

两周学会电极在机测量

西安研发中心应用技术部 编著

北京精雕集团

北京精雕集团·西安研发中心
应用技术部

版权所有，侵权必究！

网 址：<http://www.jingdiaosoft.com>

地 址：陕西省西安市高新区西部大道 119 号

电 话：029-84503040-8502

邮 编：710119

传 真：029-88443241

邮 箱：xian-tech@jingdiao.com

版 次：2019 年 4 月第 1 版

字 数：16 千字

印 次：2019 年 4 月第 1 次印刷

前言

在模具生产过程中，电极的加工品质直接影响模具的精度。电极加工的特点是需求量大、加工精度要求高、加工具有一定的难度。在加工中主要存在以下几个问题：

1) 加工偏位：电极加工中刀具使用量大，加工过程由于振动、温度等因素影响，会出现工件移位导致加工偏位现象；

2) 余量不均：加工过程中由于热变形、刀具磨损或让刀、开粗余量控制不均匀等因素导致电极余量加工不到位，增加电极返修时间，影响电极品质和加工周期；

3) 电极离线检测反馈滞后：电极加工完成后需要检测火花位余量是否均匀，客户电极检测主要依赖于三坐标检测，但是从送检到排队检测需要周期，当火花位余量不符合要求时，检测反馈滞后，不能及时反馈电极是否合格，可能造成批量性返工；

4) 电极离线检测工作积压：客户电极加工量较大，当检测不能赶上正常出货量时，客户只能抽检，可能导致漏检。

针对电极加工中出现的相关问题，精雕高速机结合在机测量技术，对电极重点尺寸及火花位余量等进行在机检测，提高生产连续性，保证电极品质。



了解到在机测量技术的引入，对电极中的重点特征尺寸及余量进行管控，保证电极加工品质，提高生产连续性。您是不是已经迫不及待想要掌握这项技术？到底怎么实现？零基础能不能学会？不用担心，我们为您精心策划了两周的进阶之旅，跟随我们的脚步，带您体验电极加工过程中余量量化管控过程，实时跟踪电极品质，实现加工后放心下机，从而提高电极生产连续性，降低生产成本。

以下是两周课程安排：

电极在机测量学习内容

- | | |
|-------------------------|-------------------------|
| ● 绪论（Day1） | ● 在机测量实现余量检测（Day6-10） |
| ● 电极在机测量应用流程（Day2） | ● 在机测量余量实时追踪（Day11-13） |
| ● 在机测量建立工件原点（Day3） | ● 在机测量实现可视化检测（Day14-15） |
| ● 在机测量建立准确工件坐标系（Day4-5） | |

目 录

前 言.....	1
目 录.....	1
第一章 绪 论	
1.1 什么是在机测量技术?	1
1.2 在机测量技术的基本构成.....	1
第二章 电极在机测量应用流程	
2.1 电极在机测量应用流程.....	4
2.2 电极在机测量工作划分.....	5
2.3 应用实例.....	7
第三章 在机测量建立工件原点	
3.1 功能介绍.....	8
3.2 实例应用.....	8
第四章 在机测量变换工件坐标系	
4.1 功能介绍.....	11
4.2 实例应用.....	11
第五章 在机测量监控余量状态	
5.1 功能介绍.....	14
5.2 实例应用.....	14
第六章 在机测量实时跟踪余量	
6.1 功能介绍.....	18
6.2 实例应用.....	18
第七章 在机测量检测报表输出	
7.1 功能介绍.....	20
7.2 实例应用.....	20
第八章 结 语	
附录一：在机测量基础参数检查.....	23
附录二：在机测量使用规范.....	26
附录三：在机测量基础标定.....	29
附录四：在机测量转台轴心误差.....	33

第一章 绪论

1.1 什么是在机测量技术？

一个完整的加工系统主要由 CNC 机床、刀具、生产人员、生产物料四个要素组成，这四个要素之间需要协同工作，才能维持整个加工系统的稳定运行。为了达到这个目标，很多生产管理者采取了一系列的改进手段，比如强化 SOP、不断投入装备条件等，但是产品的品质良率还是不受控。最终，他们发现，维持产品稳定生产的根本是做好过程品质管控，而在机测量技术就为实现这种品质管控提供了新的思路。

那么，到底什么是在机测量技术呢？

简单来讲，在机测量技术就是将三坐标、二次元、测刀仪等设备的功能移植到了机床内部，实现了产品品质的机内监测，让生产过程变得更加顺畅。

北京精雕自主研发的在机测量技术通过无缝集成 CAD/CAM 编程技术、精雕数控控制技术和精雕精密加工技术，不仅能准确测量复合误差，而且还可以基于误差实现自动修正，形成“制检合一”的生产模式。

1.2 在机测量技术的基本构成

精雕在机测量技术的灵活应用主要依托于硬件和软件的无缝集成。其中，硬件模块包括常用的接触式测头、对刀仪、CCD、机床内部传感器等，软件模块主要包括 JD50 数控系统、CAM 编程软件、JDNcEdit 程序编辑软件等。

1.2.1 在机测量系统硬件构成

在机测量可以接入多种硬件测量工具，其中最主要的硬件为测头和接收器。接触式测头和接收器是在机测量技术常用的硬件仪器，接触式测头用于信号的采集（如图 1-1），接收器用于信号的传输与处理。



图 1-1 接触式测头

1.2.2 在机测量系统软件构成

(1) JD50 数控系统

精雕数控系统地集成了在机测量技术，为精雕机床实现智能化数控加工提供了重要保障。其中，G100 特色指令封装了多项检测算法，是在机测量技术应用的核心指令，如图 1-2 所示：

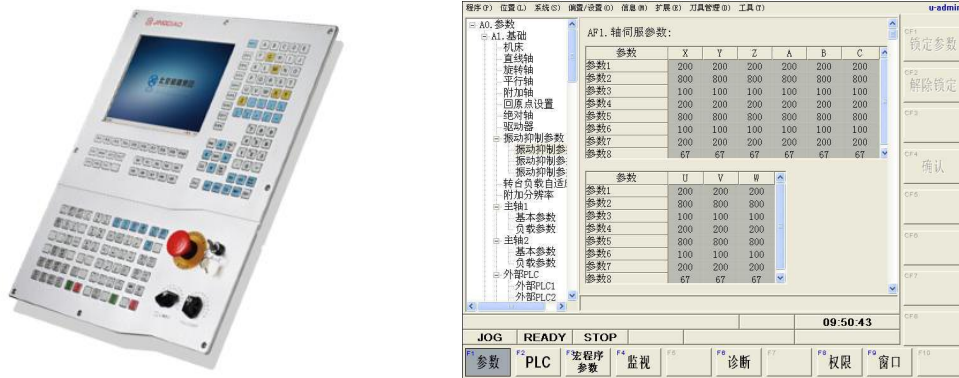


图 1-2 JD50 数控系统

(2) 在机测量 CAM 编程软件

精雕在机测量技术将编程部分的工作融合到 JDsoft-SurfMill 软件中，使得测量编程和加工编程一样，降低了在机测量技术的使用难度。如图 1-3 所示：

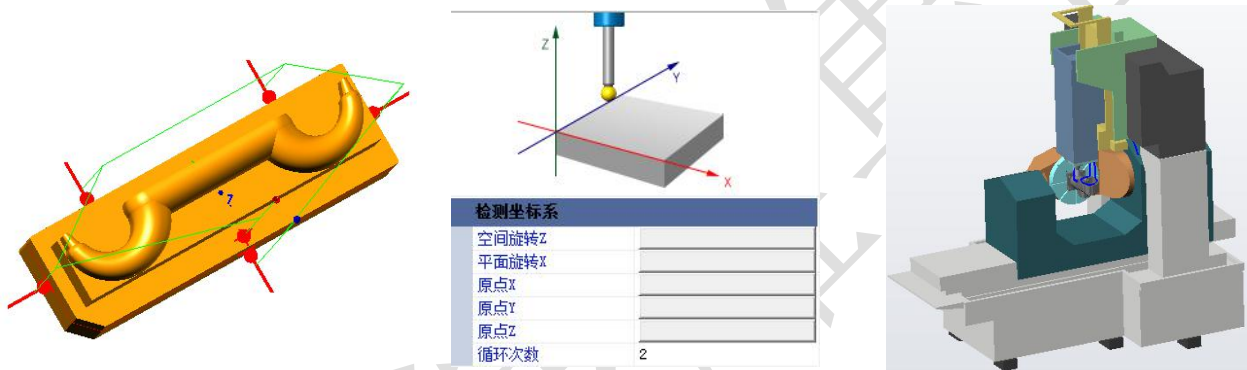


图 1-3 在机测量 CAM 软件

软件主要实现的功能为：

- ①基于 CAD 模型的编程，能够实现的功能包括坐标系建立、特征检测、补偿加工、报表结果输出等，通过不同功能模块的组合，可以实现复杂的测量需求；
- ②通过 CAM 软件进行规范化编程，建立虚拟加工环境、实现全过程干涉、过切检查以及防呆管控，保证输出的 NC 程序更加安全；
- ③编制的测量程序可在 CAM 软件端直接完成，减少了机床的占用时间。

(3) 在机测量程序编辑软件 JDNcEdit

JDNcEdit 软件是一款 NC 文件编辑软件，除常用的代码编辑功能外，还具有以下辅助功能，帮助用户进行代码审阅、结构调整，如图 1-4 所示：

- ①对话框形式输入或编辑 G/M 代码指令和常用程序段；
- ②树形式显示程序结构；
- ③自动代码提示功能，方便新用户使用；
- ④多行注释、书签、查错等功能。

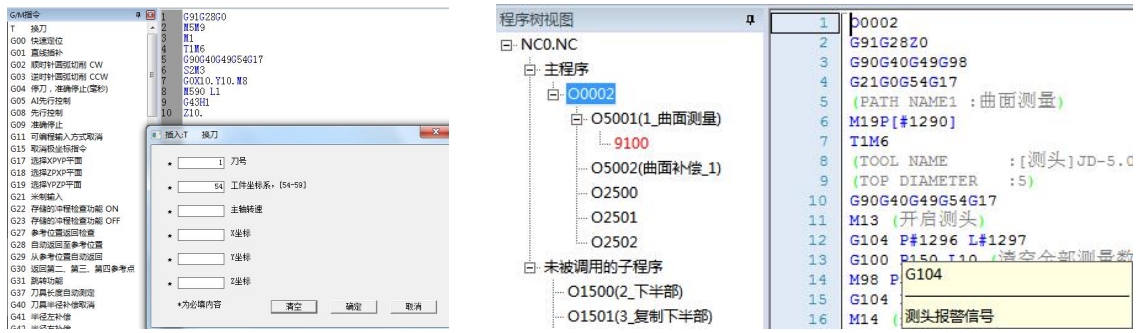


图 1-4 JDNCedit 编辑软件

第二章 电极在机测量应用流程

2.1 电极在机测量应用流程

在一款电极的加工测量过程中，我们会遇到很多棘手的问题，比如：

- 1) 当电极安装在机床上后，如何快速确定工件在机床上的位置？
- 2) 当电极的粗原点已知，如何建立准确的工件坐标系，来准确的定位工件的具体位置呢？
- 3) 电极加工特征较为复杂，火花位余量是否合格？如何保证电极表面效果？
- 4) 加工过程中，如何方便快捷的观察工件具体加工情况？如何分析余量分布情况，以管控加工过程并指导后续加工工艺？
- 5) 工件加工完成后，如何直观的观察当前整体余量分布状态并判断到底能不能直接下机？

针对以上五个问题，我们都可以通过在机测量技术进行一一解决。下面我们就电极加工面临的问题形成一套完整的方案流程，如图 2-1 所示。

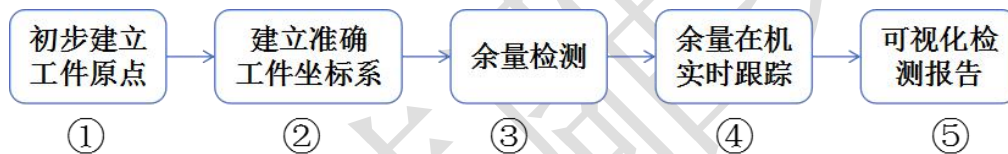


图 2-1 电极在机测量流程

具体解释如下：

2.1.1 在机测量建立工件原点

工件装夹在机床上后，通过在机测量简单确定工件装夹在机床上的位置，相较于传统刀具与分中棒分中，操作简便，结果准确，节省时间与人力。

2.1.2 在机测量建立准确工件坐标系

在加工过程中，建立一个准确的工件坐标系来确定工件的精确位置，为后续余量检测、余量跟踪等功能打好基础。

2.1.3 在机测量实现余量检测

在机测量技术，通过测头对 3D 曲面的余量进行测量和量化，分析余量的均匀性和一致性，以此设定清角余量的大小，尽量减小接刀痕。

2.1.4 在机测量余量实时追踪

余量测量过程中，精雕数控系统的“EN3D 云图显示”功能能方便用户在机床上观察测量过程、查看实测点信息等，以不同颜色区分测量点偏差范围，更加直观地反映工件具体加工情况。

2.1.5 在机测量实现可视化检测

加工完成后，特征尺寸是否加工到位？各项公差是否满足公差要求？精雕在机测量技术不仅能测量电极余量，还可以生成可视化的检测报告，余量分布状态一目了然，且支持本地打印。

2.2 电极在机测量工作划分

电极在机测量应用过程中，主要由有以下参与人员：编程人员、设备人员及操作人员，不同人员的分工也不一样，具体的工作安排如下。

2.2.1 编程人员

编程人员在拿到电极造型后，需要考虑的问题有：工序安排、刀具防呆、工件防呆、设备选型，工艺调整。根据以上问题，现场的编程人员首先对产品进行进行分析，进行夹位及工艺安排，在此过程中考虑设备能力以及刀具、刀柄的选择。当这些前序工作完成后，编程人员使用 SurfMill 软件根据不同的产品特征进行测量程序编辑，并且使用 SurfMill 软件编辑生成加工路径。



图 2-2 SurfMill 软件编程

测量程序与加工程序编辑完成后，可根据实际情况使用 JDNcEdit 编辑软件对测量程序及加工程序进行相应的调整。



图 2-3 使用 JDNcEdit 调整 NC

编程人员的主要工作流程如下：

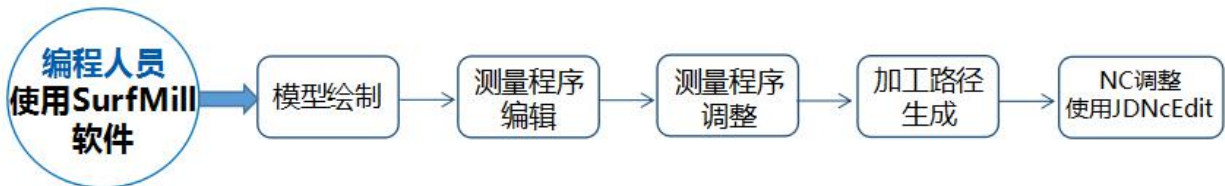


图 2-4 编程人员对应工作

2.2.2 设备人员

在电极在机测量的应用中，测头与测针的清洁、校正以及报警处理都对测量结果有着直接的影响。因此在加工过程中，设备人员需要对设备进行定期的检查和维护，定期进行测针偏摆的校正（如图 2-5），使用标准球进行测头标定（如图 2-6）。



图 2-5 测针偏摆校正

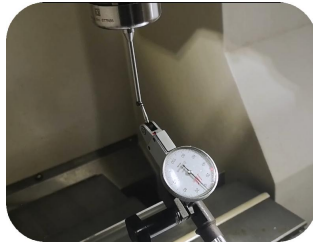


图 2-6 标准球标定



设备人员需定期对标准球、测针、工件表面进行清洁（如下图 2-7），并且能够对异常报警进行处理。



图 2-7 清洁维护

设备人员的主要工作为以下几项：

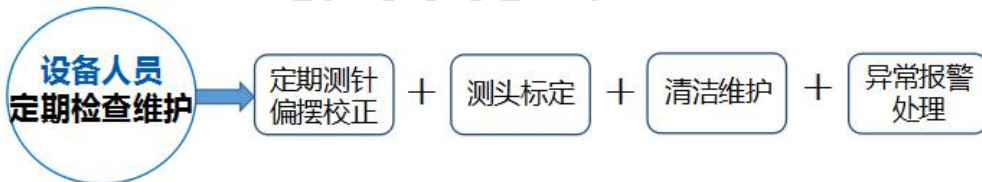


图 2-8 设备人员的主要工作

2.2.3 操作人员

操作人员在整个生产环节中是最重要的，因为程序单中的基准及流转过程中的基准全靠他们保证。在电极生产过程中，操作人员主要的工作是进行上下料，使用测头代替分中棒进行分中（如图 2-9），并且根据弹框提示等进行一系列的操作（如图 2-10）。

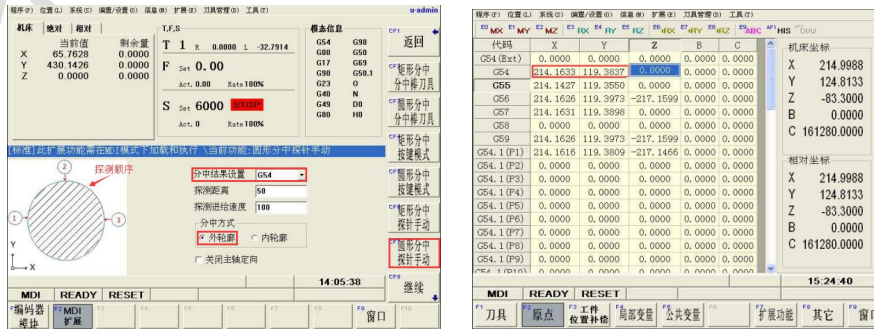


图 2-9 机床端操作



图 2-10 弹框提示

操作人员同时使用 JD50 数控系统中的 MDI 部分功能进行对刀等操作，完成以上工作后，在机床端执行测量程序与加工程序。基于以上，操作人员的主要工作如下图 2-11 所示：



图 2-11 操作人员对应工作

2.3 应用实例

图示为电极加工模型，要求加工余量均匀，表面加工余量均在 -0.15mm ，公差为 $\pm 0.015\text{mm}$ 。

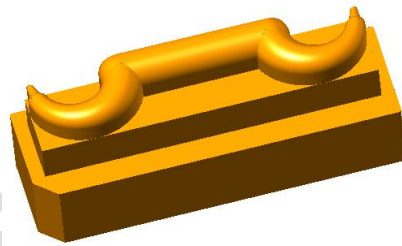


图 2-12 电极

- Step1 将此工件安装在机床上进行分中，建立工件原点；
- Step2 工件原点建立完成后，建立准确工件坐标系进行加工；
- Step3 加工过程中以及加工完成后进行余量检测；
- Step4 结合软件与数控系统进行余量实时跟踪；
- Step5 加工完成后，可输出可视化报表，显示电极余量分布状态。

说了这么多，是不是已经迫不及待的想要了解具体的解决方法了？那么请跟随我们的步伐，一起来寻找答案吧！

第三章 在机测量建立工件原点

3.1 功能介绍

在机测量建立工件原点这一功能主要是为了确定工件位置。工件装夹在机床上，可是机床并不知道工件具体放在工作台的哪个位置，无法执行后续的操作，怎么办呢？我们可以采用在机测量技术来解决这个问题。

在机测量技术通过测头采集数据，接收器接收后传递给机床，JD50 数控系统接收到这些数据后进行分析，就可以知道工件的位置，并将位置显示在机床上。相较于传统的刀具和分中棒分中，不仅操作简便，而且结果更准确。这一功能具体电极加工中如何使用，下面我们进行详细的介绍。

3.2 实例应用

如图 3-1 所示电极，装夹在机床工作台上后，根据其外形结构，选择“矩形分中探针手动”的方式进行分中建立工件原点。

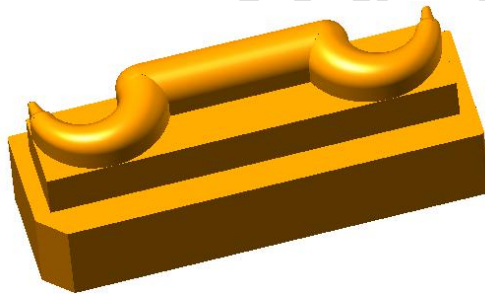


图 3-1 分中模型示例

将工件装夹在工作台上合适的位置，根据以下步骤使用测头分中：

3.2.1 XY 向原点确定

1) 点击操作面板上的【MDI】→【加载】→【F9.进入系统扩展 MDI 环境】→【工件测量】→【矩形分中探针手动】，分中方式选择“外轮廓”，选择分中结果设置的坐标系(G54~G59)其他参数默认，如图 3-2 所示；

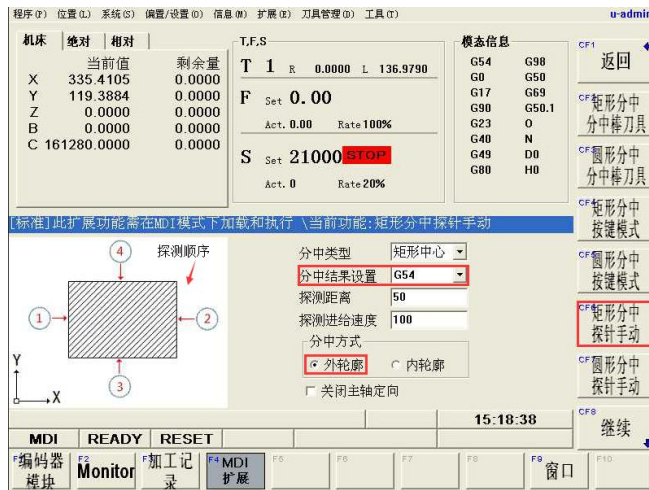


图 3-2 MDI 手动分中

2) 【程序启动】→【手轮】，首先会弹出如图 3-3 对话框，按下“确定”。根据图 23 提示顺序，定位测头至相应①位置，即工件左壁大致中间位置，距离工件面大约 3cm 处（根据实际情况而定），测球最大半径处避开工件棱边、缺口以及有毛刺的地方。关闭【手轮】，按下【程序启动】自动完成碰触过程，即完成 X 方向单边测量；



图 3-3 分中定位提示

3) 切换回【MDI】→【程序启动】根据弹框提示“矩形分中第二点”，点击“确定”后，在没有干涉的情况下，摇动手轮仅移动 XY 轴，将测头定位至②位置，尽量保证 X 方向两边测量点对称，关闭【手轮】，按下程序启动，完成 X 方向分中；

4) 重复步骤 2→3 完成 Y 方向分中；

5) 分中结束后，弹出如图 3-4 所示结果提示框。点击“确定”完成 XY 向分中，结果将存储在最初设置的存储坐标系变量中，如图 3-5 所示。



图 3-4 分中结果提示

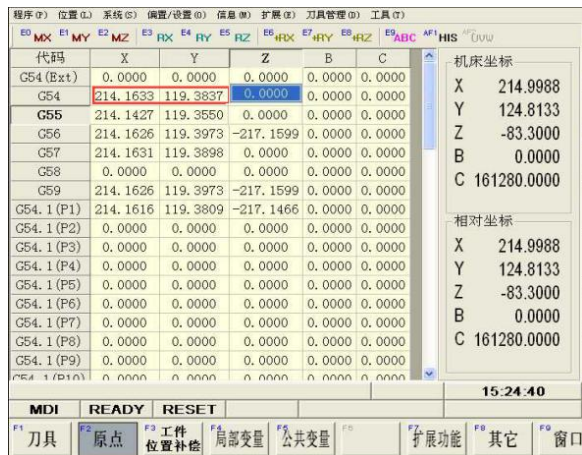


图 3-5 XY 向坐标存储

6) 将主轴 Z 向抬至安全位置，在 MDI 中输入“G54 X0Y0”并运行检查工件原点是否正确。

3.2.2 Z 向原点确定

1) 在 MDI 中输入 M13，开启测头。

2) 切换到“手轮”模式，将手轮的控制档位调至“Z”，脉冲档位调至“X100”；摇动手轮使 Z 轴向下运动，直至测头即将靠近工件 Z 向基准面时；切换脉冲档位至“X10”，摇动手轮使 Z 轴向下运动直至测头碰触到工件面，测头信号灯变红；切换脉冲档位至“X1”，转动手轮使信号灯由红退一格变绿后，保持测头不动。

3) 切换至工件原点存储界面，选中存储工件 Z 原点的变量，然后点击“MZ”，如图 3-6 所示，工件 Z 向原点坐标将存储在相应变量中，如果已完成测头对刀，Z 向原点坐标需减去测头刀长值。

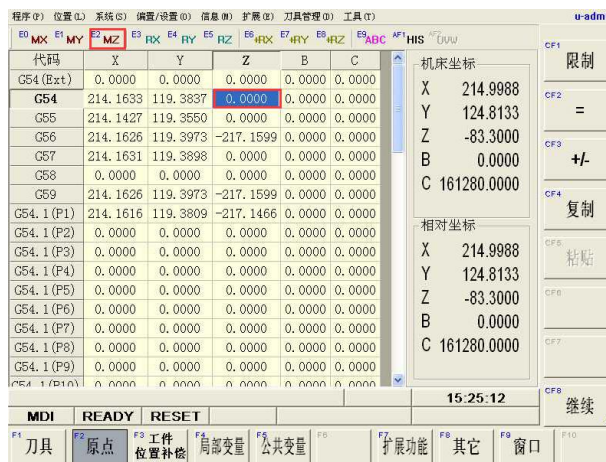


图 3-6 工件 Z 向原点存储

4) 在 MDI 中输入“M14”指令关闭测头，然后将测头安全抬起，完成工件坐标原点确定。

第四章 在机测量变换工件坐标系

4.1 功能介绍

我们通过在机测量技术已经建立了电极在机床上的工件原点，但是电极在加工中心粗加工完成后，留有基准面，如何通过这些基准面确定准确的工件坐标系。

在机测量技术可通过 SurfMill 软件中的“中心角度找正”功能，在工件模型上布置测量点，探测实际装夹在机床上的工件，计算工件原点和角度偏移，补偿工件位置偏差。快速实现工件中心偏移和角度偏转的找正，实现在机变换工件坐标系。

4.2 实例应用

到目前为止，我们已经掌握了在机测量技术的基本操作技能，而如何使用在机测量技术快速地管控电极加工过程，我们以图 4-1 所示的电极产品为例，说明如何利用在机测量技术进行坐标系变换。

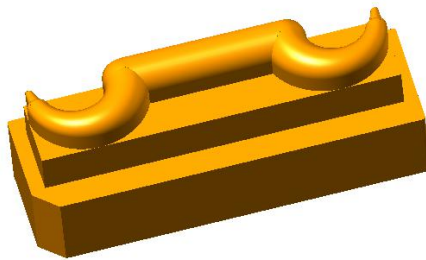


图 4-1 电极模型

本教程严格按图 4-2 流程进行规范化编程操作，默认前期编程准备工作已完成，教程中涉及到的编程操作，从“路径创建”开始。



图 4-2 规范化编程操作流程

4.2.1 测量点设计

1) 绘制测量辅助点

通过“线/面上点”命令在曲线上绘制测量辅助点。为保证测量结果准确，辅助点可以选择单边中点或关于单边中点对称分布。Z 向点必须创建在基准面上并要避免与工件干涉，测量辅助点如图 4-3 所示；



图 4-3 测量辅助点示意图

2) 生成分中测量点

(1) 生成 Z 向测量点

点击“位置点测量”选择“自定义探测方向”，探测方向选择为“-Z”，通过存在点生成 Z 向测量点，导航栏中测头半径为预览半径，可根据预览效果进行修改（与实际测量无关）如图 4-4 所示，测量点效果图如图 4-5 所示；



图 4-4 生成 Z 向测量点

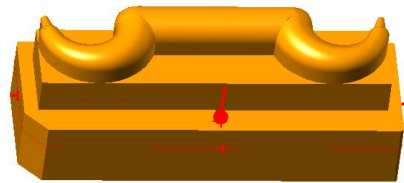


图 4-5 Z 向测量点效果图

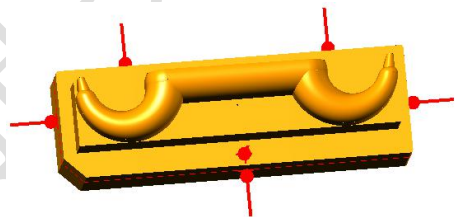
(2) 生成 XY 向测量点

通过“创建测量点”→“曲线测量”生成 XY 向测量点；

拾取辅助线，当鼠标捕捉到存在点时点击生成测量点，XY 向测量点效果如图 4-6 所示。



图 4-6 测量点位置



4.2.2 测量路径编辑

1) 加工环境下，选择“路径向导”→“在机测量组”→“曲线测量”→“确定”，新建曲线测量路径完成。



图 4-7 曲线测量

2) 点击“加工域”→“编辑加工域”→拾取所有测量点→“确定”，根据工件实际模型设置“表面高度”和“加工深度”。



图 4-8 加工域设置界面

3) 保证探测不干涉，具体参数设置完成后点击计算，具体如图 4-9 所示。



图 4-9 分中测量路径

第五章 在机测量监控余量状态

5.1 功能介绍

上一章中，我们已经确定了工件在机床上的位置，加工完成后，如何知道电极加工后的状态呢？这一章中我们就来帮助大家了解电极加工情况。

在机测量余量监控主要用于电极加工完成后，不同特征的加工余量无法预知，通过在机余量检测可以在加工完成后准确获取加工特征的余量状态，获取其余量分布状态，根据余量分布情况观察火花位是否加工到位。

下面我们就该款电极的余量检测做详细了解。

5.2 电极余量检测详解

5.2.1 余量不均匀

对于电极加工，一般分粗加工与精加工两步（对于要求较高的电极会再加一步半精加工）。粗加工时，使用的刀具一般直径都比较大，导致在电极上的一些狭小部位加工不到位（如图 5-1），导致在精加工时，余量分布极不均匀，切削量不均匀、刀具磨损严重，容易发生过切、弹刀甚至断刀等现象。

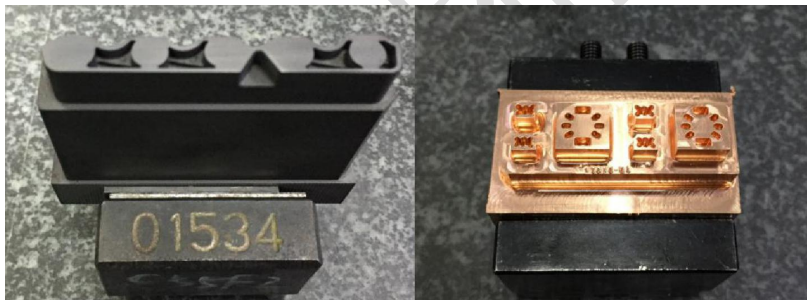


图 5-1 电极产品

针对这一问题在机测量的解决方法就是进行余量检测，控制余量分布均匀程度，首先对电极底座及火花位的关键点进行测量，掌握余量分布状态，根据所掌握的余量分布状态，调整刀具路径，实现均匀切削。

5.2.2 电极离线检测反馈滞后

电极火花位余量是电极加工的重点管控对象，判断一个电极加工是否合格，传统方法是在加工完后送三坐标检测，检测产品尺寸超差则送回返修，经常遇到产品超差，但没有及时有效解决。

针对这一问题在机测量的解决方法就是在机实时检测余量，若超差则及时报警提示，调整加工工艺并及时返修，确保加工完成的都合格，减少三坐标测量和周转返工的工作量。

5.3 实例应用

下面以图 5-2 模型为例说明电极余量检测路径编制。

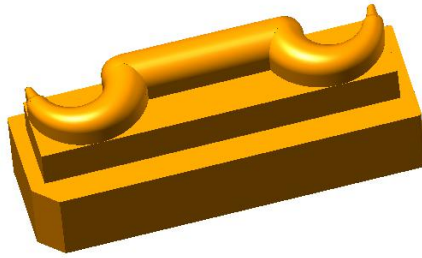


图 5-2 待测电极模型

5.3.1 余量检测路径编辑

余量检测路径编制步骤如下：

- 1) 在 3D 造型环境下生成电极余量检测辅助点；
- 2) 在加工环境下新建路径，选择“在线检测组”中的“点（组）元素检测”；
- 3) 点（组）元素检测参数界面设置→编辑检测域（如图 5-3）；

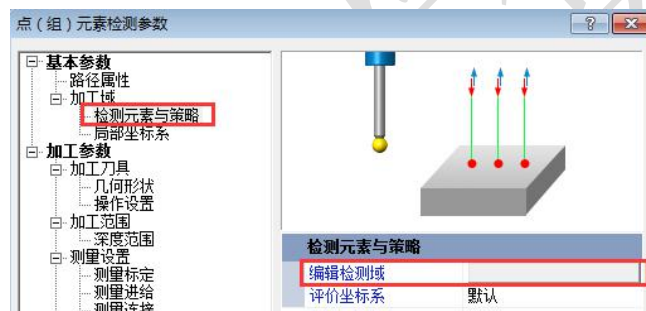


图 5-3 编辑检测域

4) 在测量域中选择适当的布点方式，建议用曲面手动的方式布测量点，选择“通过存在点”，编辑完成后点击确定返回测量域界面，继续手动选择曲面；此时可选择曲面手动继续布测量点也可点击绿色确定键返回检测参数界面（如图 5-4）；



图 5-4 测量域编辑示例

5) 在检测参数界面设置局部坐标系、几何形状、操作设置、深度范围、测量连接等参数，保证检测路径安全运行（如图 5-5）；



图 5-5 参数设置

6) 【测量数据】标签下，测量数据输出类型选择→数据及公差，检测数据输出类型选择→报表格式，同时【点元素测量特征】标签下，选择→中心 X、Y、Z 和距离（如图 5-6）。



图 5-6 数据输出格式选择

7) 检测跟随参数设置，勾选跟随测量中心找正，使用数据组号和补偿组号一致（如图 5-7）；



图 5-7 检测跟随设置

8) 检查路径参数设置，点击计算完成路径编辑。

5.3.2 测量路径输出

1) 生成测量路径后，进行“过切和干涉检查”观察刀路是否有干涉，若有干涉及时调整测量点位置及测量连接高度（如图 5-8）；

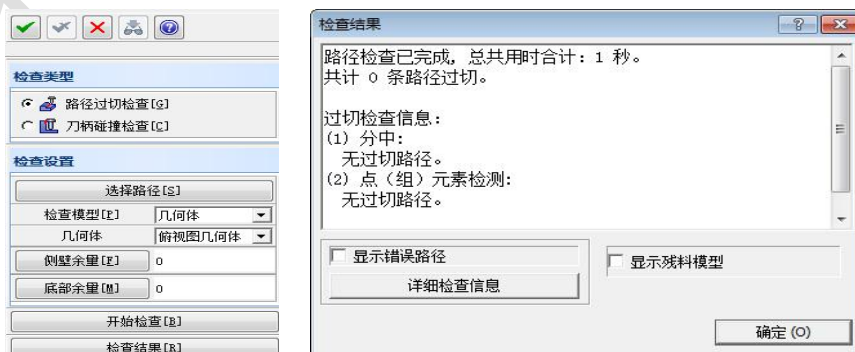


图 5-8 干涉过切检查

2) 输出测量路径,输出设置中点击“高级设置”→测量设置→3D 测量(建议使用 OMP400 测头)→根据机床主轴选择是否定向, 点击确定后输出标定及检测路径(如图 5-9);



图 5-9 输出路径

3) 路径输出完成后,准备测量条件(清洁工件等),上机检测工件。

5.3.3 产品展示

进行余量检测加工后的产品效果如图 5-10 所示。



图 5-10 加工效果

第六章 在机测量实时跟踪余量

6.1 功能介绍

在上一章中，我们已经完成了测量路径的编辑，那么在余量检测过程中我们能否实时的观察到余量检测的情况呢？针对这一需求，精雕数控系统的“EN3D 云图显示”功能可以满足，用户在机床上便可以直接观察测量过程、查看实测点信息等，以不同颜色区分测量点偏差范围，能够更加直观地反映工件具体加工情况。

下面我们就具体来看看，如何在机床上实时观察余量检测过程？

6.2 实例应用

6.2.1 功能使用说明

- 1) 仅支持 8.05.02 及以上的数控版本；
- 2) 测量点显示功能只适用“在线检测组”中的检测元素（点组元素检测、圆元素检测、2D 直线元素检测、平面元素检测、圆柱元素检测等），正常编写检测路径，只需在路径输出时在输出设置-高级设置-测量设置中勾选“机床实时显示测量点”即可。

6.2.2 操作步骤说明

- 1) 创建元素检测路径：在线检测组下创建元素（点、2D 直线、平面、圆、圆柱、方槽）检测路径。
- 2) 勾选机床实时显示测量点：输出测量路径时在【高级设置】→【测量设置】中勾选“机床实时显示测量点”选项。

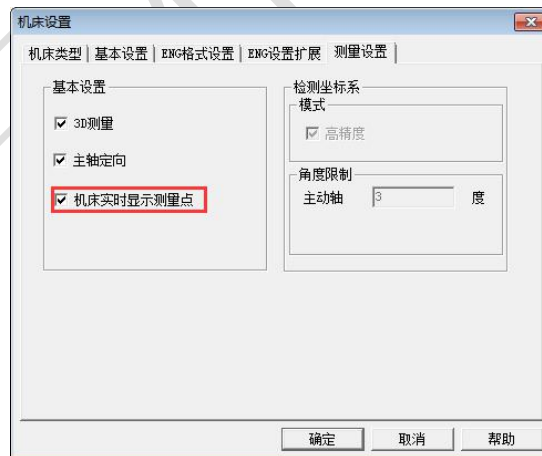


图 6-1 软件输出设置

3) 输出 STL 模型：测量显示模块目前只支持 STL 格式的模型，在 3D 环境下点击文件→输出→选中模型→勾选输出选中模型，点击确认→选择 STL 格式，输出模型文件。

4) 打开测量显示功能：8.05.02 及以上数控版本在机床面板按下“EXT 键”即可看到测量显示功能界面，在该界面进行如下操作：

- (1) 【导入工件模型】导入软件输出的 STL 模型文件；

(2) 【设置】可设置偏差梯度（共分为 10 个等级，并以 10 种颜色表示，从上到下，每种颜色代表的偏差范围依次减小）、模型形式（实体模型或者线框模型）、测点显示半径（用户自定义测点半径大小，方便查看）等参数，设置完成后需保存，否则无效（如图 6-2 所示）。



图 6-2 测量显示界面

6.2.3 上机运行

运行测量程序，在测量显示界面就可以看到对应位置的测量点，双击某一测量点可查看其坐标和余量的详细信息，可直观地分析火花位的余量情况，放心下机或指导优化加工工艺。

运行完余量检测程序，测量数据结果会在程序运行结束后自动打印出来。检测完成后测量点数据默认保存在 D:\EngFiles\Data\点（组）元素检测.txt 中，数据格式如图 6-3 所示。

```

[版本号: 1.1]
[测量时间: 2018.05.08 10:02:42]
[路径名称: 点(组)元素检测]
[ExpID:2]
[UsedID:4]
[数据所在坐标系]
1.0000 0.0000 0.0000
0.0000 1.0000 0.0000
0.0000 0.0000 1.0000
0.0000 0.0000 0.0000

[ID 理论X 理论Y 理论Z 实测X 实测Y 实测Z 上公差X 上公差Y 上公差Z 下公差X 下公差Y 下公差Z 探测方向X 探测方向Y 探测方向Z]
1 -17.9501 9.8086 46.0499 -17.9501 9.8086 47.7476 0.0100 0.0100 0.0100 -0.0100 -0.0100 -0.0100 0.0000 0.0000 -1.0000
2 -17.0270 -9.9963 46.9730 -17.0270 -9.9963 47.3326 0.0100 0.0100 0.0100 -0.0100 -0.0100 -0.0100 0.0000 0.0000 -1.0000
3 -25.9998 11.2559 38.0002 -25.9998 11.2559 38.8503 0.0100 0.0100 0.0100 -0.0100 -0.0100 -0.0100 0.0000 0.0000 -1.0000
4 -25.8130 -9.8477 38.1870 -25.8130 -9.8477 38.5512 0.0100 0.0100 0.0100 -0.0100 -0.0100 -0.0100 0.0000 0.0000 -1.0000
    
```

图 6-3 检测数据打印格式

检测结果数据保存在 D:\EngFiles\Report.txt 中，数据格式如图 6-4 所示。

编号	路径名称	检测项	理论值	实际值	上公差	下公差	偏差	超差%
1	点(组) 2_ID 1	中心X	-1.0000	-1.0873	0.0100	-0.0100	-0.0873	-772.50
1	点(组) 2_ID 1	中心Y	-20.3295	-20.3293	0.0100	-0.0100	0.0002	0.00
1	点(组) 2_ID 1	中心Z	-2.2678	-2.2677	0.0100	-0.0100	0.0001	0.00
1	点(组) 2_ID 1	距离	0.0000	-0.0873	0.0100	-0.0100	-0.0873	-772.50
2	点(组) 2_ID 2	中心X	-1.0000	-1.0567	0.0100	-0.0100	-0.0567	-466.50
2	点(组) 2_ID 2	中心Y	-16.8357	-16.8354	0.0100	-0.0100	0.0003	0.00
2	点(组) 2_ID 2	中心Z	-2.2678	-2.2677	0.0100	-0.0100	0.0001	0.00
2	点(组) 2_ID 2	距离	0.0000	-0.0567	0.0100	-0.0100	-0.0567	-466.50
3	点(组) 2_ID 3	中心X	-1.0000	-1.0123	0.0100	-0.0100	-0.0123	-22.50
3	点(组) 2_ID 3	中心Y	-12.7595	-12.7591	0.0100	-0.0100	0.0004	0.00
3	点(组) 2_ID 3	中心Z	-2.2678	-2.2677	0.0100	-0.0100	0.0001	0.00
3	点(组) 2_ID 3	距离	0.0000	-0.0123	0.0100	-0.0100	-0.0123	-22.50
4	点(组) 2_ID 4	中心X	-1.0000	-0.9722	0.0100	-0.0100	0.0278	178.50
4	点(组) 2_ID 4	中心Y	-10.6427	-10.6426	0.0100	-0.0100	0.0001	0.00
4	点(组) 2_ID 4	中心Z	-1.5409	-1.5409	0.0100	-0.0100	-0.0000	0.00
4	点(组) 2_ID 4	距离	0.0000	0.0278	0.0100	-0.0100	0.0278	178.50

图 6-4 超差报警数据打印格式

第七章 在机测量检测报表输出

7.1 功能介绍

在上一章中已完成电极余量检测和数据结果打印，可是看着这份报告，还是不能直观的观察当前整体电极的余量分布状态，到底能不能直接进行配模？针对此问题，精雕在机测量技术不仅能测量工件余量，还可以生成可视化的检测报告，使得电极余量分布状态一目了然，并且支持本地打印。

下面我们就来学习如何生成可视化检测报告，进行数据分析。

7.2 实例应用

1) SurfMill 软件加工环境下，选择【刀具路径】→【检测报表】。



图 7-1 检测报表

2) 报表参数设置界面，点击“导入数据”按钮，导入 D:\EngFiles\Data\点（组）元素检测.txt 的数据。

3) 用户根据需求在【视图列表】下选择需要显示的数据类型，梯度属性最高 8 级，详细信息根据用户信息填写，主要操作界面如图 7-2 所示。



图 7-2 用户更改界面

4) 用户根据需求在视图区点击需要显示偏差值的测量点，亦可在界面点击“选择测量点”勾选“所有成功匹配测量点”一次显示所有测量点的检测数据，也可以仅选中要查看的测量点。

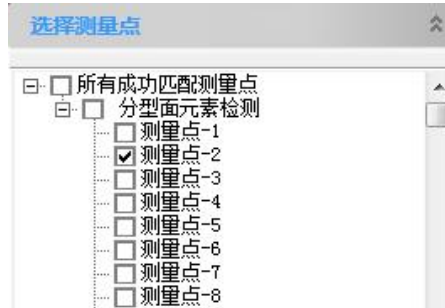
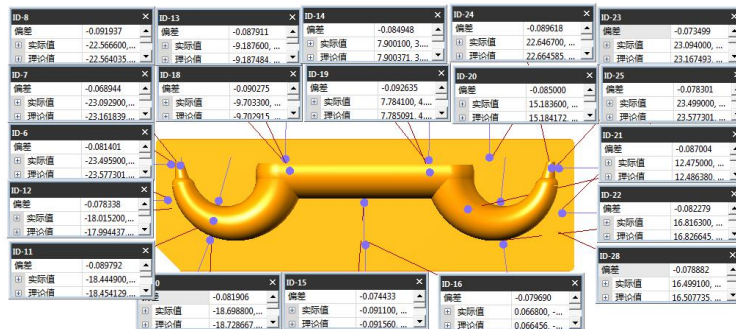


图 7-3 测量点选择

5) 将工件调整到所需视图，调整测量点引线，保证输出报表的数据清晰不被遮挡（默认俯视图）点击“保存视图”；如需多个视图，保存视图后再点击“视图列表”可查看保存的视图。

6) 参数设置完成后点击“生成报表”，可生成网页版检测报表，报表格式如图 7-4 所示。



ID	偏差	实际值	理论值
ID-6	-0.091937	-22.566600	-22.564035
ID-13	-0.087911	-9.187600	-9.187484
ID-14	-0.084948	7.900100	7.900371
ID-24	-0.089618	22.646700	22.664585
ID-23	-0.073459	23.094000	23.167493
ID-7	-0.068944	-23.092900	-23.161829
ID-18	-0.090275	-9.703300	-9.702015
ID-19	-0.092635	7.784100	7.785091
ID-20	-0.085000	15.183600	15.184172
ID-25	-0.078301	23.499000	23.577301
ID-8	-0.081401	-23.495900	-23.577301
ID-12	-0.078338	-18.015200	-17.994437
ID-11	-0.089792	-18.444900	-18.454129
ID-15	-0.081906	-18.698800	-18.728667
ID-16	-0.074433	-0.091100	-0.091560
ID-16	-0.079650	0.065800	0.066456
ID-21	-0.087004	12.475000	12.486380
ID-22	-0.082279	16.816300	16.826645
ID-28	-0.078882	16.499100	16.507735

图 7-4 余量检测报表

第八章 结 语

从上面五章中我们可以看到电极在机测量的整个流程是一套完整的解决问题的思路，主要是由电极的余量监控贯穿始终，解决了电极加工的主要问题：①加工过程中如何保证电极火花位余量均匀？②加工完成后如何确保加工到位，是否可以放心下机？③如何在电极加工完成后实时获取加工表面的余量数据？以上这些问题，我们都可以从上述几章中找到答案。

在此，我们带领大家电极在机测量的详细流程再进行一个完整的回顾：①加工前，对工件进行位置确立，即通过在机测量结合 JD50 数控系统建立工件原点；②通过在机测量基准面，建立准确的工件坐标系；③在机测量实时监控电极火花位与关键位置的余量，根据余量分布情况修改加工工艺；④加工完成后，实时查看余量分布情况；⑤输出余量分布报表，放心下机，为后续使用提供数据参考。掌握以上这五个步骤，拿到电极后我们再也不必担心，可以轻松完成加工，放心下机！

附录一：在机测量基础参数检查

1. JD50 数控系统中测头参数检查

1.1 PLC 配置参数检查

从机床控制面板进入“系统→PLC→配置”页面，机床有使能功能的情况下需要检查“测头控制使能”是否为“1”，在“系统→PLC→变量”中检查“测头是否脉冲类型”雷尼绍测头设置是否为“1”，若不是则需设置为“1”。

1.2 IO 属性配置检查

调试前需要根据接收器型号检查相关信号的属性，具体方法如下：

选择“系统→参数→IO 属性”检查 X43.5、X43.6、X43.7 的常开属性，确保信号使能都设为 1，常闭信号将常开属性设成 0，常开信号将常开属性设成 1，IO 属性的设置界面如图 1 所示，IO 信号属性表见表 2。

信号	使能	常开	EMG	ALM	LMT	RNG	PAUSE	ORG	EXT1	EXT2
X042.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X043.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X043.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X043.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X043.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X043.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X043.5	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
X043.6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X043.7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

图 1 IO 属性的设置界面

表 2 IO 信号属性表

信号名称	OM1-2 接收器	马波斯接收器
X43.5 测头低电压报警	常开	常开
X43.6 测头故障报警	常闭	常闭
X43.7 测头触发	常闭	常开

1.3 测头参数配置检查

检查“偏置/设置---公共变量---保持型”中#1296，#1297，#1298 参数，如图 2 所示。

#1296 为测头信号索引，填写为 351；

#1297 为测头信号报警开启属性，雷尼绍为 578，马波斯为 834；

#1298 为测头信号报警关闭属性，雷尼绍为 576，马波斯为 832。

No. 1280	No. 1281	No. 1282	No. 1283
No. 1284	No. 1285	No. 1286	No. 1287
No. 1288	No. 1289	No. 1290	No. 1291
No. 1292	No. 1293	No. 1294	No. 1295
No. 1296	No. 1297	No. 1298	No. 1299
351.0000	578.0000	576.0000	

图 2 参数配置

1.4 测头转速限制

测头是比较精密的测量工具，如果主轴上是测头，则应禁止主轴旋转。可以通过 PLC 变量界面的“刀具限速”来完成。例如，如果 T1 为测头，在相应的限速界面中填写 T1 为“-1”，在程序运行时，测头旋转会报警。

组号	名称	类型	数据
2	刀位21中刀具号	INT	21
2	刀位22中刀具号	INT	22
2	刀位23中刀具号	INT	23
2	刀位24中刀具号	INT	24
2	T1限速 (0不限, -1禁)	INT	-1

图 3 测头转速限制设置

1.5 测头慢速换刀设置

在 PLC 的变量界面，可以设置每把刀具的慢速换刀使能。如果设置某把刀具的慢速换刀使能为 1，则机械手在换刀时，将以较慢的速度完成换刀。如果 T1 为测头，则应在相应的变量中填写“1”。

组号	名称	类型	数据
3	T22限速	INT	0
3	T23限速	INT	-1
3	T24限速	INT	-1
3	T25限速	INT	0
3	T1换刀慢速使能	BIT	1
3	T2换刀慢速使能	BIT	0

图 4 慢速换刀设置

2. 测头故障检查

2.1 基础故障处理

首次调试测头，开启、关闭测头时报警：

- 1) 检查测头是否允许控制、测头刀号是否正确设置；
- 2) 执行程序时一直停止在 M13 行，不往下执行，检查测头脉冲类型设置是否正确；
- 3) 检查测头 IO 信号中 X43.5、X43.6、X43.7 是否使能；
- 4) 未开启测头时，检查接收器是否三个红灯亮，不亮则需要检查接收器接线是否正常；
- 5) 检查测头信号灯，和接收器拔码开关，检查测头和接收器配置；
- 6) 打开 PLC 文件，检查 X43.5、X43.6、X43.7 三个信号是否被其他模块占用；
- 7) 执行 G104 P#1296 L#1297 或 G104 P#1296 L#1298 报警，检查#1296-#1298 变量设置；

2.2 异常故障报警

- 1) 如条件允许，可以将发生故障的测头、接收器依次与其他机床调换，确认是否为硬件问题；
- 2) 测头电池放入一直闪红灯、蓝灯或不亮灯则表示测头电池电量不足；
- 3) 如测头使用过程中不稳定，经常异常触发或报警，检查接收器接线，避免虚接（建议尽量使用压线帽）。

2.3 根据信号排除问题

输入回路异常是造成测头无法启动的原因之一，需要按以下方法排查输出信号是否异常。

1) 硬件异常

未执行 M13 时，测头接口 8 脚与 9 脚之间电位差应为 0V，执行 M13 之后，8 脚与 9 脚之间电位差变为 24V；

如果出现无论 M13 执行与否，8 脚与 9 脚一直有 24V，那么转接板上控制输出的三极管有可能被击穿，需要重新更换转接板。

2) 接地异常

接收器如果出现接地异常，接收器上的指示灯会闪，此时可重新处理地线及其接法，若正常接地，指示灯即恢复正常。

3) 输入信号异常

输入回路异常也是造成测头无法启动的原因之一，若要排除该问题，需要先在“系统→参数→IO 属性”将 X43.5、X43.6、X43.7 的常开属性都设置成 1，然后分别将 1 脚与 3 脚、2 脚与 3 脚、4 脚与 5 脚短接，对应查看 X43.7、X43.5 和 X43.6 是否有 0 和 1 的变化，如果未出现相应变化，则输入回路异常。

注意：按上述方法排查了故障之后，请将 X43.5、X43.6、X43.7 的 IO 属性按正确的属性配置。

2.4 数控系统报警

1) 测头无法正常报警

执行 G104(M510)P#1296L#1297/L#1298 时报警，此时应检查对应的公共变量#1296、#1297 和#1298 的设置值，特别是对于#1296（测头信号索引），在新旧机床上的设置值不一致；#1297 和#1298 设置不正确也会导致测头报警信号触发。

2) 滞后错误报警

在探测过程中测头信号有一定的持续时间，数控系统在信号传递上有延时，造成测头回退信号未消除引起报警，此时应减小探测速度或增大回退距离。二者的数值关系应为： $\text{回退距离} = \text{搜索速度} / 2 + 0.05$ 。

附录二：在机测量使用规范

1. 测头组装

测头刀柄通过 6 个螺钉与测头连接，四个平底螺钉用于调节测针同轴度，两个锥底螺钉用于锁住测头以防止其脱落。组装完成后的测头如图 5 所示：



图 5 测头组装图

2. 测针选择

测针的安装，测杆的长度，以及测球的材料与尺寸等都会影响测量结果的准确性，因此在选择测针时需注意以下几点：

- 1) 尽量选用短测针（长测针相对于短测针来说弯曲变形量大，精度低）；
- 2) 尽量减少接头数量（增加接头或者加长杆，就会增加潜在的弯曲和变形点）；
- 3) 选用的测球直径要尽量大（减少工件表面粗糙度对测量精度的影响，减少触碰到测杆的机会）；
- 4) 红宝石测针为通用式。但也可根据被测材料成分选择测针材质，例如：测量铝材料可选用氮化硅测针，测量铸铁材料则可选择氧化锆测针；

3. 测头保养维护

3.1 测头安装

测头安装和使用过程中需要注意以下问题：

- 1) 测头顶部分必须使用锥形螺钉，平底螺钉会压伤配件，并且测头同轴度稳定性也会变差；
- 2) 校正测头同心度时用力不能过大，否则顶丝会压伤测头配件；
- 3) 注意将测针拧紧，否则测针松动会造成测头异常报警或测量数据异常；
- 4) 接收器连接线应使用螺帽将绝缘外皮拧紧，保护线路不受到侵蚀；
- 5) 避免切削液喷在测头上，特别是电池部位（轻度进液即可导致测头不稳定，经常异常报警）；
- 6) 如顶丝滑牙应及时更换，否则可能出现取不出顶丝的情况。

3.2 测前清洁

测量前，使用无尘布和酒精对测球、测杆、信号窗、标准球、标定环及待测工件进行清洁，防止灰尘、切屑等影响测量结果，如图 6 所示。

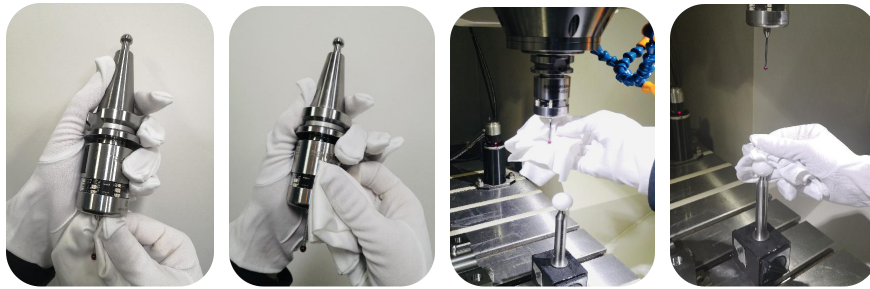


图 6 测前清洁

- 1) 为保证测量精度建议定期清洁测头刀柄，避免磕伤、碰伤、划伤和生锈；
- 2) 建议戴无尘手套取用测头，禁止用手直接接触刀柄；
- 3) 使用过程中测球需要定期清洁，去除表面的油污、碎屑；
- 4) 测量前建议对工件进行清洁，可以保证测量精度，且不污损测针；

3.3 定期维护

测头在使用过程中需要定期维护，以保证测量结果。

- 1) 间隔指定时间检测测针磨损情况。带定向主轴可对#1290 赋值，避开磨损区域，非定向主轴可根据实际情况更换测针；
- 2) 间隔指定周期对测针同轴度进行校正。

4. 测头校表

测头安装在主轴上时，如果测头中心与主轴中心存在偏心误差，则会影响测量结果的准确性，一般需要校准测头与主轴中心的同心度在 0.002mm 以内，以提高测量准确度。以下是测头校表的具体方法。

4.1 主轴定向释放

释放主轴定向有两种方法可供参考：

- 1) MDI 中输入 G80 指令，点击操作面板“程序启动”按钮，完成后切换“手轮”模式，依次在操作面板上完成如下操作【SYS】→【PLC】→【E0.软面板】→“精雕主轴变频器释放”；打表完成后点击“精雕主轴变频器锁住”即可。
- 2) 切换机床权限，点击【SYS】→【PLC】→【调试】→【精雕主轴调试】→【精雕 I_ST】→【OFF】（数据栏），主轴变频器将会被释放，打表完成后点击【ON】即可，如图 7 所示。



图 7 主轴变频器释放设置

4.2 测头校表

将测球中心抵在千分表接触球上，匀速旋转测头观察千分表表针的变化，同时通过调节四个方向的平底螺钉来校正测头精度，（以球形测针为例）具体操作如下：

1) 将测头装卡到主轴上，用千分表抵住测球的最高点（通过手轮上下、左右移动测头找到接触量的最大值），千分表受力不要太大，保持在 20 至 40 格即可；

2) 手动旋转测头，找到千分表受力最大点，此时选择偏向最大点距离最近的一颗顶丝入手，适当松动其对面位置螺钉，后根据情况缓慢拧紧刚才数值最大点的螺钉；

3) 再次旋转测头，重复上一步操作，直到千分表表针的跳动保持在 1 格(0.002mm)以内。

随着调整过程中误差量越来越小，旋拧和松动螺钉的力度也要适度。并且最终要保证四个顶丝全部拧紧，处于受力状态。

注意：

1) 适当调整测头的扭力，扭力不要过大，也不要太小。扭力过大，测头中心杆受力的挤压，可使中心杆变形，同时也损伤测头；扭力太小，在测量的过程中，测头会松动，影响测量精度；

2) 当测针为柱形时，用哪个位置检测就打这个位置附近的跳动，例如：用柱形测针底部向上 0.5mm 的位置进行探测，打表时就打这个位置的跳动即可，具体操作同球形探针。

4.3 效果检验

调节手轮使测球远离千分表，然后使二者重新缓慢接触，千分表指针处在 20 至 40 格之间任一位置，手动旋转测头刀柄，观察千分表表针的变化幅度，表针跳动保持在 1 格(0.002mm)以内即可。

最后将千分表退回并取下，锁住主轴即可（手动旋转检查主轴是否锁住）。

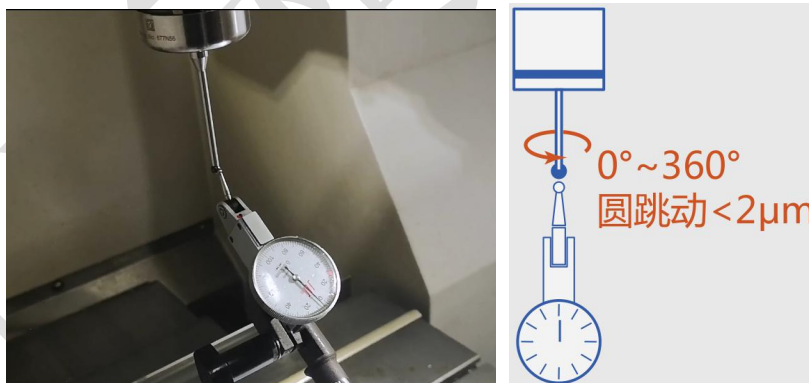


图 8 测头打表

附录三：在机测量基础标定

1. 为什么要标定？

测头测量误差主要由四部分组成：测头预行程误差、测头各项异性误差、测针结构误差、测针偏心误差。为避免测头物理特性的影响，减少实际测量过程中各影响要素造成的误差累积，降低测量数据的原始误差，应在测量前对测头进行标定，在此我们使用标准环与标准球在测量前对测头进行标定，获取测量误差做为标定补偿量，在测量过程中按照测量方向进行补偿，消除测量误差。

1.1 标定原理介绍

将已知尺寸的标准件装卡在机床上，使用测头对标准件分中。为保证测量数据准确，可以选择使用单次或多次分中，多次分中可获得更准确的中心坐标。分中后测量标准件尺寸，与理论尺寸比较可得到尺寸测量误差，反推得到单向测量误差做为半径标定补偿量。

1.2 标定流程

根据测头型号（OMP400、OMP40-2）、标准件类型（标准球、标准环）、测量模式（3D高精度、2.5D）、机床主轴是否定向等条件，针对不同的工况确定标定模式。

2. 标定环标定

2.1 标定环的选型

①标定环建议选用钢材质（与机床本体材质接近，热膨胀系数相同，随温度变化趋势相同），表面粗糙度 $Ra < 0.8\mu m$ ，如下图 9：

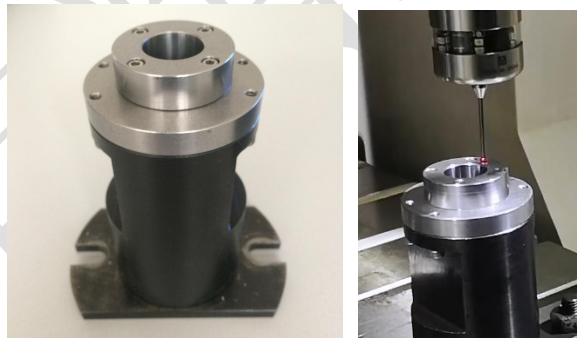


图 9 标定环

②标准环的直径建议选用 20~30mm，圆度最好在 0.001mm 以内，平面度在 0.002mm 以内；

③一般选用内圆标定，若为 L 型测针，可采用外圆标定。

2.2 标定程序输出

标定环程序可以通过 SurfMill 软件直接输出，标定程序可同测量程序一起输出，在任意测量路径的测量设置中选择【测量标定】，设置标定类型，采用“圆环标定”，然后根据实际应用需求设定其他标定参数，共输出 3 个程序，如图 10 所示。



图 10 标定环标定程序输出

2.3 标定环标定实际操作

①安装标定环

将标定环安装在清理干净机床工作台上，确保其安装牢固，且不会与其他单元造成干涉，对标定环进行分中告诉机床标准件在工作台上的位置。

②配置参数

将参数配置程序导入机床，一般重点检查参数#1285（测球半径）、#1286（标准环半径）确保参数与实际相符，其他参数一般默认，编译无误后，运行程序完成配参。配置参数所在的变量地址分别是：#1296~#1298 设置测头信号参数；#1285~#1287 设置测量校准几何参数；#1290 设置测量主轴定向参数；#1291~#1295 测量运动参数。

③运行标定程序

配参结束后打开标定程序，检查文本程序中的刀长补偿编号是否与当前使用测头刀号对应，编译无误后，依次点击【程序运行】→【手轮试切】→【程序启动】，手动跑完程序后，关闭手轮试切，将标定程序自动运行一遍。程序运行结束后，可在对应的变量里查看标定结果，如表 6、7 所示，运行相应的测量程序时将自动调用相应的标定结果。

3. 标定球标定

3.1 标定球的选型

标准球直径一般在 4mm 至 60mm 之间，标准球的直径建议选用 20~30 mm，圆度最好在 0.001mm 以内。



图 11 陶瓷标准球



图 12 金属标准球

3.2 标定程序输出

标定球程序可以通过 SurfMill 直接输出，输出方式与标定环的区别为标定类型采用“圆球标定”，然后根据实际应用需求设定其他标定参数，共输出 3 个程序，如图 13 所示。



图 13 标定环标定程序输出

3.3 标定球标定实际操作

① 安装标定球

标准球使用时需要固定在机床工作台上，保证底座底面与工作台良好接触、无松动，注意，固定时不要磕碰标准球球体，且不与其他单元造成干涉，对标准球进行分中告诉机床标定球在工作台上的位置。

② 配置参数

基本参数配置与标定环标定一致，有所区别的是，标准球需重点检查的参数为：#1285（测球半径）和#1287（标准球半径）。

③ 运行标定程序

标定程序运行过程与标定环程序运行过程一致。程序运行结束后，可在对应的变量里查看标定结果，如表 3、表 4 所示，运行相应的测量程序时将自动调用相应的标定结果。

表 3 高精度 3D 标定说明

标准件类型	标定模式	标定结果及存储变量
标准球	G65 P7721 M5	XY 向校准实际测球半径值 #801-#802
		XY 向校准实际测球偏移量 #803-#804
内环	G65 P7721 M-4	30-330 度校准实际测球半径值 #810-#817
外环	G65 P7721 M4	Z 向校准实际测球半径值 #818

表 4 一般 2.5D 标定说明

标准件类型	标定模式	标定结果及存储变量
标准球	G65 P7721 M3	Z 向标定量 #1270
内环	G65 P7721 M-2	XY 向标定量 #1280（定向）
外环	G65 P7721 M2	XY 向标定量 #1281-#1284（非定向）

注意：一般情况下，标定程序应与测量程序同步输出、配套使用。

高精密模具采用 3D 标定程序，路径输出时，需要在【高级设置】→【测量设置】中勾选【3D 测量】；若不勾选【3D 测量】，则为 2.5D 标定，用于一般的尺寸测量；根据机床主轴是否可定向选择【主轴定向】，如图 27 所示。如果仅输出测量程序使用，确保在输出测量路径时，测量设置中的【3D 测量】选项与标定程序输出时一致。

4. 标定注意事项

4.1 标定准备注意事项

- ①使用测头前，要对测头的测针进行打表（测针的同心度调整到 1 μ m 以内）；
- ②任何物体都会发生热胀冷缩，而影响其标准尺寸，因此标准件使用前一定要等温处理，等温时间视温差及标准件大小确定；
- ③标定前需要充分清洁测球、标准件标定特征位置、工件及接收器表面，以保证数据的准确性。接触式测量系统的精度一般在微米级，粘附的灰尘或污垢都会影响标定精度；
- ④标准件使用后应及时清洁，可先用气枪小气流吹其表面，再用干净的无尘布擦拭标准球表面，并及时归还，不可长时间安放在机床内部；
- ⑤标准件安装前、拆卸后禁止与其他切削刀具及工具堆放在一块，更不允许倾斜防止；
- ⑥标准件转运、使用过程中，不可跌落或强力撞击，否则可能发生变形影响尺寸精度；

4.2 标定中注意事项

- ①必须正确设置测头刀号，防止主轴打转速旋转，导致测头甩出，伤及操作人员并且造成测头损坏；
- ②测头标定速度要与测量中搜索速度保持一致；搜索速度的大小会影响测头测量时测针的触发量大小，特别注意标定时机床的倍率要和实际探测的倍率保持一致，
- ③手轮试切探测和自动探测工件的精度差别在 1 μ m 以内，手轮试切探测的数据可用；
- ④测头标定的方向要和探测方向保持一致，特别是各向异性的测头；例如 OMP40-2 测头，标定的方向如果和测量的方向不一致，最大偏差可达到 15 μ m，但是 360 度任意方向上的固定角度的重复测量精度在 4 μ m 以内。因此在测量中，尽量使用主轴定向功能，没有主轴定向功能的机床，最好使用 OMP400 高精度的测头。

4.3 重新标定注意事项

除了在首次使用测量系统时执行标定外，有必要不定期重新标定，尤其是下列情况：

- ①测头上更换新测针后；
- ②怀疑测针弯曲或测头发生碰撞时；
- ③定期对机床的机械变化进行误差补偿时；
- ④测头刀柄重复定位精度差时；
- ⑤进行高精密产品检测之前；
- ⑥测量速度变化时。

附录四：在机测量转台轴心误差

1. 为什么需要测量转台轴心误差？

五轴加工中存在转台运动误差，转台长时间运动及受环境温度波动的影响，往往会造成轴心位置参数的漂移，轴心参数出现偏差会造成产品加工偏位，尺寸超差等现象。为保证机床加工精度，通常需要对多轴机床旋转轴进行误差测量，进行五轴转台轴心校准。

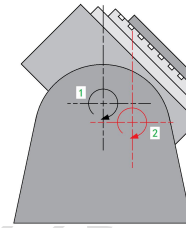
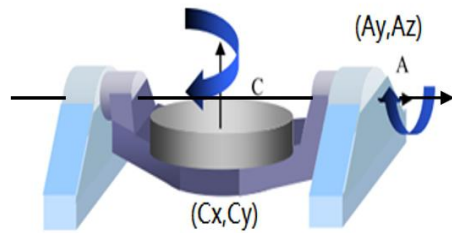


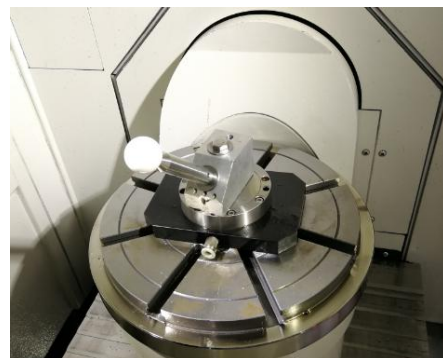
图 14 转台轴心误差

2. 硬件资源配置

- 1) 标准球圆度：标准球圆度在 0.001mm 以内；
- 2) 标准球球杆：根据不同机床行程空间以及实际装卡情况，标准球球杆最好备有长短不同配置；
- 3) 标准球底座：标准球底座建议做成强磁力吸座，类似千分表表座，使用方便快捷；
- 4) 标准球安装要求：球杆与转台面成 45 度，标准球球心距离测量轴轴线建议至少 70mm，为避免干涉，安装时球杆在旋转圆面的投影尽量与旋转圆半径方向一致；



(a) AC 轴



(b) BC 轴

图 15 AC 轴（BC 轴）转台安装实物图

5) 测针

- ①使用球型测针，禁止使用已磨损的测针；
- ②测针长度可适当长一些，以避免在 90 度位置测量时产生干涉；
- ③为获得精确结果，测头径向跳动要求在 0.002mm 以内。

6) 直线轴和旋转轴

- ①直线轴和旋转轴的单轴运动位置已采用激光干涉仪标定，螺距补偿已开启；

②转轴旋转正负方向符合左手定则。

3. 测头刀长设置

方法一：主轴刀具换为测头→使用触碰式对刀仪对刀→完成测头对刀（波龙测头建议使用方法二进行测头对刀）

方法二：主轴刀具换为平底刀→使用平底刀铣平面，记录机床Z1坐标→使用触碰式对刀仪对平底刀L1→主轴刀具换为测头→使用测头触碰铣出平面，记录机床Z2坐标→测头的刀长 $L=L1+Z2-Z1$ →完成测头对刀。

备注：若需要将测头设为机床基准刀，测头对刀时勾选“标定”，轴心测量模式必须为【查找】模式（图 30）；若不将测头设置为基准刀，轴心测量前测头按常规流程对刀即可。建议测头对刀时不勾选“标定”。

区别：方法一中，由于测头触碰对刀仪时会存在一定的Z向压缩量，存在刀长计算误差。美德龙对刀仪触发力小，可满足一定的精度要求。方法二中，采用平底刀铣面，然后测头触碰加工面，通过换算获得测头的刀长，完成测头的对刀，精度较高。

4. 轴心快速测量校准

1) 基本参数配置

程序运行的第一步会弹出基本参数配置窗口（如图 16），设置是否需要标定测头、转台类型、刀号、测量轴心使用点数等基本参数。

参数配置		参数配置	
参数变量	变量值	参数变量	变量值
机床类型：1[定向机床] 0[非定向机床]	1	拟合标准球球心允许圆度偏差	0.0030
测头长度补偿编号	13	标准球最小旋转半径R	70.0000
坐标系：G54-G59.若使用G54.1,如G54.1P4则输入-4	59	A轴标准球位置点个数, >3	5
是否进行测头标定：1[是] 0[否]	1	C轴标准球位置点个数, >3	5
选择待测转台：1[A], 2[B], 3[C], 4[AC], 5[BC]		自定义A轴测量最大角度	90.0000
测针名义半径		自定义A轴测量最小角度	-90.0000
标准球直径		选择[左]/[右]旋转圆计算A轴心：-1[-X方向,左]、1[+X/方向,右]	-1
轴心测量模式：0[检测], 1[查找]	0	0[标准球坐标未知] 1[标准球坐标已知]	0
【检测】模式适合：对当前机床轴心进行检测校正	备注1		
【查找】模式适合：机床轴心丢失或新装配的多轴机床的轴心查找	备注2		
【步骤】清洁测针、标准球→测头打表→对刀→运行程序	备注3		

图 16 基本参数配置

(1) 机床类型：依据使用的机床是否定向进行参数配置；

(2) 测头长度补偿编号：依据测头所在刀号进行设置；

(3) 坐标系：选择标准球所在的坐标系（如果标准球已分中，就填写标准球分中所在的坐标系；如果标准球未分中，填写一个未被占用的坐标系即可，程序运行完成后会将标准球的坐标自动填入该坐标系）；

(4) 是否进行测头标定：依据需求选择（若输入 1，选择标定并在参数配置完毕后运行标准球标定程序；若输入 0，选择不标定，则不运行标定程序）；

(5) 选择待测转台、测球名义半径、标准球直径：依据实际情况进行选择；

(6) 标准球坐标系已知（已给标准球分中）；标准球坐标系未知（未给标准球分中）。参数配置完成后点击<F8.完成>。

2) 轴心测量

根据图 30 中基本参数设定进行轴心测量:A 轴（B 轴）、C 轴、AC 轴（BC 轴）。以 AC 轴轴心测量（C 轴跟踪定位，A 轴摆正）为例：

C 轴旋转圆的初次跟踪定位完成，将 A 轴运动至使得 C 轴轴线处于竖直状态的位置。首次 C 轴测量，如果将 C 轴轴线摆垂直 A 轴需要旋转的角度大于 0.002 度，则将 C 轴摆垂直后重复测量 C 轴轴心；如果小于等于 0.002 度则直接进行 A 轴轴心测量。

5. 测量结果处理

轴心测量结果包括：

- 1) 轴心位置参数；
- 2) 转台的各项位置精度。包括：A 轴（B 轴）轴线与 C 轴轴线的垂直度；A 轴（B 轴）与 YOZ 面（XOZ 面）的垂直度；
- 3) 相应转台的调整方向以及调整量，以方便转台装配时的调整；



图 17 AC 轴测量结果

目前，数控系统支持轴心数据的更新和主动轴原点位置偏置角度。

表 5 详细参数选项

内容	选项说明
F1 重复测量	再次运行转台轴心位置测量
F2 结束测量	结束程序
F3 打印输出	测量报告写入 D:\存储文件夹\CHECK_RESULT.TXT
F5 更新参数	测量结果更新到系统→参数→位置→转台轴线位置参数中

<F3.打印输出>中还包括转台的各项位置精度等信息，如图 18 所示：

- 1) A 轴（B 轴）轴线与 C 轴轴线的垂直度；
- 2) A 轴（B 轴）与 YOZ 面（XOZ 面）的垂直度；
- 3) A 轴（B 轴）、C 轴轴线经过机床坐标方向向量（单位向量*10000 倍）等。



图 18 测量结果打印

备注：为保证轴心测量结果可靠和测量效率（若对参数配置中变量含义不清，请保持默认设置）：

- 1) 测量前请全行程暖机（主轴不转）2h 以上。此外，若后续加工为定位加工，则暖机时转台不旋转运动；若后续加工为联动加工，则暖机时相应转台也旋转运动；
- 2) A（B）轴、C 轴标准球位置点个数尽量大于等于 4 个；
- 3) 图 30 中，可以自定义 A/B 轴测量运动最大角度、最小角度，若在 A/B $\pm 90^\circ$ 位置处存在球杆或其他干涉问题，可以设置较小角度进行测量，如 $\pm 60^\circ$ ；
- 4) 若只是对机床当前轴心进行检测校正，如轴心偏离误差在丝/道级别内，则图 30 弹框中建议选择【检测】模式。若轴心偏离超过这个范围或轴心参数丢失或查找新安装多轴机床轴心，可以选择【查找】模式。