

QQ群：879923402（浙大理论力学2018）

我的联系信息：

- 郭宇 研究员 博导
- 浙大航空航天学院流体工程研究所
- 邮箱: yguo@zju.edu.cn
- 主页: <https://person.zju.edu.cn/yguo>
- 办公室：玉泉校区教12楼327A室

助教信息：

- 刘依：1227840815@qq.com

综合成绩：

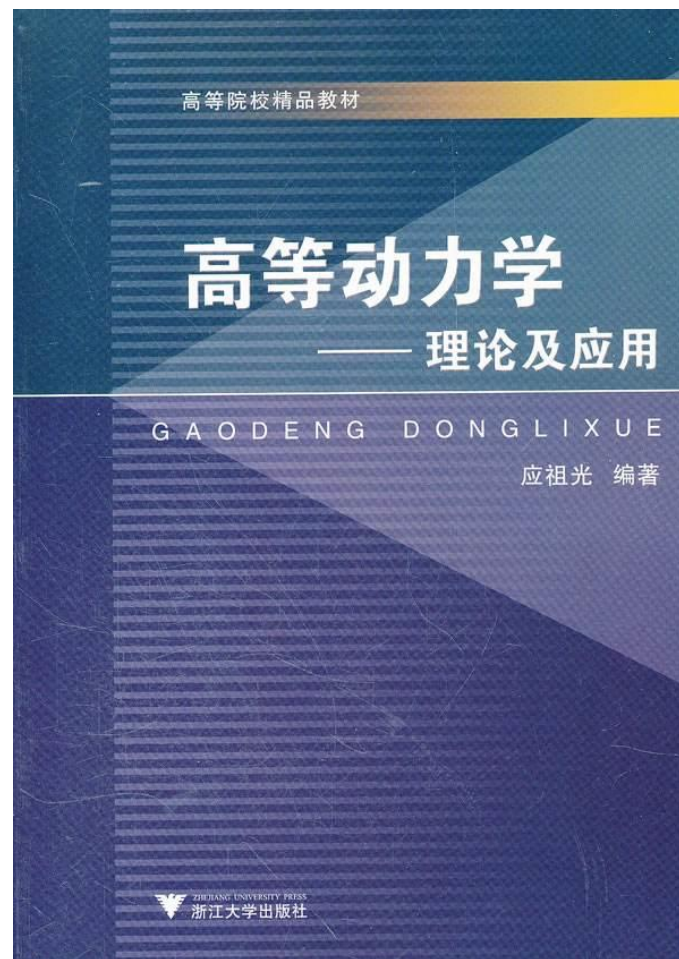
- 平时成绩（考勤，作业，实验，1次随堂考）占40%
- 期末考试占60%



群名称：浙大理论力学2018

群 号：879923402

教材



海洋、水利相关的力学问题

海浪



航母



海上
钻井
平台



水坝



海洋、水利相关的力学问题

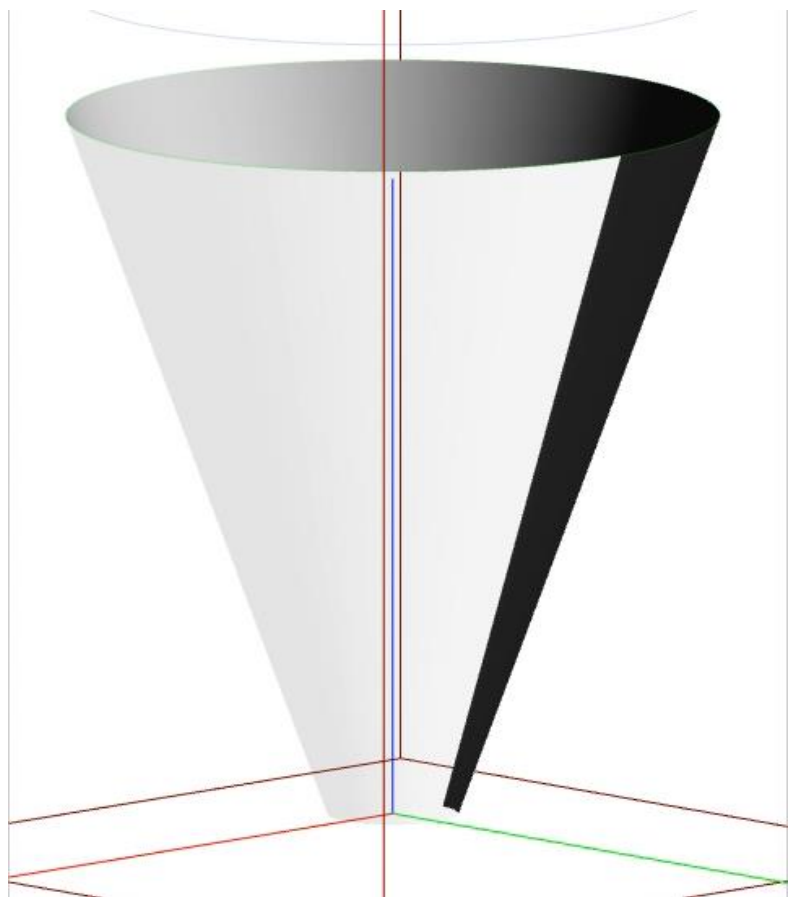
流体力学 固体力学

结构力学 振动力学



理论力学

颗粒物质力学



数值模拟颗粒在漏斗中的运动

实现数值模拟，需要回答如下的问题：

- 如何描述颗粒的运动？
- 如何描述颗粒-颗粒之间和颗粒-漏斗内壁之间的相互作用力？
- 颗粒的受力如何影响颗粒的运动（包括平动和转动）？

理论力学

- 理论力学属经典力学（牛顿力学）范畴，是研究物体机械运动一般规律的科学。

机械运动：物体的空间位形随时间的变化，包括静止、移动、转动、振动等。

- 本门课程讲述的力学理论的适用范围：宏观、低速、弱引力的体系
- 与之相对的微观、超高速、强引力的体系属于量子力学和相对论的研究范畴
- 课程内容：**静力学**（物体在力的作用下的平衡条件）、**运动学**（描述质点和刚体运动）、**动力学**（阐释力和运动的关系）

静力学

§ 1-1 静力学的基本概念

1. 力

- 力的定义

力是物体相互间的机械作用，其作用结果使物体的形状和运动状态发生改变。

- 力的效应 {
 - 外效应**——改变物体运动状态的效应。
 - 内效应**——引起物体变形的效应。



§ 1-1 静力学的基本概念

- 力的三要素

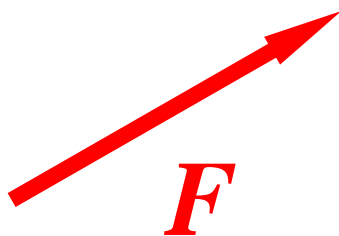
大小

方向

作用点



- 力的表示法——矢量，用数学上的矢量记号来表示，如图所示。



§ 1-1 静力学的基本概念

力系 —— 作用于同一物体或关联物体系上的一群力；
可分为：汇交、平行、平面任意力系、空间任意力系等。

等效力系 —— 对物体的作用效果相同的两个力系。

平衡 —— 物体保持静止或作匀速直线运动的状态。

平衡力系 —— 能使刚体维持平衡的力系；与零力系等效。

合力 (resultant force) —— 能和一个力系等效的一个力。

分力 (component force) —— 一个力等效于一个力系，则力系中的各力称为这个力（合力）的分力。

§ 1-1 静力学的基本概念

2. 刚体

在外界的任何作用下形状和大小都始终保持不变的物体。或者在力的作用下，任意两点间的距离保持不变的物体。



近似“刚体”



变形体

刚体是一种理想的力学模型，现实中不存在。

§ 1-2 静力学公理

§ 1-2 静力学公理

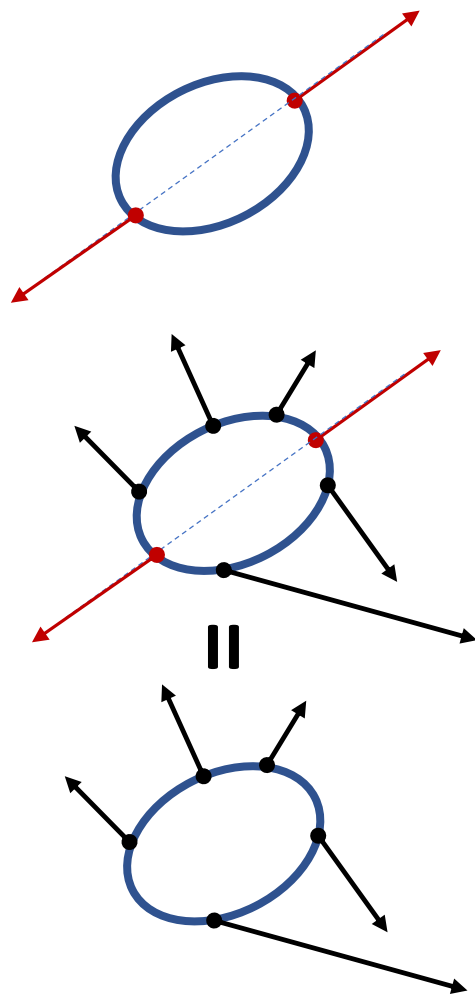
静力学全部理论都可以由以下五个公理推证而得到

公理1 (二力平衡公理)

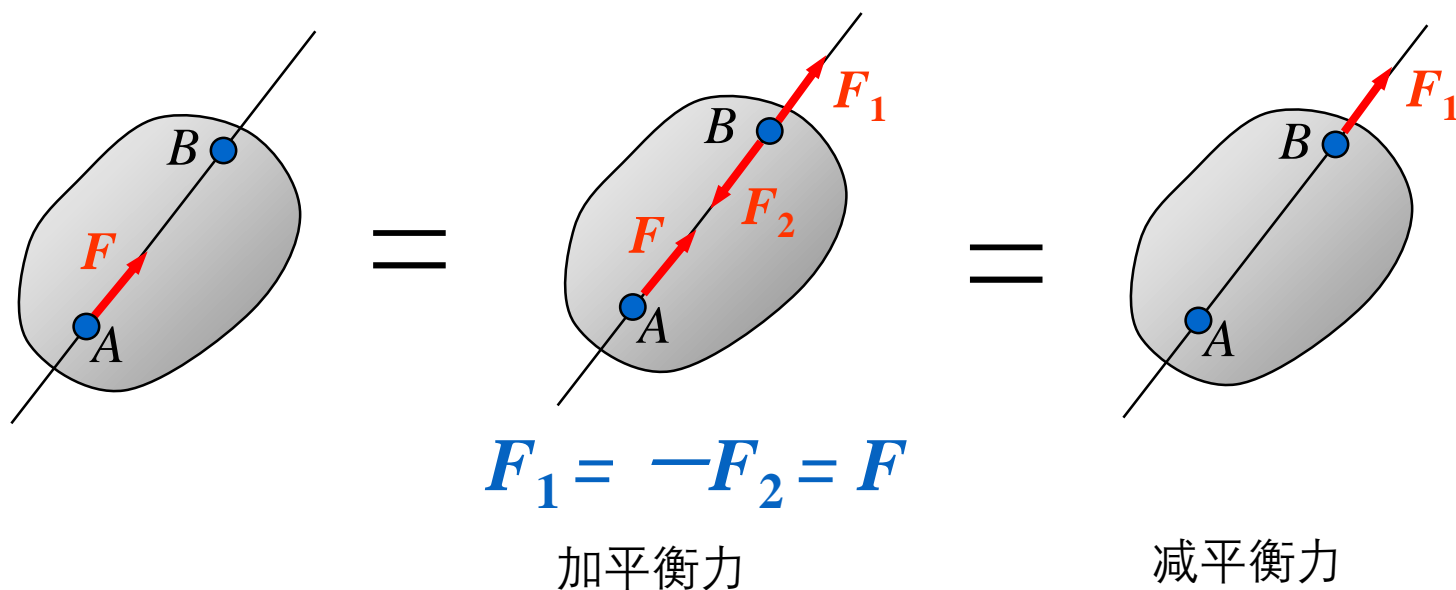
要使**刚体**在两个力作用下维持平衡状态，必须也只需这两个力**大小相等、方向相反、沿同一直线**作用。

公理2 (加减平衡力系公理)

可以在作用于**刚体**的任何一个力系上**加上或去掉几个互成平衡的力**，而不改变原力系对刚体的作用。



§ 1-2 静力学公理



推论 (力在刚体上的可传性)

作用于刚体的力，其作用点可以沿作用线在该刚体内前后任意移动，而不改变它对该刚体的作用效果。

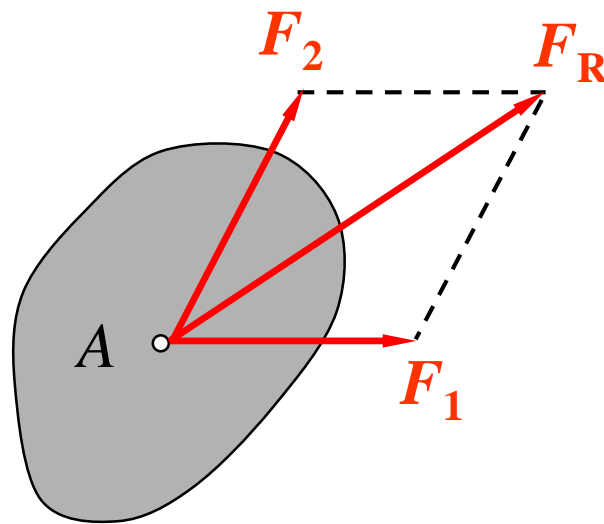
§ 1-2 静力学公理

公理3(力平行四边形定则)

作用于**物体**上任一点的两个力可合成为作用于同一点的一个力，即合力。合力的矢量由两个原力的矢量为邻边而作出的力平行四边形的对角矢量来表示。

即，合力为两个原力的矢量和。

矢量表达式： $F_R = F_1 + F_2$

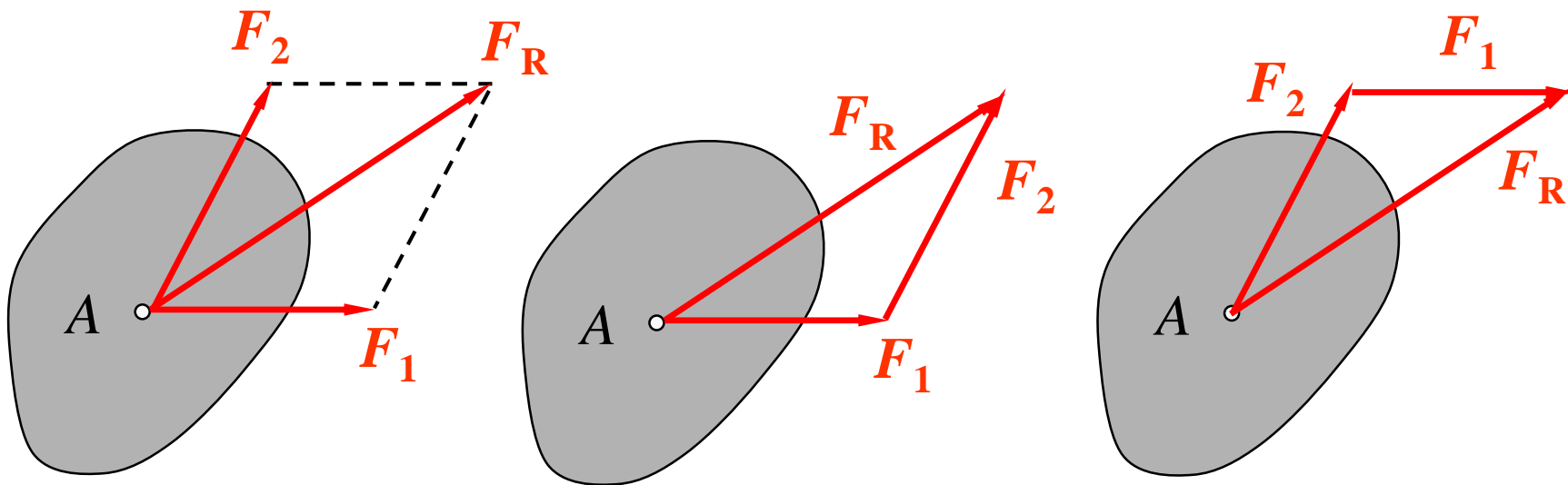


§ 1-2 静力学公理

公理3(力平行四边形定则)

作用于**物体**上任一点的两个力可合成为作用于同一点的一个力，即合力。合力的矢量由两个原力的矢量为邻边而作出的力平行四边形的对角矢量来表示。

● 力三角形法

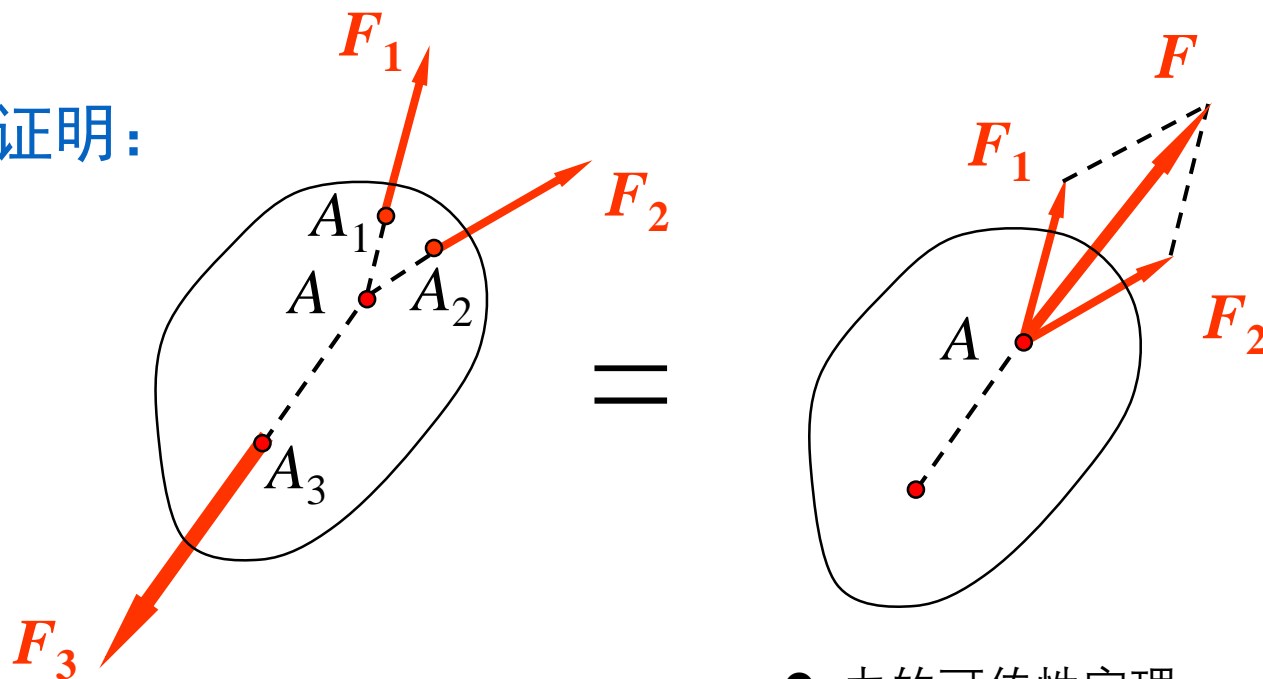


§ 1-2 静力学公理

推论 (三力汇交定理)

当刚体在三个力作用下平衡时，设其中两力的作用线相交于某点，则第三力的作用线必定也通过这个点。

证明：



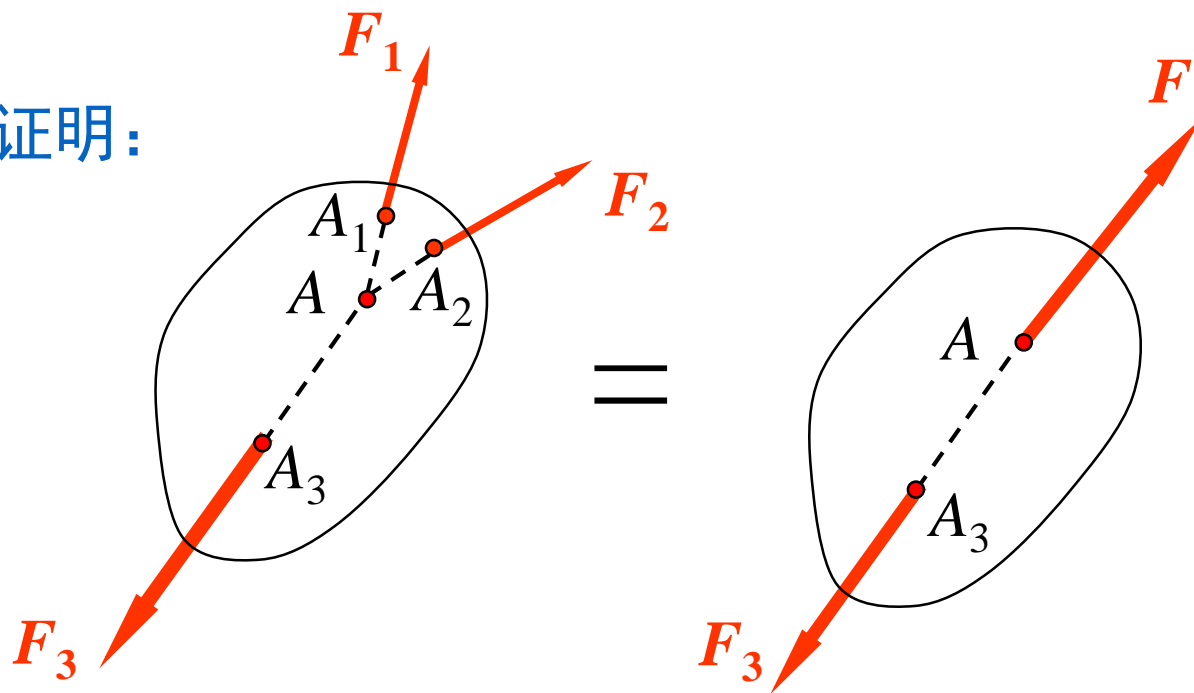
- 力的可传性定理
- 力的平行四边形定则

§ 1-2 静力学公理

推论 (三力汇交定理)

当刚体在三个力作用下平衡时，设其中两力的作用线相交于某点，则第三力的作用线必定也通过这个点。

证明：

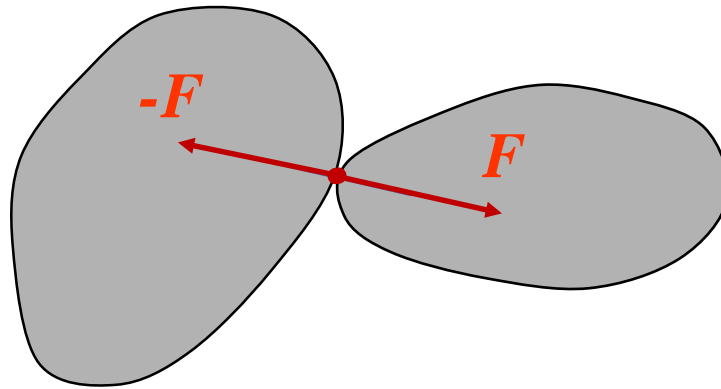


● 二力平衡公理

§ 1-2 静力学公理

公理4(作用和反作用定律)

任何两个物体之间相互作用的力，总是大小相等，作用线相同，但指向相反，并同时分别作用于这两个物体上。



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。



柔性体（受拉力平衡）



刚化为刚体（仍平衡）

注意：刚体的平衡条件是变形体平衡的**必要条件，而非充分条件**。



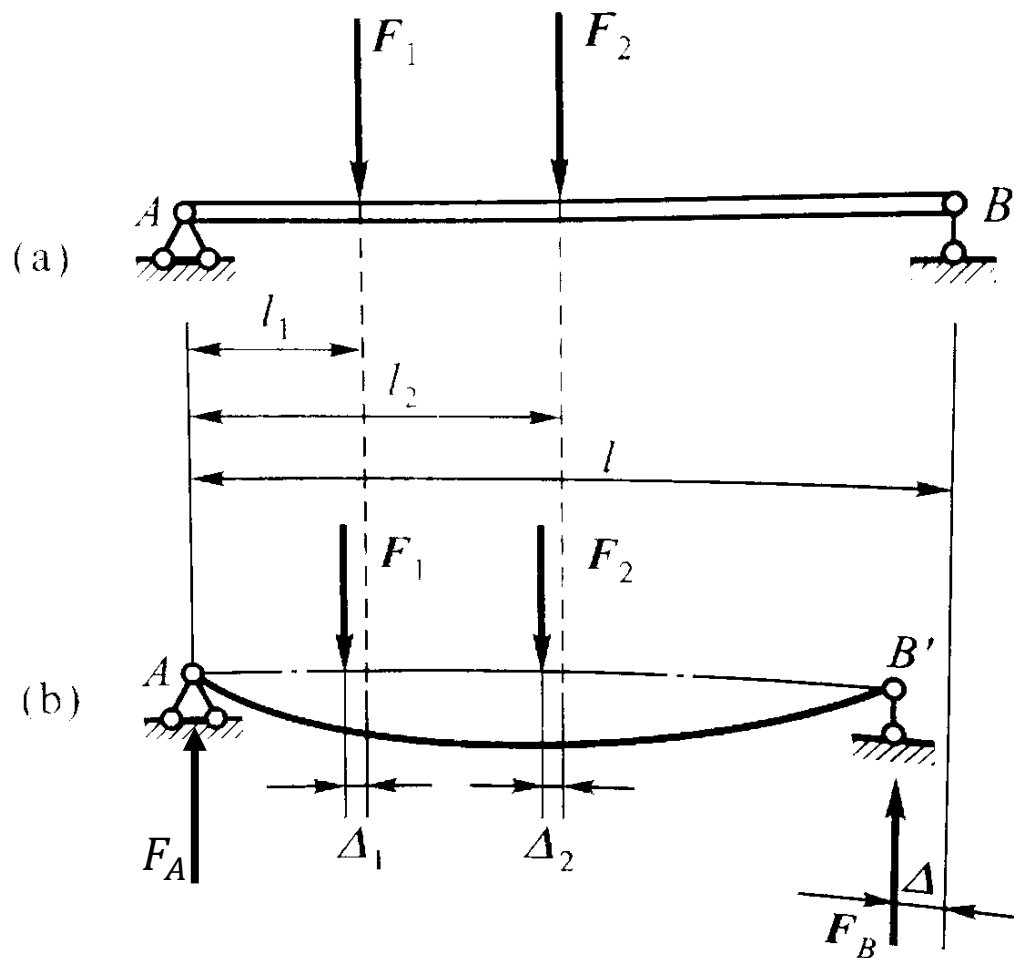
刚体（受压平衡）



柔性体（受压不能平衡）

变形体刚化，求解平衡问题

对处于平衡状态的变形体，求解变形体的外力时，可以将变形体视为刚体，然后采用处理刚体力系平衡的方法来处理变形体。



F_1, F_2, F_A 和 F_B 构成
平衡力系

§ 1-3 工程中常见的 约束和约束力

§ 1-3 工程中常见的约束和约束力

1. 基本概念

自由体 —— **可以任意运动（获得任意位移）的物体。**

非自由体 —— **运动(位移)受到某些限制的物体。**

约 束 —— **由周围物体所构成的、限制非自由体位移的条件。**

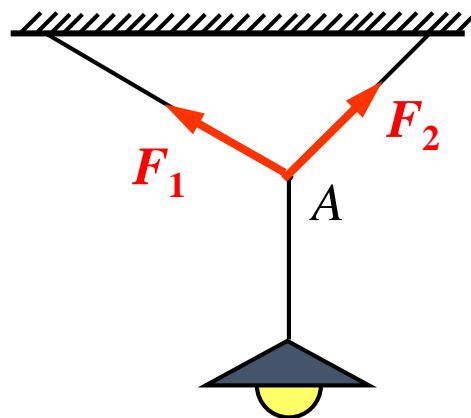
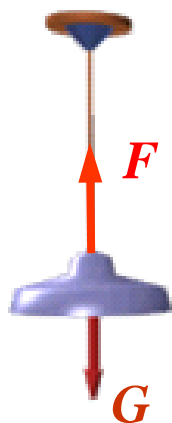
约束力 —— **约束对被约束体的作用力。**

主动力 —— **约束力以外的力。**

§ 1-3 工程中常见的约束和约束力

2. 常见的几种类型的约束

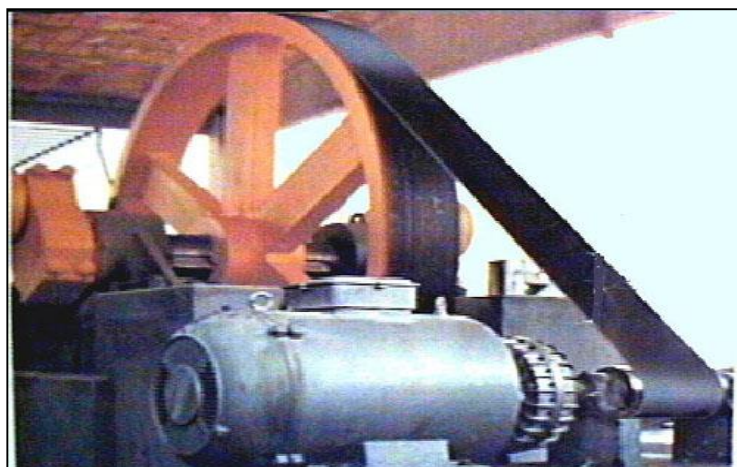
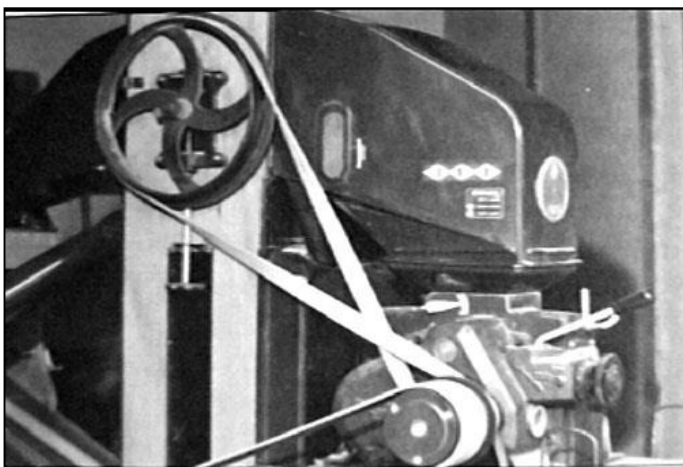
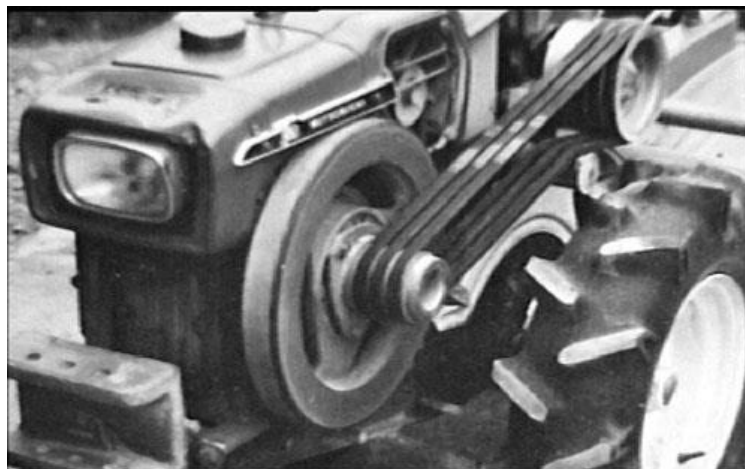
● 柔绳



- 只能承受拉力
- 约束力方向沿着绳索，背离物体

§ 1-3 工程中常见的约束和约束力

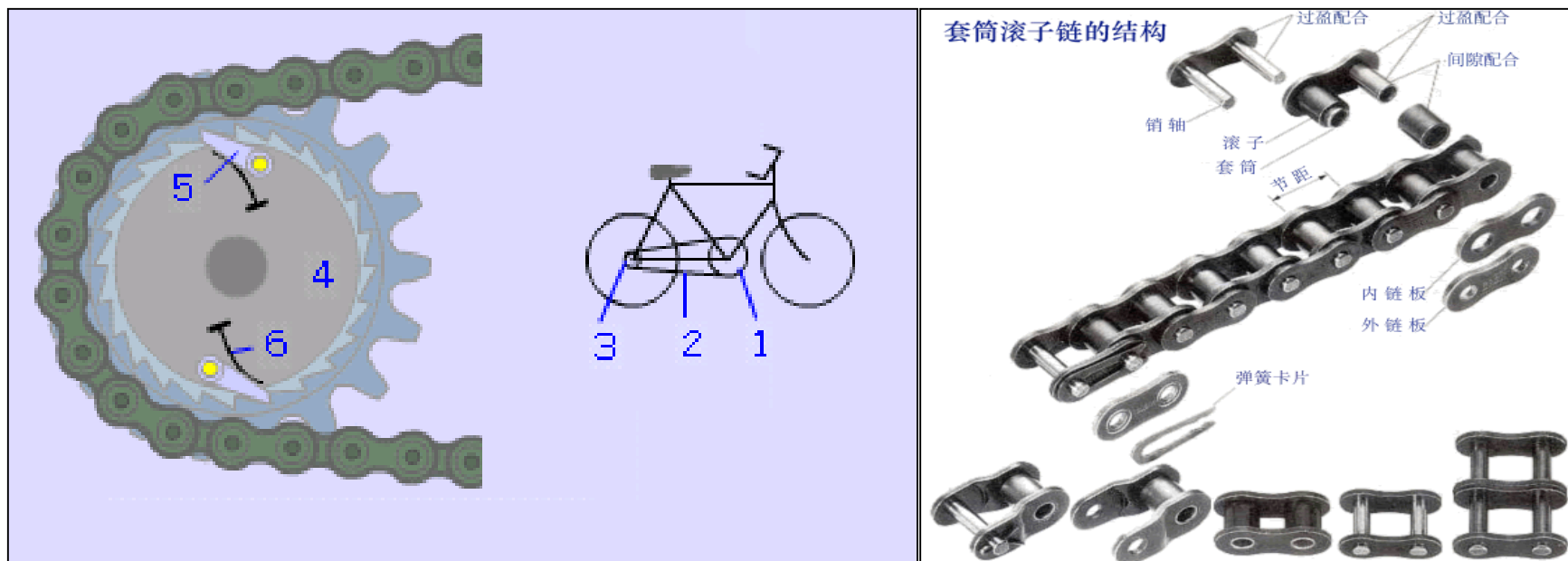
● 传送带（胶带）



- 只能承受拉力
- 约束力方向沿着轮缘的切线方向

§ 1-3 工程中常见的约束和约束力

● 链条构成的约束

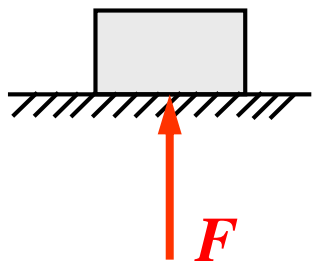


- 主要承受拉力，能承受一定的压力
- 约束力方向沿着轮缘的切线方向

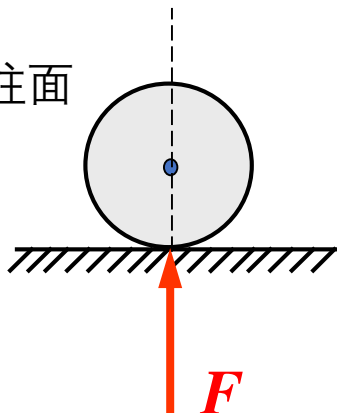
§ 1-3 工程中常见的约束和约束力

● 光滑接触面约束

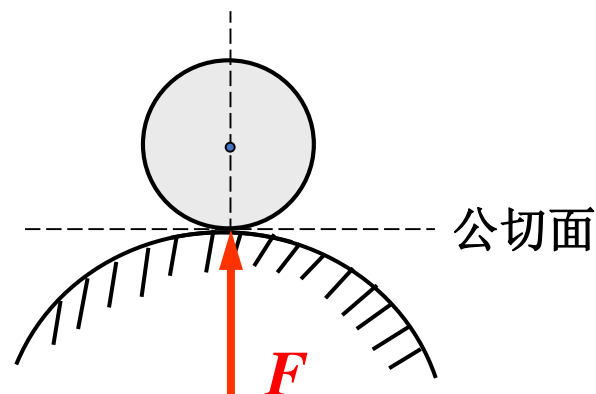
平面-平面



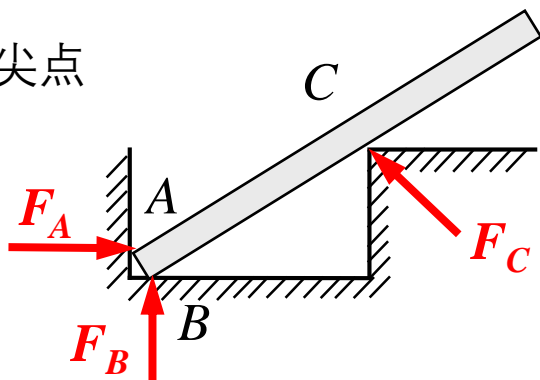
平面-柱面



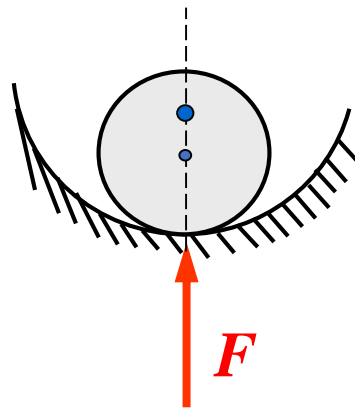
公法线



平面-尖点

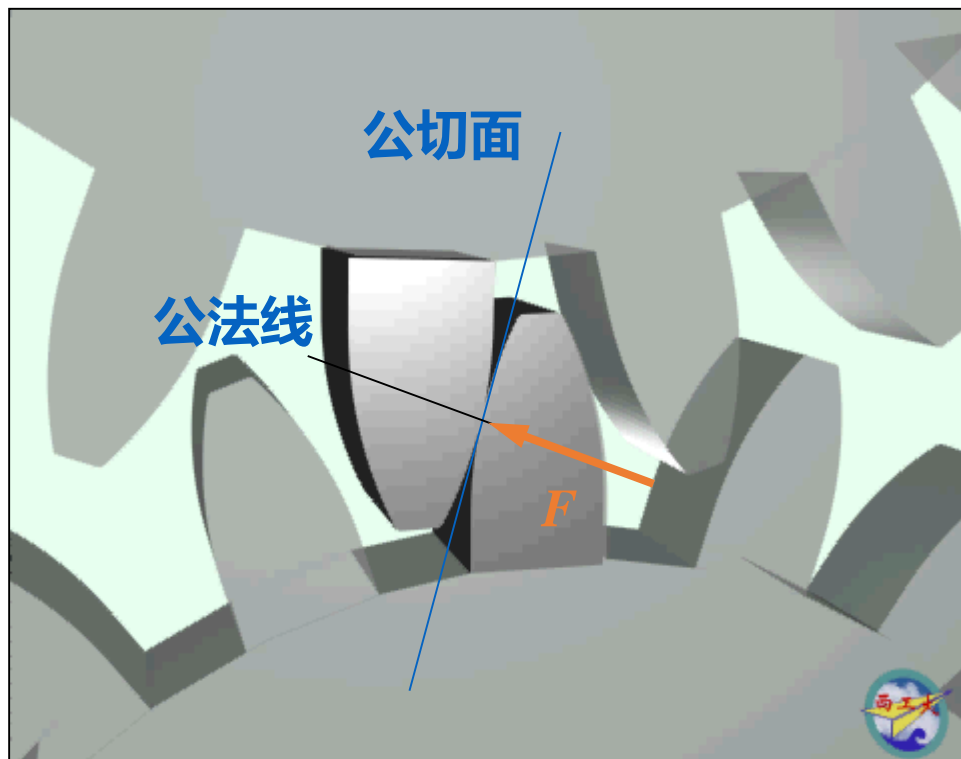


约束力方向垂直于平面



约束力方向垂直于公切面

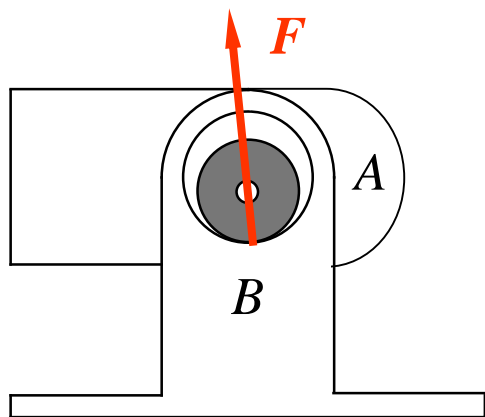
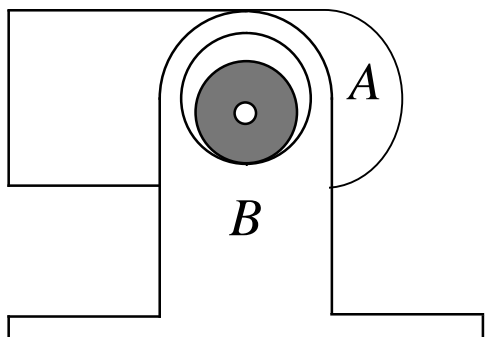
§ 1-3 工程中常见的约束和约束力



光滑接触面约束实例

§ 1-3 工程中常见的约束和约束力

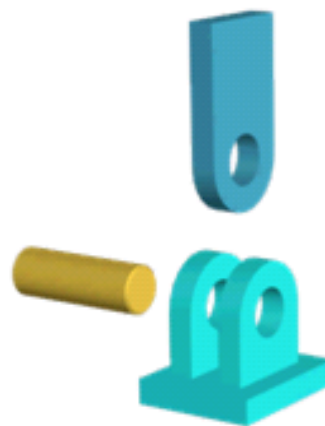
● 光滑圆柱铰链约束



径向轴承（向心轴承）

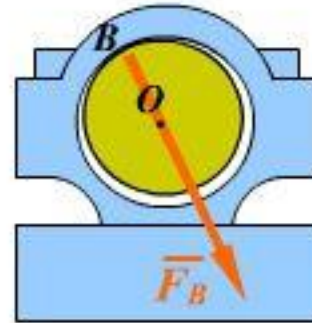
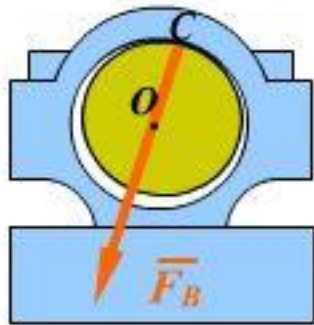
约束特点：

- 约束链结构件的相对平动
- 不约束沿着轴向的相对转动

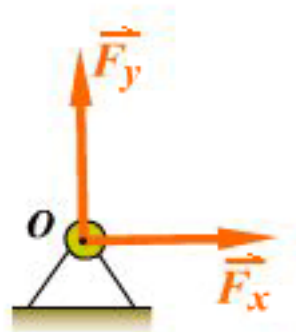


● 光滑圆柱铰链约束

当外界载荷不同时，接触点会变，则约束力的大小与方向均有改变。

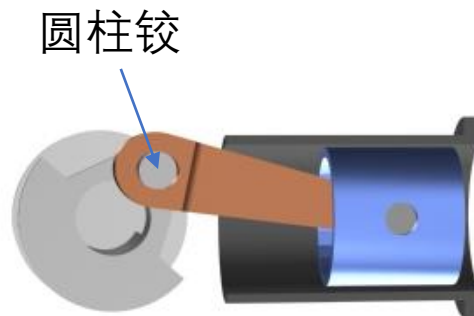
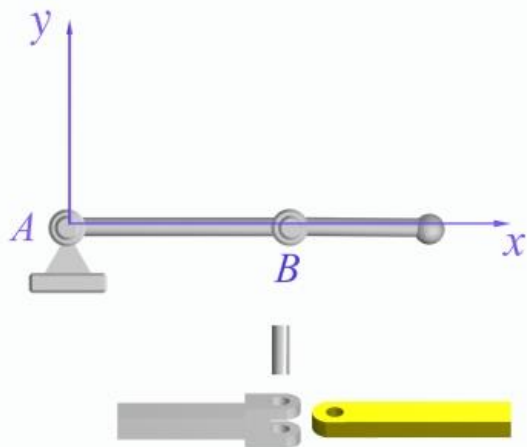
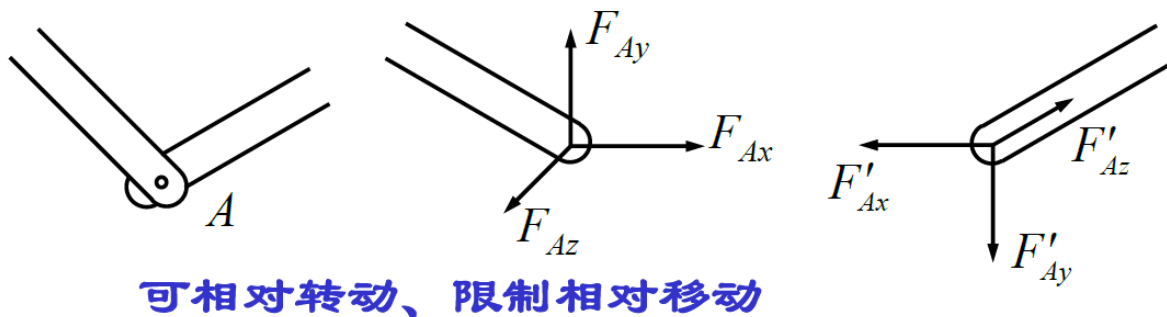


可分解为二个通过轴心的正交分力 \vec{F}_x, \vec{F}_y 表示：



§ 1-3 工程中常见的约束和约束力

● 光滑圆柱铰链约束实例

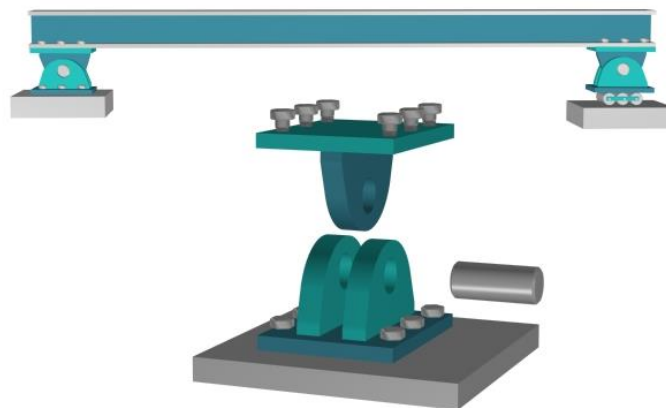
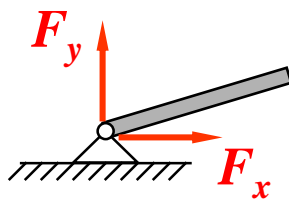
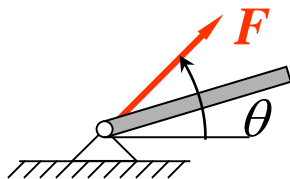
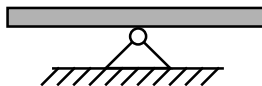
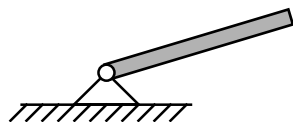


发动机活塞

§ 1-3 工程中常见的约束和约束力

● 光滑圆柱铰链约束

固定铰链支座

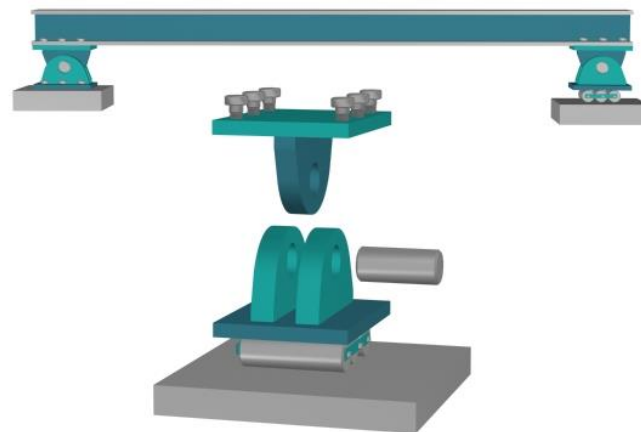
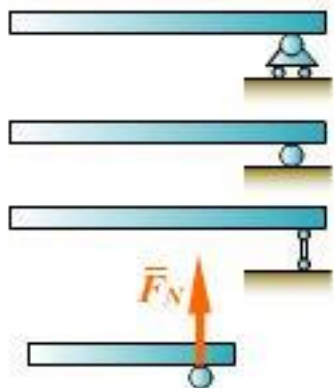
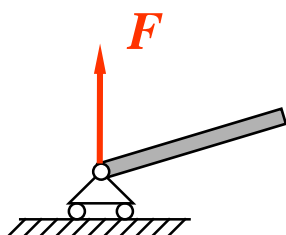


在平面坐标系下，约束两个方向的平移

§ 1-3 工程中常见的约束和约束力

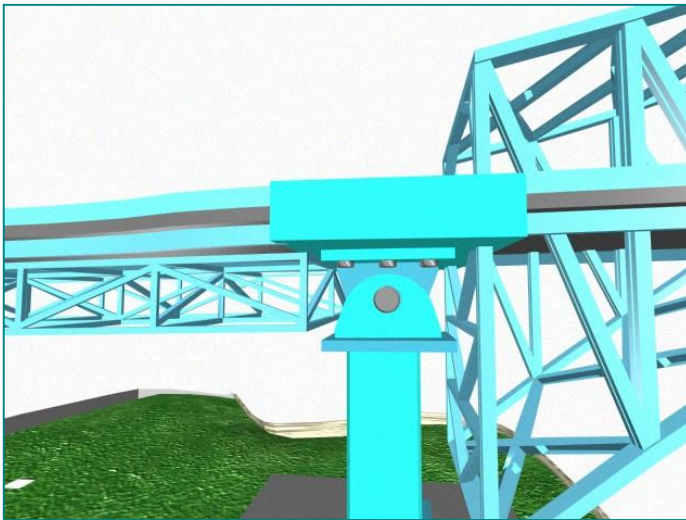
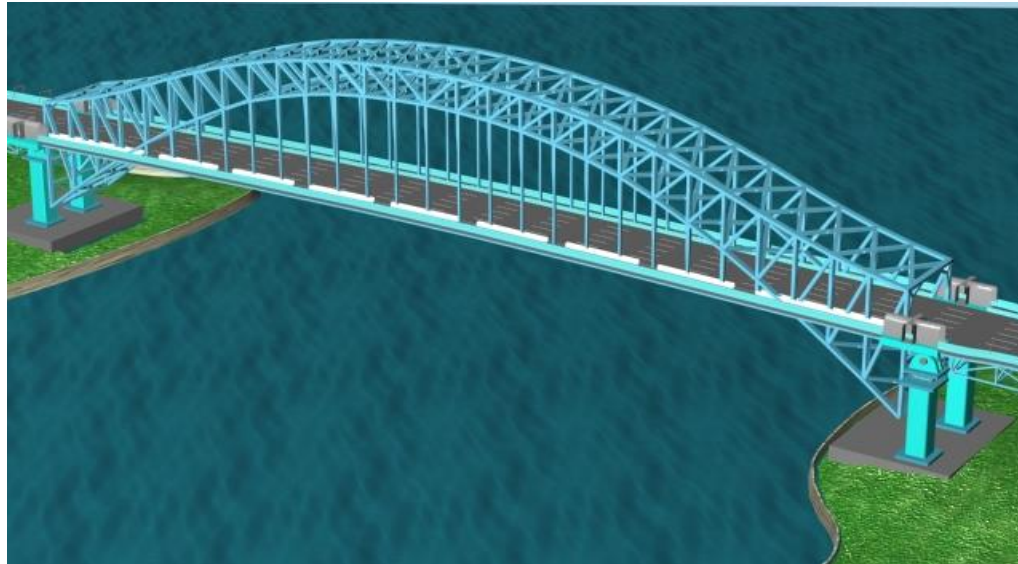
● 光滑圆柱铰链约束

活动铰链支座

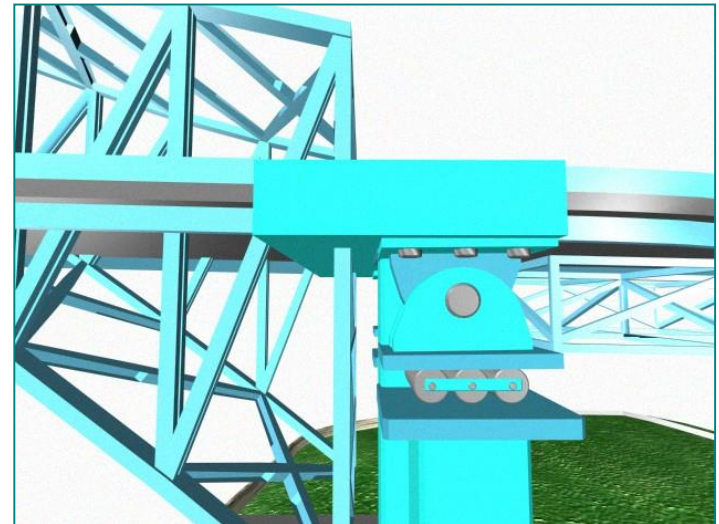


在平面坐标系下，约束垂直方向平移，
不约束水平移动

§ 1-3 工程中常见的约束和约束力



固定铰

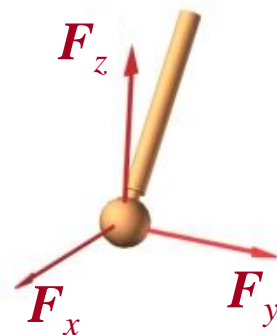
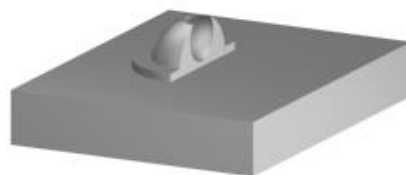
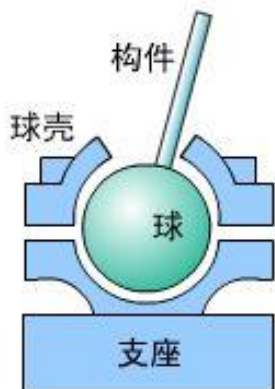
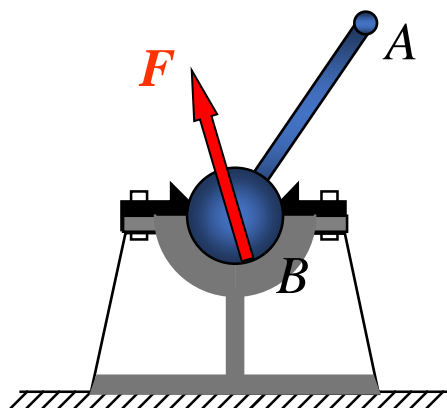


活动铰

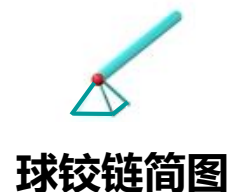
§ 1-3 工程中常见的约束和约束力

● 光滑球铰链约束

约束特点：通过球与球壳将构件连接，构件可以绕球心任意转动，但构件与球心不能有平移。



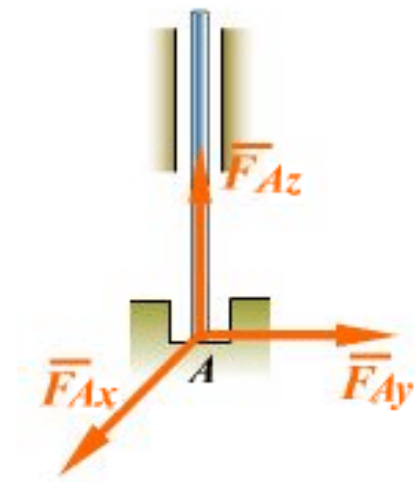
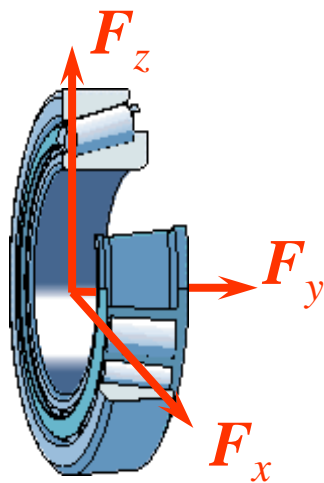
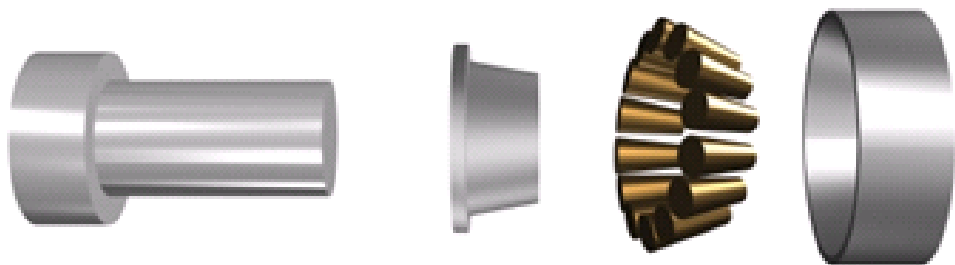
球铰链约束结构以及
约束力与简图



约束平动，不约束转动（在特定转动范围内）

§ 1-3 工程中常见的约束和约束力

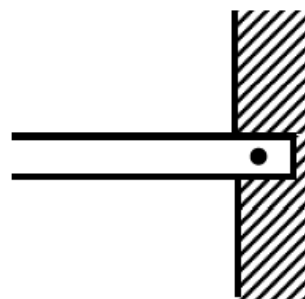
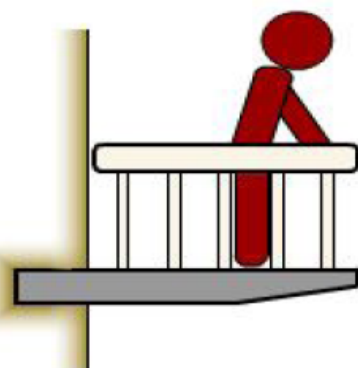
推力轴承（止推轴承）



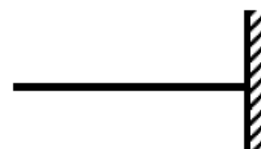
- 约束轴的径向位移
- 约束轴的轴向位移



固定端——将物体一端定死

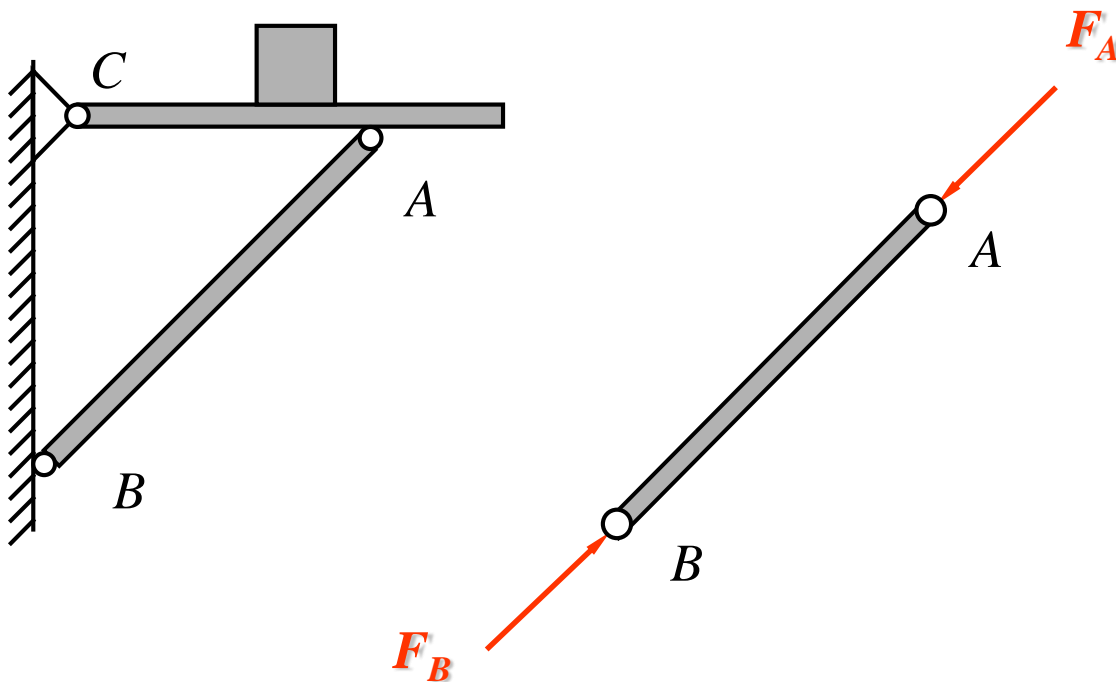


限制任何运动



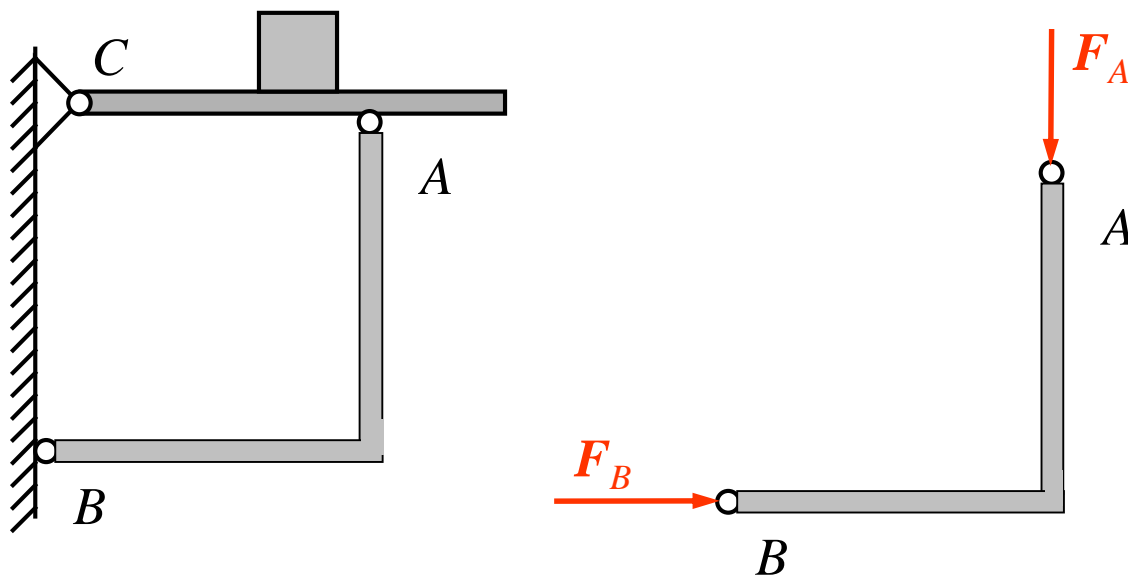
§ 1-3 工程中常见的约束和约束力

● 双铰链刚杆约束



§ 1-3 工程中常见的约束和约束力

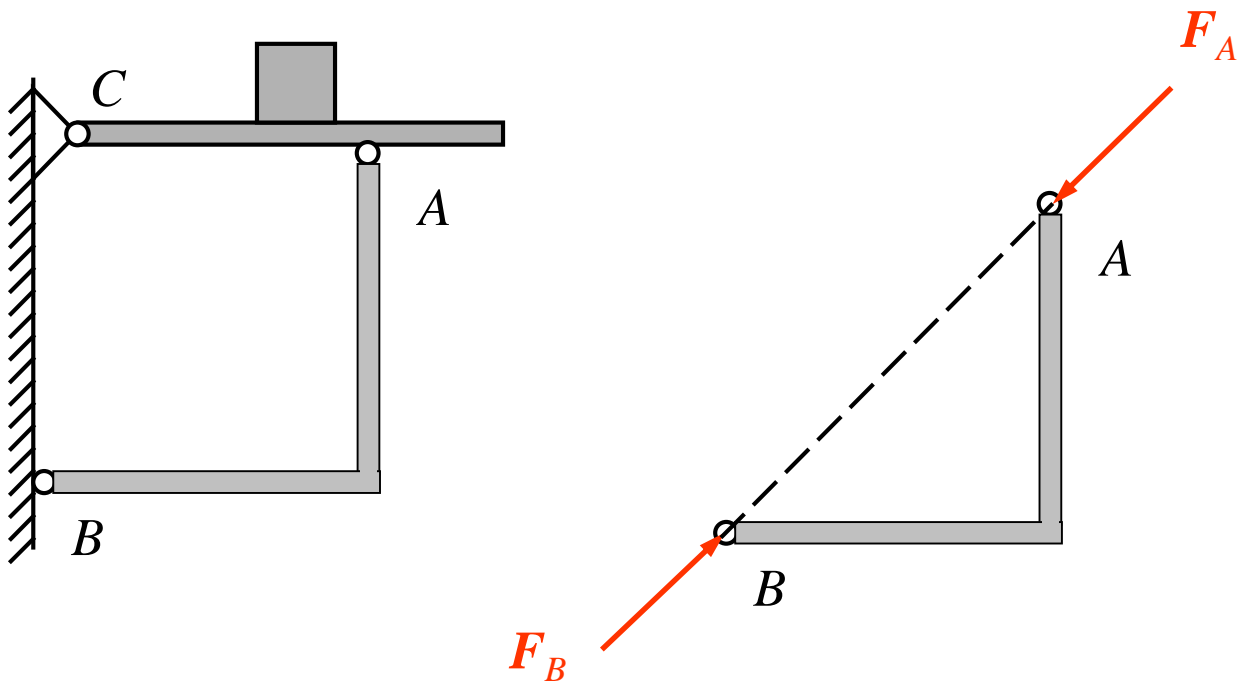
● 双铰链刚杆约束



受力图正确吗？

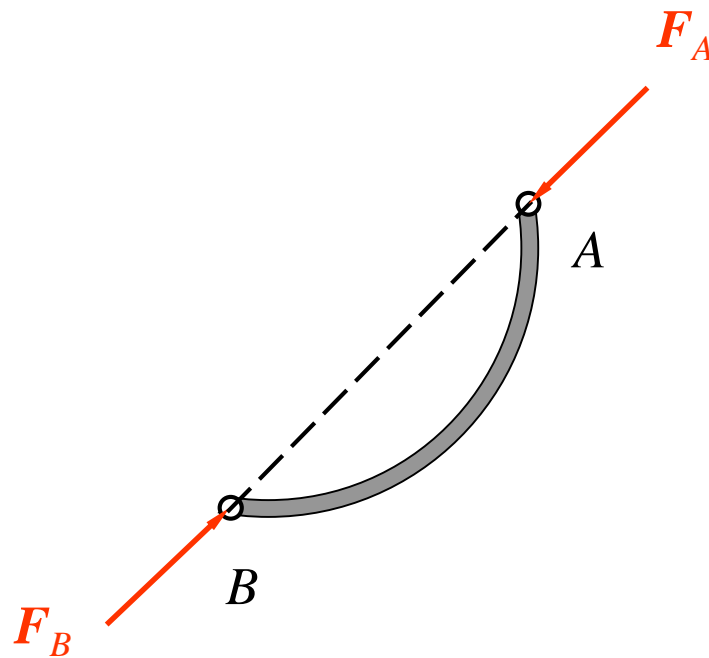
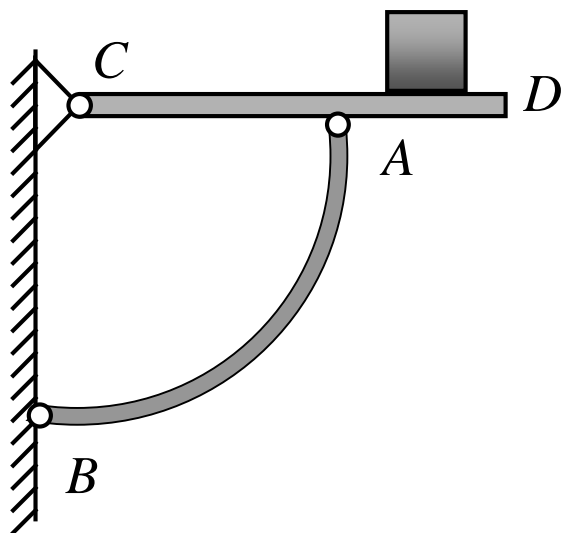
§ 1-3 工程中常见的约束和约束力

● 双铰链刚杆约束



§ 1-3 工程中常见的约束和约束力

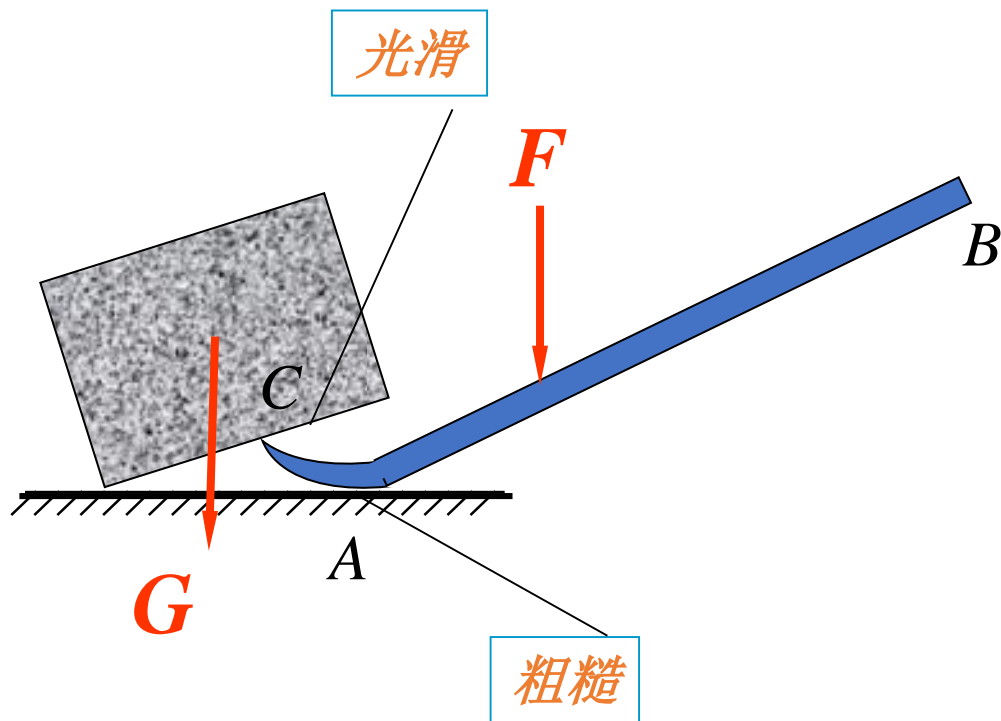
● 双铰链刚杆约束



§ 1-3 工程中常见的约束和约束力

思考题

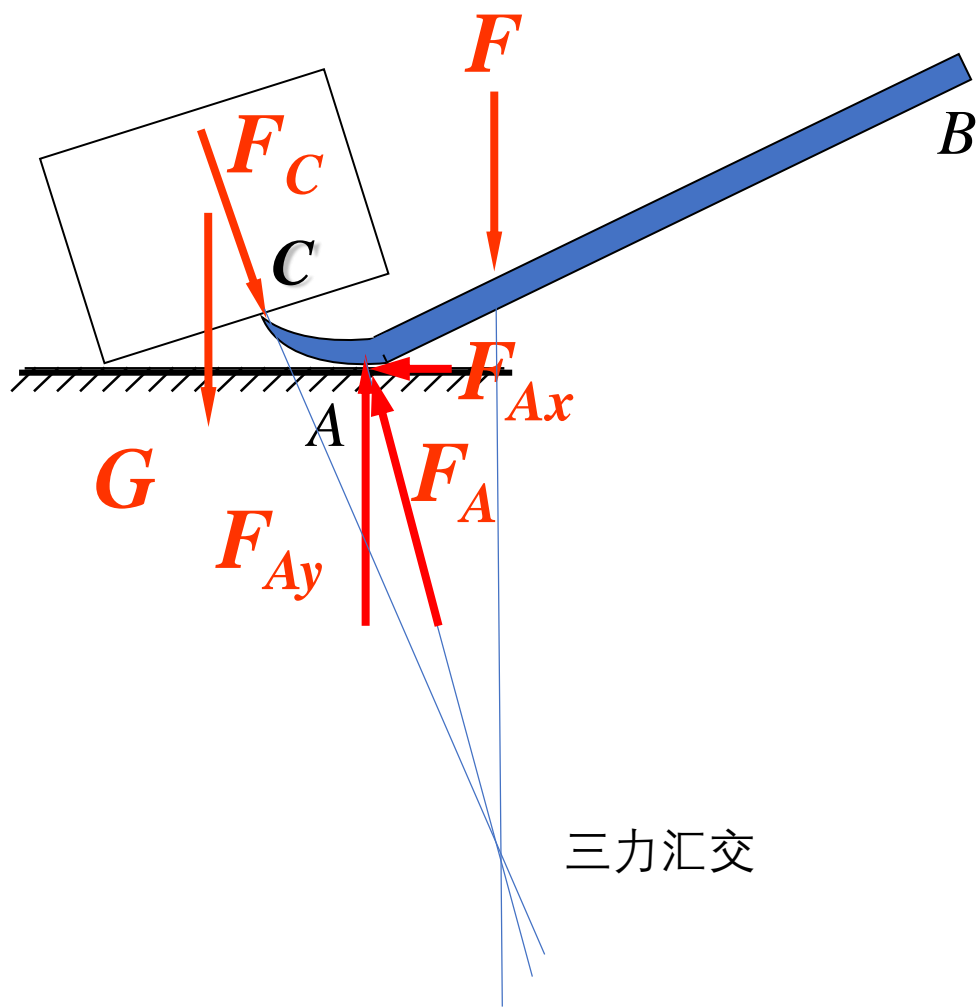
试画出杆AB的受力图。



§ 1-3 工程中常见的约束和约束力

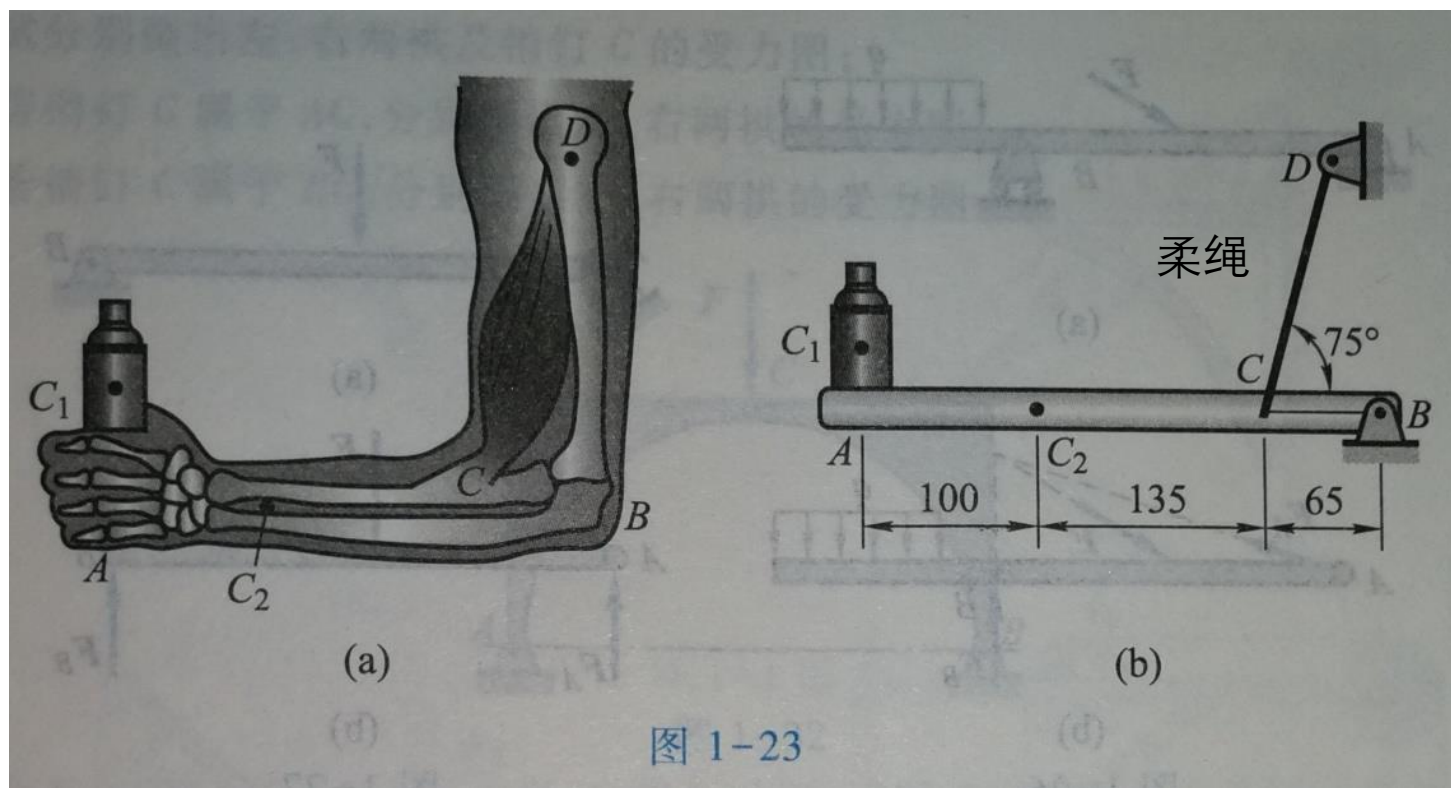


解答



§ 1-4 物体的受力和受力图

从实际问题中提炼力学模型



固定铰

人体中的力学模型

§ 1-4 物体的受力和受力图

受力图的画法步骤：

(1) 将简单构件从复杂系统中分离出来

(2) 画出对象所受的全部主动力

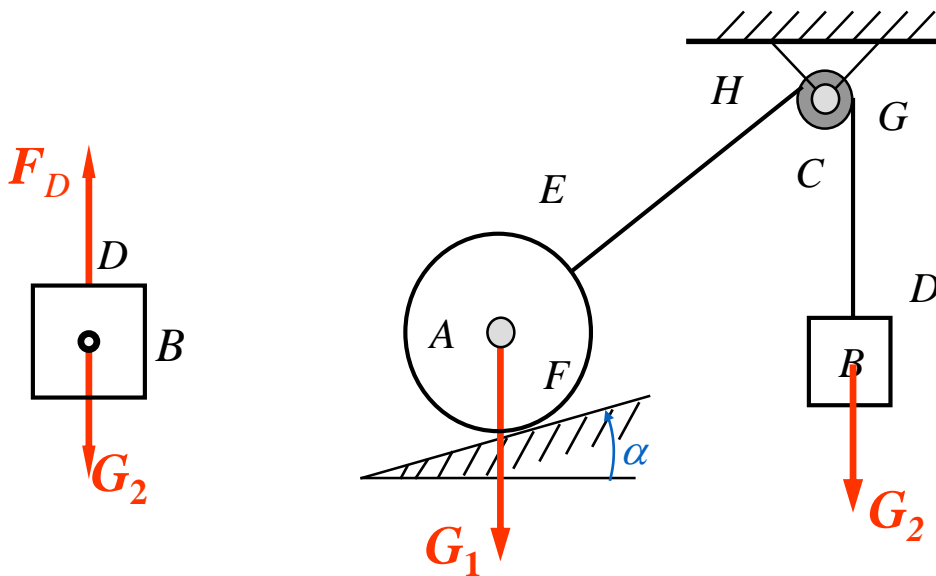
(3) 在存在约束的地方，按约束类型逐一画出约束力

§ 1-4 物体的受力和受力图

例题1-1 图示的平面系统中，均质球A重 G_1 ，借本身重量和摩擦不计的理想滑轮C和柔绳维持在仰角为 α 的光滑斜面上，绳的一端挂着重 G_2 的物体B。试分析物体B、球A和滑轮C的受力情况，并分别画出平衡时各物体的受力图。

解：

(1) 物体B受力图。

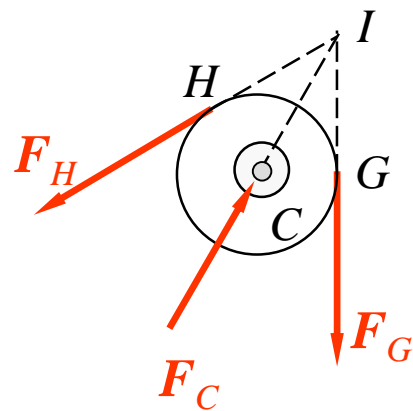
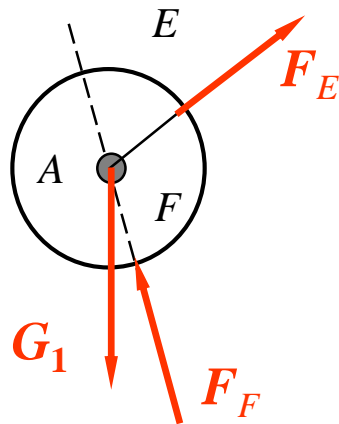
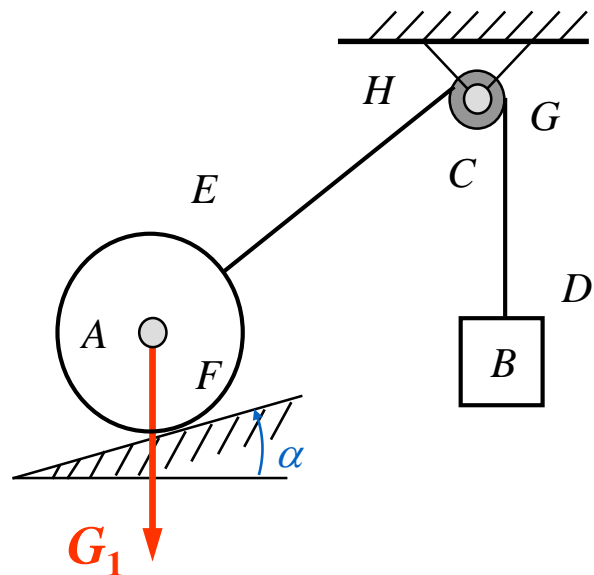
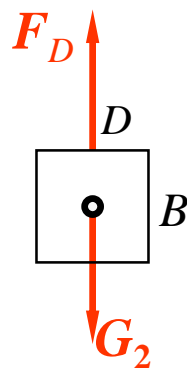


§ 1-4 物体的受力和受力图

解: (1) 物体B受力图。

(2) 球A受力图。

(3) 滑轮C的受力图。

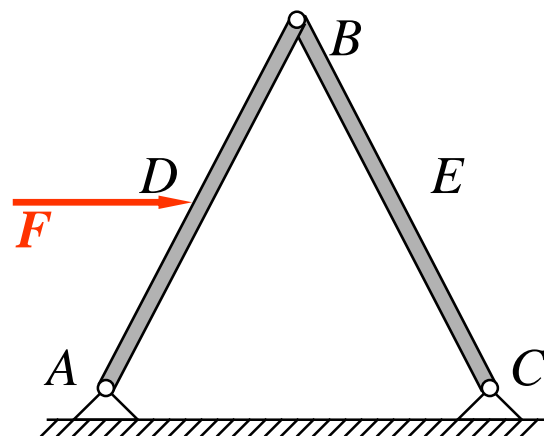
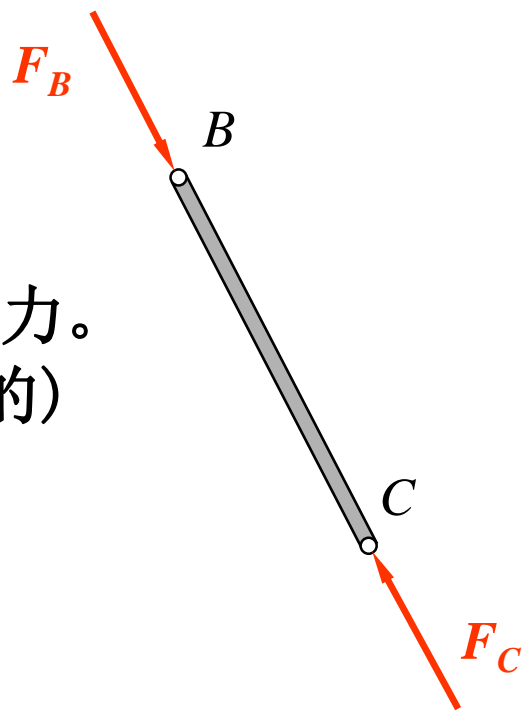


§ 1-4 物体的受力和受力图

例题1-2 等腰三角形构架 ABC 的顶点 A 、 B 、 C 都用铰链连接，底边 AC 固定，而 AB 边的中点 D 作用有平行于固定边 AC 的力 F ，如图所示。不计各杆自重，试画出 AB 和 BC 的受力图。

解：

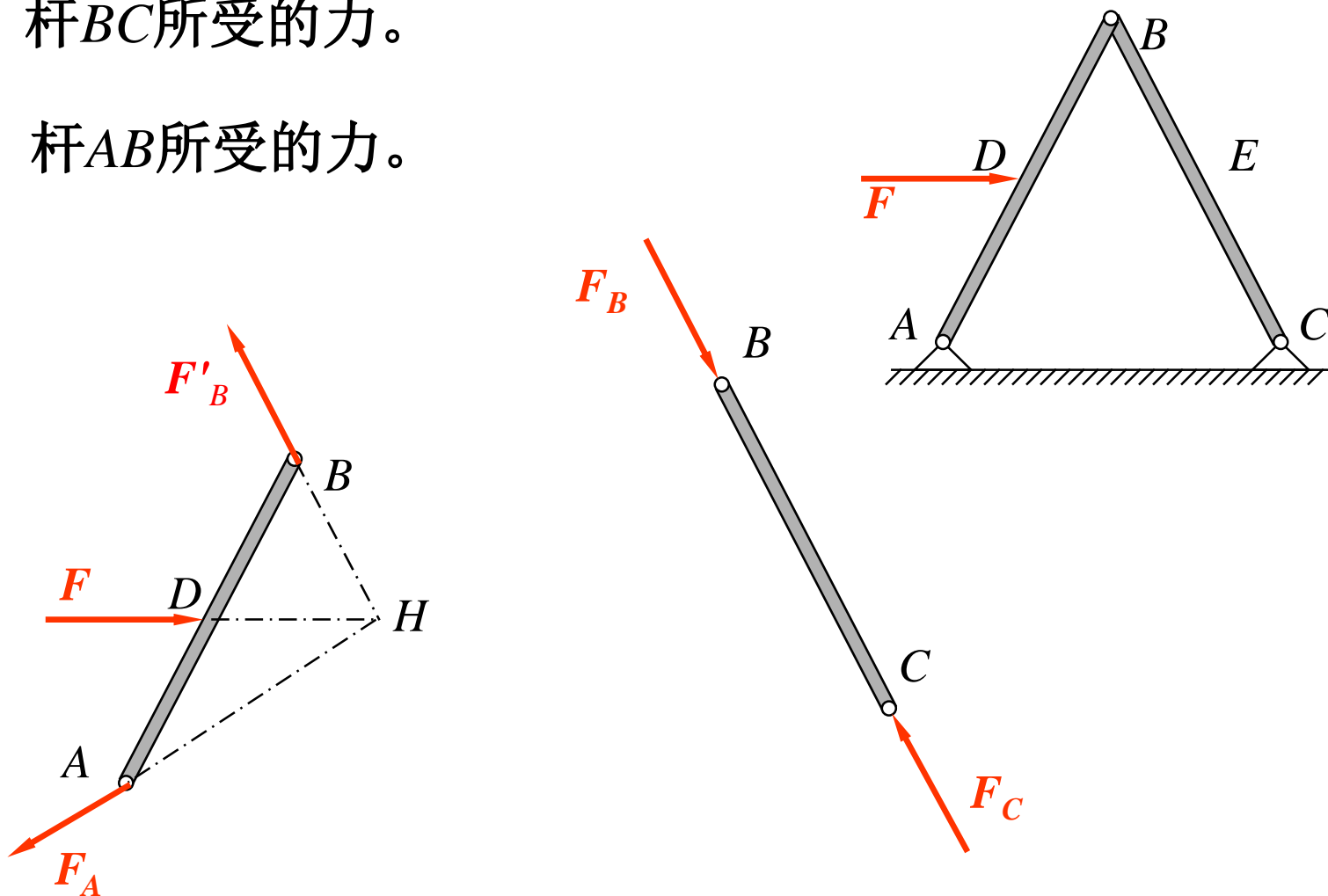
(1) 杆 BC 所受的力。
(先分析受力少的)



§ 1-4 物体的受力和受力图

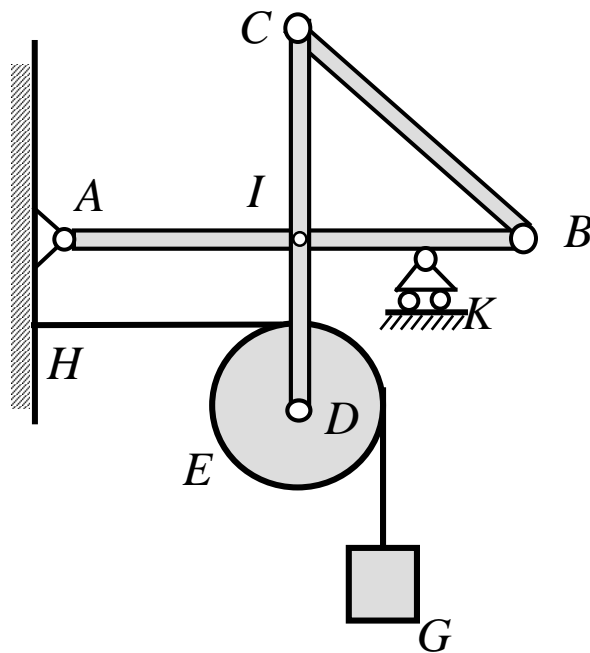
解：(1) 杆 BC 所受的力。

(2) 杆 AB 所受的力。



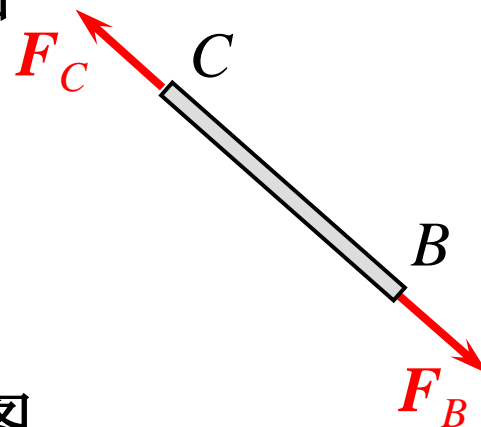
§ 1-4 物体的受力和受力图

例题1-3 如图所示的结构，由杆 AB 、 BC 、 CD 与滑轮 E 铰接构成，物块重 G ，用绳子挂在滑轮上。若杆、滑轮及绳子的重量不计，并忽略各处的摩擦。试分别画出杆 BC 、杆 CD 、杆 AB 、滑轮 E 和物块、结构整体的受力图。

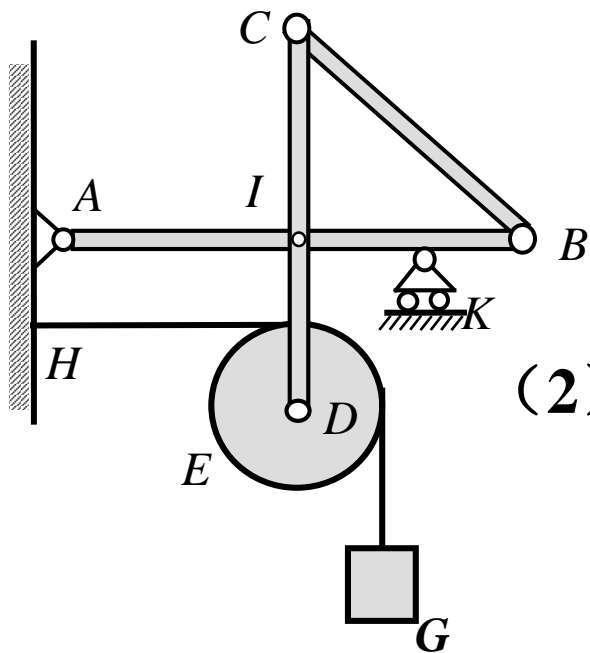
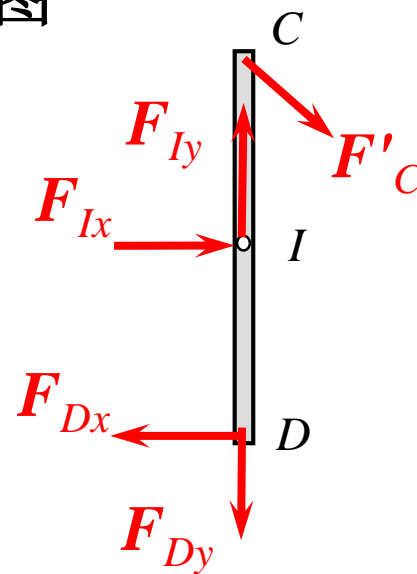


§ 1-4 物体的受力和受力图

解：（1）杆 BC 的受力图

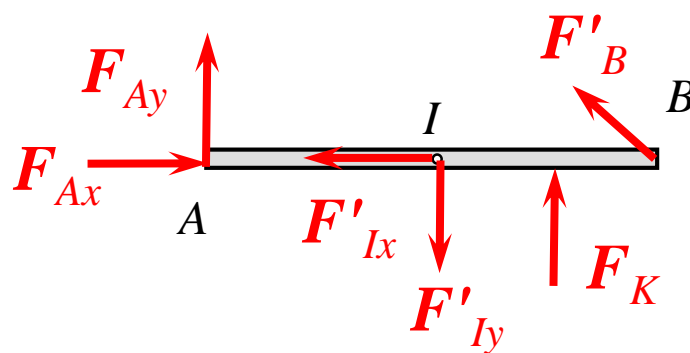
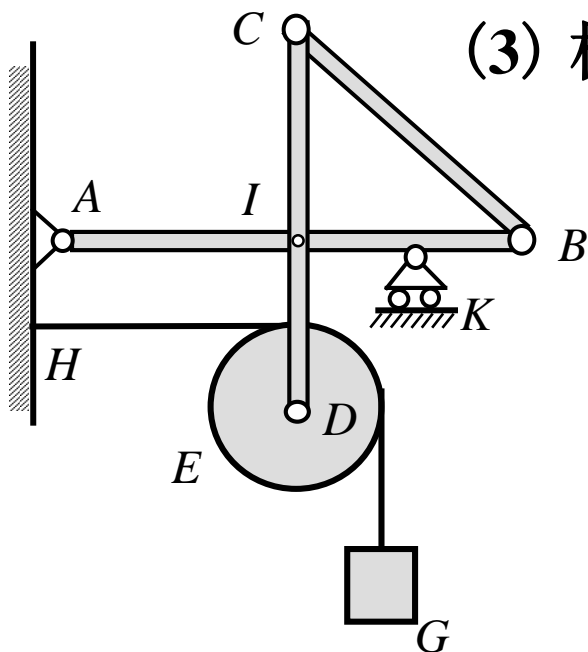


（2）杆 CD 的受力图

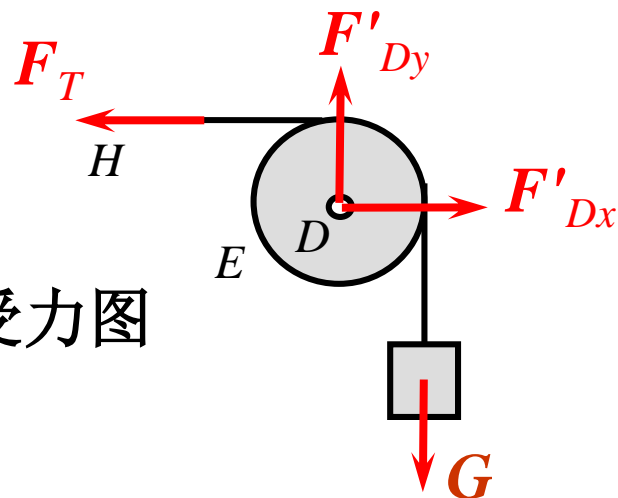


§ 1-4 物体的受力和受力图

(3) 杆 AB 的受力图

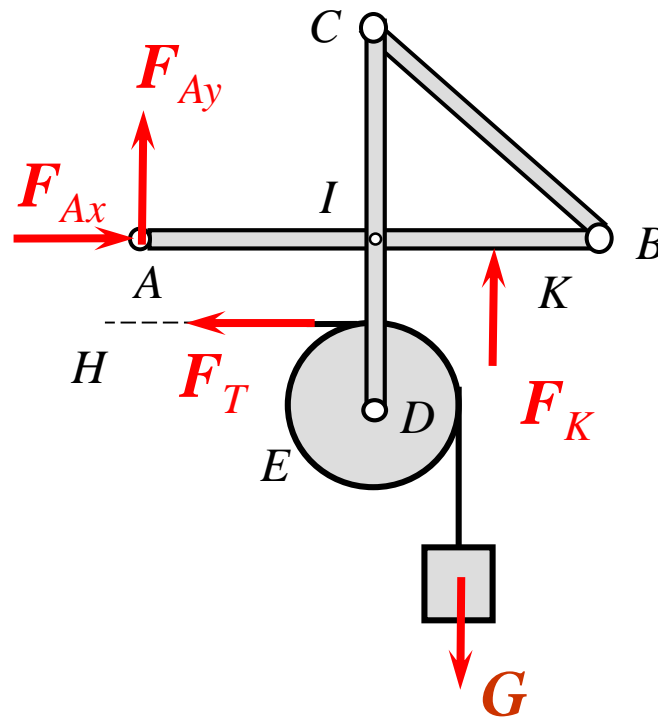
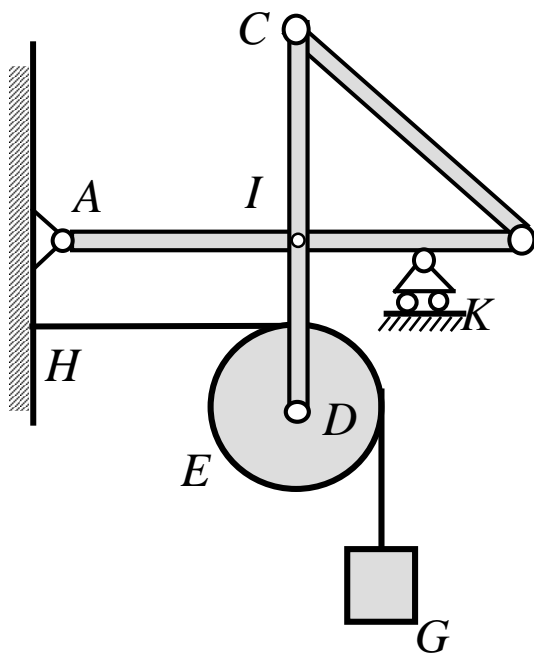


(4) 滑轮E和物块的受力图

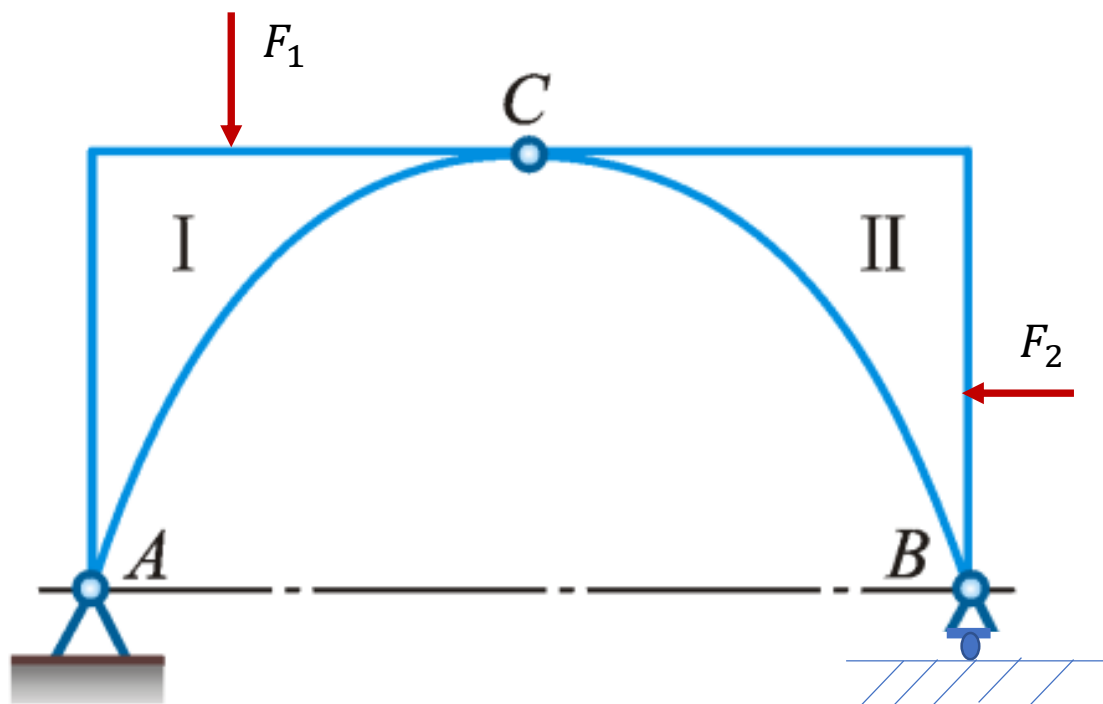


§ 1-4 物体的受力和受力图

(5) 结构整体的受力图



测验：不计构件重量，画出两个构件的受力图。



课后作业：

Page 21~23 习题：

1-1 (e, f, h)

1-2 (c, d, f, h, l)

