CNC

严格控制复杂加工过程

——医疗器械行业应用的定制 TNC 功能

海德汉 TNC 数控系统具有许多高难度医疗器械行业工件生产所需的功能优点。这些功能不仅能完成高精度加工，而且能满足复杂标准和规范要求，并能高效生产。

文 | 约翰内斯 · 海德汉博士（中国）有限公司

生产中持续达到的高表面质量、满足严格公差要求、高加工速度以及文档记录功能和复杂加工过程的验证，这些都是海德汉 TNC 数控系统的能力所在。

动态高精：高速、高效且经济

定性的说，加工高精度医疗器械工件时，动态误差经常是限制生产力、经济有效性和效率的因素。这些限制使机床无法达到更快加工速度，或导致可见的工件表面误差和可观的工件几何偏差。NC 程序运行速度快时，通常动态误差加大，加快加工速度通常不利于精度和表面质量。

动态高精功能的作用就是高效生产高精度和高表面质量工件，而且能有效减小动态误差。这些功能能在相同速度情况下达到高精度，或相同精度情况下达到高速度，通常能同时提高精度和速度。高精度的高速加工还意味着高生产力，更低单位成本，且不牺牲轮廓精度和表面质量。尤其是单件生产或小批量生产，动态高精功能能提高经济性，因此特别适合于医疗器械行业应用。

图 1 高精度、快速加工出最高表面质量的牙桥

海德汉公司的 CTC（关联轴补偿）数控选装功能能补偿加速度导致的刀具中心点(TCP)的位置误差。使用 CTC 后，二维编码器的测量结果显示平均误差减小达 80%。这就是说可以用更大加加速并显著缩短加工时间。

AVD（动态减振）功能抑制主要低频振动（系统振动或传动系弹性振动）使加工速度更快和铣削过程无振动。缩短加工时间且不影响工件表面质量。

PAC（位置自适应控制）、LAC（负载自适应控制）和 MAC（运动自适应控制）这些选装功能允许根据轴位置(PAC)，直线轴瞬时重量或旋转轴转动惯量以及瞬时摩擦力（LAC）和输入值，如速度、跟随误差和驱动加速度（MAC）调节机床参数。

动态高精功能可以单独使用，也可以组合使用。这些功能能有效减小机床

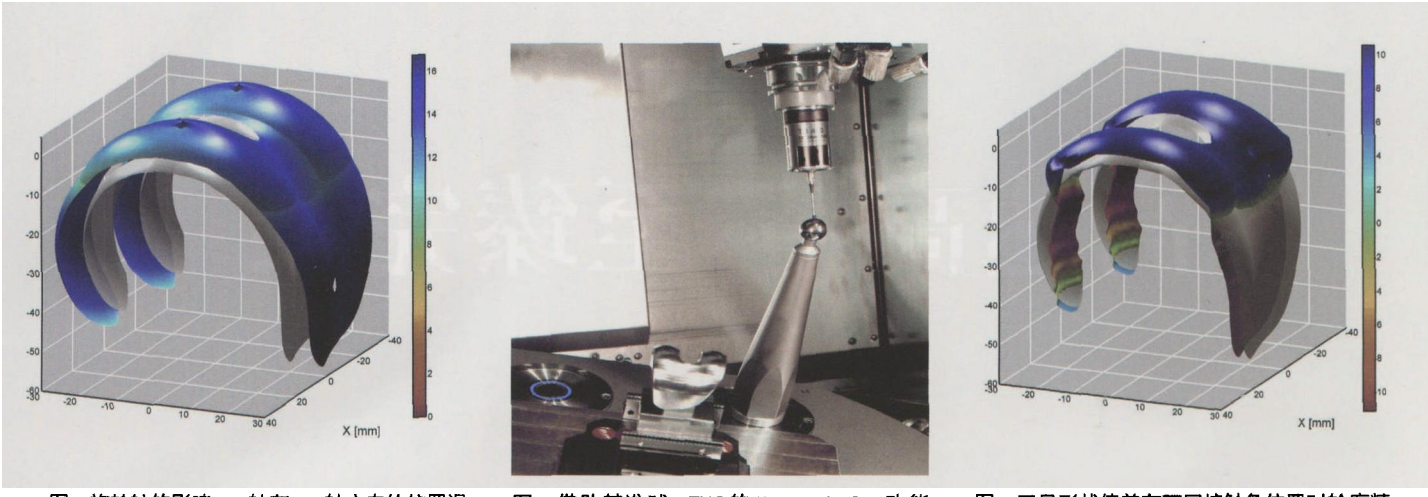

图 2 旋转轴的影响：A 轴在 + y 轴方向的位置误差（Y0A 0.017；Z0A 0.0044；X0C -0.005；Y0C 0.003），形状误差放大 500 倍

图 3 借助基准球，TNC 的 KinematicsOpt 功能能简单且快速测量回转轴和摆动轴。运动特性表补偿可能的偏差，如果客户要求还提供数据记录表

图 4 刀具形状偏差在不同接触角位置对轮廓精度的影响（形状偏差放大 500 倍）

的动态误差，提高机床的动态性能和提高刀具中心点处的刚性，最大限度发挥机床铣削技术潜能，不再受机龄、负载和加工位置限制。

完美校准机床运动特性

在单件生产和小批量生产中，机床部件总是比较明显受温度波动影响，因此需要相应调整机床运动传动链。海德汉数控系统的 KinematicsOpt 软件选装项帮助操作人员完成这个复杂任务。该功能不仅是一个校准功能，还能保存运动特性配置变化的所有数据，即不仅可以轻松恢复以前的运动特性配置，还能轻松满足医疗器械行业文档记录要求。

KinematicsOpt 包括多个特殊探测循环，且这些探测循环已全部集成在 TNC 数控系统中，是数控系统的特殊选装项。其工作原理非常简单，用一个 3-D 触发式测头在不同旋转轴设置位置测量高精度基准球的位置，例如用 TS 740。 然后，操作人员得到一份测量记录，记录了倾斜时当前点位置的实际精度值。如果需要，KinematicsOpt 同时还能自动优化被测轴和自动修改机床参数。操作人员不需要详细了解机床运动特性配置情况，只需要几分钟时间就能重新校准铣床。

如果基准球永久固定在机床工作台上，甚至可以在两个加工步骤间自动执行这个测量任务。这样能持续保持高质量，无论是批量生产还是单件生产，执行医疗器械行业要求的测试和验证过程对生产的中断显著减少，而且更容易测试和验证。

用实际铣刀半径值加工

虽然刀具生产的精度很高，但球头铣刀的几何尺寸并不一致，每一把刀具的半径通常都与理想的圆弧插补值不同。对于高精度加工这是一个严重缺陷。

3D-ToolComp 是一个功能强大的三维刀具半径补偿选装功能。用补偿值表定义与角度相关的差值，这个差值描述刀具与理想圆的偏差。然后，TNC 修正刀具与工件当前接触点处定义的半径值。为精确确定接触点，CAM 系统必须用表面法向矢量程序段（LN 程序段）创建 NC 程序。这些表面法向矢量程序段决定半径铣刀的理论圆心点，也决定刀具相对工件表面的方向。

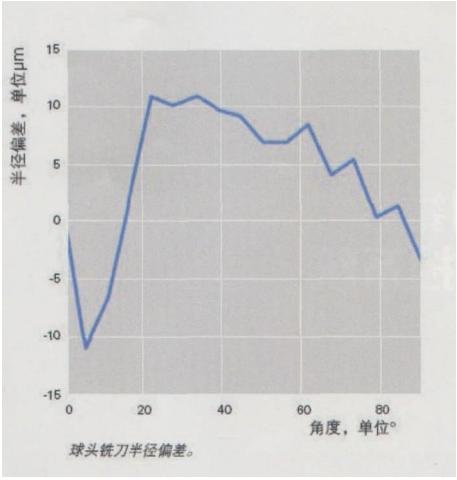

图 5 球头铣刀半径偏差

TNC 数控系统控制的机床自动进行补偿。为此，用激光系统和特殊循环测量刀具形状，使 TNC 数控系统直接使用该数据并将数据加入补偿表中，也就是说机床操作人员不需要在 NC 程序中再次执行刀具补偿。TNC 数控系统通过刀具形状偏差自动处理多种影响因素，因此它是满足当前有效医疗器械技术要求的高可靠性加工的重要条件。

二维编码器

海德汉 KGM 282 适用于动态测量 CNC 数控机床的运动路径。例如，二维编码器能执行圆弧插补测试，允许的半径范围从 115 mm 到 1 μm，刀具进给速度可达 80 m/min。非接触扫描还能检测两轴的任何轮廓的自由曲面。

因此，二维编码器能采集平面中的任何运动，并分别输出两轴测量值。优点之一是非接触测量，即没有摩擦力影响，其次是机床几何特性导致的误差对极小半径的圆弧插补测试的结果没有影响。MM