



高等学校教材

工程力学

主 编 张 伟 胡嘉平 赵 平

郑州大学出版社

工 程 力 学

主 编 张 伟 胡嘉平 赵 平

郑州大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/张伟 胡嘉平 赵平主编. —郑州:郑州大学出版社,2002.8

ISBN 7-81048-636-5

I. 工… II. ①张…②胡…③赵… 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(2002)第 061087 号

郑州大学出版社出版发行

郑州市大学路 40 号

出版人:谷振清

全国新华书店经销

河南省郑州亚星印刷厂印制

开本:787 mm × 1 092 mm

印张:21.375

总字数:490 千字

版次:2002 年 8 月第 1 版

邮政编码:450052

发行部电话:0371-6966070

1/16

印次:2002 年 8 月第 1 次印刷

书号:ISBN 7-81048-636-5/T·6 定价:29.80 元

本书如有印装质量问题,由承印厂负责调换。

内容提要

本书系工程力学教材,计划学时 80 ~ 120 学时,包括理论力学和材料力学两部分。全书共分四篇:第一篇静力学部分,主要研究物体及物系的平衡条件及如何应用平衡条件求解约束反力;第二篇运动学部分,主要研究点和刚体的运动速度和加速度;第三篇动力学部分,主要应用动力学普遍方程和达朗伯原理研究质点系及刚体系的动力学问题;第四篇材料力学部分,研究了杆件发生基本变形及组合变形时的强度、刚度条件及压杆的稳定性等,另外还用能量法研究了梁及刚架的变形。

本书适用于水利、土木、岩土、机械、环工等各专业大专院校学生使用,也适用上述同专业的电大及函授大学的学生使用。

前 言

为适应当前不同专业、不同层次和不同学时对工程力学课程的要求,克服目前教材大而全的弊端,本书参考当前国家教委推荐的多学时理论力学、材料力学的优秀教材,结合作者近些年的教学经验编制而成。本书在原有《工程力学》教材的基础上,做了如下工作:

一、在本书第四篇材料力学部分,调整了材料力学原有的课程体系,改变了以各种基本变形为纵向系统的旧体系,将性质相同的问题相对集中,采用按所研究问题划分篇章的横向排列的新体系,这样既可缩减教学学时,又便于学生对课程内容的深入理解和掌握。

二、在能量法一章中,将拉压、扭转及弯曲的应变能计算集中在一起,便于学生掌握应变能的概念。

参加本书编写工作的有张伟(第四章、第五章、第十一章、第十四章)、胡嘉平(第一章、第七章)、赵平(第四章、第十二章、第十三章)、陈爱玖(第三章、第六章)、翟继红(第九章、第十章)、赵晶(第二章、第八章及附录 I)。

在本教材的编写过程中参阅了大量现行的各层次适用教材,在此致以由衷的谢意。

全书由白新理教授审阅,本书的出版得到了华北水利水电学院教务处、土木工程系以及郑州大学出版社的大力支持,在此一并表示诚挚的谢意!

限于作者的水平,本书难免存在不足之处,衷心希望读者给予批评指正。

编 者

2002 年 3 月

目 录

第一篇 静力学

第一章 静力学基本概念和基本原理	(2)
第一节 静力学基本概念和任务	(2)
第二节 静力学公理	(3)
第三节 物体的受力分析——受力图	(5)
第四节 力的投影	(11)
第五节 力矩	(12)
第六节 力偶及其性质	(17)
第七节 力的平移定理	(18)
习 题	(19)
第二章 力系的简化和平衡方程	(22)
第一节 平面力系的简化及简化结果的讨论	(22)
第二节 平面力系的平衡条件及平衡方程	(27)
第三节 物体系统的平衡	(34)
第四节 平面桁架的内力分析	(39)
第五节 摩擦	(43)
第六节 空间一般力系	(48)
第七节 重心	(50)
习 题	(54)

第二篇 运动学

第三章 运动学基础	(61)
第一节 点的运动的矢量表示法	(62)
第二节 点的运动的直角坐标表示法	(63)
第三节 用自然坐标法表示点的运动	(66)
第四节 刚体的平动	(69)
第五节 刚体的定轴转动	(70)
习 题	(73)
第四章 点的合成运动	(77)
第一节 相对运动、牵连运动、绝对运动	(77)

第二节	点的速度合成定理	(78)
第三节	点的加速度合成定理	(81)
习 题	.....	(83)
第五章	刚体的平面运动	(86)
第一节	平面运动的概念	(86)
第二节	平面图形内各点的速度	(87)
第三节	用基点法求平面图形内各点的加速度	(92)
习 题	.....	(95)

第三篇 动力学

第六章	动力学基本定理	(98)
第一节	质点的动力学基本定理	(99)
第二节	质点系动力学基本定理	(105)
第三节	基本定理综合应用举例	(120)
习 题	.....	(122)
第七章	达朗伯原理	(128)
第一节	惯性力、质点的达朗伯原理	(128)
第二节	质点系的达朗伯原理	(129)
第三节	刚体惯性力系的简化	(131)
习 题	.....	(135)

第四篇 材料力学

第八章	杆件基本变形下的内力计算	(140)
第一节	截面法、轴向拉压时的内力及内力图	(141)
第二节	剪切与挤压的内力	(143)
第三节	扭转内力的计算及内力图	(144)
第四节	平面弯曲的概念及梁的计算简图	(147)
第五节	梁的弯曲内力、内力方程与内力图	(149)
习 题	.....	(160)
第九章	基本变形时构件的应力计算及强度条件	(163)
第一节	材料在拉伸和压缩时的力学性质	(163)
第二节	轴向拉(压)杆的应力计算	(169)
第三节	轴向拉(压)杆的许用应力、安全系数、强度条件	(172)
第四节	连接件的剪切强度和挤压强度的实用计算	(175)
第五节	薄壁圆筒的扭转、剪应力互等定理及剪切虎克定律	(178)

第六节	圆轴扭转时的应力及强度条件	(180)
第七节	梁弯曲时的正应力及强度条件	(184)
第八节	弯曲剪应力及其强度条件	(192)
习 题	.....	(196)
第十章	变形及刚度条件	(203)
第一节	轴向拉(压)变形、拉(压)超静定问题	(203)
第二节	圆轴扭转时的变形及刚度条件	(208)
第三节	梁的弯曲变形及刚度条件	(210)
习 题	.....	(220)
第十一章	应力状态分析和强度理论	(224)
第一节	应力状态的概念	(224)
第二节	二向应力状态分析的解析法	(225)
第三节	二向应力状态分析的图解法	(229)
第四节	三向应力状态及广义虎克定律	(233)
第五节	强度理论	(236)
习 题	.....	(241)
第十二章	组合变形	(246)
第一节	组合变形的概念	(246)
第二节	组合变形的实例	(247)
习 题	.....	(265)
第十三章	压杆稳定	(268)
第一节	压杆稳定的概念	(268)
第二节	细长中心受压直杆临界力的欧拉公式	(269)
第三节	各种支承约束条件下压杆临界力的欧拉公式与压杆的长度系数 ...	(271)
第四节	欧拉公式的应用范围	(275)
第五节	压杆的临界应力图、稳定许用应力、稳定系数	(276)
第六节	压杆的稳定校核与合理截面	(280)
习 题	.....	(284)
第十四章	能量法	(288)
第一节	概述	(288)
第二节	变形能的计算	(288)
第三节	莫尔定理	(293)
第四节	莫尔定理的应用举例	(296)
习 题	.....	(298)
附录 I	截面的几何性质	(302)
第一节	截面的面积矩和形心位置	(302)
第二节	惯性矩和惯性积	(303)
第三节	惯性矩和惯性积的平行移轴公式及组合截面的惯性矩	(305)

习 题	(307)
附录Ⅱ 型钢规格表	(310)
附录Ⅲ 挠度和转角	(319)
习题答案	(321)

第一篇 静力学

静力学是研究物体在力系作用下的平衡条件的科学。

所谓力系,是指作用在物体上的一群力。

静力学中的“平衡”是指物体相对于地面保持静止或作匀速直线运动。如桥梁、机床的床身,作匀速直线飞行的飞机等等,都处于平衡状态。平衡是物体运动的一种特殊形式。

在静力学中,我们将研究以下三个问题:

(1) 物体的受力分析

即分析某个物体共受几个力,以及每个力的作用线位置、大小和方向。

(2) 力系的等效替换

即将作用在物体上的一个力系用另一个与它等效的力系来代替,这两个力系相互为等效力系。如果用一个简单力系等效地替换一个复杂力系,则称为力系的简化。

在研究力系等效替换的问题时,物体并不一定处于平衡状态,我们可以暂不考虑物体的运动,而仅研究作用力的替换。例如:飞行中的飞机,受到升力、牵引力、重力、空气阻力等作用,这群力错综复杂地分布在飞机的各部分,每个力都影响飞机的运动,要想确定飞机的运动规律,必须了解这群力的总的作用效果,这就需要用简单的等效力系来代替这群复杂的力,然后再进行运动的分析。所以,研究力系的简化是为了导出力系的平衡条件,同时也为动力学提供基础。

(3) 建立各种力系的平衡条件

即研究物体平衡时,作用在物体上的各种力系所需满足的条件。

力系的平衡条件,在工程实际中有着十分重要的意义。在设计建筑物的构件、工程结构和作匀速运动的机械零件时,需要先分析物体的受力情况,再应用平衡条件计算所受的未知力,最后按照材料的性能确定几何尺寸或选择适当的材料品种。有时当机械零件的运动虽非匀速,但速度较低或加速度较小时,也可近似地应用平衡条件进行计算。因此,力系的平衡条件是设计构件、结构和机械零件进行静力计算的基础。由此可知,静力学在工程实际中有着广泛的应用。

满足平衡条件的力系称为平衡力系。

第一章 静力学基本概念和基本原理

第一节 静力学基本概念和任务

一、平衡状态

静力学是研究机械运动的一种特殊情况——物体处于平衡状态的情况。所谓平衡状态,是指物体相对于地面保持静止或作匀速直线运动的状态。如厂房、水坝、固定于地面的机床等,尽管它们都受到力的作用,却保持着相对平衡的状态。

二、刚体与力

理论力学把物体抽象为刚体来研究。所谓刚体,就是受力后形状和大小都保持不变的物体,或者说刚体内任意两点间的距离不变。任何物体在力的作用下都将发生变形。但是,工程实际中构件的变形通常都极为微小,对物体的平衡问题影响很小,所以,在理论力学上把物体抽象为刚体。

力是物体间相互的机械作用,它使物体的运动状态发生变化,称为运动效应,也叫外效应。这种作用也可以使物体发生变形,称为变形效应,也叫内效应。力不能脱离实际物体而存在。对刚体来说,只需研究力的外效应,材料力学、结构力学、弹性力学等则研究力的内效应。

力对物体的作用效应取决于三个要素:① 大小;② 方向;③ 作用点。本书采用国际单位制,在国际单位制中用牛顿(N)作为力的单位。

三、静力学的任务

1. 物体的受力分析

研究物体的平衡或运动问题时,首先必须分析物体受到哪些力的作用,即进行受力分析。受力分析体现在受力图上。我们把需要进行受力分析的物体或物体系统(相联系的几个物体)叫研究对象。受力图就是表示研究对象所受全部外力的简图。

2. 力系的简化

将作用在刚体的所有力简化为最简单的形式,而不改变这些力对刚体的作用效果,称作力系简化。力系简化的目的,一是将复杂力系简化为简单力系,便于研究力系的作用效果;二是便于推导刚体受力的平衡条件。

3. 力系的平衡条件

刚体受力作用而处于平衡状态是有条件的,这就是刚体处于平衡状态时作用在其上的力系应满足的条件,又叫平衡条件。我们将在下章研究刚体在各种力系作用下的平衡条件及应用。

以上三个问题贯穿于整个静力学中,前两个问题是力学的基本问题。受力分析是解决

力学问题的第一步工作,也是很重要的一步工作。画出正确的受力图,可表明物体的受力和必需的几何关系,便于分析力系及建立方程。如果不画受力图,则无法分析力学问题,甚至有无从下手之感。因此,学习力学一开始就要养成一丝不苟地作受力图的好习惯。对于力系简化问题,要建立正确的概念、方法和结论。对于最后一个问题,要求能熟练地运用从而解决实际问题。

四、力系的概念

两个和两个以上同时作用在物体上的力称为力系。作用在物体上的力系如果可以用另一个力系代替,而对物体的作用效应不变,那么这两个力系互称等效力系。与一个力系等效力,称为该力系的合力,而力系中的每一个力则称为该合力的分力。

如果物体在力系的作用下处于平衡状态,这种力系叫平衡力系,平衡力系不使物体的运动状态发生改变。

若力系中各力的作用线都在同一平面上,且既不平行,也不相交于同一点,则称作平面一般力系。平面力系中的特殊情况有:平面汇交力系,即所有力的作用线汇交于一点;平面平行力系,即所有力的作用线相互平行;平面力偶系,即两个或两个以上的力偶组成的力偶系。

第二节 静力学公理

公理一 二力平衡公理

内容:作用于同一刚体上的两个力,使刚体处于平衡的必要与充分条件是:两力大小相等,方向相反,且沿同一作用线(简称二力等值、反向、共线)。如图1-1、图1-2所示。

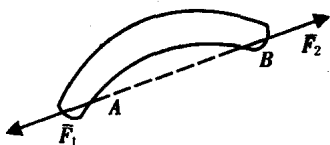


图1-1

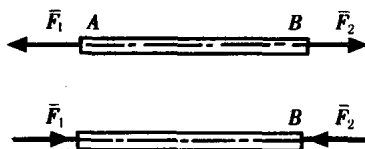


图1-2

应用:① 阐明了作用于刚体上最简单力系的平衡条件,是以后推证平衡条件的基础;
② 受两个力作用并处于平衡的物体叫二力构件,两个力的方位必定沿两力作用点的连线。

公理二 加减平衡力系公理

内容:在作用于刚体上的任一力系中,加上或减去一个或几个平衡力系,并不改变原力系对刚体的效应。

适用条件:只适用于刚体。因为对变形体,增减平衡力系,就会影响其变形。

应用:由公理一和公理二可导出以下两个推论。

推论一 力的可传性定理(力的可移性定理):作用在刚体上的力可沿其作用线移至刚体内任一点,而不改变原力对刚体的效应。

证明:设力 $\vec{F}$ 作用在刚体上 A 点,如图 1-3(a),在力 $\vec{F}$ 的作用线上任取一点 B ,在 B 点加上一对等值、反向、共线的平衡力,使这对力沿 $\vec{F}$ 的作用线,大小与力 $\vec{F}$ 的大小相等,即 $\vec{F}_2 = -\vec{F}_1 = \vec{F}$,见图 1-3(b)。

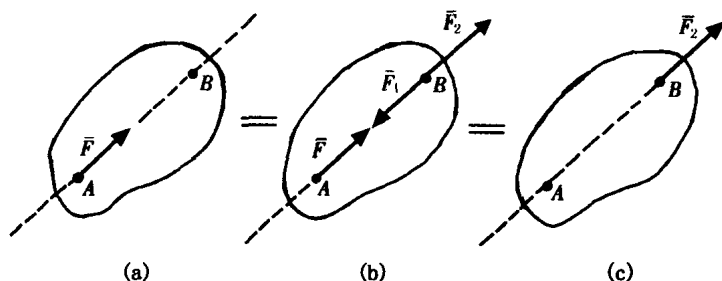


图 1-3

由公理二可知,力 $\vec{F}$ 与力系 $(\vec{F}, \vec{F}_1, \vec{F}_2)$ 等效。再从此力系中除去一对平衡力 $\vec{F}$ 和 $\vec{F}_1$ 仍不影响 $\vec{F}$ 对刚体的作用,因此 $\vec{F}_2$ 与 $\vec{F}$ 等效。由图 1-3(a) 和图 1-3(c) 可看出,力 $\vec{F}_2$ 就是原来的力 $\vec{F}$,只是沿其作用线由 A 点移至 B 点。

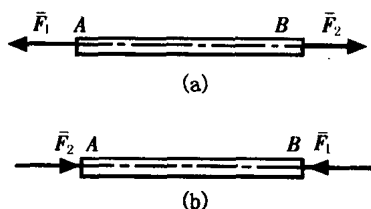


图 1-4

根据力的可移性,对刚体而言,力的三要素是大小、方向、作用线。因此,力矢可沿其作用线任意滑动,这样的矢量称滑动矢量,即作用在刚体上的力是滑动矢量。

适用条件:力的可传性推导使用了公理二。

因此,力的可传性也只适用于刚体,不适用于变形体。例如,图 1-4(a) 所示的受轴向拉伸的直杆,经过力矢的滑动,变成图 1-4(b) 所示的受压缩变形的直杆。可见,力沿作用线移动的结果,虽没改变力对直杆的外效应,但改变了力对直杆的内效应。

推论二 三力平衡汇交定理

若刚体在共面、不平行的三力作用下处于平衡,则三力的作用线必汇交于同一点。

证明:设有共面不平行的三个力 $\vec{P}$ 、 $\vec{Q}$ 、 $\vec{S}$,分别作用于物体的 A 、 B 、 C 三点(图 1-5)而平衡。

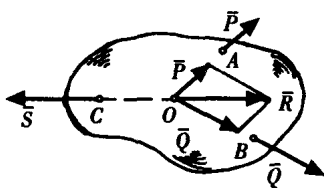


图 1-5

(1) 延长 $\vec{P}$ 和 $\vec{Q}$ 的作用线,设相交于 O 点。

(2) 将 $\vec{P}$ 和 $\vec{Q}$ 作用线移到 O 点,并利用平行四边形法则合成为 $\vec{R}$, $\vec{R}$ 的作用点显然也是 O 点。

(3) 因为原来的三个力 $\vec{P}$ 、 $\vec{Q}$ 、 $\vec{S}$ 是平衡的,现在以 $\vec{R}$ 代替 $\vec{P}$ 和 $\vec{Q}$,所以 $\vec{S}$ 应与 $\vec{R}$ 平衡。由公理一,两个力平衡必须作用线相同、大小相等、方向相反,因此 $\vec{S}$ 与 $\vec{R}$ 应有共同的作用线,这只有在 $\vec{S}$ 的作用线也通过 O 点时才可能。

所以, $\vec{P}$ 、 $\vec{Q}$ 、 $\vec{S}$ 三力的作用线必须汇交于同一点 O 。

适用条件:此推论仅适用于三力共面。

应用:若一刚体受到由三个非平行力组成的平面力系作用而平衡,只要知道其中两个力的作用线,则可利用三力平衡汇交定理确定第三力的作用线。

公理三 作用与反作用定律

内容:两物体间的作用与反作用力,总是大小相等、方向相反、沿同一直线分别作用于这两个物体上。

这就是牛顿第三定律,无论物体静止或运动,这一定律都成立。作用力与反作用力满足等值、反向、共线条件,但分别作用在两个物体上,千万不能把它们看成平衡力系。

公理四 刚化原理

内容:如果变形体在某个力系作用下处于平衡状态,将此物体刚化为刚体时,其平衡状态将保持不变。

根据刚化原理,绳子是变形体,它在一对拉力作用下处于平衡状态,此时可将绳子刚化为刚体。绳子在压力作用下,不能平衡,此时不能运用刚化原理。

第三节 物体的受力分析——受力图

一、约束与约束反力

力学里考察的物体,有的不受什么限制可以自由运动,如在空中飞行的飞机,称为自由体;有的则在某处受到限制,使物体沿某些方向的运动成为不可能。如放在桌子上或用绳悬挂而不能下落的重物等,称为非自由体。与非自由体接触,限制非自由体运动的其他物体,叫约束。一般来说,约束是以与研究对象接触的方式实现的。约束既然限制了物体的某些运动,势必产生反力。约束给非自由体(被约束物体)的反作用力叫约束反力,简称反力。

约束反力的方向总是与约束所能限制的运动方向相反。这是确定约束反力方向的一个原则。

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、水压力、土压力等。工程上常将主动力称为荷载或载荷。主动力的方向和大小通常都是已知的。而约束反力的方向,一般可根据约束的类型确定或初步确定;至于约束反力大小及约束反力指向的最终确定,则需要根据平衡条件来计算。

现在介绍几种常用的平面力系约束类型及其反力方向的确定方法。

1. 柔性约束

由柔软的绳索、链条或皮带等构成的约束。这类约束只能承受拉力,不能承受压力,所以它给物体的约束反力只能是拉力,只能阻止物体沿着绳子中心线离开绳子的运动,因此,柔性约束的约束反力的方向一定沿着绳子的中心线,背离物体,为拉力。柔性约束的约束反力常用 $\bar{T}$ 表示。图1-6是用绳子挂起重物,绳子对重物的约束反力如图中的 $\bar{T}_A$ 所示。柔性约束的约束反力只含一个未知量—— $\bar{T}$ 力的大小。

2. 光滑接触(光滑搁置)

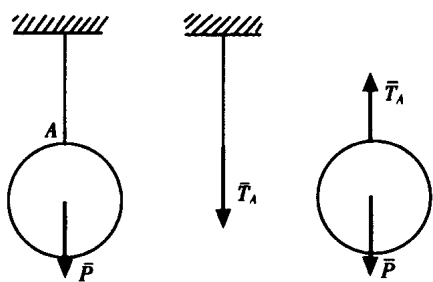


图 1-6

当两个物体发生相对滑动或有相对滑动趋势时,在接触面上总要出现一种阻碍物体发生相对滑动的力,这种阻力称为摩擦力。如果接触面较光滑,摩擦力小到可以忽略不计,这种接触叫光滑接触。对物体约束的光滑面叫光滑接触面。光滑接触面对物体运动的约束叫光滑面约束。这种约束的性质是,不论接触面形状如何,只能阻止接触点沿着通过该点公法线而指向支承面的运动,不能限制物体离开支承面和沿支承面切线方向的运动。故约束反力的方向,一定沿着接触面的公法线方向,箭头指向受力物体,为压力,常用 N 表示(图 1-7、图 1-8)。光滑接触的约束只含一个未知量——力的大小。两物体(物体与约束)接触点处,有一物体不易找出法线,则约束反力沿另一物体的法线方向(图 1-9、图 1-10)。

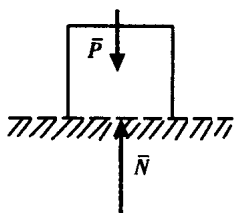


图 1-7

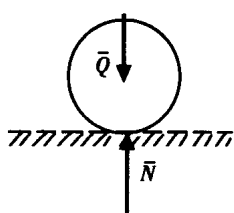


图 1-8

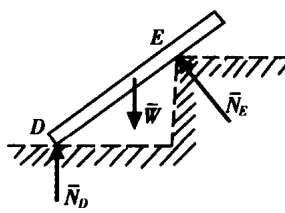


图 1-9

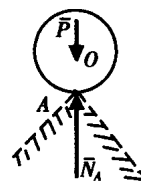


图 1-10

3. 光滑铰链

多个物体相互连接时,必须具有起连接作用的部件,称作连接件。例如在物体上打上圆孔,用圆柱形销钉连接,或用螺栓、螺母连接;也可以在物体上,如桥梁与基础上,特意制作带圆孔的突出部分,以便桥与基础连接;又如门窗用合页与墙连接。这些销钉、螺栓就是典型的铰链约束。所谓光滑铰链是指略去了销钉与孔之间的摩擦。光滑铰链约束不能限制物体的转动,也不能限制物体沿销钉中心线的移动,只能限制物体在垂直于销钉中心线的平面内任意方向的移动,当物体有运动趋势时,物体与销钉可沿任一母线(在图上只看到一个点)接触(见图 1-11)。因此,光滑铰链实质上仍是光滑接触。约束反力必通过接触点和销钉中心(销钉上任一点的公法线过销钉中心),但接触点位置尚不能确定,因而约束反力方向是未知的。可见,铰链给物体的约束反力在垂直于销钉中心线的平面内,通过销钉中心,方向不定。在这种情况下,只能把约束反力表示成一个既不知方向又不知大小的力,即含两个未知量。习惯上将此约束沿直角坐标轴分解为两个互相垂直的力,此时两力方向已知,大小未知,仍含两个未知量。常用 $\bar{X}$ 、 $\bar{Y}$ 表示(图 1-12)。

4. 固定铰支座

当光滑铰链把物体与基础或一静止物体连接在一起时,基础或静止物体与铰链构成的约束叫固定铰支座。固定铰支座由底座、受力物体和销钉三部分构成,与受力物体接触的仍是光滑铰链,因此,固定铰支座的约束力可用一合力 R_A 和一未知角度 θ 来表示,在实

际计算中常用 $\bar{X}_A$ 、 $\bar{Y}_A$ 来表示, 计算简图如图 1-13。

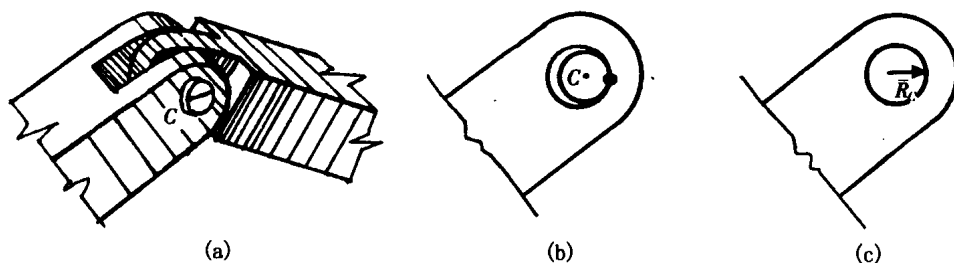


图 1-11

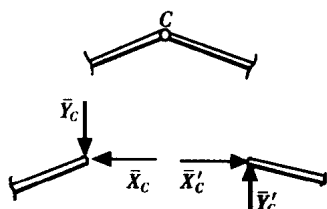


图 1-12

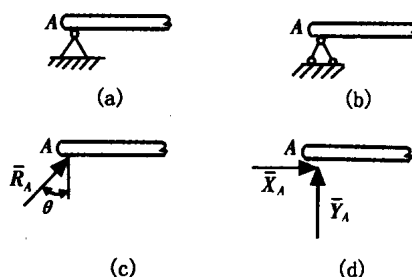


图 1-13

5. 活动铰支座

为了保证物体发生微小变形时既能发生微小转动, 又能发生微小移动, 在工程上常采用活动铰支座, 使支座可沿支承面移动。因此, 活动铰支座只能限制物体沿支承面公法线方向的移动。所以, 活动铰支座的约束反力通过销钉中心, 垂直于支承面, 指向不定 (即可能是压力或拉力)。常用 $\bar{R}$ 来表示。计算简图如图 1-14 和图 1-15。

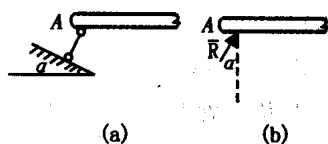


图 1-14

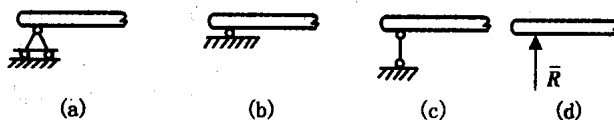


图 1-15

6. 连杆

所谓连杆, 是指两端与其他受力物体用铰链连接 (简称铰接), 中间不受力 (包括自重及约束反力) 作用的杆件。连杆实际上是二力构件, 也叫二力杆, 所以, 连杆的约束反力沿两铰链中心连线, 但指向不定。图 1-16 是推土机中某一构件的简图, 其中 AB 杆就是一连杆; 图 1-17 是一个三铰拱, 右半拱 BC 是一个二力件。

还有一些其他形式的约束, 将在以后陆续介绍。

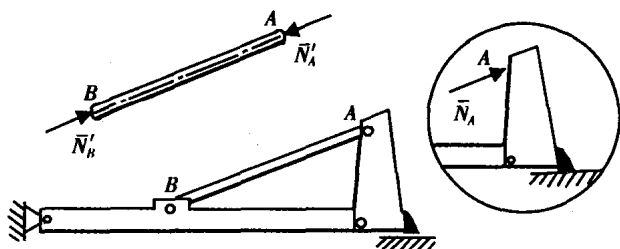


图 1 - 16

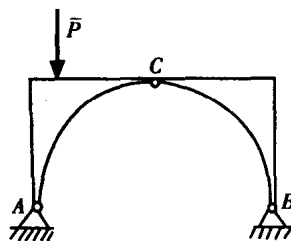


图 1 - 17

二、物体的受力分析 —— 受力图

无论是研究静力学问题还是动力学问题,都需要分析物体受到哪些力的作用,这个过程叫受力分析。

把物体上所受的力全部画出来,这种表示物体受力的简明图形称为受力图。受力图也叫示力图。作受力图的步骤是:

- (1) 确定研究对象 —— 单个物体或物体系统。
- (2) 取脱离体 —— 解除研究对象以外的其他物体对研究对象的约束,也就是把研究对象从与它相联系的周围物体中分离出来,单独画出,这个被取出的物体就叫脱离体。
- (3) 在脱离体上画上其所受的全部力,包括主动力及约束反力。特别注意,在解除约束的地方根据约束的性质加上相应的约束反力。举例如下:

例 1.1 作球 O 的受力图,球与墙之间为光滑接触,如图 1 - 18(a) 所示。

解:

- (1) 选球 O 为研究对象。
- (2) 解除球 O 所受的约束,将球从墙和绳子的约束中分离出来。
- (3) 作受力图:画上球自重 $\bar{P}$,绳子对球的约束为柔性约束,约束反力作用线沿绳中心线,背离球。墙是光滑接触约束,反力作用线通过接触点,沿接触面公法线即垂直于墙面又过球心,方向指向球。此三力平衡汇交于 O 点(见图 1 - 18(b))。

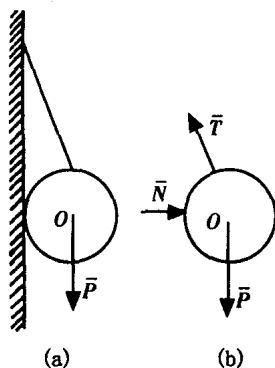


图 1 - 18

例 1.2 作梁 AB 的受力图,如图 1 - 19 所示。

解:取梁 AB 为研究对象,解除 A 、 B 两处的约束,画出 AB 梁的脱离体图。 A 处约束是固定铰支座,可把此处的约束反力表示为水平向及垂直向的两分力 $\bar{X}_A$ 、 $\bar{Y}_A$; B 处约束是活动铰支座,约束反力作用线必过 B 铰中心,垂直于支承面,指向任设。

前面讨论的都是单个刚体的受力图(一根梁、一个球),在工程实际中,经常遇到由几个物体通过适当的约束相互连接而组成的系统,这种系统叫物体系统。物体系统与其他物体的联系称为物体系统的外约束。物体系统内部物体间的联系称系统的内约束,如图 1 - 17 所示 C 处的约束。内约束给物