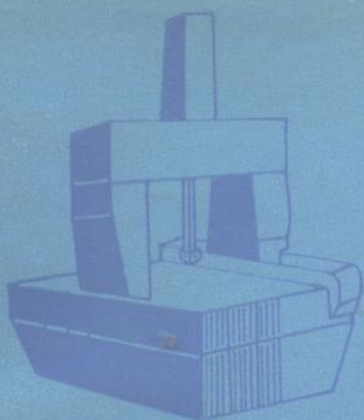




粟 枯 主编

三坐标测量机

郭慧明 谈世椿 等编著



国防工业出版社

机械制造实用新技术丛书之二十

三坐标测量机

栗 枯 主编

郭慧明 谈世椿 等编著

国防工业出版社

内 容 简 介

三坐标测量机是一种高效率新型精密测量设备。本书较系统地介绍了三坐标测量机的发展史、测量机的结构、操作方法、安装、调试、检定技术和测量原理。此外，对中央处理机、硬件接口、零件程序指令系统和操作方法也作了详细的阐述。

本书可供机械制造行业的计量检验人员、工艺和设计人员阅读参考。也可供大、中专院校有关专业的师生参考。

三坐标测量机

机械制造实用新技术丛书之二十

栗 枯 主编

郭慧明 谈世椿 等编著

责任编辑 宋桂珍

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168 $1/32$ 印张 5 129千字

1984年12月第一版 1984年12月第一次印刷 印数：0,001—6,700册

统一书号：15034·2842 定价：0.98元

作者的话

现代航空发动机制造是机械制造工业的一个重要方面，具有机械制造的基本特点。它又是技术集约性的工业，集中应用了很多新的技术和新的工艺，其中多数对于机械制造行业具有普遍推广的价值。七十年代末，我国从英国引进了斯贝 MK 202 发动机及其制造技术，同时又有选择地引进了一些先进的机床设备。这项技术在一定程度上比较完整地反映了近代航空发动机制造的先进水平，通过生产实践也证明了这一点。

为了交流的方便，也为了能有更多的人有机会了解这些制造技术，我们整理编写了这套资料，命名为《机械制造实用新技术丛书》。所以这样命名，是因为我们在编写中遵照了下述原则：

1. 实用性。尽量避免一般性的理论叙述，力求使读者能较快的在实践中运用；
2. 先进性。我们只选择了那些更新颖更有意义的资料；
3. 揉合了我们在斯贝发动机试制工作中的实践经验，还综合了不少有价值的参考资料。

作者期望本套丛书对机械工业，特别是航空发动机制造行业的人们有所帮助，这将是对我们最大的鼓舞。

由于我们视界较窄，水平有限，错误缺点难免存在，欢迎读者批评指正。

本丛书由栗枯同志主编。参加审校工作的主要有：唐宏霞、钟礼治、胡贤惠、谭杰巍、王克强、姜仁忠等同志。

在本丛书编写和出版的过程中，王德荣、黄家豪、郑宝湖、郭治国、姚静梅等同志提供了许多宝贵意见，并参加了审校。还得到了国防科工委、航空工业部有关领导和同志们的大力支持及热情帮助，他们是魏祖治、陈少中、任家耕和贾克琴、张汉生等同志。

作者希望通过本书的出版能对我国刚刚开始研制应用的三坐标测量技术有所帮助。

本书由郭慧明、谈世椿、王道岑、胡贤惠、亢国庆编写。由郭治国、胡贤惠审校。由栗祜终审定稿。

在本书编写过程中，姜仁忠、田守吉、栗泽等同志提出了许多宝贵意见。

对本书编写和出版给予支持和帮助的同志，在此表示衷心感谢。

作者于西安国营红旗机械厂

目 录

一、三坐标测量机概况	1
(一) 国外三坐标测量机的发展	1
(二) 三坐标测量机的分类	6
二、结构概述	13
(一) 机床部分	13
(二) 计算机和三坐标测量机系统软件部分	18
(三) 位置测量系统	20
(四) 测量头	24
(五) 附件	35
三、中央处理机和硬件接口	42
(一) PDP11 系列计算机简介	42
(二) 小型计算机的几个基本概念	43
(三) 单总线结构和信息传输	48
(四) PDP11 系列机的基本指令系统	54
(五) 微程序控制和中断指令的执行过程	66
(六) 标准外围接口	71
四、零件编程指令系统和操作方法	82
(一) 零件程序编制指令系统	82
(二) 操作方法	94
五、三坐标测量机的应用	113
(一) 快速综合检验	113
(二) 实物程序编制	117
(三) 综合检验实例	117
六、三坐标测量机的安装、调试和检定	121
(一) 环境要求	121
(二) 测量机的安装	122
(三) 测量机的调试	124

(四) 测量机的检定	128
附录	133
附表 1 世界各国三坐标测量机一览表	135
附表 2 螺纹端面、法面齿形角换算图表	148
附表 3 螺纹导程角图表 (公制)	150
附表 4 螺纹导程角图表 (英制)	152

一、三坐标测量机概况

(一) 国外三坐标测量机的发展

三坐标测量机是 1958 年才开始出现的一种高效率的新型精密测量设备。二十多年来，发展很快，已被广泛应用于农业机械、仪器制造、电器工业、动力机械、建筑机械，特别是汽车和航空工业，用以测量各种机械零件、模具等的形状尺寸、孔位、孔中心距以及各种形状的轮廓。七十年代以来，随着电子技术和计算技术的发展，加上配备了较大容量的电子计算机，使三坐标测量机得到了更大的发展，不但能测绘形状复杂的轮廓，而且能直接为数控绘图机和数控机床制备数控纸带，成为一种模型量数字化的转换设备，越来越被人们所重视。

坐标测量机的发展，与其他许多事物一样，也是由简单到复杂，逐步发展起来的，大致可以分为以下几个阶段。

1. 原始的测量机

测长机、万能工具显微镜之类的测量仪器，由于具有导向机构（导轨），检测元件（光学对线读数测量系统），同时还有放置工件的工作台，测量头可以用手动移到被测点上，因此，有人称之为一个坐标或两个坐标的测量机。诸如此类的测量仪器确实可以称为原始的测量机。

2. 初期的测量机

五十年代初期出现了能自动发讯的大行程测量系统，其特点是在可以在测量过程中自动发讯，也就是测量结果能立即以数字形式表示出来。与测长机和万能工具显微镜的线纹尺——光学对线读数测量系统比较，测量效率大大提高。

初期阶段的测量机的结构特点是采用悬臂式结构和刚性测

头。悬臂式结构对装卸被测零件比较方便，刚性测头定位比较迅速。

此外，在 x 、 y 两坐标轴的平面内进行高效率和高精度测量，也是初期阶段测量机设计时主要考虑的问题之一。所以，这类测量机的测量臂在这个坐标平面内移动时，力求具有最小的摩擦力和最大的刚度。

由于这类测量机比较实用，而且价格较低，至今仍然得到广泛应用。

3. 带有电传记录系统的测量机

数字显示虽然比光学对线读数测量系统前进了一步，但需要人工把测量结果抄录下来，作为测量和数据处理的依据。在测量数据比较多的情况下，不但效率不高，而且也容易出差错。为了提高测量效率，开始考虑配备能自动记录的系统——电传记录系统。这种系统通常包括电传打字机和电子记忆装置两部分，可以完成下列任务：

- (1) 连续完成四个坐标的信息记录；
- (2) 带有纸带阅读机可以接受输入信息；
- (3) 带有纸带穿孔机可以把信息以穿孔带形式输出。

4. 带有小型电子计算机进行数据处理的测量机

数据记录问题虽然由带有电传记录系统的测量机解决了，但这些数据仍然需要人工进行运算处理。例如，测量机上测量得到的数据只是实际上所测得不同部位的 x 和 y 坐标，而不是不同坐标之间的距离尺寸。实际的距离尺寸需要经过计算才能得到。至于要计算被测零件是否合乎规定公差要求则更需要进行复杂的计算。人工计算这些数据的时间很长，劳动量很大，特别是在检验复杂零件时，不仅效率低，也容易出差错。随着数控机床的发展，复杂零件批量加工的自动化问题得到了解决，而检验一个零件的周期，却往往比加工时间还要长。这就必然提出了测量机上能否采用电子计算机的问题。另一方面，数控机床所加工的复杂零件其程序的编制往往很困难，特别是某些由试验得到的型面，难于

用数据或规则的几何线段表示，甚至无法编程序带。如果把小型电子计算机与测量机结合使用，就可以克服这种困难。

这种带有小型电子计算机的测量机，可以进行多种运算，例如计算差值、超差、两点间距离，求中点、投影线段长度、相交点，测量平行度、垂直度、平面度、直度，计算直角坐标与极坐标的偏差，极、直角坐标转换、公、英制转换以及自动找正等等，而且运算速度快。利用计算机的存储器储存一定数量的数据，例如航空发动机叶片、电视屏、凸轮等具有曲线表面的轮廓尺寸，只需要对母线进行连续扫描，即按规定程序以一定的间距和行距连续测量零件轮廓尺寸，测量时，测头自始至终不离开工件表面、测量结果可由自动打印机记录下来或由穿孔机制成程序穿孔纸带，供复制时使用。

5. 计算机控制的测量机

带有电子计算机数据处理的测量机，虽然解决了数据处理问题，但由于测量是手动的，因此，对于一些大型的、精度要求较高的、测力有一定要求的或批量较大的零件，操作起来很不方便，既难以保证质量，效率也不高。在这种情况下，进一步发展了由计算机数字控制的测量机。这种自动化测量机，如同数控机床一样，当测量程序编好后，能自动按照程序测量，并自动打印出测量结果或以纸带形式输出。

由计算机控制的测量机主要有下述两种控制方式。

(1) 点到点控制

这类测量机的自动测量是测了一点之后，测头立即脱离零件的被测点；测完一个周期后，再运动到另一个被测点进行测量。测量时，由计算机按照穿孔带上所规定的程序控制 x 、 y 、 z 轴等三个坐标的尺寸。测得的实际尺寸根据程序带上的要求由计算机处理后输出。

(2) 连续扫描控制

这类测量机主要用于成型面轮廓的自动测量。有些也可以进行点到点的控制。工作时，测头连续沿着程序所规定的坐标位置

进行不脱离零件表面的扫描测量。连续扫描测头除在 x 和 y 坐标内按规定程序自动测量外，在 z 坐标内也可以按零件表面曲率自动升降，因此测力既稳定又很小。

6. 通用测量机检验线

1971年英国罗尔斯·罗伊斯 (Rolls-Royce) 航空发动机公司装备了一条由五台单功能测量机组成的检验线 (见图20-1)。这五台测量机的任务分工是：第一台测量机负责高度、深度等坐标尺寸的测量；第二台测量机负责 x 、 y 坐标内的孔距尺寸的测量；第三台负责内外径尺寸的测量；第四台负责角度测量；第五台负责内外径偏心和圆度的测量。五台测量机之间由输送带连接起来。这五台测量机的测量结果，集中输入到一台大型电子计算机内。经数据处理后，用各种形式输出 (数字显示、打印、穿孔纸带等)。

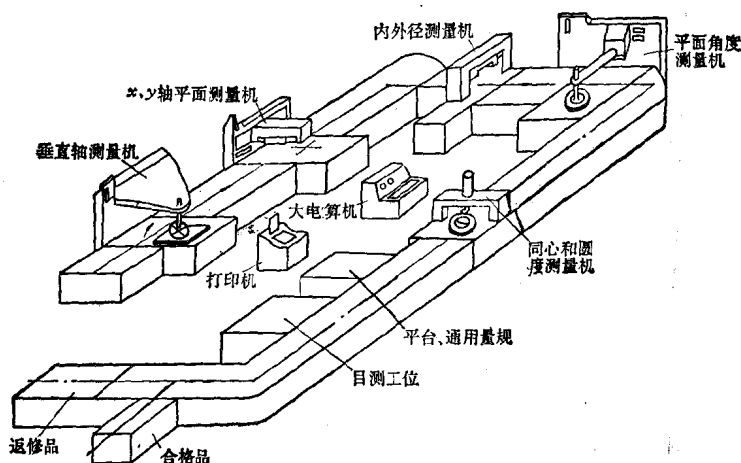


图20-1 通用测量机检验线示意图

在这条检验线上除了采用单功能测量机和大型电子计算机外，在测量机旁还备有常规的测量工具和目检工位。该公司之所以配备这条检验线，主要是为了提高通用性和测量效率，以解决数控机床加工出来的复杂零件的高效率测量问题。在推行全面质

量管理的情况下，对于数控加工的零件，特别是形状复杂和精度较高的零件，要进行全面的检验和统计分析，就必须对一定数量的零件进行全面检验，以便分析和找出影响零件质量的因素，从而制定措施确保零件的最高合格率。此外，如果没有高效率的测量手段，就有可能使价格昂贵的机床停下来等待检验结果，降低了机床利用率。特别是在零件品种规格变化比较频繁的情况下，测量效率问题必然显得更加突出。

7. 数控测量中心

除了上述由计算机控制的测量机和通用测量机检验线外，1973年在英国伯明翰召开的不列颠数控年会上，曾提出了采用数控测量中心来解决高效率测量问题。该测量中心最多可以有8个测量轴线，能解决各种复杂的测量问题。此外，测量中心还配备有图象显示，从图象显示上可以看出被测零件的误差。

三坐标测量机从五十年代问世以来，很多国家的公司都迅速从事研制，据不完全统计，世界上有九个国家的二十四家厂家生产了八十种类型的三坐标测量机，详见表20-1。

表20-1 国外三坐标测量机生产厂家和型号种类统计

国 别	生产厂家	型号种类	最大测量范围 (毫米)		
东 德	1	2	x-750	y-750	z-400
法 国	1	1	x-1300	y-800	z-500
西 德	4	12	x-3000	y-1800	z-1000
意 大 利	2	9	x-9970	y-1600	z-1000
日 本	3	10	x-1200	y-1000	z-350
瑞 典	1	4	x-750	y-450	z-300
瑞 士	3	5	x-700	y-500	z-300
英 国	4	14	x-900	y-3000	z-1800
美 国	5	26	x-1830	y-760	z-915
统 计	24	83			

近些年来，三坐标测量机发展更快，仅意大利 DEA 公司的 LAMBDA 三坐标测量机系列，其最大规格已发展到了 16 米。

近十多年来，我国也有一些工厂和科研机构研制成功了三坐标测量机。如航空工业部某科研所、上海第一机床厂等都先后生产了几台三坐标测量机，但由于还处于研制阶段，质量尚不稳定。

（二）三坐标测量机的分类

关于三坐标测量机的分类各个国家有不同的分类方法，大致

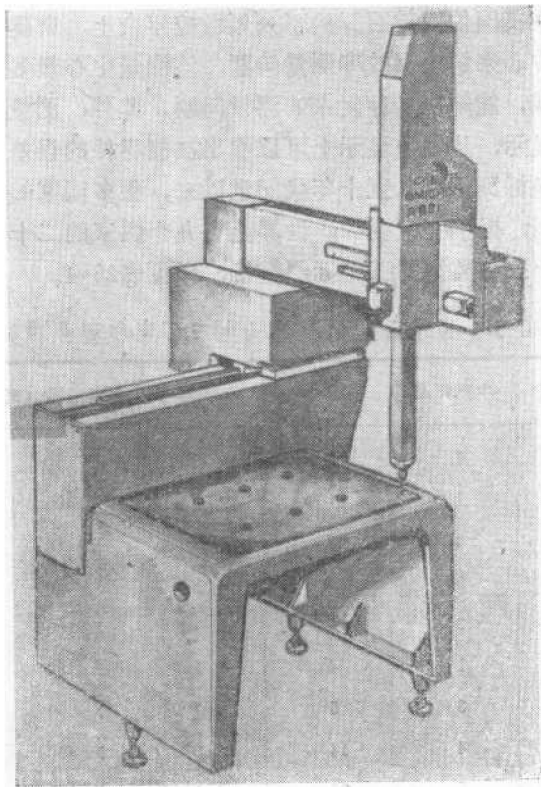


图20-2 z 轴移动悬臂式结构 (OMICRON型)

上有以下几种:

1. 按机械结构分 最常见的有悬臂式、龙门式、桥式、镗床式等几种三坐标测量机。

(1) 悬臂式 悬臂式三坐标测量机分为 z 轴移动和 y 轴移动两种。无论是哪一种,其共同的优点是工作台开阔,装卸工件方便,且可放置大于工作台面积的工件。 y 轴移动式的测量机因为 y 轴可向后移动,操作性能比 z 轴移动式更好。但由于 z 轴在

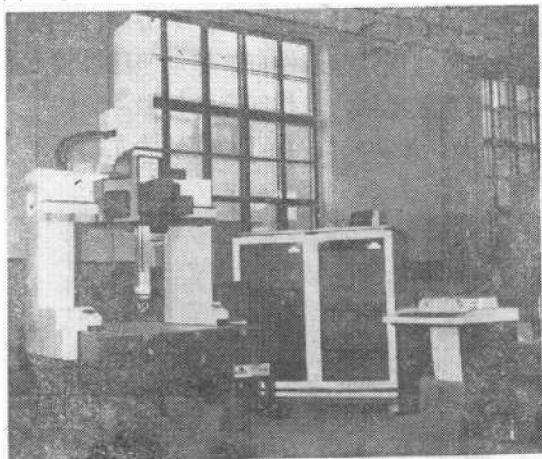


图20-3 龙门移动式结构(IOTA型和GRANITE80型)

y 轴上移动, 重心变化较明显, 容易引起 y 轴挠曲, 因此, 在设计时要增加补偿机构来补偿悬臂的挠曲度。这种结构形式适用中小型三坐标测量机。图 20-2 为 z 轴移动悬臂式结构。

(2) 龙门式 龙门式三坐标测量机分为龙门移动式和 龙门固定式两种。前者的特点是龙门可以前后移动, 而当龙门向前或向后移动后, 工作台周围完全开放, 装卸工件很方便, 操作性能较好。小型测量机采用这种结构型式容易达到较高的精度。

龙门固定式的左右立柱是固定的。 x 方向的移动由工作台来实现。这种测量机的优点是刚性好, 移动平稳, 精度高。缺点是操作性能差, 测量效率低, 工作间需要恒温。

图 20-3 为龙门移动式结构。图 20-4 为龙门固定式结构。

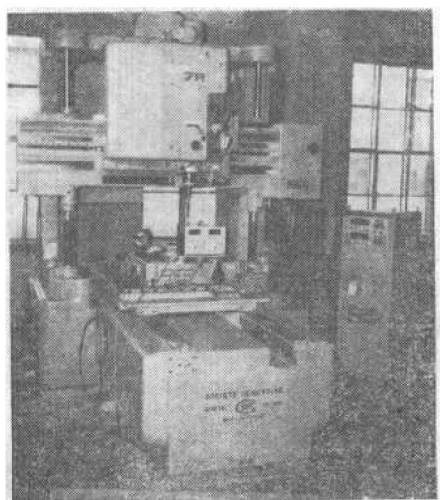


图 20-4 龙门固定式结构 (SIP-7R 型)

(3) 桥式 桥式测量机采用以桥框为导向面, y 轴在 x 方向移动的一门式结构形式。这种测量机的刚性好, 在 x 、 y 两个方向上容易达到必要的精度。这种结构形式适合于大型测量机。它的桥框 (在 x 轴上) 移动距离一般较大, 如意大利 DEA 公司所

生产的这种类型的测量机最大可达 16 米。其检测系统在 x 轴上分段采用金属反射光栅尺和两个读数头（即一米装光栅尺，另一米不装，反复交替）。利用两个读数头进行连续读数。

图 20-5 为桥式三坐标测量机。

（4）镗床式 镗床式坐标测量机分为卧镗式与坐标镗式两种。卧镗式测量机特别适合于检测卧镗加工的零件。其特点是具有溜板-工作台，由溜板和工作台分别实现 x 方向和 z 方向的移动，立柱一般是固定式的。但也有立柱能在 x 方向和 z 方向移动的，或立柱在 x 方向移动而工作台在 z 方向移动的。

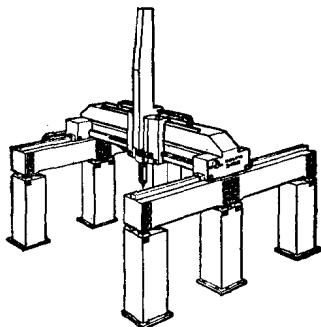


图 20-5 桥式三坐标测量机 (DELTA 型)

坐标镗测量机是由单柱坐标镗或立式镗床发展而来的。这种测量机的精度很高，一般可达到几微米。但由于 z 轴只能在 z 方向上移动，故操作性能较差。

图 20-6 所示为单柱坐标镗式测量机。

2. 按尺寸大小分 可分为下述大型、中型和小型三类：

（1）大型三坐标测量机 大型三坐标测量机主要用来检测如飞机机翼、机身、汽车外壳以及航天器上的大型零部件。大型测量机的 x 方向的测量范围一般在 3000 毫米以上，但也有人把 1800~3000 毫米的测量机称中大型测量机。一般地说，大型测量机都配有较大容量的电子计算机，不但能进行数控测量，而且能

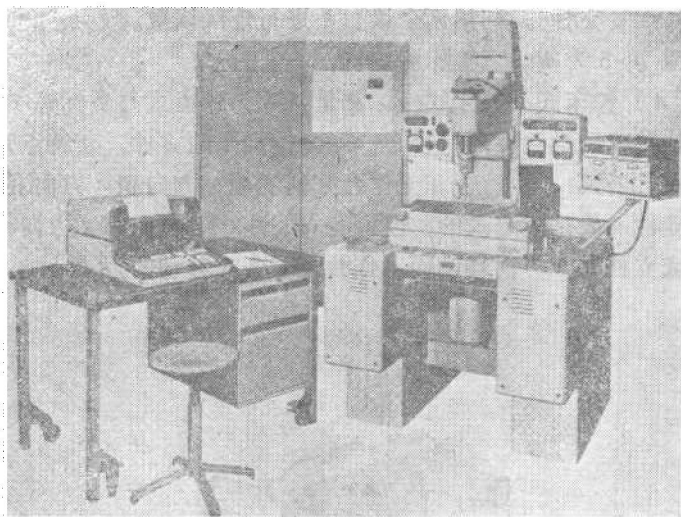


图20-6 单柱坐标壁式测量机 (SIP-422M型)

自动对零件轮廓进行表面连续扫描，并制出数控机床用的数控纸带。

图 20-7 所示为大型三坐标测量机。

(2) 中型三坐标测量机 中型三坐标测量机是机械制造业中用得最广泛的一种，适用于汽车、航空、机床、工具制造等领域。中型测量机的测量范围是指 x 坐标在 600~1200 毫米范围内。中型测量机的品种规格甚多。

图 20-8 所示为中型三坐标测量机。

(3) 小型三坐标测量机 小型三坐标测量机主要用于电子工业、机器制造业中的小型零部件的检测。一般地说，小型测量机的精度都较高。

图 20-9 为英国 LK 工具公司生产的 LK MINI-CHECK 型三坐标测量机。