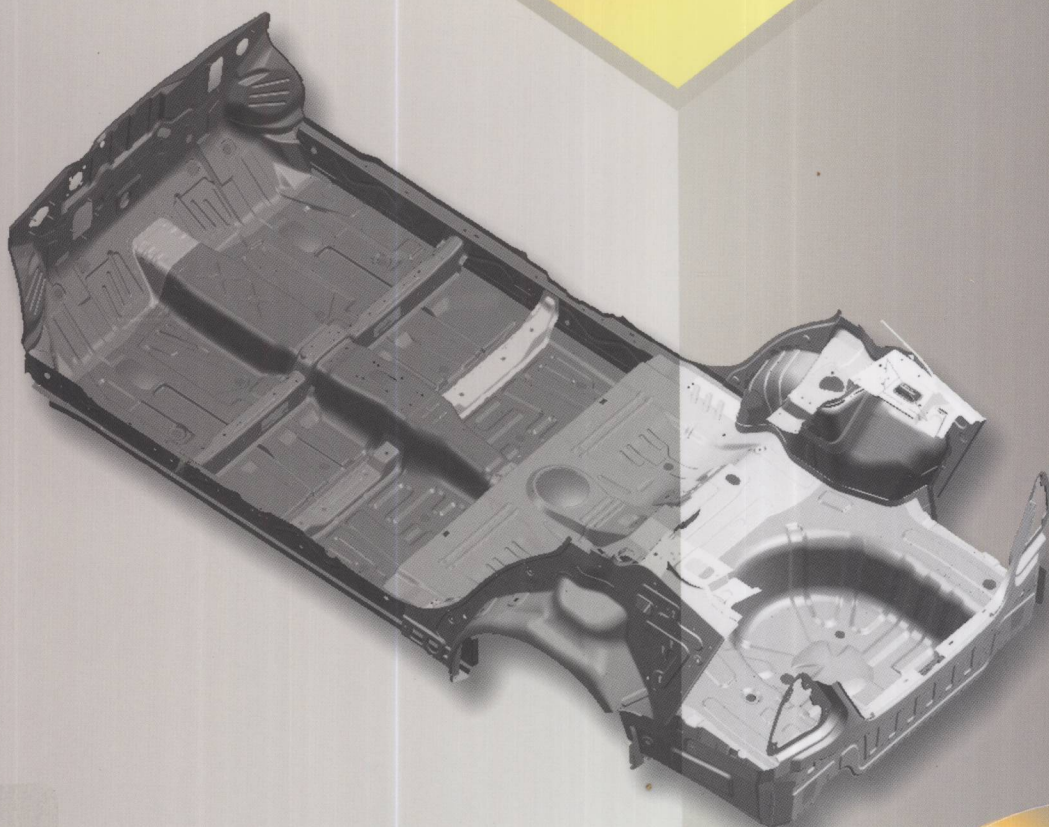


计算机辅助 三维检测技术

王万龙 王勇勤 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



计算机辅助三维检测技术

王万龙 王勇勤 编著



机械工业出版社

本书涉及三维测量的基本原理、行业发展现状,新一代高精度、高柔性、数字化的检测原理及工业应用领域。本书共有 20 章,分三个部分,分别叙述了计算机辅助检测技术的基础知识(第 1~4 章),论述了如何应用 MWorks-DMIS 手动版软件进行计算机辅助检测(第 5~12 章),如何应用 MWorks-DMIS 自动版软件进行计算机辅助检测的具体方法与步骤(第 13~20 章)。

本书适合相关领域工作人员参考,也可作为相关专业的普通本专科院校或职业技术学院师生的学习参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

计算机辅助三维检测技术/王万龙,王勇勤编著. —北京:机械工业出版社,2010.2

ISBN 978-7-111-29666-9

I. 计… II. ①王…②王… III. 三维—检测—计算机辅助技术
IV. TB22-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 018420 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:孔 劲 责任编辑:高依楠 版式设计:张世琴

封面设计:姚 毅 责任校对:李 婷 责任印制:李 妍

北京外文印刷厂印刷

2010 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·16.5 印张·409 千字

0001—4000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-29666-9

ISBN 978-7-89451-448-6(光盘)

定价:35.00 元(含 1CD)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

销售二部:(010) 88379649

教材网:<http://www.cmpedu.com>

读者服务部:(010) 68993821 封面无防伪标均为盗版

前言

机械设计、制造及检测是机械工程技术领域的三大环节和最重要的研究内容。随着计算机辅助技术的发展,计算机辅助设计、制造及分析的应用日益普及,机械产品对生产质量控制的要求也越来越高,逆向工程和新产品设计对三维测量技术的要求也日益提高,因此,计算机辅助检测技术的重要性越来越强。

随着我国机械工业的迅速发展和市场竞争的日益激烈,以及逆向工程技术的发展,计算机辅助检测技术作为提高产品质量的重要手段,也日渐形成一门独立的学科并获得了迅速的发展。在工业应用上,各种计算机辅助检测工艺及系统推陈出新。除传统的三坐标测量机外,近几年还发展起来许多新的检测工艺如激光扫描测量、影像测量、照相测量等。检测设备除传统的台式外,还出现了关节臂式、手持式等形式。在目前的机械工程类图书中,虽然已有各种与检测相关的书籍,但其内容的技术基础还局限于传统的游标卡尺、千分尺、水平仪等简单检测工具的应用,对于三维测量的基本原理、行业发展现状、新一代高精度、高柔性、数字化的检测原理及工业应用领域几乎没有涉及。而这些正是未来三维检测技术的发展方向。

本书共有 20 章,分三个部分,第 1~4 章为计算机辅助检测技术的基础知识,第 5~12 章论述了如何应用 MWorks-DMIS 手动版软件进行计算机辅助检测,第 13~20 章则论述了应用 MWorks-DMIS 自动版软件进行计算机辅助检测的具体方法与步骤。

全书由王万龙博士、研究员和王勇勤教授负责统筹、组织、编写及定稿。作者十分感谢伍先杰、刘二标、赵静等人对本书稿编写的协助,以及陶瑞对调试本书使用软件所做的工作。感谢中国科技大学的沈连娣教授、合肥工业大学的董玉德教授、安徽大学的琚凡副教授,以及浙江大学的王文副教授等人的关心、指导和帮助;另外感谢中国机械工业出版社孔劲和高依楠编辑,他们在本书的编辑及出版过程中提供了许多中肯的指导和帮助。在本书的编写过程中,作者参阅了几十种相关的书籍及其他文章资料,谨在此予以致谢。

由于作者的水平所限,书中难免存在着缺点或疏漏,恳请广大读者批评指正。

编者

目 录

前言

第1篇 计算机辅助检测基础知识

第1章 计算机辅助检测技术概论	1	2.3.1 平面与空间直线	31
1.1 计算机辅助检测的基本概念	1	2.3.2 常见二次曲面	33
1.2 计算机辅助检测技术与系统	1	2.3.3 常见的几何元素构造方法	34
1.2.1 接触式测量系统	1	第3章 尺寸测量接口标准 (DMIS)	37
1.2.2 非接触式测量系统	2	3.1 DMIS的产生与发展	37
1.2.3 复合式测量系统	3	3.1.1 DMIS的产生	37
1.3 三坐标测量机	4	3.1.2 DMIS的作用	38
1.3.1 三坐标测量机的发展及工作原理	4	3.1.3 DMIS的环境	38
1.3.2 三坐标测量机的机械结构	6	3.1.4 DMIS的总体结构	39
1.3.3 三坐标测量机的测量系统	9	3.1.5 与DMIS相关的标准	39
1.3.4 三坐标测量机的控制系统	13	3.2 DMIS语言的语法	39
1.3.5 三坐标测量机的软件系统	14	3.2.1 DMIS的语义与结构	39
1.4 计算机辅助检测技术的应用	15	3.2.2 DMIS的数据结构	45
1.4.1 质量控制	15	3.3 DMIS语言的常见关键词	46
1.4.2 逆向工程	16	3.3.1 测量语句	46
1.5 计算机辅助检测技术的发展趋势	18	3.3.2 公差语句	47
1.5.1 高精度化	18	3.3.3 特征定义语句	48
1.5.2 功能复合化	19	3.3.4 构造语句	48
1.5.3 机器巨型化和微型化	19	第4章 公差的基本概念与检测	52
1.5.4 与加工机床的集成	19	4.1 公差的基本概念及其分类	52
第2章 计算机辅助检测的数学基础	20	4.1.1 规定形位公差的目的	52
2.1 测量的数学基础	20	4.1.2 形位公差的研究对象	52
2.1.1 向量的基本概念与计算	20	4.1.3 形位公差的项目及其含义	53
2.1.2 坐标系及工作平面	21	4.1.4 形位公差带的概念	53
2.1.3 几何元素的拟合	24	4.1.5 形状公差及公差带的特点	54
2.2 标准球定义与检验	29	4.2 常见公差的检测方法	57
2.2.1 测量方法	29	4.2.1 形状和位置误差的检测规定	58
2.2.2 测头校验的原理	29	4.2.2 形状和位置误差的测量	61
2.3 几何元素构造	31	4.2.3 形状和位置误差的评定	67

第2篇 MWorks-DMIS 手动版软件

第5章 MWorks-DMIS 手动版软件	
简介	70
5.1 MWorks-DMIS 手动版软件的	
主要功能特性	70
5.1.1 基于三维 CAD 平台	70
5.1.2 支持国家尺寸公差标准	70
5.1.3 支持 DMIS 语言	71
5.1.4 测量程序的语法检验与编译系统	71
5.2 MWorks-DMIS 手动版软件的	
安装与启动	71
5.2.1 软、硬件配置	71
5.2.2 安装方法	71
5.2.3 启动与退出	72
5.3 MWorks-DMIS 手动版软件的	
用户界面	72
5.3.1 窗口的内容与布局	72
5.3.2 菜单与工具栏	72
第6章 手动版软件的测头系统	76
6.1 分步式配置测头系统	76
6.2 向导式创建测头系统	79
第7章 手动版软件坐标系的建立与变换	81
7.1 坐标系的建立	81
7.1.1 传统方法建立坐标系	81
7.1.2 宏坐标方法建立坐标系	83
7.2 坐标系的旋转、平移、清零与转换	93
7.2.1 坐标系旋转	93
7.2.2 坐标系平移	93
7.2.3 坐标系清零	93
7.2.4 坐标转换	94
7.3 坐标系的存储、调用与删除	94
7.3.1 坐标系存储	94
7.3.2 坐标系调用	94
7.3.3 坐标系删除	95
第8章 手动版软件几何特征的测量	96
8.1 点、线、面测量	96
8.2 圆、圆柱、圆锥的测量	104
8.3 球、椭圆的测量	106
8.4 曲线、曲面的测量	109
8.5 点云与数模对比测量	114
第9章 手动版软件几何特征的构造	115
9.1 求交	115
9.2 平分	117
9.3 拟合	118
9.4 投影	119
9.5 相切到	120
9.6 相切过	122
9.7 垂直过	123
9.8 平行过	124
9.9 移位	125
第10章 手动版软件的公差分析	127
10.1 尺寸公差	127
10.2 形状公差	129
10.3 定位公差	132
10.4 定向公差	135
10.5 跳动公差	137
10.6 截面绑定	139
10.7 数模对比设置	140
第11章 手动版软件的测量文件	141
11.1 测量文件的存储与调用	141
11.2 测量文件的编辑与修改	142
11.3 测量文件的重复执行	145
11.4 CAD 模型的输入输出	146
第12章 手动版软件的环境、视图与窗口	148
12.1 环境参数设置	148
12.2 视图窗口	152
12.3 测量程序窗口	155
12.4 测量结果窗口	155
12.5 输出缓冲	156

第3篇 MWorks-DMIS 自动版软件

第13章 MWorks-DMIS 自动版软件

13.1 简介

13.2 MWorks-DMIS 自动版软件的主要功能特性

13.3 MWorks-DMIS 自动版软件的安装与启动

13.4 MWorks-DMIS 自动版软件的用户界面

第14章 自动版软件的测头系统

14.1 分步设置测头系统

14.2 利用文件向导创建测头系统

第15章 自动版软件的坐标系统

15.1 自动版软件坐标系的建立

15.2 坐标系的变换

第16章 自动版软件的几何特征

16.1 点、线、面测量

16.2 圆、圆柱、圆锥的测量

16.3 球、椭圆的测量

16.4 曲线、曲面的测量

第17章 自动版软件的几何特征

17.1 构造

17.2 求交/穿入

17.3 等分

17.4 最佳拟合

17.5 投影

17.6 相切到

17.7 相切过

17.8 垂直过

17.9 平行过

17.10 移位

17.11 圆锥的圆/顶点

17.12 界定元素边界

第18章 自动版软件的公差分析

18.1 基于特征的公差分析

18.2 基于公差类型的公差分析

第19章 自动版软件的测量文件

19.1 测量文件的存储与调用

19.2 测量文件的编辑与修改

19.3 测量文件的重复执行

19.4 CAD 模型的输入输出

第20章 自动版软件的环境、视图与窗口

20.1 环境参数设置

20.2 视图窗口

20.3 缓冲区窗口

20.4 测量程序窗口

20.5 测量结果窗口

附录A 国标 GB/T 1182—2008 关于

A.1 公差的说明

附录B 国标公差信息表

B.1 参考文獻

B.2 参考文献

B.3 参考文献

B.4 参考文献

B.5 参考文献

B.6 参考文献

B.7 参考文献

B.8 参考文献

B.9 参考文献

B.10 参考文献

B.11 参考文献

B.12 参考文献

B.13 参考文献

B.14 参考文献

B.15 参考文献

B.16 参考文献

B.17 参考文献

B.18 参考文献

B.19 参考文献

B.20 参考文献

B.21 参考文献

B.22 参考文献

B.23 参考文献

B.24 参考文献

B.25 参考文献

B.26 参考文献

B.27 参考文献

B.28 参考文献

B.29 参考文献

第1篇 计算机辅助检测基础知识

第1章 计算机辅助检测技术概论

1.1 计算机辅助检测的基本概念

在传统的机械检测领域，游标卡尺、千分尺、螺旋测微仪等工具是手工检测机械零件或装配件的主要工具。这种检测方式的优点是成本低、检测方便、易学易用，但缺点是检测精度不高、检测效率低、对于复杂零件的检测无能为力。

自20世纪70年代以来，计算机辅助工程技术获得了迅猛的发展。在机械工程领域，计算机辅助工程在设计、加工、分析、检测以及制造过程管理方面都获得了广泛的应用，形成了一系列的新兴学科，如计算机辅助设计（CAD）、计算机辅助制造（CAM）、计算机辅助分析（CAE）、计算机辅助检测（CAI）、产品数据管理（PDM）等等。

计算机辅助检测是综合利用机电技术、计算机技术、控制及软件技术而发展起来的一项新技术，其特点是测量精度高、测量柔性好、测量效率较高，尤其是对复杂零件的检测，更是传统测量方法所无法比拟的。

经过近几十年的发展，计算机辅助检测系统已经发生了很大的变化。从测量原理上来看，计算机辅助检测技术已经由当初的接触式测量扩展到非接触式以及复合式测量。测量的设备也由当初唯一的三坐标测量机扩展到目前的激光测量仪、影像（视频）测量仪、照相（摄影）测量仪等检测工艺比较丰富的产品系列。

顾名思义，接触式测量仪就是指测量器具通过与被测工件的表面接触获取物体表面的坐标信息。接触式测量的典型产品是三坐标测量机。

非接触式测量是指利用工业 CCD 镜头或激光对物体表面进行测量从而获得物体三维坐标信息的测量工具。目前此类系统主要有激光测量仪、影像（视频）测量仪、照相（摄影）测量仪等。

复合式测量则是指在同一个测量工具上集成了两种以上的测量方式，如接触式的探针测头和影像测量或激光测量。

1.2 计算机辅助检测技术与系统

1.2.1 接触式测量系统

接触式测量是指在测量过程中测量工具与被测工件表面直接接触而获得测点位置信息的

测量方法。目前常用的接触测量方法包括：三坐标测量机、关节臂式柔性三坐标测量机等。

不同的接触式测量方法具有不同的测量原理。三坐标测量机是由三个带有光栅尺的坐标轴组成，当测头在测量过程中移动时，附着在光栅尺上的读书头可以读出移动的光栅格数，由软件将走过的光栅格数根据光栅的分辨率记录，并转化为长度值，然后由数据处理软件进行相应的数学运算，求出被测点的位置以及被测几何元素的参数，如圆的半径、直径和圆心位置等。图 1-1 给出了工业用三坐标测量机示意图。

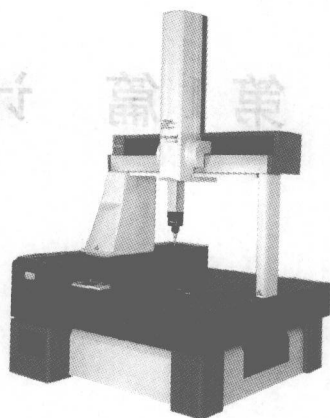


图 1-1 工业用三坐标测量机

对于柔性关节臂三坐标测量机而言，机器的定位采用的是圆光栅，机器的任一关节旋转时，可以根据球坐标系计算出测针当前的空间位置。机器通过数据采集卡将空间位置信息传出，然后由数据处理软件进行处理。

1.2.2 非接触式测量系统

非接触式测量是指在测量过程中测量工具与被测工件表面不发生直接接触而获得测点信息的测量方法。目前常用的非接触测量方法包括：激光扫描、影像测量、照相测量和工业 CT 扫描等。下面简单介绍一下常用的几种工艺方法。

1. 激光扫描测量

激光扫描测量系统是近二十年来发展起来的一项新的测量工艺，它利用三角测量法的原理，可以迅速获取物体表面的三维几何信息。三角测量法有被动三角测量和主动三角测量两种，被动三角测量法假设物体自发光；相反，主动三角测量法则是用激光照亮目标。

三角测量的基本原理是由半导体激光器发出的激光通过聚光透镜在被测曲面上结成光点并反射，光敏元件（如 PSD）接收其散射光，根据其在 PSD 上的位置，即可测出被测点的空间坐标。图 1-2 给出了被动三角法的测量原理。

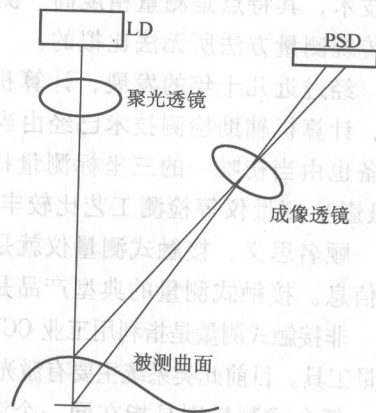


图 1-2 被动三角法的测量原理

根据激光光源的不同激光扫描可以分为点扫描和线扫描两种。一般点扫描获取点的速度在每秒几十点以上。而线扫描可根据线宽，得到从一万到几万的扫描采样速度。

根据激光扫描系统的机械结构，激光扫描可分为台式、关节臂式以及手持式三种。台式激光扫描系统与三坐标测量的机械结构类似，有工作台、XYZ 坐标轴、光栅尺、运动导轨等，有些测量系统还增加了旋转台，从而使系统的扫描功能获得进一步的增强。图 1-3 给出了一种台式和关节臂式激光扫描系统的示意图。

关节臂式激光扫描系统是在关节臂式测量系统的基础上增加激光扫描测头而形成的。关

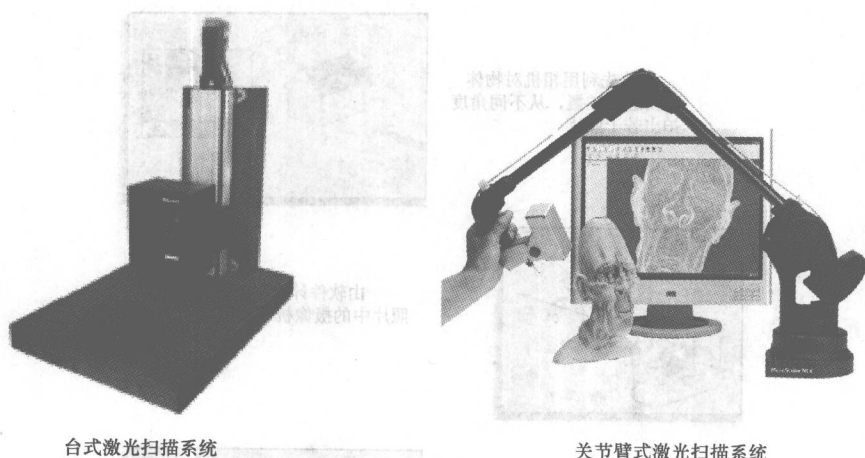


图 1-3 激光扫描系统示意图

节臂式测量机，又称柔性测量臂，由于机器操作比较灵活，目前在工程上已经广泛应用，如对汽车和飞机内部的测量，生产现场的测量等。

关节臂式激光扫描系统目前以 5、6、7 个自由度的设备为最多。

2. 图像测量

图像测量又称 CCD 测量、影像测量或视频测量。它通过工业 CCD 镜头对物体表面扫描和光电转换功能将空间的光强分布转换为时序的图像信号，并根据确定的时空参数间的相互关系获得物体空间分布的状态数据。图 1-4 为一个完整的 CCD 图像测量系统示意图。

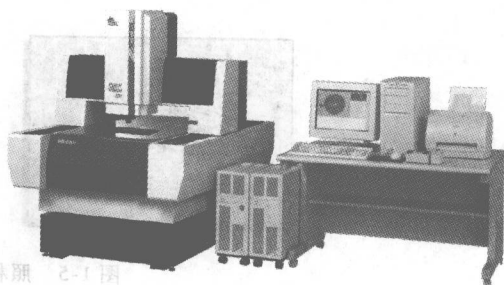


图 1-4 完整的 CCD 图像测量系统示意图

3. 照相（摄影）测量

照相（摄影）测量是指利用相机对物体多个角度测量得到图像信息，再根据空间物体投影的原理，利用物体表面的标志点信息对物体进行三维空间位置的反算，进而求出物体表面标志点的三维信息。图 1-5 为照相测量的原理图。

照相测量在大地、建筑、空间测量中比较普及，在机械测量行业中的应用尚不普遍。近几年来，基于照相测量的技术发展很快，除国际上一些知名的产品外，国内也已经发展起来。

1.2.3 复合式测量系统

复合式测量系统是指在同一个测量系统上集成两个以上的测量工艺或方法，常见的复合式测量机有三坐标测量机与激光扫描的集成、三坐标测量机与图像测量的集成，以及上述三种测量工艺的集成等。复合式测量系统的优点是利用同一台测量机可以测量一个零件的不同特征，从而使测量

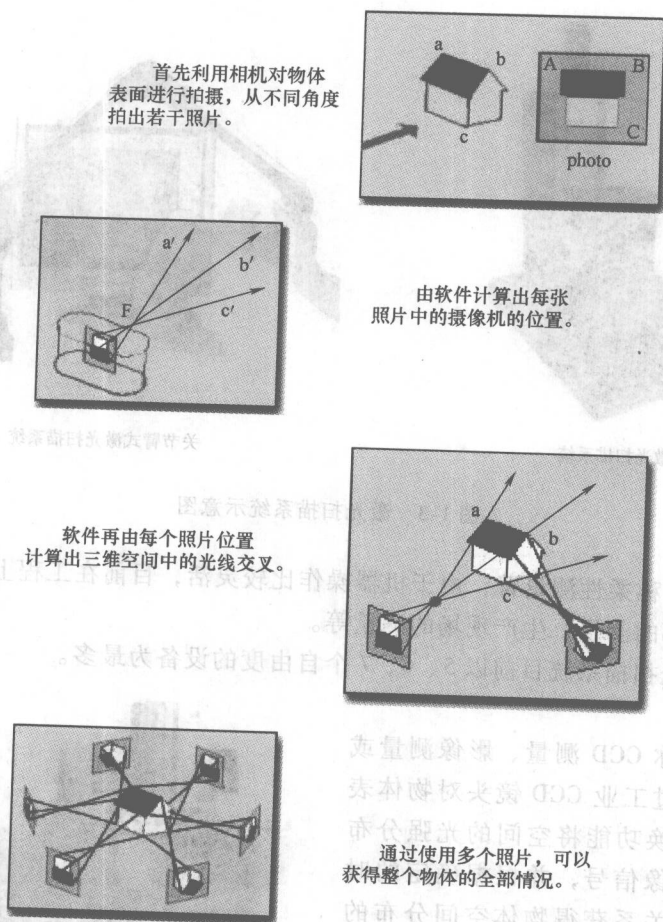


图 1-5 照相测量的原理图

的结果更准确, 效率更高, 并节约机器的购置成本。比如, 对于既有复杂曲面又有典型几何元素形状的机械零件来说, 利用三坐标的接触式测量方法和激光测量方法就可以取得较好的测量效果。而对于一些大量以平面特征为主的零部件来说, 图像测量与三坐标测量的配合则效果会更好。

1.3 三坐标测量机

1.3.1 三坐标测量机的发展及工作原理

1. 三坐标测量机的产生

三坐标测量机 (Coordinate Measurement Machine, 简称 CMM), 又称三坐标测量仪, 是 20 世纪 60 年代发展起来的一种新型高效的精密测量仪器。它的出现, 一方面是由于自动机床、数控机床高效率加工以及越来越多复杂形状零件加工需要有快速可靠的测量设备与之配套; 另一方面是由于计算机技术、数字控制技术以及精密加工技术的发展为三坐标测量机的

产生提供了技术基础。1960年,英国 FERRANTI 公司研制成功世界上第一台三坐标测量机,到 20 世纪 60 年代末,已有近十个国家的三十多家公司在生产三坐标测量机,不过这一时期的三坐标测量机尚处于技术的发展阶段。进入 20 世纪 80 年代后,以海克斯康、德国蔡氏、英国 LK、日本三丰等为代表的众多公司不断采用新的检测技术,推出新的产品,使得三坐标测量机的发展速度加快。现代三坐标测量机不仅能在计算机控制下完成各种复杂测量,而且可以通过与数控机床交换信息,实现对加工的控制,并且还可以根据测量数据,实现逆向工程。目前,三坐标测量机已广泛应用于机械制造业、汽车工业、电子工业、航空航天工业和国防工业等各部门,成为现代工业检测和质量控制不可缺少的精密测量设备。

2. 三坐标测量机的组成及工作原理

(1) 三坐标测量机的组成 三坐标测量机是典型的机电一体化设备,它由机械系统、测头系统、电气系统、以及计算机和软件系统四大部分组成。

1) 机械系统:一般由三个正交的直线运动轴构成。如图 1-6 所示结构中, X 向导轨系统装在工作台上,移动桥架横梁是 Y 向导轨系统, Z 向导轨系统装在中央滑架内。三个方向轴上均装有光栅尺用以度量各轴位移值。

2) 电气系统:除机械系统外,三坐标测量系统中的光栅尺、光栅读数头、数据采集卡、自动系统的运动控制卡、接口箱、电缆线、电动机等构成了三坐标测量机的电气系统。

3) 测头系统:测头系统是三坐标测量机的数据采集器,其作用是获取当前坐标位置的信息。测头系统按其组成有两类:机械式测头和电气式测头两种。

4) 计算机和软件系统:一般由计算机、数据处理软件系统组成,用于获得被测点的坐标数据,并对数据进行计算处理。

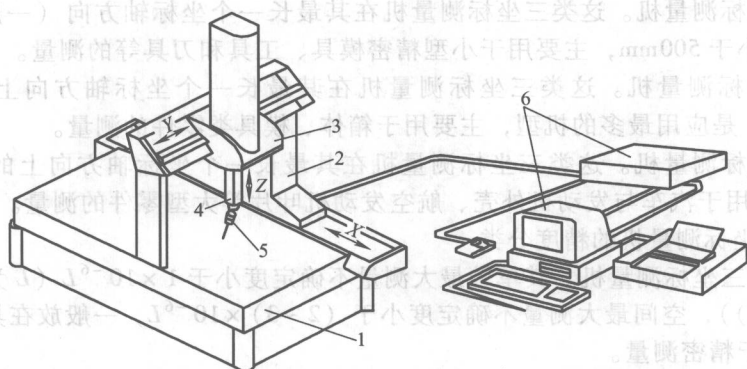


图 1-6 三坐标测量机的结构

1—工作平台 2—移动桥架 3—中央滑架
4—Z轴 5—测头 6—电气和软件系统

(2) 三坐标测量机的工作原理 三坐标测量机是基于坐标测量的通用化数字测量设备。它首先将各被测几何元素的测量转化为对这些几何元素上一些点集坐标位置的测量,在测得这些点的坐标位置后,再根据这些点的空间坐标值,经过数学运算求出其尺寸和形位误差。如图 1-7 所示,要测量工件上一圆柱孔的直径,可以在垂直于孔轴线的截面 I 内,触测内孔壁上三个点(点 1、2、3),则根据这三点的坐标值就可计算出孔的直径及圆心坐标 O_1 ;如果在该截面内触测更多的点(点 1, 2, ..., n, n 为测点数),则可根据最小二乘法或最小

条件法计算出该截面圆的圆度误差；如果对多个垂直于孔轴线的截面圆（Ⅰ，Ⅱ，…， m ， m 为测量的截面圆数）进行测量，则根据测得点的坐标值可计算出孔的圆柱度误差以及各截面圆的圆心坐标，再根据各圆心坐标值又可计算出孔轴线位置；如果再在孔端面 A 上触测三点，则可计算出孔轴线对端面的位置度误差。由此可见，三坐标测量机的这一工作原理使得其具有很大的通用性与柔性。从原理上说，它可以测量任何工件的任何几何元素的任何参数。

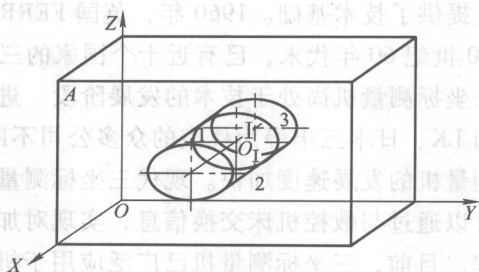


图 1-7 坐标测量原理

3. 三坐标测量机的分类

(1) 按三坐标测量机的技术水平分类

1) 数字显示及打印型。这类三坐标测量机主要用于几何尺寸测量，可显示并打印出测得点的坐标数据，但要获得所需的几何尺寸形位误差，还需进行人工运算，其技术水平较低，目前已基本被淘汰。

2) 带有计算机进行数据处理型。这类三坐标测量机技术水平略高，目前应用较多。其测量仍为手动或机动，但用计算机处理测量数据，可完成诸如工件安装倾斜的自动校正计算、坐标变换、孔心距计算、偏差值计算等数据处理工作。

3) 计算机数字控制型。这类三坐标测量机技术水平较高，可像数控机床一样，按照编制好的程序自动测量。

(2) 按三坐标测量机的测量范围分类

1) 小型坐标测量机。这类三坐标测量机在其最长一个坐标轴方向（一般为 X 轴方向）上的测量范围小于500mm，主要用于小型精密模具、工具和刀具等的测量。

2) 中型坐标测量机。这类三坐标测量机在其最长一个坐标轴方向上的测量范围为500~2000mm，是应用最多的机型，主要用于箱体、模具类零件的测量。

3) 大型坐标测量机。这类三坐标测量机在其最长一个坐标轴方向上的测量范围大于2000mm，主要用于汽车与发动机外壳、航空发动机叶片等大型零件的测量。

(3) 按三坐标测量机的精度分类

1) 精密型三坐标测量机。其单轴最大测量不确定度小于 $1 \times 10^{-6}L$ （ L 为最大量程，单位为毫米（mm）），空间最大测量不确定度小于 $(2 \sim 3) \times 10^{-6}L$ ，一般放在具有恒温条件的计量室内，用于精密测量。

2) 中、低精度三坐标测量机。低精度三坐标测量机的单轴最大测量不确定度大体在 $1 \times 10^{-4}L$ 左右，空间最大测量不确定度为 $(2 \sim 3) \times 10^{-4}L$ ；中等精度三坐标测量机的单轴最大测量不确定度约为 $1 \times 10^{-5}L$ ，空间最大测量不确定度为 $(2 \sim 3) \times 10^{-5}L$ 。这类三坐标测量机一般放在生产车间内，用于生产过程检测。

(4) 按三坐标测量机的结构形式分类 按照结构形式，三坐标测量机可分为移动桥式、固定桥式、龙门式、悬臂式、立柱式等，见下节。

1.3.2 三坐标测量机的机械结构

1. 结构形式

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。图1-8是目前常见的几种三坐标测量机结构形式,下面对其结构特点和应用范围作简要介绍。

图1-8a为移动桥式结构,它是目前应用最广泛的一种结构形式,其结构简单,敞开性好,工件安装在固定工作台上,承载能力强。但这种结构的 X 向驱动位于桥框一侧,桥框移动时易产生绕 Z 轴偏摆,而该结构的 X 向标尺也位于桥框一侧,在 Y 向存在较大的阿贝臂,这种偏摆会引起较大的阿贝误差,因而该结构主要用于中等精度的中小机型。

图1-8b为固定桥式结构,其桥框固定不动, X 向标尺和驱动机构可安装在工作台下方中部,阿贝臂及工作台绕 Z 轴偏摆小,其主要部件的运动稳定性好,运动误差小,适用于高精度测量,但工作台负载能力小,结构敞开性不好,主要用于高精度的中小机型。

图1-8c为中心门移动式结构,结构比较复杂,敞开性一般,兼具移动桥式结构承载能力强和固定桥式结构精度高的优点,适用于高精度、中型尺寸以下机型。

图1-8d为龙门式结构,它与移动桥式结构的主要区别是它的移动部分只是横梁,移动部分质量小,整个结构刚性好,三个坐标测量范围较大时也可保证测量精度,适用于大机型,缺点是立柱限制了工件装卸,单侧驱动时仍会带来较大的阿贝误差,而双侧驱动方式在技术上较为复杂,只有 Y 向跨距很大、对精度要求较高的大型测量机才采用。

图1-8e为悬臂式结构,结构简单,具有很好的敞开性,但当滑架在悬臂上作 Y 向运动时,会使悬臂的变形发生变化,故测量精度不高,一般用于测量精度要求不太高的小型测量机。

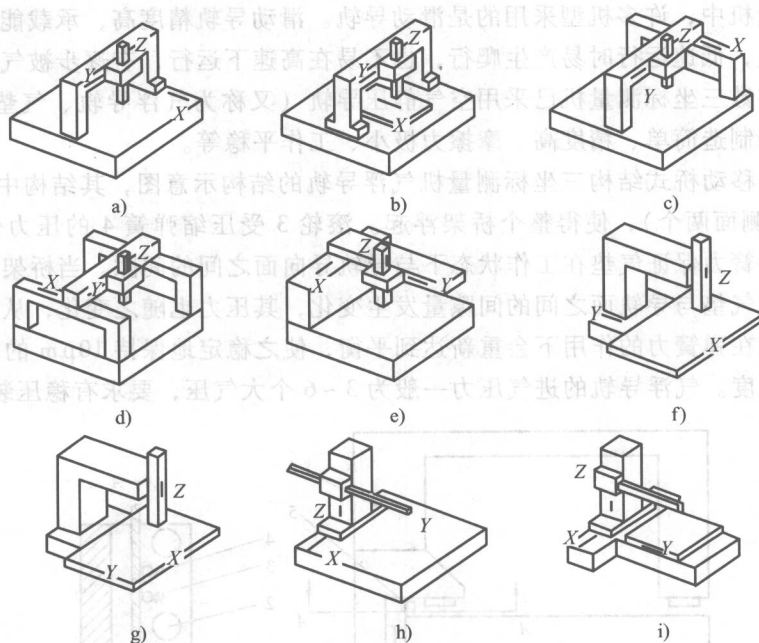


图1-8 几种三坐标测量机结构形式

- a) 移动桥式 b) 固定桥式 c) 中心门移动式 d) 龙门式 e) 悬臂式
f) 单柱移动式 g) 单柱固定式 h) 横臂立柱式 i) 横臂工作台移动式

图1-8f为单柱移动式结构,也称为仪器台式结构,它是在工具显微镜的结构基础上发展起来的。其优点是操作方便、测量精度高,但结构复杂,测量范围小,适用于高精度的小

型数控机型。见图 8-1 图。大群御编器用高内刊工属题议又知更替御时量御议 (为训御器科总

图 1-8g 为单柱固定式结构，它是在坐标镗的基础上发展起来的。其结构牢靠、敞开性较好，但工件的重量对工作台运动有影响，同时两维平动工作台行程不可能太大，因此仅用于测量精度中等的中小型测量机。

图 1-8h 为横臂立柱式结构, 也称为水平臂式结构, 在汽车工业中有广泛应用。其结构简单、敞开性好, 尺寸也可以较大, 但因横臂前后伸出时会产生较大变形, 故测量精度不高, 用于中、大型机型。

图 1-8i 为横臂工作台移动式结构, 其敞开性较好, 横臂部件质量较小, 但工作台承载有限, 在两个方向上运动范围较小, 适用于中等精度的中小机型。

2. 工作台

早期的三坐标测量机的工作台一般是由铸铁或铸钢制成的，但近年来，各生产厂家已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。有些测量机装有可升降的工作台，以扩大 Z 轴的测量范围，还有些测量机备有旋转工作台，以扩大测量功能。

3. 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。

图 1-9 是一移动桥式结构三坐标测量机气浮导轨的结构示意图, 其结构中有六个气垫 2 (水平面四个, 侧面两个), 使得整个桥架浮起。滚轮 3 受压缩弹簧 4 的压力作用而与导向块 5 紧贴, 由弹簧力保证气垫在工作状态下与导轨导向面之间的间隙。当桥架 6 移动时, 若产生扭动, 则使气垫与导轨面之间的间隙量发生变化, 其压力也随之变化, 从而造成瞬时的不平衡状态, 但在弹簧力的作用下会重新达到平衡, 使之稳定地保持 $10\mu\text{m}$ 的间隙量, 以保证桥架的运动精度。气浮导轨的进气压力一般为 3~6 个大气压, 要求有稳压装置。

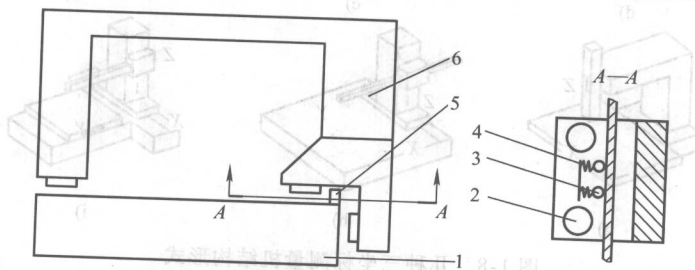


图 1-9 移动桥式结构三坐标测量机气浮导轨的结构示意图

1—工作台 2—气垫 3—滚轮 4—压缩弹簧 5—导向块 6—桥架

气浮技术的发展使三坐标测量机在加工周期和精度方面均有很大的突破。目前不少生产厂家在寻找高强度轻型材料作为导轨材料,有些生产厂已选用陶瓷或高模量型的碳素纤维作

为移动桥架和横梁上运动部件的材料。另外,为了加速热传导,减少热变形,ZEISS公司采用带涂层的抗时效合金来制造导轨,使其时效变形极小,且使其各部分的温度更加趋于均匀一致,从而使整机的测量精度得到了提高,而对环境温度的要求却又可以放宽些。

1.3.3 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,决定着三坐标测量机测量精度的高低。

1. 标尺系统

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)。根据对国内外生产三坐标测量机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。有些高精度三坐标测量机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形块测头等(见图1-10)。这类测头的形状简单,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。

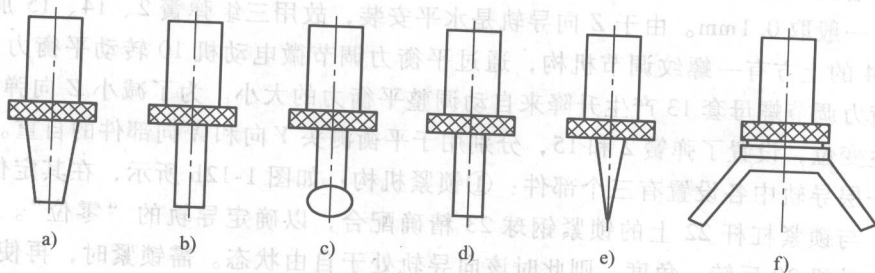


图1-10 机械接触式测头

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) V形块测头

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。

① 动态测头。常用动态测头的结构如图1-11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。

可见,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,故称为动态测头,也称为触发式测头。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。目前,绝大多数生产厂选用英国 RENISHAW 公司生产的触发式测头。

② 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。目前由 LEITZ、ZEISS 和 KERRY 等厂家生产的静态测头均采用电感式位移传感器,此时也将静态测头称为三向电感测头。图 1-12 为 ZEISS 公司生产的双片簧层叠式三维电感测头的结构。

测头采用三层片簧导轨形式,三个方向共有三层,每层由两个片簧悬吊。转接座 17 借助两个 X 向片簧 16 构成的平行四边形机构可作 X 向运动。该平行四边形机构固定在由 Y 向片簧 1 构成的平行四边形机构的下方,借助片簧 1,转接座可作 Y 向运动。 Y 向平行四边形机构固定在由 Z 向片簧 3 构成的平行四边形机构的下方,依靠它的片簧,转接座可作 Z 向运动。为了增强片簧的刚度和稳定性,片簧中间为金属夹板。为保证测量灵敏、精确,片簧不能太厚,一般取 0.1mm。由于 Z 向导轨是水平安装,故用三组弹簧 2、14、15 加以平衡。平衡弹簧 14 的上方有一螺纹调节机构,通过平衡力调节微电动机 10 转动平衡力调节螺杆 11,使平衡力调节螺母套 13 产生升降来自动调整平衡力的大小。为了减小 Z 向弹簧片受剪切力而产生变位,设置了弹簧 2 和 15,分别用于平衡测头 Y 向和 X 向部件的自重。

在每一层导轨中各设置有三个部件:①锁紧机构:如图 1-12b 所示,在其定位块 24 上有一凹槽,与锁紧杠杆 22 上的锁紧钢球 23 精确配合,以确定导轨的“零位”。在需打开时,可让电动机 20 反转一角度,则此时该向导轨处于自由状态。需锁紧时,再使电动机正转一角度即可。②位移传感器:用以测量位移量的大小,如图 1-12c 所示,在两层导轨上,一面固定磁心 27,另一面固定线圈 26 和线圈支架 25。③阻尼机构:用以减小高分辨率测量时外界振动的影响。如图 1-12d 所示,在作相对运动的上阻尼支架 28 和下阻尼支架 31 上各固定阻尼片 29 和 30,在两阻尼片间形成毛细间隙,中间放入粘性硅油,使两层导轨在运动时,产生阻尼力,避免由于片簧机构过于灵敏而产生振荡。

该测头加力机构工作原理如图 1-12a 所示,其中 X 向加力机构和 Y 向加力机构相同(图中只表示出了 X 向)。 X 向加力机构是利用电磁铁 6 推动杠杆 5,使其绕十字片簧 8 的回转中心转动而推动中间传力杆 7 围绕波纹管 4 组成的多向回转中心旋转,由于中间传力杆与

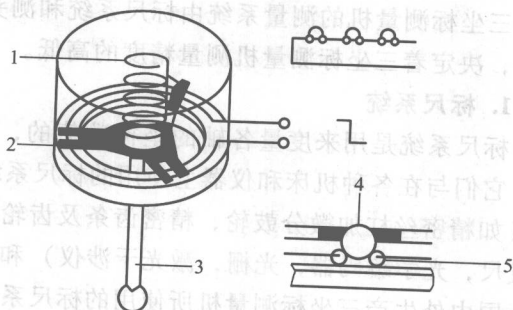


图 1-11 电气式动态测头的结构

1—弹簧 2—芯体 3—测杆 4—钢球 5—触点