自主检测与优化调变模块机床状态

文 | 黄成凯

机床产业不断朝智慧化与加工效能提升的大方向前进，智慧化技术与物联网无疑是机床发展主流。本文建立设备状态自主照护与冷却机调变优化系统：在机床传动轴方面，透过机床控制器回授估测马达、轴承与螺帽状态，提供加工之最大切深建议，并于异常发生时发出警示，进而提高生产效率。旋转轴方面，可预测旋转轴受热变位影响之伸长量，协助加工者快速进行刀长补正提高加工精度，并优化冷却机控制降低能耗。

设备状态自主照护与冷却机调变优化系统

为因应产品生命周期越来越短的世代，金属加工必须更加的快速求变，要求的稳定程度也越来越高，只有能快速应对市场的厂商才具有竞争能力。传动轴与旋转轴为机床两大关键的零组件，其性能和精度决定了加工精度与生产效率。随着加工时间的累积，传动轴与旋转轴的精度与健康程度将会发生改变，而造成机台精度无法恒定。金属加工业者须定时对设备状态进行检查，如刀长补正与设备检修等，然而上述检验极为费时，且检验所需之传感器昂贵、安装不易，无法每天进行，且若异常无法被及时发现时，将造成加工质量大幅下降，甚至故障停机等结果。除此之外，现阶段机床冷却机大多随着机台启动，当机台长时间处于待机状态（如中午休息）时，若冷却机保持运作，除了造成能源浪费以外，亦容易因为过度冷却而使再加工时发生加工段差，而无法满足精度需求。本文将针对金属加工业者需求，整合马达与轴承异常状态自主检测研究成果，开发设备状态自主照护与冷却机调变优化系统，解决以下问题。

传统机台状态检测，需定期停机由专业人力固定周期诊断，耗时费力，“马达状态自主检测”、“轴承状态自主检测”、“螺帽状态自主检测”预期可让加工者无须额外安装传感器，透过控制器回授信息快速检测传动轴关键零组件状态，提早预知保养时程，避免临时故障停机发生，提供关键模块状态自主诊断，达成异常实时反馈，有效降低检修成本30% 并提升制程效能。

机台精度易受温度影响，依赖暖机与专业人力设定补偿，耗时费工，“旋转轴热变位自主检测与精度补偿模块”预期可让加工者实时检测旋转轴因热变位所产生之伸长量，透过数位预估技术，估测旋转轴轴向伸长量，提高加工精度，达成轴向热变位预测误差≦ 10%。

机台启动后冷却机保持运行，耗费能源且可能因过度冷却而产生加工段差，“冷却机状态优化调变”预期可协助提升加工精度，自动判断调整旋转轴冷却机运行，降低旋转轴待机再加工段差并减少能源消耗。降低非加工冷却机的能耗≥ 50%。

研究方法

机床产业发展已逐渐趋向智慧化生产制造模式，制造商提供多样的软件加值服务为系统加值，由既往的人力介入行

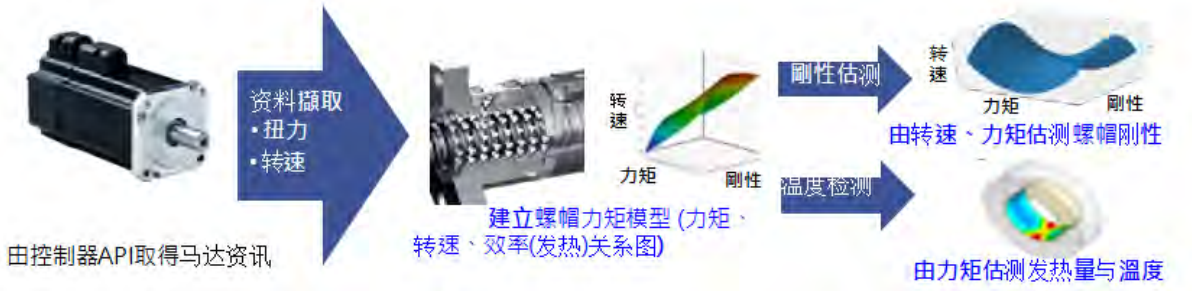

图 1 螺帽状态自主检测模块功能说明

为，运用感测及通讯技术结合软件服务取而代之，达成更高效而低廉的成本需求，因此，AI 智慧化、高速网络传输、无人自动化等议题，后市可期。除此之外，为进军主流高阶机床之市场，目前国际上产业发展策略从过去单机规格提升的研发思维，逐渐朝向提供应用端解决方案及售后服务系统，以贴近客户需求并有效解决生产上实际问题。

本文藉由设备状态自主检测与调变模块的开发，将机床厂与终端使用者需求，转换为应用软件。聚焦开发目标因应国际机床大厂近年的技术开发策略，以有效协助业者进行设备自主照护、制程辅助等运用需求。本文建立无传感器之传动轴关键零组件状态在线检测，以及旋转轴热变位预测及冷却机调变等功能，相较于机床大厂将功能绑定在自家新机台与控制器，或透过传感器进行状态预估之方式，本模块采用外挂式设计，透过机边运算系统连结机床控制器跳脱机床与控制器品牌型号的限制，让国内终端加工厂商不受厂内不同品牌的机床与控制器限制，皆可透过安装本机边运算系统，进行机台智慧升级。各项智慧化模块分述如下：

传动轴螺帽状态自主检测

开发螺帽摩擦力矩预估算法，并整合轴承力矩估测算法之估测结果，将伺服驱动器之力矩去耦合，独立求得螺帽力矩，以估测螺帽刚性，达成刚性预估准确度≥ 90%。同时建构螺帽热效应分析技术，预测螺帽温度，达成预估准确度 85% 以上。另外将建立传动元件摩擦扭矩模型和传动理论分析，由传动元件摩擦扭矩可推估螺帽预压值和传动刚性，进而推知传动系统因转动所产生的精度误差，是否会导致传动元件预压减少以致失效，或传动元件磨损老化情况是否会导致力矩急遽增加。

旋转轴热变位自主检测与精度补偿与冷却机调变

开发旋转轴流体分析与热流固耦合分析技术，由马达 (DD 马达)、轴承之发热量，整合旋转轴数位估测模型进行旋转轴散热与热变位分析，估测旋盘温度分布与旋转轴轴向伸长量之热变位情形，达成轴向热变位预测误差≤ 10%，并将旋转盘之轴向伸长变形透过控制器进行刀长补偿，提升机床加工准确性。

在冷却机优化调变方面，旋转轴待机时冷却机会持续运转，造成旋转轴过冷。透过控制器连线，当旋转轴待机时，自动调整冷却机运行，有效降低旋转轴待机再加工段差，此模块透过与机台控制器连线，自动判断调整旋转轴冷却机运行，能有效降低旋转轴待机再加工段差并减少能源消耗。降低非加工时冷却机能耗≥ 50%。

结果与讨论

本研究目标着重于机床设备自主照护技术，研发成果对于产业机械产业链之贡献在于提供完整的机床设备精度自主照护解决方案，相关贡献说明如下：

建置机床机边运算系统与设备自主照护技术来满足需求，加速金属加工业者因应国际局势多变及客户逐渐提升加工质量及效率的要求，同时追求产业永续发展，进而增加终端客户信任度。

导入设备状态自主检测与调变技术，可以快速检测设备状态、有效缩短调机时间，减少 50% 的设备临时故障机率及 50% 设备能耗成本。

藉由导入设备状态自主检测与调变技术，将设备状态检测进行数字化及可视化管理，降低人力作业耗时与准确率偏低等问题，有效提升产品质量与交期，亦可降低设备检修之成本 30% 以上，提升公司产品竞争力。MFC