



普通高等教育“十二五”规划教材  
公共基础课系列教材

北京市精品教材配套指导书

# 理论力学学习指导

何青 李斌 编



与何青主编《理论力学》配套使用



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材  
公共基础课系列教材

# 理论力学学习指导

何青 李斌 编  
刘宗德 主审



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

本书为普通高等教育“十二五”规划教材。本书是与何青主编的北京市精品教材《普通高等教育“十一五”规划教材 理论力学》相配套的教学参考与学习指导书，继承了主教材的风格特点，结构严谨，层次分明，语言精练，通俗易懂。全书共 13 章，每章分为知识要点、解题方法、例题解析、习题解答和补充习题五个部分。本书在突出基本概念、基本原理和基本方法的同时，注重对学生分析问题和解决问题能力的培养。本书可与主教材配套使用，也可单独使用。

本书可作为高等学校工科各专业理论力学课程的学习参考和应试指导书，也可供高职高专院校师生和工程技术人员参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

理论力学学习指导/何青, 李斌编. —北京: 中国电力出版社, 2012. 3

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5123-2745-0

I. ①理… II. ①何… ②李… III. ①理论力学—高等学校—教学参考资料 IV. ①O31

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 028501 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2012 年 7 月第一版 2012 年 7 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 21.75 印张 531 千字

定价 36.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪  
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

# 前 言

本书是与何青主编的北京市精品教材《普通高等教育“十一五”规划教材 理论力学》相配套的教学参考与学习指导书。全书共 13 章，与主教材的章节顺序相同。每章包括知识要点、解题方法、例题解析、习题解答和补充习题五个部分。

(1) 知识要点。提纲挈领地对每章的基本概念、基本理论、主要公式、学习重点和难点等内容进行概括总结、加工提炼和补充完善，以方便读者复习、记忆和查询。

(2) 解题方法。深入细致地介绍解题思路、解题方法和解题技巧，并对每章在学习过程中容易出现的问题进行阐述，以提高读者分析问题和解决问题的能力。

(3) 例题解析。精选典型例题 55 道进行深入分析，以拓展视野、满足读者深入学习的需要。

(4) 习题解答。对教材中全部 255 道思考题和 247 道习题逐一给出详尽解答，以帮助读者自主学习和复习。

(5) 补充习题。为了帮助学生更深入透彻地掌握教材内容，在对每章内容认真分析的基础上，补充了具有代表性的习题 189 道。

本书可与主教材配套使用，也可以单独使用。

本书由华北电力大学何青和李斌编写。全书由何青统编定稿。

本书由华北电力大学刘宗德教授主审并提出了很多宝贵的意见和建议，在此表示衷心的感谢。

《普通高等教育“十一五”规划教材 理论力学》的编者提供了部分思考题和习题的解答，王旭阳、赵宏程、宋博、费立凯、张帆、沈克伟、谢常福、韩炜等同学在文字和图形处理方面做了大量的工作，在此一并表示感谢。

本书得到了北京市教育委员会共建项目专项资助，在此一并致谢。

编 者

2012 年 2 月于北京

# 目 录

## 前言

<b>第 1 章 静力学基础</b> .....	1
一、知识要点.....	1
二、解题方法.....	3
三、例题解析.....	3
四、习题解答.....	6
五、补充习题.....	17
<b>第 2 章 力系的简化</b> .....	21
一、知识要点.....	21
二、解题方法.....	22
三、例题解析.....	22
四、习题解答.....	25
五、补充习题.....	37
<b>第 3 章 力系的平衡</b> .....	39
一、知识要点.....	39
二、解题方法.....	40
三、例题解析.....	41
四、习题解答.....	50
五、补充习题.....	75
<b>第 4 章 运动学基础</b> .....	80
一、知识要点.....	80
二、解题方法.....	81
三、例题解析.....	82
四、习题解答.....	87
五、补充习题.....	96
<b>第 5 章 点的合成运动</b> .....	99
一、知识要点.....	99
二、解题方法.....	99
三、例题解析.....	101
四、习题解答.....	108
五、补充习题.....	118
<b>第 6 章 刚体的平面运动</b> .....	122
一、知识要点.....	122
二、解题方法.....	122

三、例题解析	125
四、习题解答	130
五、补充习题	145
<b>第 7 章 动力学基础</b>	150
一、知识要点	150
二、解题方法	151
三、例题解析	151
四、习题解答	154
五、补充习题	160
<b>第 8 章 动量定理</b>	162
一、知识要点	162
二、解题方法	162
三、例题解析	163
四、习题解答	167
五、补充习题	176
<b>第 9 章 动量矩定理</b>	179
一、知识要点	179
二、解题方法	180
三、例题解析	180
四、习题解答	187
五、补充习题	199
<b>第 10 章 动能定理</b>	202
一、知识要点	202
二、解题方法	203
三、例题解析	204
四、习题解答	212
五、补充习题	226
<b>第 11 章 达朗伯原理</b>	231
一、知识要点	231
二、解题方法	232
三、例题解析	232
四、习题解答	235
五、补充习题	258
<b>第 12 章 虚位移原理</b>	262
一、知识要点	262
二、解题方法	263
三、例题解析	263
四、习题解答	268
五、补充习题	300

<b>第 13 章 机械振动基础</b> .....	303
一、知识要点 .....	303
二、解题方法 .....	304
三、例题解析 .....	305
四、习题解答 .....	307
五、补充习题 .....	328
补充习题答案 .....	331
参考文献 .....	340

## 第1章 静力学基础

### 一 知识要点

本章主要介绍静力学的基本概念和基本原理,分析工程中常见的约束及其约束反力特点,研究力矩和力偶的性质及其计算方法。要求能够熟练地对所研究的问题进行受力分析,正确地画出受力图,能够正确地理解和运用力矩关系定理、合力矩定理和力偶的性质,熟练地计算力对点之矩、力对轴之矩和力偶矩。

#### 1. 基本概念

**质点:**只有质量而没有大小和形状的理想物体。

**质点系:**一群具有某种联系的质点。

**刚体:**一个不变质点系,在力的作用下,质点间的距离始终保持不变的质点系。

**力:**物体间的相互机械作用;力是矢量。对一般物体而言,力是定位矢量,力的三要素为大小、方向、作用点;对刚体而言,力是滑动矢量,这时三要素为大小、方向、作用线。空间作用力是一个三维矢量,其解析表达式为

$$\boldsymbol{F} = F_x \boldsymbol{i} + F_y \boldsymbol{j} + F_z \boldsymbol{k}$$

力的作用效应包括运动效应(外效应)和变形效应(内效应)。

**力系:**作用在同一物体上的一群力的集合。

**力系分类:**按照力系中各力作用线在空间的分布形式不同,力系可分为以下三类。

(1) 汇交力系:各力作用线相交于一点。

(2) 平行力系:各力作用线相互平行。

(3) 一般力系:各力作用线既不相交于同一点,又不相互平行。

按照各力作用线是否位于同一平面内,上述三种力系均可再分为平面力系和空间力系两类,如平面一般力系、空间一般力系等。

**平衡:**物体相对于惯性系处于静止或匀速直线运动的状态。由若干物体组成的系统,如果整体是平衡的,则组成系统的每一个局部也必然是平衡的。

**约束:**限制非自由体某种运动的周围物体。

**约束力:**约束对被约束物体的相互作用力,约束力的方向与该约束所能阻止的运动方向相反。

**力对点之矩:**力使刚体绕空间某一点转动效应的量度。

**力对轴之矩:**力使刚体绕某一轴转动效应的量度。

**力偶:**大小相等、方向相反、作用线相互平行但不重合的两个力所组成的力系。

#### 2. 静力学基本原理及其适用性

(1) 二力平衡原理。作用于同一刚体上的两个力,使刚体平衡的必要和充分条件是:这两个力的大小相等、方向相反,并作用在同一直线上。

对于刚体,这个条件是既必要又充分的;但对于非刚体,这个条件是不充分的。例如,软绳受两个等值反向的拉力作用可以平衡,而受两个等值反向的压力作用就不能平衡。



(2) 加减平衡力系原理。在作用于刚体的力系中，加上或减去一个平衡力系，不改变原力系对刚体的作用效应。该原理只适用于刚体。

**力的可传性：**作用于刚体上的力可沿其作用线移动到刚体上的任意点而不改变该力对刚体的作用效应。

(3) 力平行四边形法则。作用在刚体上同一点的两个力，可以合成为一个合力，合力的作用点也在该点，合力的大小和方向，由这两个力矢为邻边构成的平行四边形的对角线矢量确定。合力矢等于这两个力矢的矢量和。

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2$$

力平行四边形法则是复杂力系简化的基础，也是力的分解法则。

**三力平衡汇交定理：**作用于刚体上的三个相互平衡的力，若其中两个力的作用线汇交于一点，则此三力必在同一平面内，且第三个力的作用线一定通过汇交点。注意，该定理的逆定理不存在。

(4) 作用与反作用定律。任何两个物体间的作用力和反作用力总是同时存在，两力的大小相等、方向相反，沿着同一直线，分别作用在两个相互作用的物体上。

(5) 刚化原理。变形体在某一力系作用下处于平衡，如将此变形体刚化为刚体，其平衡状态保持不变。这是把变形体看做刚体模型的条件。

刚体的平衡条件是变形体平衡的必要条件，而非充分条件。在刚体静力学的基础上，考虑变形体的特性，可进一步研究变形体的平衡问题。

### 3. 受力分析与受力图

画受力图时，首先要明确研究对象，即取分离体。物体所受的力分为主动力和约束力。要注意分清内力和外力，在受力图上一般只画研究对象所受的外力；运用二力构件、三力平衡汇交定理等有助于进行受力分析。另外，还要注意作用力与反作用力之间相互关系的运用。

### 4. 力矩

(1) 力对点之矩是一个矢量，矢量方向按右手法则确定。

$$\mathbf{M}_O(\mathbf{F}) = \mathbf{r} \times \mathbf{F} = \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ x & y & z \\ F_x & F_y & F_z \end{vmatrix} = (yF_z - zF_y)\mathbf{i} + (zF_x - xF_z)\mathbf{j} + (xF_y - yF_x)\mathbf{k}$$

(2) 力对轴之矩是一个代数量，正、负由右手法则确定。

$$M_x(\mathbf{F}) = yF_z - zF_y, \quad M_y(\mathbf{F}) = zF_x - xF_z, \quad M_z(\mathbf{F}) = xF_y - yF_x$$

(3) 力矩关系定理

$$M_x(\mathbf{F}) = [\mathbf{M}_O(\mathbf{F})]_x, \quad M_y(\mathbf{F}) = [\mathbf{M}_O(\mathbf{F})]_y, \quad M_z(\mathbf{F}) = [\mathbf{M}_O(\mathbf{F})]_z$$

(4) 合力矩定理

$$\mathbf{M}_O(\mathbf{F}) = \sum_{i=1}^n \mathbf{M}_O(\mathbf{F}_i)$$

$$M_x(\mathbf{F}) = \sum_{i=1}^n M_x(\mathbf{F}_i), \quad M_y(\mathbf{F}) = \sum_{i=1}^n M_y(\mathbf{F}_i), \quad M_z(\mathbf{F}) = \sum_{i=1}^n M_z(\mathbf{F}_i)$$

### 5. 力偶

力偶是一种最基本的力系，也是一种特殊的力系。力偶无合力。力偶对刚体的作用效果

取决于力偶矩的大小、力偶作用面及力偶的转向，可用力偶矩矢  $\boldsymbol{M}$  表示。

$$\boldsymbol{M} = \boldsymbol{r}_{BA} \times \boldsymbol{F}$$

力偶矩矢与矩心无关，即力偶对点之矩与点的位置无关，是自由矢量。

## 二 解题方法

### 1. 受力分析

在工程实际中，为了求出未知的约束力，首先要确定物体的受力情况，即对物体进行受力分析，确定每个力的作用位置及其作用方向；然后根据已知力（一般为主动力），应用平衡条件求解。

为了清楚地表示物体的受力情况，需要把被研究的物体（受力物体）从周围的物体（施力物体）中分离出来，单独画出它的简图，这个过程就是取分离体。然后再把施力物体对受力物体的作用力（包括主动力和约束力）全部画出来，得到物体受力的简明图形，即受力图。所以，受力图由受力物体和物体所受的全部力组成。

正确地画出物体受力图是求解静力学问题的基础和前提。画受力图的基本步骤如下：

- (1) 选定合适的研究对象，确定分离体。
- (2) 画出作用在分离体上的所有主动力（一般皆为已知力）。
- (3) 在分离体的所有约束处，根据约束的性质画出约束力。

画受力图应注意以下几点：

(1) 必须明确研究对象。对实际物体进行受力分析时，可以根据需要选取合适的研究对象，可以选择单个物体、整体或者部分物体。

(2) 正确确定研究对象受力的数目。

(3) 正确画出约束力，约束力一定要按照约束的类型来确定，不要凭主观想象。

(4) 要善于利用二力平衡原理判断二力构件，正确应用三力平衡汇交定理确定力的方向。注意，三力汇交是平衡的必要条件，不是充分条件。

(5) 研究物体系统时，它们之间的相互作用关系应按照作用和反作用定律来分析。分析物体系统的受力时，要注意区分内力和外力。取整体物体系统为研究对象时，系统内物体间的相互力为内力，不用画出；若将物体系统内构件拆开来作为分离体研究时，内力将转化为外力，这时必须画出。分离体与其他物体之间的受力关系满足作用与反作用定律。

### 2. 力矩的计算

在计算力矩大小时，需要注意以下几点：

(1) 力对点之矩不仅取决于力的大小，还与矩心位置有关。矩心位置不同，力矩大小也不同。

(2) 力对点之矩，不因该力的作用点沿其作用线移动而改变。

(3) 当力的作用线通过矩心时，力矩等于零。

(4) 一对相互平衡的力对同一点之矩的代数和为零。

## 三 例题解析

**【例 1-1】** 试画出图 1-1 (a) 所示结构中构件 AB 的受力图。

**解** 本题所研究的结构由直杆 AB 和曲杆 CD 两构件通过铰链 D 和铰支座 B、C 连接而

成。构件  $AB$  受力图的绘制步骤如下：

(1) 取构件  $AB$  为研究对象，根据  $B$ 、 $D$  处铰链约束的性质，画出构件  $AB$  受力，如图 1-1 (b) 所示。

(2) 注意到构件  $CD$  为二力构件，作用力  $F_C$  和  $F'_D$  应沿  $CD$  连线，如图 1-1 (c) 所示。通过作用力与反作用力的关系，可知  $F_{Dx}$  与  $F_{Dy}$  可合成为  $F_D$  ( $F'_D$  的反作用力)，于是可以画出如图 1-1 (d) 所示的受力图。

(3) 再对构件  $AB$  的受力作进一步分析。铰座  $B$  的约束力  $F_{Bx}$  和  $F_{By}$  可合成为一个力，因而构件  $AB$  受到三个不平行力作用而平衡，根据三力平衡汇交定理，可以确定  $F_B$  的作用线应与  $F$  和  $F_D$  汇交于  $E$  点。最后得到构件  $AB$  的受力图如图 1-1 (e) 所示。

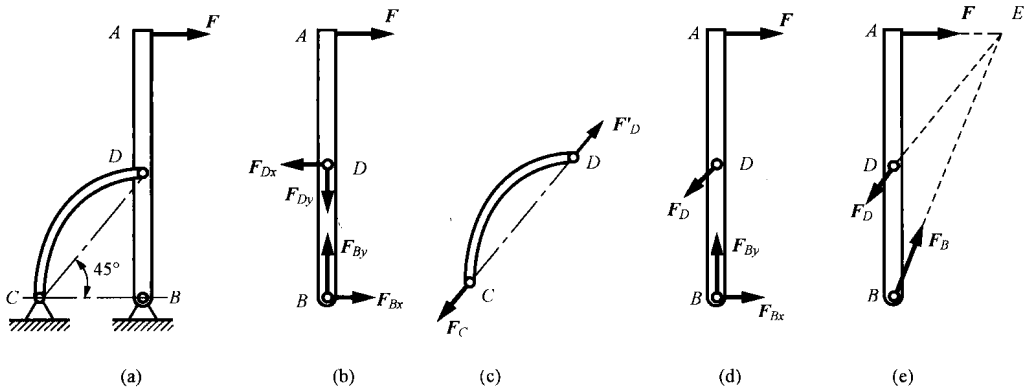


图 1-1

### ► 解题要点与讨论：

(1) 进行受力分析时，首先要正确选择研究对象，画出它们的受力图。本题的研究对象是构件  $AB$ 。

(2) 画单个物体受力图时，每个力都要找到施力物体，要根据约束的类型和性质正确画出约束反力。

(3) 进行受力分析，画研究对象受力图时，要按照解题步骤，画出所有的主动力和约束反力，充分利用二力构件和三力平衡汇交定理，最后综合地画出构件  $AB$  的受力图。

**【例 1-2】** 如图 1-2 (a) 所示结构，由杆  $ACD$ 、杆  $BC$  与滑轮  $D$  铰接组成，重物重为  $W$ ，用绳子挂在滑轮  $D$  上。杆、滑轮和绳子质量不计，并略去各处摩擦。分别画出滑轮  $D$ 、杆  $BC$ 、杆  $ACD$  (不包括滑轮)、杆  $ACD$  (包括滑轮) 及整体的受力图。

**解** (1) 研究滑轮  $D$  (包括绕在其上的部分绳子)。滑轮  $D$  在  $D$  处受到光滑铰链约束力  $F_D$ 、在  $E$  和  $G$  处受到绳索拉力  $F_E$  和  $F_G$  三个力作用而平衡。根据三力平衡汇交定理，这三个力汇交于  $H$  点，其受力图分析如图 1-2 (b) 所示。

(2) 研究杆  $BC$ 。杆  $BC$  只在  $B$ 、 $C$  两处受到铰链约束，为二力构件。杆  $BC$  两端的约束反力  $F_C = F_B$ 。杆  $BC$  受力如图 1-2 (c) 所示。

(3) 研究杆  $ACD$  (不包括滑轮)。杆  $ACD$  在  $A$  处为固定铰链支座约束，约束反力为  $F_A$ ；在  $D$  处受到滑轮  $D$  的作用力  $F'_D$ ，与  $F_D$  是作用力与反作用力的关系；在  $C$  处受到作用力  $F'_C$ ，与  $F_C$  是作用力与反作用力的关系。同样，根据三力平衡汇交定理，这三个力必汇交

于  $P$  点。这样, 杆  $ACD$  (不包括滑轮) 受力图如图 1-2 (d) 所示。

(4) 研究杆  $ACD$  (包括滑轮)。在  $A$ 、 $C$  处受力与图 1-2 (d) 相同, 在  $D$  处滑轮  $D$  与杆  $ACD$  的作用力属于内力, 不必画出。所以, 直接画出绳索对滑轮  $D$  的拉力即可。杆  $ACD$  (包括滑轮) 的受力图如图 1-2 (e) 所示。

(5) 研究整体。整体受力有重力  $W$ 、 $A$  处的约束反力  $F_A$ 、 $E$  处的绳索拉力  $F_E$  及  $B$  处的约束反力  $F_B$ 。 $C$  处和  $D$  处的约束反力对整体而言, 属于内力, 所以在受力图上不必画出。整体受力图如图 1-2 (f) 所示。

#### ► 解题要点与讨论:

(1) 对系统各个部分进行受力分析时, 一定要先解除约束, 取出分离体, 不能在原图上直接画各个分离体的受力图。

(2) 系统内各部分之间的相互作用力遵循作用与反作用定律, 所以二者方向必然相反, 其力矢的符号必须相对应。

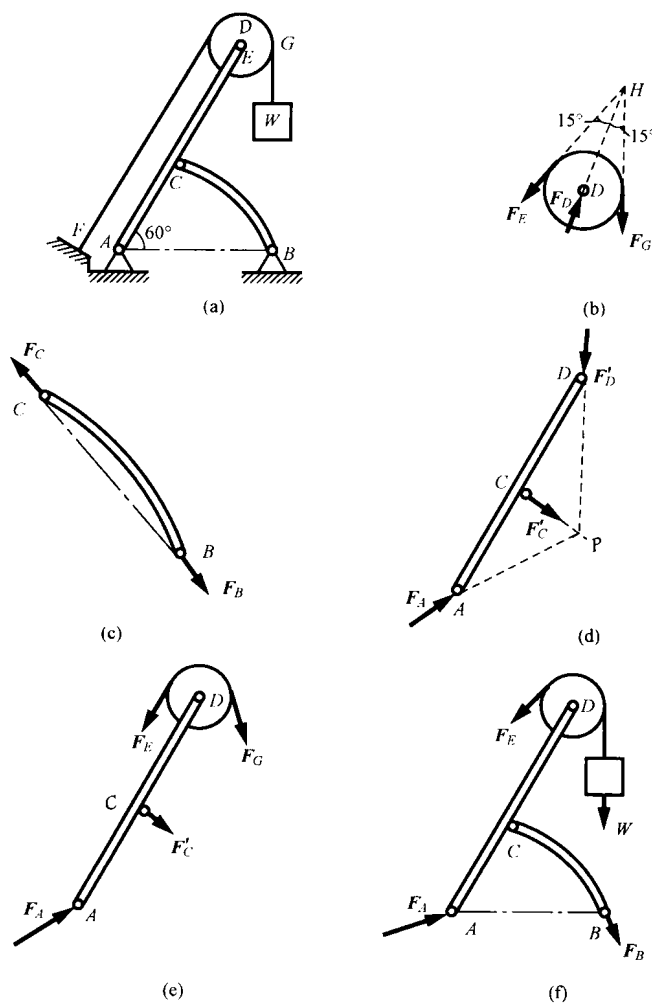


图 1-2

**【例 1-3】** 如图 1-3 所示, 刚架受到力  $F$  的作用。试分别计算  $F$  对点  $A$  和  $B$  的力矩。  
**解** 先求出  $F$  到点  $A$  和  $B$  的距离, 再计算  $F$  对点  $A$  和  $B$  的力矩, 如图 1-3 (b) 所示。

(1)  $F$  对点  $A$  的力矩

$$d_A = AC = b \cos \theta$$

$$M_A(\mathbf{F}) = Fd_A = Fb \cos \theta \quad (\text{顺时针方向})$$

(2)  $F$  对点  $B$  的力矩

$$d_B = DB = AE - AC = a \sin \theta - b \cos \theta$$

$$M_B(\mathbf{F}) = Fd_B = F(a \sin \theta - b \cos \theta) \quad (\text{逆时针方向})$$

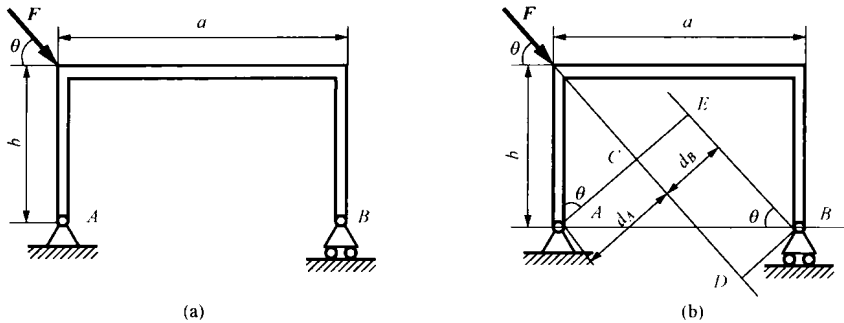


图 1-3

## 四 习题解答

### 思考题 1-1 判断题

- (1) 力是滑动矢量, 可以沿作用线移动。
- (2) 大小相等、方向相反、作用线沿同一直线的两个力构成平衡力系。
- (3) 若作用在刚体上的三个力的作用线汇交于同一点, 则刚体必处于平衡状态。
- (4) 对于任意给定的力系, 都可以按照加减平衡力系原理, 加上或减去任意的平衡力系而不改变原力系的作用效果。
- (5) 作用力与反作用力同样是一对平衡力, 因为它们满足二力平衡原理中所说的两力大小相等、方向相反、作用线沿同一直线的条件。
- (6) 只要是两点受力的刚体, 均为二力构件。
- (7) 柔索类约束反力, 其作用线沿柔索, 其指向沿离开柔索方向不能任意假定。
- (8) 一个力对某点的力矩矢与某力偶的力偶矩矢相等, 则这个力与这个力偶等效。
- (9) 某力偶对点  $A$  的矩为  $M_A$ , 对另一点  $B$  的矩为  $M_B$ , 则必有  $M_A = M_B$ 。

**答案:** (1)  $\times$ ; (2)  $\times$ ; (3)  $\times$ ; (4)  $\times$ ; (5)  $\times$ ; (6)  $\times$ ; (7)  $\checkmark$ ; (8)  $\times$ ;  
 (9)  $\checkmark$ 。

### 思考题 1-2 选择题

- (1) 二力平衡原理的适用范围是 ( )。
  - A. 刚体
  - B. 刚体系统
  - C. 变形体
  - D. 任何物体或者物体系统
- (2) 力的可传性适用于 ( )。
  - A. 同一刚体
  - B. 刚体和变形体



(2) 由于梁  $AB$  在三点受力平衡, 也可根据三力平衡汇交定理条件确定铰  $A$  的约束反力  $F_A$  的方向。由于  $P$  与  $F_B$  交于  $G$  点, 如图 1-4 (c) 所示, 根据三力平衡汇交定理可知铰  $A$  的约束反力  $F_A$  的作用线必通过  $G$  点。图 1-4 (c) 是梁  $AB$  受力图的另一种方案。

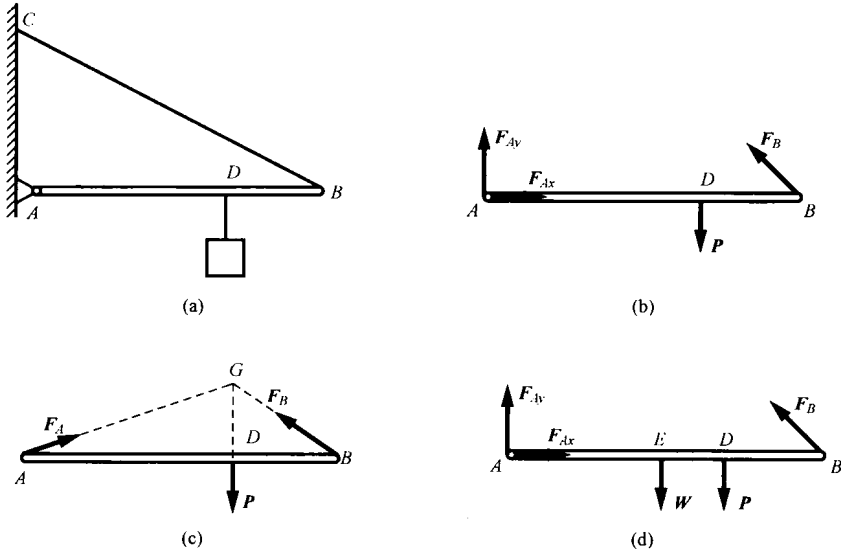


图 1-4

### ► 分析与讨论:

(1) 如果考虑梁的自重  $W$ , 则梁上有 4 个力作用, 就无法判断铰  $A$  的约束反力方向, 这时梁  $AB$  的受力图如图 1-4 (d) 所示。

(2) 在进行受力分析时, 只要能够判定约束反力方向, 就不用分量表示, 如图 1-4 (c) 所示。但是, 在实际计算时, 为了方便又常常采用分量表示方法。图 1-4 (b) 所示为分析计算通常采用的方案。

**★ 习题 1-2** 如图 1-5 (a) 所示, 水平梁  $AB$  用斜杆  $CD$  支撑,  $A$ 、 $C$ 、 $D$  三处均为光滑铰链连接。均质梁重  $P_1$ , 其上放置一重为  $P_2$  的电动机。如不计杆  $CD$  的自重, 试分别画出杆  $CD$  和梁  $AB$  (包括电动机) 的受力图。

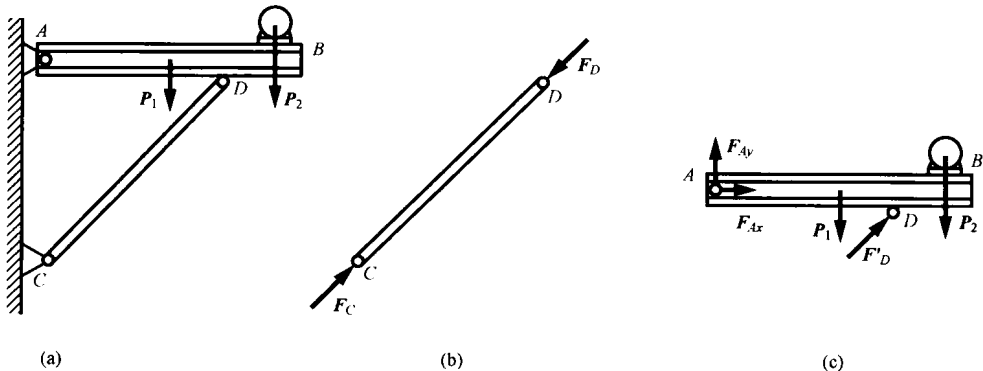


图 1-5

**解** (1) 先分析斜杆  $CD$  的受力。由于斜杆  $CD$  的自重不计, 根据光滑铰链约束的特点,  $C$ 、 $D$  两处的约束力分别通过铰链  $C$ 、 $D$  的中心, 方向暂不能确定。但是, 考虑到杆  $CD$  只在  $F_C$ 、 $F_D$  两个力作用下平衡, 根据二力平衡原理, 这两个力必定沿同一直线, 且等值、反向。由此确定  $F_C$  和  $F_D$  的作用线应沿铰链中心  $C$  和  $D$  的连线。根据经验, 判断杆  $CD$  受压力, 其受力图如图 1-5 (b) 所示。

(2) 取梁  $AB$  (包括电动机) 为研究对象。它受到  $P_1$ 、 $P_2$  两个主动力的作用。梁在铰链  $D$  处受到杆  $CD$  的约束力  $F_D'$ , 根据作用和反作用定律,  $F_D'$  沿杆  $CD$  方向。梁在  $A$  处受到固定铰支座的约束力作用, 由于方向未知, 可用两个大小未定的正交分量  $F_{Ax}$  和  $F_{Ay}$  表示。由此得到梁  $AB$  的受力图如图 1-5 (c) 所示。

► **分析与讨论:**

(1) 梁在  $A$  点受到的力用两个正交分量表示时, 一般不用判定方向, 而按默认正向画出即可。

(2) 一般情况下,  $F_C$  和  $F_D$  的指向不能预先判定, 可先任意假设杆受拉力或压力。若根据平衡方程求得的力为正值, 说明原假设力的指向正确; 若为负值, 说明实际杆受力与原假设指向相反。

**习题 1-3** 如图 1-6 (a) 所示, 梯子的两部分  $AB$  和  $AC$  在点  $A$  铰接, 又在  $D$ 、 $E$  两点用水平绳连接。梯子放在光滑水平面上, 在  $AB$  的中点  $H$  处作用一铅垂载荷  $F$ 。若不计自重, 试分别画出绳子  $DE$  和梯子的  $AB$ 、 $AC$  两部分以及整个系统的受力图。

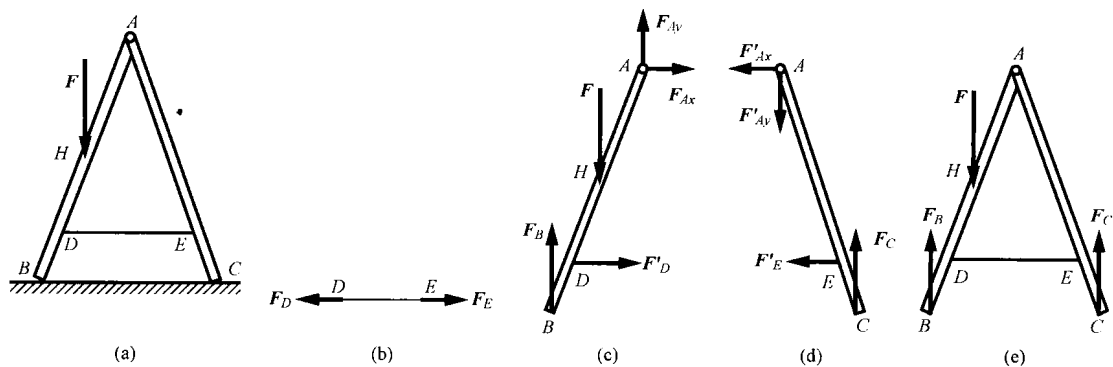


图 1-6

**解** (1) 绳子  $DE$  的受力分析。绳子两端  $D$ 、 $E$  分别受到梯子对它的拉力  $F_D$  和  $F_E$  的作用, 如图 1-6 (b) 所示。

(2) 梯子  $AB$  部分的受力分析。它在点  $H$  处受到载荷  $F$  的作用, 在铰链  $A$  处受到  $AC$  部分给它的作用力  $F_{Ax}$  和  $F_{Ay}$ 。在点  $D$  处受到绳子拉力  $F_D'$  作用,  $F_D'$  是  $F_D$  的反作用力。在点  $B$  处受到光滑地面对它的法向反力  $F_B$  作用。梯子  $AB$  部分的受力图如图 1-6 (c) 所示。

(3) 梯子  $AC$  部分的受力分析。在铰链  $A$  处受到  $AB$  部分对它的作用力  $F_{Ax}'$  和  $F_{Ay}'$ ,  $F_{Ax}'$  和  $F_{Ay}'$  分别是  $F_{Ax}$  和  $F_{Ay}$  的反作用力。在点  $E$  处受到绳子的拉力  $F_E'$  作用,  $F_E'$  是  $F_E$  的反作用力。在  $C$  处受到光滑地面对它的法向反力  $F_C$ 。梯子  $AC$  部分的受力图如图 1-6 (d) 所示。

(4) 整个系统的受力分析。当以整个系统为研究对象时, 可以把平衡的整个结构刚化为



刚体。由于铰链  $A$  处以及绳子与梯子 in 连接点  $D$  和  $E$  处的所有作用力都成为内力，在受力图上不必画出。因此，在整个系统的受力图上只需画出系统以外其他物体给系统的外力，包括载荷  $F$ 、约束反力  $F_B$  和  $F_C$ 。整个系统的受力图如图 1-6 (e) 所示。

**✦ 习题 1-4** 画出题 1-7 (a) 所示重为  $P$  的杆  $AB$  的受力图。所有接触处均为光滑接触。

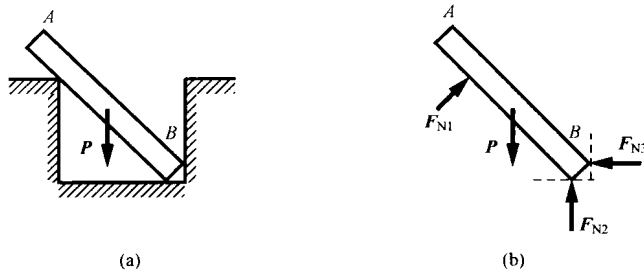


图 1-7

**解** (1) 确定研究对象。本题只有一个刚体，所以杆  $AB$  是唯一的研究对象。将杆从约束中取出，得到分离体。

(2) 在分离体上画上主动力  $P$ 。

(3) 根据约束性质确定约束力。在光滑面接触处的约束力应沿其公法线方向，在上部约束处，约束力垂直于杆的表面；在下部约束处，约束力垂直于与杆接触的约束表面。杆的受力图如图 1-7 (b) 所示。

**✦ 习题 1-5** 重为  $P$  的均质圆盘  $O$ ，由杆  $AB$ 、绳索  $BC$  和墙面支撑，如图 1-8 (a) 所示。铰  $A$  及各接触点  $D$ 、 $E$  的摩擦不计，杆重不计。试分别画出系统整体及圆盘  $O$  和杆  $AB$  的受力图。

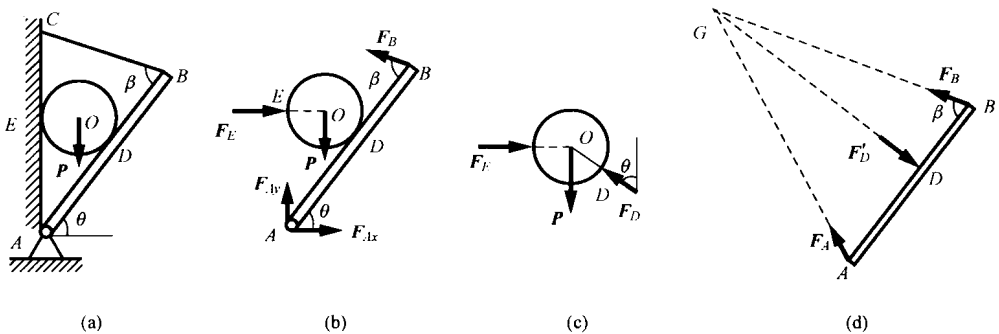


图 1-8

**解** (1) 对系统整体进行受力分析。以圆盘和杆组成的系统作为研究对象。在  $O$  处作用有主动力  $P$ 。解除  $A$ 、 $B$ 、 $E$  三处的约束，得到以系统为研究对象的分离体图如图 1-8 (b) 所示。 $A$  处为固定铰支座约束，有两个相互垂直的约束力  $F_{Ax}$  和  $F_{Ay}$ ； $B$  处为绳索约束，约束力为拉力  $F_B$ ； $E$  处为光滑接触面约束，约束力  $F_E$ ，沿接触面在该点的公法线方向即水平方向；其余各处的约束力均为内力。于是，得到整体受力图如图 1-8 (c) 所示。