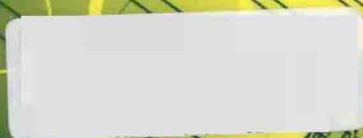




全国高等职业教育规划教材

工程力学

王丽梅 戴英杰 马 杰 主编



电子教案下载网址 www.cmpedu.com



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

全国高等职业教育规划教材

工 程 力 学

主 编 王丽梅 戴英杰 马 杰
参 编 夏 天 娄 萍



机械工业出版社

本书共9个学习项目,包括工程构件的受力分析、平面力系的合成与平衡、空间力系的合成与平衡、摩擦力、杆件的内力分析、应力与变形分析、组合变形构件的强度计算、压杆稳定、交变应力。全书遵循“以应用为目的,以必需、够用为度,以掌握概念、强化应用为原则”的要求,着重培养学生分析问题、解决问题的能力,在内容方面力求简化理论推导,突出应用;在例题和习题的选择方面力求简明易懂。

本书可作为高等职业院校、成人高等院校机械类和近机械类各专业的教材,也可供其他各专业教师和广大工程技术人员参考。

为配合教学,本书配有电子课件,读者可以登录机械工业出版社教材服务 www.cmpedu.com 免费注册后下载,或联系编辑索取(QQ: 1239258369,电话(010) 88379739)。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/王丽梅,戴英杰,马杰主编.—北京:机械工业出版社,
2013.12

全国高等职业教育规划教材

ISBN 978-7-111-45776-3

I. ①工… II. ①王…②戴…③马… III. ①工程力学—高等职业教
育—教材 IV. ①TB12

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第025317号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:刘闻雨 李 乐 版式设计:常天培

责任校对:陈 越 责任印制:李 洋

北京瑞德印刷有限公司印刷(三河市胜利装订厂装订)

2014年4月第1版第1次印刷

184mm×260mm·11印张·270千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-45776-3

定价:24.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

本书依据教育部最新制定的“工程力学”课程的教学基本要求编写而成。在编写过程中，充分汲取了近几年来高职高专教学改革的经验，从高等职业教育培养应用型、技能型人才的目标出发，着重培养学生应用工程力学知识分析问题、解决问题的能力。全书由具有多年教学经验的一线教师编写，在内容方面力求简化理论推导，加强实践应用，在例题和习题的选择方面力求简明易懂。

本书具有以下特色：

(1) 采用项目教学方式撰写，将每个项目内容按知识点分为若干学习任务，通过“学习目标”引入相关知识点的介绍，既突出重点，又保证了知识体系的完整性和知识点间的相互衔接。

(2) 内容全面，体例新颖，实用性强。书中大量采用了平面图形与立体图形相对比和相结合的形式，可提高学生的立体思维能力，提高识读工程图样的水平。

(3) 与本教材配套的资源有：课程标准、试题库、电子教案、PPT 电子课件、教学视频、项目实训集等。

本书内容包括 9 个学习项目，每个学习项目都附有学习目标、小结和习题。学习项目 1、2、4 有机械应用实例。

本书适合作为高职高专机械类及近机械类专业 45 ~ 60 学时“工程力学”课程的教学用书。

本书由四平职业大学王丽梅、戴英杰、马杰主编。参加本书编写的人员有：四平职业大学戴英杰（项目 1）、马杰（项目 2）、夏天（项目 3）、梨树县第二中学姜萍（项目 4）、四平职业大学王丽梅（项目 5 ~ 9），全书由四平职业大学于静辉教授主审，在此致以衷心的感谢。

由于编者水平所限，疏漏之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第1篇 静 力 学

项目1 工程构件的受力分析	2
任务1.1 认识力	2
1.1.1 力的概念	2
1.1.2 力系的有关概念	2
1.1.3 刚体的概念	3
任务1.2 静力学基本公理的应用	3
任务1.3 认识约束与约束反力	5
1.3.1 柔索约束	6
1.3.2 光滑面约束	6
1.3.3 光滑铰链约束	6
1.3.4 轴承约束	8
任务1.4 绘制工程构件受力图	8
小结	10
习题	11
机械应用实例(Ⅰ)	12
项目2 平面力系的合成与平衡	16
任务2.1 平面汇交力系的合成与平衡	16
2.1.1 平面汇交力系概述	16
2.1.2 力在坐标轴上的投影	16
2.1.3 平面汇交力系合成的解析法	17
2.1.4 平面汇交力系的平衡方程及其 应用	18
任务2.2 力矩计算	19
2.2.1 力对点之矩	19
2.2.2 合力矩定理	20
任务2.3 力偶计算	22
2.3.1 力偶的概念	22
2.3.2 力偶的三要素	22
2.3.3 力偶的等效条件	23
2.3.4 力偶的性质	23
任务2.4 平面力偶系的合成与平衡	23
2.4.1 平面力偶系的合成	24
2.4.2 平面力偶系的平衡条件	24
任务2.5 平面一般力系的合成与平衡	25

2.5.1 力的平移定理	26
2.5.2 平面一般力系的简化	27
2.5.3 平面一般力系的平衡方程及其 应用	29
任务2.6 物体系统的平衡分析	31
小结	34
习题	35
机械应用实例(Ⅱ)	39
项目3 空间力系的合成与平衡	43
任务3.1 计算力在空间直角坐标轴上的 投影	43
任务3.2 计算力对轴之矩	45
3.2.1 力对轴之矩的概念	45
3.2.2 合力矩定理	45
任务3.3 空间力系的合成与平衡	46
3.3.1 空间一般力系的平衡条件和平衡 方程	46
3.3.2 空间力系的特殊情况	46
任务3.4 物体重心的计算	48
小结	51
习题	51
项目4 摩擦力	54
任务4.1 认识滑动摩擦	54
任务4.2 认识摩擦角和自锁现象	55
任务4.3 考虑摩擦时物体的平衡问题	56
小结	59
习题	59
机械应用实例(Ⅲ)	60

第2篇 材 料 力 学

项目5 杆件的内力分析	66
任务5.1 认识内力	66
任务5.2 计算轴向拉(压)杆的内力	66
5.2.1 轴向拉伸(压缩)的概念	66
5.2.2 轴向拉伸或压缩时的内力分析	67
5.2.3 轴力图	69
任务5.3 计算剪切变形构件的内力	69

5.3.1	剪切的概念	69	6.6.4	圆轴扭转时的强度计算	107
5.3.2	剪切时的内力	70	6.6.5	圆轴扭转时的变形和刚度计算	109
任务 5.4	计算圆轴扭转构件的内力	71	任务 6.7	直梁弯曲的强度计算	109
5.4.1	圆轴扭转的概念	71	6.7.1	梁的纯弯曲	109
5.4.2	外力偶矩的计算	71	6.7.2	纯弯曲时梁横截面上的正应力	110
5.4.3	转矩与转矩图	72	6.7.3	惯性矩和抗弯截面系数	111
任务 5.5	计算直梁弯曲构件的内力	74	6.7.4	梁的弯曲强度计算	111
5.5.1	平面弯曲的概念	74	任务 6.8	直梁弯曲的变形分析	115
5.5.2	梁的基本形式	74	6.8.1	挠曲线	115
5.5.3	梁弯曲时的内力——剪力和弯矩	75	6.8.2	挠度和转角	115
5.5.4	弯矩图	77	6.8.3	求弯曲变形的两种方法	116
小结		81	6.8.4	梁的刚度校核	118
习题		82	任务 6.9	提高梁弯曲强度和抗弯刚度的措施	119
项目 6 应力与变形分析		85	6.9.1	合理安排梁的受力情况	119
任务 6.1	计算轴向拉（压）杆的应力	85	6.9.2	合理选择梁的截面形状	119
6.1.1	应力的概念	85	小结		120
6.1.2	轴向拉伸和压缩时横截面上的正应力	86	习题		122
6.1.3	轴向拉伸（或压缩）时斜截面上的应力	88	项目 7 组合变形构件的强度计算		127
任务 6.2	计算轴向拉（压）杆的变形	89	任务 7.1	分析点的应力状态	127
6.2.1	纵向变形	89	7.1.1	一点应力状态的定义	127
6.2.2	胡克定律	89	7.1.2	研究目的	127
6.2.3	横向变形	90	7.1.3	研究方法	127
6.2.4	泊松比	90	7.1.4	应力状态分类、主应力、主平面	128
任务 6.3	分析材料在拉伸与压缩时的力学性能	92	任务 7.2	认识分析强度理论	128
6.3.1	低碳钢在拉伸时的力学性能	93	任务 7.3	认识组合变形	131
6.3.2	其他材料在拉伸时的力学性能	95	任务 7.4	拉伸（压缩）与弯曲组合变形的强度计算	131
6.3.3	材料在压缩时的力学性能	96	7.4.1	轴向力与横向力同时作用	132
任务 6.4	轴向拉（压）杆的强度计算	97	7.4.2	偏心弯曲	134
6.4.1	极限应力、许用应力、安全因数	97	任务 7.5	弯曲与扭转组合变形的强度计算	135
6.4.2	强度计算	98	小结		138
任务 6.5	剪切和挤压的实用计算	102	习题		139
6.5.1	剪切实用计算	102	项目 8 压杆稳定		141
6.5.2	挤压的实用计算	103	任务 8.1	认识压杆稳定	141
任务 6.6	圆轴扭转的强度计算	105	任务 8.2	计算压杆的临界力和临界应力	142
6.6.1	剪切胡克定律	105	8.2.1	欧拉公式	142
6.6.2	圆轴扭转时的应力分布规律	106	8.2.2	临界应力	142
6.6.3	极惯性矩 I_p 和抗扭截面系数 W_p	107	8.2.3	欧拉公式的适用范围	143
			8.2.4	中、小柔度杆的临界应力	143

任务 8.3 压杆的稳定性计算	145	9.2.2 持久极限	151
任务 8.4 提高压杆稳定性的措施	146	9.2.3 影响构件疲劳极限的因素	151
8.4.1 稳定计算的重要意义	146	9.2.4 强度计算	151
8.4.2 提高压杆承载能力的措施	146	任务 9.3 提高构件疲劳强度的措施	152
小结	147	小结	152
习题	147	习题	152
项目 9 交变应力	149	附表 型钢表 (GB/T 706—2008)	153
任务 9.1 交变应力及构件的疲劳破坏	149	参考文献	169
任务 9.2 工程构件的疲劳强度计算	150		
9.2.1 循环特征	150		

第1篇

静 力 学

引

言

静力学是研究物体在力系作用下平衡规律的学科。力系是指作用于同一物体上的一组力。物体的平衡一般是指物体相对于地面静止或作匀速直线运动。它主要解决两类问题：一是将作用在物体上的力系进行简化，即用一个简单的力系等效地替换一个复杂的力系；二是建立物体在各种力系下的平衡条件，并借此对物体进行受力分析。

力在物体平衡时所表现出来的基本性质，也同样表现于物体作一般运动的情形中。在静力学里关于力的合成、分解与力系简化的研究成果，可以直接应用于动力学。静力学在工程技术中具有重要的实用意义。

项目 1 工程构件的受力分析

➤ 学习目标

1. 掌握力、刚体和平衡的概念，熟悉静力学的基本公理。
2. 熟悉各种常见约束的特点及约束力的画法。
3. 能熟练地对物体进行受力分析并画出其受力图。

本项目阐述静力学中的一些基本概念、静力学公理、工程上常见的典型约束和约束力，以及物体的受力分析。

任务 1.1 认识力

1.1.1 力的概念

力的概念产生于人类从事的生产劳动中。当人们用手握、拉、掷及举起物体时，由于肌肉紧张而感受到力的作用，这种作用广泛存在于人与物及物与物之间。例如，奔腾的水流能推动水轮机旋转，锤子的敲打会使烧红的铁块变形等。

(1) 力的定义 力是物体之间相互的机械作用，这种作用将使物体的机械运动状态发生变化，或者使物体产生变形。前者称为力的**外效应**；后者称为力的**内效应**。

(2) 力的三要素 实践证明，力对物体的作用效应，取决于力的**大小**、**方向**（包括方位和指向）和**作用点的位置**，这三个因素就称为力的**三要素**。在这三个要素中，如果改变其中任何一个，也就改变了力对物体的作用效应。例如：用扳手拧螺母时，作用在扳手上的力，因大小不同，或方向不同，或作用点不同，产生的效果也不同（图 1-1a）。

(3) 力是矢量 力是一个既有大小又有方向的量，而且满足矢量的运算法则，因此力是矢量（或称向量）。

矢量常用一个带箭头的有向线段来表示（图 1-1b）。

线段长度 AB 按一定比例代表力的大小，线段的方位和箭头表示力的方向，其起点或终点表示力的作用点。此线段的延伸称为力的作用线。用黑体字母 $\boldsymbol{F}$ 代表力矢，并以同一字母的非黑体字 F 代表该矢量的模（大小）。

(4) 力的单位 力的国际制单位是牛〔顿〕或千牛〔顿〕，其符号为 N 或 kN 。

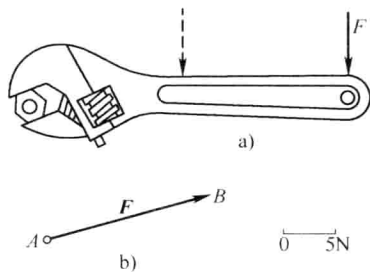


图 1-1 扳手

1.1.2 力系的有关概念

物体处于平衡状态时，作用于该物体上的力系称为**平衡力系**。力系平衡所满足的条件称为**平衡条件**。如果两个力系对同一物体的作用效应完全相同，则称这两个力系互为**等效力**

系。当一个力系与一个力的作用效应完全相同时，把这—个力称为该力系的合力，而该力系中的每一个力称为合力的分力。

必须注意，等效力系只是不改变原力系对于物体作用的外效应，至于内效应，显然将会随力的作用位置等的改变而有所不同。

1.1.3 刚体的概念

所谓刚体是指在受力状态下保持其几何形状和尺寸不变的物体。显然，这是一个理想化的模型，实际上并不存在这样的物体。但是，工程实际中的机械零件和结构构件在正常工作情况下所产生的变形，一般都是非常微小的。这样微小的变形对于研究物体的外效应的影响极小，是可以忽略不计的。当然，在研究物体的变形问题时，就不能把物体看做是刚体，否则会导致错误的结果，甚至无法进行研究。

任务 1.2 静力学基本公理的应用

人们在长期的生活和生产实践中，发现和总结出一些最基本的力学规律，又经过实践的反复检验，证明是符合客观规律的，这些规律称为静力学公理。

公理 1 二力平衡公理

当一个刚体受两个力作用而处于平衡状态时，其必要与充分条件是：这两个力大小相等，作用于同—直线上，且方向相反（图 1-2）。

这个公理揭示了作用于物体上的最简单力系在平衡时所必须满足的条件，它是静力学中最基本的平衡条件。

二力体 只受两个力作用而平衡的物体称为二力体。

机械和建筑结构中的二力体常常统称为“二力构件”。它们的受力特点是：两个力的方向必在二力作用点的连线上。

应用二力体的概念，可以很方便地判定结构中某些构件的受力方向。如图 1-3 所示三铰拱的 AB 部分，当车辆不在该部分上且不计该构件的自重时，它只可能通过 A 、 B 两点受力，是一个二力构件，故 A 、 B 两点的作用力必沿 AB 连线的方向。

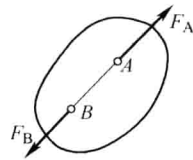


图 1-2 二力平衡的条件

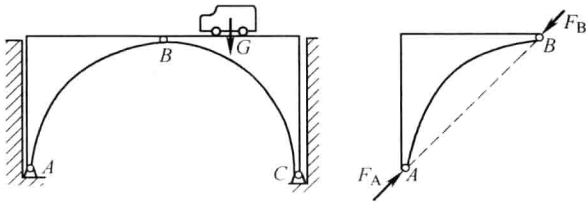


图 1-3 作用于二力构件上的两个力

公理 2 加减平衡力系公理

在刚体的原有力系中，加上或减去任一平衡力系，不会改变原力系对刚体的作用效应。这一公理的正确性是显而易见的，因为一个平衡力系是不会改变物体的原有状态的。这

个公理常被用来简化某一已知力系。依据这一公理，可以得出一个重要推论：

力的可传性原理 作用于刚体上的力可以沿其作用线移至刚体内任一点，而不改变原力对刚体的作用效应。如图 1-4 所示，在车后 A 点加一水平力推车，与在车前 B 点加一同样大小的水平力拉车，其效果是一样的。

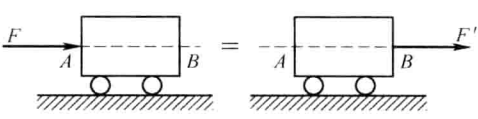


图 1-4 力的可传性原理示例

这个原理可以利用上述公理推证（见图 1-5）：

- (1) 设力 F 作用于 A 点（见图 1-5a）；
- (2) 在力的作用线上任取一点 B，并在 B 点加一平衡力系 (F_1, F_2) ，使 $F_1 = -F_2 = -F$ （见图 1-5b）；由加减平衡力系公理知，这并不影响原力 F 对刚体的作用效应；
- (3) 再从该力系中去掉平衡力系 (F, F_1) ，则剩下的 F_2 （见图 1-5c）与原力 F 等效。这样就把原来作用在 A 点的力 F 沿其作用线移到了 B 点。

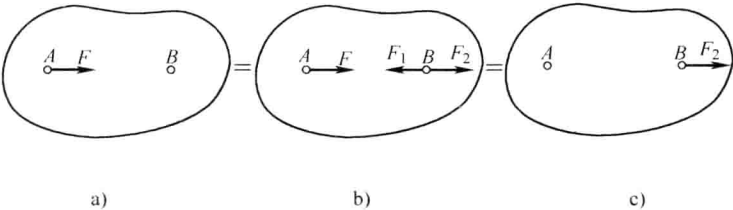


图 1-5 力的可传性原理的证明

根据力的可传性原理，力在刚体上的作用点已为它的作用线所代替，所以作用于刚体上的力的三要素又可以说成是：力的大小、方向和作用线。这样的力矢量称为滑移矢量。

应当指出，力的可传性原理只适用于刚体，对变形体不适用。

公理 3 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为一个合力，合力也作用于该点，其大小和方向由以这两个力为邻边所构成的平行四边形的对角线所确定，即合力矢等于这两个分力矢的矢量和。如图 1-6 所示。其矢量表达式为

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 \tag{1-1}$$

从图 1-7 可以看出，在求合力时，实际上只需作出力的平行四边形的一半即一个三角形就行了。为了使图形清晰起见，通常把这个三角形画在力所作用的物体之外。如图 1-7 所示，其方法是自任意点 O 先画出一力矢 F_1 ，然后再由 F_1 的终点画一力矢 F_2 ，最后由 O 点至力矢 F_2 的终点作一矢量 F_R ，它就代表 F_1 、 F_2 的合力。合力的作用点仍为汇交点 A。这种作图方法称为力的三角形法则。在作力三角形时，必须遵循这样一个原则，即分力力矢首

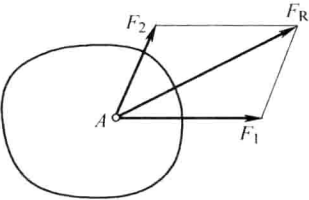


图 1-6 力的平行四边形法则

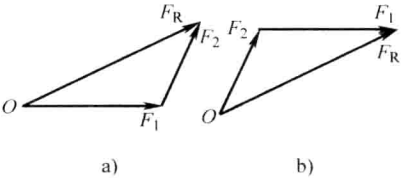


图 1-7 力的三角形法则

尾相接，但次序可变，合力力矢与最后分力箭头相接。此外还应注意，力三角形只表示力的大小和方向，而不表示力的作用点或作用线。

力的平行四边形法则总结了最简单的力系简化规律，它是较复杂力系合成的主要依据。

力的分解是力的合成的逆运算，因此也是按平行四边形法则来进行的，但为不定解。在工程实际中，通常是分解为方向互相垂直的两个分力。例如，在进行直齿圆柱齿轮的受力分析时，常将齿面的法向正压力 F_N 分解为推动齿轮旋转的即沿齿轮分度圆圆周切线方向的分力——圆周力 F_t 和指向轴心的压力——径向力 F_r （见图 1-8）。若已知 F_N 与分度圆圆周切线方向所夹的压力角为 α ，则有

$$F_t = F_N \cos \alpha, \quad F_r = F_N \sin \alpha$$

运用公理 2、公理 3 可以得到下面的推论：

物体受三个力作用而平衡时，此三个力的作用线必汇交于一点。此推论称为三力平衡汇交定理。读者可自行证明。

公理 4 作用与反作用定律

两个物体间的作用力与反作用力，总是大小相等、方向相反、作用线相同，并分别作用于这两个物体上。

这个公理概括了自然界的物体相互作用的关系，表明了作用力和反作用力总是成对出现的。

必须强调指出，作用力和反作用力是分别作用于两个不同的物体上的，因此，决不能认为这两个力相互平衡，这与二力平衡公理中的两个力有着本质上的区别。

工程中的机械都是由若干个物体通过一定形式的约束组合在一起的，称为物体系统，简称物系。物系外的物体与物系之间的作用力称为外力，而物系内部物体间的相互作用力称为内力。内力总是成对出现且等值、反向、共线，对物系而言，内力的合力恒为零，故内力不会改变物系的运动状态。但内力与外力的划分又与所取物系的范围有关。随所取对象的范围不同，内力与外力是可以互相转化的。

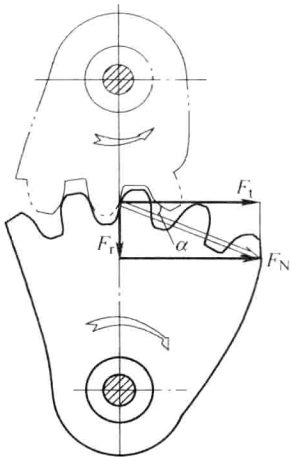


图 1-8 力的分解

任务 1.3 认识约束与约束反力

工程中的机器或者结构，总是由许多零部件组成的。这些零部件是按照一定的形式相互连接的。因此，它们的运动必然互相牵连和限制。如果从中取出一个物体作为研究对象，则它的运动当然也会受到与它连接或接触的周围其他物体的限制。一个运动受到限制或约束的物体，称为**被约束体**。

那些限制物体某些运动的条件，称为约束。这些限制条件总是由被约束体周围的其他物体构成的。为方便起见，构成约束的物体常称为约束。约束限制了物体本来可能产生的某种运动，故约束有力作用于被约束体，这种力称为**约束力**。

限制被约束体运动的周围物体称为**约束**。约束力总是作用在被约束体与约束体的接触处，其方向也总是与该约束所能限制的运动或运动趋势的方向相反。据此，即可确定约束力的位置及方向。

1.3.1 柔索约束

由绳索、胶带、链条等形成的约束称为柔索约束。这类约束只能限制物体沿柔索伸长方向的运动，因此它对物体只有沿柔索方向的拉力，如图 1-9、图 1-10 所示，常用符号为 F_T 。当柔索绕过轮子时，常假想在柔索的直线部分处截开柔索，将与轮接触的柔索和轮子一起作为考察对象。这样处理，就可不考虑柔索与轮子间的内力，这时作用于轮子的柔索拉力的方向，沿轮缘的切线方向（见图 1-10b）。

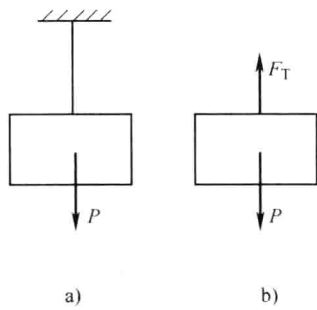


图 1-9 绳索的柔性约束

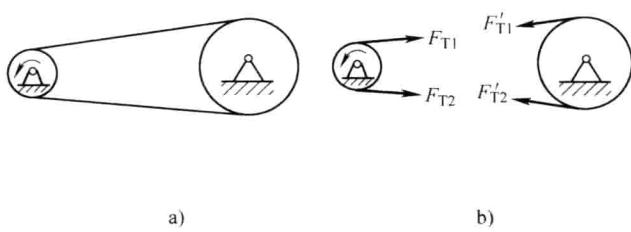


图 1-10 传送带的柔性约束

1.3.2 光滑面约束

当两物体直接接触，并可忽略接触处的摩擦时，约束只能限制物体在接触点沿接触面的公法线方向的运动，不能限制物体沿接触面切线方向的运动，故约束力必过接触点沿接触面法向并指向被约束体，简称法向压力，通常用 F_N 表示。图 1-11a、b 所示分别为光滑曲面对刚体球的约束和齿轮传动机构中齿轮轮齿的约束。

图 1-12 所示为直杆与方槽在 A、B、C 三点接触，三处的约束力沿二者接触点的公法线方向作用。

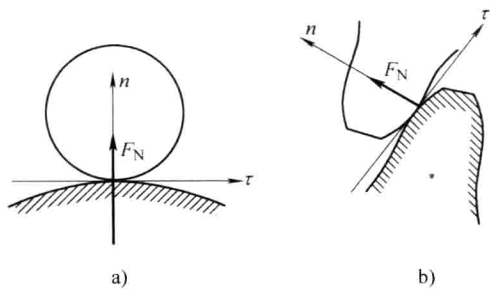


图 1-11 光滑面约束示例（1）

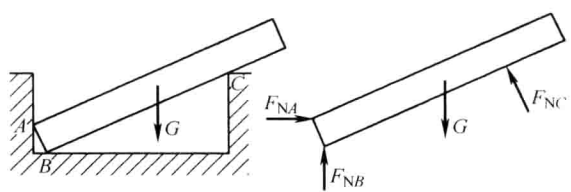


图 1-12 光滑面约束示例（2）

1.3.3 光滑铰链约束

铰链是工程上常见的一种约束。它是在两个钻有圆孔的构件之间采用圆柱定位销所形成的联接，如图 1-13 所示。门窗所用的活页、铡刀与刀架、起重机的动臂与机座的连接等，都是常见的铰链连接。

一般认为销钉与构件光滑接触，所以这也是一种光滑表面约束，约束力应通过接触点 K

沿公法线方向（通过销钉中心）指向构件，如图 1-14a 所示。但实际上很难确定 K 的位置，因此约束力 F_N 的方向无法确定。所以，这种约束力通常是用两个通过铰链中心的大小和方向未知的正交分力 F_x 、 F_y 来表示，两分力的指向可以任意设定，如图 1-14b 所示。

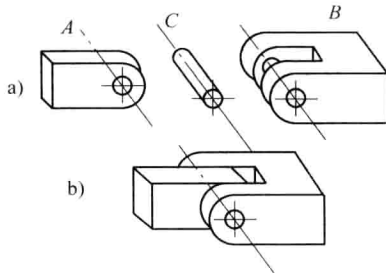


图 1-13 光滑铰链约束

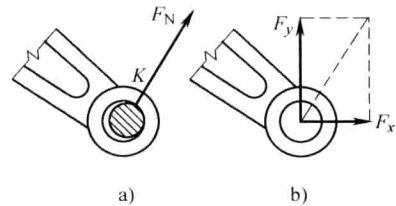


图 1-14 光滑铰链约束力画法

这种约束在工程上应用广泛，可分为三种类型：

(1) 固定铰支座 用以将构件和基础连接，如桥梁的一端与桥墩的连接，常用这种约束，如图 1-15a 所示，图 1-15b 所示是这种约束的简图。

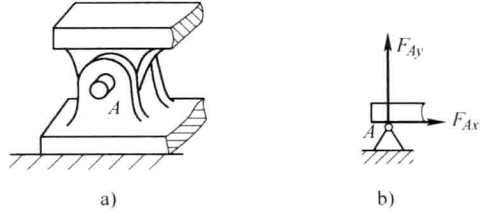


图 1-15 固定铰支座

(2) 中间铰链 用来连接两个可以相对转动但不能移动的构件，如曲柄连杆机构中曲柄与连杆、连杆与滑块的连接，如图 1-16a、b 所示。通常在两个构件连接处用一个小圆圈表示铰链，如图 1-16c 所示。

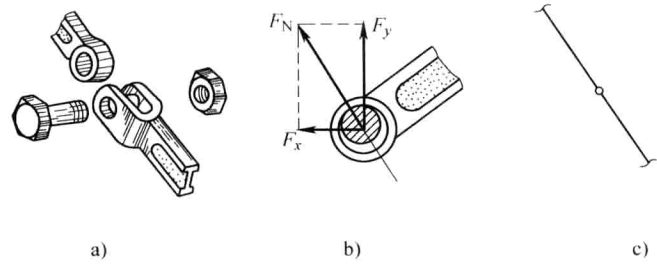


图 1-16 中间铰链

(3) 滚动铰支座 在桥梁、屋架等结构中，除了使用固定铰支座外，还常使用一种放在几个圆柱形滚子上的铰链支座，这种支座称为滚动铰支座，也称为辊轴支座，它的构造如图 1-17 所示。由于辊轴的作用，被支承构件可沿支承面的切线方向移动，故其约束力的方向只能在滚子与地面接触面的公法线方向。

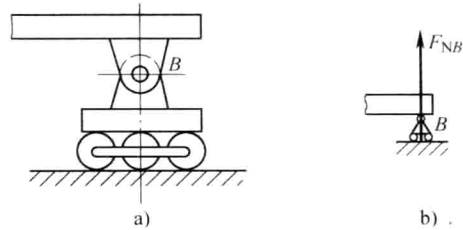


图 1-17 滚动铰支座

1.3.4 轴承约束

轴承约束是工程中常见的支承形式，它的约束力的分析方法与铰链约束相同。

(1) 支承传动轴的向心轴承（见图 1-18a），也是一种固定铰支座约束，其力学符号如图 1-18b 所示。

(2) 推力轴承（见图 1-19a）除了与向心轴承一样具有作用线不定的径向约束力外，由于限制了轴的轴向运动，因而还有沿轴线方向的约束力（见图 1-19b）。其力学符号如图 1-19c 所示。

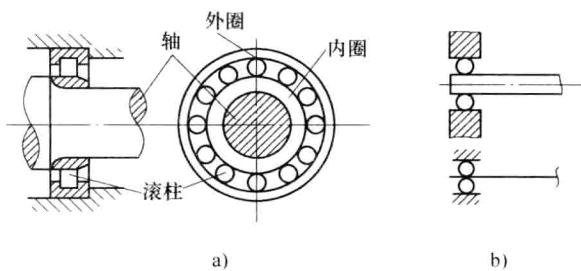


图 1-18 向心轴承

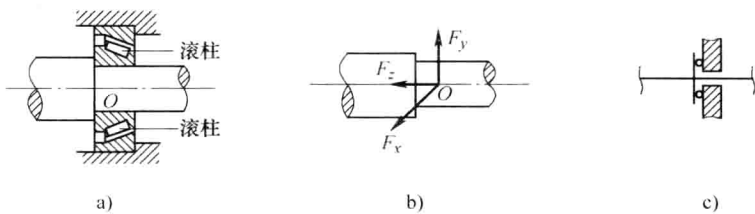


图 1-19 推力轴承

任务 1.4 绘制工程构件受力图

所谓受力分析，是指分析所要研究的物体（称为研究对象）上受力多少、各力作用点和方向的过程。

工程中物体的受力可分为两类：一类称为主动力，如工作载荷、构件自重、风力等，这类力一般是已知的或可以测量的，另一类就是约束力。进行受力分析时，研究对象可以用简单线条组成的简图来表示。在简图上除去约束，使对象成为自由体，添上代表约束作用的约束力，称为解除约束原理。解除约束后的自由物体称为分离体，在分离体上画上它所受的全部主动力和约束力，就称为该物体的受力图。

画受力图是解决力学问题的第一步，正确地画出受力图是分析、解决力学问题的前提。如果没有特别说明，则物体的重力一般不计，并认为接触面都是光滑的。

下面举例说明受力图的作法及注意事项。

例 1-1 重力为 P 的圆球放在板 AC 与墙壁 AB 之间，如图 1-20a 所示。设板 AC 的重力不计，试画出板与球的受力图。

解：先取球为研究对象，画出简图。作用于球上的主动力 P ，约束力有 F_{ND} 和 F_{NE} ，均属光滑面约束的法向约束力。受力图如图 1-20b 所示。

再取板作研究对象。由于板的自重不计，故只有 A 、 C 、 E 处的约束力。其中 A 处为固定铰支座，其约束力可用一对正交分力 F_{Ax} 、 F_{Ay} 表示； C 处为柔索约束，其约束力为拉力 F_T ； E 处的约束力为法向约束力 F'_{NE} ，要注意该约束力与球在该处所受约束力 F_{NE} 为作用力与反作用力的关系。受力图如图 1-20c 所示。

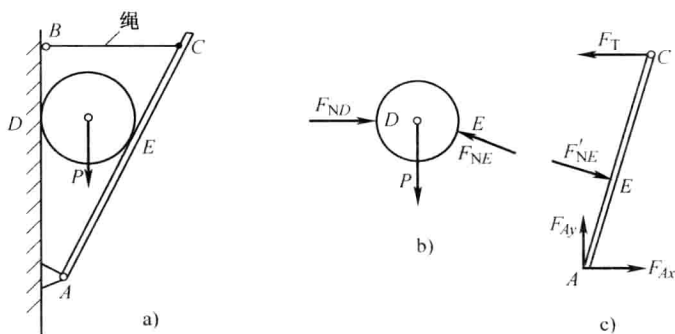


图 1-20 例 1-1 图

例 1-2 图 1-21a 所示为一起重机支架，已知支架重量 W 、吊重 G 。试画出重物、吊钩、滑车与支架以及物系整体的受力图。

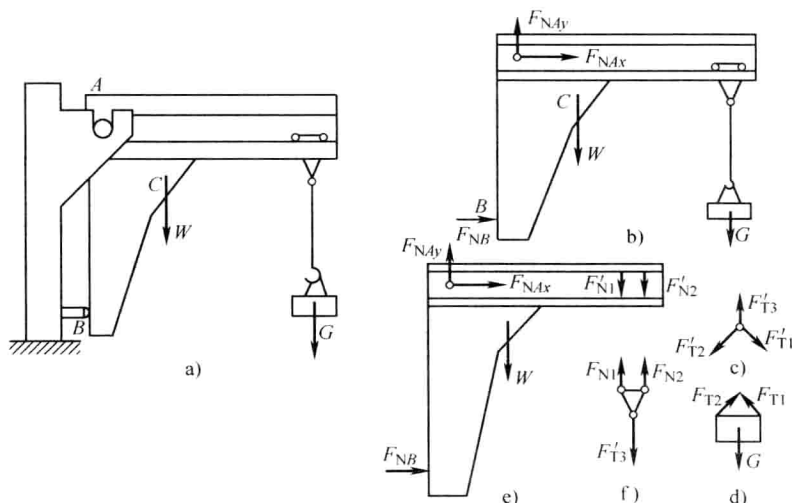


图 1-21 例 1-2 图

解：重物上作用有重量 G 和吊钩沿绳索的拉力 F_{T1} 、 F_{T2} （图 1-21d）。

吊钩受绳索约束，沿各绳上画拉力 F'_{T1} 、 F'_{T2} ， F'_{T3} （图 1-21c）。滑车上有钢梁的约束力 F_{N1} 、 F_{N2} 及吊钩对绳索的拉力 F'_{T3} （图 1-21f）。

支架上有 A 点的约束力 F_{NAx} 、 F_{NAy} ，B 点水平的约束力 F_{NB} 及滑车滚轮的约束力 F'_{N1} 、 F'_{N2} ，支架自重 W （图 1-21e）。

整个物系作用有 G 、 W 、 F_{NB} 、 F_{NAx} 、 F_{NAy} ，其余为内力，均不显示（图 1-21b）。

例 1-3 画出图 1-22a、d 两图中滑块及推杆的受力图，并进行比较。其中，图 1-22a 所示是曲柄滑块机构，图 1-22d 所示是凸轮机构。

解：分别取滑块、推杆为分离体，画出它们的主动力和约束力，其受力图如图 1-22b、c 所示。

滑块上作用的主动力 F 、 F_R 的交点在滑块与滑道接触长度范围以内，其合力使滑块单面靠紧滑道，故产生一个与约束面相垂直的约束力 F_N ， F 、 F_R 、 F_N 三力汇交。

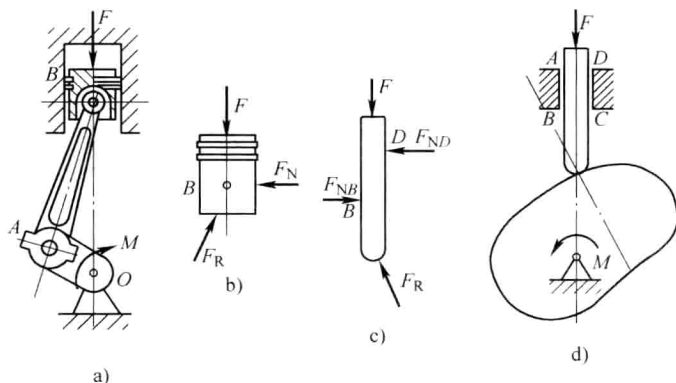


图 1-22 例 1-3 图

推杆上的主动力 F 、 F_R 的交点在滑道之外，其合力使推杆倾斜而导致 B 、 D 两点接触，故有约束力 F_{NB} 、 F_{ND} 。

画受力图时，须注意以下几点：

(1) 作图时要明确所取的研究对象，把它单独取出来分析，在取整体作为研究对象时，有时为了简便起见，可以在题图上画受力图，但要明确，这时整体所受的约束实际上已被解除。

(2) 要注意两个构件连接处约束力的关系。当所取的研究对象是几个构件的结合体时，它们之间结合处的约束力是内力不必画出。而当两个相互连接的物体被拆开时，其连接处的约束力是一对作用力与反作用力，要等值、反向、共线地分别画在两个物体上。

(3) 若机构中有二力构件，应先分析二力构件的受力，然后再分析其他作用力。

画受力图可概括为：“据要求取构件，主动力画上面；连接处解约束，先分析二力件。”

小 结

1. 基本概念

(1) 力是物体之间相互的机械作用；力的效应有外效应和内效应，静力学中研究力的外效应；力对物体的外效应，决定于三要素：大小、方向和作用点（作用线）。

(2) 力系是作用在同一物体上的若干个力的总称。

(3) 刚体是静力学中将实际物体进行抽象化的理想模型。静力学的研究对象是刚体。

(4) 平衡在工程上一般是指物体相对于地面保持静止或作匀速直线运动的状态。

2. 静力学基本公理及其推论反映了力的基本性质，是静力学的理论基础。

3. 物体的约束及受力分析

(1) 柔索约束：这种约束只能承受沿柔索方向的拉力。

(2) 光滑面约束：这种约束只能承受位于接触点的法向压力。

(3) 光滑铰链约束：可分为固定铰支座、中间铰链、滚动铰支座三种形式，前两种能限制物体两个方向的移动，故表示为正交约束力；第三种约束力只能位于滚子接触面的法线方向。

(4) 轴承约束：有向心轴承、推力轴承两种，前者与固定铰支座类同，后者则为三个方向的正交约束力。