

21世纪全国应用型本科 土木建筑 系列实用规划教材

理论力学

〔第2版〕

主 编◎张俊彦 赵荣



- 题例丰富，解题过程讲解详细，便于读者理解和应用
- 习题类型多样，训练内容丰富，全面检验学习效果



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国应用型本科土木建筑系列实用规划教材

理论力学(第 2 版)

主 编 张俊彦 赵荣国
参 编 康颖安



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书是根据全国高等学校土木工程专业指导委员会制订的土木工程专业本科培养目标组织编写的。为适应新世纪教学改革形势,在沿用传统体系的基础上,对部分内容进行了精简,加强了与专业及工程应用的结合,强调实用性。本书内容包括三部分:静力学、运动学和动力学。第1~4章为静力学,包括静力学公理和受力分析、平面力系、空间力系和摩擦;第5~8章为运动学,包括点的运动学、刚体的简单运动、点的合成运动和刚体的平面运动;第9~14章为动力学,包括质点动力学基本方程、动量定理、动量矩定理和动能定理、达朗伯原理和虚位移原理。全书配有大量思考题和习题,并附有习题参考答案。

本书可作为高等院校土建类的建筑学、城市规划、土木工程、建筑环境与设备工程、给水排水工程等专业的理论力学(中、少学时)教材,也可供水利、机械等其他专业和有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

理论力学/张俊彦,赵荣国主编. —2版. —北京:北京大学出版社,2012.1

(21世纪全国应用型本科土木建筑系列实用规划教材)

ISBN 978-7-301-19845-2

I. ①理… II. ①张…②赵… III. ①理论力学—高等学校—教材 IV. ①O31

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第252254号

书 名: 理论力学(第2版)

著作责任者: 张俊彦 赵荣国 主编

策划编辑: 吴迪 卢东

责任编辑: 伍大维

标准书号: ISBN 978-7-301-19845-2/TU·0197

出版者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路205号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.cn>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电子邮箱: pup_6@163.com

印刷者: 三河市博文印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787毫米×1092毫米 16开本 21.25印张 500千字

2006年1月第1版

2012年1月第2版 2012年1月第1次印刷(总第3次印刷)

定 价: 40.00元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

第 1 版前言

理论力学是现代工程技术的基础,是高等学校各工科专业一门重要的技术基础课,并在许多工程技术领域中有着广泛的应用,其重要性不言而喻。通过学习,要求学生掌握质点、质点系和刚体机械运动(包括平衡)的基本规律和研究方法,学会应用理论力学的理论和方法分析、解决一些简单的工程实际问题;同时培养学生建立力学模型的初步能力和辩证唯物主义的世界观。

本书是根据全国高等学校土木工程专业指导委员会 2001 年 11 月制定的土木工程专业本科培养目标组织编写的,包含静力学——研究物体平衡时作用力之间的关系;运动学——研究运动物体的几何性质(如轨迹、速度和加速度等);动力学——研究作用于物体上的力与运动变化之间的关系共三部分内容。在沿用传统体系的基础上,对部分内容进行了精简,加强了与专业及工程应用相结合,强调实用性。内容安排上,由浅入深、循序渐进。章前有教学提示和教学要求,章后有大量精选习题,附有答案,便于教学和自学。本教材适用于中、少学时(60~80 学时),少学时可根据需要取舍。

本书由湘潭大学张俊彦担任第一主编,江西科技师范学院黄宁宁担任第二主编,长江大学蒋元平、南昌工程学院徐春艳担任副主编,参编的有山西大学刘宏、洪彩霞,湖南工程学院康颖安、江西科技师范学院段朝程。具体分工如下,张俊彦编写第 12、13 章和全书统稿;黄宁宁编写绪论、第 2、5 章;蒋元平编写第 10、11 章;徐春艳编写第 8、9 章;刘宏编写第 3、4 章;洪彩霞编写第 6、7 章;康颖安编写第 14、15 章;段朝程编写第 1 章。

全书由湘潭大学张淳源教授主审。在本书的编写过程中,湘潭大学张平教授提出了许多宝贵意见,特此致谢。

本书编写人员长期担任理论力学的教学工作,书中融合了多年的教学经验与体会,是集体智慧的结晶。但由于水平有限,时间仓促,不妥之处在所难免,衷心希望广大读者批评指正。

编 者

2005 年 9 月

第2版前言

本书从2006年出版以来,经有关院校使用,受到了广大教师和学生的欢迎。为适应我国不断发展的科学技术和生产建设的需要,更好地开展教学,满足广大学生学习的要求,我们通过5年的教学实践,根据很多老师和学生的宝贵意见和建议,对本书第1版进行了修订。

本版仍保留前一版的风格和体系,坚持理论严谨、逻辑清晰、由浅入深的原则。静力学部分第1~2章、运动学部分第5~8章进行了重新编写;新增了部分例题、习题,增加了部分图片,图文并茂,更有利于理解和掌握基本概念、理论和方法;将第1版的第2章平面汇交力系与平面力偶系、第3章平面任意力系合并为现在的第2章平面力系,结构更加紧凑;全书的版式进行了全新的编排,每章前都设有教学目标、教学要求,教学要求分为知识要点、能力要求和相关知识,增加了基本概念、引例,章后加了小结,便于读者自学。

本书由张俊彦教授(绪论、第3~4章、第9~12章)和赵荣国副教授主编(第1~2章、第5~8章),康颖安副教授参编(第13~14章)。

本书编写人员长期担任理论力学的教学工作,书中融合了多年的教学经验与体会,是集体智慧的结晶。但由于水平有限、时间仓促,不妥之处在所难免,衷心希望广大读者批评指正。

编 者

2011年9月

目 录

绪论	1
----------	---

第 1 章 静力学公理和受力分析	4
------------------------	---

1.1 静力学基本概念	5
1.1.1 刚体	5
1.1.2 力的概念	6
1.1.3 力的分类	6
1.1.4 力系	7
1.2 静力学公理	7
1.3 约束和约束反力	11
1.4 物体的受力分析和受力图	15
本章小结	20
思考题	20
习题	22

第 2 章 平面力系	25
------------------	----

2.1 平面汇交力系	26
2.1.1 平面汇交力系合成的 几何法	26
2.1.2 平面汇交力系平衡的 几何条件	27
2.1.3 平面汇交力系合成的 解析法	29
2.1.4 平面汇交力系平衡的 解析条件	30
2.2 力对点之矩和平面力偶	32
2.2.1 力对点之矩	32
2.2.2 合力矩定理	33
2.2.3 力偶和力偶矩	34
2.2.4 平面力偶系的合成与 平衡条件	36
2.3 平面一般力系的简化	38

2.3.1 力的平移定理	38
2.3.2 平面任意力系向作用 面内一点简化	39
2.3.3 平面一般力系的简化 结果分析	42
2.3.4 平面一般力系的合力矩 定理	42
2.4 平面一般力系的平衡条件和 平衡方程	44
2.4.1 平面一般力系平衡的 充要条件	45
2.4.2 平面一般力系的平衡 方程	45
2.4.3 平面平行力系的平衡 方程	47
2.5 物体系统的平衡·静定和超静定 问题	49
2.6 平面静定桁架的内力计算	52
2.6.1 节点法	53
2.6.2 截面法	55
本章小结	56
思考题	59
习题	61

第 3 章 空间力系	69
------------------	----

3.1 空间汇交力系	70
3.1.1 力在空间直角坐标轴上 的投影及分解	70
3.1.2 空间汇交力系的合成与 平衡	71
3.2 力对点之矩和力对轴之矩	73
3.2.1 空间力系中力对点之矩 的矢量表示	74
3.2.2 空间力系中力对轴之矩	74



3.2.3 力对点之矩与力对通过 该点的轴之矩间的关系	75	5.2.2 点的速度	120
3.3 空间力偶	75	5.2.3 点的加速度	120
3.3.1 空间力偶的等效定理	75	5.3 自然轴系法	125
3.3.2 空间力偶系的合成与 平衡	77	5.3.1 点的运动方程	125
3.4 空间任意力系向一点的简化 主矢和主矩	77	5.3.2 自然轴系	126
3.5 空间任意力系的简化结果 分析	79	5.3.3 点的速度	127
3.6 空间任意力系的平衡方程	81	5.3.4 点的加速度	127
3.7 重心	85	5.3.5 点作匀速和匀变速曲线 运动的情形	129
本章小结	90	5.4 点的速度和加速度在柱坐标和 极坐标中的投影	133
思考题	91	5.4.1 点的运动方程	133
习题	92	5.4.2 点的速度在柱坐标和 极坐标中的投影	133
第4章 摩擦	98	5.4.3 点的加速度在柱坐标和 极坐标中的投影	135
4.1 滑动摩擦	99	5.5 点的速度和加速度在球坐标中 的投影	136
4.1.1 静滑动摩擦力与静滑动 摩擦定律	99	5.5.1 点的运动方程	136
4.1.2 动滑动摩擦力与动滑动 摩擦定律	101	5.5.2 点的速度在球坐标中 的投影	136
4.2 考虑摩擦时的平衡问题	101	5.5.3 点的加速度在球坐标中 的投影	137
4.3 摩擦角与自锁现象	104	本章小结	138
4.3.1 摩擦角	104	思考题	138
4.3.2 自锁现象	105	习题	140
4.3.3 摩擦角的应用	106	第6章 刚体的简单运动	143
4.4 滚动摩擦阻	107	6.1 刚体的平行移动	144
本章小结	110	6.2 刚体绕定轴的转动	146
思考题	111	6.2.1 转动方程	146
习题	112	6.2.2 刚体转动的角速度	147
第5章 点的运动学	116	6.2.3 刚体转动的角加速度	147
5.1 矢量法	117	6.2.4 刚体作匀速转动和匀变速 转动的情形	147
5.1.1 点的运动方程	117	6.3 转动刚体内各点的速度和 加速度	148
5.1.2 点的速度	118	6.3.1 刚体内一点的运动 方程	148
5.1.3 点的加速度	118	6.3.2 刚体内一点的速度	149
5.2 直角坐标法	119		
5.2.1 点的运动方程	119		

6.3.3 刚体内一点的加速度	149	思考题	200
6.4 轮系的传动比	153	习题	201
6.4.1 齿轮传动	153	第9章 质点动力学基本方程	205
6.4.2 皮带轮传动	154	9.1 惯性坐标系定义	206
6.5 角速度和角加速度、速度和加速度的表示	155	9.2 牛顿定律	206
6.5.1 以矢量表示角速度和角加速度	156	9.3 质点运动微分方程	207
6.5.2 以矢积表示点的速度和加速度	157	9.4 质点动力学两类问题的应用	208
本章小结	159	9.5 动力学建模方法要点	211
思考题	159	本章小结	212
习题	160	思考题	212
第7章 点的合成运动	163	习题	212
7.1 点的合成运动的概念	164	第10章 动量定理	216
7.2 点的速度合成定理	167	10.1 质点的动量定理	217
7.3 牵连运动为平动时点的加速度合成定理	169	10.2 质点系的动量定理	218
7.4 牵连运动为转动时点的加速度合成定理	172	10.3 质量中心——质心运动定理	223
本章小结	178	本章小结	228
思考题	178	思考题	229
习题	179	习题	229
第8章 刚体的平面运动	185	第11章 动量矩定理	232
8.1 刚体平面运动概述和运动分解	186	11.1 转动惯量	233
8.1.1 刚体平面运动的概念	186	11.1.1 刚体对轴的转动惯量	233
8.1.2 刚体平面运动的运动方程	186	11.1.2 平行轴定理	236
8.1.3 刚体平面运动的分解	187	11.1.3 惯性积与惯性主轴	237
8.1.4 基点的选择	188	11.2 动量矩	238
8.2 求平面图形内各点速度的基点法	189	11.2.1 质点的动量矩	238
8.3 求平面图形内各点速度的瞬心法	192	11.2.2 质点系的动量矩	239
8.4 用基点法求平面图形内各点的加速度	195	11.2.3 刚体的动量矩	240
本章小结	199	11.3 动量矩定理	240
		11.3.1 质点的动量矩定理	240
		11.3.2 质点系的动量矩定理	241
		11.3.3 动量矩守恒定理	243
		11.4 刚体绕定轴转动的微分方程	244
		11.5 质点系相对于质心的动量矩定理	245
		11.5.1 质点系相对质心的动量矩	245



11.5.2 质点系相对于质心的 动量矩定理	246	13.3 刚体惯性力系的简化	292
11.6 刚体平面运动微分方程	247	13.4 绕定轴转动的刚体轴承动 反力	297
本章小结	252	本章小结	299
思考题	252	思考题	299
习题	253	习题	300
第12章 动能定理	258	第14章 虚位移原理	304
12.1 力的功	259	14.1 约束·虚位移·虚功	305
12.2 动能	262	14.1.1 约束与约束方程	305
12.2.1 质点与质点系的动能 ..	262	14.1.2 虚位移	307
12.2.2 刚体的动能	262	14.1.3 虚功	307
12.3 动能定理	264	14.2 虚位移原理	308
12.4 功率、功率方程、机械效率 ..	270	14.3 自由度和广义坐标	311
12.5 势力场、势能、机械能守恒 ..	273	14.4 以广义坐标表示的质点系平衡 条件	311
12.6 综合应用	276	本章小结	313
本章小结	279	思考题	314
思考题	280	习题	314
习题	280	附录A 习题参考答案	318
第13章 达朗伯原理	287	附录B 主要符号表	330
13.1 惯性力·质点的达朗伯原理 ..	288	参考文献	331
13.1.1 惯性力	288		
13.1.2 质点的达朗伯原理	289		
13.2 质点系的达朗伯原理	291		



绪 论



1. 理论力学的研究对象

理论力学是研究物体机械运动一般规律的一门学科。所谓机械运动是指物体的空间位置随时间的变动,例如天体的运行,车辆、船只的行驶,各种机器的运转,空气、河水的流动,等等。平衡则是机械运动的特殊情况。

现代哲学指出,运动是物质存在的形式,是物质的固有属性,它包括宇宙中所发生的一切变化与过程。因此,物质的运动形式是多种多样的。除机械运动外,物理中的发热、发光和电磁现象,化学中的化合与分解,以及人的思维活动,等等都是物质的运动形式。在多种多样的运动形式中,机械运动是自然界和工程中最常见、最简单的一种。而在更为高级和复杂的运动中,往往也会伴随着机械运动。所以,理论力学的概念、规律和方法在一定程度上也被应用于自然科学的其他领域中,对它们的发展起到了积极的作用。

理论力学所研究的内容是以伽利略和牛顿所建立的基本定律为基础的,属于古典力学范畴。在全部科学中,古典力学最成功地把来自经验的物理理论,系统地表达成数学抽象的简明形式(定律),从而在一定程度上奠定了科学大厦的基础。这些定律就是理论力学课程的科学根据。尽管在20世纪初,由于物理学的重大发展,产生了相对论力学和量子力学,证明古典力学的定律不适用于物体运动速度接近于光速的情况,也不适用于微观粒子的运动。但在一般工程实际问题中,即使是一些尖端技术如火箭、宇宙航行等,我们研究的也还是宏观物体的低速(与光速比较)运动,古典力学仍然是既方便又足够精确的理论,一直未失去其应用价值。

为了便于研究,理论力学通常分为以下三部分。

静力学——研究物体平衡时作用力之间的关系。

运动学——研究运动物体的几何性质(如轨迹、速度和加速度等),而不考虑作用于物体上的力。

动力学——研究作用于物体上的力与运动变化之间的关系。

2. 理论力学的研究方法

任何一门科学的研究方法都不能离开认识过程的客观规律,理论力学也不例外。概括地说,理论力学的研究方法是从对事物的观察、实践和科学实验出发,经过分析、综合归纳和抽象化,建立力学模型,形成力学最基本的概念和定律;在基本定律的基础上,经过逻辑推理和数学演绎,得出具有物理意义和实用意义的结论和定理,从而将通过实践得来的大量感性认识上升为理性认识,构成力学的理论体系;然后再回到实践中验证理论的正确性,并在更高的水平上指导实践,同时从这个过程中获得新的材料、新的认识,再进一步完善和发展理论力学。

理论力学有着严密的逻辑系统,它与数学的关系非常密切,数学不仅是推理的工具,同时也是计算的工具。力学现象之间的关系总是通过数量表示的。因此,计算技术在力学的应用和发展上有巨大的作用。现代电子计算机的出现,为计算技术在工程技术问题中的应用开辟了广阔的前景,大大促进了数学在力学中的应用。处理力学问题的一般途径是:先将所研究的问题抽象为力学模型,这些模型既要能反映问题的矛盾主体,又要便于求解;再按力学的基本原理和各力学量间的数学关系建立方程;然后运用一定的数学工具求解;最后根据具体问题,对数学解进行分析讨论,甚至确定取舍。其中,建立力学模型的

抽象化过程是很重要的。一步，它包含对所研究的问题和对象的认真周密的观察和了解，确定问题的要点，忽略问题的次要因素，用一理想的模型来反映客观事物的本质。当然，力学模型的建立也并非绝对的。同一事物、同一问题，由于在不同情况下着重反映它本质的不同方面，因而也就可能建立起不同的力学模型。

3. 理论力学的学习目的

既然机械运动是自然界和工程中最常见的一种运动，那么也就不难理解理论力学对现代自然科学和工程技术起着何等重要的作用。掌握了物体机械运动的规律，就可以解决在工程上所遇到的有关问题。当然，有些工程问题可以直接应用理论力学的基本理论去解决，有些则需要用理论力学和其他专门知识来共同解决。因此，学习理论力学是为了解决工程问题打下一定的基础。

由于理论力学是现代工程技术的基础，所以它是工科院校各专业的教学计划中的一门重要的技术基础课，它为学习一系列后继课程打下基础。例如，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、振动理论以及许多专业课程等，都要以理论力学为基础。另外，随着现代科学技术的发展，力学与其他学科相互渗透，形成了许多边缘学科，它们也都是以理论力学为基础的。可见学习理论力学，也有助于学习其他的基础理论，掌握新的科学技术。

此外，理论力学的分析和研究方法在科学研究中有一定的典型性，有助于培养学生对工程实际问题抽象、简化和正确地进行分析的能力；有助于培养学生的辩证唯物主义世界观，树立正确的思想方法，并能自觉地运用科学规律来改造自然，提高分析问题和解决问题的能力，为以后参加生产实践和从事科学研究打下良好的基础。

第 / 章

静力学公理和受力分析

教学目标

本章主要介绍静力学的基本概念、静力学公理、约束、物体的受力分析等内容。通过本章的学习，应达到以下目标。

- (1) 理解刚体、力、平衡、约束、约束反力等静力学的基本概念，掌握静力学公理及其推论。
- (2) 掌握工程中常见的典型约束的基本特征及约束反力的表示方法。
- (3) 熟练掌握物体的受力分析方法，能够对物体或物体系统进行正确的受力分析。

教学要求

知识要点	能力要求	相关知识
静力学公理	(1) 理解刚体、力、力系、平衡等基本概念 (2) 掌握静力学五个基本公理	(1) 力的平行四边形法则 (2) 二力平衡条件 (3) 加减平衡力系原理 (4) 作用和反作用定律 (5) 刚化原理
约束	(1) 理解工程中常见的约束类型 (2) 能够正确画出约束反力	(1) 柔索、链条、胶带约束 (2) 光滑接触面约束 (3) 光滑铰链约束
受力分析	(1) 掌握物体的受力分析方法 (2) 熟练画出物体或物体系统的受力图	(1) 选取研究对象或分离体 (2) 主动力和约束反力 (3) 二力平衡、三力平衡汇交定理应用



基本概念

刚体；力；力的外效应；力的内效应；主动力；约束反力；力系；等效力系；力系的简化；合力；分力；平衡力系；分离体；受力图。



引例

静力学研究作用于物体上力系的平衡。本章将介绍刚体与力的概念及静力学公理，并阐述工程中常见的约束和约束反力的分析，介绍物体或物系的受力分析方法以及受力图的画法。在静力学中，主要研究物体的受力分析、力系的等效替换或力系的简化、力系的平衡条件及其应用3个问题。物体的受力分析和受力图是解决力学问题的重要环节。力系的简化不仅是为了导出力系的平衡条件，而且也为动力学研究提供理论基础。力系的平衡条件在工程中有着广泛的应用，是结构、构件和机械零件设计静力计算的基础。

例如，平面构架由杆 AD 、 BE 、 CF 铰接而成， A 为固定铰链支座， D 为滚动支座，点 F 处用绳索系一重为 P 的物体，不计各杆及滑轮自重。试画出构架整体及各杆的受力图。

1.1 静力学基本概念

平衡是物体机械运动的一种特殊状态。在静力学中，若物体相对于惯性参考系(如地面)保持静止或作匀速直线平动，则称物体处于平衡(equilibrium)。静力学的基本概念、公理及物体的受力分析是研究静力学的基础。本章将介绍静力学的基本概念和公理，讨论工程中常见的约束类型及约束反力的分析，研究物体的受力分析方法及受力图的画法。

1.1.1 刚体

刚体是静力学所研究的主要对象。刚体(rigid)指的是在力的作用下其内部任意两点之间的距离保持不变的物体，或者说在力的作用下其大小和形状均不改变的物体。显然，任何物体在力的作用下，都会发生或多或少的变形。但是，有许多物体，如机器和工程结构的构件，在受力后所产生的变形很小，在研究力对物体的平衡问题时，其影响很小，可以忽略不计。这样就可以把物体视为不变形的刚体，使问题的研究得到简化。因此，刚体是一个经过简化和抽象后的理想模型。

需要指出的是，不能把刚体的概念绝对化，是否可以把物体抽象为刚体与所研究的问题的性质有关。在所研究的物体产生变形，而且变形是主要因素的情况下，就不能把物体视为刚体，而应视为变形体来分析。例如，在计算工程结构的位移时，就常常要考虑各种因素所引起的变形。这类问题将在材料力学、结构力学、弹性力学、塑性力学以及流体力学等学科中进行研究。

在理论力学中，由于静力学所研究的对象仅限于刚体，因而又称为刚体静力学。它是分析变形体力学的理论基础。



1.1.2 力的概念

人类对力的认识是在生活和生产的实践中产生的。经过长期实践,从感性到理性,人们逐渐建立了力的概念。力(force)是物体间的相互机械作用,这种作用使物体的机械运动状态发生变化,或使物体产生变形。从力的概念可知,力的效应有二:其一是使物体的机械运动状态发生变化,这种效应称为力的**运动效应**或**外效应**;其二是使物体产生变形,这种效应称为力的**变形效应**或**内效应**。对于不变形的刚体而言,力只改变其机械运动状态。理论力学只研究力的外效应。

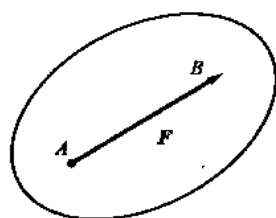


图 1.1 力的矢量表示

力的大小、方向、作用点称为力的三要素。实践表明,力对物体的作用效应,完全取决于这3个因素,若改变这3个因素的任意一个因素,都会改变力对物体的作用效应。力是一个既有大小又有方向的量,可以用矢量 F 来表示,如图1.1所示。线段的长度(按选定的比例)表示力的大小,线段的方位和箭头表示力的方向,线段的起点或终点表示力的作用点。通过力的作用点并沿着力的方位的直线,称为力的作用线。

在国际单位制(SI)中,力的单位用牛顿(N)或千牛顿(kN)表示。在工程单位制中,力的单位常用千克力(kgf)或吨力(tf)表示。两者的换算关系为

$$1\text{ kgf}=9.8\text{ N}$$

1.1.3 力的分类

通常将作用在物体上的力分为两类,即主动力和被动力(约束反力)。使物体运动状态发生改变或使物体有运动趋势的力称为**主动力**(active force),如重力、风压力、水压力、土压力等。在工程上,通常把作用在结构上的主动力称为**载荷**(load)。

按分布情况进行分类,力可以分为集中力和分布力。力实际上作用在一块面积上,但是,当作用面积相对于物体很小时,可近似认为力作用在一个点上。作用一点的力,称为**集中力**(concentrated force)或**集中载荷**。例如,汽车轮胎作用在桥面上的压力,轮胎与桥面的接触面积较小,就可以视为集中载荷,如图1.2所示。若力的作用面积较大,则称为**分布力**(distributed force)或**分布载荷**。例如,建筑物承受的风压力,水工大坝迎水面承受的水压力,挡土墙承受的土压力等,都属于分布力。当载荷连续作用于整个物体的体积上时,称为**体力**(body force)或**体载荷**,如物体在重力场中所受到的重力,有加速度物体受到的惯性力等。当载荷连续作用于物体的某一表面积上时,称为**面力**(surface force)或**面载荷**,如风、雪、水等对工程构筑物的压力等。当物体所受的力,是沿着一条线连续分布且相互平行的力系,称为**线力**(line force)或**线载荷**。例如,梁的自重,可以简化为沿梁的轴线分布的线载荷,如图1.3所示。单位长度上所受的力,称为分布力在该处的**载荷集度**,通常用 q 表示。线载荷的载荷集度单位为 N/m 或 kN/m 。面载荷的载荷集度单位为 N/m^2 或 kN/m^2 。体载荷的载荷集度单位为 N/m^3 或 kN/m^3 。若载荷集度 q 为常数,则称该分布力为**均布载荷**,否则称为**非均布载荷**。

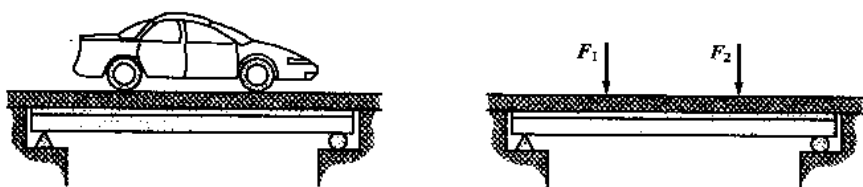


图 1.2 汽车轮胎对桥梁的压力



图 1.3 桥梁的自重简化为线载荷

根据载荷作用时间的长短分类,力可以分为恒载(永久载荷)和活载(可变载荷)。恒载(dead load)是长期作用在结构上的不变载荷,如结构的自重。活载(live load)是在结构施工和使用期间可能存在的可变载荷,如楼面载荷、屋面载荷、风载荷等。对结构进行计算时,恒载和大部分活载(如风载荷、雪载荷等)在结构上的作用位置可以认为是固定的,这种载荷称为**固定载荷**(fixed load)。有些活载在结构上的位置是变动的,如吊车梁上的吊车载荷,桥梁上的汽车载荷等,这种载荷称为**移动载荷**(moving load)。

根据载荷作用的性质分类,力可以分为静力载荷和动力载荷。**静力载荷**(static load)的大小、方向和作用位置不随时间变化,或者随时间变化极为缓慢,不使结构产生显著的加速度,因而惯性力可以忽略不计。**动力载荷**(dynamic load)是随时间迅速变化或在短时间内突然作用或消失的载荷,使结构产生显著的加速度,因而惯性力的影响不能忽略。

1.1.4 力系

作用在物体上的一群力称为**力系**(force system)。两个力系对同一物体产生的运动效应相同,则称这两个力系互为**等效力系**(equivalent force system)。在不改变作用效果的前提下,用一个简单力系代替复杂力系的过程,称为**力系的简化或力系的合成**(composition of force)。若一个力与一个力系等效,则称此力为该力系的**合力**(resultant force),而称力系中的各个力为其合力的**分力**(component force)。合力对物体的作用效果等效于所有分力的作用效果。若作用在物体上的力系使物体处于平衡状态,则称该力系为**平衡力系**(equilibrium force system)。要使物体处于平衡状态,就必须使作用在物体上的力系满足一定的条件,这些条件称为**力系的平衡条件**。物体在各种力系作用下的平衡条件在建筑结构、道路桥梁以及机械工程中有着广泛的应用。

1.2 静力学公理

公理(axiom)是人们在生活和生产实践中长期积累的经验总结,又经过实践检验,被



确认是符合客观实际的最普遍、最一般的规律。静力学公理阐述了力的一些基本性质,是研究力系简化和平衡条件的理论基础。

公理1 力的平行四边形公理

作用在物体上同一点的两个力,可以合成为一个合力。合力的作用点也在该点,合力的大小和方向由这两个力为边构成的平行四边形的对角线确定,如图1.4(a)所示。这种合成方法称为力的平行四边形法则。合力矢等于这两个力矢的几何和,即

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 \quad (1-1)$$

合力 $\mathbf{F}$ 与两力 $\mathbf{F}_1$ 、 $\mathbf{F}_2$ 的共同作用等效。有时,为了方便,可以不必作出整个平行四边形,而是由点 O 作矢量 $\mathbf{F}_1$,再由 $\mathbf{F}_1$ 的末端作矢量 $\mathbf{F}_2$ [图1.4(b)],或者由点 O 作矢量 $\mathbf{F}_2$,再由 $\mathbf{F}_2$ 的末端作矢量 $\mathbf{F}_1$ [图1.4(c)],则力三角形的封闭边即为合力矢 $\mathbf{F}_R$ 。这种求合力的方法称为力的三角形法则。

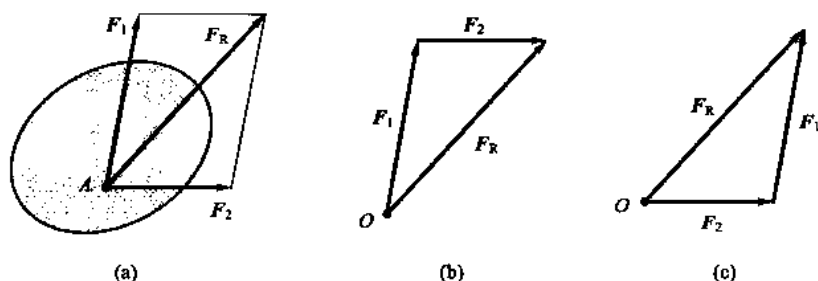


图1.4 力的平行四边形法则和三角形法则

力的平行四边形公理表明了最简单力系的简化规律,它是复杂力系简化的基础。

公理2 二力平衡公理

作用在刚体上的两个力,使刚体保持平衡的必要和充分条件是:这两个力的大小相等,方向相反,且作用在同一条直线上,如图1.5所示,即

$$\mathbf{F}_1 = -\mathbf{F}_2 \quad (1-2)$$

对于只受两个力作用而处于平衡的刚体,称为二力构件,如图1.6所示。根据二力平衡条件可知,二力构件不论其形状如何,所受两个力的作用线必沿二力作用点的连线。若一根直杆 [图1.7(a)] 或曲杆 [图1.7(b)] 只在两点受力且处于平衡状态,则称该杆为二力杆(two-force member)。对于直杆,二力的作用线必与杆的轴线重合,如图1.7(a)所示。

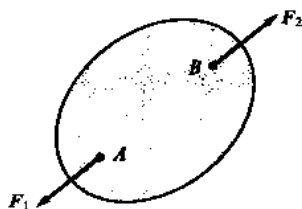


图1.5 二力平衡条件

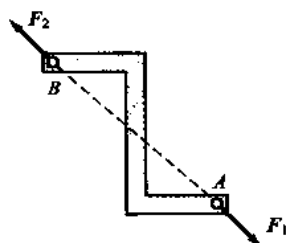


图1.6 二力构件