磨床

垂直进行螺纹磨削

把工件固定在垂直位置，能在许多方面改善螺纹磨削，自上而下的方式代表了精密丝杠类零件生产的重大变革。

文 | Mark Albert

立式螺纹磨床代表了滚珠丝杠及其他带有精密螺纹的组件在制造方式上一个“自上而下”的变化。因为在这种类型的机器上，砂轮的运动是从上到下或从下到上的，而工件则保持垂直。这与一般螺纹磨床的取向大相径庭，在一般磨床上，工件处于水平位置，两头固定，砂轮从工件一侧移动到另一侧。

工件定位的根本变化涉及到螺纹磨削过程中的几乎每一个方面。垂直放置工件使砂轮更加机动，砂轮能自动更换并用 CNC 修整，精度和灵活性得以提高。冷却液能流遍工件全长，提供足够的冷却和润滑。除了螺纹磨削外，立式机床还可以实现一次设置完成花键、齿轮和外径面等的磨削加工。

这种不同寻常的磨床机型是由 Mitsui Seiki 公司开发的，该公司的高端多轴加工中心在美国应用十分广泛。Mitsui Seiki 公司自 1965 年开始与 Excello 公司合作，一直在生产和销售螺纹磨床。1977 年，Mitsui Seiki 公司便已在设计和策划其螺纹磨削技术的创新方案，其第一台立式螺纹磨床，新型 VGE60A，在推进螺纹磨削的精度和生产率方面又进了一步。

图 1 精密螺纹轴的生产人员从此可受益于立式磨削对工艺的改进

有更多的螺纹需要磨削

Mitsui Seiki 美国公司副总裁 Tom Dolan 说，业界对丝杠类零件的需求大增。第一，汽车、航空航天和机器人等行业的 OEM 厂商在许多应用场合已经把驱动方式从液压转变到电力。电力驱动系统更简单、易控、节能且有利于环保。因此使得电动助力转向、飞行控制系统、自动化组装和生产线运动控制系统的导向螺杆和进给螺杆的致动器需求增加。第二，生产机床轴和类似用途的丝杠，要求精度更高且成本更低，这更提高了业界对这些组件的新生产技术的兴趣。“过去 50 年间，螺纹磨床都是以同样的方式生产出来的。对于许多应用来说，立式磨床改变了一切。”Dolan 先生说。

减少工件下垂

垂直固定工件更容易实现高精度。当在水平方向上固定工件两端时，像轴这样的细长工件受自重作用会有下垂倾向。通常如果有需要的情况，还要有中心托架提供额外的支撑。重力对垂直方向则有利，能减少这种下垂倾向。当然，当为砂轮进给率及其他加工参数编程时，砂轮的径向作用力也必须考虑。

螺纹磨削的精度通常用两个量

表述。一个是朝导程方向时螺杆每转的导程（螺距）精度。此量表征给定螺杆长度上保持导程角基本不变的一致程度。此量的变化越小，圆螺母或其他配合部件搭在此螺杆上的行程则越可预测和越准确。VGE60A 在 Mitsui Seiki 做出厂测试时，该磨床在螺杆长度为 273 mm，导程角为 10 mm 时，此量的变化（总累积导程误差）值低于 2 μm。

第二个关键的量是螺杆每转的导程误差，它代表了一个组件搭在螺杆上运动的不稳定性。此量的变化越小，螺杆产生的直线运动越均匀。这个量在滚珠丝杆和涡轮丝杆的应用上尤其重要。出厂试验表明，在 VGE60A 磨床上试验导程角为 10 mm 的工件，每 12 转所保持的最大误差低于 2 μm。

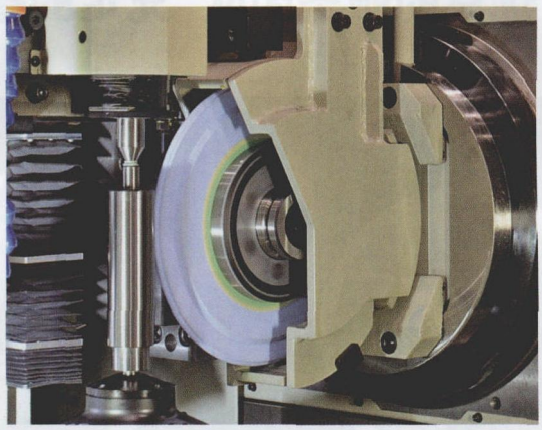

图 2 各种磨削作业的组合提高了单次设置完成工件的能力

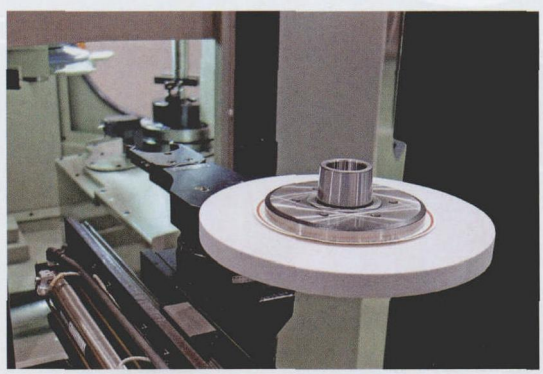

图 3 自动换轮器可按需更换砂轮

节省占地空间

“VGE60A 磨床的占地空间比三井精机出品 Mitsui Seiki 的传统磨床小 33%。” Dolan 先生解释说，“两台新机器只需一台常规机床的空间。传统的螺纹磨床通常是按其所生产的最长工件的尺寸设计的。这意味着，虽然额外容量并不总是需要的，但本机全长所占用的面积总是在使用的。同样地，常规机床必需有一个专用的空间容纳预期工件的长度。此新型磨床具备一个标准空间，容纳各种不同高度的模块化立柱。”

最后是垂直的配置，它使设计者能按与机床的前部和侧面成 45° 角来定位机床组件。这种符合人体工程学的安排，使进出更容易，观察磨削区更方便，且不影响操作的便利性、安全性或对地面空间的充分利用。

复合加工磨床一机多用

Dolan 先生认为，垂直螺纹磨削中最有价值的，应该是增加了“组合磨削”的能力，即在一台机床上进行多种磨削作业。一方面，此机床可以用来磨削螺纹、渐开线齿轮的齿和轴；另一方面，在一个工件需要多种不同磨削时，例如一个工件有滚珠螺杆螺纹、花键齿、齿轮齿和圆柱轴承面的，可以完成于一次设置。由于不必切换，显著缩短了整体生产时间，同时避免了多次设置发生错误的可能性。

以下三个特点使这种多用途的复合加工能力成为可能。第一个是砂轮倾斜角扩展的选项。磨螺纹时，砂轮必须倾斜到一个与螺纹导程角相匹配的角度。传统的螺纹磨床倾斜 ±45° 的范围便足以覆盖大部分螺纹磨削应用。在新型立式磨床的选项中，砂轮倾斜可达 90° 。在达到此扩展范围的极限时，砂轮可以垂直地接近工件，磨削花键或轮齿。

第二个是砂轮自动更换装置。这是此机型的标准设备，也是体现此机床的多功能所必不可少的特点。不同类型的砂轮和不同磨削轮廓的砂轮可以交换以进行连续作业。为减少砂轮主轴端部和砂轮之间的距离，换轮装置卡爪的 V 形槽界面并不在锥体的同一侧。保持砂轮靠近主轴能提高刚性和减少偏差。此锥体是一个标准的 HSK-63 式锥体，它也提高了砂轮的刚度。

第三个重要特点是一个单点金刚石砂轮修整器，它有三个尖端，一个修整砂轮轮廓的左侧，一个修整右侧，一个在中心修整圆柱形（外径）轮毂造型。此修整器被安装在所述工件主轴的基座上，所期望的砂轮形状可以通过 Z 轴的同步运动（垂直进入砂轮架的运动）和 X 轴的同步运动（进出砂轮柱的运动）来生成。因此，一个修整器可用于修整 V 形螺纹砂轮的形状、圆形滚珠丝杠螺纹砂轮的形状和直外径砂轮的形状。

另外，还可以选配旋转金刚石修整盘，作滚珠丝杠或其他复杂形状的自由式砂轮的修整。修整器可以由使用者进行更换。

流线型设计

VGE60A 机床的另一个好处是垂直研磨能有效利用冷却液。因为冷却液自然地沿工件的长度向下流动，所以可以安放一些冷却液喷嘴以提供足够的流量，有效地稳定工件的温度。附加的冷却液喷嘴可以安装在砂轮主轴头上，冲洗掉磨屑，保持砂轮低温和清洁。油基和水基冷却液都可以使用。

还应当指出的是，VGE60A 的外观设计紧跟机床简约流线型的流行趋势。直线和曲线的时尚组合有助于实现钣金防护层的流线型外观。一扇大窗户和一个最佳定位的照明带，使机器内采光良好，操作员视野高度清晰。MM