



第五章 其它传统触发式传感器自动检测技术应用





一、接触式点触发测量传感器的结构与特性

传感器和探针是测量的关键性器件，模拟信号经过探针的传递，传递给传感器，经过一系列模数转换，信号处理，最终将信号显示在屏幕上。由于传感器和探针的种类繁多，本书将主要以 HEXAGON 公司的接触式点触发测量传感器为例进行讲解。

首先来看该测量装置的图片如下图所示：



图 5-1 接触式点触发测量装置

该测量装置由测座、传感器、探针等构成，整套装置有三个电动机，分别控制不同方向的位移。其悬架和直杆分别控制 X、Y、Z 方向的移动，对整个测头部分进行空间定位。侧头部分以 A 角与 B 角两个参数为限制，用来确定探针的朝向。其中 A 角在机床坐标系中的 XOZ 面内，B 角在机床坐标系中的 YOZ 面内。

1. 测量测头

测头存在各种形式，以便测量时探针可以接触到工件的表面。上图中显示的探针仅有一个红宝石球。当然也有与其不同的探针结构，例如像测量下图中的孔的结构，若其 AB 角不变的情况下，想要测得其孔的相关尺寸参数，就必须对其侧头的个数及角度安排进行重新排布。具体的测针情况如下图所示：



图 5-2 测针测量时的情况

对于一个测量系统而言，最重要的就是其测量的准确性和测量的效率。选择合适的传感器和探针是至关重要的。倘若选择了不合适的传感器和探针，可能会导致工件出现返工甚至报废的现象。

HEXAGON 公司提供了不同范围的探针、传感器，根据其实际工作的需求对现有的设备进行选择及排列组合，选择出适用于某测量方案的设备。HEXAGON 利用技术支持，保证探针传感器系统的以下特性：

- ①最先进的技术
- ②精确而可靠的运行
- ③应用的灵活性和实用性
- ④单机上传感器的可交互性
- ⑤扩展的模块化



传感器快速扫描捕捉工作表面信息

创新的技术适用于复杂表面的测量

适用于测量尺寸变化较大的工作表面

图 5-3 不同测量传感器的工作状态

探针测头主要有以下几种选择：

- ①手动探针头（Manual Probe Heads）
- ②自动分度探头（Automatic Indexing Probe Heads）
- ③连续测头（Continuous Probe Heads）
- ④重型探头（Heavy Duty Probe Heads）

不同的测头有着不同的功能，也适用于不同的测量场合，选择好合适的测头才能使得测量过程更高效、准确。

接下来介绍一种高精度的探针，叫做触觉探针（Tactile probes），该探针是针对于高精度可重复的 3D 测量来进行设计。利用此种探针所组合形成的接触式传感器，通过接触时所产生的压力，对其测量量进行反馈，从而获得其信号的具体信息。



HP-THD 接触式测头

HP-S-X 5 系列

HP-S-X1S

图 5-4 不同系列的触觉探针



接下来将以几种市场中常用产品中的几种测头为例，讲解测头相关的特性及一些尺寸特征，方便读者在测量过程中针对于特定的工作环境和工件配置选择合适的探针测头，提高测量的准确性和效率。

(1) 手动式探针测头

手动式探针测头的尺寸情况：



图 5-5 手动式探针测头尺寸情况

工作情况及优势：工作时通过调整可旋转的手轮，可调整其工作角度，到达不同的位置。显然，手动式探针测头有着明显的优势，可通过手动调整到不同的位置，价格低廉，成本较低。非常适合于测量小工件或者形状特征较为简单的工件。其触发的力是手动调整的，以便于提供最佳的探测性能与多针配置。

手动式测量测头有着多种的型号，典型的为 HH-MI 和 HH-MI-M 两种，如下图所示：



图 5-6 手动式探针测头的两种形式

这种探头可以在 15° 内的增量索引，可实现 168 个不同的位置，测量头可以非常简单的实现自锁与解锁，与其中的一个机械轴同时转动。HH-MI 型号的特点是集成高精度性，可通过手动调整测量工件大范围的尺寸特征。HH-MI-M 的特点是有有一个 M8 的螺纹连接，使得用户可以在其上可安装一个接触式的探针。当与 HP-TM 触控触发探头相结合时，探头模块可以与 HR-MP 探头模块更换器进行交换，从而在无需重新确认的情况下实现自动触针更改的灵活性。

(2) 自动 5° 探针测头



此种探头提供高速和高精度，每一步的增量为 5° ，可以实现 3024 个不同的位置。该测头不但可以安装在三坐标测量机上，也可以直接安装在机器的冲压件上。HH-A-M5 和 HH-AS-M5 探头带有 M8 的螺纹连接，所以用户可以使用接触式探头。同时 HH-A-T5 和 HH-AS-T5 探头也带有一个运动连接，这使得它们与许多 TKJ 传感器兼容。



图 5-7 自动 5° 探针测头

(3) 自动 7.5° 探针测头

HH-A-M7.5 和 HH-AS-M7.5 机动可转位式探针头装备有 M8 的螺纹连接，以确保可以安装一个接触触发式的探头。同时 HH-A-M7.5 和 HH-AS-M7.5 测头装备有运动连接，以确保多传感器的功能。



图 5-8 自动 7.5° 探针测头

(4) 自动 2.5° 探针测头

得益于精密的驱动系统，这些探头有着大量的可转位和非常高的旋转扭矩。HH-A-T2.5 探头可以以 2.5° 为增量索引，实现 12240 个不同的位置。探头可以安装在带柄或法兰的 CMM 上，也可以直接安装在机器的冲压件上。探头的 TKJ 可以连接到多线上，以实现完全的多传感器功能。



图 5-9 自动 2.5° 探针测头

(5) 自动 2.5HDJK 探针测头

该探针测头有较高的自由度，可实现以 2.5° 为增量的转动，有 20736 个位置供不同的测量要求使用。搭载嵌入式控制器及电容式碰撞保护，防止测头损坏，端面齿轮为探头精确的工作位置提供了保障。同样，探头可以安装在带柄或法兰的 CMM 上，也可以直接安装在机器的冲压件上。与传统的测头相比，激光扫描仪和扫描测头可以安装在离旋转轴更远的地方，这得益于极大的旋转扭矩和重型运动接头的结合。并且重型运动接头可以手动更换而不需要重新认证，也可以使用配有可选 HR-RH 重型模块的 HR-R 探针更换器机架自动更换。



图 5-10 自动 2.5HDJK 探针测头

(6) 连续性测头

除了可以处理除了处理长度达 600 毫米的标准扩展的能力，旋转轴的连续定位(在无限的角度)位置可以完全进入被测量的部件。独有的探针更换机架为自动更换扩展模块和适配器提供了方便，确保其灵活性。搭载多线适配器，HH-ACW-43MW 连续探头兼容最流行的探头和 styli/探头更换机架，允许点对点扫描测量。

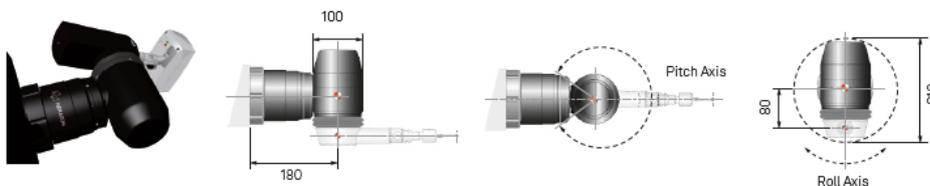


图 5-11 连续性测头



2.接触式点触发测量传感器

在前文中介绍了关于一些测头相关参数及其适用场合，测头的旋转的灵活性和环境的适应性为测量的整个过程提供了前提。接下来要介绍的是测量的主要工作部件，即探测器，或称其为传感器。本文还是以几种市场产品中几种常用的接触式点触发探测器为例进行讲解，方便读者的了解和选用。

(1) HP-TM 系列



图 5-12 HP-TM 系列接触式点触发探测器

HP-TM 是一种紧凑的模块化五路触控触发探头，适用于快速和高精度测量。两件式设计，包括探头本体和可拆卸的探头模块。所述本体和模块通过高度可重复的运动磁力联轴器连接在一起。可以手动或自动地快速更改模块，而不需要重新校准探针。触控头部分有四个版本，每一种都提供不同的触发力，以确保高精度。HP-TM 系统可以很容易地进行改造，并与一系列触摸触发器、控制器、扩展和附件兼容。

(2) HP-T 系列



图 5-13 HP-T 系列接触式点触发探测器

HP-T 触控触发探针是一种耐用和紧凑的五路触控触发探针，提供了高的精度和测量灵活性。HP-T 有四种变体，每一种都提供不同的触发力(从低到高)。该触发器配有 M8 的螺纹连接，与多种手动和自动的探头相兼容。一个运动学适配器也可以使自动模块改变与 HR-R 更换机架。以下是一些该系列的参数指标：



(3) HP-T-RP 系列

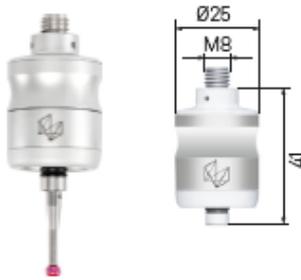


图 5-14 HP-T-RP 系列接触式点触发探测器

HP-T-RP 与所有的 HEXAGON 公司的桥架和钣金测量机兼容，是一种坚固而精确的触控触发探头，设计用于最恶劣的工业环境。该探测器的坚固特性使它非常适合与机器人和便携式设备一起工作。精度可以通过手动调整所需应用的触发力来优化，来达到理想可应用的精度。

二、接触式扫描传感器结构与特性

1. 扫描传感器概述

当测量复杂的、普通测头难以到达的特征或者是敏感的表面，扫描传感器提供了灵活的处理性，在前文中介绍了非接触式的扫描传感器，对测量实际应用有着巨大的帮助，此处将重点转移到接触式扫描传感器上进行讨论，接触式扫描传感器通过对图形元素进行采集特征点或者特征线，在计算机上通过一些数据分析处理，将测量实际的物体形状尺寸等显现出来，从而达到测量的目的。



图 5-15 几种测量传感器的工作位置

2. 扫描式测头

在 HEXAGON 的扫描测头系列中，提供了不同类型的测头，每种扫描测头的测量性能和技术特性各不相同，接下来将以几种扫描测头为例对扫描测头进行简要介绍。

(1) HP-S-X1 系列

HP-S-X1 系列是一种高精度的 3D 扫描测头，可快速、自动的收集上千个数据点，并且可以完整精确的评价包括形状、位置、尺寸在内的所有特征。

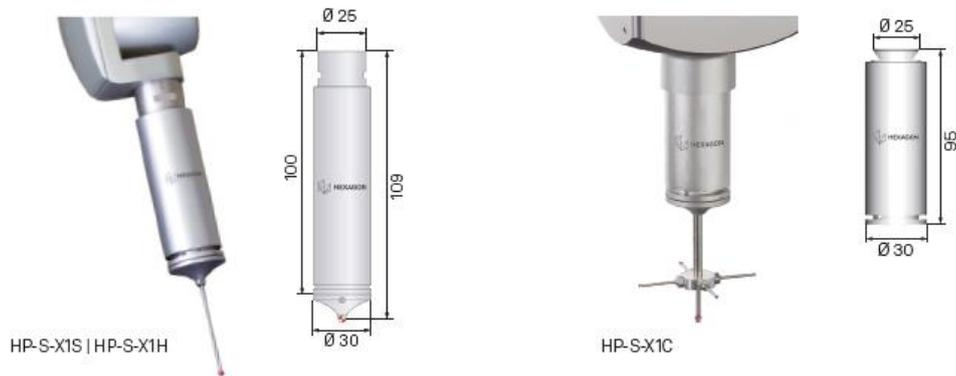


图 5-16 HP-S-X1 系列扫描式测头

HP-S-X1 系列支持单点探测和连续扫描，在所有轴上提供同步和非钳位探测，始终与接触面正交。探头的自定心模式对于齿轮的测量大有帮助。HP-S-X1S 和 HP-S-X1H 配备了一个运动学接头，允许使用 HR-R 探头更换机架进行自动探头更换。使用 HP-S-X styli 更换机架或 HR-R 探头更换机架的三个端口单元，磁性触针支架可实现快速和可重复的触针变化。其参数表如下图所示：

(2) HP-S-X3 系列

紧凑、快速、准确，HP-S-X3 系列提供了适用于所有标准计量任务的的有效单点测量和针对于复杂几何零件的形状的高速扫描检查。



图 5-17 HP-S-X3 系列扫描式测头

搭载高灵敏度传感器和大的线性测量范围，确保了其高精度和模块的扩展性。HP-S-X3 可以携带多达 360 毫米长的探测延伸。探针触发力由高分辨率线性可变差分传感器(LVDT)测量，允许正确补偿触针偏转，即使延申部分固定，自动测量方向正交于零件。性能参数如下图所示：

(3) HP-S-X5 系列

测量紧密公差 HP-S-X5 是最佳选择，它具有高的精度和重复性，确保了真实的 3D 测量，可同时在 X、Y、Z 三个方向测量。这种模拟测头非常适合对复杂的几何工件轮廓和形状误差进行单点测量和连续高速扫描。



图 5-18 HP-S-X5 系列扫描式测头

它的无马达设计（motor-free）保证了测量过程中在测头内部不会产生热量，从而确保了其测量结果不受温度的影响。探头的坚固设计和有效的防撞保护系统，减少了其停机时间。当其测针偏转时，其有效的补偿系统可进行精确补偿，调整探针的位置，大大减少了测量结果的误差。HP-S-X5 的燕尾连接使得在进行维护时可快速简单的将其探头拆卸下来，在需要的时候，可选择工件温度传感器自动交换到探头。该系列的具体参数如下表所示：

3.HP-S-X5 的温度传感器



图 5-19 HP-S-X5 的温度传感器

这种可更改的 HP-S-X5 温度传感器可快速自动的测量工作表面的温度，通过使用各种可用的模块，用户可以组装测量温度所需的任何配置，甚至是在斜面上。使得传感器满足于各种测量任务的要求，集成的电接口将传感器与探头和 CMM 的电子设备相连。

三、接触式测量技术应用案例

下面以两个实际的案例来讲述关于接触式测量技术的应用

1.案例一：数控铣零件测量

要测量的任务如下图表所示：：



表 5-1 数控铣零件测量任务

序号	描述	理论值	公差
1	距离	60	± 0.1
2	圆柱直径	62	± 0.05
3	位置度	0	0.2
4	圆锥半角	22.5	
5	球半径	10	
6	对称度	0	0.1

零件的图纸如下图所示：

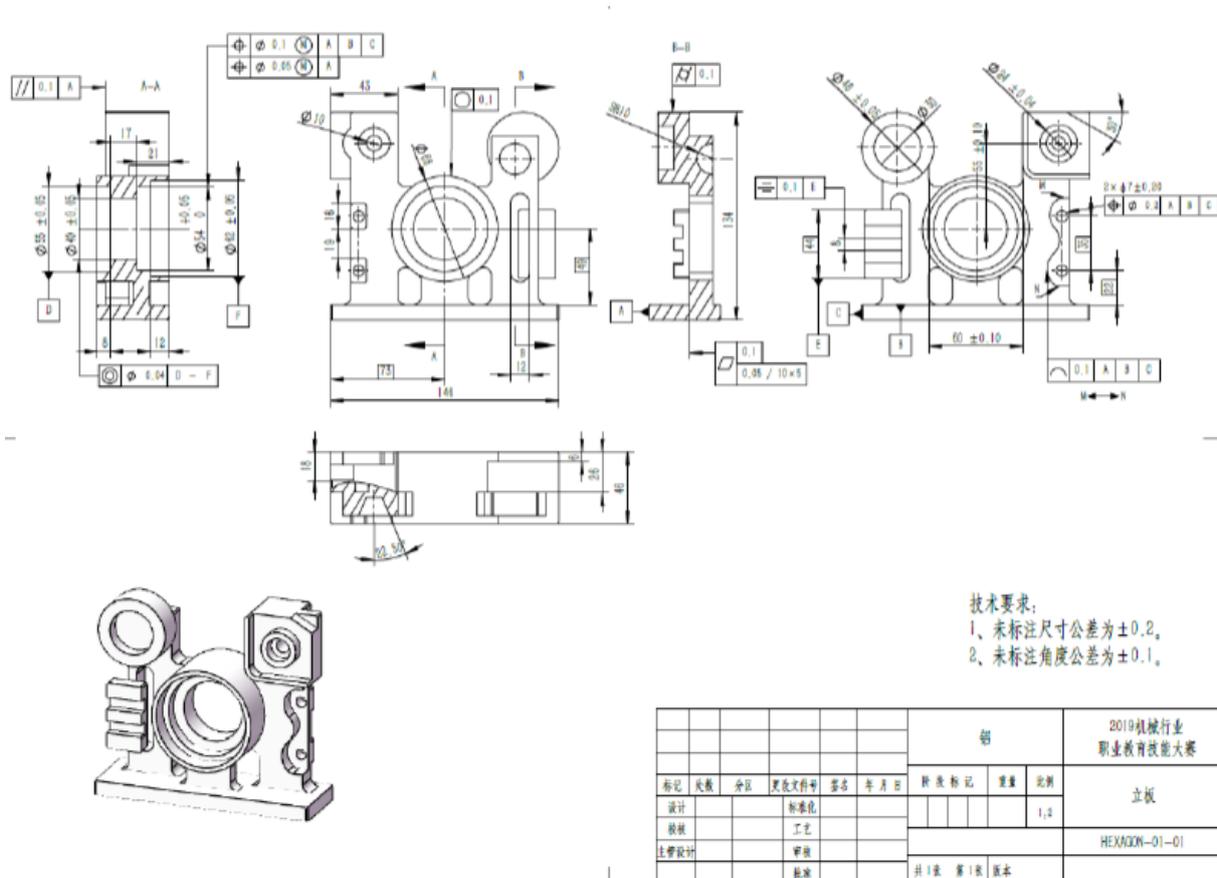


图 5-20 数控铣零件图纸

(1)分析图纸

分析图纸可以准确获得测量信息，主要从以下几方面分析：

1) 基准：基准是建立坐标系的参考，坐标系的建立是检测的基础，因此基准的分析十分重要，根据工件结构特征和基准的特点考虑应选用哪种坐标系类型。例如分析标系类型。例如分析本项目本项目任务，从图纸上可知任务，从图纸上可知工件不是轴类零件，工件不是轴类零件，A、B、C 基准是其底部的三个平面，因此应选用“3-2-1”法建立坐标系，零点设置在三个平面交点处，方便读取尺寸数据。

2) 特征类型及分布：坐标系确定后，观察要测量哪些特征，从表中可知，需评价距离、直径、



锥角、球径、位置度和对称度和对称度。对照图纸可获得关联元素，即要测量的元素有平面、圆柱、球和圆锥。位置都分布在工件的前后两侧。

(2) 零件装夹

零件装夹需要考虑综合因素，主要是特征分布情况，尽量在一次装夹下完成所有工件的测量。从图上可以看出测量特征分布在工件前后两侧，因此可以将零件侧向摆放，使 A 基准面向 X 正方向，这样测针只需再添两个角度（ $A90B90$ 、 $A90B-90$ ）便能满足测量要求。装夹示意图如下图：

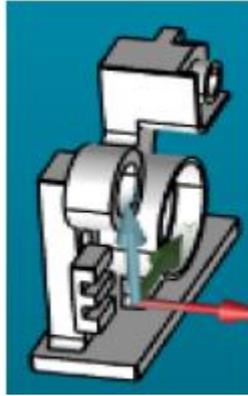


图 5-21 数控铣零件装夹示意图

(3) 测量

采用 PC-DMIS 软件进行对工件的测量，包括测针检验、坐标系建立、测量、评价等几个步骤。由于篇幅有限，本文仅介绍一些硬件的选择情况和测量的部分步骤。针对于 PC-DMIS 软件的使用，请参考 HEXAGON 的 PC-DMIS 基础培训手册。

测针选型及配置：

一台测量机执行不同测量任务时，测头组件配置大体不变，一般只需灵活配置加长杆和测针便可完成检测工作，本项目测量工件选用测头组件配置如下：

- 测座：HH-A-T5
- 转接：HA-TM-31
- 传感器：HP-TM-B
- 吸盘：HP-TM-SF

测针选型应考虑两方面：直径和长度。

- 直径一般根据工件所需测量的最小孔径和特征之间的最小间隙来判断
- 长度需根据工件外边界长度和台阶面高度来判断。从图纸上可以看出，需要测量的最小孔径为 7mm，且各特征之间间隙较大，使用 3mm 直径、50 mm 长度的普通球形测针可以完成测量。

测量的过程：

测量主要分为手动测量和自动测量，都可完成相应的测量要求，根据实际的工作要求和测量效率合理选择测量方式。

2.案例二：数控车零件测量

要测量的任务如下表所示：

表 5-2 数控车零件测量任务



序号	描述	理论值	公差
1	距离	24	0/-0.1
2	直径	30	±0.05
3	同轴度	0	0.04
4	距离	28	±0.05

零件图纸如下图所示：

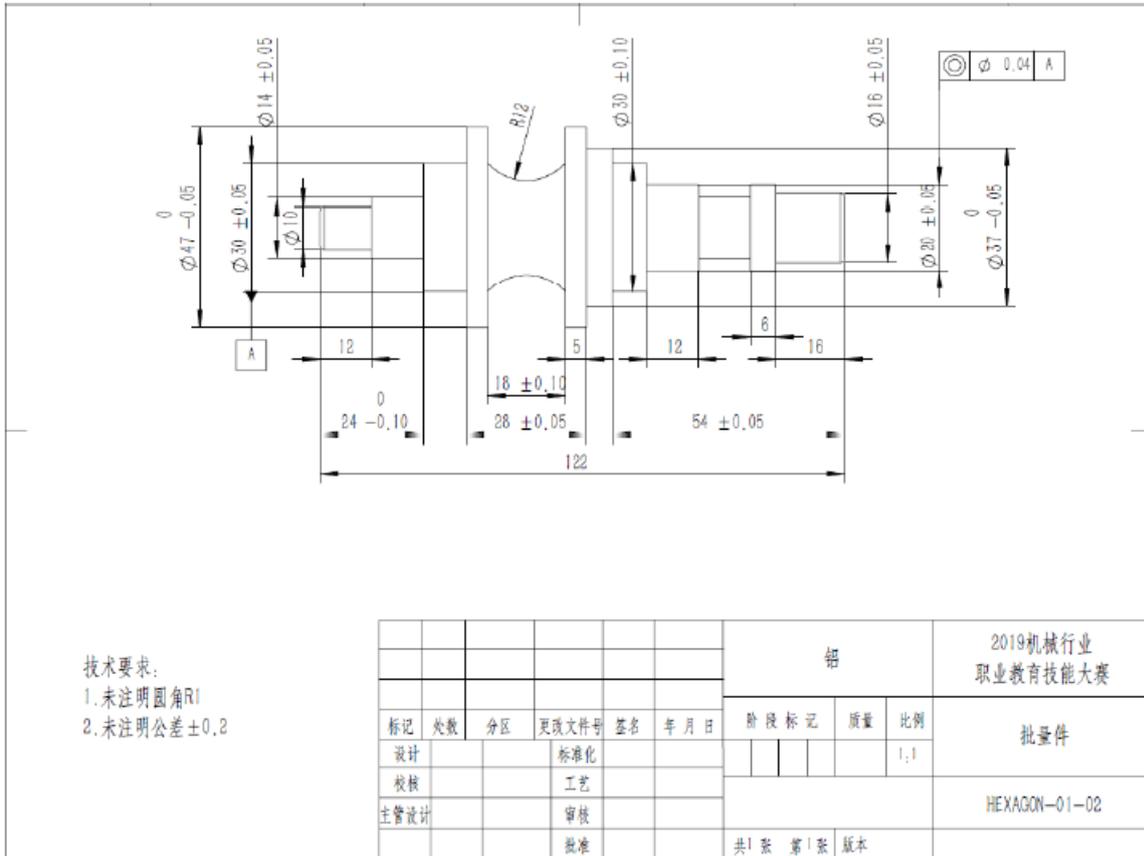


图 5-22 数控车零件图纸

(1) 分析图纸

从图纸上可知工件是轴类零件，有一个圆柱作为 A 基准，综合两者考虑使用“单轴法”建立坐标系。原点设立在 A 基准所在圆柱及圆柱端面上，方便读取尺寸数据。坐标系确定后，从表中可知，需评价直径和同轴度。对照图纸可获得关联元素，即两个平面，两个圆柱，且只需用 A0B0 角度即可完成测量。

(2) 零件装夹

由于该零件两端柱体都需要检测的特征，因此只能水平放置。另外需要注意的是零件装夹时需要适当抬高，这样测座旋转为水平后可以有效保证 Z 负方向的测量行程。装夹姿态如图所示，用 V 型架支撑：



图 5-23 数控车零件装夹姿态

(3) 测量

同案例一，此处仅介绍一些硬件的选择情况和测量的部分步骤。

本项目中用 A0B0 角度可以测量特征，但为了练习多角度星型针的使用，添加 A90B0 角度。按前面所学知识校验星型测针。需要注意的是，在标准球为 (0 0 1) 的方向下 3 号测针无法校验 A90B0 角度。可以在其他角度校验完成后，将标准球支撑杆指向 Y-，线校验 A0B0，再校验 A90B0 角度下的 3 号测针。

```

平面4      =特征/平面, 直角坐标, 三角形
            理论值/<1.729,28,7.047>,<0,1,0>
            实际值/<1.729,28,7.047>,<0,1,0>
            测定/平面,8
            触测/基本,常规,<-22.132,28,0.128>,<0,1,0>,<-22.132,28,0.128>,使用理论值=是
            触测/基本,常规,<-18.775,28,9.769>,<0,1,0>,<-18.775,28,9.769>,使用理论值=是
            触测/基本,常规,<-12.816,28,16.534>,<0,1,0>,<-12.816,28,16.534>,使用理论值=是
            测尖/T1A0B0,支撑方向 IJK=0, 0, 1, 角度=0
            触测/基本,常规,<-0.92,28,20.216>,<0,1,0>,<-0.92,28,20.216>,使用理论值=是
            触测/基本,常规,<10.898,28,17.321>,<0,1,0>,<10.898,28,17.321>,使用理论值=是
            测尖/T4A0B0,支撑方向 IJK=1, 0, 0, 角度=0
            触测/基本,常规,<18.783,28,9.072>,<0,1,0>,<18.783,28,9.072>,使用理论值=是
            触测/基本,常规,<21.08,28,-3.697>,<0,1,0>,<21.08,28,-3.697>,使用理论值=是
            触测/基本,常规,<17.71,28,-12.966>,<0,1,0>,<17.71,28,-12.966>,使用理论值=是
            终止测量/
    
```

图 5-24 多测针测量平面程序