



“十四五”职业教育国家规划教材

土木工程力学

(第三版)



◎主编 金舜卿 王利艳



以“互联网+教材”模式全新修订
扫码查看课件、视频、拓展阅读等教学资源



南京大学出版社

内容提要

本书是依据教育部《高等职业学校专业教学标准》，根据高等职业教育培养高技术应用型人才的要求，结合高等职业教育的特点，参照国家现行有关规范编写而成。全书主要内容有：绪论、项目一物体的受力分析、项目二平面力系的计算、项目三杆件内部效应研究的基础、项目四轴向拉压杆、项目五压杆的稳定性、项目六平面弯曲梁、项目七平面杆件结构简介、附录材料力学实验等，形成了以“四力二变”（外力、内力、应力、承载能力、变形、应变）为核心的一条龙流水线教学内容。

本书内容丰富、知识面宽、综合性强，重点是介绍力学基础知识、基本理论、基本技能，不涉及高深的数学知识，具有一定文化程度的读者都可读懂。本书配有知识拓展、课后思考与练习等，帮助读者扩大知识面、巩固所学知识并掌握其在工程实际中的相关应用。

本书既可作为高职院校土建类专业的教材，也可作为成人教育相关专业的力学教材，还可以供相关行业的工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程力学 / 金舜卿, 王利艳主编. — 3 版.

南京 : 南京大学出版社, 2025. 7. — ISBN 978-7-305-29272-9

I. TU311

中国国家版本馆 CIP 数据核字第 2025Q7C992 号

出版发行 南京大学出版社
社 址 南京市汉口路 22 号 邮 编 210093

书 名 土木工程力学

TUMU GONGCHENG LIXUE

主 编 金舜卿 王利艳

责任编辑 朱彦霖

编辑热线 025-83597482

照 排 南京南琳图文制作有限公司

印 刷 扬州皓宇图文印刷有限公司

开 本 787 mm×1092 mm 1/16 开 印张 17 字数 435 千

版 次 2025 年 7 月第 3 版

印 次 2025 年 7 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-305-29272-9

定 价 49.80 元

网址: <http://www.njupco.com>

官方微博: <http://weibo.com/njupco>

官方微信号: NJUyuexue

销售咨询热线: (025) 83594756

* 版权所有, 侵权必究

* 凡购买南大版图书, 如有印装质量问题, 请与所购图书销售部门联系调换

| 前 言 |

作为从事职业教育多年的人民教师,编写出符合我国国情和时代精神、遵循教学规律和学生认知发展、体现职业素养、注重能力培养的好教材是编者追求的目标。本书自2018年6月出版以来,连续被评为“十三五”、“十四五”职业教育国家规划教材。

全书是根据高职高专教育培养高技术应用型人才的要求,结合高等职业教育的特点,参照国家现行有关规范编写而成。《土木工程力学》是高等院校为工程类相关专业的学生开设的一门理论性、实践性较强的技术基础课程,旨在培养学生应用《土木工程力学》的基本原理,分析和研究工程结构或构件在各种条件下的平衡以及强度、刚度、稳定性等方面问题的能力。本课程主要为建筑工程技术专业及其相关专业的学生进行结构设计和施工提供基本的力学知识,是进一步学习混凝土结构、土力学与地基基础、钢结构等专业课程的基础。

本书根据职业教育改革和发展的需要、结合高职教育的教学特色进行编写,注重教材的实用性,突出工程应用能力的培养。本着“必须、够用为度”的原则,教材精选《理论力学》的静力学、《材料力学》和《结构力学》中的重要内容并进行整合,全书内容循序渐进、由浅入深、通俗易懂、利于教学、便于自学。在编写时本着“以定性分析为主、定量计算为辅”的原则,删去了结构力学中大量的定量计算,着重介绍工程实际中常用结构的特性。本书内容丰富、知识面宽、综合性强,重点是介绍力学基础知识、基本理论、基本技能,不涉及高深的数学知识。全书内容包括绪论、物体的受力分析、平面力系的计算、杆件内部效应研究的基础、轴向拉压杆、压杆的稳定性、平面弯曲梁、平面杆件结构简介、材料力学实验等,形成了以“四力二变+实验”(外力、内力、应力、承载能力、变形、应变、力学实验)为核心的一条龙流水线教学内容。本书配有知识拓展、课后思考与讨论、项目考核等,帮助读者扩大知识面、巩固所学知识并掌握其在工程实际中的相关应用。

为响应教育部“三教”改革等有关政策的要求,使教材与职业教育、行业发展等紧密结合,力争把教材编写成注重能力培养、体现职业素养、便于学生学习的好教材,特对本教材进行修订。本次修订以党的二十大精神为引领,深入挖掘专业课程育人功能,将思政元素融入教材,落实立德树人根本任务;在教材中添加了大量的视频教学内容,通过微课增加互动,同时又根据教学实践需求对教材内容进行了充实,使本书的知识体系更加完备,将“知识、能力、价值”三者融为一体。

本书由河南建筑职业技术学院金舜卿、王利艳担任主编,河南建筑职业技术学院贺萍、韩超、董会丽、任燕娟、刘洪伟、沈云任副主编。其中绪论由金舜卿编写,项目一由王利艳编写,项目二由董会丽编写,项目三由任燕娟编写,项目四由刘洪伟编写,项目五由王利艳、贺萍共同编写,项目六由贺萍、沈云共同编写,项目七由韩超编写,附录 I 由金舜卿、王利艳共同编写,附录 II 和附录 III 由金舜卿编写。本书由河南建筑职业技术学院吴承霞教授担任主审,全书由金舜卿统稿并定稿。

本书既可作为高职院校土建类专业的教材,也可作为成人教育相关专业的力学教材,还可以供相关行业的工程技术人员参考使用。讲授本书全部内容需要 80 学时左右,使用者可根据学校的教学计划以及专业需要酌情调整教学内容。

本书在编写过程中参阅了大量的教材及文献等资料,并得到了河南建筑职业技术学院钢结构工程技术教研室李静、王小静等老师的大力支持,编者在此对这些资料的作者以及关心支持本书的老师们表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,书中不足之处在所难免,欢迎广大读者批评指正,以便今后再版时修订、完善,作者邮箱:765033268@qq.com。

金舜卿
2025 年 1 月

目 录

绪 论	1
0.1 力学的起源及力学学科简介	1
0.1.1 力学的起源及经典力学发展简史	1
0.1.2 力学学科简介	2
0.2 土木工程力学课程简介	7
0.2.1 土木工程力学的研究对象	7
0.2.2 土木工程力学的主要内容及研究任务	8
0.2.3 力学的研究方法及其研究模型	9
0.3 学习土木工程力学的意义	11
0.4 土木工程力学课程学习指南	11
项目一 物体的受力分析	13
任务1 认知静力学基本概念	14
1.1.1 力	14
1.1.2 刚体	17
1.1.3 平衡	17
1.1.4 力系	17
1.1.5 力偶	17
课后思考与讨论	18
任务2 认知力的性质	18
1.2.1 作用与反作用公理	19
1.2.2 二力平衡公理	19
1.2.3 加减平衡力系公理	20
1.2.4 力的平行四边形公理	21
课后思考与讨论	23
任务3 静力学计算基础	23
1.3.1 力在坐标轴上的投影	24
1.3.2 力对点之矩	26
1.3.3 线分布力及力偶的有关计算	29
课后思考与讨论	31
任务4 认知常见的平面约束类型	31
1.4.1 约束和约束反力的概念	32

1.4.2 几种常见的平面约束类型简介·····	33
【拓展视域】 链杆支座 ·····	38
课后思考与讨论 ·····	38
任务5 受力分析绘制受力图 ·····	39
1.5.1 荷载的分类·····	39
1.5.2 结构的计算简图·····	41
1.5.3 平面杆系结构简介·····	44
1.5.4 受力分析绘制受力图·····	46
【拓展视域】 荷载的传递路径 ·····	52
课后思考与讨论 ·····	53
项目小结 ·····	54
项目考核 ·····	55
项目二 平面力系的计算 ·····	59
任务1 平面力系的合成运算 ·····	60
2.1.1 平面力系概述·····	60
2.1.2 平面力偶系的合成·····	61
2.1.3 平面汇交力系的合成·····	63
2.1.4 平面平行力系的简化与合成·····	64
2.1.5 平面一般力系的简化与合成·····	67
课后思考与讨论 ·····	68
任务2 平面力系的平衡计算 ·····	68
2.2.1 平面力偶系的平衡计算 ·····	69
2.2.2 平面汇交力系的平衡计算·····	70
2.2.3 平面一般力系的平衡计算·····	71
2.2.4 平面平行力系的平衡计算·····	77
【拓展视域】 物体系统的平衡问题 ·····	79
课后思考与讨论 ·····	82
项目小结 ·····	84
项目考核 ·····	85
项目三 杆件内部效应研究的基础 ·····	88
任务1 认知杆件变形的形式 ·····	89
3.1.1 变形固体及其基本假设·····	89
3.1.2 杆件变形形式简介·····	90
【拓展视域】 常见的杆件变形的组合变形形式 ·····	92
课后思考与讨论 ·····	93
任务2 认知构件的承载能力 ·····	93
3.2.1 构件的承载能力分析·····	93

3.2.2 内力的概念及其计算方法	95
3.2.3 应力的概念及其分类	97
3.2.4 变形和应变	99
课后思考与讨论	101
任务3 平面图形的几何性质	101
3.3.1 截面的形心与静矩	102
3.3.2 惯性矩	105
课后思考与讨论	109
项目小结	110
项目考核	110
项目四 轴向拉压杆	113
任务1 轴向拉压杆的内力	115
4.1.1 轴向拉压杆横截面上的内力	115
4.1.2 轴力图	117
课后思考与讨论	118
任务2 轴向拉压杆横截面上的应力	118
4.2.1 轴向拉(压)时杆件横截面上的应力	119
4.2.2 应力集中的概念	121
课后思考与讨论	122
任务3 轴向拉压杆的变形	122
4.3.1 轴向拉压杆的变形描述	122
4.3.2 轴向拉压杆的变形计算	123
课后思考与讨论	126
任务4 材料在轴向拉压时的力学性质	126
4.4.1 材料在轴向拉伸时的力学性质	126
4.4.2 材料在轴向压缩时的力学性质	130
课后思考与讨论	132
任务5 轴向拉压杆的强度计算	133
4.5.1 材料的极限应力与许用应力	133
4.5.2 轴向拉压杆的强度计算	134
课后思考与讨论	136
项目小结	137
项目考核	138
项目五 压杆的稳定性	141
任务1 压杆稳定性的基础知识	142
5.1.1 压杆稳定的概念	143
5.1.2 压杆的分类	145

课后思考与讨论·····	146
任务 2 压杆稳定性的确定 ·····	146
5.2.1 细长压杆的临界力计算及欧拉公式·····	146
5.2.2 压杆的临界应力计算及临界应力总图·····	147
5.2.3 压杆的稳定性计算·····	149
5.2.4 提高压杆稳定性的措施·····	151
【拓展视域】 塔式起重机的安全与压杆的稳定性 ·····	153
课后思考与讨论·····	154
项目小结 ·····	155
项目考核 ·····	156
项目六 平面弯曲梁 ·····	158
任务 1 平面弯曲梁的内力计算 ·····	159
6.1.1 梁·····	159
6.1.2 计算梁上指定横截面的内力·····	162
6.1.3 绘制平面弯曲梁的内力图·····	167
【拓展视域】 区段叠加法画弯矩图 ·····	181
课后思考与讨论·····	182
任务 2 平面弯曲梁的承载能力计算 ·····	182
6.2.1 平面弯曲梁横截面上的应力·····	183
6.2.2 平面弯曲梁的正应力强度计算·····	186
6.2.3 平面弯曲梁的剪应力强度计算·····	188
6.2.4 平面弯曲梁的变形和刚度条件·····	189
6.2.5 提高平面弯曲梁承载能力的措施·····	193
课后思考与讨论·····	196
项目小结 ·····	197
项目考核 ·····	198
项目七 平面杆件结构简介 ·····	202
任务 1 平面杆件体系的几何组成分析 ·····	203
7.1.1 几何组成分析的基础知识·····	203
7.1.2 几何不变体系的简单组成规则·····	206
7.1.3 平面杆件体系的几何组成分析·····	208
【拓展视域】 结构静力学特征与几何组成的关系 ·····	209
课后思考与讨论·····	209
任务 2 平面静定结构简介 ·····	210
7.2.1 多跨静定梁·····	210
7.2.2 平面静定刚架·····	214
7.2.3 平面静定桁架·····	218

7.2.4 三铰拱	226
7.2.5 组合结构	228
课后思考与讨论	228
任务3 超静定结构简介	228
7.3.1 超静定结构的概念	229
7.3.2 超静定结构的计算简介	229
7.3.3 超静定结构的特性	230
7.3.4 超静定结构在工程实际中的应用	230
【拓展视域】 平面静定结构的位移	231
课后思考与讨论	232
项目小结	233
项目考核	234
附录 I 材料力学实验	239
I.1 材料力学实验基本知识	239
I.2 实验一 金属拉伸实验	241
I.3 实验二 金属压缩实验	246
I.4 实验三 梁的弯曲正应力实验	249
附录 II 连接件的强度计算	252
II.1 连接件概述	252
II.2 连接件的受力和变形分析	256
II.3 连接件的强度计算	258
附录 III GB/T 706—2016 热轧型钢	260
参考文献	261

立体化资源目录

序号	资源标题	页码	序号	资源标题	页码	
绪论	0-1 绪论	7				
项目一	1-1 集中力	15	项目四	4-5 材料在轴向拉伸时的力学性质	126	
	1-2 静力学中的重要概念	17		4-6 材料在轴向压缩时的力学性质	130	
	1-3 静力学公理	19		4-7 轴向拉压杆的强度计算	134	
	1-4 力偶	29		项目四自测题	140	
	1-5 平面约束类型	33		项目五	5-1 压杆的稳定性	143
	1-6 荷载	39	项目五自测题		157	
	1-7 结构的力学计算简图	41	项目六		6-1 梁的概念及分类	159
	1-8 平面杆系结构	44		6-2 截面法计算梁上指定横截面内力	162	
	1-9 单个物体的受力分析	46		6-3 直接观察法计算梁上指定横截面内力	165	
	1-10 物体系统的受力分析	49		6-4 内力方程法绘制梁的内力图	168	
	项目一自测题	58		6-5 控制截面法绘制梁的内力图	172	
	项目二	2-1 平面力系概述		60	6-6 叠加法绘制梁的内力图	179
		2-2 平面力偶系		61	6-7 平面弯曲梁横截面上的应力	183
2-3 平面汇交力系的合成		63		6-8 平面弯曲梁的正应力强度计算	186	
2-4 力的平移定理		64		6-9 平面弯曲梁的剪应力强度计算	188	
2-5 平面平行力系的简化与合成		66		6-10 平面弯曲梁的变形和刚度条件	189	
2-6 平面一般力系的简化与合成		67		6-11 提高梁承载能力的措施	193	
2-7 平面汇交力系的平衡计算		70	项目六自测题	201		
2-8 平面一般力系的平衡计算		71	项目七	7-1 平面静定刚架简介	214	
2-9 平面平行力系的平衡计算		77		7-2 平面静定桁架	218	
项目二自测题		87		7-3 桁架内力计算	221	
项目三		3-1 杆件变形的基本形式		91	项目七自测题	238
	3-2 构件的承载能力	93	附录 I	金属拉伸实验	241	
	3-3 应力的概念及其分类	97		金属压缩实验	246	
	项目三自测题	112	附录 III	GB/T 706 - 2016 热轧型钢	260	
项目四	4-1 轴向拉压杆横截面上的内力	115				
	4-2 轴力图	117				
	4-3 轴向拉压杆横截面上的应力	119				
	4-4 轴向拉压杆的变形	122				

绪 论

0.1 力学的起源及力学学科简介

0.1.1 力学的起源及经典力学发展简史

1. 力学的起源

力学知识最早起源于人们对自然现象的观察和在生产劳动中获得的经验,人类早期的生产实践活动就是力学最初的起源。

人们在建筑、灌溉等劳动中使用杠杆、斜面、汲水器具等,逐渐积累起对物体在力作用下运动、平衡情况的认识;人们从对日、月运行的观察和弓箭、车轮等的使用过程中了解了一些简单的运动规律,从而扩展了人们对力、运动的认知,但是人们对力和运动之间的关系的了解,是在欧洲文艺复兴时期之后才逐渐有了正确的认识。

在 16 世纪到 17 世纪年间,力学开始逐步发展成为一门独立的、系统的学科。

2. 经典力学发展简史

古希腊的阿基米德对杠杆平衡、物体重心位置、物体在水中受到的浮力等做了系统的研究,认知了它们的基本规律,初步奠定了静力学的理论基础即平衡理论的基础。

伽利略通过对抛体和落体的研究,在实验研究和理论分析的基础上,最早阐明自由落体运动的规律,提出加速度的概念,提出惯性定律,并用以解释地面上的物体和天体的运动。17 世纪末牛顿继承和发展了前人的研究成果(特别是开普勒的行星运动三定律),提出了物体运动三定律,从而使经典力学形成系统的理论。根据牛顿三定律和万有引力定律成功解释了地球上的落体运动规律和行星的运动轨道,伽利略、牛顿等科学家的研究成果奠定了力学的基础,牛顿运动三定律的建立标志着力学开始成为一门科学。

1687 年牛顿发表了《自然哲学的数学原理》,1900 年普朗克的量子力学与随后 1905 年爱因斯坦的狭义相对论的提出,引起了整个自然科学的两次革命。对力学的发展来说,这两件事是具有里程碑意义的两个重要历史事件。整个力学的发展历史以这两个重要历史事件为分界线大致分为三个阶段。

第一阶段:在 1687 年之前,力学的发展以积累资料为主要特征,而且最主要的资料是天文观测资料,另外还有静力学知识的积累与完善。这个阶段对力学做出突出贡献的是阿基米德。

第二阶段:在 1687 年之后到 1900 年之前,力学的发展是经典力学从基本要领、基本定律到建成理论体系的阶段。这个阶段有包括伽利略、牛顿等一大批科学家为经典力学的确立打下了坚实的基础。

第三阶段:在 1900 年之后,经典力学又有了新的发展,这一阶段主要是后人对经典力学的表述形式和应用对象进行了拓展和完善。在这一阶段为力学学科发展做出突出贡献的科学家很多,主要有达朗贝尔、拉格朗日、欧拉等。

知识窗

牛顿(1643~1727):牛顿是英国物理学家、数学家、天文学家、自然哲学家和炼金术士,是一位了不起的百科全书式的“全才”,著有《自然哲学的数学原理》《光学》《二项式定理》和《微积分》等。他在 1687 年发表的论文《自然哲学的数学原理》,对万有引力和三大运动定律进行了描述。这些描述奠定了此后三个世纪里物理世界的科学观点,并成为现代工程学的基础。他通过论证开普勒行星运动定律与他的引力理论间的一致性,展示了地面物体与天体的运动都遵循着相同的自然定律;为太阳中心说提供了强有力的理论支持,并推动了科学革命。在力学上,牛顿阐明了动量和角动量守恒的原理,提出牛顿运动定律。在光学上,他发明了反射望远镜,并基于对三棱镜将白光发散成可见光谱的观察,发展出了颜色理论。他还系统地表述了冷却定律,对音速也有了一定的研究。在数学上,牛顿与戈特弗里德·威廉·莱布尼茨分享了发展出微积分学的荣誉。他也证明了广义二项式定理,提出了“牛顿法”以趋近函数的零点,并为幂级数的研究做出了贡献。在经济学上,牛顿提出金本位制度。

0.1.2 力学学科简介

1. 力学简介

力学是研究物质机械运动规律的科学。力学是一门独立的基础学科,是有关力、运动和介质(固体、液体、气体和等离子体)以及宏、细、微观力学性质的学科,研究以机械运动为主,及其同物理、化学、生物运动耦合的现象。力学既是一门基础学科,同时又是一门技术学科。它研究能量和力以及它们与固体、液体及气体的平衡、变形或运动的关系。

自然界物质有多种层次,从宇观的宇宙体系、宏观的天体和常规物体,到细观的颗粒、纤维、晶体,再到微观的分子、原子、基本粒子。通常理解的力学以研究天然的或人工的宏观对象为主。但由于学科的互相渗透,有时也涉及宇观或细观甚至微观各层次中的对象,以及有关的规律。力学又称经典力学,是研究通常尺寸的物体在受力下的形变以及速度远低于光速的运动过程的一门自然科学。机械运动是物质运动的最基本的形式,机械运动亦即力学运动。力学运动,是物质在时间、空间中的位置变化,包括移动、转动、流动、变形、振动、波动、扩散等;而平衡(静止或匀速直线运动)则是其中的特殊情况。物质运动的其他形式还有热运动、电磁运动、原子及其内部的运动和化学运动等。力是物质间的一种相互作用,机械运动状态的变化是由这种相互作用引起的。静止和运动状态不变,则意味着各作用力在某意义上的平衡,因此,力学可以说是力和(机械)运动的科学。通常理解的力学,是指一切

研究对象的受力和受力效应的规律及其应用的学科的总称。

2. 力学的学科基础

理论力学是力学的学科基础,理论力学是研究物体的机械运动规律及其应用的科学,它分为静力学、运动学和动力学三部分,其中静力学主要研究力的平衡或物体的静止问题,即研究物体在平衡状态下的受力规律;运动学则研究物体机械运动的描述,如速度、切向加速度、法向加速度等,但不涉及物体的受力,也就是说运动学只考虑物体怎样运动,不讨论它与所受力的关系;动力学研究的是质点或质点系受力和运动状态的变化之间的关系,即讨论物体运动和所受力之间的关系。

3. 力学学科的分支情况

力学通常按照所研究的对象的不同进行区分,可以分为固体力学、流体力学和一般力学三个分支。根据研究对象具体的形态、研究方法、研究目的的不同,固体力学可以分为理论力学、材料力学、结构力学、弹性力学、板壳力学、塑性力学、断裂力学、机械振动、声学、计算力学、有限元分析等;流体力学包含流体静力学、流体动力学等。

根据研究对象所建立的模型不同,力学也可以分为质点力学、刚体力学和连续介质力学。连续介质通常分为固体和流体,固体包括弹性体和塑性体,而流体则包括液体和气体。固体力学和流体力学在力学中各自自成一体后,余下的部分组成一般力学。一般力学通常是指以质点、质点系、刚体、刚体系为研究对象的力学,有时还把抽象的动力学系统作为研究对象。

力学也可以按照研究时所采用的主要手段区分为三个方面:理论分析、实验研究和数值计算。对于一个具体的力学课题或研究项目,往往需要理论、实验和计算这三方面的相互配合。

4. 力学的成就及其发展前景

力学是物理学、天文学和许多工程学的基础,机械、建筑、航天器和船舰等的合理设计都必须以经典力学为基本依据。在力学理论的指导或支持下取得的工程技术成就不胜枚举,最突出的有:以人类登月、建立空间站、航天飞机等为代表的航天技术;以速度超过5倍声速的军用飞机、起飞重量超过300吨、尺寸达大半个足球场的民航机为代表的航空技术;以单机功率达百万千瓦的汽轮机组为代表的机械工业,可以在大风浪下安全作业的单台价值超过10亿美元的海上采油平台;以排水量达 5×10^5 吨的超大型运输船和航速可达30多节、深潜达几百米的潜艇为代表的船舶工业;可以安全运行的原子能反应堆;在地震多发区建造高层建筑;在陆上运输中起着越来越重要作用的高速列车;甚至如两弹引爆的核心技术,也都是典型的力学问题。力学发展到今天已经构建成了宏伟的大厦,能够解决我们生存空间内的许多问题,但也有暂时还解释和解决不了的问题,需要继续探索。

20世纪以来,力学学科有了很大的发展,创立了一系列重要的新概念、新理论和新方法。力学与其他学科的交叉和融合日显突出,形成了许多力学交叉学科:力学与物理学的交叉形成了物理力学,与生命科学的交叉形成了生物力学,与环境科学和地学的交叉形成了环境力学,以及爆炸力学、等离子体力学等,都形成了力学新的学科生长点,不断

地丰富着力学的研究内容和方法,并使力学学科始终保持着旺盛的生命力。同时,人类社会和经济发展的更高需求将不断促进力学与其他学科的交叉,促进力学交叉学科发展到一个崭新的阶段。

5. 中国的力学研究及其成功运用的案例

力学知识起源于古代人对自然现象的观察和生产劳动中的实践经验,并逐步发展为生产技术和初步的自然哲理,这在东西方古代都是如此。

我国是世界文明发达最早的国家之一,勤劳智慧的中国人民很早就会利用各种材料制造各种器械和建筑物。在我国古代,手工工艺技术成果远比经验性的理论总结突出得多,这是中国古代对力学研究的主要特点,从时间来看大体可分为春秋战国、两汉到五代、宋元明三个时期。

(1) 春秋战国时期(公元前 770~前 221 年)

公元前 256 年,蜀郡守李冰修建都江堰,“正面取水,侧面排沙”,其飞沙堰工程巧妙地利用了弯道环流,说明当时对测河水流量、泥沙规律等水力学知识及水利工程已有基本了解,成都平原二千多年来始终受益。

传为齐人著的《考工记》,是记录我国古代农具、兵器、乐器、炊具、酒具、水利、建筑等古代手工艺规范的专著,现存版本中如《裘氏》《筐氏》《雕氏》等篇内容已散佚。其中惯性现象的记述:马力既竭,鞅(zhōu,指车辕)犹能一取焉;车轮大小与拉力的关系:轮太低,马总是像上坡一样费劲;箭羽影响箭飞行速度的关系:后弱则翔,中强则扬,羽丰则迟;检验木料强度的经验方法:置而摇之,以视其娟;横两墙间,以视其桡之均;横而摇之,以视其劲;以及堤坝设计的经验尺寸等,这些都反映了我国当时的生产技术和经验知识水平。

与《考工记》几乎同时的《墨经》,则进一步得出一些初步的力学哲理(如“奋、衡、本、标、重、权”等),给力下了比较科学的定义:“力,刑(形)之所以奋也。”可惜这一形成科学的抽象思维进程在后世没有顺利继续下去。

这一时期是以记录与积累生产经验为主,也形成了初步哲理。

(2) 两汉到五代时期(前 202~960 年)

简单机械逐渐发展为精巧的或大型的联合机械,如张衡的水运浑天仪、候风地动仪,西汉末巧工丁缓的“被中香炉”是世界上已知最早的常平支架,祖冲之的水磨等。

隋代造船业已很发达,如隋炀帝的龙舟已高 40 尺、宽 50 尺、长 200 尺。李春主持建造的河北涿州赵县安济桥,是中国隋代单孔敞肩石拱桥,在河北省赵县城南 2.5 公里处,凌跨涿河之上,跨度最大(37.02 米),弧度最浅(拱矢高 7.23 米),至今 1300 多年,下沉水平差只有 5 厘米,如图 0-1 所示。赵县古称赵州,故又名赵州桥,俗称大石桥,是现存最古老的单跨石拱桥,在中外桥梁史上占有重要地位,采取这样巨型跨度,在当时是一个空前的创举,更高超绝伦的是在大石拱的两肩上各砌两个小石拱,从而改变了过去大拱圈上用沙石料填充的传统建筑型式,创造出世界上第一个“敞肩拱”的新式桥型。这是一个了不起的科学发明。像赵州桥这样古老的大型敞肩石拱桥,在世界上相当长的时间里是独一无二的。在欧洲,公元 14 世纪,法国泰什河上才出现类似的敞肩形的赛雷桥。浮力知识的利用甚多,如唐李吉甫建造的浮桥:以船为脚,竹篾亘之;东晋僧人惠远在庐山造莲花漏作为计时工具:取铜叶制器,状如莲花,置盆水之上,孔底漏水,半之则沉(即莲花漏由孔底进水到一半时就逐渐下

沉),每一昼夜十二沉,非常巧妙;还有著名的曹冲称象故事,在陈寿著《三国志》卷二十及《江表传》中均有记载。



图0-1 赵州桥

这一时期带有直觉经验型的物理哲理性著作是王充的《论衡》,在他的著作中对于运动的疾舒、力与运动、物体与运动、内力与外力的关系等作了叙述;其次是运动的相对性概念。晋天文学家束皙说过:乘船以涉水,水去而船不徙矣(《隋书·天文志》);晋葛洪在其著作《抱朴子·内篇·塞难》中说:游云西行,而谓月之东驰。《晋书卷十一天文志》更将这一相对运动的思想用于解释天体运行:天旁转如推磨而左行,日月右行,随天左转,故日月实东行,而天牵之以西没。譬之蚁行磨石之上,磨左旋而蚁右去,磨疾而蚁迟,故不得不随磨以左回焉。有极大价值的是至少成书于东汉时期的《尚书纬·考灵曜》(著者不详,收入明代孙毅编纂的《古微书》卷一《尚书纬》),该书在提出“地有四游,冬至地上行北而西三万里,夏至地下行南而东三万里,春秋二分是其中矣”的同时,提出了著名论断:地恒动而人不知,譬如闭舟而行,不觉舟之运也。这种对运动相对性的观点,《考灵曜》比伽利略的《对话》至少早约1500年。

这一时期在机械、水力等技术发展基础上力学思想活跃,但是对力学现象很少做定量叙述。

(3) 宋元明时期(960~1644年)

我国古代技术成就极为丰富,但往往著述不详或流散失传,只知其名而不知其详,因而许多“巧器”历代都有人重新“创制”。如由仰韶文化时期尖底陶罐发展而成的鼗器,“虚则敲,中则正,满则覆”(《荀子·宥坐》),是因为重心由高变低而又变高导致的,晋人杜预、南北朝祖冲之,魏、隋、唐、宋都有多人试制;指南车也有东汉张衡、三国马钧、祖冲之、宋燕肃、吴德仁等多人多次制成或未成。而燕肃造这种凭靠齿轮传动使木人手指方向不变的指南车遇困难时,出门“见车驰门动而得其法”(宋陈师道《后山丛谈卷一》),这也是从机械原理中悟出的。可惜的是往往因古代人悟而未述或述而失传。记里鼓车也是利用传动,使车轮走满一里时有一齿轮转满圈并拨动小人打鼓一次。这说明我国手工制作中齿轮构造等工艺相当娴熟,但直到宋代才记载较详。

苏颂和韩公廉在1092年建成了我国古代最大型的先进天文钟楼“水运仪象台”,其结构详细载于苏颂《新仪象法要》中,它涉及天文、力学、机械制造,其中有相当于钟表擒纵器的“天衡”,是保证等时性的杠杆装置。元代郭守敬在天文仪器制造的种类(简仪、仰仪、定时仪、日月食仪等十几种)、结构和精度方面达到很高水平。

宋代曾公亮在《武经总要》这一军事著作中除记载兵工机械、枪炮、军用油泵(“猛火油柜”)等外,还在《寻水泉法》中详载了虹吸管(“渴乌”),它在《后汉书·张让传》及唐代《通典》中都有记载,包括“取大竹去节”,“油灰黄蜡固封”,“竹首插入水中五尺”,烧火使“火气潜通”入水,“则水自中逆上”等。

河北石家庄隆兴寺的转轮藏建于北宋,人在台上绕轴走动时轮藏会缓慢地反向转动,这实际上是动量矩原理的应用。

宋应星的《天工开物》是明代农业和手工业生产技术的百科全书,在卷十五《佳兵篇》中记述了测试弓弦弹力大小的方法:“凡试弓力,以足踏弦就地,秤钩搭挂弓腰,弦满之时,推移秤锤所压,则知多少”,方法十分巧妙。

总的来说,我国古代力学知识与古代精湛的工艺技术往往密不可分,但各时期对技术知识的整理汇集、研究提高、保存流传都未受到重视,致使技术特别是科技理论不能代替人力形成明显的生产力。一方面是大量生产知识与技术积累,缺乏系统整理,另一方面是经验性的定性的力学概念始终带有思辨色彩(如“气”“道”“理”),缺乏数学的定量引用和系统实验的基础,因此经典力学的重要理论、公式大都是以西方人的名字来命名的。

知识窗

张衡,字平子,南阳西鄂(今河南南阳市石桥镇)人,我国东汉时期伟大的天文学家、数学家、发明家、地理学家、文学家。主要成就为在天文、地理领域取得系统性突破,代表作品有《灵宪》、地动仪、《四愁诗》等。于公元 139 年逝世。为了纪念张衡的功绩,人们将月球背面的一个环形山命名为“张衡环形山”,将小行星 1802 命名为“张衡星”,后世称张衡为“科圣”。

张衡,章帝建初三年(公元 78 年)出生于南阳郡西鄂县石桥镇一个破落的官僚家庭。祖父张堪是地方官吏,曾任蜀郡太守和渔阳太守。张衡幼年时候,家境已经衰落,有时还要靠亲友的接济。

正是这种贫困的生活使他能够接触到社会下层的劳动群众和一些生产、生活实际,从而给他后来的科学创造事业带来了积极的影响。在数学、地理、绘画和文学等方面,张衡表现出了非凡的才能和广博的学识。

张衡是东汉中期浑天说的代表人物之一,他指出月球本身并不发光,月光其实是日光的反射;他还正确地解释了月食的成因,并且认识到宇宙的无限性和行星运动的快慢与距离地球远近的关系。

张衡创制了世界上第一架能比较准确地表演天象的漏水转浑天仪,第一架测试地震的仪器——候风地动仪,还制造出了指南车、自动记里鼓车、飞行数里的木鸟等。

20 世纪中国著名文学家、历史学家郭沫若对张衡的评价是:“如此全面发展之人物,在世界史中亦所罕见,万祀千龄,令人景仰。”

《灵宪》是张衡有关天文学的一篇代表作,全面体现了张衡在天文学上的成就和发展。原文被《后汉书·天文志》刘昭注所征引而传世。

在建筑物中用于承受荷载、传递荷载并起骨架作用的物体或物体系统称为建筑结构,简称结构。组成结构的单个物体称为构件,根据构件的几何尺寸特征通常将结构分为杆系结构、薄壁结构和实体结构三种类型。一个方向的几何尺寸远大于另外两个方向的尺寸的构件称为杆件,由杆件组成的结构称为杆系结构,如梁、柱、屋架等都属于杆系结构;一个方向的几何尺寸远小于另外两个方向的尺寸的构件称为薄壁(又称为板或壳),由薄壁组成的结构称为薄壁结构,如屋面、墙面等都属于薄壁结构;三个方向的几何尺寸为同一个量级的构件称为块,由块组成的结构称为实体结构,如块式基础、挡土墙、堤坝等都属于实体结构。

土木工程力学的主要研究对象就是建筑物中的杆件及杆件结构。

0.2.2 土木工程力学的主要内容及研究任务

1. 土木工程力学的主要内容

土木工程力学又叫建筑力学,它是一门按行业命名的力学学科,它是土木工程行业所用力学基础知识的汇总,内容主要涉及理论力学的静力学、材料力学、结构力学。其中静力学主要研究单个物体及物体系统的平衡规律;材料力学主要研究单个杆件的内力计算及构件的承载能力计算;结构力学主要研究平面杆系结构的内力和位移计算。

2. 土木工程力学的研究任务

从远古时代起,人类就开始有房屋、桥梁等建筑。例如,早在 3500 多年前,我国就已经采用柱、梁、檩、椽木结构,建造不承重的房屋。再如由隋朝工匠李春主持建造的赵州桥,跨长 37m,是由石块砌成的拱结构,拱半径 25m,主拱的左、右两侧各有两个小拱,既利用了石料耐压的特性,又减轻了重量,还能增大泄洪能力。如今,新型建筑物更是随处可见,这些建筑物都是人类工作、学习、居住、休闲娱乐等生活所必需的场所。总之,凡是有人类活动的地方就有建筑物存在。

任何建筑物在施工过程中和建成后的使用过程中,都要受到各种各样的力的作用。例如,梁在施工中除了承受自身的重力外,还要承受施工人员以及施工机具的重力;墙在使用过程中不仅要承受楼板传来的压力,还要承受风荷载的作用。在外力的作用下,构件的几何形状和尺寸都会发生变化,并在外力增大到某一数值时发生破坏,构件的过大变形和破坏都会影响到建筑物的正常工作,乃至人们的生命财产安全。建造一个建筑物最关心两个方面的要求。一方面是安全要求:结构或构件在荷载作用下,不能破坏,也不能发生过大的变形。结构或构件达到这种要求的能力称为结构或构件的承载能力,具有承载能力的结构及构件才能使用。另一方面是经济要求:结构或构件应该材料用量最小,价格低廉,并以最合理的办法制造出来。

显然,结构和杆件的安全性和经济性是矛盾的,前者要求用好的材料、大的截面尺寸,后者要求用低廉材料、最经济的截面尺寸。如何才能使两者两全其美的统一起来呢?这就需要依靠科学理论及实验来提供材料的受力性能、确定构件受力的计算方法,并掌握材料性质和截面尺寸对受力的影响,使设计出的结构和构件既安全可靠又经济合理。

研究上述问题的理论基础便是土木工程力学,所以土木工程力学的研究任务是对各种建筑物中的建筑结构或构件进行受力分析,计算其内力和位移,探讨其强度、刚度、稳定性问题,为保证结构或构件的安全可靠及经济合理提供力学计算理论和方法,合理解决安全与经济这一矛盾。

0.2.3 力学的研究方法及研究模型

1. 力学的研究方法

力学研究的工作方式是多种多样的:有些只是纯数学的推理,甚至着眼于理论体系在逻辑上的完善化;有些着重于数值方法和近似计算;有些着重于实验技术等。而广泛应用的是着重运用现有力学知识,解决工程技术中或探索自然界奥秘中提出的具体问题。应用研究更需要对应用对象的工艺过程、材料性质、技术关键等有清楚的了解。在力学研究中既有细致的、独立的分工,又有综合的、全面的协作。

力学的研究方法遵循认识论的基本法则:实践——理论——实践。理论是对自然界、人类社会的系统化的见解和主张。理论来源于实践,实践出真知,实践是真知的唯一源泉,没有“实践”这个源泉,就没有创造的基础和动力。在平时的生活、工作等实践活动中我们一定要善于观察、勤于思考,坚持走“从实践到理论,再用理论指导实践”这个正确的科学研究之路。

2. 力学的研究模型

自然界与各种工程实际中涉及的物体(构件或结构)有时是很复杂的,如果完全按照物体的实际情况来进行分析和计算,一方面使所研究的问题变得非常复杂,同时也不可能真正做到;另一方面从工程上的精度要求来看,也不必要。力学家们根据对自然现象的观察,特别是定量观测的结果,根据生产过程中积累的经验和数据,或者根据为特定目的而设计的科学实验的结果,提炼出量与量之间的定性的或定量的关系。为了使这种关系反映事物的本质,力学家要善于抓住起主要作用的因素,撇弃或暂时撇弃一些次要因素。力学中把这种过程称为建立模型。

热力学的主要奠基者之一、英国物理学家开尔文认为:“我的目标就是要证明,如何建造一个力学模型,这个模型在我们所思考的无论什么物理现象中,都将满足所需要的条件。在我没有给一个事物建立起一个力学模型之前,我是永远不会满足的。如果我能够成功地建立起一个模型,我就能理解它,否则我就不能理解它。”

在力学研究中建立的力学模型有很多,主要分为四大类:第一是关于力的模型,第二是关于研究对象的模型,第三是关于约束的模型,第四是关于结构计算的模型。

(1) 关于力的力学模型

力是物体与物体之间相互的机械作用,力是看不见摸不着的,为了便于进行力学研究,力学家就建立了力的模型。

力的模型是对力的合理抽象与简化。力的作用位置指的是物体上承受力的部位,作用位置一般是一块面积或体积,称为分布力。有些分布力分布的范围很小,可以近似看作是一

个点时,这样的力称为集中力。

在我们研究平面力系问题时,我们建立的力学模型有三种,分别是集中力、线分布力、力偶,它们的力学模型如图 0-3 所示。

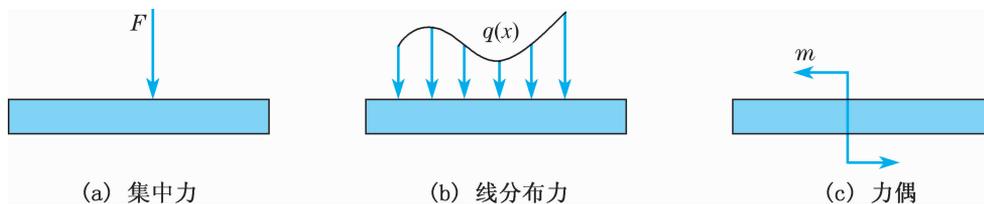


图 0-3 力的力学模型

(2) 关于研究对象的力学模型

在力学中一般将所研究的物体抽象为两种计算模型:刚体模型和理想变形固体模型。

所谓**刚体**,就是指在任何外力作用下,大小和形状始终保持不变的物体,即物体内任意两点的距离都不会改变的物体。事实上,刚体在自然界中并不存在,它只是力学研究中的一个理想化的力学模型。实际物体在力的作用下,都会产生程度不同的变形。工程中所用的固体材料,如钢、铸铁、木材、混凝土等,它们在外力作用下会或多或少地产生变形,有些变形可直接观察到,有些变形可通过仪器测出。在外力作用下,会产生变形的固体材料称为变形固体。

由于变形固体多种多样,其组成和性质很复杂,因此对于用变形固体材料做成的构件进行强度、刚度和稳定性计算时,为了使问题得到简化,常略去一些次要的性质,而保留其主要的性质,把研究对象抽象化地看作为理想的变形固体模型。关于理想的变形固体模型,力学中是通过变形固体的基本假设来实现的。

如果只研究物体的外效应,只着重研究物体的平衡问题时,那么物体的变形可以不用考虑或者暂时不用考虑,此时的物体就可以看作是刚体。而研究力对物体的内效应,则是关注物体的内力和变形,并由此进一步研究结构的强度、刚度、稳定性等问题,此时就不能再把物体看作是刚体,而应该把物体看成为变形固体。

(3) 关于约束的力学模型

在空间的位移不受任何限制的物体称为自由体,在空间的位移受到周围物体限制而不能做任意运动、只能做特定运动的物体称为非自由体,对非自由体的某些位移或运动起限制作用的周围物体称为约束,实际上约束就是物体之间的接触或连接。

日常生活和工程实际中的约束是多种多样、千变万化的,为了便于进行力学研究,力学工作者对约束的构造、约束的性质及功能进行研究,从而将物体之间的接触与连接方式抽象简化为标准的约束模型。本书的项目一中给出了平面问题中常用的几种约束的力学模型。

(4) 关于结构计算的力学模型

实际结构的组成、受力和变形情况往往很复杂,影响力学分析计算的因素也很多,在进行结构的设计计算时,若完全按照结构的实际情况进行分析计算,会使问题变得极其复杂,甚至是不可能的,也是不必要的。因此,在对实际工程结构进行力学计算之前,必须先对实际结构及其受力情况进行分析,按照保留主要因素,略去次要因素,使其既能反映实际结构主要的受力和变形特征,又便于计算的原则,对其加以简化。用这个经过简化得到的结构模

型来代替实际结构,力学中把这个结构模型称为结构的力学计算简图。

结构的计算简图是对结构进行力学分析和计算的依据。

▶ 0.3 学习土木工程力学的意义 ◀

土木工程力学是土木工程类各专业中一门重要的技术基础课程,它在整个专业的课程学习过程中起着承上启下的作用,只有学好土木工程力学才能为学习好相关的专业知识奠定坚实的基础。

建筑施工人员的主要任务就是把设计人员设计的建筑物由图纸变成实物。从事土木工程的一线工作人员,只有掌握了土木工程力学的基本知识,才能正确理解设计人员的设计意图、确保工程质量,才能很好地了解建筑物中每个构件的功能以及构件承受荷载、传递荷载的情况,根据施工现场的具体情况做出正确的判断和决策,把安全隐患消灭在萌芽状态,避免事故的发生。

学习土木工程力学对形成辩证唯物主义世界观是非常有利的,对提高读者的运算能力也是极为有益的。因此,土木工程建筑行业的每个从业人员都应该学习土木工程力学,特别是从事建筑工程结构设计和施工的工程技术人员。

▶ 0.4 土木工程力学课程学习指南 ◀

怎样才能学习好土木工程力学呢?

1. 重视观察和实验

土木工程力学知识来源于实践、服务于实践,所以,要想掌握好土木工程力学知识,就必须重视观察和实验,认真观察日常生活和工程实践中的力学现象,深入分析力学现象产生的条件和原因,学会做力学实验,掌握用实验研究问题、解决问题的基本方法,从而有意识地提高自己的观察能力和实验操作能力。

2. 勤于思考、重在理解

土木工程力学知识是在分析力学现象的基础上经过大量的实验研究和理论分析、概括总结或推理想象出来的,具有严密的逻辑性,各个知识点之间联系十分紧密,所以,学习土木工程力学时要注意理解它的基本概念、基本原理,掌握它的分析方法,切忌死记硬背,要勤于思考、善于分析、重在理解,有意识地提高自己的科学思维及逻辑推理能力。

3. 把握学习的五个环节

对于一个全日制在校学生而言,把握好学习的五个环节,是掌握好各门课程知识的保障和捷径。

(1) 课前预习。课前自学、阅读教材能够大概了解课程的知识点,也可以发现问题。

(2) **课堂听讲**。通过课前预习,学生带着问题去听课,对自己预习时不懂的地方要认真听教师讲解。听课可以达到三个目的:一是完成对预习中所学内容的再认识,加深理解、强化记忆;二是完成对预习中存在疑惑知识的解惑工作;三是完成所学知识的消化吸收,从而做到融会贯通。

(3) **课后整理课堂笔记**。是课后整理课堂笔记不是课堂记笔记,因为课堂上记笔记操作不当会影响听课。提倡课后根据课堂上记的要点、提纲,结合教材认真整理课堂笔记。

(4) **课后练习**。教师讲完课之后,一般情况下都会布置一些课后练习题,课后练习是检验学生听课效果的重要形式之一,希望学生要按照任课教师的要求认真做好课后练习。

(5) **反思与综合复习**。反思是对学习过程中出现的问题进行思考和研究,找到原因和解决办法;综合复习是把这一次课所学的知识与以前学过的知识联系起来,综合在一起形成知识链。

相信每一个全日制在校学生,只要严格按照上述五个环节学习,就一定能够学习好学校安排的各门课程,请各位在校学生一定要尽可能地按照这五个环节完成各门课程的学习,特别是对力学课程的学习。

4. 多练习重在运用

做习题是学习好土木工程力学的一个重要环节,不通过做一定数量的习题是很难真正掌握土木工程力学的概念、原理和方法的。当然盲目做习题(只求数量不求质量)或生搬硬套公式是不可能达到预期的学习效果的。对于学习过的知识,如果不注意知识的运用,你得到的知识仍然是死水一潭。只有重视理论联系实际,善于把所学力学知识运用到日常生活和工程实践中去,解释力学现象、设计力学实验、讨论并解决力学问题,才能使你学到的知识逐渐丰满起来,发挥其应有的作用。

思政之窗

为深入贯彻落实习近平总书记关于教育的重要论述和全国教育大会精神,本书推出“新中国力学家”专栏,传承和弘扬科学家精神、扎实推进思政元素进教材。

践行科学家精神,首先要保持对科研事业的热爱与执着。为了能够更好地将所学知识和工程实际相结合,请同学们一定要继续土木工程方向的学习和研究,站在科技的前沿,不断探索新技术、新材料、新工艺。

|项目一|

物体的受力分析

◆ 本项目知识点

- 力的分类和表示方法
- 力矩的计算方法
- 力偶的相关知识
- 静力学公理
- 常见的平面约束类型
- 受力分析绘制受力图

◆ 本项目知识目标

- ★ 了解力的定义及力的三要素
- ★ 了解结构的力学计算简图的简化过程
- ★ 熟悉工程中常用的平面约束类型
- ★ 掌握单个物体的受力分析
- ★ 掌握物体系统的受力分析
- ★ 了解平面杆件结构的分类情况

◆ 本项目能力目标

- ▲ 领会并能阐述力、力偶、刚体、平衡等力学重要概念
- ▲ 能熟练地运用静力学公理解决实际问题
- ▲ 能熟练掌握常见平面约束类型的简图和约束反力画法
- ▲ 能正确地分析物体的受力情况并正确地画出单个物体的受力图
- ▲ 能正确地对物体系统进行受力分析并正确地画出物体系统的受力图

▶ 项目导语

在土木工程的施工和使用过程中,其结构和构件都承受着各种力的作用,有的力会使它们产生运动和变形,有的力则限制它们的运动和变形。在建筑工程中力无处不在,如楼板除承受自重外,还承受着人、设备或家具等重力的作用,工程技术人员要分析和解决工程中的力学问题,首先必须熟悉力的基本性质,并熟练掌握分析物体受力情况的基本方法。

任务 1 认知静力学基本概念

案例引入

日常生活中,我们经常看到这样的现象:用手推动购物车,车由静止开始运动,如图 1-1(a)所示;用手按压弹簧,弹簧会发生变形,如图 1-1(b)所示,这是为什么呢?

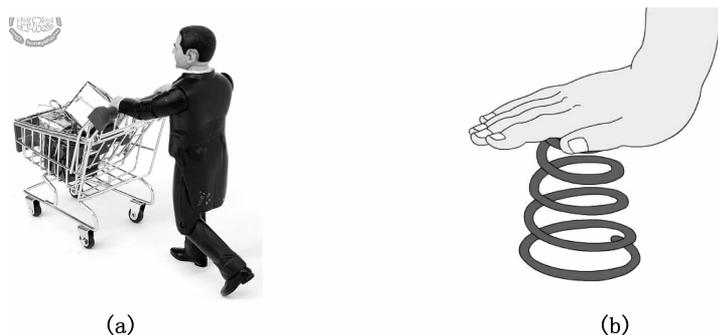


图 1-1

因为人对物体施加了力,力作用在车子上可以让车由静止到运动,使车的运动状态发生了变化;用手按压在弹簧上可以让弹簧缩短,使弹簧产生压缩变形。同时,人们也会感觉到车和弹簧对人有反作用力。

例如,当我们拍打篮球时,篮球会运动起来,同时我们的手也会有痛的感觉;当车辆在桥梁上行驶时,桥梁会产生弯曲变形等。这些现象都表明了力的存在。

1.1.1 力

学力学要从认知力开始!

1. 力的定义

人们在长期的生活运动和生产劳动实践中逐步建立起来了力的概念,例如推车、打球、拔河、按压弹簧、拧螺母、起吊重物、锻打工件等都要用力。人们就是从类似这样的大量实践中,从感性到理性逐步加深了对力的认识。

力是物体间相互的机械作用。这个定义表明:力是物体与物体间的相互作用,力不可能脱离物体而单独存在,要产生力必须有两个物体,即施力物体和受力物体;力总是成对出现的,有作用力必有反作用力。

2. 力的作用方式

物体间相互的机械作用方式可分为两类:一类是通过物质的一种形式——场而起作用的,如重力、电磁力等,这种作用方式称为间接作用;另一类是由两个物体直接接触而产生

的,如两物体间的压力、绳子的拉力等,这种作用方式称为直接作用。

3. 力的作用效应

力对物体的作用效应有两种,分别是运动效应和变形效应。

(1) 力的运动效应

力使物体的机械运动状态发生变化的效应称为力的运动效应或外效应。例如:用手推门时,门产生转动。

(2) 力的变形效应

力使物体的形状和尺寸发生改变的效应称为力的变形效应或内效应。例如:桥梁长期受到上面车辆的作用而产生弯曲变形。

静力学研究的是力的外效应,至于力的内效应将在材料力学部分进行研究。

4. 力的分类

力的分类方式有很多种,这里介绍的是依据力的作用范围大小把力分为两种:集中力和分布力。

(1) 集中力

当力的作用范围相对于物体很小以至于可以忽略不计时,就可以把力近似的看作是作用在一个点上,这样的力称为集中力。在国际单位制(SI)中,集中力的单位是牛顿(N)或千牛顿(kN)。例如火车车轮作用在钢轨上的压力、面积较小的柱体传递到面积较大的基础上的压力等都可看作是集中力;一个人站在梁上,人对梁的作用力就可以看作是集中力。图1-2(a)中画出来的 F 就是一个集中力。

(2) 分布力

当力的作用范围较大而不能忽略的作用力称为分布力,根据分布力分布范围的几何特征,又把分布力分为线分布力、面分布力和体分布力。

① 连续作用在狭长范围内的分布力称为线分布力,如图1-2(b)、(c)所示,其分布集度通常用字母 q 表示,单位为N/m或kN/m。例如,在房屋建筑中,梁支承楼板,楼板对梁的作用力就可以看作是一个线分布力。

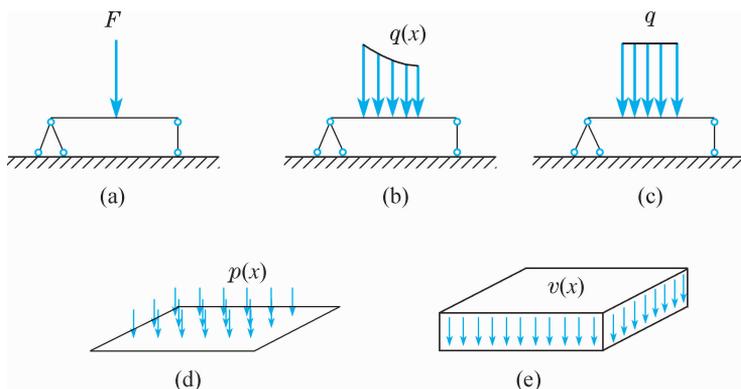


图1-2



② 作用在一定面积上的分布力称为面分布力,如图 1-2(d)所示。其分布集度通常用 p 表示,单位是 N/m^2 或 kN/m^2 。例如,风荷载对建筑物墙体的作用就可以看作是一个面分布力。

③ 体分布力是指在构成物体的空间里(或者说物体体积内)每一个点都受到力作用的情况,如图 1-2(e)所示,体分布力的分布集度通常用 v 表示,单位是 N/m^3 或 kN/m^3 。例如,物体的自重就可以看作是体分布力。

④ 如果在作用范围内每个点受到的力大小不一样,这样的分布力称为非均布力,如图 1-2(b)所示为线非均布力;当作用范围内每个点受到的力大小相同,这样的分布力称为均布力,如图 1-2(c)所示为线均布力。

5. 集中力的三要素

实践证明,集中力对物体的作用效果由力的三个要素决定,改变这三个要素中的任何一个,都会改变力对物体的作用效果。因此人们把**力的大小、方向和作用点**称为**集中力的三要素**。

(1) **力的大小**:力的大小表明物体间相互作用的强弱程度。在国际单位制中,集中力的基本度量单位是牛顿,简称牛(N),工程实际中集中力的常用单位是千牛顿,简称千牛(kN), $1\text{ kN}=1\ 000\text{ N}$ 。

(2) **力的方向**:力的方向包括力的方位和指向两层含义。例如重力的方向是“铅垂向下”,“铅垂”是力的方位,“向下”是力的指向;又如水平推力的方向是“水平向前”,“水平”是力的方位,“向前”是力的指向。力的作用方向不同,对物体产生的效应也不同,如图 1-3(a)所示的小球在推力 F 的作用下,会产生由左向右的运动;而当小球在同一位置受到如图 1-3(b)所示同样大小的拉力作用时,则小球的运动方向是由右向左。

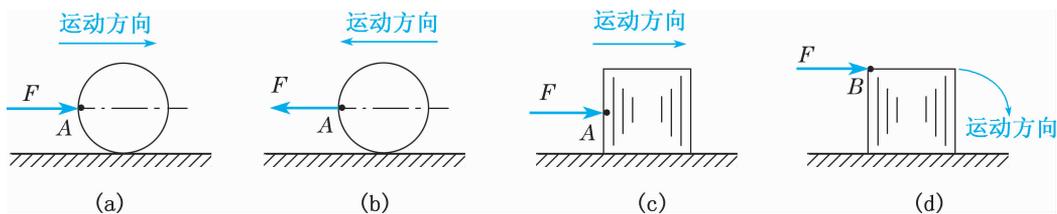


图 1-3

(3) **力的作用点**:力的作用点是力在物体上的作用位置。实际上当两个物体相互作用时,其接触部位总是具有一定的面积,当接触面积与物体相比很小时,可近似看成是一个点,这个点称为力的作用点。集中作用在一点上的力称为集中力,工程中也称为集中荷载,如梁支承在柱子上,对柱子产生的压力为集中荷载;当力的作用区域不能抽象化为一个点时则称为分布力,例如水坝所受的水压力等。

集中力对物体的作用效应还与力的作用点位置有关,如图 1-3(c)所示,将木箱子放在桌面上,如果力的作用点位置较低,则木箱子将向前移动;如图 1-3(d)所示,如果同样大小和方向的力作用点位置较高,则木箱子将会翻转。

6. 集中力的图示法

力是一个有大小和方向的量,所以力是**矢量**,力矢量所在的直线称为力的作用线,即通过力的作用点并沿着力的方向的直线称为力的作用线。力学中用一个带箭头的有向线段来

表示集中力,其中线段的长度按一定的比例表示力的大小,线段与某定直线的夹角表示力的方位,箭头表示力的指向,有向线段的起点或终点表示力的作用点。如图 1-4 所示,按比例量出力 F 的大小是 30 kN,力的方向与水平线成 30° 角,指向右上方,作用在物体上的 A 点。

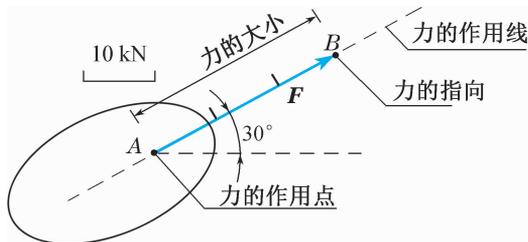


图 1-4

► **特别注意:**在画拉力时,用有向线段的起点作为拉力的作用点;在画压力时,用有向线段的终点作为压力的作用点。

1.1.2 刚体

在任何外力作用下,其形状和大小始终保持不变的物体称为刚体。

刚体是人们在研究物体的平衡问题时抽象化出来的一种力学模型。在很多情况下,固体在受力和运动过程中变形很小,基本上保持原来的大小和形状不变,为此,人们提出了刚体这一理想化的力学模型的概念,其特点是:刚体在受力过程中,刚体内所有质点之间的距离始终保持不变。

1-2



静力学中的
重要概念

1.1.3 平衡

物体相对于地球处于静止或匀速直线运动的状态称为平衡。物体保持静止的状态称为静平衡,物体保持匀速直线运动的状态称为动平衡。平衡是物体运动的一种特殊形式,实际上物体处于平衡,就是指物体运动的加速度等于零。如正常情况下的房屋、桥梁、电线杆以及匀速吊装的构件,它们相对于地球均处于平衡状态。

1.1.4 力系

通常情况下,一个物体所受的力不止一个而是若干个。在力学研究中把同时作用于同一个物体上的一群力称为力系。如果物体在一个力系作用下处于平衡状态,则该力系称为平衡力系。要使物体保持平衡状态,作用于物体上的力必须满足一定的条件,这种条件称为力系的平衡条件。

1.1.5 力偶

在日常生活和工程实践中,常见到作用在物体上的两个大小相等、方向相反、作用线不

重合的平行力的作用,如图 1-5(a)所示,汽车司机转动方向盘时,两手作用于方向盘上的力;如图 1-5(b)所示的钳工师傅用丝锥攻螺纹时,两手作用于丝锥铰杠上的力;还有如图 1-5(c)所示,我们拧水龙头时对水龙头施加的力等。这种由两个大小相等、方向相反且不共线的平行力组成的力系,称为**力偶**。力偶的组成如图 1-5(d)所示,记作 (F, F') 。

力偶对刚体的外效应是只能使刚体产生转动。力偶的两力之间的垂直距离 d 称为力偶臂,力偶所在的平面称为力偶作用面,如图 1-5(d)所示。

由于力偶不可能合成为更简单的形式,所以力偶和力一样是组成力系的基本元素。

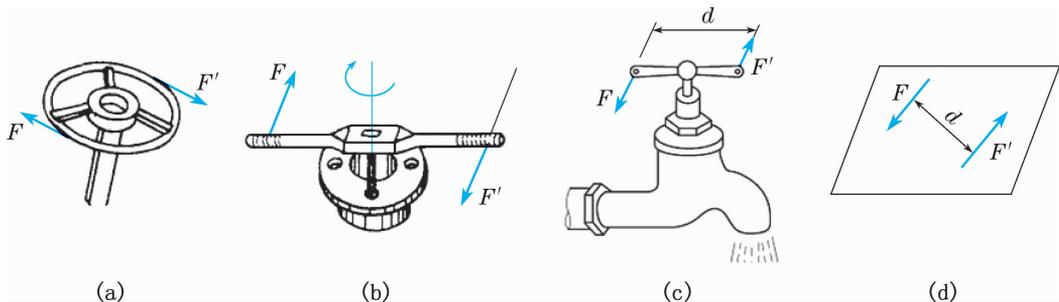


图 1-5

课后思考与讨论

1. 什么是力? 力对物体会会有什么样的作用效果? 力对物体的作用效果与哪些因素有关? 试举例加以说明。
2. 什么是力偶? 它会对物体产生怎样的运动效应? 请举例说明。
3. 什么是平衡? 试举出物体处于平衡状态的例子。
4. 有一个成语叫“孤掌难鸣”,请你拍掌试一试,为什么两个巴掌拍得响,一个巴掌拍不响? 请从力学角度进行分析并给出合理的解释。

任务 2 认知力的性质

案例引入

水面上有两条小船,一个人站在其中的一条船上,拿船桨推了另外一条船,两条船都会向后滑动,如图 1-6 所示,而且推力越大,两条船滑动的就越快,这是为什么呢?

因为力是物体间的相互作用,在甲物体对乙物体作用的同时,乙物体必然也有一个反作用力作用在甲物体上。

又例如,冰面上溜冰的两个人,轻轻地推一下对方,两个人都会往后退,而且用的力越



图 1-6

大,两个人就离得越远;火箭升空时,向下喷射出强大的气流,火箭靠向下喷气产生的反作用力而升空;墨鱼遇到敌人时,会向后喷墨水,墨鱼靠向后喷水产生的反作用力使自身产生向前的运动,从而逃生。

这些现象都说明作用力和反作用力是成对出现的,而且方向相反。

静力学基本公理是人们在实践中经过反复观察和实验总结出来的最基本的力学规律,它反映了作用在物体上的力的基本性质。为了便于以后的研究,我们首先来认知静力学中的几个基本公理。

1.2.1 作用与反作用公理

一个物体受到其他物体的作用时,施力物体也一定同时受到与受力物体等值反向的力的作用,这两个力就是一对作用力和反作用力。

两个物体之间的作用力与反作用力,总是大小相等,方向相反,沿同一直线,并分别作用在这两个物体上。力的这一性质称为**作用与反作用公理**。

这个公理概括了两个物体间相互作用的关系,不论物体是处于静止状态还是处于运动状态,也不论是把物体看成是刚体还是变形体,该公理都普遍适用。力总是成对出现的,有作用力,必定有反作用力,且两者总是相互对立、相互依存、同时出现、同时消失。

例如地面上有一物体处于静止状态如图 1-7(a)所示。物体对地面有一个作用力 F'_N , F'_N 作用在地面上;而地面对物体也有一个反作用力 F_N , F_N 作用在物体上。力 F_N 和 F'_N 大小相等,方向相反,沿同一条直线分别作用在物体和地面上,是一对作用力和反作用力,如图 1-7(b)所示。物体上在两个力 F_G 和 F_N 共同作用下处于平衡,因此力 F_G 和 F_N 是一对平衡力,如图 1-7(c)所示。

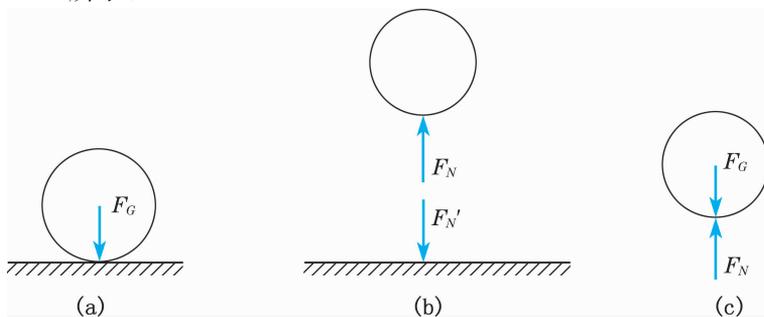


图 1-7

注意:虽然 F_N 、 F'_N 它们大小相等,方向相反,沿同一直线,但不是作用在同一刚体上的两个力,因此,不能错误地认为它们是一个平衡力系。

1.2.2 二力平衡公理

作用于同一刚体上的两个力,使刚体保持平衡的必要和充分条件是:这两个力大小相等、方向相反且作用于同一直线上,即二力等值、反向、共线。力的这一性质称为**二力平衡公理**,如图 1-8(a)所示。

1-3



静力学公理

这个公理揭示了作用于刚体上最简单的力系即由两个力组成的力系平衡时所必须满足的条件,它为我们以后研究其他力系的平衡条件提供了理论基础。

只受两个力作用而处于平衡的杆件,称为二力杆,如图 1-8(b)、(c)所示,图中 $F_1 = F_2$, $F_A = F_B$ 。二力杆可以是直杆也可以是曲杆。

应该注意,只有当力作用在刚体上时二力平衡公理才能成立。对于变形体,二力平衡条件只是必要条件,不是充分条件。例如:软绳受两个等值反向的拉力作用可以平衡,如图 1-8(d)所示;而受两个等值反向的压力作用时就不能平衡,如图 1-8(e)所示。

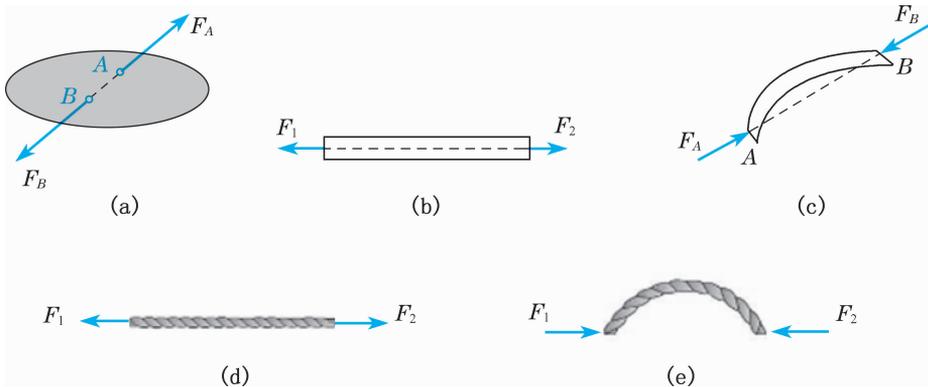


图 1-8

▶ **特别注意:** 作用与反作用公理和二力平衡公理有本质区别:作用力与反作用力是分别作用在两个不同的物体上;而二力平衡公理中的两个力则是同时作用在同一个刚体上,它们是平衡力。

1.2.3 加减平衡力系公理

在作用于刚体上的已知力系中,加上或去掉任意一个平衡力系,并不会改变原力系对刚体的作用效应,力的这一性质称为加减平衡力系公理。

这是因为平衡力系对刚体运动状态是没有影响的,所以增加或去掉一个平衡力系,是不会改变刚体的运动效果的。这个公理为我们研究力系的等效替换提供了理论依据。

推论:力的可传性原理

作用在刚体上的力可沿其作用线移动到刚体内任一点,而不改变该力对刚体的作用效应,力的这一性质称为力的可传性原理。

力的可传性原理早已被实践所证实。如图 1-9(a)所示,用水平推力 F 作用于小车的 A 点,与图 1-9(b)中用大小、方向均相同的拉力 F 作用于小车的 B 点(A 、 B 两点在同一直线上)使小车产生的运动效果是相同的。

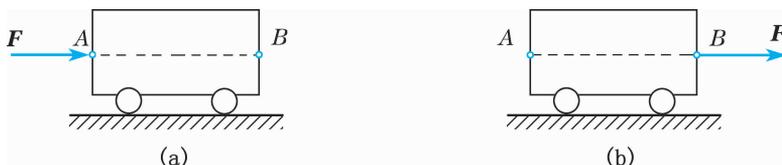


图 1-9

由力的可传性原理可知,力对刚体的作用效应与力的作用点在作用线上的位置无关,也就是说,对于刚体而言,力的作用点已经不再是决定力的作用效果的要素了,它已经被力的作用线所取代,因此,对刚体而言,力的三要素是:力的大小、力的方向和力的作用线。同时必须指出,力的可传性原理只适用于刚体而不适用于变形体。

1.2.4 力的平行四边形公理

1. 力的平行四边形公理

作用在物体上同一点的两个力,可以合成为一个合力,合力的作用点也在该点,合力的大小和方向可以用以两分力为邻边所构成的平行四边形的对角线表示,力的这一性质称为力的平行四边形公理。

力的平行四边形公理又称力的平行四边形法则,力的平行四边形法则是力系合成与分解的基础,也是力系简化、计算合力的重要理论依据,这种求合力的方法称为矢量加法,即作用于物体上同一点的两个力 F_1 与 F_2 的合力 F_R 等于这两个力的矢量和,如图 1-10(a) 所示,其矢量表达式为:

$$F_R = F_1 + F_2$$

2. 力的三角形法则

力的平行四边形法则又可以简化为力的三角形法则,在求两个共点力的合力时,为了作图方便,只需画出平行四边形的一半即可。其做法是在确定两个共点力的合力大小、方向时,只需在平面内任选一点,将这两个力矢首尾相接,则合力矢就是从第一个力的起点指向第二个力的终点。其具体操作方法是:从 A 点开始,先画出矢量 F_1 ,然后再由 F_1 的终点 B 画出另一矢量 F_2 ,最后将 A 点与 F_2 的终点 C 连线得到矢量 AC 就是我们所要求的合力 F_R ,如图 1-10(b) 所示。分力与合力所构成的三角形 $\triangle ABC$ 称为力的三角形,这种求合力的方法称为力的三角形法则。如果先画 F_2 ,再画 F_1 ,如图 1-10(c) 所示,也能得到相同的合力矢量 F_R 。可见,画分力的先后次序不同,并不影响合力 F_R 的大小和方向。

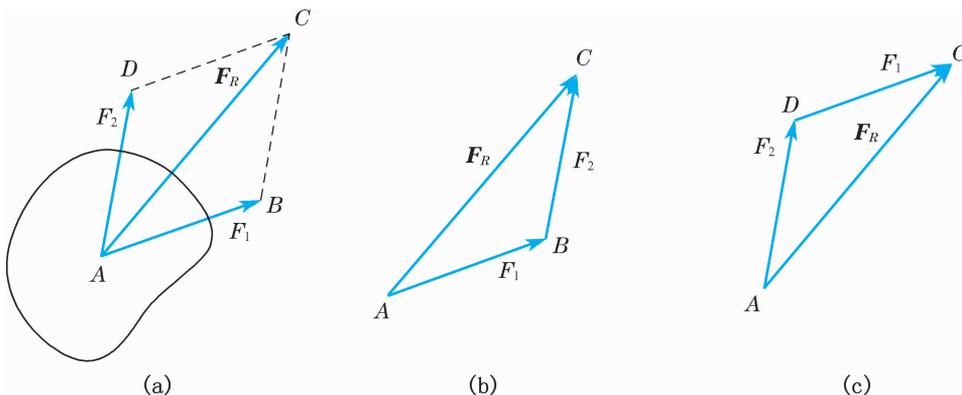


图 1-10

3. 三力平衡汇交定理

应用上述公理可推导出**三力平衡汇交定理**:若刚体在互不平行的三个力作用下处于平衡状态时,则此三个力的作用线必在同一平面内且汇交于一点。

证明:如图 1-11 所示,刚体在 F_1 、 F_2 、 F_3 三个力作用下处于平衡,根据力的可传性原理,将力 F_1 、 F_2 移到此两力作用线的交点 O ,并按照力的平行四边形公理合成为一个合力 F_{12} ,这样,刚体就在 F_{12} 和 F_3 两个力作用下处于平衡。由二力平衡公理可知, F_{12} 与 F_3 必等值、反向、共线,即力 F_3 必通过 F_1 和 F_2 的交点 O ;另外,因为力 F_1 、 F_2 与 F_{12} 共面,所以力 F_1 、 F_2 与 F_3 也共面。该定理由此得证。

三力平衡汇交定理是加减平衡力系公理(力的可传性原理)、力的平行四边形公理、二力平衡公理三者的综合推论,它揭示了共面而互不平行的三个力平衡的必要条件。因此,当刚体受到共面互不平行的三个力作用而平衡时,只要已知其中两个力的方向,则第三个力的方向就可以利用三力平衡汇交定理来确定。

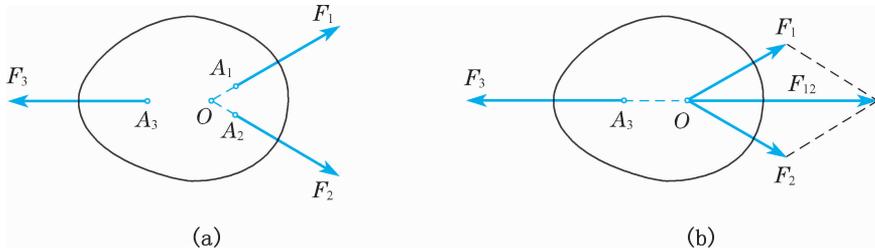


图 1-11 三力平衡汇交定理

利用力的平行四边形法则,可以把两个共点力合成为一个力。反之,也可以把一个已知力分解为与其共点的两个力。但是,将一个已知力分解为两个分力可以得到无数组解答。因为用同一条对角线可以作出无数多个不同的平行四边形,如图 1-12(a)所示,力 F 既可以分解为力 F_1 和 F_2 ,也可以分解为力 F_3 、 F_4 等。

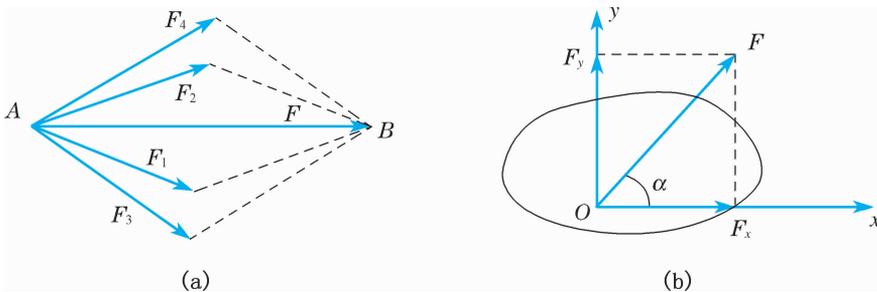


图 1-12

在工程实际问题中,常把一个力 F 沿平面直角坐标系的两个坐标轴方向分解为互相垂直的两个分力 F_x 、 F_y ,如图 1-12(b)所示。 F_x 、 F_y 的大小与力的大小及方向的关系为

$$\begin{cases} F_x = F \cos \alpha \\ F_y = F \sin \alpha \end{cases} \quad (1-1)$$

式中： α ——力 F 与 x 轴的所夹的锐角。

课后思考与讨论

1. 如图 1-13 所示, 作用于铁环上的三个力都汇交于一点 O , 各力大小不完全相等, 且各力都不等于零, 在图 1-13(a)、(b) 两种情况下铁环有平衡的可能吗? 为什么?

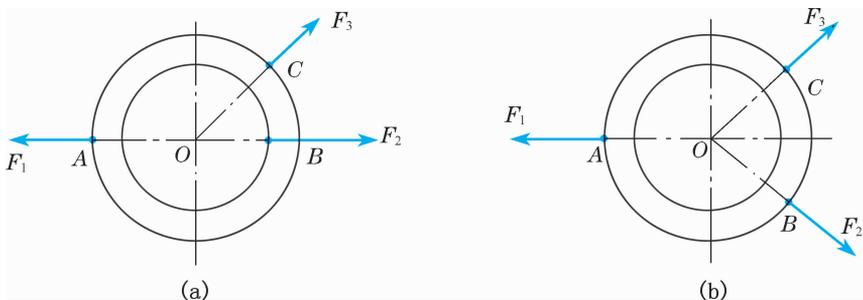


图 1-13

2. 作用与反作用公理、二力平衡公理、力偶中的两个力都是等值、反向, 这三者的区别是什么? 请举例说明。

任务 3 静力学计算基础

案例引入

日常生活中, 人们每天都在重复两个动作——开门、关门, 用手开门关门时, 门会转动, 如图 1-14(a) 所示; 用手拧瓶盖, 瓶盖也会转动, 如图 1-14(b) 所示。都是转动, 这两个动作有什么不同? 为什么?



图 1-14

力不仅可以使物体移动, 也能使物体转动。

开门时, 力 F 使门绕门轴转动, 转动效应不仅与力的大小有关, 而且与力的作用线到门轴的垂直距离的大小有关。当改变力的指向时, 门的转向也随之改变。实践表明, 力可以使物体转动, 转动效果不仅与力的大小成正比, 而且还与转动中心到该力作用线的垂直距离成

成正比,力对物体的转动效应用力矩来表示。

拧瓶盖时,人们要用两个手指拧瓶盖,在瓶盖上作用了一对大小相等、方向相反、作用线互相平行但不重合的力。这两个等值、反向的平行力组成了一个力偶,瓶盖在这个力偶的作用下发生转动。实际生活经验告诉我们,这样的两个力只能使物体产生转动效应,而不能产生移动效应。

1.3.1 力在坐标轴上的投影

1. 力在坐标轴上的投影

力是矢量,矢量运算要比代数数量运算复杂得多,为了能够用代数方式进行力的计算,在力学中特引入力在轴上的投影这一概念。力在坐标轴上的投影,是用解析法进行力系的合成与平衡计算的基础。

在物体上的 A 点受到集中力 F 作用,用带箭头的有向线段 AB 表示,在力 F 所在的平面内建立平面直角坐标系 xOy ,过力 F 的起点 A 和终点 B 分别向 x 轴引垂线,两垂足连线 A_1B_1 的长短再加上适当的正负号称为力 F 在 x 轴上的投影,用 X 表示;同理,可画出力 F 在 y 轴上的投影,用 Y 表示,如图 1-15(a) 所示。力在坐标轴上的投影是代数量,规定:当力的起点投影到终点投影的指向与坐标轴正向一致时,投影取正号;反之投影取负号。

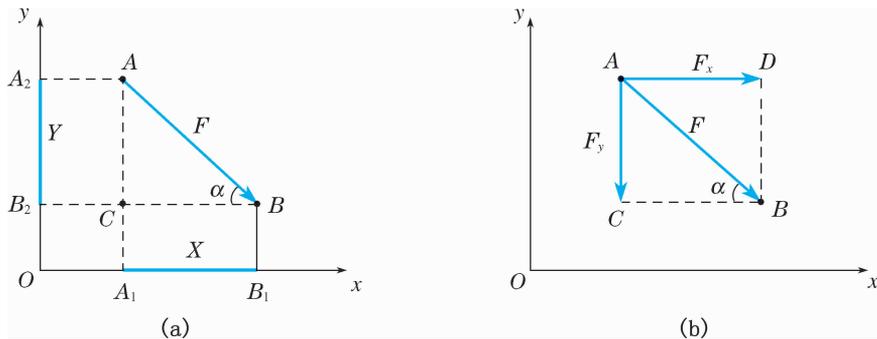


图 1-15

由图 1-15(a) 可知,若已知力 F 的大小及其与 x 轴所夹的锐角 α ,由图中的几何关系可以得到力 F 在坐标轴上的投影 X 、 Y 可按下式计算:

$$\begin{cases} X = \pm A_1B_1 = \pm F \cos \alpha \\ Y = \pm A_2B_2 = \pm F \sin \alpha \end{cases} \quad (1-2)$$

投影的计算过程是一找二算三判断,一找是在图上找到投影的位置,二算是利用数学知识计算出投影的大小,三判断是根据投影的正负号规定正确判断出投影的正负号。当然了,力在坐标轴上投影的正负号也可以根据力的方向直接判断,详见表 1-1。

需要指出的是力在坐标轴上的投影大小,与力和坐标轴之间的关系有关。显然当力与坐标轴之间有特殊关系时则有结论:

- (1) 当力与坐标轴垂直时,力在该轴上的投影等于零;
- (2) 当力与坐标轴平行或重合时,力在该坐标轴上的投影大小等于力的大小,正负号是

同正异负。

已知力可以计算出来力在坐标轴上的投影,反过来已知力在平面直角坐标系 x 轴和 y 轴上的投影也可以确定力的大小和方向,用公式表示为

$$\begin{cases} F = \sqrt{X^2 + Y^2} \\ \tan \alpha = \left| \frac{Y}{X} \right| \end{cases} \quad (1-3)$$

在图 1-15(b)中画出了力 F 沿 x 轴和 y 轴方向的两个分力 F_x 和 F_y ,应当注意:力在坐标轴上的投影是代数量,只有大小和正负;而分力是矢量,有大小、有方向,其作用效果还与作用点或作用线的位置有关,二者不可混淆。只有当力沿平面直角坐标系的两个坐标轴方向正交分解时,分力和投影才会大小相等。

表 1-1 力的方向与其投影的正负号关系一览表

坐标	力的方向	投影的正负号		坐标	力的方向	投影的正负号	
		X	Y			X	Y
		+	+			-	-
		-	+			+	-

例 1-1 已知 $F_1 = F_2 = 100 \text{ N}$, $F_3 = 200 \text{ N}$, $F_4 = 80 \text{ N}$,各力方向如图 1-16 所示,请分别计算出各力在 x 轴和 y 轴上的投影。

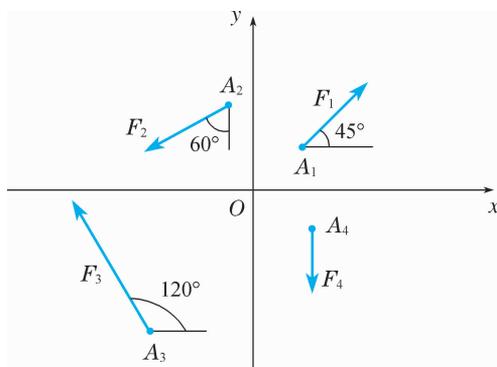


图 1-16

解 由式(1-2)可得到各力在 x 轴和 y 轴上的投影为:

$$X_1 = F_1 \cos 45^\circ = 100 \times 0.707 = 70.7 \text{ N}$$

$$Y_1 = F_1 \sin 45^\circ = 100 \times 0.707 = 70.7 \text{ N}$$

$$X_2 = -F_2 \cos 30^\circ = -100 \times 0.866 = -86.6 \text{ N}$$

$$Y_2 = -F_2 \sin 30^\circ = -100 \times 0.5 = -50 \text{ N}$$

$$X_3 = -F_3 \cos(180^\circ - 120^\circ) = -F_3 \cos 60^\circ = -200 \times 0.5 = -100 \text{ N}$$

$$Y_3 = F_3 \sin(180^\circ - 120^\circ) = F_3 \sin 60^\circ = 200 \times 0.866 = 173.2 \text{ N}$$

$$X_4 = 0$$

$$Y_4 = -F_4 = -80 \text{ N}$$

由上例可知,当力与坐标轴垂直时,力在该轴上的投影为零。当力与坐标轴平行时,力在该轴上的投影的绝对值等于力的大小。

▶ **特别注意:** 在计算集中力在坐标轴上的投影时,首先要看力与坐标轴的位置关系,若力与坐标轴之间属于特殊关系(相互垂直、平行或重合),则直接套用结论;若力与坐标轴之间属于一般关系,则应按投影的计算程序“一找二算三判断”进行操作。

2. 合力投影定理

根据力在坐标轴上投影的概念,可以推出**合力投影定理:合力在任一坐标轴上的投影等于各分力在同一坐标轴上投影的代数和**。合力在 x 轴上的投影用 X_R 表示、合力在 y 轴上的投影用 Y_R 表示,则有

$$\begin{cases} X_R = X_1 + X_2 + \cdots + X_n = \sum_{i=1}^n X_i = \sum X \\ Y_R = Y_1 + Y_2 + \cdots + Y_n = \sum_{i=1}^n Y_i = \sum Y \end{cases} \quad (1-4)$$

上述两个式子中,“ \sum ”表示求代数和,应注意式中各项投影值的正负号。

再根据式(1-3)可以得到合力 F_R 的大小和方向为

$$\begin{cases} F_R = \sqrt{(\sum X)^2 + (\sum Y)^2} \\ \tan \theta = \left| \frac{\sum Y}{\sum X} \right| \end{cases} \quad (1-5)$$

式中: θ ——合力 F_R 与 x 轴所夹锐角。

合力 F_R 的具体方向由 $\sum X$ 、 $\sum Y$ 的正负号来确定,详细情况参见表 1-1。

1.3.2 力对点之矩

1. 力矩的概念

在实际生活中,力对物体的作用,有时会使物体移动,有时会使物体转动。例如:用手推门时,力使门绕门轴转动;用扳手拧螺母时,力可使扳手绕螺母中心转动,还有滑轮、摇柄、杠杆的使用等,都是物体在力的作用下产生转动效应的实例。如图 1-17(a)所示,扳手拧螺母的转动效果不仅与力 F 的大小有关,而且与点 O 到力作用线的垂直距离 d 有关。

为了度量力使物体绕某点(轴)的转动效应,我们引入力矩的概念,其定义是:**力对某点的力矩等于该力的大小与该点到力作用线垂直距离的乘积**。力 F 对点 O 的力矩用符号 $M_O(F)$ 表示,则有

$$M_O(F) = \pm F \cdot d \quad (1-6)$$

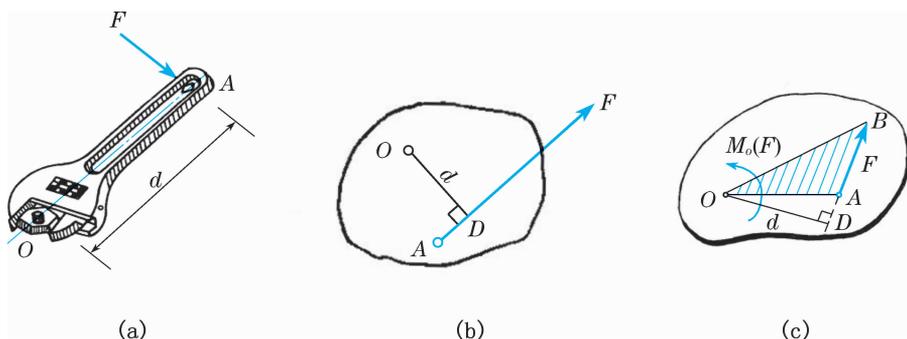


图 1-17

点 O 称为转动中心, 又叫**矩心**, 矩心 O 到力 F 作用线的垂直距离 d 称为**力臂**, 如图 1-17(b) 所示。对于平面力系来说力矩是代数量, 一般规定: 力使物体绕矩心作逆时针转动的力矩为正; 反之则为负。

力矩的单位为“牛·米”(N·m)或“千牛·米”(kN·m)。

利用力矩的定义公式**计算力矩的过程可归纳为一找二算三判断**, 一找是找力臂 d , 二算是算出力矩的大小, 三判断是按力矩的正负号规定正确判断出力矩的正负号。

由以上力对点之矩的定义, 可以得出以下结论:

- (1) 当力的作用线通过矩心时, 则力对该点的力矩等于零(这是因为力臂 $d=0$)。
- (2) 当力沿作用线移动时, 不改变力对该点之矩(这是因为力的大小、方向和力臂的大小均未改变)。

讨论与交流

教室门的水平投影图如图 1-18 所示, 力 F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 分别以不同的方向作用在门的不同位置, 已知力 $F_1=F_2=F_3=F_4=10\text{ kN}$, 力 F_1 、 F_2 的作用点 A 到 O 点的距离为 1 m , 力 F_3 的作用点为 O 点, 力 F_4 的作用点 B 到 O 点的距离为 0.5 m , 如图所示。试讨论一下哪种情况开门最省力?

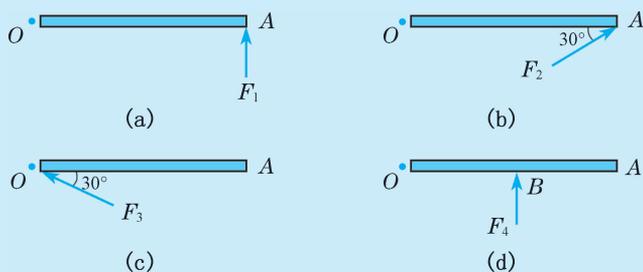


图 1-18

分析:

$$M_O(F_1) = F_1 d_1 = 10 \times 1 = 10 \text{ kN} \cdot \text{m} (\text{逆时针})$$

$$M_O(F_2) = F_2 d_2 = 10 \times 1 \times \sin 30^\circ = 5 \text{ kN} \cdot \text{m} (\text{逆时针})$$

$$M_O(F_3) = F_3 d_3 = 10 \times 0 = 0$$

力的作用线通过矩心,力矩为零,说明该力不能使物体转动,门不能被打开。

$$M_O(F_4) = F_4 \cdot d_4 = 10 \times 0.5 = 5 \text{ kN} \cdot \text{m} (\text{逆时针})$$

结论:当力臂最大时开门最省力。

2. 合力矩定理

(1) 合力矩定理

平面汇交力系的合力对平面内任一点的力矩,等于力系中各分力对同一点力矩的代数和,这就是合力矩定理。即

$$M_O(F_R) = M_O(F_1) + M_O(F_2) + \dots + M_O(F_n) = \sum_{i=1}^n M_O(F_i) \quad (1-7)$$

(2) 合力矩定理的应用

合力矩定理的应用有二:其一是用于计算一个已知平面力系的合力对某一点的力矩;其二是用于计算一个力对一点的力矩。用合力矩定理计算一个力对一点的力矩的情况是这样的:如果用力矩的定义直接计算力矩时出现了力臂不易求出,此时可以尝试用合力矩定理来计算力对点之矩。把力分解时要选择分力的力臂是已知的,或者分力的力臂较容易计算出来的,这样才能在使用合力矩定理计算力矩时达到简化运算的目的。

案例:挡土墙是工程中常见的结构,土压力 F 可能使挡土墙绕 O 点倾覆,如图 1-19 所示,已知每米长挡土墙所受土压力的合力为 $F=200 \text{ kN}$, F 与水平线的夹角 $\alpha=30^\circ$ 。求 F 使墙倾覆的力矩?

分析:由图 1-19 可以看出,直接计算力 F 对 O 点之矩的力臂比较麻烦,考虑将力 F 在力作用点 A 处分解为两个分力 F_x 与 F_y ,这两分力的力臂是已知的,从而可以应用合力矩定理计算合力 F 对 O 点之矩。合力 F 对 O 点的力矩等于其两个分力 F_x 与 F_y 对 O 点的力矩的代数和,即

$$\begin{aligned} M_O(F) &= M_O(F_x) + M_O(F_y) = F_x \times 2 - F_y \times 2 \\ &= 200 \times \cos 30^\circ \times 2 - 200 \times \sin 30^\circ \times 2 \\ &= 146.4 (\text{kN} \cdot \text{m}) \end{aligned}$$

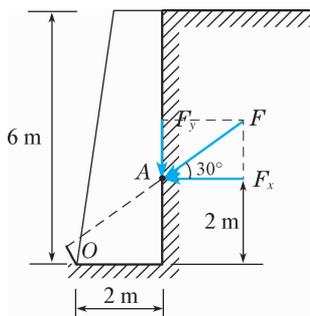


图 1-19

▶特别注意:在计算集中力对点之矩时,首先要看力作用线与矩心的位置关系,若力作用线与矩心之间属于特殊关系(力作用线通过矩心)时则直接套用结论;若力作用线与矩心之间属于一般关系,则应启动“一找二算三判断”的程序进行计算,如果在找力臂时发现力臂不易计算,此时应考虑把该力在适当位置正交分解(分力及分力的力臂都容易计算),然后利用合力矩定理来计算力矩。

相关链接

塔式起重机是建筑工地上常见的设备,如图 1-20(a)所示,这是力矩在工程实际中的应用场景之一。要确保起重机不会翻倒,必须在平衡锤重 F_Q 、机身自重 F_G 、吊重 F_P 的作用下处于平衡,如图 1-20(b)所示,在设计和使用时应该利用力矩的相关

知识进行相关的计算。

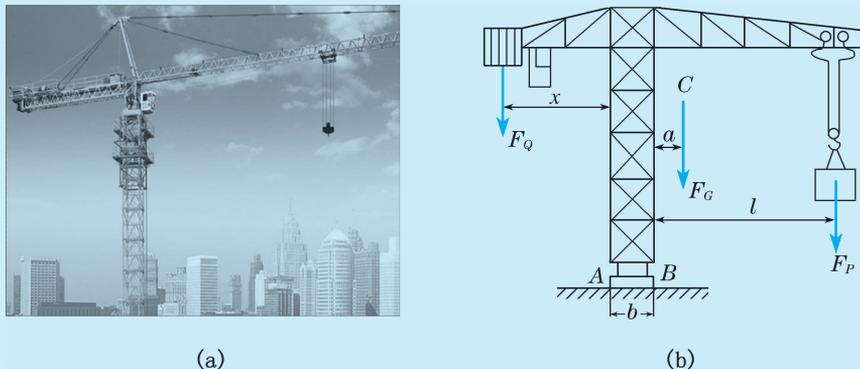


图 1-20

1.3.3 线分布力及力偶的有关计算

1. 线分布力的计算

在对线分布力进行有关计算时只需把线分布力等效代换成一个集中力,然后按集中力进行相关计算(计算投影、力矩)。此乃线分布力的计算的思路。

常见的线分布力的等效代换结果如图 1-21 所示,其中图(a)表示一段线均布力可以等效代换成一个集中力,该集中力的大小等于线均布力的分布集度与线均布力分布长度的乘积,集中力的方向与线均布力的方向相同,集中力的作用点在线均布力分布区间的中点;图(b)表示一段呈直角三角形分布的线非均布力可以等效代换成一个集中力,该集中力的大小等于该三角形图形的面积、集中力的方向与线分布力的方向相同、集中力的作用线通过该三角形的几何中心。

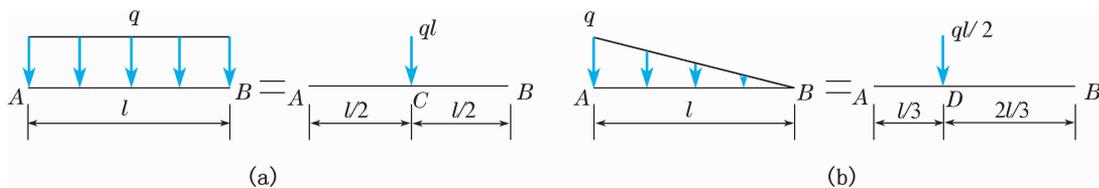


图 1-21

2. 力偶矩

力偶对物体的作用效果是只能使物体产生转动,而不能使物体产生移动。当力偶中的力 F 越大,或者力偶臂 d 越大时,力偶对物体的转动效应就越显著。由此可知,力偶对物体的转动效应既与组成力偶的力的大小成正



力偶

比,又与力偶臂的大小成正比。为了度量力偶对物体的转动效应,引入**力偶矩**的概念,**力偶中的力与其力偶臂的乘积再加上适当的正负号称为力偶矩**,并用 $m(F, F')$ 表示,通常简记为 m ,即

$$m = \pm F \cdot d \quad (1-8)$$

一般规定:若力偶使物体做逆时针转动时力偶矩取正号;反之取负号。力偶矩的单位与力矩单位相同,为“牛·米”(N·m)或“千牛·米”(kN·m)。

3. 力偶的性质

力偶作为一种特殊力系,除了具备力的性质之外还具有如下几条性质:

性质 1:力偶在任意坐标轴上的投影都等于零。

性质 2:力偶没有合力,既不能与一个力等效,也不能用一个力来平衡,力偶只能用力偶平衡。

性质 3:力偶对其作用面内的任一点之矩恒等于力偶矩,与矩心位置无关。

性质 4:在同一平面内的两个力偶,如果它们的力偶矩大小相等、转向相同,则称这两个力偶是等效的。这就是力偶的等效性。

根据力偶的等效性,可得到下面两个推论:

推论 1:力偶可在其作用面内任意移动和转动,而不改变它对物体的转动效应。

推论 2:只要保持力偶矩的大小不变、转向不变,可以相应地改变组成力偶的力的大小和力偶臂的长短,而不改变它对物体的转动效应,如图 1-22 所示。

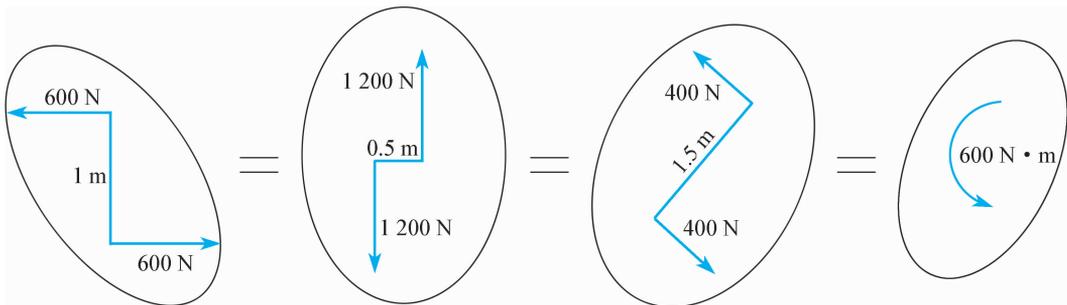


图 1-22

4. 力偶的三要素及其图示法

实践证明,力偶对物体的作用效果取决于力偶的三要素,即力偶矩的大小、力偶的转向、力偶的作用面。通常用带箭头的弧线来表示力偶,如图 1-23 所示,其中弧线表示力偶的作用面, m 表示力偶矩的大小,箭头表示力偶的转向。

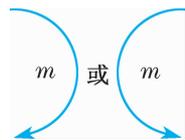


图 1-23

5. 力偶的有关计算

对力偶进行有关计算时,只需牢记两句话:

- (1) 力偶在任一坐标轴上的投影恒等于零;
- (2) 力偶对其作用面内任一点之矩恒等于力偶矩,与矩心的位置无关。

课后思考与讨论

1. 手握钢丝钳,如图 1-24 所示,为什么不用很大的力即可将钢丝剪断?
2. 想一想:力矩和力偶矩的异同点有哪些?
3. 想一想:采用如图 1-25 所示的给扳手加力拧螺母的做法合理吗?为什么?
4. 想与做:用钥匙开门,如图 1-26 所示,为什么要用两个手指头?体验一下如何把力偶作用在钥匙上。



图 1-24

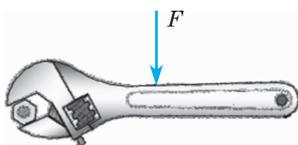


图 1-25

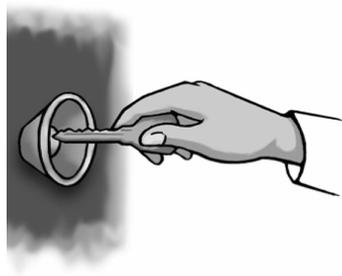


图 1-26

任务 4 认知常见的平面约束类型

案例引入

把电线杆埋在挖好的基坑中,如图 1-27 所示,你知道基坑对电线杆起到了什么作用吗?图(a)中基坑里面填的是混凝土,图(b)中基坑里面填的是夯实土壤,基坑中的填料不一样,基坑对电线杆的作用效果一样吗?两个图中哪个电线杆更牢固?为什么?

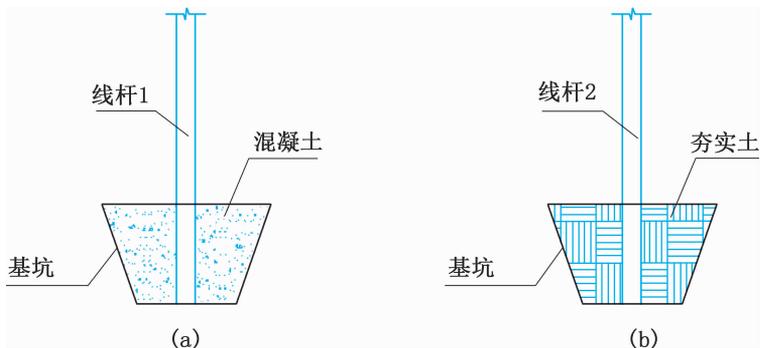


图 1-27

基坑对电线杆起到了约束的作用,基坑中的填料不一样,基坑对电线杆的作用效果是不一样的,实践证明,(a)图中的电线杆更加牢固。

还有,在日常生活中常见的绳索悬挂的灯、支撑在墙上的阳台或雨篷都掉不下来,放在

桌上的书也掉不下来。为什么灯、阳台、雨篷和桌子上的书都不能向下运动呢？这是因为灯、阳台、雨篷和桌子上的书的运动受到了周围物体的限制，不可能向下运动。

1.4.1 约束和约束反力的概念

1. 约束的概念

我们通常把在日常生活和工程中遇到的物体分为自由体和非自由体两大类，所谓自由体指的是在空间运动不受限制的物体，例如在空中飞行的火箭、飞机等；所谓非自由体指的是在空间某些方向的运动受到其他物体阻碍或阻止的物体，例如绳索悬挂的灯、支撑在墙上的阳台或屋架等。建筑物中的各个构件都不能自由运动，都属于非自由体，本书只研究非自由体。

在工程结构中，每一个构件都根据其工作要求的需要，以一定的方式和其他构件相连，受到其他构件的限制而不能自由运动，这样才能承受一定荷载的作用。例如：梁受到墙或柱子的限制才不至于掉落，门由于受到合页的限制只能绕固定的轴线转动等等。

限制一个物体运动的其他物体，就称为该物体的约束。例如，柱子就是梁的约束，基础就是柱子的约束，合页是门或窗的约束。

2. 约束反力与主动力

由于约束限制了被约束物体的运动，因此，约束必然对被约束物体有力的作用，这种限制物体运动或运动趋势的力称为**约束力**，通常称为**约束反力**，简称**反力**。约束反力的方向总是与被约束物体的运动或运动趋势方向相反。

使物体产生运动或运动趋势的力称为主动力，如物体的重力、风压力、土压力等。主动力在工程上称为**荷载**。一般情况下，物体总是同时受到主动力和约束反力的作用，主动力通常是已知的，而约束反力总是未知的，因此正确地分析约束反力是对物体进行受力分析的关键。

思政之窗

主动力作用在物体上，将使物体产生运动或运动趋势；物体同时受到约束反力的作用，该力阻碍物体的运动或运动趋势。正是基于主动力和约束反力的共同作用，宇宙间的物体才能维持动态平衡。

在日常生活中，许多人可能会对“约束”感到反感，认为约束限制了自由。然而，我们可以通过一个简单的力学现象来理解约束的重要性：假设一个物体仅受到一个主动力的作用，而没有其他约束，那么它将沿着力的方向无限加速，最终导致失控甚至破坏。同样地，如果一个人完全不受约束随心所欲，那么他的行为可能会对自身和他人造成危害。进一步设想，如果世界上几十亿人的行为都不受任何约束，每个人都为所欲为，那么社会将陷入混乱。

为了保障社会的正常秩序和人们的生产生活，我们制定了相应的法律法规和规章制度，它们确保了社会有序运行。

因此，同学们在学习力学和约束的相关知识时，不仅要理解约束的物理意义，还要深刻认识到法律法规和规章制度在社会生活中的重要作用。我们应当正确理解并自觉遵守这些规则，共同维护社会的和谐与稳定。

1.4.2 几种常见的平面约束类型简介



平面约束类型

1. 柔体约束

由绳索、链条、皮带等柔软物体构成的约束称为柔体约束。由于柔体只能受拉,不能受压,因此柔体约束的约束反力一定是通过接触点,沿着柔体的中心线背离受力物体的方向,且只能是拉力,用 F_T 表示,如图 1-28 所示。

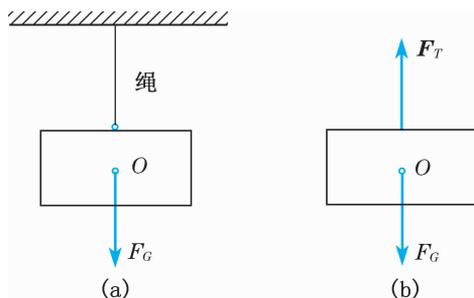


图 1-28

例如,我们教室里通过两根链条安装的日光灯,链条对日光灯的约束就属于柔体约束。

2. 光滑接触面约束

两个相互接触的物体,如果接触面上的摩擦力很小可以忽略不计,那么由这种接触面所构成的约束,称为光滑接触面约束。光滑接触面约束只能限制物体沿着接触面的公法线并指向接触面的运动,而不能限制物体沿着接触面的公切线或离开接触面的运动。所以,光滑接触面的约束反力必通过接触点,并沿着接触面的公法线方向指向被约束的物体,且只能是压力,用 F_N 表示,如图 1-29 所示。

例如,放在教室地面上的课桌,如果不考虑摩擦,则地面对课桌的约束就属于光滑接触面约束。

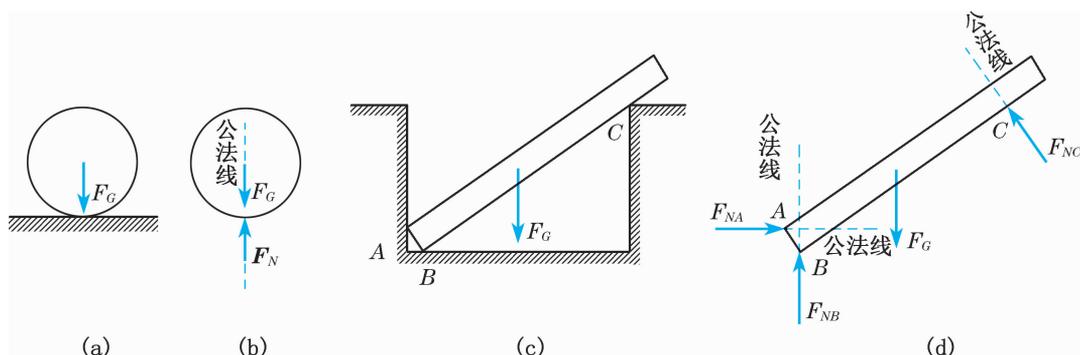


图 1-29

3. 光滑圆柱铰链约束

在日常生活和工程实际中常用销钉来连接构件或零件,如果忽略销钉与构件间的摩擦,则这种约束称为光滑圆柱铰链约束。如图 1-30(a)所示,光滑圆柱铰链约束由三部分组成,它是用一个圆柱体(例如销钉、铆钉等)将两个带有相同圆孔的构件连接在一起所构成,并且认为销钉和圆孔的表面是完全光滑的,这样的连接称为光滑圆柱铰链连接。如门窗上的合页、机器上的轴承等等都是这样的。还有人们常用的剪刀,就是由两个带有相同圆孔的构件用圆柱铆钉连接而成的,是典型的光滑圆柱铰链实例,如图 1-30(b)、(c)所示。这种约束只能限制物体在垂直于销钉轴线的平面内沿任意方向的相对移动,但是它不能限制物体绕销钉轴线做相对转动,其力学计算简图用图 1-31(a)或(b)来表示。故**光滑圆柱铰链的约束反力在垂直于圆柱体轴线的平面内,通过铰链中心,但方向待定**,可用一个大小和方向都未知的力 F 来表示,也可用相互垂直的两个分力 F_x 和 F_y 来表示,如图 1-31(c)、(d)所示。

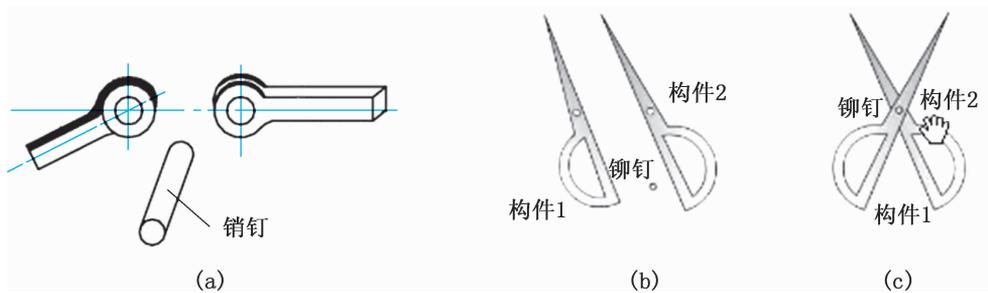


图 1-30

仔细分析研究光滑圆柱铰链约束的构造和工作机理就不难发现,光滑圆柱铰链约束实质上是接触点不确定的光滑接触面约束,即构件 1 与圆柱体之间、构件 2 与圆柱体之间的约束都是光滑接触面约束,圆柱体在构件 1 和构件 2 之间起到了传递力的作用。至于说光滑圆柱铰链约束的约束反力通过铰心,是因为光滑接触面约束的约束反力是通过接触点、沿接触面的公法线方向,而圆周上任意一点的法线一定通过圆心。

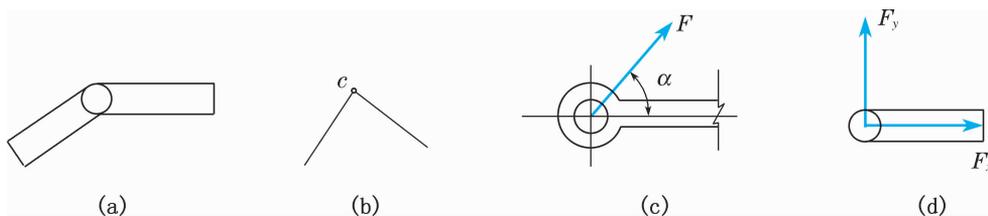


图 1-31

4. 链杆约束

两端分别用两个光滑圆柱铰链与其他两物体相连接而中间不受力的无重直杆称为链杆,常被用来作为拉杆或撑杆形成链杆约束,如图 1-32(a)所示。链杆约束是由两个光滑圆柱铰链组成的,其受力特征显示:链杆就是二力杆,其约束作用是只能限制物体沿着两铰

心连线方向趋向或离开链杆的运动。因此,链杆约束的约束反力沿着两铰心连线,指向待定,如图 1-32(b)中所示的 AB 杆,链杆的计算简图如图 1-32(c)所示。

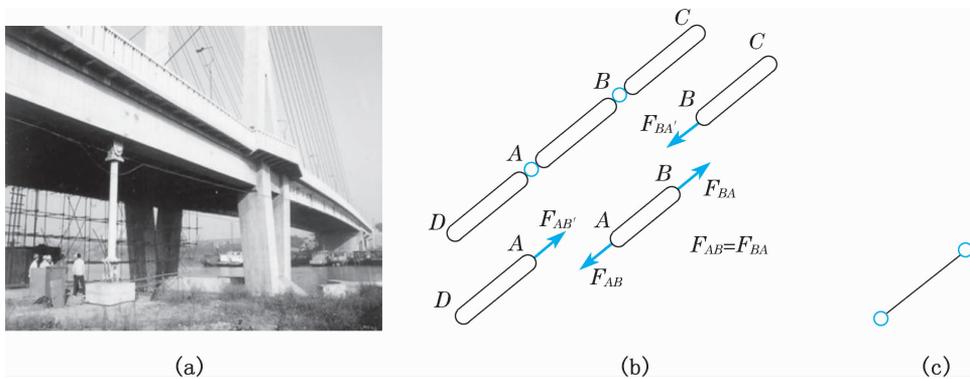


图 1-32

图 1-33(a)(b)所示的三角架中的杆件 AC 就是链杆约束的应用实例,杆件 AC 可能受到一对拉力,也可能受到一对压力作用,如图 1-33(c)所示。

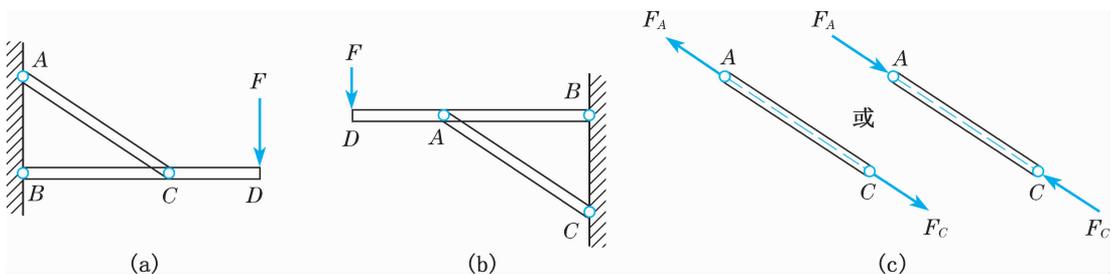


图 1-33

5. 固定铰支座

在日常生活和工程实际中,经常需要把物体与地基、基础或其他固定不动的物体连接在一起,力学中把这样的约束统称为**支座**。依据支座的构造和约束功能不同,通常把支座分为固定铰支座、可动铰支座、固定端支座和链杆支座等。

当光滑圆柱铰链所连接的两个物体中有一个为固定不动的物体时,我们称这样的约束为固定铰支座,固定铰支座实例如图 1-34(a)所示,固定铰支座的计算简图如图 1-34(b)~(e)所示。固定铰支座的约束特点与光滑圆柱铰链约束基本相同,固定铰支座只能限制物体在垂直于销钉轴线平面内沿任意方向的移动,而不能限制物体绕销钉轴线的转动。**固定铰支座的反力表示方法与光滑圆柱铰链约束的约束反力表示方法完全相同,通常用两个互相垂直的分力 F_x 、 F_y 来表示**,如图 1-34(f)所示。

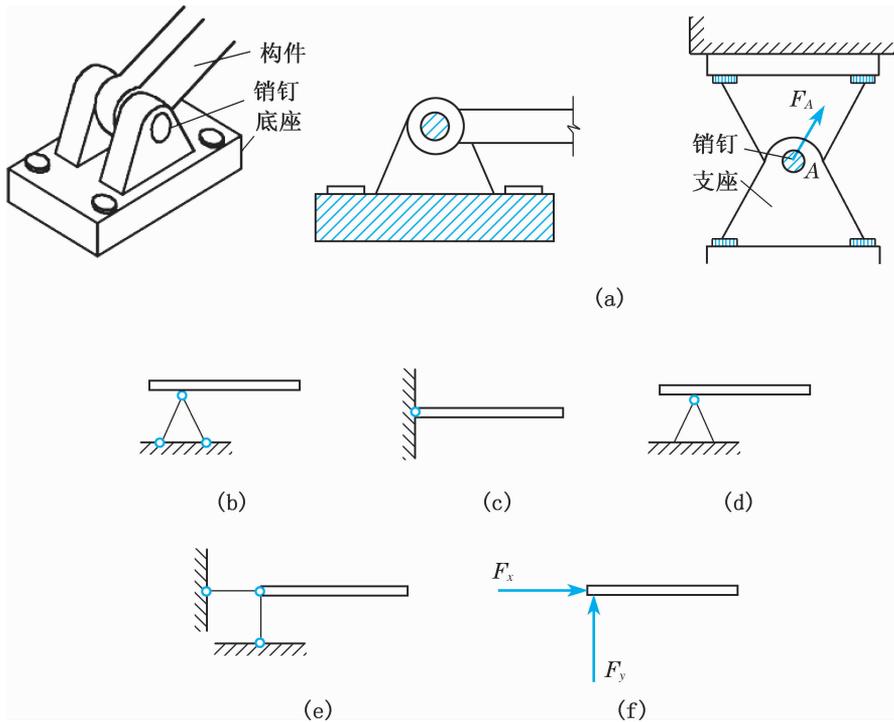


图 1-34

工程实例

工业厂房里的屋架,其端部支承在柱子上,屋架和柱子之间是通过预埋的钢板在现场进行焊缝连接,如图 1-35 所示。柱子为屋架的支座,屋架不可能产生上下、左右移动,但因焊缝不长,屋架可以产生微小的转动,力学及结构分析计算时通常将其简化为固定铰支座。

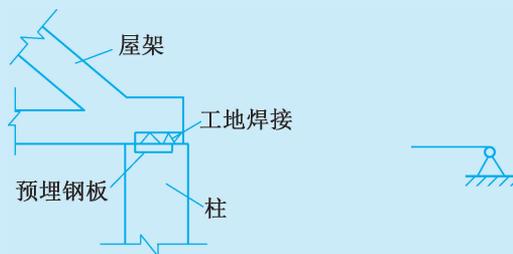


图 1-35

6. 可动铰支座

在固定铰支座的座体与支承面之间添加滚轴时所构成的约束称为可动铰支座,如图 1-36(a) 所示。可动铰支座的结构计算简图如图 1-36(b)、(c) 所示,可动铰支座既不约束物体绕销钉的转动,也不约束被约束物体沿着支承面切线方向的运动,它只能限制被约束物体沿着支承面法线方向的运动。因此,可动铰支座的约束反力垂直于支承面,通过铰链中心,指向待定。如图 1-36(d) 所示,图中约束反力的指向是假设的。

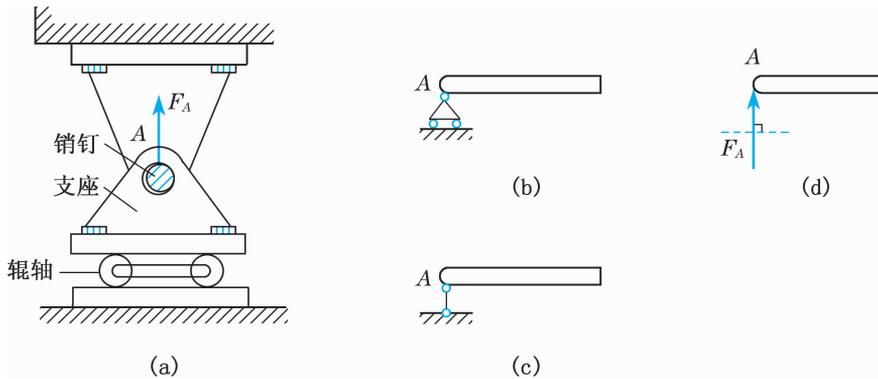


图 1-36

工程实例

砌体结构房屋中,常将横梁或预制板支承在砖墙上,如图 1-37 所示,砖墙是横梁和预制板的支座,砖墙只能限制梁和板沿垂直于支承面方向的上下移动,而不能限制梁板绕墙转动和沿支承面方向的水平移动。力学及结构分析计算时通常将其简化为可动铰支座。

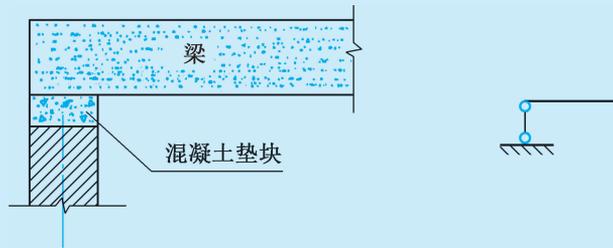


图 1-37

7. 固定端支座

把构件牢固地嵌在墙里或基础内,使被约束物体不能有任何的自由运动,这样的约束称为固定端约束,又叫**固定端支座**。例如,工程中嵌入基础中的钢筋混凝土柱,房屋建筑中的嵌入墙身用于支承外阳台、雨篷的钢筋混凝土挑梁的嵌入端等,它们都是固定端支座的典型例子,如图 1-38(a)所示。

固定端支座不允许构件在固定端处有任何方向的移动和转动,其结构计算简图如图 1-38(b)所示。因此,固定端支座的约束反力有三个:一个是限制构件转动的约束反力偶,一个是限制构件水平方向移动的约束反力 F_x ,还有一个限制构件垂直方向移动的约束反力 F_y ,其约束反力画法如图 1-38(c)所示,图中约束反力指向都是假设的。

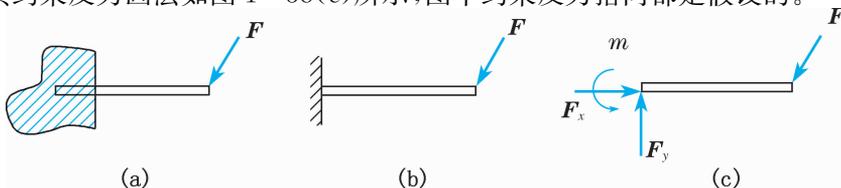


图 1-38

工程实例

房屋建筑中的钢筋混凝土柱,柱子的底端牢固地插入基础里,与基础固定在一起,如图 1-39(a)所示,基础对钢筋混凝土柱就构成了约束作用,使之既不能移动,也不能转动。力学及结构分析计算时通常将其简化为固定端支座,如图 1-39(b)所示。

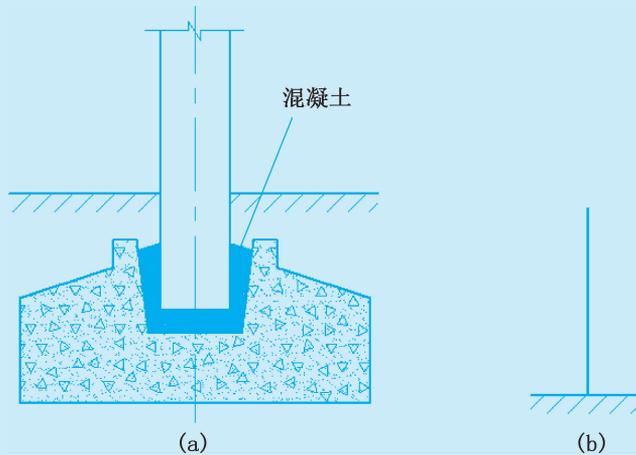


图 1-39

拓展视域

链杆支座

当链杆约束所连接的两个物体中有一个为固定不动的物体时,我们称这样的约束为**链杆支座**,其计算简图如图 1-40(a)所示。这种约束只能限制构件沿着链杆中心线趋向或离开链杆的运动,而不能限制其他方向的运动。所以,**链杆支座的约束反力沿着链杆两端两个铰心的连线,指向待定**。其约束反力画法如图 1-40(b)所示,图中的约束反力指向是假设的。



图 1-40

注意,一般情况下铰链约束的约束反力的方向是无法确定的,通常是用两个互相垂直的分力来表示;而链杆约束的约束反力的作用线是确定的,即沿着两铰中心的连线,但指向无法确定。因此,不能还用两个相互垂直的分力来表示。链杆是二力杆,所以在以后的受力分析中,一定要先确定结构中有无二力杆,假若有,则应该先对二力杆进行受力分析,然后再根据作用与反作用公理确定与其相关的约束反力。

课后思考与讨论

1. 力学中所说的约束的含义是什么? 什么是约束反力? 什么是主动力?
2. 常见的约束类型有哪些? 哪些约束的反力作用线和方向是确定的? 哪些约束的反

力只能确定其作用线?

3. 可动铰支座和链杆支座其结构计算简图画法相近,问它们的约束反力各有什么特点? 什么时候是相同的? 什么时候是不同的?

▶ 任务5 受力分析绘制受力图 ◀

案例引入

房屋建筑中的外阳台和雨篷呈悬挑形式,一端牢固地插入墙里,与墙固定在一起,如图1-41(a)所示,阳台要承受自身的重量及其上面人的重量,阳台并没有倒塌或倾覆,是什么原因呢? 试画出阳台挑梁的受力图。

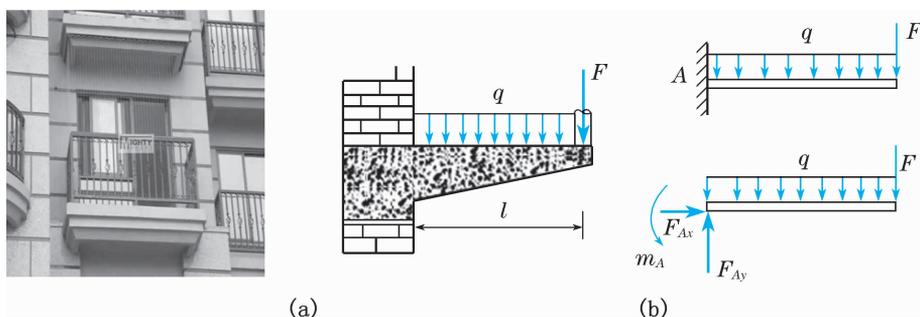


图 1-41

因为阳台挑梁一端嵌固在墙内,墙对挑梁构成了约束,能够对挑梁提供约束反力,与作用在挑梁上的荷载共同作用,使挑梁处于平衡状态。要研究挑梁的承载能力就必须对挑梁进行受力分析,正确地画出挑梁的结构计算简图及挑梁的受力图如图1-41(b)所示。

1.5.1 荷载的分类

工程上把主动作用于结构或构件上的外力称为荷载。荷载有多种形式,从不同的角度看荷载就会得出不同的分类结果。常见的荷载分类方式有:



荷载

1. 按荷载作用的范围分类

按荷载作用的范围大小情况通常把荷载分为**集中荷载**和**分布荷载**。

(1) **集中荷载**:荷载的作用范围远小于物体的几何尺寸时,可近似地看成荷载是集中作用在一点上,故称为集中荷载,通常用字母 F 表示,单位为牛顿(N)或千牛顿(kN)。例如面积较小的柱体传递到面积较大的基础上的压力,如图1-42(a)所示。

(2) **分布荷载**:当荷载的作用范围较大时,荷载的作用是连续的,不能近似简化为作用在某一点上,称为分布荷载。根据分布形式的不同又可以分为三类:

① 把连续作用在结构或构件狭长范围内的荷载称为线分布荷载,简称为线荷载,例如

梁的自重如图 1-42(b)所示,可以将其简化为沿梁的轴线分布的线荷载,以单位长度的力的大小来表示,线荷载的单位是 N/m 或 kN/m 。

② 把连续作用在结构或构件较大面积上的荷载称为面分布荷载,简称为面荷载,例如屋面雪荷载如图 1-42(c)、风荷载等,以每平方米面积上的力的大小来表示,面荷载的单位是 N/m^2 或 kN/m^2 。

③ 把连续作用在整个物体的体积上的荷载称为体分布荷载,简称为体荷载,例如物体的重力等,以每立方米体积内的力的大小来表示,单位为 N/m^3 或 kN/m^3 。

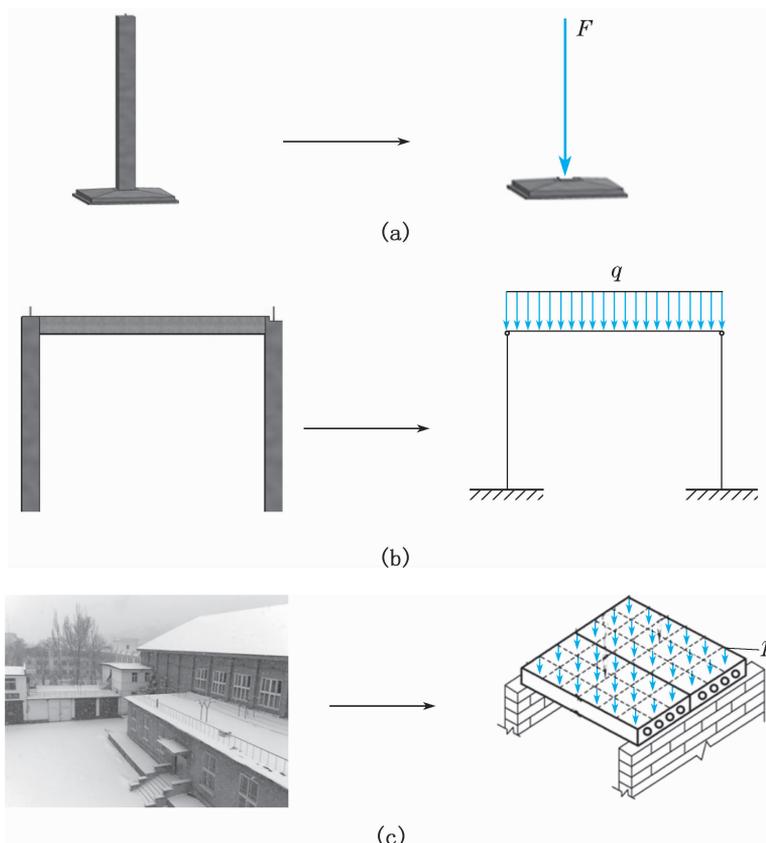


图 1-42

2. 按荷载作用的时间分类

《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)将结构上的荷载按随时间的变异分为永久荷载、可变荷载、偶然荷载三类。

(1) 永久荷载

在结构使用期间,其量值不随时间变化,或其变化与平均值相比可以忽略不计,或其变化是单调的并能趋于限值的荷载称为永久荷载,包括结构自重、土压力、水压力、预应力等。永久荷载又称为恒荷载,简称恒载。

(2) 可变荷载

在结构使用期间,其量值随时间变化,且其变化与平均值相比不可忽略不计的荷载称为可变荷载,包括楼面活荷载(例如人群)、雪荷载、风荷载、吊车荷载、温度作用等。可变荷载

又称为活荷载,简称活载。

(3) 偶然荷载

在结构使用年限内不一定出现,而一旦出现其量值很大,且持续时间很短的荷载称为偶然荷载,包括爆炸力、撞击力等。

3. 按荷载作用的性质分类

按荷载作用的性质通常把荷载分为静荷载和动荷载。

(1) **静力荷载**:由零逐渐增加到最后值的荷载。静力荷载又叫静荷载,简称静载。其作用的基本特点是:在荷载施加过程中,不会引起显著的结构振动,结构上各点产生的加速度不明显,荷载达到最后值以后,结构处于静止平衡状态。例如结构的自重就是典型的静载。

(2) **动力荷载**:大小或方向随时间而改变的荷载。其作用的基本特点是:在荷载施加过程中,会引起显著的结构振动,结构上各点产生明显的加速度,结构的内力和变形都随时间而发生变化。例如机械运转时产生的荷载、地震作用、爆炸引起的冲击波等都是动力荷载。

4. 按荷载作用的位置分类

按作用的位置变化情况通常把荷载分为固定荷载和移动荷载。

(1) **固定荷载**:在结构上作用位置不变的荷载。如结构的自重等。

(2) **移动荷载**:在结构上作用位置可以连续变化的荷载。如行驶的汽车、火车等。

以上是从四种不同角度对荷载进行的分类,但它们之间不是孤立无关的。以构件的自重为例,它既可以简化为集中荷载又可以简化为分布荷载,构件自重它既属于永久荷载,又属于静力荷载,也还属于固定荷载;再看风荷载,很显然它属于可变荷载,在结构的计算简图中常常把它简化为线分布荷载,当结构为高耸结构时还要考虑其动力特性,即为动力荷载。

1.5.2 结构的计算简图

实际结构的组成、受力和变形情况往往很复杂,影响力学分析计算的因素也很多,在进行结构的设计计算时,若完全按照结构的实际情况进行分析计算,会使问题变得极其复杂,甚至是不可能的,也是不必要的。因此,在对实际工程结构进行力学分析和计算时,必须先对实际结构及其受力情况进行分析并加以简化,略去一些次要因素,抓住结构的主要特征,用一个简化了的结构模型来代替实际结构,这种力学模型称为**结构的力学计算简图**,简称**计算简图**。

1. 选取结构计算简图的简化原则

结构的计算简图是对结构进行力学分析和计算的依据。结构计算简图的选择,直接影响计算的工作量和精确度。如果结构的计算简图不能反映结构的实际情况,或选择错误,就会使计算结果产生差错,甚至造成工程事故。因此,合理选择结构的计算简图是一项十分重要的基础工作,必须缜密地选择结构的计算简图。

对实际结构进行简化时,必须遵循如下两个原则:(1) **从实际出发,反映结构实质**;(2) **分清主次,便于进行力学计算**。

1-7



结构的力学
计算简图

应当指出的是,一个结构的结构计算简图不是唯一的,结构计算简图的选择应该在上述原则指导下,根据具体情况来选择恰当的计算简图。选取结构计算简图的细则有:① 对重要的结构应采用比较精确的结构计算简图,以提高计算的可靠性,对非重要结构可以使用较为简单的结构计算简图;② 在初步设计阶段可使用较粗略的结构计算简图,在技术设计阶段再使用比较精确的结构计算简图;③ 通常对于结构的静力计算,可以使用比较复杂的结构计算简图,对结构作动力计算或稳定性计算时,可以采用比较简单的结构计算简图;④ 使用的计算工具越先进,采用的结构计算简图就可以越精确。

总之,合理的结构计算简图,是既要略去次要因素,又要尽可能地反映结构的主要特征;既要使分析计算工作简化,又要使计算结构具有足够的精确性和可靠度。

2. 选取结构计算简图的简化内容

在从实际结构到结构计算简图的简化过程中,需要做很多工作,其简化内容主要包括结构体系的简化、构件的简化、结点的简化、支座的简化和荷载的简化。

(1) 结构体系的简化

工程实际中的大多数结构都是空间结构,各个构件相互连接在一起成为一个空间整体,以便于抵抗各个方向可能出现的荷载。为了使研究计算方便,通常要设法把一个空间结构分解为若干个平面结构来研究,这种简化称为结构体系的平面简化。

(2) 构件的简化

构件的截面尺寸(宽度、高度)通常比其长度尺寸小得多,在计算截面内力时,其实与截面形状及尺寸并无关系,既然如此,在结构计算简图中将构件用其轴线来代替,并把构件统称为杆件。结构中杆件之间相互连接的地方称为结点,杆件长度用结点间的距离来表示。

(3) 结点的简化

实际结构中,杆件与杆件之间的连接方式有很多种,在结构的计算简图中通常把杆件之间的连接方式分为铰链连接和刚性连接两种类型。所谓**铰链连接**是指两个或两个以上钻有同样大小圆孔的杆件,用一个圆柱体(销钉或铆钉或螺栓等)插入圆孔中将这各杆件连接起来,连接后各个杆件可以绕圆孔中心自由转动;所谓**刚性连接**是指两个或两个以上的杆件连接在一起后既不能发生相对移动又不能发生相对转动的连接方式。

结构中两个或两个以上杆件之间的连接处称为结点,在结构的计算简图中通常把结点分为铰结点、刚结点和混合结点三种类型。

① 铰结点

铰结点是指连接在一起的所有杆件之间全部采用铰链连接的地方。铰结点处各杆间的夹角在外力的作用下可以发生改变,在各杆的铰结点处不产生弯矩,如图 1-43 所示。



图 1-43

② 刚结点

刚结点是指连接在一起的所有杆件之间全部采用刚性连接的地方。刚结点的刚意味着构件连接处具有刚性,在外力的作用下刚结点处各杆间的夹角保持不变,在结构变形时同一刚结点处的各杆旋转相同的角度,如图 1-44 所示。

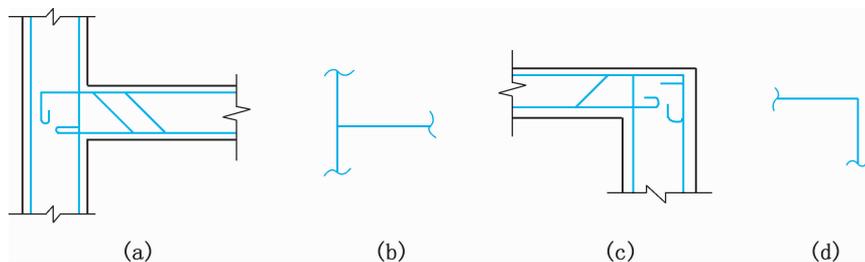


图 1-44

③ 混合结点

混合结点是指在一个结点处所连接的各杆中,有些杆件之间为刚性连接,有些杆件之间为铰链连接,图 1-50 中的结点 A、B 就是混合结点。

(4) 支座的简化

支座是将结构与地基基础或其他固定不动物体相连接的装置。其作用是将结构固定,并将结构受到的荷载传递给支撑结构的物体上。支座对结构的反作用力称为支座反力。平面杆系结构的结构计算简图中常见的支座主要有以下三种:① 可动铰支座:这种支座只限制被约束物体沿垂直支承面方向的位移,而不限制物体的其他运动;② 固定铰支座:这种支座只限制被约束物体铰心处的移动,而不限制被约束物体绕铰心的转动;③ 固定端支座:这种支座不允许约束处有任何的运动,即不能有任何的移动和转动。有关支座方面的详细内容前面已经介绍过。

(5) 荷载的简化

在工程实际中,荷载的作用方式是多种多样的,前面已经介绍过。在结构计算简图中通常把荷载简化为集中荷载、线分布荷载和集中力偶三种作用方式。也就是说,在我们今后的力学计算中,我们遇到的力将有三副面孔,分别是集中力、线分布力和力偶,所以一定要掌握这三种形式的力的相关计算。

3. 结构计算简图的选取举例

一根钢筋混凝土梁搁置在砌筑好的砖墙上,已知砖墙厚度为 a 、梁的净跨为 l_0 、梁在砖墙上的支撑长度为 a ,如图 1-45(a)所示,如何建立这根钢筋混凝土梁的力学计算简图呢?

分析:这虽然是一个很简单的建筑结构,但是要想严格按照结构的实际情况进行计算,那也是办不到的。因为砖墙对梁两端的约束反力沿墙宽的分布情况非常复杂,无法确定,因而就难以进一步计算梁的内力。为了选择一个比较符合实际的结构计算简图,就必须先分析梁受力之后的位移及变形情况。梁受力作用之后的位移及变形有三个特点:① 整个梁在水平方向上不可能发生整体移动;② 搁置在砖墙上的梁的两端在竖直方向上不可能有上下移动,但是在梁发生弯曲变形时梁的两端会发生转动;③ 当梁受到温度变化(热胀冷缩)影

响时可以在水平方向自由伸缩。

根据以上梁的位移及变形特点,可以对梁及其支撑做如下简化:

- ① 用梁轴线代替梁,把梁上承受的荷载简化为均布荷载,让荷载直接作用在梁的轴线上;
- ② 把梁左端的支撑简化为固定铰支座,作用在梁下砖墙宽度的中点;
- ③ 把梁右端的支撑简化为可动铰支座,作用在梁下砖墙宽度的中点。

于是,就得到了梁的结构计算简图如图 1-45(b)所示。

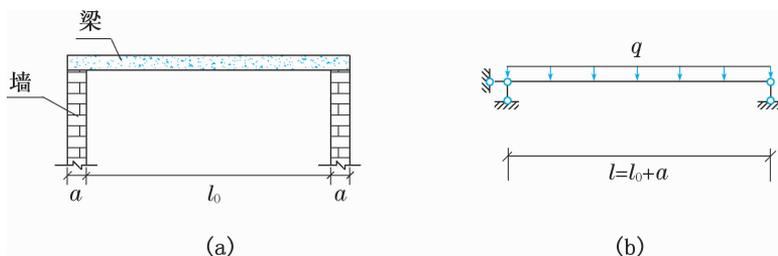


图 1-45

特别提示: 建立结构的力学计算简图,实际上就是建立结构的力学分析模型,不仅需要必要的力学基础知识,而且需要具备一定的工程结构知识;不仅要掌握选取的原则,而且要有较多的实践经验。

1.5.3 平面杆系结构简介

在建筑物中承受荷载、传递荷载起骨架作用的构件或由其组成的整体称为建筑结构,简称结构。结构按照其组成元件的几何特征通常分为三大类:杆系结构、板壳结构和块体结构。

杆件的几何特点是一个方向的尺寸远大于另外两个方向的尺寸。由杆件组成的结构称为杆系结构。当组成结构的各杆轴线都在同一平面内,且荷载也作用于该平面内时,这样的结构称为平面杆系结构。

本书主要研究的是平面杆系结构。平面杆系结构分类方式很多,在土木工程力学中通常根据其受力特点和变形特征把平面杆系结构分为五种类型,分别是梁、拱、平面刚架、平面桁架、平面组合结构。

1. 梁

在荷载作用下以弯曲变形为主要变形的非竖直杆件称为梁,如图 1-46 所示。梁在两座之间的部分称为跨,两支座之间的距离称为跨度。

梁的分类方式很多,力学中梁的分类情况主要有:根据跨数通常把梁分为单跨梁和多跨梁;根据梁轴线的曲直把梁分为曲梁、折梁和直梁;根据梁轴线的方位把梁分为水平梁和斜梁;根据计算方法把梁分为静定梁和超静定梁;根据梁结构中杆件数量把梁分为连续梁和组合梁。

1-8



平面杆系结构

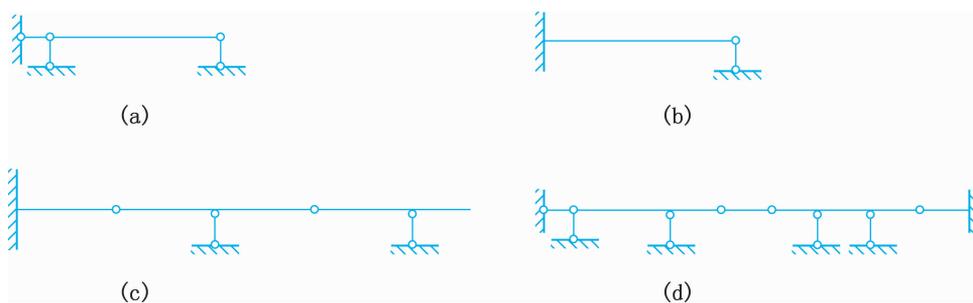


图 1-46

2. 拱

拱结构的轴线为曲线,在竖向荷载作用下,会产生水平支座反力(推力),如图 1-47 所示。

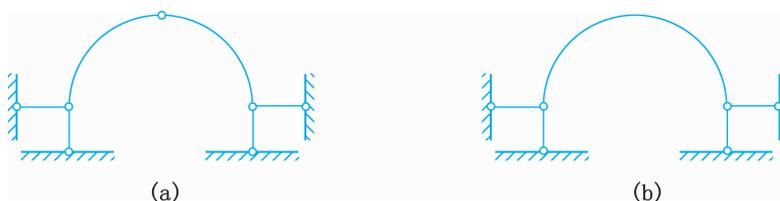


图 1-47

3. 平面刚架

平面刚架是由梁、柱等共面直杆组成的具有刚结点或刚性连接的平面杆系结构,如图 1-48 所示。刚架中杆件的内力有弯矩、剪力和轴力,以弯矩为主。

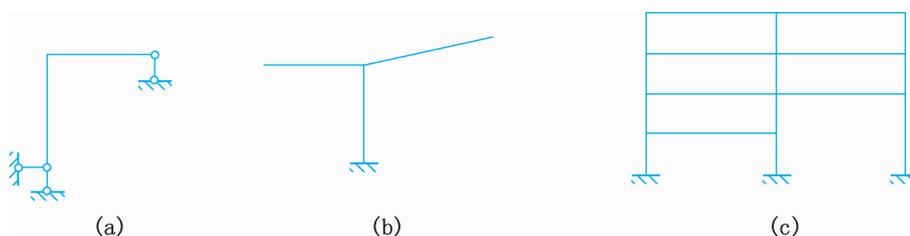


图 1-48

4. 平面桁架

杆件均为直杆,且各杆连接点均为铰结点的平面杆系结构称为平面桁架,如图 1-49 所示。

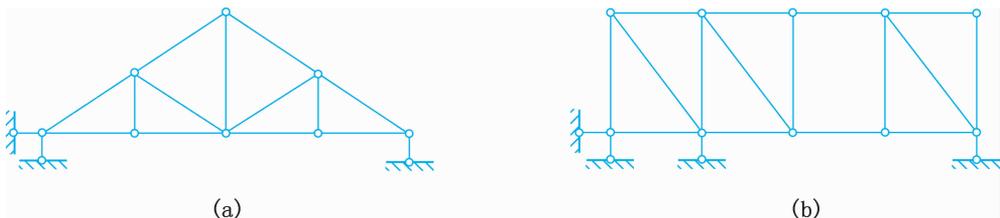


图 1-49

5. 平面组合结构

平面组合结构是由以上梁式杆(梁)和链杆(桁架杆)组成的平面杆系结构,平面组合结构内部一定包含有混合结点,如图 1-50 所示。

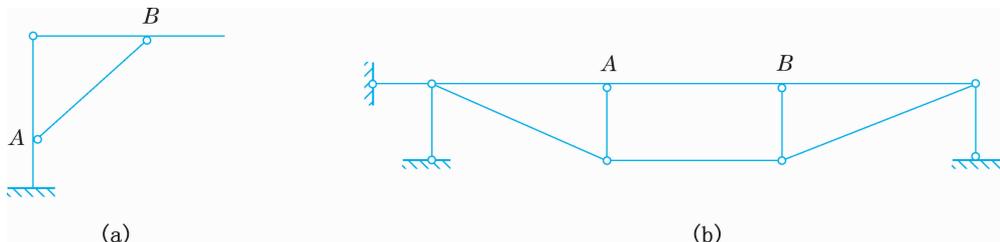


图 1-50

1.5.4 受力分析绘制受力图

1-9



单个物体的受力分析

1. 单个物体的受力分析

(1) 受力分析中的几个基本概念

在解决力学问题时,首先需要确定物体系统或者系统中的某个物体都受到哪些力的作用,以及每个力的作用位置和方向,然后再用图的形式形象、直观、正确地表达出物体的受力情况。前者称为**受力分析**,后者叫作**画受力图**。正确地受力分析是画受力图的关键,也是进行力学计算的依据。

对于非自由体,其上所承受的力分为两大类:一类是主动力,另一类是约束反力。主动力一般情况下都是已知的,约束反力的大小都是未知的,方向有的已知有的未知。

在工程实际中,一般都是几个构件或杆件相互联系在一起。因此,需要首先明确对哪一个物体进行受力分析,即明确研究对象。为了准确地反映物体的受力情况,必须把需要研究的物体(即受力体,又叫研究对象)从与它相联系的周围物体(即施力体)中分离出来,单独画出它的简图,这个被分离出来的研究对象称为**脱离体**,这个过程称为选取研究对象或取隔离体。在隔离体上画出周围物体对它的全部作用力包括主动力和约束反力,所得到的图形,称为**物体的受力图**。

(2) 绘制受力图的步骤

绘制受力图的基本步骤是:

第一步:选取研究对象(又叫取隔离体)。即将所研究的物体在解除约束后从物体系统中分离出来,单独画出这个物体的结构简图或轮廓图。

第二步:画主动力。画出作用于研究对象上的全部主动力,通常主动力是已知的。

第三步:画约束反力。根据相应的约束类型画出作用于研究对象上的全部约束反力。

(3) 绘制物体受力图时的注意事项

① 不要漏画力

必须清楚所选取的研究对象(受力物体)与周围哪些物体(施力物体)有接触,在接触点处均可能有约束反力。

② 不要多画力

在画受力图时,一定要分清施力物体与受力物体,切不可将研究对象施加给其他物体的力画在该研究对象的受力图上。

当研究对象包含两个或两个以上物体时,注意其受力图上只画外力不画内力。

③ 不要画错力的方向

已知力必须按给出的已知情况去画,切不可随意改动。约束反力的方向必须严格按照约束的性质确定,不能凭主观感觉猜测。在两物体相互连接处,注意两物体之间作用力与反作用力的等值、反向、共线关系。

特别提示:通常约束反力的大小和方向都是未知的,为了保证我们所画出的约束反力的正确性,画约束反力时要经过三问:一问何处有约束?二问该处属于何种约束类型?三问这种约束的约束反力如何画?

单个物体的受力分析比较简单,所以画其受力图时,按以上所说的基本步骤操作即可。下面举例说明单个物体的受力图画法。

例 1-2 重量为 F_G 的小球置于光滑的斜面上,并用绳索拉住,如图 1-51(a)所示,试画出小球的受力图。

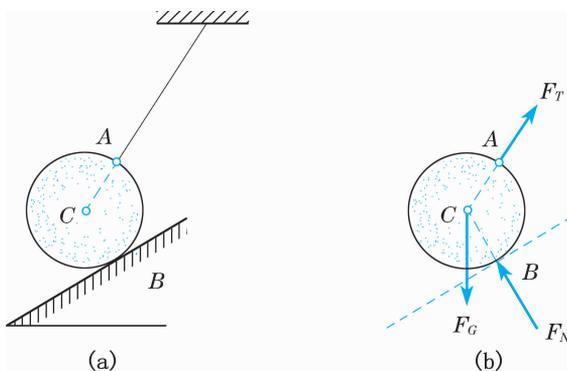


图 1-51

解 (1) 取小球为研究对象,将其单独画出。

(2) 作用在小球上的主动力是已知的重力 F_G ,作用于球心 C 处,铅垂向下。

(3) 根据约束性质画约束反力。斜面对小球构成了光滑接触面约束,它对球的约束反力 F_N ,通过接触点 B ,沿着公法线并指向球心;绳索对小球构成了柔体约束,它的约束反力 F_T ,通过接触点 A ,沿着绳的中心线且背离球心。画出小球的受力图如图 1-51(b)所示。

例 1-3 简支梁 AB 如图 1-52(a) 所示, 梁的自重不计, 试画出梁 AB 的受力图。

解 (1) 取隔离体: 选取梁为研究对象, 画出梁的轮廓图, 如图 1-52(b) 所示;

(2) 画主动力: 梁受到的主动力只有已知力 F , 在 C 点画上力 F , 如图 1-52(b) 所示;

(3) 画约束反力: 梁的 A 端为固定铰支座, 其约束反力方向未知, 用两个互相垂直的分力来表示; B 端为可动铰支座, 其约束反力垂直于支撑面、指向假设。画出梁 AB 的受力图, 如图 1-52(b) 所示。

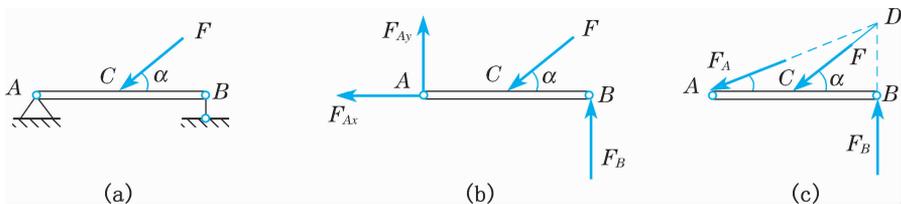


图 1-52

此题还有另一种画法。因为梁 AB 是在三个力的作用下处于平衡状态, 所以可以利用前面所学的三力平衡汇交定理画出其受力图。主动力 F 的方向和可动铰支座的约束反力的方位是确定的, 两者的作用线延长汇交于点 D , 那么固定铰支座 A 处的约束反力的作用线一定通过 D 点。这样可画出梁的受力图, 如图 1-52(c) 所示。

例 1-4 水平梁 AB 在自由端 B 处受已知集中力 F 作用, A 端为固定端支座, 如图 1-53(a) 所示。梁的自重不计, 试画出梁 AB 的受力图。

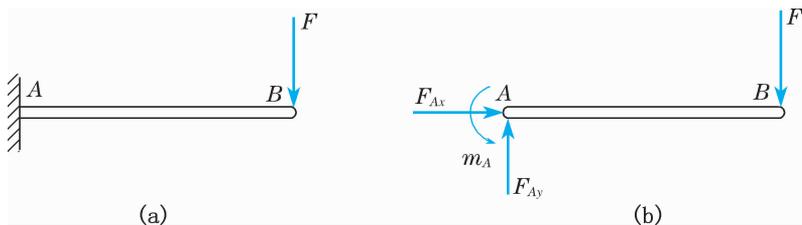


图 1-53

解 (1) 取隔离体: 取梁 AB 为研究对象, 将其单独画出。

(2) 画主动力: 梁在 B 点受到主动力 F 的作用。

(3) 画约束反力: A 端是固定端支座, 其约束反力用两个互相垂直的分力 F_{Ax} 、 F_{Ay} 以及力偶矩为 m_A 的反力偶来表示; 梁 AB 的受力图, 如图 1-53(b) 所示。

例 1-5 某房屋中的梁 AB 承受楼板传来的荷载作用, 梁的两端支承在墙内, 其构造及尺寸如图 1-54(a) 所示。通过对构件的简化得到该梁的力学计算简图, 如图 1-54(b) 所示, 梁自重忽略不计, 请画出梁 AB 的受力图。

解 (1) 取隔离体: 选取梁 AB 为研究对象, 将其单独画出。

(2) 画主动力: 梁 AB 上受到的主动力有分布集度为 q 的线均布荷载。

(3) 画约束反力: A 端是固定铰支座, 其约束反力用两个互相垂直的分力 F_{Ax} 、 F_{Ay} 来表示, B 端是可动铰支座, 其约束反力用通过铰心、垂直于支撑面的反力 F_B 来表示。

梁 AB 的受力图, 如图 1-54(c) 所示。

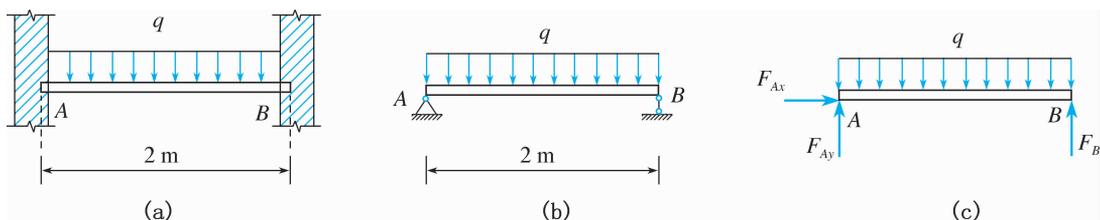


图 1-54

2. 物体系统的受力分析

(1) 物体系统的概念

由两个或两个以上的物体通过一定的约束连接在一起所组成的组合体称为物体系统,简称物系。

物体系统受力图的画法与单个物体受力图的画法基本相同。分析物体系统受力情况的过程称为物体系统的受力分析。两者的区别在于画物体系统受力图时所选取的研究对象,可以是物系中的某一个物体,也可以是物系中两个或两个以上的物体组成的联合体乃至物系整体。

(2) 内力与外力

在对物体系统进行受力分析时,根据力的来源通常把力分为内力和外力两种,所谓内力是指研究对象之内各物体之间的相互作用力,所谓外力是指研究对象之外的其他物体对研究对象之内各物体的作用力,也就是说内力来自研究对象之内,外力来自研究对象之外。必须指出,内力和外力的区分不是绝对的,它们在一定的条件下是可以相互转化的。

(3) 绘制物体系统受力图时的注意事项

绘制物体系统受力图的步骤与绘制单个物体受力图的步骤相同,绘制物体系统受力图时必须注意:① 若物体系统中有二力杆时,则应首先画出二力杆的受力图,我们称之为二力杆优先;② 物体系统内物体间的作用力和反作用力,必须遵循作用与反作用公理;③ 在受力图上只画研究对象所受的外力,不画内力;④ 同一个约束反力在不同的受力图上必须保持前后一致,不能自相矛盾。

例 1-6 图 1-55(a)所示为两跨静定梁,梁 AC 和 CD 用铰链 C 连接,并支承在三个支座上,A 处为固定铰支座,B 和 D 处为可动铰支座,受已知力 F 的作用。不计梁的自重,试画出梁 CD、AC 及整梁 AD 的受力图。

解 (1) 先取梁 CD 为研究对象:在 E 点画出主动力 F,D 处为可动铰支座,其约束反力可用通过铰链中心且垂直于支承面的力 F_D 表示,指向假设向上;C 处为圆柱铰链约束,其约束反力可用通过铰链中心 C 并相互垂直的分力 F_{Cx} 和 F_{Cy} 表示,指向假设,如图 1-55(b) 所示。

(2) 取梁 AC 为研究对象:先在 C 点按作用力与反作用力关系画出相互垂直的分力 F'_{Cx} 和 F'_{Cy} ;A 点为固定铰支座,其反力用 F_{Ax} 和 F_{Ay} 表示;B 点为可动铰支座,其反力用 F_B 表示。梁 AC 的受力图,如图 1-55(c) 所示。

1-10



物体系统
的受力分析

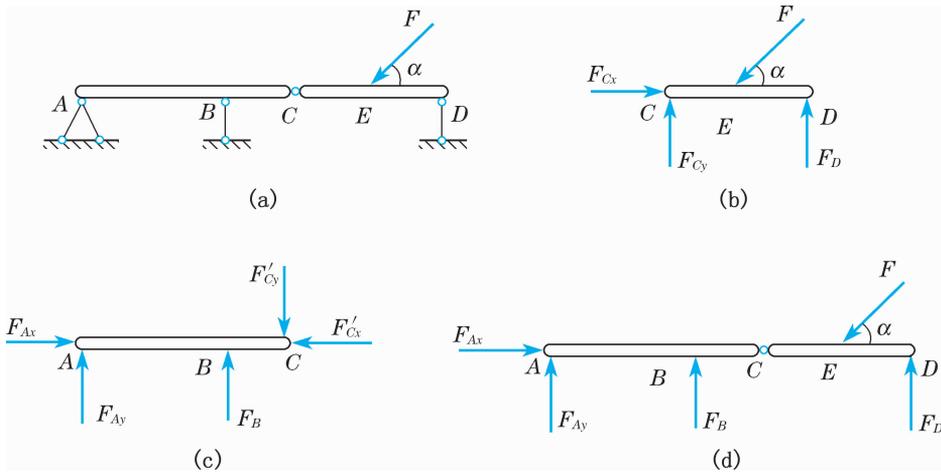


图 1-55

(3) 取整梁 AD 为研究对象:作用在整梁上的力有主动力 F , A 点固定铰支座的约束反力为 F_{Ax} 和 F_{Ay} , B 、 D 点可动铰支座的约束反力为 F_B 、 F_D 。此时 C 点的约束反力作为物体系统内部的相互作用力,故在整梁上不必画出。梁 AD 的受力图,如图 1-55(d)所示。

例 1-7 简易支架如图 1-56(a)所示,图中 A 、 B 、 C 三点均为铰链连接, D 、 E 两点作用有集中力 F_1 、 F_2 。不计杆件自重,试画出斜杆 BC 、横杆 AC 的受力图。

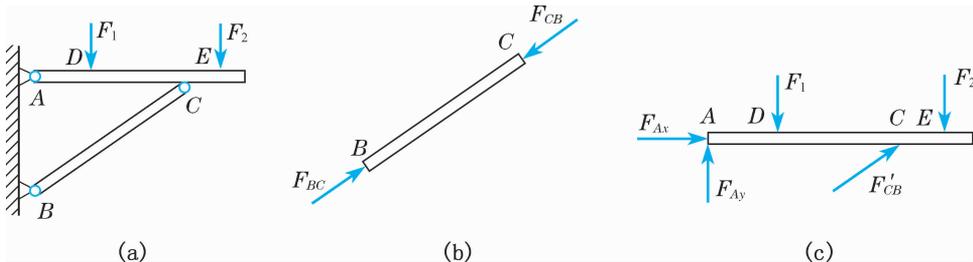


图 1-56

解 (1) 选取 BC 杆为研究对象: BC 杆为二力杆,受到 F_{BC} 和 F_{CB} 两个力的作用,显然 $F_{BC} = F_{CB}$,如图 1-56(b)所示。

(2) 选取 AC 杆为研究对象:画出主动力 F_1 、 F_2 , A 处为固定铰支座,画出其约束反力 F_{Ax} 和 F_{Ay} ;根据作用力和反作用力的关系可确定 C 处反力 F'_{CB} ($F_{CB} = F'_{CB}$),如图 1-56(c)所示。

例 1-8 如图 1-57(a)所示的三铰拱桥,由左、右两个半拱铰接而成。设拱自重不计,在 AC 半拱上作用有集中力 F ,试分别画出 AC 、 CB 两个半拱以及三铰拱桥整体的受力图。

解 (1) 右半拱:因三铰拱桥中的右半拱 CB 是二力杆,其力作用线的位置是确定的,故 C 、 B 两处的约束反力沿 CB 的连线,且等值、反向。画出右半拱受力图,如图 1-57(b)所示。

(2) 左半拱:选取左半拱 CA 为研究对象,左半拱受的力有主动力 F 、拱在铰链 C 处受到的约束反力 F'_C 与 F_C 是互为作用力反作用力,在 A 处受到固定铰支座的约束,其约束反力方向未知,可用两个互相垂直的分力 F_{Ax} 和 F_{Ay} 来表示。画出左半拱 AC 的受力图,如图 1-57(c)所示。

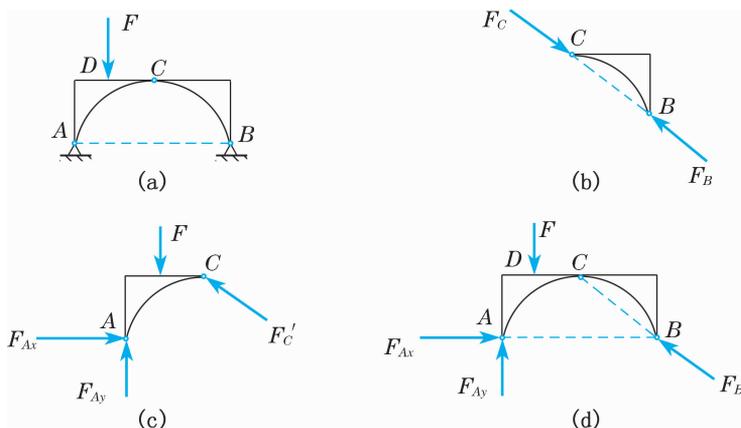


图 1-57

(3) 整体:选取整体为研究对象,它受到的主动力只有已知力 F ,拱的 A 处为固定铰支座,用两个互相垂直的分力来表示; B 处的约束反力与右半拱的 B 处属于同一个力,因 F_C 与 F'_C 是一对作用力和反作用力,属于系统内力,不画。画出整体受力图,如图 1-57(d)所示。

例 1-9 人字梯如图 1-58(a)所示。梯子的两部分 AB 和 AC 在 A 处铰接,又在 D 、 E 两点用水平绳连接。梯子放在光滑的水平面上,梯子自重忽略不计,在 AB 上的 H 点站一人,其自重为 F 。试分别画出梯子的 AB 、 AC 部分以及整个物体系统的受力图。

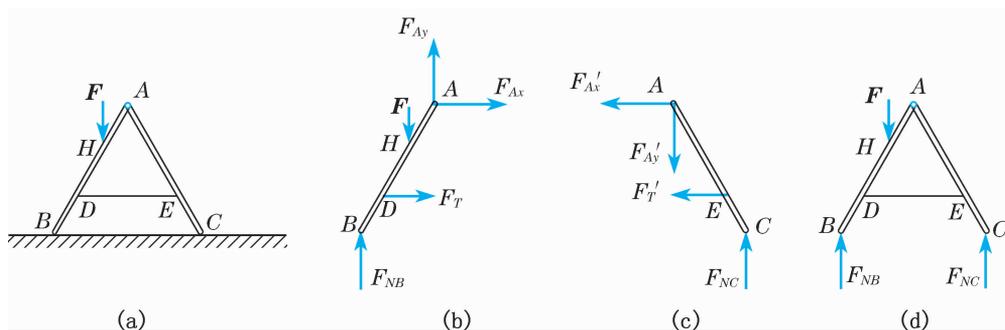


图 1-58

解 (1) 画梯子 AB 部分的受力图:取 AB 杆为研究对象,其上受有主动力 F 作用, A 处为铰链约束,约束反力为 F_{Ax} 、 F_{Ay} ;在 D 处是绳子对它的柔体约束,其约束反力为 F_T ;在 B 处是地面对它的光滑接触面约束,其约束反力为 F_{NB} 。画出梯子 AB 部分的受力图,如图 1-58(b)所示。

(2) 画梯子 AC 部分的受力图:取 AC 杆为研究对象, A 处为铰链约束,约束反力为 F'_{Ax} 、 F'_{Ay} ,其与 F_{Ax} 、 F_{Ay} 互为作用力反作用力;在 E 处是绳子对它的柔体约束,其约束反力为 F'_T ;在 C 处是地面对它的光滑接触面约束,其约束反力为 F_{NC} 。画出梯子 AC 部分的受力图,如图 1-58(c)所示。

(3) 画人字梯整体的受力图:取整体为研究对象,约束反力 F_{Ax} 与 F'_{Ax} 、 F_{Ay} 与 F'_{Ay} 、 F_T 与 F'_T 都属于系统的内力。画出梯子整体的受力图,如图 1-58(d)所示。

拓展视域

荷载的传递路径

建筑结构的主要功能之一就是能够承受并传递荷载。而一个建筑结构通常是由很多建筑构件联系在一起组合而成的,因此,研究作用在结构上的荷载的传递路径是很有必要的。

在相互连接的构件之间,一个构件的约束反力正是另一个构件的荷载。这是我们理解荷载传递路径的关键,也是我们顺藤摸瓜计算未知约束反力的重要思路。

某建筑结构简图如图 1-59(a)所示,假设物体的自重为 F_{G1} ,楼板的自重为 F_{G2} ,梁的自重为 F_{G3} ,柱的自重为 F_{G4} ,基础的自重为 F_{G5} ,我们以这个简单建筑结构为例来说明竖向荷载的传递路径。

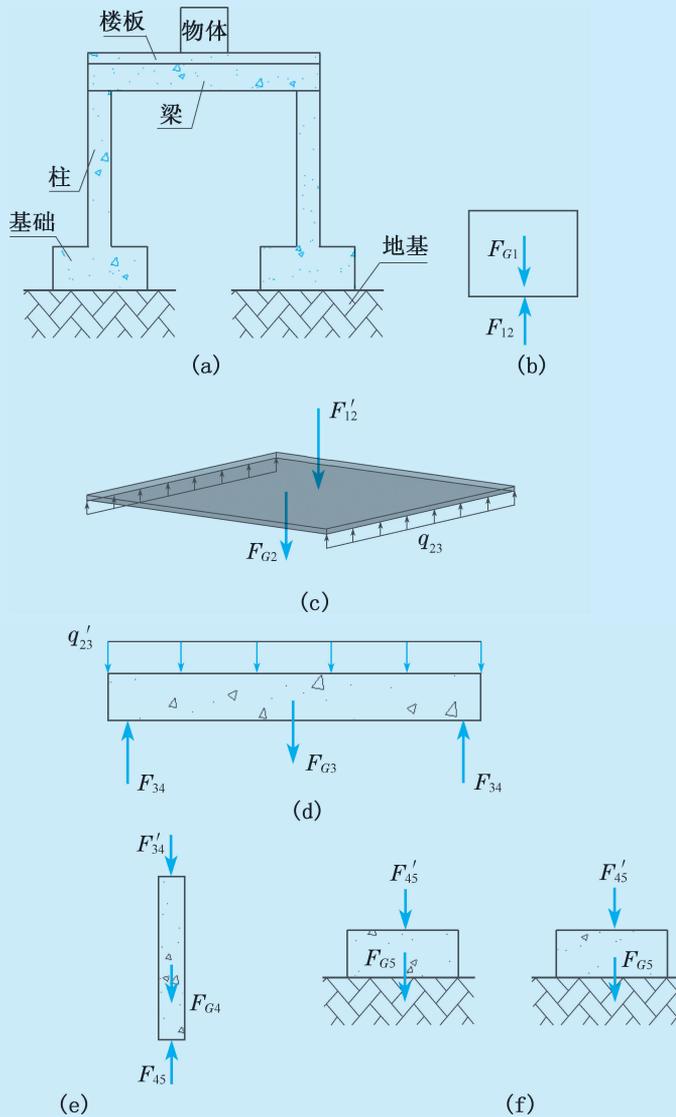


图 1-59

这个结构的组成情况是:重物放在板上、板搁置在梁上、梁搁置在柱子上、柱子搁置在基础上、基础在地基之上。把结构拆分开,对每个构件进行受力分析,画出每个构件的受力图如图 1-59(b)(c)(d)(e)(f)所示,实际上也是这个结构的荷载传递示意图。由图可知,这个结构的竖向荷载的传递路径是:重物把自己的自重作为荷载施加在板上,板把重物的自重连同板自身的自重作为荷载施加在支撑它的梁上,梁把上面传递下来的荷载连同自身自重作为荷载施加在支撑它的柱子上,柱子把上面传递下来的荷载连同自身的自重作为荷载施加在支撑它的基础上,最后,基础把上面传递下来的荷载连同自身的自重作为荷载传递给地基。即重物→板→梁→柱→基础→地基。

课后思考与讨论

1. 画受力图的一般步骤是什么?
2. 画受力图时应该注意什么问题?
3. 物体系统受力分析时的注意事项有哪些?
4. 什么是结构的计算简图?其简化原则是什么?
5. 根据结构的计算简图分类,常见的平面杆系结构有哪几类?

思政之窗

新中国力学家

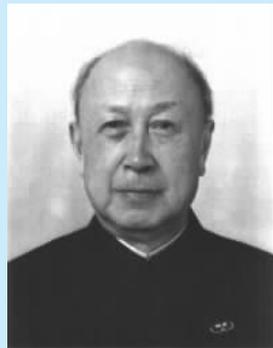
“外国人能干的,中国人为什么不能干。”“我将尽我所能帮助中国人民建立一个幸福而有尊严的国度。”这些话出自世界著名的科学家、中国近代力学事业的奠基人之一钱学森。

钱学森(1911.12.11—2009.10.31),汉族,出生于上海,祖籍浙江省杭州市,是我国两弹一星功勋科学家、空气动力学家,被誉为“中国航天之父”和“火箭之王”。

钱学森在力学的许多领域都做过开创性工作。他与冯·卡门合作提出高超声速流的概念,为飞机在早期克服热障、声障,提供了理论依据,为空气动力学的发展奠定了重要的理论基础。高亚声速飞机设计中采用以卡门和钱学森名字命名的卡门-钱学森公式。钱学森和卡门还共同提出了球壳和圆柱壳的新的非线性失稳理论。此外,他与卡门合作进行的可压缩边界层的研究,揭示了空气动力学领域的温度变化情况。1946年他与郭永怀合作,最早在跨声速流动问题中引入上下临界马赫数的概念。

钱学森在 20 世纪 40 年代就已经成为航空航天领域内最为杰出的代表人物之一,是新中国爱国留学归国人员中最具代表性的国家建设者,是新中国历史上伟大的人民科学家。

钱学森一生默默治学,他一生的经历和成就,在中国的国家史、华人的民族史和人类的世界史上,同时留下了耀眼的光芒,照亮了来路。作为中国航天事业的先行人,他向世界展示了华人的风采。



感动中国组委会授予钱学森的颁奖词：“在他心里，国为重，家为轻；科学最重，名利最轻。五年归国路，十年两弹成。开创祖国航天，他是先行人，劈荆斩棘，把智慧锻造成阶梯，留给后来的攀登者。他是知识的宝藏，是科学的旗帜，是中华民族知识分子的典范。”

辗转回国，钱学森展现了中国科学家坚韧的意志；力学、喷气推进、航天技术，钱学森展现了一位科学家在研究上严谨的治学态度；东方红卫星、神舟飞船、嫦娥奔月，钱学森给中国航天事业奠定了坚实基础。

项目小结

本项目主要介绍了静力学的基本知识，其主要内容包括静力学基本概念、基本原理、基本运算、平面内的常见约束类型以及受力分析绘制受力图等。其中受力分析绘制受力图、力在坐标轴上的投影计算、力对点之矩的计算是力学学习的三大基本功。

1. 静力学基本概念

(1) 力：力是物体间相互的机械作用，这种作用使物体的运动状态发生改变（外效应），或使物体产生变形（内效应）。力对物体的效应取决于力的三要素：大小、方向和作用点（或作用线）。

(2) 力偶：由等值、反向、作用线平行但不重合的两个力组成的力系称为力偶。力偶对物体的转动效应取决于力偶的作用面、力偶矩的大小和力偶的转向。

(3) 平衡：平衡是指物体相对于地球保持静止或做匀速直线运动的状态。

(4) 约束：约束是阻碍物体运动的限制物。

(5) 约束反力：约束阻碍物体运动或运动趋势的力称为约束反力。

(6) 受力图：反映研究对象全部受力（外力）情况的图形称为受力图。

2. 静力学基本原理

(1) 作用与反作用公理说明了物体之间相互作用的关系。

(2) 力的平行四边形公理揭示了两个汇交力合成的规律。

(3) 二力平衡公理说明了作用在一个刚体上的两个力的平衡条件。

(4) 加减平衡力系公理是力系等效代换的基础。

3. 静力学基础运算

(1) 集中力

① 集中力在坐标轴上投影的计算：
$$\left. \begin{aligned} X &= \pm F \cos \alpha \\ Y &= \pm F \sin \alpha \end{aligned} \right\} \text{ (式中 } \alpha \text{ 为力 } F \text{ 与 } x \text{ 轴所夹的锐角)}$$

② 平面问题中集中力对任意点的矩的计算： $M_O(F) = \pm F \cdot d$

(2) 分布力

分布力计算的思路是等效代换，即把分布力等效代换成一个集中力，然后按集中力进行相关计算。

(3) 力偶

力偶在任意坐标轴上的投影恒为零；力偶对其作用面内任一点之矩恒等于力偶矩，与矩心位置无关。

4. 受力分析绘制受力图的步骤及其注意事项

(1) 步骤

- ① 选取研究对象，并单独画出研究对象的轮廓图——取隔离体。
- ② 先画出研究对象所受的全部主动力。
- ③ 再画出研究对象所受的全部约束反力。

(2) 注意事项：

- ① 不要漏画力，② 不要多画力，③ 不要画错力的方向。

▶ 项目考核 ◀

一、判断题

1. 合力一定比分力大。 ()
2. 力就是荷载，荷载就是力。 ()

二、填空题

1. 力的三要素分别是：_____、_____、_____。
2. 力偶只对刚体产生_____效应。
3. 当力与坐标轴平行或重合时，力在该轴上的投影大小等于_____。
4. 游泳时用手和脚向后划水，人就能向前运动，此时人受力的施力物体是_____。
5. 用力使锯条变弯，说明力可以改变物体的_____。

三、选择题

1. 固定铰支座对被约束物体产生的约束反力个数是()。
A. 1个 B. 2个 C. 3个 D. 无法确定
2. 固定端支座对被约束物体产生的约束反力个数是()。
A. 1个 B. 2个 C. 3个 D. 无法确定
3. 下列物理学家在力学研究方面做出贡献的是()。
A. 欧姆 B. 牛顿 C. 安培 D. 奥斯特

四、简答题

1. 对物体系统进行受力分析绘制受力图时的注意事项有哪些？
2. 简述二力平衡公理。

五、绘图题

1. 试画出图 1-60 中 AB 杆的受力图。已知杆件自重为 F_G 。

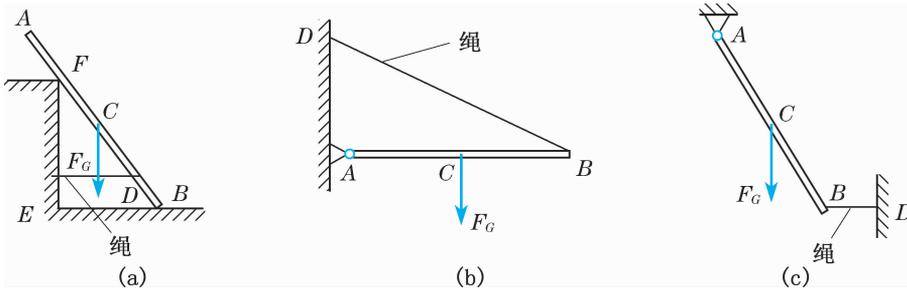


图 1-60

2. 试画出图 1-61 中梁 AB 或刚架 ABCD 的受力图, 题中未标出自重的各杆自重均忽略不计。

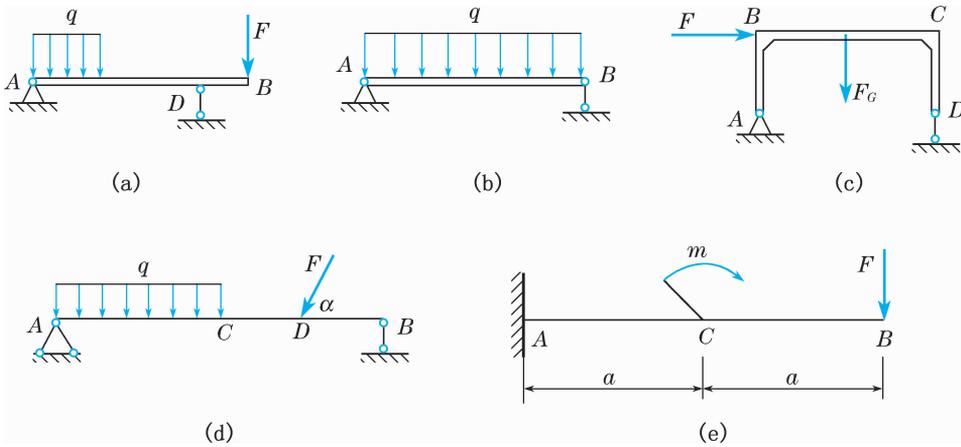


图 1-61

3. 多跨静定梁如图 1-62 所示, 各杆自重不计, 试画出图中杆件 AC、CE 以及整体的受力图。

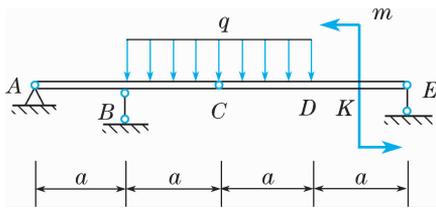


图 1-62

4. 三铰刚架如图 1-63 所示, 各杆自重不计, 试画出 AB、BC 和整体的受力图。

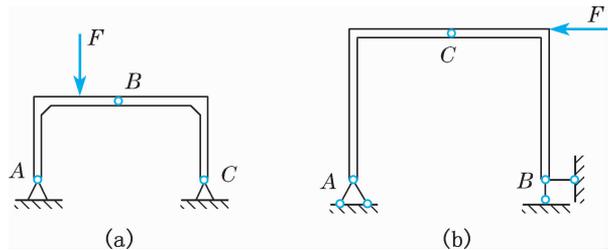


图 1-63

5. 半径为 r 、自重为 F_G 的小球,用一根绳子悬挂于天花板上的 A 点, A 点到墙壁的垂直距离为 a ,如图 1-64 所示,其中(a)图中 $a > r$ 、(b)图中 $a = r$ 、(c)图中 $a < r$,请画出图中小球的受力图。

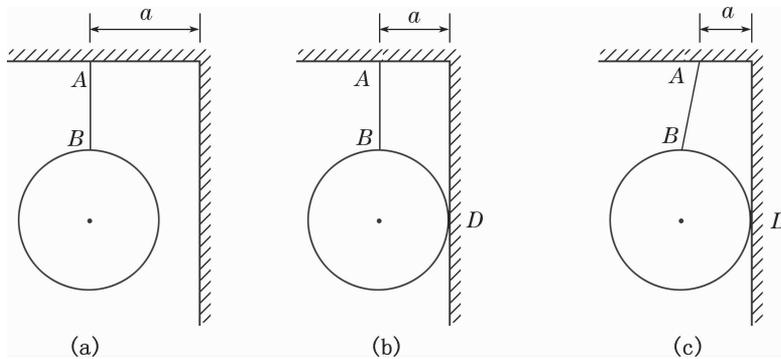


图 1-64

六、计算题

1. 试计算图 1-65 中力 F 对 O 点之矩。

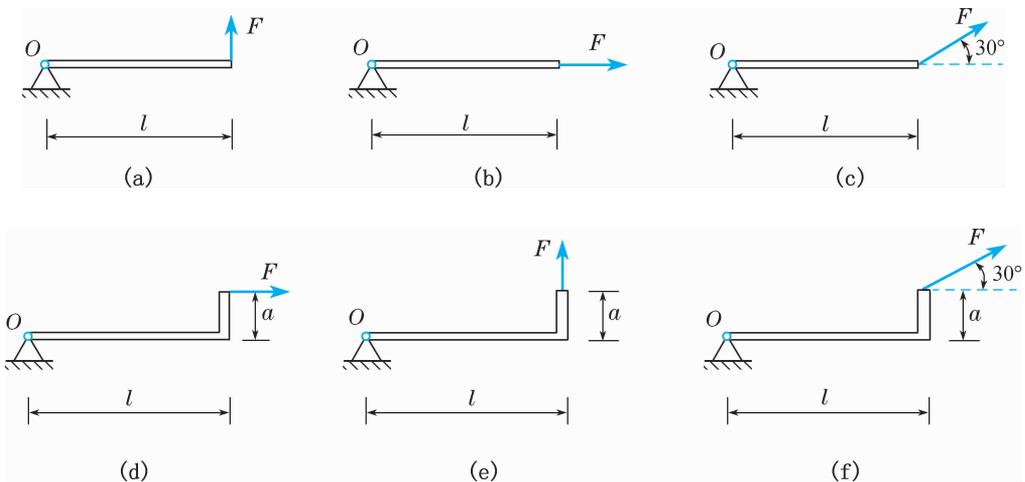


图 1-65

2. 已知 $F_1 = F_2 = F_3 = F_4 = 20 \text{ kN}$,方向如图 1-66 所示,试计算各力在 x 轴和 y 轴上的投影。

3. 如图 1-67 所示,已知 $F_1 = F'_1 = 10 \text{ kN}$, $F_2 = F'_2 = 5 \text{ kN}$, $m_3 = 25 \text{ kN} \cdot \text{m}$, $a = 4 \text{ m}$, $b = 3 \text{ m}$,试计算三个力偶的力偶矩。

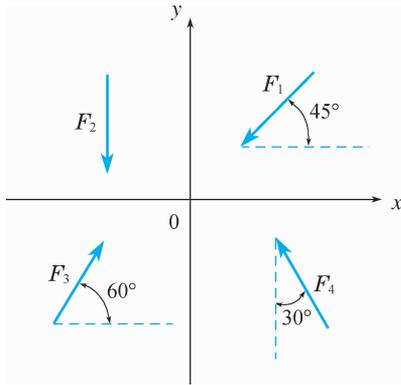


图 1-66

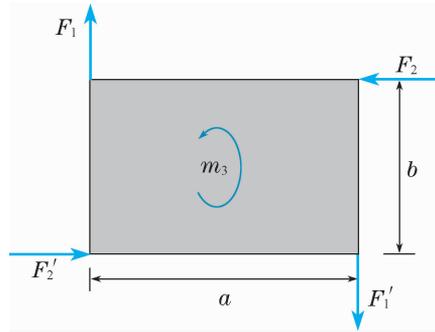


图 1-67

七、连线题

1. 把下列的名词与其相对应的单位连线。
- | | |
|---------|----------------|
| A. 体分布力 | a. N |
| B. 面分布力 | b. $N \cdot m$ |
| C. 线分布力 | c. N/m |
| D. 集中力 | d. N/m^2 |
| E. 力偶矩 | e. N/m^3 |

项目自测



扫码作答