



高等学校
土建类应用型本科规划教材



Engineering Mechanics

工程力学

主 编 刘淑红 田玉梅
主 审 沈蒲生



人民交通出版社
China Communications Press

TB12/123

2007



高等学校
土建类应用型本科规划教材

工程力学

主 编 刘淑红 田玉梅
副主编 张群祎 刘 彭 刘 宏
主 审 沈蒲生



人民交通出版社

China Communications Press

图书在版编目 (CIP) 数据

工程力学/刘淑红,田玉梅主编. —北京:人民交通出版社,2007.8

ISBN 978-7-114-06303-9

I.工... II.①刘...②田... III.工程力学-高等学校-教材 IV.TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 146707 号

书 名: 工程力学

著 作 者: 刘淑红 田玉梅

责任编辑: 王 霞(wxccpress@126.com)

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpress.com.cn>

销售电话: (010)85285838,85285995

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京凯通印刷厂

开 本: 787×960 1/16

印 张: 19.75

字 数: 367 千

版 次: 2007 年 8 月第 1 版

印 次: 2007 年 8 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-06303-9

定 价: 28.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前 言

本书由全国高等学校土建学科工程管理专业教材编写委员会组织编写。为了适应 21 世纪人才培养的需要,结合土建学科工程管理专业建设、课程建设和教学内容、方法的改革,我们编写了符合教学基本要求、具有应用型定位特色的教材。同时,注意了课程之间的衔接,避免了脱节和不必要的重复,为工程结构及其他专业课程的学习打下基础。

本书共 18 章,内容包括:绪论、静力学基本公理及受力分析、汇交力系和力偶系、平面任意力系、空间力系、摩擦、弹性变形体基本知识、轴向拉伸和压缩、剪切与挤压、扭转、弯曲内力、弯曲应力、弯曲变形、应力状态分析与强度理论、组合变形、压杆稳定、能量法、疲劳强度问题。为便于学习,每章后均附有习题,供读者练习。

本书由刘淑红、田玉梅任主编,由刘淑红负责统稿。参加本书编写的有:石家庄铁道学院刘淑红、段淑敏、孔艳平、郭树起、王洪军(第一、三、四、五、六章),华北科技学院刘彭(第二、十章、附录),东北林业大学田玉梅(第七、八、九、十七、十八章),平顶山工学院教务处张群祎(第十一、十二、十三章),山西大学工程学院闫晓媛(第十四章),山西大学工程学院刘宏(第十五、十六章)。

本书在编写过程中,主要参考了范钦珊、哈尔滨工业大学理论力学教研室编写的《理论力学》,单辉祖、范钦珊和殷雅俊、孙训方和方孝淑编写的《材料力学》,单辉祖等编写的《工程力学》,同时还参考了国内外其他一些优秀教材,在此谨向这些教材的编著者深表感谢。

本书承蒙湖南大学土木学院沈蒲生教授审阅,提出了许多精辟而中肯的意见,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中难免存在一些不足之处,敬请读者批评指正。

编者

2007 年 6 月

学习导言

同学们好！欢迎你们进入工程力学课程的学习。在开始学习这门课程之前，我们就多年来的教学经验，给大家简单介绍一下工程力学对今后的学习和工作的作用、重点章节、学习方法及重要参考文献，希望能为大家学好这门课程提供一点帮助。

工程力学是一门重要的技术基础课，在工程技术领域中有着广泛的应用。它以高等数学、物理课程为基础，通过本课程的学习，使学生对工程中杆件的平衡、强度、刚度和稳定性问题具有明确的基本概念、必要的基础知识和初步的计算能力，从而能对简单工程实际问题进行定性的力学分析。它是结构力学、钢结构、混凝土结构、土力学等许多后续课程的基础。

本教材将工程力学课程的内容分为18章，第2章至第6章是理论力学静力学部分，主要研究物体受力的分析、力系的简化以及在各种力系作用下的平衡条件。其中，第4章是重点，分别应用平面汇交力系、任意力系的平衡方程，分析和解决平面简单桁架的内力计算、物体系统的平衡问题。在物体系统中，一方面构件数目不止一个，另一方面约束和受力部比较复杂。因此，一般情形下，如果只考虑整个物体系统（整体）的平衡，或者只考虑部分系统、某个构件（局部）的平衡，都不能解出全部未知力。

第7章至第18章是材料力学部分。研究构件在外力作用下的变形与破坏的规律，为合理设计构件提供有关强度、刚度与稳定性分析的基本理论与方法。其中，第8、11、12章是重点。第8章轴向拉伸与压缩是基本受力与变形形式中最简单的一种，这一章所介绍的基本概念、基本方法及材料的力学性能在以后各章具有普遍意义。第11章弯曲内力重点掌握平面弯曲的概念，梁指定截面剪力、弯矩的计算方法，会用剪力方程、弯矩方程及用梁的内力与荷载集度之间的关系绘制剪力图、弯矩图。第12章弯曲应力重点掌握梁横截面正应力和切应力的计算公式及沿截面高度的分布规律，最大正应力和最大切应力的计算公式，梁的正应力和切应力强度条件，并会用强度条件解决问题。

工程力学的每一章都与前一章有一定的联系，如果有不明白的章节，或者问老师，或者自己看书，一定要及时弄清楚，否则，后面的内容就不容易学会，导致对

这门课程失去学习兴趣。学习工程力学，切忌死记硬背，同学们经常反映，老师一讲就明白，自己做题时，不知如何下手。因此，要学好该课程，除了认真听课和复习外，还需要做一定数量的习题，只有这样，才能真正掌握基本概念和求解具体问题的方法。

同学们在学习过程中，遇到不解的问题，可参考以下国内优秀教材：

1. 哈尔滨工业大学理论力学教研室. 理论力学. 北京：高等教育出版社，2002. 8
2. 孙训方，方孝淑. 材料力学. 北京：高等教育出版社，2002. 8
3. 单辉祖，谢传锋. 工程力学. 北京：高等教育出版社，2004. 1
4. 范钦珊. 工程力学. 北京：清华大学出版社，2005. 8

如欲深入了解本学科的前沿知识，可查阅中国力学学会主办的期刊《工程力学》。

最后，祝同学们能够顺利完成本课程的学习任务，并能在将来的工作和研究中有所建树。

编者

2007. 6

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 工程力学的研究对象和任务	1
1.2 工程力学的研究内容	2
1.3 工程力学的研究方法	2
第 2 章 静力学基本公理及受力分析	4
2.1 静力学基本概念	4
2.2 静力学基本公理	6
2.3 各种常见的约束和约束反力	9
2.4 物体的受力分析和受力图.....	12
第 3 章 平面汇交力系与平面力偶系	19
3.1 平面汇交力系合成与平衡的几何法.....	19
3.2 平面汇交力系合成与平衡的解析法.....	21
3.3 平面力对点的矩.....	24
3.4 平面力偶理论.....	25
第 4 章 平面任意力系	32
4.1 平面任意力系向作用面内一点简化.....	32
4.2 平面任意力系的平衡条件和平衡方程.....	37
4.3 物体系统的平衡.....	40
4.4 平面简单桁架的内力计算.....	44
第 5 章 空间力系	56
5.1 空间任意力系的简化.....	56
5.2 空间任意力系的平衡条件和平衡方程.....	61
5.3 重心.....	63
第 6 章 摩擦	70
6.1 滑动摩擦.....	70



6.2 考虑滑动摩擦时的平衡问题	73
第7章 变形体基本知识	79
7.1 变形体的概念和基本假设	79
7.2 外力和内力	80
7.3 正应力和切应力	81
7.4 正应变和切应变	83
7.5 胡克定律	83
7.6 杆件变形的基本形式	84
第8章 轴向拉伸与压缩	88
8.1 轴向拉伸与压缩概念	88
8.2 轴力与轴力图	88
8.3 拉压杆的应力和圣维南原理	91
8.4 材料拉伸、压缩时的力学性能	94
8.5 应力集中的概念	99
8.6 拉压杆的强度计算	99
8.7 拉压杆的变形计算	102
8.8 简单拉压静不定问题	105
第9章 剪切与挤压	117
9.1 剪切与挤压的概念	117
9.2 剪切的实用计算	118
9.3 挤压的实用计算	119
第10章 扭转	125
10.1 扭转的概念	125
10.2 扭矩与扭矩图	126
10.3 薄壁圆筒的扭转	129
10.4 切应力互等定理	130
10.5 圆轴的扭转应力与强度条件	131
10.6 圆轴扭转变形与刚度计算	135
10.7 非圆截面轴扭转简介	138
第11章 弯曲内力	144
11.1 梁的平面弯曲的概念和计算简图	144
11.2 梁的内力—剪力和弯矩	146
11.3 用剪力方程和弯矩方程绘剪力图和弯矩图	148

11.4	剪力、弯矩与荷载集度之间的微分关系	152
第 12 章	弯曲应力	159
12.1	梁的弯曲正应力	159
12.2	梁的弯曲切应力	164
12.3	梁的强度条件	168
12.4	提高梁弯曲强度的措施	174
第 13 章	弯曲变形	182
13.1	弯曲变形的基本概念	182
13.2	积分法求梁的变形	184
13.3	计算梁位移的叠加法	189
13.4	梁的刚度条件与合理刚度设计	191
第 14 章	应力状态和强度理论	198
14.1	应力状态的概念	199
14.2	平面应力状态分析	200
14.3	极值应力及所在平面的方位	203
14.4	三向应力状态	206
14.5	广义胡克定律	209
14.6	强度理论	210
第 15 章	组合变形	220
15.1	组合变形的概念	220
15.2	拉伸(压缩)与弯曲组合变形	221
15.3	双对称截面非对称弯曲	224
15.4	弯曲与扭转组合变形	227
第 16 章	压杆稳定	235
16.1	压杆稳定的概念	235
16.2	压杆临界力的欧拉公式	237
16.3	临界应力和临界应力总图	242
16.4	压杆的稳定性计算	246
16.5	提高压杆稳定性的措施	250
第 17 章	能量法	256
17.1	功能原理	256
17.2	杆件外力功与应变能计算	256
17.3	单位荷载法	260
17.4	冲击应力分析	264

第 18 章 疲劳强度概述	272
18.1 疲劳破坏的概念	272
18.2 交变应力的类型	275
18.3 材料的疲劳极限	276
18.4 影响构件疲劳极限的主要因素	276
18.5 对称循环下构件的疲劳强度计算	277
附录 A 常见截面的几何性质	282
A.1 静矩	282
A.2 惯性矩	283
A.3 平行移轴公式	284
附录 B 简单载荷作用下梁的挠度和转角	288
参考答案	292

第 1 章

绪 论

本章概要

作为高等工科学校的一门基础课程,工程力学研究自然界以及各种工程中机械运动最普遍、最基本的规律,以指导人们认识自然界、科学地从事工程技术工作。它涵盖了原有理论力学和材料力学两门课程的主要经典内容。工程力学课程不仅与力学密切相关,而又紧密联系于广泛的工程实际。

1.1 工程力学的研究对象和任务

在国民经济的各个领域,如工农业生产及国防装备当中,广泛地使用着各种机械与工程结构,组成这些机械和工程结构的基本单元称为构件,如转轴、杆件、钢丝绳等。在实际工作中,各构件都会受到力的作用,这些力称为荷载。例如,房屋建筑中的梁承受楼板传给它的重量;火车轮轴承受由车厢与车轮传来的外力。

在外力作用下,构件的尺寸与形状发生改变。构件尺寸与形状的变化称为变形。构件的变形分为两类:一类为外力解除后可消失的变形,称为弹性变形;另一类为外力解除后不能消失的变形,称为塑性变形或残余变形。

实践表明:作用力愈大,构件的变形愈大,而当作用力过大时,构件则将发生断裂或显著塑性变形。显然,构件工作时发生意外断裂或显著塑性变形是不容许的。另外,有些细长构件在轴向压力作用下,将发生不能保持其原有平衡形式的现象,从直线形状突然变弯,这种现象称为失稳。构件工作时产生失稳一般也是不容许的。例如,桥梁结构的受压杆件失稳,将可能导致桥梁结构的整体或局部坍塌和破坏。

工程力学就是以构件为研究对象,运用力学的一般规律分析和求解构件受力的情况及平衡问题,建立构件安全工作的力学条件的一门学科。同时,为了使设计符合经济原则,又要求少用材料或用廉价材料。工程力学的任务就是合理地解决这一矛盾,为实现既安全又经济的设计提供理论依据和计算方法。

1.2 工程力学的研究内容

本课程包括静力学与材料力学两部分内容，总称为工程力学。第2章至第6章是理论力学静力学部分，主要研究受力物体平衡时作用力所应满足的条件，同时也研究物体受力的分析方法以及力系简化的方法等。物体在空间的位置随时间的改变，称为机械运动。机械运动是人们的生活和生产实践中最常见的一种运动。本课程研究的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，属于古典力学的范畴。理论力学所研究的则是这种运动中最一般、最普遍的规律，是各门力学分支的基础。静力学不仅是材料力学的基础，也是结构力学、弹性力学等许多课程的基础。

第七章至第十八章是材料力学部分，研究构件在外力作用下的变形与破坏（或失效）的规律，为合理设计构件提供有关强度、刚度与稳定性分析的基本理论与方法。构件在外力作用下丧失正常功能的现象称为失效或破坏。工程构件失效的形式很多，但工程力学范畴内的失效通常分为三种：强度、刚度和稳定性。为保证构件正常工作，对构件设计提出如下要求：

- (1) 构件应具备足够的强度（即抵抗破坏的能力），以保证在规定的使用条件下不发生意外断裂或显著塑性变形；
- (2) 构件应具备足够的刚度（即抵抗变形的能力），以保证在规定的使用条件下不产生过大变形；
- (3) 构件应具备足够的稳定性（即保持原有平衡形式的能力），以保证在规定的使用条件下不失稳。

1.3 工程力学的研究方法

任何正确的科学研究方法，一定要符合辩证唯物主义的认识论。工程力学也必须遵循这个正确的认识规律进行研究和发 展。传统的力学研究方法有两种，即理论方法和试验方法。

在对事物观察和试验的基础上，经过抽象化建立力学模型，形成概念。客观事物都是具体的、复杂的。为找出其共同规律性，必须抓住主要因素，舍弃次要因素，建立抽象化的力学模型。例如：在研究物体受外力作用而平衡时，可以忽略物体形状的改变，采用刚体模型；但要分析物体内部的受力状态，必须考虑到物体的变形，建立弹性体的模型。这种抽象化、理想化的方法，不仅简化了所研究的问

题,而且能够达到足够的计算精度,满足工程的需要。

工程力学成功地运用逻辑推理和数学演绎的方法,由少量最基本的规律出发,得到了从多方面揭示机械运动规律的定理、定律和公式,建立了严密而完整的理论体系。数学方法在力学的发展中起了重大的作用。近代计算机的发展和普及,不仅能完成力学问题中大量的繁杂的数值计算,而且在逻辑推理、公式推导等方面也是极有效的工具。

将工程力学的理论用于实践,在解释世界、改造世界中不断得到了验证和发展。实践是检验真理的唯一标准,实践中所遇到的新问题又是促进理论发展的源泉。力学解决问题没有完全依赖理论推导,而是充分发挥实践的作用。如由试验测得强度极限,加以技术处理,与构件的最大工作应力值加以比较,建立强度条件,确立了防止构件失效的机制,从而确保结构安全、正常、有效地工作。

在力学解决问题的过程中,既有理论又有试验,力学理论在现实生活和工程中,被大量实践验证为正确。如在实践中出现矛盾,必须修正原有的理论,建立新的概念,才能正确指导实践,改造世界,并进一步地发展力学理论。

参 考 文 献

- [1] 范钦珊. 工程力学. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [2] 单辉祖, 谢传锋. 工程力学. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [3] 范钦珊, 王琪. 工程力学. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [4] 曹俊杰, 韩莹. 土木工程力学. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [5] 全沅生. 工程力学. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002.
- [6] 边文凤, 李晓玲. 工程力学(I). 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [7] 哈尔滨工业大学理论力学教研室. 理论力学. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [8] 孙训方, 方孝淑, 关来泰. 材料力学. 北京: 高等教育出版社, 2002.

第2章

静力学基本公理及受力分析

本章概要

1. 静力学基本概念和静力学公理；
2. 常见约束及其约束反力；
3. 物体的受力分析方法和受力图的画法。

静力学研究物体机械运动的特殊情形，即物体的平衡问题。物体的运动和静止，只有在选择了另一个物体作为参照时才能确定。为此，通常在参照物上设置一坐标系，称为参照系。物体的运动与静止都是相对于参照系而言的。大多数工程问题中，参照系都是设置在地球上。物体的平衡是指物体相对于地球保持静止或匀速直线运动状态。

研究物体的平衡问题就是要研究物体在外力作用下的平衡条件，以及如何应用这些条件解决工程实际问题。为此，需要将作用于物体上的复杂力系简化。所以静力学主要解决力系的简化和力系的平衡条件及其应用问题。

本章主要介绍静力学的基本概念、基本公理和物体的受力分析问题，这些内容是学习工程力学及后续许多课程的基础。

2.1 静力学基本概念

2.1.1 刚体的概念

所谓刚体是指在力的作用下，其内部任意两点之间的距离始终保持不变的物体，这是一个理想化的力学模型。实际上物体在受到外力作用时，其内部各点间的相对距离都要发生改变，这种改变称为位移。各点位移累加的结果便导致物体的形状和尺寸改变，这种改变称为变形。当物体的变形很小时，变形对物体的运动和平衡影响很小，可以忽略不计，可将物体抽象为刚体。但当研究的问题与物体的变形密切相关时，即使很微小的变形也必须加以考虑，这时就必须将物体抽象为变形体

这一力学模型。例如，在研究飞机的平衡问题或飞行规律时，我们可以把飞机视为刚体；但在研究机翼的振颤问题时，尽管机翼的变形非常小，都必须把它看作可以变形的物体。又如，建筑工地上常见的塔式吊车，如图 2-1a) 所示，为使其具有足够的承载能力，对零部件及整体进行结构设计以确定其几何形状和尺寸时，就必须考虑其变形，不能把它们看作刚体。但是，为确定塔式吊车在各种工作状态下都不发生倾覆，计算所需的配重时，整个塔式吊车又可以视为刚体，如图 2-1b) 所示。

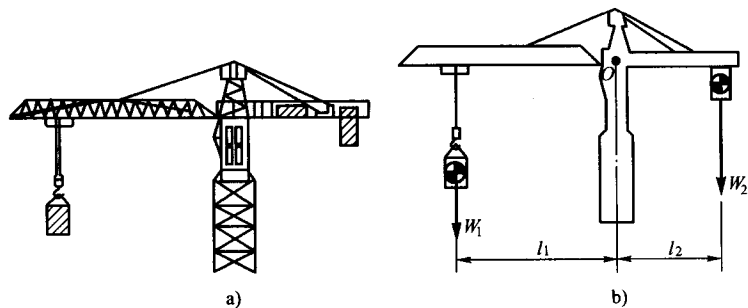


图 2-1

静力学研究的物体只限于刚体，故又称为刚体静力学，它是研究变形体力学的基础。

2.1.2 力的概念

力是物体之间相互的机械作用，其作用的效应是使物体的运动状态发生改变和使物体产生变形。力使物体运动状态发生改变的效应称为力的运动效应或外效应。力使物体产生变形的效应称为力的变形效应或内效应。在静力学部分只限于研究刚体，不考虑物体的变形，所以只考虑力的外效应。

应当指出，既然力是物体间的相互作用，所以力不能脱离物体而存在。有一个力，就必然有一个施力体和一个受力体，离开了物体间的相互作用是不能进行受力分析的。

力对物体作用的效应取决于力的三要素：力的大小、方向和作用点。所以力是矢量，应符合矢量运算法则。力的方向是指力在空间的方位和指向两个意思。力的作用点是指力在物体上的作用位置。力矢量可以用带箭矢的直线段表示，如图 2-2 所示。该线段的长度按一定的比例尺绘出表示力的大小；线段的箭头指向表示力的方向；线段的始端或终端表示力的作用点；矢量所沿的直线表示力的作用线。规定用黑体字母 $\mathbf{F}$ 表示，而用普通字母 F 表示力的大小。在国际单位制 (SI) 中，力的单位为 N (牛顿) 或 kN (千牛顿)。

物体的受力大都是通过物体间直接或间接接触进行的。接触处多数情形下不是

一个点,而是具有一定尺寸的面积。因此,无论是施力还是受力的物体,其接触处所受到的力都是作用在接触面积上的,这种分布在一定面积上的力称为分布力。分布力的大小用力的集度表示,例如水对容器壁的压力是作用在一定面积上的分布力,其大小用面积集度表示,单位为 N/m^2 或 kN/m^2 。如果力是分布在狭长面积或体积上的,那么这种力称为线分布力,其集度单位为 N/m 或 kN/m 。当分布力作用面积很小时,为了分析计算方便,可以将分布力理想化作用于一点的合力,称为集中力。例如,静止的汽车通过轮胎作用在桥面上的力,当轮胎与桥面接触面积较小时,即可视为集中力,如图 2-3a)所示;而桥面施加在桥梁上的力则为分布力,如图 2-3b)所示。

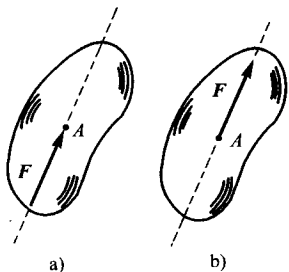


图 2-2

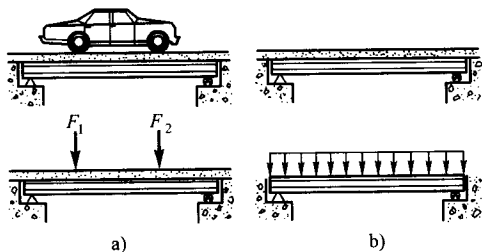


图 2-3

2.1.3 力系的相关概念

作用于一个物体上的若干力称为力系。如果作用于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。如果作用于物体上的力系可以用另一个力系代替,而不改变原力系对物体所产生的效应,则称两个力系互为等效力系。如果一个力与一个力系等效,则称这个力为该力系的合力,而该力系中的每一个力称为合力的分力。

2.2 静力学基本公理

所谓公理就是指符合客观实际,不能用更简单的原理去代替,也无需证明而为大家所公认的普遍规律。静力学基本公理是人们关于力的基本性质的概括和总结,它们构成了静力学全部理论的基础,静力学的所有定理都是借助数学工具,从这些公理中推导出来的。学习这些公理,重要的是理解、掌握和熟练应用这些公理,而

不是去重复理解这些公理的形成过程，这一点是非常重要的。

2.2.1 二力平衡公理（公理一）

作用在同一刚体上的两个力，使刚体平衡的必要且充分条件是：这两个力大小相等，方向相反，作用在一条直线上。

例如，在图 2-4 中，若各物体均在两力的作用下保持平衡，则此两力必定大小相等，方向相反，并沿着作用点 A、B 的连线作用在同一物体上。否则，该物体就不能平衡。

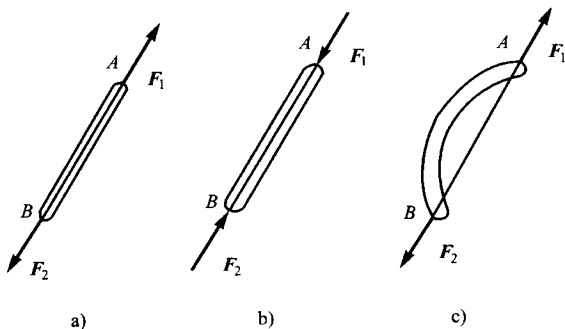


图 2-4

在工程结构中，经常遇到只有两点受力而处于平衡的构件，这类构件称为二力构件或二力杆。掌握了二力构件的受力特征，对物体进行受力分析是很有用的。

公理一揭示了作用在物体上的最简单的力系平衡时必须满足的条件，这也是推导复杂力系平衡条件的基础。对于刚体，公理一的条件是必要且充分的；但对于变形体，这却是个必要但不充分的条件。也就是说，受两个力作用的变形体，如果要平衡则必须满足这个条件，但满足了此条件的变形体却不一定能平衡。如一根软绳受到两个等值反向的拉力作用可以平衡，但受两个等值反向的压力作用却不能平衡。

2.2.2 加减平衡力系公理（公理二）

在作用于刚体上的任意力系中加上或减去任意的平衡力系，不改变原力系对刚体的作用效果。

公理二是对力系进行简化的重要理论依据。应用公理一和公理二可以得到一个重要推论（力的可传性原理）：作用于刚体上的力，可以沿其作用线移动到刚体内的任一点，不改变它对刚体的作用效果。

例如，图 2-5a) 中所示任意刚体，力 F 作用在 A 点处，如果在作用线上的任一点 B 处，加一对力 F' 、 F'' ，并使 $F' = -F'' = F$ ，如图 2-5b) 所示，根据公理二， F' 、 F'' 是一对平衡力，加上它们不会影响力 F 对该刚体的作用效果，所以由 F 、