

第六章 三维测量与数据反求技术

第一节 三维测量技术概述

- 三坐标测量机是近几十年来。随着计算机、机床业的飞速发展而产生的一种高效高精度的测量仪器。它采用坐标测量的原理，在计算机软件的控制和驱动下，完成对工件几何尺寸和形位公差的数据采集。它有机地结合了数字控制技术，利用计算机软件技术，采用先进的位置传感技术和精密机构技术，并使之完美结合，顺应了硬件软件化的技术发展方向。

表 1-1 三坐标测量机效率对比表

被测工件	测量时间/h	
	传统方法	三坐标测量机
汽缸	4.00	0.33
泵的转轴	2.15	0.20
透平叶片	7.30	0.26
钻模板	30.00	0.43
电机转子	3.30	0.22
铝合金件	3.00	0.14
齿轮箱	5.30	0.27
凸轮	7.00	0.12
阀体	3.36	0.18

一、三坐标测量机的分类

测量机系统的整体结构包括机械本体，控制系统和测头系统等。控制系统又包括计算机系统和电控柜。测量机的种类繁多，其分类方式也有多种：

按精度：

(一米有效长度) 生产型 : 7μ 、精密型 : 4.5μ 、计量型 : 2μ

按大小：

小型：最长轴 $\leq 1\text{m}$ 、中型：最长轴 $\in [1, 2]\text{m}$ 、
大型：最长轴 $\in [2, 4]\text{m}$ 、
巨型：最长轴 $>4\text{m}$

按采点方式：

点位采样型、连续采样型

按运动形式：

手动型、机动型和自动型

按机械结构

桥式、龙门式、立柱式、悬臂式等

二、三坐标测量机的工作原理和分类

1、工作原理

- 简单地说，三坐标测量机就是在三个相互垂直的方向上有导向机构、测长元件、数显装置，有一个能够放置工件的工作台（大型和巨型不一定有），测头可以以手动或机动方式轻快地移动到被测点上，由读数设备和数显装置把被测点的坐标值显示出来的一种测量设备。



■ 测量机的采点发讯装置是测头，在沿 X，Y，Z 三个轴的方向装有光栅尺和读数头。其测量过程就是当测头接触工件并发出采点信号时，由控制系统去采集当前机床三轴坐标相对于机床原点的坐标值，再由计算机系统对数据进行处理和输出。因此测量机可以用来测量直接尺寸，也可以获得间接尺寸和形位公差及各种相关关系，也可以实现全面扫描和一定的数据处理功能，为加工提供数据和测量结果。自动型还可以进行自动测量，实现批量零件的自动检测。



2、分类

- 三坐标测量仪的测量方法分：
 - 1、接触式探针测量三坐标测量仪（最常用使用最普遍）；
 - 2、影像复合式三坐标测量仪；
 - 3、激光复合式三坐标测量仪（主要应用于产品测量与逆向抄数扫描）；

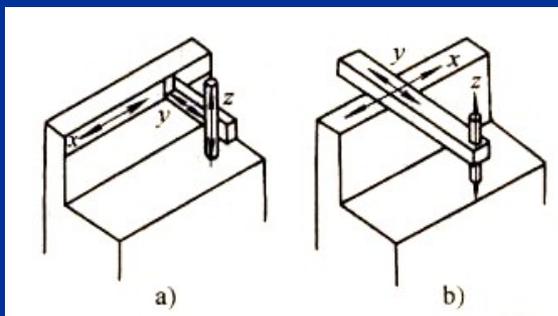
三、三坐标测量机组成

- 主机机械系统（X、Y、Z三轴或其它），测头系统，电气控制硬件系统，数据处理软件系统（测量软件）；

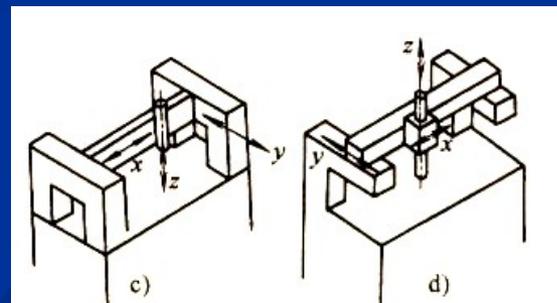
(一) 三坐标测量机的机械结构

1、主机机械系统（X、Y、Z三轴或其

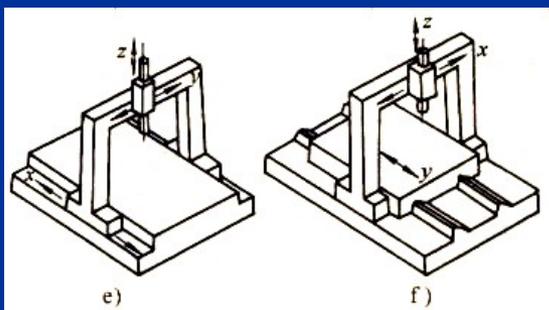
三坐标测量机是由三个正交的直线运动轴构成的，这三个坐标轴的相互配置位置（即总体结构形式）对测量机的精度以及对被测工件的适用性影响较大。



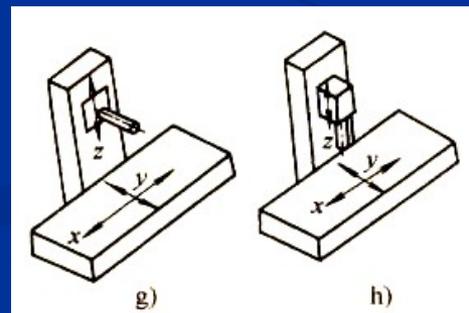
悬臂 z 、 y 结构



桥式（框架）结构



龙门结构



立柱式结构

2、三坐标测量机的工作台

早期三坐标的工作台是由铸铁或铸钢制成，但近年来广泛采用花岗岩来制造工作台，这是因为花岗岩变形小稳定性好、耐磨损、不生锈，且价格低廉、易于加工。

三坐标测量机的结构材料对其测量精度、性能有很大影响，随着各种新型材料的研究、开发和应用，三坐标测量机的结构材料也越来越多，性能也越来越好。常见的结构材料主要有以下几种：

铸铁

铸铁是应用较为普遍的一种材料，主要用于底座、滑动与滚动导轨、立柱、支架、床身等。

它的优点是：变形小、耐磨性好、易于加工、成本较低、线膨胀系数与多数被测件（钢件）接近，是早期三坐标测量机广泛使用的材料。至今在有些测量机上仍主要用铸铁材料。

但铸铁也有缺点：易受腐蚀，耐磨性低于花岗石，强度不高。目前铸铁主要用在划线机等测量机上。现在越来越多地为其它材料（如钢板焊件、花岗石）代替。

钢

钢主要用于外壳、支架等结构，有的测量机底座也采用钢。一般采用低碳钢，而且必须要进行热处理。

钢的优点是刚性和强度好。

它的缺点是容易变形，这是因为钢在加工之后，内部的残余应力释放导致变形。

花岗石

花岗石比钢轻，比铝重，是目前应用较为普遍的一种材料。

花岗岩的主要优点是变形小、稳定性好、不生锈，易于作平面加工，易于达到比铸铁更高的平面度，适合制作高精度的平台与导轨。

花岗石也存在不少缺点，主要是：虽然可以用粘贴的方法制成空心结构，但较麻烦；实心结构质量大，不易加工，特别是螺钉孔和光孔难以加工，不能将磁力表架吸附到其上，造价高于铸铁；花岗石材质较脆，粗加工时容易崩边；遇水会产生微量变形。使用中应注意防水防潮，禁止用混水的清洗剂擦拭花岗石表面，也应防止静压气体中的水分对导轨的影响。

陶瓷

陶瓷是近年来发展很快的材料。它是将陶瓷材料压制成形后烧结，再研磨而得。

它的特点是多孔、质量轻（密度约为 3g/cm^3 ）、强度高、易加工、耐磨性好、不生锈，适于作 Y 轴和 Z 轴导轨。

陶瓷的缺点是制作设备造价高、工艺要求也较高，而且毛坯制造复杂，所以使用这种材料的测量机不多。目前德国 Zeiss 公司、英国 LK 公司、日本东京精密公司的一些三坐标测量机采用陶瓷材料。

铝

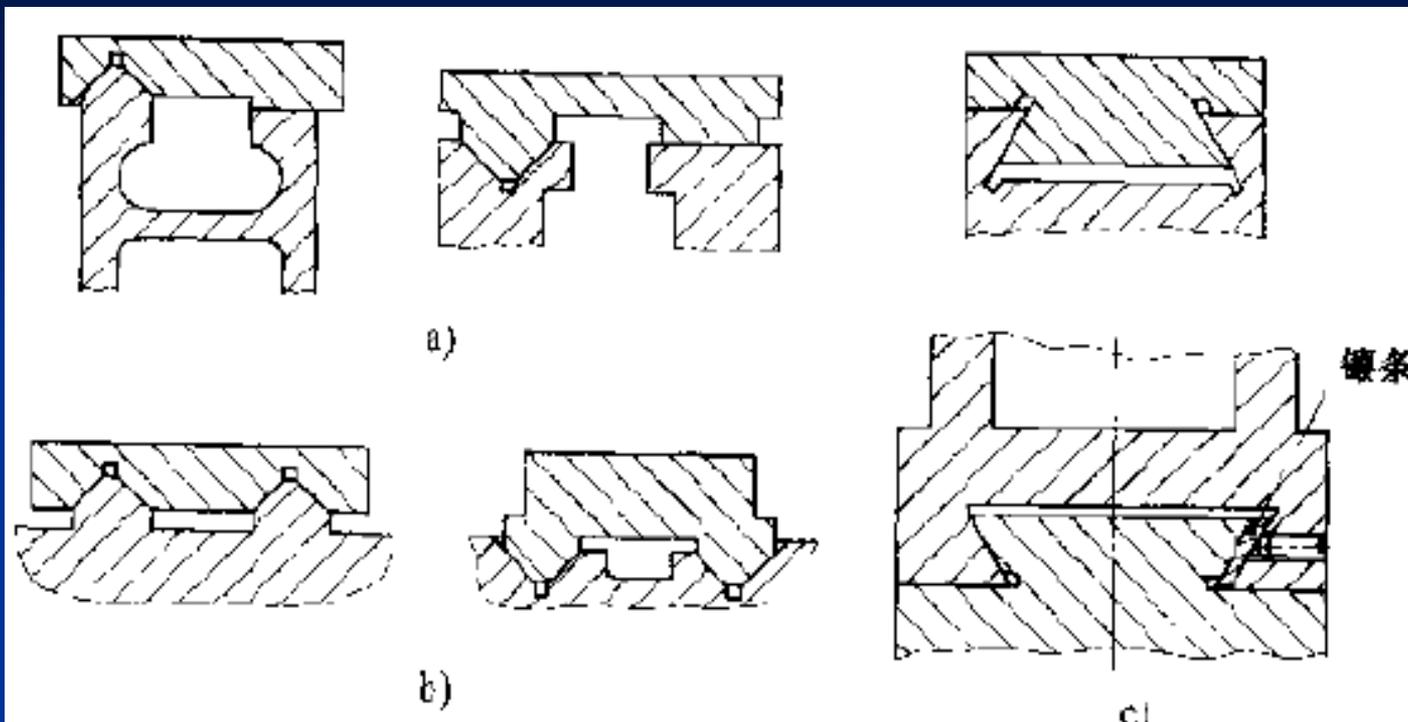
三坐标测量机主要是使用高强度铝合金。这是近几年发展最快的新型材料。

铝材料的优点是质量轻、强度高、变形小、导热性能好，并且能进行焊接，适合作测量机上的许多部件。应用高强度铝合金是目前的主要趋势。

总之，三坐标测量机结构材料的发展经历了由金属到陶瓷、花岗石，再由这些自然材料发展到铝合金的过程。现在，各种合成材料的研究也在深入进行，德国 Zeiss、英国 LK 及 Tarus 公司均开始采用碳素纤维作结构件。随着对精度要求的不断提高，对材料性能要求也越来越高。可以看出，三坐标测量机的材料向着轻便、变形小、易加工的方向发展。

3、三坐标测量机的导轨

导轨是测量机的导向装置，直接影响测量机的精度，因而要求其具有较高的直线性精度。在三坐标测量机上使用的导轨有滑动导轨、滚动导轨和气浮导轨，但常用的为滑动导轨和气浮导轨，滚动导轨应用较少，因为滚动导轨的耐磨性较差，刚度也较滑动导轨低。在早期的三坐标测量机中，许多机型采用的是滑动导轨。滑动导轨精度高，承载能力强，但摩擦阻力大，易磨损，低速运行时易产生爬行，也不易在高速下运行，有逐步被气浮导轨取代的趋势。目前，多数三坐标测量机已采用空气静压导轨（又称为气浮导轨、气垫导轨），它具有许多优点，如制造简单、精度高、摩擦力极小、工作平稳等。



滑动导轨

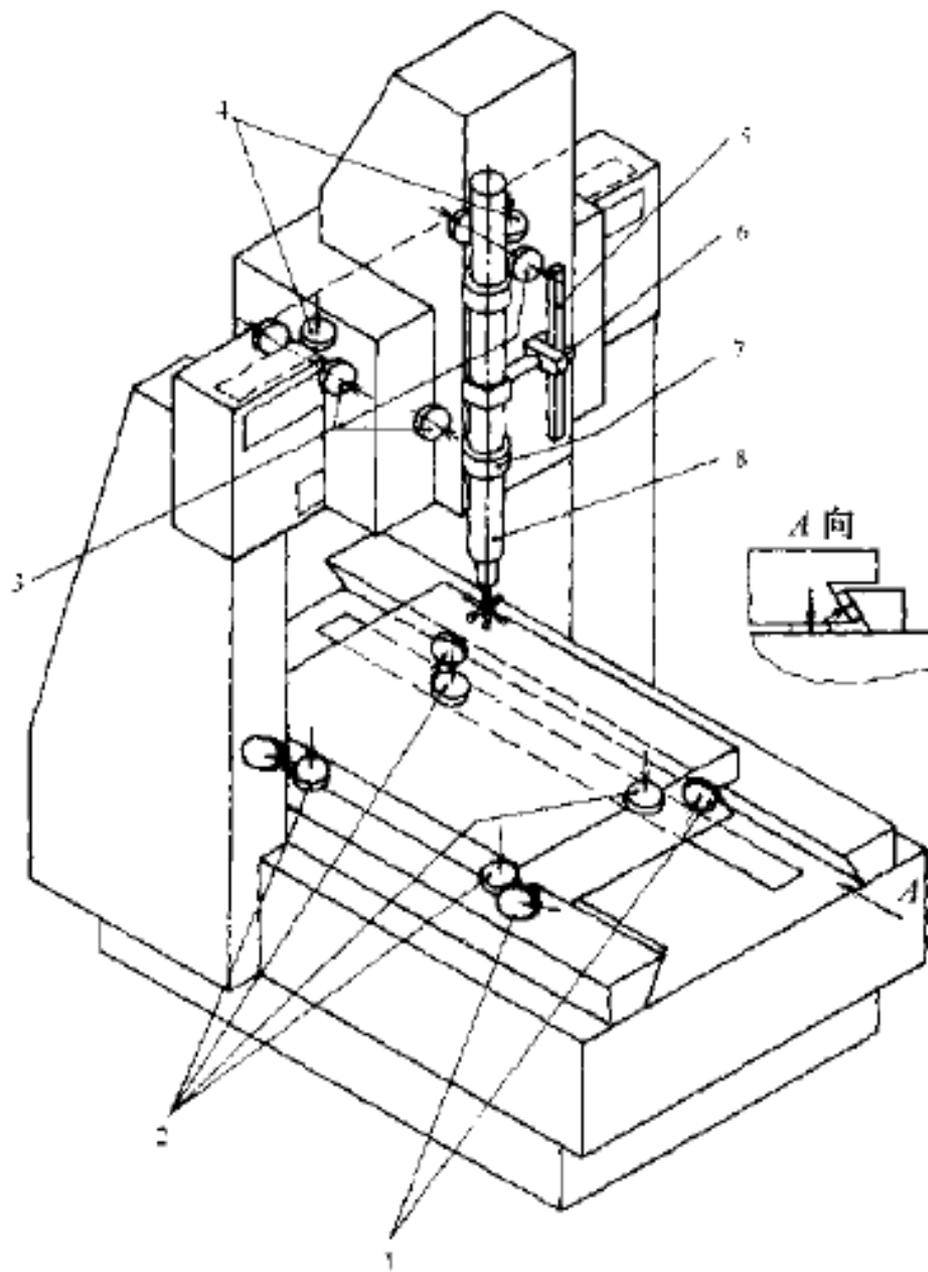


图 2.3 -7 PMM 系列三坐标测量机中空气轴承布局

(二) 三坐标测量机的测量系统

三坐标测量机的测量系统由标尺系统和测头系统构成，它们是三坐标测量机的关键组成部分，决定着 CMM 测量精度的高低。

1、标尺系统

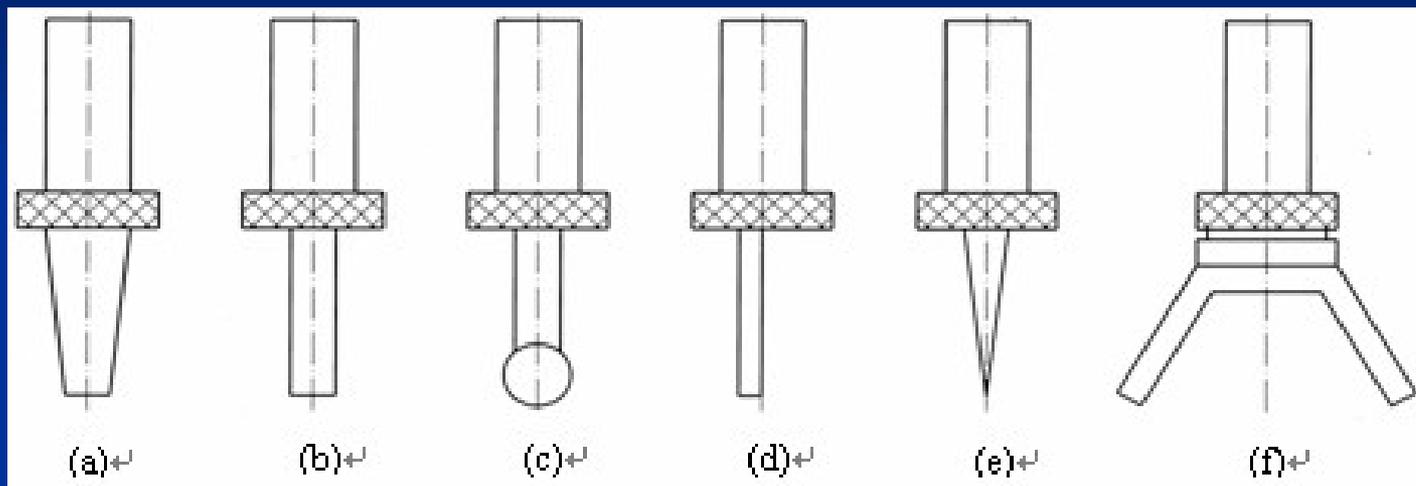
是用来度量各轴的坐标数值的，目前三坐标测量机上使用的标尺系统种类很多，它们与在各种机床和仪器上使用的标尺系统大致相同，按其性质可以分为机械式标尺系统（如精密丝杠加微分鼓轮，精密齿条及齿轮，滚动直尺）、光学式标尺系统（如光学读数刻线尺，光学编码器，光栅，激光干涉仪）和电气式标尺系统（如感应同步器，磁栅）。根据对国内外生产 CMM 所使用的标尺系统的统计分析可知，使用最多的是光栅，其次是感应同步器和光学编码器。有些高精度 CMM 的标尺系统采用了激光干涉仪。

2、测头系统

(1) 测头

三坐标测量机是用测头来拾取信号的，因而测头的性能直接影响测量精度和测量效率，没有先进的测头就无法充分发挥测量机的功能。在三坐标测量机上使用的测头，按结构原理可分为机械式、光学式和电气式等；而按测量方法又可分为接触式和非接触式两类。

1) 机械接触式测头：机械接触式测头为**刚性测头**，根据其触测部位的形状，可以分为圆锥形测头、圆柱形测头、球形测头、半圆形测头、点测头、V型块测头等如下图所示。这类测头的形状



(a) 圆锥形测头 (b) 圆柱形测头 (c) 球形测头 (d) 半圆形测头 (e) 点测头 (f)

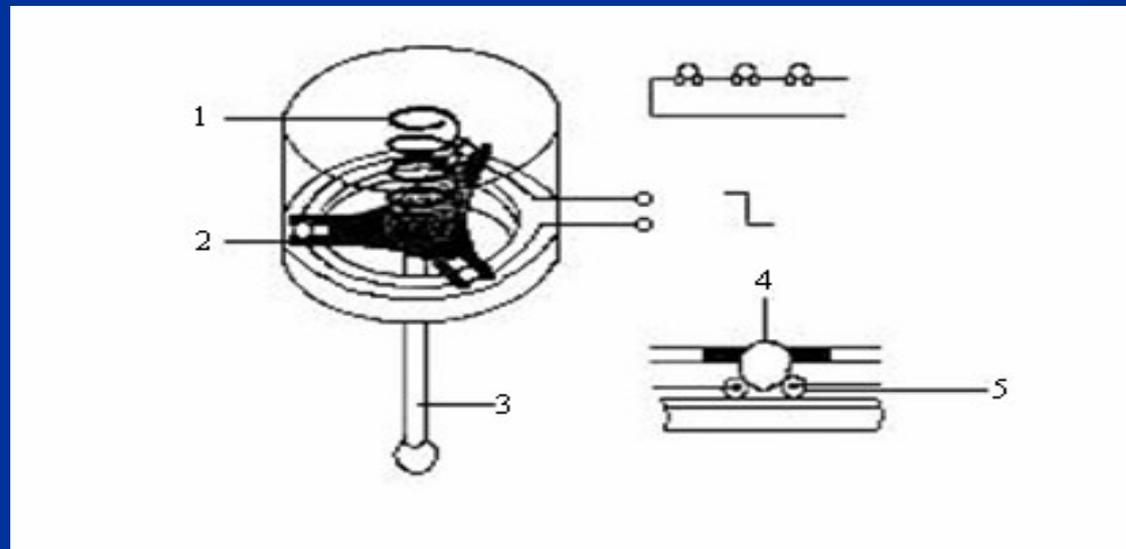
简单，制造容易，但是测量力的大小取决于操作者的经验和技能，因此测量精度差、效率低。

目前除少数手动测量机还采用此种测头外，绝大多数测量机已不再使用这类测头。

2) 电气接触式测头

电气接触式测头目前已为绝大部分坐标测量机所采用，按其工作原理可分为动态测头和静态测头。

a) **动态测头**：常用动态测头的结构如图所示。测杆安装在芯体上，而芯体则通过三个沿圆周 120° 分布的钢球安放在三对触点上，当测杆没有受到测量力时，芯体上的钢球与三对触点均保持接触，当测杆的球状端部与工件接触时，不论受到 X、Y、Z 哪个方向的接触力，至少会引起一个钢球与触点脱离接触，从而引起电路的断开，产生阶跃信号，直接或通过计算机控制采样电路，将沿三个轴方向的坐标数据送至存储器，供数据处理用。



1— 弹簧

2— 芯体

3— 测杆

4— 钢球

5—

电气式动态测

动态测头是在触测工件表面的运动过程中，瞬间进行测量采样的，故称动态测头，也称触发式测头。动态测头结构简单、成本低，可用于高速测量，但精度稍低，而且动态测头不能以接触状态停留在工件表面，因而只能对工件表面作离散的逐点测量，不能作连续的扫描测量。

b) 静态测头：静态测头除具备触发式测头的触发采样功能外，还相当于一台超小型三坐标测量机。测头中有三维几何量传感器，在测头与工件表面接触时，在 X 、 Y 、 Z 三个方向均有相应的位移量输出，从而驱动伺服系统进行自动调整，使测头停在规定的位移量上，在测头接近静止的状态下采集三维坐标数据，故称为静态测头。静态测头沿工件表面移动时，可始终保持接触状态，进行扫描测量，因而也称为**扫描测头**。

其主要特点是精度高，可以作连续扫描，但制造技术难度大，采样速度慢，价格昂贵，适合于高精度测量机使用。

c) **光学测头**：在多数情况下，光学测头与被测物体没有机械接触，这种非接触式测量具有一些突出优点，主要体现在：

① 由于不存在测量力，因而适合于测量各种软的和薄的工件；

② 由于是非接触测量，可以对工件表面进行快速扫描测量；

③ 多数光学测头具有比较大的量程，这是一般接触式测头难以达到的；

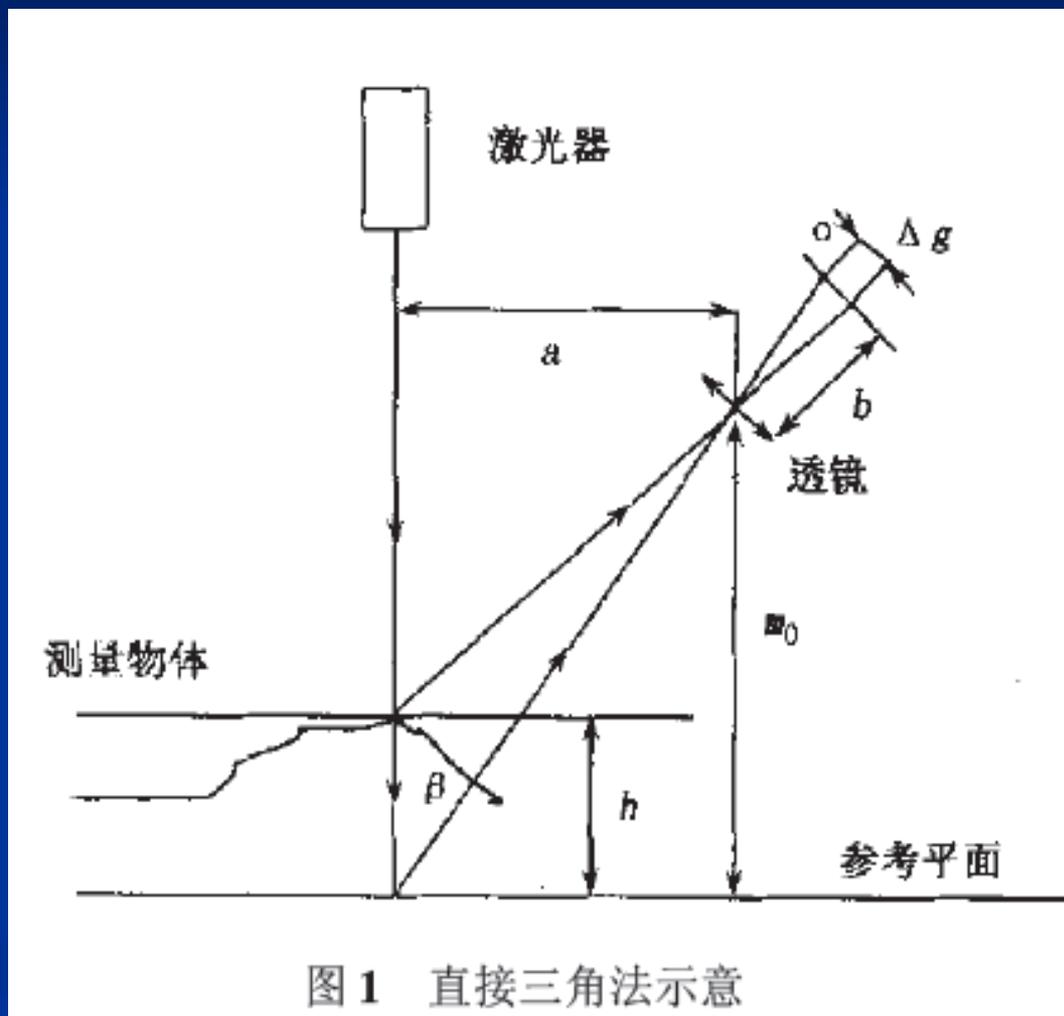
④ 可以探测工件上一般机械测头难以探测到的部位。

d) 激光扫描测头：激光测量探头一般是以三角法测量原理为主

■ 激光器发出的光照射到参考平面上，部分反射光通过透镜组成像并显现在光敏面上，当被测

物轮廓高度发生变化时，像点在光敏面上的位置也发生变化！由像点变化可求得高度的变化，即相对参考面的高度值！测点高度满足

$$h = \frac{\left(\frac{a}{b} + \frac{m_0^2}{ab}\right)\Delta g}{1 + \frac{m_0^2\Delta g}{ab}}$$



(2) 测头附件

为了扩大测头功能、提高测量效率以及探测各种零件的不同部位，常需为测头配置各种附件，如探针、连接器、测头回转附件等。

1) 探针：探针是指可更换的测杆。在有些情况下，为了便于测量，需选用不同的探针。探针对测量能力和测量精度有较大影响，在选用时应注意：

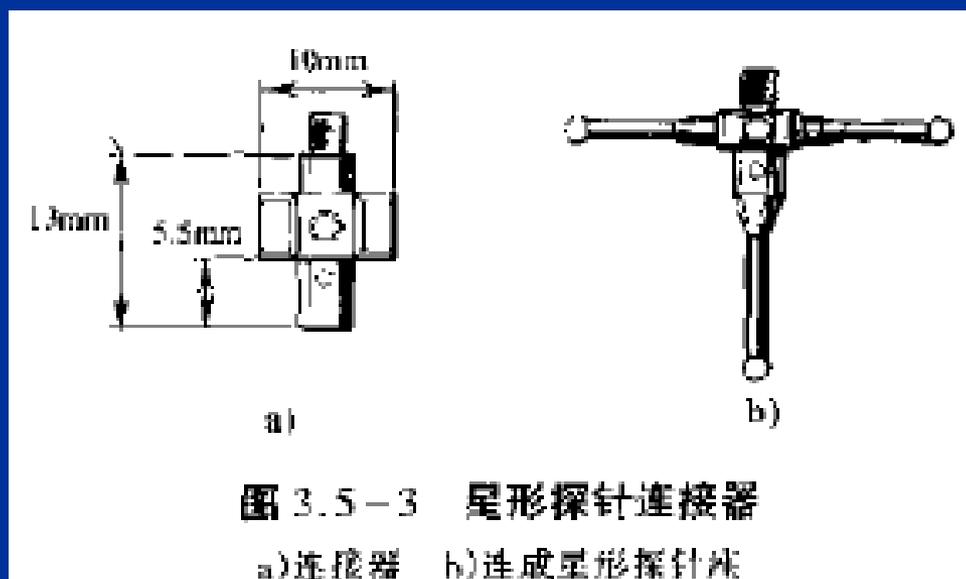
① 在满足测量要求的前提下，探针应尽量短；

② 探针直径必须小于测端直径，在不发生干涉条件下，应尽量选大直径探针；

③ 在需要长探针时，可选用硬质合金探针，以提高刚度。若需要特别长的探针，可选用质量较轻的陶瓷探针。



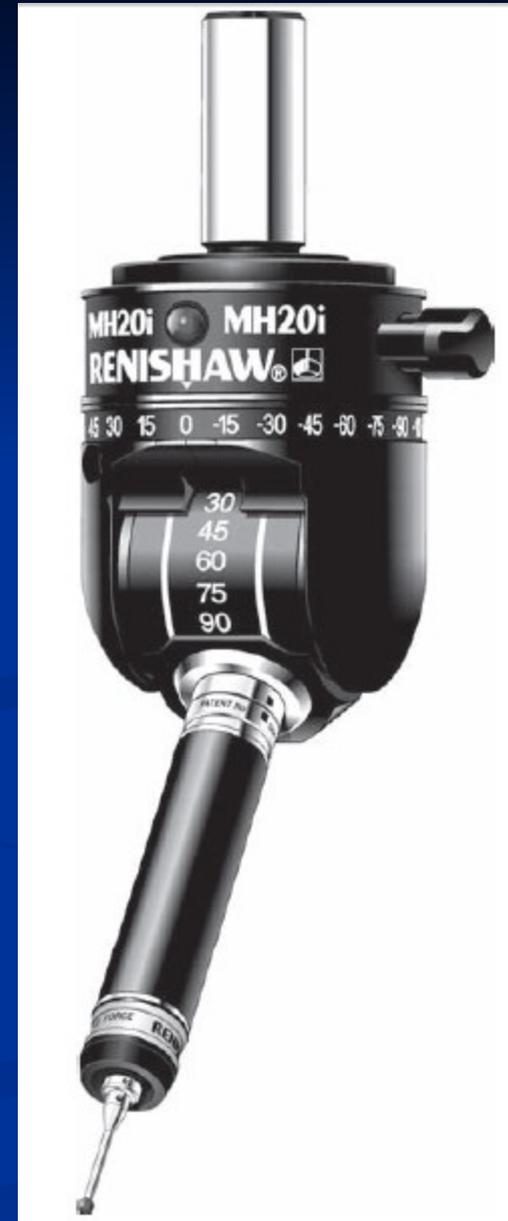
3) 连接器：为了将探针连接到测头上、测头连接到回转体上或测量机主轴上，需采用各种连接器。常用的有星形探针连接器、连接轴、星形测头座等。



自动更换测头系统

4) 回转附件：对于有些工件表面的检测，比如一些倾斜表面、整体叶轮叶片表面等，仅用与工作台垂直的探针探测将无法完成要求的测量，这时就需要借助一定的回转附件，使探针或整个测头回转一定角度再进行测量，从而扩大测头的功能。

常用的回转附件测头回转体。它可以绕水平轴 A 和垂直轴 B 回转，在它的回转机构中有精密的分度机构，其分度原理类似于多齿分度盘。在静盘中有 48 根沿圆周均匀分布的圆柱，而在动盘中有与之相应的 48 个钢球，从而实现以 7.5° 为步距的转位。它绕垂直轴的



转动范围为 360° ，共 48 个位置，绕水平轴的转动范围为 $0^\circ \sim 105^\circ$ ，共 15 个位置。由于在绕水平轴转角为 0° （即测头垂直向下）时，绕垂直轴转动不改变测端位置，这样测端在空间一共可有 $48 \times 14 + 1 = 673$ 个位置。能使测头改变姿态以扩展从各个方向接近工件的能力。

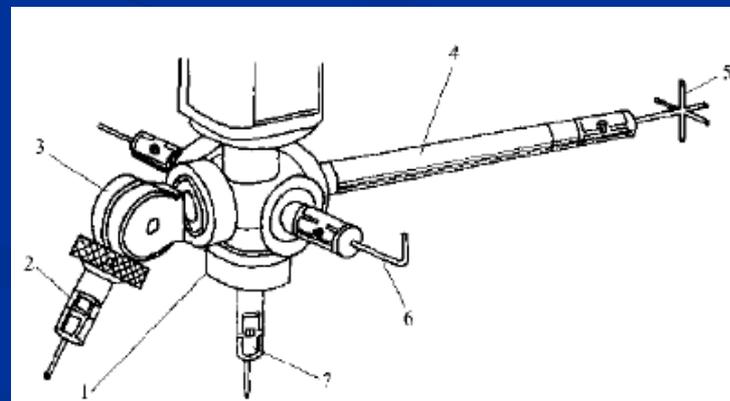
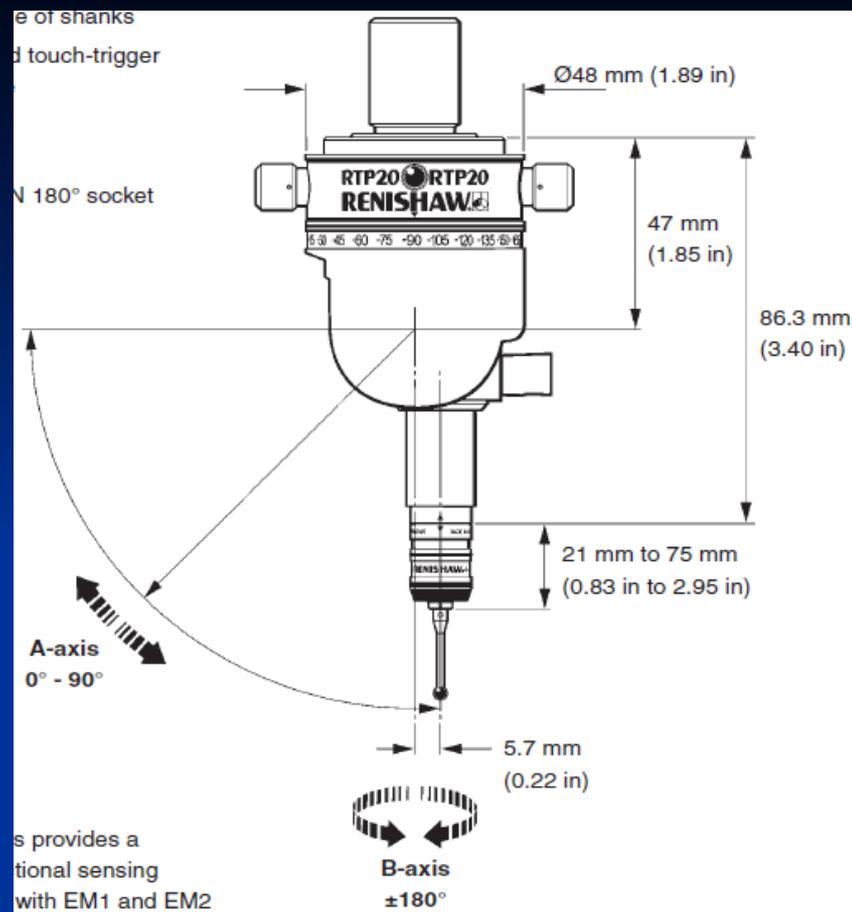


图 3.5-5 星形测头座

(三) 三坐标测量机的控制系统

1、控制系统的功能

控制系统是三坐标测量机的关键组成部分之一。其主要功能是：读取空间坐标值，控制测量瞄准系统对测头信号进行实时响应与处理，控制机械系统实现测量所必需的运动，实时监控坐标测量机的状态以保障整个系统的安全性与可靠性等。

2、控制系统的结构

按自动化程度分类，坐标测量机分为手动型、机动型和 CNC 型。

早期的坐标测量机以手动型和机动型为主，其测量是由操作者直接手动或通过操纵杆完成各个点的采样，然后在计算机中进行数据处理。

随着计算机技术及数控技术的发展，CNC 型控制系统变得日益普及，它是通过程序来控制坐标测量机自动进给和进行数据采样，同时在计算机中完成数据处理。

（1）手动型与机动型控制系统

这类控制系统结构简单，操作方便，价格低廉，在车间中应用较广。这两类坐标测量机的标尺系统通常为光栅，测头一般采用触发式测头。其工作过程是：每当触发式测头接触工件时，测头发发出触发信号，通过测头控制接口向 CPU 发出一个中断信号，CPU 则执行相应的中断服务程序，实时地读出计数接口单元的数值，计算出相应的空间长度，形成采样坐标值 X 、 Y 和 Z ，并将其送入采样数据缓冲区，供后续的数据处理使用。

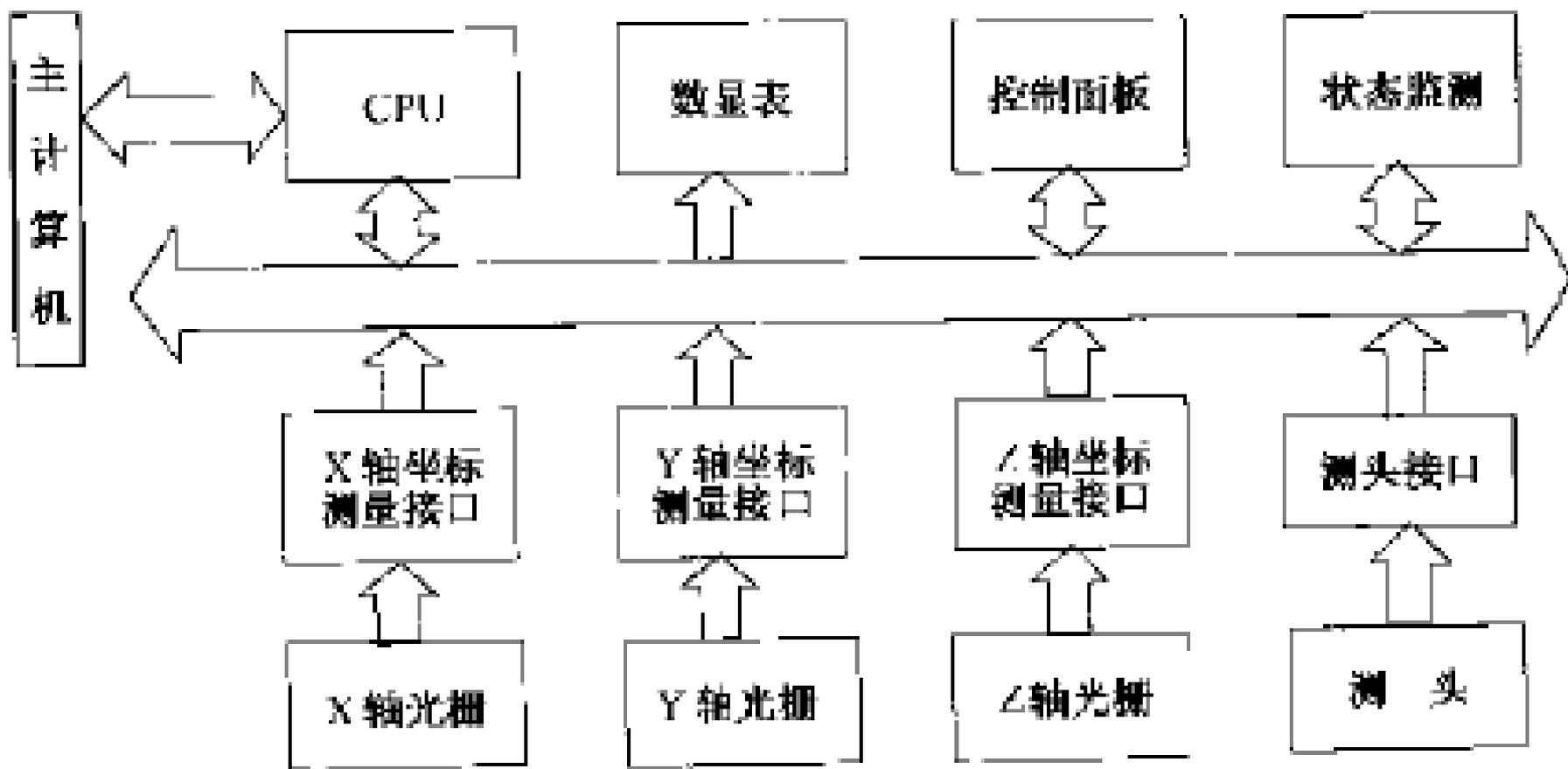


图 1-1-1 手动型控制系统框图

（2）CNC 型控制系统

CNC 型控制系统的测量进给是计算机控制的。它可以通过程序对测量机各轴的运动进行控制以及对测量机运行状态进行实时监测，从而实现自动测量。另外，它也可以通过操纵杆进行手工测量。CNC 型控制系统又可分为集中控制与分布控制两类。

1) 集中控制：由一个主 CPU 实现监测与坐标值的采样，完成主计算机命令的接收、解释与执行、状态信息及数据的回送与实时显示、控制命令的键盘输入及安全监测等任务。它的运动控制是由一个独立模块完成的，该模块是一个相对独立的计算机系统，完成单轴的伺服控制、三轴联动以及运动状态的监测。从功能上看，运动控制 CPU 既要完成数字调节器的运算，又要进行插补运算，运算量大，其实时性与测量进给速度取决于 CPU 的速度。

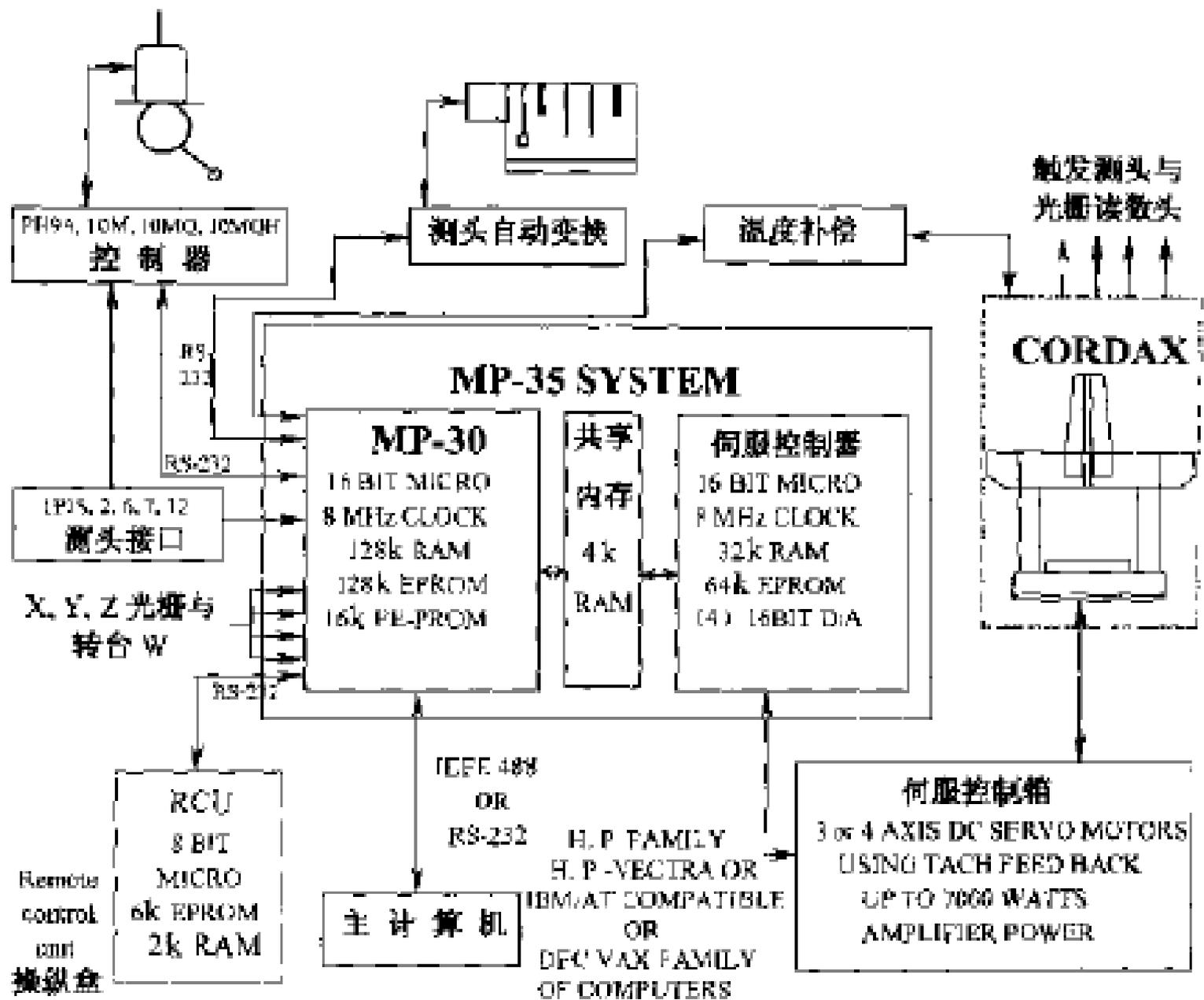


图 4.1-2 集中控制系统的框图

2) 分布式控制：是指系统中使用多个 CPU，每个 CPU 完成特定的控制，同时这些 CPU 协调工作，共同完成测量任务，因而速度快，提高了控制系统的实时性。另外，分布式控制的特点是多 CPU 并行处理，由于它是单元式的，故维修方便、便于扩充。如要增加一个转台只需在系统中再扩充一个单轴控制单元，并定义它在总线上的地址和增加相应的软件就可以了。

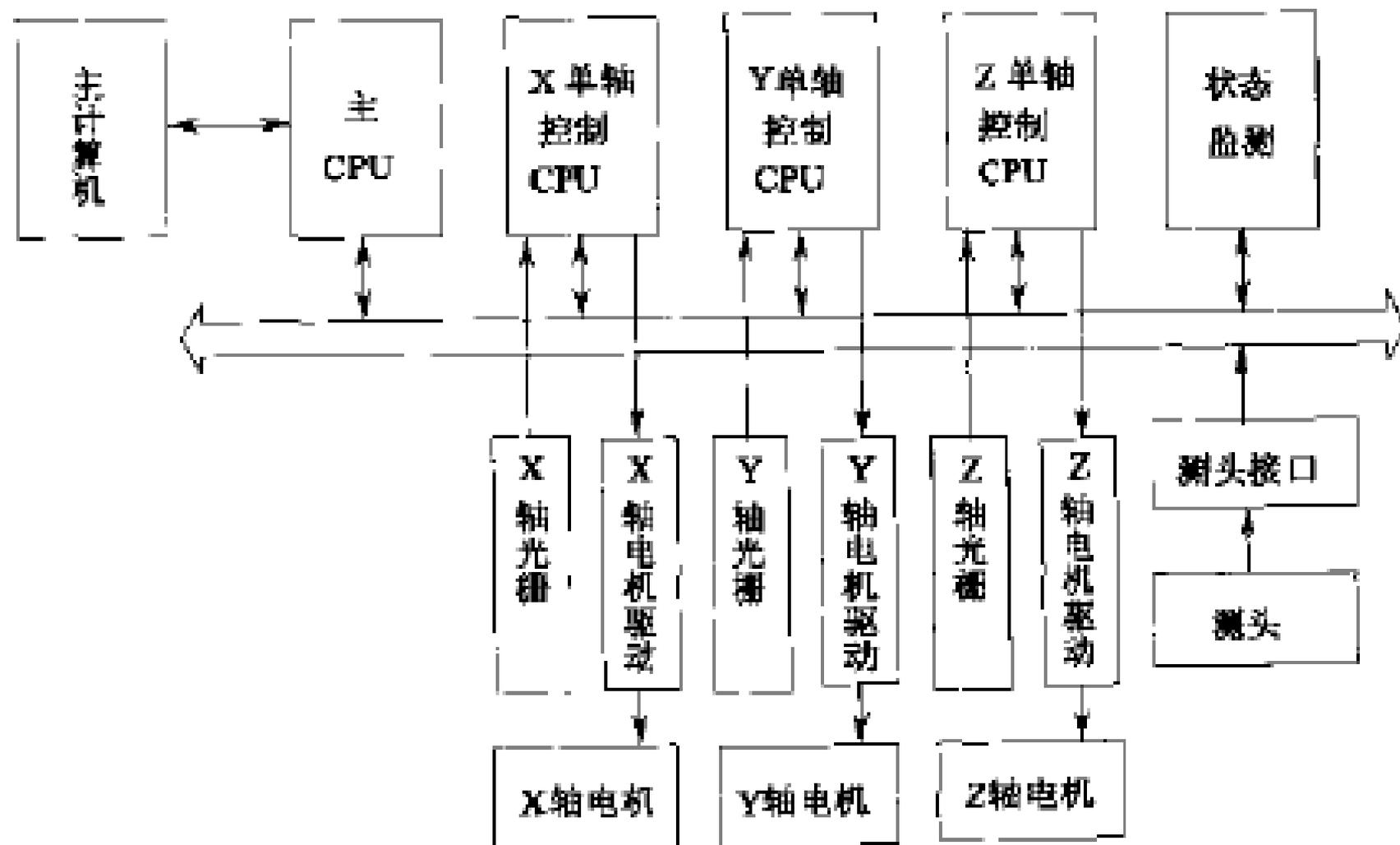


图 4.1-5 集中分布式 CNC 控制系统框图

3、测量进给控制

手动型以外的坐标测量机是通过操纵杆或 CNC 程序对伺服电机进行速度控制，以此来控制测头和测量工作台按设定的轨迹作相对运动，从而实现对工件的测量。三坐标测量机的测量进给与数控机床的加工进给基本相同，但其对运动精度、运动平稳性及响应速度的要求更高。三坐标测量机的运动控制包括单轴伺服控制和多轴联动控制。单轴伺服控制较为简单，各轴的运动控制由各自的单轴伺服控制器完成。

但当要求测头在三维空间按预定的轨迹相对于工件运动时，则需要 CPU 控制三轴按一定的算法联动来实现测头的空间运动，这样的控制由上述单轴伺服控制及插补器共同完成。在三坐标测量机控制系统中，插补器由 CPU 程序控制来实现。根据设定的轨迹，CPU 不断地向三轴伺服控制系统提供坐标轴的位置命令，单轴伺服控制系统则不断地跟踪，从而使测头一步一步地从起始点向终点运动。

4、控制系统的通信

控制系统的通信包括内通信和外通信。内通信是指主计算机与控制系统两者之间相互传送命令、参数、状态与数据等，这些是通过联接主计算机与控制系统的通信总线实现的。外通信则是指当 CMM 作为 FMS 系统或 CIMS 系统中的组成部分时，控制系统与其它设备间的通信。目前用于坐标测量机通信的主要有串行 RS - 232 标准与并行 IEEE - 488 标准。

（四）三坐标测量机的软件系统

1、编程软件：测量程序的编制有以下几种方式。

（1）图示及窗口编程方式：图示及窗口编程是最简单的方式，它是通过图形菜单选择被测元素，建立坐标系，并通过“窗口”提示选择操作过程及输入参数，编制测量程序。该方式仅适用于比较简单的单项几何元素测量的程序编制。

（2）自学习编程方式

这种编程方式是在 CNC 测量机上，由操作者引导测量过程，并键入相应指令，直到完成测量，而由计算机自动记录下操作者手动操作的过程及相关信息，并自动生成相应的测量程序，若要重复测量同种零件，只需调用该测量程序，便可自动完成以前记录的全部测量过程。该方式适合于批量检测，也属于比较简单的编程方式。

（3）脱机编程

这种方式是采用三坐标测量机生产厂家提供的专用测量机语言在其它通用计算机上预先编制好测量程序，它与坐标测量机的开启无关。编制好程序后再到测量机上试运行，若发现错误则进行修改。其优点是能解决很复杂的测量工作，缺点是容易出错。

（4）自动编程

在计算机集成制造系统中，通常由 CAD/CAM 系统自动生成测量程序。三坐标测量机一方面读取由 CAD 系统生成的设计图纸数据文件，自动构造虚拟工件，另一方面接受由 CAM 加工出的实际工件，并根据虚拟工件自动生成测量路径，实现无人自动测量。这一过程中的测量程序是完全由系统自动生成的。

2、测量软件包

测量软件包可含有许多种类的数据处理程序，以满足各种工程需要。一般将三坐标测量机的测量软件包分为通用测量软件包和专用测量软件包。通用测量软件包主要是指针对点、线、面、圆、圆柱、圆锥、球等基本几何元素及其形位误差、相互关系进行测量的软件包。通常各三坐标测量机都配置有这类软件包。专用测量软件包是指坐标测量机生产厂家为了提高对一些特定测量对象进行测量的测量效率和测量精度而开发的各类测量软件包。

3、系统调试软件

用于调试测量机及其控制系统，一般具有以下软件。

(1) 自检及故障分析软件包：用于检查系统故障并自动显示故障类别；

(2) 误差补偿软件包：用于对三坐标测量机的几何误差进行检测，在三坐标测量机工作时，按检测结果对测量机误差进行修正；

(3) 系统参数识别及控制参数优化软件包：用于 CMM 控制系统的总调试，并生成具有优化参数的用户运行文件；

(4) 精度测试及验收测量软件包：用于按验收标准测量检目

4、系统工作软件

测量软件系统必须配置一些属于协调和辅助性质的工作软件，其中有些是必备的，有些用于扩充功能。

(1) **测头管理软件**：用于测头校准、测头旋转控制等；

(2) **数控运行软件**：用于测头运动控制；

(3) **系统监控软件**：用于对系统进行监控（如监控电源、气源等）；

(4) 编译系统软件：用此程序编译，生成运行目标码；

(5) DMIS 接口软件：用于翻译 DMIS 格式文件；

(6) 数据文件管理软件：用于各类文件管理；

(7) 联网通讯软件：用于与其他计算机实现双向或单向通讯。

第二节 接触式三坐标测量机

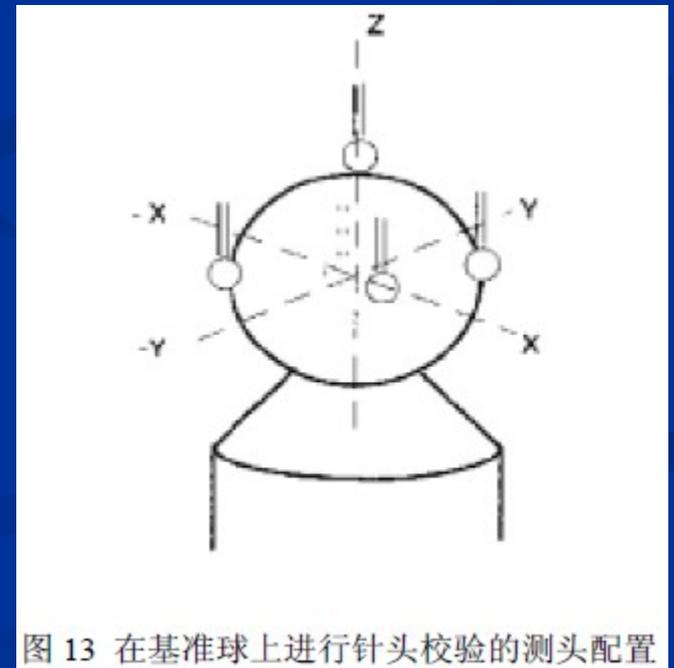
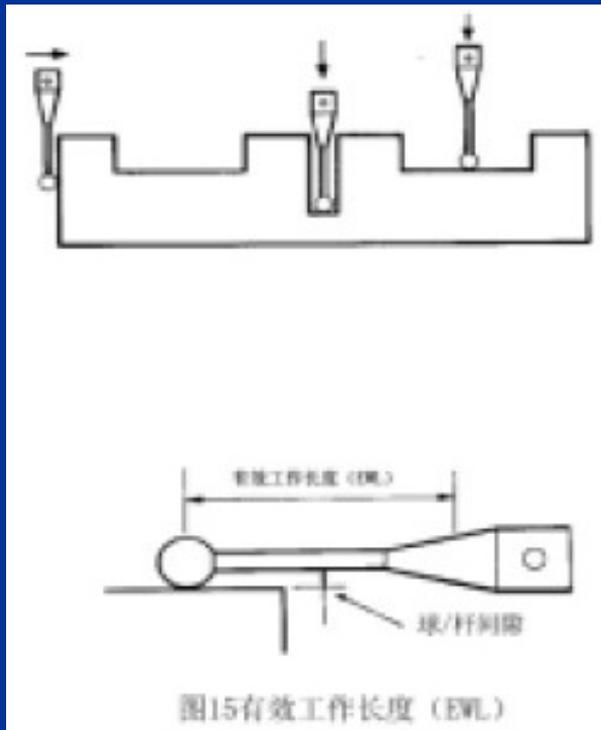
接触式三坐标测量机程序由以下几部分组成

- a . 定义机器运行模式和显示设备等;
- b . 定义测量臂和探针;
- c . 定义变量;
- d . 定义公差带;
- e . 建立坐标系;
- f . 测量几何要素;
- g . 评定几何要素。

第二节 接触式三坐标测量机

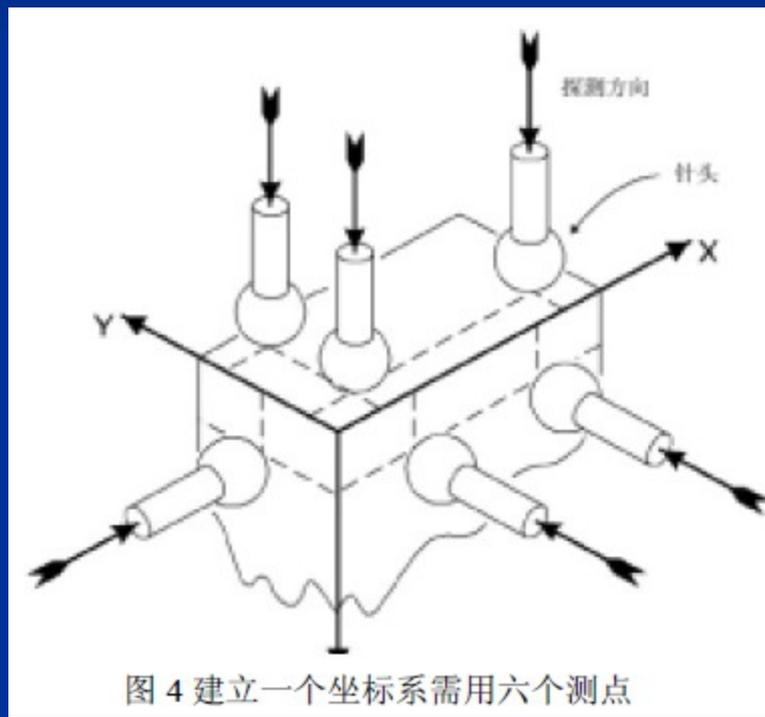
接触式三坐标测量机程序由以下几部分组成

- a. 定义机器运行模式和显示设备等;
- b. 定义测量臂和探针;



第二节 接触式三坐标测量机

- e. 建立坐标系;



■ f. 测量几何要素

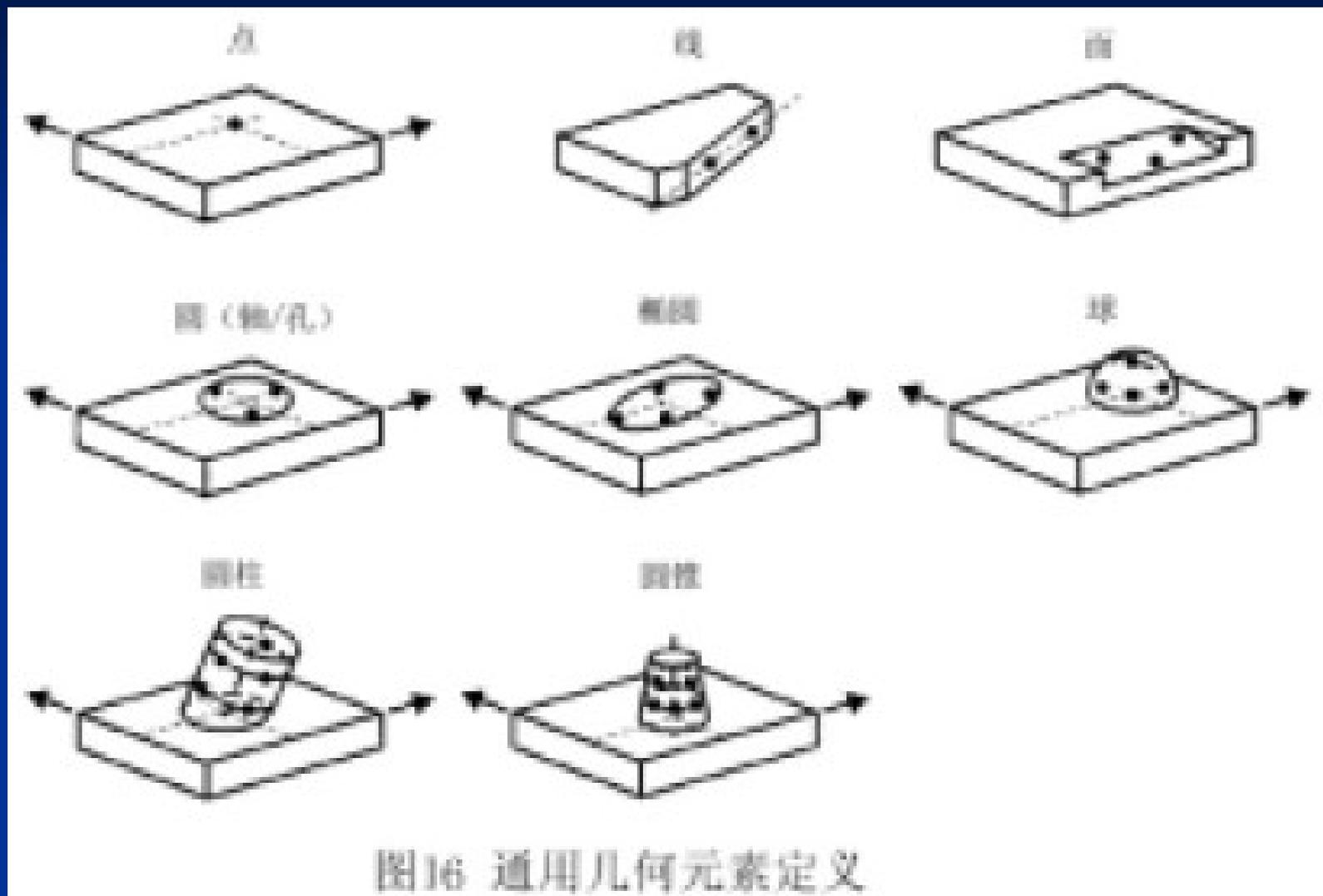


表 1 所要求的测点数

所要求的测点数		
几何元素	数学所要求的最少点数	推荐测点数
直线	2	5
平面	3	9 (三条线每线三点)
圆	3	7 (去探知 6 叶形)
球	4	9 (三个平行平面的三个圆)
圆锥	6	12 (四个平行平面的圆, 为了得到直线度信息) 15 (五个点在三个平行平面的圆, 为了得到圆度信息)
椭圆	4	12
圆柱	5	12 (四个平行平面的圆, 为了得到直线度信息) 15 (五个点在三个平行平面的圆, 为了得到圆度信息)
立方体	6	18 每个面至少三点

■ g. 评定几何要素。



图27 平均尺寸（高斯）和包容尺寸（车比雪夫）

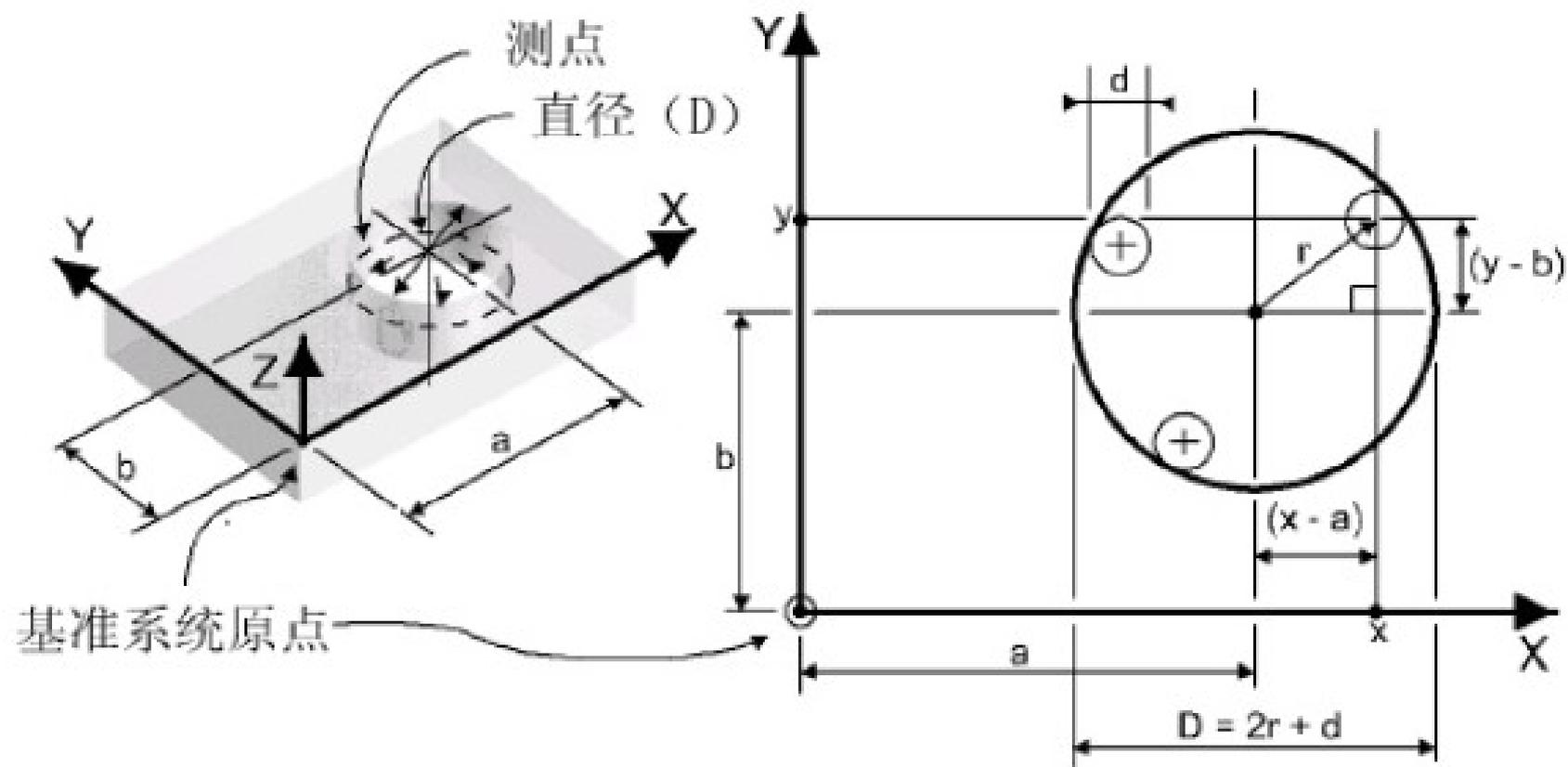


图30三测点测量圆孔直径

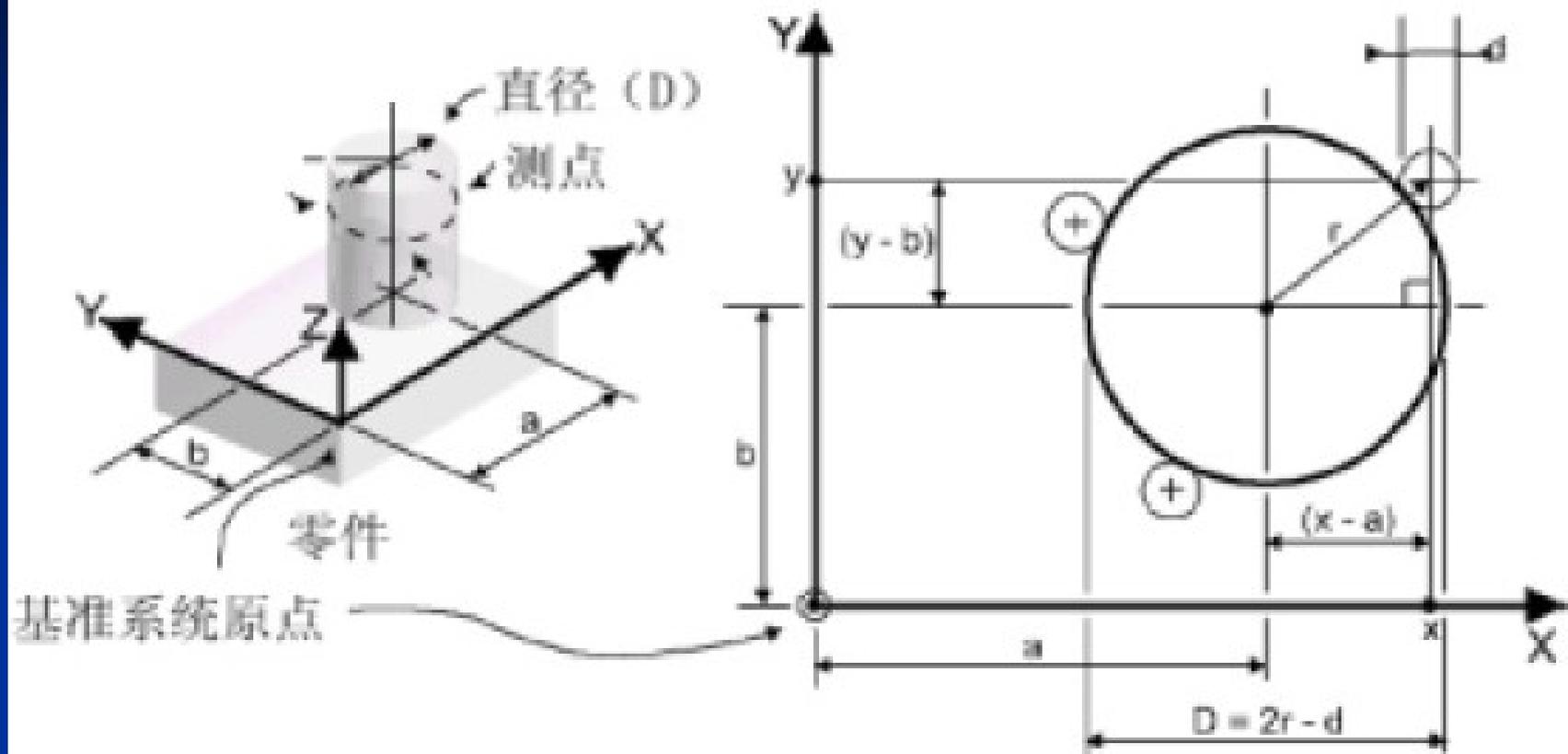


图31 三测点测量圆轴直径

第三节 非接触式三坐标测量机

非接触式三坐标测量机 测量方法包括投影光栅法、激光三角形法、工业 CT 扫描和核磁共振、自动断层扫描法等。

一、影像复合式三坐标测量仪实例

■ 光学影像测量机

---- 实现微小尺寸的精密测量

通过在测量机 Z 轴上安装高精度 CCD 数字摄像头，将被测微小尺寸予以放大，利用先进的图像信息处理技术、可编程控制光学照明技术实现对微小或易变形的零部件的非接触测量，从而可替代工具显微镜和投影仪。可应用于精密电子、模具、PCB 板、五金塑胶、接插件、橡胶、手表、手机等行业。



三坐标测量机配影像测头

■ 性能特点:

- 影像自动定位寻边，找中心线等，多种寻边工具灵敏度可设定；
- 影像自动对焦指示器，轻松取得清晰影像
- 具有统计分析、自动检测等功能
- 提供测量方向指示器，方便寻找下个测点
- 超强去毛边功能
- 具有批次自动量测及程序编辑功能

■ 性能参数:

驱动方式 CNC

物镜 高解析 5X (可选 10X)

光源 可编程控制背光环形顶光源

测量精度 $(3.0+L/250)$ μm 单位为 mm

长度测量系统 RENISHAW 精密光栅尺, 分辨率: $0.1-0.5\mu\text{m}$



■ 主要测量功能:

- ◆ 直线测量
- ◆ 半径测量
- ◆ 弧度测量
- ◆ 角度测量
- ◆ 多圆几何测量
- ◆ 同心度测量
- ◆ 坐标点测量
- ◆ 椭圆度测量
- ◆ CAD 测绘与导
- ◆ 测量结果存图
- ◆ 测量结果打印



二、激光复合式三坐标测量仪（主要应用于产品测量与逆向抄数扫描）

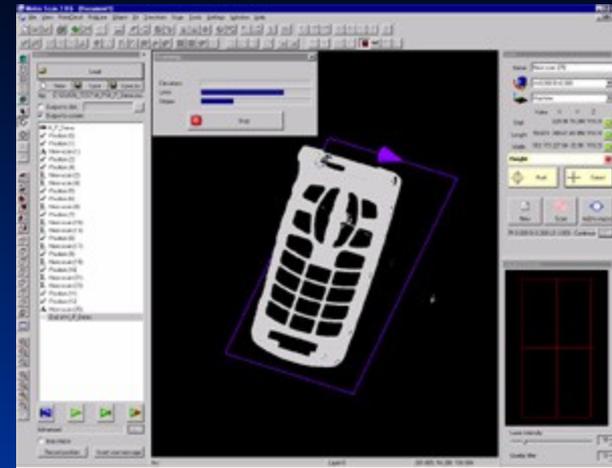
■ 利用激光测头测量手机外壳实例（激光三角形法）

C
-
1
0
0

规格



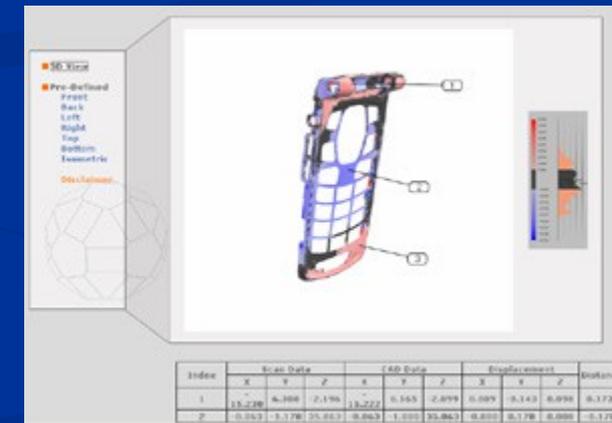
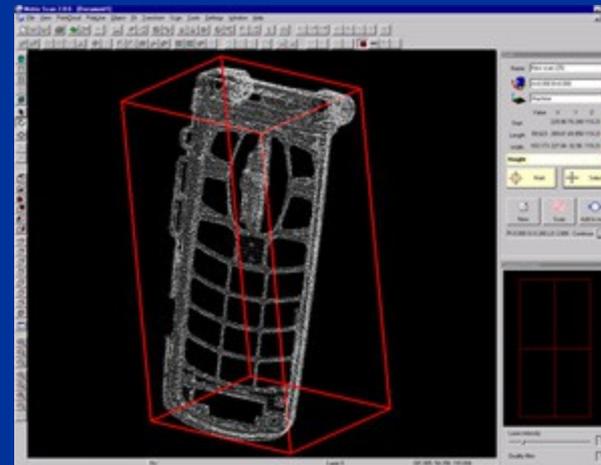
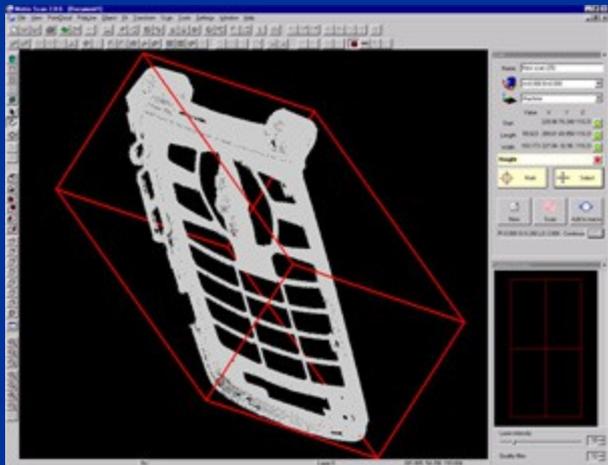
Width of field of view	50 mm
Depth of field of view	100 mm
Accuracy	+/- 0.02 mm
Stand-off (distance between sensor head and start of FOV)	100 mm 19,200 points/sec
Laser	Red laser Eye-safe Class II
Overall dimensions of the head	105 x 60 x 95 mm with 40 mm standard extension



格

1、利用 LC-100 的扫描

2、扫描数据传送



3、Point Cloud Data : Filtering(299,437 Points)

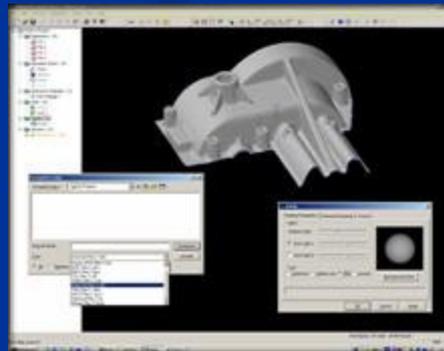
3、Point Cloud Data : Filtering(34,507 Points)

5、CAD Model 和测量 Data 比较

三、数字化扫描系统介绍

在市场上存在着各类扫描设备，而采集数据的原理基本都是三角测量法，然后通过 CCD 成像得到数据。当然各类设备根据定位方式不同，通常分以下几类。

- 1、三坐标测量机（CMM）或者柔性关节臂加载激光扫描头
这类扫描设备都是通过传统的测量设备上加载激光扫描头来实现更加快速的非接触式扫描采点的功能，目前应用非常广泛。扫描精度很大程度上取决于测量机平台的精度。代表设备：法国 Kreon 公司的 Zephyr 系列扫描头。
- Kreon Zephyr 系列三维激光扫描传感器配合柔性关节臂构成整套扫描系统。是一套功能全面、性价比高的解决方案。广泛应用于逆向工程、质量控制、在线检测、复杂曲面比对等领域。



Kreon Zephyr 系列扫描设备

产品特点：

精度高： Kreon 扫描传感器最高可达 $3\mu\text{m}$ 。

速度快： 采点速度能达到 30000 点 / 秒。

重量轻： 采用新型材料，大大降低了设备重量。

兼容性高： Kreon 扫描传感器可与三坐标测量机、数控机床、柔性测量臂系统集成。

扩展功能强： 非但具有三维扫描的功能，还能提供传统的接触式点位测量，为产品开发、质量控制提供了一整套解决方案。

性价比高： 如用户本身就拥有三坐标测量机（CMM）或者柔性测量臂（FARO/Cimcore/Romer...），只需加装 Kreon 扫描头即可实现高速度、高精度的非接触式扫描的功能。从而减少成本投入。

安全性高： class III 激光束，对人眼无害。

操作简便： 直观的扫描方式以及友好的用户界面，简单易学。

系统稳定： 系统由原厂配置，安装简单，关节臂可现场校准。

扫描系统有多个型号（光带宽度不同）：
25mm、50mm、100mm 可根据产品精度要求选择不同型号

2、通过标记点定位的照相式扫描设备

这类扫描设备必须通过附加的标记点以及比例标杆预先构造好坐标框架，然后再通过扫描头进行扫描，系统会自动识别先前建立好坐标位置的标靶点，从而完成坐标转换。此类设备需要做一定的准备工作，但是可以有效减少累计误差，很适合扫描大型的工件。但是对一些精密零件就力不从心了。代表设备：德国的 Comet 扫描系统。

Comet 扫描系统：

COMET 扫描系统，是利用白色光栅投影法（使用投影光栅和照相机的三角形测量法），通过非接触方式获得物体表面数字化点云数据，配合 photogrammetry 系统（数字相机定位系统），能有效的消除累计误差，非常适合大型物体表面的扫描工作。现在已经推出了新型的 Comet 5 系列扫描系统。



■ 产品特点:

高质量的数据: 非常稳定的机械结构, 采用 FEM 技术设计的高强度的 CFRP 梁, 另外特殊光学技术的发展为 COMET 传感器提供了高精度的保证. 其次由于光纤连接的疝气灯的采用, 使热量影响被有效隔绝了。

对不同环境的适应性: 用户可以方便调整系统适应新的环境按测量任务要求来定制系统. 传感器提供了充分的标准功能并且还提供了为将来需求的扩展视图, 光学传感器达到了最多 800W 象素的精度。

安装简单: COMET 扫描头可以装配在不同的三角架上, 这样就可以快速, 简易达到测量状态。

可靠性: 扫描头和电脑之间的数据传输视通过 CAN 线和千兆网卡实现的. 这些机构保证了该系统在工业环境下也具有有良好的性能. 自我检测的功能更加确保了扫描系统的准确性。

快速获取数据: COMET 缩短了测量时间, 智能化点过滤功能保证了即使大的点云数据也能在保证数据完整和精度的情况下被快速获得和进一步后处理。

■ 3、通过外置照相机或跟踪仪定位的扫描设备

这类扫描设备通过外置的跟踪仪或照相机来跟踪扫描头上的标靶点来进行定位。扫描起来比较快捷，方便。代表设备：德国的 Tscan 扫描系统。

■ T-scan 扫描系统：

智能化、手持式的 COMET T-Scan 扫描仪可以很方便地由任何人使用而不需专人使用，就像用一个刷子在曲面上刷漆一下，可以通过扫描器在曲面上移动来获得大量的高质量三维坐标点数据。因为通过跟踪仪来定位，所以在有效测量场内都能得到高精度的扫描数据，并且支持无线的点位测量，真正体现了高速、高效、高品质！



产品特点:

扫描宽度大: 扫描宽度 90 毫米, 对于较大物体也能保持较快的扫描速度。

实时显示: 在扫描过程中, 扫描结果可以实时显示在计算机屏幕上, 这使得扫描操作变得非常直观 (像**刷油漆一下简单**)。

激光等级 2: 由于采用等级为 2 的激光束, 从而不需专门防护, 对人体无害。

可变的点云密度: 由于可以在一根扫描激光束内调节点密度, 使得我们可以自动获得高密度的物体轮廓线。

无需标定: 无论是激光扫描头还是光学跟踪器都处于已标定状态, 因此用户不需要在现场进行繁琐的标定工作。

测量体积大: 最大支持深达 4.5 米 * 3.7 米的测量体积, 可以测量较大的物体。

测量精度高: 在标准测量范围内测量精度达。

扫描适应性强: 除了透明物体和镜面物体, 其余材质均**无需喷涂显像剂**, 这一点只有 Tscan 能真正做到!

支持测量功能: 配合 Ployworks、Metrolog 等软件, 可以实现传统测量的功能, 而且**测量范围大, 测量更灵活。**

点云质量高: 扫描后能生成完美的 STL 点云, 为后期工作打好基础

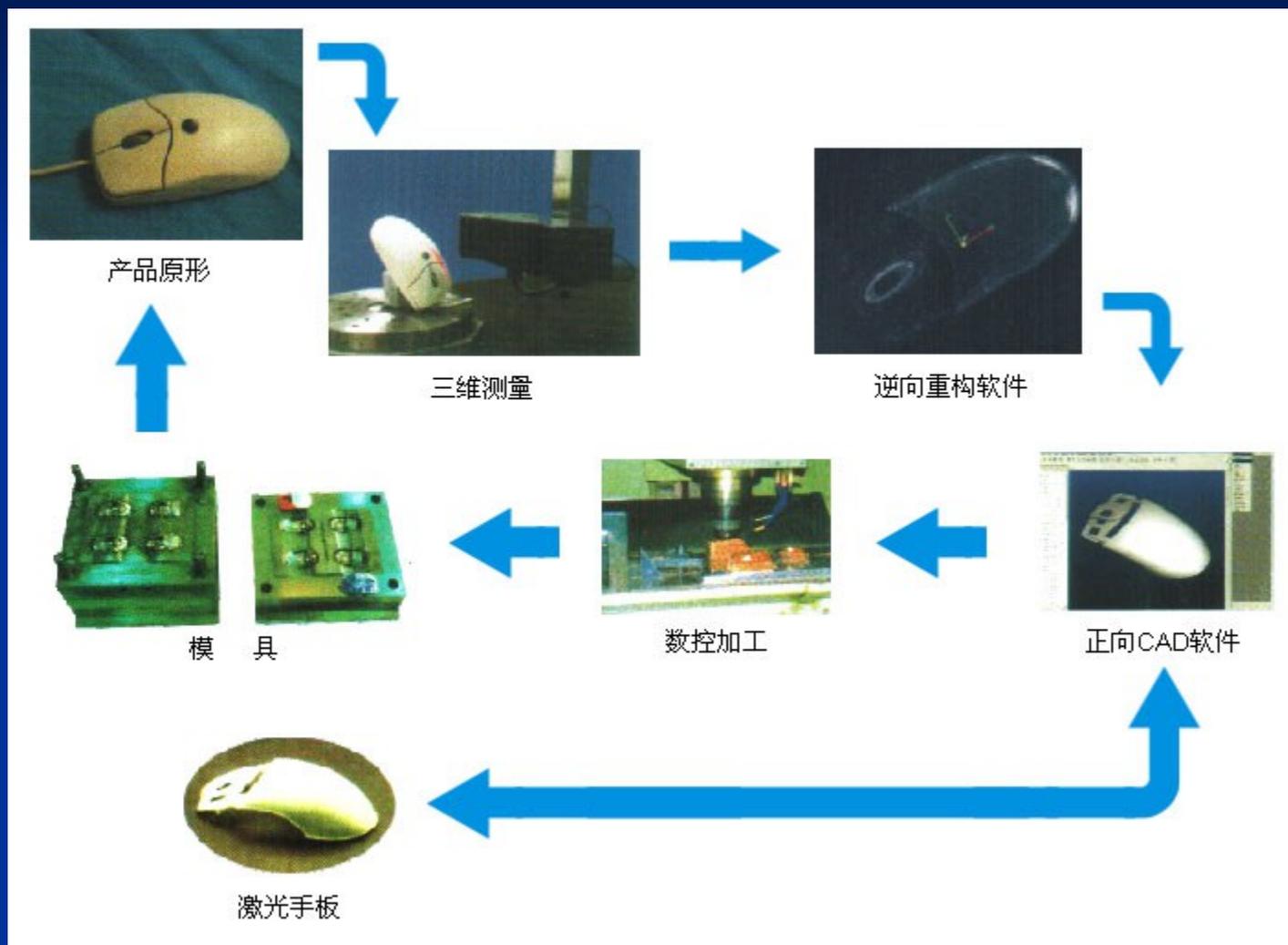
第四节 逆向工程技术

一、逆向工程原理

- 逆向工程技术 (Reverse Engineering , RE) 也称之为反求工程技术, 它是指在没有技术文档的情况下, 针对现有的三维实物, 利用现有的数字化测量设备准确、快速的测得轮廓几何数据, 并加以建构、编辑、修改生成通用输出格式的曲面数字化模型, 再送入通用的 CAD/CAM 中或 RP 系统中, 最后复制出实物或原形的过程。

- 逆向工程解决了在只有一个实物样品或手工模型，没有 CAD 资料的情况下，利用逆向工程工具，把原始 CAD 资料还原出来，它大幅度的缩短新产品开发周期，降低新产品的开发成本，是一项实现敏捷制造的重要先进制造技术。随着计算机技术的飞速发展，三维的几何造型技术已被制造业广泛应用于产品及工模具的设计、方案评审、自动化加工制造及管理维护各个方面。

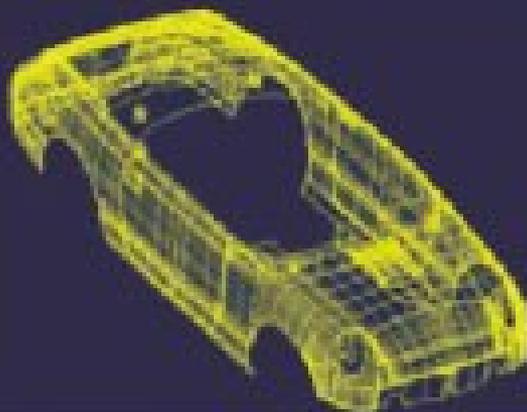
逆向工程典型流程图



激光扫描软件处理示意图



扫描完成后的点云



根据做图的方便，全方位的截取物体的剖面线



利用 PRO/E、UG 等三维 CAD 软件绘制产品图

二、逆向工程特点：

- 传统的复制方法是用立体雕刻机或液压三元靠模铣床制作出一比一成等比例的模具，再进行量产。这种方法属称类比式（Analog type）复制，无法建立工件尺寸图档，也无法做任何的外形修改。这为后续的改进设计造成很大程度上的麻烦。
- 逆向工程已经作为一种先进的设计方法被引入到新产品的设计开发工作中，对竞争对手的产品进行改进，以避开艰苦的原型设计阶段，这是一种产品的再设计过程。

- 逆向工程通常是以专案方式执行一模型的仿制工作。往往制作的产品没有原始设计图档，而是委托单位交付一件样品或模型，请制作单位复制出来。因为长期专门从事逆行工作，所以工作效率很高，三维模型也很专业。
- 逆向工程是由高速三维激光扫描机对已有的样品或模型进行准确、高速的扫描，得到其三维轮廓数据，配合逆向软件进行曲向重构，并对重构的曲面进行在线精度分析、评价构造效果，最终生成 IGES 或 STL 数据，据此就能进行快速成型或 CNC 数控加工。IGES 数据可传给一般的 CAD 系统（如：GeoMagic、UG、MDT 等），进行进一步修改和再设计。另外，也可传给一些 CAM 系统（如：ImageWare、MASTERCAM、SMART-CAM 等），做刀具路径设定，产生数控代码，由 CNC 机床将实体加工出来。STL 数据经曲面断层处理后，可以直接由激光快速成型方式将实体制作出来。

三、逆向技术应用的方向

- (1) 实物模型的产品外形设计：基于实物模型的产品外形设计当设计师难以直接用计算机进行某些物体，如复杂的艺术造型、人体和其它动植物外形的三维几何设计时，常用黏土、木材或泡沫塑料进行初始外形设计，这就需要通过逆向工程将实物模型转化为三维 CAD 模型。
- (2) 产品作局部的修改：对现有的产品进行局部的修改由于工艺、美观、使用效果等原因，经常要对已有的产品作局部的修改。在原始设计没有三维 CAD 模型的情况下，若能将实物构件通过数据测量与处理产生与实际相符的 CAD 模型，并对 CAD 模型进行修改以后再进行加工。

- (3) 传统产品的数字化：对无法得到图纸的已有产品实现数字化传统产业的产品往往无图纸可用，需要采用逆向工程的方法来实现传统产品的数字化 [9]。
- (4) 再创新设计对已有产品为基准点进行的设计借鉴别人的成功设计，进行再创新设计是在激烈竞争中赶超同行先进水平的一个捷径。
- (5) 快速生产零部件：磨损或损坏物体的还原某些大型设备，如航空发动机、汽轮机组，常会因为某一零部件的损坏而停止运行，通过逆向工程手段，可以快速生产这些零部件的替代件。

- (6) 医学模型制作：可以通过 CT、MRT 等临床检测手段获取人体扫描的分层截面图像，并将数据传送至 RPM 系统，制作出人体局部或内脏器官的模型。
- (7) 产品的检测：通过逆向工程技术，利用 CAD 信息自动生成测量程序，通过三坐标测量机完成对产品的测量任务，获得测量结果再与 CAD 信息进行比较来评价产品的加工准确度。