

普通中等专业教育机电类规划教材

理论力学

机电部中专基础课教学指导委员会工程力学学科组 编

机械工业出版社

普通中等专业教育机电类规划教材

理 论 力 学

王天培	朱国桢	许峡峰	主编
王祚钟	杜建根	张忠蓉	编
袁世民	玉平凡	吴建生	

28622



机械工业出版社

(京)新登字054号

本书是为适应各中专校理论力学课程学时普遍减少后的教学需要,按70学时左右的篇幅编写的。

全书共14章,内容包括:静力学基础、平面基本力系、平面一般力系、摩擦、空间力系、重心、点的运动、刚体的基本运动、点的合成运动、刚体的平面运动、质点动力学基础、刚体定轴转动动力学基本方程、动能定理和动静法。本书根据中专教学要求和特点,以培养具体解决力学问题的能力为目标,力求内容简明并避免复杂的数学推导。本书为机类和近机类专业的中专教材,也可供工程技术人员参考。

理 论 力 学

机电部中专基础课教学指导 编
委员会工程力学学科组

责任编辑:赵爱宁 版式设计:王 颖

封面设计:方 芬 责任校对:丁 昊

责任印制:卢子祥

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

邮政编码:100037

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

北京交通印务实业公司

(原人民交通出版社印刷厂)印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张 $12^{1/4}$ ·字数 296千字
1993年10月北京第1版·1993年10月北京第1次印刷

印数 0 001—8 700·定价:6.30 元

ISBN 7-111-03769-3/0·85(课)

前 言

为适应各中专校理论力学课程学时普遍减少后的教学需要,本书从国家教育委员会审定的中专机械类专业理论力学教学大纲的基本要求出发,适当精简内容后编写而成的,可作为中专校机类、近机类专业70学时理论力学课程的教材。

本书根据中专教学要求和特点,力求内容简明、深广适度,避免繁琐的数学推导,侧重于通过对例题、思考题以及习题等实例的分析和计算,训练学生具体解决力学问题的能力。书中有些章节具有相对独立性,教师可根据实际情况作必要的取舍。

参加本书编写的有:山东机械工业学校王祚钟(第一章)、中原机械工业学校杜建根(第二章)、沈阳机电工业学校张忠蓉(第三、六章)、重庆机器制造学校许峡峰(第四、五章)、包头机械工业学校朱国桢(绪论和第七、九章)、成都无线电机械学校袁世民(第八、十章)、中原机械工业学校王天培(第十一、十四章)、广西机械工业学校玉平凡(第十二章)和无锡机械工业学校吴建生(第十三章)。全书由王天培、朱国桢、许峡峰主编,成都无线电机械学校程汉章主审,最后由朱国桢定稿。

本书采用我国法定计量单位,有关量、单位及符号均执行国家标准的一系列新规定。

由于我们对教学改革的精神领会不深,水平有限,书中难免存在缺点和错误,恳请读者指正。

编 者

1993年1月

目 录

前言

绪论	1
----	---

第一篇 静 力 学

第一章 静力学基础	3	第四节 物体系统的平衡问题	44
第一节 力的概念	3	思考题	48
第二节 静力学公理	4	习题	49
第三节 约束与约束反力	6	第四章 摩擦	55
第四节 物体的受力分析和受力图	9	第一节 滑动摩擦	55
思考题	12	第二节 具有摩擦的平衡问题	57
习题	13	思考题	62
第二章 平面基本力系	15	习题	63
第一节 平面汇交力系合成与平衡的几何法	15	第五章 空间力系	67
第二节 平面汇交力系合成与平衡的解析法	18	第一节 力在空间直角坐标系中的投影与分解	67
第三节 力矩·合力矩定理	22	第二节 力对轴之矩	69
第四节 力偶·平面力偶系的合成与平衡	24	第三节 空间力系的平衡方程	70
思考题	27	第四节 空间力系问题的平面解法	73
习题	29	思考题	75
第三章 平面一般力系	34	习题	75
第一节 力的平移定理	34	第六章 重心	79
第二节 平面一般力系的简化	35	第一节 重心和形心的坐标公式	79
第三节 平面一般力系的平衡方程及其应用	39	第二节 重心及形心位置的求法	81
		思考题	85
		习题	85

第二篇 运 动 学

第七章 点的运动	89	和加速度	109
第一节 自然法描述点的平面曲线运动	89	思考题	113
第二节 直角坐标法描述点的平面曲线运动	95	习题	114
思考题	101	第九章 点的合成运动	116
习题	102	第一节 点的合成运动概念	116
第八章 刚体的基本运动	105	第二节 速度合成定理	117
第一节 刚体的平动	105	思考题	122
第二节 刚体的定轴转动	105	习题	122
第三节 定轴转动刚体上各点的速度		第十章 刚体的平面运动	126
		第一节 平面运动的分析	126
		第二节 基点法求平面图形内点的速	

度.....	127
第三节 瞬心法求平面图形内点的速度.....	129

思考题.....	134
习题.....	136

第三篇 动 力 学

第十一章 质点动力学基础.....	141
第一节 动力学基本定律.....	141
第二节 质点动力学基本方程.....	142
第三节 质点动力学两类基本问题.....	143
思考题.....	146
习题.....	147
第十二章 刚体定轴转动动力学基本方程.....	149
第一节 刚体定轴转动动力学基本方程.....	149
第二节 转动惯量.....	149
第三节 刚体定轴转动动力学方程的应用.....	152
思考题.....	154
习题.....	154

第十三章 动能定理.....	157
第一节 力的功.....	157
第二节 动能及其表达式.....	161
第三节 质点的动能定理.....	162
第四节 质点系的动能定理.....	164
第五节 功率和机械效率.....	166
思考题.....	169
习题.....	170
第十四章 动静法.....	175
第一节 达朗伯原理.....	175
第二节 刚体惯性力系的简化.....	177
思考题.....	181
习题.....	181
习题答案.....	185
主要参考文献.....	190

绪 论

一、理论力学的研究对象与内容

理论力学是研究物体机械运动一般规律的学科。

所谓**机械运动**，是指物体在空间的相对位置随时间的变化。**平衡**则是机械运动的特殊情况。在物质的各种运动形式中，机械运动最简单，也最常见。物质的更高级更复杂的运动形式，往往都伴随着机械运动。因此，理论力学是研究其它许多学科所必须具备的理论基础。

理论力学课程内容包括以下三个部分：

静力学 研究作用于物体的力的平衡规律。

运动学 研究物体运动的几何性质，而不涉及引起运动变化的原因。

动力学 研究作用于物体的力与物体运动变化之间的关系。

二、学习理论力学的目的

理论力学广泛应用于建筑结构、机械与电气设备、控制与自动化、航空与航天技术以及地震科学等等领域，是现代工程技术科学的重要理论基础。因此，工程技术人员都必须具备一定的理论力学知识。学习本课程的主要目的如下：

1) 为学习一系列后继课程，如材料力学、结构力学、机械原理与机械零件以及有关专业课，提供必要的力学基础。

2) 初步学习处理工程实际问题的方法。

3) 深入理解理论力学的研究方法，对于建立辩证唯物主义的世界观，培养正确的分析和解决问题的能力，都十分有益。

三、理论力学的研究方法

理论力学是遵循正确的认识规律，并紧密地依附于社会生产力的发展而不断发展起来的。

理论力学以伽里略和牛顿总结的基本定律为基础，属于经典力学范畴。经典力学的发展，经历了不断观察、实验以及抽象、推理的过程。在理论力学中，舍弃了各种表面现象和次要因素，建立了理想的力学模型系列，又经过推理判断，得出相应的普遍规律和结论。这就是力学中的抽象化方法。

严密的数学演绎方法，是理论力学的推理手段，也是赖以正确反映力学量之间数量关系的计算方法。

将工程实际问题抽象为力学模型，再根据力学理论并运用数学工具求得结果，又通过实践去检验这些结果，这就是理论力学的研究方法。

第一篇 静 力 学

静力学研究物体在力系作用下处于平衡的规律。所谓力系，是指同时作用于物体的一群力。平衡是指物体相对于地面保持静止或作匀速直线运动。

静力学中采用的力学模型是刚体，故静力学又称刚体静力学。刚体是指在力的作用下不变形的物体。实际物体受力后都会产生不同程度的变形，但这些微小的变形对静力学问题的研究结果没有显著影响，可以略去不计，从而使问题的研究大为简化。刚体静力学是研究变形体力学的基础。

在静力学中着重研究以下三个问题：

1. 刚体的受力分析

2. 力系的等效替换和力系的简化

在保持对刚体作用效应不变的条件下，作用于刚体的一个力系可用另一个力系来代替，这两个力系互为等效力系。若一个力与一个力系等效，就称这个力是该力系的合力。若用一个简单的力系等效地替换较复杂的力系，则称为力系的简化。

3. 刚体在各种力系作用下的平衡条件

若作用于刚体的力系满足某些特定条件，刚体将处于平衡，这种特定条件称为平衡条件，满足平衡条件的力系叫平衡力系。

第一章 静力学基础

本章介绍作为静力学基础的几个公理，并阐明力和约束等基本概念，以及刚体的受力分析方法，即受力图的绘制。

第一节 力的概念

力是物体间相互的机械作用。

力对物体的效应是使物体机械运动状态发生变化（外效应），同时使物体变形（内效应）。本课程以刚体为研究对象，只讨论力的外效应。

实践表明，力对物体的效应取决于力的大小、方向和作用点，即力的三要素。

力的大小表示机械作用的强弱。我国法定计量单位中力的单位是N（牛顿）。力的方向包括力的作用线在空间的方位和力沿作用线的指向。

既然力是一个具有大小和方向的物理量，因此力是矢量。力的矢量表示见图1-1，黑体斜楷字母 F 代表力矢，按比例所画线段 AB 的长度代表力的大小，线段的方位和箭头表示力

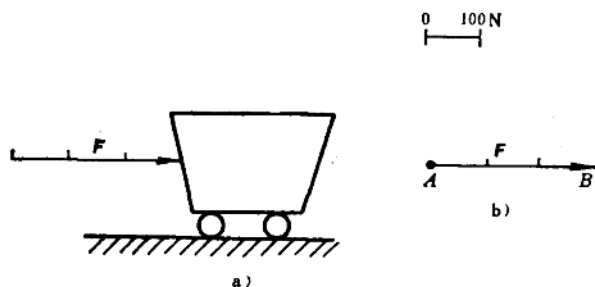


图1-1 力的矢量表示

的方向，其起点或终点表示力的作用点。

第二节 静力学公理

静力学公理是人们在生活和生产活动中长期积累的经验总结，是经过无数实践反复验证的基本力学规律。它是静力学的基础。

一、两力平衡公理

要使受两个力作用的刚体平衡，必须也只需这两个力的大小相等，方向相反，且作用在同一直线上（见图1-2）。

该公理只适用于刚体。两力等值、反向和共线是刚体平衡的必要与充分条件。

只受两力作用而处于平衡的构件称为二力构件。图1-3所示工程结构中的刚性曲杆和圆盘，若不计它们的自重，即为二力构件。

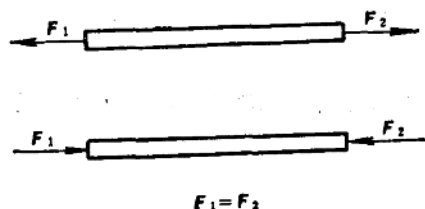


图1-2 两力平衡公理

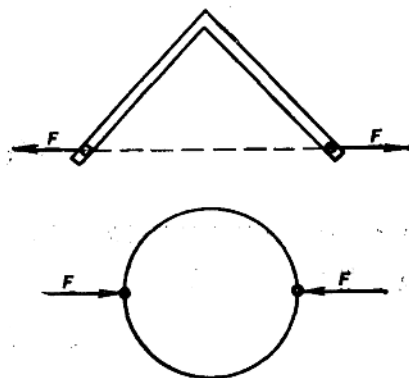


图1-3 二力构件

二、增减平衡力系公理

在作用于刚体的力系上，增加或减去一组平衡力系，并不改变原力系对刚体作用的效应。

此公理也只适用于刚体，不适用于变形体。

推论 力在刚体上的可传性

作用于刚体的力可沿其作用线任意转移，而不改变该力对刚体作用的效应。

证明：1) 设力 F 作用于刚体的 A 点如图1-4a所示，在刚体上沿力 F 作用线任取一点 B 。

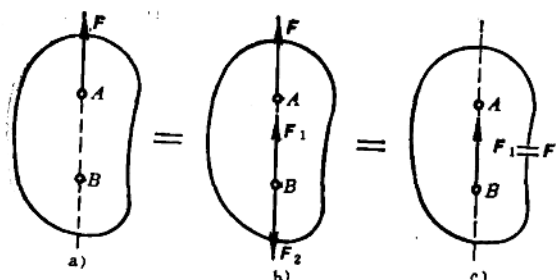


图1-4 力的可传性

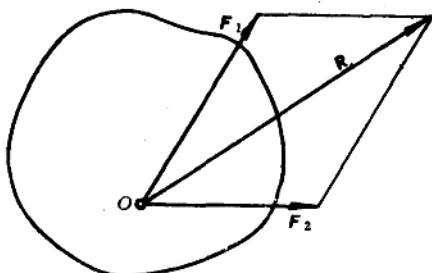


图1-5 力的平行四边形法则

2) 在B点沿 F 作用线加一对平衡力 F_1 和 F_2 , 且令 $F_1 = F_2 = F$, 如图1-4b所示。按增减平衡力系公理可知, 力系 (F_1, F_2, F) 与力 F 等效。

3) 因为力 F 和 F_2 亦是一对平衡力, 故可按公理从力系 (F_1, F_2, F) 中减去 F 和 F_2 , 所剩 F_1 与力系 (F_1, F_2, F) 等效, 如图1-4c所示。由此证明 F_1 与 F 等效。

4) 显然, 力 F_1 就是原来的力 F , 只是作用点从A移到了B。由此证明了作用在刚体上的力可沿其作用线任意转移, 而不改变它对刚体的作用效应。

力的可传性原理表明, 作用在刚体上的力的三要素是: 力的大小、作用线和指向。此时力为滑动矢量。

三、力的平行四边形法则

作用于物体上同一点的两个力的合力, 亦作用于该点, 其大小与方向由该两个力矢量为边构成的平行四边形的对角线决定 (见图1-5)。力的这个性质可写成矢量表达式为

$$R = F_1 + F_2$$

即合力矢 R 等于分力矢 F_1 和 F_2 的矢量和。

利用力的平行四边形法则求合力时, 对于刚体, 两个分力的作用线只要相交即可合成, 这时根据力的可传性, 可将分力移至作用线交点处; 对于变形体, 则要求两个分力有共同的作用点。

推论 三力平衡汇交定理

刚体在三力作用下平衡时, 如其中两个力的作用线相交, 则第三个力的作用线必过该交点, 且三力共面。

图1-6 具体展示了刚体的三力平衡汇交定理的证明过程。如图示, 分别作用于刚体上A、B和C三点的 F_1 、 F_2 和 F_3 三力使刚体平衡, 该三力共面, 汇交于O点。

三力平衡汇交定理将为刚体的受力分析提供较为简捷的方法。

四、作用与反作用定律

甲物体对乙物体施加作用力的同时, 必受到来自乙物体的反作用力, 作用力与反作用力大小相等, 作用线相同, 指向相反。

作用力与反作用力互相依存, 同时出现, 共同消失, 分别作用于不同物体上。这与同一

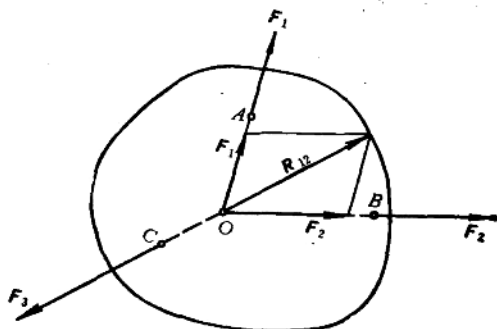


图1-6 三力平衡汇交定理

刚体上作用有两个力的平衡条件问题完全不同，绝不能把作用力和反作用力视为一对平衡力。

第三节 约束与约束反力

本节阐述物体在互相连接（或接触）处存在的作用力。

在实际生活和工程中，很多物体在某些方面的运动往往受其周围其它物体的限制。这些构成限制的物体称为原物体的约束。例如，吊灯悬挂于不可伸长的绳子上，吊灯在沿绳子伸长方向的运动受吊绳的限制，吊绳就是吊灯的约束；铁轨则是火车的约束等等。既然约束限制了物体的运动，即改变了物体的运动状态，也就表明约束对物体的作用实质上是力的作用。约束作用于物体的力称为约束反力或约束力，简称反力。

物体除受约束反力作用外，还受像重力、推力以及各种机械的动力和载荷等主动改变物体运动状态的力的作用。这类力称为主动力。主动力与约束反力不同，它们的大小和方向一般是预先给定的，彼此独立；而约束反力的大小通常是未知的，它取决于主动力的方向和大小，是一种被动力。

对物体进行受力分析的重要内容之一，就是要正确表示约束反力的作用线或力的指向。为此，必须首先掌握各类约束的特征。下面讨论几种常见的典型约束和确定其约束反力的方法。

一、柔索

由绳索、链条、皮带以及钢丝绳等构成的约束统称柔索。这类约束的性质决定了它只能提供拉力。因此，柔索的约束反力作用线沿柔索的轴线，其指向背离物体，作用在与物体的连接点上。通常用 T 或 S 表示该约束反力。例如，图1-7a所示用绳索悬吊重物，绳索给重物的约束反力即拉力 T （见图1-7b）；图1-8a所示为带传动系统，上下两段皮带分别给两轮的约束反力为拉力 T_1 、 T_2 和 T_1' 、 T_2' （见图1-8b）。

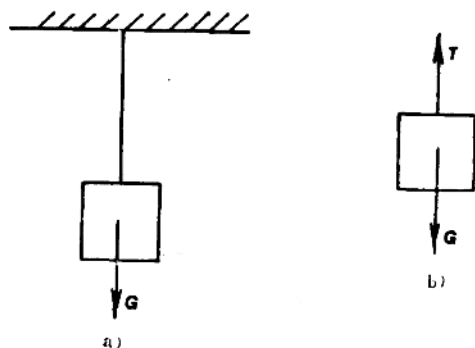


图1-7 绳索的约束反力

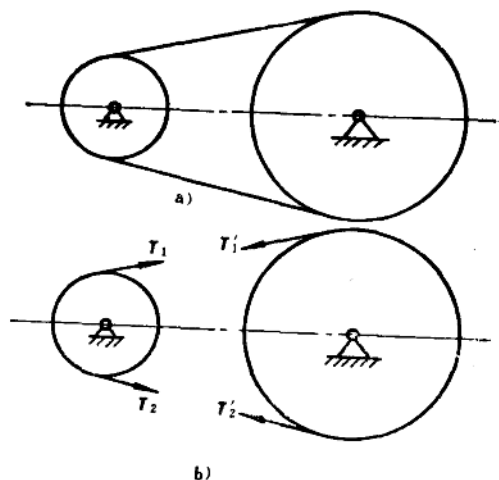


图1-8 皮带的约束反力

二、光滑接触面

如果物体与约束的接触面之间的摩擦可以忽略,则约束只能限制沿接触点处公法线并指向约束方向的运动。因此,光滑接触面的约束反力必沿该公法线并指向物体,简称法向反力。常用 N 表示该约束反力。例如在图1-9a中,光滑固定曲面给圆柱的法向反力为 N ;在图1-9b中,板与固定槽在A、B和C三点接触,槽在该三点处给板的约束反力分别为 N_A 、 N_B 和 N_C 。

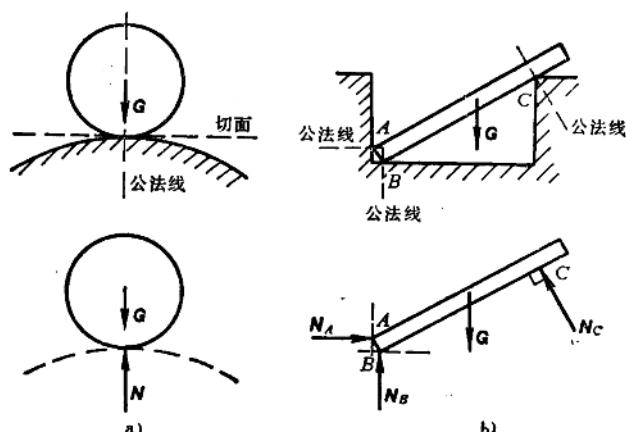


图1-9 光滑接触面的约束反力

三、光滑圆柱形铰链

1. 固定铰链支座

如图1-10a所示,固定铰链支座的底座1固定在地基或机架上,构件2与底座1用圆柱形销钉3连接,构件可绕销钉(铰链轴)转动。如铰链轴与孔之间是光滑接触,则固定铰链支座只限制构件垂直于铰链轴方向的移动,其约束反力作用线必通过且垂直于铰链轴的轴线。显然,铰链轴与被约束构件可在圆柱面的任意一条母线上接触,该母线的位置取决于被约束物体上所受的力。因此,固定铰链支座的约束反力的大小和方向均是未知的,通常用正交分解的两个分力 F_x 和 F_y 表示,如图1-10b所示。固定铰链支座及其约束反力常用图1-10c所示简图表示。

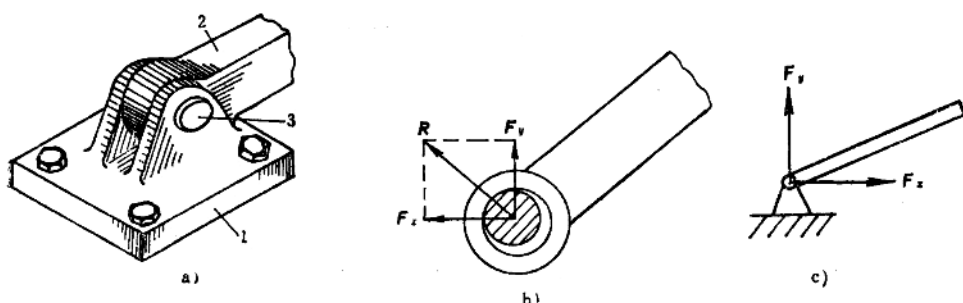


图1-10 固定铰链支座的约束反力

1—底座 2—构件 3—销钉

2. 中间铰链

用圆柱销钉连接两个有孔物体，这种连接称为中间铰链（见图1-11a）。中间铰链对两个被连接物体的约束反力与固定铰链支座相同。这种情况可视为两个被连接物体互为约束，从而省去销钉的传力过程。图1-11b为中间铰链连接简图，图1-11c所示为中间铰链的约束反力。

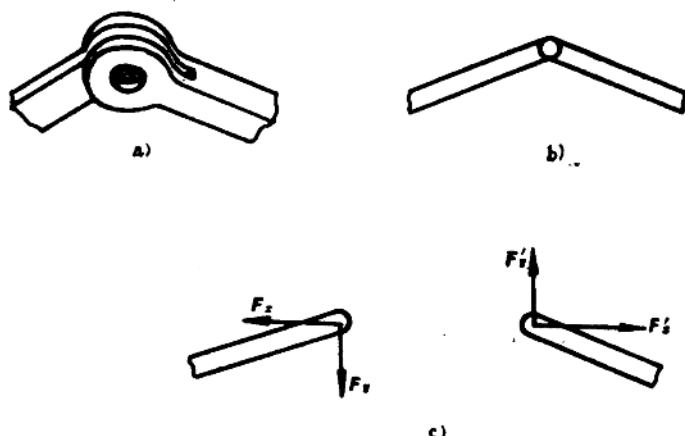


图1-11 中间铰链的约束反力

四、滚动铰链支座

在铰链支座的底部安装一排滚轮，可使支座沿固定支承面滚动，这就是工程中常见的滚动铰链支座（见图1-12a），其简图如图1-12b所示。这类约束只限制沿固定支承面法线方向的移动，因此其约束反力 N 的作用线沿支承面法线并通过铰链中心，如图1-12c所示。约束反力的指向要由支座结构是单面约束还是双面约束等具体情况而定。

实际问题中的约束形式是多种多样的，有的可简化为上述典型形式，有的则要根据构件尺寸、载荷情况等具体简化。

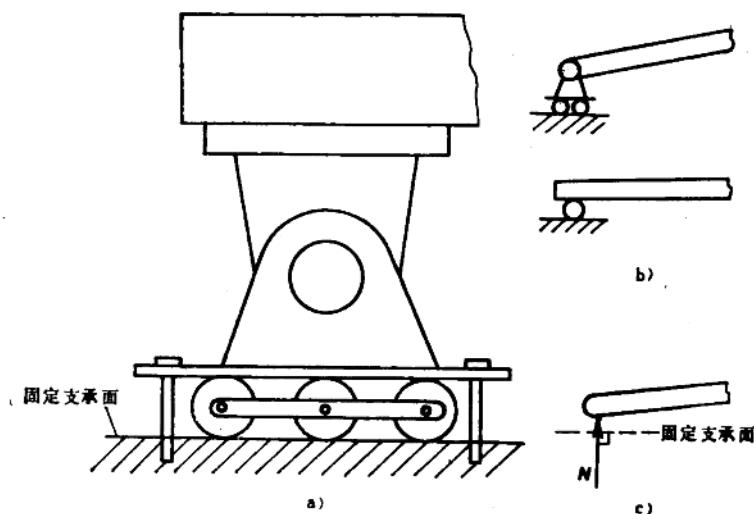


图1-12 滚动铰链支座的约束反力

第四节 物体的受力分析和受力图

求解力学问题需根据已知条件和待求的量,有选择地研究某个物体或几个物体的运动和平衡。为此,首先要确定物体受了几个力,每个力的作用位置和力的作用方向。这个分析过程称为物体的受力分析。

为了清晰地表示物体的受力情况,需要把研究的物体(称为受力体)从周围的物体(称为施力体)中分离出来,单独画出它的简图,这个步骤称为取研究对象或取分离体。然后把施力体对研究对象的作用力(包括主动力和约束反力)全部画出来,构成物体受力的简明图形,即受力图。画受力图是解决力学问题的重要步骤。下面举例说明物体受力图的画法。

例1-1 受重力 G 的装料小车沿斜面由钢丝绳牵引向上作匀速直线运动,如图1-13a所示。试画出料车的受力图。

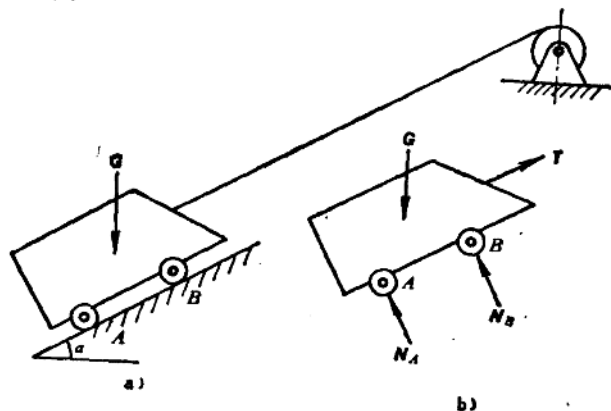


图1-13 料车及其受力图

解 1)取料车为研究对象。

2)画主动力:料车的重力 G 。

3)画约束反力:钢丝绳的约束反力 T ,背离料车(拉力);料车小轮与斜面轨道系光滑接触面,约束反力为垂直于斜面的法向反力 N_A 和 N_B ,指向轮 A 和 B 。

将 G 、 T 、 N_A 、 N_B 全部画在料车上,得受力图如图1-13b所示。

例1-2 导杆凸轮机构如图1-14a所示,导杆受力 P 作用,试画出导杆 AB 的受力图(导杆自重不计)。

解 1)取导杆 AB 为研究对象。

2)画主动力: P 。

3)画约束反力:光滑面反力 N_A 作用线过轮心 C ,指向导杆 A 处;导杆受力后,将在滑道中侧倾,与滑道接触于 D 、 E 两点,在该两点分别受有垂直于导杆的光滑面反力 N_D 和 N_E ,两力均压向导杆。至此即得导杆 AB 的受力图如图1-14b所示

说明:若作用在 AB 杆上的 P 与 N_A 的作用线的交点位于滑道之内,则 AB 杆将不发生侧倾,此时 AB 杆与滑道单侧接触。

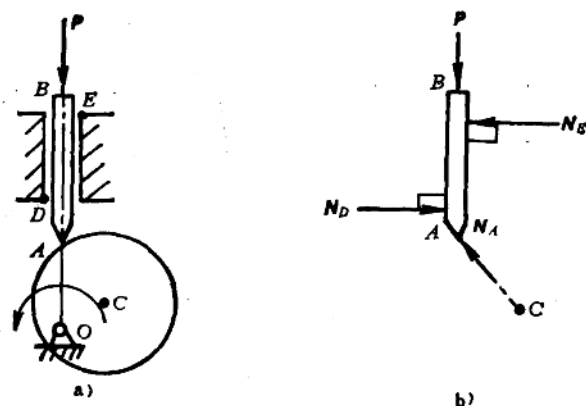


图1-14 导杆凸轮机构与导杆受力图

例1-3 简支梁 AB 受载荷 P 作用,如图1-15a所示。不计梁的自重,试画出 AB 梁的受力图。

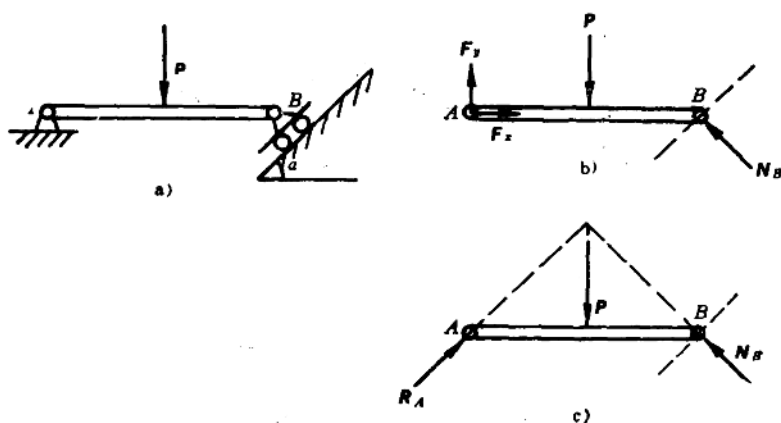


图1-15 水平梁及其受力图

解 1)取 AB 梁为研究对象。

2)画主动力: P 。

3)画约束反力:活铰支座 B 的反力 N_B ;固铰支座 A 的反力(用两个正交分力 F_y 和 F_x 表示)。得 AB 梁的受力图,如图1-15b所示。

AB 梁的受力图还可画成图1-15c所示。显然, AB 梁为三力构件,即受 P 、 N_B 和 R_A 三力作用而平衡。根据三力平衡汇交定理, A 处反力 R_A 的作用线一定过 P 与 N_B 作用线的交点,由此可确定支座 A 的约束反力 R_A 的作用线,其指向根据三力平衡关系也可确定。

由以上三例即可初步明确画受力图的步骤:

- 1)根据题意选取研究对象(注意必须解除研究对象的全部约束)。
- 2)如实画上全部主动力(主动力一般都是预先给定的)。
- 3)根据约束的不同类型,画出相应的约束反力。

例1-4 由左、右半拱铰接的三铰拱桥上作用有载荷 P ,如图1-16a所示。不计各拱自

重, 试分别画出 AC 、 BC 两个半拱的受力图。

解 1) 画 AC 拱的受力图。取 AC 拱为研究对象。由于不计拱的自重, AC 拱上无主动力, 受力图上只有约束反力, 即拱在 A 、 C 两处受到铰链约束, 因此该拱为二力构件, 在铰链中心 A 、 C 处分别受 R_A 、 R_C 两约束反力作用; 反力作用线位于 AC 连线, 并由 BC 拱受 P 力后对 AC 拱的推压来判定反力的指向, 如图 1-16b 所示。

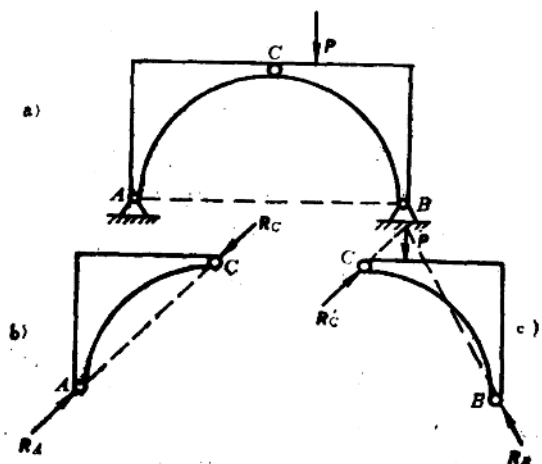


图 1-16 三铰拱与半拱受力图

2) 画 BC 拱受力图。取 BC 拱为研究对象。画主动力: 不计拱自重, 只画 P 。画约束反力: BC 拱在 C 处受有拱 AC 给它的约束反力 R_C' 的作用, 根据作用与反作用定律, $R_C' = -R_C$, 由于 BC 拱为三力构件, 根据三力平衡汇交定理, 即可确定铰支座 B 处约束反力 R_B , 如图 1-16c 所示。

例 1-5 人字梯的 AB 和 AC 两部分铰接于 A 点, 又在 D 、 E 两点用水平绳连接, 竖立于光滑水平地面, 如图 1-17a 所示。在 AB 中点 H 处作用铅垂载荷 P , 不计梯子自重。试分别画出

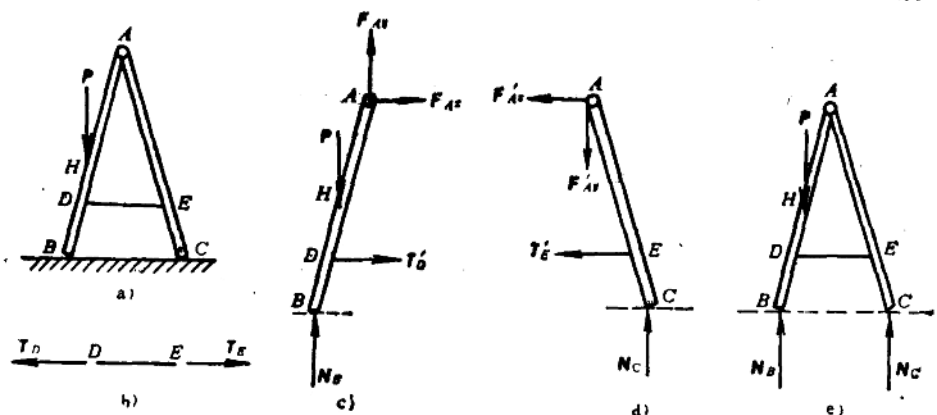


图 1-17 人字梯及其受力图

绳子 DE 和梯子 AB 、 AC 部分以及人字梯整体的受力图。

解 1) 画绳子 DE 的受力图。绳两端 D 、 E 分别受到梯子对它的拉力 T_D 、 T_E 的作用 (见