

机床在线检测技术研究

■ 中国电科集团公司第38研究所 (安徽合肥 230088) 何章峰 郑 杰 黄艳云

摘要: 研究数控机床自动在线检测的编程和测量结果数据的软件自动处理, 提升了在线检测的实用性和可行性, 为实现数控机床的在线检测生产应用奠定了基础。

1. 机床在线检测的意义

随着数控机床的发展, 缩短非加工时间已成为有效提高加工效率的重要途径之一。手动对刀、工件找正和检测是既耗时又易产生操作误差的过程。手动测量往往依赖于操作人员的技能, 将工件移到测量机上或其他脱机检测方法都耗时较大。使用机床在线测量则可快速地完成在机检测工件并自动设定偏置补偿值, 从而可以增加机床有效工作时间和提高工件成品的尺寸精度, 并且可以省去因精密加工需要所产生的机外对刀仪、昂贵的夹具等费用。

数控铣床中绝大多数都可以配备激光测头系统, 但是真正使用探头的设备较少。主要由于激光探头系统作为检测硬件, 需要不定期地标定, 补偿测头三个方向的误差, 如果不能及时标定, 探头测量基准偏差就会带到零件加工中, 造成零件生产超差, 甚至报废。

随着高精密零件的不断增多, 出现大量尺寸公差在 $\pm 0.01\text{mm}$ 的零件, 对加工提出了非常大的挑战。如果按照原来

的加工方法, 零件在机床上完工后, 拆装夹转移到三坐标测量仪上测量, 出现尺寸超差时再考虑返工。由于零件精度太高, 再回机床返工难度非常大。首先, 重新装夹时会产生重复装夹误差; 其次, 刀具基准设定也会带来误差; 再次, 刀补误差也会随之产生。所有这些误差的累积会导致返工结果难以保证尺寸要求。

为了确保此类高精密零件的加工要求, 关键是要能够在机床加工过程中实现检测, 根据测量结果及时修正数控程序和刀具补偿数据, 最终得到非常高的加工精度。首先考虑使用机床自带的探头系统。机床在线检测能够实现加工检测一体化, 缩短产品生产周期, 同时也是数字化车间的重要方向之一, 生产信息能够及时反馈到机床和信息平台, 对实施全数字控制车间意义重大。

2. 难点分析

数控机床在线检测一直没有得到应用, 主要存在以下几方面原因:

(1) 机床探头的精度可靠性验证难度大。机床上配备的激光探头系统是依托设备本身的, 精

度受机床影响大。对于普通加工中心, 由于自身精度较低, 无法作为检测工具进行判断加工零件的符合性。高速铣削中心都是光栅闭环结构, 精度高, 可以进行过程测量并作为初步判断依据。另外, 作为检测工具, 机床探头需要定期标定, 与标准量块作对比, 适时补偿误差。

(2) 机床检测程序是专用格式, 目前常用的CAM软件无法实现自动编程。海德汉系统的机床测量孔的程序循环主要为英文界面, 操作者难以识别其中含义, 阻碍其深入学习。机床固有测量循环程序如下:

```
1 TCH PROBE 421 MEASURE
HOLE ~
Q273=-34.5; CENTER IN 1ST
AXIS ~
Q274=+0; CENTER IN 2ND AXIS
~
Q262=+2.05; NOMINAL
DIAMETER ~
Q325=+0; STARTING ANGLE ~
Q247=+90; STEPPING ANGLE ~
.....
2 TCH PROBE 421 MEASURE
HOLE ~
```

Q273=+6.35; CENTER IN 1ST
AXIS ~

Q274=+11.68; CENTER IN 2ND
AXIS ~

Q262=+2.6; NOMINAL
DIAMETER ~

Q325=+0; STARTING ANGLE ~

Q247=+90; STEPPING ANGLE ~

.....

对于其他系统，测量程序都有自己固定的格式。目前，数控编程采用Mastercam软件，不具备直接编制测量程序的功能。为了满足在线程序的软件编制，只有根据程序的特点，定制软件功能，并且二次开发软件的后处理，最终生成机床识别的在线检测程序。

(3) 测量结果数据为TXT格式，识别性差。对于高速铣削中心在线检测的结果数据，只能选择生成TXT文档记录。但是，由于文本查看的不直观性，导致机床的测量结果不能一目了然地判断大量测量结果的符合性。因此，要在真正意义上实现复杂零件的在线检测要求，最终必须解决测量数据处理的难题。

3. 在线测量硬件条件分析

现有数控铣削机床中绝大多数都配备了激光探头系统，具备特征检测的功能。其中高速铣削中心的探头功能更为强大，在形状特征测量上与三坐标设备没有差别。

(1) 测头工作原理：海德汉公司的3D测头（见图1）用光学开关作传感器，透镜系统汇聚LED发出的光束并聚焦在差动光电池上。探针偏离自由位置时，差动光电池发出触发信号。非接

触的光学开关传感器没有磨损，因此能保证长期稳定地工作。光学触发器的触发时间为40 μs，这是海德汉公司3D测头的突出特点。触发时间的长短很大程度上决定了工件的测量精度。

(2) 接收单元（见图2）：TS 640测头通过红外线光束传输触发信号。SE 640接收单元安装在机床加工区内。红外线传输对噪声不敏感，甚至允许被反射，因此适用范围很广。将测头安装在摆动主轴头上，如果需要更大传输范围，还可以通过APE 642的连接单元，连接两个SE 640，因此能够保证信号的顺利接收。

(3) 反馈单元：KKH 250标准球，把测头检测到的数据反馈

给控制系统，并记录数据表。

(4) 测头与数控系统的连接：在iTNC 530数控系统中，连接TS、TT工件与刀具测头的接口分别为X12、X13，因此与系统的连接操作非常便利。操作者在MOD模式下输入密码123，进入客户参数区。其中参数6000~6599为TS、TT测头的控制参数区域。针对TS系列工件测头的参数，主要修改6个参数即可，其他参数均采用系统默认值。由于系统标准PLC文件库中已经包含了TS系列测头所需要的控制程序，因此无需客户编制任何PLC控制程序。在手动模式下，进入刀具表（TOOL TABLE），假设测头为36号刀，退出刀具表后设置生效。当用户调用36号刀具时，用户界面右下方闪烁红色字符：PROBE，即表明所调用的为测头。

4. 在线测量程序分析

在高速铣削中心iTNC 530数控系统中的测量循环分为两组：手动或手轮模式下的手动测量循环；程序运行模式下的自动测量循环。

(1) 手动模式或手轮模式下的测量循环。手动模式下的测量循环只用于对正工件或找正工件原点。测头在测量点间的移动通过手动定位，通过软件选定测量方向后，按循环启动键，系统自动执行测量动作。当循环所要求的测量动作全部完成后，测量信息会显示在屏幕中，同时可将测量值自动保存在预设表（工件坐标系设置）或数据表（工件坐标偏移）中，也可通过PRINT键直接将测量值保存在独立文件或直

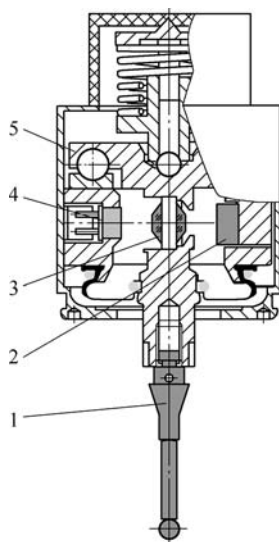
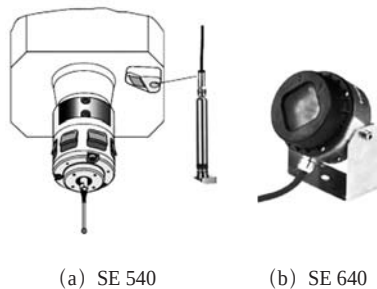


图1 海德汉3D测头

1. 探针 2. 差动光电池 3. 透镜系统
4. LED 5. 轴承板



(a) SE 540 (b) SE 640
图2 接收单元

接打印输出。

(2) 自动测量循环。在iTNC 530数控系统中按下相应的自动测量键后,就进入了iTNC 530系统的自动循环功能,所有的测量循环均为调用即生效循环(Definition Action),所有的测量循环动作系统自动完成,测量或找正结果自动保存在相应的Q参数、预设表或数据表中,并可通过系统提供的自定义表格功能生成测量结果表格。

(3) 测量准备。首先需要调整测头与主轴的同轴度,即安装测头后手动旋转主轴,调节螺丝,使径向跳动误差在 $\pm 0.003\text{mm}$ 以内。调整完毕后,可借助其他测量设备如对刀仪来测出测头长度,也可通过一把已知长度的刀具标定基面,再通过标准循环中校准有效长度功能来测出测头长度,然后使用环规测出测头半径。将测出的测头长度和半径填入刀具表中后,即可使用测头开始测量工作了。

(4) 测量程序。以实际测量的某天线零件为例(见图3、图4),下面是实际测量孔和槽宽的程序:

```
0 BEGIN PGM AA7-072-10620-
  F-TC MM
1 TOOL CALL 36 (调用36号刀
  具,即探头)
2 TCH PROBE 421 MEASURE
  HOLE ~ (探头测量循环421#
```

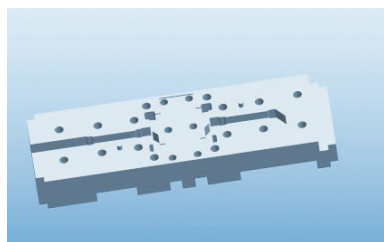


图3 测量零件三维图

```
孔测量)
Q273=-34.5; CENTER IN 1ST
  AXIS ~ (孔中心第一个轴坐标)
Q274=+0; CENTER IN 2ND
  AXIS ~ (孔中心第二个轴坐标)
Q262=+2.05; NOMINAL
  DIAMETER ~ (孔名义直径)
Q325=+0; STARTING ANGLE ~
  (测量起始点角度)
.....
3 TCH PROBE 425 MEASURE
  INSIDE WIDTH ~ (探头测量
  循环425#槽宽测量)
Q328=-24.2; STARTNG PNT
  1ST AXIS ~ (起始点第一个轴
  坐标)
Q329=+5; STARTNG PNT
  2ND AXIS ~ (起始点第二个
  轴坐标)
Q310=+0; OFFS. 2ND
  MEASUREMNT ~ (第二个测
  量点偏置距离)
Q272=+1; MEASURING AXIS ~
  (测量轴)
Q261=-2.5; MEASURING
  HEIGHT ~ (测量点高度)
Q260=+20; CLEARANCE
  HEIGHT ~ (安全高度)
Q311=+3.2; NOMINAL
  LENGTH ~ (名义长度)
.....
```

测量程序具有特定格式,数据都存储在Q参数中,与加工程序有较大差别,因此,程序不能

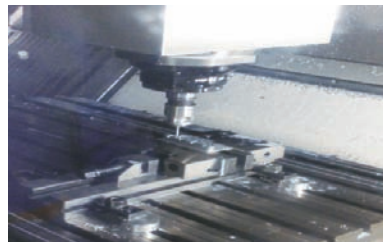


图4 机床自动在线测量

由常用的后处理直接产生,必须对CAM系统进行二次开发。

5. 在线测量结果数据分析

在线测量结果是机床特定的TXT格式,每种测量方式产生一种结果,相互不交叉,防止数据混乱。机床自动测量结果数据如下。

```
Measuring Log for Probing Cycle
421: Hole Measuring
Date: 10-05-2016
Time: 15:53:00
Measuring program: TNC:\HZF\
AA7-072-10622-Z-TC.H
Nominal values: Center in 1st axis:
-3.1000
Center in 2nd axis: -9.2000
Diameter: 2.0725
Given limit values: Maximum
dimension for center in 1st axis: -3.1000
Minimum dimension for center in
1st axis: -3.1000
Maximum dimension for center in
2nd axis: -9.2000
Minimum dimension for center in
2nd axis: -9.2000
Maximum dimension for hole:
2.1000
Minimum dimension for hole: 2.0000
Actual values: Center in 1st axis:
-3.0958
Center in 2nd axis: -9.2031
Diameter: 2.0834
Deviations: Center in 1st axis:
0.0042
Center in 2nd axis: -0.0031
Diameter: 0.0109
```

对于机床自带的处理结果,由于是文本格式,查看时不直观,无法直接判断大量检测结果的正确性,因此,需要在此基础

上进行数据处理。通过excel软件的筛选和排列等操作，将检测数据用表格方式处理（见附表），能够一目了然地查看到检测结果与实际尺寸的误差，从而便于判定加工超差与否。

6. 开发自动编程后处理软件

要实现CAM辅助编程，首先必须确定功能需求，根据测量程序的特点确定软件开发需求。后处理是将编程软件的刀具路径转换为机床指定的代码格式，随着机床系统的变化会作出不同要求。现有的高速铣削中心都是使用海德汉控制系统，属于较为高端的数控平台，主要应用在高速加工设备上。下面是根据探头测量程序要求开发的Mastercam后处理文件，能够按要求生成指定的测量程序。

```
# Post Name: MPHEID
# Product: MILL
# Machine Name: HEIDENHAIN
# Control Name: HEIDENHAIN
# Description: GENERIC
HEIDENHAIN 3 AXIS POST
# 4-axis/Axis subs: NO
# 5-axis: NO
# Subprograms: NO
```

7. 测量数据处理

机床生成的测量结果数据是TXT文本格式，难以统计和查看。对于图3所示的天线零件的测量，产生的测量数据量太大，不能满足实际生产要求。开发数据处理程序是实现工程化应用的最后一道关卡，因此，项目联合制造部，根据测量的实际需要制定了测量结果表格，通过软件处理，最终实现了测量数据由TXT格式向Excel的转化，实现了测量结果的生产应用。

8. 创新点

数控机床在线测量在国内没有看到应用方面的相关文献报道，主要因为探头系统是机床的选配件，价格昂贵，一般企业不愿意购买。另外，机床探头目前更多使用在基准设定等方面，主要由工人手工操作，效率低下。本项目主要针对上述问题开展技术研究，创新点包括：

- (1) 机床在线检测上实现了程序驱动测量，效率大幅度提升，克服了原操作者手工操作的弊端。
- (2) 在编程软件上开发了自动测量程序后处理，为复杂零件的测量编程创造了条件。

(3) 机床测量数据的快速高效处理方法为确保在线测量应用奠定了基础。

9. 结语

数控机床在线检测技术在某天线上进行了应用，取得了较好的结果。增强过程测量能力是高精密加工必不可少的环节。原来由于加工中受装夹影响，无法到三坐标设备上校核尺寸，只能通过工人打表或手工测量，存在人为误差，难以达到很高的加工精度。在线检测正好弥补了此缺陷，柔性大、操作简易，为高精密或超精密零件的加工提供了良好的手段。可见，在线检测具有良好的应用前景，具体包括：
①成为车间数字化生产的关键环节。
②作为智能化加工的关键技术。
③可推广应用到普通加工中心，全面提升数控加工水平。

当然，在线检测仍然存在问题，如质量管理体系流程、机床自身精度影响和生产管理规范等。在接下来的工作中，一方面要继续完善在线检测技术，另一方面也要制定管理流程，打通影响日常生产的所有环节，最终使在线检测能够全面应用于科研生产中。

参考文献：

- [1] 苗松. 海德汉工件测头TS 640在数控镗铣床上的应用[J]. 制造技术与机床, 2009 (12) : 141-142.
- [2] 王卫兵. 数控编程100例[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [3] 金涛, 王卫兵. 数控车加工[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.

MW (收稿日期: 20170423)

测量结果表 (单位: mm)

名义长度 (Nominal values; Length)	实际长度 (Actual values; Length)	偏差 (Deviations; Length)
13	12.969 7	0.030 3
13	12.976 4	0.023 6
13	12.991 1	0.008 9
13	12.992 6	0.007 4
13	12.994 1	0.005 9
13	12.994 8	0.005 2
13	12.995 6	0.004 4
13	12.995 9	0.004 1
13	12.996 0	0.004 0
13	12.996 1	0.003 9