

建筑力学与结构

(第2版)

JIANZHU LIXUE YU JIEGOU

主编 马运成 张蓓 薛倩

主审 安德锋



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

建筑力学与结构

(第2版)

主 编 马运成 张 蓓 薛 倩
副主编 孟 艳 李晓娅 程子硕 余秀娣
参 编 刘宏霞 高雨龙 王颐菲 张忠良
主 审 安德锋



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 提 要

本书分为建筑力学与建筑结构两部分,其中建筑力学部分主要包括建筑力学的基本概念、物体受力分析与结构计算简图、平面力系的合成与平衡、杆件变形形式、截面图形的几何性质、平面体系几何组成分析、静定结构内力分析;建筑结构部分主要包括建筑结构计算概述、钢筋混凝土结构基本构件、钢筋混凝土梁板结构、预应力混凝土结构构件、砌体结构、钢结构基本构件。

本书可作为高等院校土建类相关专业的教材,也可供建筑装饰工程相关技术管理人员参考使用。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

建筑力学与结构 / 马运成, 张蓓, 薛倩主编. —2版. —北京: 北京理工大学出版社, 2016. 1
ISBN 978-7-5682-1782-8

I. ①建… II. ①马… ②张… ③薛… III. ①建筑科学—力学 ②建筑结构 IV. ①TU3

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第008817号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(总编室)

82562903(教材售后服务热线)

68948351(其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京紫瑞利印刷有限公司

开 本 / 787毫米×1092毫米 1/16

印 张 / 15.5

字 数 / 357千字

版 次 / 2016年1月第2版 2016年1月第1次印刷

定 价 / 46.00元

责任编辑 / 张慧峰

文案编辑 / 张慧峰

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

第2版前言 PREFACE

本教材自出版发行以来,在有关院校的教学活动中获得了师生的一致好评。然而随着近年来我国高等教育教学的改革发展,以及建筑行业新材料、新技术、新设备的发展进步,教材的知识内容也需要随之进行更新、扩充,为此,我们根据各院校使用者的建议,以及实际生产、学习的需求,对本教材进行了修订。

本次修订在第1版的基础上,对部分陈旧内容进行了修改与充实,力求反映当前建筑工程施工领域主要的施工技术水平,进而强化教材的实用性和可操作性,使修订后的教材能更好地满足高等院校教学工作的需要。本教材的修订坚持以理论知识够用为度,以培养面向生产第一线的应用型人才为目的,强调提升学生的实践能力和动手能力。

本次修订的主要内容如下:

(1) 重新编写了各章的学习目标和能力目标,以求更准确、更概括地给出各章的关键点,进而明确强调每章学习应注意掌握的实际技能,使师生在教学活动中能够有更清晰、更明确的教学目标。

(2) 重新编写了各章小结,补充、修改了各章的思考与练习,第1版教材的课后习题较为简单,本次修订在第1版的基础上重新编写,丰富了习题形式,使其更具有操作性和实用性,有利于学生在课后进行总结、练习。

(3) 参考国家、行业最新标准规范,如《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)、《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010)、《砌体结构设计规范》(GB 50003—2011)、《建筑地基基础设计规范》(GB50007—2011)、《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)和《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)等对教材中涉及的相关内容进行了修改、补充,以使教材中的知识内容更加准确,跟上科学技术的发展需要。

(4) 根据实际生产的需求,添加了部分知识点,并补充了部分实例,以增强教材的可用性。

本书由马运成、张蓓、薛倩担任主编,孟艳、李晓娅、程子硕、余秀娣担任副主编,刘宏霞、高雨龙、王颐菲、张忠良参与了本书部分章节编写,安德锋负责全书审阅。本教材在修订过程中参阅了国内同行的多部著作,部分高等院校老师提出了很多宝贵意见,在此表示衷心感谢。对于参与本教材第1版编写但不再参与本次修订的老师、专家和学者,本版教材所有编写人员向你们表示感谢,感谢你们对高等教育改革所做出的不懈努力,希望你们对本教材保持持续关注,多提宝贵意见。

限于编者的学识、专业水平和实践经验,修订后的教材仍难免有疏漏或不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编者

第1版前言

PREFACE

“建筑力学与结构”是高等院校建筑装饰工程技术专业的主要基础课之一。其中建筑力学是工程设计与施工人员必不可少的专业基础，其主要是应用力学的基本概念及方法，分析和研究建筑结构和构件在各种条件下的强度、刚度、稳定性等问题；而建筑结构则主要是阐述静力学基本理论与力系的平衡条件、常见建筑结构的基本理论及各种基本构件和基本结构的内力分析、建筑结构的设计原则和设计方法等。

本教材本着“必需、够用”的原则，以“讲清概念、强化应用”为主旨进行编写。全书采用“教学要求”“能力目标”“本章小结”“思考与练习”的模块形式，对各章节的教学重点做了多种形式的概括与指点，以引导学生学习、掌握相关技能。本教材共分为“建筑力学”与“建筑结构”上下两篇内容。上篇建筑力学部分包括建筑力学基本概念、物体受力分析与结构计算简图、平面力系合成与分解、杆件变形形式、截面图形的几何性质、平面体系几何组成分析、静定结构内力分析等内容；下篇建筑结构部分包括混凝土结构、砌体结构和钢结构三类结构体系，主要研究一般房屋建筑结构的特点、结构构件布置原则、结构构件的受力特点及破坏形态、简单结构构件的设计原理和设计计算、建筑结构的有关构造要求以及结构施工图等内容。

通过本教材的学习，学生可以了解建筑力学研究的对象和任务，掌握力和力系的概念，熟悉静力学公理，能熟练对物体进行受力分析，掌握杆件变形的各种形式并能进行强度计算，掌握静定结构内力分析计算的方法，了解建筑结构的基本设计原理，掌握砌体结构、钢筋混凝土结构及钢结构各种基本构件的受力特点，掌握一般房屋建筑的结构布置、截面选型及基本构件的设计计算方法，正确理解国家建筑结构设计规范中的有关规定，正确地进行截面设计等，同时能处理建筑结构施工中的一般问题，逐步培养和提高综合能力，为今后从事建筑装饰工程设计、施工及工程预算工作打下良好的基础。

本教材的编写人员既有具有丰富教学经验的教师，又有建筑装饰工程设计施工领域的专家学者，从而使教材内容既贴近教学实际需要，又贴近建筑装饰设计施工工作实际。本教材由马运成、罗小青、陈贤清任主编，马红侠、臧丽花、冯毅、方洪涛任副主编，刘余强、李冬春也参与了图书的编写工作。本教材由安德锋主审。教材编写过程中参阅了国内同行的多部著作，部分高等院校老师也对编写工作提出了很多宝贵的意见，在此表示衷心的感谢。

本教材既可作为高等院校建筑装饰工程技术专业的教材，也可供从事装饰装修设计、施工工作的相关人员参考使用。限于编者的专业水平和实践经验，教材中疏漏或不妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编者

目 录 CONTENTS

上篇 建筑力学

第一章 建筑力学的基本概念.....	1
第一节 力与平衡.....	1
第二节 静力学基本公理.....	2
第三节 刚体、变形固体及基本假设.....	5
本章小结.....	6
思考与练习.....	6
第二章 物体受力分析与结构计算简图.....	8
第一节 约束与约束反力.....	8
第二节 物体受力分析与受力图.....	11
第三节 结构计算简图.....	13
本章小结.....	15
思考与练习.....	15
第三章 平面力系的合成与平衡.....	18
第一节 平面汇交力系.....	18
第二节 平面力偶系.....	23
第三节 平面一般力系.....	27
第四节 平面平行力系.....	32
第五节 物体系统的平衡.....	33
本章小结.....	34
思考与练习.....	34
第四章 杆件变形形式.....	37
第一节 杆件变形基本形式与度量.....	38

第二节 内力与应力·····	39
第三节 组合变形·····	41
本章小结·····	50
思考与练习·····	50
 第五章 截面图形的几何性质·····	 53
第一节 重心与形心·····	53
第二节 静矩·····	54
第三节 惯性矩、惯性积与惯性半径·····	55
第四节 形心主惯性轴与形心主惯性矩·····	58
本章小结·····	59
思考与练习·····	59
 第六章 平面体系几何组成分析·····	 61
第一节 几何不变体系与几何可变体系·····	61
第二节 平面体系的自由度和约束·····	62
第三节 几何不变体系的基本组成规则·····	64
第四节 几何组成分析方法·····	65
第五节 静定结构与超静定结构·····	67
本章小结·····	68
思考与练习·····	68
 第七章 静定结构内力分析·····	 70
第一节 单跨静定梁·····	70
第二节 多跨静定梁·····	76
第三节 静定平面刚架·····	78
第四节 静定平面桁架·····	80
第五节 三铰拱的内力分析·····	86
第六节 静定组合结构·····	90
本章小结·····	91
思考与练习·····	91

下篇 建筑结构

第八章 建筑结构计算概述	95
第一节 建筑结构荷载	95
第二节 建筑结构极限状态设计方法	98
第三节 混凝土结构耐久性规定	101
本章小结	103
思考与练习	103
第九章 钢筋混凝土结构基本构件	104
第一节 钢筋和混凝土的力学性能	104
第二节 受弯构件承载力计算	111
第三节 受压构件承载力计算	128
第四节 受拉构件承载力计算	135
本章小结	138
思考与练习	139
第十章 钢筋混凝土梁板结构	140
第一节 钢筋混凝土梁板结构概述	140
第二节 单向板肋梁楼盖设计	141
第三节 现浇双向板肋梁楼盖设计	152
第四节 楼梯	155
第五节 雨篷	162
本章小结	164
思考与练习	164
第十一章 预应力混凝土结构构件	166
第一节 预应力混凝土概述	166
第二节 张拉控制应力和预应力损失	170
第三节 预应力混凝土构件构造要求	174
本章小结	178
思考与练习	178

第十二章 砌体结构	180
第一节 砌体结构概述	180
第二节 砌体结构构件承载力计算	192
本章小结	198
思考与练习	198
第十三章 钢结构基本构件	200
第一节 钢结构及钢结构材料	200
第二节 钢构件计算	207
第三节 钢结构连接	217
本章小结	230
思考与练习	230
附录 建筑结构计算常用数据	232
参考文献	238

第一章 建筑力学的基本概念

学习目标

了解力的概念、力的三要素和力的表示方法；熟悉静力学的基本公理；掌握工程中常见的几种约束类型、约束反力的特性及物体受力图的画法。

能力目标

能阐述作用力与反作用力公理、二力平衡公理、加减平衡力系公理及力的平行四边形法则。

第一节 力与平衡

一、力

(一)力的定义

力在人类生活和生产实践中无处不在，力的概念是人们在长期生产劳动和生活实践中逐渐形成的。在建筑工程活动中，当人们拉车、弯钢筋、拧螺母时，由于肌肉紧张，便感到了用了力。例如，力作用在车子上可以让车由静止到运动，力作用在钢筋上可以使钢筋由直变弯。由此可得到力的定义：力是物体间相互的机械作用，这种作用的效果会使物体的运动状态发生变化(外效应)，或者使物体发生变形(内效应)。由于力是物体与物体之间的相互作用，因此力不可能脱离物体而单独存在，某物体受到力的作用，一定是有另一物体对它施加了作用。

(二)力的三要素

实践表明，力对物体作用的效应取决于力的三个要素，即力的大小、方向和作用点。

1. 力的大小

力的大小反映物体之间相互机械作用的强弱程度。力的单位是牛顿(N)或千牛顿(kN)。

2. 力的方向

力的方向表示物体间的相互机械作用具有方向性,它包括力所顺沿的直线(称为力的作用线)在空间的方位和力沿其作用线的指向。例如重力的方向是“铅垂向下”,“铅垂”是力的方位,“向下”是力的指向。

3. 力的作用点

力的作用点是指力作用在物体上的位置。通常它是一块面积而不是一个点,当作用面积很小时可以近似看作一个点。

力是一个有大小和方向的量,所以力是矢量,记作 $\boldsymbol{F}$ (图 1-1),用一段带有箭头的线段(AB)来表示:线段(AB)的长度按一定的比例尺表示力的大小;线段的方位和箭头的指向表示力的方向;线段的起点 A 或终点 B (应在受力物体上)表示力的作用点。线段所沿的直线称为力的作用线。

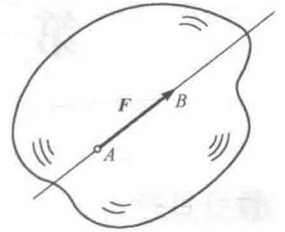


图 1-1 力的三要素

二、平衡

平衡是指物体相对于地球保持静止或做匀速直线运动的状态。例如,房屋、水坝、桥梁相对于地球保持静止;沿直线匀速起吊的构件相对于地球做匀速直线运动;等等。它们的共同特点就是运动状态没有发生变化。建筑力学研究的平衡主要是指物体处于静止状态。

第二节 静力学基本公理

一、二力平衡公理

作用在刚体上的两个力平衡的充分必要条件是这两个力大小相等、方向相反、作用线在同一条直线上,简称二力等值、反向、共线。

这个公理概括了作用在刚体上最简单的力系平衡时所必须满足的条件。对于刚体,这个条件是必要充分的;但对于变形体,这个条件是必要但不充分的。如图 1-2 所示,即 $\boldsymbol{F}_A = -\boldsymbol{F}_B$ 。

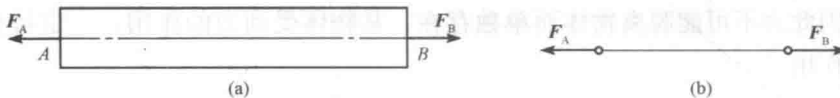


图 1-2 二力平衡

在两个力作用下处于平衡的物体称为二力构件；若为杆件，则称为二力杆。如图 1-3 所示，根据二力平衡公理，作用在二力构件上的两个力，必通过两个力作用点的连线（与杆件的形状无关），且等值、反向。

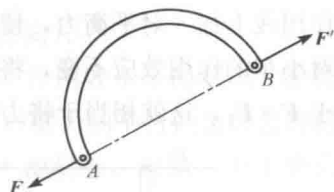


图 1-3 二力杆

二、作用力与反作用力公理

两个物体间相互作用的一对力，总是大小相等、方向相反、作用线相同，并分别而且同时作用在这两个物体上。

这个公理概括了两个物体间相互作用的关系。有作用力，必定有反作用力，两者总是同时存在，又同时消失。因此，力总是成对地出现在两个相互作用的物体上。

如图 1-4 所示，在光滑的水平面上放置一物块，物块在重力 G 的作用下，给水平支承面一个铅垂向下的压力 F ，同时水平支承面给物块一个向上的支承力 F' ，力 F 和 F' 就是作用力与反作用力。此外，物块的重力 G 与水平支承面给物块的向上支承力 F' ，虽然大小相等、方向相反，沿着同一直线作用的两个力，但它们作用在同一物体上，所以不是一对作用力与反作用力，而是一对平衡力。

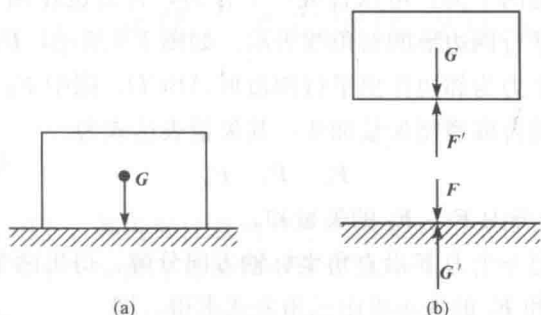


图 1-4 作用力与反作用力

必须注意的是，不能把二力平衡问题和作用力与反作用力的关系混淆。二力平衡公理中的两个力作用在同一物体上使物体平衡。作用力与反作用力公理中的两个力分别作用在两个不同的物体上，是说明一种相互作用关系的，虽然都是大小相等、方向相反、作用在同一条直线上，但不能说是平衡的。

三、加减平衡力系公理

在作用于刚体的已知力系上，加上或减去任意一个平衡力系，都不会改变原力系对刚体的作用效应。

这是由于平衡力系中，诸力对刚体的作用效应相互抵消，力系对刚体的效应等于零。根据这个原理，可以进行力系的等效变换。

推论：力的可传性原理。作用在刚体上某点的力，可沿其作用线移动到刚体内任意一点，而不改变该力对刚体的作用效应。利用加减平衡力系公理，很容易证明力的可传性原理。如图 1-5 所示，小车 A 点上作用一力 F ，在其作用线上任取一点 B，在 B 点沿力 F 的

作用线上加一对平衡力, 使 $F=F_1=-F_2$, 根据加减平衡力系公理得出, 力系 F_1 、 F_2 、 F 对小车的的作用效应不变, 将 F 和 F_2 组成的平衡力系去掉, 只剩下力 F_1 , 与原力等效, 由于 $F=F_1$, 这就相当于将力 F 沿其作用线从 A 点移到 B 点而效应不变。

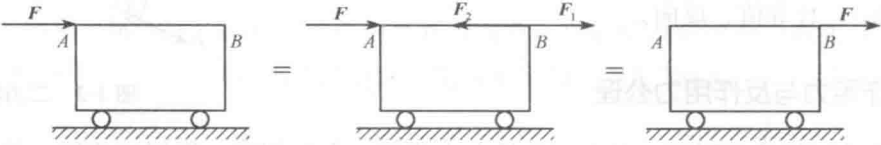


图 1-5 力的可传性

由此可知, 力对刚体的作用效果与力的作用点在作用线上的位置无关, 即力在同一刚体上可沿其作用线任意移动。因此, 对刚体来说, 力的作用点在作用线上的位置不是决定其作用效果的要素。

此外, 必须注意的是力的可传性原理只适用于刚体而不适用于变形体。

四、力的平行四边形法则

作用于物体同一点的两个力, 可以合成一个合力, 合力也作用于该点, 其大小和方向由以两个分力为邻边的平行四边形的对角线表示。如图 1-6 所示, F_1 和 F_2 为作用在刚体上 A 点的两个力, 以这两个力为邻边作出平行四边形 $ABCD$, 图中 F_R 即为 F_1 、 F_2 的合力。

这个公理说明了力的合成遵循矢量加法, 其矢量表达式为

$$F_R=F_1+F_2 \tag{1-1}$$

即合力 F_R 等于两个分力 F_1 、 F_2 的矢量和。

在工程实际中, 常把一个力 F 沿直角坐标轴方向分解, 得出两个互相垂直的分力 F_x 和 F_y , 如图 1-7 所示。 F_x 和 F_y 的大小可由三角公式求得, 即

$$\left. \begin{aligned} F_x &= F \cos \alpha \\ F_y &= F \sin \alpha \end{aligned} \right\} \tag{1-2}$$

式中, α 为力 F 与 x 轴所夹的锐角。

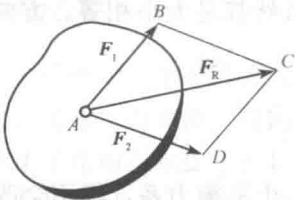


图 1-6 力的合成

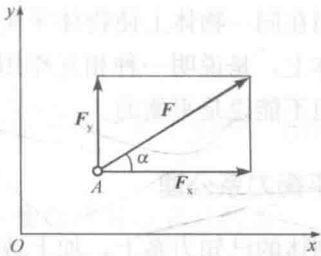


图 1-7 力的分解

五、三力平衡汇交定理

一个刚体在共面而不平行的三个力的作用下处于平衡状态, 则这三个力的作用线必汇交于一点。

这个公理只说明了不平行的三力平衡的必要条件, 而不是充分条件。它常用来确定刚

体在不平行三力作用下平衡时, 其中某一未知力的作用线(力的方向)。

如图 1-8 所示, 刚体受到共面而不平行的三个力 F_1 、 F_2 、 F_3 作用处于平衡状态, 根据力的可传性原理将 F_2 、 F_3 沿其作用线移到二者的交点 O 处, 再根据力的平行四边形公理将 F_2 、 F_3 合成合力 F , 于是刚体只受到两个力 F_1 和 F 作用处于平衡状态, 根据二力平衡公理可知, F_1 、 F 必在同一直线上, 即 F_1 必过 F_2 、 F_3 的交点 O 。因此, 三个力 F_1 、 F_2 、 F_3 的作用线必交于一点。

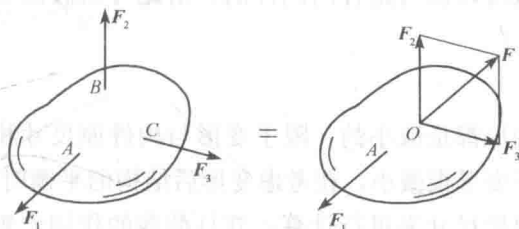


图 1-8 三力平衡汇交

第三节 刚体、变形固体及基本假设

一、刚体与变形固体

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, 刚体在自然界中是不存在的。工程上所用的固体材料, 如钢、铸铁、木材、混凝土等, 在外力作用下会或多或少地产生变形, 有些变形可直接观察到, 有些变形可通过仪器测出。

在外力作用下, 会产生变形的固体材料称为变形固体。变形固体在外力作用下会产生两种不同性质的变形: 一种是外力消除时, 变形随之消失, 这种变形称为弹性变形; 另一种是外力消除后, 变形不能消失, 这种变形称为塑性变形。一般情况下, 物体受力后, 既有弹性变形, 又有塑性变形。工程中常用的材料, 当外力不超过一定范围时, 塑性变形很小, 可忽略不计, 认为只有弹性变形。这种只有弹性变形的变形固体称为完全弹性体, 只引起弹性变形的外力范围称为弹性范围。

二、变形固体的基本假设

任何学科都是建立在一定的假设基础上的, 建筑力学也不例外, 它的基本假设有以下三个。

1. 均匀连续假设

变形固体是由很多微粒或晶体组成的, 各微粒或晶体之间是有空隙的, 且各微粒或晶体彼此的性质并不完全相同。由于这些空隙与构件的尺寸相比是极微小的, 这些空隙的存在及由此引起的性质上的差异, 在研究构件受力和变形时可以忽略不计。由此可以

假设变形固体在其整个体积内毫无空隙地充满了物质,并且物体各部分材料力学性能完全相同。

2. 各向同性假设

实际上,组成固体的各个晶体在不同方向上有着不同的性质。由于构件所包含的晶体数量极多,且排列也完全没有规则,变形固体的性质是这些晶粒性质的统计平均值。在以构件为对象的研究中,就可以认为是各向同性的。由此可以假设变形固体沿各个方向的力学性能均相同。

3. 微小变形假设

假设结构及构件的变形都是微小的,限于变形与构件原尺寸相比极为微小的范围,一般称为小变形范围。由于变形很微小,在考虑变形后结构的平衡时,可以忽略这些变形值,按变形前结构及构件的原始尺寸来进行计算,并且荷载的作用位置也不改变。这样,计算将大为简化,又不至于引起显著的误差。

在工程实际中,大多数结构是小变形的,只有一些特殊的柔性结构才必须考虑其大变形的情况。

总的来说,建筑力学是把实际材料看作连续、均匀、各向同性的变形固体,且限于小变形范围。



本章小结

本章主要介绍了力与平衡,静力学基本公理以及刚体、变形固体的基本假设等内容。力是物体之间相互的机械作用,因此,力不能离开物体而存在,它总是成对出现的。静力学基本公理是人们从实践中总结出来的最基本的力学规律,包括二力平衡公理、作用力与反作用力公理、加减平衡力系公理、力的平行四边形法则、三力平衡汇交定理等。变形固体的基本假设包括均匀连续假设、各向同性假设、微小变形假设等。



思考与练习

一、填空题

1. 力是物体间相互的机械作用,这种作用使物体的_____发生变化。
2. 刚体是受力作用而_____的物体。
3. 在所研究的机械运动问题中,物体的变形可以不予考虑,那么此物体可视为_____。
4. 若同一刚体在二力作用下平衡,则此二力必然大小_____,方向_____,且作用在_____上。
5. 从某一给定力系中,加上或减去任意_____,不改变原力系对_____的作用效果。

6. 二力平衡公理适用于_____。

7. 力的平行四边形法则适用于_____和_____。

二、简答题

1. 力的三要素是什么？

2. 若物体受两个等值、反向、共线的力作用，则此物体是否一定平衡？

3. 既然作用力与反作用力大小相等而又方向相反，那么它们是否构成一平衡力系？

4. 简述变形固定的基本假设。



第二章 物体受力分析与结构计算简图

学习目标

了解约束与约束反力的定义、几种基本类型的约束及约束反力；熟悉物体的受力分析、物体受力图的画法；掌握结构计算简图的画法。

能力目标

能分析常见的约束及约束反力，能进行物体的受力分析。

第一节 约束与约束反力

一、约束与约束反力的定义

力学中通常把物体分为自由体和非自由体两类。

在空间能自由做任意方向运动的物体称为自由体。如空气中的气球和飞行的炮弹就是自由体。某些方向的运动受到限制的物体称为非自由体。工程构件的运动大都受到某些限制，因而都是非自由体。

由此可知，自由体和非自由体的主要区别是：自由体可以自由位移，不受其他物体的限制，它可以任意地移动和旋转。非自由体则不能自由位移，其某些位移因受其他物体的限制而不能发生。

限制阻碍非自由运动的物体称为约束物体，简称约束。约束总是通过物体之间的直接接触形成。例如基础是柱子的约束，墙是梁的约束，轨道是火车的约束。如图 2-1(a)所示，柔绳便是小球的约束。

约束体在限制其他物体运动时，所施加的力称为约束反力。约束反力总是与它所限制的物体的运动或运动趋势的方向相反。例如，墙阻碍梁向下落时，就必须对梁施加向上的反作用力等。如图 2-1(b)所示，柔绳拉住小球以限制其下落的张力 T 便是约束反力。约束反力的作用点就是约束与被约束物体的接触点。在受力物体上，那些使物体有运动或运动趋势的力称为主动力，例如重力、水压力、土压力等，作用在工程上的主动力也就是所讲的荷载。通常情况下，主动力是已知的，而约束反力是未知的。静力分析的任务之一就是确定未知的约束反力。

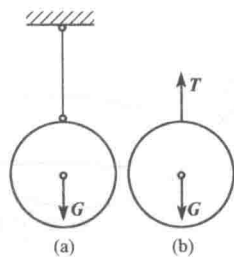


图 2-1 柔性约束