

# 第一章

## 力学基础

机床、内燃机等各种机械都是由许多不同的构件组成的。当机械工作时，这些构件将受到外力作用，因此，对机械的研究、制造和使用都应以力学理论为基础，以保证机械及其构件具有足够的承载能力，使机械安全、可靠地工作。本章主要就理论力学基础（静力学部分）和材料力学基础做简要介绍。

### 第一节 刚体的受力分析

机械运动是物体在空间的相对位置随时间而发生的改变。理论力学是研究物体机械运动一般规律的科学。如汽车行驶、地球的转动，内容包括静力学、运动学、动力学。

物体相对于地球处于静止状态或作匀速直线运动称为平衡。物体受力情况和物体在外力作用下的平衡规律则为静力学。

一般情况下，构件受力后产生的变形，相对构件的几何尺寸而言是微小的，对研究构件整体平衡或运动影响甚微，可忽略不计，从而可近似认为构件受力时不产生变形，这种理想化的物体称为刚体。这样，在研究构件平衡问题时，略去与平衡无关或关系甚少的因素，可使问题的研究得到简化。

#### 一、力的定义

力是物体间的相互机械作用，这种作用使物体的运动状态发生变化或物体产生变形。这种作用存在于物体与物体之间，例如物体相互吸引的万有引力，相互接触物体之间的挤压力，以及相互接触且具有相对运动或运动趋势的物体间的摩擦力等，都是物体之间产生的相互作用。也就是说，物体的机械运动状态发生的变化，都是由于其他物体对该物体所施加的力的作用结果。力的作用效果取决于 3 个要素，称为力的三要素( 见图 1.1 ):

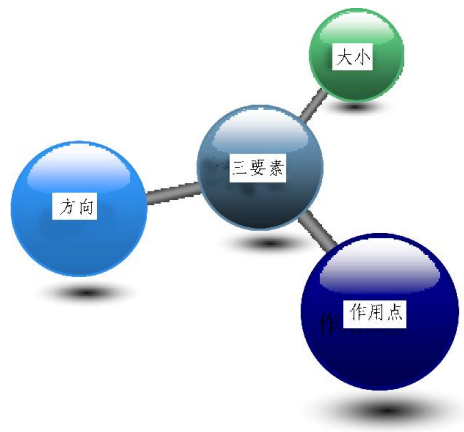


图 1.1

图 1.1 ):

( 1 ) 力的大小，表示物体间相互机械作用的强弱程度。

( 2 ) 力的方向，表示力的作用线在空间的方位和指向。

( 3 ) 力的作用点，表示力的作用位置。

力是一个既有大小又有方向的矢量。如图 1.2 所示，力矢量在图上用带箭头的有向线段  $AB$  表示，箭头的指向表示力的方向，线段的起点表示作用点，大小为有向线段  $AB$  的长度，力矢量常用黑体字线  $F$  表示，在国际单位制中以牛为力的单位，记作  $N$ ，有时也用千牛，记作  $kN$ 。

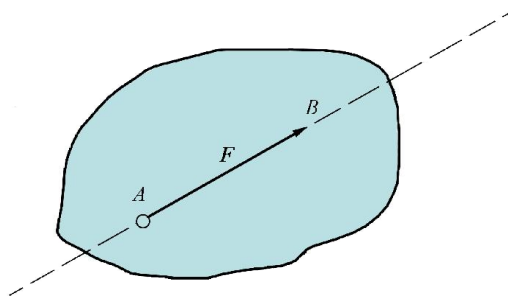


图 1.2

作用于物体上的一群力称为力系。如果物体在一力系的作用下处于平衡状态，则该力系称为平衡力系。

## 二、静力学的基本公理

静力学的基本公理是静力学的基础，是符合客观实际的普遍规律，是人们长期生活和实践积累的经验总结。

### 公理 1 ( 二力平衡公理 )

作用于刚体上的两个力，使刚体处于平衡状态的必要和充分条件是：两力大小相等，方向相反且作用在同一直线上，如图 1.3、图 1.4 所示。

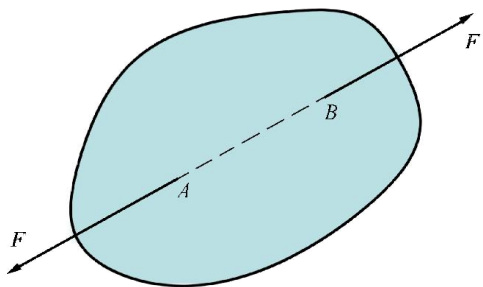


图 1.3



图 1.4

只受两个力作用并处于平衡的物体称为二力构件。在生产实际中广泛存在，如图 1.5 所示， $AB$  杆处于平衡状态，故作用在  $AB$  杆上的两个力大小相等、方向相反，作用在两力作用点的连线上。如果构件是直杆，则称为二力杆件（简称二力杆）。

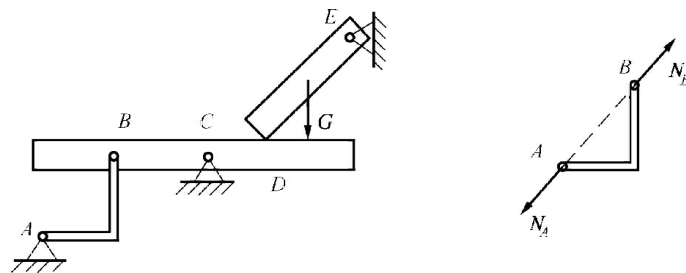


图 1.5

### 公理二 ( 加减平衡力系公理 )

在作用着已知力系的刚体上加上或减去任一平衡力系, 并不改变原力系对刚体的效应, 如图 1.6 所示。

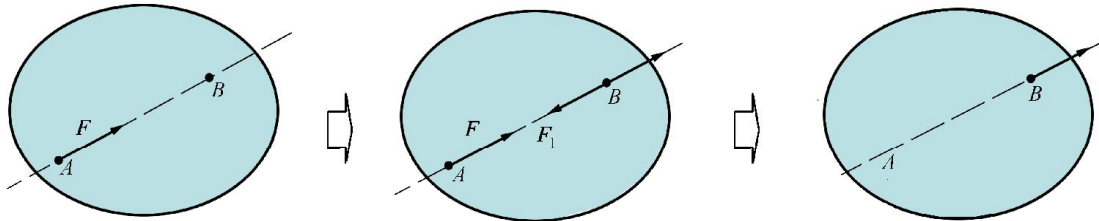


图 1.6

### 推论 1 ( 力的可传递性 )

作用于刚体的力可沿其作用线移至刚体的任一点, 而不改变此力对刚体的效应, 如图 1.7 所示。

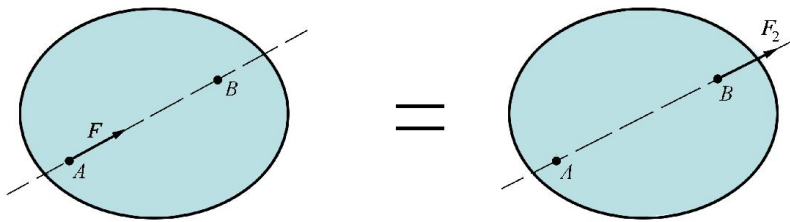


图 1.7

由此可见, 对于刚体来说, 力的作用点已不是决定力的作用效果的要素, 它可被作用线代替。故力的三要素可改变为大小、方向、作用线。

### 公理三 ( 力的平行四边形公理 )

作用于物体同一点上的二力可以合成为一个力 ( 称为合力 )。合力作用点仍在该点, 合力的大小和方向由以两分力为邻边构成的平行四边形的对角线确定。例如, 以作用于  $O$  点的二力  $F_1$ 、 $F_2$  的力矢构成平行四边形  $OACB$ , 则对角线就代表合力矢  $R$  [图 1.8 ( a ) ]。即:

$$R = F_1 + F_2 \quad (1-1)$$

显然, 只作出力三角形  $BAC$  [图 ( b ) ], 也可求得合力矢  $R$ 。

### 推论 2 ( 三力平衡汇交定理 )

当刚体受 3 个力作用而处于平衡时, 若其中两个力的作用线汇交于一点, 则第三个力的作用线必

交于同一点，且 3 个力的作用线在同一平面内。如图 1.9 所示， $F_1$ 、 $F_2$  汇交于一点 A，则  $F_3$  通过该点。

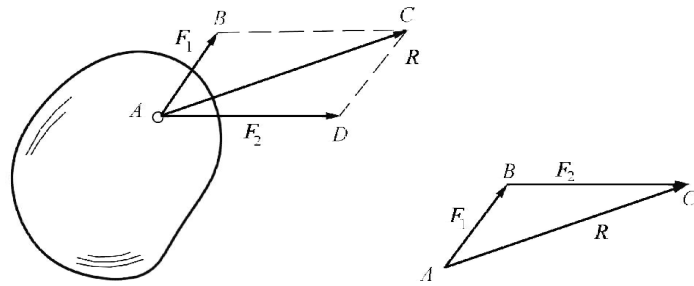


图 1.8

#### 公理四（作用力与反作用公理）

作用力与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。如图 1.10 所示，榔头锤击钉子，榔头对钉子的作用力为  $F_{12}$ ，钉子对榔头产生一个反作用力  $F_{21}$ ，这两个力即为作用力与反作用力， $F_{12} = -F_{21}$ 。

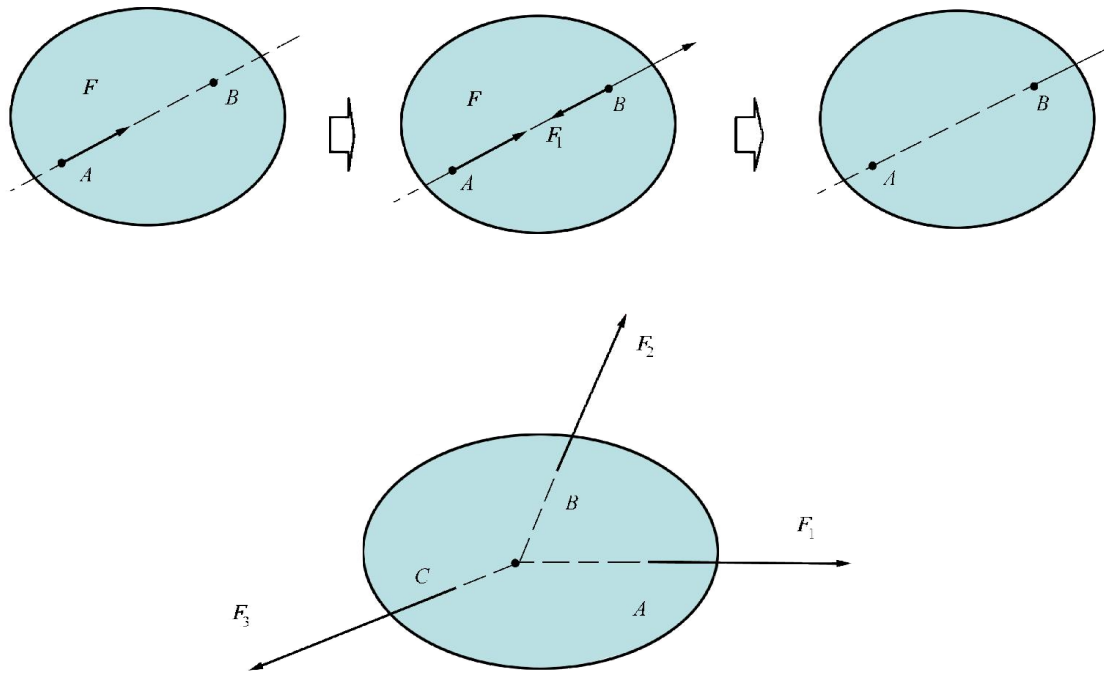


图 1.9

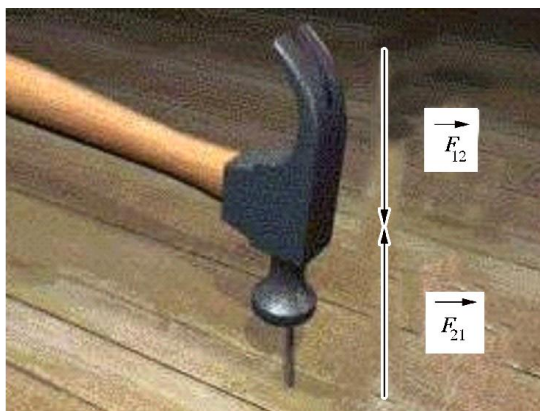


图 1.10

公理四说明了物体之间的相互关系，表明作用力与反作用力总是成对出现的，不能把作用力与反作用力看成是一对平衡力。

### 三、约束和约束反力

我们把空间不受位移限制的物体称为自由体，如飞机、气球等（见图 1.11）。



图 1.11

而有些物体在空间的位移受到一定限制，称它们为非自由体，如：机车受钢轨的限制只能沿轨道行驶，吊车吊起的重物受钢索的限制不能下落。在工程实际中，每个构件都以一定的形式与周围物体相互连接，因而其运动受到一定的限制。凡是对物体运动起限制作用的周围物体，就称为约束。如图 1.12 所示，放在地面上的物体，其向下的运动受到地面的限制，地面就是物体的约束。

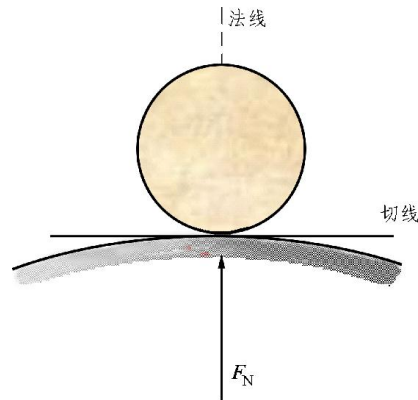


图 1.12

约束是限制物体的运动，且这种限制是通过力的作用来实现的。因此，约束对物体的作用实际上就是力，这种力叫约束反力，简称反力。约束反力的方向与约束对物体限制其运动趋势的方向相反。约束反力的作用点即是约束与物体之间的相互作用点。在物体平衡力系中，约束反力总是未知的，往往需要和物体受到的其他已知力组成平衡力系，通过平衡条件求得其大小和方向。我们可以把物体所受的力分为两类：

一类是使物体产生运动或运动趋势的力，称为主动力，如重力，切削力；

另一类是限制物体运动的力，即约束反力。

物体所受主动力往往是给定的或是可测定的。

#### 1. 光滑接触表面的约束

两物体相互接触，当接触表面非常光滑，摩擦可忽略不计时，即属于光滑接触表面约束。这类约束不能限制物体沿约束表面切线的位移，只能阻碍物体沿接触表面法线并向约束内部的位移。因此，光滑接触对物体的约束反力作用在接触处，方向沿接触表面的公法线并指向受力物体。这种约束反力称为法向反力，用  $F_N$  表示。

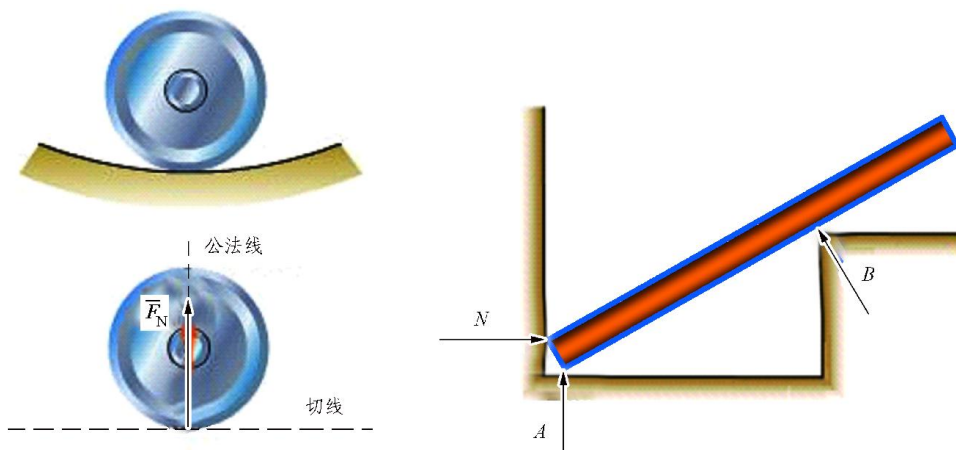


图 1.13

## 2. 柔性约束

由柔软的绳索、链条或胶带等构成的约束称为柔性约束。

如图 1.14 (a) 所示的绳索只受拉，它给物体的约束反力只能是拉力。因此，绳索对物体的约束反力作用在接触点，方向沿绳索背离物体。链条或胶带对物体的约束反力如图 1.14 (b) 所示，约束反力为拉力，方向沿轮缘的切线方向。

柔性约束只能限制物体沿柔体中心线背离柔体的运动，不能限制物体沿其他方向的运动；约束反力通过接触点沿柔体的中心线背离被约束物体，即物体受拉力。

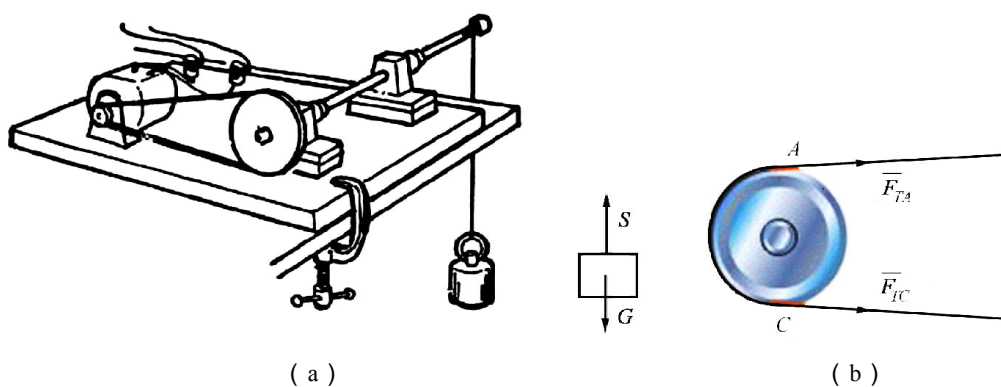


图 1.14

## 3. 光滑的铰链约束

由铰链构成的约束称为铰链约束。约束物与被约束物以光滑圆柱面相连接。其中一个为约束物，



另一个为被约束物，只允许相对转动，而不允许相对移动。约束物不动时，称为固定铰链支座，简称固定铰支，其简图如图 1.15 (b) 所示。约束力为过接触点  $A$  沿径向的压力，由于接触点在圆周上的位置不能预先确定，因此，通常用两个相互垂直的分力代替，如图表示为  $F_{ax}$ 、 $F_{ay}$ 。两分力的方位和指向可任意假设，假设与实际是否一致，由计算结果判定。

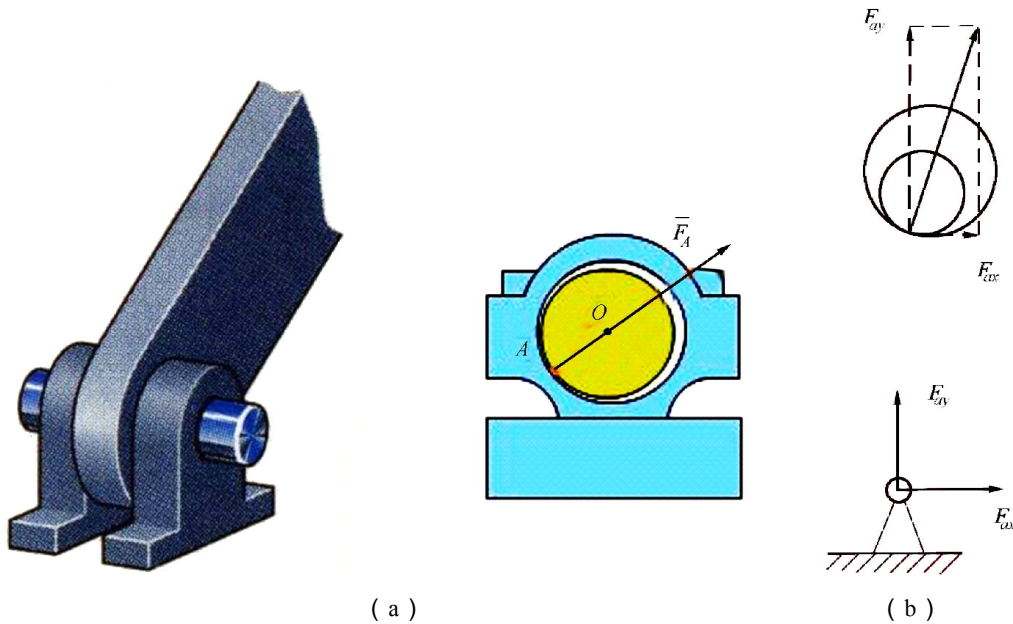


图 1.15

若在固定铰支座的下面放置一排辊轴，支座便可以沿支承面移动，称为活动铰支座，简称活动铰支，如图 1.16 (a) 所示。

活动铰支座只能限制物体沿垂直于支承面方向的运动，不能限制物体沿支承面的运动和绕销钉的转动；约束反力垂直于支承面，并通过铰链中心。活动铰支的约束性质与光滑接触表面的约束性质相同，其反力必垂直于固定面，如图 1.16 (b) 所示  $F_N$ 。

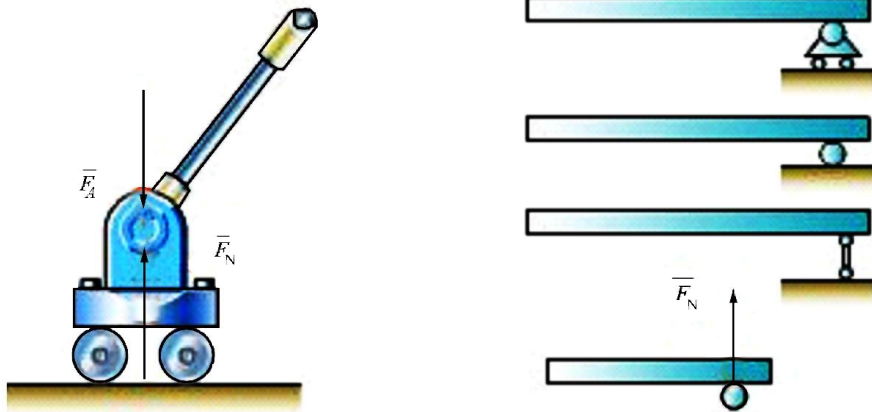


图 1.16

上述两种约束的特点是限制两物体径向相对运动，而不是限制两物体绕铰链中心相对转动。

#### 四、物体受力和受力图

解决力学问题时，首先要选定需要进行研究的物体，即确定研究对象；然后考察和分析它的受力情况，这个过程称为进行受力分析。受力分析是指研究某个物体受到的力，并分析这些力对物体的作用情况，即研究各个力的作用位置、大小和方向。

为了清晰地表示物体受力情况，常需把研究的物体（称为受力体）从周围物体（称为施力体）中分离出来，然后把其他物体对研究对象的全部作用力用简图形式画出来。这种表示物体受力的简图形式，称为受力图。

受力分析过程：

- (1) 取研究对象或取分离体：把需要研究的物体从周围的物体中分离出来，单独画出它的简图。
- (2) 画受力图：将施力体对研究对象的作用力全部画在简图上（先主动力，后约束反力）。

受力分析是理论力学乃至整个力学课程的基本功，正确分析受力、画好受力图是解决力学问题的关键性的第一步。下面举例说明：

例 1-1：用力  $F$  拉动碾子以压平路面，碾子受到一台阶阻碍，如图 2.17 (a) 所示，画出碾子

受力图。

解：(1) 取碾子为研究对象，单独画出其简图。

(2) 受力分析：画出已知主动力（重力  $W$ 、杆对碾子的拉力  $F$ ）。因碾子在  $A$ 、 $B$  两点受到石块和地面的约束，故在  $A$  处受到法向约束反力  $F_{NA}$  的作用，在  $B$  处受到地面的法向力  $F_{NB}$  的作用，它们都沿碾子接触点的公法线指向圆心  $O$ 。

(3) 画出受力简图，如图 1.17 (b) 所示。

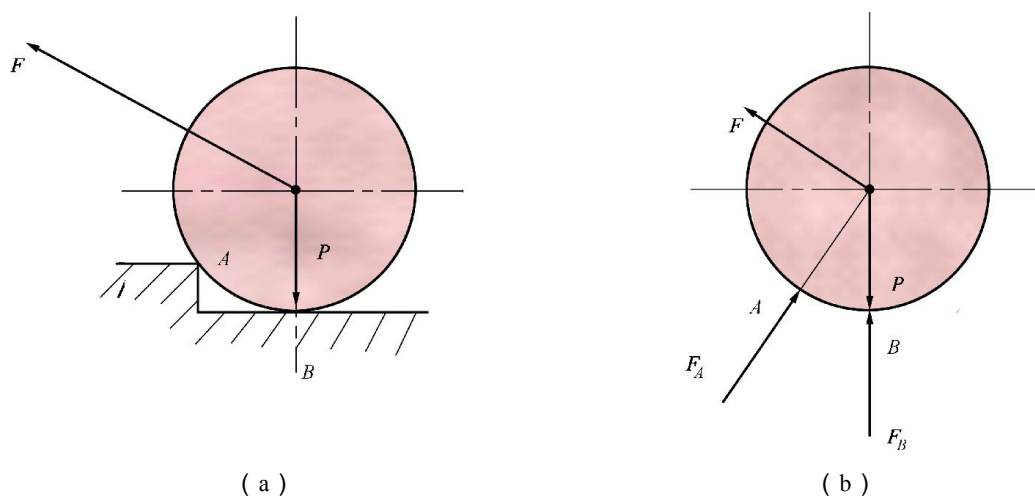


图 1.17

例 1-2：在如图 1.18 (a) 所示的平面系统中，匀质球  $A$  重  $G_1$ ，借本身重量和摩擦不计的理想滑轮  $C$  和柔绳维持在仰角是  $\alpha$  的光滑斜面上，绳的一端挂着重  $G_2$  的物块  $B$ 。试分析物块  $B$ ，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) 物块  $B$  的受力图。

物块  $B$  受到自身重力  $G$  和绳索的约束，所受绳索的约束为柔性约束，绳索对物体的约束反力作用在接触点，方向沿绳索背离物体，如图 1.18 (b) 所示。

(2) 球  $A$  的受力图。

球  $A$  受到自身重力  $G$ 、绳索的柔性约束和坡面的光滑面约束，绳索的约束反力作用在接触点，方

向沿绳索背离物体；坡面约束反力作用在接触点，方向沿接触表面的公法线并指向受力物体，如图 1.18

(c) 所示。

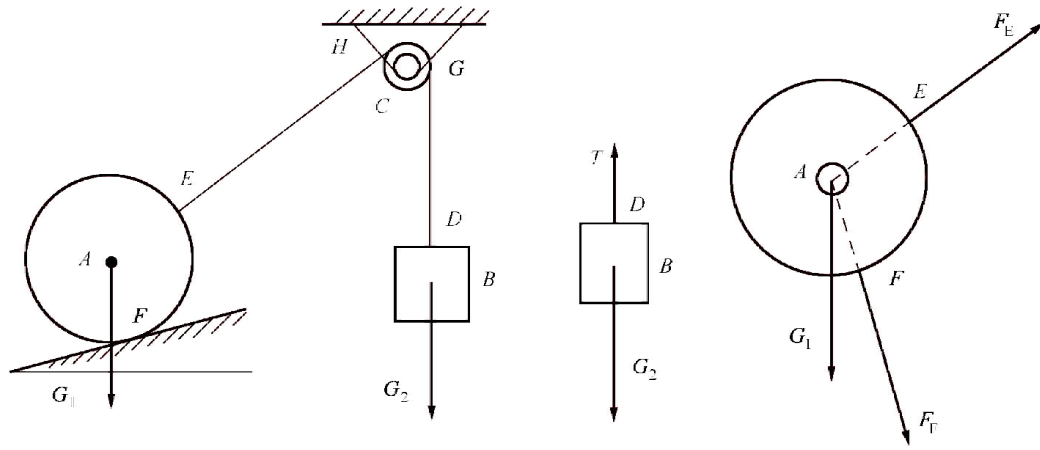


图 1.18