

工程力学实验

■ 蔡传国 陈 平 韦忠瑄 杨绪普 编著

TB12-33
16

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

013029620

TB12-33
16

工程力学实验

蔡传国 陈 平 编著
韦忠瑄 杨绪普



TB12-33
16

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE



北航

C1635477

内 容 简 介

本教材是作者长期探索力学实验教学改革的成果。其编写指导思想是:在传统的力学实验内容上融入带有强迫性质的创新启迪,使学生从过去按图索骥式验证实验变成主动思考理解式实验,在达到验证实验目的过程中,加深对实验机理的理解和实验方法的掌握,从而有效地提高实验教学质量,并提高学生创新思维。教材内容共分四部分:理论力学实验、材料力学实验、振动实验、数值模拟实验,另外附有部分常做实验的报告样本。

本书适合作为普通高等学校机械类、近机类、土木类专业教材,也适合作为普通高等学校其他相关专业教材或教学参考书,亦可作为高职高专院校教材。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学实验/蔡传国等编著. —北京:

中国铁道出版社, 2012. 10

ISBN 978-7-113-14766-2

I. ①工… II. ①蔡… III. ①工程力学—实验—高等
职业教育—教材 IV. ①TB12-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 191406 号

书 名: 工程力学实验
作 者: 蔡传国 陈 平 韦忠瑄 杨绪普 编著

策划编辑: 邓 静
责任编辑: 李小军
编辑助理: 赵文婕
封面设计: 刘 颖
责任印制: 李 佳

读者热线: 400-668-0820

出版发行: 中国铁道出版社(100054, 北京市西城区右安门西街8号)

网 址: <http://www.51eds.com>

印 刷: 三河市华丰印刷厂

版 次: 2012年10月第1版 2012年10月第1次印刷

开 本: 787 mm × 1 092 mm 1/16 印张: 9.5 字数: 228 千

印 数: 1~3 000 册

书 号: ISBN 978-7-113-14766-2

定 价: 19.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书, 如有印制质量问题, 请与本社教材图书营销部联系调换。电话: (010) 63550836

打击盗版举报电话: (010) 63549504

前 言

当前工科院校本科力学的教学实验大致可归为两类,一类是验证学生在课堂上所学的理论知识。此类实验内容具体,目的明确,实验方法经过严格设计,实验步骤在试验教材和实验指导书中都有详细说明,实验结果也有标准答案可供对照,实验过程一般都有教师在旁指导,学生在实验室的知识接受过程与理论课堂上的灌输方式本质上并无二致。不应该否认此类验证性实验的意义,但是这种亦步亦趋的实验教学方法,除去培养动手能力的教学目标外,在培养学生创新思维方面充其量只起到了一个打基础的作用。

第二类实验是近几年实验教学改革中蓬勃兴起的设计性实验。在设计性试验中教师只规定实验内容和目的,实验方法和步骤由学生自主确定,实验的成功与否取决于实验结果与教师要求的结果是否一致。此种实验教学模式提高了学生解决问题的能力,但是主要体现在已掌握知识的综合利用,仍然属于创新基础范畴,在培养创新思维方面没有必然的因果联系。

对培养学生创新思维作用明显的是自主性实验。这类实验的内容多数由学生根据自己已掌握的知识和个人思考自主确定,教师只在技术上给予指导。学生来实验室的目的是实现自己的某个想法,在这类实验实施过程中创新潜力较容易得到发挥。然而,自主性实验的方式难以和正常的理论教学过程有机结合,在学生的实验时间统筹安排、刚掌握的基础知识的及时巩固等方面难以协调,而且无法做到普遍性,往往是对高年级学生才具备条件,而创新意识的培养应该是越早越好,同时要面向全体受教育者。为解决这些矛盾,就需要在现存实验教学模式上动脑筋。

本科阶段的力学课程属于专业基础课程,直接探索创新的内容较少,在学习中过多的设疑不利于基础知识的系统掌握。在这一阶段的教学创新思维的培养,实践环节大有用武之地。问题在于当学生走进实验室后,怎样才能把他们从课堂上系统接受的学习状态,一下转入研究分析和打破常规的思维状态?编写本实验教材的目的便是结合力学实验教学改革,探索一种强化训练法。这里的强化训练不是常规的加大力度、通过反复形成习惯,或者在熟练中求提高,而是研究环境刺激的强化训练,即当学生一旦走进实验室,如果不改变被动的接受知识习惯,没有积极主动的实验创意,就没有完成实验目的,感觉到落后。长期以往,实验室就会形成一种创新氛围,学生在这里会逐渐养成积极探索的学风。而造成这样的环境,实验内容的设计和编排既是重点,又是核心。所以,本教材的编写力图在传统的力学实验内容上融入带有强迫性质的创新启迪,使学生从过去的按图

索骥式验证实验变成主动思考理解式实验,在达到验证实验的目的过程中,加深对实验机理的理解和实验方法的掌握,从而有效提高实验教学质量。同时通过系列的强化训练和启迪,使学生的创新思维得到明显提高。

当然,实验教学的改革不仅仅是提出问题要学生解决,改革的主要工作是当学生的好奇心、创新欲望被调动起来后,实验室能提供技术条件以辅助他们朝着自己的目标向前发展,因此,本书所依据的仪器设备都是代表当前我国力学实验水平的较先进的仪器设备。

总之,随着信息时代的发展,新学科、新知识领域急骤增加,学生在校的有限时间需要掌握的知识愈来愈多,客观上决定了不可能有更多教学课时用于学生动手能力和创新实践的培养,通过改革传统实验教学方法,将创新意识培养与基础知识掌握更好地结合,将是实验教学的必由之路。

编者
2012年8月

目 录

绪论 力学实验基础知识

一、概 述	1
二、实验须知	2
三、实验程序	2

第一部分 理论力学实验

第一章 验证实验	6
实验一 质点系动量定理推演	6
实验二 四种不同载荷的观测与理解	6
实验三 求不规则物体的重心	7
实验四 三线摆法测定不规则物体的转动惯量	9
实验五 摩擦因数测定	13
实验六 工程结构振动实验演示	15

第二部分 材料力学实验

第二章 基本实验	18
实验一 低碳钢和铸铁拉伸实验	18
实验二 低碳钢和铸铁压缩实验	27
实验三 剪切实验	29
实验四 扭转实验	31
实验五 剪切弹性模量 G 的测定	35
实验六 梁的弯曲正应力实验	37
实验七 主应力实验	43
实验八 压杆稳定实验	45
实验九 冲击实验	49
第三章 设计性实验	53
实验一 粘贴电阻应变片实验	53
实验二 偏心拉伸实验	55
实验三 等强度梁应变测定实验和桥路变换接线实验	57
实验四 电阻应变片灵敏系数标定	60
实验五 材料弹性模量 E 和泊松比 μ 的测定	63
实验六 条件屈服应力 $\sigma_{0.2}$ 的测定	67

实验七 真应力-真应变曲线测定	69
-----------------------	----

第三部分 振动实验(自主性实验)

第四章 自主性实验一	74
实验一 简谐振动幅值与频率的测量	74
实验二 简支梁固有频率测量	77
实验三 油阻尼减振器实验	78
实验四 主动隔振实验	80
实验五 被动隔振实验	81
实验六 多自由度系统固有频率及振型测量	82

第四部分 数值模拟实验(自主性实验)

第五章 自主性实验二	86
实验一 理论力学问题求解器	86
实验二 材料力学问题求解器	90
实验三 结构力学求解器	92

附 录

附录 A 误差分析及数据处理知识	98
附录 B 电测法的基本原理	114
附录 C DNS电子万能试验机操作方法介绍	122
附录 D CML-1H系列应力-应变综合测试仪	127
附录 E BDCL材料力学多功能试验台	132
附录 F 常用工程材料的力学性质和物理性质	135
附录 G 材料力学实验记录	136

绪论 力学实验基础知识

一、概述

实验是工程力学课程的重要组成部分,是解决工程实际问题的重要手段之一。工程力学实验包括以下三方面的内容:

(1)验证工程力学的理论和定律。力学理论大多是对工程问题进行一定的简化或假设为基础,建立力学模型,然后进行数学推演。这些简化和假设的提出都是来自对工程实际的大量实践和观察分析,所建立理论的正确与否必须经过实践的检验,数学推导的简化与假设是否合理,关系着推导出的理论或公式能否正确反映客观实际,只有实验结果才能验证,因此,验证理论的正确性是工程力学实验的重要内容,学生通过这类实验,可巩固和加深理解基本概念,同时掌握验证理论的实验方法。

(2)研究和检验工程材料的力学性能(机械性能)。工程材料必须具有抵抗外力作用而不超过允许变形或不破坏的能力,这种能力表现为材料的强度、刚度、韧性、弹性及塑性等,工科学生必须熟悉这些性能。在工程力学实验课程学习中,学生通过检测材料力学性能实验的基本训练,掌握常用材料的力学性质,还可进一步加深理解工程力学理论课程所学习的相关知识,同时通过动手实践,掌握工程材料常用性能指标的基本测定方法,为以后的专业实验乃至工程实践打下基础。

(3)实验应力分析。即采用测量方法,确定许多无理论计算可用的复杂受力构件的应力分布状态和变形状态,以便检验构件的安全性或者为设计构件提供依据。随着现代科学技术的发展,新的材料不断涌现,新型结构层出不穷,强度、刚度问题的分析,提出了许多新课题,作为一名工程技术人员,只有扎实地掌握实验的基础知识和技能,才能较快地接受新的知识内容,赶上科技进步的步伐。

基于以上三个方面,本课程所安排的实验是配合工程力学理论课程的内容,围绕解决工程实际需要,结合本校的实验设备而设计的。考虑到开发学生智力、培养分析问题和解决问题的能力,使实验室成为学生从理论走向工程实践的桥梁,实验内容的选择偏向于与本校各个相关专业紧密结合。

工程力学实验包括学习实验原理、实验方法和实验技术,常用机器设备的原理和使用方法以及实验数据的处理。实验指导书分为四个部分:第一部分为理论力学实验,全部为验证理论型实验;第二部分为材料力学实验,其中教学计划规定的实验(基础实验)为必做实验,设计性实验部分为选作实验;第三部分为振动实验,内容均为自主性实验;第四部分为数值模拟实验,学习者可根据课堂教学内容,自主选做感兴趣的模拟实验。

二、实验须知

(1) 实验前必须预习实验指导书中相关的内容,了解本次实验的内容、目的、要求及注意事项,尤其是其中的安全操作注意事项。

(2) 按预约实验时间准时进入实验室,不得无故迟到、早退、缺席。

(3) 进入实验室后,不得高声喧哗和擅自触碰仪器设备。

(4) 保持实验室整洁,不准在机器、仪器及桌面上涂写,不准乱丢纸屑,不准随地吐痰。

(5) 实验时应严格遵守操作步骤和注意事项,不做与指定实验无关的事情。

(6) 实验中,若遇仪器设备发生故障,应立即向教员报告,待检查、排除故障后,方能继续实验。

(7) 力学实验一般不可单人操作,须分组进行,实验过程中应有统一指挥,分工明确,协同操作,不可各行其是。

(8) 实验结束后,将仪器、工具清理摆正。不得将实验室的仪器、工具、材料、说明书等物品携带出实验室,特殊情况需暂时带出实验室的,应向教员办理借用手续。

(9) 实验完毕,应在各自使用仪器设备的履历本上如实登记,实验数据经教员认可后方可离开实验室。

(10) 学员上交的实验报告是教员检查实验教学效果的依据,实验报告要求字迹工整、绘图清晰、表格简明、实验结果正确。除封面可以使用统一的印制品外,其内容部分应手写手绘完成。

(11) 分组实验的数据,同组实验者可共享,但实验报告须独立撰写。常规实验的结果,已自动将数据保存在所用仪器中,学员在实验报告撰写过程中若有疑问,可回实验室查阅,一般应将数据保留并带走,如果需要使用移动设备,应将移动设备交与教员杀毒检查后方可使用。学员若对课内的实验结果不满意可向教员申请重做。

(12) 力学实验室为学校开放性实验室,除教学计划规定的必修实验内容外,尚可开设多种工程力学课程涉及的实验,包括学员自行设计的力学实验。此类实验的实施,学员应先向实验室提出申请,由实验室安排实验时间;自主性实验的试件由学员自己动手加工,实验室提供加工工具和设备,所需要的材料如须购买,则应事先向实验室提出书面的经费申请。

三、实验程序

本课程列入的力学实验,其实验条件以常温、静载为主,试件材质以金属为主。实验中主要测量作用在试件上的载荷以及应力、试件的变形和破坏。金属材质的试件所要求的载荷较大,由几千牛到几百千牛不等,故加力设备庞大复杂;变形则很小,绝对变形一般以千分之一毫米为单位,相对变形(应变)可以小到 $10^{-6} \sim 10^{-5}$,因而变形测量设备必须精密。进行实验,力与变形要同时测量,一般需数人共同完成。因此,力学实验要求实验者以组为单位,严密地组织协作,形成有机的整体,以便有效地完成实验。

(一) 准 备

明确实验目的、原理和步骤及数据处理的方法。实验用的试件(或模型)是实验的对象,要了解其原材料的质量、加工精度,并细心地测量试件的尺寸,以此为基础对试件最大加载量值进行估算,并拟定加载方案。此外,还应根据实验内容事先拟定记录表格以供实验时记录数

据,(部分实验的记录表格参看附录七)。

实验使用的机器和仪器应根据实验内容和目标进行适当的选择,在本课程的教学实验中,实验用的机器仪器是教员指定并预先调试的,但对选择工作怎样进行应当有所了解。选择试验机的根据如下:

(1) 需要用力的类型(例如使试件拉伸、压缩、弯曲或扭转的力)。

(2) 需要用力的量值(最大荷载)。前者由实验目的来决定,后者则主要依据试件(或模型)材质和尺寸来决定。

(3) 变形测量仪器的选择,应根据实验测量精度以及梯度等因素决定。

此外,使用是否方便、变形测量仪器安装有无困难,也都是选用时应当考虑的问题。

若准备工作做得越充分,则实验的进行便会越顺利,实验工作质量也越高。

(二) 实 验

开始实验前,应检查试验机的各种传感器、测量装置是否灵敏,输出线性是否符合要求,试件安装是否正确,变形仪是否安装稳妥等。检查完毕后还需要请指导教员确认,确认无误后方可开动机器。

第一次加载可不作记录或储存(不允许重复加载的实验除外),观察各部分变化是否正常。如果正常,再正式加载并开始记录。记录者及操作者均须严肃认真、一丝不苟地进行工作。

工程力学课程的必修实验内容,全部是检验材料力学性能,或者验证理论课程公式和结论的实验。实验是否成功,主要评判标准是其是否与理论相符、与已知的结论相符,若所得实验结果与理论不符,应检查实验准备情况,分析实验过程,纠正错误,重新进行实验。

试验完毕,要检查数据是否齐全,并注意设备复位,清理设备,把使用的仪器仪表拆除收放原处,并在使用记录簿上说明仪器设备的良好状态。

(三) 安全操作注意事项

进行工程力学实验过程中应注意以下三点:

(1) 力学实验的加载设备多为大型机器,使用时应严格遵守操作规程,除上课前认真预习实验指导书中的相关章节外,实验者初次进入实验室,应对照试验机实物,掌握操作方法。一般应在教员指导下,先不安装试件,空载运行机器,熟悉机器的开、关、行程以及紧急制动等按钮后,再正式开始实验。

(2) 实验所用的软件、硬件上都有预先设定的限位开关,未经教员允许,不得擅自改动。

(3) 实验按计划进行,不做与本次实验无关的操作。

(四) 实验报告撰写要求

实验报告是实验者最后的成果,是实验资料的总结,教学实验的实验报告同时又是学生上交给教师的作业,(注意:实验结束时试验机的联机计算机打印的实验数据表和图形是实验报告的组成资料,不需要上交给教员),学员提交的报告应包括下列内容:

(1) 实验名称、实验地点、实验日期、实验环境温度、实验人员姓名和同组成员名单。

(2) 实验目的及原理。实验目的应明确简要;实验原理部分主要阐明试构件的受力状态。

(3) 使用的机器、仪表。应注明名称、型号、精度(或放大倍数)等。其他用具也应写清,并绘出装置简图。

(4) 试件。应详细描述试件的形状、尺寸、材质,一般应绘图说明并附以尽可能详细的文

字注释。

(5) 实验数据及处理数据要正确填入记录表格内, 注明测量单位, 例如厘米 (cm) 或毫米 (mm), 牛顿 (N) 或千牛顿 (kN)。要注意仪器的测量单位是可以更改的。实验中使用何种测量精度是实验者根据需要施加最大荷载的数值预先确定并输入到仪器中的。在正常状况下, 仪器设备所显示的和输出的精度, 应当满足实验目的要求, 大多数实验的测量精度都有相应的规范。对实验记录或输出数据中的非线性数据, 应按误差分析理论对数据进行处理。表格的书写应整洁、清晰, 使人方便读出全部测量结果的变化情况和它们的单位及准确度。力学实验中所用仪器设备可能有一部份是用工程单位制, 整理数据时一律使用国际单位制。

(6) 工程力学实验报告中的数据在计算时, 须注意有效数字的运算法则。工程上一般取 3~4 位有效数字。

(7) 图线表示结果注意事项。除根据测得的数据整理并计算出实验结果外, 一般还要采用图表或曲线来表达实验的结果。先建立坐标系, 并注明坐标轴所代表的物理量及比例尺。将实验数据的坐标点用记号“。”或“.”、“△”、“×”表示出来。当连接曲线时, 不要用直线逐点连成折线, 应该根据多数点的所在位置, 描绘出光滑的曲线。例如图 0-1(a) 所示为不正确的描法, 图 0-1(b) 所示为正确的描法。

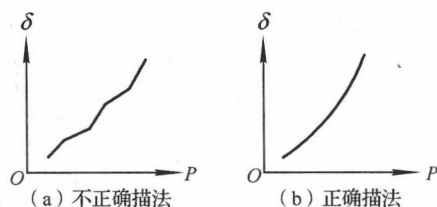


图 0-1 实验数据绘图

(8) 试验的总结及体会。对试验的结果进行分析, 评价试验结果的可靠性、精度是否满足要求等, 这是教学实验报告中最重要的一部分。对实验结果和误差加以分析, 当数据显示出的结果满足要求时, 证明了本次实验的成功; 当数据显示出的结果不满足要求时, 并不一定是实验不成功, 需要经过深入分析, 准确认定造成误差的具体原因以及纠正措施, 则本次实验仍是有意义的。

(9) 回答教员指定的思考题。

(10) 教员批改过的试验报告, 退回手中时应认真阅读, 并妥善保存, 它将为实验者在以后的专业课实验甚至将来的工作实践中带来许多方便。

第一部分

理论力学实验

第一章 验证实验

实验一 质点系动量定理推演

图 1-1 所示的弹性球系在理想情况下满足动能守恒和动量守恒。

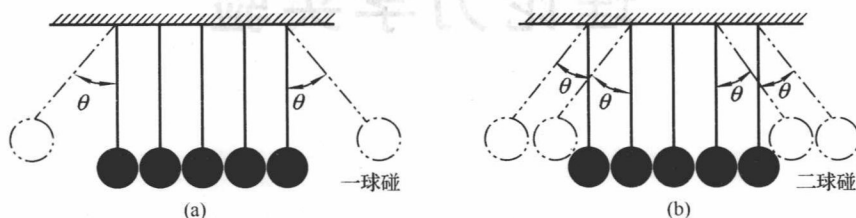


图 1-1 动能守恒和动量守恒的验证图

实验二 四种不同载荷的观测与理解

一、实验目的

通过实验,理解渐加载荷、冲击载荷、突加载荷和振动载荷的区别。

二、实验内容

(1) 绘制四种载荷的力与时间的关系图。

(2) 实验仪器:TMS- I 型理论力学多功能实验台上的磅秤、沙袋和偏心振动试验装置。

(3) 实验步骤:

① 取出装有一定重量砂子的沙袋,将砂子连续倒在左边的磅秤上,在图 1-2(a)所示坐标系中画出力与时间的关系图。

② 将砂子倒回沙袋,并使沙袋处于和磅秤刚刚接触的位置上,突然释放沙袋,在图 1-2(b)所示坐标系中画出力与时间的关系图。

③ 将沙袋提取到一定高度,自由落下,观察磅秤的读数,在图 1-2(c)所示坐标系中画出力与时间的关系图。

④ 把与沙袋重量完全相同的偏心振动电动机放在磅秤上,打开开关使其振动,调整振动频率,观察此时磅秤读数,在某个固定频率下选择几个控制数据,在图 1-2(d)所示坐标系中画出力与时间的关系图。

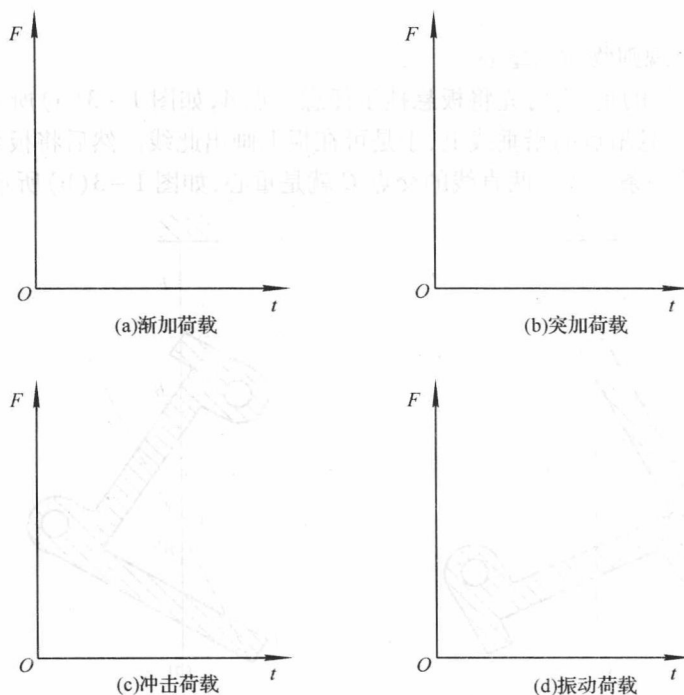


图 1-2 四种载荷力与时间的关系图

三、注意事项

- (1) 观察渐加荷载时,应掌握好倒沙的速度,适中即可。
- (2) 观察冲击荷载时,不要将沙袋提得太高,以免对受力装置产生过度冲击。
- (3) 注意调节偏心振动电动机的转速,使其速度较慢以利于观察。

四、思考题

- (1) 四种不同载荷分别作用于同一座桥上时,哪一种最具破坏性?
- (2) 突加荷载时,为什么要限制沙袋与磅秤刚刚接触?
- (3) 试列举几种工程中常见的荷载。
- (4) 简述振动频率与力的关系。

实验三 求不规则物体的重心

一、实验目的

通过两种方法求出不规则物体的重心位置。

二、实验原理

(一) 悬吊法求不规则物体的重心

如果需要求一薄板的重心,可先将板悬挂于任意一点 A ,如图 1-3(a)所示。根据二力平衡公理,重心必然在过悬吊点的铅垂线上,于是可在板上画出此线。然后将板悬挂于另外一点 B ,同样可以画出另外一条直线。两直线的交点 C 就是重心,如图 1-3(b)所示。

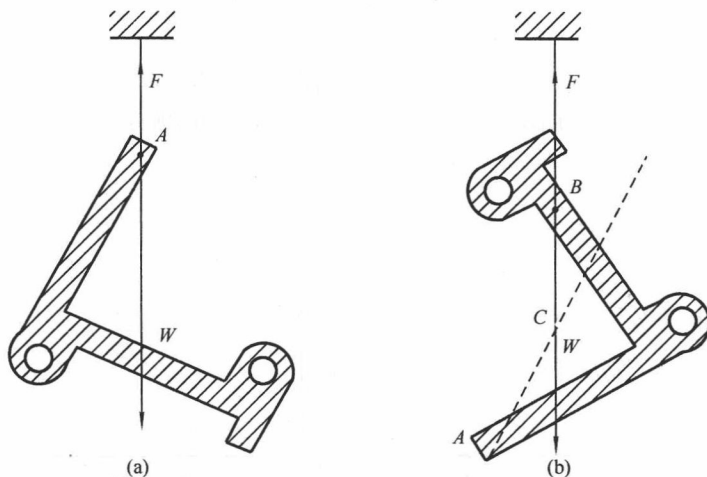


图 1-3 悬吊法求不规则物体重心图示

(二) 称重法求轴对称物体的重心

如图 1-4(a)所示,设物体是均质的,则重心必然位于水平轴线上。因此只需要测定重心距离左侧支点 A 的距离 x_c 。首先测出两个支点间的距离 l ,然后将支点 B 置于磅秤上,保持中轴线水平,由此可测定得到支点 B 的支反力 F_{N1} 的大小。再将连杆旋转 180° ,仍然保持中轴线水平,可测得 F_{N2} 的大小,如图 1-4(b)所示。根据平面平行力系,可以得到如下两个方程:

$$F_{N1} + F_{N2} = W$$

$$F_{N1} \cdot l - W \cdot x_c = 0$$

根据此方程,可以求出重心的位置:

$$x_c = \frac{F_{N1} \cdot l}{F_{N1} + F_{N2}}$$

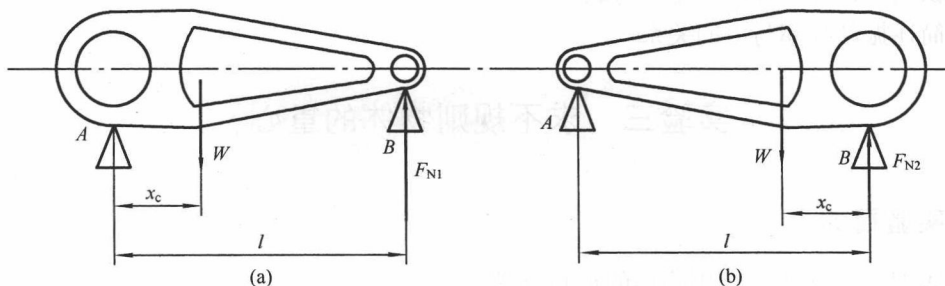


图 1-4 称重法求轴对称物体的重心图示

三、实验项目

(一) 悬吊法求不规则物体的重心

(1) 实验仪器: TMS-1A 型理论力学多功能实验台、直尺。

(2) 实验步骤:

① 用细绳将不规则物体悬挂于上顶板的螺钉上, 用粉笔在物体上标记悬挂点和第一条悬挂线的位置, 并在纸上画出。

② 将物体换一个方向悬挂, 标记悬挂点和第二条悬挂线的位置, 并在物体上画出。

③ 两个悬挂线的交点, 即重心的位置。

(二) 称重法求对称摆锤的重心

(1) 实验仪器: TMS-1A 型理论力学多功能实验台、直尺、弹簧秤。

(2) 实验步骤:

① 将摆锤的一端悬挂于支架上, 另一端悬挂于弹簧秤上, 使两条悬挂线都处于垂直; 记录此时弹簧秤的读数。

$$F_{N1} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kg}$$

② 取下摆锤, 将摆锤转 180° , 重复步骤①, 测出此时磅秤读数。

$$F_{N2} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kg}$$

③ 测定连杆两支点间的距离。

$$l = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}$$

④ 计算摆锤的重心位置 x_c 。

四、思考题

(1) 利用以上工具, 以上两个实验是否还有别的测量方法?

(2) 试列举几种需要测量物体重心的工程问题?

实验四 三线摆法测定不规则物体的转动惯量

在动量矩定理中, 刚体定轴转动方程可以表达为 $J_z a = M_z$, 这与动力学基本方程 $F = ma$ 是相似的, 式中, 转动惯量 J_z 的重要性与质量 m 相当。它表示刚体转动时惯性大小的量度, 如同质量是质点惯性的量度一样。可见, 掌握转动惯量的概念和如何测定刚体的转动惯量是十分重要的。一些均质并具有常见的几何形状的刚体, 其转动惯量可查相关工程手册, 但一些不规则形状和非均质刚体, 其转动惯量很难计算, 一般需要用实验的方法测得, 三线摆是测取转动惯量的常用方法。

一、实验目的

(1) 了解并掌握用三线摆方法测定物体转动惯量的原理和方法。

(2) 用叠加法测定规则物体的转动惯量。

(3) 验证转动惯量平行移轴定理。

二、实验设备和仪器

- (1) TMS-1 型理论力学综合实验系统。
- (2) 三线摆实验装置。
- (3) 电子计时仪。
- (4) 规则试样三种(高薄形一个、扁平形一个、圆柱形一对)。
- (5) 卷尺和游标卡尺。

三、实验原理

根据定义,质点系内各质点的质量与各质点到 L 的距离 ρ_1 平方的乘积之和为质点对轴 L 的转动惯量 $J_z = \sum \rho^2 dm$ 。

当质点系为刚体时,上式可写成积分的形式 $J_z = \int \rho^2 dm$,转动惯量永远是一个正的标量,它不仅与刚体的质量有关,而且与质量的分布情况有关,其单位是 $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ 。

用三线摆法测试圆盘转动惯量的原理:图 1-5 所示的三线摆中,均质圆盘质量为 m ,半径为 R ,三线摆悬吊半径为 r 。当均质圆盘作扭转角小于 6° 的微振动,测得扭转振动周期为 T ,如图 1-6 所示。现在讨论圆盘的转动惯量与微扭振动周期的关系。

设 φ_0 为圆盘的扭转振幅, ψ_0 是摆线的扭转振幅,对于一个微小的位移则有

$$r\varphi = L\psi \quad (1-1)$$

在微振动时,系统最大动能:

$$T_{\max} = \frac{1}{2} J_0 \varphi_{\max}'^2 = \frac{1}{2} J_0 \omega^2 \varphi_0^2 \quad (1-2)$$

系统的最大势能:

$$U_{\max} = mgL(1 - \cos \psi_0) = \frac{1}{2} mgL\psi_0^2 = \frac{1}{2} mg \frac{r^2}{L} \varphi_0^2 \quad (1-3)$$

对于保守系统机械能守恒,即 $T_{\max} = U_{\max}$ 。得到圆盘扭转振动的固有角频率的平方为

$$\omega^2 = \frac{mgr^2}{J_0 L}$$

由于 $T = \frac{2\pi}{\omega}$,则圆盘的转动惯量:

$$J_0 = \left(\frac{T}{2\pi} \right)^2 \frac{mgr^2}{L} \quad (1-4)$$

式中 T ——三线摆的扭振周期。

因此,只要测出周期 T 就可使用式(1-4)计算出圆盘的转动惯量,且周期 T 测得越精确,转动惯量误差就越小。

本实验分为均质圆盘转动惯量验证测定、用叠加法测定不规则物体转动惯量(神舟六号载人飞船模型)、等效法测定不规则物体转动惯量和验证平行移轴定理三项内容。其中等效法的实验原理如图 1-7 所示,实验盘上放置的等效圆柱直径 $d = 20 \text{ mm}$,高 $h = 18 \text{ mm}$,材料密度 $\gamma = 7.75 \text{ g/cm}^3$ 。

两圆柱对中心轴 O 的主动惯量计算公式:

$$J_0 = 2 \left[\frac{1}{2} m \left(\frac{d}{2} \right)^2 + m \left(\frac{S}{2} \right)^2 \right]$$