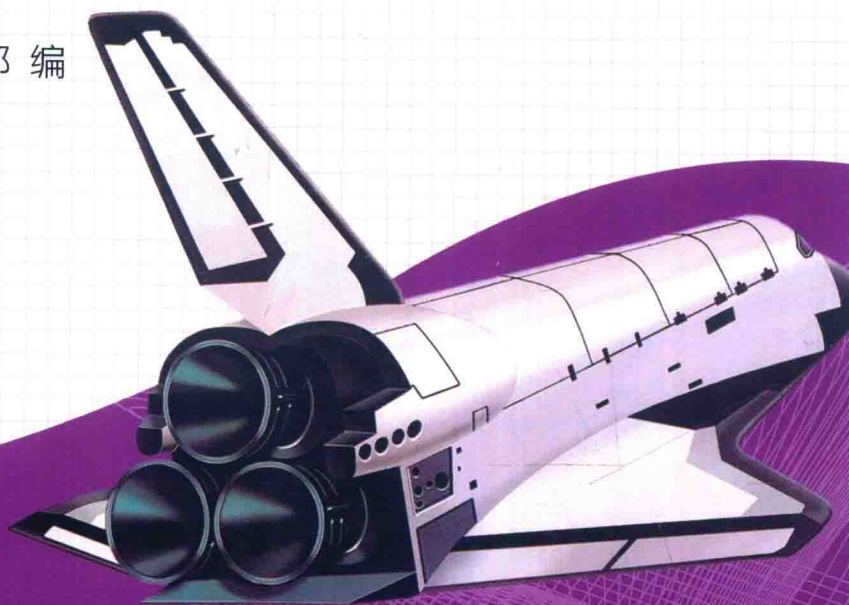


高 等 学 校 教 材

MATLAB

理论力学

程燕平 程邛 编



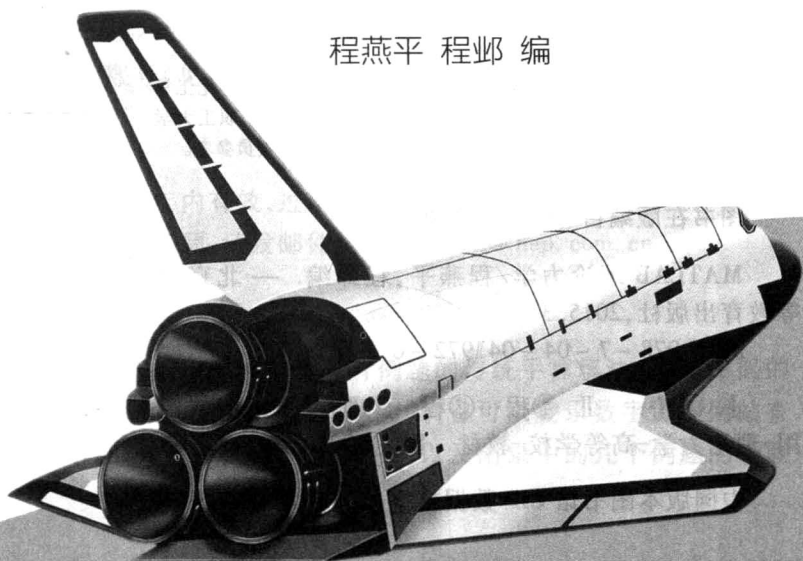
高等教育出版社

高等学校教材

MATLAB

理论力学

程燕平 程邈 编



M A T L A B L i l u n L i x u e

高等教育出版社·北京

内容提要

本教材在理论体系和内容上与传统的理论力学教材完全对应,分为静力学、运动学、动力学3部分,主要内容包括静力学公理和物体的受力分析,汇交力系,力矩和力偶,平面任意力系,空间任意力系,摩擦,点的运动学,刚体的简单运动,点的合成运动,刚体平面运动,动力学基本定律与质点动力学基本方程,动量定理,动量矩定理,动能定理,动静法,虚位移原理,分析力学基础,机械振动基础。涵盖了教育部高等学校力学基础课程教学指导委员会制定的《高等学校理工科非力学专业力学基础课程教学基本要求》的“理论力学课程教学基本要求(A类)”的内容。

本教材与传统理论力学教材相比,最大的特点或最大的改革之处是,对所有的例题采用 MATLAB 程序编程通过计算机求解。对有条件的院校或专业,可要求学生做作业也全部或部分用计算机求解。通过学习理论力学课程,学生较早地接触工程中已普遍使用的大型通用程序,其益处与重要性不言而喻。

本教材可作为高等工科院校本科机械、土建、交通、水利、化工等专业的理论力学教材,也可作为成人教育、夜大、函授大学、职工大学等院校的自学和函授理论力学教材,还可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

MATLAB 理论力学/程燕平,程邺编. -- 北京:高等教育出版社,2015.3

ISBN 978-7-04-041972-6

I. ①M… II. ①程…②程… III. ①Matlab 软件-应用-理论力学-高等学校-教材 IV. ①O31-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 024058 号

策划编辑 黄 强
插图绘制 杜晓丹

责任编辑 赵向东
责任校对 刘丽娟

封面设计 赵 阳
责任印制 毛斯璐

版式设计 童 丹

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
印 刷 三河市骏杰印刷有限公司
开 本 787 mm × 960 mm 1/16
印 张 33.75
字 数 610 千字
购书热线 010-585811 8

咨询电话 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>
版 次 2015 年 3 月第 1 版
印 次 2015 年 3 月第 1 次印刷
定 价 46.00 元

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 41972-00

与本书配套的数字课程资源使用说明

与本书配套的数字课程资源发布在高等教育出版社易课程网站,请登录网站后开始课程学习。

一、网站登录

1. 访问 <http://abook.hep.com.cn/1248691>
2. 输入数字课程账号(见封底明码)、密码、验证码
3. 点击“进入课程”
4. 开始课程学习

账号自登录之日起一年内有效,过期作废。

使用本账号如有任何问题,请发邮件至:zhangshan@hep.com.cn

二、资源使用

与本书配套的易课程数字课程包含所有例题的传统手算解法(以二维码的形式出现在书中,扫描后可看到 PDF 格式的文档,也可以登录数字课程网站查看)、所有例题的 MATLAB 程序代码、相关论文,以及附录中的几个例题的动画演示等。

前言

理论力学研究的是物体机械运动的一般规律,是许多专业的理论基础,同时也是一门独立的体系完整的学科。理论力学知识的学习对后续课程的学习影响重大。

理论力学课程的特点是例题、习题多,所以在理论力学教材中,有大量的例题讲授,同时要有大量的练习。但到目前为止,大部分理论力学教材在实际讲授中,其例题与习题均是采用手算(有时结合计算器)的方法求解,学生做作业采用的也是手算的方法。随着时代和科学技术的发展,这种做法应该有所改变。

本教材的编写在理论体系上考虑到传统习惯,没有做大的改动,仍然按静力学、运动学、动力学三大部分来编写。但在例题的编写与讲授上,做了重大改革,所有的例题均采用 MATLAB 编程由计算机求解。在教学中,使用 MATLAB 语言编程求解,可使学生从大量复杂的数学分析与计算中解脱出来,从而加深对课程内容与要点的掌握,对其今后的工作与研究有很大的益处。对有条件的院校,可要求学生对所有(或者部分)习题也编程通过计算机求解。这是本教材的最大特点,是与其他教材的最大区别。据编者了解,此种做法在国外并不鲜见,但在国内则很少。

本教材的编写除上述考虑之外,在理论编写部分,与许多教材相比还有下面几点做法:

1. 考虑到现有学生的基础与学时的限制,将平面汇交力系和空间汇交力系合并为一章讲授;把平面中力对点的矩、空间中力对点的矩与力对轴的矩合并在一起讲授;把平面力偶系和空间力偶系合并在一起讲授。据编者多年来的教学经验,这样讲授学生可以接受,而且节省学时。考虑到平面任意力系在现有教材和实际中的重要性,以及平面任意力系在本科和考研考试中的地位,平面任意力系和空间任意力系仍分为两章来讲授。

2. 现有理论力学教材里的动力学内容,均是从牛顿第二定律出发推导出来的,但这是在惯性参考系下的。在非惯性参考系中,牛顿第二定律如何?以什么样的形式表达?这也是力学问题中很重要的一方面。在质点动力学基本方程一章,本书将非惯性参考系下的牛顿第二定律内容作为一节讲授,并加注“*”号,教师或学生用很少的时间即可了解这方面的内容。有兴趣的读者可从非惯性参

考系下的牛顿第二定律出发,推出动力学的部分或全部内容。

3. 从目前培养研究型、应用型人才的实际情况与学时数的限制出发,对理论力学中比较难的理论推导,如加速度合成定理、质点系相对质心的动量矩定理等均先给出结论,详细的推导均以“*”号示出。对培养研究型人才来讲,这些推导是必须讲授的。而对培养应用型人才而言,理论力学的概念、公式等能熟练应用即可,一些复杂的理论推导可以不讲或少讲。

4. 在理论部分的写法上,有多处与其他教材不同。如力偶系的合成,根据力偶的性质,引进了自由矢量的概念,从而使力偶系合成的推导相对简单;又如在力系的简化中,对主矢的提法,认为主矢是力,主矢的大小与方向和简化中心无关,作用点与简化中心有关;再如在对虚位移原理的推导中,对虚速度法的解释等也有一些不同。对这些问题的认识与解释,大部分均可见编者在《力学与实践》等杂志已公开发表的教学研究论文。

5. 解题分析与解题过程基本分开。本教材对所有例题的讲解都分为两部分,第一部分是先给出解题分析与思路,第二部分是解题过程。这样做的目的是引导学生在做题时,要先寻求解题思路,然后再正式落笔。这样做,对学生严谨的科学分析方法和归纳总结能力都是有利的。

6. 和大多数教材一样,对每个习题均给出了答案(第一章受力图除外),但与绝大多数教材不同的是,本教材在给出答案的同时,对每个题(第一章受力图除外)都给出了详细的提示,提示中包含对题目的分析、解题思路以及注意事项等。这样做的好处是,学生做题遇到困难时,参看本书的提示即可解决。

哈尔滨工业大学理论力学课程是国家精品课程,编者在哈尔滨工业大学从事理论力学教学已三十余年,并担任理论力学教研室教学副主任十余年,始终坚持在理论力学教学第一线。这些年来,已编写出版了一些教材,有一定的教材编写经验,但对例题全部编程用计算机求解,尚属首次。

本教材内容叙述部分主要由程燕平编写,程序部分主要由程邈编写。

哈尔滨工程大学博士生导师邹广平教授审阅了本书,并提出了许多宝贵意见,在此表示诚挚的感谢。

本教材在编写过程中,参考了许多优秀的教材(见参考文献),汲取了这些教材的许多长处,在此也向这些教材的编者一并致谢。

由于编者水平所限,教材中的疏漏之处在所难免,衷心希望读者批评指正。

编 者

2014年4月于哈尔滨和华盛顿

目 录

绪论	1
----	---

静 力 学

静力学引言	6
第一章 静力学公理和物体受力分析	8
§ 1-1 静力学公理	8
§ 1-2 约束和约束力	12
§ 1-3 物体的受力分析和受力图	17
习题	21
第二章 汇交力系	24
§ 2-1 汇交力系合成与平衡的几何法(图解法)	24
§ 2-2 汇交力系合成与平衡的解析法(坐标法)	30
习题	37
第三章 力矩和力偶	41
§ 3-1 力对点的矩和力对轴的矩	41
§ 3-2 力偶 力偶矩 力偶的性质	48
§ 3-3 力偶系的合成与平衡	54
习题	58
第四章 平面任意力系	63
§ 4-1 平面任意力系的简化	63
§ 4-2 平面任意力系的平衡条件和平衡方程	68
§ 4-3 静定和超静定问题 物体系平衡	73
§ 4-4 平面简单(静定)理想桁架的内力计算	80
习题	85
第五章 空间任意力系	93
§ 5-1 空间任意力系的简化	93
§ 5-2 空间任意力系的平衡条件和平衡方程	98
§ 5-3 物体的重心	107

习题	113
第六章 摩擦	118
§ 6-1 滑动摩擦	118
§ 6-2 摩擦角和自锁现象	120
§ 6-3 考虑滑动摩擦时物体的平衡问题	123
§ 6-4 滚动摩阻(擦)	130
习题	135

运 动 学

运动学引言	140
第七章 点的运动学	141
§ 7-1 矢量(径)法	141
§ 7-2 直角坐标法	142
§ 7-3 弧坐标(自然)法	148
* § 7-4 柱坐标法	157
* § 7-5 球坐标法	159
习题	160
第八章 刚体简单运动	163
§ 8-1 刚体平行移动	163
§ 8-2 刚体定轴转动	166
§ 8-3 定轴转动刚体内各点的轨迹、速度和加速度	168
§ 8-4 定轴轮系传动比	170
§ 8-5 以矢量表示角速度和角加速度 以矢积表示点的 速度和加速度	173
习题	175
第九章 点的合成运动	179
§ 9-1 绝对运动 相对运动 牵连运动	179
§ 9-2 点的速度合成定理	182
§ 9-3 牵连运动为平移时点的加速度合成定理	187
§ 9-4 牵连运动为定轴转动时点的加速度合成定理	190
习题	199
第十章 刚体平面运动	205
§ 10-1 刚体平面运动的概述和运动分解	205
§ 10-2 求平面图形内各点速度的基点法	210

§ 10-3 求平面图形内各点速度的瞬心法	215
§ 10-4 求平面图形内各点加速度的基点法	225
§ 10-5 运动学综合应用	230
习题	238
运动学综合应用题	243

动 力 学

动力学引言	248
第十一章 动力学基本定律与质点动力学基本方程	250
§ 11-1 动力学基本定律(公理)	250
§ 11-2 质点运动微分方程	252
§ 11-3 非惯性参考系下的牛顿第二定律 (质点相对运动动力学基本方程)	258
习题	259
第十二章 动量定理	263
§ 12-1 动量与冲量	263
§ 12-2 动量定理	266
§ 12-3 质心运动定理	271
习题	275
第十三章 动量矩定理	280
§ 13-1 质点和质点系的动量矩	280
§ 13-2 动量矩定理	284
§ 13-3 刚体绕定轴转动微分方程	291
§ 13-4 刚体对轴的转动惯量	293
§ 13-5 刚体平面运动微分方程	301
习题	304
第十四章 动能定理	310
§ 14-1 质点和质点系的动能	310
§ 14-2 力的功	312
§ 14-3 动能定理	317
§ 14-4 功率 功率方程 机械效率	325
§ 14-5 普遍定理的综合应用	327
习题	333
动力学综合应用题	339

第十五章	动静法 (达朗贝尔原理)	342
§ 15-1	质点和质点系的动静法	342
§ 15-2	刚体惯性力系的简化	348
§ 15-3	绕定轴转动刚体的轴承附加动约束力	360
	习题	363
第十六章	虚位移原理 (静动法)	369
§ 16-1	约束 虚位移 虚功	369
§ 16-2	虚位移原理	373
§ 16-3	自由度和广义坐标	385
§ 16-4	以广义坐标表示的质点系虚位移原理 (平衡条件)	387
	习题	397
第十七章	动力学普遍方程 第二类拉格朗日方程	400
§ 17-1	动力学普遍方程	401
§ 17-2	第二类拉格朗日方程	404
§ 17-3	拉格朗日方程的初积分	413
	习题	418
第十八章	机械振动基础	423
§ 18-1	单自由度系统无阻尼自由振动	424
§ 18-2	单自由度系统有阻尼自由振动	435
§ 18-3	单自由度系统无阻尼受迫振动	440
§ 18-4	单自由度系统有阻尼受迫振动	444
§ 18-5	减振和隔振的概念	449
§ 18-6	转子临界转速的概念	454
	习题	456
附录		462
参考文献		468
习题答案与提示		472
作者简介		

绪 论

1. 理论力学的任务

理论力学的任务用一句话概括为,理论力学是研究物体机械运动一般规律的科学。

何为物体?宇宙万物是由物质组成的,物体是由物质组成的肉眼可见的宏观实体,理论力学研究的对象是物体。

何谓物体的机械运动?世界和宇宙处于永恒的运动中,哲学家一般把所有的运动分为五种形式,机械运动、物理运动、化学运动、生物运动和社会运动,前四种运动属于自然科学范畴,后一种属于社会科学范畴。理论力学研究的是物体的机械运动。物体在空间的位置随时间的改变,称这种运动为物体的机械运动。那么,物体相对地面(或其他物体)静止,是不是物体的机械运动?这也是物体的机械运动,是物体机械运动的一种特殊形式。物体的机械运动是如此的普遍,以致哲学家把这种运动排在第一位,这也是人们最早认识和研究的运动。物体的机械运动具有很多的规律,由于课程学时和内容的限制,理论力学只研究物体机械运动的一般规律,对一些特殊的规律,如物体的机械振动、陀螺仪理论等,要做到相当透彻的了解,则由相应的课程来研究。

从实际应用和研究问题方便的角度考虑,工科院校的理论力学,其内容一般分为三部分,静力学、运动学和动力学。

静力学:研究物体受力分析,力系等效替换,建立各种力系平衡条件的科学。

运动学:研究物体机械运动几何性质(位移、轨迹、速度、加速度等)的科学。

动力学:研究物体机械运动几何性质与作用力之间关系的科学。

2. 理论力学的研究方法

任何一门科学由于研究对象的不同而有不同的方法,但因其都是科学,有些方法是共性的。通过实践而发现真理,又通过实践而证实真理和发展真理,这是任何科学研究的必用方法,是科学发展的正确途径。理论力学这门科学也是这样,具体地说,就是从观察到的实际现象出发,对实际现象进行研究,经过抽象、综合、归纳,建立公理,再应用数学演绎和逻辑推理而得到定理和结论,形成理论体系,然后再通过实践来证实理论的正确性。

科学研究离不开抽象这种方法,同样理论力学也是这样。实际观察到的情

况和现象,往往是复杂的多样的,在各种现象和情况中抓主要矛盾,抓起决定性作用的因素,抛开次要的、局部的、带偶然性的因素,这样才能抓住现象和事物的本质,从而解决问题。例如,在研究物体的机械运动时,抛开物体的尺寸就得到点和质点的概念,抛开物体的变形就得到刚体的概念,忽略摩擦的作用就得到理想约束的概念,等等。点、质点、刚体、理想约束等都是抽象后的力学模型。再有,现在基本上所有理论力学教材里讲到的例题和习题,都是简化好抽象好的力学模型。这些例题与习题,大部分都是从实际中来的。这些例题和习题,与实际问题的多少还是有些区别的。当然,也并不是所有例题与习题,都是从实际中来的,有少部分是从做练习、验证理论的角度出发而编造出来的。

3. 学习理论力学的目的和重要性

理论力学是研究物体机械运动一般规律的科学,物体的机械运动是世界(宇宙)所有运动中,哲学家把其排在第一位的运动,这本身就说明了理论力学课程的重要性。在实际工程中,在现实生活中,无论是从事机械方面的机械工程师、从事建筑方面的建筑工程师、从事航天航空方面的航天航空领域的工程师等,都要和物体的机械运动打交道,都要用物体机械运动的规律来搞设计,解决物体机械运动方面的问题。所以,学习理论力学的目的和重要性不言而喻。

再有,在大学里要学习多门课程,因为在实际中,单靠一门课程不可能解决所有问题。就力学方面而言,理论力学是许多力学课程和其他课程的基础,如材料力学、机械原理、机械设计、结构力学、弹塑性力学、流体力学、飞行力学、振动理论、断裂力学、细观力学、复合材料力学等课程。理论力学课程学不好,其他后续课程肯定学不好,这又说明了学习理论力学的目的和学习理论力学的重要性。

还有,随着现代科学技术的发展,力学的研究内容已渗透到其他科学领域,例如固体力学和流体力学的理论被用来研究人体骨骼的强度、血液流动的规律,以及植物中营养的输送问题等,在生物力学中有重要用途。另外,还有新兴的爆炸力学、物理力学、电磁流体力学等都是力学和其他学科结合而形成的边缘性科学,都有很重要的应用和发展前途。这些学科的建立和发展,都必须以很好的理论力学知识为基础。

4. 理论力学课程的特点^①

理论力学课程的特点,各位理论力学老师都清楚,学过理论力学课程的学生

^① 许多理论力学教材,并没有把理论力学课程的此特点写进教材里,此处写进教材里,是从实际情况出发,因此课程确实有这样的特点,所以开篇就告知初学者,意在引起初学者的注意。

一般也都知晓,但这个特点一般没有写进教材里,不见经传。现在把这个特点直接写出来,写进正式教材开篇绪论里。理论力学课程的特点,以七个字概括,就是“理论易懂掌握难”,说得更直白一点,就是“理论易懂做题难”。初学理论力学、初接触理论力学的人,往往因为理论力学里许多名词和概念在中学和大学物理里都已经熟悉而没有新鲜感,先入为主,就认为理论力学容易学、容易掌握,从而对这门课程掉以轻心,以致后来赶不上,导致学不好这门课,考试不及格等。实际情况是,许多同学在中学物理和大学物理里已学过许多力学方面的知识,理论力学里的许多名词、概念与一些理论确实和物理里的一样,所以没有新鲜感,这就造成所谓“理论易懂”的现象。但由于理论力学的应用对象和物理里的不一样且相差很大,理论力学面对的对象基本是工程实际问题,所以解决问题的方法也和物理有很大的不同。而初接触理论力学课程的同学对此没有什么了解,认为理论上已经懂了,做题就不会有什么问题了,可实际上并非如此。实际做起题来,还是有难度,甚至是很困难的。因此,初学理论力学的读者一定要注意到理论力学课程的这个特点,不要轻视这门课程,不要认为理论上感觉懂了,就认为掌握这门课程了,实际上远不是如此。理论上懂了,真正会做题了,这门课程才算是基本掌握了。所以,忠告各位学习理论力学课程的读者,除掌握、熟悉好理论力学的理论外,一定要做题,并且在可能的情况下要多做题,只有会做一定量的习题了,这门课程才可能掌握好。

静 力 学

静力学引言

静力学是研究物体受力分析、力系等效替换(或简化)、建立各种力系平衡条件的科学。当然,学习静力学的主要目的是为了解决工程实际问题和为后继课程打基础的。

此处所说的物体在静力学中一般是指刚体,所谓刚体就是绝对不变形的物体,或者说,物体内任意两点间的距离不会改变的物体,是物体在力的作用下变形可以忽略不计而抽象出的理想化的力学模型。和刚体对应的一般是指变形体,物体在力的作用下变形不能忽略不计时,称这样的物体为变形体。

物体的受力分析 工程中存在着各种各样的结构和机构,它们的受力状况如何,是人们关心的问题之一。静力学首先要对物体进行受力分析,画出物体的受力图,这一步主要的是定性分析,然后才能给以定量求解。物体的受力分析是静力学主要研究的问题之一。

力系的等效替换(或简化) 实际中存在各种各样的力系,比较复杂,如何用一个简单力系等效代替一个复杂力系,进而确定复杂力系对物体的总效应,并为建立各种力系的平衡条件打基础,是静力学主要研究的问题之二。

建立各种力系的平衡条件 实际中存在各种各样的力系,其平衡时均应满足什么样的条件?研究与建立各种力系的平衡条件,并应用这些条件去解决工程问题,是静力学主要研究的问题之三。

力的概念 力是物体间的相互作用,其作用效果使物体的运动状态发生改变或者使物体产生变形。

力的三要素 力对物体的作用效果由三个要素——力的大小、方向、作用点来确定,习惯称之为力的三要素。因为力不但有大小,而且有方向,所以力是矢量,用矢量来表示。

力系 称作用于物体上的一群力为力系。按力的作用线分布情况来分,可分为平面共点、汇交、平行、任意力系,空间共点、汇交、平行、任意力系,此外还有平面力偶系、空间力偶系。静力学的主要任务之一就是要建立这些力系的平衡条件并用于解决实际问题。

物体平衡^① 物体相对于惯性参考系(一般取固连于地面的参考系为惯性

^① 关于平衡,与大多数教材不同,一般教材只有一个定义,本教材引进两个定义。见参考文献[77]。

参考系)保持静止或做匀速直线运动,称此物体处于平衡状态,简称物体平衡。

力系平衡 不受外力作用的物体,称其受零力系作用。一个力系如果与零力系等效,称该力系为平衡力系,简称力系平衡。

若物体平衡,则其必受平衡力系作用;反之,若力系平衡,则物体不一定平衡。

物体的受力分析、力系的平衡条件在解决工程实际问题中有着非常重要的意义,是设计各种结构与机构静力计算的基础,静力学的概念和知识在工程中有着广泛的应用。