



职业教育基础课教学改革规划教材

# 工程力学简明教程

GONGCHENG LIXUE JIANMING JIAOCHENG

韩向东 主编



2

0

9415



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



职业教育基础课教学改革规划教材

# 工程力学简明教程

主 编 韩向东  
副主编 凌 红 张军娜  
参 编 刘 玮 杨 东  
主 审 朱运利 张小亮



机械工业出版社

本书是为适应职业院校基础课课时普遍减少的教学需要编写的,适用学时为 50~60 学时。

本书在内容上以够用为度,通俗易懂;概念侧重理解,公式强化应用。本书采用了大量工程实例引入概念、知识点增强了直观性。为便于教学,本书配备了电子教案和习题答案。

全书共十一章,第一部分静力分析,包括静力分析基础、平面力系的简化、平面力系的平衡条件及应用、空间力系和重心;第二部分构件的承载能力分析,包括轴向拉伸与压缩、剪切、圆轴扭转、平面弯曲、组合变形的强度计算、压杆稳定以及构件疲劳破坏简介;专题,刚体绕定轴转动分析。

本书可作为职业院校相关专业的教材或培训用书,也可作为技术人员的参考读物。

### 图书在版编目(CIP)数据

工程力学简明教程/韩向东主编. —北京:机械工业出版社, 2010. 2

职业教育基础课教学改革规划教材

ISBN 978-7-111-28893-0

I. 工… II. 韩… III. 工程力学—职业教育—教材 IV. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 007003 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:宋学敏 责任编辑:宋学敏 封面设计:王伟光

责任校对:刘怡丹 责任印制:李妍

北京铭成印刷有限公司印刷

2010 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·11 印张·211 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-28893-0

定价:20.00 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

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

读者服务部:(010)68993821

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

为了适应职业教育和发展的需要,根据职业院校机电类专业的要求、后继课程的需要及毕业生对工程力学课程的反馈意见,我们组织编写了本书。

本书突出了工程性。实例、例题、习题均从工程实际出发,以解决工程实际问题为目标。

本书遵循应用性原则,注重实用性。内容选择上削枝强干,静力分析及构件的承载能力分析为必讲内容,运动及动力分析为选讲内容且只讲刚体绕定轴转动部分。在必讲部分中,删去了剪力图和应力状态分析问题,压杆稳定和疲劳破坏只作简单介绍。本书还删去了公式的繁琐推导,只给出结论并注重该公式的应用条件及运用。

本书从学生可接受性出发,删繁就简。如平衡问题的计算中,侧重学生对单个刚体的计算,物体系统问题也不超过两个研究对象;在弯曲变形中,梁上只同时作用一种或两种载荷,而不出现三种载荷同时作用在梁上的情况。

本书打破了工程力学的传统框架,对内容进行了重新编排。例如,在第一部分物体的静力分析中,平衡力系的内容不按力系的类别分章,而是按照静力分析基础知识和应用分章。

本书可作为职业院校机电类专业 50~60 学时的工程力学课程教材。本书配有电子课件,可供教师授课或学生自学时使用。

本书由北京电子科技职业学院韩向东主编,参加编写的还有北京电子科技职业学院凌红(副主编),北京市水利水电学校张军娜(副主编),北京中外建工程设计与顾问有限公司刘玮,北京铁路电气化学校杨东。电子课件由张军娜制作。

本书由北京电子科技职业学院朱运利、北京工业职业学院张小亮担任主审,他们对本书提出了很多宝贵意见和建议,在此向他们表示感谢。

限于编者水平,书中难免有不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

# 目 录

## 前言

绪论 .....	1
----------	---

## 第一部分 物体的静力分析

第一章 静力分析基础 .....	4
第一节 力 .....	4
第二节 约束与约束力 .....	6
第三节 受力分析与受力图 .....	9
思考题 .....	14
习题 .....	15
第二章 平面力系的简化 .....	18
第一节 平面汇交力系的合成 .....	18
第二节 力对点之矩 .....	21
第三节 力偶与平面力偶系的合成 .....	23
第四节 平面任意力系的简化方法 .....	25
思考题 .....	27
习题 .....	27
第三章 平面力系的平衡条件及应用 .....	30
第一节 平面力系的平衡条件 .....	30
第二节 单个物体的平衡问题 .....	31
第三节 物体系统的平衡问题 .....	34
第四节 考虑摩擦的平衡问题 .....	36
思考题 .....	40
习题 .....	41
第四章 空间力系和重心 .....	45
第一节 力沿空间直角坐标轴的分解 .....	45
第二节 轮轴类零件平衡问题的平面解法 .....	46
第三节 重心和形心 .....	49
思考题 .....	52
习题 .....	52

## 第二部分 构件的承载能力分析

第五章 轴向拉伸与压缩 .....	57
-------------------	----

第一节	轴向拉伸与压缩的概念	57
第二节	拉(压)杆的轴力和轴力图	57
第三节	拉(压)杆横截面的应力和变形计算	60
第四节	材料拉伸和压缩时的力学性能	63
第五节	拉(压)杆的强度计算	69
	思考题	72
	习题	73
<b>第六章</b>	<b>剪切</b>	<b>75</b>
第一节	剪切和挤压的概念	75
第二节	剪切和挤压的实用计算	76
	思考题	80
	习题	80
<b>第七章</b>	<b>圆轴扭转</b>	<b>82</b>
第一节	圆轴扭转的概念	82
第二节	扭矩 扭矩图	82
第三节	圆轴扭转时横截面上的应力和强度计算	85
第四节	圆轴扭转时的变形和刚度计算	88
	思考题	91
	习题	92
<b>第八章</b>	<b>平面弯曲</b>	<b>94</b>
第一节	平面弯曲的概念	94
第二节	梁的计算简图	95
第三节	梁横截面上的内力——剪力和弯矩	96
第四节	弯矩图	98
第五节	纯弯曲时梁横截面上的应力	102
第六节	梁的正应力强度计算	105
第七节	梁的变形和刚度计算	108
第八节	提高梁弯曲强度和刚度的措施	114
	思考题	118
	习题	119
<b>第九章</b>	<b>组合变形的强度计算</b>	<b>123</b>
第一节	组合变形的概念	123
第二节	弯曲与拉伸(压缩)组合变形的强度计算	124
第三节	圆轴弯曲与扭转组合变形的强度计算	129
	思考题	134
	习题	135
<b>第十章</b>	<b>压杆稳定 构件疲劳破坏简介</b>	<b>138</b>
第一节	压杆稳定的概念 临界力	138

## VI

第二节	压杆的临界应力 .....	139
第三节	压杆稳定性计算简介 .....	143
第四节	交变应力及其循环特征 .....	145
第五节	疲劳破坏简介 .....	146
思考题	.....	148
习题	.....	149

## 专 题

第十一章	刚体绕定轴转动分析 .....	150
第一节	刚体绕定轴转动 .....	150
第二节	定轴转动刚体上各点的速度和加速度 .....	153
思考题	.....	155
习题	.....	155
附录 A	型钢表 .....	156
附录 B	习题答案 .....	162
参考文献	.....	168

# 绪 论

## 一、机械工程中的力学问题

各种机械都是由许多不同的构件组成的，当机械工作时，这些构件将受到外力的作用。在外力作用下，构件可能静止，也可能改变原有的运动状态并发生变形，还可能被破坏。因此，构件的受力分析及其平衡条件、构件在外力作用下的变形规律及破坏条件、构件的运动规律及运动状态变化与外力的关系等，是机械工程中经常遇到的力学问题。

例如，图 0-1 所示生产车间的起重机系统，首先遇到的力学问题是在确定的起吊重量下，大梁、减速箱、传动轴、联轴器各受哪些力作用以及这些力的大小，其次是在这些力的作用下，它们将产生哪些变形，这些变形对于起重机的正常工作会产生什么样的影响。此外，在突然起吊重物或突然制动时，重物又会产生何种运动以及这种运动对起重机系统的零部件产生什么影响等等。

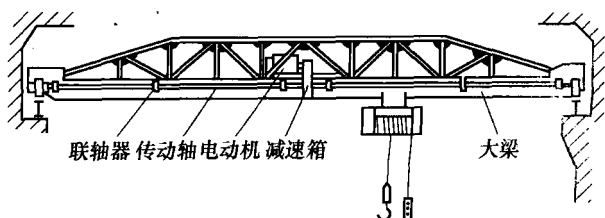


图 0-1

又如机械加工中的摇臂钻床，钻孔时将受到工件的作用，摇臂、立柱以及底座都要发生变形(图 0-2)。为了保证孔的加工精度，必须尽可能减小这种变形。那么，如何设计摇臂和立柱才能达到预期目的呢？

上述两例中的问题，是机械工程中常见的力学问题，本书能够为分析和解决这些问题提供必要的理论基础和计算方法。

## 二、工程力学的任务和内容

“工程力学”包含着极其广泛的内容，本书所论的“工程力学”包含以下三部分：

(1) 物体的静力分析 研究物体受力的分析方法及

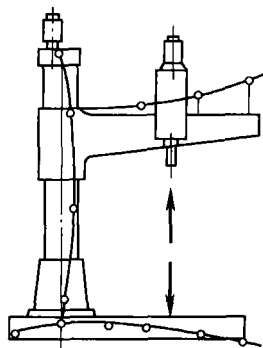


图 0-2



物体平衡时的受力规律，建立各种力系的平衡条件。

(2) 构件的承载能力分析 研究构件受力后的变形规律及承载能力——强度、刚度、稳定性。

(3) 专题 研究刚体定轴转动规律。

工程力学的任务主要是为机械工程中简单构件的力学计算提供力学的基础理论、力学模型、准确有效的计算方法和实验技术。

由于工程力学是现代机械工程的技术基础，所以它是中等专业学校机械类、近机械类、机电类各专业的一门重要的技术基础课，有很大的实用性。工程力学的知识将为学习其他课程(例如机械设计基础、机械加工工艺等)打下基础。此外，通过工程力学的学习还有助于培养辩证唯物主义世界观，提高分析问题和解决问题的能力。

# 第一部分 物体的静力分析

静力分析主要研究物体在力系作用下的平衡规律。

所谓力系，是指作用于物体上的一群力。若两个力系对物体的作用效果相同，这两个力系称为等效力系。有时，为了求解问题的需要，而把一个复杂的力系用一个简单的等效力系来代替，这一过程称为力系的简化。若一个力与一个力系等效，这个力称为该力系的合力，力系中的每个力称为合力的分力。通过力系的简化，可以知道力系对物体作用的总效应，为进一步得出平衡条件和研究动力学问题奠定了基础。

静力分析中的平衡，是指物体相对于地面保持静止或匀速直线运动的状态。如机床的床身、作匀速直线运动的列车等，都处于平衡。平衡是物体机械运动（物体在空间的位置随时间的变化）的一种特殊状态。若某力系使物体处于平衡状态，这个力系称为平衡力系。平衡力系所满足的条件称为平衡条件。

在静力分析中，着重研究以下两个基本问题：

1) 物体的受力分析，即确定物体受了哪些力的作用，以及每个力的作用位置和方向。

2) 应用平衡条件求出未知量的大小。其中将涉及两个基本的计算量，一是力的投影，二是力对点之矩。

静力分析在工程实际中有着十分重要的意义，如设计建筑物的构件和作匀速直线运动的机械零件等，都需要先对物体进行受力分析，再应用平衡条件计算未知力，最后研究构件的承载能力。对于非平衡状态的机械零件，在加速度较小时，也可以应用平衡条件进行近似计算；在加速度较大时，需要在受力分析的基础上，进行动力计算。因此，受力分析是解决力学问题的基础，平衡计算的结果将为构件承载能力的计算提供重要的依据。

# 第一章 静力分析基础

本章介绍力的基本性质，约束与约束力，受力分析与受力图。

## 第一节 力

### 一、力的概念

人们在生产实践中，经过长期观察和总结，建立了力的概念：力是物体之间的相互作用，这种作用使物体的机械运动状态发生改变，并使物体发生变形。前者称为力的运动效应（即力的外效应），后者称为力的变形效应（即力的内效应）。静力分析和动力分析主要研究力的运动效应，这时的研究对象是刚体。所谓刚体，即指在外力作用下几何尺寸和形状不发生变化的物体。构件的承载能力分析则指研究力的变形效应，这时的研究对象是变形体。变形体在外力作用下，其几何尺寸或形状会发生变化。

力对物体的作用效果取决于力的三要素，即力的大小、力的方向和力的作用点。

力的大小表示了物体间相互作用的强弱，可以用测力器来测量。按照我国法定计量单位的规定，力的常用单位有牛(N)或千牛(kN)， $1\text{kN} = 1000\text{N}$ 。

力的方向包括了力的作用线方位和指向。它说明了物体间的相互作用具有方向性。

力的作用点表示了物体间相互作用的位置。如果力可近似地看成作用在一个点上，这种力称为集中力；如果力作用在某一范围内，这种力称为分布力，例如，作用在墙上的风的压力、梁的自重等。有时，为了简化刚体的计算过程，可以把分布力简化为集中力。

力是一个具有大小和方向的矢量。图示时，用有向线段的长度按比例表示力的大小，其方位和指向代表力的方向，箭头或箭尾为力的作用点(图 1-1)。本书用黑体字母表示矢量，而以明体字母表示它的大小。

对于刚体，如图 1-2 所示，如果沿力的作用线  $AB$ ，用大小相等方向相同的力  $F$ ，在车后  $A$  点推和在车前  $B$  点拉，尽管两力的作用点不同，但车的运动效果一样。由此可见，作用在刚体上的力，可沿其作用线移动到刚体内的任一点，

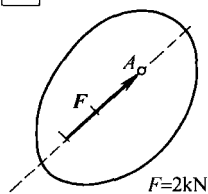


图 1-1

而不改变这个力对刚体的作用效果，称为力对刚体的可传性。在变形体中，力沿作用线滑移会改变它的变形效应，因此力的可传性对变形体不成立。

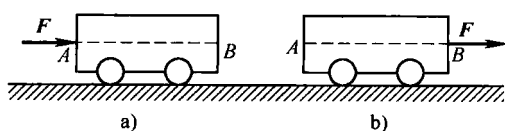


图 1-2

## 二、力的基本性质

力的基本性质是工程力学最主要的理论基础，是人类从反复的实践中总结出来的客观规律，它的正确性已被人们所公认。

**性质 1** 作用在物体上某一点的两个力，可以合成为作用在该点的一个合力，合力的大小和方向用这两个力为邻边所构成的平行四边形的对角线来确定。

如图 1-3a 所示，其矢量表达式为  $F_R = F_1 + F_2$ 。它总结了最简单力系的合成规律，其逆运算就是力的分解法则，它是简化复杂力系的基础。

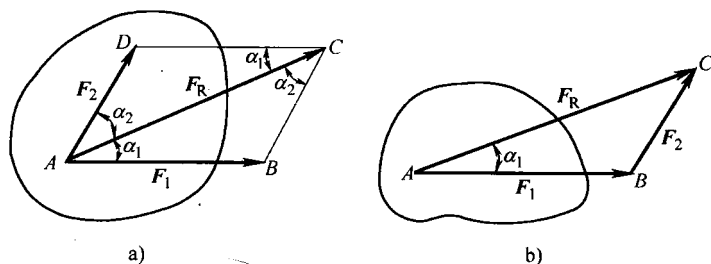


图 1-3

显然，对角线(合力)把平行四边形分成两个全等的三角形。如果从  $A$  点开始画  $F_1$ ，再从  $F_1$  的终点  $B$  画  $F_2$ ，则从  $F_1$  的起点  $A$  指向  $F_2$  的终点  $C$  的矢量就是合力  $F_R$ (图 1-3b)。也就是说，合力的大小和方向可用这样的三角形求得，这种三角形称为力三角形。

**性质 2** 两物体之间的作用力和反作用力，总是同时存在，它们的大小相等，方向相反，沿同一直线，分别作用在这两个物体上。

这一性质说明，力是两个物体之间的相互作用，它们总是成对出现，同时产生，同时消失。一般把作用力与反作用力用同一字母表示，其中一个字母加一撇以示区别。如图 1-4a 所示，物块置于水平面上，重力为  $G$ ，被地面支承而不能向下运动；地面给物块一个向上的支持力  $F_N$ ，力  $F_N$  的施力物体是地面，受力物体是物块(图 1-4b)；在物块受到力  $F_N$  作用的同时，物块也将给地面一个向下的压

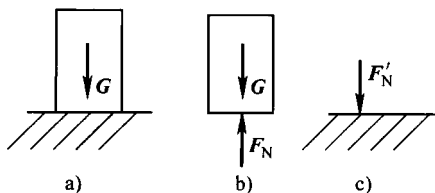


图 1-4

力  $F'_N$ ，这个力就是力  $F_N$  的反作用力(图 1-4c)。 $F_N$  和  $F'_N$  大小相等，方向相反，沿同一直线，分别作用在物块和地面上。

**性质 3** 作用在刚体上的两个力，使刚体保持平衡的必要与充分条件是：这两个力大小相等，方向相反，且作用在同一直线上。

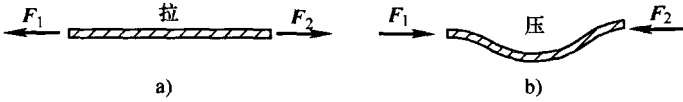


图 1-5

这一性质给出了刚体在最简单力系作用下的平衡条件，即二力平衡条件。对变形体而言，性质 3 只是平衡的必要条件而不是充分条件。如图 1-5 所示的绳子，在拉力作用下可以平衡(图 1-5a)但在压力作用下不能平衡(图 1-5b)。

应当指出，平衡的二力作用在同一物体上，组成一个平衡力系；而作用力与反作用力分别作用在两个不同的物体上，因而不能平衡。在图 1-4 中，重力  $G$  和支持力  $F_N$  作用在平衡的物块上，是平衡的二力，力  $F_N$  和  $F'_N$  是作用力与反作用力。

## 第二节 约束与约束力

物体在主动(已知力)作用下，总要产生运动或运动的趋势，但是这种运动或运动趋势一般要受到周围物体的限制。例如，地面限制了课桌的运动、气缸限制了活塞的运动等，这种限制实际上是力的作用。

### 一、约束与约束力

我们把对物体运动起限制作用的周围物体称为该物体的约束。如图 1-6a 所示，用拉线把灯悬挂在天花板上，灯受重力  $G$  的作用，有向下运动的趋势，拉线限制了灯向下的运动，因此拉线是灯的约束。

需要指出的是：①约束要对指定物体而言，这个物体就是研究对象，如电灯。②约束是研究对象的周围物体，并对研究对象有直接的限制作用。例如，当把书作为研究对象时，它的周围物体有课桌、地板等，但在这些物体中，只有课桌直接限制了书的运动，因此，课桌才是对书的约束。

约束施加在所研究物体上的力称为约束力。因为约束限制了物体的运动，所以约束力的方向总是与物体被限制的运动方向相反，并作用在两物体的接触处。如图 1-6b 所示，在灯与拉线的连接处，拉线给灯一个向上的拉力  $F_T$ ，这个力就是拉线的约束力。

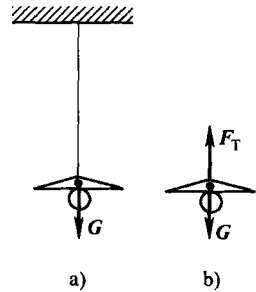


图 1-6

## 二、常见约束类型及其约束力的画法

工程实际中的约束形式多种多样，按照它们的约束特点，可以简化成以下几种类型。

### 1. 柔体约束

绳索、链、带等柔性体对物体的约束称为柔体约束。因柔体只能承受拉力，不能承受压力，即只能限制物体沿柔体伸长方向的运动，故柔体的约束力沿柔体的中心线背离物体，即为拉力，用  $F_T$  表示(图 1-7)。

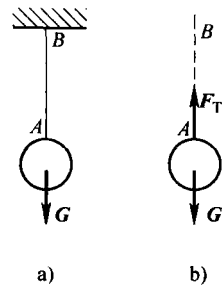


图 1-7

如图 1-8a 所示，起吊重物时，A、B 两处绳的约束力分别为  $F_{TA}$ 、 $F_{TB}$ 。又如图 1-8b 所示的带传动，带对轮  $O_1$  和轮  $O_2$  的拉力分别为  $F_{T1}$ 、 $F_{T2}$  和  $F'_{T1}$ 、 $F'_{T2}$ 。

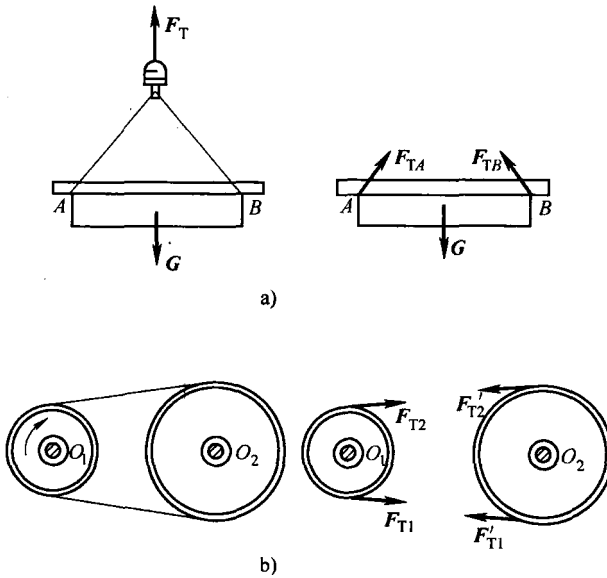


图 1-8

### 2. 光滑面约束

如果两物体接触处的摩擦力与其他力相比很小而忽略不计，则认为接触面是光滑的。不考虑摩擦的接触面约束称为光滑面约束。与柔体约束相反，此类约束只能压物体，不能拉物体，无论接触面的形状如何，都不能限制物体沿接触面公切线方向的运动，只能限制物体沿接触面公法线并指向接触面的移动。故光滑面的约束力，是在接触处沿接触面的公法线并指向物体的压力，用  $F_N$  表示。

如图 1-9 所示，各物块受到光滑面约束，约束力均作用在接触处，沿接触面的公法线，并指向物体。

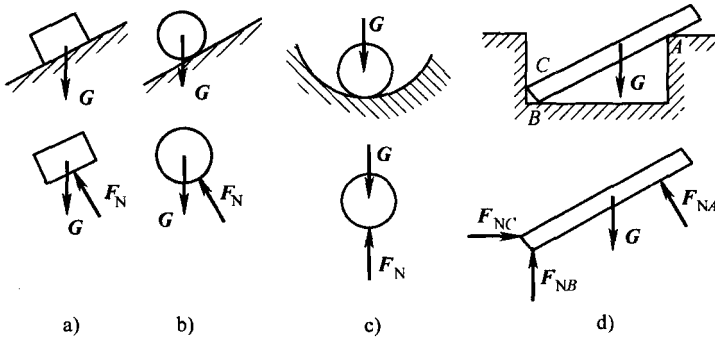


图 1-9

### 3. 光滑铰链约束

光滑铰链是一个抽象化的力学模型。两个物体连接后，接触处的摩擦忽略不计，只能限制接触点的相对移动，而不能限制它们绕接触点相对转动的约束称为光滑铰链约束，简称铰链约束。常见的铰链约束形式有圆柱销钉连接，这种约束在机构、桥梁中经常使用。

(1) 中间铰链和固定铰链支座 如图 1-10a 所示，两构件带有同样大小的圆孔，用圆柱形销钉联接起来，彼此只能绕销钉相对转动，而不能相对移动。如果铰链连接的两个构件处于结构的内部，这种铰链称为中间铰链，其简图如图 1-10b 所示；如果其中一个构件固结于地面或机架上(图 1-11a)，这种约束称为固定铰链支座，其简图如图 1-11b 所示。

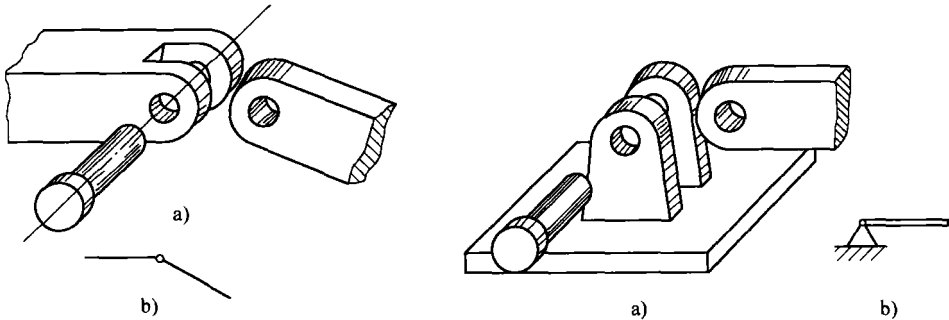


图 1-10

图 1-11

由于圆柱销钉与构件的圆孔之间光滑接触(图 1-12)，约束力沿接触处的公法线，所以，中间铰链和固定铰链支座的约束力  $F$  一定通过铰链中心。但是，接触位置一般不能预先确定，约束力方向未知。因此，通常用通过铰链中心的两个正交分力  $F_x$  和  $F_y$  表示(图 1-12c)。

(2) 活动铰链支座 如果铰链支座的座体，用几个圆柱形辊轴支承在光滑

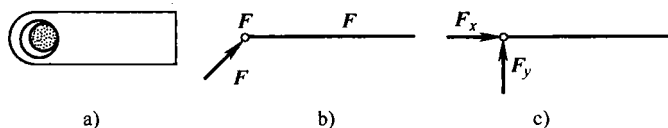


图 1-12

面上(图 1-13a)，这种支座称为活动铰链支座，其简图如图 1-13b 所示。由于支承面光滑，活动铰链支座可以在支承面上有微小移动，只限制构件沿支承面法线方向的运动。因此，活动铰链支座的约束力  $F_A$ ，通过铰链中心并垂直于支承面(图 1-13c)。

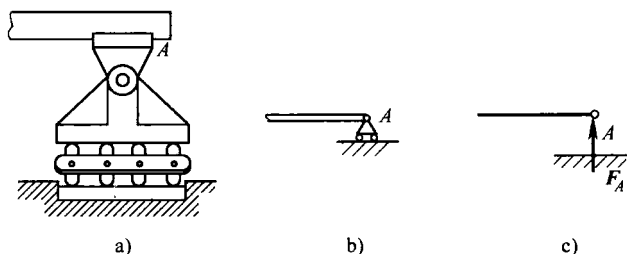


图 1-13

### 第三节 受力分析与受力图

解决力学问题时，首先要确定物体受哪些力的作用，以及每个力的作用位置和方向，然后再用图形清楚地表达出物体的受力情况。前者称为受力分析，后者称为画受力图，画受力图有两个主要步骤：

1) 根据求解问题的需要，把选定的物体(研究对象)从周围的物体中分离出来，单独画出这个物体的简图，这一步骤称为取分离体。取分离体解除了研究对象的约束。

2) 在分离体上画出全部主动力和代表每个约束作用的约束力，这种图形称为受力图。

主动力通常是已知力，约束力则要根据相应约束的类型来确定，每画一个力都应明确它的施力物体；当一个物体同时有多个约束时，应分别根据每个约束单独作用的情况，画出约束力，而不能凭主观臆测来画。

**例 1-1** 重量为  $G$  的球，用绳挂靠在光滑的

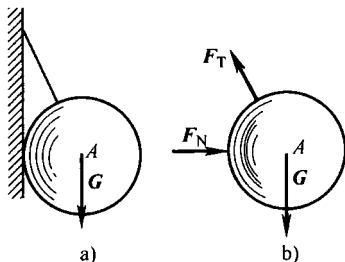


图 1-14



垂直墙面上(图 1-14a), 试画出球 A 的受力图。

解 (1) 选取球 A 为研究对象, 画出球 A 的分离体图(图 1-14b)。

(2) 画出主动力  $G$ 。

(3) 画约束力: 球 A 受到绳和光滑面的约束。绳的约束力  $F_T$  沿绳背离球 A; 光滑面的约束力  $F_N$  沿接触处的公法线, 并指向物体, 即垂直于墙面指向球心(图 1-14b)。

例 1-2 重量为  $G$  的圆柱, 置于光滑槽内(图 1-15a), 试画出圆柱的受力图。

解 (1) 选取圆柱  $O$  为研究对象, 画出圆柱  $O$  的分离体图(图 1-15b)。

(2) 画出主动力  $G$ 。

(3) 画约束力: 圆柱  $O$  受到 A 和 B 处

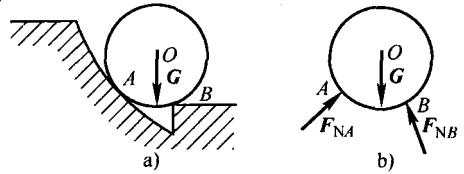


图 1-15

的光滑面约束。约束力  $F_{NA}$ 、 $F_{NB}$  分别沿接触处的公法线, 并指向圆柱中心  $O$ (图 1-15b)。

例 1-3 图 1-16a 所示梁  $AB$ , A 端为固定铰链支座, B 端为活动铰链支座, 活动铰链支座 B 支承在  $30^\circ$  的斜面上, 梁  $AB$  受主动力  $F$  的作用, 梁的自重不计, 试画出梁  $AB$  的受力图。

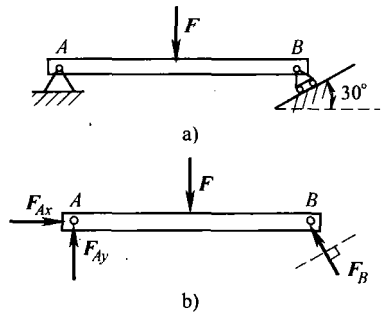


图 1-16

解 (1) 选取  $AB$  梁为研究对象, 画出梁  $AB$  的分离体图(图 1-16b)。

(2) 画出主动力  $F$ 。

(3) 画约束力: 梁  $AB$  受到固定铰链支座 A 和活动铰链支座 B 的约束。活动铰链支座 B 的约束力  $F_B$  垂直于  $30^\circ$  倾角的支承面; 固定铰链支座 A 的约束力, 用正交分解的  $F_{Ax}$  和  $F_{Ay}$  表示(图 1-16b)。

例 1-4 图 1-17a 所示折杆  $AB$ , A 端为固定铰链支座, B 端受到垂直向下的  $F$  力作用, 不计折杆自重, 试画出折杆  $AB$  在图示位置时的受力图。

分析: 折杆若不计自重, 则仅受到主动力  $F$  和铰支座 A 的约束力作用, 平衡时二力必反向共线。

解 (1) 选取折杆  $AB$  为研究对象, 画出  $AB$  的分离体图(图 1-17b)。

(2) 画出主动力  $F$ 。

(3) 画约束力: 根据二力平衡条件, 铰链支座 A 的

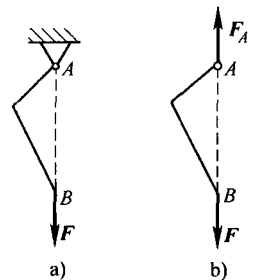


图 1-17