

LILUN LIXUE JIBEN GAINIAN  
JI JIETI ZHIDAO

理论力学基本概念  
及解题指导

康 滋 荣

河北人民出版社

本

# 理论力学基本概念 及解题指导

河北人民出版社

**理论力学基本概念  
及解题指导**  
康 滋 荣

---

河北人民出版社出版 (石家庄市北马路45号)  
唐山市印刷厂印刷 河北省新华书店发行

---

787×1092毫米 1/32 14 7/8 印张 314,000字 印数: 20,121—27,529 1983年9月第1版  
1985年7月第2次印刷 统一书号: 13085·100 定价: 2.30元

# 前 言

理论力学是高等工科院校的一门重要的技术基础课。历届学生普遍反映理论易懂，习题难做。这既存在着对基本概念和基本理论如何吃透的问题，又存在解题方法需要给予指导的问题。

编写本书的目的有二：第一、为了帮助学生掌握基本概念和理论，第二、给学生提供一些基本的解题方法和技巧。阅读本书例题，一方面要注意掌握解题的思路和基本的解题方法，另一方面要注意每个例题后面的说明。它将指出对有关的基本概念和理论应如何正确理解以及解题技巧方面的知识。

本书是根据现行的高等工科院校理论力学教学大纲而编写的，参照了南京工学院等九院校统编教材的某些系统和部分习题。可供各高等工科院校、广播电视大学、业余大学和函授大学的学生以及工程技术人员、自学读者和部分中学教师参考使用。

本书由林昌骏副教授审阅，并提出许多宝贵的意见。在初稿的编写过程中，还得到吴晓藏同志的热情帮助，特此一并致谢。

本书采用国际单位制。

由于编者水平所限，不足与错误之处希读者批评指正。

编者

# 目 录

## 第一篇 静 力 学

第 一 章 静力学基础	( 1 )
§ 1-1 静力学基本概念	( 1 )
§ 1-2 约束反力与受力图	( 2 )
第 二 章 平面汇交力系	( 7 )
§ 2-1 平面汇交力系的合成	( 7 )
§ 2-2 平面汇交力系平衡问题的两种解法	( 10 )
第 三 章 力矩和平面力偶理论	( 17 )
§ 3-1 力矩	( 17 )
§ 3-2 平面力偶	( 18 )
第 四 章 平面一般力系	( 25 )
§ 4-1 概述	( 25 )
§ 4-2 单个刚体平衡问题的解法	( 28 )
§ 4-3 刚体系平衡问题的解法	( 34 )
§ 4-4 用观察法求梁的支座反力	( 45 )
§ 4-5 简单静定平面桁架的内力计算	( 49 )
§ 4-6 作业中常见错误	( 53 )
第 五 章 摩擦	( 55 )
§ 5-1 基本概念	( 55 )
§ 5-2 解题方法	( 58 )
§ 5-3 几何法的应用	( 67 )

第六章 空间力系	(71)
§ 6-1 概述	(71)
§ 6-2 解题分析	(73)
第七章 平行力系中心和重心	(84)
§ 7-1 基本概念	(84)
§ 7-2 求重心或形心的几种方法	(84)
§ 7-3 解题举例	(86)

## 第二篇 运 动 学

第八章 点的运动	(92)
§ 8-1 概述	(92)
§ 8-2 确定动点位置的方法	(94)
§ 8-3 点的速度与加速度的求法	(96)
§ 8-4 解题举例	(101)
第九章 刚体的基本运动	(111)
§ 9-1 定轴转动刚体角速度与角加速度的计算	(111)
§ 9-2 转动刚体上各点速度与加速度的计算	(113)
§ 9-3 解题举例	(118)
第十章 点的合成运动	(124)
§ 10-1 基本概念	(124)
§ 10-2 解题方法	(126)
§ 10-3 关于动点和动参考系选取的问题	(140)
第十一章 刚体的平面运动	(151)
§ 11-1 基本概念	(151)
§ 11-2 平面图形上各点的速度与加速度的分析	(154)
§ 11-3 刚体绕平行轴转动的合成	(170)
§ 11-4 一题多解	(176)

## 第三篇 动力学

第十二章 动力学基本方程	(183)
§ 12-1 概述	(183)
§ 12-2 质点运动微分方程的应用	(186)
§ 12-3 几点说明	(198)
第十三章 动量定理	(203)
§ 13-1 动量定理及其应用	(203)
§ 13-2 质心运动定理及其应用	(211)
§ 13-3 流体流经弯曲管道时动压力的计算	(221)
§ 13-4 变质量质点的动力学问题	(224)
第十四章 动量矩定理	(231)
§ 14-1 动量矩定理及其应用	(231)
§ 14-2 刚体绕定轴转动微分方程的应用与转动惯量的计算	(240)
§ 14-3 刚体平面运动微分方程的应用	(249)
第十五章 功能原理	(257)
§ 15-1 基本概念	(257)
§ 15-2 功与动能的计算	(258)
§ 15-3 动能定理的应用	(265)
§ 15-4 机械能守恒定律的应用	(279)
§ 15-5 功率方程与机械效率	(286)
第十六章 达朗伯原理	(289)
§ 16-1 基本概念及达朗伯原理	(289)
§ 16-2 动静法的应用	(292)
§ 16-3 关于绳索中的张力	(303)
§ 16-4 转动刚体对轴承的附加动压力	(307)
§ 16-5 解题方法小结	(313)

第十七章 碰撞 .....	(338)
§ 17-1 基本概念 .....	(338)
§ 17-2 解题时常用到的定理与公式 .....	(342)
§ 17-3 碰撞冲量对定轴转动刚体的作用 .....	(345)
§ 17-4 解题方法 .....	(347)
第十八章 分析力学基础 .....	(352)
§ 18-1 分析力学的基本概念 .....	(352)
§ 18-2 虚位移原理 .....	(360)
§ 18-3 虚位移原理的应用 .....	(364)
§ 18-4 动力学普遍方程 .....	(371)
§ 18-5 拉格朗日方程 .....	(372)
§ 18-6 解题方法 .....	(377)
第十九章 机械振动基础 .....	(388)
§ 19-1 基本概念 .....	(388)
§ 19-2 单自由度系统自由振动问题中常 用到的公式 .....	(390)
§ 19-3 单自由度系统自由振动问题中固有频率的 计算方法 .....	(392)
§ 19-4 建立单自由度系统振体运动微分 方程的方法 .....	(404)
§ 19-5 单自由度系统具有线性阻尼的自由振动 .....	(411)
§ 19-6 单自由度系统的受迫振动 .....	(414)
§ 19-7 隔振简述 .....	(419)
§ 19-8 二自由度系统的振动 .....	(420)
第二十章 质点的相对运动 .....	(432)
§ 20-1 质点相对运动微分方程 .....	(432)
§ 20-2 质点相对运动微分方程的应用 .....	(435)
§ 20-3 惯性力 .....	(442)



§20-4 质点相对运动动力学问题的解题方法·····	(443)
第二十一章 刚体绕定点的运动·····	(446)
§ 21-1 刚体的定点运动·····	(446)
§ 21-2 回转仪的运动·····	(449)
§ 21-3 解题举例·····	(453)
附录: 动力学各种解题方法的选取问题·····	(457)

# 第一篇 静力学

## 第一章 静力学基础

### § 1-1 静力学基本概念

1. 力：力是物体之间相互的机械作用，其作用效果是使物体的运动状态发生变化，或者使物体发生变形。前者称为力的外效应；后者称为力的内效应。理论力学只研究力的外效应。

力是矢量，即力不仅有大小还有方向。力的三要素是：

(1) 力的大小；(2) 力的方向；(3) 力的作用点。

在国际单位制中力的单位是牛顿(N)，牛顿的一千倍是千牛(kN)。

本书将以黑体字母表示矢量，而以普通字母表示该矢量的模(即大小)。例如，以  $\mathbf{F}$ 、 $\mathbf{P}$  等表示力，而以  $F$ 、 $P$  表示该力的大小。

2. 刚体：凡是大小和形状都不变的物体就叫做刚体，它是真实物体经过抽象化而得到的理想模型，在自然界并不存在。

3. 平衡：凡物体相对于地球处于静止或匀速直线运动状态时，我们就说物体是处于平衡，或者说物体是处于平

衡状态。

4. 平衡力系与平衡条件：同时作用于同一物体上的一群力称为力系。凡能使物体处于平衡状态的力系，就叫做平衡力系。平衡力系所应满足的条件，就叫做平衡条件。

5. 静力学的主要任务有两个，即研究作用在刚体上的力系的简化方法和刚体在力系作用下的平衡条件。

(1) 力系的简化：就是用一个简单的等效力系来代替作用于刚体上的较为复杂的力系。

(2) 刚体的平衡条件，或者说力系的平衡条件。

## § 1-2 约束反力与受力图

### 一、约束与约束反力

1. 约束：物体自由运动所受到的限制条件称为约束。其运动受到限制的物体叫做被约束体；起了限制作用的物体，为了方便起见，就叫做约束。例如，一物体用绳索悬吊起来，则物体的运动就受到了限制，即物体向下的运动已不可能。（而其他方向的运动，则不受限制）这时物体就是被约束体，绳索起了限制作用，所以绳索就是约束。

2. 约束反力：约束作用于被约束物体上的力叫做约束反力。

### 二、工程中常见的几种约束类型

1. 柔软体约束：如绳索、皮带、链条等，柔软体的约束反力是沿柔软体中心线背离被约束体，也就是说，只能是

拉力。

2. 光滑面约束：所谓光滑，即不考虑约束与被约束体接触表面之间的摩擦力。因此，约束反力的方向是沿两物体接触表面的公法线而指向被约束物体，即只能是压力。

3. 光滑铰链约束：凡由销钉与销钉孔联结起来所构成的约束，皆称为铰链约束。所谓光滑，即不计销钉与销钉孔之间的摩擦。铰链约束常见的形式有下列四种，即(1)圆柱铰链约束；(2)固定铰链支座约束；(3)可动铰链支座约束；(4)向心轴承。

### 三、研究对象与受力图

1. 研究对象：是指我们选定要研究其受力与运动情况的物体或物体系。

2. 分离体与受力图：把我们所确定的研究对象从与它相联系的周围物体中分离出来，单独画出，这就是分离体。画有分离体及其所受各个力（包括主动力与约束反力）的图称为受力图。

通常把分析研究对象的受力情况叫做受力分析。能否正确地进行受力分析并作出受力图，是解决力学问题的前提与关键。

3. 作物体或物体系的受力图时，应注意下述几点：

(1) 除重力等主动力外，物体之间只有在彼此的接触点处，才有力相互作用。

(2) 约束反力应画在解除约束的地方，并且必须根据约束的类型来画，而不要单凭主动力去推测。

(3) 若约束是二力构件，则其约束反力是沿二力构件两

个受力点的连线，不是拉力就是压力，通常可以判断出来。因为易于判断，故作受力图时，可先把主动力与这种约束反力画出来，然后再画其他约束反力。

(4) 作物体系整体的受力图时，各物体之间相互作用的力是内力，不要画出。且一般可在原图上作受力图，不必取分离体。

(5) 若作物体系中某一物体的受力图时，则必须将它从物系中拆出来，取其分离体作受力图。物系中各物体之间的作用力与反作用力，其中一个的方向一经确定（或假定），则另一个必与其相反，不能再行假定。

【注】：物体受三力作用而平衡，如图所示，其受力图可如图 1-1(b) 画出。A 点处约束反力的方向是根据三力平衡汇交定理确定的。但在许多情况下，为了计算简便起见，仍可将 A 点处的约束反力表示为两个分力，如图 1-1(c) 所示，上述两种画法今后皆可采用。

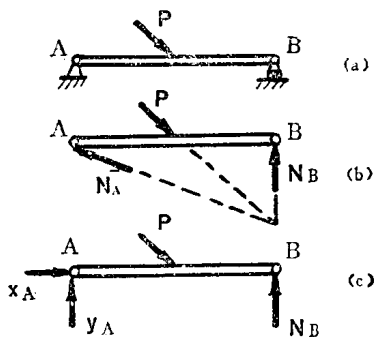


图 1-1

【例题】 组合梁  $ACD$ ， $C$  处为铰链， $CD$  梁上作用有载荷  $P$ 。试分别画出  $AC$  梁、 $CD$  梁及整体的受力图。梁的自重均不计。

【解】 (1) 作  $CD$  梁的受力图。

$D$  点是可动铰链支座约束，约束反力铅垂向上； $C$  点处为圆柱铰链约束，约束反力可分为铅垂与水平两个分力（也可用三力平衡汇交定理来确定  $C$  点处约束反力的方向，但今后解题时分力的形式较为多用），如图 1-2(a) 所示。

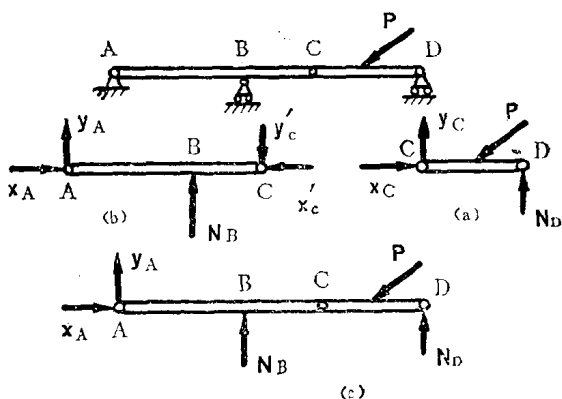


图 1-2

(2) 作  $AC$  梁的受力图。 $B$  点处为可动铰链支座，约束反力铅垂向上； $A$  点处为固定铰链支座，约束反力可分为水平与铅垂两个分力。在  $C$  点处的约束反力，应根据作用力与反作用力的关系，使  $x'_c$  与  $x_c$ ， $y'_c$  与  $y_c$  分别大小相等而方向相反。如图 1-2(b) 所示。（也可根据三力平衡汇交定理作受力图）

(3) 作整体梁的受力图。 $B$  点、 $D$  点皆为可动铰链支座，约束反力皆为铅垂向上， $A$  点处为固定铰链支座，约束反力用水平与铅垂两个分力表示，再画出主动力  $P$ ，如图 1-2(c) 所示。

注意：C点处两梁的彼此作用力是内力不应画出。此外，今后在解题时为了简便，在作整体受力图时也可不取分离体，而在原图上作出整体梁的受力图（即不需去掉A、B、D处的约束，而画出受力图来）。

## 第二章 平面汇交力系

凡各力作用线位于同一平面内且汇交于一点的力系，叫做平面汇交力系。至于各力汇交点，则可以在受力物体上，也可以在受力物体之外。

### § 2-1 平面汇交力系的合成

平面汇交力系合成的方法有几何法和解析法两种。

#### 一、合成的几何法

1. 两个汇交力的合成：若刚体受两个汇交力  $F_1$  与  $F_2$  的作用，则此二力可以合成为一个合力，合力的大小和方向可以用力平行四边形法则或力三角形法则求得，合力的作用点即为此二力的汇交点。合力  $R$  可表示为

$$R = F_1 + F_2.$$

图 2-1 所示为二汇交力合成的平行四边形法则。

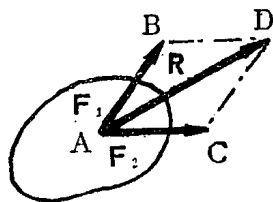


图 2-1



图 2-2 所示为二汇交力合成的三角形法则。

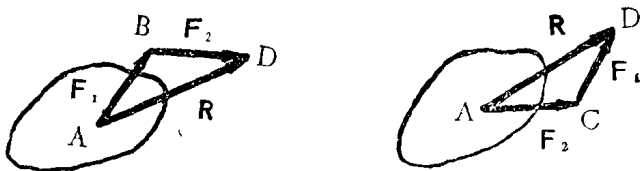


图 2-2

求合力  $R$  的大小和方向有两种方法

(1) 几何作图法：就是选用适当的比例尺作出平行四边形  $ABDC$ 。用同一比例尺直接从图上量出对角线  $AD$  的长度，它按比例代表合力  $R$  的大小；对角线与分力之间的夹角，可用量角器直接量出，即表示合力的方向。

(2) 三角公式计算法：这种方法仍以力平行四边形法则或力三角形法则为依据，但无需严格地按比例尺作图，只需作出粗略的力平行四边形或力三角形，然后用余弦定理或正弦定理计算出合力  $R$  的大小和方向。

在解题时，我们常用三角公式计算法。

2. 多个平面汇交力的合成：多个平面汇交力合成的结果为一个合力，其大小和方向可以用力多边形法则得出，合力的作用线通过各力的汇交点。合力  $R$  可表示为

$$\mathbf{R} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \cdots + \mathbf{F}_n = \Sigma \mathbf{F}$$

需注意下述几点：

(1) 各力矢依次作出，首尾相连。

(2) 合力  $R$  的大小和方向由力多边形的封闭边  $\overline{AE}$  表出，即由第一个力的起点到最后一个力的终点所表达的矢量。

(3) 若改变各力的作图顺序，则所得力多边形的形状不