



## 技术信息

# 在中小批量生产中持续保持高精度

机床应对快速变化加工条件的能力是衡量其加工精度的决定性因素。从粗加工到精加工，机床的机械负荷和热负荷的情况完全不同，加工精度也明显不同。小批量生产中，加工负荷变化也较大。频繁的装夹操作及不同的加工任务，热量输入必然不同，因而影响精度。特别是小批量生产，为确保在严格公差情况下的加工利润，首件到终件都必须达到高精度。对于这种生产条件，机床的热精度发挥着决定性作用。

其中，进给驱动尤其关键。高速运动及大加速度的进给驱动负载极大，因此发热量很大。如果位置测量技术不恰当，温度升高将快速导致意想不到的定位误差。对于一米长的钢材质的滚珠丝杠，当温度从20 °C升高到非常典型的45 °C时，热膨胀将达到250 μm（钢材热膨胀系数：每米长度和一度的温度变化情况下的误差达10 μm）。

### 机床热稳定性

为应对机床发热造成工件尺寸误差的解决方案对于机床行业越来越重要。今天，主动冷却、对称式机床结构和温度测量系统已被广泛采用。

热位移的主要来源是滚珠丝杠的进给轴。沿滚珠丝杠的温度分布取决于进给速率的高低和运动力的大小。未配直线光栅尺的机床，其长度变化可导致工件十分明显的加工缺陷。

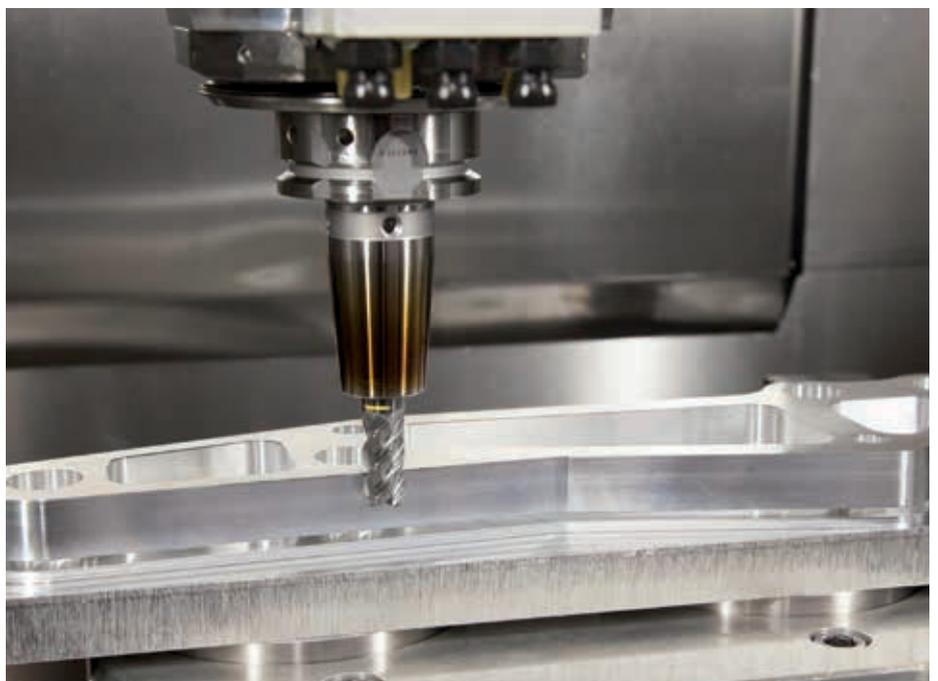


图1 典型加工情况

## 进给驱动的位置测量

NC数控进给轴用滚珠丝杠及旋转编码器共同测量位置，也可以用直线光栅尺测量。

如果滑座位置由滚珠丝杠螺距与旋转编码器（图2）确定，那么滚珠丝杠必须承担两项任务：作为驱动系统，必须传递较大驱动力，而作为测量装置，必须提供高精度的位置值并重现螺距。可是位置控制环中只有旋转编码器。由于驱动机构的磨损或温度变化无法补偿，这种方式被称为半闭环控制模式。驱动系统的定位误差无法避免，而且严重影响工件质量。

如果用直线光栅尺测量滑座位置（图3），位置控制环就包括全部进给机构。这就是全闭环控制模式。机床传动部件的轴向间隙和误差不影响位置测量。也就是说测量精度几乎只取决于直线光栅尺精度和位置。

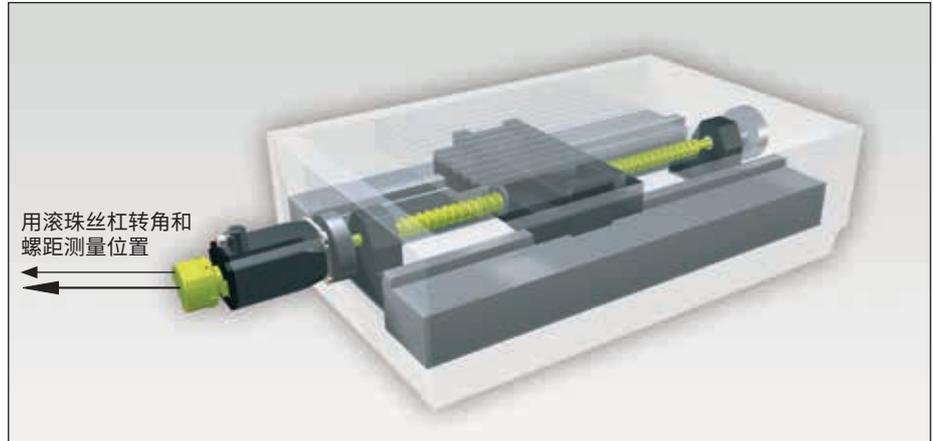


图2 半闭环控制的滚珠丝杠与旋转编码器的位置反馈控制

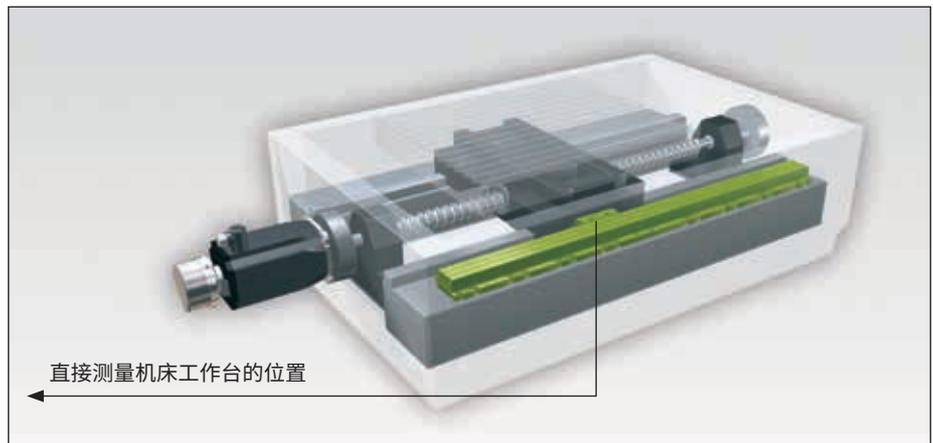


图3 全闭环控制模式下的直线光栅尺位置反馈控制

## 确保驱动精度

### 举例：轮廓铣削和钻削

从示例图可见全闭环控制与半闭环控制模式之间的区别，该样件的加工难度一般，特别是机床工作台的运动速度不太高。该加工任务的最高进给速度仅3.5 m/min。对两个相距350 mm的孔进行钻孔加工和轮廓铣削，共加工40件。该加工用时5分30秒；两孔间距的公差为 $\pm 0.02$  mm。

加工中，滚珠丝杠驱动温度不断升高。半闭环的常规位置测量在加工40件后，质量控制检测发现只有前25件符合公差要求。第25件后，发热造成滚珠丝杠驱动的热膨胀达到临界点，误差超出公差 $\pm 0.02$  mm。最后一件的偏差甚至达70  $\mu\text{m}$ 。

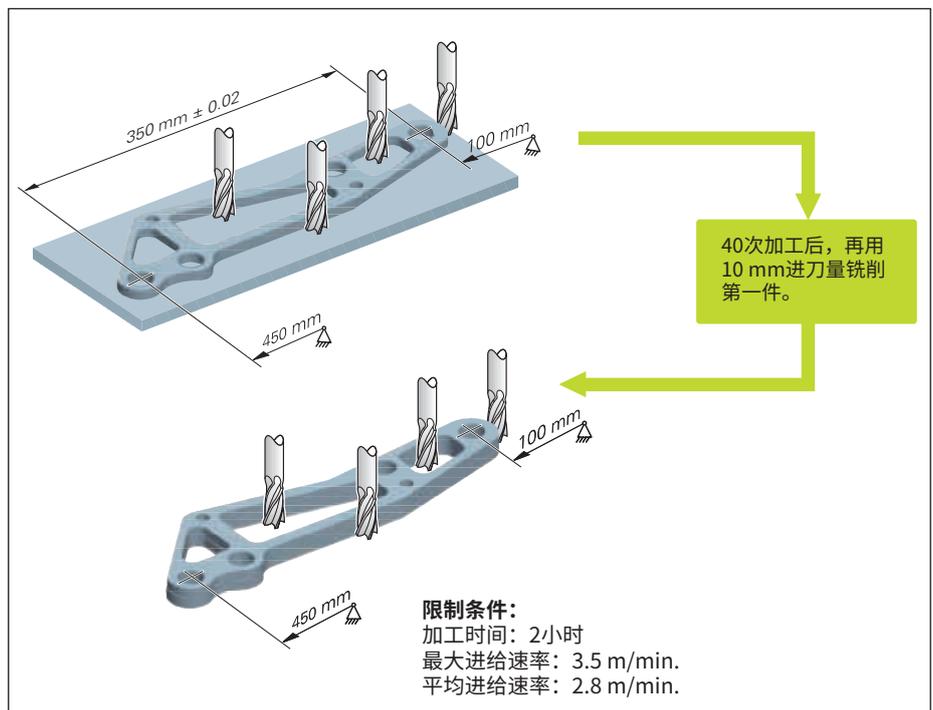


图4 加工连接杆  
△= 滚珠丝杠的固定轴承

精加工第40件后，首件加工中的Z轴方向进给减半，第2次加工的加工误差清晰可见。对于这样精加工的第2孔，可在现有孔中清晰看到一条边界线，第2次铣削加工也有同样情况。这是滚珠丝杠驱动热膨胀70  $\mu\text{m}$ 的误差所造成的结果。

另一方面，全闭环直线光栅尺的位置测量不受滚珠丝杠驱动热膨胀的影响，而且也不受其它因素影响。比较加工方式可以说明以上加工示例。全闭环控制的加工没有废品；工件全部符合公差要求。加工第40件后，首件第2次加工Z轴方向的进给减半，没有可见边界线。



图5 连接杆，从毛坯开始加工两次

## 小结

要成功地完成工件加工任务，机床热性能需要稳定。即使负载条件变化很大，也必须保证加工精度。因此，即使在速度和切削力变化很大时，也必须保证整个行程范围上进给轴符合公差精度要求。直线进给轴的滚珠丝杠热膨胀严重影响精度并受速度和负载变化的影响。如果加工期间只用丝杠螺距和电机的旋转编码器确定滑座位置，加工中产生的位置误差可达200  $\mu\text{m}$ ，甚至更大。由于控制环无法补偿这些基础

性的驱动误差，因此被称为进给驱动的半闭环控制模式。这些误差可用直线光栅尺完全消除。用直线光栅尺的进给驱动为全闭环控制模式，这是因为位置测量和位置控制环补偿滚珠丝杠的误差。由于旋转轴的机械驱动部件也受热膨胀影响，配角度编码器的旋转轴也有类似的优点。因此，直线光栅尺和角度编码器能确保被加工工件的高精度，即使剧烈变化的机床加工条件也能保证高精度。

# 机床的直线光栅尺

位置测量的直线光栅尺是机床高精度定位不可或缺的测量手段。直线光栅尺直接并立即测量进给轴的实际位置。因此，机械传动零件对位置测量结果没有任何影响，无论是运动特性误差还是热膨胀误差或切削力的影响都被直线光栅尺测量并进入位置控制环中。因此，能消除潜在的多个误差源：

- 滚珠丝杠温度特性导致的定位误差
- 反向误差
- 切削力作用导致的驱动机构变形形成的误差
- 滚珠丝杠螺距误差导致的运动特性误差

因此，直线光栅尺是**高精度定位和高速加工机床**不可或缺的基础技术手段。

用于数控机床的海德汉直线光栅尺几乎适用于任何应用。它是所有进给轴为伺服控制环模式的机床和设备的理想选择，例如铣床、加工中心、镗床、车床和磨床。

动态性能优异的直线光栅尺允许高速运动，沿测量方向的加速性能使其不仅能满足常规轴高动态性能要求，也能满足直驱电机对高动态性能的要求。



LC 485至2040 mm



LC 185至4240 mm



LC 201 可达28040 mm

## HEIDENHAIN

约翰内斯·海德汉博士（中国）有限公司

北京市顺义区天竺空港工业区A区  
天纬三街6号（101312）

☎ 010-80420000

☎ 010-80420010

Email: sales@heidenhain.com.cn

[www.heidenhain.com.cn](http://www.heidenhain.com.cn)

### 更多信息：

- 样本：直线光栅尺用于NC数控机床
- 技术信息：进给轴精度
- 样本：机床检测和验收测试的测量系统