

JINSHI GAOXIAO SHIWU GUIHUA JIAOCAI



天津市高校“十五”规划教材

机械原理与 机械设计实验教程

JIXIEYUANLIYUJIXIESHEJISHIYANJIAOCHENG

潘凤章 沈兆光 主编



天津大学出版社

TIANJIN UNIVERSITY PRESS

天津市高校“十五”规划教材

TH111-33

3

机械原理与机械 设计实验教程

潘凤章 沈兆光 主编

 天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书为高等学校机械类专业本科学生实验教材。书中吸收了近年来教学改革中的一些正确思想和研究成果。主要内容有:实验中常用仪器仪表和传感器的工作原理及基本特性;基于计算机技术的多通道通用实验仪器的组成原理、主要应用软件和使用操作方法;误差分析与数据处理的相关知识;引入实验项目 21 个,包括了大部分机械原理和机械设计课程的传统实验项目以及一些新增实验项目。

本书内容通俗易懂,除可作为高等学校机械类专业本科生实验教学用书外,还可作为有关工程技术人员在从事实验活动中的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

机械原理与机械设计实验教程/潘凤章,沈兆光主编. —
天津:天津大学出版社,2006.3

ISBN 7-5618-2258-8

I. 机... II. ①潘... ②沈... III. ①机构学 - 实验
- 高等学校 - 教材 ②机械设计 - 实验 - 高等学校 - 教材
IV. ①TH111-33 ②TH122-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 004943 号

出版发行 天津大学出版社
出版人 杨欢
地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)
电 话 发行部:022-27403647 邮购部:022-27402742
网 址 www.tjup.com
短信网址 发送“天大”至 916088
印 刷 昌黎太阳红彩色印刷有限责任公司
经 销 全国各地新华书店
开 本 148mm × 210mm
印 张 5.5
字 数 164 千
版 次 2006 年 3 月第 1 版
印 次 2006 年 3 月第 1 次
印 数 1 - 2 000
定 价 10.00 元

前 言

本书是为高等学校机械类专业本科实验教学而编写的实验教材。在编写过程中,作者注意吸收近年来教学改革中的正确思想和研究成果,努力贯彻“推进素质教育、培养创新人才”的精神和“以学生为主体、教师为主导”的实验教学改革的指导思想;注意克服过去实验教学中那种单纯知识学习的观点和只注重实验结果而忽视实验过程的做法,力图打破在传统实验教学中学生被动学习的局面;注重调动学生的学习主观能动性,引导其形成自主学习的风气;注重让学生在实验过程中学会动手、动脑,得到多方面的锻炼;注重全面提高综合素质,培养独立解决工程实际问题的能力。

基于加强实验在教学中的地位,将实验课从“机械原理和机械设计”理论教学中剥离的想法,本书作为实验教材自成体系。本书内容通俗易懂。除了第四章“误差分析与数据处理”可作适当讲授之外,其余部分均可以学生自学方式进行。

本书按内容可划分为以下几部分:第一、二两章主要介绍实验中常用仪器仪表和传感器的工作原理及基本特性,作为学生在开展自主实验过程中选择使用相关仪器仪表和传感器时所需的预备知识。第三章主要介绍基于计算机技术的多通道通用实验仪器的组成原理、主要应用软件和使用操作方法。第四章介绍误差分析与数据处理的相关知识。第五章为实验项目,共编入实验项目 21 个。全部实验项目大体可分为以下几种类型。

①展示类实验。这类实验主要为解决学生的感性认知,示形,示理。如机构认知实验和机械零件认知实验等。可结合课堂讲授或理论课程教材的内容以课外自学方式进行。

②验证类实验。通过演示自然现象及其变化规律和影响因素等,验证课堂理论课程中所讲述的内容。如齿轮的范成法加工实验、动平衡实验、机器的速度波动与飞轮调速实验、流体动力润滑实验、带传动

的滑动与效率实验等。

③技能训练类实验。这类实验主要承担学生的基本技能训练,如机构运动参数测试实验、齿轮基本参数测定实验、轴系的结构设计实验和齿轮传动效率实验等。

④探索创新类实验。引导学生探索创新,树立创新意识,增进创新能力,如机构创意设计实验和机械产品创新展示与训练实验。

⑤综合类实验。如机器的功能与运动设计分析实验、机械传动性能测试实验和螺纹连接的振动防松实验等。

本书在实验项目的编写过程中区别于传统的做法主要有以下两点:

①在实验指导书编写过程中,根据不同情况,采用不同的编写方式。一些实验项目,如实验 1、实验 3、实验 7、实验 11、实验 14、实验 15 等,基本上按照传统方式编写。对于展示类实验,如实验 6、实验 17,按照学生需要认知的内容,以填空题或选择题的形式给出。学生只需以此为线索观看实物、模型,回答问题,就能够达到感性认知的实验目的。另外一些实验,如实验 2、实验 4、实验 8、实验 9、实验 10、实验 12、实验 13、实验 18 等,则摒弃了传统实验指导书编写过细的做法,而增添了实验设计的内容。采用只讲实验目的、实验要求、实验进行方式和实验注意事项,而不讲实验原理方法和实验步骤等,要求学生自己寻求开展实验的原理方法,制定实验方案,设计实验进程,自己动手搭建实验装置,自行完成实验全过程并进行数据处理、整理编写实验报告和做好实验总结。这种做法意在加强对学生综合能力的培养。通过完成这样一个实验的全过程,希望他们除了掌握实验本身内容外,还要学会查阅文献资料,进行调查研究,组织开展实验活动,整理编写技术文件以及学会与他人协作共事等,从而使其在各个方面都能够得到一定的锻炼和提高。

②实验报告不给统一格式,不作统一规定。只在部分实验中以“要求”或者“提示”的方式,提出实验报告应当包含的基本内容,而由学生自己完成实验报告的整理工作,包括画出实验装置原理框图,写出主要仪器仪表的名称、规格、型号和主要操作步骤,设计必要表格、线图记录

实验数据,分析实验结果并总结得出实验结论等。

本书可满足实验课 20 ~ 40 学时的教学计划要求。各学校可以根据教学计划和实验教学条件选择不同实验项目。

参加本书编写的有沈兆光(第一章、第二章及实验 10、实验 11、实验 14、实验 15),王喆(第三章及实验 2、实验 8),杨一平(实验 1、实验 3)、孟彩芳(实验 4、实验 5、实验 7),陈树昌(实验 12),景秀并(实验 18 并承担了书中大量绘图工作),张策(实验 20、实验 21),其余由潘凤章编写。全书由潘凤章、沈兆光担任主编。

本书经天津大学罗南星教授审阅,提出了许多宝贵意见,在此谨表示衷心感谢。

限于作者水平,书中难免存在失误和疏漏,殷切希望广大读者批评指正。

编者

2005 年 12 月

目 录

第一章 机械工程常用物理量测试	1
第一节 长度和位移测量	1
第二节 角度和角位移量测量	7
第三节 力和力矩测量	9
第四节 速度测量	12
第五节 温度测量	12
第二章 传感器	16
第一节 常用传感器及其作用原理	16
第二节 传感器的选用原则	23
第三章 多通道通用实验仪器	25
第一节 虚拟仪器概念	25
第二节 LabVIEW 图形化编程软件	26
第三节 LabVIEW 7 Express 程序设计	27
第四节 数据输出方式	34
第四章 误差分析与数据处理	35
第一节 误差与精度概念	35
第二节 随机误差	39
第三节 系统误差	43
第四节 粗大误差	49
第五节 数据处理	53
第五章 实验项目	61
实验 1 机构运动简图测绘实验	61
实验 2 机构运动参数测试实验	65
实验 3 齿轮范成原理实验	70
实验 4 机构创意设计实验	73
实验 5 齿轮几何参数测定实验	82

实验 6	机构认知实验	90
实验 7	刚性转子平衡实验	93
实验 8	机器的速度波动与飞轮调速实验	103
实验 9	机器的功能与运动设计分析实验	107
实验 10	带传动的滑动与效率实验	112
实验 11	齿轮传动效率实验	116
实验 12	轴系的结构设计实验	119
实验 13	机械传动性能测试实验	127
实验 14	液体动力润滑轴承实验	130
实验 15	弹簧特性测定实验	135
实验 16	减速器结构设计分析实验	139
实验 17	机械零件认知实验	142
实验 18	螺纹连接的振动防松实验	150
实验 19	机械产品创新展示与训练实验	160
实验 20	机构与结构认知实验	162
实验 21	单缸内燃机拆装实验	164
参考文献		166

第一章 机械工程常用物理量测试

机械工程常用物理量包括长度、角度、位移、速度、加速度、力、力矩、应力、质量、振动和噪声等。本章将按照长度(位移)、角度(角位移)、力与力矩、速度和温度的顺序,对于测量中常用的仪器仪表的工作原理、选用原则和使用方法等作简要介绍。

第一节 长度和位移测量

长度测量(包括位移测量),根据实际需要,可采用通用量具、光学量仪、气动量仪和电动量仪等进行。测量器具的选择主要应从量程、精度、灵敏度、可靠性、价格以及测量的工作效率等方面进行考虑。

一、通用量具

通用量具一般是指通用性比较强的机械式量具,而专用量具是指测量参数固定的量具。通用量具具有价格低、适用范围广、应用普遍等优点,缺点是测量精度和工作效率相对较低。通用量具包括游标尺、千分尺、百分表、千分表、杠杆千分尺以及杠杆式齿轮比较仪等。

游标尺和千分尺都是运用机械细分的方法来提高读数准确度的。游标尺是利用将游标刻线细分达到提高其读数准确度的,而千分尺则是通过螺旋传动,将被测尺寸转换成丝杆的轴向位移和微分筒的圆周位移,并以微分筒上的刻度对圆周位移进行计量,从而实现对螺距的放大细分,达到提高读数准确度的。

百分表和杠杆式齿轮比较仪运用了杠杆放大原理,分别如图 1-1-1 和图 1-1-2 所示。它将测量杆的微小直线位移,通过放大机构放大后,

转变成指针的角位移,最后由指针在刻度盘上指示出相应的数值。

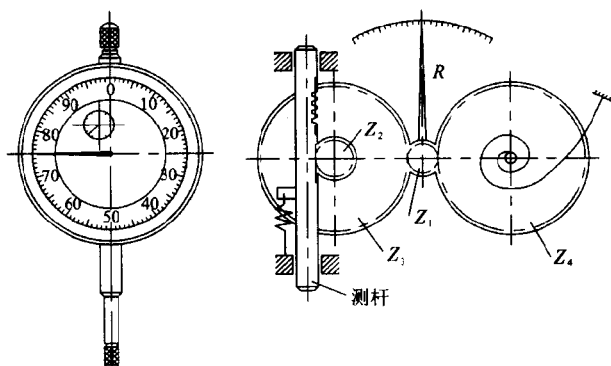


图 1-1-1 百分表及其传动原理

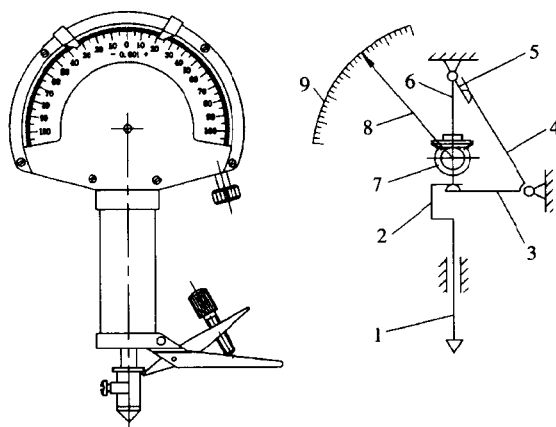


图 1-1-2 杠杆式齿轮比较仪外形及传动原理

1. 测杆 2. 弯臂 3. 杠杆短臂 4. 杠杆长臂 5. 杠杆臂
6. 扇形齿轮 7. 小齿轮 8. 指针 9. 刻度盘

量规是一种没有刻度线的量具,因而不能量出具体尺寸大小。量规按检测对象分为孔用量规、轴用量规和螺纹量规等。在大量生产中可用量规来检验零件的尺寸合格与否。

部分通用量具常用技术指标见表 1-1-1。选择量具时,一般需根据其示值误差与测量范围来确定。

表 1-1-1 通用量具技术指标

名 称	测量范围/mm	示值误差/ μm	示值总误差/ μm	分度值/ μm
游标尺	0~1 000	$\pm 20 \sim \pm 150$		20~100
千分尺	0~1 000	$\pm 4 \sim \pm 20$		
内径千分尺	50~5 000	$\pm 6 \sim \pm 72$		
百分表	0~10	$\pm 14 \sim \pm 18$		
千分表	0~2	$\pm 4 \sim \pm 9$		1~5
杠杆千分尺	0~100	± 20 个分度内 $\pm 0.5, \pm 1.0$	1.5	1
		± 20 个分度内 $\pm 1.0, \pm 2.0$	3	2
杠杆齿轮比较仪	$\pm 0.025, \pm 0.05$ $\pm 0.1, \pm 0.2$ ± 0.4 等	± 30 分度内 ± 0.5	1.2	0.5, 1, 2, 5, 10
		± 30 分度内 ± 1.0		

二、光学量仪

光学量仪是利用光学原理将被测参数进行放大的一种测量仪器。在长度测量仪器中,光学量仪占有十分重要的地位。常见的有测量显微镜和光学比较仪等。

测量显微镜主要原理是通过显微镜的光学系统放大,用工作台上游标尺和圆刻度尺测量,其工作原理如图 1-1-3 所示。

三、气动量仪

气动量仪是把被测尺寸转换为气体压力、流量或流速的变化,并通

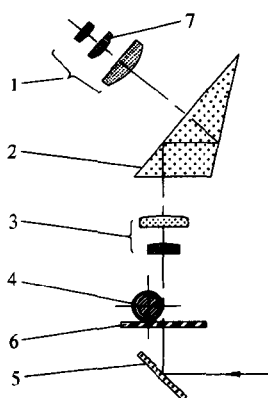


图 1-1-3 测量显微镜
工作原理

1. 目镜 2. 棱镜 3. 物镜
4. 被测工件 5. 反光镜
6. 测量工作台 7. 分划板

过压力计、流量计或转化为长度变化量进行读数的一种测量仪器。气动量仪的测量准确度和测量效率高,结构简单,工作可靠,使用维护方便,应用范围广泛。主要缺点为存在示值不稳定性 and 时间滞后现象。气动量仪常用类型有水柱式和浮标式两种。

水柱式气动量仪的工作原理如图 1-1-4 所示。由气源来的压缩空气,经过滤器 1 和稳压器 2,进入分配器 3,然后分为两路:一路经主喷嘴 4 进入测压室 5,另一路则经过副喷嘴 10 进入预压室 9。进入测压室 5 的气体,部分经测量喷嘴 6 与被测试工件表面之间的间隙流出进入大气;另一部分,则通过鼓膜 13 将压力加到装有

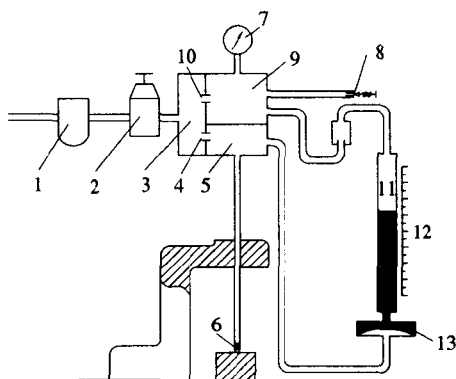


图 1-1-4 典型气动量仪的工作原理

1. 过滤器 2. 稳压器 3. 分配器 4. 主喷嘴 5. 测压室
6. 测量喷嘴 7. 压力表 8. 调节阀 9. 预压室
10. 副喷嘴 11. 水银玻璃管 12. 刻度尺 13. 鼓膜

水银的玻璃管 11 的下端。进入预压室 9 的气体,通过管路将压力加到水银玻璃管 11 的上端,而预压室 9 内的气体压力,其大小可通过调节阀 8 的开合程度予以控制。

通常,进入测压室 5 和预压室 9 中的气体压力分别被称为测量压力和预压力。量仪工作时,调节阀 8 按需要固定在一定开度,可以认为预压力是一定的。因此,当被测工件的尺寸改变时,测量压力将随之改变,其大小将由水银柱液面所处位置的高度显现出来。

四、电测量仪

电测量仪是将被测量(如微小位移量)转换成电信号进行测量或处理的一种仪器。电测量仪的组成主要有三部分:传感器、测量电路和显示执行机构。传感器感受被测参数的变化,测量电路的作用是将传感器输入的微弱电信号放大,并按照人们的需要进行变换处理后,驱动指示装置或执行机构。显示执行机构可以是数字显示装置或自动记录装置等。电测量仪按工作原理的不同,可分为电阻应变式测微仪、电涡流式测微仪、电容式测微仪和电感式测微仪等。

1. 电阻应变式测微仪

电阻应变式测微仪的结构原理如图 1-1-5 所示,当待测工件 3 尺寸不同时,悬臂梁 1 的变形量也不同。粘贴在梁上的应变片 2 将悬臂梁的变形量转换成电阻的变化量,通过电阻应变仪将该电阻的变化量以电压的形式输出,并利用相应精度的块规确定物体高度。通常电阻式测微仪为接触式测量。

2. 电涡流式测微仪

电涡流式测微仪有透射式传感器和反射传感器式两类。透射式比反射式传感器结构简单,其工作原理如图 1-1-6 所示,图中 L_1 、 L_2 分别为发射和接收传感器线圈,它们分别被安装在被测金属板的上、下方,若在 L_1 上加电压 U_1 ,则通过线圈中电流将产生一磁场 ϕ_1 。在金属板上就会产生电涡流 i 。由于产生涡流,磁场能量损失,到达 L_2 的磁场 ϕ_2 将比 ϕ_1 有所削弱,金属板越厚,磁场损耗越大,从而使 L_2 感应电动势

U_2 越小。通过测试 U_2 的变化量并与标准尺寸进行比较, 就可以测出金属板的厚度。

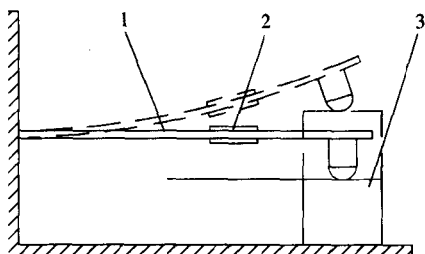


图 1-1-5 电阻应变式测微仪结构原理

1. 弹性悬臂梁 2. 电阻应变片 3. 待测物体

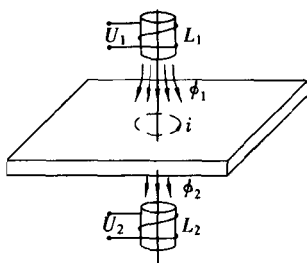


图 1-1-6 电涡流式测微仪
结构原理

3. 电容式测微仪

电容式测微仪是将待测高度或厚度的变化转换成电容量变化的一种测微仪。电容式测微仪有变极距型、变面积型和变介质型三种传感器。变面积型电容式传感器如图 1-1-7 所示。它是由固定极板 A、B 和可动极板 C 组成差动电容 C_1 、 C_2 ，与振荡变压器次级线圈组成一电桥，中点接地。测量前调整测量杆使电容 $C_1 = C_2$ ，此时，电路中电桥平衡，输出端无电流或电压输出。在测量过程中当被测物体尺寸有微小改变时，测量杆就产生一定位移从而使电容 $C_1 \neq C_2$ ，电路中电桥失去平衡，输出端将有一电流或电压输出，其电流或电压大小与测量杆位移成正

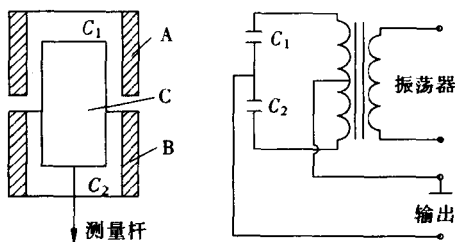


图 1-1-7 变面积型电容式传感器原理及电路

比。通过测量的电流或电压值与标准尺寸进行比较,就可得出实际位移量。

4. 电感式测微仪

与上述电容式测微仪的原理类似,常见的电感式测微仪是由两个电感线圈按差动方式与振荡变压器组成电桥,如图 1-1-8 所示。当测量杆的微小位移带动两感应线圈中的衔铁移动时,电感量产生相应变化,使电桥失去平衡,输出端有电流或电压输出,其大小与衔铁位移成比例。这样,通过标准尺寸定标比较电路中电感量的变化,就可确定衔铁位移(物体位移)的大小。

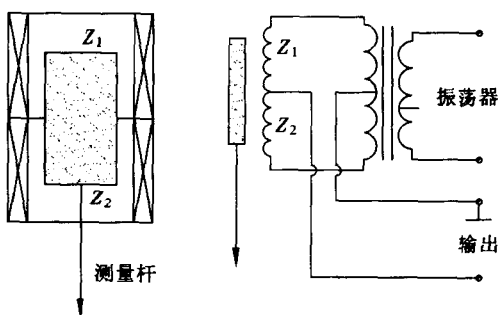


图 1-1-8 电感式传感器原理及电路

第二节 角度和角位移量测量

万能角度尺常用来检测简单工件和样板的角度。测量转动物体角度和角位移通常用电阻式、电容式或发电机式测量仪。下面简单介绍旋转物体角度和角位移的常用测量仪器。

一、电阻式角度及角位移测量仪

电阻式角度及角位移测量仪的工作原理如图 1-2-1 所示。传感器

的转轴 5 跟被测物体连接,当物体转过一定角度时,电刷 2 在电位器 1 上转过一个相应的角位移,于是导电片 4 输出一个跟转角成比例的电压 U_0 。 U_i 为电位器输入电压。这样,通过测量传感器的输出电压值,就可以换算出转轴转过的角度或角位移。

同样利用电阻应变片的应变效应也可制成角位移测量仪,其原理如图 1-2-2 所示:旋转轴 3 上的凸轮与悬臂梁 2 相接触,当转轴带动凸轮转动时,悬臂梁产生弯曲变形,粘贴在悬臂梁上的应变片 1 电阻值发生改变,通过电阻应变仪就可测出旋转轴转角的变化量。

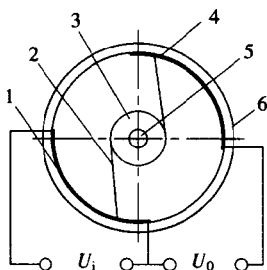


图 1-2-1 电阻式角位移测量仪原理

1. 电位器 2. 电刷 3. 导电环 4. 导电片
5. 转轴 6. 壳体

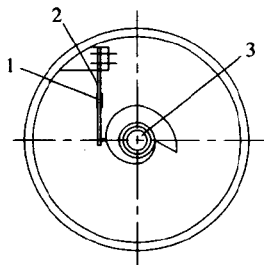


图 1-2-2 应变计式角位移测量仪原理

1. 应变片 2. 悬臂梁 3. 旋转轴

二、电容式角度和角位移测量仪

电容式角度和角位移测量仪的原理如图 1-2-3 所示。其中,转轴与动极板相连接,当转轴带动动极板转动时,电容器的工作面积发生变化,从而使电容量发生改变,通过检测电路中电容的变化量即可确定角度及角位移。

三、发电机式转角计

发电机式转角计是应用广泛的角度测量仪器,其原理如图 1-2-4 所示。这种测量仪借用了发电机的原理,转轴上镶有永磁铁。在转轴旋转过程中,线圈内的磁通量随转轴旋转而变化,从而产生电动势,并由

此可计算出旋转角度。

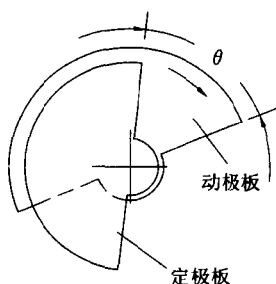


图 1-2-3 电容式角度和角位移测量仪工作原理

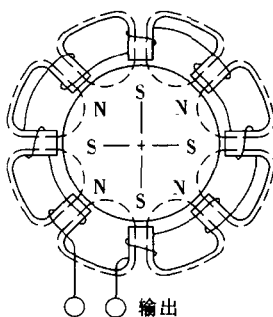


图 1-2-4 发电机式转角计工作原理

第三节 力和力矩测量

力和力矩的测量,常用的有机械方式和电测方式两种。机械方式分重力式或弹力式。用重力测试的方法,如图 1-3-1 所示:杠杆 2 以 b 点为支撑,被测力 F 通过刀架的刀口 1 作用于杠杆 2 的 a 点,在其另一端放置质量为 M 的砝码 3。移动砝码 3 在杠杆 2 上的位置,当水平仪 4 指示水平时,则系统处于平衡状态。被测力

$$F = Mg \frac{y}{x}$$

式中 x ——被测力 F 到支点 b 的距离;

y ——砝码 3 到支点 b 的距离;

g ——重力加速度。

弹力测量力和力矩的方法如图 1-3-2 所示:电动机 1 的转子轴通过轴承用固定支架 2 支撑起来。这样,电动机 1 的外壳即可绕轴线摆动。当摆动电动机输出力矩为 T 时,则电动机的定子受到转子的反力矩 $T' = T$ 。在反力矩 T' 作用下,电动机 1 发生偏转,使安装于电动机外壳上