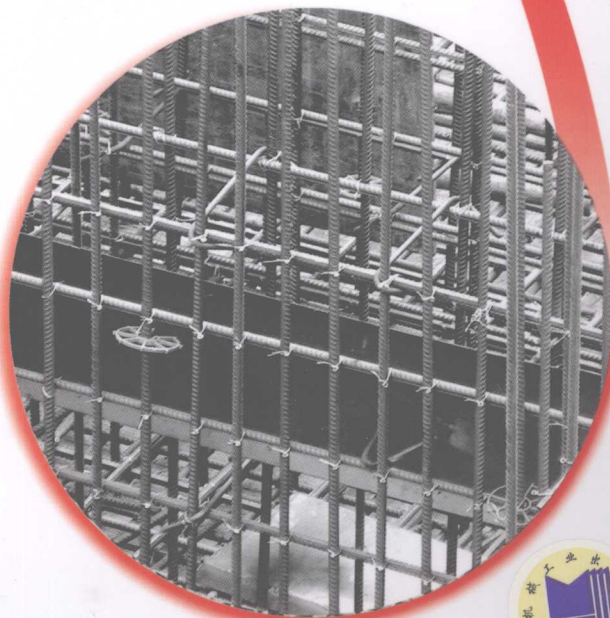




高等职业教育“十一五”规划教材

工程力学

孟祥林 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



高等职业教育“十一五”规划教材

工 程 力 学

主 编 孟祥林

副主编 刘静予

参 编 刘文灵 于苏民 徐有军

主 审 俞高明



机械工业出版社

本书分为两篇,第一篇为静力学,内容包括:静力学基础、平面汇交力系、力矩与平面力偶系、平面任意力系、物体的重心与图形的形心;第二篇为材料力学,内容包括:轴向拉伸与压缩、剪切和挤压、扭转、弯曲、组合变形的强度计算和压杆稳定。

本书每章末有小结、思考题及习题。书末附有型钢表。

本书可作为高等职业技术学院和高等专科院校路桥、土建类专业等非机类专业的工程力学(60~70学时)课程教材,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/孟祥林主编. —北京:机械工业出版社, 2008.10
高等职业教育“十一五”规划教材
ISBN 978-7-111-25161-3

I. 工... II. 孟... III. 工程力学—高等学校—教材 IV. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 145702 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
策划编辑:李俊玲 李 莉 责任编辑:李俊玲 李 莉
版式设计:霍永明 责任校对:陈延翔
封面设计:姚 毅 责任印制:洪汉军

中国农业出版社印刷厂印刷

2009 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·11.75 印张·285 千字

0001—4000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-25161-3

定价:20.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)88379050

封面无防伪标均为盗版

高等职业教育“十一五”规划教材

(道路与桥梁、公路监理专业)

编 审 委 员 会

主任委员

孟祥林

南京交通职业技术学院

副主任委员

钟建民

山西交通职业技术学院

罗凤姿

湖南工程职业技术学院

委 员

王保群

山东交通学院

田 平

河北交通职业技术学院

白淑毅

广东交通职业技术学院

务新超

黄河水利职业技术学院

刘 武

江西交通职业技术学院

周志坚

福建交通职业技术学院

周传林

南京交通职业技术学院

林丽娟

徐州建筑职业技术学院

胡兴福

四川建筑职业技术学院

李俊玲

机械工业出版社(兼委员会秘书)

出版说明

自20世纪90年代开始,我国公路建设步入了持续、快速发展的轨道。截至2004年年底,我国高速公路通车里程已达3.42万km,年增长21.2%,全国公路通车总里程已达到185.6万km。公路交通建设的发展,使社会急需大量的素质高、应用能力强、富有创新精神的复合型人才,各高等职业院校面临着向社会输送合格的公路专门人才的紧迫任务。“教书育人,教材先行”,人才的培养,离不开优秀的教材。基于此背景和要求,机械工业出版社组织全国多所交通及土建类院校编写了这套针对道路与桥梁、公路监理、高等级公路维护与管理等专业的系列教材。

本系列教材具有以下特点:

1. 贯彻了交通部发布的最新的标准规范,保证了时效性,使教学能与实际紧密结合。

2. 为突出高等职业教育的特点,本套教材的编写班子以双师型教师为主,并吸收了部分企业的技术人员参加教材的编、审工作,使教材能更贴近实际,能反映公路工程建设中最新的技术、工艺和方法。

3. 不追求教材的系统性和完整性,以够用、实用为原则,将理论知识与实际操作融为一体。基础理论知识以讲清概念、强化应用为重点;专业课加强了针对性和实用性,强化了实践教学,重点培养学生的动手能力和思维方法。

4. 每本教材中都有“学时分配建议表”,供授课教师参考;每章前有“学习目标”,章后有“小结”、“思考题”、“习题(或操作实训)”,更利于学生学习和复习。

5. 以学生好学、教师上课方便为宗旨,将教学改革成果引入到教材中,并陆续配备电子教案、学习指导等,力争为一线教师提供较全面的立体化的教材。

6. 在教材内容的选取上,以三年制教学为主,也充分考虑了两年制教学的要求,可供三年制和两年制教学使用。

希望本系列教材的出版,能促进高等职业院校道路与桥梁等专业的教材建设,为培养符合市场需要的高技能人才起到积极的推动作用。

机械工业出版社

前言

本书是机械工业出版社及全国十多所院校组成的高职高专道路与桥梁、公路监理专业教材编审委员会组织编写的系列教材之一。按照高职高专道路、公路监理等相关专业的教学要求,为了适应现行的教学时数,根据编者长期从事理论力学、材料力学、结构力学等课程的教学经验,编写了这本工程力学教材。

在教材编写的内容安排上,本书以高职高专教学改革的实践为基础,既注意力学的系统性和严密性,同时又注意结合相关专业对力学知识的基本要求,力求培养学生良好的力学基础;在内容的表述中,注意文字简练易懂、技术术语规范,并力求抓住关键,讲透要点、难点,归纳总结规律,便于读者理解掌握。

本书适合作为高等职业技术学院、高等专科学校和各类成人教育土建类、非机类专业 60~70 学时的工程力学课程的教学用书,也可供相关专业的师生和一般工程技术人员使用和参考。

本书由南京交通职业技术学院孟祥林任主编,刘静予任副主编,安徽交通职业技术学院俞高明主审。本书共分 11 章,孟祥林编写第 1、2、3、5、9 章,刘静予编写第 4、8 章,江西交通职业技术学院刘文灵编写第 6、7 章,南京交通职业技术学院于苏民编写第 10、11 章,徐有军编写附录,刘静予绘制全书插图。

由于编者水平有限,在内容选择、层次结构等方面难免有疏漏或不足,敬请广大读者批评指正。

编 者

机械工业出版社高职高专土建类专业教材

说明: 1. 教材清单各部分顺序为“书名(主编, 书号)”。

2. 标“★”为普通高等教育“十一五”国家级规划教材, 均将陆续配备助教盘。

3. 标“◆”为可赠送助教盘, 供选用本教材的老师参考。

4. 欢迎有关院系组织老师积极申报待定主编的教材或联系出版校本教材。

联系电话: 010-88379540 (覃编辑) 投稿邮箱 sbs@mail.machineinfo.gov.cn

一、土建施工类

21 世纪建筑工程系列规划教材

建筑工程质量事故分析(邵英秀, 12127)

建筑结构(上)(2版)★(宗兰、宋群, 12216)

建筑结构(下)(2版)★(宋群、宗兰, 13509)

建筑施工技术(2版)★(张厚先、王志清, 12387)

土力学与地基基础◆(孙维东, 12443)

房屋建筑构造(2版)★(孙玉红, 12562)

建筑工程计量与计价(2版)★(丁春静, 22911)

建设工程监理概论(2版)★(王军、韩秀彬, 12236)

建筑材料(2版)★(王秀花, 12456)

建筑设备(王青山, 12688)

建筑工程制图与识图(2版)★(王强、张小平, 12540)

建筑制图与识图习题集(王强、张小平, 12586)

建筑制图与构造基础(季敏, 22329)

建筑制图与构造基础习题集(刘小聪, 22386)

建筑 CAD(2版)★(巩宁平等, 12135)

工程项目管理(张智钧, 13284)

土木工程概论(张立伟, 13497)

建筑力学(上)★(杨力彬、赵萍, 14769)

建筑力学(下)★(杨力彬、赵萍, 14775)

建筑施工组织(陈乃佑, 12048)

建筑工程测量(魏静、王德利, 13642)

建筑工程专业课程设计实训指导(邬宏, 15452)

混凝土与砌体结构学习指导(郝俊、李靖韵, 16402)

高层与大跨建筑施工技术(郝临山、陈晋中, 13585)

建筑施工实训指导(王兆, 19560)

建筑工程专业英语(刘建瑞)

高等职业教育土建类专业课程改革规划教材

(建筑工程技术专业适用)

建筑工程基础(一)(邬宏、王强, 19481)

建筑工程基础(二)(赵萍, 19677)

防水工程施工★(李靖韵, 19529)

建筑工程计量与计价★(王朝霞, 19140)

建筑工程质量检验与安全管理★(白锋, 19231)

招投标与合同管理(郝永池, 19612)

钢结构制造与安装(唐丽萍, 23435)

地基基础施工(韩家宝)

施工组织设计(卢青, 20914)

砌体结构施工(刘晓敏)

混凝土结构施工(邬宏)

装饰工程施工(周英才)

二、建筑设计类

21 世纪建筑装饰系列规划教材

建筑装饰材料(张书梅, 12518)

建筑装饰施工技术(马有占, 12290)

建筑装饰工程概预算(李文利, 12545)

民用建筑构造(孙殿臣, 12526)

建筑装饰制图与识图(2版)★(高远, 12505)

建筑装饰制图与识图习题集(高远, 12454)

建筑力学与结构(2版)★(李永光, 12604)

建筑力学与结构学习指导(乔志远, 18501)

建筑装饰装修构造★(冯美宇, 13832)

建筑物理◆(李井永, 15464)

建筑透视与阴影(程无畏, 17886)

建筑透视与阴影习题集(程无畏, 18345)

建筑装饰质量缺陷与分析(王军, 16552)

室内设计技术·环境艺术设计·建筑装饰工程技术专业通用教材

设计素描与速写(陈伯群)

设计色彩写生(陈伯群)

造型设计基础(吴萍, 23124)

建筑及室内效果图制作教程(配光盘)(陈雪杰, 20353)

手绘效果图表现技法(林文冬)

家具与陈设(待定)

建筑设计技术专业教材

建筑初步(龚静, 22496)

建筑构造(待定)

建筑节能(待定)

建筑设备(待定)

建筑设计原理(邢双军)

建筑专题设计(待定)

建筑场地设计★(徐哲民)

城市规划原理(解万玉)

建筑模型工艺与设计(沈鸿才)

室内设计技术·环境艺术设计专业教材

景观规划设计★(胡先祥)

室内设计原理(待定)

室内专题设计(赵海涛)

居住小区景观设计(胡佳, 21983)

建筑装饰装修材料与应用★(闻荣土, 20851)

建筑装饰工程技术专业教材

建筑制图与阴影透视(李思丽, 22419)

建筑制图与阴影透视习题集(李思丽, 22418)

建筑装饰材料(高海燕)

建筑设计基础(林学军)

建筑装饰基础★(童霞)

建筑装饰设计原理(焦涛, 20836)

建筑装饰构造与施工(刘超英)

建筑装饰工程计量与计价(吴锐)

建筑装饰施工组织与管理(郝永池)

建筑装饰工程基本技能实训指导★(朱吉顶, 21588)

建筑装饰 Photoshop 实例教程及上机指导(伍乐生)

建筑装饰 CAD 实例教程及上机指导(伍乐生, 23485)

园林工程技术专业教材

园林规划设计(胡先祥, 20791)

园林工程设计(潘福荣)

园林工程施工(潘福荣)

园林建筑设计(吴卓佳)

园林工程测量(王红)

园林建筑构造(文益民)

中外园林简史(吴立威)

园林工程制图与识图(王献文、刘晓东)

园林树木与花卉(齐海鹰)

园林工程计量与计价(吴锐)

园林模型设计与制作(刘学军)

园林工程计算机绘图(李保梁)

园林工程施工组织与管理(吴立威)

园林植物栽培与养护管理(余远国, 21879)

三、工程管理类

21 世纪建筑工程管理系列规划教材

房地产经营与管理(银花、张加颖, 12207)

房地产会计(于立君、景亚平, 12097)

房地产投资分析与综合开发(李伟, 12118)

房地产测绘(郭玉社, 13607)

物业管理(谭善勇, 13409)

物业环境管理(代岚, 18570)

房地产经济学★ (张洪力, 14952)

房地产营销策划 (祖立厂, 14671)

建筑企业经营管理 (唐健人、陈茂明, 14975)

建筑企业会计 (何丕军, 14562)

工程造价案例分析★ (迟晓明, 15363)

房地产估价 (宋春兰, 18475)

房地产经营与管理 (隋凤琴, 18034)

高等职业教育工程管理类专业规划教材 (工程造价、工程监理专业适用)

建筑材料 (李伟华)

建筑识图与房屋构造 (魏松)

建筑设备安装工艺与识图 (陈思荣, 22910)

建筑结构基础与识图 (刘志彤)

建筑施工工艺 (特定)

建筑工程经济 (渠晓伟, 22230)

建筑工程项目管理 (李玉芬)

工程招投标与合同管理 (张国华)

工程建设定额原理与实务 (孙咏梅)

工程量清单计价 (张连忠)

工程造价控制 (郝志群)

工程造价管理 (李成贞)

建筑工程预算 (庞晓)

建筑安装工程预算 (刘钦, 22308)

建筑装饰工程预算 (张崇庆, 22217)

建筑施工企业会计 (单旭, 22231)

建筑施工企业财务管理 (赵玉萍, 23316)

市政工程基础 (刘学应)

施工组织与进度控制 (孙刚)

建设工程监理概论 (高元兴)

建设工程质量与安全控制 (高正文)

建设工程法规与合同管理 (高正文, 23389)

建设工程监理实务与实训 (陈跃军)

建设工程计价与投资控制 (刘学应)

房屋设备工程 (张东放)

四、建筑设备类

21 世纪供热通风与空调工程系列规划教材

热工学基础★ (刘春泽, 13626)

制冷技术★ (贺俊杰, 12462)

建筑设备工程图识读与绘制★ (谭伟建、王芳, 14852)

设备工程图识读与绘制习题集 (谭伟建等, 14895)

建筑给水排水工程 (汤万龙、刘晓勤, 15153)

安装工程预算与施工组织管理 (邢玉林, 15449)

供热通风与空调工程施工技术★ (贾永康, 15451)

机械基础 (李卫平, 14506)

建筑概论◆ (贾丽明、徐秀香, 14926)

建筑电气工程 (谢社初、刘玲, 15447)

工业锅炉设备 (丁崇功, 15448)

流体力学·泵与风机 (白扩社, 15446)

供热工程 (王宇清, 15450)

通风与空气调节工程★ (徐勇, 15462)

工程力学 (王培兴、李健, 15463)

工程力学学习指导 (乔志远, 17068)

高等职业教育土建类专业课程改革规划教材 (建筑设备工程技术专业适用)

流体与热工基础 (刘春泽)

工程识图基础与 CAD★ (尚久明, 19220)

建筑给水排水系统安装★ (汤万龙, 22315)

采暖与供热管网系统安装 (王宇清)

通风空调系统安装 (李增足)

冷热源系统安装 (贾永康)

建筑电气照明系统安装 (熊文生, 22222)

建筑供配电系统安装 (刘昌明, 21776)

建筑电气控制系统安装★ (孙景芝, 20786)

安装工程施工组织与管理★ (石俊云)

建筑弱电系统安装 (特定)

高等职业教育土建类专业课程改革规划教材 (楼宇智能化工程技术专业适用)

建筑智能化概论★ (刘光辉, 18787)

电工技术基本知识及技能 (于昆仑, 19101)

电子技术基本知识及技能 (李文, 19338)

局域网系统施工 (王柯、叶智耿, 20173)

综合布线系统施工 (谢社初, 19014)

安防系统与消防联动系统施工 (王蒙田)

电话电视广播系统施工 (特定)

建筑设备控制系统施工 (特定)

五、房地产类

高等职业教育房地产类专业规划教材(物业管理、房地产经营与估价专业适用)

房屋建筑基础(王立群)

物业设备维护与管理★(张国忠)

房屋维修与预算(刘宇)

物业企业会计◆(李炳先, 23823)

物业管理实务★(鲁捷, 21073)

建筑智能系统的应用与管理★(陶根根, 21968)

物业管理法规★(王跃国)

物业管理概论(郑晓奋, 24500)

物业管理理论与实务◆(胡伯龙, 23538)

小区绿化维护与管理(余远国)

物业管理应用文写作◆(鲁捷, 24275)

物业管理英语(韩国波、朱德光, 25019)

房地产法规(银花)

房地产开发与经营(孙瑞波)

房地产营销◆(朱华, 22876)

房地产会计(王薇薇)

房地产统计◆(刘玉玲, 22539)

房地产估价◆(窦坤芳, 22098)

房地产行政管理★(王宏, 22223)

房地产经纪人(张登云)

六、路桥类专业教材

道路与桥梁等专业规划教材

(道路与桥梁工程技术、公路监理、高等级公路养护与管理等专业适用)

道路工程制图★(赵云华, 16985)

道路工程制图习题集(赵云华, 17318)

道路工程测量(罗斌, 17073)

道路工程测量实训★(齐秀廷, 16987)

道路建筑材料★(蒋玲, 17371)

道路建筑材料实训(林丽娟, 17719)

结构设计原理★(胡兴福, 17317)

公路CAD★(张郃生, 16795)

工程地质与桥涵水文◆(盛海洋, 18319)

工程地质与桥涵水文实训(盛海洋)

路基路面工程★(李维助, 17257)

道路勘测设计(田平, 17315)

公路工程施工组织与概预算◆(米永胜, 17603)

公路工程监理(廖品槐、刘武, 17258)

公路工程监理(多学时)◆(刘三会, 17260)

道路工程概论◆(吴继锋, 17256)

公路养护技术与管理★(周传林, 17264)

高等级公路管理(马彦芹, 18383)

公路工程质量事故分析★(颜海, 18553)

道路检测技术(郑桂兰, 19191)

土工实训★(王玉珏, 21509)

土力学与基础工程★(务新超、魏明, 21246)

桥梁工程(马国峰、王保群, 20880)

工程力学(孟祥林)

结构力学(罗凤姿)

桥梁工程概论(李清)

公路工程招标与投标(郭梅、姜仁安)

道路工程识图(赵云华, 24505)

七、艺术设计类教材

造型基础立体构成(含1CD)(王向勤, 15480)

造型基础平面构成(张锡, 17614)

造型基础色彩构成★(含1CD)(贾荣建, 16839)

设计素描(含1CD)(濮礼健, 15495)

产品设计(含1CD)(刘永翔, 14917)

电学基础(王泓, 14344)

广告艺术设计(含1CD)(沙强, 17724)

人机工程基础及应用(含1CD)(阮宝湘、贾荣建, 17731)

商品包装装潢设计(含1CD)(李立群, 14716)

设计表现(含1CD)(韩文涛, 14868)

设计概论(含1CD)(陆家桂, 14512)

设计制图★(袁和法, 14690)

设计制图习题集(袁和法, 14748)

室内与环境艺术设计制图★(关俊良, 17060)

室内与环境艺术设计制图习题集(李宏, 20310)

室内装饰工程设计实务教程(含1CD)(王波, 14501)

园林与庭院设计(含1CD)(张纵, 14643)

机械基础(阮宝湘, 20037)

展示设计(含1CD)(叶永平, 17059)

设计材料与工艺(陶晋、杨九瑞)

产品模型制作(杨恩源)

目 录

出版说明

前言

第一篇 静 力 学

第1章 静力学基础	2	小结	24
1.1 静力学公理	2	思考题	24
1.2 约束与约束力	4	习题	25
1.3 物体的受力分析与受力图	6	第4章 平面任意力系	27
小结	8	4.1 平面任意力系的简化	27
思考题	8	4.2 平面任意力系的平衡	29
习题	8	4.3 静定与静不定概念及刚体 系统的平衡	33
第2章 平面汇交力系	11	4.4 桁架	37
2.1 平面汇交力系合成与 平衡的几何法	11	4.5 考虑摩擦时的平衡问题	40
2.2 平面汇交力系合成与 平衡的解析法	13	小结	44
小结	15	思考题	45
思考题	16	习题	47
习题	17	第5章 物体的重心与图形的形心	50
第3章 力矩与平面力偶系	19	5.1 重心的概念及重心坐标	50
3.1 力对点的矩	19	5.2 组合图形的形心位置	51
3.2 力偶	20	小结	53
3.3 平面力偶系的合成与平衡	22	思考题	54
		习题	54

第二篇 材 料 力 学

第6章 轴向拉伸与压缩	59	小结	76
6.1 轴向拉伸与压缩的概念	59	思考题	77
6.2 轴向拉(压)杆的内力	59	习题	78
6.3 横截面和斜截面上的应力	61	第7章 剪切和挤压	82
6.4 拉压杆的变形及胡克定律	64	7.1 剪切的概念	82
6.5 材料在拉伸和压缩时的 力学性能	67	7.2 剪切的实用计算	83
6.6 拉(压)杆的强度计算	72	7.3 挤压的实用计算	84
6.7 应力集中的概念	75	小结	87
		思考题	87

习题	88	小结	134
第8章 扭转	90	思考题	136
8.1 扭转的概念与实例	90	习题	136
8.2 圆轴扭转时横截面上的内力	90	第10章 组合变形的强度计算	141
8.3 圆轴扭转时的应力与强度计算	92	10.1 组合变形的概念	141
8.4 圆轴扭转时的变形与刚度计算	95	10.2 斜弯曲	142
8.5 非圆截面杆扭转简介	98	10.3 偏心压缩(拉伸)	144
小结	99	小结	149
思考题	100	思考题	150
习题	101	习题	151
第9章 弯曲	103	第11章 压杆稳定	153
9.1 平面弯曲的概念	103	11.1 压杆稳定的概念	153
9.2 梁的内力及其计算	104	11.2 细长压杆的临界力	154
9.3 梁的内力图	109	11.3 欧拉公式的适用范围及 经验公式	155
9.4 弯矩 $M(x)$ 、剪力 $F_Q(x)$ 与分布 荷载集度 $q(x)$ 三者之间的 微分关系	111	11.4 压杆的稳定计算	158
9.5 梁横截面上的正应力及 其强度条件	114	11.5 提高压杆稳定性的措施	162
9.6 梁横截面上的切应力简介	122	小结	163
9.7 梁的变形和刚度计算	125	思考题	163
9.8 提高梁的强度和刚度的措施	132	习题	164
		附录 型钢表	166
		参考文献	174

第一篇 静力学

静力学主要研究物体在力系作用下的平衡规律，以及如何建立各种力系的平衡条件。

为便于研究，人们将各种各样的实际物体抽象为理想模型——刚体。刚体是指受力后保持原有形状而不产生变形的物体。实际物体受力时，其内部各点间的相对距离都会发生改变，其结果使物体的形状和尺寸发生改变，这种改变称为变形。任何物体受力都会发生变形，例如：吊车大梁承受荷载时的弯曲变形（图 1）。但当物体变形很小时，变形对物体的运动和平衡的影响甚微，在研究力的作用效应时可忽略不计，物体便可抽象为刚体。

力是物体间的相互机械作用，这种作用使物体运动状态发生变化或使物体产生变形。例如：用手推小车，使它由静止开始运动，如图 2 所示；置于吊车大梁上的重物，使其产生弯曲变形，如图 1 所示。力对物体的作用效应决定于力的三要素：大小、方向和作用点。力的三要素表明，力是一个具有固定作用点的定位矢量。作用在物体上的一组力，称为力系。若两力系对物体的作用效应相同，则称它们为等效力系，简称等效。用一个简单力系等效替换一个复杂力系，称为力系的简化。

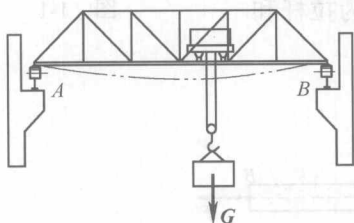


图 1

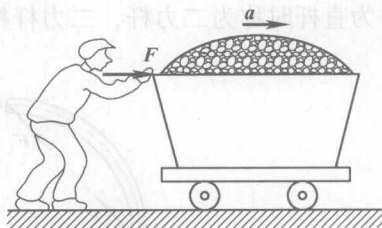


图 2

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。

本篇主要研究以下三方面问题：

- 1) 物体的受力分析。
- 2) 力系的等效与简化。
- 3) 力系的平衡条件及其应用。

静力学的理论和方法不仅是工程构件静力设计的基础，而且在许多工程技术问题中有着广泛的应用。因此，在学习静力学内容时，应特别注意受力分析的方法。

第 1 章 静力学基础

本章将研究静力学的几个基本概念和公理，以及物体受力分析的基本方法。

1.1 静力学公理

公理是人类在长期实践中被验证为正确的结论。它无须任何证明，已为大家所公认。静力学的全部理论，都是建立在以下四个静力学公理基础之上的。

公理 1 二力平衡公理 作用在刚体上的两个力，使刚体平衡的必要和充分条件是：两个力的大小相等，方向相反，作用线沿同一直线，如图 1-1 所示，即

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

此公理揭示了最简单的力系平衡条件。在二力作用下平衡的刚体称为二力体或二力构件，二力构件的受力如图 1-2 所示。当构件为直杆时称为二力杆，二力杆根据其受力又分为拉杆和压杆。

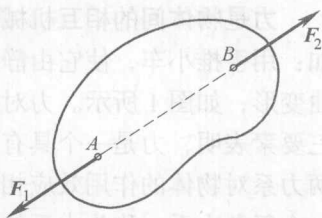


图 1-1

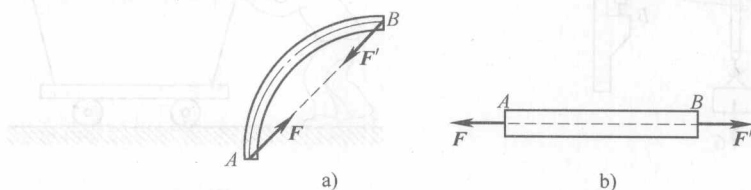


图 1-2

公理 2 加减平衡力系公理 在已知力系上加上或减去任意平衡力系，不改变原力系对刚体的作用。

因为平衡力系不会改变物体的运动状态（静止或作匀速直线运动），所以在刚体上加上或减去任意平衡力系，不会改变刚体的运动状态。

由此公理可导出以下推理：

推理 1 力的可传性原理 作用在刚体上某点的力，可沿其作用线移动，而不改变它对刚体的作用。

证明：

1) 设力 $\mathbf{F}^\ominus$ 作用于刚体上 A 点，如图 1-3a 所示。

2) 根据加减平衡力系公理，可在 $\mathbf{F}$ 力作用线上的 B 点加上一个平衡力系 $\mathbf{F}'$ 和 $\mathbf{F}''$ ，并使 $-\mathbf{F}'' = \mathbf{F}' = \mathbf{F}$ ，如图 1-3b 所示。

⊖ 一般用黑体字母表示矢量，明体字母只表示矢量的大小。

3) 由于 F 与 F'' 构成一个平衡力系, 将其减去, 刚体上只剩有作用在 B 点的力 F' , 如图 1-3c 所示。 F' 与原力等效, 就相当于将作用于 A 点的力 F 沿其作用线移到 B 点。

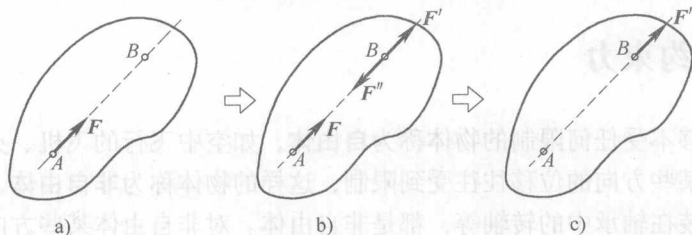


图 1-3

证明完毕。

由此可知, 对刚体而言, 力的三要素是: 力的大小、方向和作用线方位。

公理 3 力的平行四边形法则 作用在物体上同一点的两个力, 可合成为一个合力, 合力的作用点仍在该点, 其大小和方向由以此两力为邻边构成的平行四边形的对角线确定, 如图 1-4a 所示。其矢量表达式为

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 \quad (1-2)$$

即: 合力等于分力的矢量和。合力 F_R 的大小和方向也可通过图 1-4b、c 所示的力的三角形法得到。即取任一点 O , 以 F_1 和 F_2 为两边作力的三角形, 第三边 F_R 即为所求合力。

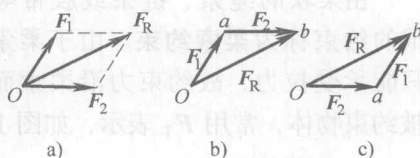


图 1-4

平行四边形法则是力的合成法则, 也是力的分解法则。例如在图 1-5 中, 拉力 F 作用在螺栓上, 与水平方向的夹角为 α , 利用平行四边形法则, 可将 F 沿水平及竖直方向分解为两个分力 F_1 和 F_2 。

推理 2 三力平衡汇交定理 当刚体受到同平面内不平行的三力作用而平衡时, 三力的作用线必汇交于一点, 如图 1-6 所示。这一推论, 请读者参考图示自己证明。

公理 4 作用力与反作用力公理 两物体间的作用力与反作用力, 总是大小相等、方向相反, 沿同一直线分别作用于两个物体上。

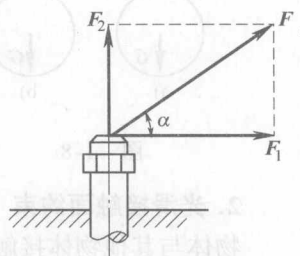


图 1-5

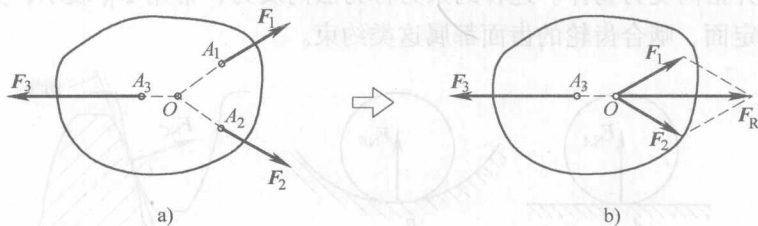


图 1-6

此公理概括了物体间相互作用的关系, 表明作用力与反作用力成对出现, 并分别作用在不同的物体上。注意: 本公理中的一对力与二力平衡公理中的一对力, 虽然都是等值、反

向、共线的,但作用力与反作用力是分别作用在两个不同物体上的,二者不能相互平衡,因而不是一对平衡力;而二力平衡公理中的一对力是作用在同一个物体上的一对平衡力。

1.2 约束与约束力

在空间的位移不受任何限制的物体称为**自由体**,如空中飞行的飞机、火箭等。工程中的大多数物体,其某些方向的位移往往受到限制,这样的物体称为**非自由体**,例如:在钢轨上行驶的火车、安装在轴承中的转轴等,都是非自由体。对非自由体某些方向的位移起限制作用的物体称为**约束**,如钢轨是火车的约束,轴承是转轴的约束等。如图 1-7 所示,支座 A、B 是桥梁的约束。约束作用于被约束物体上的力称为**约束力**,也称反力。约束力的方向总是和所限制的位移方向相反。

下面介绍几种工程中常用的约束类型,并分析其约束力的特点。

1. 柔索约束

由柔软的绳索、链条或胶带等所形成的约束称为**柔索约束**。由于柔索本身只能承受拉力,故约束力沿柔索而背离被约束物体,常用 F_T 表示,如图 1-8 所示绳索约束和图 1-9 所示皮带约束。

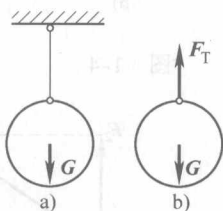


图 1-8

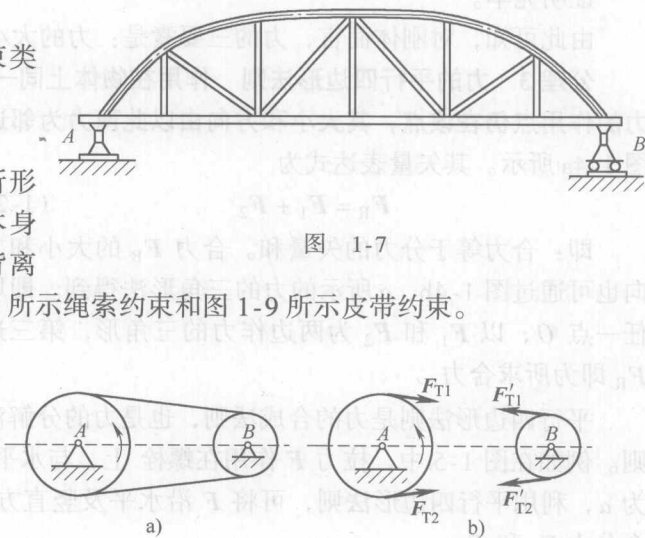


图 1-7

图 1-9

2. 光滑接触面约束

物体与其他物体接触,当接触面光滑,摩擦力很小可以忽略不计时,就是**光滑接触面约束**。这类约束不能限制物体沿约束表面公切线的位移,只能阻止物体沿接触表面公法线并指向约束物体方向的位移。因此,光滑接触面对物体的约束力通过接触点,方向沿接触表面的公法线方向,并指向受力物体。这种约束力称为**法向反力**,常用 F_N 表示,如图 1-10 所示。支持物体的固定面、啮合齿轮的齿面都属这类约束。

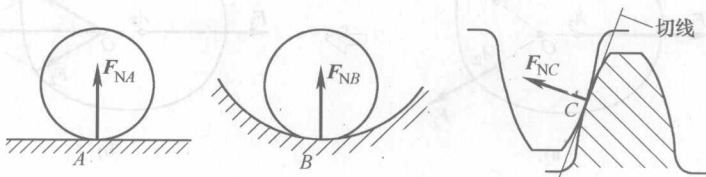


图 1-10

3. 光滑圆柱铰链约束

用销钉连接两个钻有相同大小孔径的构件构成**铰链约束**。其构造及简化图如图 1-11 a、

b所示。铰链约束限制物体沿径向的位移,故其约束力在垂直于销钉轴线的平面内并通过销钉中心。由于该约束的接触点位置不能预先确定,约束力方向也不能确定,故常以两个正交分量 F_{Ax} 和 F_{Ay} 表示,如图 1-11c 所示。

光滑圆柱铰链有以下不同的结构。

(1) 固定铰支座 若构成圆柱铰链约束中的一个构件作为机架固定,则称此铰链为固定铰支座。图 1-12a、b 为固定铰支座的结构和简化画法。其约束力用两个正交分量表示,如图 1-12c 所示。

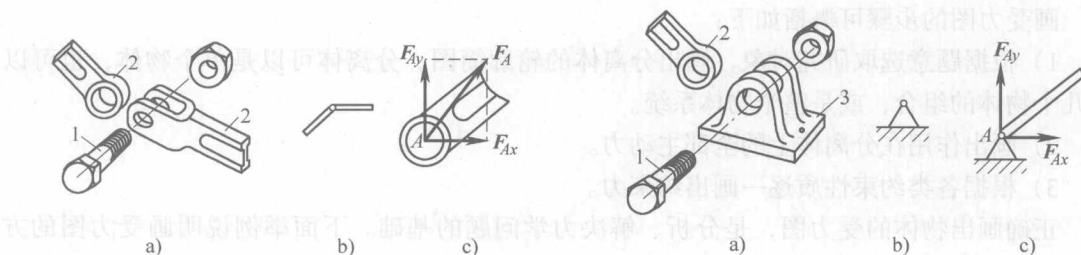


图 1-11

1—销钉 2—构件

图 1-12

1—销钉 2—被约束构件 3—固定构件

(2) 可动铰支座 若在由圆柱铰链构成的支座与光滑支承面之间装有辊轴,就构成**辊轴支座**或**可动铰支座**。其约束力垂直于光滑支承面。图 1-13a、b 为可动铰支座的结构和简化画法,其约束力如图 1-13c 所示。

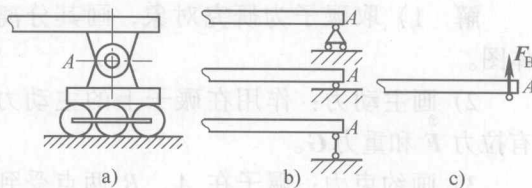


图 1-13

(3) 中间铰链 将两个构件用圆柱铰链连接在一起成为**中间铰链**,其结构、简化画法及约束力如图 1-14 所示。

4. 固定端约束

把构件和支承物完全连接为一个整体,既能限制物体移动又能限制物体转动的约束,称为**固定端约束**。固定端约束是工程中一种常见的约束形式,如图 1-15a 所示的约束,均为固定端约束,其简化画法如图 1-15b 所示。固定端约束的约束力为一组正交的约束力与一个约束力偶,如图 1-15c 所示。

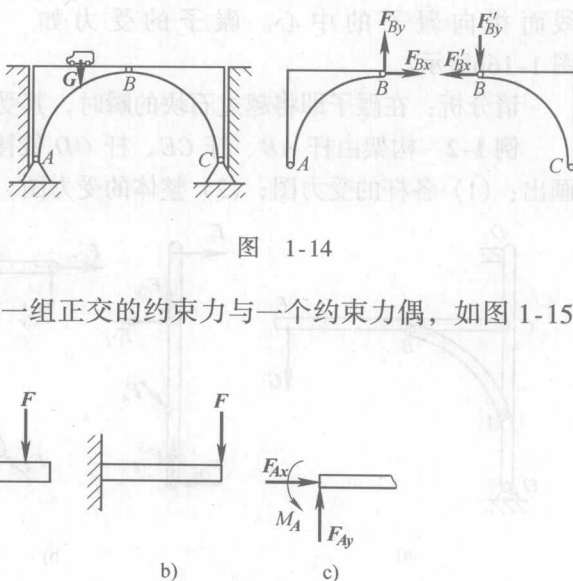


图 1-14

图 1-15