

高等学校教学参考书

# 理论力学 解题指导 及习题集

上册

哈尔滨工业大学 王铎主编

高等教育出版社

高等学校教学参考书

# 理论力学解题指 导及习题集

(第二版)

上册

哈尔滨工业大学 清华大学  
西北工业大学 大连工学院 理论力学教研室合编  
上海交通大学 天津大学  
王 铎 主编

高等教育出版社

本书是根据1980年5月审订的高等工业学校机械、土建、水利、航空等类专业试用的《理论力学教学大纲》(草案)(120学时)的要求,在王铎主编的《理论力学习题集》(700题,1964年12月第1版)的基础上修订而成,现改名为《理论力学解题指导及习题集》。

全书分上、下两册。上册内容为静力学和运动学,下册内容为动力学及专题。共选习题1400题,其中大部分是基本题和适用于各类专业的通用题。为了引导读者深入思考,也选编了10%左右的难题,供读者选用。在难题的编号前附有\*号。每章均包括内容提要、解题步骤、例题、习题四部分。

本书可作为高等学校工科各类专业师生的教学参考书,也可供有关工程技术人员参考。

未经出版者同意,不得出版本书习题的题解。

责任编辑 蒋 鉴

2025.02

高等学校教学参考书

## 理论力学解题指导及习题集

(第二版)

上册

哈尔滨工业大学 清华大学

西北工业大学 大连工学院 理论力学教研室 合编

上海交通大学 天津大学

田 颖 主编

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

兰州部队八一印刷厂印装

\*

开本 850×1168 1/32 印张 12.75 字数 306,000

1964年12月第1版 1984年1月第2版 1987年3月第4次印刷

印数 55,871—54,390

书号 15010·0555 定价 2.60元

## 第二版序

本版是根据1980年5月审订的高等工业学校机械、土建、水利、航空等类专业试用的《理论力学教学大纲》(草案)(120学时)的要求,在王铎主编的《理论力学学习题集》(700题)(1964年12月第1版)的基础上修订而成,现改名为《理论力学解题指导及习题集》。

本版分上、下两册。上册内容为静力学和运动学,下册内容为动力学及专题。共选习题1400题,其中大部分是基本题和适用于各类专业的通用题。为了引导读者深入思考,也选编了约10%的难题,供读者选作。在难题的编号前附有\*号。

本书可作为高等学校工科各类专业师生的教学参考书,也可供有关工程技术人员及自学者参考。

为了培养学生更好地掌握分析与解决理论力学问题的基本方法,又能指导广大读者自学,我们根据多年来的教学实践,各章都写有内容提要、解题步骤及例题。“内容提要”是为了配合解题而写的,其中包括有关的定理与公式,力求简单明瞭。“解题步骤”中,除了叙述一般步骤外,还着重说明解题特点及注意事项。每章约有例题4~6题,在例题中较详细地阐明了解题的思路与方法,并有讨论与分析。为了启发读者能灵活应用理论及定理,有的例题还给出了多种解法。在解题步骤及例题中,力求反映出各校多年来积累的教学经验。

本版共分二十八章,包括大纲中全部带\*号的以及建议加选的内容,在此类建议加选的章节前附有\*\*号。物体的受力分析及几个专题均独立成章。在物体的受力分析这章中,为了保证内容的完整性,选进了平面插入端及空间类型的约束。读者在选題

时,应注意配合教材的安排顺序。

本版采用国际单位制(SI)。但考虑到目前工程界仍沿用着工程单位制,因而在静力学与动力学的各章中,约有5%左右的习题仍采用工程单位制。

本版参考了国内外许多理论力学、工程力学及其习题集,被选用的题目,有的经过修改,有的被直接采用。

本版由王铎主编,编写方案经集体讨论决定。各校负责编写的是:上海交通大学陈启源、包宏稼,清华大学李万琼,西北工业大学白振林,大连工学院朱学仁,天津大学毕学涛、肖龙翔,哈尔滨工业大学于永德、王宏钰等。全书由王宏钰统稿,最后经王铎定稿。以上各校理论力学教研室的许多教师都参加了选题、编写习题卡片及抄写工作。全书的底图由聂圣世绘制。

本版由重庆大学力学教研室和浙江大学理论力学教研室主审,最后由北京航空学院理论力学教研室复审。他们对本书提出了宝贵的意见,特此致谢。由于我们水平有限,缺点和错误在所难免,衷心希望读者批评指正。

编 者

一九八三年十二月

## 第一版序

本习题集是按1962年5月审订的高等工业学校机械、土建类各专业适用(145学时)的理论力学教学大纲(试行草案)的要求编写的。本习题集共编选了七百题,大部分都是基本的和各类专业通用的。但是,为了引导学生进一步深入思考,也编选了少量的难题,由学生选作。在难题前附有\*号。

附录中的概念题,主要用以加强学生对理论的深入理解。由于经验不够成熟,对概念题未能系统和全面的编选,所以将这些题放在附录中,供教师参考选用。

本习题集是继理论力学习题选集之后编写的,增加了原选集题目的数量,补足了教学大纲中附有\*号的内容,使本习题集能够更好地适应各校和各专业的需要。

在编写本习题集时,参考了二十二本高等工业学校理论力学教研室编写的理论力学习题集、密歇尔斯基著理论力学习题集和铁摩辛柯著工程力学等书。选自原书的题目,有的经过修改,有的被直接采用。

本习题集由哈尔滨工业大学等校理论力学教研室集体编写,由王铎主编。各校负责编写的是天津大学魏士贵、上海交通大学吴镇、大连工学院朱学仁、清华大学傅正泰、西北工业大学孙海润和哈尔滨工业大学陈长庚。各校理论力学教研室的许多教师都参加了编选习题和编写习题卡片的工作。由于我们经验不足,缺点和错误在所难免,希望大家提出批评和指正。

选编者

1964年5月

# 上册目录

## 第一篇 静力学

<b>第一章 物体的受力分析</b>	
一、提要	1
二、画受力图的步骤和注意事项	4
三、例题	4
四、习题(题 1~题 3)	9
<b>第二章 平面汇交力系</b>	
一、提要	18
二、解题步骤	19
三、例题	20
四、习题(题 4~题 57)	29
<b>第三章 平面任意力系</b>	
一、提要	44
二、解题步骤	46
三、例题	47
四、习题(题 58~题 151)	57
<b>第四章 摩擦</b>	
一、提要	85
二、解题步骤及其特点	86
三、例题	87
四、习题(题 152~题 204)	100
<b>第五章 平面桁架</b>	
一、提要	116
二、解题步骤	116
三、例题	117
四、习题(题 205~题 239)	124
<b>第六章 图解静力学</b>	

一、提要	133
二、解题步骤	133
三、例题	134
四、习题(题 240~题 264)	138

## 第七章 空间力系

一、提要	144
二、解题步骤和注意事项	148
三、例题	149
四、习题(题 265~题 339)	161

## 第八章 重心

一、提要	185
二、解题步骤	188
三、例题	188
四、习题(题 340~题 369)	192

# 第二篇 运动学

## 第九章 点的运动

一、提要	199
二、解题步骤	203
三、例题	204
四、习题(题 370~题 435)	213

## 第十章 刚体的基本运动

一、提要	230
二、解题步骤	232
三、例题	233
四、习题(题 436~题 469)	238

## 第十一章 点的合成运动

一、提要	248
二、解题步骤	249
三、例题	252
四、习题(题 470~题 539)	268



## 第十二章 刚体的平面运动

一、提要	290
二、解题步骤	293
三、例题	295
四、习题(题 540~题 626)	311

## 第十三章 刚体绕定点运动和一般运动

一、提要	337
二、解题步骤	340
三、例题	341
四、习题(题 627~题 661)	352

附录 习题答案	364
---------	-----

# 第一篇 静 力 学

## 第一章 物体的受力分析

### 一、提 要

在研究工程实际中各种力学问题时，必须对物体进行受力分析，而受力分析是通过“受力图”来表达的。

#### 1. 受力图

物体的受力图(或称示力图)是描述某一物体(或物体系统)的全部受力情况的简图。

作用在物体上的力可分为两类：一类是主动力(包括主动力偶)，一般是已知的。如重力，电磁力，风或水的压力，气缸内液体或气体的压力，电动机的驱动力偶，等等。另一类是约束反力，它是未知的被动力。约束反力的大小和方向，由约束的性质和平衡条件求出。

#### 2. 约束反力

约束反力是约束作用在被约束物体(非自由体)上的力(包括约束反力偶)。它作用在物体与约束接触的表面，其方向(或其未知分量的数目)与约束的类型有关。

常见的几种约束类型有：

(1) 柔性体约束(包括绳索、链条、胶带等)。

特点：柔索只能承受拉力(张力)；

约束反力  $T$  的方向: 沿柔索离开被约束的物体。

(2) 光滑接触面约束。

特点: 在接触处只能阻碍物体沿公法线向约束内部的运动, 不能限制物体沿接触表面切线方向的运动;

约束反力  $N$  的方向: 沿接触处的公法线指向被约束的物体。

(3) 光滑铰链约束。

特点: 只能限制沿径向的相对移动, 不能限制沿轴向的相对位移及相对转动;

约束反力  $R$  的作用线方位: 在垂直于转轴的平面内并通过铰链中心, 其方位和指向未定。在平面问题中, 一般用两个大小未知的正交分力  $X$ 、 $Y$  表示。

(4) 插入端(固定端)支座约束。

特点: 既能限制相对移动, 又能限制相对转动;

约束反力: 是分布力系, 可以简化成一力和一力偶( $R$  和  $M$ )。在平面问题中, 用  $X$ 、 $Y$ 、 $M$  三项未知量表示。

从上述的分析可知, 不同类型的约束, 其约束反力未知分量的数目是不同的; 当刚体受空间力系作用时, 其约束反力的未知分量数目最多可到六个。确定各类约束的未知量数目的基本方法是: 观察物体在空间的六种可能的运动(沿  $x$ 、 $y$ 、 $z$  三坐标轴的移动和绕这三轴的转动)中, 判断哪几种运动被约束所阻碍, 如移动受到阻碍, 就产生约束反力; 如转动受到阻碍, 就产生约束反力偶。例如止推轴承约束, 它比径向轴承多了一个沿轴线方向的移动阻碍, 因此约束反力用三个大小未知的分量  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  表示。又如空间插入端约束, 它能阻碍物体在空间的六种可能的运动, 因此有三个约束反力  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  和三个约束反力偶  $M_x$ 、 $M_y$ 、 $M_z$ , 共六个未知分量。一些常见的约束类型和它们相应的约束反力如表 1-1 所列, 可供读者参考。

表 1-1 空间约束的类型及其约束反力举例

未知量数目	约束反力	约 束 类 型			
1					
		光滑接触面	柔软绳索	滚动铰支 (辊轴支座)	二力杆
2					
		径向轴承	固定铰支	圆柱铰链	轨道对轮子
		球铰链		止推轴承	有摩擦表面
4	(a) (b)				
		万向接头		导向轴承	
5	(a) (b)				
		带有销子的夹板		导轨	
6					
		空间固定端支座			

注: 蝶铰链与径向轴承一样, 主要限制  $y, z$  二个方向的相对移动, 对其它方向的运动阻碍均忽略不计。

## 二、画受力图的步骤和注意事项

### 1. 步骤

(1) 确定研究对象。根据所研究的问题选择研究对象。研究对象可以是单个物体，也可以是几个物体的组合。把所要研究的物体从周围物体的联系中分离出来，单独画出它的简图，这种方法称为取分离体，所画简图称为分离体图。

(2) 对所研究的对象画上主动力。

(3) 根据约束的类型，正确画上相应的约束反力。切不可单凭主观臆测或简单地根据主动力的方向去推想约束反力的方向。

### 2. 注意事项

(1) 不要漏画约束反力。必须搞清楚所研究的对象（受力物体）与周围哪些物体（施力物体）相接触，在接触处必画出约束反力。

(2) 不要多画力。由于力是物体之间相互的机械作用，因此，对于研究对象上所受的每一个力，都应明确指出是周围哪一个施力物体施加于它的。

(3) 当分析两物体之间的相互作用力时，要注意检查这些力的箭头是否符合作用与反作用的关系。

(4) 当研究系统的平衡时，在受力图上只画外部物体对研究对象的作用力（外力），不画成对出现的内力。

## 三、例题

例 1-1. 重  $W$  的均质圆球  $O$ ，由杆  $AB$ 、绳索  $BC$  与墙壁来支持，如图 1-1a 所示。各处摩擦与杆重不计，试分别画出球  $O$  和杆  $AB$  的受力图。

解：

(1) 以球为研究对象，画出分离体图。先画主动力  $W$ ；由于

$D$ 、 $E$  处为光滑面约束，画上杆对球的约束反力  $N_D$  及墙对球的约束反力  $N_E$ 。其受力图如图 1-1b 所示。

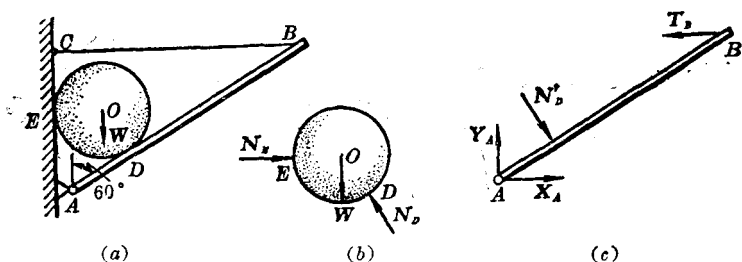


图 1-1

(2) 以  $AB$  杆为研究对象，画出分离体图。 $A$  处为固定铰支座约束，画上约束反力  $X_A$ 、 $Y_A$ ； $B$  处受绳索约束，画上拉力  $T_B$ ； $D$  处为光滑面约束，画上法向反力  $N'_D$ ，它与  $N_D$  是作用与反作用的关系。其受力图如图 1-1c 所示。

例 1-2. 图 1-2a 所示的结构，由杆  $AC$ 、 $CD$  与滑轮  $B$  铰接组成。物重  $W$ ，用绳子挂在滑轮上。如杆、滑轮及绳子的自重不计，并忽略各处的摩擦，试分别画出滑轮  $B$ 、重物、杆  $AC$ 、 $CD$  及整体的受力图。

解：

(1) 以滑轮  $B$  及绳索为研究对象，画出分离体图。在  $B$  处为光滑铰链约束，画上铰链销钉对轮孔的约束反力  $X_B$ 、 $Y_B$ ；在  $E$ 、 $H$  处有绳索的拉力  $T_E$ 、 $T_H$ 。其受力图如图 1-2b 所示。

(2) 以重物为研究对象，画出分离体图。其上受重力  $W$ ，在  $H$  处受绳索的拉力  $T'_H$ ，它与  $T_H$  是作用与反作用的关系。其受力图如图 1-2c 所示。

(3) 在系统问题中，先找出二力杆将有助于确定某些未知力的方位。故先以二力杆  $CD$  为研究对象，画出分离体图。假设  $CD$  杆受拉，在  $C$ 、 $D$  处画上拉力  $S_C$  与  $S_D$ ，且  $S_C = -S_D$ 。其受力图

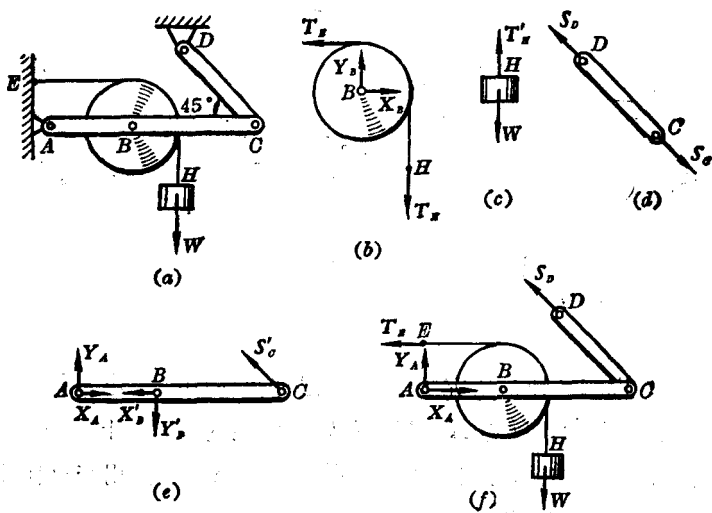


图 1-2

如图 1-2d 所示。

(4) 以  $AC$  杆(包括销钉)为研究对象, 画出分离体图。在  $A$  处为固定铰支座, 故画上约束反力  $X_A, Y_A$ ; 在  $B$  处画上  $X'_B, Y'_B$ , 它们分别与  $X_B, Y_B$  互为作用力与反作用力。在  $C$  处画上  $S'_C$ , 它与  $S_C$  是作用与反作用的关系。其受力图如图 1-2e 所示。

(5) 以整体为研究对象, 画出分离体图。系统上所受的外力有: 主动力  $W$ , 约束反力  $S_D, T_E, X_A$  及  $Y_A$ 。对整个系统来说,  $B, C, H$  三处均受内力作用, 在受力图上不必画出。其受力图如图 1-2f 所示。

**例 1-3.** 在复梁  $DBC$  上  $B$  处作用一集中力  $P$ , 梁的右端作用一力偶矩为  $M$  的力偶。梁的支承如图 1-3a 所示。如  $DB, BC$  梁的自重不计, 各处均为光滑铰链连接, 试分别画出  $DB$  梁和  $BC$  梁的受力图。

1/1/14

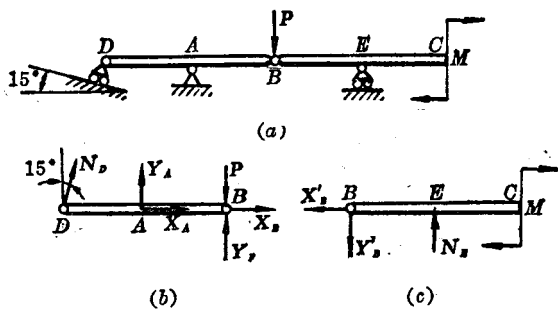


图 1-3

解: 图 1-3a 中, 作用于铰链 B 上的集中力  $P$ , 一般都假定作用于销钉上。在把  $DB$ 、 $BC$  梁分拆时, 有下列三种情形:

(1) 考虑销钉在  $DB$  梁上。

先以  $DB$  梁(包括销钉)为研究对象, 画出分离体图。在销钉上画上主动力  $P$ , 再画上  $BC$  梁对销钉 B 的约束反力  $X_B, Y_B$ ; 另外, 固定铰支 A 处有约束反力  $X_A, Y_A$ ; D 处为滚动铰支座(或辊轴支座), 画上约束反力  $N_D$ , 且  $N_D$  与光滑斜面垂直。其受力图如图 1-3b 所示。

再以  $BC$  梁为研究对象, 画出分离体图。在 C 端先画上主动力偶  $M$ , 再画销钉作用在铰孔 B 处的约束反力  $X'_B, Y'_B$ , 它们分别与  $X_B, Y_B$  是作用 and 反作用的关系; 另外, E 处为滚动铰支座, 画上约束反力  $N_E$ , 且  $N_E$  与光滑水平面垂直。其受力图如图 1-3c 所示。

(2) 考虑销钉在  $BC$  梁上。

主动力  $P$  则作用在  $BC$  梁上。  $DB$ 、 $BC$  梁的受力图如图 1-4a

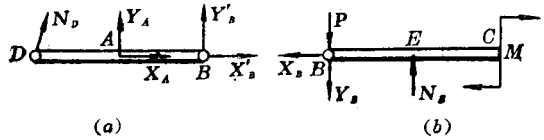


图 1-4



与  $b$  所示。

(3) 考虑销钉单独拆开。

主动力  $P$  既不作用在  $DB$  梁, 也不作用在  $BC$  梁, 只作用于销钉  $B$  上。  $X_{B1}, Y_{B1}$  是  $DB$  梁对销钉  $B$  的作用力,  $X_{B2}, Y_{B2}$  是  $BC$  梁对销钉  $B$  的作用力;  $X'_{B1}, Y'_{B1}, X'_{B2}, Y'_{B2}$  则分别是这几个力的反作用力。  $DB$  梁、销钉  $B$  及  $BC$  梁的受力图如图 1-5a、b、及  $c$  所示。

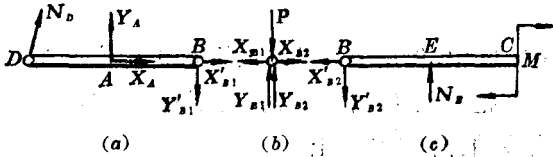


图 1-5

以上三种情况中, 铰链  $B$  的约束反力的指向可任意假设, 但相互间必须符合作用与反作用的关系。其假设是否正确, 由所求得值的正负决定, 正值表示与假设一致, 负值则反之。

希读者试画出复梁  $DBC$  整体的受力图。

**例 1-4.** 悬臂梁  $AB$  的  $A$  端固定, 梁上作用有均布载荷  $q$  与集中载荷  $P$ , 载荷作用在同一铅垂平面内, 如图 1-6a 所示。试画出  $AB$  梁的受力图。

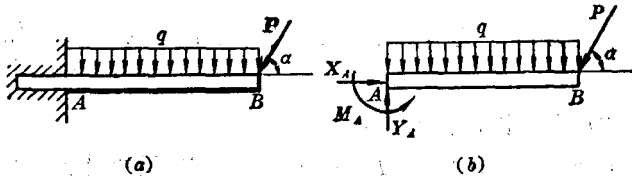


图 1-6

**解:** 以  $AB$  梁为研究对象, 画出分离体图。先在  $AB$  梁上画出已知的均布载荷  $q$ , 以及集中力  $P$ ; 考虑到  $A$  端为平面插入端约束, 故约束反力有三项: 即  $X_A, Y_A, M_A$ ; 注意不要遗漏约束反力偶