



海德汉进给传动精度系列讲座

第2讲 进给结构的受力变形

海德汉(天津)光学电子有限公司 Jan Braasch, Dr. Ing.

在使用滚珠丝杠和旋转编码器来进行测量时,使进给机构变形的力会导致滑台轴向实际位置的偏移。这些力主要包括由滑台加速而产生的惯性力、切削力及导轨内的摩擦力。如第1讲图1中所示的进给机构的平均轴向刚度在 $100 \sim 200 \text{ N}/\mu\text{m}$ 之间(丝杠螺母与固定轴承间隙 0.5 mm , 滚珠丝杠直径为 40 mm)。

1. 加速力

常见的 500 kg 的工作台在以 4 m/s^2 的加速度运行时,会产生大约 $10 \sim 20 \mu\text{m}$ 左右丝杠/编码器系统不可识别的变形。随着机床加速度的越来越高,由此而产生的变形也變得越来越大。

2. 切削力

机床的切削力可以很容易达到几千牛顿的水平。这类力不仅作用在机床的进给传动机构上,而且也作用在工件和刀具之间的所用机床部件之上。相比较于机床整体的变形,进给系统的变形只占一小部分。采用直线光栅尺可以检测出这一小部分的变形并对之进行补偿。为了避免这类变形,在进行工件的精加工时,通常采用很小的进给力来进行加工。

3. 摩擦力

按导轨的不同,在滚动导轨上摩擦力的大小约为垂直力的 $1\% \sim 2\%$, 在滑动导轨上约为垂直力的 $3\% \sim 12\%$ 。垂直力为 50 kN 时,进给机构的变形约为 $0.25 \sim 6 \mu\text{m}$ 。

4. 机床的圆周测试

加工中心和速度与加速度相关典型的误差可以通过圆周测试来进行检测(见图1)。在由丝杠及旋转编码器构成的位置控制中,测试圆会在机床高速运行时与理想圆有很大的差异。在同一加工中心上安装直线光栅尺之后,机床运行轨迹精度有了很大的提高。

5. 由丝杠发热而产生的定位误差

在采用丝杠和旋转编码器进行位置控制时,由于滚珠丝杠发热而导致定位误差是最大的误差来源。其原因在于丝杠的双重功用:一方面,在将电

机的旋转运动转为线性运动时,丝杠要有尽可能高的刚性;另一方面,丝杠又要起到长度标尺的作用。这种双重功能使得机床设计者不得不采用折中的方案来满足两方面的要求,因为丝杠的刚性和发热都取决于丝杠螺母及丝杠固定轴承的预紧。在简化情况之下,丝杠螺母及摩擦力矩都与预紧张力成正比。

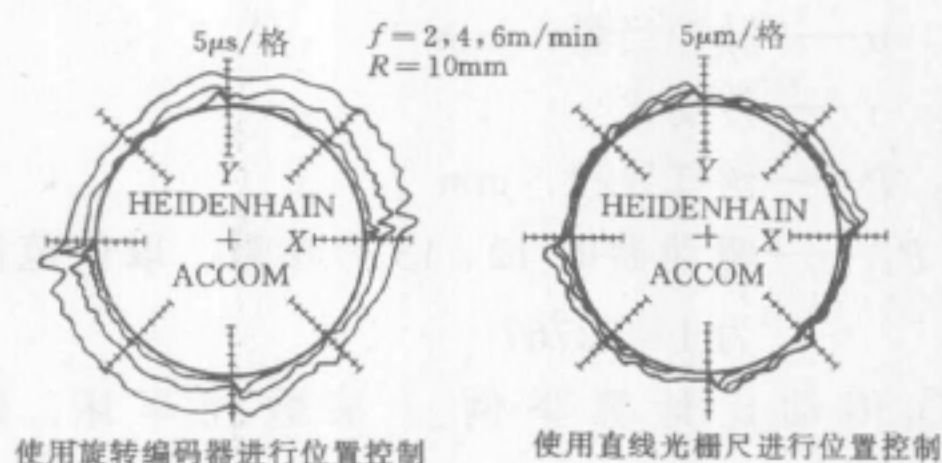


图 1

图1为改造后安装了直线光栅尺的加工中心的圆周测试结果。在使用旋转编码器和丝杠进行位置控制时,机床轨迹在高速运行时明显偏离理想路径。在使用了直线光栅尺后,运动轨迹的精度得到了明显提高。

6. 丝杠螺母的摩擦力

进给机构中最大的摩擦通常由丝杠螺母产生,其原因是丝杠螺母中发生的复杂运动。丝杠螺母中的滚珠除了进行滚动运动之外,还进行很大一部分滑动运动。除了在滚珠丝杠接触部分所发生的轻微滑动之外,主要发生由外界强制条件导致的宏观滑动。在丝杠螺纹之间运行的滚珠如同在雨水槽中的网球一样,进行着不可完全定义的运动。滚珠之间的相互挤压和推动使滚珠不时地产生滑动。在没有滚珠保持架时,滚珠之间的摩擦力由于极高的径向压力而十分可观。在角接触球轴承内,滚珠还会作围绕垂直于接触面的轴的自转运动。这时滚珠围绕着接触面进行“钻孔式”旋转。最新的研究显示,丝杠螺纹内滚珠的运动只有在有滑动的情况下才有可能,这是由丝杠固有的螺距所决定的。



滚珠的回送系统是滚珠丝杠的一个弱点。滚珠在进入及离开回送系统时,其运动状态都会发生彻底的变化。其中比如旋转动能,在快速进给时以 8 000r/min 转速旋转的滚珠在进行或离开回送系统时会相应地减速或加速。与位于螺纹内受预紧力的滚珠不同的是,回送系统中的滚珠不受预紧力。由于能量均衡的原理,回送系统是滚珠最倾向于停留的地方。在没有采用特殊手段时,在滚珠回送系统端口会产生滚珠的堵塞,这种堵塞会导致常见的丝杠卡死。

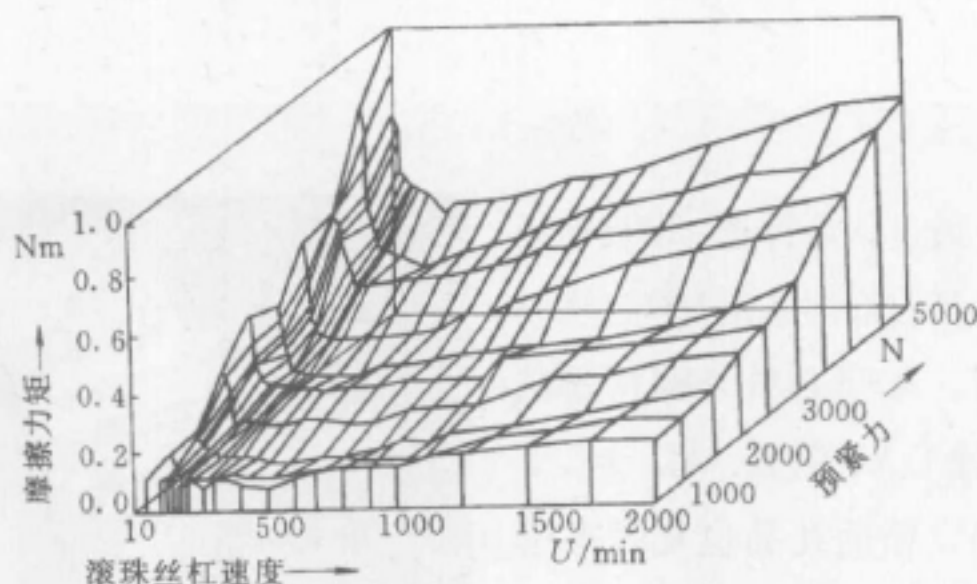


图 2

额定直径 40.00mm 螺距 10.00mm

轴向力 0.00kN 接触角 45.00°

滚珠直径 6.35mm 滚珠内循环,无防尘片

两点预紧滚珠丝杠的摩擦力矩,可明显看出其斯特贝特性见图 3。

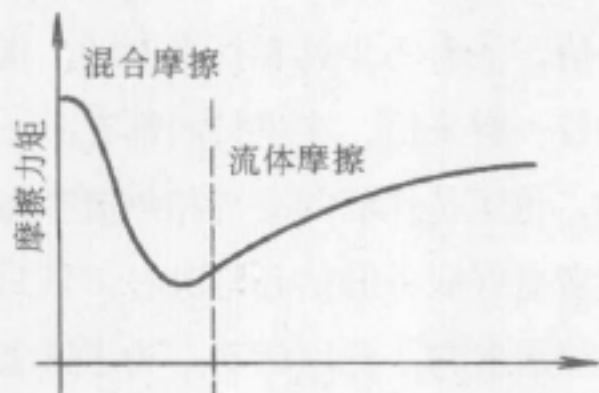


图 3

高尔茨,测量了在不同预紧状态下直径 40mm,螺距 10mm 的精密滚珠丝杠的摩擦力矩(图 3)。摩擦力矩呈现典型的斯特贝特性(Stribeck)。在低转速时,摩擦力主要来源于刚体和温柔的合摩擦。高转速时摩擦力则主要来源于液体摩擦。有意思的是,滚珠丝杠切削进给时的转速低于最小摩擦力矩所对应的转速,而快速进给时的转速又高于最小摩擦力矩所对应的转速。也就是说,常见滚珠丝杠系统摩擦力矩最低值区域并不能

被利用来提高丝杠的工作效率,摩擦力矩受丝杠轴向负载的影响很小。

7. 丝杠螺母的摩擦生热

在采用常见 3kN 预紧力并忽略螺母防尘片的情况下,空载力矩或摩擦力矩约为 0.5~1Nm。这意味着,在滚珠丝杠以 2 000r/min 的转速进行快速进给时,丝杠螺母会产生约 100~200W 的热量。

8. 未来摩擦发热将会越来越多

为了达到更高的快速进给速度,必须提高丝杠转速或加大丝杠的螺距。在过去的五年中,滚珠丝杠的最高允许转速增长了一倍。为了保证良好的加速性能,预紧力以及由此而来的摩擦力却不能被减小。因此丝杠发热不断增加,而且这一趋势还会在未来继续下去。

9. 按 ISO230—3 进行定位精度的测量

在采用新制定的国际标准 ISO/DIS230—3 进行定位精度的测量时,可以清楚地识别出摩擦生热对定位性能的影响。该标准规定了如何测量车/铣床在外部和内部热源作用下所产生的热变形(图 4)。

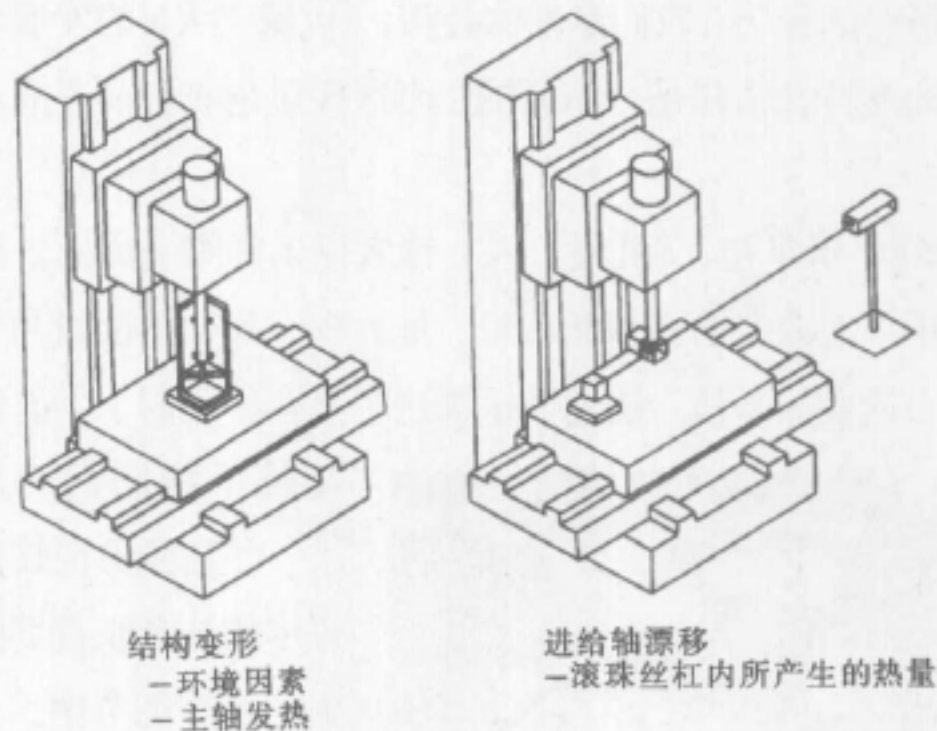


图 4 依据 ISO/DIS230—3 对加工中心的热变形进行测量



(收稿日期: 20031201)

约稿

由于栏目方面的变动,2004 年将原有的夹具栏目改为“机床/附件/工装”,因此凡是与此栏目相关的内容,均可投稿。注意稿件质量,即要求有一定的技术含量,有推广性、先进性。欢迎大家踊跃投稿。