

西门子840D数控系统在机测量技术在柔性生产线上的应用

张永岩, 方芳, 杨双, 李福春

航空工业哈尔滨飞机工业集团有限责任公司 黑龙江哈尔滨 150066

摘要: 针对在机测量技术在柔性生产线上的应用, 结合技术研究应用实践, 对西门子840D数控系统在机测量技术应用相关编程及后处理技术进行探索, 总结出了一套安全有效的测量和安全运行控制方法, 为在机测量技术在数控机床和生产线上高效、安全的应用提供了有效的技术途径。

关键词: 西门子; 840D; 在机测量; 数控系统; 后处理

1 序言

随着柔性智能生产线在机械加工领域逐步得到普及应用, 基于在机测量系统的工件自动化找正技术成为生产线准确高效装夹工件、自动基准找正、加工特征尺寸及状态确认等的必备技术。而由于自动化生产线采用的数控设备控制系统有多种选择类型, 所以针对每种数控系统实现专门的找正测量及基准自动计算补偿功能成为生产线是否能够高效运行的技术关键和技术难点。本文结合我公司中小型结构框梁柔性生产线建设应用过程中的在机测量技术开发应用成果, 探讨了西门子840D数控系统在机测量技术在工件找正和测量过程中安全应用的实现方法^[1]。

2 西门子840D数控系统测量功能的实现

在西门子840D数控系统中, 有两种方式可以实

现测量功能: 一种是利用西门子控制系统提供的测量固定循环指令, 其优点是可以直接调用此类指令进行特定特征的测量, 如单点测量、孔径测量、孔心位置测量、圆柱体外径测量、圆柱截面中心位置测量和平面测量等, 缺点是依赖于系统功能, 对测量获得的数据处理灵活性差, 二次开发处理困难; 另一种是通过测头触发控制指令自行定义特征的测量控制过程, 其优点是可以不依赖于西门子数控系统中的测量循环指令, 通过使用系统基础的测量控制指令对测量的每个动作进行定制化定义, 灵活性强, 缺点是对每个测量动作的控制都要精细化设计定义, 并对测量数值进行数据分析和综合处理, 对各类算法的开发能力要求较高。本文针对机加结构件自动化生产线上配置的西门子840D五坐标卧式数控加工中心设备在机找正测量的需求, 采取第二种方式对测量过程实现的方法进行研究和开发应用。

参考文献:

- [1] 谢黎明, 张威, 靳岚. 6061铝合金高速铣削切削参数对表面粗糙度的影响分析[J]. 机械设计与制造工程, 2018, 47 (3): 56-60.
- [2] 程瑞, 吕海霆. 液压泵缸体专用分度转位夹具设计[J]. 制造业自动化, 2018, 40 (1): 108-109, 115.
- [3] 么居标, 曹著明, 孙红梅, 等. 复杂曲面五轴数控加工关键技术研究[J]. 机械设计与制造, 2017 (7): 128-130.

- [4] 陈娟娟, 巨孔亮. 面向表面质量的工艺参数稳定域优化研究[J]. 机械设计与制造工程, 2021, 50 (11): 41-45.
- [5] 晁冰, 牛兴华, 马天柱, 等. 球头刀铣削零件表面扇形残留研究[J]. 现代制造工程, 2020 (7): 46-52.
- [6] 胡运林. 球刀加工表面质量的控制研究[J]. 机床与液压, 2012, 40 (14): 37-38, 4.

MW 20240626

3 在机测量功能开发实现

在实际自动化生产线应用中，数控加工时主要用到的找正测量功能类型包括：通过测量两孔进行加工基准摆放方向的拉直修正，通过测量两凸圆台进行加工基准摆放方向的拉直修正，通过测量一个立边两点进行加工基准摆放方向的拉直修正，通过单孔或凸圆台进行基准点位置修正，通过单孔或凸圆台进行孔径尺寸或凸圆外圆直径尺寸评价等。

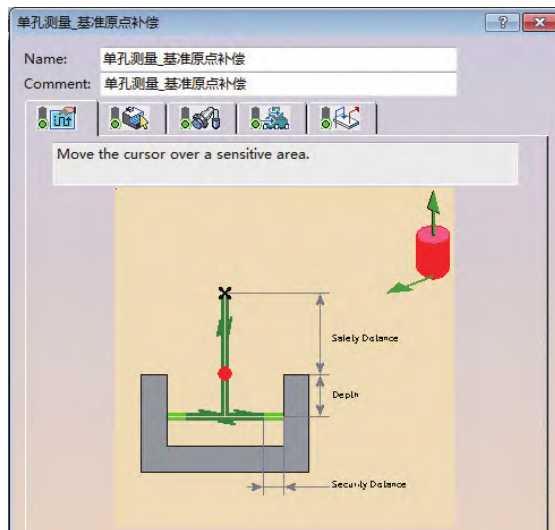
3.1 数控编程方案

目前在很多数控编程软件中具备常规的测量动作轨迹编程功能，以航空领域常用的数控编程软件CATIA V5为例，该软件具有通用的孔或销测量、槽或筋测量以及点测量等轨迹设计功能，并能够输出通用的测量轨迹数据及控制指令，能够满足一般几何特征的测量。

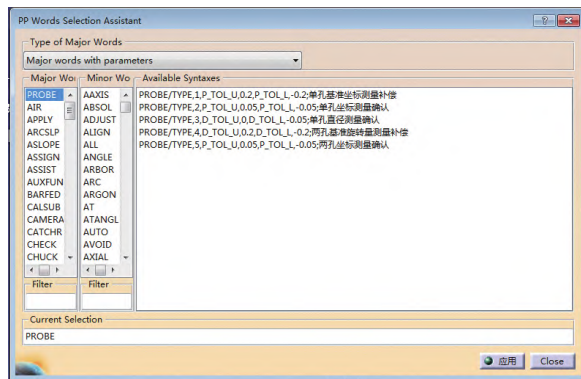
在实际应用中，每种测量获得的数据可能有多种用途，在编程阶段必须定义不同的关键字标识符来区分用途，例如针对单孔的测量，可以用于单点基准孔的位置测量、基准坐标补偿以及坐标位置符合性判断；两孔的测量可用于判断零件或毛坯理论位置和实测位置在测量平面上的偏斜程度，或者用于加工基准在测量平面上的旋转补偿量计算和基准补偿。

标识符要在CATIA V5的数控“加工操作”（Machining Operation）中进行定义，有多个位置可选实现：①利用“加工操作”的名称进行定义。这种方式下，标识信息会在每个加工操作数据信息之前输出，便于对该测量动作尽快进行识别和特殊处理，如图1a所示。不足是仅能手动输入，便捷性不足^[2]。②利用后处理关键字语法定义的方式在每个Machining Operation前进行定义，如图1b所示。这种方式下，可以通过选择的方式进行，其便利性和准确性都很高。

利用参数变量对每个与测量操作有关的参数、指令等信息进行格式化输出，输出的顺序、格式等均可自行定义，但要满足后处理开发对信息获取的需要。比如在CATIA V5中“%MFG_PROBING_CONTACT_DEPTH”代表沿探测方向从理论点开始的探测深度，“%MFG_PROBING_SIDE_MODE”代表是孔内径测量还是销外径测量，“%MFG_



a) 利用“加工操作”的名称



b) 利用后处理关键字语法

图1 标识符定义方法

PROBING_DEPTH”代表从被选择的探测元素所在平面向下探测的深度等，这些变量能够将编程界面上的参数化数据及信息输出到APT中。

3.2 测量程序后处理开发

针对测量程序后处理开发，由于测量指令动作的复杂性以及测量后数据的特殊性，建议采用具有较高二次开发能力的通用后处理开发工具，或采用利用高级语言自主开发的方式。开发的重点内容包括以下几个方面。

(1) 对测量功能类别的识别 对APT中的“OPNAME” “\$\$ OPERAT ION NAME”或“\$\$ Start generation of :”后的信息进行匹配确定，一旦识别为某一种功能后，即可进行针对性处理。使用“OPNAME”会比较安全，使用“\$\$ OPERAT ION NAME”或“\$\$ Start generation of :”有可能会在CATIA V5中APT生成时因屏蔽Statement信息输出造

成功无法识别。

(2) 对测量循环语句进行识别处理 在控制语句“CYCLE/PROBE”和“CYCLE/OFF”之间是通用的测量路径和参数，后处理将更加详细地对通用参数以及测量GOTO点进行解析，得到完整的测量轨迹和测量动作控制参数。在此基础上，按照一定的处理逻辑，生成特定测量循环的测量控制指令语句。以孔销测量为例，生成的探测APT数据如下。

```
OPNAME/孔测量_基准原点补偿
OPTYPE/PROBE,6
RAPID
GOTO /0.00000,0.00000,90.00000,0.000000,0.000000,
1.000000
FEDRAT/3000.0000,MMPM
GOTO /0.00000,0.00000,80.00000,0.000000,0.000000,
1.000000
PROBE/6.000000, 3.000000,$ 80.000000,0.100000,$DIAM
ET,12.000000,4,$ 360.000000,0,$DEPTH,10.000000,$MMPM,1
000.000000,3000.000000,6000.000000,$OFSETL,0.000000,0.00
0000,$ORIENT,0.000000,-1.000000,0.000000
GOTO /0.00000,0.00000,0.00000,0.000000,0.000000,
1.000000
GOTO /1000.00000,0.00000,0.00000,0.000000,0.000000,
1.000000
CYCLE/OFF
RAPID
GOTO /1000.00000,0.00000,100.00000,0.000000,0.000000,
1.000000
$$ End of generation of : 孔测量_基准原点补偿
```

由于采用MEAS通用测量指令进行测量，因此要使用如安全高度、探测深度、沿探测方向从理论点开始的探测深度、孔或销的直径以及是孔内径探测还是销外径探测等数据，对探测路径进行重新分解和计算，得到与编程环境中相同的测量动作。由图2、图3可以看到，对于孔内径测量，需要将测头沿着轴向空行程定位到孔内后，再分解成向孔周围不同方向的探测路径；而对于销外径测量，需要在安全距离处即将空行程分解为不同方向探测的起始XY位置，并逐个以空行程行进到探测起始位置，然后向销柱中心方向进行探测。为提高探测精度，每个探测方向提前进行探针定向，保证工件与探针接

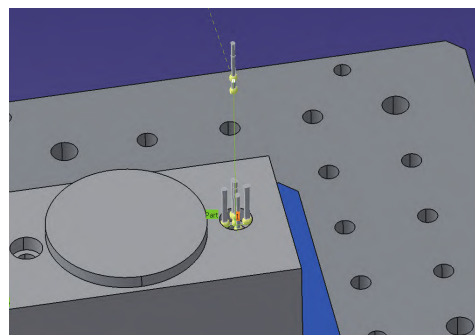


图2 孔内径测量轨迹示意

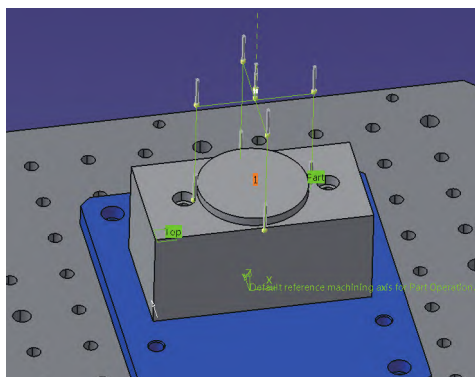


图3 销外径测量轨迹示意

触位置相同。

(3) 对测量动作的处理 对于孔特征测量，常规的处理方式是：快速定位到安全高度处空行程点→快速定位到探测前定位点→以接近速度定位到接近距离探测起点→以探测速度用MEAS指令控制向探测深度终点行进（过程中遇到接触停止）→快速回退到探测前定位点→以接近速度定位到下一个接近距离探测起点→以探测速度用MEAS指令控制向探测深度终点行进（过程中遇到接触停止）→快速回退到探测前定位点→重复其他点直到所有点结束→快速回退到安全高度处空行程点，这样完成一个孔的探测。探测过程中用不同的变量记录所有位置点获得的数据。测量动作指令举例如下。

```
G00 X0 Y0 Z50
G01 Z30 F5000
Z-6 F600
X2
MEAS=1 X6 F200
X2 F5000
```

利用所有已获得的数据通过特定的算法计算得到孔直径数值和孔中心坐标，并根据测量功能类别进行下一步的赋值、比较等操作。比如对于两孔测

量进行工件摆放角向的补偿，通过计算得到具体角向补偿角度，并赋值到当前加工基准的旋转值参数中^[3]，实现角向补偿坐标系摆正。角向补偿指令序列举例如下。

$R1=ATAN2(R56-R52,R55-R51)$ ；R1为最终计算得到的角向补偿值，其他R变量为中间变量

$\$P_UIFR[1,Z,RT]=\$P_UIFR[1,Z,RT]+R1$

$\$P_UIFR[1,C,TR]=\$P_UIFR[1,C,TR]+R1$

(4) 对测量过程中探测不到物体的异常情况处理 在测量过程中，很有可能因为孔尺寸异常、孔位置异常，造成测量过程中探测不到接触点或者在非探测路径上发生意外触碰。

测量过程中探测不到物体时，一般不会造成撞机等严重事故，但对于自动化生产线，需要操作人员介入处理。可利用变量“\$AC_MEA[1]”来控制：\$AC_MEA[1]=0，表示测头未触碰到物体未被触发；\$AC_MEA[1]=1，表示测头触碰到物体被触发。如果在MEAS指令控制程序段执行后\$AC_MEA[1]=0，说明没有接触到工件实体，暂停等待处理。相应控制指令逻辑举例如下。

IF \$AC_MEA[1] == 0

MSG(“未探测到工件”)

M0 或 M30；根据希望控制措施的程度选用

ENDIF

在非探测路径上发生意外触碰时，可能会发生探针损坏等严重问题。针对此情况，由于仅有MEAS能够提供相应保护，所以可将所有快速定位到安全高度处空行程点、快速定位到探测前定位点等非MEAS指令控制的动作改造为由MEAS指令控制的动作，并在每一个非测量定位动作完成后，通过“\$AC_MEA[1] <> 0”反向判断是否发生触发。如果测头被触发，表明有异常测头接触，程序自动终止，能够最大限度减少撞机事故。这种测量功能使用的控制逻辑对于自动化生产线安全运行是非常有效和重要的。相应控制指令逻辑举例如下。

N1G60 G1 MEAS=1 X0 Y0 Z50 F10000

N2IF \$AC_MEA[1] <> 0

N3MSG(“发生触碰，终止运行”)

N4M0

N5M30

N6ENDIF

N7G60 MEAS=1 X0 Y0 Z30 F5000

N8IF \$AC_MEA[1] <> 0

N9MSG(“发生触碰，终止运行”)

N10M0

N11M30

N12ENDIF

N13G60 MEAS=1 X0 Y0 Z-6 F600

N14IF \$AC_MEA[1] <> 0

N15MSG(“发生触碰，终止运行”)

N16M0

N17M30

N18ENDIF

N19G60 MEAS=1 X2 Y0

N20IF \$AC_MEA[1] <> 0

N21MSG(“发生触碰，终止运行”)

N22M0

N23M30

N24G60 MEAS=1 X6 F300

N25IF \$AC_MEA[1] == 0

N26MSG(“未探测到工件”)

N27M0

N28M30

4 结束语

本文探讨了基于西门子840D数控系统的在机测量技术在自动化生产线上进行特征测量及基准补偿、测量值差异判断的实现方法，并完善了对测量点无法探测到实物以及非测量动作接触工件的异常情况的识别控制逻辑，提高了自动化生产线在机测量技术应用的实用性、准确性和安全可靠，该技术已在我公司结构件柔性生产线加工中得到应用验证，为类似柔性生产线建设应用提供了技术经验。

参考文献：

- [1] 邓集松. 西门子数控系统测量功能开发[J]. 机械工程师, 2012 (6) : 80-81.
- [2] 王飞. 基于雷尼绍测头的西门子840D s1的测量循环调试及应用[J]. 制造技术与机床, 2018 (7) : 172-175.
- [3] 张永岩, 方芳, 陈铁, 等. 机械加工智能生产线在机测量及仿真技术应用[J]. 金属加工 (冷加工), 2022 (12) : 77-81.