

国外数控測量机及其 应用譯文集



国外航空编辑部

1977. 6

前 言

数控加工设备用于生产后，传统的检验手段与数控加工的效率、精度高不相适应。为改变检验拖加工的后腿的状况，国外在10余年前便着手研制坐标测量机，经过不断的完善和改进，目前几个主要资本主义国家已在生产中较广泛地采用了三坐标数控测量机，美国拥有1500台，英国拥有800台，而西德仅有200台。坐标测量机的应用为充分发挥数控加工效率创造了条件。遵照伟大领袖毛主席关于“洋为中用”的教导，我们请303所三坐标测量机课题组的同志选译了这组资料，供同志们参考。这组译文经过南航103教研室程宝渠同志审校。在此一并表示感谢。

— 编 者 —

目 录

1. 座标测量机	(1)
2. 具有三座标自动测头的万能测量机	(12)
3. 东德卡尔·蔡司工厂的自动三座标测量机	(21)
4. 计算机控制的座标测量机	(26)
5. 计算机控制的座标测量机的设计改进	(31)
6. 数字计算程序控制测量机	(35)
7. 数字程序控制座标测量机	(39)
8. 纸带中心及其使用方法	(44)
9. 三座标测量中的数据处理	(53)
10. 三座标测量机的数控化	(61)
11. 测量仪器精度表示概论	(67)
12. 三座标测量机精度表示和综合精度的关系	(75)
13. 三座标测量机的精度试验和测量环境	(87)
14. 三座标测量机的使用例(之一)	(95)
15. 三座标测量机的使用例(之二)	(101)
16. 三座标测量机的使用例(之三)	(108)

座 标 测 量 机

引 言

一个工业企业的检验或控制的任务现在已不仅仅是把废品从尺寸稳定的工件中挑选出来,还应防止废品的出现,及早发现加工误差。利用统计学的质量控制办法能够说出误差的原因(例如由于工具的寿命或加工机床的发热,并防止这种误差阻碍加工过程。

所以,在近几年内,检验的任务发生了重大变化。测量设备和测量仪器制造厂也不得不作相应调整以适应这种变更的形势。表面光洁度测量仪、几何形状测量仪、电子长度测量仪、测量显微镜及类似的仪器是当前应用很广泛的测量设备。这些仪器的发展是需要的,因为说明表面粗糙度、表面接触比率、形状误差等等对于部件的功能和寿命是具有决定性意义的。

在这方面,测量技术是适应现实需要的。它必须以适用性、经济性的办法来解决所提出的各种任务。至今,三维工件的检验尚有利用高度测量仪和精密指示器在一块测量平板上费力地进行的。这种测量任务现已越来越多地由能够省时、合理和精确测量的三坐标测量机来完成。当前,我们能够在越来越多的检验站找到这种新的三坐标测量机。例如,在英、美,仅从一家制造厂的生产计划来看,美国约有1500台座标测量机,英国约有800台座标测量机¹⁾。相比之下,在德国约有200台不同厂商的座标测量机。

座标测量机的发展不是基于为一定测量任务找到测量可能性的需要,而是首先基于简化测量方法和减少检验时间。新型的制造技术,当前是基于座标系统的制造技术,也是以引用新型的测量方法为条件的。那些利用旧式一般机床需要加工几日的工件,现在常利用加工中心在几小时内就能加工完。利用输送带能使一个复杂的工件在几分钟内加工完。无切屑的工件在几秒钟内就能对它加工完。检验必须适应这种缩短加工时间的趋向。但在应用传统的测量仪器时,检验时间是不会大于生产时间的。

每批生产的开始有必要对第一个工件进行快速、高质量的检验。如果价值昂贵的工件是在一台数控机床上生产的话,那么对第一个工件必须进行彻底的检验,否则人们就不得不冒第二个工件及其它以后的工件在某些情况下出废品的风险。这些例子说明,在新型的生产中,高速、可靠的检验是必需的。批生产工件的通过、加工机床的等候时间、转换时间、高级工具机床的验收、成套设备的装配等等都是同检验时间有关的。

座标测量机的发展与结构

座标测量机在市场上的出现已约有十年,按照它们的结构特点可以分为三类:同座标镗床结构相同的测量机属于第一类(图1²⁾) 第二类是同摇臂钻相似的测量机(图2); 第三类是

-
- 1) 在美国的是, The Bendix Corporation, Automation and Measurement Div., Dayton/Ohio, 在英国的是, Ferranti Limited, Dalkeith/Schottland (在德国的代理机构: Wegu-Messtechnik, Püttlingen/Saar)。
 - 2) 图中所示机器的制造厂: (英国) Ferranti Limited, Dalkeith, Schottland, 在德国的代理机构: Wegu-Messtechnik, Püttlingen/Saar。

桥式结构的(图3)。

毫无疑问,在第一类坐标测量机的发展中,坐标镗床是“先导”。现在,还经常把一台用在生产中的坐标镗床改变目的而用作测量机的。同时坐标镗床和三坐标测量机即使极近似的话,但还是各不相同的机器。在三种类型中,第一类的测量机具有最高的测量精度。

第二类测量机,即类似于摇臂钻的具有悬臂的测量机,最初是作为两坐标测量机而发展的。测量技术上的要求使机器的结构进一步改善,并使其有必要装上三坐标的设施。

但是这样设计的机械结构只允许横向即 y 方向具有有限的测量行程。因为有些被侧件具有较大的尺寸,为此就得设置桥框式结构。所有这三种测量机的共同特点是:测得的坐标值具有数字显示的可能性。

对于建造一台坐标测量机来说,旨在缩短测量时间、提高测量精度或两者兼顾之。

在应用坐标测量机时,在保持至今利用传统方法所达到的测量精度前提下,首先,缩短测量时间是起重要作用的。同一般的方法相比较,通常测量时间可节省50%~80%之间。这30%差别的产生原因不仅由于任务的提出,而且还由于电子设备的积木式逐级装配和为此所采用的专用附件。

此外,在选择测量机类型时,结构、可承载性能和必要的工作范围是起重要作用的。可

承载性能和工作范围取决于被检件的尺寸和重量,而所设计的结构(即机器的类型)对可操作性、测量可能性和测量精度均有影响。

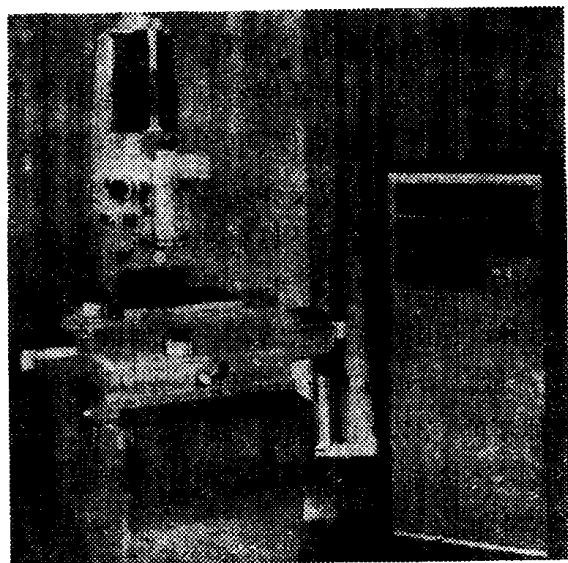


图1 坐标镗床式结构的坐标测量机

机 械 部 分

一般来说,各种测量机的技术数据就可清楚地说明有关的工作范围、可承载能力、重量及尺寸。与此相反,不能明确地说出测量精度(测量不可靠性),因为至今尚未有坐标测量机的标准验收条件。举例说,人们找得到的是下例精度的数据:

重复误差(标准偏差)、测量不可靠性、 x 、 y 和 z 的位置误差、在一个轴上的测量误差、在 x 、 y 和 z 方向中的测量误差、在一个方向中的机械性误差的带宽、在一个(一定的)平面内的测量误差。

这些数据有一部分是等效的,有一部分是不能互相进行比较的,因而不同的误差值直接对照是不可能的。在平均和最大误差之间常常还是有差别的。

基本上可以区分出许多产生误差的原因:机床机械结构的测量误差、在距离测量和触测的电气系统中存在的误差,以及在接触被测工件时产生的误差。在这里,首先要说说机械系统的误差原因,一般来说,这方面的误差原因比其余误差对一台测量机的精度有着较大的影响。

这些“机械性”误差首先是同形状牢固的机器支座和导轨有关。它们会分别以导轨误差、轴互相之间的角度误差和由此而产生的比较仪误差的形式出现。

特殊测量头在单独或同置物台相连情况下都能进行三个互相垂直的运动,而这些运动是

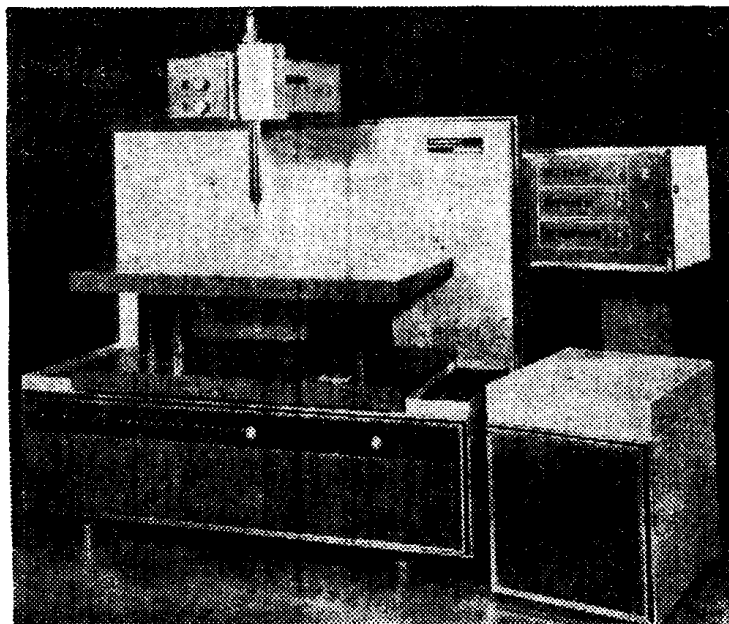


图 2 摇臂钻式坐标测量机

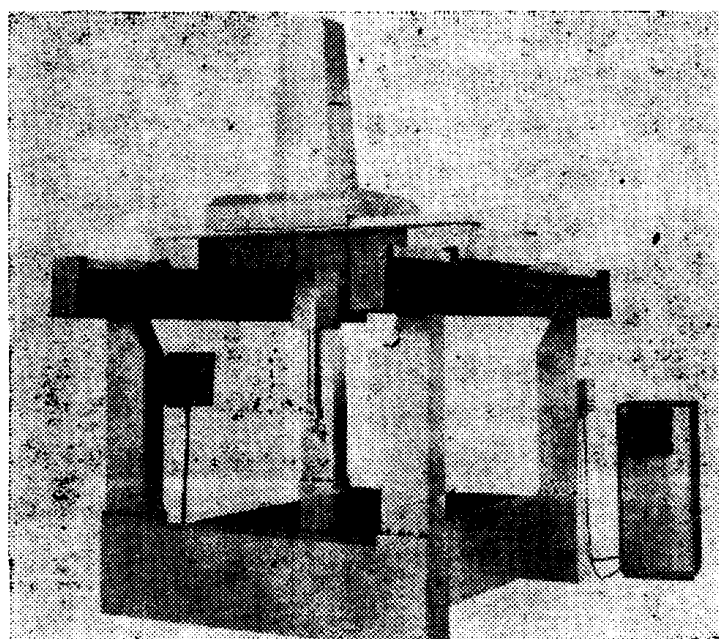


图 3 桥框结构的坐标测量机

通过相应的导轨来实现的。导轨直线性的任何偏差在测量轴成 90° 位移时就会产生一个测量误差。坐标测量机的设计人员过去和现在都是围绕着导轨在大费脑筋。举例说，目前应用的是具有偏心设置或弹簧夹紧的滚柱扁平导轨，具有滚珠保持圈、空气轴承和流体静压轴承的圆形导轨。

过去和现在，机床上的绝大多数精密导轨都是经过刮削的。这种方法允许刮削成拱凸，因而就可对挠曲进行补偿(以重量位移为条件)。这种导轨系统常应用在坐标镗式这一类的坐标测量机上。导轨的刮削表明，没有一种机械的制造方法能保证绝对线性的导轨。因而为了把这种导轨误差限制在最小的范围内，还必须在机器上具有附加的调整可能性。所以，在机

械导轨上, 导轨的直线性调整在绝大多数情况中是通过预加载荷或夹紧来实现的。

在近几年内, 越来越经常地谈到空气轴承, 而且部分地已应用于座标测量机上。这种系统一出现就是理想的。主要特点是: 花在同表面有关的精密导轨槽上的费用比较少, 磨擦阻力小, 与此相联系的是质量的加速很容易。此外, 空气轴承能有很高的直线性。但在这种轴承中金属与空气之间的关系是要求很严的, 因此, 空气温度、空气湿度以及空气的纯净度的影响也是很大的。而在移动到一个测量位置上时, 质量的加速很容易并不意味着它们的制动也很容易。

正如已经所述的那样, 每种导轨有它的优点, 也有它的缺点。一般, 人们可以说, 机械导轨在调整方面化费很多, 而应用空气轴承和流体静压导轨则必须要考虑到四周环境的影响。当然, 导轨比率(即导轨长度同测量距离之比)和支承点的位置也是应予考虑的。在所有的机器上, 精确测量的前提是可靠、静止的状态。此外, 在一台良好的机器上, 导轨互相之间的垂直性必须要保证。当工件在测量机上以两座标或三座标进行测量时, x 、 y 和 z 轴互成 90° 的极小角度偏差就会形成显著的误差。因此, 同一条轴线相关的精度数据不能足以说明一台座标测量机的精度。

由阿贝 (Abbe) 提出的条件被测距离和测量刻度尺应在一条直线上, 这在三座标测量机上不能予以满足。随着被测距离同导轨间隔的增大, 直线性误差就增大, 很小的倾斜就会使测量误差增大。所以, 在甚么样的前提下来得到同测头位置有关的精度数据是重要的。在考虑到精度的情况下, 最有利的条件总是在于: 靠近导轨, 并使触测臂尽可能地短。但这种最佳的条件对于使用者来说价值很小。

与此相反, 在测量范围不同位置中的“三维误差”的大小或在此范围内“三维误差”的最大值 x 倒是令人感兴趣的。可以把在一个点 x 、 y 、 z 上的误差值 f_x 、 f_y 、 f_z 理解为“三维误差”。如果为了简单起见让我们假设的话, 最大值 $f_x = f_y = f_z = 0.01$ 毫米。这就相当于边长为 0.01mm 的一个误差立方体 (“三维误差”)。在

不利的情况下进行对角线测量时, 在 $x-y$ 、 $x-z$ 或 $y-z$ 平面中得出的一个误差为:

$$\sqrt{0.01^2 + 0.01^2} = 0.014 \text{ 毫米}$$

而在 $x-y-z$ 空间中得到的一个误差为:

$$\sqrt{0.01^2 + 0.01^2 + 0.01^2} = 0.017 \text{ 毫米}。$$

因此, 这个“三维误差”的数据包括了所有理论误差, 即导轨的直线性误差、倾斜误差和比较仪误差。在目前, 一般来说, 这些数据的统计可靠性为 95%。



图 4 具有机械探头的座标测量机

电 子 部 分

对于上述机械部分的误差来说, 在总的判断测量机精度时, 还必须考虑到由于位移测量系统和由于电子设备所引起的误差。所设置的测量系统可以是模拟的或数字的。在数字式系

统中,也有许多实施类型。但由于技术与商业上的原因,流行采用增量法,即脉冲计数法。

模拟系统的代表是所谓的感应同步器,这种感应同步器是由一把“电刻度尺”和一模拟传感器组成。为了能将它用于测量机上,模拟信号必须要通过一台模-数转换器转换成数字增量。在显示中作为数字增量的最小可测距离相当于测量机的分辨率。为了不断地分辨出这种数字增量,就可以装上附加的模拟指示(器)。对于特殊的测量来说,模拟细分是有优点的,在通过数据打印机掌握测量值时或者在连续的数据处理时,这些模拟值在多数情况下是不予考虑的。

增量法(数字式)测量系统或者是由一个具有直线式传感器的特殊刻度尺(玻璃或钢),或者是由具有旋转式传感器的机械分度件(齿条或滚珠转动螺杆)组成。直线式系统多是作为直接测量系统,并较有优越性,因为它同(间接的)旋转式传感器系统相比显出了优点。它没有磨损,因为它是不接触的;也无间隙,因为不存在传动元件。因此,它的精度就可以提高,而数字显示又能达到比较可靠。直线系统的刻度尺具有间隔自0.01至0.02mm的刻线。由于后面的电子系统这些间距能细分为十或更多,因而可以得到千分之一毫米的数字增量。

触 测

由于用手操纵测量机,就会产生许多不同的位移速度。所以电子设备必须能在高速情况下掌握来自传感器的所有脉冲,并能对它们进行不断的处理。

不由测量机制造厂负责的误差大多数是出现在被测物上。没有经过去毛刺的孔、测量面质量不够好、不精确的基准点及基准面都会导致产生测量误差,这些误差只能通过在被测物上相应的加工予以避免。如果基准面经研磨平行度仅达0.02毫米,那么测量精度达不到0.01毫米。同样,错误地选用测头也会导致产生不可估量的误差。采用锥形的测头的条件是:孔要经过去毛刺。球形测头由于它是点状接触,所以仅在具有相当光洁度的表面上应用。这些例子说明,被测物的高质量对高质量的测量是有利的。

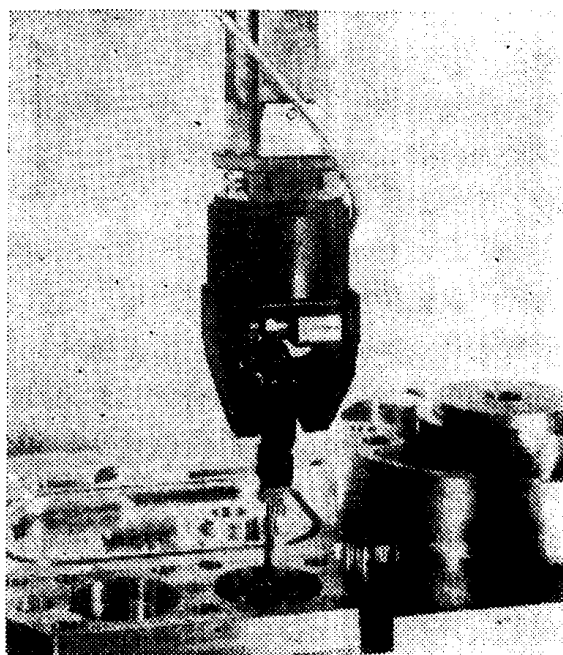


图5 电子测头

由于在被测物上进行触测的种类不同,所以会出现另外一些误差原因。直到约三年之前,测量工件仅仅只是利用机械的测量方法,如百分表等等。在利用机械探头时(如图4所示),有差别的测量力就是测量值可靠性的一个判断标准。由于采用了电子测头(图5),就能提高测量可靠性,减小测量力和回转距离,并缩短测量时间。

对于各种不同的测量任务来说,一般要有两个具有一个自由度或两个自由度的电子测头。一般来说,这种测量头的测量不可靠性对于判断一台测量机的误差具有次要的意义,因为多数情况下这种测量不可靠性仅在0.001和0.002毫米之间。

此外,在进行这种判断时要考虑到:大多数电子测头只是脉冲式传感器,也就是说,在

触测探头的一定位置上(大多数情况是在中间位置上)给出一个脉冲,该脉冲继续把在数字显示器上出现的值传给附加电子装置。这种电子测头使用的条件是:采用基础的电子设备,在下一节还要对此作较详细的论述。

电子设备扩充装备的可能性

为了使测量过程简单化,可以把基本电子设备通过外加的系统而扩充之。在这种情况下,如果一台机器从一开始就不是一台万能坐标测量机的话,那么现在它就同一定的测量任务相适应了。不同机器的基本电子设备的差别是不太大的,而在设置其他从属的系统后才有明显的差别。

直至几年之前,坐标测量机只允许对在工件上掌握的测量值以闪光数码来进行数字显示。这些数值必须要传送到一台测量记录器内进行计值。这种计值以及测量记录常常需要占去总测量时间的30~50%。

此外,正如前面已述的那样,利用机械测头和精密指示器来掌握测量值比较不可靠。为了减少辅助时间和提高测量可靠性,目前需要的是同实际测量过程无直接联系的附加电子系统和电气机械系统。它们是有利于自动化的基本结构。

这个趋向的第一步是能够把一台数据打印机同数字显示器相连,这台数据打印机在操纵按钮或踏脚开关时就能打印出在数字显示器上出现的数值。在极简单的纸带式打印机上,正如在一台台式计算机上一样,测量值只是输送到一张纸带上。在有些情况下,这种测量记录形式就已足够了。但在实际中一再表明:必须要接触到第三个测量记录器,或者在经过一个较长的时间间隔之后才用到第三个测量记录器。一张只含有测量值的纸带是提供不出关于被测工件的足够信息的。

所以,对于更高的要求来说,就可以连入一台电动打字机来代替数据打印机,这台打字机把测量值传输给打印表(格)上。这张打印表上包括有连续的位置数码以及理论坐标值。由于装上其它构件,例如存储器系统或确定位置数码的系统,还能达到更进一步的自动化。

利用一台数据打印设备能达到更进一步的完善。这种数据打印设备是由许多项目构成的:具有装在上面的穿孔带阅读器和穿孔带打孔机的电动打字机、具有缓冲存储器和位置数码确定系统的匹配件。利用一台包括穿孔带打孔机在内的数据打印设备,可以把作为程序台的设备用于测量机。此外,通过穿孔带阅读器能够把工件的符号、位置数码、理论值、公差、操作人员的指令以及其它重要的信息在测量过程中传送到测量记录系统。

这种数据打印设备能适应各种任务的提出。如果要检验的是单件的、测量点很少的工件,那么在测量记录中必须被打印的只是位置数码和测量值。在随时都必须作检验的工件上在成批检验时,则是要预先设计好并预先编好程序的测量过程。一个测量过程由三个阶段组成。在第一个阶段——准备阶段中,从符号获得给出的测量值,并计算没有被记录的尺寸。此外,必须要选择对提出的测量任务最为合适的测量探头。第二阶段是实际的测量阶段,在这个阶段中,在工件上对从符号获得的尺寸进行检验。在第三阶段进行的是计值。每个尺寸是否同规定的数值相应,或它是否在公差范围之内,这些是可直接或经过记录来确定的。

第一阶段(即准备时间)在工件很复杂的情况下是非常长的,经常需要占总测量时间的50%多。第二阶段(时间)在利用坐标测量机的情况下就短,前提是:检验器在测量过程中是可靠不出事故。第三阶段——计值,在连用一台数据打印机时是完全自动化的。在测量过程

中,计值是贯穿始终的。在对一个测量点进行触测时,测量值是通过一传送指令(按压按钮)从数字显示器传给一从数据打印机获得测量值的存储器的。通过中间存储器,能继续触测测量点。如果要在掌握测量值的同时进行计值的话,那么就必须要在数据打印机上接入一小型逻辑计算线路。对于现有的位置来说,该逻辑线路从穿孔带得到公差的上限和下限。逻辑线路把这些极限值同测量值进行比较,并在超过公差范围时控制测量记录中的识别符号。由于存在程序化的测量过程就有可能显著减少辅助时间。具有这种数据打印设备的一台测量机能为数控机床提供直接的比较。这种机床在加工一个工件时可以减少辅助时间。工作时间的短暂延长也是存在的,因为加工过程必须由程序机构决定如果加工很复杂,又化费时间且同样的工件必须在不同的时间间隔之后重新加工的话,那么利用数控机床是最经济的。这种加工任务也能由一台具有程序化测量过程的坐标测量机来承担。

其它设施例如电子测头的应用、同预定偏差的差值测量或其它测量计值的条件是:利用包罗万象的电子设备。这种设备的三个基本系统是电子模块、(Modularblock)电动台式计算机和可自编程序的小型计算机。

由模块组成的测量机电子系统可以以积木式系统形式,以基本电子设备(三个数字显示器)为基础进行逐步的扩大。每个模块具有牢固布线的逻辑线路,并通过专门的控制系统同其它模块连接起来。电子系统的这种因逐步扩大要求而装备上的电子设备没有中间的转换机构,并要保持现有的工作效率。这样,每经一次扩大,工作效率也就能随之提高。

为了测量过程的自动化,可以组合这种不同的模块组。这样,就有可能按照所提出的测量任务设置一台达到一定使用范围的机器。在一台台式计算机基础上的一台测量机电电子设备,它所具有的工作效率是在具有牢固布线的逻辑线路的一台测量机电电子设备和装有一台小型计算机的一台测量机之间。测量程序是经磁性卡片而传给计算机的,在经计值之后,测量值被打印在纸带上。这种计算机是通用的,同样,它也能用于其它技术和商业方面的计算。

作为测量机电电子设备的小型计算机(图6)可以显示出当前坐标测量技术方面的极先进水平。为此原因,在这方面就要对(特殊设施的)计算机的技术及其工作状态作更深入的研究。作为中央信息处理机的计算机具有能储存4096字/12位二进位的一个磁心存贮器。在这台计算机上接入一台数据打印设备(由一台电动打字机、一台穿孔带打孔机和一台穿孔带阅读器组成)。在这种情况下,这台数据打印机不仅是一台给出数据的接收器,而且通过打字机的键盘能把指令或数据信息传送给计算机。同样,数据输入或指令输入能通过一条穿孔带同穿孔带阅读器联系起来。

但是,上述的机械和电子设备在没有过去已被发明的能解决任务的逻辑线路(软件)情况下,是不能进行计算过程或其它计值的。这就是说,对于计算机而言,为解决任务所需的方法事先必须要寄存在磁心存贮器内。因为这种计算机不是作为测量机电电子设备的,而是为了技术上和商业上的计算而制造的,所以在接入测量机时需要有一专门的测量软件(测量程序)。此外,数字显示的数值必须以适宜的形式输送给计算机。这个任务需要有匹配件(接口),这种元件把计算机同测量机连接起来。

测量程序输送给一条穿孔带,并在测量机工作时通过穿孔带阅读器输送到磁心存贮器中,如果计算机要用作进行别的计算(例如用作统计),那么为此所需的软件同样要设置到计算机内,这样能自动消去测量程序。如果计算机又要作为测量机的电子设备,那么只需要将测量软件重新装入就行。因此,把计算机完全同测量机分开而用于别的计算是可能的。

所有的标准——测量程序是保存在一条穿孔带中的,并如前面已述的那样,它们是输送给磁心存储器的。每一个测量过程是以一个字母标识的,并能通过打字机上相应键的打印或通过穿孔带中的一个相应编码符号而找到它。按照提出的任务,这两种操作方式可以进行步进式的测量程序过程或半自动的测量程序过程。

在对单件的被测物进行检验时,步进式的工作过程是有优越性的,因为不会碰到什么准备工作。检验者通过打字机的键盘来找出当时所需的测量过程,数据打印机自动完成测量记录。

半自动测量过程的前提是设置好一条穿孔带。将所有为计算机所需的指令或数据信息都打孔而记录在这条穿孔带上(图8)。测量过程的找出是自动进行的,检验者只是利用测量头对各个测量点进行触测。

在半自动测量过程时的程序化是不能同一台数控机床的程序化相比较的。对于数控机床的控制来说,需要许多信息(例如:进给、转速、(加工)过程的信息等等)。而座标测量机的穿孔带之制作,只需要测量值的输入或找出测量程序的字母。当然,在穿孔带制作之前,要确定逻辑测量过程。

测 量 程 序

在这里只论述基本的测量程序。

工件的安置常常需要占去总测量时间的很高百分率。例如,一个程序允许工件夹紧在测量板上,而不能将该工件置于X-Y平面内。该程序算得同机器X轴相关的、在工件上的两个参考点之间的位移角,储存该位移角,并考虑到在以后所有测量中的(工件)安置误差(图

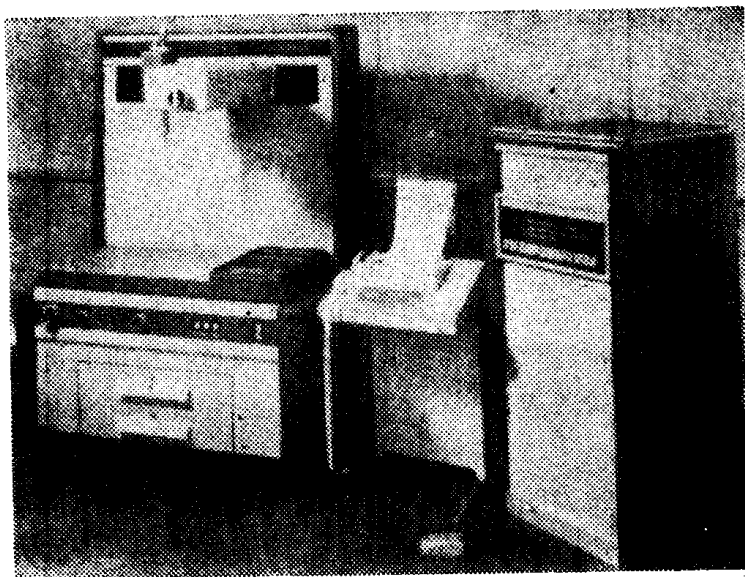


图6 带有计算机的座标测量机

7)。

一个记录程序允许以不同的形式进行测量的记录。例如,为了更明了起见,可以仅将两个座标打印在一张测量记录中(图7)。差值测量可以有选择地在考虑到公差或不考虑到公差的情况下进行。如果在穿孔带里没有公差值的话,计算机对实际值同理论值进行比较,并将实际值以及这些值之间的差打印到一张测量记录上。如果输入了一个公差,那么计算机同样对这些值进行比较,但这时它考虑到公差。在超过公差的情况下,它的数值是被打印出来的。差值测量既能够

在直角座标上,也能在极座标上进行,这可以从图7看出。

另一个程序允许通过座标X和Y求得极座标。角度以及半径被打印在一张测量记录上。为了确定直径、半径和中心,由于采用了计算机,所以在一个孔内、在一个度盘内或在一个圆柱体上只需三个测量点(图7)。图8表示的是穿孔带语句的说明(解释)文字。

如前所述,电子测头仅是脉冲传感器,以恒定的测量压力进行工作,并在一个一定的位置上给出一个信号。按照预先确定好的任务,从测头给出的脉冲是由计算机进行计值的,接

着, 通过该脉冲来进行测量值的自动记录。

为了对诸如靠模板或凸轮的轮廓线进行测量, 可以将一个扫描程序输入计算机内。该程序正如仿型法一样, 它可以连续检出测量值。对于计算机来说, 测量步骤或角度是预先规定的, 逻辑线路能按所选择好的测量步骤自动掌握测量值。此外, 这种过程还可以触测标准工件或样板工件, 并将测得的值输送给一条穿孔带。这条穿孔带用来检验一个工件, 并因此能快速地进行一个标准工件和被测工件之间的差值测量(图9)。

总 结

正如实践所表明的那样, 在从平板测量方法向三坐标测量机过渡时要注意几点。机器的结构、测量方法、测量精度和测量值的计算都是在机器建造时要予以考虑到的因素。最近, 经济上的原因也对一台测量机的建造起确定作用。

对于检验者来说, 在利用程序化的测量过程时, 他无需化费很多时间从符号中去寻找测量

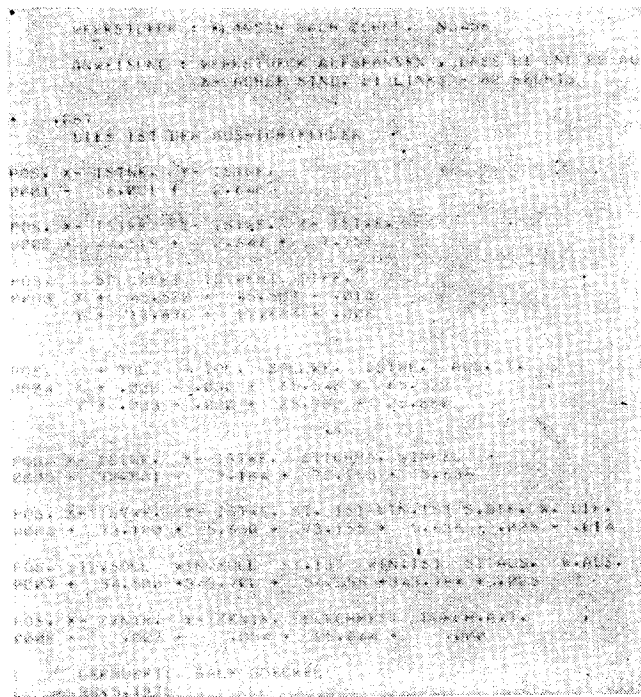


图7 在所进行的测量过程中一张测量记录的实例

(WERKSTUECK, FLANSCH NACH ZCHNG N3456 = 工件; 图号为 N3456 的法兰盘
ANWEISUNG, WERKSTUECK AUFSPANNEN, DASS B1 UND B2 AUF X-ACHSE SIND,
B1-LINKS-B2 RECHTS = 语句; 工件夹紧, 即B1和B2在X-轴上, B1在左-B2在右。
DIES IST DER AUSRICHTFEHLER = 这是安置误差
ISTWE = 实际值, SOLLWERT = 理论值, ISTWERT = 实际值, DIFF = 差值,
TOL = 公差, SOLLWE = 理论值, POS = 位置, AUS.T = 超差值 输出, STICHMA = 直线距离
WINKEL = 角度, ST.IST = 直线距离实际值, WIN.IST = 角度实际值, S.DIF = 直线距离差
W.DIF = 角度差, STI.SOLL = 直线 距离理论值, WIN.SOLL = 角度理论值, ST.AUS = 直线距离超差
W.AUS = 角度超差 ZENTR = 中心, DURCHME = 直径, DURCH.A.T = 直径公差超差,
GEPRUEFT, = 检验者,)

值,也无需计算在符号中没有确定的值。无须在符号中进行阅读,而有一张其中画入具有连续位置数码(同穿孔带中的语句号相同的)的不同测量点的工件草图来满足检验者。因此,辅助时间明显减少,机器可有效地应用。

数据打印设备能以使人一目了然的形式自动进行测量记录,因为在第一横行中打印的是具有理论值的位置数码,直接在该数码下面打印的是实际值(有时还具有一个误差符号)。以后的每个工件都是以与此相同的过程进行检验的,因而就能毫不费劲地进行工件同工件之间的测量值对比。

过去的旧检验方法经常要求以同一个人对一个工件或一批工件进行全面的检验。与此相反,经过计划的、预先安排好程序的测量过程能够在检验人员分班的情况下对一个工件进行检验,因为测量过程(乃至很小的细节)都是预先精确规定好的。每一个检验者能将已开始的工作转交给任何一同事,而不需那套至今尚在实行的交接手续。

此外,费时的检验工作还需要一个检验者在较长的时间内思想高度集中。由于采用了已作好准备的测量过程,测量技术方面的要求就可大大减少。最后一点是,至今只能由老资格的人员完成的测量任务,现在也能由初学者来完成。

如果决定想要购买一台这种机器的话,那么就必须要认真地考虑这台机器如何应用才能最经济。而决定经济地利用机器的诸点为:机器安置地点的选择、机器操作人员的选择、从专业熟练角度来选择被测物,以及测量过程流程时间的设计和测量过程的设计。

一台投资总额同一台坐标测量机相当的加工机床在其建造的准备工作中就要周密地设想到它今后的建造过程与此相同的理由及相同的必要性也适合于在建造一台坐标测量机时,所以,上面所述的诸点是应予考虑到的。



图8 在穿孔带上的操作者及计算机指令语句的说明文字和数据
(图内的外文字参见图7的下面说明——译注)

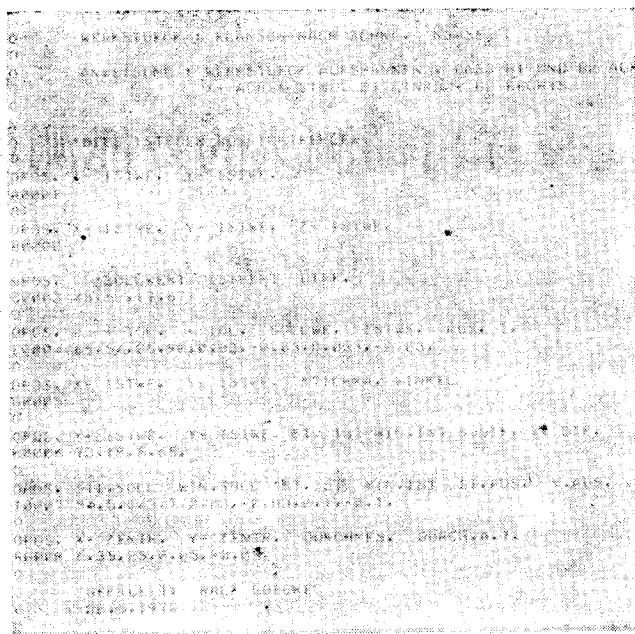


图9 在规定角度间距下,连续触测一个凸轮时的测量记录(NOM理论值纵列,ACT实际值纵列,DEV差值纵列)

(WERKSTUECK, ZYLINDERGREIFERKURVE NACH ZCHNG. NR. SOR 12922=工件:图号为NR、SOR12922的圆柱式爪夹(控制)凸轮

ANGLE=角度, OUT-OF-TOL=超差值)

孙义雁译自《Werkstatt und Betrieb》105(1972), Heft 11, S.807~813.

具有三座标自动测头的万能测量机

1. 引言

在数字(显示)测量方法成功地应用于生产测量技术中之后^[1],一些时期以来,发展的着眼点是集中于努力使在测量过程中对被测工件实现自动的、客观的触测。这个问题是被看作在向完全客观化的、进一步从“人的因素”中解放出来的质量检验的迈进道路中尚未最终解决的问题。这项问题的困难首先在于测量任务的多样化以及在考虑到工件几何形状、尺寸和精度情况下的工件多种性。对于简单的工件形状来说,例如对于圆柱件、圆球、圆盘等等来说,已经能够实现很客观的触测,而在具有空间不对称形状或曲线形状的物件上还存在许多测量及应用的参数需要考虑。

为了使大量的测量任务系统化,对于工业测量技术的一些极重要的基本任务来说,首先要设置一处理系统^{1)[2]}。同时,要以电子和精密机械的结构件来设计万能的自动工件触测系统。

这种“任务明确的”问题之最终解决办法是采用具有五个成星形设施的触针的电子触测头(图1)。触针的轴线代表的是三个互相垂直的空间座标。对于每条轴线来说,一条直线导轨要有6毫米的导轨长度和一个可精确复现的零点。零点的位置和它的偏差是由电感测量传感器来测量的。

在测量过程中,带有球形触尖的触针是由马达驱动在工件上进行触测的。如果工件和触球一接触上,那么通过利用触测头的零信号之位置调整就能不断自动地进行零点调整。为了避免球件、接触面的局部变形,在这时产生的测量力要有意识地保持得很小,可在10~40克的范围内分三级调整。自动触测的重复性在所有的轴线上为 ± 0.3 微米。

总的设施是这样来选择的:在三座标测量机上,在无须对被检工件或测头进行转换装夹及无须对测头不断进行再校正的情况下,就能自动地对一个工件的所有侧面、交界面以及空间的倾斜面和空心角进行触测。

2. 在多维的工件上进行几何长度或角度测量的一般基础

2.1 应用的场合和范围

必须要对以立体形式排列着的孔、面、棱或轴线进行测量的工件常常是许多成套设备的核心部件。齿轮箱体、轴承壳件、马达本体、液压件本体、燃烧室、滑动导轨、工具、铣刀、设备、样板、冲模以及类似的部件就属这种核心部件。在常用的机器元件,如杠杆、导杆、连杆、涡轮叶片、泵叶片、螺轮、多面体、蜗轮、凸轮、阀、滚珠轴承座圈中也都有立体尺寸的测量任务。

这些被检验工件的空间几何形状在其制造及其使用中大多数都是同一个空间固定的座标

1) 在西德Oberkochen的卡尔·蔡司大厦。

原点相关的。所以在测量中，测头同样具有这样的固定空间零点是必要的，从该点出发可以进行三个轴向的长度测量。如果这个条件能够满足的话，那么对于许多的应用范围来说就可制作出一个共同的测头来，即有制造一个万能测头的机会。之后有必要的只是使不同的体积或工件尺寸座标化。因为多轴的测量问题既会出现在很小的工件（精密轴承壳件）上，也会出现在很大的工件（汽车车身）上，所以对于测头的使用来说要按如下形式选择一种两级法：测头本身在所有的三个空间轴上的应用范围为 ± 3 毫米。此外，它直接同一台三坐标测量机进行电子性连接，这样，该应用范围就能扩大为测量机的测量范围。在图2中所示的测量机¹⁾具有的测量范围为 $X = 500$ 、 $Y = 200$ 、 $Z = 300$ 毫米，在所有三个方向中的数字增量为0.5微米。因此，这种测量机是属于中等大小工件使用范围之内。因为较小尺寸的被检工件比大尺寸的工件更经常出现，对此自动的三坐标测头的应用是特别经济的。对于较大的工件，应用范围可以比较简单地扩大为 $X = 1000$ 毫米， $Y = 400$ 毫米，因为测量机占有一个与此相应的大的工作空间。但除了具有三维测量任务的工件之外，还有也很精密的、且经常出现的二维测量任务例如在钻孔板、钻孔模板、钟表盘、分割件、量规等等上。为了对这些部件进行触测，大多情况下是利用一个单个的、且垂直的触针对于极小的部件来说，可以选用具有直径小至0.5毫米的这种最小圆头直径的触针。

如果涉及到的被检工件是应进行具有优点的无接触光学探测的话，那么整个测头可以通过一卡口式装置装到一台具有可换物镜和插入式分划板的双目镜万能测量显微镜上。

2.2 三坐标测量机的结构原理

一般来说，可以把三坐标测量机看作具有较大测量范围的三维尺寸测量装置。由于测量机的万能性，所以如果被检工件的形状和尺寸不同的话，那么在一般的多工位测量设备上或测量平板的专用装置上既费时又麻烦的转换操作都可省去。工件的尺寸是通过对测量点的触测及测距端点之间的距离测量而求得的。

除了测量范围、测量不可靠性、稳定性和经济性之外，对于测量机的发展和应用来说，还有如下的几条基本判断准则：

- 工件触测的灵活性及迅速性；
- 测量力、零点常数以及触针更换；
- 阿贝原理的最大损害度；
- 距离测量系统的无磨损性和可靠性；
- 工件重量的可承载性；
- 在承载区的取放能力和操作能力；
- 滑板的马达驱动，测量数据的显示、记录及计算。

根据一部分或另外一部分参数的优越性来选择不同设计的结构原理。

对于所保持的公差之绝对值，在大多数情况下总是小于大型工件的中、小型工件来说，应努力使阿贝原理尽可能小地受到损害。所以UMM500万能测量机(图2)具有对此极合适的结构形式。在这种结构中，可以使阿贝原理的损害度保持得较小的 X 和 Y 运动之导轨是分开的。在 Z 轴中的导轨是装在 Y -滑板上的。在这里， Z -（刻度）尺是这样安置的：它对 Z -测量轴的侧向偏移很小。

1) 制造厂：Oberkochen 的卡尔·蔡司厂。

对于水平运动来说,选作为导轨元件的是X-滑板的滚柱轴承和Y-滑板的滚珠转动元件。在稳定性、刚性和承载性很高的情况下,这些元件对于车间里常出现的不仔细操作来说极为合适,而且无需维护。在Z-方向中,带有测头(或测量显微镜)的垂直测量套筒的重量是通过设置方向相反的配重来抵消的,这样,就不会有什么大的负载影响到高度导轨。因此,这里变成一个具有精密滚珠轴承的圆形导柱。

一个很重要、但可惜往往被疏忽的观点是使人坐着就能对机器进行操作。长时间的站着操作和用手来回操作测头或工件,这肯定会使人疲倦,并因此产生精神不集中而造成差错,尤其是在触测被检物件时。

2.3 能达到的测量不可靠性

虽然测量不可靠性实际上肯定是每次测量的极重要准则,但在此范围内还总有不清楚的一些定义。在接受参考文献和工厂有关资料中所列的数值和对它们进行比较之前,往往是规定经选择的定义。在这种情况下应按哪些规定来行事,这已有许多人定了标准并作了论述〔3、4、5、6〕。在这里仅谈谈在坐标测量机上特别重要的几点。

测量不可靠性是由对被测物进行触测的不可靠性(即要触测两次,在测量长度的起始点和终点上)和位移测量的不可靠性组成的。决不可以如在实际中经常出现的那样,把多次的滑板定位标准偏差作为测量的不可靠性。

因为近几年以来,精密机械的性能是由于精密的距离测量仪器和精密的导轨才能明显提高,所以在总的测量不可靠性上对被测物进行触测的这部分总是较大的。此外,这部分还同被测物的表面、棱边清洁程度和材料有很大关系。为了区分这个同物件有关的误差原因,就有目的地规定“能达到的测量不可靠性”这个概念。可以把在具有清洁测量表面的物件上能达到的局部表面误差同触测不可靠性之比值小得可以忽略不计的测量不可靠性理解为“能达到的测量不可靠性”。

最后,还值得介绍的是测量不可靠性分为一个恒定的分误差和一个与长度有关的分误差。在测量不可靠性的值为

$$U = \pm \left(K_1 + \frac{L}{K_2} \right) \text{时},$$

(其中L为被测长度(毫米)),使用者有可能在测量距离较短时测量公差较小的尺寸。因为测量不可靠性同工件和测量机的温度均匀性有关,所以这一点是有很大大优点的。按照这个观点,对于在这里所述的UMM500测量机来说,在一个测量方向中能达到的测量不可靠性为

$$U = \pm \left(0.8 + \frac{L}{250} \right) \text{微米}$$

(统计可靠性为95%)。在该值中,包含着被测物触测的不可靠性、导轨的不可靠性和距离测量系统的不可靠性。例如仅规定距离测量系统的不可靠性为

$$U_{\text{(测量系统)}} = \pm \left(0.2 + \frac{L}{500} \right) \text{微米}, \text{即它明显地小于测量不可靠性,这还是有较大意义的。}$$

的。

如果确定空间的测量不可靠性(例如在对角线测量中),那么还得将三根导轨的精密垂直度之不可避免的偏差加于各个测量方向的测量不可靠性中。在此条件下出现的测量不可靠性首先对很长的测量长度(角度误差的影响同长度成比例)会变得很严重〔7〕。