

数控机床刀具状态监控技术研究

聂新宇 陈阳 侯金龙
(一汽解放汽车有限公司 吉林 长春 130011)

摘要: 刀具的状态是零件机加工环节产品质量保障的重要因素, 为保障产品的质量稳定性, 对于机床当前所装载刀具的磨损情况进行实时监控十分必要。本文研究了刀具的磨损状态与加工负载之间的关系, 确立对应的比对模型, 最终通过自行开发软件监控刀具的实时状态, 进行刀具损坏前的预警。

关键词: 刀具监控; 刀具磨损; 实时采集; 监控系统

1 刀具状态监控技术研究的必要性

数控机床的刀具状态监控(下文简称刀具状态监控)与零件的加工质量息息相关。现代化的数控机床具备加工精度高、持续加工可靠性好的优点, 机床本身和工装夹具相对质量更为稳定, 对工件质量的影响也就较少, 相反刀具的状态对零件加工质量和设备的综合生产效率的影响就更为突出。

在数控机床进行金属切削过程中, 刀具的自然磨损、破损是不可避免的。而刀具的磨损将会影响加工精度和零件的表面粗糙度, 刀具的破损不仅会降低零件的表面质量, 发生严重破损时更会影响机床的正常运行和主轴等关键部件的精度和寿命。因此, 在日常大规模的连续加工过程中, 需要实时监控刀具的状态, 当刀具的磨损已达到设定的标准或意外破损时, 按照影响等级来触发声光报警或者直接控制机床停止加工, 确保工件和设备的安全, 最大程度降低经济损失。

经过对汽车行业内类似企业的初步研究和测算表明, 通过给数控机床配备刀具状态监控硬件和软件后单台设备的生产效率提高 10%~30%, 零件返修返工率降低 20%~35%, 特定监控刀具的报废率降低了 10%。因此, 一汽解放汽车有限公司也建立了相应的团队来推动此类课题的研究。

2 技术路线概况

德国、美国和日本等发达国家在刀具状态监控技术上处于领先水平, 也有很多成熟的软硬件产品在市场上进行销售, 如意大利 Marpoos 公司的 ARTIS(德国品牌, 2008 年被收购)、德国 KOMET 的 ToolScope、德国 Montronix 公司的刀具和过程监控、德国 Siemens 公司的 ACM 等产品。但归根到底其方法可分为直接观测法和间接评估法两种路线。

直接观测法是通过检测刀具自身特殊位置的体积变化来反映刀具状态, 比较常见的有光学图象法、接触测量法、放射探测法等。直接观测法在实际切削中, 所需进行采集的刀具特征获取不易, 有些加工环节需要停机进行检测, 占用工时的同时还要对监测所用的探头等设备进行磨损评估和测量, 产生额外的工作量。在流程工业中大规模使用

的基于人工智能的图像识别技术在离散制造业的机加工场景也无法推广应用, 其主要原因是测量精度无法保障的同时还容易受到机床内部油污、切削液及金属碎屑的影响。另外, 直接测量法也无法做到刀具异常加工时的及时发现、及时报警, 通常会在已经加工完成后的下一次测量过程中才能发现。

间接评估法是通过监控会直接影响刀具磨损、破损的关键参量, 间接判断刀具的当前实时状态。间接评估法不影响实际的加工过程, 属于旁路式的监控模式, 能够实现在线的刀具状态监测, 及时发现刀具磨损并将磨损情况告知设备操作人员。早在 1989 年, Roberto Teti,G.F. Micheletti 已经在 Manufacturing Technology 上发表了相关的文章, 对加工过程中刀具磨损时切削力的变化进行了研究, 基本为后人探索如何基于监控主轴功率的变化来研究刀具磨损情况打好了相应的基础。但实际加工中产品的差异、设备的差异、刀具材质的差异都带来诸多的不可控因素和干扰, 如何剔除检测中的各种干扰, 提取有效的特征信号是其关键技术, 也是本课题的研究重点工作之一。

3 关键技术的研究

刀具状态监控系统一般所对应的软硬件系统组成, 硬件部分主要包含信号检测、高采样率支持的相关技术, 而软件部分则包含特征提取、数据过滤、实时对比等技术, 本文主要讨论关键的特征提取和实时对比技术。

3.1 特征提取

在机床的加工过程中, 设备的实际工作大致如图 1 所示。

对于对比分析机床实际加工过程中刀具的切削状态而言, 只有上图中绿色区域是需要真正记录和对比的, 剩余

准备加工	换刀过程	主轴加速	实际加工	主轴减速	换刀过程	主轴加速	实际加工	主轴减速	结束加工
			需保存				需保存		

图 1 加工过程

的时间所产生的信号仅做记录保存即可，并不参与后面的实际比对操作。绿色的区域也就是真正需要的特征区域，该区域的准确获取必须要机床 PLC 能给出系统相应的数字量信号，告诉系统当前是哪一把刀具正在进行有效切削，系统才能准确记录和标识这些信号量。在特征数据的存储上，采用了分流存储技术，即获取到真实加工的信号后，在原有的采集数据流之外另外开辟一个数据存储流的通道，并行记录这一部分符合特征的数据（整个程序的加工记录仍然会在主数据流中进行记录和保存）。

3.2 实时比对

在软件中进行实时比对技术最大的难点就是时间轴对齐，由于需要比对的数据是某一把刀具的实际加工开始和实际结束，因此在进行比对加载时必须要考虑时间轴对齐问题，如果发生时间轴偏差，则整改对比没有任何意义，也会产生大量的报警信号。在本次课题中，主要使用了两个思路来保障时间轴对齐，第一个思路是按照刀具号来配置刀具顺序，确保收到换刀指令时同步切换监控的刀具，每一个时间轴的开头都是换刀后的开头，这就一定程度上避免了加工时的时延、刀具换刀起始位置不同所带来的时间差影响监控效果。第二个思路就是每个程序可以手工配置时延参数，当发现监控模式与学习模式有时延时，可以手工设定该参数来消除时延。

另外，在实时对比过程中也对异常的尖峰信号进行了一定的滤除处理，例如某些信号出现时间很短但功率数值很高，这类数据往往是采集过程中出现的杂波信号，可以通过算法进行消除。

4 技术方案的验证

本课题的出发点与研究用于市面上销售的刀具监控系统不同，主要出发点是研究一套可快速复制、低价高效的刀具状态监控系统，降低每一台设备增加刀具监控系统的成本是重要的考核要点。因此，市面上成熟而复杂的刀具监控系统动辄单台十几万的价格明显不适应上文所描述的出发点，车间需要的是一套适用度高、功能清晰简单、硬件通用程度高的产品。

4.1 硬件设计

考虑到产品研发出后的大面积推广和使用，在设计之初就充分考虑了硬件的可替代性。各种相关的器件如采集器、传感器、继电器等均未选用国外品牌，

而是选用了可以长期、大量供货的国产知名品牌，一方面可以降低成本，另一方面可以降低后期因采购断货后软件失效的风险。

另外，在硬件选型时考虑到机床内部的工况比较恶劣，需要所对应的器件可以承受高温、油污方面的考验，因此在选型时全部硬件设备的选用都按照工业级使用要求来进行选型和采购，确保整个硬件系统的稳定性和可靠性。硬件设备的组成关系如图 2 所示。

在硬件设计过程中，采集器不仅需要从数控设备的主轴获取稳定的模拟量采集数据，还需要从数字量 IO 端口

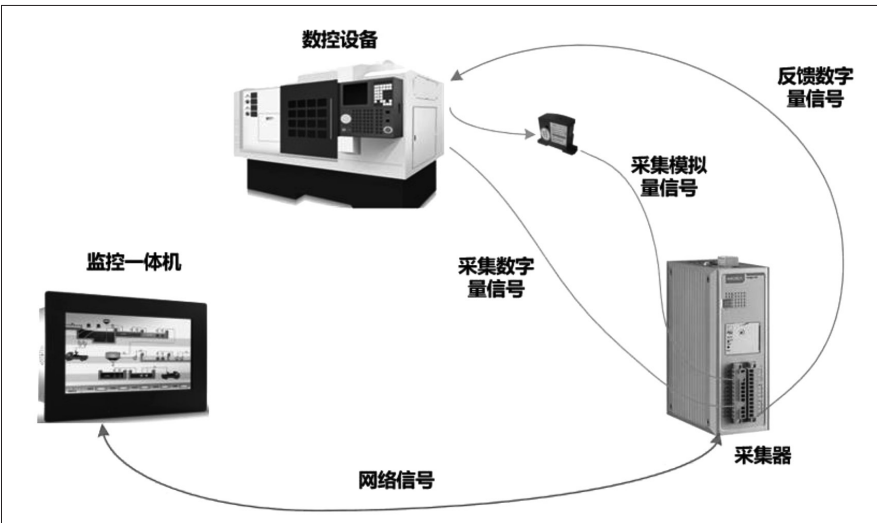


图 2 硬件组成关系图

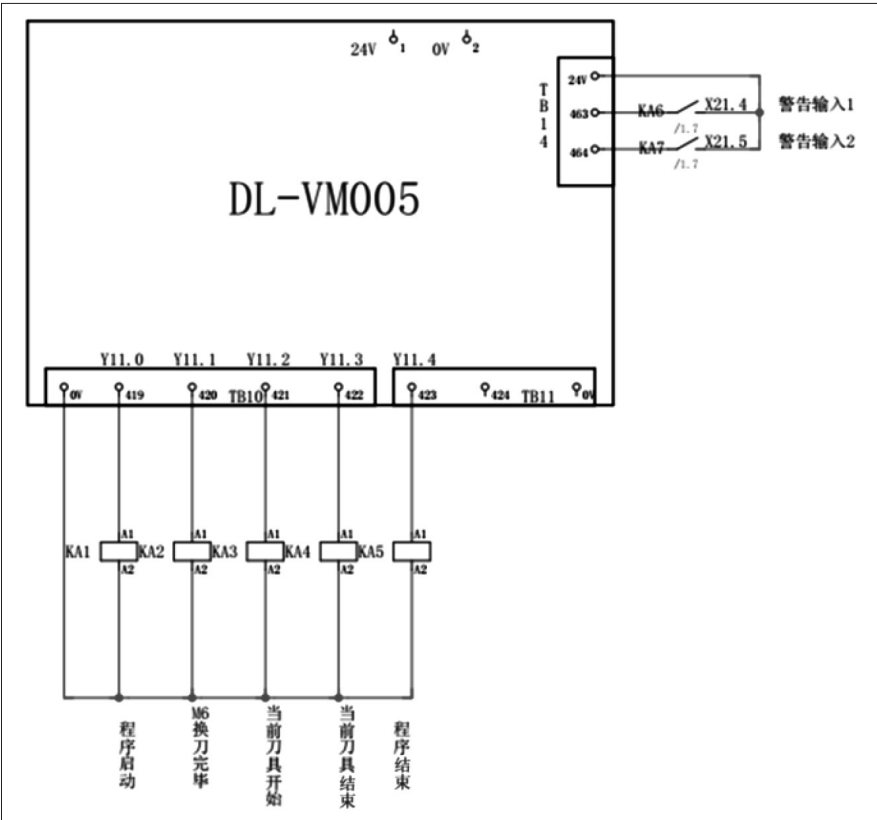


图 3 PLC 修改情况

获取设备的各项执行状态（如开始加工、停止加工、换刀等信号），这就需要对硬件设备端进行一定的改造，通过修改设备的 PLC 电路，将数控程序中加入 M 代码，可以将 PLC 的信号通过继电器传递给采集器。机床 PLC 的修改情况如图 3 所示。

4.2 软件功能设计

软件部分的设计考虑到系统的功能以监控采集和实时处理分析数据为主，且企业里的并没有对应的专职开发人员，因此没有选择市面上主流的开发语言如 Python、C++ 和 JAVA，而是采用了美国 NI 公司的 LabVIEW 程序开发

表 模块主要功能

序号	模块名称	主要功能
1	刀具配置功能	刀具信息配置功能主要是用于定义不同的数控程序中刀具的顺序信息，以便于生成学习曲线时可准确记录是哪一把刀具在什么时候进行的加工操作。理论上每一个需要监控的 NC 程序都需要为其生成一个唯一的刀具信息文件。
2	学习功能	学习功能主要用于记录某道工序在刀具状态良好的情况下所产生的主轴负载信息。这些信息会被程序以点位方式进行记载，并在监控模式中通过波形图显示。学习功能所记录的数据要求一个 NC 程序对应一个学习文件，如果调整加工参数时，需要进行重新学习操作，重新学习的信息将会自动覆盖原有的学习记录。
3	监控功能	监控功能主要用于实时监控机床加工过程中的刀具异常情况，如发生异常时则给机床推送报警信息，并可驱动机床进行进给保持操作，避免发生进一步的损害。监控模式的原理是将当前实时采集的数据与该 NC 程序所记录的学习数据进行比对操作，如果比对的值超出所设置的阈值范围，则驱动报警信号进行报警操作。
4	历史数据读取功能	历史数据查看功能主要用于查看之前的监控文件，主要选择监控日志目录下的文件。系统会将该历史文件的点位信息以波形的方式展现出来。
5	端口配置功能	端口配置功能主要用于定义每一个 IO 端口所对应的采集内容。通常情况下首次配置好以后可以不用调整，但当采集器发生接口损坏时，可以在设备上改完端口后再次配置。

环境来进行设计开发工作，该软件最大的优点就是组件化、可视化开发模式，通过拖拽相应的组件，构建相应的逻辑连线即可完成相应的测试和开发工作。

功能设计方面考虑到程序的主体运行环境是在机床旁外加的终端上，工人操作时需要尽可能地简单便捷，不需要录入额外的数据，最好只是简单的选择和开始、结束操作即可。因此将程序设计了五个主要功能，分别是：刀具配置功能、学习功能、监控功能、历史数据读取功能和端口配置功能，其中操作工需要使用的主要是学习功能和监控功能，维护管理员需要使用其他的三个功能，操作逻辑

如图 4。

各个功能模块的主要职责如下表所示。

4.3 实际使用效果

软件的开发周期约为 2 个月，期间经历了多个版本的迭代，最终定为 v1.5 版本，已经可以做到对真实加工的过程进行采集和比对，使用效果良好，目前在一台 FANUC 0i-MD 数控系统的加工中心上成功使用，已对该设备上的主要生产任务所使用的数控程序进行编辑，确保可以真实有效地监控刀具的状态。

经过 1 个月左右的适用，在车桥零件某工序中面铣刀

和反铣刀的监控上准确率可达到 90%，发生报警后拆除刀具进行测量可发现刀具确实出现明显磨损，已不再适用加工，需要修磨或者直接换新。对于钻头和精镗刀的准确率可达到 70% 左右，仍需进一步优化程序。

5 结语

本课题的初步成功基本可证明该技术方案的路线完全可行，通过主轴功率采集来进行刀具状态监控的路线完全适应于车桥产品加工，可以逐步在车间进行下一步的推广以及后继版本的持续研究。

参考文献：

[1] 熊青春, 李卫东. 刀具状态监控技术在数控铣削加工中的应用 [J]. 航空精密制造技术, 2021, 57(01): 41-44.

[2] 黄圣贤. 基于 EtherCAT 的车间刀具异常监控网络系统研究及其应用 [D]. 华中科技大学, 2019.

作者简介: 聂新宇 (1981.04-), 男, 汉族, 吉林长春人, 本科, 高级技师, 研究方向: 数控加工。

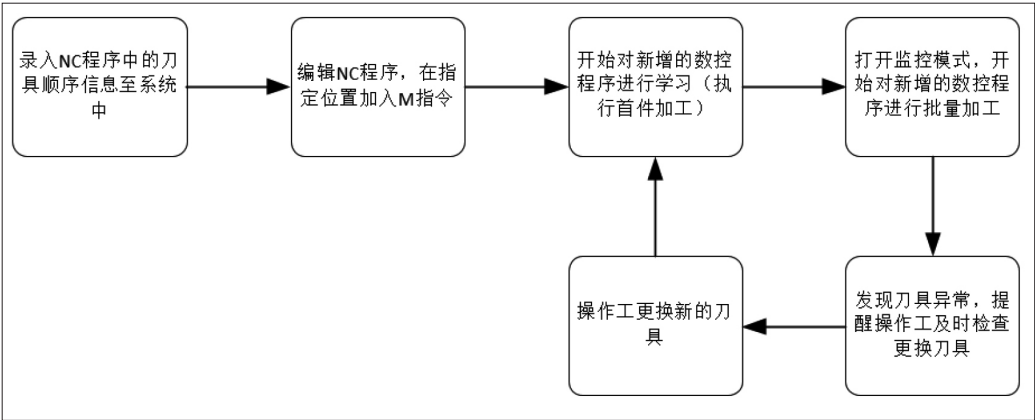


图 4 系统基本操作逻辑