

交通中等专业学校统编教材

G O N G C H E N G L I X U E

# 工 程 力 学

(汽车运用工程专业用)

杨 普 主编

孟祥林 主审

人民交通出版社

## 内 容 提 要

本书是交通中等专业学校统编教材。内容包括:静力学、运动力学和材料力学,并附思考题和习题。  
本书供交通中等专业学校汽车运用工程专业师生教学用,亦可供工程技术人员阅读参考。

交通中等专业学校统编教材

工 程 力 学

(汽车运用工程专业用)

杨 普 主编

孟祥林 主审

插图设计:高静芳 版式设计:刘晓方 责任校对:杨 杰

人民交通出版社出版

(100013 北京和平里东街10号)

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印刷

开本:787×1092  $\frac{1}{16}$  印张: 字数: 千

199 年 月 第 版

199 年 月 第 版 第 次印刷

印数: 册 定价: 元

ISBN 7-114- -

# 前 言

本书是应交通中专汽车运用工程学科委员会要求,根据中等专业学校汽车运用工程专业教学大纲编写的。可作为交通中等专业学校汽车运用工程专业教材,也可作为中等专业学校相近专业《工程力学》课程的试用教材。

本书结合汽车运用工程专业主要培养应用型人才的特点,力图作到精选内容,突出基本概念的教学,简化理论公式的推导,强调对力学基本方法的掌握和应用。

本书由云南交通学校杨普主编,南京交通学校孟祥林主审,广西交通学校张尔利担任责任编辑。参加编写的人员有:四川交通学校彭家祥、安徽交通学校宣荷英、河北交通学校阎祥林。本书在编写过程中得到了参编各学校的大力支持,对此表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免有不足和欠妥之处,恳切希望广大读者批评和指正。

编 者

# 目 录

绪论.....	1
---------	---

## 第一篇 静 力 学

第一章 静力学基本概念和受力图 .....	2
第一节 刚体的概念 .....	2
第二节 力的概念 .....	3
第三节 静力学公理.....	4
第四节 约束与约束反力 .....	6
第五节 受力分析与受力图 .....	9
小结 .....	13
思考题 .....	13
习题 .....	16
第二章 平面汇交力系 .....	17
第一节 平面汇交力系的简化 .....	18
第二节 平面汇交力系的平衡条件 .....	20
小结 .....	24
思考题 .....	25
习题 .....	26
第三章 平面一般力系 .....	27
第一节 力矩的概念及计算 .....	28
第二节 力偶、力偶矩 .....	29
第三节 力的平移定理 .....	31
第四节 平面一般力系的简化 .....	32
第五节 平面一般力系的平衡条件 .....	34
第六节 刚体系统的平衡 .....	38
小结 .....	40
思考题 .....	41
习题 .....	42
第四章 考虑摩擦的平衡问题 .....	44
第一节 滑动摩擦力 .....	45
第二节 摩擦角和自锁现象 .....	46
第三节 考虑摩擦时的平衡问题 .....	48
第四节 滚动摩阻 .....	50

小结 .....	52
思考题 .....	52
习题 .....	53
第五章 空间力系和重心 .....	55
第一节 空间汇交力系 .....	55
第二节 空间一般力系 .....	59
第三节 空间轴类问题的平面解法 .....	62
第四节 重心 .....	63
小结 .....	67
思考题 .....	68
习题 .....	68

## 第二篇 运动力学

第六章 质点运动力学 .....	71
第一节 确定点的运动方法 .....	71
第二节 质点动力学基本方程 .....	79
第三节 质点的惯性力和动静法 .....	82
小结 .....	85
思考题 .....	85
习题 .....	86
第七章 刚体运动力学 .....	88
第一节 刚体的平动 .....	88
第二节 刚体绕定轴转动 .....	90
第三节 刚体绕定轴转动的动力学基本方程 .....	93
第四节 定轴转动刚体的动静法 .....	99
小结 .....	101
思考题 .....	101
习题 .....	102
第八章 功和功率 .....	104
第一节 功 .....	105
第二节 功率 .....	108
小结 .....	110
思考题 .....	110
习题 .....	110

## 第三篇 材料力学

第九章 材料力学的基本概念 .....	112
第一节 变形固体及其基本假设 .....	112

第二节	杆的概念及杆件变形的基本形式	113
第三节	内力、截面法、应力	114
	小结	116
	思考题	116
第十章	轴向拉伸与压缩	117
第一节	轴向拉伸与压缩时的内力	117
第二节	轴向拉(压)杆的强度计算	119
第三节	斜截面上的应力 点的应力状态概念	123
第四节	拉(压)杆的变形计算	124
第五节	拉伸和压缩时材料的力学性能	126
第六节	许用应力和应力集中的概念	131
	小结	132
	思考题	132
	习题	134
第十一章	剪切与挤压	136
第一节	剪切	136
第二节	挤压	138
第三节	连接件强度计算	139
第四节	剪应变和剪切虎克定律	141
	小结	142
	思考题	142
	习题	143
第十二章	圆轴扭转	144
第一节	扭转时的内力	144
第二节	圆轴扭转时横截面上的应力	147
第三节	圆轴扭转时的强度计算	149
第四节	圆轴扭转时的刚度计算	151
	小结	153
	思考题	153
	习题	154
第十三章	直梁弯曲	155
第一节	平面弯曲的概念	155
第二节	梁的内力	157
第三节	梁的内力图	159
第四节	纯弯曲时梁横截面上的正应力	163
第五节	截面惯性矩的计算	165
第六节	梁的正应力强度计算	169
第七节	梁的弯曲变形和刚度计算	174
	小结	180
	思考题	181

习题.....	182
第十四章 组合变形的强度计算 .....	185
第一节 组合变形的概念和分析方法 .....	185
第二节 拉(压)弯组合变形强度计算 .....	186
第三节 圆轴弯扭组合变形强度计算 .....	189
小结 .....	192
思考题 .....	193
习题.....	194
第十五章 压杆稳定 .....	195
第一节 压杆稳定的概念 .....	195
第二节 细长压杆的临界力公式——欧拉公式 .....	197
第三节 中长压杆和短粗压杆的临界应力 .....	198
第四节 压杆稳定校核和提高稳定性的措施 .....	200
小结 .....	202
思考题 .....	202
习题.....	203
第十六章 动载荷与交变应力 .....	204
第一节 动载荷和动荷应力的概念 .....	204
第二节 交变应力 .....	204
小结 .....	210
思考题 .....	210
习题.....	211
附录 型钢表.....	212
参考文献.....	225

# 绪 论

工程力学是研究物体机械运动一般规律以及工程构件强度、刚度和稳定性等计算原理的一门学科。

工程力学是与工程实际密切联系的技术基础课。在现代生产的各部门中,没有哪一项工程技术能离开工程力学。无论是各种机械或建筑结构,都是由许多不同构件所组成,当机械或建筑结构工作时,这些构件将受到外力(通常称为载荷)的作用。因此,其设计、制造和使用都是以力学理论为基础的,如分析构件的受力情况,掌握构件平衡和运动的规律等。另外,构件受到外力作用时,构件还可能发生破坏或产生过大的变形,导致机械或结构不能正常工作。为了保证机械或结构具有足够的承载能力,就要合理地设计或选用构件的截面尺寸,使其安全、可靠地工作。这些就是工程力学课程要研究的主要问题。

本书内容分为静力学、运动力学、材料力学三篇。

第一篇为静力学,即研究物体受力分析方法和物体平衡的一般规律;

第二篇为运动力学,即研究质点和刚体的基本运动的规律,以及其运动状态的变化与作用力之间的关系;

第三篇为材料力学,研究工程构件在载荷作用下变形和破坏的规律,在保证既安全又经济的前提下,为构件选用合适的材料,确定合理的截面形状和尺寸,提供有关的基础知识和基本计算方法。

学习本课程的目的,是为了培养学生分析和解决简单工程力学问题的能力,并为以后学习《机械原理与机械零件》等有关课程打下基础。通过本课程的学习,还可以培养学生科学的思想方法,树立辩证唯物的观点。

# 第一篇 静力学

## 引言

静力学是研究物体在力系作用下处于平衡的科学。平衡是物体机械运动的一种特殊状况,若物体相对于地球处于静止或作匀速直线运动,则称此物体处于平衡。例如,房屋、桥梁相对地面是静止的;在平直公路上匀速行驶的汽车,沿直线匀速起吊的重物,它们相对地球作匀速直线运动。这些平衡实例的共同特点是运动状态无变化。

力系是作用在物体上的一组力或一群力。若物体在力系作用下处于平衡,则该力系就称为平衡力系。显然,不是任何力系都可称为平衡力系,只有满足平衡条件的力系才是平衡力系,此条件即为力系的平衡条件。

静力学研究的主要目的就是建立力系的平衡条件,而对力系进行简化是建立力系平衡条件的主要方法。所谓力系的简化,就是用简单的力系来代替复杂的力系,当然,这种替代必须在两力系对物体的作用效果完全相同的条件下进行。对同一物体作用效果完全相同的两力系,彼此称为等效力系。若一个力与一个力系等效,则称此力为该力系的合力,而力系中各个力称为该合力的分力。

综上所述,静力学主要研究的两个基本问题是:

- (1)力系的简化;
- (2)建立物体在各种力系作用下的平衡条件。

静力学不仅在解决工程技术问题中得到广泛应用,而且还将为本书运动力学和材料力学部分及其它后续课程的学习打下基础。

## 第一章 静力学基本概念和受力图

### 第一节 刚体的概念

在研究静力学问题时,可以采用一些理想化的概念,来建立简化的基本模型,以便于用数学说明力学现象。刚体就是这样一个理想化的模型。

实际物体在力的作用下,都会引起或大或小的形状改变,即发生变形。但在多数情况下,这种变形比起物体原有尺寸都很微小。例如图 1-1 所示,悬臂梁上在 A 点作用一力 P,在 A 端的水平和竖直方向产生的小变位,分别为  $\Delta x$  和  $\Delta y$ ,且梁端面的方位发生很小的变化,即形成端面转角  $\theta$ 。

如果忽略物体尺寸和形状的变化,就意味着对实际物体作了这样的理想化:物体在外力作

用下,大小和形状始终保持不变,此理想化的物体称之为刚体。事实证明,在研究物体平衡问题时,当物体在力作用下产生的变形与物体的原有尺寸比较很小时,用刚体来替代真实物体,结果不会对结论的准确性产生显著影响,同时又能大大简化所研究问题的复杂程度。因此,把实际物体抽象化为刚体,不仅是合理的,而且是必要的。

这种从具体事物的复杂因素中找出起决定作用的主要因素,舍去次要因素的方法,就是科学研究中常用的方法——抽象化方法。

当然,讨论物体受到力作用后会不会破坏时,变形就成为一个主要因素,这时就不能再把物体看成刚体,而应该看成变形体。

图 1-1

## 第二节 力的概念

### 一、力的定义

力是物体间的相互作用,这种作用的效果使物体的运动状态发生变化,同时使物体发生变形。前者称为力的外效应,后者称为力的内效应。静力学和运动力学研究力的外效应;材料力学研究力的内效应。

力是物体与物体之间的相互作用,每一个力必有其施力体和受力体。例如,用手拉伸弹簧,就手对弹簧的拉力而言,其施力者是手,受力者是弹簧;而就弹簧对拉手的反拉力而言,其施力者是弹簧,受力者是手。

力可以通过实际接触来施加力(例如直接的推或拉),或者也可以隔一段距离通过物质场来施加力(例如万有引力和磁力)。在工程力学中,力的作用方式一般有两种情况:一种是通过两物体相互接触,它们之间产生的拉力或压力;另一种是物体与地球之间产生的相互吸引力,对物体来说,就是物体的重力。

### 二、力的三要素

实践证明,力对物体的作用效应取决于力的基本特征或要素,即力的大小、方向和作用点,简称为力的三要素。三个要素中任何一个发生变化时,力的作用效果就会改变。

力的大小表示物体之间作用的强度,它可通过力的运动效应和变形效应来度量。在国际单位制中,力的单位是牛顿(N)或千牛顿(kN), $1\text{kN} = 1\,000\text{N}$ 。

力的方向表明物体相互作用具有方向性,力的方向包括力的作用线的方位和力沿作用线的指向。

力的作用点是物体间作用的位置。物体相互接触时,力总是分布地作用在一定面积上,如果力作用的面积很大,这种力称为分布力,例如作用在墙上的风压力和作用在水坝上的水压力(图 1-2)。如果力作用的面积很小,可以近似地看成作用在一个点上,这种力称为集中力。例如起重机(图 1-3)的悬臂梁上挂一重物,重物的重力  $P$  可视为一集中力,它作用在梁的吊钩  $C$  点上,钢索的拉力  $T$  为一集中力,它作用在梁的  $B$  点上。

图 1-2

图 1-3

### 三、力的矢量性

力的三要素表明力是一个矢量,它可以用一个有方向的线段表示,如图 1-4 所示。线段的起点 A (或终点 B) 表示力的作用点;沿力矢顺着箭头的指向表示力的方向;线段的长度(按一定的比例尺)表示力的大小。在本书中矢量均用黑体字母,如  $\mathbf{F}$ 、 $\mathbf{P}$  表示。手写时则在字母上加一横线如  $\overline{F}$ 、 $\overline{P}$  表示。而  $F$ 、 $P$  等只表示力矢量的大小。

图 1-4

## 第三节 静力学公理

静力学公理是人类在长期的实践和经验中对力学现象进行概括和总结得出的结论,静力学公理概括了力的一些基本性质,是建立静力学全部理论的基础。

### 一、二力平衡公理

作用在同一刚体上的两个力,使刚体平衡的必要和充分条件是:两力的大小相等,作用在同一直线上,指向相反。

此公理揭示的是静力学中最简单的二力平衡条件,是平衡的最基本的规律。从求合力角度来看,若两力大小相等,作用线相同,指向相反,则求得的合力为零;换句话说,这两个力对物体的运动效应为零,即物体处于平衡。

由实践可知,如图 1-5 所示,在直杆的两端沿轴线加一对大小相等的拉力( $F_1, F_2$ )或压力( $F_3, F_4$ )都可使杆平

图 1-5

衡。在机器和建筑结构中的某些构件,如图 1-6a、b 中的 BC 构件,在可以不计自重的前提下,都只受两个力而处于平衡,这种构件称为二力构件。二力构件上的两个力必满足二力平衡条件。

### 二、加减平衡力系公理

在任意一个已知力系上,加上或减去任何一个平衡力系,不会改变原力系对刚体的作用效应。因为平衡力系不会改变物体的运动效应,即平衡力系对物体的运动效应为零,所以在原力

系上加上或减去一个平衡力系,是不会改变物体的运动效果的。本公理是力系简化的基本方法之一。

图 1-6

推论:力的可传性原理

作用在刚体上的力,可沿其作用线滑移到刚体内另外一点,不会改变此力对刚体的作用效应。

证明如下:

(1)设力  $F$  作用在刚体上  $A$  点(图 1-7a)。

(2)在力的作用线上另选一点  $B$ ,并在  $B$  点加一组平衡力系  $F_1$  和  $F_2$ ,且使  $F_1 = -F_2 = F$  (图 1-5b)。

(3)由于力  $F_1$  和  $F$  也是一组平衡力系,去掉后只剩下  $F_2$ (图 1-5c)。

(4)结果相当于把  $F$  从  $A$  点沿作用线移到  $B$  点。

此原理表明,如果只研究力对刚体的效应,则力的作用点就不重要了。在这种情况下,力对刚体的作用

图 1-7

效应取决于:力的大小、作用线方位和指向这三要素,力成了滑动矢量。

### 三、作用与反作用力公理

两物体间的作用力与反作用力,总是大小相等,指向相反,作用在同一直线上,分别作用在两个物体上。这个性质指出,力总是成对出现的,有作用力必有一反作用力,这是分析物体之间相互作用力的一条重要规律。如图 1-8a 所示,绳子  $AB$  下端系一小球,其重力为  $P$ ,上端固定在顶板上,绳重略去不计。现分别考察小球、绳子和顶板的受力:小球受到地球的引力,即它的重力  $P$ ,设此力作用在小球的重心上。球被绳系住不能下落,绳对球作用一向上的拉力  $T_B$ ,其作用点在  $B$  点。球的受力情况如图 1-8b 所示。绳的  $B$  端受到球向下的拉力  $T_B$ ,其  $A$  端受到顶板向上的拉力  $T_A$ 。绳子的受力情况如图 1-8c 所示。顶板上在  $A$  点受到绳向下的拉力  $T_A$ ,它的受力情况如图 1-8d 所示。

不难看出, $T_B$  与  $T_B$  是分别作用在球和绳上的一对作用力与反作用力; $T_A$  与  $T_A$  是分别作用在顶板和绳上的一对作用力与反作用力;小球重

图 1-8

力  $P$  的反作用力是其对地球的吸引力  $P$  ,它在地球的中心向上(图上未画出)。

还要注意作用力与反作用力公理与二力平衡公理的区别,作用力与反作用力公理描述的是两个物体之间相互作用的关系,二力平衡公理是叙述一个物体在两个力作用下的平衡条件,不可混淆。

#### 四、力的平行四边形公理

作用在物体上同一点的两个力,其合力的作用点也在该点,合力的大小和方向由两力为边所构成的平行四边形的对角线确定。如图 1-9a 所示。

写成矢量式为

$$R = F_1 + F_2$$

根据此公理用作图法求合力时,通常只须画出半个平行四边形就够了。如图 1-9b 所示,从  $O$  点开始先画矢量  $\vec{Oa} = F_1$ ,从  $a$  点再画矢量  $\vec{ab} = F_2$ ,连接起点  $O$  与终点  $b$ ,合力  $R$  就由封闭边的矢量  $\vec{Ob}$  决定。这称为力的三角形法。

力的平行四边形公理是研究力系简化的重要根据。

应该指出,力的这一性质无论对刚体或变形体都是适用的。但对于刚体来说,并不要求两力的作用点相同,只要两力的作用线相交,就可根据力的可传性,分别把两力的作用点移到交点上,然后再应用力的平行四边形公理求合力,如图 1-10 所示。

图 1-9

图 1-10

反之,一个力也可以分解为两个力,但必须附加一定的条件,才能得到确定的结果。常见的附加条件是将两个分力向规定的方向分解。例如汽车在坡路上时(图 1-11),作用在它重心的重力  $W$  可分解为垂直于路面的分力  $P_1$  与平行于路面的分力  $P_2$ ,前者等于汽车对路面的压力,后者是使汽车沿坡面下滑的力。这两个分力的大小分别是:

图 1-11

$$P_1 = W \cos \alpha, P_2 = W \sin \alpha$$

## 第四节 约束与约束反力

### 一、约束与约束反力的概念

根据物体的运动是否受到限制,可以把物体分为两类:一类称为自由体,它们的运动不受任何限制,例如在空中飞行的炮弹、火箭等都是自由体。另一类称为非自由体,它们的运动受到

预先给定的限制,例如房梁受到立柱的限制而固定不动,汽车受到地面的限制而沿地面行驶,转轴受到轴承限制而只能绕轴心转动等。

由此引出约束的概念,若一物体的运动受到其它物体的限制,这些构成限制的物体就称为约束。例如上面提到的柱子是房梁的约束,地面是汽车的约束,轴承是转轴的约束。在工程力学中,约束总是通过一定接触实现的。

约束加给被约束物体的力称为约束力。于是,可以把物体受到的力分为两类:一类称为主动力,主动力是引起物体运动或使物体产生运动趋势的力,一般情况下,它是已知力;另一类是约束力,是对物体的运动或运动趋势起阻碍作用的力,是未知力。从约束力对物体的作用性质来看,约束力是由主动力引起的,故它是一种被动的反作用力,所以,约束力又称为约束反作用力,简称约束反力。

总之,约束反力作用在接触点处,其方向总是与该约束所能限制的物体运动或运动趋势方向相反。

## 二、典型的约束及其反力

受力分析的主要任务之一就是要确定各种约束的反力,而约束的反力与约束的结构形式和接触面的物理性质有关。虽然实际的约束结构形式各种各样,但是可以把它们归纳成几种典型的约束类型。

### 1. 柔体约束

柔体约束是由绳索、胶带或链条等柔性物体构成的。这类约束的性质决定了它只能提供拉力,限制被约束物体沿其伸长方向的运动。如图 1-12a 中绳索 BC 对杆 AB 的约束反力是拉力  $T$  (图 1-12b),方向沿 BC 直线。

当柔体绕过轮子时(如图 1-13a),常假想把柔体从直线处截断,将绕过轮子部分柔体与轮子一起作为研究对象考察,这样就可以不考虑柔体与轮子之间的内力,柔体对轮子的约束反力——拉力沿轮缘的切线方向(图 1-13b)。

图 1-12

图 1-13

### 2. 光滑面约束

图 1-14a 所示物块受到平面的约束,当忽略图 1-14 中接触处所示的摩擦力  $F$  时,平面限制了物块下落,约束反力  $N$  垂直于接触平面指向物块。如果物体受到光滑曲面的约束,如图 1-14b 所示,约束反力就沿接触面的法线方向指向球体,接触点  $O$  就是约束反力的作用点。图 1-14c 所示的凸轮机构,如将凸轮看作是顶杆的约束,约束反力具有相同的特征。

由此可见,光滑面约束是两物体间通过点、线、面的接触形成的,限制了物体在接触点处沿接触面的法线方向的运动,对被约束体提供压力。

光滑面约束还可以举出两个齿轮啮合处的约束(图 1-15)作为例子。虽然两齿之间是曲面,因为齿轮啮合点的公法线方向是知道的,所以图 1-15 中力  $N$  和  $N'$  的方向也可以预先确定。

图 1-14

图 1-15

图 1-16 中,放入方槽内的直杆在 A、B、C 三处的约束反力,根据光滑面约束的性质,其反力方向只能是图中的  $N_A$ 、 $N_B$ 、 $N_C$ ,绝不可不根据约束的性质凭空想象反力方向。

### 3. 固定及中间铰链约束

用圆柱形销钉 C 将两构件 A、B 连接在一起(图 1-17a),就成了铰链连接。若相联的两构件均不固定,则称为中间铰链,常用图 1-17b 所示符号表示;若相联两构件有一个固定件(图 1-17c),则称为固定铰链,常用图 1-17d 所示符号表示。

图 1-16

由铰链的结构可知,两构件之间只能产生绕销钉轴线的相对转动,而限制了二者各个方向的相对移动。由于铰链约束可以限制各方向的相对移动,约束反力限制的具体方向就不能只由约束的性质来决定,而与受约束物体所受的其他力有关。因此,铰链约束的反力  $N$  不仅大小未知,而且作用线的方向也是未知,有两个未知量。为了便于计算,通常用两个大小未知的正交分力  $N_x$ 、 $N_y$  表示,如图 1-17d 和 1-18 所示,只要两个分力确定了,约束反力也就完全确定了。

中间及固定铰链的约束反力方向,在如下情况可以确定:

(1)铰链连接的构件中,有一个是二力构件,图 1-16 所示的 BC(不计自重)为二力构件,其约束反力  $R$  的作用线必沿 BC 连线方向。

(2)铰链连接的构件中,有一受到一组平行力系作用,则铰的约束反力也必与该力系平行。

### 4. 活动铰链约束

如果对铰链的一端不加固定,而是放在滚子上,滚子就可以在支承面上任意移动,这时约束只能限制构件垂直支承面方向的运动,这种结构(图 1-19a、b)称为活动铰链约束,常用图

1-19c)所示符号表示。活动铰链约束反力必通过铰链中心垂直于支承面。

图 1-17

图 1-18

图 1-19

## 第五节 受力分析与受力图

### 一、受力分析

在进行力学计算时,先要应用有关力、约束和平衡等基本概念,对研究物体进行分析,建立起实际物体的抽象化受力模型,这一过程就是受力分析。受力分析的结果得出研究对象的受力图。受力分析方法的要点如下。

#### 1. 取分离体

根据问题的不同要求,先要选定某个刚体为研究对象。为了弄清它的受力情况,必须把它从周围的物体联系中分离出来,而把周围物体对它的作用用相应的力来替代,这个分析过程称为取分离体。应该指出,取分离体实质上是显示物体之间相互作用力的方法,只有把力显示出来,才能应用平衡条件求解。

#### 2. 画受力图

研究对象从物体中分离出来后,把它看作是受力体,然后分析它所受到的力。受力体所受的力,一类是主动力,主要包括重力或其它已知力;另一类是约束反力,约束反力的分析与约束的结构形式、接触面的物理性质及刚体的简单平衡条件等因素有关,一般应根据典型约束的特征来判断,由于约束反力的影响因素较多。所以,在画受力图的过程中,关键在于分析约束反力。最后把受力体所受每一个力正确地画出来,得到分离体的受力图,简称受力图。

应该指出,受力分析是力学中一种特有的有效分析方法,它是静力学和运动力学中的重要

方法。正确地进行受力和画出受力图是解决力学问题的前提和关键。

## 二、单体受力图

例 1-1 匀质球重  $G$ , 用绳系住, 并靠于光滑的斜面上, 如图 1-20a) 所示, 试画出小球受力图。

解: (1) 取小球为研究对象。

(2) 小球受到的主动力是小球重力  $G$ , 作用于小球中心  $O$ 。

图 1-20

(3) 小球在  $A$ 、 $B$  两点与绳和斜面解除约束。 $A$  点约束属柔体约束, 其反力沿绳的中心线背离小球;  $B$  点约束属光滑面约束, 其反力沿公法线即小球半径方向指向球心。小球的受力图如图 1-20b) 所示。

例 1-2 匀质杆  $AB$  重量为  $G$ , 支于光滑的地面及墙角间, 并用水平绳  $DE$  系住, 如图 1-21a) 所示。试画杆  $AB$  的受力图。

解: (1) 以杆  $AB$  为研究对象。

(2) 杆受到的主动力即为自重  $G$ , 作用于杆的中点  $O$ 。

(3) 杆在  $A$ 、 $D$ 、 $C$  三点与约束存在接触。 $A$  点属光滑面约束,  $D$  点属柔体约束,  $C$  点也属光滑面约束。 $A$  点反力  $N_A$  沿公法线即垂直地面向上指向杆,  $D$  点反力沿绳中心线离开杆,  $C$  点反力沿公法线即垂直杆  $AB$  指向杆。  $AB$  杆受力图如图 1-21b) 所示。

例 1-3 三角架由  $AB$ 、 $BC$  两杆用铰链连接而成。销  $B$  处悬挂重为  $G$  的物体,  $A$ 、 $C$  两处为固定铰链, 如图 1-22a) 所示。不计杆自重, 试画出销钉  $B$  的受力图。

解: (1) 取销钉  $B$  为研究对象。

图 1-21

图 1-22

(2) 销钉  $B$  受到的主动力即为物体重力  $G$ 。

(3) 销钉  $B$  受到杆  $AB$ 、 $BC$  的铰链约束, 由于杆  $AB$  和  $BC$  都不计自重, 两杆都是中间无载荷作用, 两端铰接的二力构件。所以, 暂设杆  $AB$  提供拉力  $T_{BA}$ , 则  $T_{BA}$  沿  $A$ 、 $B$  两铰连线方向离开  $B$  点; 暂设杆  $BC$  提供压力  $T_{BC}$ , 则  $T_{BC}$  沿  $B$ 、 $C$  两铰连线方向指向  $B$  点。销钉  $B$  受力图如图 1-22b) 所示。

例 1-4 试画出图 1-23a) 曲柄活塞机构中活塞的受力图和图 1-23d) 凸轮机构中推杆的受力图, 并进行比较。