

刀具特殊状态检测系统设计

聂新宇 楚勃 陈阳 侯金龙
(一汽解放汽车有限公司 吉林 长春 130011)

摘要: 老旧数控机床在加工过程中, 会出现刀具断裂和换刀掉落检测手段缺失的问题, 为了解决以上问题, 设计了基于 FANUC 系统的刀具特殊状态检测系统。改造该系统需要布置光电传感器、修改 PLC 程序和设置中文报警等环节。系统工作时采用特定程序代码主动发起检测, 发现异常时触发机床报警停机, 达到避免经济损失和设备停台的效果。系统具有检测精度高、响应速度快、改造成本低、简单可靠等特点, 具备大范围推广应用的条件。

关键词: FANUC 系统; 刀具特殊状态; 外围硬件; PLC 程序

1 项目背景

数控加工中心凭借其高效率、高精度、工序集中等特点已在机械加工行业中逐渐取代普通机床, 成为各类机加企业里的主力设备。尤其是关键工序, 多由高档的数控加工中心完成。切削刀具在数控加工中尤为重要, 其状态决定了设备是否能高质量完成加工内容, 而刀具的一些特殊状态也会对工件、夹具和设备造成较大影响。生产现场切削刀具常出现的特殊状态有两种。

特殊状态一: 刀具掉落。自动换刀装置是数控加工中心高效率、工序集中的重要原因, 而加工中心长时间生产运行, 会造成自动换刀装置机械结构磨损, 常导致在换刀过程中刀具掉落。致使本应加工的工序没有加工, 就会造成后续加工的刀具损坏。

特殊状态二: 刀具断裂。现场加工的工况比较复杂, 常会出现一些变化点, 例如毛坯硬点、余量过大、刀具重磨质量不良、设备异常等情况, 会造成刀具在理想寿命前破损断裂。由于生产中操作者多是一人多机操作, 距离远无法及时发现刀具断裂情况, 尤其是在孔加工中, 当钻头断裂后零件底孔未加工完成, 就会造成后续的铰刀或丝锥等碰撞到未加工完成的底孔而破损。

生产线现有设备绝大多数没有配备刀具状态检测系统, 当刀具掉刀或断裂不能及时发现就难免造成后续的刀具损坏、零件报废, 甚至夹具和设备损坏, 带来巨大的直接和间接经济损失。

为了监控数控设备刀具的状态, 目前市场上的解决方案主要分为两种: (1) 实时监控方案: 高端或重点设备一般具备刀具状态监控功能, 通过对主轴功率信号等进行实时采集和判断, 从而间接完成对刀具状态的实时监控。在刀具断裂或主轴无刀具加工时, 主轴功率曲线会明显偏离理想功率曲线, 当偏差超过一定设定值时, 系统会报警停机提示, 避免刀具在继续加工时造成的后续损失。此种刀具状态监控系统, 市场上在售的产品有以色列的 ACM、意大利的 ARTIS 和德国的 Montronix 等品牌, 售价在 15 ~ 26 万元不等。几种监控系统可通过内嵌系统或外围硬件改造使机床具备监控功能, 监控系统兼顾大部分系统和设备。虽

然监控系统及时有效, 但价格昂贵, 无法大范围推广使用。(2) 离线检测方案: a) 机内检测仪: 加工中心在刀具完成加工后, 主轴抓取刀具主动去靠近量仪进行接触式触发测量, 当发现刀具长度变化超过设定值时进行报警, 市场上在售的机内机械接触式检测仪的价格大概是 0.5 ~ 2 万元, 高端的激光非接触式检测仪价格大概是 5 ~ 7 万元。机内检测仪检测刀具状态的方法精度高, 可以准确测得刀具具体长度, 但设备主轴需要停止加工后带着刀具去检测状态, 影响生产节拍, 造成加工效率的降低。市场常用的机内检测仪品牌有雷尼绍 Renishaw、马波斯 Marposs、哈先锋等。b) 机外检测仪: 机外检测仪使用时, 刀具完成加工后交换回刀库侧的预换置刀位上, 刀库侧摆臂式检测仪驱动摆针去碰触刀具, 当摆针未在指定位置碰触到刀具时说明刀具发生断裂或掉刀, 设备立刻报警停机。刀库侧摆臂式检测仪价格大概约 1.5 万元左右, 成本较高。市场常用的机外检测仪品牌有美德龙 METROL 和 BK Mikro 等。

2 系统设计方案

为了实现掉刀和断刀两种刀具特殊状态自动检测问题, 需要设计一种检测系统, 可以在老旧数控加工中心上安装, 低成本、高效率地解决刀具断刀和掉落检测的问题。制定方案如下: 基于工厂数量较多 FANUC 0i 系列加工中心, 搭建外围硬件, 使用非接触方式的反射式传感器进行检测, 传感器布置在刀库侧。刀具从主轴交换到刀库侧后, 执行检测指令实施光电检测。当刀具正常时, 检测开关能接收到反馈信号, 检测系统判断刀具正常, 设备完成后续加工; 当刀具断裂或刀具在交换时掉刀 (刀库侧处于无刀状), 检测开关接收不到反馈信号, 检测系统判断刀具异常, 设备立刻执行报警停机, 保护主轴上的刀具、工件、夹具等, 避免损失扩大。

3 技术方案

现场使用的加工中心多为立式加工中心, 刀盘结构多为立式圆盘刀库。根据具体检测需求制作检测示意图如图 1。如图 1 (a) 所示: 针对刀具 (钻头) 断裂, 可将检测开关光线调整至刃尖处, 刀具完好时, 检测开关接收反射光, 开关呈触发状态; 刀具断裂时, 开关无法接收反射光线, 将不再触发。如图 1 (b) 所示: 针对刀具掉落, 将开关光线调整

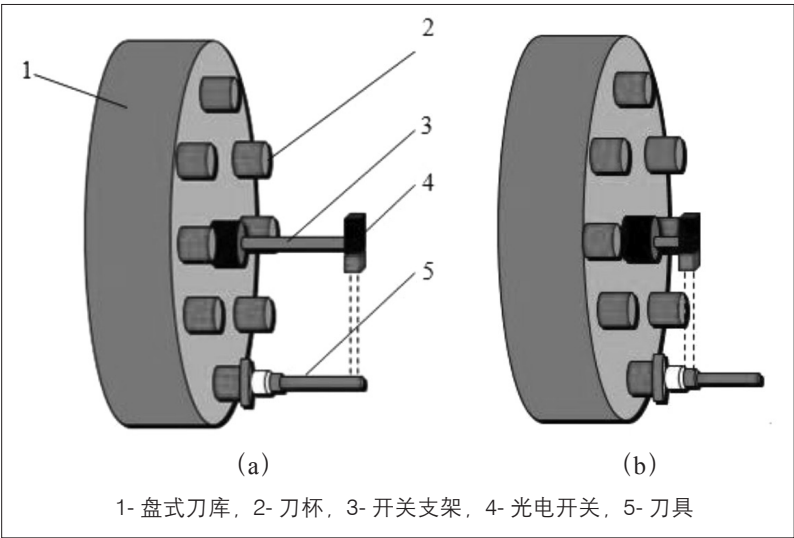


图 1 刀盘库原理示意图

至刀体处，刀具正常回到刀杯时，检测开关呈触发状态；刀具在换刀时掉落，刀杯中无刀具，开关无法接收反射信号，检测开关将不再触发。

设计中需要修改 PLC 程序和加工程序：光电开关在机床开机后便为使用状态，即开关会因反射光线的接收而触发或不触发，相应的外部输入信号也会有高低电平的变化（本设计中为 X6.0），但只有 CNC 系统发出指令（本设计中为 M90 指令）时，输入信号的变化才会在 PLC 程序中被使能，从而影响机床控制。如图 2 所示，当加工程序执行 T2;M6 后，主轴现有刀具被交换到刀库预换置刀位，当执行到 M90 程序段时，检测开关被激活检测功能，机床执行检测行为，对刀库侧预换置刀位的 T10 进行刀具状态检测，判断是否断裂或中途掉落。如无异常 M90 指令结束后继续加工，如有异常则报警，检测速度快，耗时约为 0.1 秒，不增加加工循环时间。

4 技术论述

数控机床实现以上受控的刀具状态检测功能，需考虑以下 3 个问题：

4.1 如何编写检测指令和指令代码说明

FANUC 0I 系列梯形图编程语言中提供了两个功能块指令 SUB4 (DEC) BCD 译码、SUB25 (DECB) 二进制译码

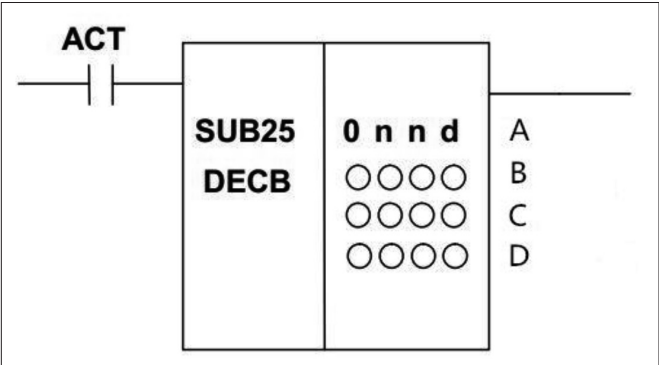


图 2 SUB25 格式

可供机床制造商或终端用户实现自定义编辑辅助功能指令（即 M 指令）。SUB4 指令只能进行单个指令的译码，而 SUB25 指令可以进行多个指令的译码，故一般情况机床制造商选择 SUB25 进行译码，下面对 SUB25 的使用方法进行详细说明。SUB25 可对 1 到 4 字节的二进制代码数据进行译码，当所指令的连续 8 位数据之一与待译码数据相同时，输出对应位为 1。

SUB25 具体格式如图 2 所示，A 代表 SUB25 的指令格式，nn 代表译码的组数，当 nn 为 00 时，视为 1 组，1 组为 8 个指令，d 代表待译码数据的字节长度；B 代表译码数据地址，FANUC 系统指定 F10 ~ F13 为译码数据地址；C 代表连续译码指令的数字地址，如为 0003 则表示译码指令从 M03 开始；D 代表译码数据输出地址；ACT 代表功能块的控制条件，为 1 时执行译码指令，相应的译码数据输出地址会为 1，为 0 时将所有输出复位，FANUC 系统 M 指令选通信号地址为 F7.0，即当机床程序执行 M 指令时，F7.0 为 1，由 NC 输出到 PLC，一般作为 SUB25 的控制条件，或使用其相关的 R 地址线圈的常开触点作为控制条件。

通常机床终端用户在机床中增加 M 指令，使用机床制造商预留的指令与相关地址来进行编辑，本设计中使用机床预留指令 M90 来进行编辑相关功能。经查阅机床资料，M90 未被机床使用，其对应译码输出地址为 R591.2，即当机床程序中执行 M90 指令时，R591.2 为 1。编辑 M 指令还需考虑在执行 M 指令且机床实现相应功能后可以结束，否则在加工程序中将无法进行接下来的指令。G4.3 为完成信号，由 PLC 输出到 NC，一般作为机床 M/S/T 功能的结束信号，即相关 M 指令输出地址（本设计中为 R591.2）的常开触点与机床需实现相应功能有关的开关信号（本设计中为 X6.0）的触点（需根据实际情况确定常开或常闭）串联，触发 G4.3，即可实现 M 指令的结束。

4.2 如何编辑报警

FANUC 0i 系列中 A 地址被规定为信息选择显示地址，该区域有 A0—A249 共 250 个字节，A 地址以位形式显示，每一位对应一个信息。当某个 A 地址在 PLC 程序中被触发时，相应的报警信息将显示在 CNC 屏幕上，并根据设置的报警号段（如下表所示），机床将进入相应的状态。

当检测到刀具异常时，机床需立即停止。因此可将报警号段设置在 1000 ~ 1999 号段，当相应的 A 地址被触发，机床将进入报警状态；或设置在 2000 ~ 2999 号段，并在梯形图中将相应的 A 地址的常闭触点串联至急停或进给保持信号线圈程序段（急停信号 G8.4、进给保持信号 G8.5），当报警时机床也将立即停止。以上两种方案，可根据需改造机床 PLC 程序中预留的 A 地址与报警号段进行选择，尽量与原机床报警号保持顺序，方便维修人员阅读与维护。在本设计中所改造的机床，根据其预留地址与号段，使用 A4.3 作

表 报警号段对应表

报警号段	CNC 画面	显示内容
1000 ~ 1999	报警信息画面	报警信息 • 机床进入报警状态
2000 ~ 2099	操作信息画面	操作信息 • Message 界面显示操作信息和号码
2100 ~ 2999		操作信息 • Message 界面只显示操作信息，不显示号码

为触发地址，报警号选择 2320。

报警信息可在机床侧 CNC 上进行编写，根据系统不同操作方法也不尽相同。推荐在 PC 端使用 FANUC LADDER-Ⅲ进行编写，打开 PLC 程序，进入 MESSAGE 界面，在所使用的 A 地址处即可进行报警信息编辑。为方便操作者阅读，本设计采用中文报警，由于 FANUC 系统无法直接识别中文，需要特定的输入格式与中文十六进制转码，即 GBK 编码，才能实现在报警界面实现中文显示。报警信息均以报警号开头，中文报警需在报警号后添加 @04 作为开始代码，以 @01 作为结束代码，中间则输入所需中文报警的十六进制转码。当刀具异常报警时，报警信息为“刀具状态异常，请查看”，经查阅得到中文转码，即输入的完整格式为：2320@04B5B6BEDFD7B4CCACD2ECB3A3A3ACC7EBB2E9BFB401@。

4.3 如何搭建外围硬件

采用 OMRON 生产的型号为 E3JM-DS70M4 的反射式光电开关，其接线如图 3 所示，在①、②两端接入机床 24V 直流电源为开关供电，③、④为开关的一组常闭触点，④、⑤为一组常开触点，将④和⑤中一端接 24V，另一端接机床预留外部输入信号。本设计中使用的机床预留信号为 X6.0，当光电开关接收到反射光线时，常开触点闭合，X6.0 将接收到高电平，在 PLC 程序中 X6.0 将为 1。

机床预留外部输入信号的物理地址的接线形式根据机床厂家的不同会有所区别，主要的两种形式为有中间过渡板和无过渡板。改造有过渡板机床，可根据电气图纸确定预留外部输入信号在过渡板上的位置进行连接；改造无过渡板机床，IO 模块电缆中未使用的输入信号线会埋在线槽之中，可直接在空余接线端子上进行连接。需要注意：无论是哪种形式的连接，都需要在 PLC 梯形图程序中检查使用的预留外部输入信号对现有机床功能无影响，否则不能使用或需要进一步修改。

5 结语

2019 年 4 月已经完成方案的可行性验证和首台样机改

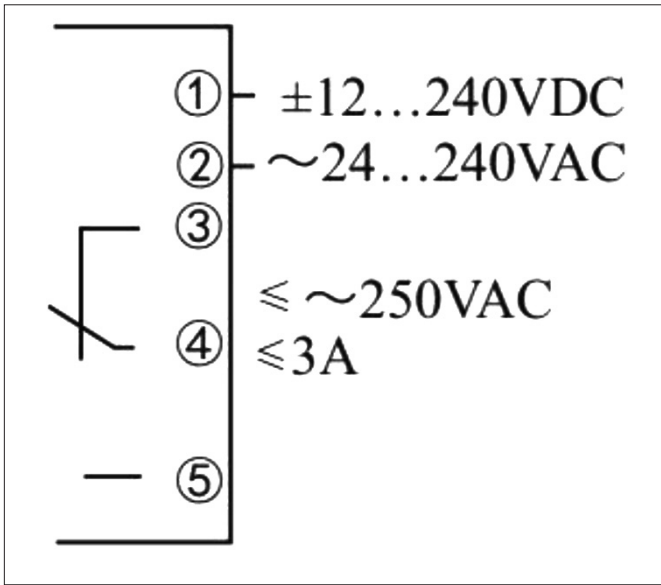


图 3 接线图

造，该样机可以实现刀具（钻头）断刀的检测，当钻头由于一些原因造成断刀，换刀后将在刀库侧完成检测，异常时会触发机床报警，避免后续铰刀造成撞刀的问题，有效避免铰刀损坏和因撞刀造成的工件废品损失。截至目前，已经对 23 台有需要的立加或卧加实施“刀具特殊状态检测系统”的改造安装，监控刀具的断刀或掉刀问题，有效减少因刀具异常造成的刀具、工件、夹具和设备损坏现象，避免大量异常损失。

总结本设计具备以下特点：(1) 结构简单，改造成本低，约 300 元/台；(2) 检测速度快，耗时约为 0.1 秒，不增加加工循环时间；(3) 检测元件为光电形式，无机械磨损，寿命和精度保持性好；(4) 兼容性高，不仅可在 FANUC 系统上应用，也可拓展到其他数控系统，有利于推广应用。

该检测系统的补充说明：(1) 本检测系统可以检测刀具掉落或刀具（钻头）明显断裂，当刀具只是发生崩刃、掰刃等情况时，刀长变化小，该检测系统无法准确识别；(2) 该系统一个检测开关可以检测刀长相近的其他刀具，如果刀具长度相差太大，就需要增加检测开关的数量，并安装调整至相应位置。

参考文献：

[1] FANUC 梯形图编程语言说明书 [M]. 北京：2001.
[2] 刘红艳. 功能指令 SUB25 的应用研究 [J]. 湖北理工学院学报, 2017(6)13-16.

作者简介：聂新宇（1981.04-），男，高级技师，学士学位，研究方向：数控加工。