



普通高等教育“十一五”规划教材

Putong Gaodeng Jiaoyu

十五

Shiyiwu

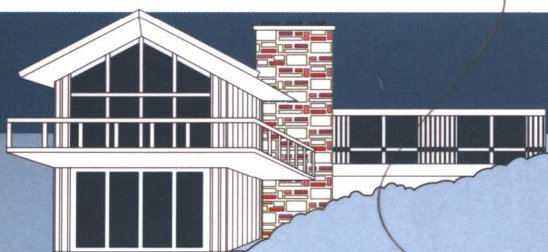
Guihua Jiaocai

理

论力学

LILUN LIXUE

●主编 梁坤京



郑州大学出版社

Putong Gaodeng Jiaoyu

132

2006

介龍客肉

理

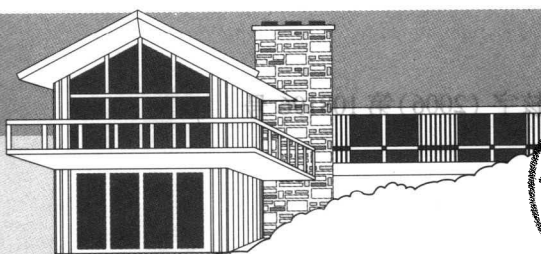
Shiyiwu

Guihua Jiaocai

论力学

LILUN LIXUE

● 主编 梁坤京



郑州大学出版社

内 容 简 介

本书是普通高等教育“十一五”规划教材,内容包括静力学、运动学、动力学三部分,定位于应用型本科教材,注重力学概念的阐述和原理理解,做到理论与应用并重,例题、习题较为丰富,便于教学和学习。本书可作为高等工科院校土木、水利、机械等专业理论力学课程的教学用书,也可作为有关工程技术人员的学习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

理论力学/梁坤京主编. —郑州:郑州大学出版社,2006.9

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 7-81106-351-4

I. 理… II. 梁… III. 理论力学-高等学校-教材
IV. 031

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 108196 号

郑州大学出版社出版发行

郑州市大学路 40 号

出版人:邓世平

全国新华书店经销

郑州文华印务有限公司印制

开本:787 mm × 1 092 mm

印张:22.5

字数:546 千字

版次:2006 年 9 月第 1 版

邮政编码:450052

发行电话:0371-66966070

1/16

印数:1~3 100

印次:2006 年 9 月第 1 次印刷

书号:ISBN 7-81106-351-4/O·30

定价:35.00 元

本书如有印装质量问题,请向本社调换

编写指导委员会

名誉主任 王光远

主任 高丹盈

委员 (以姓氏笔画为序)

申金山	司马玉州	刘立新	关 罡
李晓峰	李继周	张 伟	张 玲
张本昀	张国强	陈 淮	郑永红
赵顺波	段印德	祝彦知	姚庆钊
原 方	钱文军	曾宪桃	鲍 鹏

秘 书 崔青峰

本书作者

《中国儿童文学》

作者

主 编 梁坤京
副 主 编 姚庆钊 邵 兴
编 委 (以姓氏笔画为序)

王彦生 王钦亭 何 伟
邵 兴 李荷香 姚庆钊
梁坤京 温中华 董志华

序

近年来,我国高等教育事业快速发展,取得了举世瞩目的成就。随着高等教育改革的不断深入,高等教育工作重心正在由规模发展向提高质量转移,教育部实施了高等学校教学质量与教学改革工程,进一步确立了人才培养是高等学校的根本任务,质量是高等学校的生命线,教学工作是高等学校各项工作的中心的指导思想,把深化教育教学改革,全面提高高等教育教学质量放在了更加突出的位置。

教材是体现教学内容和教学要求的知识载体,是进行教学的基本工具,是提高教学质量的重要保证。教材建设是教学质量与教学改革工程的重要组成部分。为加强教材建设,教育部提倡和鼓励学术水平高、教学经验丰富的教师,根据教学需要编写适应不同层次、不同类型院校,具有不同风格和特点的高质量教材。郑州大学出版社按照这样的要求和精神,组织有关专家,在全国范围内,对土木、水利、机械等工科专业的力学教学内容和教学大纲进行了深入的调研,在此基础上,召开了教育教学研讨会、教材编写论证会、教学大纲审定会和主编人会议,确定了教材编写的指导思想、原则和要求。按照以培养目标和就业为导向,以素质教育和能力培养为根本的编写指导思想,科学性、先进性、系统性和适用性的编写原则,组织学术水平高、教学经验丰富的一线教师,吸收了近年来教育教学经验和成果,编写了本教材。

教育教学改革是一个不断深化的过程,教材建设是一个不断推陈出新、反复锤炼的过程,希望本教材的出版对力学教育教学改革和提高教育教学质量起到积极的推动作用,也希望使用本教材的师生多提意见和建议,以便及时修订,不断完善。

王允之

2006年7月

前言

理论力学是高等工科院校许多专业必修的技术基础课。近年来,理论力学的授课时数普遍减少,因此,本教材本着少而精、易掌握,同时不失系统性、完整性、严谨性和实用性的原则编写,力求在保证“宽口径和基本培养规格”的前提下,使学生掌握理论力学的基本原理和分析方法,能把所学的基础理论应用于专业知识的学习,并在工程实践中加以应用。

本书为应用型本科教材,适用于一般工科院校土木、水利、机械等各类专业中、少学时理论力学课程的教学和学习。本书的特点是把力系按特殊力系和一般力系分类编排,并把任意力系和一般力系加以区别。另外,在最后加入线性振动一章,为土木工程或其他有关专业后续课程打下必要的基础。

全书分三篇,共十六章,分别为:静力学基本概念和物体的受力分析、平面汇交力系和平面力偶系、平面一般力系和平面平行力系、空间力系、摩擦;点的运动学、刚体的简单运动、点的合成运动、刚体的平面运动;质点动力学的基本方程、动量定理、动量矩定理、动能定理、达朗贝尔原理、虚位移原理、振动基本理论。

书中标有*号的部分章节属于加深和拓展部分,非基本要求,读者可根据需要选用。

本书由教学经验丰富的一线教师编写,梁坤京担任主编,姚庆钊、邵兴任副主编。其中绪论、第一章、第四章和第五章由梁坤京编写;第二章、第三章由李荷香编写;第六章、第七章分别由何伟、温中华编写;第八章、第九章由邵兴编写;第十章、第十三章由姚庆钊编写;第十一章、第十二章(除第四节)由王钦亭编写;第十四章、第十五章由董志华编写;第十六章和第十二章第四节由王彦生编写。全书由梁坤京统稿,张长平审阅。

本书在编写过程中,参阅了有关专家、学者的同类教材,吸取了他们的许多长处,并得到了有关各方的关心和支持,在此深表感谢。

限于水平,书中错误和缺点在所难免,敬请各位读者批评指正,不胜感激。

编 者
2006 年 6 月

目录

CONTENTS

▷▷▶ 1

第0章 绪论	1
0.1 力学的发展概况	1
0.2 工程实际问题的简化方法及力学模型的建立	1
0.3 理论力学的研究对象和内容、研究方法和学习目的	2

第一篇 静力学

第1章 静力学基本概念和物体的受力分析	7
1.1 静力学的基本概念	7
1.2 静力学公理	8
1.3 约束与约束力	11
1.4 物体的受力分析	16
第2章 平面汇交力系和平面力偶系	24
2.1 平面汇交力系的合成与平衡	24
2.2 平面力对点的矩	33
2.3 平面力偶系的合成与平衡	36
第3章 平面一般力系和平面平行力系	46
3.1 平面一般力系向一点的简化	46
3.2 平面一般力系的平衡和平衡方程	51
3.3 平面平行力系的平衡	56
3.4 物体系的平衡及静定和超静定	58
第4章 空间力系	74
4.1 力的投影和分解	74
4.2 空间汇交力系	77
4.3 力对点之矩和力对轴之矩	79
4.4 空间力偶系	84
4.5 空间一般力系	87
4.6 空间平行力系及物体的重心	95
第5章 摩擦	109
5.1 滑动摩擦	109
5.2 摩擦角和自锁现象	111

5.3 考虑摩擦时的平衡问题	113
* 5.4 滚动摩阻	118

第二篇 运动学

第 6 章 点的运动学	129
6.1 点运动的矢量表示法	129
6.2 点运动的直角坐标表示法	131
6.3 点运动的自然表示法	134
* 6.4 点运动的极坐标表示法	143
第 7 章 刚体的简单运动	150
7.1 刚体的平动	150
7.2 刚体绕定轴的转动	151
7.3 定轴转动刚体内各点的速度和加速度	152
第 8 章 点的合成运动	161
8.1 合成运动的概念	161
8.2 点的速度合成定理	163
8.3 牵连运动为平动时的加速度合成定理	165
* 8.4 牵连运动为转动时的加速度合成定理	168
第 9 章 刚体的平面运动	180
9.1 平面运动的概念与运动分解	180
9.2 基点法求平面图形内各点的速度	182
9.3 瞬心法求平面图形内各点的速度	184
9.4 基点法求平面图形内各点的加速度	187

第三篇 动力学

第 10 章 质点动力学的基本方程	201
10.1 动力学基本定律	201
10.2 质点的运动微分方程	202
10.3 质点动力学的两类基本问题	203
* 10.4 质点在非惯性参考系中的运动	206

目录

CONTENTS

▷▷▶ 3

第 11 章 动量定理	213
11.1 动量与冲量	213
11.2 动量定理	215
11.3 质心运动定理	220
第 12 章 动量矩定理	228
12.1 质点和质点系的动量矩	228
12.2 质点和质点系的动量矩定理	229
12.3 刚体绕定轴转动的微分方程	234
12.4 刚体对轴的转动惯量	236
* 12.5 刚体的平面运动微分方程	241
第 13 章 动能定理	250
13.1 功和功率	250
13.2 质点和质点系的动能	253
13.3 动能定理	255
13.4 势力场与势能	261
13.5 机械能守恒定律	262
13.6 普遍定理的综合应用	263
第 14 章 达朗贝尔原理	273
14.1 惯性力的概念	273
14.2 达朗贝尔原理	274
14.3 质点系惯性力系的简化	281
* 14.4 定轴转动刚体轴承约束反力	286
第 15 章 虚位移原理	295
15.1 约束与约束方程	295
15.2 自由度和广义坐标	298
15.3 虚位移	300
15.4 虚位移原理	304
* 第 16 章 振动基本理论	319
16.1 单自由度系统的有阻尼自由振动	319
16.2 单自由度系统的受迫振动	327



习题参考答案.....	334
参考文献.....	345

1.1.1.....	
1.1.2.....	
1.1.3.....	
1.1.4.....	
1.1.5.....	
1.1.6.....	
1.1.7.....	
1.1.8.....	
1.1.9.....	
1.1.10.....	
1.1.11.....	
1.1.12.....	
1.1.13.....	
1.1.14.....	
1.1.15.....	
1.1.16.....	
1.1.17.....	
1.1.18.....	
1.1.19.....	
1.1.20.....	
1.1.21.....	
1.1.22.....	
1.1.23.....	
1.1.24.....	
1.1.25.....	
1.1.26.....	
1.1.27.....	
1.1.28.....	
1.1.29.....	
1.1.30.....	
1.1.31.....	
1.1.32.....	
1.1.33.....	
1.1.34.....	
1.1.35.....	
1.1.36.....	
1.1.37.....	
1.1.38.....	
1.1.39.....	
1.1.40.....	
1.1.41.....	
1.1.42.....	
1.1.43.....	
1.1.44.....	
1.1.45.....	
1.1.46.....	
1.1.47.....	
1.1.48.....	
1.1.49.....	
1.1.50.....	
1.1.51.....	
1.1.52.....	
1.1.53.....	
1.1.54.....	
1.1.55.....	
1.1.56.....	
1.1.57.....	
1.1.58.....	
1.1.59.....	
1.1.60.....	
1.1.61.....	
1.1.62.....	
1.1.63.....	
1.1.64.....	
1.1.65.....	
1.1.66.....	
1.1.67.....	
1.1.68.....	
1.1.69.....	
1.1.70.....	
1.1.71.....	
1.1.72.....	
1.1.73.....	
1.1.74.....	
1.1.75.....	
1.1.76.....	
1.1.77.....	
1.1.78.....	
1.1.79.....	
1.1.80.....	
1.1.81.....	
1.1.82.....	
1.1.83.....	
1.1.84.....	
1.1.85.....	
1.1.86.....	
1.1.87.....	
1.1.88.....	
1.1.89.....	
1.1.90.....	
1.1.91.....	
1.1.92.....	
1.1.93.....	
1.1.94.....	
1.1.95.....	
1.1.96.....	
1.1.97.....	
1.1.98.....	
1.1.99.....	
1.1.100.....	

第0章 绪论

0.1 力学的发展概况

力学本身的发展有着悠久的历史,它的发展是分析和综合相结合的过程,也是人类认识由简单到复杂逐步深化的过程。

牛顿运动定律的建立是力学发展史上的一个里程碑。牛顿定律建立以前,力学的研究的历史大致可分为两个时期:一、古代(从远古到公元5世纪),这一时期对平衡和运动有了初步的了解;二、中世纪(从6世纪到16世纪),这个时期对力、运动的认识已有进展,为牛顿定律的建立做了准备。牛顿定律建立以后,力学的研究的历史大致可分为四个时期:一、从17世纪初到18世纪末,经典力学的建立和完善化;二、19世纪,力学各主要分支的建立;三、从1900年到1960年,近代力学,它和工程技术特别是航空、航天技术密切联系;四、1960年以后,现代力学,力学同计算技术和自然科学其他学科广泛结合。

我国是世界上最古老的文明国家之一,生产和科学技术发展得都比较早。我国在力学方面也有很多发明创造,如西汉时期的指南车、东汉张衡制造的地动仪以及隋朝李春主持建造的赵州桥等。

力学在中国的发展经历了一个特殊的过程,与古希腊几乎同时,中国古代对平衡和简单的运动形式就已具有相当水平的力学知识,所不同的是未建立起像阿基米德那样的理论系统。在文艺复兴前的约一千年时间内,整个欧洲的科学技术进展缓慢,而中国科学技术的综合性成果却非常卓著,其中有些在当时居于世界领先地位。这些成果反映出丰富的力学知识,但终未形成系统的力学理论。到明末清初,中国科学技术开始落后于欧洲。经过曲折的进程,到19世纪中叶,牛顿力学才由欧洲传入中国。目前,我国的科学技术和力学研究已发展到一个新的水平。

力学的产生和发展与人们的生产生活实践紧密相连,无论萌芽力学、牛顿力学,还是相对论、量子力学以及近现代各分支力学,均莫不如此。目前,根据世界科技的发展和国家建设对力学提出的需求,我国有不少科研人员从事前沿力学工作,如纳米/微米尺度、微系统力学、微重力科学等研究,站在了力学学科发展前沿。

0.2 工程实际问题的简化方法及力学模型的建立

在工程实际问题中,我们所考察的物体复杂多样,即使是同一类型的问题,其受力状况也不尽相同,为便于研究,须将工程实际问题进行简化,以得到合理的力学模型,再在此



基础上作进一步的计算和分析。将一个实际问题抽象成为力学模型并不是件很容易的事,需要在实践中不断锻炼,一般来说,须从三方面加以简化:物体的几何尺寸、物体承受的外力和物体受到的约束。

在简化过程中,因为要略去一些次要因素,所以必然包含着某种近似性。例如,某些尺寸远小于其他有关尺寸而可忽略不计、在微小面积上的力可看作集中力、接触面很光滑或经过充分润滑时可不计摩擦等。究竟哪些因素可以看作次要因素而略去,与所需的资料及其精确度有关。例如,在研究一般抛射运动时,把抛射体作为质点看待,且只计重力而不计空气阻力,得到的结果已属可用,但在研究远射程炮弹的运动时,如果作同样的假设,则炮弹可能偏离射击目标。另一方面,如果我们对实际存在的各种因素,不分主次,全都纳入考虑范围,看起来似乎是很符合实际,而结果往往使问题无法求解,或者虽能求解,但困难极大,费时费力,而实际工作中并不需要那么高的精确度。所以,对一个具体问题,在抽象成为力学模型时,可作哪些近似的假设,可忽略哪些次要的因素,必须深入分析,力求合理,既要满足实际要求,又必须在数学计算上方便可行。

有关工程实际问题的具体简化方法将在后面章节叙述,下面仅介绍对实际物体抽象而得到的质点、质点系和刚体三种力学模型。

(1) **质点** 只有质量而无大小的几何点称为质点。如果一个物体的大小和形状对所讨论的问题无关紧要,可以忽略不计,而只需考虑其质量,那么,就可将该物体简化为质点。

(2) **质点系** 相互间有一定联系的有限或无限多质点组成的系统称为质点系。

(3) **刚体** 在力的作用下其内部任意两点之间的距离始终保持不变的物体称为刚体。就是说,刚体是指这样一种物体:它的大小和形状对所讨论的问题来说不能忽略,但它受到力的作用时大小和形状都保持不变,即不发生变形。事实上,刚体当然是不存在的,因为任何物体受力后都将或多或少地发生变形。但在许多情况下,在研究物体的平衡或运动时,变形只是次要因素,可以忽略不计,因而可将物体简化为刚体。

刚体可以认为是不变形的质点系。由若干个刚体组成的系统成为**刚体系统**,有时也称为**物体系统**。

上述几种理想的力学模型都是客观存在的实际物体的科学抽象,它们并不特指某些具体物体,而是概括了各种物体。不论物体是金属的、木质的、混凝土的或其他材料的,也不论是土建、水利工程中的建筑物构件或机械的零部件,在研究它们的平衡或运动时,都可作为上述几种模型之一来加以考察(需要考虑变形者除外)。这是人们认识深化的结果,也表明了理论的普遍意义。

0.3 理论力学的研究对象和内容、研究方法和学习目的

理论力学学科建立时间早、理论性强、系统严密,是一门较为成熟的学科。

0.3.1 理论力学的研究对象和内容

理论力学是研究物体机械运动一般规律的科学。

在客观世界中,存在着各种各样的物质运动,例如发声、发光等物理现象,化合和分解



等化学变化,以及动、植物的生长和人的思维活动等。辩证唯物主义认为,运动是物质存在的形式,是物质的固有属性,它包括宇宙中发生的一切现象和过程——从简单的位置变化直到人的思维活动。物体在空间的位置随时间的改变,称为机械运动。在所有的运动形式中,机械运动是最简单的一种。例如,车辆的行驶、机器的运转、气体和液体的流动、建筑物的振动、星球的运行等,都是机械运动。物质的各种运动形式在一定的条件下可以互相转化,而且在高级和复杂的运动中,往往存在着简单的机械运动。

理论力学研究的内容是速度远小于光速的宏观物体的机械运动,它以伽利略和牛顿总结的基本定律为基础,属于经典力学的范畴。至于速度接近于光速的物体的运动,必须用相对论的理论进行研究;而基本粒子的运动,则要用量子力学的观点才能予以完善的描述。这固然说明经典力学有局限性,但长期的实践证明,宏观物体远小于光速的运动是日常生活及一般工程中最常见的,不仅如此,就是在一些尖端科学技术(如火箭,宇宙航行等)中,所考察的物体也都是宏观物体,运动速度也都远远小于光速,用经典力学来解决不仅方便,而且能够保证足够的精确性。因此说,经典力学在现代科学技术中仍有重大的实用意义,并且还在不断地发展。

平衡(例如物体相对于地球处于静止的状态)是机械运动的特殊情形,也包括在理论力学研究内容之中。

理论力学于1835年正式分为静力学、运动学、动力学三个部分。

静力学——研究物体的平衡规律,同时也研究力的一般性质及其合成法则。

运动学——研究物体运动的几何性质,而不考虑物体运动的原因。

动力学——研究物体的运动变化与其所受的力之间的关系。

0.3.2 理论力学的研究方法

实践,认识,再实践,再认识,这是我们认识客观世界的基本规律,是任何科学技术发展的正确途径。理论力学的发展也必须遵循这一规律,具体地说,就是从实际出发,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,然后再通过实践来验证理论的正确性,正确的理论再被反过来用于指导人们改造世界的各种实践活动。理论力学的研究方法可归纳如下:

(1)通过观察生活和生产实践中的各种现象,进行无数次的科学实验,经过分析、综合和归纳,总结出力学最基本的概念和定律。如“力”和“力矩”的概念、“加速度”的概念、摩擦定律以及动力学三定律等都是在大量实践和实验的基础上经过分析、综合和归纳得到的。

(2)在对事物观察和实验的基础上,通过抽象化建立力学模型。客观事物总是复杂多样的,当我们占有大量来自实践的资料之后,必须根据所研究的问题的性质,抓住主要的、起决定作用的因素,撇开次要的、偶然的因素,深入事物的本质,了解其内在联系,这就是力学中普遍采用的抽象化方法。例如,在某些问题中忽略实际物体受力后的变形,得到刚体的模型;在另一些问题中则忽略物体的大小和形状,得到质点的模型等。一个物体究竟应该作为质点还是作为刚体看待,主要决定于所讨论问题的性质,而不决定于物体本身的大小和形状。例如机器上的零件,尽管尺寸不大,但当要考虑它的转动时就须作为刚体



看待;一列火车的长度虽然以百米计,是当我们将列车作为一个整体来考察它沿铁道线路运行的距离、速度和加速度时,却可以作为一个点来看待。即使是同一个物体,在不同的问题里,随着问题性质的不同,有时可作为质点,有时则要作为刚体。例如地球半径为 6 370 km,但当研究它在绕太阳公转的轨道上的运行规律时,可以看作质点,而当考察它的自转时,却必须看作刚体。

(3)在建立力学模型的基础上,从基本定律出发,用数学演绎和逻辑推理的方法,得出正确的具有物理意义和实用价值的定理和结论,在更高的水平上指导我们的实践,推动生产的发展。

研究物体机械运动的普遍规律有两种基本方法,从而形成理论力学的两大体系,一是用矢量的方法研究物体机械运动的普遍规律,称为**矢量力学**;二是用数学分析的方法进行研究,称为**分析力学**。本书以矢量的方法研究为主。

另外,近代计算机的发展和普及为解决复杂的力学问题提供了数值计算的方法。计算机已成为学习理论力学知识的有效工具,并在逻辑推演、公式推导、力学理论的发展中发挥重大作用。

0.3.3 理论力学的学习目的

理论力学是一门理论性较强的技术基础课,学习理论力学有下述目的:

(1)学好理论力学是更好地解决工程问题的基础。土木、水利、机械等工程专业一般都要接触到机械运动的问题,有些工程实际问题可以直接应用理论力学的基本理论去解决,如土木、水利工程中的平衡问题;传动机械的运动学分析;机器和机械设计中的平衡问题、振动问题和动反力问题等。至于一些比较复杂的工程实际问题,则需要用本书中的理论和其他专门知识共同来解决,如土木、水利工程中动力荷载的影响以及建筑物的抗震设计等。在许多尖端科学技术中,如人造地球卫星和宇宙火箭的发射、运行等,更包含着许多动力学问题。虽然我们不可能在理论力学中讨论这些专门问题,但理论力学的基本理论,却是研究这些问题的必备基础。因此,掌握理论力学知识至为重要。

(2)学好理论力学是学好有关后续课程的基础。理论力学研究的是力学中最普遍、最基本的规律,很多工程专业的课程,如材料力学、结构力学、流体力学、振动理论、机械原理等课程,都要用到理论力学的知识,所以理论力学是学习一系列后续课程的基础。

现代科学技术的发展,还使理论力学的研究内容渗透到其他科学领域,形成了一些新的边缘学科。例如:理论力学用于研究人体的运动而形成运动力学;理论力学与固体力学、流体力学结合起来研究人体内骨骼的强度、血液流动的规律、人体的力学模型以及植物中营养的输送问题等而形成生物力学。此外,还有爆炸力学、电磁流体力学等。总之,为了探索新的科学领域,必须打下坚实的理论力学基础。

(3)学好理论力学有助于培养正确的认识以及分析和解决问题的能力。理论力学的理论来源于实践又服务于实践,既抽象又紧密结合实际,研究的问题涉及面广,而且系统性和逻辑性很强。充分理解理论力学的研究方法,不仅可以深入地掌握这门学科的知识,而且有助于掌握学习其他科学技术理论的方法,对培养我们的辩证唯物主义世界观,培养正确的分析问题和解决问题的能力,都起着十分重要的作用。

第一篇 静力学

静力学是研究物体在力系作用下的平衡问题。在静力学中所指的物体都是刚体。平衡是机械运动的一种特殊情形,是指物体相对于惯性坐标系(惯性坐标系是指适用牛顿定律的坐标系,如地面)处于静止或作匀速直线运动的状态。在一般工程问题中,所谓平衡则是指相对于地球的平衡,特别是指相对于地球的静止。