

校企合作优秀教材

精品课程配套教材

21世纪应用型人才培养“十三五”规划教材

理论力学

LILUN LIXUE



主 编 刘然慧 闵国林 李翠赞



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

校企合作优秀教材

精品课程配套教材

21世纪应用型人才培养“十三五”规划教材

主 编 刘然慧 闵国林 李翠赞

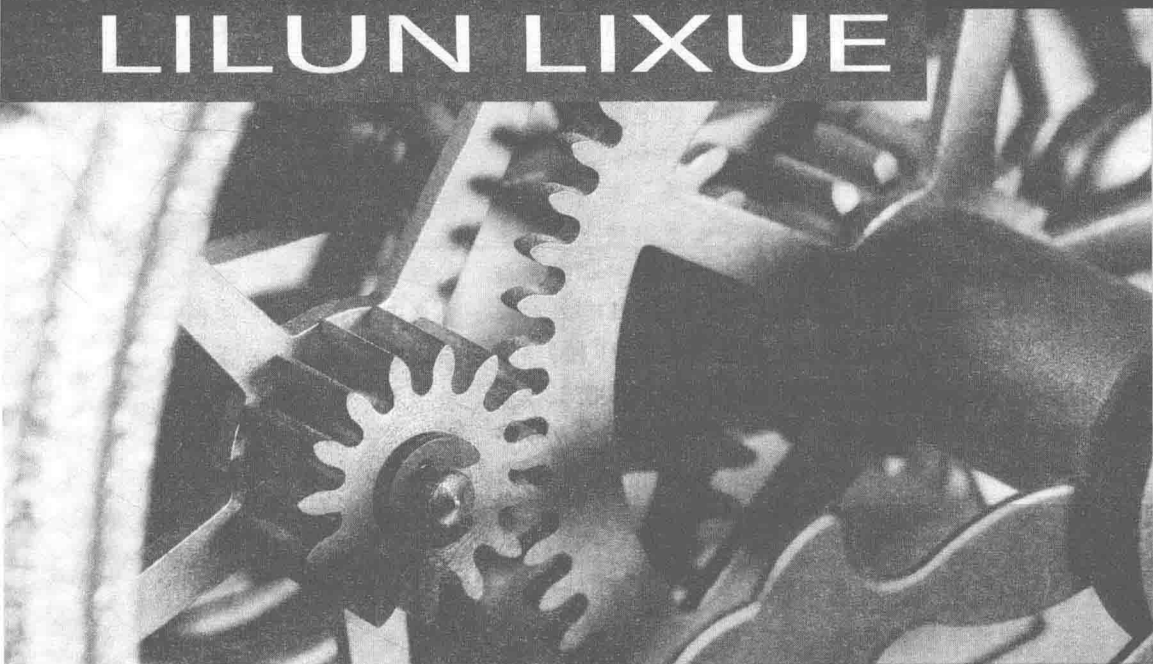
副主编 叶大萌 陈金兰 翁剑成

晋芳伟 耿海珍

参 编 张雪华

理论力学

LILUN LIXUE



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

图书在版编目(CIP)数据

理论力学 / 刘然慧, 闵国林, 李翠赟主编. —成都: 西南交通大学出版社, 2017.7

ISBN 978-7-5643-3231-0

I. ①理… II. ①刘… ②闵… ③李… III. ①理论力学-高等学校-教材 IV. ①O31

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 172399 号

理论力学

刘然慧 闵国林 李翠赟 主编

责任编辑 曾荣兵
助理编辑 姜锡伟

出版发行	西南交通大学出版社 (四川省成都市二环路 111 号 西南交通大学创新大厦 21 楼)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网 址	http://www.xnjdcbs.com
印 刷	北京玥实印刷有限公司
成品尺寸	185 mm×260 mm
印 张	23.5
字 数	584 千字
印 次	2017 年 7 月第 2 次印刷
书 号	ISBN 978-7-5643-3231-0
定 价	39.50 元

版权所有 盗版必究 举报电话:028-87600562

精品课程配套教材 “双创”型人才培养优秀教材

编审委员会

主任：王汝志

副主任：张俊竹 鲁春燕 倪元相 黄 电 姜 庆 郝德鸿 徐顺志 黄群瑛 刘仁芬
杜海玲 黄 芸 崔 芸 刘 晖 胡 建 张敏杰 陈柏明 宋国顺 唐 靖
孙新国 李奇志 寇朝辉 李 奇 陈 娟 李 晓青 田 莉 毕春晖 隋 兵
杜春雷 田富阳 田 华 魏晓娅 钱晓芳 舒 安 唐克岩 曾华林 何春梅

委员：(名次不分先后顺序)

马超平	胡延华	唐志刚	伍建海	冯光明	曾庆良	吴倍贝	杨 希	曾昭江
兰长明	赵蓓蕾	姜炳春	杨云兰	邱州鹏	谭洪溢	刘平胜	王金良	刘妙玲
周 冲	王德礼	陈 明	朱超才	汪洪斌	钱黎春	陈起凤	张 璐	汪 丽
张治俊	张春来	李琚陈	王国体	夏 松	王 强	张 娜	杨世河	丁 辰
周 宇	杨智良	高立峰	凌烈锋	申永刚	汪作琳	邓光明	阳玉秀	杨勇军
黎利辉	文 竹	曾利明	黄汝广	梁满朝	蒙 敏	温任平	秦 艳	李 杰
庞江峰	孙永震	高启明	王建立	吴剑锋	王久霞	王志新	赵 静	潘 军
林秀芝	王永芳	殷永生	江 毅	陈 芳	陈金山	周金羊	孔 丽	黄爱科
郑小平	姜 楠	高明华	宛 燕	陈淑萍	刘德华	郭明德	萨其尔	方 煜
刘 军	程宝鑫	王艳丽	运乃通	朱卫娟	李占仓	格 桑	苏迅帆	吴丽娜
杨丽君	田荣燕	泰国华	刘 云	王子国	魏洪超	刘兆军	魏玉芝	达娃次仁
李 阳	杨 亮	李 伟	李丽艳	于善波	付广敏	常 虹	吴彦文	徐 军
郑 玲	姜 健	王 钧	毛用春	马 毅	席俊生	陈 微	王志强	蔡玉云
曹其英	林金澜	杨 迪	毛爱云	彭佑元	宁晓青	孙润霞	高文伟	梁双升
苏少虹	张艳英	李建清	林俊卿	陈俊峰	贾 檀	汪 琴	王玉林	马妙娟
何阳英	陈晓川	马春晓	吕镇洋	司丽娟	张惠芳	江 彬	张建春	陈 科
吴章土	熊 林	吉玲峰	王红记	何 伟	谢晓杰	王 军	李元杰	任 丽
魏 宁	熊晓亮	范学谦	毛洪涛	许立强	黄孝斌	罗 勇	胡郑重	高双喜
徐斌华	徐晓晗	周 军	董 惠	刘婷婷	蔡改成	汪 峰	汪中华	徐兰兰
余红珍	梁月飞	李春侠	田正佳	吴小伟	张 薇	仲崇高	包耀东	高国生
王湘蓉	蒋秀莲	徐明川	郑道东	张元越	朱 力	芦书荣	袁 鸿	包佃清
陈存英	赵彩虹	胡海婧	王金国	张 晶	周 蓓	徐 贻	李 宁	顾海华
谢鑫建	陈丽佳	罗 杰	涂春莲	欧蔓丽	刘蔚倩	谭德喜	王继良	唐启涛
邓 杰	刘怡然	刘坤城	于肖飞	康永平	郑明望	彭 杰	李凯贤	石梅兰
刘 慧	薛亚卓	李金伟	杨春旺	刘卫东	张 涛	王艳芹	靖麦玲	岳士凯
王 玲	刘玉国	张秀芳	耿禧则	王永照	王长青	付坤伟	孙宁宁	常 苏
刘 峰	黎维红	田海生	李付忠	宋珊珊	丛 颖	封 岚	安永红	杜 垚
张 华	李 奇	潘宏斌	王 磊	袁 新	陈劲松	林秋实	万 福	蔡昭君
杨 决	李 巨	李 芳	张 曼	姜百瑞	余龙江	郑 峰	韩 勇	卫玉成
千 彦	郑 涛	牛荣建	颜 伟	周 洁	刘建国	向洪玲	张红波	田航周
何朝良	刘 洋	卜长明	吴建荣	蒲 冰	成志平	谭 波	谢晓明	黎付兵

前言

本书是根据教育部“力学基础课程教学基本要求”编写的,编写过程中,作者根据多年在理论力学教学中积累的经验,注意吸取同类教材的精华,力求体系完整、特色鲜明,精简了学时,加强了基本概念、基本理论和基本方法的讲述。讲述过程采用了由浅入深、由简到繁、由特殊到一般、由质点到质点系、由矢量到代数量循序渐进的次序。

本教材既保持了课程的基本要求,又注意与先修的高等数学、大学物理的衔接及向材料力学等后续课的过渡。在优化教学内容的同时,加强学生能力的培养,注重以工程实际为背景,加深对物理概念的阐述和工程建模能力的培养,注重对物体的受力分析和对运动过程的分析。

本书定位明确,可作为高等学校机械、土木、交通、水利、采矿、冶金等各工科专业中、少学时教材或教学参考书,也可供相关专业工程技术人员参考。

全书内容分为三篇共15章,第一篇是静力学,包括受力分析和受力图、力系的等效与简化和静力学平衡问题等内容;第二篇是运动学,包括运动分析基础、点的复合运动分析和刚体的平面运动分析等内容;第三篇是动力学,包括质点动力学、动力学普遍定理及其应用、达朗贝尔原理、虚位移原理等内容。本书还选配了一定数量的典型例题、思考题和习题供教师和学生选用。同时也列出了每一章的教学要求、重点、难点、学习方法和要点提示,供教师在教学过程中参考,也可作为学生在学习时的指南。

本书编写分工如下:本书绪论、第十章、第十三章由刘然慧执笔,第七章、第十一章、第十二章由闵国林执笔,第三章、第四章、第六章由李翠赞执笔,第二章、第九章由耿海珍执笔,第一章、第八章、第五章、第十四章、第十五章由翁剑成、晋芳伟、叶大萌、陈金兰执笔,全书由刘然慧、闵国林统稿。

全书由山东交通学院胡庆泉教授审阅,并提出了很多宝贵意见。同时,编者还参考了国内外一些优秀教材,并选用了其中部分例题和习题。在出版过程中,西南交通大学出版社的同志们付出了辛勤的劳动,在此一并表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限,欠妥之处在所难免,恳请同行及读者批评指正。

编者

2017年7月

目 录

第1篇 静力学	1
第1章 静力学公理和物体的受力分析	2
1.1 静力学基本概念	2
1.2 静力学公理	3
1.3 约束与约束反力	6
1.4 物体的受力分析与受力图	9
第2章 平面汇交力系和平面力偶系	19
2.1 平面汇交力系合成与平衡的几何法	19
2.2 平面汇交力系合成与平衡的解析法	21
2.3 平面力对点之矩	25
2.4 平面力偶	26
2.5 平面力偶系的合成和平衡条件	28
第3章 平面任意力系	39
3.1 力线平移定理	39
3.2 平面任意力系向一点的简化	41
3.3 平面任意力系的平衡方程	46
3.4 物体系统的平衡	52
3.5 平面简单桁架的内力计算	59
第4章 摩擦	77
4.1 滑动摩擦	77
4.2 摩擦角和自锁现象	80
4.3 考虑摩擦时物体的平衡问题	82
4.4 滚动摩阻简介	87
第5章 空间力系	98
5.1 力在空间直角坐标轴上的投影	98
5.2 力对点之矩矢和力对轴之矩	103
5.3 空间力偶	106
5.4 空间任意力系向一点简化	109
5.5 空间任意力系的平衡	113

5.6 重心	121
第2篇 运动学	133
第6章 点的运动	134
6.1 矢量法	134
6.2 直角坐标法	136
6.3 自然法	143
第7章 刚体的基本运动	156
7.1 刚体的平行移动	156
7.2 刚体的定轴转动	158
7.3 转动刚体内各点的速度和加速度	162
7.4 轮系的传动比	165
7.5 以矢量表示角速度和角加速度·以矢积表示点的速度和加速度	167
第8章 点的合成运动	177
8.1 绝对运动·相对运动·牵连运动	177
8.2 速度合成定理	179
8.3 牵连运动为平动时点的加速度合成定理	183
8.4 牵连运动为定轴转动时点的加速度合成定理	186
第9章 刚体的平面运动	197
9.1 刚体平面运动的分解	197
9.2 平面图形上各点的速度分析	200
9.3 平面图形上各点的加速度分析	210
第3篇 动力学	226
第10章 质点动力学	227
10.1 动力学基本定律	227
10.2 质点运动微分方程	229
第11章 动量定理	242
11.1 动量与冲量	242
11.2 动量定理	244
11.3 质心运动定理	248
第12章 动量矩定理	256
12.1 质点和质点系的动量矩	256
12.2 动量矩定理	258
12.3 刚体绕定轴转动的微分方程	262
12.4 刚体对轴的转动惯量	265
12.5 刚体平面运动微分方程	270
第13章 动能定理	279



13.1	力的功	279
13.2	质点和质点系的动能	286
13.3	动能定理	289
13.4	势力场·势能·机械能守恒定律	295
13.5	动力学普遍定理的综合应用	299
第 14 章	达朗贝尔原理	317
14.1	惯性力·质点的达朗贝尔原理	317
14.2	质点系的达朗贝尔原理	319
14.3	刚体惯性力系的简化	320
第 15 章	虚位移原理	332
15.1	约束·虚位移·虚功	332
15.2	虚位移原理	337
习题参考答案		343
参考文献		366

第1篇 静力学

引言

静力学主要研究物体在力系作用下的平衡规律。

物体在力系的作用下处于平衡的条件称为力系的平衡条件。为了研究力系的平衡条件,除必须对物体进行受力分析外,还须将一个复杂力系等效替换成一简单力系。因此,静力学研究的主要内容有:

1. 物体的受力分析

分析研究对象共受几个力作用,以及每个力的作用位置 and 方向。

2. 力系的等效替换(简化)

是力系简化的理论基础。

3. 力系的平衡条件及应用

主要研究物体在各种力系作用下处于平衡状态时,所需满足的条件。

第 1 章 静力学公理和物体的受力分析

本章要求

1. 准确理解力、刚体、平衡、约束等基本概念和静力学基本公理；
2. 掌握常见约束的特征及约束反力的表示方法；
3. 能正确地对单个物体及物体系进行受力分析并画出受力图。

重点

1. 力的概念、刚体的概念、平衡的概念、约束和约束反力的概念；
2. 静力学公理及其应用；
3. 工程上几种常见约束的特征及其约束反力的画法；
4. 受力分析和受力图(单个物体及物体系)。

难点

1. 约束的概念及其特征；
2. 物体系的受力分析及其受力图。

1.1 静力学基本概念

1. 力和力系的概念

力是物体间相互的机械作用。物体间力的作用形式可分为两类：一类是物体间的直接接触作用产生的作用力；另一类是通过场的作用产生的作用力。

力使物体的运动状态发生改变的效应，叫作力的外效应或运动效应。力使物体的形状发生改变的效应，叫作内效应或变形效应。静力学只研究力的外效应，而力的内效应属于材料力学的研究范围。

由经验可知，力对物体的作用效应取决于力的三要素，即力的大小、力的方向和力的作用点。其中任何一个要素发生变化，力的作用效应也随之改变。

力是既有大小又有方向的矢量，因此可以用带箭头的线段来表示，如图 1-1 所示。线段的起点或终点表示力的作用点，线段的长度表示力的大小，用线段的方位和箭头的指向表示力的方向。通过力的作用点沿力的方向的直线称为力的作用线。

力的国际单位是牛顿(N)或千牛顿(kN)。

作用在物体上的一群力称为力系。若两个力系对同一物体作用效果相同，则这两个力系彼此称为等效力系。不受外力作用的物体称为受零力系作用。如果一个力系跟零力系等效，则该力系称为平衡力系。根据力的作用线分布，力系可分为平面力系和空间

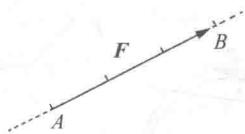


图 1-1

力系;根据力的作用线关系,力系可分为汇交力系(包括平面汇交力系和空间汇交力系)、平行力系(包括平面平行力系和空间平行力系)和任意力系(包括平面任意力系和空间任意力系)。

若一个力与一个力系等效,则称这个力是这个力系的合力,而该力系中的每一个力是这个合力的分力。使一个比较复杂的力系简化为与它等效的简单力系的过程称为力系的简化。

2. 平衡的概念

平衡是指物体相对惯性参考系(如地面)保持静止或匀速直线运动的状态。

3. 刚体的概念

在力的作用下,物体内部任意两点之间的距离始终保持不变,也就是说,在力的作用下,物体的大小和形状都不变,这样的物体就称为刚体。

1.2 静力学公理

公理,是经过人们长期实践检验的客观规律,是符合客观实际的最普通、最一般的规律。

公理一 二力平衡公理

作用在刚体上的两个力,使刚体保持平衡的充分和必要条件是:这两个力大小相等、方向相反且作用在同一直线上,如图 1-2 所示。

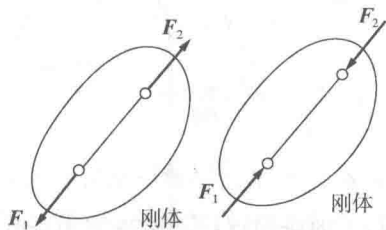


图 1-2

如果一个构件只受两个力的作用且处于平衡状态,那么这个构件称为二力杆。

二力杆的受力特点是两个力必沿作用点的连线作用。工程中存在许多二力杆,如矿井巷道支护的三铰拱,如图 1-3 所示,其中 BC 杆质量不计,就可以看成二力杆。

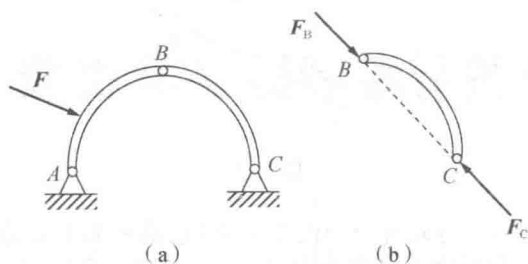


图 1-3

公理二 加减平衡力系公理

在作用于刚体的力系上增加或减去一个平衡力系,不改变原力系对刚体的作用效应。

这个公理只适用于刚体。加减平衡力系公理是研究力系等效替换的重要依据。

推论一 力的可传性原理

作用于刚体上某点的力,可以沿着它的作用线移到刚体内任意一点,并不改变该力对刚体的作用效应。

证明: 设力 F 作用于刚体上的 A 点,如图 1-4(a) 所示。在力的作用线上任意点 B 处施加一对平衡力 F_1 和 F_2 , 且 $F_1 = F_2 = F$, 如图 1-4(b) 所示。根据加减平衡力系公理,力 F 对刚体的作用效应与力系 F 、 F_1 、 F_2 对刚体的作用效应是相同的。力 F 和 F_2 也构成一平衡力系,故可去掉这对力,则作用在刚体上 B 点上的力 F_1 与作用在 A 点上的力 F 等效,如图 1-4(c) 所示。即原来的力 F 沿其作用线从点 A 移到了点 B 。

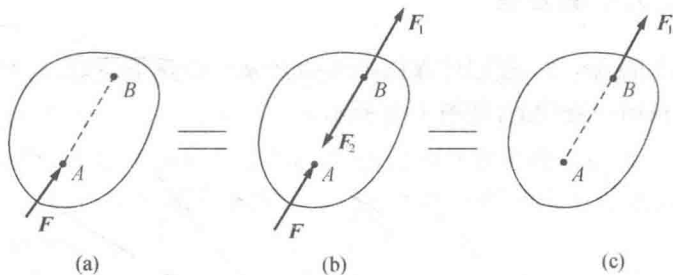


图 1-4

由此可见,对于刚体来说,力的作用点已不是决定力的作用效应的要素,它已被作用线代替。因此,作用于刚体上的力的三要素是:力的大小、方向和作用线。作用于刚体上的力可以沿着作用线移动,这种矢量称为滑移矢量。

公理三 力的平行四边形法则

作用于物体同一点的两个力可以合成为作用于该点的一个合力,合力的大小和方向

由以这两个力为边构成的平行四边形的对角线确定,如图 1-5(a)所示。

这种合成力的方法,称为矢量加法,合力称为这两力的矢量和,用公式表示为:

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 \quad (1-1)$$

为了方便,也可以作力三角形求两汇交力合力的大小和方向,如图 1-5(b)所示。

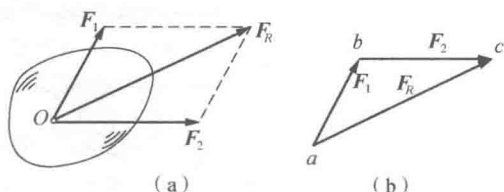


图 1-5

推论二 三力平衡汇交定理

作用于刚体上三个相互平衡的力,若其中两个力的作用线相交于一点,那么三力必在同一平面内,且第三个力的作用线必过该交点。

证明:如图 1-6 所示,在刚体 A、B、C 三点上,分别作用三个相互平衡的力 $\mathbf{F}_1$ 、 $\mathbf{F}_2$ 、 $\mathbf{F}_3$ 。根据力的可传递性原理,将力 $\mathbf{F}_1$ 和 $\mathbf{F}_2$ 移到汇交点 O,根据平行四边形法则得到合力 $\mathbf{F}_R$, $\mathbf{F}_3$ 应与 $\mathbf{F}_R$ 平衡。根据二力平衡公理, $\mathbf{F}_3$ 必定与 $\mathbf{F}_1$ 和 $\mathbf{F}_2$ 共面,且通过力 $\mathbf{F}_1$ 和 $\mathbf{F}_2$ 的汇交点 O,于是定理得证。

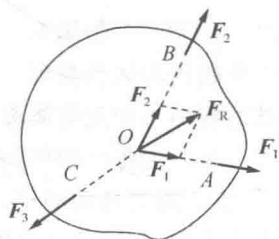


图 1-6

公理四 作用与反作用定律

物体间相互作用的力总是同时存在,且大小相等、方向相反,沿同一条直线,并分别作用在这两个物体上。

这个公理概括了任何两个物体间相互作用的关系。一切力总是成对出现在两个相互作用的物体之间,有作用力,必有反作用力。两者总是同时存在,又同时消失。根据这个公理,已知作用力则可知反作用力,这是分析物体受力时必须遵循的原则,为研究由一个物体过渡到多个物体组成的物体系统提供了基础。必须注意,作用力与反作用力是分别作用在两个物体上的,不能错误地与二力平衡公理混同起来。

公理五 刚化原理

变形体在某一力系作用下处于平衡,如将此变形体刚化为刚体,其平衡状态保持不变。

这个公理提供了把变形体看作刚体模型的条件。如图 1-7 所示,绳索在等值、反向、共线的两个拉力作用下处于平衡,如将绳索刚化成刚体,其平衡状态保持不变。反之就不一定成立,如果刚体在两个等值反向的压力作用下平衡,将刚体换成绳索就不平衡了。因此,刚体的平衡条件是变形体平衡的必要条件,而非充分条件。

静力学全部理论都可以由以上 5 个公理推证得到。这一方面能保证理论体系的完整性和严密性,另一方面也可以培养读者的逻辑思维能力。



图 1-7

1.3 约束与约束反力

如果一个物体不受任何限制,可以在空间自由运动,则此物体称为自由体;反之,如果一个物体的运动受到一定限制,使其在空间沿某些方向的运动成为不可能(例如绳子悬挂的物体),则此物体称为非自由体。

机械的各个构件如不按照适当的方式相互联系从而受到限制,就不能恰当地传递运动,实现所需要的动作;工程结构如不受到某种限制,便不能承受载荷以满足各种需要。在力学中,把对非自由体的位移起限制作用的周围其他物体称为约束。约束是以物体相互接触的方式构成的。例如,沿轨道行驶的车辆,轨道限制车辆的运动,它就是约束;摆动的单摆,绳子就是约束,它限制摆锤只能在不大于绳长的范围内运动,而通常是以绳长为半径的圆弧运动。

约束阻碍、限制物体的自由运动,改变了物体的运动状态,因此约束必须承受物体的作用力,同时给予物体以等值、反向的反作用力,这种力称为约束反力或约束力,简称为反力,属于被动力。除约束反力外,物体上受到的各种力如重力、风力、万有引力、切削力等,它们是促使物体运动或有运动趋势的力,属于主动力,工程上常称为载荷。在设计工作中,载荷可根据设计指标决定,也可通过分析研究确定或用实验测定。

约束反力取决于约束本身的性质、主动力和物体的运动状态。约束反力阻止物体运动的作用是通过约束体与物体间相互接触来实现的,因此它的作用点应在相互接触处。约束反力的方向总是与约束体所能阻止的运动方向相反,这是我们确定约束反力方向的准则;至于它的大小,在静力学中将由平衡条件求出。

我们将工程中常见的约束理想化,归纳为几种基本类型,并根据各种约束的特性分别说明其反力的表示方法。

1. 柔体约束

属于这类约束的有绳索、皮带、链条等。这类约束的特点是只能限制物体沿着柔索伸长的方向运动,它只能承受拉力,而不能承受压力和抗拒弯曲。所以柔索体的约束反力只能是拉力,作用在接触点,方向沿着柔索的轴线而背离物体,一般用 F 或 F_T 表示,如图 1-8 所示。

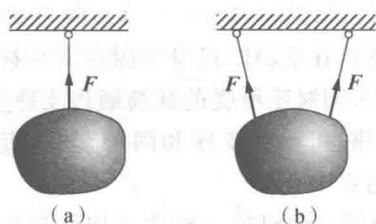


图 1-8

2. 光滑接触面约束

对这类约束,我们忽略接触面间的摩擦,视为理想光滑。这类约束的特点是只能限制物体沿接触面法线并向约束内部的位移,不论接触面的形状如何,它只能承受压力,而不能承受拉力。所以光滑接触面的约束反力只能是压力,作用在接触处,方向沿着接触面在接触处的公法线而指向物体。因反力沿法线方向,故又称为法向反力,一般用 F_N 表示。

光滑接触面约束在工程上是常见的,如啮合齿轮的齿面约束,如图 1-9 所示。

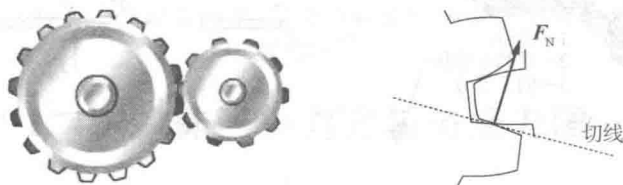


图 1-9

3. 光滑圆柱铰链约束

圆柱形铰链简称圆柱铰,是连接两个构件的圆柱形零件,通常称为销钉,如机器上的轴承等,如图 1-10(a)所示和 1-10(b)所示,其计算简图如图 1-10(c)所示。这类约束的特点是只能限制物体的任意径向移动,不能限制物体绕圆柱销钉轴线的转动和沿圆柱销钉轴线的移动,由于圆柱销钉与圆柱孔是光滑曲面接触,则约束反力应是沿接触线上的一点到圆柱销钉中心的连线且垂直于轴线,如图 1-10(d)所示。因为接触线的位置不能预先确定,所以约束反力的方向也不能预先确定。光滑圆柱形铰链约束的反力只能是压力,在垂直于圆柱销钉轴线的平面内,通过圆柱销钉中心,方向不定。在进行计算时,为了方便,通常表示为沿坐标轴方向且作用于圆柱孔中心的两个分力 F_{Cx} 与 F_{Cy} ,如图 1-10(e)所示。

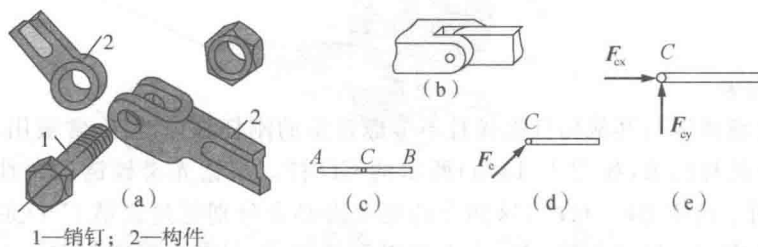


图 1-10

4. 支座约束

支座是把结构物或构件支承在墙、柱、机身等固定支承物上面的装置,它的作用是把结构物或构件固定于支承物上,同时把所受的载荷通过支座传给支承物。平面问题中常用的支座有 3 种,即固定铰支座、可动铰支座和固定支座,前两种是以圆柱铰链构成的,第 3 种将在第 3 章平面任意力系中介绍。

(1) 固定铰支座 用光滑圆柱销钉把结构物或构件与底座连接,并把底座固定在支承物上而构成的支座称为固定铰链支座或固定铰支座,如图 1-11(a)所示,计算时所用的简图如图 1-11(b)所示。这种支座约束的特点是物体只能绕铰链轴线转动而不能发生垂直于铰轴的任何移动,所以,固定铰支座约束的反力在垂直于圆柱销轴线的平面内,通过圆柱销中心,方向不定,通常表示为相互垂直的两个分力 F_{Ax} 与 F_{Ay} ,如图 1-11(c)所示。

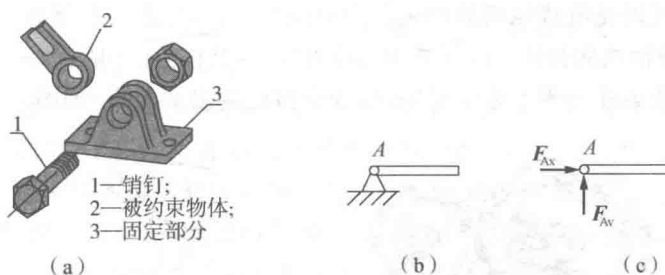


图 1-11

(2) 可动铰支座 为了保证构件变形时既能发生微小的转动又能发生微小的移动,可将结构物或构件的支座用几个辊轴(滚柱)支承在光滑的支座面上,就成为可动铰支座,亦称为辊轴支座,如图 1-12(a)所示,计算时所用的简图如图 1-12(b)、(c)、(d)所示。这种支座约束的特点是只能限制物体在与圆柱铰链连接处沿垂直于支承面的方向运动,而不能阻止物体沿光滑支承面切向的运动,所以可动铰支座的约束反力垂直于支承面,通过圆柱销中心,一般用 F_N 或 F 表示,如图 1-12(e)所示。

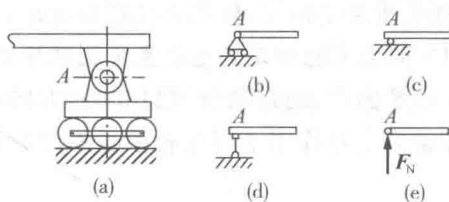


图 1-12

5. 链杆约束

两端用光滑铰链与其他构件连接且不考虑自重的刚杆称为链杆,常被用来作为拉杆或撑杆而形成链杆约束,如图 1-13(a)所示的 CD 杆。根据光滑铰链的特性,杆在铰链 C 、 D 处受有两个约束力 F_C 和 F_D ,这两个约束反力必定分别通过铰链 C 、 D 的中心,方向暂不确定。考虑到 CD 只在 F_C 、 F_D 二力作用下平衡,根据二力平衡公理,这两个力必定

沿同一直线且等值、反向。由此可确定 F_C 和 F_D 的作用线应沿铰链中心 C 与 D 的连线, 可能为拉力, 如图 1-13(b) 所示, 也可能为压力, 如图 1-13(c) 所示。

由此可见, 链杆为二力杆, 链杆约束的反力沿链杆两端铰链的连线, 指向不能预先确定, 通常假设链杆受拉, 如图 1-13(b) 所示。

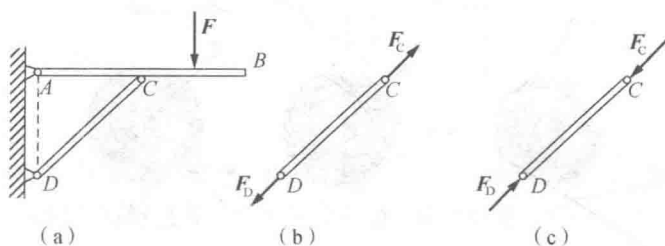


图 1-13

除了以上介绍的几种约束外, 还有一些其他形式的约束。在实际问题中所遇到的约束有些并不一定与上面所介绍的形式完全一样, 这时就需要对实际约束的构造及其性质进行分析, 分清主次, 略去一些次要因素, 就可以将实际约束简化为上述约束形式之一。

1.4 物体的受力分析与受力图

在解决力学问题时, 首先要选定需要进行研究的物体, 即确定研究对象, 然后分析它的受力情况, 这个过程称为受力分析。

作用在物体上的力可分为两类: 一类是主动力, 如物体的重力、风力、气体压力等, 一般是已知的; 另一类是约束对物体的约束反力, 为未知的被动力。

当受约束的物体在某些主动力作用下处于平衡, 若将其部分或全部的约束除去, 代之以相应的约束反力, 则物体的平衡不受影响。这一原理称为解除约束原理。根据解除约束原理, 将作用于研究对象的所有约束力和主动力在计算简图上画出来, 这种计算简图称为研究对象的受力图。受力图形象地说明了研究对象的受力情况。

例 1-1 碾子重为 P , 拉力为 F , A 、 B 处光滑接触(图 1-14), 画出碾子的受力图。

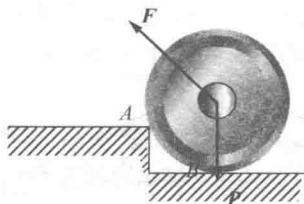


图 1-14

解: (1) 取碾子为研究对象(即取分离体), 并单独画出其简图。

(2) 画主动力。有地球的引力 P 和碾子中心的拉力 F , 如图 1-15(b) 所示。