片簧5和反向器3从螺母内掉出来。

图3是处于予紧状态的双螺母。A、B两

螺母的予紧力为  $P_{ao}$ ，丝杠对予紧力产生反作用力为  $P'_{ao}$ ，滚珠在螺纹滚道中由于  $P_{ao}$  与  $P'_{ao}$  平衡，故滚珠只有向前滚动的推力  $P_o$ 。当其在将要进入反向器的瞬间（图中虚线为滚珠在螺母滚道槽内接触点的运动轨迹，它与反向器外圆周周的交点  $\alpha$  表示进入反向器的瞬间），螺母的予紧力松弛。滚珠在  $P'_{ao}$  和  $P_o$  的作用下，产生一个使反向器转动的  $P$  力；与此同时，在  $S$  槽出口处，即将离开反向器的滚珠在  $P'_{ao}$  和  $P_o$  作用下，使反向器产生相反方向的偏转。由于滚珠在  $S$  槽内连续不断地进出中使反向器产生圆周摆动，在摆动中完成自动对接。

反向器的径向浮动是当滚珠在翻越丝杠齿顶时对反向器产生的离心推力，它间断地克服片簧的向心压力使反向器向上运动至最高位置，当滚珠离开丝杠齿顶时在片簧作用下，使反向器向下运动至最低位置，由于滚珠不断循环，导致频繁的径向浮动，借以补偿  $S$  槽  $z$  向的制造误差。

反向器的径向浮动量主要取决于  $S$  槽曲线在  $z$  坐标的修正量  $\rho_{max}$ ，然而  $S$  槽出入口处的深度是否一致也会影响浮动量。实践证明：过大的浮动量会增加噪声，加大摩擦力矩，并降低浮动反向器的使用寿命。

反向器在圆周方向的微量摆动是补偿制造误差所必须的运动，没有微量摆动就无法实现自动对接，当然过大的摆动也是不允许的。实践证明：只要螺母内装满滚珠，滚珠链是连续的，任何时候  $S$  槽引导部份至少有一个滚珠。而且径向浮动量也限制在允许范围内。由于弹簧套对反向器的限制，反向器不会发生“自转”。

不能因为浮动反向器可以补偿零件的制造误差就任意放宽制造公差，以避免由于零件超差而出现的“超浮动”和反向器不能浮动的现象。片簧应柔软、弹力适中，能克服反向器自身重量和  $S$  槽内滚珠的重量以及摩擦力就够了。过大的片簧弹力会导致噪声。

在高速和突然反向的情况下，能否承受冲击载荷？我们曾用全长 2000 mm，GQ 60×10 的浮动反向器滚珠丝杠，加载 1000 kg，在转

速为 600 和 1200r/min 下多次突然正反向启动运转；以及全长 750 mm，GQ 35×6 的浮动反向器滚珠丝杠，加载 600 kg，在  $n=1380$  r/min 下试验，均未出现阻滞、卡死和噪声大等现象。

## (二) 摩擦特性及性能对比

滚珠开始进入反向器的瞬间，以及在  $S$  槽内反向过程中产生的滚动和滑动摩擦力矩，对于固定反向器来说，在整个滚珠丝杠副的摩擦中占的比重较大，而浮动反向器则可以将这部分力矩减少到最低限度。

图 4 为安装在 JCS-013 加工中心机床  $x$  座

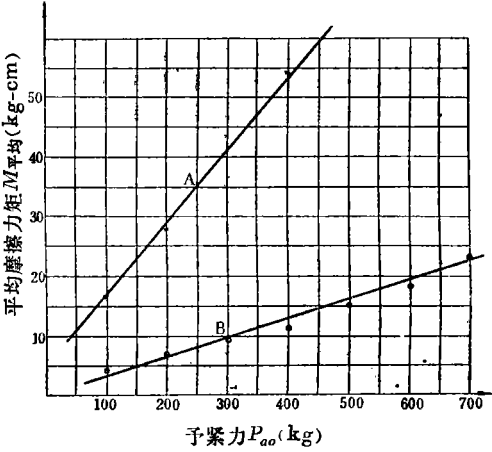


图 4  
A—固定反向器；B—浮动反向器

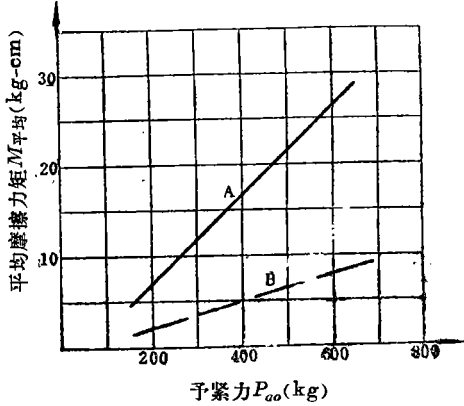


图 5  
A—固定反向器 NCh5006；  
B—浮动反向器 NFN5006

标上的同一根滚珠丝杠（长 2 m，名义直径  $D_0=60$  mm，螺距  $S=10$  mm，螺母 NCh 型圈数 3），在使用两种不同反向器时的摩擦力

矩对比图线。图 5 是两批规格相同而反向器各异的滚珠丝杠副摩擦力矩的对比。试验表明：浮动反向器的摩擦力矩为固定反向器的 1/3~1/4 左右，而且随着预紧力的增大，固定反向器的摩擦力矩上升较快，而浮动反向器则上升缓慢，这是浮动反向器的重要特性。

摩擦力矩的波动量  $\Delta M$  也反映出两种反向器在摩擦特性上的差异。图 6 是两种反向器

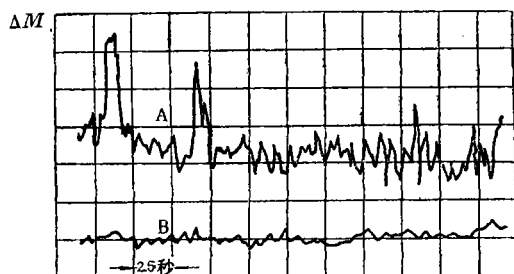


图 6

A—NL 3506/1×3 固定反向器；  
B—NL 3506/1×3 浮动反向器

的滚珠丝杠副在相同条件下测得的摩擦力矩波形图。可以看出：固定反向器由于在 S 槽接口处对接不良，滚珠强行通过，造成阻滞、卡珠现象，摩擦力矩波形变化急剧；而浮动反向器在 S 槽出入口实现自动对接，滚珠畅通无阻，摩擦力矩波形均匀平滑。

在同一批滚珠丝杠中，最大力矩与最小力矩的偏散范围是衡量在成批生产中产品质量稳定性的指标。性能测试表明：改为浮动反向器后，摩擦力矩偏散范围大大缩小。例如：1976 年测试的一批 GQ 5006/NOh 1×3 固定反向器的滚珠丝杠副，平均摩擦力矩最大值与最小值之间相差 10 多倍。而 1978 年 6 月测试一批 GQ 3506/NL 1×3 浮动反向器滚珠丝杠副，

在预紧力为 500 kg 时，平均摩擦力矩最大的一套为  $M_{\text{平均}}=16.5 \text{ kg-cm}$ （原因是螺母齿形误差大，当重新修磨后立即降至 10 kg-cm 以下），最小值为  $M_{\text{平均}}=4.1 \text{ kg-cm}$ ，其偏散值在 3 倍左右。因此只要严格按设计要求制造，其偏散范围还可进一步缩小。

归结起来，与固定反向器相比较，浮动反向器内循环滚珠丝杠副具有以下特点：

(1) 浮动反向器显著地改善了内循环滚珠丝杠副的摩擦特性，大大降低在反向器部份所引起的摩擦力矩。

(2) 在双螺母滚珠丝杠副中，随着预紧力的增加，固定反向器的摩擦力矩急剧上升，而浮动反向器则上升缓慢。这个特点对于要求轴向刚度，启动力矩小的数控进给系统是十分有利的。

(3) 在“浮动”中补偿一部份与反向器有关的零件制造误差，实现 S 槽进出口与螺纹滚道的自动对接，从而可获得“孔位精度”、“座标精度”等的经济制造公差，有助于减少零件制造的废品率。

(4) 改善了结构工艺性，简化了滚珠螺母、反向器的制造和装配工艺。

(5) 在高精度和高刚度的进给系统中，浮动反向器的特性得到充分发挥。只要安装正确，当机床中出现冲击载荷时，浮动反向器也能安全可靠地运行。

## 参 考 资 料

- [1] Конструирование механизмов Винт-Гайки качества «СТАНКИ и ИНСТРУМЕНТ» 1978. №6.
- [2] 英国“Rotax”公司，“浮动、微调内预紧滚珠丝杠副（产品简介）”北京实验机床厂译

（黄祖尧、杨景龙执笔）

（上接 6 页）

工作台；(4) 与工作台尺寸相应的床身 (R 系列) 和升降台 (M 系列)；(5) 增加铣头高度的滑座垫块 (M 系列)。

其中铣头模块组和进给箱模块组用于跨系列产品，构成了横系列和跨系列模块化设计。由于模块类型较多从而可拼组成为数众多的变型品种，例如 M 系列升降台铣床共有基本的变型机床 27 种，选订的变

型机床 207 种；P 系列不升降工作台铣床共有基本的变型机床 12 种，选订的变型机床 78 种；R 系列单柱铣床共有基本的变型机床 32 种，选订的变型机床 192 种。

又如东德米克洛马特 (Mikromat) 厂生产的双座标镗床通过改变主轴箱，进给箱、数控系统和刀库换刀装置，可得到横系列的变型产品。并利用它的结构特点只需改变测量系统就能较方便地制造测量机的跨系列产品

（待续）