



LILUN LIXUE
XUEXI ZHIDAO

“工业与民用建筑工程专业”专科（含高职、自考、成人、函授等）系列自学辅导教材

《理论力学》学习指导

童桦 主编



WUTP

武汉工业大学出版社

“工业与民用建筑工程专业”专科(含高职、
自考、成人、函授等)系列自学辅导教材

《理论力学》学习指导

童 桦 主 编
程露敏 副主编

武汉工业大学出版社
· 武 汉 ·

图书在版编目(CIP)数据

《理论力学》学习指导/童桦主编. —武汉:武汉工业大学出版社,2000.7
ISBN 7-5629-1570-9

I. 理…

I. 童…

Ⅱ. 理论力学-高等学校-辅导教材

N. TU117

武汉工业大学出版社出版发行
(武汉市洪山区珞狮路122号 邮编:430070)
各地新华书店经销
武汉工业大学出版社印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:10.625 字数:272千字
2000年7月第1版 2000年7月第1次印刷
印数:1~3000册 定价:13.00元
(本书如有印装质量问题,请向承印厂调换)

**“工业与民用建筑工程专业”专科(含高职、
自考、成人、函授等)系列自学辅导教材
编 委 会 名 单**

主 任:赵明华 孙成林

副 主 任:关 罡 邓铁军 姜卫杰

编 委:(以姓氏笔划为序)

邓铁军 孙成林 田道全 关 罡 刘永健 李大望

刘永坚 苏 炜 汪梦甫 赵明华 姜卫杰 崔艳秋

童 桦 廖 莎 樊友景 蔡德明

秘 书 长:蔡德明

总责任编辑:田道全 刘永坚

前 言

本书是为满足“工业与民用建筑工程专业”专科(包含高职、自考、成人、函授等)学生学习理论力学课程和参加各类考试的需要而编写的。书中覆盖了专科理论力学课程的全部内容。每章都包含有基本要求、重点和难点分析、典型示例分析、单元测试四部分。

在基本要求部分,按照教学大纲和考试大纲的要求指出了每一章应了解、熟悉并掌握的概念、定理及主要内容。

在重点难点分析部分,对每一章的主要概念、定理、难以理解与掌握之处、运用中值得注意的问题都作了较精辟的概括性论述与强调说明,有助于读者把握重点与难点。

典型示例中的例题选自高等专科理论力学教材及往届的各类考试试题,有较广泛的代表性。对于考生深入领会与理解基本理论与概念,掌握解题方法和技巧,培养解题能力及应试能力等都有较大帮助。

单元测试题多为精选的典型题目。题型多样,既有理论概念题,又有综合计算题。一方面供读者复习巩固各章知识,熟练解题方法;另一方面也供读者强化训练,提高应试能力。

书后附有3套综合训练试卷及各单元测试答案,供学生学习中自我检测使用,以帮助学生巩固本门课程所学知识,提高应试能力。

参加本书编写的有童桦(第1、2、3、4、5、6、7、8、9、10章及附录);程露敏(第11、12、13、14、15、16章及附录)。全书由童桦统稿并担任主编,程露敏担任副主编。

本书在编写过程中,得到了编委会主任赵明华教授、湖南大学理论力学教研室李丽娟老师、土木工程学院李允南老师的关心与支持;武汉工业大学出版社的老师提出了许多建设性意见,付出了艰苦细致的劳动,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,加之编写时间仓促,书中不足之处,敬请读者批评指正。

1999年10月

目 录

第一篇 静力学

第一章 静力学的基本概念和公理	(1)
一、基本要求	(1)
二、重点、难点分析	(2)
1. 力、刚体、平衡、约束的概念	(2)
2. 理解五个公理两个推论	(2)
3. 对研究对象进行受力分析并画出受力图	(3)
三、典型示例分析	(3)
四、单元测试	(6)
第二章 平面汇交力系	(8)
一、基本要求	(8)
二、重点、难点分析	(8)
1. 力的分解与力的投影	(8)
2. 平面汇交力系的合成	(8)
3. 平面汇交力系的平衡	(9)
4. 用解析法求解平面汇交力系的平衡问题	(9)
三、典型示例分析	(9)
四、单元测试	(12)
第三章 平面力矩 平面力偶理论	(14)
一、基本要求	(14)
二、重要、难点分析	(14)
1. 力矩与力偶矩的概念	(14)
2. 力矩的计算	(14)
3. 力偶的性质	(14)
4. 平面力偶系平衡方程的应用	(15)
三、典型示例分析	(15)
四、单元测试	(18)
第四章 平面任意力系	(20)
一、基本要求	(20)
二、重点、难点分析	(20)
1. 主矢和主矩概念的理解	(20)
2. 主矢、主矩以及力系合成的最后结果计算	(20)
3. 应用三种形式的平衡方程求解单个物体的平衡问题	(21)

4. 求解物体系统的平衡问题	(22)
三、典型示例分析	(22)
四、单元测试	(28)
第五章 摩擦	(31)
一、基本要求	(31)
二、重点、难点分析	(31)
1. 滑动摩擦力的概念和滑动摩擦力的特征	(31)
2. 摩擦角与自锁现象	(31)
3. 具有摩擦的平衡问题	(32)
三、典型示例分析	(33)
四、单元测试	(37)
第六章 空间力系	(40)
一、基本要求	(40)
二、重点、难点分析	(40)
1. 空间力在坐标轴上的投影计算	(40)
2. 空间力对轴之矩的计算及符号表示	(41)
3. 确定物体的重心	(41)
三、典型示例分析	(42)
四、单元测试	(44)

第二篇 运动学

第七章 点的运动学	(46)
一、基本要求	(46)
二、重点、难点分析	(46)
1. 研究点的运动方法	(46)
2. 运动学中的几个重要概念	(47)
3. 运动学的两类问题	(47)
4. 运动方程的建立	(47)
三、典型示例分析	(47)
四、单元测试	(50)
第八章 刚体的基本运动	(52)
一、基本要求	(52)
二、重点、难点分析	(52)
1. 理解平动刚体和定轴转动刚体的定义,识别机构中作平动的刚体和定轴转动的刚体	(52)
2. 刚体的运动形式不同,分析刚体上各点的运动方法也不同	(52)
3. 在刚体定轴转动中,描写刚体整体运动的量和描写刚体内任一点的运动的量之间的区别和联系	(52)

三、典型示例分析·····	(53)
四、单元测试·····	(55)
第九章 点的合成运动 ·····	(58)
一、基本要求·····	(58)
二、重点、难点分析 ·····	(58)
1. 运动合成与分解的概念 ·····	(58)
2. 动点、动系、静系的确定 ·····	(58)
3. 三种运动分析 ·····	(58)
4. 速度合成定理的应用 ·····	(59)
5. 牵连运动为平动时加速度合成定理的应用 ·····	(59)
三、典型示例分析·····	(59)
四、单元测试·····	(66)
第十章 刚体的平面运动 ·····	(69)
一、基本要求·····	(69)
二、重点、难点分析 ·····	(69)
1. 平面图形 S 的运动分解 ·····	(69)
2. 基点的概念 ·····	(69)
3. 瞬心的概念 ·····	(69)
4. 平面图形上各点速度的计算方法 ·····	(69)
5. 速度基点法、速度瞬心法和速度投影法之间的内在联系 ·····	(70)
6. 点的合成运动和刚体平面运动的综合问题 ·····	(70)
7. 平面图形上各点的加速度 ·····	(71)
三、典型示例分析·····	(72)
四、单元测试·····	(77)

第三篇 动力学

第十一章 质点运动微分方程 ·····	(80)
一、基本要求·····	(80)
二、重点、难点分析 ·····	(80)
三、典型示例分析·····	(81)
四、单元测试·····	(84)
第十二章 动量定理 ·····	(85)
一、基本要求·····	(85)
二、重点、难点分析 ·····	(85)
1. 两个守恒定理的特点及适用范围 ·····	(85)
2. 应用动量守恒定理求解系统速度特征量的步骤及要点 ·····	(86)
3. 应用质心运动守恒定理求解系统位移特征量的解题步骤及要点 ·····	(86)
4. 用质心运动定理求解质点系约束反力的步骤及要点 ·····	(86)

5. 质点系动量的计算、质心在直角坐标系中位置坐标的计算	(87)
三、典型示例分析	(88)
四、单元测试	(92)
第十三章 动量矩定理	(94)
一、基本要求	(94)
二、重点、难点分析	(94)
1. 动量矩定理的适用范围及作用	(94)
2. 运用动量矩定理的解题步骤及要点	(95)
3. 用动量矩守恒定理求解系统角速度特征量的步骤及要点	(95)
4. 质点系动量矩的计算、刚体对轴的转动惯量的计算	(96)
三、典型示例分析	(96)
四、单元测试	(101)
第十四章 动能定理	(103)
一、基本要求	(103)
二、重点、难点分析	(103)
1. 动能定理的适用范围及用途	(103)
2. 运用动能定理解题的一般步骤及要点	(103)
3. 动力学普遍定理的综合应用	(104)
4. 系统动能的计算、力的功的计算	(106)
三、典型示例分析	(107)
四、单元测试	(113)
第十五章 达朗伯原理	(116)
一、基本要求	(116)
二、重点、难点分析	(116)
1. 达朗伯原理的实质及其适用范围	(116)
2. 运用达朗伯原理的步骤及要点	(117)
3. 正确地给系统添加惯性力	(117)
三、典型示例分析	(118)
四、单元测试	(122)
第十六章 虚位移原理	(123)
一、基本要求	(123)
二、重点、难点分析	(123)
1. 虚位移原理的特点及基本用途	(123)
2. 应用虚位移原理求解机构静力平衡问题的步骤及要点	(123)
3. 应用虚位移原理求解结构约束反力的步骤及要点	(124)
4. 系统虚位移的建立	(124)
三、典型示例分析	(125)
四、单元测试	(129)
附录	(131)

综合训练试卷 1	(131)
综合训练试卷 2	(135)
综合训练试卷 3	(140)
参考答案.....	(144)
参考文献.....	(158)

第一篇 静力学

第一章 静力学的基本概念和公理

一、基本要求

1. 静力学基本概念

掌握力、刚体、平衡的概念。

(1) 力的概念 物体间相互的机械作用,这种作用使物体变形或物体的运动状态发生改变。

(2) 刚体的概念 任何情况下都不会发生变形的物体。

(3) 平衡的概念 物体相对于惯性参考系静止或作匀速直线运动的状态。

2. 静力学公理

掌握五个公理两个推论。

五个公理:

(1) 二力平衡公理 作用在刚体上的两个力使刚体平衡的充分与必要条件是:这两个力等值、反向、共线。

(2) 加减平衡力系公理 在作用于刚体上的已知力系中,加上或减去任一平衡力系,并不改变原力系对刚体的作用。

(3) 平行四边形公理 作用在物体同一点的两个力,可以合成为作用在该点上的一合力,合力矢量的大小和方向,由以这两个分力为邻边所组成的平行四边形的对角线来确定。

(4) 作用与反作用定律 两个物体相互作用所产生的作用力与反作用力,总是等值、反向、共线且分别作用在这两个物体上。

(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。

两个推论:

(1) 力的可传性 作用于刚体上的力,可沿其作用线在该刚体上移动,而不改变此力对该刚体的作用效果。

(2) 三力平衡汇交定理 刚体在三个力作用下处于平衡,当其中两个力的作用线汇交于一点,则此三力必处于同一平面内,且第三个力的作用线必须通过汇交点。

3. 约束和约束反力

掌握约束的概念,常见的几种约束特性和约束反力的表示方法。

(1) 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。

(2) 约束反力 约束对被约束物体的机械作用称为约束反力。

4. 受力分析和受力图

掌握研究对象的受力分析,并画出受力图。

受力图 表示物体所受全部外力(包括主动力和约束力)的简图。

二、重点、难点分析

1. 力、刚体、平衡、约束的概念

必须正确理解力、刚体、平衡、约束的概念。

关于力的概念有两句话。第一句话说明力的本质,第二句话说明力的效应(外效应和内效应)。由于力是两个物体间的相互作用,两个物体中必有一个是承受力作用的物体,称为受力物体。另一个是施加作用力的物体,称为施力物体。没有受力物体和施力物体的力是不存在的。受力物体与施力物体的划分是根据所选研究对象而定的。

图 1-1a 中,物块 A 放在地面上。当研究对象确定为物块 A 时,它受到地面的支持力 F_N 作用。力 F_N 的受力物体是物块 A,力 F_N 的施力物体是地面。当研究对象确定为地面时,地面受到物块 A 的压力 F'_N 的作用。 F'_N 的受力物体是地面,它的施力物体是物块 A。物块 A 是力 F_N 的受力物体,也是力 F'_N 的施力物体。

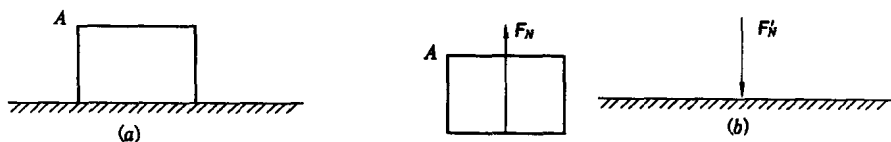


图 1-1

一个力对物体的作用效果,一定是使物体的机械运动状态发生改变。有时物体受力作用而处于平衡状态,那是由于物体受到两个以上的力作用,各力的作用效果互相抵消的结果。物体受力作用都会发生变形。物体发生变形的过程,也属于机械运动状态改变的过程。

关于刚体的概念应从三个方面理解。第一,刚体只是一个理想化的力学模型。它是把研究的物体看作为不变形的。第二,刚体上任意两点的距离是恒定不变的。第三,不要把刚体的概念绝对化。若只研究物体的平衡问题,可把物体看作刚体。

关于平衡的概念 平衡是机械运动的一种特殊情况。从受力方面而言,是物体或系统上各力的作用效果互相抵消。从运动方面而言,物体相对于惯性参考系静止或作匀速直线运动。

关于约束与约束反力的概念 约束是由物体构成的。约束要与被约束物体接触才能实现。约束阻挡了或称限制了被约束物体某些方向的运动,因而能承受由这些方向传来的力。与此同时,约束也对被约束的物体产生大小相等、方向相反的反作用力。这种力称为约束反作用力,简称约束力。约束力是被动力。其方向根据约束的类型来确定,约束类型不同,约束反力方向也不同。约束力的大小是未知的,由静力平衡方程确定。

2. 理解五个公理两个推论

公理 1 表达了最简单的平衡力系(两个力平衡)的必要与充分条件。它是研究力系平衡的基础。但是对于变形体来说,这个条件只是平衡的必要条件,而不是充分条件。

公理 2 给出了力系等效交换的一种基本形式。它还导出了推论 1。这个公理和推论 1 是力系简化的重要工具。它们只适用于刚体。

公理 3 表达了最简单情况下合力和分力之间的关系,是力系合成和分解的基础。同时它给出了求作用在一点的两个力的合力的方法。

公理 4 揭示了两个物体间相互作用力的定量关系。是研究若干个物体所组成的物体系统平衡问题的基础。公理 4 既适用于刚体也适用于变形体。

公理 5 把研究范围由刚体平衡问题扩大到变形体的平衡问题。

推论 1 表明作用在刚体上的力是一滑动矢量。力的作用点已不是决定力的作用效应的要素。必须注意,作用在某一刚体上的力矢可沿作用线滑动,但不能离开力所作用的刚体。

推论 2 给出了作用于同一刚体上共面且不平行的三个力平衡的必要条件。注意不是充分条件。在实际问题中,经常是三个力中两个力的作用线已知并且相交,这时用推论 2 确定第三个力(常常是约束力)的作用线位置,然后用平面汇交力系的平衡条件求解未知力。

3. 对研究对象进行受力分析并画出受力图

画受力图是求解任何力学问题的第一步,也是最关键的一步。受力图画错了,以后的分析和计算都将是错误的。熟练、正确地进行受力分析是重要的基本功。

物体的受力分析包含两个步骤:一是明确研究对象,并将它从周围物体中分离出来,即要明确对哪个物体进行受力分析。二是画出研究对象上所受到的全部已知主动力和与约束性质(类型)相应的约束力。若研究对象不是单独一个物体,而是由几个物体组成时,物体之间的相互作用力是内力,不要画出。

下面列出受力分析中经常出现的一些错误以及改正措施:

错误一:漏画力、多画力。

改正一:分离体图作出后,观察分离体与哪些相邻的物体有机械作用,从而了解分离体受到哪些力的作用。受力图上所有力的受力物体是分离体本身,所有力的施力物体都是分离体以外的与分离体有接触的其它物体。

错误二:错画力。认为约束反力的大小和方向依赖于主动力,因此由主动力的情况来臆测约束反力的大小和方向,导致错画力。

改正二:约束反力必须按约束的性质(类型)来分析。

错误三:作复杂系统中某一局部的受力分析时,在系统的简图上画该局部的受力图。

改正三:必须单独画出该局部的分离体图,对该局部进行受力分析。

错误四:对两个相互作用的物体进行受力分析时,既假定作用力的方向,又假定反作用力的方向。

改正四:作用力与反作用力的方向只能假定一个,另一个应该以作用与反作用定律来确定。

错误五:一个系统中,同一约束的约束反力在几个不同的受力图上出现时,约束反力所假定的指向不相同。

改正五:各受力图上,对同一约束反力所假定的指向必须相同。

三、典型示例分析

【例 1-1】作出图 1-2a 所示结构中 BD 杆、 DC 以及整个结构的受力图。各杆件的自重不计。

解 (1) 先取整体为研究对象,作出整体的分离体图。由于各杆的自重不计,因此 AB 是二力构件。根据二力平衡原理, A 点的约束反力沿 AB 连线。整个结构受到的主动力只有荷载 F ,可利用三力平衡汇交定理确定 C 处约束反力的方位,所以整体的受力图如图 1-2b 所示。各杆之间的相互作用力是内力不要画出。

(2) 作 DC 的受力图

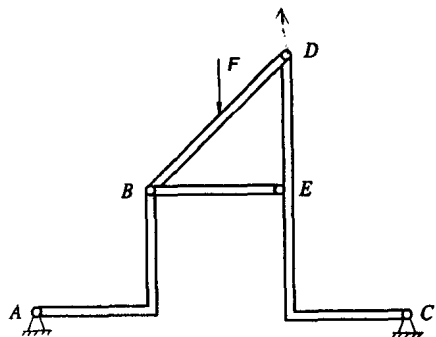


图 1-2a

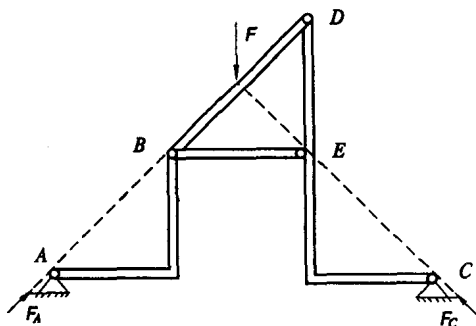


图 1-2b

取 DC 为研究对象,作出 DC 的分离体图。分杆 DC 的受力: DC 上无主动力作用, BE 是二力杆, BE 杆给 DC 上 E 点的反力沿 BE 连线。 DC 上只受三个力作用,利用三力汇交定理可以确定 D 点的反力方位。 DC 的受力图如图 1-2c 所示。

(3) 作 BD 的受力图

取 BD 为研究对象,作 BD 的分离体图。 BD 受到的主动力为荷载 F ,根据作用力与反作用力关系,可知 BD 杆 D 点的反力方向。由于结构尺寸的关系, E 点反力与 C 点反力恰在 E 点相交,因此 D 点反力 F'_D 沿 DE 连线即铅垂方向。利用三力汇交定理可知 BD 杆 B 点的方向应通过力 F 与 F'_D 的汇交点,即无穷远处,因此 B 点反力方向为铅垂方向,其受力图如图 1-2d 所示。

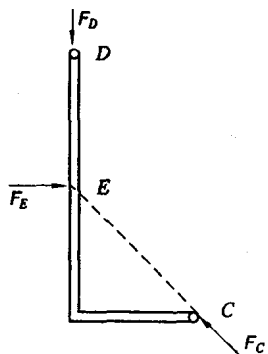


图 1-2c

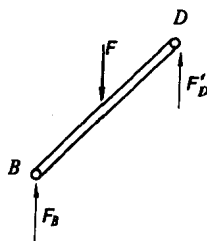


图 1-2d

【例 1-2】 图 1-3a 所示为一两跨静定梁及其所受的荷载。试分别对梁 AC 、梁 CE 以及两跨静定梁整体进行受力分析,并绘出其受力图。

解 先取 CE 为研究对象,作 CE 的分离体图。 CE 受到的主动力是荷载 F , E 处约束力为链杆约束,其约束反力沿 E 处链杆中心线。 C 处为铰约束,反力大小、方向未知。利用三力汇交定理,可知 C 处反力方向。 CE 的受力图如图 1-3b 所示。

取 AC 为研究对象,作 AC 的分离体图。

AC 无主动力作用,只在 A 、 B 、 C 三处受到约束。 B 处为链杆约束,反力沿链杆方向。 C 处反力可根据作用与反作用关系确定。利用三力汇交定理,可绘出 AC 的受力图如图 1-3c 所示。

取整体为研究对象,作整体的分离体图,此时 C 处的约束反力对整体而言是内力,不要画出。整体受力图如图 1-3d 所示。

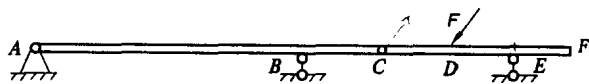


图 1-3a

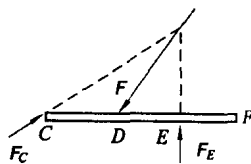


图 1-3b

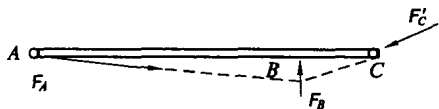


图 1-3c

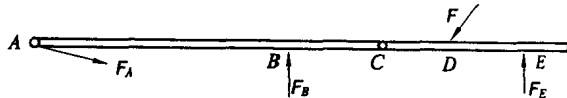


图 1-3d

【例 1-3】 图 1-4a 所示机构中, BC 杆的轮上绳子处于水平位置。已知 $F=5\text{ kN}$, 不计摩擦。绘出轮 C、BC、AD 及整体的受力图。

解 取轮 C 为研究对象, 作出轮 C 的分离体图。绳子是柔性约束, 反力方向沿绳子中心线, 为拉力。由三力汇交定理可绘出轮 C 的受力图如图 1-4b 所示。

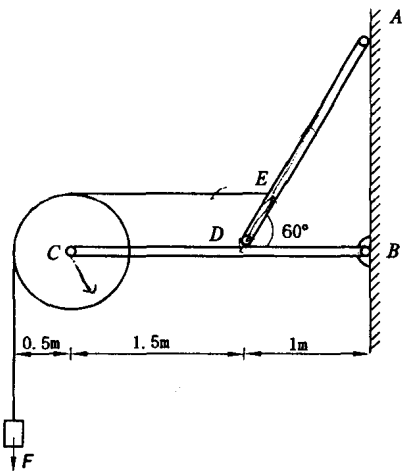
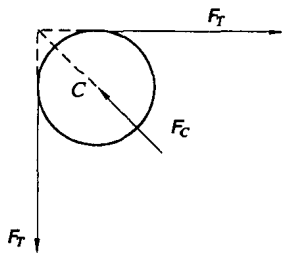


图 1-4a



1-4b

取 BC 为研究对象, 因为无法判断 B 处、D 处反力方位, 故用正交分力表示未知力, 其受力图如图 1-4c 所示。

取 AD 为研究对象, 作出 AD 的分离体图, E 处为绳索约束, A、D 两处为铰约束, 其未知反力用正交分力表示, 要注意 AD 杆 D 处反力与 BC 杆 D 处反力之间是作用力与反作用力的关系。其受力图如图 1-4d 所示。

最后, 取整体为研究对象, 画出整体的分离体图。注意一个系统中, 同一约束的约束反力在几个不同的受力图中出现时, 约束反力所假定的指向要相同。如 A、B 两个反力必须与图 1-4c、图 1-4d 中假设的方向相同。C、D、E 三处反力对整个系统而言, 是内力, 不要画出。整体的受力图如图 1-4e 所示。

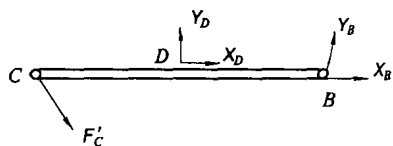


图 1-4c

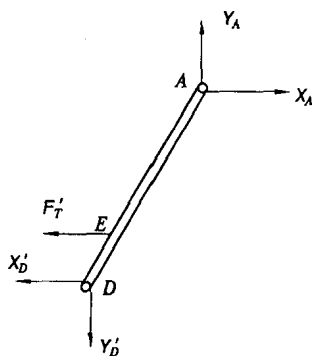


图 1-4d

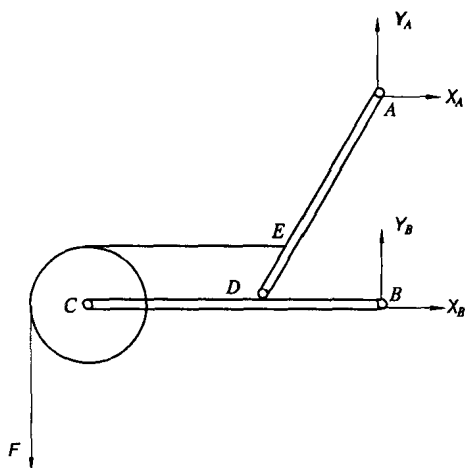


图 1-4e

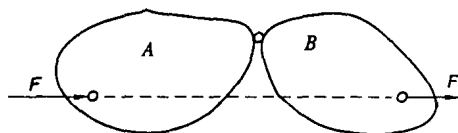


图 1-5

【例 1-4】 下面说法是否正确？

如图 1-5 所示，一力 F 从 A 物体上沿力的作用线传递到 B 物体上，不影响两个物体之间的作用与反作用力。

答：错。

力的可传性推论指出，作用于刚体上的力，可以沿它的作用线在刚体内任意移动，而不改变该力对刚体的作用。应用这个推论时，一定要注意沿作用线移动的力不能离开该力所作用的刚体。

四、单元测试

1. 是非题

- (1) 力是滑动矢量，可沿作用线移动。 ()
- (2) 力对物体的作用效应分为外效应(运动效应)和内效应(变形效应)，理论力学中主要研究的是力的外效应。 ()
- (3) 若作用在刚体上的三个力的作用线汇交于同一点，则该刚体必须处于平衡状态。 ()

2. 填空题

- (1) 如题图 1-1 所示， AB 杆自重不计，在五个已知力作用下处于平衡，则作用于 B 点的四

个力的合力 F_R 的大小 $F_R =$ _____, 方向 _____。

(2) 力对物体的作用效应一般分为外效应和内效应, 平衡力系对刚体的作用效应为 _____。

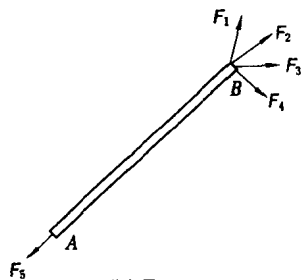
3. 选择题

(1) 一刚体受两个作用在同一直线上, 指向相反的力 F_1 和 F_2 作用, 如题图 1-2 所示, 它们的大小之间的关系为 $F_1 = 2F_2$, 则该两力的合力矢 F_R 可表示为()。

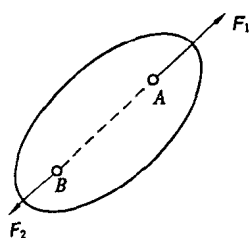
- A. $F_R = F_1 - F_2$ B. $F_R = F_2 - F_1$ C. $F_R = F_1 + F_2$ D. $F_R = F_2$

(2) 题图 1-3 所示的受力分析当中, F_G 是地球对物体 A 的引力, F_T 是绳子受到的拉力, 作用力与反作用力指的是()。

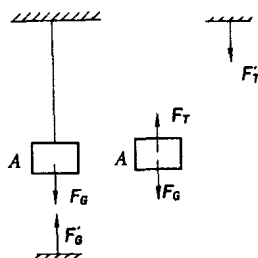
- A. F_T' 与 F_G B. F_T 与 F_G C. F_G 与 F_G' D. F_T' 与 F_G'



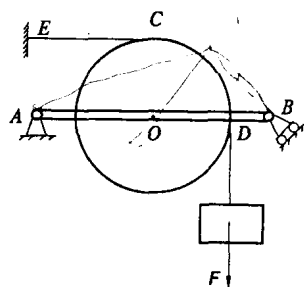
题图 1-1



题图 1-2



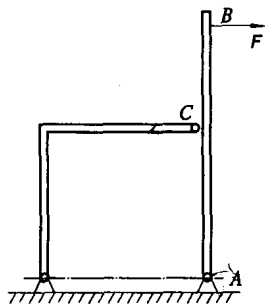
题图 1-3



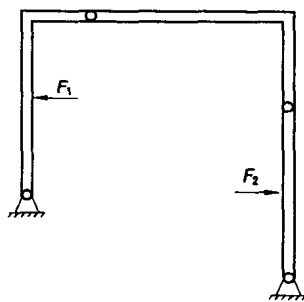
题图 1-4

4. 绘制下面各结构或构件的受力图

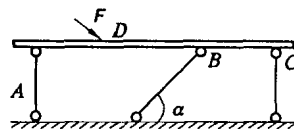
- (1) 题图 1-4 所示系统及各部件的受力图。设轮 O 及直杆 AB 的自重不计。
- (2) 题图 1-5 所示中 AB 的受力图, 各物体的自重不计。
- (3) 题图 1-6 所示机构在力 F_1 、 F_2 作用下处于平衡状态。试画出各构件的受力图。
- (4) 试画出题图 1-7 所示 AC 梁的受力图。



题图 1-5



题图 1-6



题图 1-7