

The image shows a close-up of a CNC machine's control system and a large, polished metal component. On the left, a control panel features a monitor displaying a graphical interface with various data points and a keypad with several buttons. To the right, a large, cylindrical metal part with a threaded section is visible, showing fine machining details. The background is slightly blurred, suggesting an industrial setting.

CCMT2014特刊(二)

数控系统及功能部件新发展

数控系统和功能部件是数控机床中的关键部件，直接决定着机床的可靠性、效率和精度。

滚珠丝杠的精度保持性、直驱电动机的应用、线型导轨的普及以及数控系统的智能化功能越来越受到用户的关注，本期策划也因此特向滚珠丝杠、直驱电动机及数控系统方面的专家约稿或采访，以期得到更多的概念和启示。

在即将举办的CCMT2014展会中，智能机床将成为展会亮点之一。智能化在目标上具有从减轻体力劳动向减轻脑力劳动转变的特点，在控制对象上具有从机械运动控制向信息控制转变的特点，在控制方式和过程上具有从被动的程序执行到对任务理解、环境理解、行动规划转变的特点。因此，智能技术成为智能制造的前沿和热点。CCMT2014展会诸多展品结合自身专业特点，在不同程度、不同侧面，展示了展品的“聪明才智”。另外，数控系统、功能部件也将成为展会亮点之一，读者可关注一下国产系统和部件在高端机床上的应用情况。

策划：赵宇龙

智能化是数控系统的发展趋势，智能化的数控系统可使操作简便，可使数控机床提高精度和效率。本期的产业论坛邀请到西门子许正顺、海德汉张兴全和发那科栗炜三大数控系统品牌的代表，以及曹彦生、柯秉光和刘一博等用户代表就数控系统的智能化问题进行探讨，以期引起大家的共鸣。

智能化的海德汉数控系统

约翰内斯·海德汉博士（中国）有限公司技术总监 张兴全博士



智能制造技术是在现代传感技术、自动化技术、网络技术、拟人化智能技术等先进技术的基础上，通过智能化的感知、人机交互、决策和执行技术，实现设计过程、制造过程和制造装备智能化，是信息技术和智能技术与装备制造过程技术的深度融合与集成。

智能化机床就是对制造过程能够做出决策的机床。智能化机床，不仅要实现操作安全简单化，同时又要具备高精度和高效率。当前国际高端的数控机床已经具备了很多智

能化技术，比如德马吉机床的防撞功能、自适应控制功能、五轴自动标定/补偿，主轴监控/诊断等，瑞士GF阿奇夏米尔机床的智能机床功能，日本马扎克振动抑制、主轴监控、热位移控制以及防撞等功能。同时，智能化机床与工业机器人相辅相成，可促进智能制造和工厂自动化的实现。

数控系统是数控机床实现智能化的核心控制部件，是实现各种智能化功能的平台。国内外数控系统厂家均在开发一些智能化的功能，

以适应机床智能化的需要。海德汉的数控系统除了具有较强的高速/五轴功能外，在过去几年中推出了大量的智能化功能，以提高复杂机床操作安全性，并达到高速/高精/高质量的完美融合。这些功能在2013年汉诺威EMO展会得到了充分展现。本文后续部分简要地介绍部分海德汉系统能够提供的智能化功能。

智能防撞功能（DCM）

随着机床结构越来越复杂，机床使用的安全性是机床投资者和作者非常关心的话题。以前靠人工和机外软件模拟来防止机床碰撞发生已经不能满足要求。因此需要数控系统具备实时防撞功能，保护机床不发生碰撞，从而降低机床使用成本并减轻操作者的劳动强度。

海德汉自2007年EMO展会首次推出实时防撞功能（DCM）（见图1）以来，DCM已经得到了不断的完善，并在复杂五轴联动机床中得到了推广应用。其基本原理是将机床运动部件的几何尺寸和运动关系集成进入数控系统，数控系统实时监测机床测量反馈原件的位置，避免刀具与机床运动部件间或刀具与夹具碰撞的强大功能。数控系统检测到可能发生碰撞危险时，将停止轴运动并同时显示报警信息。因此有助于避免机床损害和代价高昂的停机时间，使无人值守换班生产

更安全、更可靠。

此外, 海德汉VirtualTNC软件允许机床仿真应用软件(虚拟机床)能完整仿真生产设备(见图2), 能仿真所有控制功能, 与执行控制功能的实际机床的情况完全相同, 事先优化现场生产过程。



图1 防碰撞功能系统界面



图2 虚拟机床界面

动态高效

如何提供机床尤其是高端机床的使用效率, 是所有机床制造商和最终使用者都关心的问题。海德汉在2013年EMO展会上推出了其数控系统的另外一个智能化功能——动态高效组合, 经检验在初加工重切削过程中可以提高效率达40%。这套组合功能包括: 有效振颤控制(ACC), 自适应控制(AFC)和摆线铣削。下面对每个功能进行简要介绍。

1. 有效振颤控制(ACC)

大切削力在粗加工中不可避免, 特别是加工难切削材料时, 容易导致振颤。有效振颤控制

(ACC)是一个用于降低刀具振颤的控制功能。如果不进行控制, 振颤将在工件表面留下斑点, 同时刀具将出现严重的不规则磨损, 情况恶劣时刀具甚至能破损。这种振颤也将造成机床机械负载大幅增加。ACC保护机床免受振颤作用影响, 同时提高其性能。ACC功能可有效抑制振动干扰, 或者允许更大进给, 因此可提高金属切削效率。对有些加工任务, 可轻松提高20%以上数控加工过程。图3比较结果显示用ACC功能加工的表面没有斑点。

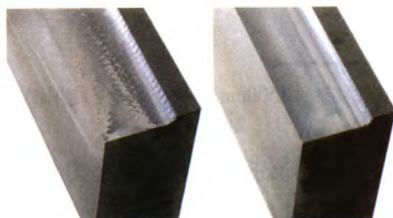


图3 ACC对加工的影响

2. 自适应控制(AFC)

自适应控制(AFC)允许数控系统按照主轴功率负载大小, 自动调节进给速率。AFC工作时, 进给速率调节不是来自倍率调节旋钮, 而是来自主轴功率和其他工艺数据。这种自适应控制有以下很多优点:

(1)提高加工效率 加工余量和材料经常有变化, 特别是铸件, 自动调整进给速率可以使数控系统尽可能在整个加工过程中保持原定的最大主轴功率。这样在小切削量加工部位处提高进给速率, 因此它能缩短加工总时间。

(2)刀具监控 数控系统可以一直比较主轴功率和进给速率, 如果刀具变钝的话, 主轴功率将增加, 这时数控系统降低进给速率, 一旦低于所定义的最小值, 数控系统显

示出错信息或停机, 以防刀具断裂或磨损带来的伤害。

3. 摆线铣削

摆线铣削的优点是能高效加工各类槽。粗加工是用圆弧和直线运动的叠加, 摆线铣在高强度或高硬度材料加工中具有突出优势: 刀具全切削刃加工, 切削量大, 振动小。图4所示应用实例: 该例先使用常规方法加工, 然后使用摆线铣削和AFC加工。

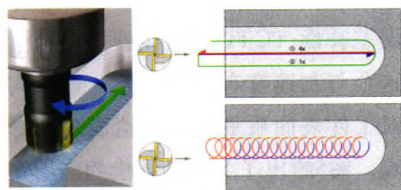


图4 摆线铣和AFC结合使用案例

动态高效(ACC、AFC和摆线铣削)智能功能组合, 可以改变传统工艺方法, 为机床提高效率提供了可能。

动态高精

机床精度提高是一个永恒的话题, 它是零件加工精度的保证。海德汉在2013 EMO展会上推出的另外一组智能化功能是动态高精功能。动态高精是一系列能显著提高机床加工精度的功能, 尤其是针对复杂轮廓的高速加工。动态高精功能包含以下功能: 关联机床轴的位置误差补偿(CTC), 有效降低传动链和机床的振动(AVD), 机床位置/受力/运动自适应控制(PAC/LAC/MAC)。

1. 关联轴误差补偿(CTC)

零件高速加工过程, 短直线段的插补使机床处于频繁的大加速度加工过程, 机床结构受力加大。使机床结构弹性变形, 因此导致刀具

中心点 (TCP) 偏离位置。除了轴向的变形, 机械联接轴的大加速运动, 也导致与机床轴在与加速度垂直的方向的变形。如果机床轴的受力点不在重心线上, 制动期间和加速期间将造成机床轴倾斜, 这时这个问题更加突出。这导致刀具中心点 (TCP) 在加速轴和横向轴方向的位置误差与加速度大小成正比。如果通过刀具中心点 (TCP) 测量找到动态位置误差与轴加速度的函数关系, 海德汉系统提供的关联轴误差补偿 (CTC) 功能就可以补偿这个与加速度有关的误差, 避免其对工件表面质量和精度造成负面影响。图5给出了关联轴补偿的应用实例。

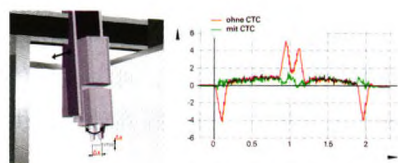


图5 CTC应用实例

2. 有效减振 (AVD)

此功能有效抑制机床低频振动, 允许高速无振动切削。同时, 允许大加加速度值, 使用更高加速度, 缩短加工时间而且提高表面质量和精度。图6显示了有无AVD功能加工表面质量差别。

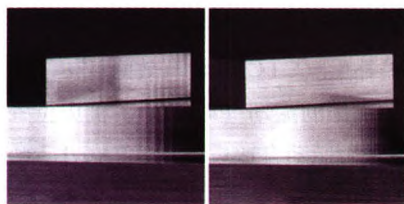


图6 有无AVD功能加工表面质量差别

3. 位置自适应控制 (PAC)

根据机床轴在加工区内的位置, 机床运动特性的动态表现不同, 它可能影响伺服控制的稳定性

(见图7、图8)。为最大限度提升机床动态性能, 用位置自适应控制 (PAC) 功能根据机床所在位置修改机床参数。因此可能在所需支点位置相应使用最佳控制环增益。此外通过与位置相关的过滤器参数定义进一步提高控制环稳定性。

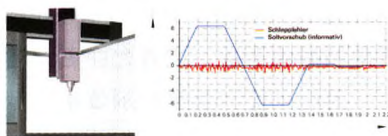


图7 ZO位置处伺服优化和跟随误差控制在公差带 ($\pm 1 \mu\text{m}$) 内

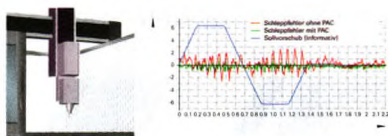


图8 Z轴伸Z500mm, 悬长加大是使用PAC前后对比

4. 伺服控制参数的受力自适应控制 (LAC)

旋转工作台机床的动态特性与负载的工件质量或惯性矩有关。受力自适应控制LAC功能用于使数控系统自动确定工件的当前质量、惯性矩和摩擦力。为了优化不同受力情况下的不同控制特性, 自适应前馈控制功能可检测加速度, 保持扭矩, 静摩擦和高轴速时的摩擦力数据。工件加工期间, 数控系统还连续调整自适应前馈控制参数使其适应工件的当前质量, 如图9、图10所示。

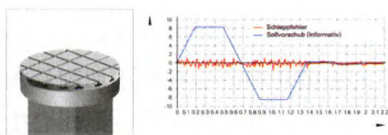


图9 回转工作台无负载时, 跟随误差在控制范围内

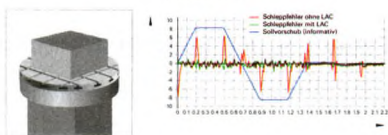


图10 加入负载, 使用LAC前后跟随误差的变化

自动校准和优化机床精度

现代数控机床精度要求越来越严格, 特别是多轴加工领域。海德汉新增的KinematicOpt (见图11) 是自动校准多轴机床精度的有效工具。可全自动测量机床旋转轴, 无论这个旋转轴用在回转工作台上, 还是用在摆动铣头上, 测量和补偿过程全自动, 这样就可以长时间的保证高精度的多轴加工。KinematicOpt功能的基本原理非常简单: 一个海德汉TS高精度3D触发式测头, 测量多个旋转轴位置处的高精度标准球的准确球心位置。根据需要, KinematicOpt自动优化被测轴。自动进行机床参数的修改。KinematicOpt测量时间值需要数分钟, 因此操作人员可以自己重新校准机床。如果基准球永久固定在机床工作台中, 甚至可以在两个独立的加工步骤间自动执行这个测量任务。因此能确保大批量和单件生产产品质量的高度稳定。

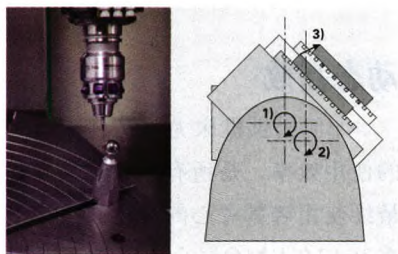


图11 KinematicOpt

结语

本文仅简要介绍了一些海德汉系统具备的部分智能化功能, 仅仅作为抛砖引玉。我们也真诚地希望国内机床行业能够利用目前产品升级的机会, 开发出更多高性能智能化的机床。海德汉愿与国内机床企业和最终用户共同成长。