



普通高等教育力学“十二五”规划教材

理论力学解题分析与指导

LILUN LIXUE JIETI FENXI YU ZHIDAO

主编 苗同臣

 郑州大学出版社



普通高等教育力学

理论力学解题分析与指导

LILUN LIXUE JIETI FENXI YU ZHIDAO

主编 苗同臣

郑州大学出版社

郑州

图书在版编目(CIP)数据

理论力学解题分析与指导/苗同臣主编. —郑州:郑州大学出版社,2012.3
ISBN 978-7-5645-0672-8

I. ①理… II. ①苗… 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 (2011) 第 268358 号

郑州大学出版社有限公司出版发行

郑州市大学路 40 号

出版人:王 锋

全国新华书店经销

新乡市凤泉印务有限公司印制

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:28.25

字数:654 千字

版次:2012 年 3 月第 1 版

邮政编码:450052

发行电话:0371-66966070

印次:2012 年 3 月第 1 次印刷

书号:ISBN 978-7-5645-0672-8

定价:46.00 元

本书如有印装质量问题,请向本社调换

本书作者

Authors

主 编 苗同臣
副主编 徐文涛 范翠英

前言

Preface

理论力学是一门理论性较强而又与工程密切相关的课程,要学好这门课,不仅要仔细理解每一个基本概念,还必须做大量习题。“理论易懂做题难”是学生学习过程中的普遍感受。为此,编者在长期教学实践的基础上,参考多种教材和相关资料,编写了本书。

本书具有以下特点:

(1)为扩大知识量,在每一章中一般不对其基本内容和公式进行总结,题目的求解方法步骤也尽可能简洁(像平时的作业要求一样),不像教材例题和其他习题解答那样对每一个题目的求解都进行详细的文字分析和叙述。

(2)对每一篇、每一章的学习重点和难点概念进行分析指导。

(3)对每一章的解题方法步骤进行总结。这是理论力学作题的基本要求,学生要从以往(特别是物理)“抽象推理、文字分析”的做题方法,转变到“结构化、规范化、公式化”的工程问题求解方法。

(4)对所有概念题和习题作出解答,一题多解时给出多种解法,题型相同的题只给出解题步骤和答案,容易出错的概念题给出相关的知识范围(知识点)。

(5)对题目求解中需要注意的概念和容易出现的错误作出分析和提示。

本书分为静力学、运动学、动力学、分析力学基础与理论力学专题四篇,其中第1~14章为理论力学大纲要求的基本内容,其他章节为某些特殊专业需要掌握的加深加宽的知识 and 内容。

本书共包括概念题 343 个,习题 644 个。

本书可作为工科各专业理论力学和工程力学课程学习的参考书,也是硕士研究生入学考试的重要复习资料,同时对从事与力学分析与计算相关的工程技术人员也是很好的参考资料。

本书经过 2000 年和 2002 年两次印刷使用和不断修改完善,现在正式出版。由于水平有限,书中仍难免存在编排错误,恳切希望读者批评指正。

编者

2012 年 5 月

静力学

| | |
|------------------------|-----|
| 第1章 静力学公理与物体的受力分析····· | 2 |
| 概念题····· | 3 |
| 练习题····· | 5 |
| 第2章 平面力系····· | 15 |
| 概念题····· | 16 |
| 练习题····· | 28 |
| 第3章 空间力系····· | 78 |
| 概念题····· | 79 |
| 练习题····· | 83 |
| 第4章 摩擦····· | 102 |
| 概念题····· | 102 |
| 练习题····· | 108 |

运动学

| | |
|------------------|-----|
| 第5章 点的运动学····· | 142 |
| 概念题····· | 142 |
| 练习题····· | 146 |
| 第6章 刚体的简单运动····· | 158 |
| 概念题····· | 158 |
| 练习题····· | 163 |
| 第7章 点的合成运动····· | 173 |
| 概念题····· | 174 |
| 练习题····· | 184 |
| 第8章 刚体的平面运动····· | 202 |
| 概念题····· | 202 |
| 练习题····· | 211 |

动力学

| | |
|----------------|-----|
| 第9章 质点动力学的基本方程 | 246 |
| 概念题 | 246 |
| 练习题 | 251 |
| 第10章 动量定理 | 258 |
| 概念题 | 258 |
| 练习题 | 263 |
| 第11章 动量矩定理 | 275 |
| 概念题 | 276 |
| 练习题 | 284 |
| 第12章 动能定理 | 305 |
| 概念题 | 305 |
| 练习题 | 314 |
| 动力学综合应用题 | 326 |

分析力学基础与理论力学专题

| | |
|---------------------|-----|
| 第13章 达朗贝尔原理 | 350 |
| 概念题 | 351 |
| 练习题 | 355 |
| 第14章 虚位移原理 | 373 |
| 概念题 | 375 |
| 练习题 | 379 |
| 第15章 动力学普遍方程和拉格朗日方程 | 388 |
| 概念题 | 388 |
| 练习题 | 390 |
| 第16章 非惯性系中的质点动力学 | 405 |
| 概念题 | 405 |

| | |
|-----------------------------------|-----|
| 练习题..... | 407 |
| 第17章 变质量动力学 | 415 |
| 概念题..... | 415 |
| 练习题..... | 416 |
| 第18章 碰撞 | 420 |
| 概念题..... | 420 |
| 练习题..... | 421 |
| 第19章 刚体绕定点运动、自由刚体运动、刚体运动的合成 | 432 |
| 概念题..... | 432 |
| 练习题..... | 433 |
| 参考文献..... | 444 |

静力学

基本要求

1. 能将简单的工程实际问题简化为力学计算模型;
2. 对一般的力学问题,能正确选取研究对象,画出受力图;
3. 掌握力和力偶的性质及作用效应,掌握力系简化的原理和过程;
4. 能正确运用平衡方程求解静力学问题。

重点

1. 物体的受力分析与受力图;
2. 力的投影与力矩的计算;
3. 平面力系物体系统平衡问题的求解。

难点

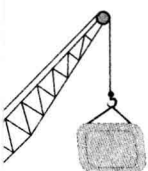
1. 物体的受力分析与受力图;
2. 摩擦角与自锁的概念,摩擦角在平衡问题中的应用;
3. 空间力系物体系统平衡问题的求解。

静力学平衡问题作题步骤

1. 选择研究对象;
2. 对研究对象进行受力分析,画出受力图;
3. 选择合适的形式,列出平衡方程;
4. 解方程,分析结果。

注意的问题

1. 力的矢量和代数量表示(何时用矢量,何时用代数量);
2. 一般不要将力进行分解,要表示物体的原始受力状况。



第 1 章 静力学公理与物体的受力分析

重 点

1. 刚体、平衡和力概念的理解;
2. 静力学公理及适用条件;
3. 常见约束与约束力的特性;
4. 物体的受力分析与受力图。

难 点

1. 物体系统的受力分析与受力图;
2. 二力构件(二力杆)概念的掌握,光滑铰链约束力的分析。

重点难点概念及作题方法指导

1. 力(指合力)的作用效应:运动效应和变形效应,运动效应又包括移动和转动。理论力学只研究运动效应。

2. 力用矢量表示:印刷中为黑体,如 \boldsymbol{F} ,书写时加箭头,如 \vec{F} 。

3. 作用在刚体上力的三要素:大小、方向、作用线。

4. 受力体与施力体:受力体即选取的研究对象;施力体即对研究对象施加力的物体,取出的任何力都必须有施力体,若找不到施力体,则该力不存在。

5. 二力构件:在两个力(或两个合力)作用下处于平衡的构件(与构件形状无关)。

6. 静力学基本公理的适用条件:“平行四边形法则”和“作用与反作用定律”适用于任何物体,其他公理及其推论只适用于刚体。

7. 作题方法(对理论力学所有章节):注意和物理相区别,不要用纯理性思维方法,要和工程实际相结合,严格作题步骤。

8. 分离体法画受力图:

(1) 选择研究对象;

(2) 解除与研究对象相连的所有约束,画出分离体;

(3) 在分离体上画出所有的主动力和约束力。

9. 画受力图应注意的问题:

(1) 研究对象可以是单个物体,也可以是几个物体组成的系统,但二力构件的受力图一般无需画出;

(2) 受力图必须画在分离体(研究对象)上,一般不能在原图上;

(3)未解除的约束,反力不能画;

(4)作用力与反作用力必须画成“等值、反向、共线”,力的符号要一致,如 F, F' 。

概念题

【1-1】说明下列式子的意义和区别。

(1) $P_1 = P_2$, (2) $P_1 = P_2$, (3)力 P_1 等效于力 P_2 。

答:(1)表示两力矢量相等(大小和方向), (2)表示两力数值相等(大小), (3)表示两力完全等效(大小、方向和作用点)。 【知识点:力的三要素】

【1-2】二力平衡条件与作用与反作用定律都是说二力“等值、反向、共线”,区别是什么?

答:二力平衡条件是同一刚体作用的两力,作用与反作用定律是互相接触的两物体上接触点的力,分别作用在两个不同的刚体上。

【1-3】试区别 $P_R = P_1 + P_2$ 和 $P_R = P_1 + P_2$ 代表的意义。

答: $P_R = P_1 + P_2$ 表示力矢量 P_1 和 P_2 相加(即平行四边形法则合成),合力为 P_R 。
 $P_R = P_1 + P_2$ 表示力 P_1 和 P_2 数值相加,效果和 P_R 不等效。 【知识点:平行四边形法则】

【1-4】凡两端铰接的构件都是二力杆吗? 凡不计自重的构件都是二力杆吗? 凡在二力作用下的构件都是二力杆吗?

答:只有不计自重的两端铰接的构件才是二力杆。只有不计自重的受两力(或两合力)作用且平衡的构件才是二力杆。 【知识点:二力构件】

【1-5】合力都比分力大吗?

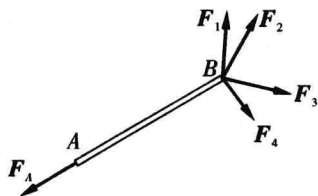
答:不一定。根据平行四边形法则,当两分力夹角大于 90° 时会出现合力小于分力的情况。 【知识点:平行四边形法则】

【1-6】(1)作用在刚体上的三个力互成平衡时,这三个力的作用线是否一定在同一平面内? (2)如果作用在刚体上的三个力汇交于一点,该刚体是否一定平衡?

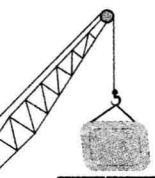
答:(1)一定在同一平面内。(2)不一定,三力平衡汇交定理只是必要条件,不是充分条件。 【知识点:三力平衡汇交定理】

【1-7】如概念题1-7图所示,AB杆自重不计,在5个力作用下处于平衡,则作用于B点的4个力的合力 F_B 大小方向如何?

答:根据二力平衡条件, F_B 与 F_A 等值、反向、共线。 【知识点:二力平衡条件】



概念题1-7图

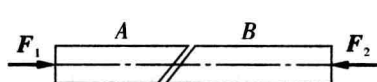


【1-8】刚体 A 、 B 自重不计,在光滑斜面上接触,受力如概念题 1-8 图所示, $F_1 = -F_2$,问 A 、 B 能否平衡?

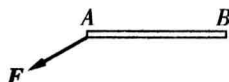
答:不能平衡。因 A 、 B 在光滑斜面上接触,反力与接触面垂直,则反力方向与 F_1 、 F_2 不共线,根据二力平衡条件, A 、 B 不能平衡。 【知识点:二力平衡条件】

【1-9】如概念题 1-9 图所示 AB 杆,能否在 B 点加一力使 AB 平衡?

答:不能。在 B 点不可能加一个与 F 共线的力。 【知识点:二力平衡条件】



概念题 1-8 图

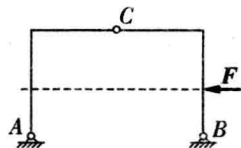


概念题 1-9 图

【1-10】如概念题 1-10 图所示三铰拱,不计刚架自重,将 BC 上的力 F 沿其作用线移到 AC 上,对 A 、 B 、 C 三处的约束力有无影响?

答:有影响。根据力的可传性,力可以在刚体内沿其作用线移动,但不能移到其他刚体上。而图中 AC 、 BC 是不同的刚体。

【知识点:力的可传性】



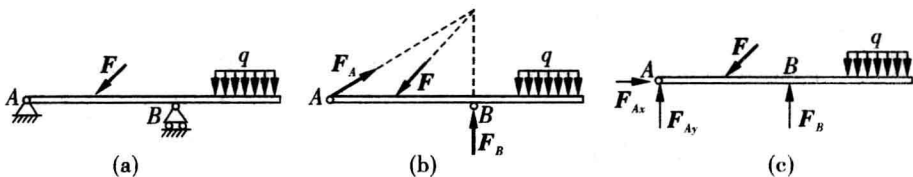
概念题 1-10 图

【1-11】作用于刚体上的平衡力系,如果作用到变形体上,变形体是否也一定平衡?

答:不一定。如弹簧、液体受力等。 【知识点:刚化原理】

【1-12】概念题 1-12 图中物体的受力图(b)是否正确?如何改正?

答:不正确。正确的受力图如图(c)所示。



概念题 1-12 图

【1-13】充分发挥你的想象、分析和抽象能力,将如下问题抽象化为力学模型,并画出它们的力学简图和受力图。

- (1)用两根绳将日光灯吊挂在天花板上;
- (2)水面上的一块浮冰;
- (3)一本打开的书静止于桌面上;
- (4)一个人坐在一个足球上。

答:(1)日光灯可以简化为刚性杆,受到铅垂向下的重力和两根绳索拉力(沿绳索轴线方向),绳索拉力的合力与重力等值、反向、共线。(图略)

(2)浮冰视为刚体,受到铅垂向下的重力和水的分布作用的压力和浮力。(图略)

(3)书受到铅垂向下的重力(打开的书两侧重力大小不同,应分别画出)和桌面向

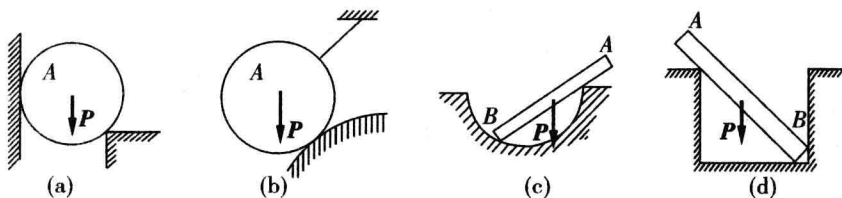
上的分布约束力。(图略)

(4) 足球为变形体,重力可忽略不计,受到人施加的向下的压力和地面向上的反力(均为分布力);人受到的力有重力、地面作用于两脚的向上的反力和足球对臀部的向上的反力。(图略)

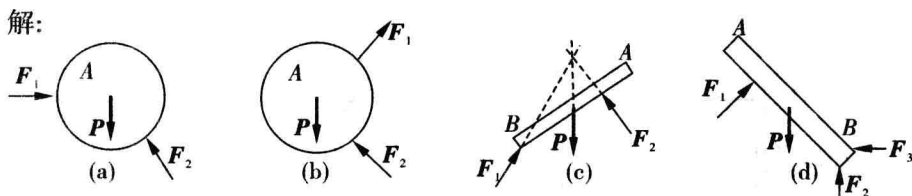
练习题

【1-1】画出题1-1图中物体的受力图。所有接触面均不计摩擦。

【知识点:光滑接触面约束的约束力方向沿接触面或接触点的公法线方向指向被约束体。柔性体或柔索约束的约束力方向沿柔索方向背离被约束体。方向不能假设】

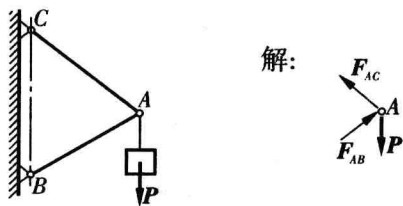


题1-1图



【1-2】画题1-2图的受力图。杆重力不计,铰链不计摩擦。

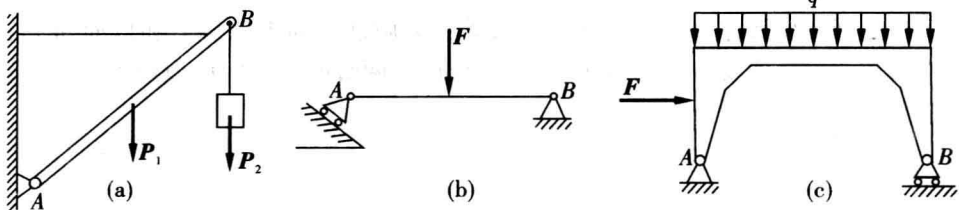
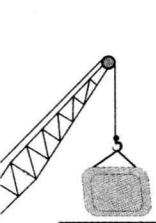
【知识点:铰链连接的是二力杆时,必须按二力杆画,而二力杆一般无需画受力图,因此只需画铰链A的受力图】



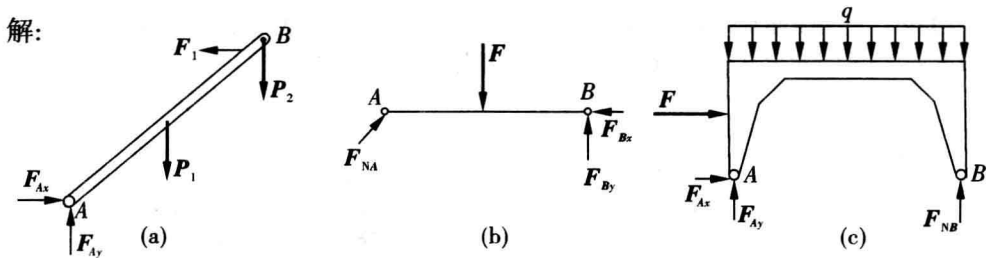
题1-2图

【1-3】画出题1-3图中各物体的受力图。未标注重力的物体的重量均不计,所有铰链均不计摩擦。

【知识点:固定铰链支座的约束力画成互相垂直的两个分力,方向可任意假设】

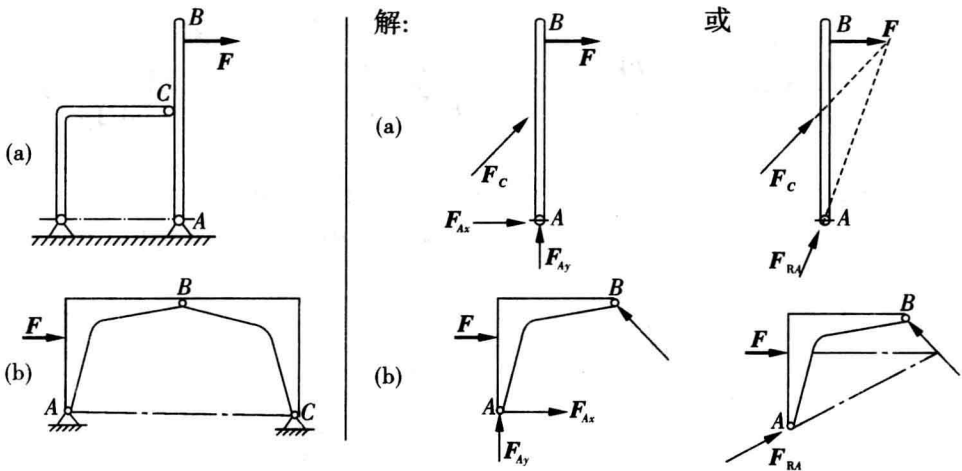


题 1-3 图

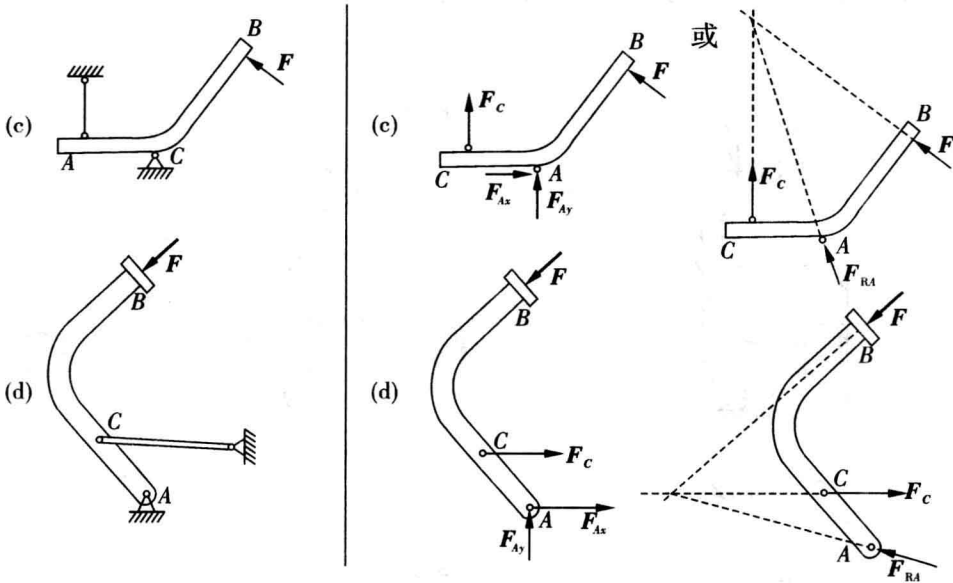


【1-4】画出题 1-4 图中各指定物体的受力图。未画重力的物体的重量均不计,所有铰链均不计摩擦。

【知识点:图中的 AB 杆, A 点的约束力可以画出互相垂直的两个力,也可以按照三力平衡汇交定理画出合力形式】



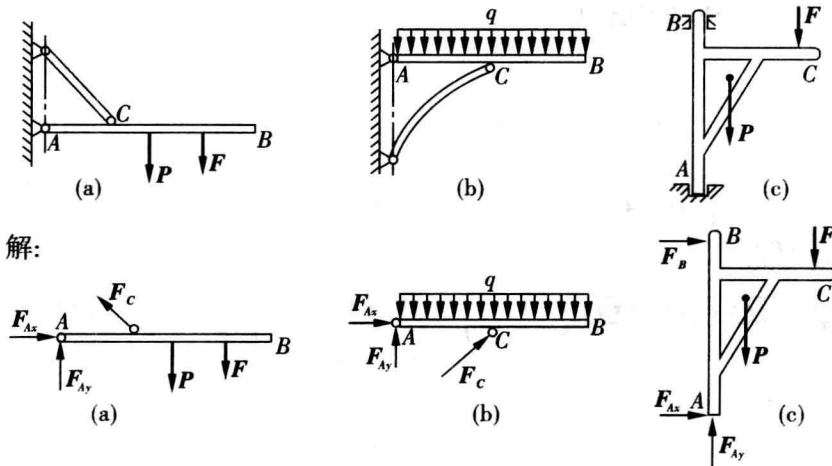
题 1-4 图



题 1-4 图

【1-5】画出题 1-5 图中各指定物体的受力图。未画重力的物体的重量均不计,所有接触面及铰链均不计摩擦。

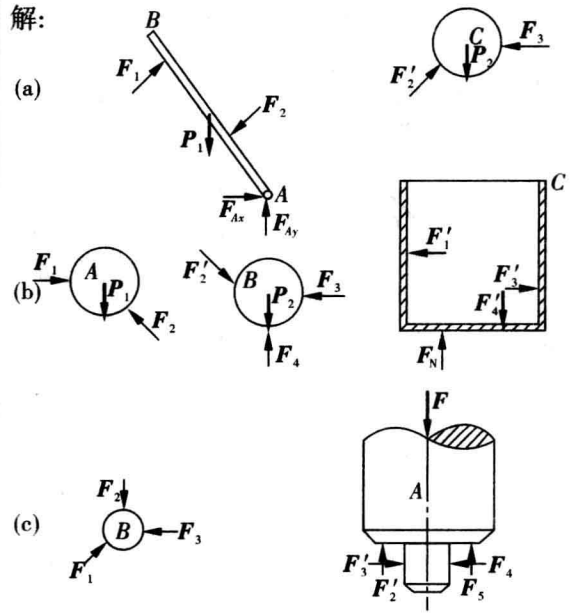
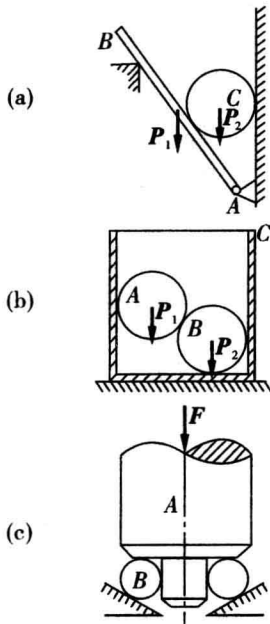
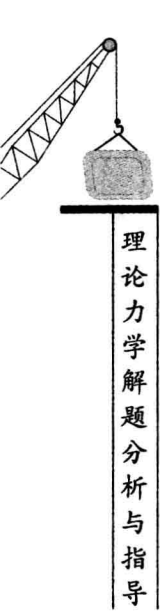
【知识点:分布荷载不能简化为合力。图(c)的A点为止推轴承,B为向心轴承,均为空间约束,A的反力为互相垂直的三个力,B的反力为互相垂直的两个力,但在平面力系中,垂直于纸面的力可不画】



题 1-5 图

【1-6】画出题 1-6 图中各指定物体的受力图。未画重力的物体的重量均不计,所有接触面及铰链均不计摩擦。

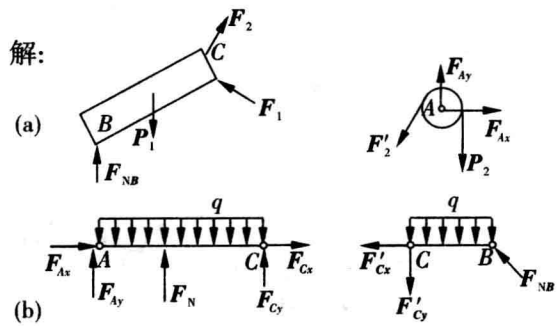
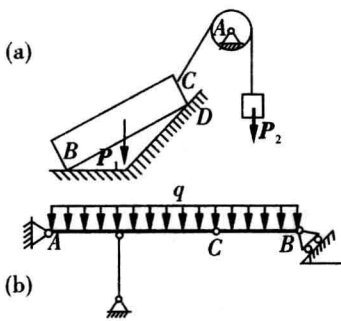
知识点:作用与反作用力必须画成等值、反向、共线,而且符号要一致。



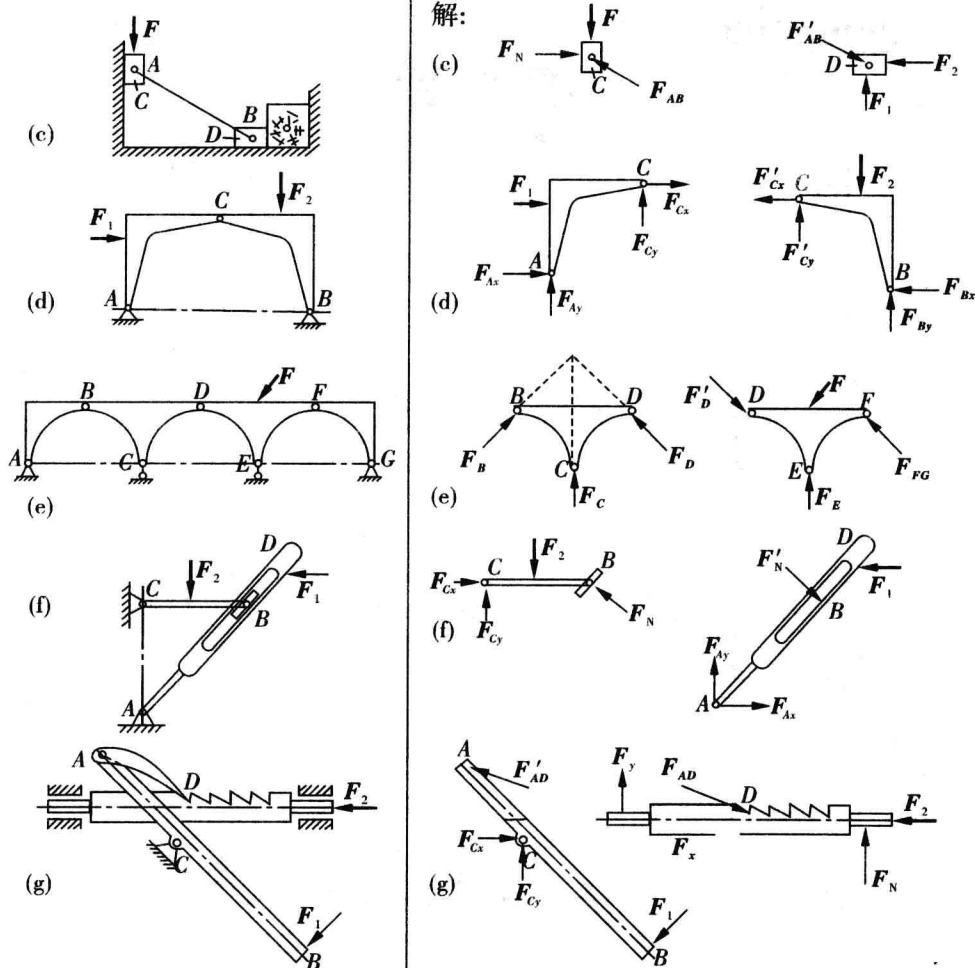
题 1-6 图

【1-7】画出题 1-7 图中各指定物体的受力图。未标注重力的物体的重量均不计,所有接触面及铰链均不计摩擦。

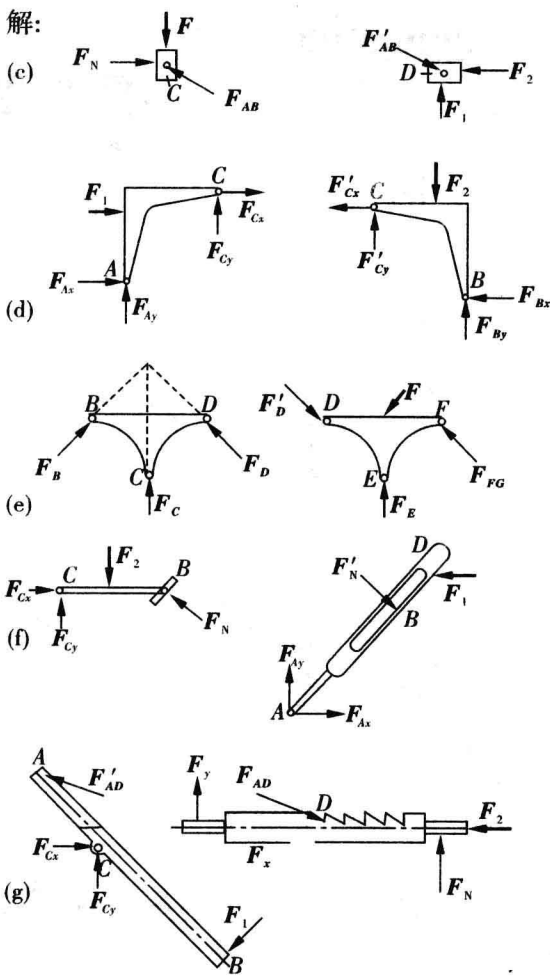
【说明:图(f)中 B 点的滑块和销钉均为二力构件,分离体上是否包含滑块和销钉,受力图都一样。图(g)中的二力杆 AD 只能受压】



题 1-7 图



解:



题 1-7 图

【1-8】画出题 1-8 图中各指定物体的受力图。未画重力的物体的重量均不计,所有接触面及铰链均不计摩擦。

【知识点】(1)对铰链约束,当销钉只连接两个构件且铰链上不受力时,销钉相当于二力构件,只起到传递力的作用,研究对象上是否包含销钉,受力图是一样的,如前面的题目和本题(a)、(b)、(c)图。当销钉连接三个以上构件或连接两个构件但销钉上受力时,此时销钉不是二力构件,研究对象上是否包含销钉,受力图不一样,如本题(d)图。包含销钉时,为另外的构件对销钉的约束力,不包含销钉时,为销钉对研究对象上销钉孔的约束力。

(2)对于滑块或销钉在滑槽内滑动(例如活塞在汽缸内滑动)这类结构,按光滑接触面约束分析,具体滑块或销钉与滑槽在哪一侧接触,不易判断,因此约束力方向垂直于接触面,指向可以假设,如本题(c)图及 1-7 题(f)图。一定要注意,一般光滑接触面的约束力方向和指向都是不能假设的】