

# 过定位刀柄原理及应用

向志杨, 邓亚弟, 王春江, 谢鸿, 刘光耀

东方电气集团东方汽轮机有限公司

**摘要:** 分析了过定位刀柄提高使用刚度的原理, 研究了过定位刀柄使用过程中刀柄端面与主轴端面间隙对使用效果的影响, 提出了实现刀柄过定位的方法及相关应用理论基础及方法。

**关键词:** 过定位; 刀柄; 刚度; 间隙

**中图分类号:** TG536; TH161

**文献标志码:** A

**DOI:** 10.3969/j.issn.1000-7008.2021.11.018

## Principle and Application of Over Positioning Tool Holder

Xiang Zhiyang, Deng Yadi, Wang Chunjiang, Xie Hong, Liu Guangyao

**Abstract:** The principle of over positioning tool holder and the clearance between tool holder end face and principal axis are analyzed. The implementation method of over positioning is proposed, the theoretical basis of application and application method is put forward.

**Keywords:** over positioning; tool holder; rigidity; clearance

### 1 引言

常用镗铣机床的主轴多为锥孔, 如常见的7:24公制锥度主轴孔等。常规刀柄安装在机床主轴上, 主轴孔采用锥面定位和拉钉拉紧, 拉紧后在刀柄与主轴端面之间存在间隙。如图1所示, 常规刀柄仅以主轴锥孔定位。过定位刀柄在机床拉紧后, 刀柄的主定位锥柄和刀柄端面分别与机床主轴锥孔和端面同时接触。如图2所示, 要实现锥柄和端面双重定位, 需要分析刀柄端面与机床主轴法兰端面接触状态, 而控制端面间隙量的是关键。

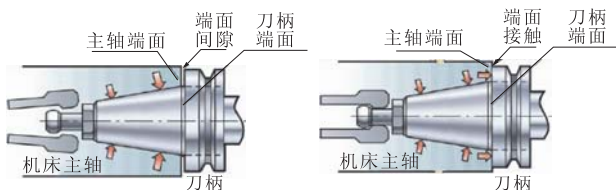


图1 一般刀柄拉紧状态 图2 过定位刀柄拉紧状态

相对于常规刀柄, 过定位刀柄可有效提高刀具系统刚度, 具有增大刀具进给量、减小振动、提高重复定位精度、提高刀柄与机床主轴使用寿命等优点。过定位刀柄最早应用于空心锥柄高速加工中心(如HSK柄<sup>[1]</sup>、Capto柄<sup>[2]</sup>), 后来在重型镗铣加工中逐渐被重视和应用(如ABS刀柄、日本BIG的BIG-PLUSD刀柄<sup>[3]</sup>以及Komet重型过定位刀柄等)。但这类刀柄因制造精度高, 价格昂贵, 且刀柄对配套机

床有特别要求, 尤其是较早的大型镗铣床, 因过定位刀柄对机床端面尺寸匹配性要求高, 以定制刀柄为主, 因此其应用范围有限。本文通过分析和应用过定位刀柄原理, 提出了成本相对较低的过定位刀柄应用方法。

### 2 过定位刀柄原理

过定位刀柄原理即通过刀柄端面与机床主轴端面法兰接触, 从而提高刀柄的静刚度。

#### 2.1 安装于机床主轴的刀柄静刚度

刀柄安装在机床主轴上, 简化模型为悬臂梁(见图3)。其中, 径向切削力 $F$ 为悬臂梁载荷, 刀柄直径为 $d$ , 悬伸长度为 $l$ 。在载荷 $F$ 作用下, 悬伸长为 $l$ 的悬臂梁挠度为 $\delta$ 。

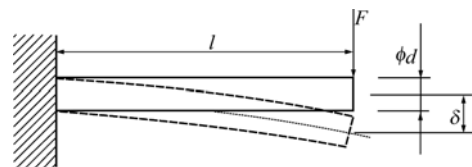


图3 刀柄和刀具工艺系统模型

根据挠度计算公式<sup>[4]</sup>, 有

$$\delta = \frac{Fl^3}{3EI}$$

式中,  $E$  为材料的纵弹性模量;  $I$  为二次断面力矩,  $I = \frac{\pi d^4}{64}$ 。

其静刚度为

$$K_c = \frac{F}{\delta} = \frac{3EI}{l^3} = \frac{3\pi Ed^4}{64l^3}$$

### 2.2 过定位刀柄静刚度提高原因分析

如图4所示,刀柄主柄部分直径为 $d$ ,刀柄端面直径为 $D$ 。机床主轴拉紧后,普通刀柄端面与机床主轴端面之间并未接触,刀柄悬伸出的有效悬伸直径为 $d$ 。机床主轴拉紧过定位刀柄后,刀柄端面与机床主轴端面接触,刀柄的有效悬伸直径为 $D$ 。

### 2.3 过定位刀柄与普通刀柄静刚度对比

以常用的两种刀柄 BT40、BT50 刀柄为例,其 $d$ 、 $D$ 直径值如图5所示。

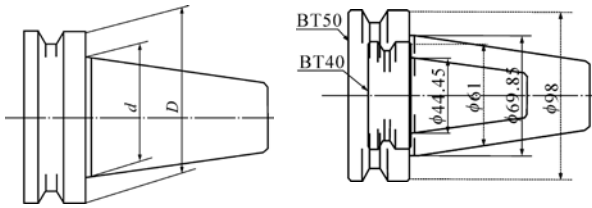


图4 刀柄结构尺寸

图5 典型刀柄结构尺寸

用 $K_{c400}, K_{c401}, K_{c500}, K_{c501}$ 分别表示 BT40 和 BT50 普通刀柄及其对应的过定位刀柄静刚度,根据上述中静刚度计算式可得

普通 BT40 刀柄静刚度

$$K_{c400} = \frac{3\pi E}{64l^3} d^4 = \frac{3\pi E}{64l^3} \times 44.45^4$$

过定位 BT40 刀柄静刚度

$$K_{c401} = \frac{3\pi E}{64l^3} d^4 = \frac{3\pi E}{64l^3} \times 61^4$$

普通 BT50 刀柄静刚度

$$K_{c500} = \frac{3\pi E}{64l^3} d^4 = \frac{3\pi E}{64l^3} \times 69.85^4$$

过定位 BT50 刀柄静刚度

$$K_{c501} = \frac{3\pi E}{64l^3} d^4 = \frac{3\pi E}{64l^3} \times 98^4$$

可见,过定位刀柄相对于普通刀柄,其静刚度明显提高,提高倍数由下式计算。

BT40 类刀柄静刚度对比

$$V_{BT40} = \frac{K_{c401}}{K_{c400}} = \frac{61^4}{44.45^4} \approx 3.5$$

可见,同样材料制造的刀柄,在相同悬伸条件下, BT40 类过定位刀柄静刚度是普通刀柄的 3.5 倍。

BT50 类刀柄静刚度对比

$$V_{BT50} = \frac{K_{c501}}{K_{c500}} = \frac{98^4}{69.85^4} \approx 3.9$$

可见,同样材料制造的刀柄,在相同悬伸条件下, BT50 类过定位刀柄静刚度是普通刀柄的 3.9 倍。

## 3 端面间隙量的影响因素分析

由上述分析可知,相对于普通刀柄,过定位刀柄

静刚度明显提升。普通刀柄与过定位刀柄区别的关键在于刀柄使用时刀柄端面与机床主轴端面法兰的间隙量控制。间隙量即为刀柄设计制造中的过定位量,是过定位刀柄关键参数。过定位刀柄使用过程中,理论间隙量为 0,而普通刀柄的间隙量大于 0,为正值。根据不同工况条件下的载荷和转速,间隙量也会有变化。

### 3.1 机床主轴影响

虽然机床主轴刀柄安装孔有相应标准,但不同用途机床主轴、同类机床不同制造商的制造精度和所用材料性能均不同,因此机床主轴孔有少量偏差。如图6所示,刀柄拉紧后,机床主轴受刀柄挤压力而发生微量弹性变形。主轴制造精度影响刀柄配合情况,从而影响刀柄对机床主轴的挤压力。主轴制造精度越高,与刀柄配合的精度越高,则刀柄对主轴挤压力越小,间隙变化越小。机床主轴材料性能不同,刀柄拉紧后弹性变形不同,弹性变形越小,间隙变化越小。

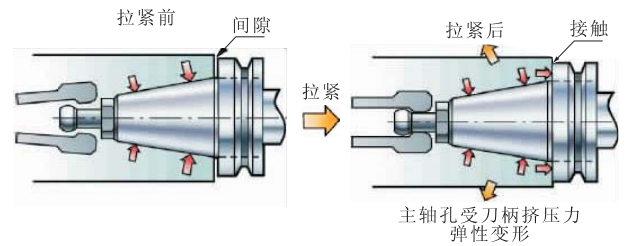


图6 刀柄拉紧主轴受力情况

### 3.2 刀柄制造精度影响

大部分刀柄已经形成 ISO 标准,尽管制造标准相同,但受制造误差影响,每件刀柄的端面实际尺寸都有一定差异,而这些微小的差异将会影响端面接触状况。刀柄尺寸精度越高,与机床主轴配合精度越高,间隙变化越小。

### 3.3 转速影响

机床主轴在使用过程中通常高速旋转,因离心力作用,转速越高,主轴内孔扩展量越大。主轴扩展量与转速对应关系如图7<sup>[5]</sup>所示。因主轴扩展,刀柄在轴向上尺寸会发生变化,其对应关系如图8<sup>[5]</sup>所示。

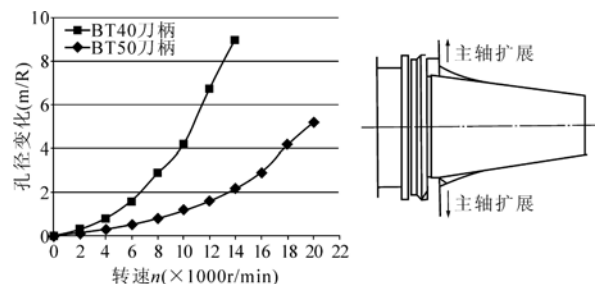


图7 转速与主轴孔径变化对应关系

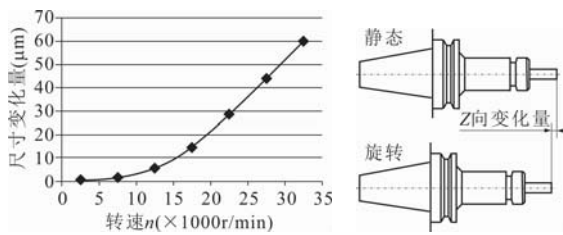


图8 转速与轴向变化量

### 3.4 主切削力对端面接触的影响

主切削力沿径向进行切削加工时(如图9所示的铣削加工),在主切削力作用下,刀柄发生弹性变形,端面间隙一边变大,一边变小。使得刀柄端面与机床主轴法兰端面接触力不均等,沿进刀方向的前面接触力小,后面接触力大。针对这类工况,应适当增加端面接触力,以保证切削过程中端面均能接触。

主切削力沿轴向进行切削加工时(如图10所示的钻削加工),主切削力将刀柄向机床主轴方向推压,刀柄向主轴方向窜动,使端面接触间隙有减小的趋势。因此,针对这类工况可适当增大接触间隙,空载时降低端面接触力。

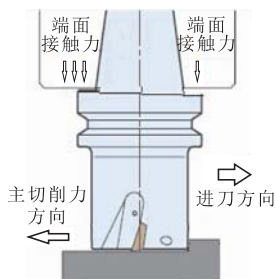


图9 主切削力沿径向进行切削

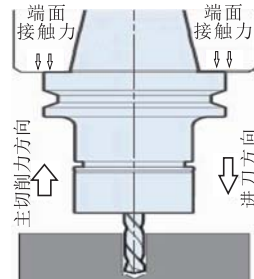


图10 主切削力沿轴向进行切削

## 4 刀柄过定位量及过定位实现方法

由上述内容可知,刀柄实现过定位的关键在于刀柄使用过程中刀柄端面与机床主轴端面的间隙量。若使用过程中的间隙量为0,则刀柄实现过定位,具备过定位刀柄优点;若间隙量不为0,即便使用了过定位刀柄,也并未发挥过定位作用。

影响间隙量的因素较多,且不同工况时的间隙量不同。重型加工中,以机床主轴和刀柄制造精度影响为主,转速变化范围小,可以忽略转速对过间隙量的影响。通常在设计制造过定位刀柄时,其过定位量只考虑主要因素,实现过定位的方法有以下两种:

①按过定位量需求,刀柄端面配磨或加垫片。

先将刀柄安装在机床主轴上,精密测量间隙量,根据间隙量配磨刀柄端面或在刀柄端面加垫片,使刀柄端面与机床主轴接触。该方法的技术难点较低,相对方便,目前被广泛应用。

②刀柄端面为“柔性”,过定位量可调。该方法主要在刀柄端面上加装调节装置,根据使用所需的间隙量精确调节过定位量。这类刀柄可参考专利 ZL201510253066.6 和专利 ZL201810925775.8,主要特征是对工况有较强适应性,尤其在多变工况和多变转速条件下使用方便。

## 5 结语

由上述研究得出以下结论:

(1)过定位刀柄较常规刀柄的刚性明显提高。通过分析过定位刀柄原理,得出过定位刀柄刚性提高的计算公式和过定位刀柄静刚度提高量,理论上可用公式计算得出。如 BT50 类刀柄,过定位刀柄较常规刀柄的静刚度提高了 3.9 倍。

(2)明确间隙量影响因素,为刀柄过定位量精确控制提供依据。刀柄与机床主轴端面间的间隙量是过定位刀柄的过定位量设计基准,根据对间隙量的影响因素研究,对其进行精确控制,即能实现过定位量精确设计。

(3)总结了过定位刀柄的实现方法,提出了新的过定位刀柄种类,为实际工作中选用过定位刀柄提供了成本较低的解决方案。

## 参考文献

- [1]刘雪梅,李爱平,谭顺. HSK 刀柄主轴结合面接触特性及其影响分析[J]. 中国机械工程,2015(8):1000-1004.
- [2]刘春春,王树林,沈春根,等. Capto C6 主轴/刀柄接口扭转刚度特性[J]. 组合机床与自动化加工技术,2012(7):106-108.
- [3]陈建,巫兴胜,谢华锬. Big-Plus 主轴\_刀柄接口径向刚度分析[J]. 工具技术,2014,48(9):47.
- [4]范钦珊. 材料力学[M]. 北京:高等教育出版社,2005.
- [5]大昭和精械株式会社. BIG 产品样本[Z]. 2019.

第一作者:向志杨,高级工程师,东方电气集团东方汽轮机有限公司,618000 四川省德阳市

First Author: Xiang Zhiyang, Senior Engineer, Dongfang Turbine Co., Ltd., Deyang, Sichuan 618000, China