



21

21世纪大学课程辅导丛书

工程力学

学习指导 典型题解

新版

主编 冯立富 岳成章 李颖



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS



21世纪大学课程辅导丛书

工程力学

学习指导—典型题解

新版

主编 冯立富 岳成章 李颖



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

内容简介

本书简要介绍了工程力学课程的基本概念和基本理论,指出了其重点与难点,着重阐明了工程力学分析、研究和解决问题的基本思路、方法和技巧。

本书共分 17 章。每章都包括基本知识点、重点与难点、典型题精解、自我测试题及其参考答案等四部分。附录给出了四套模拟试题,并附有参考答案。

本书是普通高等学校工科各专业学生学习工程力学课程的辅助教材,也是报考硕士研究生的考前复习资料,同时可供力学教师参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学学习指导 典型题解/冯立富等主编. —新版

—西安:西安交通大学出版社,2008.10

(21 世纪大学课程辅导丛书)

ISBN 978-7-5605-2358-3

I. 工… II. 冯… III. 工程力学-高等学校-教学参考资料 IV. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 127327 号

书 名 工程力学学习指导 典型题解
主 编 冯立富 岳成章 李 颖
责任编辑 吴 杰

出版发行 西安交通大学出版社
(西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)

网 址 <http://www.xjtpress.com>
电 话 (029)82668357 82667874(发行中心)
(029)82668315 82669096(总编办)

传 真 (029)82668280
印 刷 陕西向阳印务有限公司

开 本	787mm×1 092mm	1/16	印 张	16.375	字 数	393 千字
版次印次	2008 年 10 月新版		2008 年 10 月第 1 次印刷			
书 号	ISBN 978-7-5605-2358-3/O·254					
定 价	23.80 元					

读者购书、书店添货、如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。

订购热线:(029)82665248 (029)82665249

投稿热线:(029)82664954

读者信箱:jdgy@yahoo.cn

版权所有 侵权必究

丛书总序

“21 世纪大学课程辅导丛书”第一版出版已有十年时间,几经再版,深受广大读者的喜爱。为了满足读者朋友的需要,也为了适应高等教育改革的形势和新的教学要求,我们组织作者对本丛书进行了修订,以全新的面貌奉献给大家。

我们出版这套丛书的目的是为普通高等学校理工类专业的大学生提供一流的学习资源,使大家共享一流教师的教学经验和教学成果,更好地学习、掌握基础课和专业基础课知识,为今后的学习和深造打下良好的基础。

西安交通大学是国内仅有的几所具有百年历史的高等学府,是首批进入国家“211 工程”建设的七所大学之一,1999 年被国家确定为中西部地区惟一所以建设世界知名高水平大学为目标的学校。西安交大历来重视本科生教学,1996 年成为全国首家本科教学评估为优秀的大学。学校拥有国家级、省部级、校级教学名师数十名,具有丰富的、一流的教学资源。

本丛书由西安交通大学长期在教学一线主讲的教授、副教授主编,他们具有丰富的基础课、专业基础课教学和辅导经验。丛书作者们在长期的教学实践中,深深了解学生在学习基础课、专业基础课时的难点和困惑点之所在,对如何使学生更有效地学习、掌握课程的基本知识和解题技巧进行了深入的探索和研究,并将成果体现于书中。

本丛书以普通高等学校的学生为主要对象,不拘泥于某一本教材,而是将有针对性和使用量较大的各种版本的教材加以归纳总结,取其精华,自成一体。书中对课程的基本内容、研究对象、教学要求、学习方法、解题思路等进行了全面、系统的总结和提炼,按基本知识点、重点与难点、典型题解析、自我检测题等环节进行编排;书后附录了自我检测题参考答案和近年来一些院校的期末考试题、考研试题及相应题解。本丛书的指导思想是帮助学生理清学习思路,总结并掌握各章节的要点;通过各类精选题的剖析、求解和示范,分析解题思路,示范解题过程,总结方法要略,展示题型变化;达到扩展知识视野,启迪创新思维,促进能力提高的目的。

本丛书既可以单独使用,也可以与其他教材配合使用;既可以作为课程学习时的同步自学辅导教材,也可以作为考研复习时的主要参考资料。

我们衷心希望本丛书成为您大学基础课和专业基础课学习阶段的良师益友,帮助您克服困难,进入大学学习的自由王国;也希望在考研冲刺时本丛书能助您一臂之力,使您一举成功!

在学习使用过程中,您如果发现书中有不妥之处或有好的建议,敬请批评指正并反馈给我们,我们一定会进一步改进自己的工作,力争使您满意。

真诚感谢您使用西安交大版图书。

西安交大出版社网址: <http://press.xjtu.edu.cn/>

理工医事业部网址: <http://lgny.xjtupress.com/>

理工医事业部信箱: jdlgy@yahoo.cn

西安交通大学出版社

2008年6月

前 言

力学是自然科学中最早产生并成熟起来的学科,它不仅有着辉煌的历史,而且是现代科学技术的重要基础,同时随着整个自然科学的发展,力学学科本身也仍在不断地发展着。

力学的理论和方法在许多工程技术领域都有着极其广泛的应用。因此,目前国内外的普通高等工科学校开设的各种力学课程达数十门之多。国外普通高等工科学校开设的工程力学课程大多相当于国内的理论力学。我国在 20 世纪 80 年代以前,工程力学通常是指理论力学、材料力学、结构力学、断裂力学、流体力学、弹性力学、塑性力学、实验力学等诸门力学课程的统称;20 世纪 80 年代以来,出现了一批被称为工程力学的课程,但它们的内容差异很大,其中比较多的是将理论力学中的静力学和材料力学中的基本内容结合在一起,构成的一门新课程。本书中讲的工程力学就是指这样的新课程。这样开设的工程力学课程,主要是由于学时偏少,因此不宜将理论力学和材料力学这两门课程单独设课而产生的,它是高等工科学校许多非机械类、非土木类专业的一门重要的技术基础课,是学习后续专业课程的基础,它的理论及其研究问题和解决问题的方法还可直接应用于工程和生活实践。

本书简要阐述工程力学的基本概念、基本理论以及研究问题和解决问题的基本方法,指出其重点和难点,并针对学生学习中经常遇到和容易出现的一些问题,着重讲解工程力学的解题思路、方法和技巧。

本书共分 17 章。每章都包括基本知识点、重点和难点、典型题精解、自我检测题及其参考答案等四部分。基本知识点部分归纳了工程力学各章的基本概念和基本理论,指出了深刻理解这些基本概念和基本理论需要注意的问题。典型题精解部分阐明了各章的解题方法要点和技巧,对精选出的典型例题给出了详细解答,对学生容易混淆的概念和常犯的错误进行了剖析,对有些题目还给出了不同的求解方法。自我测试题及其参考答案部分包括是非题、填空题、选择题和计算题四种类型,精选了一些典型的概念题和计算题,使读者通过这些题目来检测自己对基本概念、基本理论的理解程度和对研究问题、解决问题基本方法的掌握情况;为了读者方便,各章的自我检测题还都附有参考答案。

本书在附录中给出了五套课程考试试题,并附有参考答案。

在本书的编写过程中,我们参考了近年来国内外出版的一些著名的理论力学、材料力学和工程力学教材,以及有关的著名力学专著。为了表示对作者的敬意,我们择其主要者在参考文献中列出。

本书是普通高等工科学校各专业的学生学习工程力学课程的参考书,也可作为报考硕士研究生的考前复习教材,同时还可供力学教师和工程技术人员参考。

参加本书编写工作的有空军工程大学冯立富、李颖,西安思源学院岳成章,西安理工大学黎明安、马凯,陕西理工学院王瑾,西安工程大学贾坤荣。全书由冯立富统稿并审定。

由于我们水平有限,书中难免会有疏误和不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2008年9月

目 录

丛书总序

前言

第 1 章 刚体静力学的基本概念

1.1 基本知识点	(1)
1.2 重点与难点	(3)
1.3 典型题精解	(3)
1.4 自我检测题及参考答案	(4)

第 2 章 受力分析

2.1 基本知识点	(6)
2.2 重点与难点	(8)
2.3 典型题精解	(8)
2.4 自我检测题及参考答案	(14)

第 3 章 汇交力系

3.1 基本知识点	(18)
3.2 重点与难点	(19)
3.3 典型题精解	(19)
3.4 自我检测题及参考答案	(21)

第 4 章 力矩和力偶理论

4.1 基本知识点	(24)
4.2 重点与难点	(26)
4.3 典型题精解	(26)
4.4 自我检测题及参考答案	(29)

第 5 章 平面力系

5.1 基本知识点	(32)
5.2 重点与难点	(35)
5.3 典型题精解	(35)
5.4 自我检测题及参考答案	(52)

第 6 章 空间力系

6.1 基本知识点	(57)
6.2 重点与难点	(60)
6.3 典型题精解	(60)

6.4	自我检测题及参考答案	(66)
第7章 弹性体静力学的基本概念		
7.1	基本知识点	(69)
7.2	重点与难点	(73)
7.3	典型题精解	(73)
7.4	自我检测题及参考答案	(75)
第8章 轴向拉伸与压缩		
8.1	基本知识点	(78)
8.2	重点与难点	(82)
8.3	典型题精解	(82)
8.4	自我检测题及参考答案	(94)
第9章 剪切与扭转		
9.1	基本知识点	(100)
9.2	重点与难点	(105)
9.3	典型题精解	(105)
9.4	自我检测题及参考答案	(113)
第10章 平面图形的几何性质		
10.1	基本知识点	(118)
10.2	重点与难点	(121)
10.3	典型题精解	(121)
10.4	自我检测题及参考答案	(125)
第11章 弯曲内力		
11.1	基本知识点	(129)
11.2	重点与难点	(130)
11.3	典型题精解	(130)
11.4	自我检测题及参考答案	(136)
第12章 弯曲应力		
12.1	基本知识点	(141)
12.2	重点与难点	(143)
12.3	典型题精解	(143)
12.4	自我检测题及参考答案	(150)
第13章 弯曲变形		
13.1	基本知识点	(155)
13.2	重点与难点	(157)

13.3	典型题精解	(157)
13.4	自我检测题及参考答案	(165)
第 14 章 应力状态理论		
14.1	基本知识点	(170)
14.2	重点与难点	(175)
14.3	典型题精解	(175)
14.4	自我检测题及参考答案	(184)
第 15 章 强度理论		
15.1	基本知识点	(189)
15.2	重点与难点	(191)
15.3	典型题精解	(191)
15.4	自我检测题及参考答案	(197)
第 16 章 组合变形		
16.1	基本知识点	(202)
16.2	重点与难点	(205)
16.3	典型题精解	(206)
16.4	自我检测题及参考答案	(215)
第 17 章 压杆稳定		
17.1	基本知识点	(222)
17.2	重点与难点	(226)
17.3	典型题精解	(226)
17.4	自我检测题及参考答案	(232)
附录 I 试题		
	试卷一	(238)
	试卷二	(240)
	试卷三	(242)
	试卷四	(244)
	试卷五	(246)
附录 II 试卷答案		
		(250)
参考文献		
		(252)

第 1 章 刚体静力学的基本概念

1.1 基本知识点

1.1.1 力

力是物体间的相互机械作用,这种作用使物体的机械运动状态发生变化。其中包括物体之间相对位置的变化和物体内部各部分之间相对位置的变化,前者简称为运动,后者简称为变形。

力的运动效应称为力的外效应,它是理论力学或一般力学研究的主要内容;力的变形效应称为力的内效应,它是固体力学研究的主要内容。

力有三要素:大小、方向、作用点。因此,力是定位矢量。

在国际单位制中,力的单位是牛顿(N)。

力的解析表达式:在如图 1-1(a)所示的平面情形中为

$$\mathbf{F} = F_x \mathbf{i} + F_y \mathbf{j} \quad (1-1)$$

在如图 1-1(b)所示的空间情形中为

$$\mathbf{F} = F_x \mathbf{i} + F_y \mathbf{j} + F_z \mathbf{k} \quad (1-2)$$

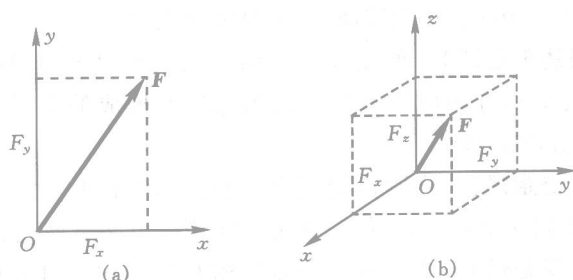


图 1-1

按照力来自外部还是内部,物体系统受到的力可分为外力和内力。其中来自物体系统外部的力称为外力,而物体系统内部各部分之间的相互作用力称为内力。

按照力的作用位置,物体系统受到的力又可分为集中力和分布力。当力的作用面积或体积很小时,可近似地认为是作用在一个点上,这样的力称为集中力;当力的作用面积或体积较大时,称为分布力。单位面积或单位体积上作用的力称为分布力的集度。

1.1.2 力系

作用在同一物体或物体系统上的一群力称为力系。

若两个力系对同一物体的作用效果相同,则称此两力系互为等效力系。

若一个力与一个力系等效,则称此力为该力系的合力,而该力系中的各力都是此力的分力。

1.1.3 平衡

物体相对于惯性参考系处于静止或作匀速直线平动的状态称为平衡,它是物体机械运动的一种特殊情形。在静力学和一般工程问题中,若物体相对于地球保持静止或作匀速直线平动,即称物体处于平衡。

若物体在某力系作用下保持平衡,则称此力系为平衡力系。

1.1.4 刚体

在力作用下不变形的物体称为刚体。刚体是力学中一种理想化模型。当实际物体的变形对所研究问题的影响很小时,即可把该物体视为刚体。这种抽象不仅抓住了问题的本质,而且可使问题的研究得到简化。

1.1.5 静力学公理及其推论

公理 1(二力平衡公理) 作用在同一刚体上的两个力,使刚体保持平衡的充分和必要条件是:这两个力大小相等、方向相反、作用线相同。此公理是研究力系平衡的基础。

公理 2(加减平衡力系公理) 在作用于刚体的力系中,增加或除去任何平衡力系,不改变原力系对刚体的作用。此公理是研究力系简化的基础。

推论 1(力的可传性原理) 作用在刚体上的力,其作用点可在其作用线上任意移动,而不改变其对刚体的作用效果。因此,对刚体而言,力是滑动矢量。

公理 3(力的平行四边形公理) 作用在物体同一点上的两个力可以合成为一个(合)力,合力也作用在该点,其大小和方向由以这两个力为邻边所构成的平行四边形的对角线确定。此公理是力系的合成与分解的基础。

推论 2(三力平衡汇交定理) 当刚体受三个力的作用平衡时,若其中两个力的作用线交于一点,则此三力必位于同一平面内,且第三个力的作用线也必过该点。

公理 4(作用与反作用公理) 任何两个物体间相互作用的一对力总是大小相等、方向相反、沿着同一条直线,并同时分别作用在这两个物体上。这两个力互为作用力和反作用力。此公理是研究物体系统平衡的基础。

公理 5(刚化公理) 当变形体在已知力系作用下处于平衡时,若把变形后的变形体换为刚体(刚化),则平衡状态保持不变。此公理说明了刚体静力学平衡条件与变形体静力学平衡条件之间的关系。

1.2 重点与难点

1.2.1 重点

1. 力、力系、平衡、刚体的概念。
2. 力在坐标轴上的投影与力沿坐标轴方向的分量之间的关系。
3. 静力学公理及其推论。

1.2.2 难点

准确理解静力学公理。

1.3 典型题精解

例 1-1 试求图 1-2(a)所示的力 F 在两坐标轴上的投影及力 F 沿两坐标轴方向分解时分力的大小。图中, $\alpha=30^\circ$, $\beta=90^\circ$, $F=1\ 000\text{ N}$ 。

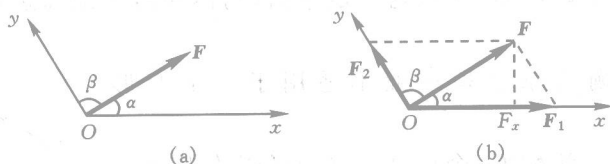


图 1-2

解 如图 1-2(b)所示,力 F 在两坐标轴上的投影分别为

$$F_x = F \cos \alpha = 1\ 000 \cos 30^\circ = 866\text{ N}$$

$$F_y = F \cos \beta = 1\ 000 \cos 90^\circ = 0$$

力 F 沿坐标轴方向分解时两分力 F_1 、 F_2 的大小分别为

$$F_1 = \frac{F}{\cos \alpha} = \frac{1\ 000}{\cos 30^\circ} = 1\ 154.7\text{ N}$$

$$F_2 = F \tan \alpha = 1\ 000 \tan 30^\circ = 577.4\text{ N}$$

例 1-2 如图 1-3(a)所示,长方体的 B 点处沿 AB 作用一个力 F 。若 $F=800\text{ N}$, $\varphi=60^\circ$, $\theta=45^\circ$,试求此力在三坐标轴上的投影及其沿三坐标轴方向分力的大小。

解 如图 1-3(b)所示,力 F 在三坐标轴上的投影分别为

$$F_x = F \sin \varphi \cos \theta = 800 \sin 60^\circ \cos 45^\circ = 489.8\text{ N}$$

$$F_y = -F \sin \varphi \sin \theta = -800 \sin 60^\circ \sin 45^\circ = -489.8\text{ N}$$

$$F_z = F \cos \varphi = 800 \cos 60^\circ = 400\text{ N}$$

力 F 沿三坐标轴方向分力 F_1 、 F_2 、 F_3 的大小分别为

$$F_1 = |F_x| = 489.8\text{ N}$$

$$F_2 = |F_y| = 489.8\text{ N}$$

$$F_3 = |F_z| = 400\text{ N}$$

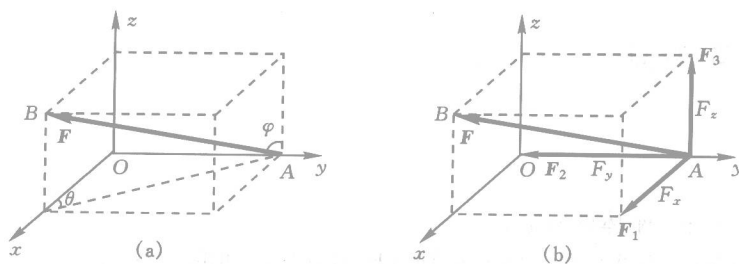


图 1-3

1.4 自我检测题及参考答案

1.4.1 是非题

- 1-1 合力一定比分力大。()
- 1-2 力沿某坐标轴方向分力的大小等于该力在此坐标轴上的投影。()
- 1-3 物体相对于地球静止时,它一定平衡;物体相对于地球运动时,它则一定不平衡。()
- 1-4 加减平衡力系公理一般不适用于一个变形体。()
- 1-5 图 1-4 所示刚体的三个点 A、B、C 上分别作用有三个力 F_1 、 F_2 、 F_3 ,这三个力的矢量恰好构成一个三角形,则此刚体必能保持平衡。()

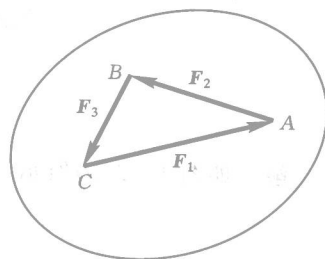


图 1-4

1.4.2 填空题

- 1-6 二力构件(杆)是在两个力的作用下,而且处于_____的构件(杆)。
- 1-7 力对刚体的作用效果取决于力的下述三个要素:(1)_____;
(2)_____;(3)_____。
- 1-8 二力平衡公理和作用与反作用公理中讲的两个力都是大小相等、方向相反、作用线相同,但二力平衡公理中讲的两个力作用在_____上,而作用与反作用公理中讲的两个力则是作用在_____上。

1.4.3 选择题

- 1-9 力在坐标轴上的投影是(),而力沿坐标轴方向的分量是()。
- A. 矢量 B. 代数量 C. 算术量
- 1-10 作用在同一刚体上的两个力,若它们大小相等、方向相同,则这两个力对此刚体的作用效果()。
- A. 一定相同 B. 一定不相同 C. 不一定相同

1-11 变形体在已知力系作用下平衡时,如果把变形体刚化,则此刚体();而当刚体在已知力系作用下平衡时,如果把该刚体软化为变形体,则此变形体()。

A. 一定平衡

B. 一定不平衡

C. 不一定平衡

1.4.4 计算题

1-12 求图 1-5 所示的力 F 在两坐标轴 x 、 y 上的投影,以及此力沿两坐标轴方向分解时两分力的大小。设角 α 、 β 为已知。

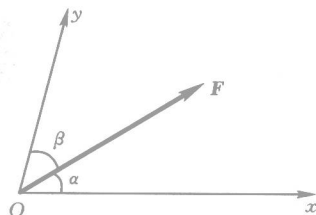


图 1-5

1.4.5 参考答案

1-1 ×

1-2 ×

1-3 ×

1-4 ✓

1-5 ×

1-6 平衡

1-7 力的大小,力的方向,力的作用线

1-8 同一刚体;两个不同物体

1-9 B, A

1-10 C

1-11 A, C

1-12 $F_x = F \cos \alpha$, $F_y = F \cos \beta$

$$F_1 = \frac{F \sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)}, \quad F_2 = \frac{F \sin \alpha}{\sin(\alpha + \beta)}$$

第2章 受力分析

2.1 基本知识点

2.1.1 约束和约束力

1. 自由体和非自由体

在空间的位置和运动不受其他任何物体预加限制的物体,称为自由体。反之,其空间位置和运动受到了周围其他物体预加限制的物体,则称为非自由体或被约束体。

2. 约束

对物体在空间的位置和运动预加限制的周围其他物体称为约束。它是物体间接触性质和连接方式的理想化。

3. 约束力

约束作用于被约束体(非自由体)的力称为约束力。它的作用位置在两物体的相互接触处,方向总是与约束所限制的物体运动或运动趋势的方向相反。

4. 主动力

除了约束力以外,物体受到的其他力统称为主动力,也称为载荷,在土木工程中又称为荷载。

应当注意:

(1)在一般的理论力学和工程力学教科书中,主动力通常是给定的,而约束力是被动的、未知的,其大小和指向往往需要根据主动力和物体的运动状态或运动趋势来确定。但未知和已知、被动和主动并不是约束力和主动力的本质区别。例如弹性力、动滑动摩擦力、流体阻力等虽都是未知的、被动的,但它们不是约束力,而是主动力。工程中,特别是研究工作中,主动力常常是要自己确定的。

(2)约束力与主动力和内力与外力之间的关系是相互交错的,如图 2-1 所示。

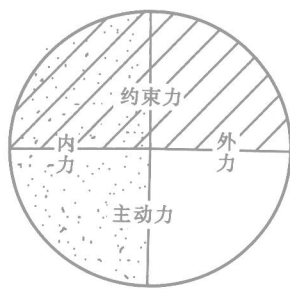


图 2-1

2.1.2 几种常见约束的约束力

1. 柔索约束:特点是只能受拉。约束力沿柔索,且背离被约束物体,即为拉力。

2. 光滑接触面约束:特点是在接触处只能限制物体沿公法线向约束内部运动。约束力沿接触处的公法线,指向被约束物体,即为压力。

3. 光滑圆柱铰链约束(包括固定铰支座、向心轴承等):简称为光滑铰链约束。特点是只限制物

体沿铰销径向的相对移动,不限制沿铰销轴向的相对移动和绕轴线的相对转动。约束力位于垂直于铰销轴线的平面内,且通过铰销中心,通常用过铰销中心的两个大小未知的正交分力表示。

4. 可动铰支座:这是一种组合约束,也称为活动铰支座。约束力沿支承面的法线,并通过铰销中心。

5. 链杆约束:这也是一种组合约束。约束力沿两铰销中心连线。

6. 光滑球形铰链约束:特点是只限制物体的移动,不限制物体绕球心的转动。约束力为过球心的三个大小未知的正交分力。止推轴承的约束力与光滑球形铰链约束力相同。

2.1.3 受力图

1. 研究对象

在研究力学问题时,所确定的被研究物体或物体(分)系统。

2. 分离体图

把研究对象与约束分离后得到的简图。

3. 受力图

在分离体图上画出研究对象受到的所有主动力和约束力后得到的简图。

画受力图是研究力学问题的基础。

(1)画受力图的方法步骤

① 明确研究对象,画出分离体图。

② 在分离体图上画出研究对象受到的全部主动力。

③ 根据约束的特点,在分离体图上逐一画出研究对象受到的全部约束力。

(2)画受力图的注意事项

① 首先必须明确研究对象,即要画哪一个物体(系统)的受力图。然后把它从与周围物体的联系中分离出来,画出其分离体图。不要把非研究对象的简图与分离体图画在一起。

② 一定要根据约束的特点画约束力,切忌主观臆断、凭直观想像画约束力。这一条是初学者必须特别注意的。

③ 要在分离体图上画出实际作用在研究对象上的全部主动力和约束力,不能多画,也不能漏画。不能应用力的可传性原理将作用在其他物体上的力移到研究对象上来。不要在受力图上将研究对象受到的力进行分解或者合成。

④ 内力和外力的关系是相对于一定的研究对象而言的。例如,若把一物体从物体系统中分离出来,则它受到的原系统内其他物体的作用力就成为外力了。画受力图时,只画外力,不画内力。

⑤ 在分别画相邻两物体的受力图时,此两物体间相互作用的力要符合作用与反作用的关系。如例2-2中,滑轮B在铰链B处的约束力 F_{Bx} 、 F_{By} (图2-3(d))与杆AC在B处的约束力 F'_{Bx} 、 F'_{By} (图2-3(c));杆CD在C处的约束力 F_C (图2-3(e))与杆AC在C处的约束力 F'_C (图2-3(f))。例2-3中,构件AD在D处的约束力 F_{Dx} 、 F_{Dy} (图2-4(d))与构件BDE在D处的约束力 F'_{Dx} 、 F'_{Dy} (图2-4(e)或(f));构件BDE在E处的约束力 F_{Ex} 、 F_{Ey} (图2-4(e)或(f))与构件CE在E处的约束力 F'_{Ex} 、 F'_{Ey} (图2-4(g)或(h))。例2-4中,杆OA在B处的约束力 F_B (图2-6(c))与圆柱在B处的约束力 F'_B (图2-6(d))等。

⑥ 系统整体受到的外约束力,在系统整体与局部的受力图中要相互一致。如例2-2中,