

丛书主编 马德高

理论力学 辅导及习题精解

(哈工大 第7版)

本册主编 高 红 赵启龙 侯倩倩
副主编 周海涛 苏建杰 褚 鹏

延边大学出版社

前 言

《理论力学》是高等学校工科机械、土建、水利等专业最重要的一门专业课之一,也是报考专业硕士研究生的专业考试科目。哈尔滨工业大学理论力学教研室主编的《理论力学》是一套深受读者欢迎并多次获奖的优秀教材,被全国许多院校采用,也是许多学校硕士研究生入学考试的指定教材。哈尔滨工业大学理论力学教研室主编的《理论力学》(第七版)保持了其一贯的体系完整、结构严谨、层次清晰、深入浅出的特点,并根据近代学科发展的潮流,做了相应的调整,进一步强调提高学生的综合素质并激发学生的创新能力。为帮助、指导广大读者学好这门课程,我们编写了这本与哈尔滨工业大学理论力学教研室主编的《理论力学》(第七版)完全配套的《理论力学辅导及习题精解》,以帮助加深对基本概念的理解,加强对基本解题方法与技巧的掌握,进而提高学习能力和应试水平。

本书共分两部分,其中理论力学(I)包含十四章,理论力学(II)包含六章。章节的划分与教材一致。每章包括五大部分内容:

一、知识结构及内容小结:先用网络结构图的形式揭示出本章知识点之间的有机联系,以便于学生从总体上系统地掌握本章知识体系和核心内容;然后简要对每节涉及的基本概念和基本公式进行了系统的梳理,并指出理解与应用基本概念、公式时需注意的问题以及各类考试中经常考查的重要知识点。

二、经典例题解析:精选部分反映各章基本知识点和基本方法的典型例题——其中部分例题选自名校考研真题,给出了详细解答,以提高读者的综合解题能力。

三、历年考研真题评析:精选全国众多知名高校的研究生入学考试真题,做了精心深入的解答。

四、教材习题全解:对教材里该章节全部习题作详细解答,与市面上习

题答案不全的某些参考书有很大的不同。在解题过程中,对部分有代表性的习题,设置了“思路探索”以引导读者尽快找到解决问题的思路和方法;安排有“方法点击”来帮助读者归纳解决问题的关键、技巧与规律。有的习题还给出了一题多解,以培养读者的分析能力和发散思维能力。

五、同步自测题及参考答案:精选有代表性、测试价值高的题目(有些题目选自历年考研真题),以检测学习效果,提高应试水平。

全书内容编写系统、新颖、清晰、独到,充分体现了如下三大特色。

一、知识梳理清晰、简洁:直观、形象的条目总结,精炼、准确的考点提炼,权威、独到的方法归纳,将教材内容抽丝剥茧、层层展开,呈现给读者简明扼要、层次分明的知识结构,便于读者快速复习、高效掌握,形成稳固、扎实的知识网,为提高解题能力和思维水平夯实基础。

二、能力提升迅速、持续:所有重点、难点、考点,统统归纳为一个个在考试中可能出现的基本题型,然后针对每一个基本题型,举出丰富的精选例题、考研例题,举一反三、深入讲解,真正将知识掌握和解题能力提升高效结合、一举完成。

三、联系考研密切、实用:本书既是一本教材同步辅导,也是一本考研复习用书,书中处处联系考研:例题中有考研试题,同步自测中也有考研试题,更不用说讲解中处处渗透考研经常考到的考点、重点等,为的就是让同学们同步完成考研备考,达到考研要求的水平。

本书注意博采众家之长,参考了多本同类书籍,吸取了不少养分。在此向这些书籍的编著者表示感谢。由于我们水平有限,书中疏漏与不妥之处,在所难免,敬请广大读者提出宝贵意见,以便再版时更正、改进。

编者

目 录

理论力学(I)

第 1 章 静力学公理和物体的受力分析	(1)
本章知识结构及内容小结	(1)
经典例题解析	(3)
历年考研真题评析	(6)
本章教材思考题与习题全解	(6)
同步自测题及参考答案	(20)
第 2 章 平面力系	(22)
本章知识结构及内容小结	(22)
经典例题解析	(25)
历年考研真题评析	(28)
本章教材思考题与习题全解	(29)
同步自测题及参考答案	(79)
第 3 章 空间力系	(82)
本章知识结构及内容小结	(82)
经典例题解析	(86)
历年考研真题评析	(89)
本章教材思考题与习题全解	(91)
同步自测题及参考答案	(108)
第 4 章 摩 擦	(111)
本章知识结构及内容小结	(111)
经典例题解析	(113)
历年考研真题评析	(115)
本章教材思考题与习题全解	(117)
同步自测题及参考答案	(143)
第 5 章 点的运动学	(146)
本章知识结构及内容小结	(146)
经典例题解析	(149)
历年考研真题评析	(151)
本章教材思考题与习题全解	(152)

同步自测题及参考答案	(164)
第 6 章 刚体的简单运动	(167)
本章知识结构及内容小结	(167)
经典例题解析	(169)
历年考研真题评析	(170)
本章教材思考题与习题全解	(171)
同步自测题及参考答案	(180)
第 7 章 点的合成运动	(183)
本章知识结构及内容小结	(183)
经典例题解析	(185)
历年考研真题评析	(188)
本章教材思考题与习题全解	(190)
同步自测题及参考答案	(217)
第 8 章 刚体的平面运动	(219)
本章知识结构及内容小结	(219)
经典例题解析	(221)
历年考研真题评析	(224)
本章教材思考题与习题全解	(225)
同步自测题及参考答案	(261)
第 9 章 质点动力学的基本方程	(265)
本章知识结构及内容小结	(265)
经典例题解析	(266)
历年考研真题评析	(268)
本章教材思考题与习题全解	(271)
同步自测题及参考答案	(284)
第 10 章 动量定理	(286)
本章知识结构及内容小结	(286)
经典例题解析	(288)
历年考研真题评析	(291)
本章教材思考题与习题全解	(293)
同步自测题及参考答案	(303)
第 11 章 动量矩定理	(305)
本章知识结构及内容小结	(305)
经典例题解析	(307)
历年考研真题评析	(309)

本章教材思考题与习题全解	(312)
同步自测题及参考答案	(334)
第 12 章 动能定理	(339)
本章知识结构及内容小结	(339)
经典例题解析	(343)
历年考研真题评析	(345)
本章教材思考题与习题全解	(347)
教材综合问题习题全解	(361)
同步自测题及参考答案	(382)
第 13 章 达朗贝尔原理	(386)
本章知识结构及内容小结	(386)
经典例题解析	(388)
历年考研真题评析	(391)
本章教材思考题与习题全解	(393)
同步自测题及参考答案	(409)
第 14 章 虚位移原理	(412)
本章知识结构及内容小结	(412)
经典例题解析	(414)
历年考研真题评析	(419)
本章教材思考题与习题全解	(421)
同步自测题及参考答案	(435)
理论力学(II)	
第 1 章 分析力学基础	(439)
本章知识结构及内容小结	(439)
经典例题解析	(441)
历年考研真题评析	(444)
本章教材思考题与习题全解	(445)
同步自测题及参考答案	(462)
第 2 章 非惯性系中的质点动力学	(465)
本章知识结构及内容小结	(465)
经典例题解析	(466)
本章教材思考题与习题全解	(466)
同步自测题及参考答案	(475)

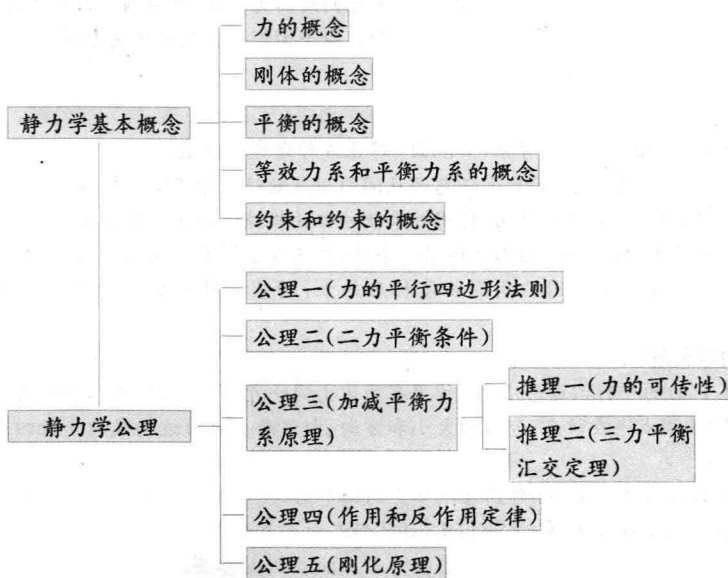
第3章 碰撞	(477)
本章知识结构及内容小结	(477)
经典例题解析	(481)
历年考研真题评析	(483)
本章教材思考题与习题全解	(485)
同步自测题及参考答案	(497)
第4章 机械振动基础	(499)
本章知识结构及内容小结	(499)
经典例题解析	(502)
历年考研真题评析	(507)
本章教材思考题与习题全解	(508)
同步自测题及参考答案	(537)
第5章 刚体定点运动、自由刚体运动、刚体运动的合成·陀螺仪近似理论	(539)
本章知识结构及内容小结	(539)
经典例题解析	(541)
本章教材思考题与习题全解	(542)
同步自测题及参考答案	(555)
第6章 变质量动力学	(558)
本章知识结构及内容小结	(558)
经典例题解析	(559)
本章教材思考题与习题全解	(560)
同步自测题及参考答案	(567)
期末测试题及参考答案(两套)	(570)

理论力学(I)

第 1 章 静力学公理和物体的受力分析

本章知识结构及内容小结

【本章知识结构】





【本章内容小结】

1. 掌握平衡、刚体、力的概念以及约束和约束力,力的三要素,静力学公理。

平衡:物体相对惯性参考系(如地面)静止或作匀速直线运动。

刚体:在力的作用下,其内部任意两点间的距离始终保持不变的物体。

力:物体间相互的机械作用,作用效果使物体的机械运动状态发生改变。

约束和约束力:限制非自由体运动的条件,称为加于该非自由体的约束。对非自由体的某些位移起限制作用的周围物体称为约束;约束对非自由体的作用力称为约束力。

静力学公理:

公理 1(力的平行四边形法则) 作用在物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,由这两个力为边构成的平行四边形的对角线确定。

公理 2(二力平衡条件) 作用在刚体上的两个力,使刚体保持平衡的必要和充分条件是:这两个力的大小相等,方向相反,且作用在同一直线上。

公理 3(加减平衡力系原理) 在已知力系上加上或减去任意的平衡力系,并不改变原力系对刚体的作用。

推理 1(力的可传性) 作用于刚体上某点的力,可以沿着它的作用线移到刚体内任意一点,并不改变该力对刚体的作用。

推理 2(三力平衡汇交定理) 作用于刚体上三个相互平衡的力,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通过汇交点。

公理4(作用和反作用定律)作用力和反作用力总是同时存在,同时消失,等值、反向、共线,作用在相互作用的两个物体上。

公理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。

注:公理1和公理2仅适用于刚体,而公理3和公理4对任何物体都适用。

2. 掌握常见几种基本约束类型及其约束力。

① 具有光滑接触面(线、点)的约束(光滑接触约束)。约束力作用在接触点处,方向沿接触表面的公法线,并指向被约束的物体。

② 由柔软的绳索、胶带或链条等构成的约束。柔索对物体的约束力沿着柔索背向被约束物体。

③ 光滑铰链约束(径向轴承、圆柱铰链、固定铰链支座等)。约束力的作用线必在垂直于圆柱轴线的平面内并通过圆心,而它的方向则不能预先独立确定,可用通过圆心而大小未知的二个正交分力表示。

④ 滚动(铰链)支座。约束力与支承面垂直,其作用线通过铰链的轴心,这类支座亦可不用铰链而用单个滚子表示。

⑤ 球铰链。约束力的作用线总是通过铰链球心,其方向不能预先独立知道,可用通过球心而大小未知的三个正交分力表示。

⑥ 止推轴承。比径向轴承多一个轴向的约束力,亦有三个正交分力。

3. 掌握分析物体的受力情况,画出物体的力学简图,掌握如何画出受力图。

画受力图步骤:(1)取所要研究物体为研究对象(分离体),画出其简图

(2)画出所有主动力

(3)按约束性质画出所有约束(被动)力

经典例题解析

例1 如图1-1(a)所示,匀质圆球 D 重力为 G ,由杆 AB ,绳索 BF 和墙壁支持, A 处是固定铰链支座,如果不计摩擦和其余构件的重量,试分别画出球 D 和杆 AB 的受力图。

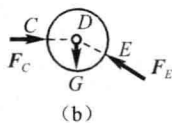
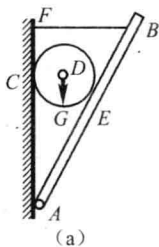




图 1-1

【思路探索】 此题主要考查对受力物体约束力的画法及三力平衡汇交定理和作用反作用定律的应用。

解:如图 1-1(b) 所示,球 D 除受主动力 G 的作用外,分别在 C, E 两处受到光滑支面对球 D 的约束力 F_C, F_E 的作用,应用三力平衡汇交定理可知这三个力作用线通过球心 D ,如图 1-1(b) 所示。杆 AB 在 A, E, B 三处受力作用,杆在 E 处受到球给它的作用力 F'_E ,而 F'_E 与 F_E 互为作用力和反作用力,则有 $F_E = F'_E$,绳索 FB 只能受到拉力,同理可得,杆在 B 处受到绳索的拉力 F 。固定铰链支座 A 对杆的约束力,可由两个正交分力 F_{Ax} 和 F_{Ay} 表示,如图 1-1(c) 所示。由于力 F 和 F'_E 作用线交于点 O ,如图 1-1(d) 所示,根据三力平衡汇交定理可知,支座 A 对杆的约束力必定沿通过 A, O 两点的连线。

例 2 平面刚架 ABC 的 A 端为光滑固定铰链支座, C 端为活动铰链支座,在 D 处作用水平力 F ,如图 1-2(a) 所示。如不计刚架重量,试画出该刚架的受力图。

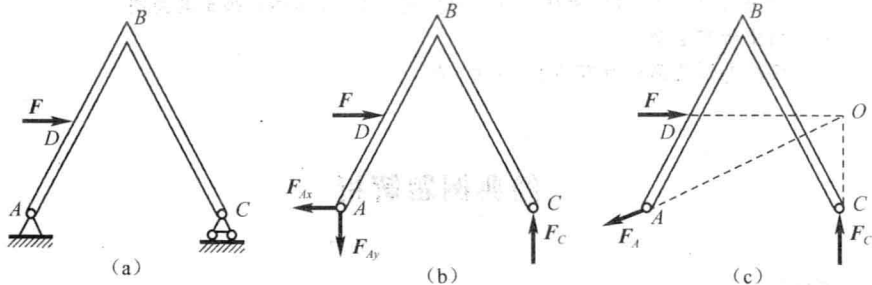


图 1-2

【思路探索】 对常见约束类型的性质的考查以及三力平衡汇交定理的熟练应用。

解:本题是单个物体的平衡问题,首先取刚架 ABC 作为研究对象,把刚架从支座中分离出来,如图 1-2(b) 所示。刚架在 D 处受到主动力 F 的作用,在 A 处受到固定铰链支座的约束,约束力通过铰销中心 A ,它的大小和方向都不能预先独立的确定,一般可以用 2 个正交分力 F_{Ax} 和 F_{Ay} 表示,在 C 处受到活动铰链支座约束,它的约束力通过铰销中心 C 并于支承面垂直,沿着铅直向上的方向。由题意可知,刚架的自重不计,刚架只受到 3 个彼此不平行的力 F, F_A 和 F_C 的作用而处于平衡状态。根据三力平衡汇交定理可知,这 3 个力的作用线应汇交于一点,而力 F 和 F_C 的作用线交于 O 点,故力 F_A 的作用线应也通过 O 点,如图 1-2(c) 所示。

例3 铰链支架由两杆 AB , CD 和一个定滑轮、绳索等组成,如图 1-3(a) 所示。其中 D 处是铰链连接, A 和 C 都是固定铰链支座,在定滑轮上吊有重力为 G 的物体 H 。如果不计其余物体的重量,试分别画出定滑轮、杆 CD 、杆 AB 和整个支架的受力图。

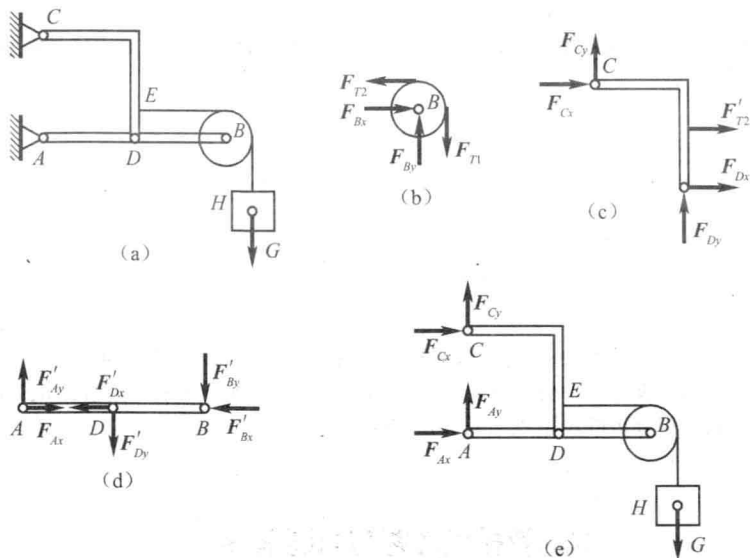


图 1-3

【思路探索】 此题看上去很复杂,感觉无从下手,但是仔细分析便会发现此组合是由杆 AB 和 CD 组成的三铰构件是其主体结构,另外还附有定滑轮和绳索等物体共同组成。此题主要考查铰链的性质及其所受约束力的情况,另外考查对内力和外力概念的区分,充分利用静力学公理便可迎刃而解。

解: 首先将滑轮和绳索从结构中分离出来,定滑轮除受绳索的拉力 F_{T1} 和 F_{T2} 外,还受到铰 B 对定滑轮的约束力 F_{Bx} 和 F_{By} ,如图 1-3(b) 所示。由于不计绳索的重量,拉力 F_{T1} 和 F_{T2} 大小相等,即 $F_{T1} = F_{T2} = G$ 。杆 CD 除受绳索的拉力 F'_{T2} 外,在 C 和 D 端还受到铰链约束,可分别用两个正交力 F_{Cx} , F_{Cy} 和 F_{Dx} , F_{Dy} 表示,其假设方向可任意,如图 1-3(c) 所示,作用力于反作用力可知, $F_{T2} = -F'_{T2}$ 。杆 AB 在 A 、 D 、 B 三处受到铰链约束,其约束力可由 2 个正交力 F_{Ax} , F_{Ay} 、 F'_{Dx} , F'_{Dy} 和 F_{Ay} 、 F'_{Bx} , F'_{By} 表示,如图 1-3(d) 所示, F_{Ax} , F_{Ay} 方向可以任意假设,但 F'_{Dx} , F'_{Dy} 和 F_{Ay} 、 F'_{Bx} , F'_{By} 方向不可任意假设,必须遵循作用力和反作用力的关系,即 $F'_{Dx} = -F_{Dx}$, $F'_{Dy} = -F_{Dy}$, 和 $F'_{Bx} = -F_{Bx}$, $F'_{By} = -F_{By}$ 。最后取整个支架作为研究对象,如图 1-3(e) 所示,只需画出作用在整个支架的外力,即主动力 G ,以及支座 A 和 C 的约束力 F_{Ax} 和 F_{Ay} , F_{Cx} 和 F_{Cy} 。不画整个支架内各物体间相互作用的内力,例如铰 B ,铰 D 以及绳索间相互作用的内力。

历年考研真题评析

1. (南京航空航天大学 2006 年硕士研究生入学考试试题) 如图 1-4 所示桁架中, 零力杆的标号为_____.

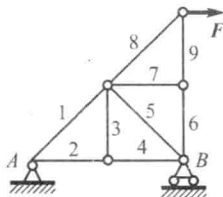


图 1-4

解:零力杆是指内力为零的杆件,对桁架整体受力分析, B 点是滑动支座约束,约束力垂直向上,根据三力平衡汇交定理可知, A 点约束力方向沿着杆1通过杆8、9的节点,根据平衡定理分析可知杆2、3、4、5、7为零杆。

本章教材思考题与习题全解

思考题全解

1-1 说明下列式子与文字的意义和区别:

(1) $F_1 = F_2$; (2) $F_1 = F_2$; (3) 力 F_1 等效于力 F_2 。

解:(1) 力 F_1 和 F_2 , 大小相等, 方向相同

(2) 力 F_1 和力 F_2 大小相等

(3) 力 F_1 和 F_2 的大小相等, 方向和作用线相同

1-2 试区别 $F_R = F_1 + F_2$ 和 $F_R = F_1 + F_2$ 两个等式代表的意义。

解: $F_R = F_1 + F_2$ 表示矢量和, 是表示 F_R 是任意方向上两个力 F_1 和 F_2 的合力, 而合力 F_R 的大小和方向由平行四边形法则确定; $F_R = F_1 + F_2$ 表示代数和, 是表示 F_R 是同方向上两个力 F_1 和 F_2 的合力, 合力 F_R 的大小为 F_1 和 F_2 的大小的和, 方向与 F_1 和 F_2 的相同的合力。

1-3 图 1-5 ~ 图 1-8 中各物体的受力图是否有错误? 如何改正?

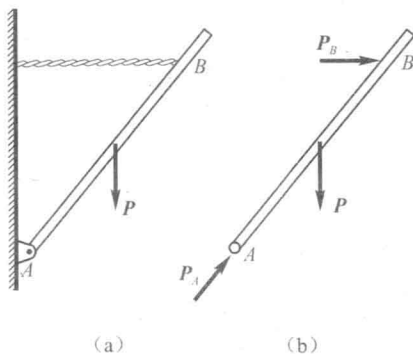


图 1-5

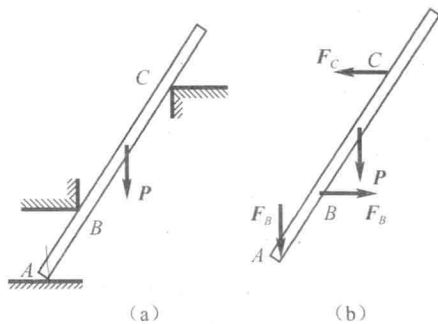


图 1-6

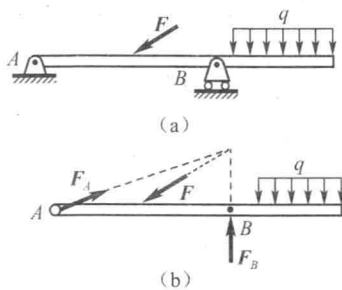


图 1-7

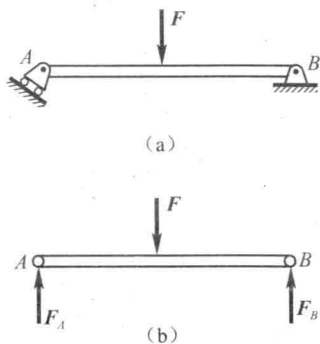


图 1-8

解：全部有错，正确答案如图 1-9 所示：

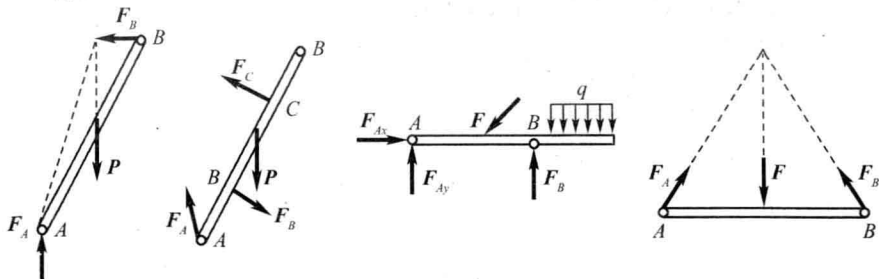


图 1-9

1-4 刚体上A点受力 F 作用,如图1-10,所示,问能否在B点加一个力使刚体平衡?为什么?

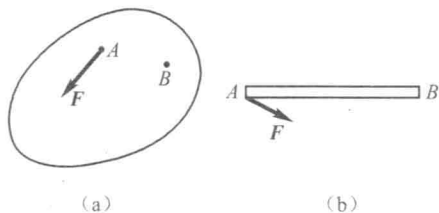


图 1-10

解:不能,不管在 B 点施加任何力都不能保证 $\begin{cases} \sum P = 0 \\ \sum M = 0 \end{cases}$, 故不能平衡。

1-5 如图 1-11 所示结构,若力 F 作用在 B 点,系统能否平衡?若力 F 仍作用在 B 点,但可任意改变力 F 的方向, F 在什么方向上结构能平衡?

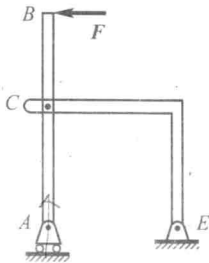


图 1-11

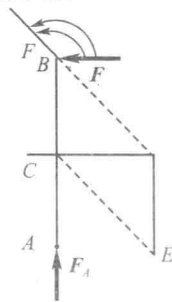


图 1-12

解:不能平衡 在如图 1-12 所示范围内可平衡,杆 EC 为二力杆

1-6 将如下问题抽象为力学模型,充分发挥你们的想象、分析和抽象能力,试画出它们的力学简图及受力图。

- (1) 用两根细绳将日光灯吊挂在天花板上;
- (2) 水面上的一块浮冰;
- (3) 一本打开的书静置于桌面上;
- (4) 一个人坐在一只足球上。

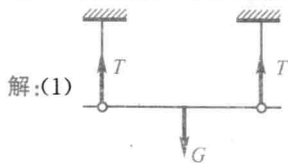


图 1-13

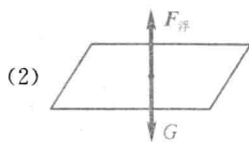


图 1-14

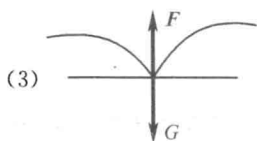


图 1-15

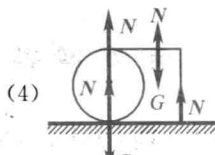


图 1-16

1-7 图 1-17 中力 F 作用于三铰拱的铰链 C 处的销钉上, 所有物体重量不计。

- (1) 试分别画出左、右两拱及销钉 C 的受力图;
- (2) 若销钉 C 属于 AC , 分别画出左、右两拱的受力图;
- (3) 若销钉 C 属于 BC , 分别画出左、右两拱的受力图。

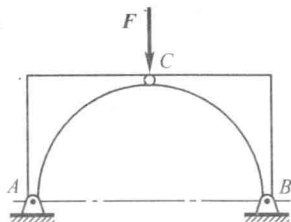


图 1-17

解:(1)

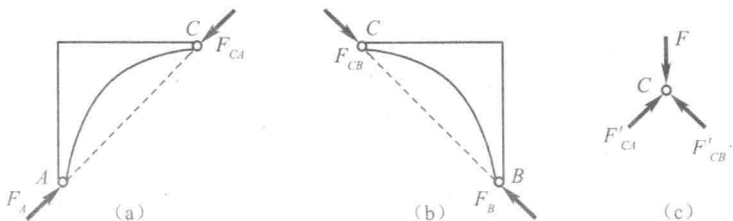


图 1-18

(2)

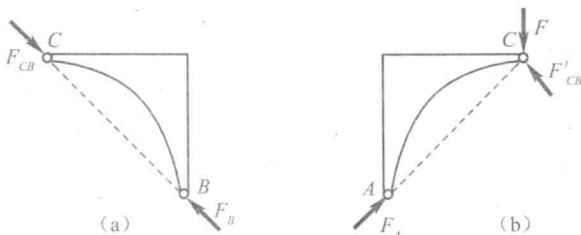


图 1-19

(3)

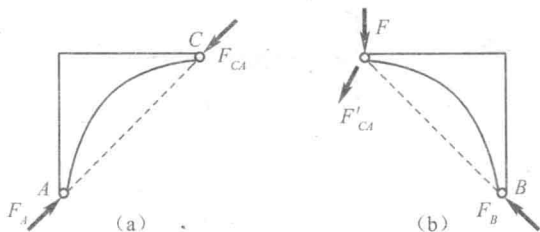
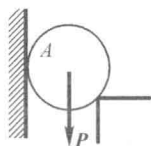


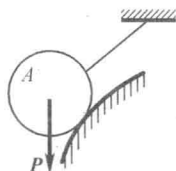
图 1-20

习题解答

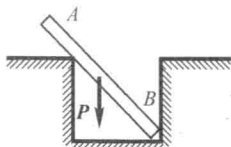
1-1 画出下列各图中物体A, ABC 或构件AB, AC 的受力图。未画重力的各物体的自重不计,所有接触处均为光滑接触。



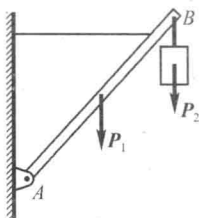
(a)



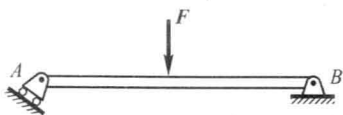
(b)



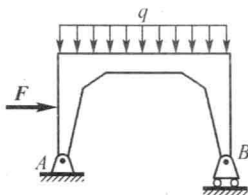
(c)



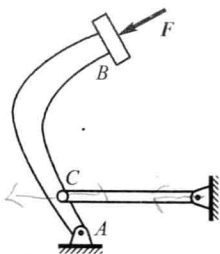
(d)



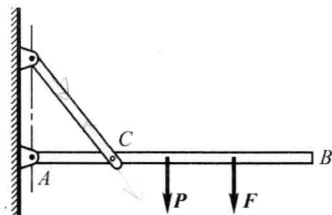
(e)



(f)



(g)



(h)