

# 第一章 力学基础知识

## 绪论学习支持

### 知识目标:

了解力，重力的概念，明确力的三要素，作用力和反作用力，会画受力分析图。了解平面汇交力系的基本概念，合成。知道力臂，力矩，力偶等概念及其性质，会合成平面内的力偶系。知道力的平移定理，会合成和平衡一般平面力系。了解摩擦，磨损等概念，知道润滑的基本原理，知道润滑油的性质和选用的要求。

### 能力目标:

在掌握力学的基础知识的基础上，会分析一些吊索具的受力情况，能进行一些简单的计算。

# 第一节 力的性质

## 一、力的概念

力的概念是人们在长期的生活和生产实践中经过观察和分析，逐步形成和建立的。当人们用手握、拉、掷、举物体时，由于肌肉紧张而感受到力的作用。这种作用广泛地存在于人与物及物与物之间。例如用手推小车，小车受了“力”的作用，由静止开始运动，用锤子敲打会使烧红的铁块变形等。人们从大量的实践中，形成力的科学概念，即力是物体间相互的机械作用。这种作用一是使物体的机械运动状态发生变化，称为力的外效应；另一个是使物体产生变形，称为力的内效应。

## 二、物体重力

物体所受的重力是由于地球的吸引而产生的。重力的方向总是竖直向下的，物体所受重力大小**G**和物体的质量**m**成正比，用关系式 **$G=mg$** 表示。通常，在地球表面附近，**g**取值为 **$9.8\text{N/kg}$** ，表示质量为**1kg**的物体受到的重力为 **$9.8\text{N}$** 。在已知物体的质量时，重力的大小可以根据上述的公式计算出来。

例：起吊一质量为 **$5 \times 10^3\text{kg}$** 的物体，其重力为多少？

解：根据公式： **$G=mg$**

$$=5 \times 10^3 \times 9.8$$
$$=49 \times 10^3 \text{ (N)}$$

答：物体所受重力为 **$49 \times 10^3\text{N}$** 。

在国际单位制中，力的单位是牛顿，简称“牛”，符号是“**N**”。

在工程中常冠以词头“**kN**”、“**dan**”，读作“千牛”、“十牛”。与以前工程单位制采用的“公斤力(**kgf**)”的换算关系：

$$1\text{公斤力(kgf)}=9.8\text{牛(N)}\approx 10\text{牛(N)}$$

### 三、力的三要素

我们把力的大小、方向和作用点称为力的三要素。改变三要素中任何一个时，力对物体的作用效果也随之改变。

例如用手推一物体，如图1—1所示，若力的大小不同，或施力的作用点不同，或施力的方向不同都会对物体产生不同的作用效果。

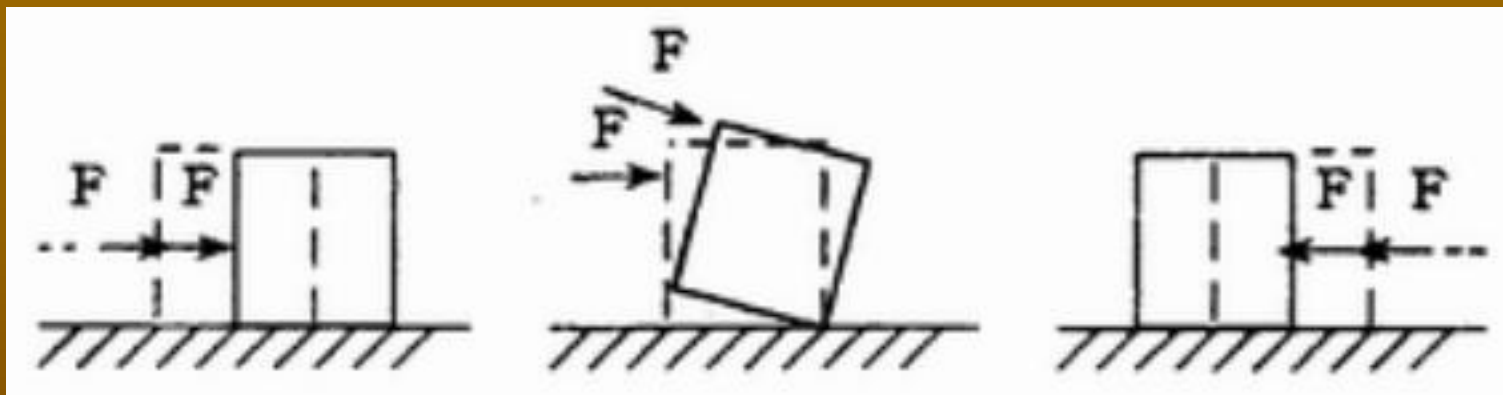


图1—1所示

在力学中，把具有大小和方向的量称为矢量。因而，力的三要素可以用矢量图(带箭头的线段)表示，如图1—2所示。

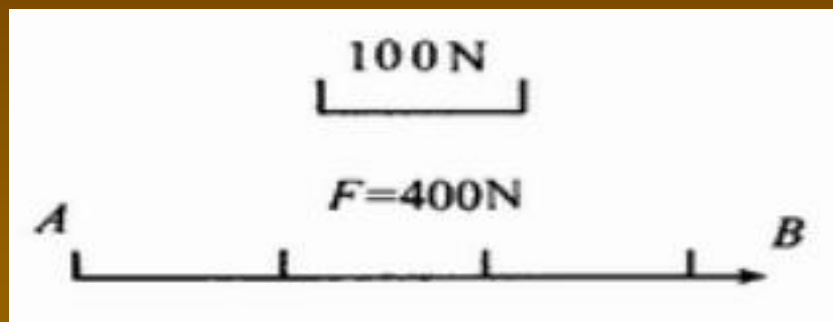


图1—2

作矢量图时，从力的作用点A起，沿着力的方向画一条与力的大小成比例的线段AB(如用1cm长的线段表示100N的力，那么400N就用4cm长的线段)，再在线段末端画出箭头，表示力的方向，文字符号用黑体字F表示，并以同一字母非黑体字F表示力的大小，书写时则在表示力的字母F上加一横线  $\vec{F}$  表示矢量。

#### 四、作用力和反作用定律

力是一个物体对另一个物体的作用。一个物体受到力的作用，必定有另一个物体对它施加这种作用，那么施力物体是否也同时受到力的作用呢？

如图1—3中，绳索下端吊有一重物，绳索给重物的作用力为了，重力给绳索的反作用力为 $T'$ ， $T$ 和 $T'$ 等值、相反、共线且分别作用在两个物体上。



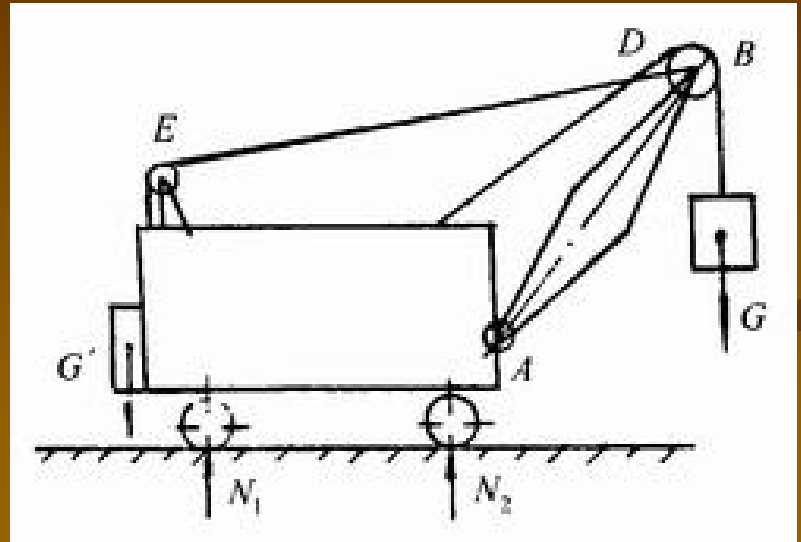
图1—3 力的作用力与反作用力

以上事例说明：物体间的作用是相互的。这一对力叫做作用力和反作用力。我们把其中的一个力叫做作用力，另一个就叫做反作用力，它们大小相等，方向相反，分别作用在两个物体上。

## 五、支承反力和受力图

### 1. 支承反力

以起重机简图为例，如图所示。



当起重机吊起重物后静止不动时，重物在重力作用下而不能下落，因为有起升绳拉住它。起升绳就是重物的支承，吊臂**AB**是由**A**处轴销和拉索**DE**支承的，起重机整体又是由地面支承的。

一个构件由另一构件支承，另一构件给这个构件的反作用力叫做支承反力。支承是限制运动的，所以支承反力的方向就和支承所能限制的运动方向相反。不同的支承对物体的作用不同，因此支承反力也不一样，这里只介绍柔索和光滑面支承反力。

(1) 柔索：起升绳阻止重物下落，它给重物一个支承反力（拉力），此力沿绳子方向、大小和 $G$ 的重力相等，如图1—5所示。

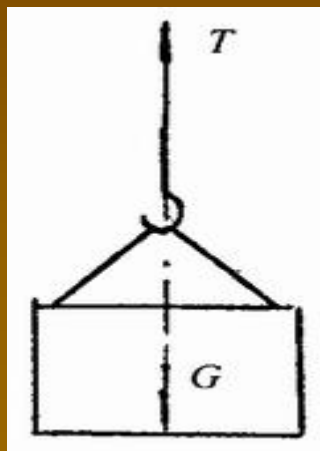


图1—5 受力图

(2) 光面支承：（起重机简图）整体起重机用轮子支承在地面上，由于地面支承，轮子不能向下移动，沿垂直方向有 $N_1$ 、 $N_2$ 支承反力， $N_1$ 、 $N_2$ 的大小等于整个起重机和重物的重力。



## ■ 2. 受力图

- 全面地分析结构的约束情况，包括外力、支承反力后，用一个简图清楚地表示出全部受力情况，这个图称为受力图。
- 受力图有整体和局部之分，一般可只画所需要的局部受力图。
- 画受力图时，首先确定出研究对象，具体分析已知条件和要求的未知量，把它隔离出来，去粗取精画出受力图。
- 例如我们要分析吊钩和吊索钢丝绳的受力情况，就可以只画出所需部分。

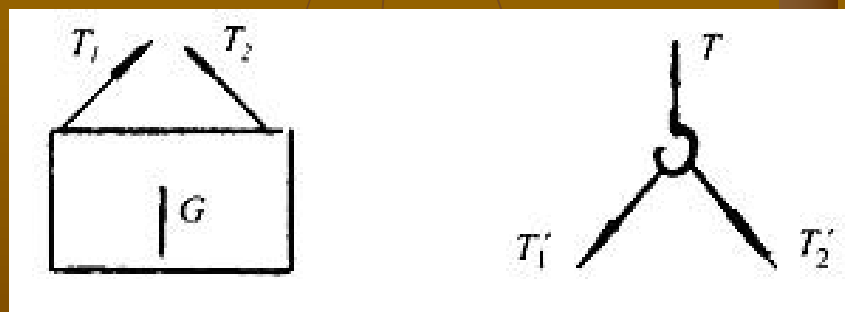
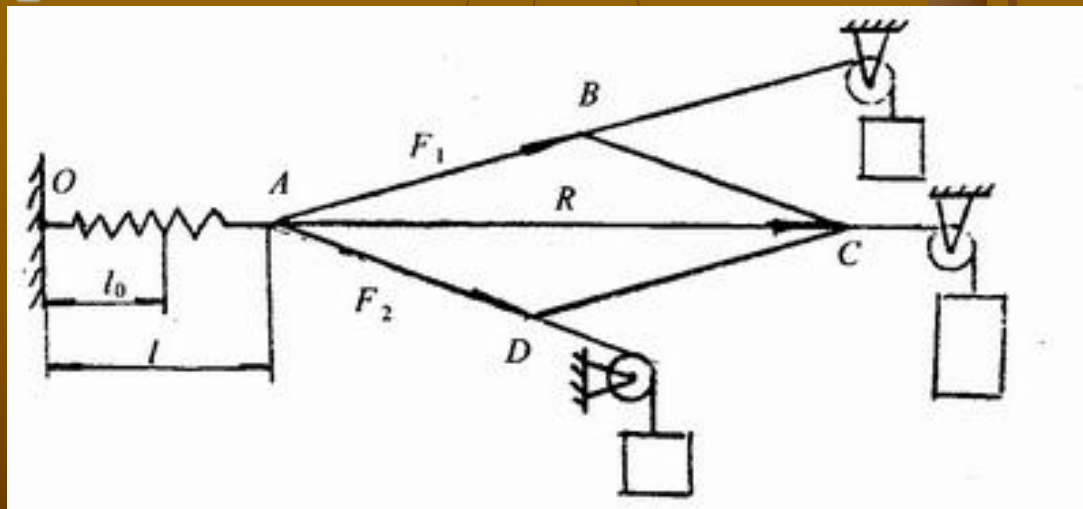


图1—6吊钩和吊索钢丝绳的受力图

## 六、力的合成分解

### 1. 两个共点力的合成

- 作用于同一点并互成角度的力称为共点力，两力的合力作用效果我们可以下例演示来证明。如图所示，弹簧长度 $l_0$ ，一端挂在O点，另一端在A点，各沿AB和AD方向加力 $F_1$ 和 $F_2$ ，力的大小按比例尺画出。在 $F_1$ 、 $F_2$ 两力作用下，弹簧由 $l_0$ 沿OA伸长为 $l$ ，然后去掉 $F_1$ 、 $F_2$ 两力。在AC方向施加力 $R$ (利用法码逐渐加力)，使弹簧同样沿OA由 $l_0$ 伸长为 $l$ ，按比例尺画上 $R$ 。弹簧变形相等，受力相等，可知 $F_1$ 、 $F_2$ 两力的合成效果和只一个力的作用效果相等， $R$ 是 $F_1$ 、 $F_2$ 两力的合力。

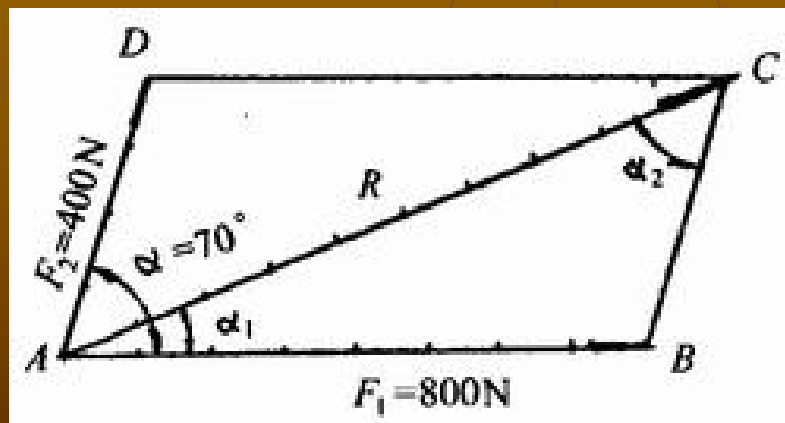


如果以F1、F2作为两邻边，画平行四边形，我们发现合力R正好是它的对角线，这就证明了力的平行四边形法则，即：两个互成角度的共点力，它们合力的大小和方向，可以用表示这两个力的线段作邻边所画出的平行四边形的对角线来表示。两个力的合力不能用算术的法则把力的大小简单相加，而必须按矢量运算法则，即平行四边形法则几何相加，可用图解法和三角函数计算法。

### (1)图解法

例：已知F1、F2两个力，其夹角为 $70^\circ$ ，F1即AB为800N，F2即AD为400N，求合力R(AC)为多少？

方法：取比例线段1cm代表200N，并沿力的方向将AB和AD二力按比例画出，取AB长4cm代表800N，取AD长2cm代表400N，经B点及D点分别作AD与AB的平分线交于C点，连接AC、量取AC的长为5cm，则合力为 $200\text{N} \times 5 = 1000\text{N}$ 。如图所示。



## (2) 三角函数法

根据三角形正弦定理和余弦定理计算出合力R:

$$\frac{R}{\sin\alpha} = \frac{F_1}{\sin\alpha_2} = \frac{F_2}{\sin\alpha_1}$$

$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\alpha}$$

如上例:

$$\begin{aligned}\text{解: } R &= \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\alpha} \\ &= \sqrt{800^2 + 400^2 + 2 \times 800 \times 400 \times \cos 70^\circ} \\ &= 1009.4(\text{N})\end{aligned}$$

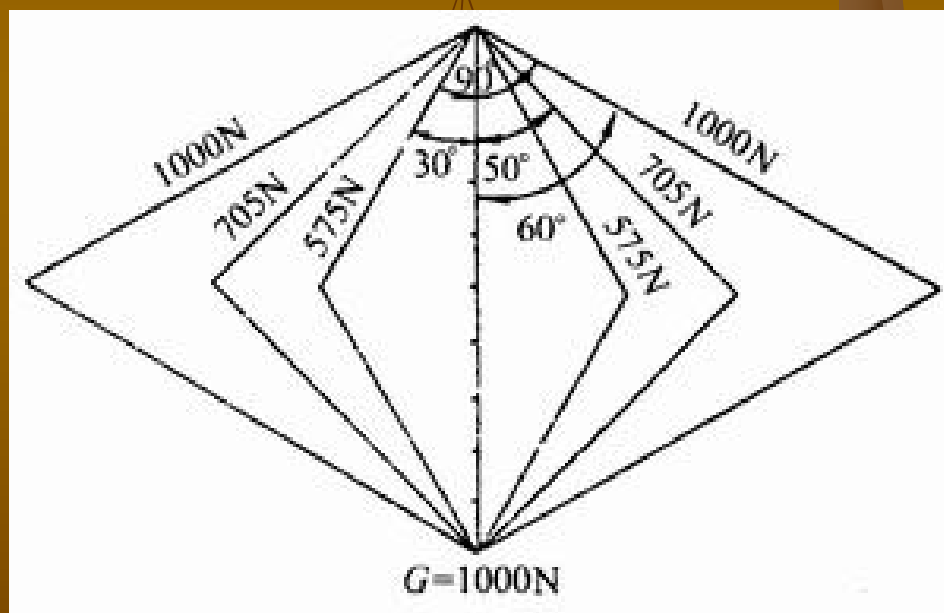
从力平行四边形法则可以看出，F1、F2力的夹角越小，合力R就越大，当夹角为零时，二分力方向相同，作用在同一直线上，合力R最大。

反之，夹角越大，合力R就越小，当夹角为180°时，二分力方向相反，作用在同一直线上，合力最小。

## 2. 力的分解

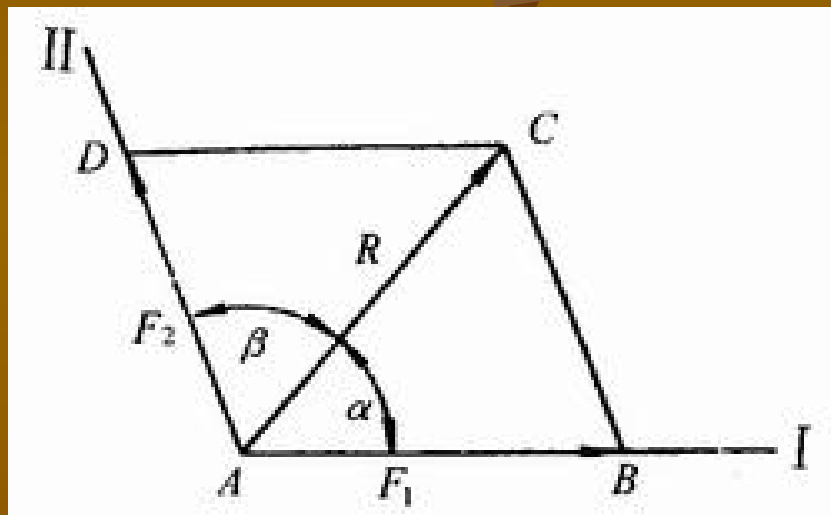
力的分解是力的合成的逆运算，同样可以用平行四边形法则，将已知力作为平行四边形的对角线，两个邻边就是这个已知力的两个分力。显然如果没有方向角度的条件限制，对于同一条对角线可以作出很多组不同的平行四边形。邻边(分力)的大小变化很大，因此应有方向、角度条件。使用吊索时，限制吊索分肢夹角过大是防止吊索超过最大安全工作载荷，而发生断裂。

下图为两根吊索悬吊**1000N**载荷，当两根吊索处于不同夹角时，吊索受力变化如图所示。



## (1)分力图解法

已知合力 $R$ 和两个分力的方向，求两个分力的大小，可通过已知力 $R$ 作用点 $A$ 沿分力的方向(或合力与分力夹角)分别作直线 $A-I$ 、 $A-II$ ，再经过已知合力 $R$ 终点 $C$ 做两个分力 $F_1$ 、 $F_2$ 作用线的平行线，与 $A-I$ 、 $A-II$ 直线交于 $B$ 、 $D$ 两点，得平行四边形 $ABCD$ 。其两邻边 $AB$ 、 $AD$ 就是要求的两个分力，分力的大小可用比例尺量出。



## (2)三角函数法

计算时也可利用三角函数公式。

求力的分解，如上图所示。

## 第二节 平面汇交力系

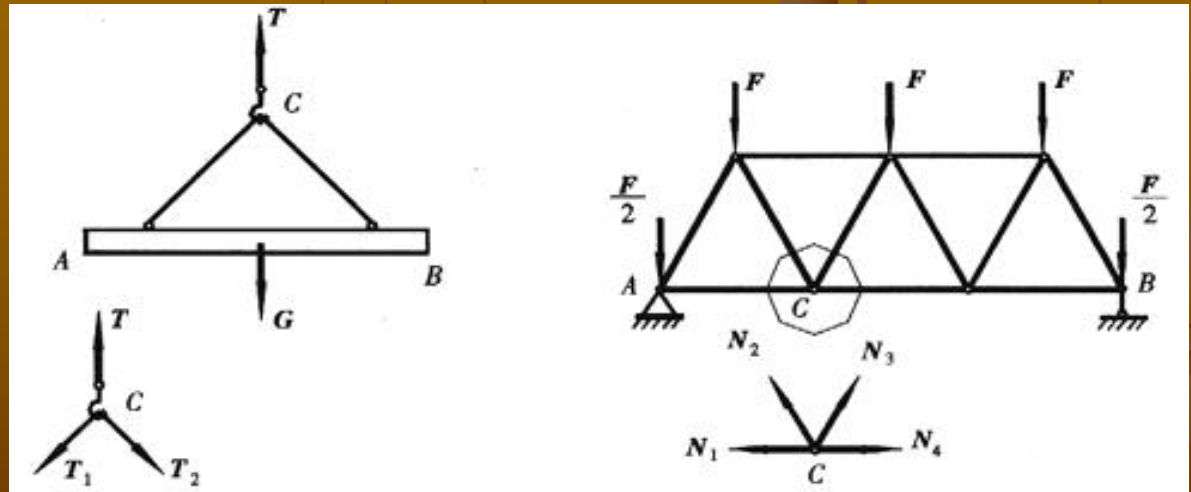
作用在物体上的力系，根据力系中各力的作用线在空间的位置的不同，可分为平面力系和空间力系两类。各力的作用线都在同一平面内的力系称为平面力系，各力的作用线不在同一平面内的力系称为空间力系。在这两类力系中，又有下列情况：

(1)作用线交于一点的力系称为汇交力系；

(2)作用线相互平行的力系称为平行力系；

(3)作用线任意分布(即不完全汇交于一点，又不全都互相平行)的力系称为一般力系。

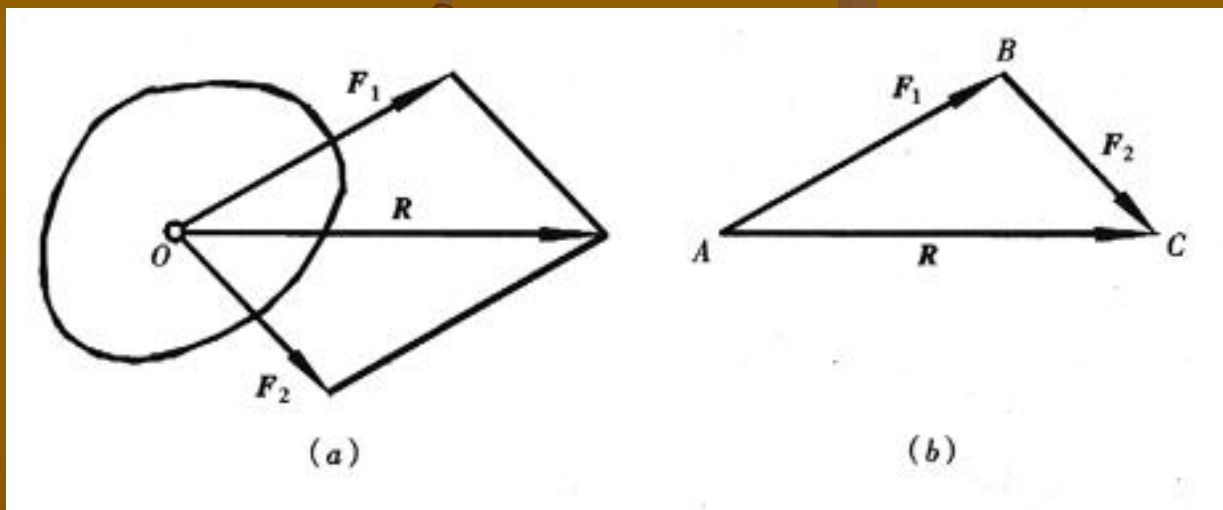
平面汇交力系是一种最基本的力系，它不仅是研究其他复杂力系的基础，而且在工程中用途也比较广泛，如左图所示的起重机，在起吊构件时，作用于吊钩上C点的力，如右图所示的屋架，节点C所受的力都属于平面汇交力系。



## 2.1 平面汇交力系合成的几何法

### 一、两个汇交力的合成

设物体受到汇交于O点的两个力F<sub>1</sub>和F<sub>2</sub>的作用，应用学过的平行四边形法则，求F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub>的合力。先从交点出发，按适当的比例和正确的方向画出F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub>，便可得出相应的平行四边形，其对角线即代表合力R。对角线R的长度和R与F<sub>1</sub>所夹角度，便是合力的大小和方向。为简便起见，在求合力时，不必画出整个平行四边形，而只需画出其中任一个三角形便可解决问题。将两分力首尾相连，再连接起点和终点，所得线段即代表合力。这一合成方法称为力的三角形法则(如图)。



可用式子表示：

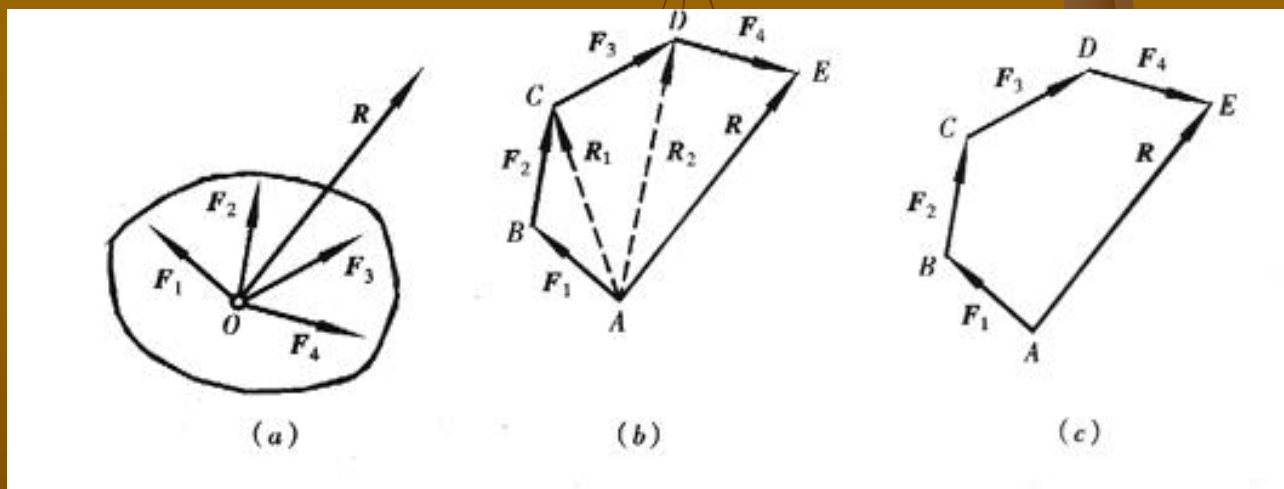
$$\mathbf{R} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2$$

上式为矢量式，不是两力代数相加。



## 二、平面汇交力系的合成

设在物体的A点作用四个汇交力 $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ 、 $F_4$ ，如图(a)所示，求此力系的合力。为此，可连续应用力三角形法则，如图(b)所示，先求 $F_1$ 和 $F_2$ 的合力 $R_1$ ，再求 $R_1$ 和 $F_3$ 的合力 $R_2$ ，最后求 $R_2$ 和 $F_4$ 的合力 $R$ 。显然， $R$ 就是原汇交力系 $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ 、 $F_4$ 的合力。实际作图时，表示 $R_1$ 、 $R_2$ 的力不必画出，可直接按一定的比例尺依次作出矢量 $AB$ 、 $BC$ 、 $CD$ 、 $DE$ ，分别代表力系中各分力 $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ 、 $F_4$ 之后，连接 $F_1$ 的起点和 $F_4$ 的终点，就可得到力系的合力 $R$ ，如图(c)所示。这就是力的多边形法则。在作图时，如果改变各分力作图的先后次序，得到的力多边形的形状自然不同，但所得合力 $R$ 的大小和方向均不改变。由此而知，合力 $R$ 与绘制力多边形的先后次序无关。



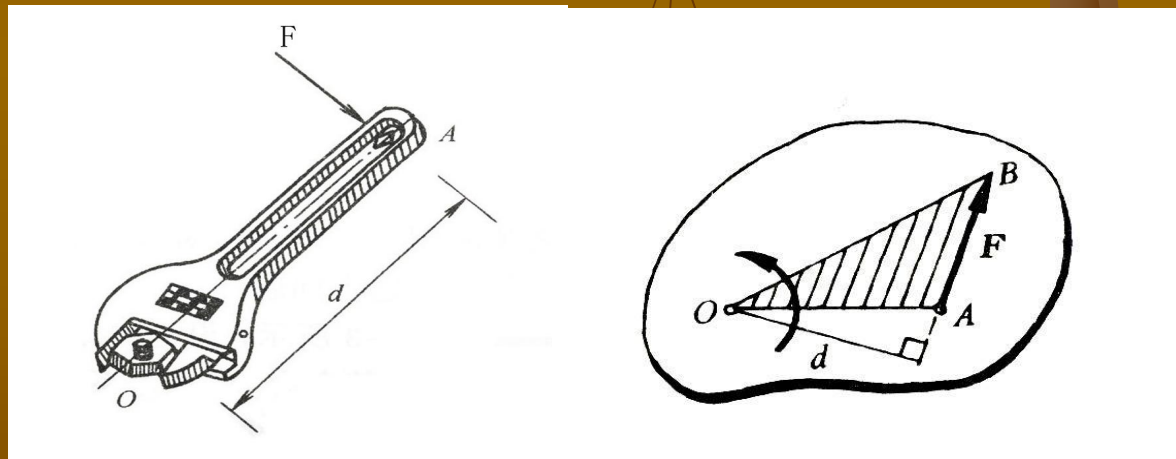
将上述方法推广到由 $n$ 个力组成的汇交力系中，可得结论：平面汇交力系合成的结果是一个作用线通过各力的汇交点的合力，合力的大小和方向由力多边形的封闭边确定，即合力的矢量等于原力系，”各分力的矢量和。用式子表示为：

$$R = F_1 + F_2 + \dots + F_n = \Sigma F \quad (2-1)$$

# 第三节 力矩与平面力偶系

## 3.1 力对点之矩

如下左图所示，在扳手的A点施加一力***F***，将使扳手和螺母一起绕螺钉中心O转动，这就是说，力有使物体（扳手）产生转动的效应。实践经验表明，扳手的转动效果不仅与力***F***的大小有关，而且还与点O到力作用线的垂直距离***d***有关。当***d***保持不变时，力***F***越大，转动越快。当力***F***不变时，***d***值越大，转动也越快。若改变力的作用方向，则扳手的转动方向就会发生改变，因此，我们用***F***与***d***的乘积再冠以适当的正负号来表示力***F***使物体绕O点转动的效应，并称为力***F***对O点之矩，简称力矩，以符号 **$M_O(F)$** 表示，即： $M_O(F) = \pm F \cdot d$



由上右图可以看出，力对点之矩还可以用以矩心为顶点，以力矢量为底边所构成的三角形的面积的二倍来表示。

$$M_O(F) = \pm 2\Delta OAB \text{面积}$$

显然，力矩在下列两种情况下等于零：

(1) 力等于零；

(2) 力的作用线通过矩心，即力臂等于零。

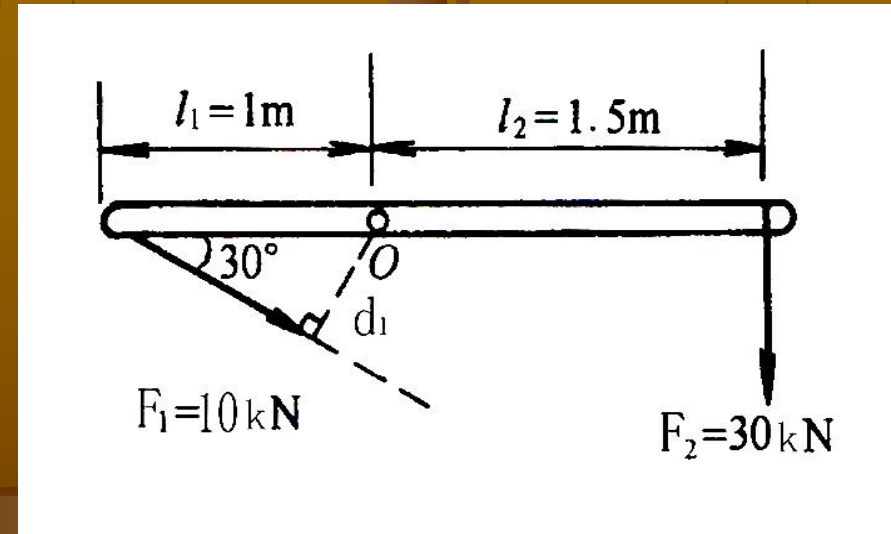
力矩的单位是牛顿·米 (N·m) 或千牛顿·米 (kN·m)

例：分别计算图所示的  $F_1$ 、 $F_2$  对  $O$  点的力矩。

解：由式 (1-1)，有

$$\begin{aligned} M_O(F_1) &= F_1 \cdot d_1 = 10 \times 1 \times \sin 30^\circ \\ &= 5 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_O(F_2) &= -F_2 \cdot d_2 = -30 \times 1.5 \\ &= -45 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$



## 3.2 合力矩定理

证明：如图所示，设在物体上的A点作用有两个汇交的力  $F_1$  和  $F_2$ ，该力系的合力为  $R$ 。在力系的作用面内任选一点O为矩心，过O点并垂直于OA作为y轴。从各力矢的末端向y轴作垂线，令  $Y_1$ 、 $Y_2$  和  $R_y$  分别表示力  $F_1$ 、 $F_2$  和  $R$  在y轴上的投影。由图可见

$$Y_1 = ob_1 \quad Y_2 = -ob_2 \quad R_y = ob$$

各力对O点之矩分别为

$$M_o(F_1) = 2\Delta AOB_1 = Ob_1 \cdot OA = Y_1 \cdot OA$$

$$M_o(F_2) = -2\Delta AOB_2 = -Ob_2 \cdot OA = Y_2 \cdot OA$$

$$M_o(R) = 2\Delta AOB = Ob \cdot OA = R_y \cdot OA$$

(a)

根据合力矩定理有  $R_y = Y_1 + Y_2$

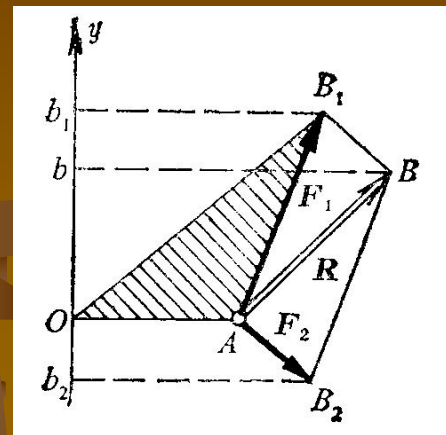
上式两边同乘以OA得  $R_y \cdot OA = Y_1 \cdot OA + Y_2 \cdot OA$

将 (a) 式代入得：  $M_o(R) = M_o(F_1) + M_o(F_2)$

以上证明可以推广到多个汇交力的情况。用式子可表示为

$$M_o(R) = M_o(F_1) + M_o(F_2) + \cdots + M_o(F_n) = \sum M_o(F)$$

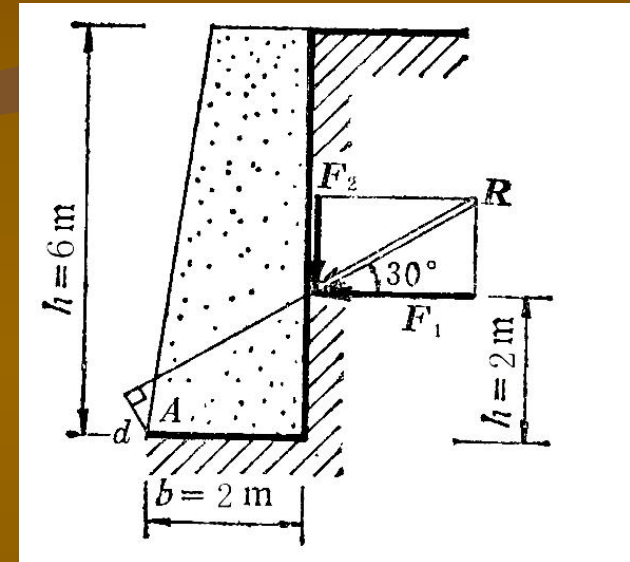
虽然这个定理是从平面汇交力系推证出来，但可以证明这个定理同样适用于有合力的其它平面力系。



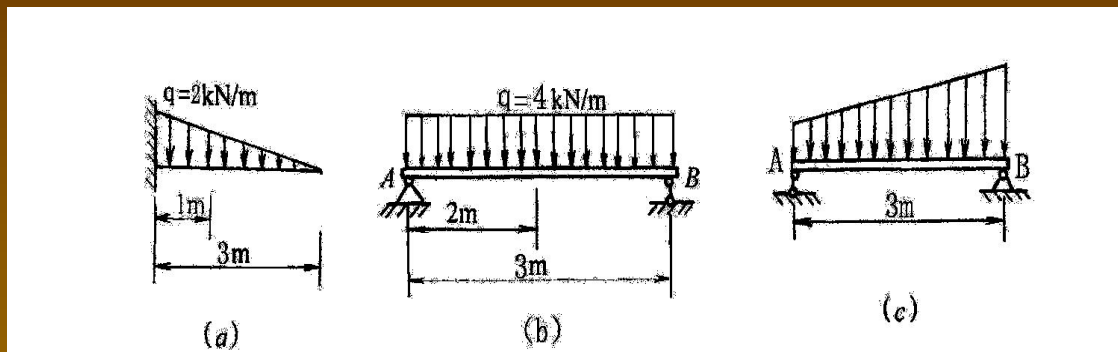
例1-2所示每1m长挡土墙所受土压力的合力为 $R$ ，它的大小 $R=200\text{kN}$ ，方向如图所示，求土压力 $R$ 使墙倾覆的力矩。

解：土压力 $R$ 可使挡土墙绕A点倾覆，求 $R$ 使墙倾覆的力矩，就是求它对A点的力矩。由于 $R$ 的力臂求解较麻烦，但如果将 $R$ 分解为两个分力 $F_1$ 和 $F_2$ ，则两分力的力臂是已知的。为此，根据合力矩定理，合力 $R$ 对A点之矩等于 $F_1$ 、 $F_2$ 对A点之矩的代数和。则：

$$\begin{aligned}M_A(R) &= M_A(F_1) + M_A(F_2) = F_1 \cdot \frac{h}{3} - F_2 \cdot b \\ &= 200 \cos 30^\circ \times 2 - 200 \sin 30^\circ \times 2 \\ &= 146.41 \text{kN} \cdot \text{m}\end{aligned}$$



### 例1-3 求图所示各分布荷载对A点的矩。



**解：**沿直线平行分布的线荷载可以合成为一个合力。合力的方向与分布荷载的方向相同，合力作用线通过荷载图的重心，其合力的大小等于荷载图的面积。

根据合力矩定理可知，分布荷载对某点之矩就等于其合力对该点之矩

(1) 计算图 (a) 三角形分布荷载对A点的力矩

$$M_A(q) = -\frac{1}{2} \times 2 \times 3 \times 1 = -3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(2) 计算图1-21 (b) 均布荷载对A点的力矩为

$$M_A(q) = -4 \times 3 \times 1.5 = -18 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

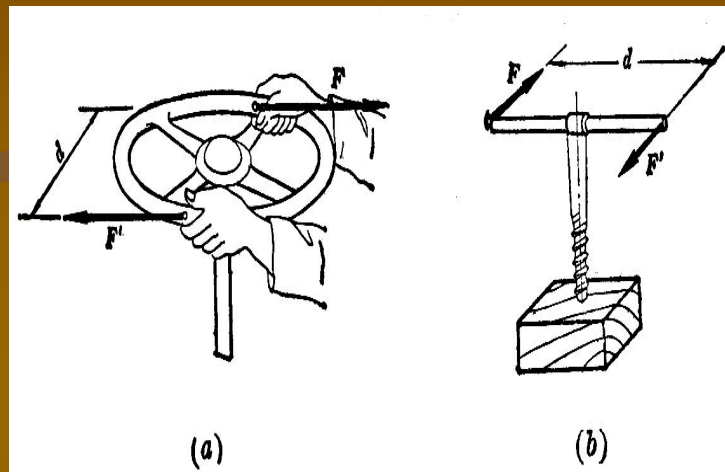
(3) 计算图1-21 (c) 梯形分布荷载对A点之矩。此时为避免求梯形形心，可将梯形分布荷载分解为均布荷载和三角形分布荷载，其合力分别为 $R_1$ 和 $R_2$ ，则有

$$M_A(q) = -2 \times 3 \times 1.5 - \frac{1}{2} \times 2 \times 3 \times 2 = -15 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

### 3.3 力偶及其基本性质

#### 一、力偶和力偶矩

在生产实践和日常生活中，经常遇到大小相等、方向相反、作用线不重合的两个平行力所组成的力系。这种力系只能使物体产生转动效应而不能使物体产生移动效应。例如，司机用双手操纵方向盘（图（a）），木工用丁字头螺丝钻钻孔（图（b）），以及用拇指和食指开关自来水龙头或拧钢笔套等。这种大小相等、方向相反、作用线不重合的两个平行力称为力偶。用符号（ $F, F'$ ）表示。力偶的两个力作用线间的垂直距离 $d$ 称为力偶臂，力偶的两个力所构成的平面称为力偶作用面。

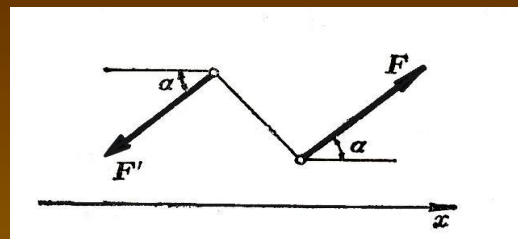


实践表明，当力偶的力 $F$ 越大，或力偶臂越大，则力偶使物体的转动效应就越强；反之就越弱。因此，与力矩类似，我们用 $F$ 与 $d$ 的乘积来度量力偶对物体的转动效应，并把这一乘积冠以适当的正负号称为力偶矩，用  $m$  表示，即：

$$m = \pm Fd$$

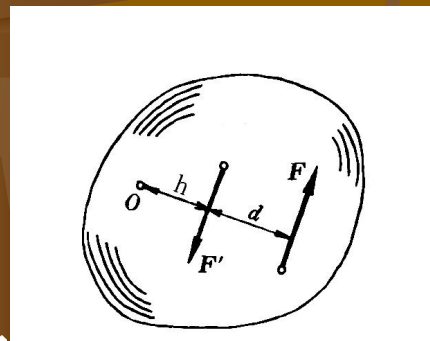
式中正负号表示力偶矩的转向。通常规定：若力偶使物体作逆时针方向转动时，力偶矩为正；反之为负。在平面力系中，力偶矩是代数量。力偶矩的单位与力矩相同。

## 二、力偶的基本性质



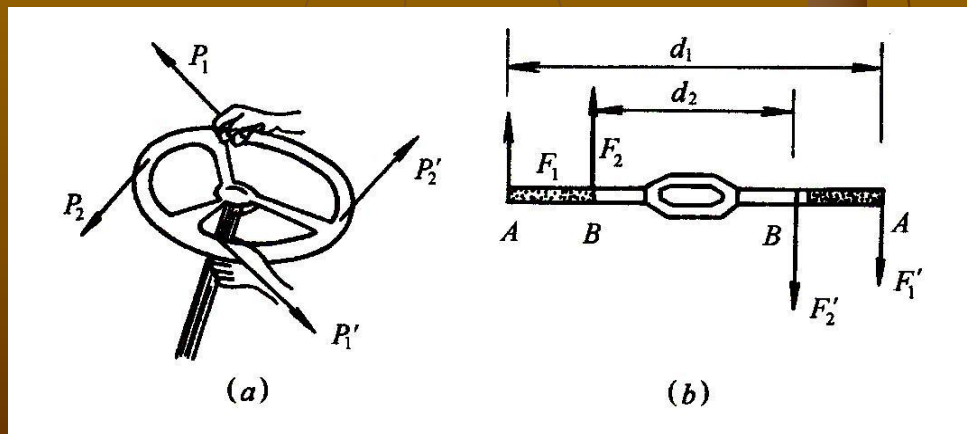
1. 力偶没有合力，不能用一个力来代替
2. 力偶对其作用面内任一点之矩都等于力偶矩，与矩心位置无关
3. 同一平面内的两个力偶，如果它们的力偶矩大小相等、转向相同，则这两个力偶等效，称为力偶的等效性。

从以上性质还可得出两个推论：



(1) 用面内任意移转，而不会改变它对物体的转动效应

(2) 在保持力偶矩大小和转向不变的条件下，可以任意改变力偶的力的大小和力偶臂的长短，而不改变它对物体的转动效应。





### 3.4 平面力偶系的合成与平衡

#### 一、平面力偶系的合成

作用在同一平面内的一群力偶称为平面力偶系。平面力偶系合成可以根据力偶等效性来进行。合成的结果是：平面力偶系可以合成为一个合力偶，其力偶矩等于各分力偶矩的代数和。即  $M = m_1 + m_2 + \cdots + m_n = \sum m_i$

**例1-4** 如图所示，在物体同一平面内受到三个力偶的作用，设

$F_1 = 200\text{N}$ ,  $F_2 = 400\text{N}$ ,  $m = 150\text{N}\cdot\text{m}$  求其合成的结果。

**解：**三个共面力偶合成的结果是一个合力偶，各分力偶矩为：

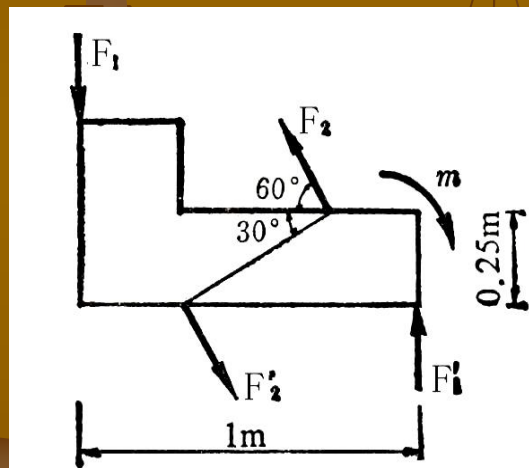
$$m_1 = F_1 d_1 = 200 \times 1 = 200 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$m_2 = F_2 d_2 = 400 \times \frac{0.25}{\sin 30^\circ} = 200 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$m_3 = -m = -150 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$M = \sum m_i = m_1 + m_2 + m_3 = 200 + 200 - 150 = 250\text{N}\cdot\text{m}$$

即合力偶矩的大小等于  $250\text{N}\cdot\text{m}$  转向为逆时针方向，作用在原力偶系的平面内。



# 第四节 平面一般力系

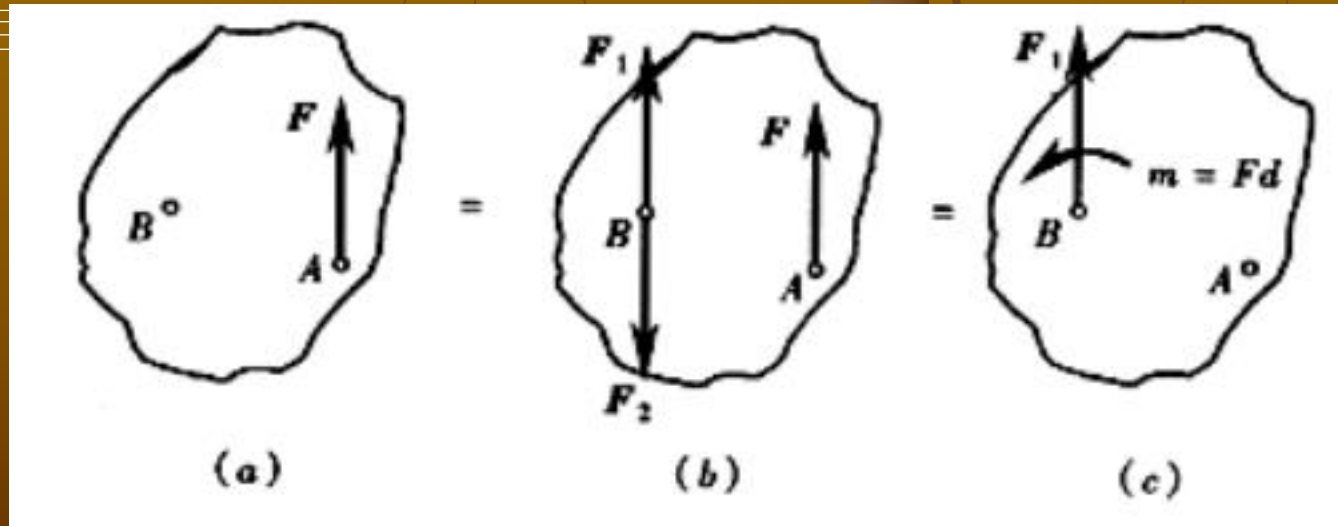
一、力的平移定理 力的平移定理是研究平面一般力系的理论基础。

力的平移定理：作用在刚体上任一点的力可以平行移动到该刚体内的任意一点，但同时必须附加一个力偶，这个附加力偶的矩等于原力对新作用点的力矩。

证明：如图所示，设 $F$ 是作用于刚体上 $A$ 点的一个力。 $B$ 点是力作用面内的任意一点，在 $B$ 点加上两个等值反方向的力 $F_1$ 和 $F_2$ ，它们与力 $F$ 平行，且 $F=F_1=F_2$ ，显然，三个力 $F$ 、 $F_1$ 、 $F_2$ 组成的新力系与原来的一个力 $F$ 等效。但是这三个力可看作是一个作用在点 $B$ 的力 $F_1$ 和一个力偶 $(F, F_2)$ 。这样一来，原来作用在点 $A$ 的力 $F$ ，现在被一个作用在点 $B$ 的力 $F_1$ 和一个力偶 $(F, F_2)$ 等效替换。也就是说，可以把作用于点 $A$ 的力平移到另一点 $B$ ，但同时必须附加上一个相应的力偶，这个力偶就是附加力偶，如图(c)所示。显然，附加力偶的矩为 $m = Fd$ 。其中 $d$ 为附加力偶的力偶臂。由图可见， $d$ 就是点 $B$ 到力 $F$ 的作用线的垂直距离，因此 $Fd$ 也等于力 $F$ 对点 $B$ 的矩

因此得证：

$$m = M_B(F)$$



## 二、平面一般力系向作用面内任一点的简化

### 1. 简化方法和结果

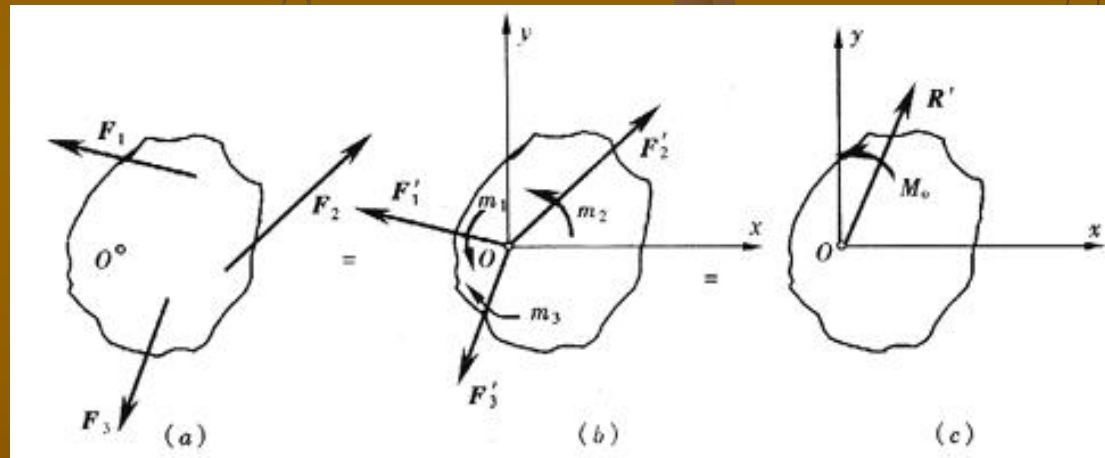
设刚体受一个平向一般力系作用，我们采用向一点简化的方法简化这个力系。为了具体说明力系向一点简化的方法和结果，我们设想只有三个力 $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ 作用在刚体上，如图(a)所示，在平面内任取一点。作为简化中心；应用力的平移定理，把每个力都平移到简化中心 $O$ 点。这样，得到作用于 $O$ 点的力 $F'_1$ 、 $F'_2$ 、 $F'_3$ 以及相应的附加力偶，其力偶矩分别为 $m_1$ 、 $m_2$ 、 $m_3$ ，如图(b)所示。这些力偶作用在同一平面内，它们分别等于力 $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ ，对简化中心点的矩，即：

$$m_1 = M_o(F_1)$$

$$m_2 = M_o(F_2)$$

$$m_3 = M_o(F_3)$$

这样，平面一般力系就简化为平面汇交力系和平面力偶系。然后，再分别对这两个力系进行合成。



作用于 $O$ 点的平面汇交力系 $F'_1$ 、 $F'_2$ 、 $F'_3$ 可按力的多边形法则合成为一个作用于 $O$ 。

## 2.平面任意力系的简化

在平面力系中，如果各力作用线是任意分布的，这样的力系称为平面任意力系。

设物体上作用一平面任意力系 $F_1$ 、 $F_2$ 、...、 $F_n$ ，如图（a）所示，在力系所在平面内任选一点 $O$ ，称为简化中心。根据力的平移定理，将力系中的各力向 $O$ 点平移，得到一平面汇交力系（ $F_1'$ 、 $F_2'$ 、...、 $F_n'$ ）和一平面力偶系（ $M_1$ 、 $M_2$ 、...、 $M_n$ ），如图（b）所示。平面汇交力系（ $F_1'$ 、 $F_2'$ 、...、 $F_n'$ ）可合成为一个合力 $R'$ ， $R'$ 称为平面任意力系的主矢。平面力偶系（ $M_1$ 、 $M_2$ 、...、 $M_n$ ）可合成为一个合力偶，其合力偶矩 $M_o$ 称为平面任意力系的主矩，主矩的大小可由下式计算：

$$M_o = M_1 + M_2 + \dots + M_n$$

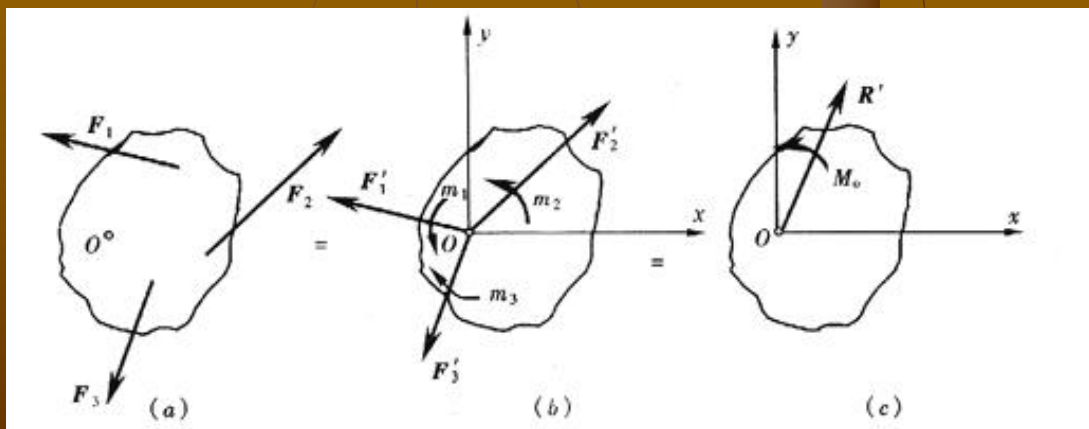
式中各力偶矩的大小等于原力系中各力对简化中心的力矩，即

$$M_1 = M_o(F_1), \quad M_2 = M_o(F_2), \quad M_n = M_o(F_n)$$

所以主矩的计算公式可写为

$$M_o = M_o(F_1) + M_o(F_2) + \dots + M_o(F_n) = \sum M_o(F)$$

此式表明，主矩等于原力系中各力对简化中心之矩的代数和。



### 3.平面任意力系的平衡

由上述分析可知，平面任意力系可以简化为一个主矢 $R'$ 和一个主矩 $M_o$ 。如主矢和主矩都为零，说明力系不会使物体产生任何方向的移动和转动，物体处于平衡状态，因此，平面任意力系的平衡条件是简化所得的主矢和主矩同时为零。即：

$$R' = 0$$

$$M_o = \sum M_o (F) = 0$$

由此可得平面任意力系的平衡方程为

$$\sum F_x = 0$$

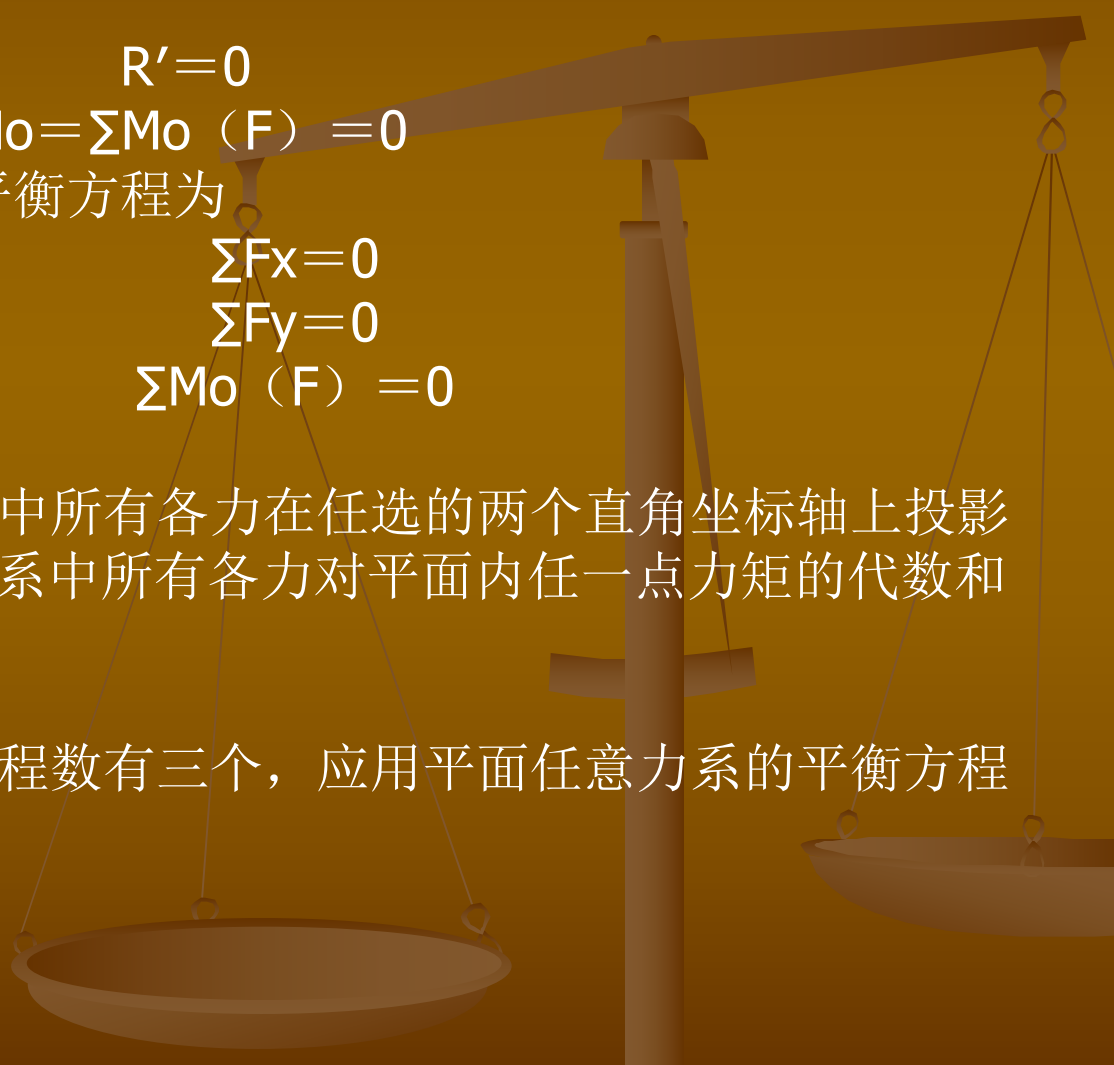
$$\sum F_y = 0$$

$$\sum M_o (F) = 0$$

该平衡方程的意义是：

平面任意力系平衡时，力系中所有各力在任选的两个直角坐标轴上投影的代数和分别等于零；同时力系中所有各力对平面内任一点力矩的代数和也等于零。

平面任意力系独立的平衡方程数有三个，应用平面任意力系的平衡方程可以求解三个未知量。



# 第五节 摩擦与润滑

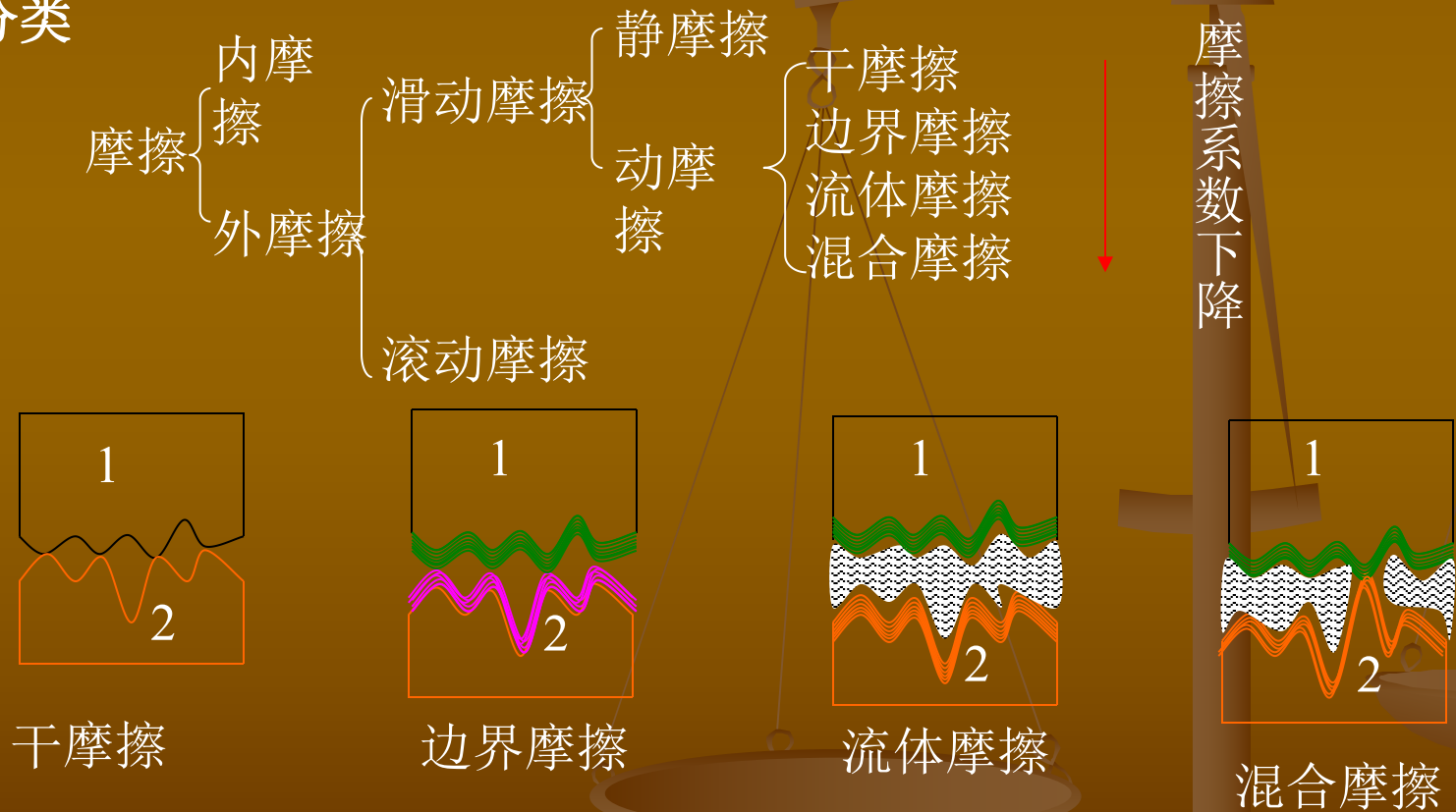
## 5.1 摩擦学

### 5.1.1 摩擦

#### 一、摩擦

在外力作用下，一物体相对于另一物体运动或有运动趋势时，在接触表面上所产生的切向阻力叫摩擦力，这一现象叫摩擦。

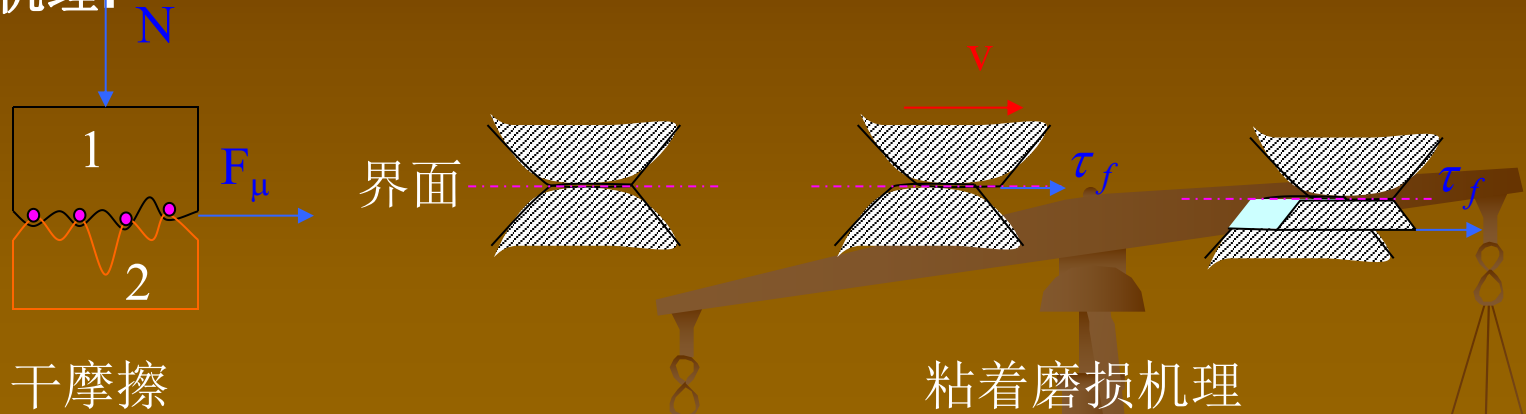
#### 二、分类



## 5.1.2 干摩擦

干摩擦是指摩擦表面无任何润滑剂的摩擦，工程上指无明显任何现象的摩擦。

### 一、干摩擦机理：



### 二、摩擦系数

$$m = F_m / N$$

### 三、降低摩擦系数方法

镀软金属层

在金属基体上涂敷一层极薄的软金属，此时SSC仍取决于基体材料，而tB则取决于软金属。

## 5.1.3 边界摩擦

### 一、边界膜的形成机理

1. 物理吸附膜：润滑油中的极性分子与金属表面相互吸引而形成的吸附。

2. 化学吸附膜：靠油中的分子键与金属表面形成的吸附。

3. 化学反应膜：油中加入的硫、磷、氯等添加剂与金属表面进行的化学反应而形成的膜。

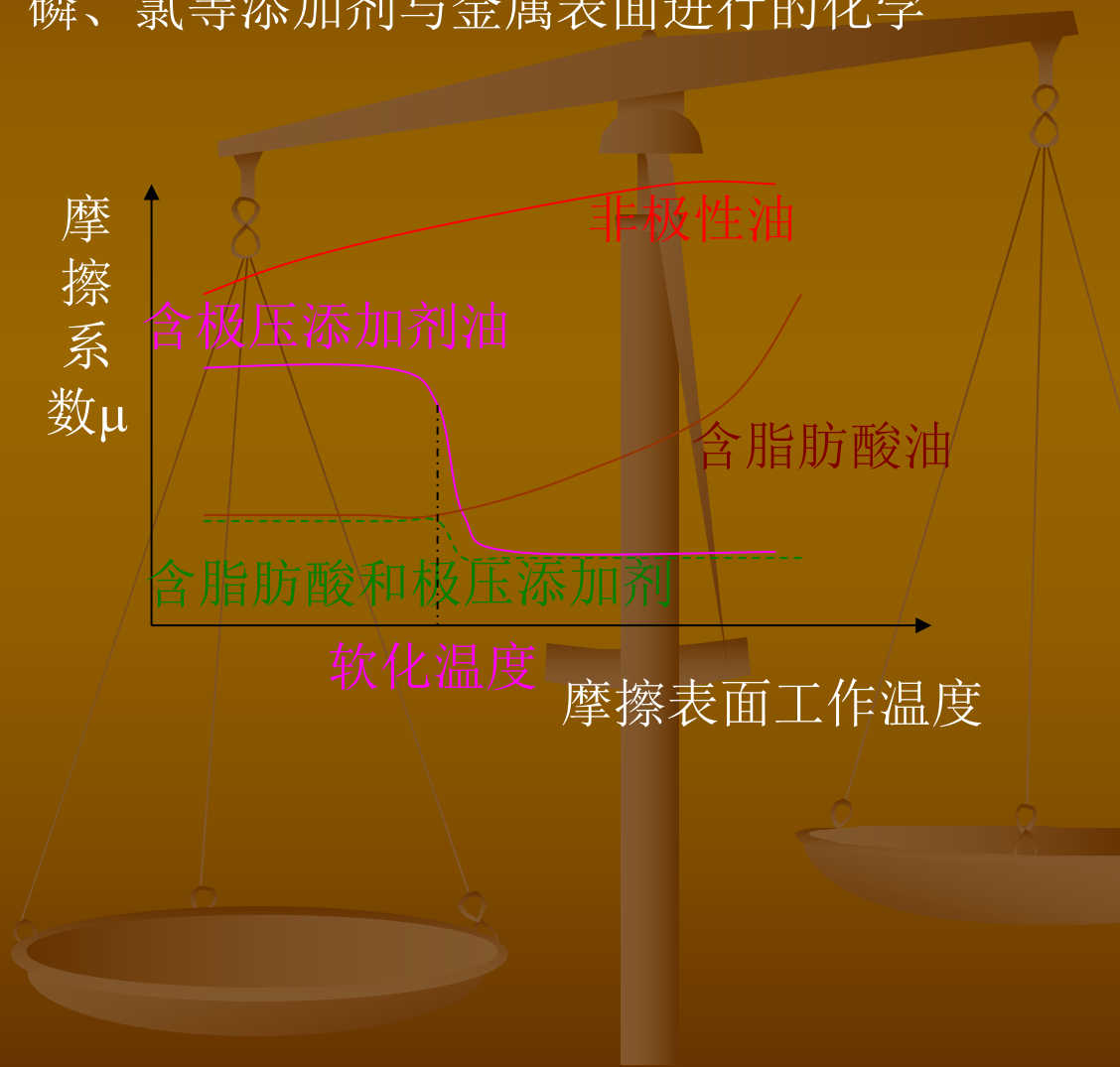
### 二、影响边界膜摩擦的因素

1. 温度

2. 添加剂

3. 摩擦副材料：同性材料 $\mu$ 大

4. 粗糙度





# 5.1.4 磨损

## 一、磨损概念

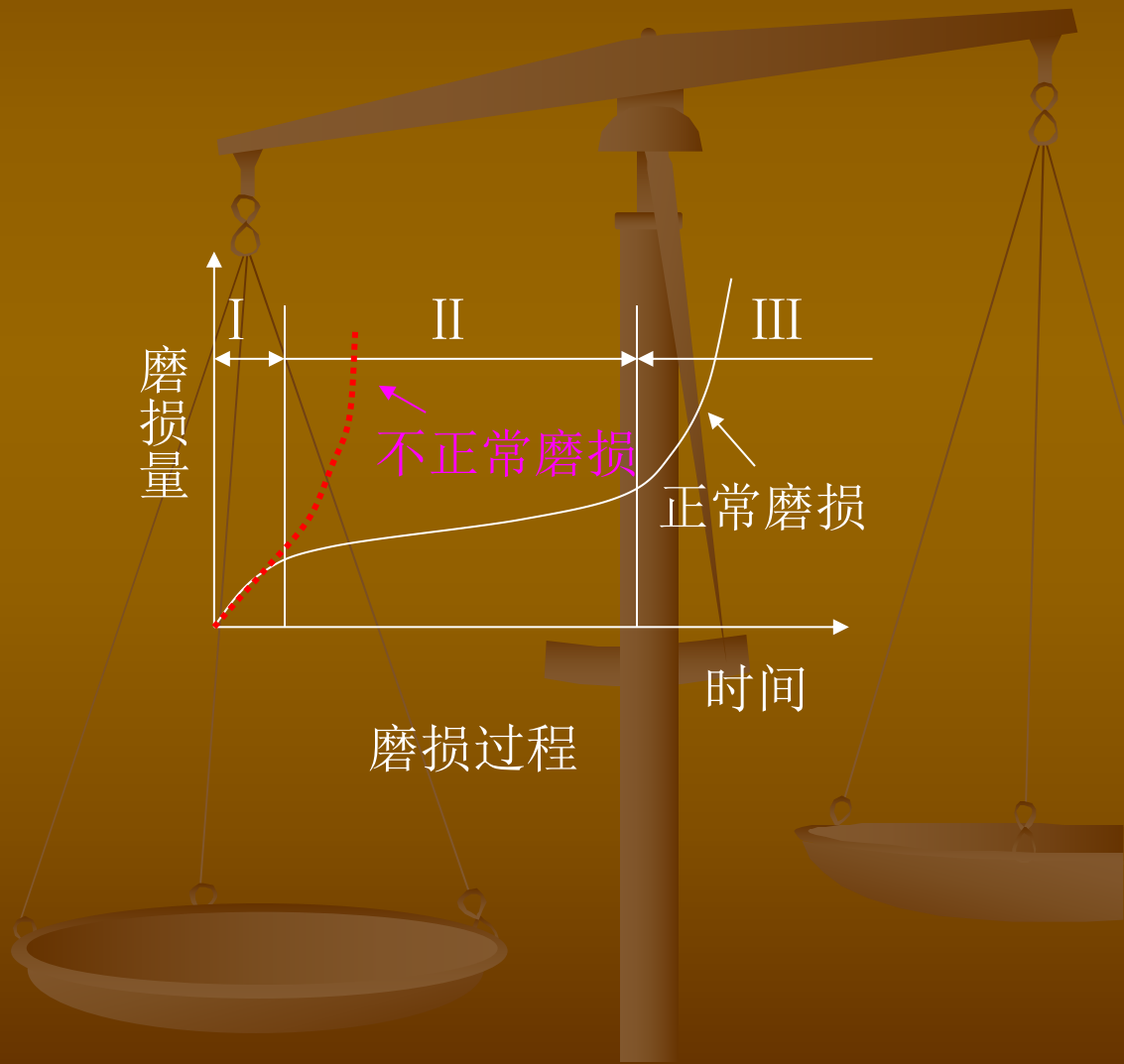
摩擦表面的物质不断损失的现象称为磨损。

## 二、磨损过程

I. 跑合阶段（磨合阶段）

II. 稳定磨损阶段

III. 剧烈磨损阶段



## 5.2 润滑系统

### 5.2.1 润滑的基本原理

#### 一、润滑的作用

在柴油机中润滑油有以下作用：

(1) 润滑作用。在相互运动表面保持一层油膜以减小摩擦，减小摩擦功耗，提高机械效率；减小机件磨损量，延长使用寿命，这是润滑油的主要作用。

(2) 冷却作用。带走两运动表面因摩擦而产生的热量，保证工作表面的适宜温度。

(3) 清洁作用。清洗摩擦表面，带走磨损下来的金属细末及其它微粒，防止出现磨粒磨损。

(4) 密封作用。产生的油膜同时可起到密封作用，如活塞与缸套间的油膜除起到润滑作用外，还有助于密封燃烧室空间。

(5) 防腐作用。润滑油膜隔绝了空气及酸性物质与零件表面的直接接触，从而减免了它遭受氧化，腐蚀的程度。

(6) 消振隔声作用。形成的油膜可起到缓冲作用，避免两表面直接接触，减轻振动与噪音。

## 二、润滑的分类

(一) 边界润滑

(二) 液体润滑

### 1. 液体动压润滑

油楔的形成与其产生的压力主要与以下因素有关：

(1) 摩擦表面的运动状态。

(2) 滑油粘度。

(3) 轴承负荷。

(4) 轴承间隙。

(5) 表面加工粗糙度。

## 三、润滑的方法

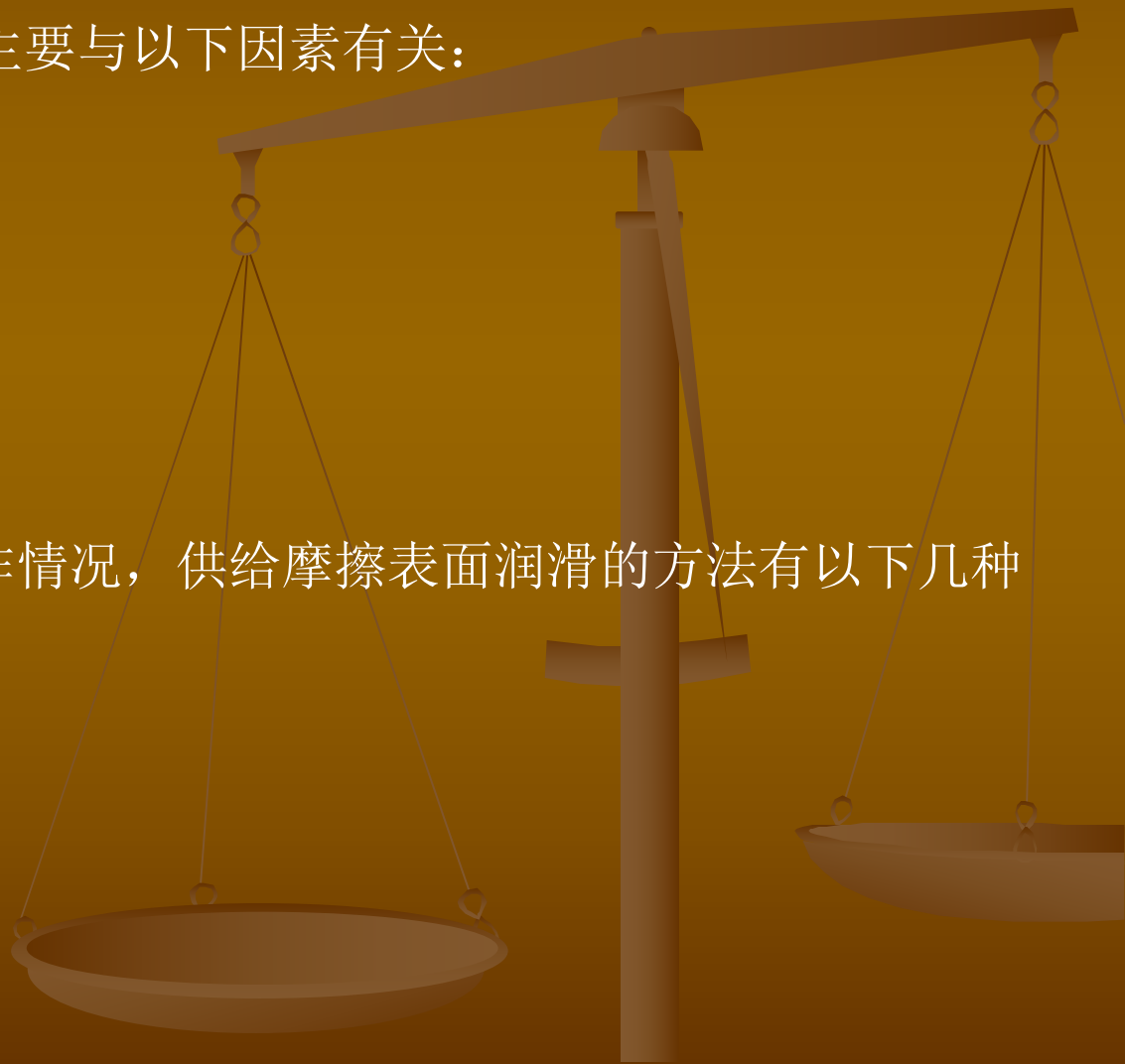
根据摩擦表面所处的位置和工作情况，供给摩擦表面润滑的方法有以下几种

(一) 人工润滑

(二) 飞溅润滑

(三) 压力润滑

(四) 高压注油润滑



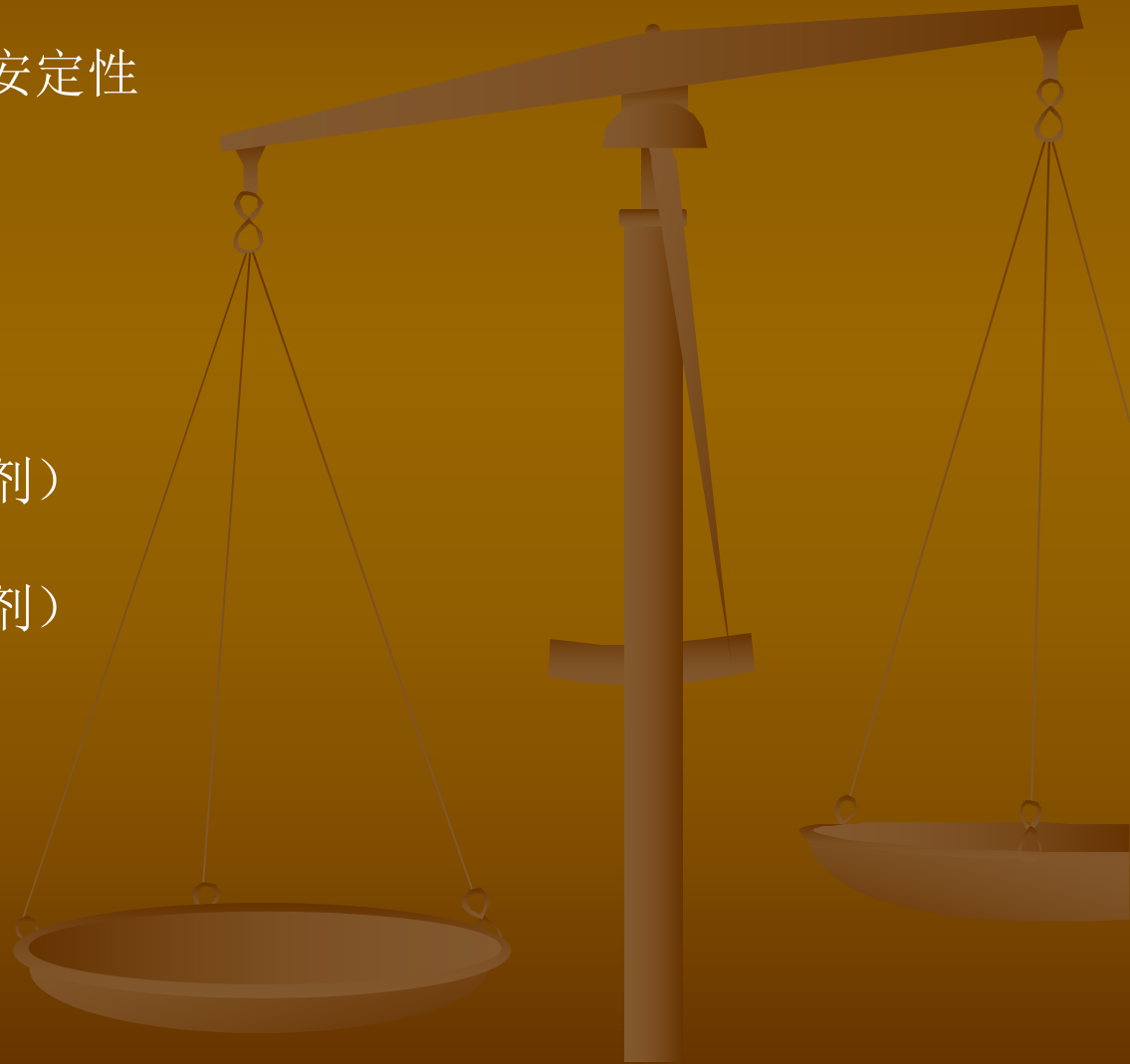
## 5.2.2 润滑油的性质及选用

### 一、润滑油的性能指标

- (一) 粘度和粘度指数
- (二) 酸值和水溶性酸或碱（总酸值和强酸值）
- (三) 抗乳化度
- (四) 热氧化安定性和抗氧化安定性
- (五) 腐蚀度
- (六) 总碱值
- (七) 浮游性
- (八) 抗泡沫性

### 二、滑油的添加剂

- (一) 清净分散剂（浮游添加剂）
- (二) 抗氧化抗腐蚀剂
- (三) 油性剂和极压剂（抗磨剂）
- (四) 增粘剂
- (五) 消泡剂
- (六) 降凝剂
- (七) 防锈剂



### 三、滑油的品种和选用

#### (一) 曲轴箱油

##### 1. 十字头式柴油机曲轴箱油

- (1) 粘度和粘温性能。
- (2) 抗腐蚀性能。
- (3) 清净分散性。
- (4) 抗氧化安定性。
- (5) 其它。如抗乳化性能，抗泡沫性能，闪点等等，也应符合使用要求。

##### 2. 筒形活塞式柴油机曲轴箱油

- (1) 高温工作时的清净性。
- (2) 热氧化安定性好。
- (3) 足够的碱性。
- (4) 粘度要求较高。

#### (二) 汽轮机油（透平油）

#### (三) 气缸油



## 5.2.3 气缸润滑

### 一、气缸润滑的工作条件

气缸润滑的特殊性首先体现在高的工作温度。

其次，活塞在往复运动时，其运动速度在中部最大，在上、下止点处为零。

### 二、气缸润滑方式

气缸润滑可分为飞溅润滑和气缸注油润滑两种。

(一) 飞溅润滑

(二) 气缸注油润滑

### 三、气缸油的选择和应用

(一) 对气缸油的要求

1. 润滑性。
2. 粘度及粘度指数。
3. 洁净分散性。
4. 中和性能。
6. 其它。
5. 抗氧化性。

(二) 气缸油的选择

(三) 气缸注油孔的数量及位置

(四) 注油率的选择

(五) 气缸油的注油定时



## 5.2.4 润滑系统

### 一、润滑系统的功用和组成

#### (一) 润滑系统的功用

润滑系统的主要作用是：向柴油机各运动部件输送足量的、温度适宜的清洁润滑油，保证运动件间的液体摩擦，减少零件的磨损和摩擦功的消耗。润滑系统对柴油机的可靠工作和延长使用寿命具有重要的作用。

#### (二) 润滑系统的型式及组成

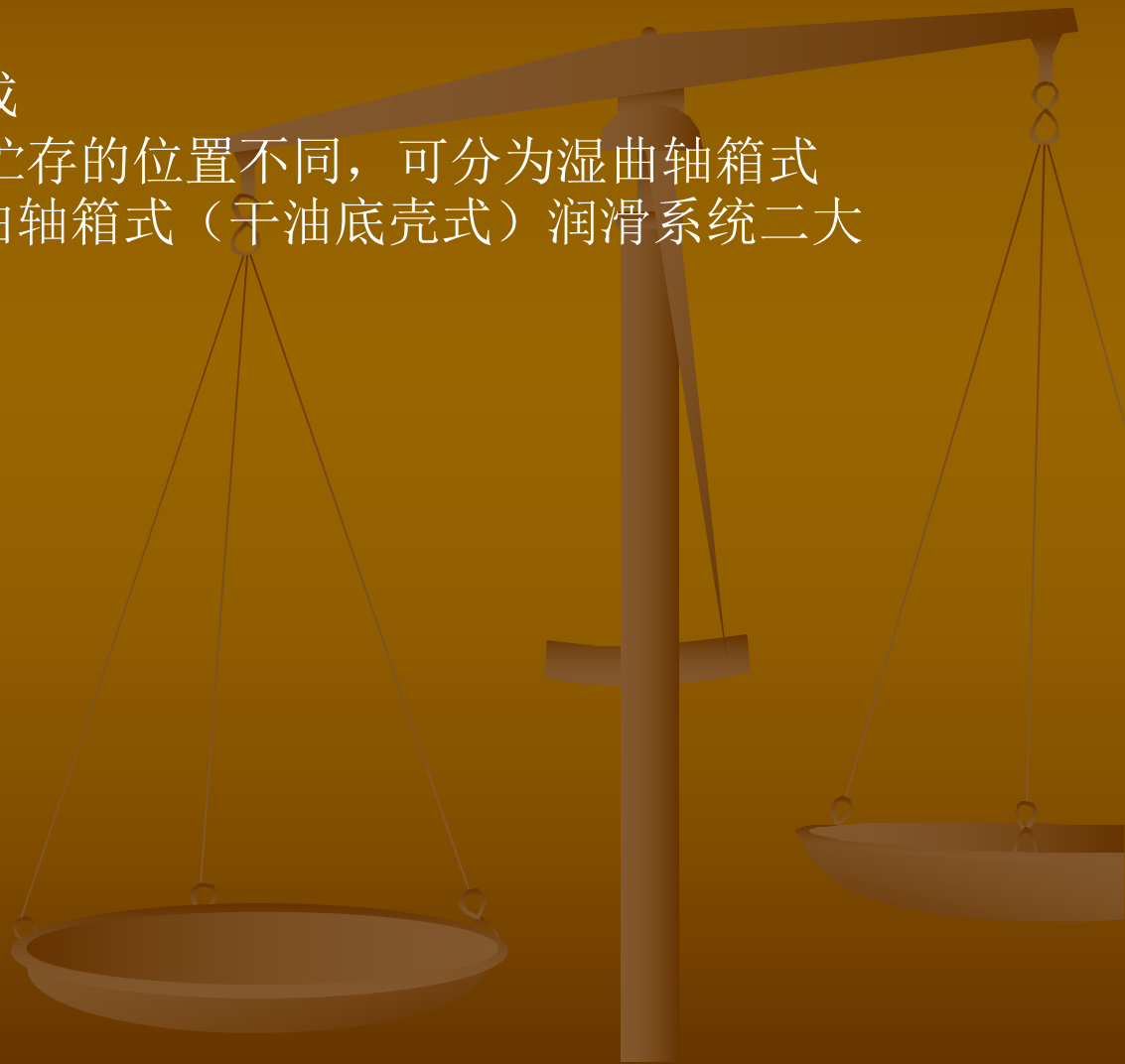
润滑系统按照润滑油贮存的位置不同，可分为湿曲轴箱式（湿油底壳式）润滑系统和干曲轴箱式（干油底壳式）润滑系统两大类。

### 二、润滑系统的主要设备

(一) 滑油泵

(二) 滤器

(三) 滑油冷却器



## 5.2.5 故障与维护管理

润滑系统的故障往往是由于下列各方面的原因所导致的，因此，在维护管理中应予以足够的重视。

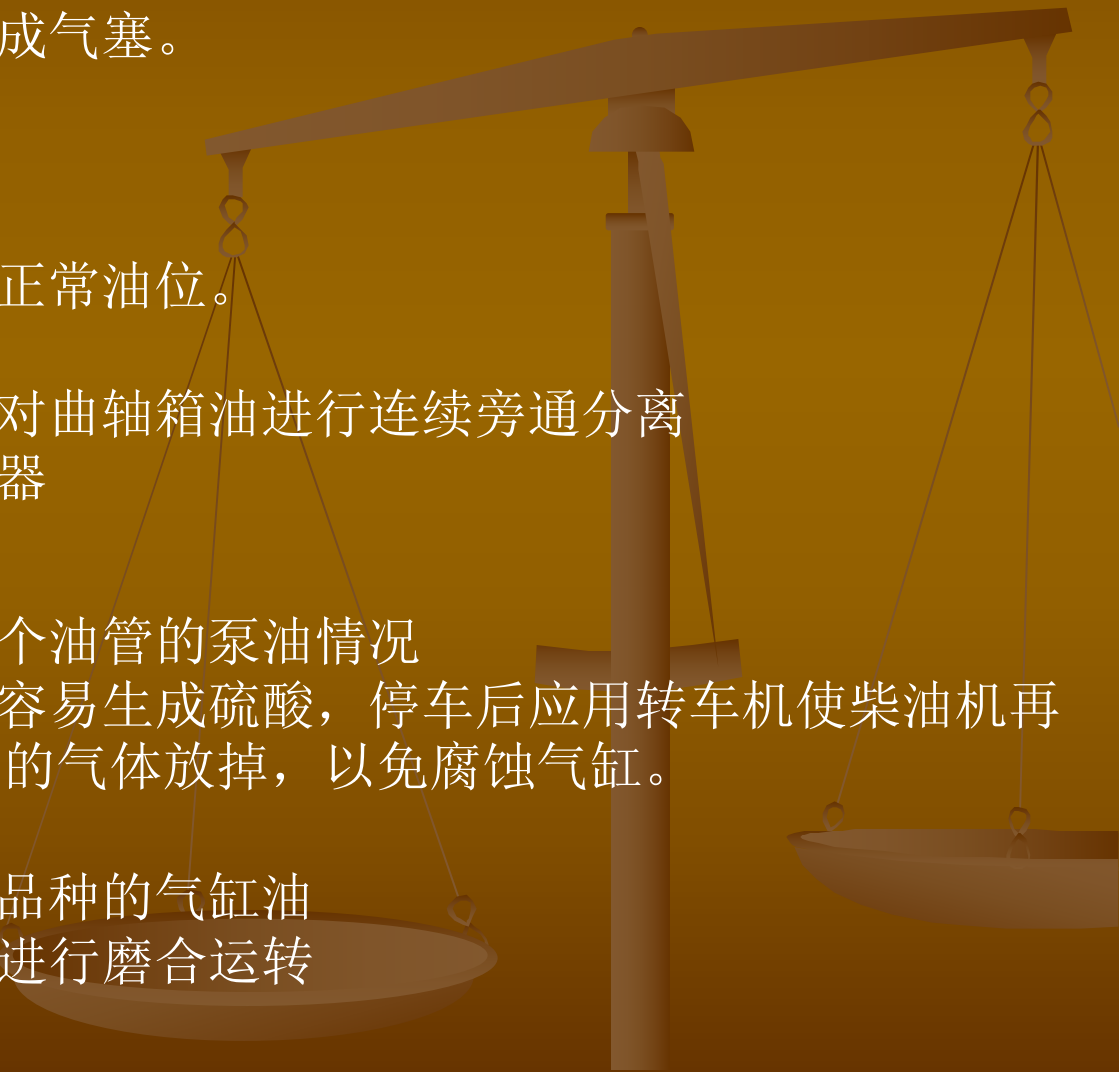
1. 润滑油变质；
2. 系统的各种参数（温度、压力、流量）不正常；
3. 系统中混入了空气或燃气，造成气塞。

### 一、润滑系统的维护管理

- (1) 滑油压力和温度调节。
- (2) 备车暖机。
- (3) 经常检查循环柜油位，保证正常油位。
- (4) 定期取油样化验分析。
- (5) 在行车中，应定期用分油机对曲轴箱油进行连续旁通分离
- (6) 应定期检查和清洗滑油冷却器

### 二、气缸润滑的维护管理

1. 应注意注油器的油位，观察每个油管的泵油情况
2. 含硫燃油在柴油机低速运转时容易生成硫酸，停车后应用转车机使柴油机再回转一段时间，把残留在气缸中的气体放掉，以免腐蚀气缸。
3. 保持正常的排气温度
4. 不能不经试验就混兑使用不同品种的气缸油
5. 气缸套或活塞环经换新后，应进行磨合运转





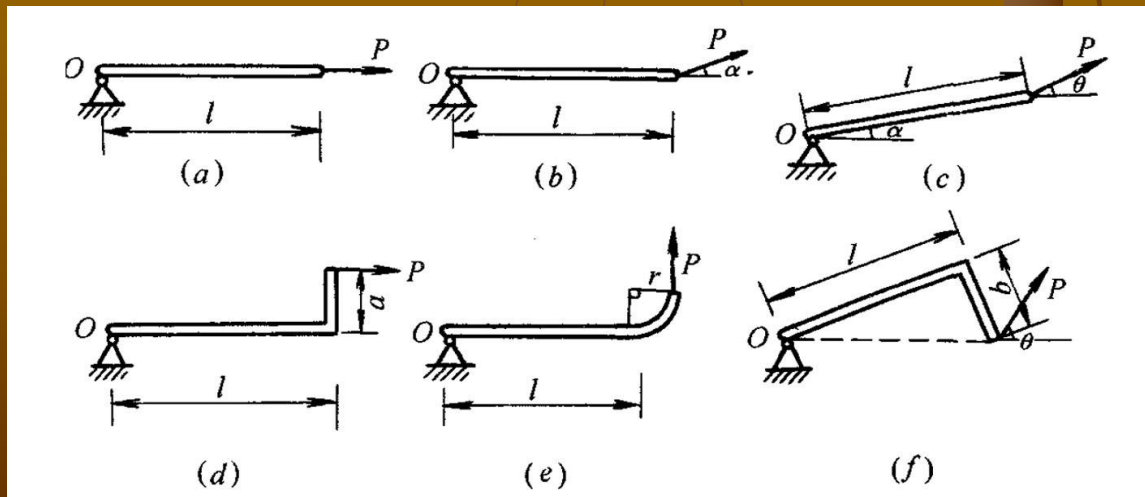
# 第一章节习题

## 一、填空

1. 力的\_\_\_、\_\_\_、\_\_\_称为力的三要素。
2. 若刚体在三个共面又互不平行的力作用下处于平衡，则此三力必\_\_\_\_\_。
3. 力偶 合力，力偶只能与\_\_\_相平衡。
4. 力可使物体移动或转动，力偶只能使物体\_\_\_\_\_。
5. 摩擦力的方向总是与物体的运动方向或运动趋势方向\_\_\_\_\_。
6. 平面任意力系有\_\_\_\_\_个平衡方程，可求解\_\_\_\_\_个未知力。
7. 力的平行四边形法则，是两个共点力的\_\_\_\_\_法则。
8. 作用在刚体上的力，可平移到刚体上的任意一点，但必须附加\_\_\_\_\_。

## 二、作图与计算

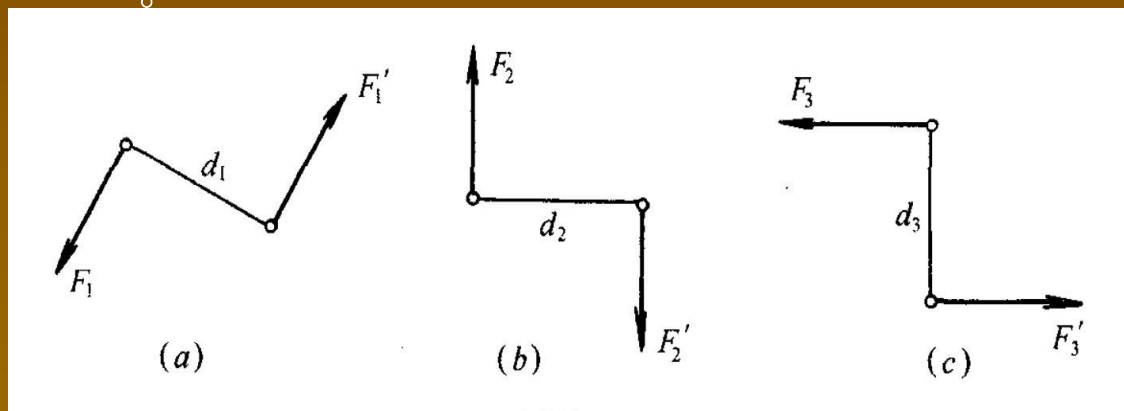
1. 计算下列各图中F力对点O之矩。



2. 分别求图题2-2所示三个力偶的合力偶矩，已知；

$$F_1 = F_1' = 80N \quad F_2 = F_2' = 130N \quad F_3 = F_3' = 100N; \quad d_1 = 70cm$$

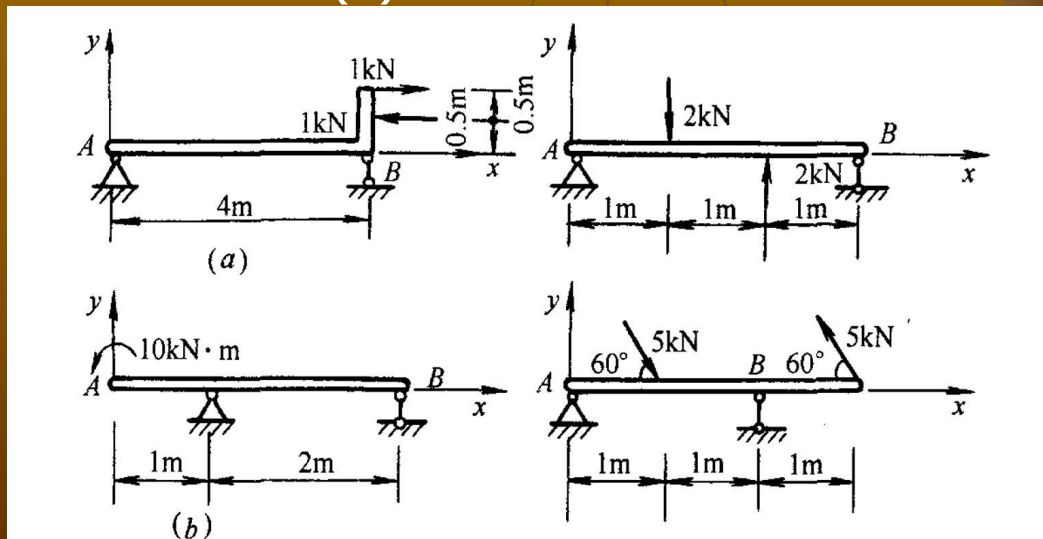
$$d_2 = 60cm \quad d_3 = 50cm。$$



题2-2

3. 各梁受荷载情况如图题2-3所示，试求

(1)各力偶分别对A、B点的矩。(2)各力偶中二个力在X、Y轴上的投影



题2-3

### 三、思考题

1. 磨损过程分哪些阶段？什么叫跑合(磨合)？
2. 滑动摩擦分哪几种？边界膜形成机理是什么？影响边界膜摩擦的因素有哪些？
3. 润滑的作用及分类有哪些？
4. 常用添加剂按其使用性能大体分为几类？
5. 简述润滑系统的功用和组成。
6. 简述润滑系统的故障原因和维护管理的方法。

