

全国勘察设计注册工程师 公共基础考试辅导丛书

力学基础（第二册）

住房和城乡建设部执业资格注册中心 组编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

全国勘察设计注册工程师公共基础考试辅导丛书

力学基础 (第二册)

住房和城乡建设部执业资格注册中心 组编



机械工业出版社

本书是由住房和城乡建设部执业资格注册中心组编,由勘察设计注册工程师考试委员会主编,根据最新修订的2009版的《勘察设计注册工程师公共基础考试大纲》同步编写的一套辅导丛书中的一本——《力学基础》。本书分理论力学、材料力学和流体力学共三章,完全按照考试大纲要求的知识点、深度和广度对这三门基础课进行了系统且简明扼要的阐述,并穿插了历年有代表性的考题配合讲解,以便考生能在最短的时间内熟悉并掌握考试要点和解题诀窍,从而在繁忙的工作之余有效地抓住要点,梳理出脉络,进行备考复习,顺利通过考试。

本书适合于所有参加全国勘察设计注册工程师各专业考试的备考人员。

图书在版编目(CIP)数据

力学基础/住房和城乡建设部执业资格注册中心组编.

—北京:机械工业出版社,2009.6

(全国勘察设计注册工程师公共基础考试辅导丛书;2)

ISBN 978-7-111-27233-5

I. 力… II. 住… III. 力学-工程技术人员-资格考试-自学参考资料 IV. 03

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第077773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:薛俊高 版式设计:霍永明 责任校对:魏俊云

封面设计:赵颖喆 责任印制:乔宇

北京京丰印刷厂印刷

2009年6月第1版·第1次印刷

184mm×260mm·11.25印张·276千字

标准书号:ISBN 978-7-111-27233-5

定价:36.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)88379776

封面无防伪标均为盗版

编委会组成人员

主任委员 赵春山

副主任委员 陶建明 林孔元

委 员 张 旭 吴宗泽 李万琼 胡展飞 王 萍

前 言

本丛书是在全国勘察设计注册工程师管理委员会的指导下，由住房和城乡建设部执业资格注册中心组织编写的，其目的在于进一步帮助勘察设计行业广大专业技术人员更准确、更清晰地了解勘察设计注册工程师执业资格考试对他们的科学与技术基础知识的具体要求。

新考试大纲将勘察设计注册工程师公共基础知识要求定位在“工程科学基础”、“现代工程技术基础”和“现代工程管理基础”三个方面，其中包含理论性、方法性、技术性和知识性四个层次的基本要求。

上述的三个方面和它们所包含的四个层次知识要求是从勘察设计注册工程师执业资格考试的角度提出的，是对工程师执业所必须具备的基本素养的检验。它有别于高校基础课程教学的要求，但又和他们所受教育的背景有关；它不是对应考者学历资格的重复检验，但又必须和我国工程高等教育的状况保持必要的衔接。

从工程师公共基础知识检验的角度，编者在丛书中力图体现新考试大纲的下述基本精神：

1. 对理论性问题，重基本概念

描述物质世界基本规律的定理、定律，以及和从事工程设计工作的工程师们密切相关的社会和经济运行的基本规律是人们终身收益的知识精髓，是保证工程师能够跟上科学技术的发展，作到“与时俱进”的重要条件，工程师们必须对此具有清晰的概念和深刻的认识，要求“招之即来，来之能用”。对于更进一步的要求，如奇异现象解释、疑难问题处理、综合问题求解等则不做要求。

2. 对方法性问题，重要领

方法指的是处理问题基本的科学方法，包括数学的、物理的、力学的、化学的，以及社会和经济等各个基础学科的基本描述与分析方法，如问题的描述与建模、模型求解、统计方法、数值计算，映射变换，物理实验，化学分析等等。这些普遍的科学方法也都是人们终身受益的科学精髓，工程师们对这些基本方法的核心思想必须深刻领悟，对这些方法的基本要领必须掌握。但不强调解题技巧、难题求解以及复杂问题的综合分析等。

3. 对技术性问题，重要点

技术性问题，如技术名词、术语的含义、技术设备的基本原理、应用系统

的基本组成和主要功能等，要求具有明晰的概念和清楚的认识，而一些具体的细节问题，如技术设备和系统的设计方法与实现手段，以及和运行操作、维护管理有关的问题等，本丛书并不做特别的强调。

鉴于现代电气与信息技术已经成为各个专业领域核心技术中重要的、共有的组成部分，新大纲强调了对该技术领域知识的检验，在本丛书中也给予了特别的重视。

4. 对知识性问题，重知识面

知识性问题是指那些对工程师而言是重要的、必要的常识性问题。知识性问题注重检验工程师们的知识面和应对科技进步挑战的潜力，并不要求对多学科、多领域知识的系统掌握和深入理解。知识性问题遍布大纲的各个部分，在信息与计算机、经济与法律法规部分则有更多体现。丛书对知识性内容以简要、通俗的方式予以叙述或介绍。

应当指出，上述所不特别强调的问题或内容只是从对工程师公共基础知识背景检验或认定的角度考虑的，并不是说这些问题或内容对工程师不重要。相反，这些问题和内容是重要的，但它们应当在专业基础以及专业知识和能力的检验中去体现。

根据上述的基本精神和处理原则，读者不难理解本丛书的下述性质和作用：

1. 丛书是对大纲条目内涵和外延的具体界定和详尽说明，它是一套准确反映考试要求的详解手册而不是教科书。对于已有的知识，读者可以从中得到温故知新；对于或缺的知识，读者可以从中得到进一步学习的指导，从而有效地加以补充。

2. 执业资格考试的性质决定了它有别于学校培养人才的合格性认定，它不是对学历背景的重新检验，所以考试大纲不是高校基础课程教学大纲的简单集合，它既包含高校课程的核心内容，也包括对勘察设计工程师基本素质的特定要求。读者必须按照考试大纲的要求，逐条落实自己的应试准备，不可因盲目通读大学课本而事倍功半。本丛书将对此提供有益的帮助。

3. 执业资格考试实质上是一种国家设立的某一专业领域资格的认定标准，内容结构既有公共性，也有专业性，公共部分内容要求原则上不考虑个体差异的消弭或不同学历背景间的平衡。本丛书也不是教科书，并不提供考试大纲条目内容所涉及知识体系的全貌，它只是一份详细的提纲，为应考者提供脉络清晰的备考指导。读者还必须根据自身的情况做出自己的安排，作好切实的准备，该复习的复习、该补充的补充，没有捷径可走。

为便于读者使用，丛书分四册编写：

1. 第1册《数理化基础》：本册构成本丛书工程科学基础的前3章，即数学基础、物理基础和化学基础3章，是工程科学基础要求的核心部分，包含描述

物质结构和运动规律的基本理论和基本方法的提要和必要的讲解。对于学历基础厚实的读者,只要浏览本册,了解具体要求即可;对于基础欠缺的读者则需要认真补充并深入理解有关的基础概念、理论和方法。

2. 第2册《力学基础》:本册构成本丛书工程科学基础的后3章,即第4~6章。它根据勘察设计注册工程师对工程力学基础的特殊要求编写,包含理论力学、材料力学和流体力学三个学科的基本理论、方法和应用的提要与讲解。建议所有读者都应精读本册并认真准备,借应考之机全面充实自身的力学知识,提高力学修养,加强运用力学知识分析工程问题的能力。

3. 第3册《电气与信息技术基础》:现代工程技术基础包括诸多方面,但作为勘察设计行业各个专业共同的基础,则非电气与信息技术莫属。电气与信息包括电工技术、电子技术和计算机技术三个领域,它们的核心任务都是处理信息,所以本丛书以信息为主线,将它们作为一个整体集中于一册中加以说明。本册共分三章编写,即丛书的第7~9章,分别阐述对电工电子、信号与信息,以及计算机三个方面的知识性要求,其中信号与信息是信息处理的核心概念,电工电子是信息处理的核心技术,而计算机则是信息处理的主要工具。读者对本册的内容会感到似曾相识却又相距甚远,觉得自己的知识不甚完整、概念不甚明晰。所以,尽管本册的内容是知识性的,还是应当予以足够重视,通过必要的学习建立现代信息技术更清晰的概念,获取现代信息技术更全面的知识,增强自己运用信息技术的能力。

4. 第4册《工程经济与法律法规》:本册构成丛书的最后两章,即第10章、第11章。工程经济与法律法规是工程设计的社会要素,它和前面那些科学与技术要素具有同等的重要性,所以,新大纲强化了这方面知识的考核要求也就不言而喻了。尽管在我国的高等工程教育中设立了经济与法规的相关课程,但在学生的学习进程中却往往得不到足够的重视,所以,读者要特别关注本册的内容,通过强化学习来增强自身的社会意识,做一个基础知识全面、综合素质优秀的合格的设计工程师。

本丛书的编写是全国勘察设计注册工程师公共基础考试大纲修订工作的一个重要组成部分,编写的思路是明晰的,谅必会有益于读者。但是,由于编写时间紧促,必定存在诸多不完善之处,还望读者及各方面人士不吝指教。

赵春山

2009年5月

目 录

前言

第4章 理论力学 1

4.1 静力学 1

4.1.1 基本概念 1

4.1.2 约束与约束力 3

4.1.3 平面汇交力系 8

4.1.4 平面力偶理论 10

4.1.5 平面任意力系 12

4.1.6 平面静定桁架结构的平衡问题 16

4.1.7 摩擦 18

4.2 运动学 21

4.2.1 点的运动学 21

4.2.2 刚体的基本运动 27

4.3 动力学 31

4.3.1 牛顿定律及质点运动微分方程 31

4.3.2 动量定理 33

4.3.3 动量矩定理 38

4.3.4 动能定理 42

4.3.5 达朗贝尔原理 47

4.3.6 质点的直线振动 51

第5章 材料力学 58

5.1 绪论 58

5.1.1 材料力学的任务 58

5.1.2 材料力学的研究对象 58

5.1.3 材料力学的基本假设 59

5.1.4 内力及应力 59

5.1.5 位移、变形及应变 60

5.1.6 构件的基本变形 60

5.2 轴向拉伸与压缩 60

5.2.1 轴向拉伸与压缩的概念 60

5.2.2 拉压杆横截面上的内力 60

5.2.3 横截面上的应力及强度条件 61

5.2.4 斜截面上的应力 62

5.2.5 拉压变形与胡克定律 63

5.2.6 简单拉压超静定（静不定）问题 64

5.2.7 材料拉伸、压缩时的力学性能 66

5.3 剪切 68

5.3.1 剪切的概念 68

5.3.2 剪切强度的实用计算 68

5.3.3 挤压强度的实用计算 68

5.4 圆轴扭转 71

5.4.1 扭转概念 71

5.4.2 扭矩与扭矩图 71

5.4.3 切应力互等定理与剪切胡克定律 73

5.4.4 圆轴扭转切应力与强度条件 73

5.4.5 圆轴的扭转变形与刚度条件 75

5.5 截面的几何性质 77

5.5.1 静矩与形心 77

5.5.2 简单截面的惯性矩与惯性积 79

5.5.3 形心主惯性轴与形心主惯性矩 80

5.5.4 组合截面的二次矩与平行移轴公式 81

5.6 弯曲内力 83

5.6.1 平面弯曲的概念 83

5.6.2 弯曲内力及内力图 84

5.6.3 分布荷载集度 q 与剪力 F_s 、弯矩 M 之间的微分关系 84

5.7 弯曲应力 88

5.7.1 弯曲正应力 88

5.7.2 弯曲切应力 91

5.7.3 弯曲强度条件 91

5.7.4 提高梁强度的措施 93

5.7.5 弯曲中心的概念 95

5.8 弯曲变形 97

5.8.1 梁的挠曲线、挠度与转角 97

5.8.2 挠曲线近似微分方程 97

5.8.3 梁变形的求解 98

5.8.4 梁的刚度条件和提高梁弯曲刚度的措施 99

5.8.5 变形比较法求解简单超静定（静不定）梁 100

5.9 应力状态与强度理论 101

5.9.1 应力状态的概念	101	6.2.3 恒定总流的能量方程	134
5.9.2 平面应力状态分析的解析法	102	6.2.4 恒定总流的动量方程	136
5.9.3 平面应力状态分析的图解法	105	6.3 流动阻力和能量损失	138
5.9.4 三向应力状态及广义胡克定律	108	6.3.1 实际流体流动的两种流态	138
5.9.5 强度理论	111	6.3.2 均匀流基本方程	140
5.10 组合变形	113	6.3.3 圆管中的层流运动	141
5.10.1 组合变形的概念	113	6.3.4 圆管中的紊流运动	142
5.10.2 斜弯曲	114	6.3.5 局部水头损失	146
5.10.3 轴向拉伸(压缩)与弯曲 组合	115	6.3.6 局部阻碍之间的相互干扰和 减阻措施	146
5.10.4 弯曲与扭转组合变形	117	6.3.7 边界层的基本概念	148
5.11 压杆稳定	119	6.4 孔口、管嘴、管道流动	150
5.11.1 压杆稳定性的概念	119	6.4.1 孔口自由出流	150
5.11.2 细长压杆的临界力	119	6.4.2 孔口淹没出流	151
5.11.3 临界应力及欧拉公式的适用 范围	120	6.4.3 管嘴出流	152
5.11.4 临界应力总图	120	6.4.4 有压管道恒定流	154
5.11.5 压杆稳定校核	122	6.5 明渠恒定流	158
5.11.6 提高稳定性的措施	123	6.5.1 明渠流的基本概念	158
第6章 流体力学	125	6.5.2 过水断面的几何要素	159
6.1 流体主要物性及流体静力学	125	6.5.3 明渠均匀流的水力特征和 形成条件	159
6.1.1 流体的连续介质模型	125	6.5.4 明渠均匀流基本公式	160
6.1.2 流体的惯性	125	6.5.5 明渠均匀流的水力最优断面	162
6.1.3 流体的压缩性和热胀性	125	6.5.6 明渠非均匀流	162
6.1.4 流体的粘性	126	6.6 渗流、井和集水廊道	164
6.1.5 流体静压强及其特性	127	6.6.1 概述	164
6.1.6 重力作用下静水压强的分布 规律	128	6.6.2 渗流基本定律	164
6.1.7 作用于平面的液体总压力的 计算	129	6.6.3 集水廊道	166
6.2 流体动力学基础	131	6.6.4 单井	166
6.2.1 流场的基本概念	131	6.7 相似原理和量纲分析	167
6.2.2 恒定总流的连续性方程	133	6.7.1 流动相似的基本概念	168
		6.7.2 相似准则	168
		6.7.3 量纲与量纲和谐原理	170

第 4 章

理 论 力 学

理论力学是研究物体机械运动一般规律的科学。机械运动是指物体的空间位置随时间的变化。具体地说，理论力学的内容主要包括：

- (1) **静力学** 研究力系的简化及平衡条件。
- (2) **运动学** 从几何的角度研究物体运动的变化规律。
- (3) **动力学** 研究受力物体的运动与作用力之间的关系。

4.1 静力学

静力学研究物体受力及平衡的一般规律。所谓物体的平衡，是指物体相对某一惯性参考系保持静止或匀速直线平移的运动。

静力学研究的基本对象是刚体。所谓**刚体**，是指在力的作用下，其内部任意两点之间的距离保持不变的物体。

4.1.1 基本概念

1. 静力学研究的基本问题

(1) **力系的简化** 作用于物体上的一群力称为**力系**。如果两个力系对物体的作用效果相同，称此二力系为**等效力系**。用一力系去等效代替另一力系，称为**力系的等效替换**。

力系的简化是以最简单的力系等效替换原来较复杂的力系，并由此分析原力系的作用效果。

如果一个力系可以简化为一个力，则称此力为原力系的**合力**，原力系中各力为合力的**分力**。将力系简化为一个力的过程称为**力系的合成**，反之称为**力的分解**。

(2) **力系的平衡条件及其应用** 根据力系简化的结果可以导出力系的平衡条件。当物体处于平衡时，其所受的力系称为**平衡力系**。此时，力系中的力应满足一定的关系，这种关系称为**力系的平衡条件**。表示这种平衡条件的数学方程式称为**力系的平衡方程**。平衡方程揭示了物体平衡时作用于物体上的力的关系。应用这些方程，可以得到待求的各种未知量，如

力、几何性质或其他力学量。这是静力学理论应用的一个重要方面。

2. 力的概念

力是物体之间的相互机械作用, 这种作用使物体的运动状态发生变化或使物体变形。所以, 可以用一个定位的有向线段来表示力, 线段所在的直线称为力的作用线; 线段的长度代表力的大小 (一般地定性表示即可); 线段的方位和指向代表力的方向; 线段的起点 (或终点) 表示力的作用点。力的大小、方向、作用点, 称为力的三要素。改变力的任一要素, 也就改变了力对物体作用的效应。所以, 要确定一个力, 必须说明它的大小、方向和作用点。因此, 力是矢量, 且是定位矢量。通常用大写字母上加箭头作为力的矢量符号, 如 $\vec{F}$ 。在本书中, 用黑体大写字母 $\mathbf{F}$ 表示力矢量, 用普通字母 F 表示力的大小。

力的作用效果是使物体的运动状态和形态发生改变。前者称为力的外效应或运动效应, 后者称为力的内效应或变形效应。一般来讲, 这两种效应是同时存在的。但是, 为了使问题的研究简化, 通常将运动效应和变形效应分开来研究。本书主要研究力的外效应。

按照力的相互作用的范围来区分, 力可以分为集中力与分布力两类。

3. 力在直角坐标轴上的投影

设力 $\mathbf{F}$ 作用于 A 点, 如图 4.1-1 所示, 在力 $\mathbf{F}$ 作用线所在的平面内任取直角坐标系 Oxy , 自力矢 $\mathbf{F}$ 的两端 A 和 B 分别向同平面内直角坐标系的两轴引垂线 (图 4.1-1), 得垂足 a_1 、 b_1 和 a_2 、 b_2 , 线段 a_1b_1 和 a_2b_2 分别为该力在 x 和 y 轴上的投影, 并以 F_x 和 F_y 表示。力的投影是代数量。投影的符号规定如下: 从 a_1 到 b_1 (或从 a_2 到 b_2) 的指向与坐标轴的正向一致时为正; 反之则为负。图 4.1-1 中力 $\mathbf{F}$ 在 x 和 y 轴上的投影分别为

$$\left. \begin{aligned} F_x &= F \cos \alpha \\ F_y &= F \cos \beta \end{aligned} \right\}$$

即力在某轴上的投影等于力的大小乘以力与该轴的正向间夹角的余弦。

当已知力 $\mathbf{F}$ 在坐标轴上的投影为 F_x 和 F_y 时, 则该力的大小及方向余弦为

$$\left. \begin{aligned} F &= \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \\ \cos \alpha &= \frac{F_x}{F}, \quad \cos \beta = \frac{F_y}{F} \end{aligned} \right\}$$

力在轴上的投影是一个重要的概念, 应用投影的概念, 将力的合成由几何运算转换为代数运算, 因而有极大的实用价值。

现将力 $\mathbf{F}$ 沿直角坐标轴方向分解

$$\mathbf{F} = F_x \mathbf{i} + F_y \mathbf{j}$$

由图 4.1-1 可以看出, 力 $\mathbf{F}$ 沿直角坐标轴的分量与在相应轴上投影有以下关系:

$$F_x = F_x \mathbf{i} \quad F_y = F_y \mathbf{j}$$

即力的投影与力的分量二者的大小相等。这一关系在非直角坐标系中并不成立, 如图 4.1-2 所示。只有在直角坐标系中, 力在轴上投影的数值才和力沿该轴的分量的大小相等, 而投影的正负号可表明该分量的指向。

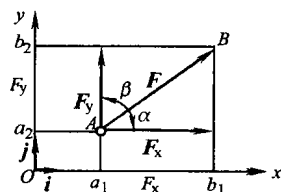


图 4.1-1

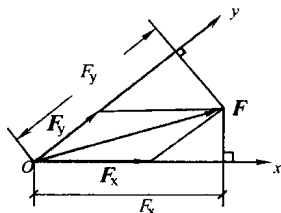


图 4.1-2

必须注意：力的投影与力的分量是两个不同的概念，力的投影是代数量，由力 $\boldsymbol{F}$ 可确定投影 F_x 及 F_y ，但是由投影只可确定力矢 $\boldsymbol{F}$ ，不能确定力作用点的位置；而力的分量是力沿该方向的分作用，是矢量，由分量能完全确定力的三要素。

4.1.2 约束与约束力

物体在空间的位置（或运动）受到周围物体对它预先给定的不同程度的限制，而不能随意运动，这种预先给定的限制运动的条件称为**约束**。

约束通常是通过物体间的直接接触形成的。约束限制物体的运动，当物体沿着约束所限制的方向运动或有运动趋势时，约束对该物体必然有力的作用，以阻碍物体的运动，这种力称为**约束力**。约束力的方向总是与约束所能阻止的物体的运动或运动趋势的方向相反，它的作用点就在约束与被约束物体的接触点。在静力学中，约束对物体的作用，完全决定于约束力。

与约束力相对应，凡能主动引起物体运动或使物体有运动趋势的力，称为**主动力**。例如，重力、风力、水压力等。主动力在工程中也称为**载荷**。通常主动力是已知的，约束力是未知的。

将工程中常见的约束抽象出来，根据其特征，亦即约束力的性质，分成以下各种类型的约束。约束简图和约束力的符号根据约束类型已形成一种约定的画法和标注方法。下面在进行物体的受力分析时，一律采用这些约定。

1. 柔性体约束

柔软、不可伸长的约束物体称为柔性体约束，如绳索、链条、皮带等。如不特别指明，这类约束的截面尺寸及重量一律不计。这类约束的特点是：只能限制物体沿柔性体约束拉伸方向的运动，即只能承受拉力，不能承受压力。**柔性体的约束力是沿其中心线的拉力**，通常用字母 $\boldsymbol{F}_T$ 表示，如图 4.1-3 所示。

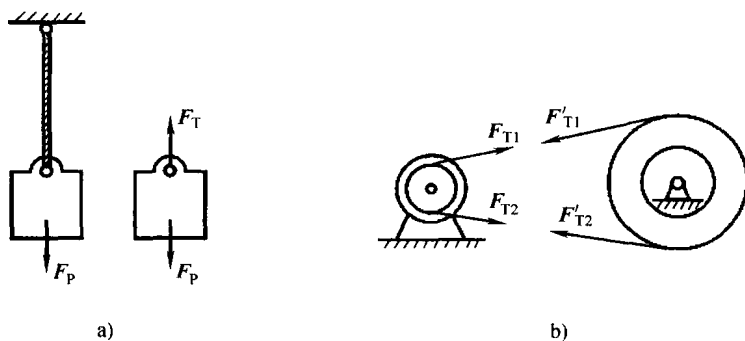


图 4.1-3

2. 光滑面约束

若物体相接触的约束是一光滑表面，则称此约束为**光滑面约束**。绝对光滑是一种理想化的情形。事实上，两物体接触时，总有摩擦存在，不过，当略去这种摩擦不会影响问题的基本性质时，就可以将接触表面视为光滑面约束。这种约束只能限制物体沿接触处的公法线、且指向光滑面一方的运动。点接触时，约束力为集中力，如图 4.1-4a 所示。

齿轮传动时, 相啮合的一对轮齿以它们的齿廓曲面相接触。如不计摩擦就可以认为这是光滑接触, 如图 4.1-4b、c 所示。

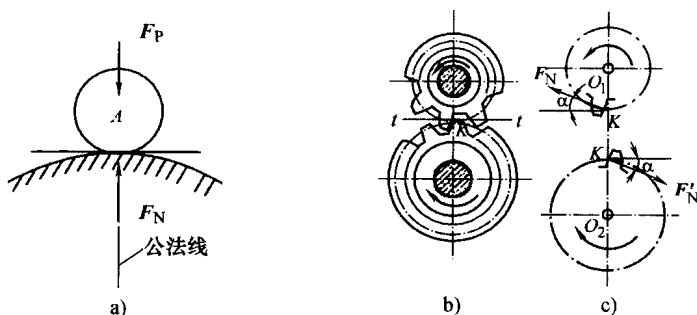


图 4.1-4

若是线或面接触, 如图 4.1-5a、b 所示, 约束力虽是分布力, 一般总是用分布力的合力来表示, 其作用点与物体所受的主动力有关, 要由力学条件来确定。由此可知, **光滑面约束力为集中力, 方向沿接触处的公法线指向物体**。一般用字母 F_{NA} 或 F_{RA} 表示, 下标 A 通常用来说明接触部位。

上面所讲光滑面约束与柔性体约束, 只能限制物体沿一个方向的运动, 而不能限制相反方向的运动, 这种约束称为**单面约束**。单面约束力一般均能事先确定。另一种约束称为**双面约束**, 如图 4.1-6 中导轨限制滑块向上或向下运动。因此对于双面约束力而言, 其作用线的方位已知, 但其指向事先难以确定, 画约束力时, 可以假设它的指向, 如图 4.1-6b 所示。最后, 由其计算值的正负号, 确定其真实的指向, 即: 计算值为正时, 表明假设方向就是真实的方向; 计算值为负时, 表明假设方向与真实方向相反。

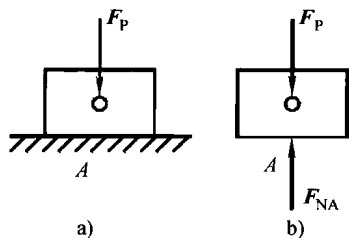


图 4.1-5

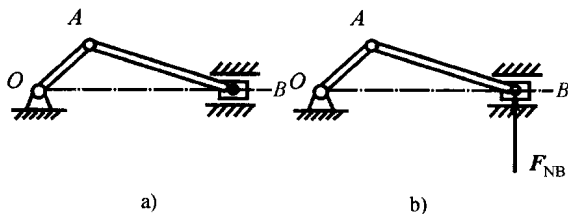


图 4.1-6

3. 光滑圆柱形铰链约束

光滑圆柱形铰链约束的本质是光滑面约束。它大量地用于工程实际中, 其结构形式比较典型, 因此, 单独列为一类约束。

(1) **中间柱铰链** 圆柱形铰链简称**圆柱铰**, 是连接两个构件的圆柱形零件, 一般称为**销钉**。例如, 门窗上的合页, 机器上的轴承、图 4.1-6 中曲柄与连杆之间和连杆与滑块之间的连接等。

这类约束可视为由圆柱销插入两构件的圆柱孔而构成,并忽略摩擦和圆柱与构件上圆柱的间隙。如图 4.1-7a 中,两个构件各有一圆孔,中间用一圆柱形销钉连接起来,便构成一光滑中间柱铰链。它只允许两构件绕销钉轴线有相对转动,销钉对构件的约束力的作用点在接触点处,它总是沿销钉的径向,通过其中心,如图 4.1-7b 所示。在一般情况下,柱铰链的约束力的作用点及其大小,仅由约束本身的特征是不能确定的。但其作用线通过销钉中心,因此,通常将光滑柱铰链的约束力用两个大小未知的正交分力表示,其作用线通过圆柱的中心。柱铰链约束的简图与约束力的画法如图 4.1-7c、d 所示,一般用符号 F_A 、 F'_A 或 F_{Ax} 或 F_{Ay} 表示。这种铰链称为中间柱铰链。

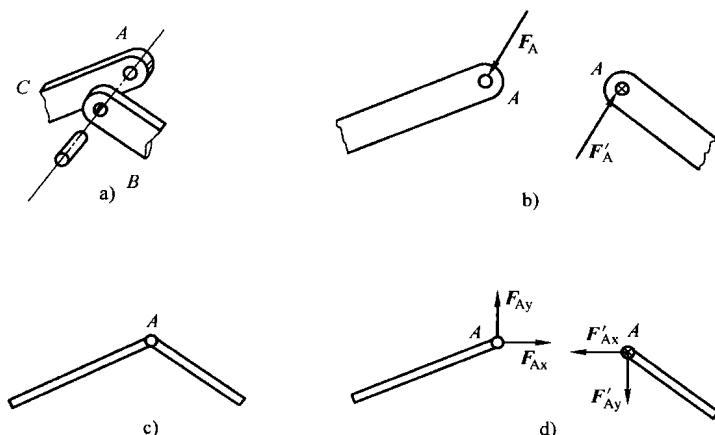


图 4.1-7

(2) **固定柱铰链支座** 如果将上述用中间铰链相连的两构件之一固定在支承物上,此种约束则称为固定柱铰链支座,简称为铰链支座,如图 4.1-8a、b 所示,铰链支座简图见图 4.1-8c,这种支座约束的特点是物体只能绕铰链轴线转动而不能发生垂直于铰轴的任何移动,所以铰支座约束的约束力在垂直于圆柱销轴线的平面内,通过圆柱销中心,方向不定,通常表示为相互垂直的两个分力,如图 4.1-8d 所示。

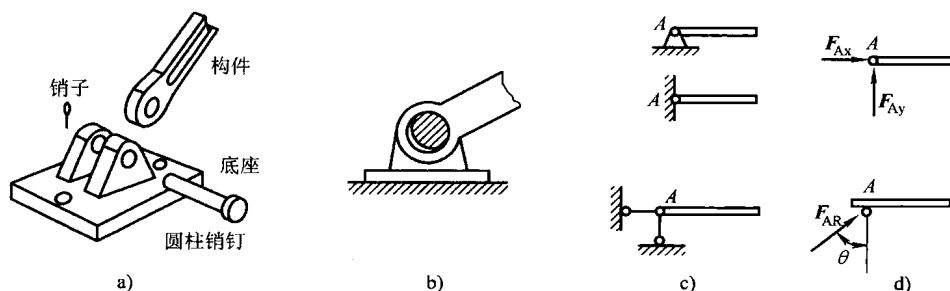


图 4.1-8

(3) **滚动柱铰链支座** 工程中为了保证构件变形时不仅可绕某轴发生微小转动,还可以沿垂直于轴的方向有微小的平移,由此设计出滚动柱铰链支座,简称滚动支座,如图 4.1-

9a 所示。它是在铰链支座的下面安装了几个辊轴, 又称**辊轴支座**, 可以是单面的, 也可以是双面的。这种约束只限制物体沿支承面法线方向的运动, 类似于光滑面约束。**滚动支座的约束力沿支承面法线, 通过铰链中心**。一般用符号 F_{NA} 或 F_{RA} 表示。滚动支座简图及约束力画法如图 4.1-9b、c 所示。

4. 链杆约束

两端用光滑铰链与物体连接, 中间不受力 (包括自重在内) 的刚性直杆称为**链杆**, 如图 4.1-10a 中的 AB 杆。链杆约束只能限制物体上与链杆连接的那一点 (如图 4.1-10 中的 A 点)、沿链杆的中心线趋向或背离链杆的运动。链杆也称**二力杆**, 既能受拉, 又能受压。因此, **链杆的约束力沿其中心线**, 指向事先难以确定, 通常假设它受拉, 再由其计算值的正负号来确定受拉或受压。链杆约束力的画法如图 4.1-10b 所示, 一般用符号 F_A 表示。

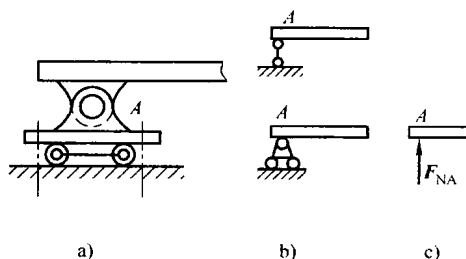


图 4.1-9

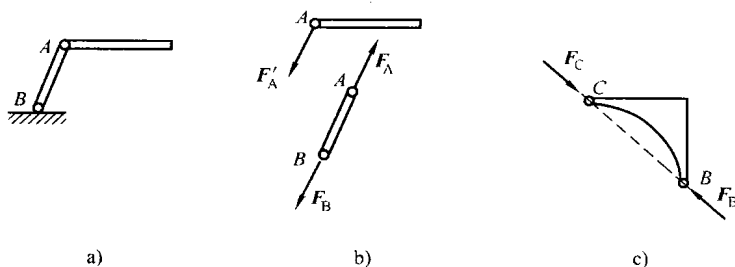


图 4.1-10

因此, 铰链支座也可用两根不相平行的链杆来代替, 如图 4.1-8c 所示, 而辊轴支座可用垂直于支承面的一根链杆来代替, 如图 4.1-9b 所示。

作为推广二力杆也可制成折杆的形状, 如图 4.1-10c 所示, 也称为**二力构件**。

5. 受力图

将所研究的物体或物体系统从与其联系的物体中分离出来, 分析它的受力状态, 并以受力图的形式表示, 这一过程称为**物体的受力分析**。它包括两个步骤。

(1) **选择研究对象, 取分离体** 根据实际情况, 选取某个物体或物体系统进行分析研究, 这就是选择**研究对象**。一旦明确了研究对象, 需要解除它受到的全部约束, 将其从周围的约束中分离出来, 并画出相应的简图, 这一步骤称为**取分离体**。

(2) **画受力图** 在分离体图上, 先画上所有的主动力, 为了保证分离体能处于分离前的状态, 还必须依据所去掉的约束的特征, 逐个画上相应的约束力, 然后标明各力的符号, 这个简图称为**受力图**。

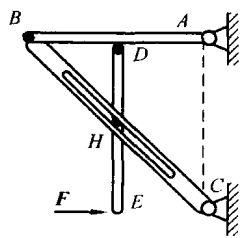
受力分析是力学的基础, 为了能够正确地画出研究对象的受力图, 画受力图时, 应注意以下几点:

- 1) 明确研究对象, 画出它所受的主动力;
- 2) 按照上节所讲的约束类型画出各约束力的作用线和指向;

3) 在物系问题中, 宜先画整体的受力图, 再画各分离体的受力图, 当分析两分离体之间相互作用力时, 应符合作用与反作用关系; 作用力方向一经假定, 则反作用力方向与之相反。画整体的受力图时, 由于内力成对出现, 因此不必画出, 只需画出全部外力。

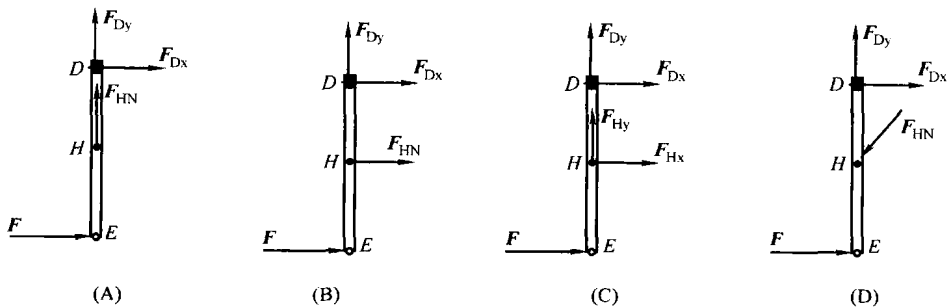
4) 如果分离体与二力构件相连, 要按二力构件的特点去画它对分离体的作用力。一般情况下, 二力构件的两端为铰链, 在去掉铰链约束之处, 此作用力宜画成沿此二力杆两铰链连线的方向。

5) 滑轮一般不单独分离出单画力图, 而与某个构件连在一起。



【例 4.1-1】图

【例 4.1-1】 【例 4.1-1】图的构架中, BC 杆上有一导槽, 焊接在 DE 杆上的圆钉可在其中滑动。设所有接触面均光滑, 各杆的自重不计, 在 DE 杆受力图导槽对圆钉 H 的作用力是下列四个图中的哪一个? ()

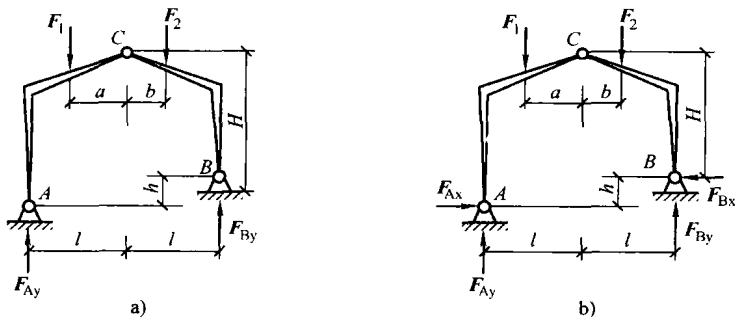


答案: (D)。

解: BC 杆上的导槽对销钉 H 的约束是一个双面的光滑面约束, F_{HN} 应是槽的法线方向, 由于光滑面是双面的, F_{HN} 的指向可以假设。

【例 4.1-2】某厂房用三铰刚架, 由于地形限制, 铰 A 及 B 位于不同高度, 刚架上的载荷已简化为两个集中力 F_1 及 F_2 。受力图如【例 4.1-2】图 a 所示。试判断其是否正确? ()

- (A) 正确。无水平载荷, A 、 B 处约束力应无水平分量
 (B) 错误。受力图中未画出铰链 C 的约束力
 (C) 错误。 AC 和 BC 构件均为二力构件, A 、 B 处约束力应有水平分量
 (D) 错误。 A 、 B 处约束力应有水平分量



【例 4.1-2】图

答案: (D)。

解: A 、 B 处为固定铰支座约束力应有水平分量。正确的受力图如【例 4.1-2】图 b 所示。 AC 和 BC 构件均不是二力构件。

4.1.3 平面汇交力系

1. 力系的简化

(1) 几何法 设刚体上作用有汇交于同一点 O 的三个力 F_1 、 F_2 和 F_3 , 如图 4.1-11a 所示。显然, 只需连续应用力的平行四边形法则, 或力的三角形法则, 就可以求出 F_1 、 F_2 和 F_3 的合力 F_R , 其大小和方向可由图 4.1-11b 上量出。而合力作用点仍在汇交点 O 。

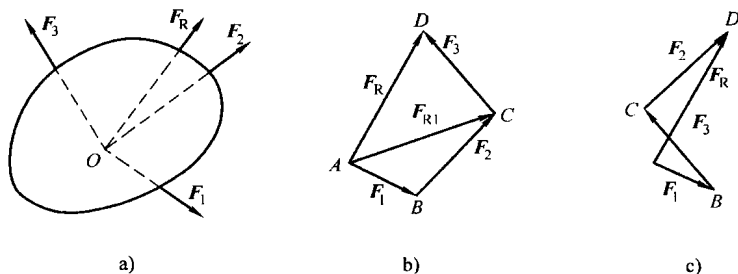


图 4.1-11

实际作图时中间矢量 F_{R1} 不必画出, 只要把各力矢量首尾相接, 画出一个开口多边形 $ABCD$, 最后将第一个力 F_1 的始端 A 与最末一个力 F_3 的末端 D 相连, 所得的矢量就代表该力系合力 F_R 的大小和方向, 如图 4.1-11b 所示。这个多边形 $ABCD$ 叫力多边形, 这种以力多边形求合力的作图规则, 称为力多边形法则。这种方法称为几何法。

应该指出, 由于力系中各力的大小和方向已经给定, 画力多边形时, 任意变换画力矢的次序, 只影响力多边形的形状, 而不影响最后所得合力的大小和方向, 如图 4.1-11c 所示。但应注意, 各分力矢必须首尾相接, 而合力的指向应从力多边形的第一个力矢的始端指向最后一个力矢的末端。

上述方法也适用于任意个汇交力的情形。即平面汇交力系合成的结果是一个合力, 它等于原力系中各力的矢量和, 合力的作用线通过各力的汇交点。这一关系可用矢量式表示为

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \cdots + \mathbf{F}_n = \sum \mathbf{F}_i$$

(2) 解析法 汇交力系各力 F_i 和合力 F_R 在直角坐标系中的解析表达式为

$$\mathbf{F}_i = F_{xi} \mathbf{i} + F_{yi} \mathbf{j}$$

$$\mathbf{F}_R = F_{Rx} \mathbf{i} + F_{Ry} \mathbf{j}$$

即

$$F_{Rx} = \sum_{i=1}^n F_{xi}, \quad F_{Ry} = \sum_{i=1}^n F_{yi}$$

这表明: 汇交力系的合力在某轴上的投影等于各力在同一轴上投影的代数和, 称为合力投影定理。应用这一定理, 得到汇交力系合力的大小和方向余弦: