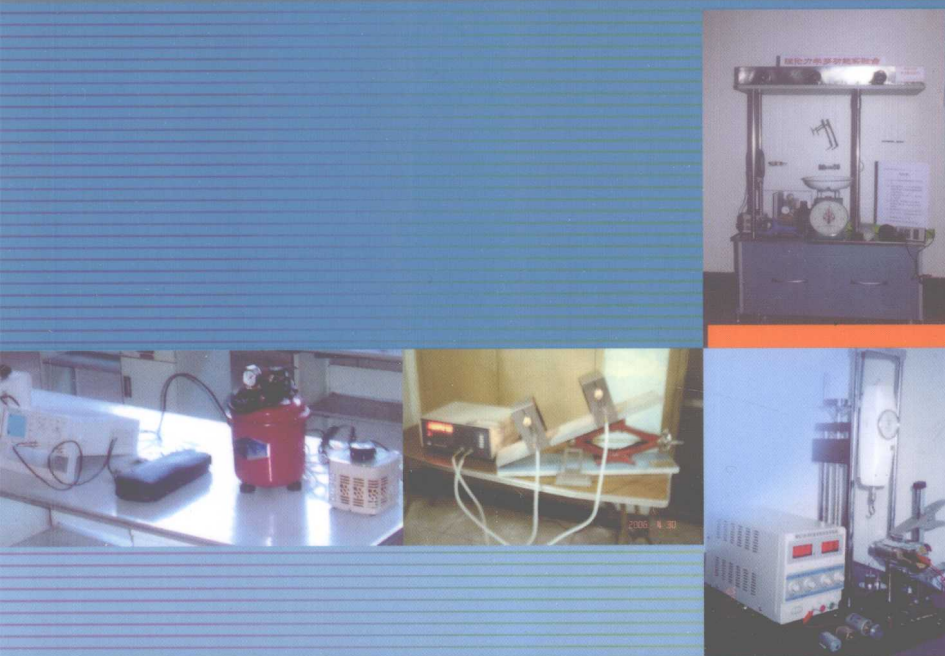


高等学校教材

应用 理论力学实验

庄表中 王惠明 编著



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

高等学校教材

应用理论力学实验

庄表中 王惠明 编著



高等教育出版社

Higher Education Press

内容简介

本书把身边的、工程中的和科研成果中的与理论力学有关的实例,通过演示和实验两大部分加以介绍,并对实验室可供学生如何动手实施定性和定量的实验作了说明。

全书共分6章:第1章绪论,讲述应用理论力学实验的内容、理论力学应该上实验课的理由以及实验方法与时间安排;第2章为静力学的创新应用演示实例;第3章为运动学的创新应用演示实例;第4章为动力学的创新应用演示实例;第5章为理论力学中的若干实验(包括:①动、静滑动摩擦因数的测试;②不可见轴产品的转速测试;③功率、力矩、转速三者的关系与动力机的效率);第6章为ZME-1型理论力学多功能实验台介绍与实验步骤。此外,为便于读者阅读和使用此书,书后附有6项可供参考的知识和4个实验报告参考格式。

本书附有光盘1片,内容包括:1. 静力学中若干应用演示实例的视频;2. 运动学中若干应用演示实例的视频;3. 动力学中若干应用演示实例的视频;4. 动滑动摩擦因数实验测试与操作指南(有视频的ppt);5. 不可见轴产品的转速测试方法与操作指南(有视频的ppt);6. 功率、力矩、转速的测试方法与操作指南(有视频的ppt);7. ZME-1型理论力学多功能实验台操作指南。

本书可作为高等学校理论力学实验课程的教材,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

应用理论力学实验/庄表中,王惠明编著. —北京:
高等教育出版社,2009.6

ISBN 978-7-04-026292-6

I. 应… II. ①庄…②王… III. 理论力学-实验-
高等学校-教材 IV. 031-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第067817号

策划编辑 杨倩 责任编辑 孙成奇 封面设计 王隼
版式设计 余杨 责任校对 杨凤玲 责任印制 宋克学

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京人卫印刷厂

开 本 787×960 1/16
印 张 6
字 数 110 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2009年6月第1版
印 次 2009年6月第1次印刷
定 价 25.00元(含光盘)

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 26292-00

前 言

理论力学是一门理论性较强的工科许多专业的专业基础课,是现代工程技术基础理论之一。理论力学在诸多领域中有着广泛的应用。它的基本概念、公理、定律、定理、原理、建模思路、实验技巧及思维方法等对研究开发、创新求新、开拓思维以及处理重大工程问题、设计新产品、技术革新等用处很大,因而倍受有关专业人员的重视。

由于多年来一直致力于在理论力学教学中引入联系实际的工作,我们利用生活中的、工程中的、科研成果中几十年积累的素材,于2000年在浙江大学创建了“理论力学创新应用实验室”。实验室包括一个多功能实验台(可做6个实验)、三个理论力学测试实验和20多项理论力学工程应用的演示教具。通过在实验中的参观、动手及做实验,学生不仅能掌握一定的实验测试技术,更主要的是能够理论联系实际,激发学习兴趣,增强学生运用理论解决实际问题的意识,培养创新精神。该实验室深受学生的欢迎和好评。2001年在教育部工科基地建设的中期检查中,该实验室被评为“全国基础力学教学中的一个创举”。截止到2008年,我们已在国内20个省市40所高校共建了这类理论力学实验室。实验室一般有两个大房间(每间约 80 m^2),一年可完成500人次左右的演示和实验,平均每位学生实践4~6小时。

理论力学研究的物体机械运动广泛存在于日常生活和工程实践中,而目前理论力学课程内容和教材更多的侧重于理论,我们认为,理论力学课程教学在如何联系实际方面亟待加强研究与实践。鉴于此,在建立这个实验室的基础上,本书对实验室中的教具、模型、实验和设备等作了全面系统的讲解,把身边的、工程中的和科研成果中的与理论力学有关的实例,通过“演示”和“实验”两大部分加以介绍。“演示”部分按静力学、运动学和动力学三部分编排,许多实例取材于发表的论文和科学实验报告或专利;“实验”部分,介绍了三个独立的实验,还介绍了发明专利ZME-1型理论力学多功能实验台,可供学生进行6个实验(定性和定量),并对实验室可供学生如何动手实施定性和定量的实验作了说明。

多年来,在许多教师的共同努力下,在保持基础课教学基本要求这个主题

下,理论力学实验的内容在不断得到优选和丰富。展望未来,理论力学实验还在发展和完善之中。

清华大学贾书惠教授、浙江大学费学博教授和中国矿业大学董正筑教授审阅了书稿,提出了许多宝贵意见,书稿编排及多媒体光盘由沈春雨老师进行精心的电脑制作,在此一并表示感谢。

限于编者的水平,书中可能有疏漏和欠妥之处,深望广大教师和读者批评指正。

编 者
2008年9月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010)58581897/58581896/58581879

反盗版举报传真：(010)82086060

E-mail：dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100120

购书请拨打电话：(010)58581118

目 录

第 1 章 绪论	1
§ 1.1 应用理论力学实验的内容	1
§ 1.2 理论力学应该上实验课的理由	2
§ 1.3 实验方法与时间安排	5
第 2 章 静力学的创新应用演示实例	7
§ 2.1 曲柄滚轴拖把挤水的过程与受力分析	7
§ 2.2 桑塔纳汽车用的千斤顶受力分析与自锁条件	9
§ 2.3 膨胀螺钉的应用技术与约束力分析	11
§ 2.4 管子钳与剪刀钳的受力分析	12
§ 2.5 挖掘机部件的受力分析与求解各油缸的推力或拉力	13
§ 2.6 压延机的摩擦因数问题	14
§ 2.7 滑动摩擦不自锁问题——自动关门的摇皮	15
§ 2.8 翻倒问题与起重机的稳定度	16
§ 2.9 螺旋压榨机或螺旋拔销爪	17
第 3 章 运动学的创新应用演示实例	19
§ 3.1 旋转式、往复式剃须刀的比较, 曲柄框架机构与外壳振动控制 的技术	19
§ 3.2 推土机的机构运动与分析	22
§ 3.3 多功能万花尺——刚体作平面运动时, 平面图形上各点有不同 的轨迹	22
§ 3.4 绕线器的转速比与圈数指示器	24
§ 3.5 用尼龙丝作刀具的高速转动割草机	25
§ 3.6 自动旋转螺丝刀的行星齿轮	26
§ 3.7 塑料套会自动套在鞋上的机器	26
§ 3.8 苹果削皮机的运动分析	28
第 4 章 动力学的创新应用演示实例	29
§ 4.1 拳击机拳击力的标定方法和动力学普遍定理的综合应用	29
§ 4.2 质点系动量定理的演示	31

§ 4.3	平衡的四个问题·····	32
§ 4.4	振动产生优美动听的音乐·····	34
§ 4.5	隔振理论及各种隔振器·····	37
§ 4.6	几种悬浮平衡·····	41
第 5 章	理论力学中的若干实验 ·····	43
§ 5.1	动、静滑动摩擦因数的测试 ·····	43
§ 5.2	不可见轴产品的转速测试·····	46
§ 5.3	功率、力矩、转速三者的关系与动力机的效率·····	52
第 6 章	ZME - 1 型理论力学多功能实验台介绍与实验步骤 ·····	55
§ 6.1	实验内容·····	55
§ 6.2	实验装置·····	56
§ 6.3	实验指导·····	57
§ 6.4	ZME - 1 型理论力学多功能实验台实验报告(见附录 J) ·····	62
附录 A	三线摆实验方法求均质、等厚度圆盘转动惯量计算公式 的推导 ·····	63
附录 B	力学中若干物理量的“分贝”表示方法 ·····	65
附录 C	非均质物体转动惯量测试的等效技术 ·····	68
附录 D	乐音频率与八音琴音键固有频率的计算 ·····	70
附录 E	力学量国际单位制单位 ·····	74
附录 F	实验数据的类型与处理 ·····	75
附录 G	动滑动摩擦因数测试实验报告 ·····	77
附录 H	不可见轴产品的转速测试实验报告 ·····	80
附录 I	小型直流电机的功率、力矩、转速测试实验报告 ·····	82
附录 J	ZME - 1 型理论力学多功能实验台实验报告 ·····	84
参考文献	·····	89

第 1 章

绪 论

§ 1.1 应用理论力学实验的内容

1.1.1 理念

理论力学的教学内容以牛顿定律及其导出的各种定理为主,古今中外的许多发明都应用了理论力学知识,一些重大工程也应用了理论力学知识。在应用理论力学知识求解问题时有时无法直接用理论获得数据,或者用计算的方法得到数据很花时间,此时选择用实验的方法会较为便捷。通过上理论力学实验课来培养学生获得试验知识和技能已日益为各专业所需要和被广大高等院校师生所接受。

如今理论力学在身边的、工程中的创新应用实例很多,把这些内容进行演示,并让学生动手尝试,获得体会和知识,是有助于培养学生的创新思维和提高学生的学习兴趣的。

1.1.2 基本内容与效果

本书按静力学、运动学和动力学 3 个部分依次介绍应用理论力学实验的内容,约 30 项内容,既符合传统习惯,又便于教学安排。还配合用彩绘展示板、展示柜(罗列了实物)、模型、图片、计算资料,并配有多媒体光盘,启发学生的力学创新思维。

本书还介绍了理论力学的 9 个实验,前 3 个分别是静力学、运动学和动力学的单独应用,后 6 个都可综合在理论力学多功能实验台上进行。

前后两次实验课共安排 4 节课,实现了理论力学创新应用演示和实验,多年来在国内许多院校教学实践后,达到了以下效果:

(1) 使学生见到了理论力学知识的众多应用,在提高学习兴趣之余,又认识了学习理论力学的目的,培养了创新思维和动手能力;

(2) 进行基本实验的训练,学会了相关仪器的使用与应用;

(3) 认识了工程实际中对模型的建立、试验方法的确定以及进行误差分析的方法等。

§ 1.2 理论力学应该上实验课的理由

理论力学这门课与材料力学、流体力学等基础课一样,都属于专业基础课,除了其本身可以解决一些问题外,又为后续专业课准备了基本知识和技能。理论力学中一些物理量必须用仪器和设备通过实验测试才可以得到;有些定理需要用实验验证,可以加深人们对规律的认识,实践是检验真理的唯一标准;创新是科学技术发展乃至民族发展的灵魂;有些开发性、创新性、研究性、应用性、个性化的实验,需要充分应用理论力学实验去研究才可以完成,实验教学有着其他教学形式不可替代的作用。

1.2.1 实验性数据

有些数据只有依靠实验才能得到,如:两物体间的静摩擦因素 f_s , 动滑动摩擦因数 f , 非完全弹性体碰撞的恢复因数 e , 刚体旋转时的转速 n , 气流的风速 v , 点的运动速度 v , 加速度 a , 各种弹簧的刚度系数 k , 动力机的功率 P 和效率 η , 科氏加速度 a_c 等。

图 1.2.1 是 2006 年 11 月 17 日, 厦门一座重 5 000 t 的 6 层大楼要平移 61 m, 先用均匀分布的千斤顶顶起房屋的整体, 再填入滑动钢板, 同时在地面上也铺上钢板。只有知道此两钢板滑动面之间的静滑动摩擦因数 f_s 和动滑动摩擦因数 f , 才可以求出所需的静和动拖动力。

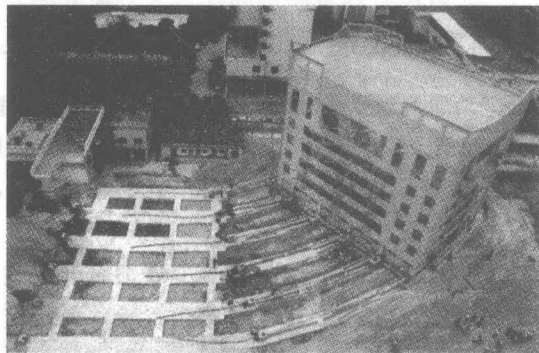


图 1.2.1

图 1.2.2 为一种优质发动机上的摇臂,它是非均质的。在设计过程中,其对轴转动惯量值是必须知道的(我们后面介绍的用三线摆方法可测摇臂的转动惯量),因理论上计算十分困难,只有用实验测试来实现了。

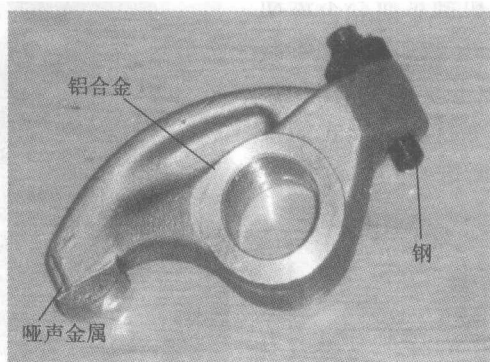


图 1.2.2

图 1.2.3 所示的猴子玩具(它能完成起跳、旋转 360° 、站稳等动作)和图 1.2.4 所示的公斤级人造卫星都是非均质物体,几何形状也十分复杂,它们的质心位置等重要力学参数,用实验方法求取是比较方便的。

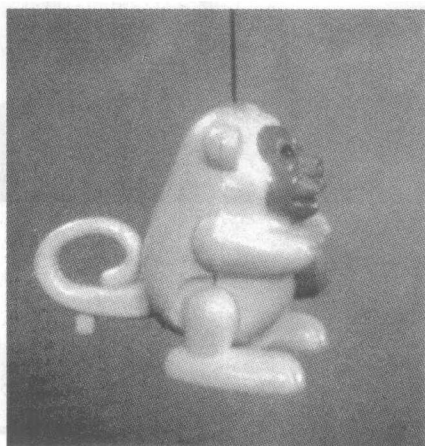


图 1.2.3

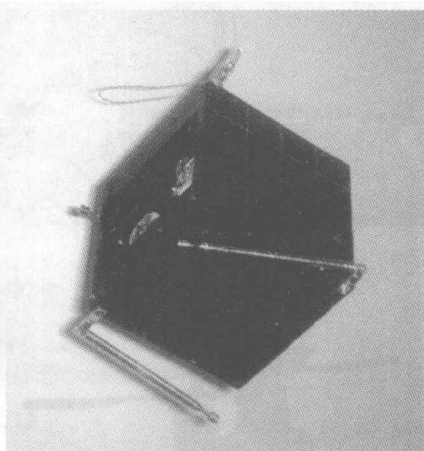


图 1.2.4

1.2.2 验证性实验

理论力学中有许多定理,用实验验证后,使学生印象深刻,终身难忘,还可以在广阔的学术空间里和工程实际中与其他学科配合开拓新的应用,如:力矩、功率、转速三者关系,气悬浮、磁悬浮、声悬浮的平衡现象,动量矩守恒定理,质心运动定理,共振现象,质心不运动准则,减振理论等。

图 1.2.5 为一种曲线切割锯的电动工具,它主要由串接电机、减速齿轮、曲柄框架锯三部分组成。若每一部分的质心不运动,则整机满足质心不运动准则(质心运动定理的逆问题),此时曲线锯握手处的振动就非常微小了。

图 1.2.6~1.2.9 这四种形式的直升机均必须遵循动量矩定理等进行设计、制造和驾驶。

1.2.3 研究型实验

一些研究性的数据需要用理论力学知识和实验来完成,如:力的标定与应用(在第 4 章中拳击机拳击力的标定中有详细论述),斜拉索的索力测试,弦、梁、膜的固有频率测试,减振器的刚度和阻尼特性测试,传递率曲线测定,用三线



图 1.2.5



图 1.2.6



图 1.2.7



图 1.2.8



图 1.2.9

摆测定飞行体(例如人造卫星和导弹)对各轴的转动惯量,利用二力平衡结合数码相机及 CAD 软件测试飞行体的质心位置 x_c 、 y_c 、 z_c ,动平衡原理的应用等。

图 1.2.10 为油烟机中的抽风叶轮,它也是非均质的,用三线摆可以高精度地测出它的转动惯量。

图 1.2.11 是测试小人造卫星对各个轴的转动惯量,并还可以计算出惯性积。

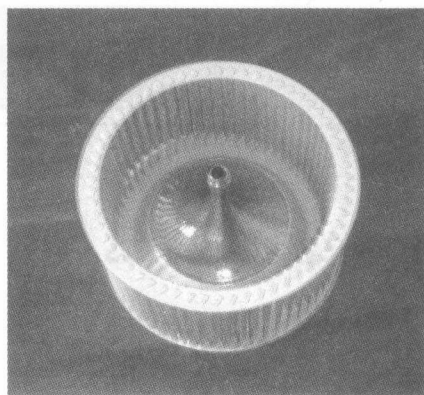


图 1.2.10

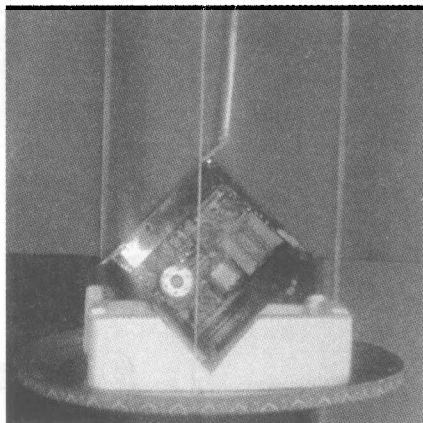


图 1.2.11

图 1.2.12 所示的电机转子,通过测试轴承动反力及动不平衡力的相位角,可以指导确定磨削位置和磨削量,从而实现转子动平衡。

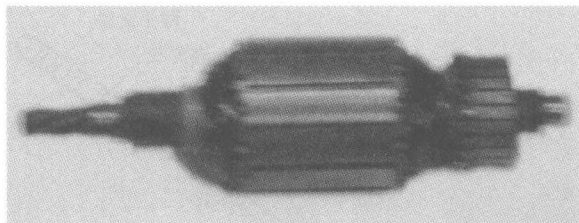


图 1.2.12

§ 1.3 实验方法与时间安排

实验室上课的时间安排可有两种方式。一种是安排在学期之初,让学生进入理论力学创新应用实验室(视场地大小,可以容纳 15 人或 30 人),由教师带领学生面对彩色示教图板和实物边讲、边操作、边演示,让学生边学、边听、边看,时间控制在一节课(对不同的专业,内容可以有所选择)。接着,让学生自由选择

看,动手演示一节课,教师在旁边管理和指导。另外安排两节课在学期末,学生分组在理论力学多功能实验台上做 6 个实验,并在课后完成实验报告。另一种方式是全部课时都安排在学期末,安排方式与前一种相同,学生听起来会津津有味,但学生往往会有强烈意见,为什么不提早让我们到这里来上课……

综上所述,理论力学有了实验室之后,给大学生提供了一个实验的场所,为研究生创造了一个研究、实验的环境,还为教师开展科研,为社会服务准备了一定的条件。所以,理论力学这门专业基础课开展实验的思路,目前已被广大的教师所欢迎和接受。

第2章

静力学的创新应用演示实例

§ 2.1 曲柄滚轴拖把挤水的过程与受力分析

2.1.1 曲柄滚轴拖把结构示意图

图 2.1.1 为新型拖把的结构示意图。它由 14 个零件和一些标准螺钉装配而成。按图示形态,将拖把向右单方向地拖移,脏屑和水就被吸附。再将拖把放入盛水的桶内经手柄往复扳动多次,实现了清洗、挤水等过程后又可以再拖地面了。

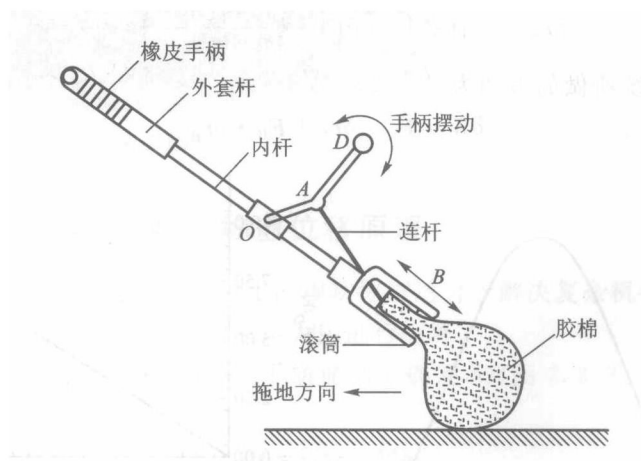


图 2.1.1

2.1.2 机构各部件受力情况

挤水机构的工作原理如图 2.1.2 所示, O 、 A 、 B 各处均为销子, 摩擦很小可

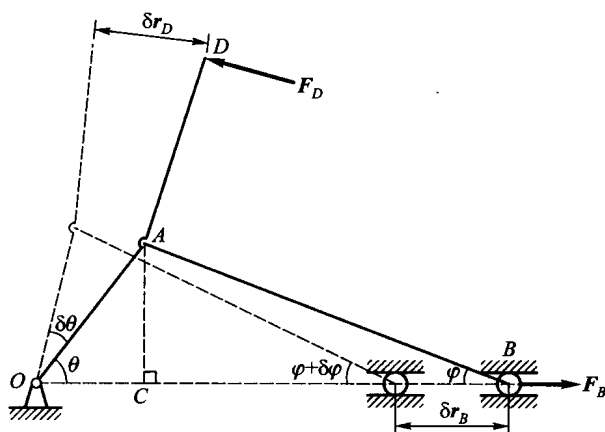


图 2.1.2

忽略, 又不计重力, 则整个系统可看成为保守系统, 它只受外力 F_D 和 F_B 以及支座 O 处反力的作用。

求力 F_D 和 F_B 之间的关系。假设初始时杆件 OA 与 OB 的夹角为 θ , 杆 AB 与 OB 的夹角为 φ , 根据虚位移原理(又称虚功原理), 设曲杆 OAD 在力 F_D 作用下 D 处有一虚位移 δr_D , 则连杆 AB 的虚角位移为 $\delta \varphi$, 又认为在 B 处的虚位移为 δr_B 。这些虚位移中只有 1 个是独立的, 下面根据几何关系来确定这些虚位移之间的关系。

$$\delta r_D = |OD| \delta \theta \quad (2.1)$$

$$\delta r_B = -|OA| \sin \theta \left(1 + \frac{|OA| \cos \theta}{|AB| \cos \varphi} \right) \delta \theta \quad (2.2)$$

外力对整个系统所做的虚功为

$$\delta W = F_D \cdot \delta r_D + F_B \cdot \delta r_B \quad (2.3)$$

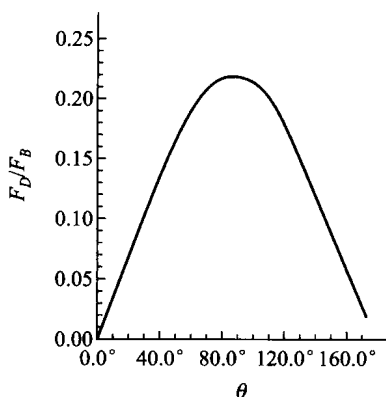


图 2.1.3

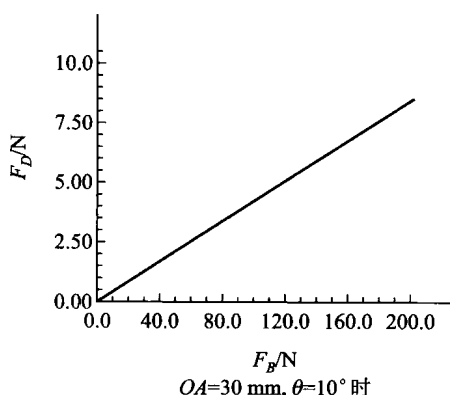


图 2.1.4

对于保守系统

$$\delta W = 0 \quad (2.4)$$

因此,由式(2.1)~(2.4)得

$$F_D = F_B \sin \theta \frac{|OA|}{|OD|} \left(1 + \frac{|OA| \cos \theta}{\sqrt{|AB|^2 - |OA|^2 \sin^2 \theta}} \right) \quad (2.5)$$

式(2.5)给出了 F_D 与 F_B 的关系。图 2.1.3 和图 2.1.4 给出具体的变化过程曲线,其中 $|OA| = 30 \text{ mm}$ 。若 $|OA|$ 数据不同,可以有一系列不同的 F_D 与 F_B 的曲线。

§ 2.2 桑塔纳汽车用的千斤顶受力分析与自锁条件

2.2.1 受力分析

图 2.2.1 所示照片的上部两根支撑杆可简化为二力杆件,这样顶点的受力图(图 2.2.2)就是平面汇交力系,已知重力 G ,可求出各杆压力 F_1 及 F_2 。

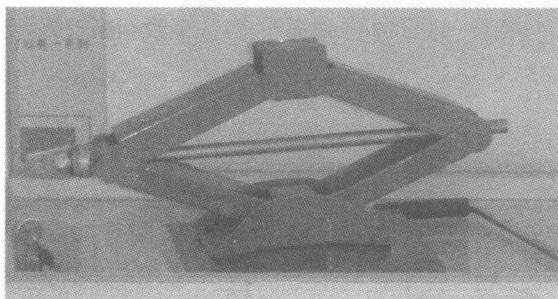


图 2.2.1

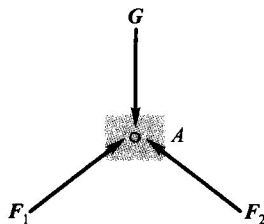


图 2.2.2

2.2.2 虚功原理(又称虚位移原理)

利用动力学的概念、定义,导出的虚功原理适合于解决复杂机构的静力学问题,这里以图 2.2.3 所示千斤顶模型为例进行演算。

已知千斤顶的受压重量 G ,求手柄摇动力偶矩 M (图 2.2.3)。应用虚位移原理

$$\delta W = G\delta r - M\delta\varphi$$

若不计摩擦,有 $\delta W = 0$,则

$$M = G \frac{\delta r}{\delta \varphi}$$

若 $\delta r = 1.6 \text{ mm}$, $\delta\varphi = 0.4\pi$, $G = 10\,000 \text{ N}$,则升起重 G 的力偶矩 M 为