

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
全国交通土建高职高专规划教材
国家精品课程配套用教材

工 程 力 学

Gongcheng Lixue

(第三版)

孔七一 主编

金 明[北京交通大学]

主审

张金喜[北京工业大学]

人民交通出版社

全国交通土建高职高专规划教材编审委员会

主任委员 张洪滨(吉林交通职业技术学院)

副主任委员 (按姓氏笔画为序)

田平(河北交通职业技术学院)

刘建明(青海交通职业技术学院)

李加林(广东交通职业技术学院)

陆春其(南京交通职业技术学院)

钟建民(山西交通职业技术学院)

郭发忠(浙江交通职业技术学院)

刘志(贵州交通职业技术学院)

陈方晔(湖北交通职业技术学院)

李全文(四川交通职业技术学院)

张润虎(贵州交通职业技术学院)

俞高明(安徽交通职业技术学院)

彭富强(湖南交通职业技术学院)

委员 (按姓氏笔画为序)

王丰胜(安徽交通职业技术学院)

王连威(吉林交通职业技术学院)

王常才(安徽交通职业技术学院)

孙元桃(宁夏交通学校)

刘福明(南昌工程学院)

杨平(四川交通职业技术学院)

陈纪胜(甘肃交通职业技术学院)

张保成(内蒙古大学交通学院)

杨晓丰(黑龙江工程学院)

吴继锋(江西交通职业技术学院)

周传林(南京交通职业技术学院)

周志坚(福建交通职业技术学院)

易操(湖北城市建设职业技术学院)

赵树青(山东交通职业学院)

晏杉(云南交通职业技术学院)

夏连学(河南交通职业技术学院)

梁金江(广西交通职业技术学院)

程兴新(陕西省交通厅交通工程定额站)

谢远光(重庆交通职业技术学院)

薛安顺(陕西交通职业技术学院)

王彤(辽宁交通高等专科学校)

王海春(青海交通职业技术学院)

王穗平(河南交通职业技术学院)

刘孟良(湖南城建职业技术学院)

李中秋(河北交通职业技术学院)

李仕东(鲁东大学交通学院)

沈建康(徐州建筑职业技术学院)

张美珍(山西交通职业技术学院)

张铁成(广东同望科技股份有限公司)

李绪梅(新疆交通职业技术学院)

金仲秋(浙江交通职业技术学院)

金桃(贵州交通职业技术学院)

姚丽(辽宁交通高等专科学校)

高占云(呼和浩特职业学院)

郭秀芹(山东省公路高级技工学校)

栗振锋(太原科技大学)

曹雪梅(四川交通职业技术学院)

彭芳(内蒙古河套大学)

裴俊华(甘肃林业职业技术学院)

秘书长 卢仲贤(人民交通出版社)

总 序

针对高职高专教材建设与发展问题,教育部在《关于加强高职高专教材建设的若干意见》中明确指出:先用2至3年时间,解决好高职高专教材的有无问题。再用2至3年时间,推出一批特色鲜明的高质量的高职高专教育教材,形成**一纲多本、优化配套**的高职高专教育教材体系。

2001年7月,由人民交通出版社发起组织,15所交通高职院校的路桥系主任和骨干教师相聚昆明,研讨交通土建高职高专教材的建设规划,提出了28种高职高专教材的编写与出版计划。后在交通部科教司路桥工程学科委员会的具体指导下,在人民交通出版社精心安排、精心组织下,于2002年7月前完成了28种路桥专业高职高专教材出版工作。

这套教材的出版发行,首先解决了交通高职教育教材的有无问题,有力支持了路桥专业高职教育的顺利发展,也受到了全国各高职院校的普遍欢迎。

随着高职教育教学改革的深入发展、高职教学经验的丰富与积累,以及本行业有关技术标准、规范的更新,本套教材在使用了2至3轮的基础上,对教材适时进行修订是十分必要的,时机也是成熟的。

2004年8月,人民交通出版社在新疆乌鲁木齐召开了有19所交通高职院校领导、系主任、骨干教师共41人参加的教材修订研讨会。会议商定了本套教材修订的基本原则、方法和具体要求。会议决定本套教材更名为“交通土建高职高专统编教材”,并成立了以吉林交通职业技术学院张洪滨为主任委员的“交通土建高职高专统编教材编审委员会”,全面负责本套教材的修订与后续补充教材的建设工作。

2005年6月,编委会在长春召开了同属交通土建大类、与路桥专业链接紧密的“工程监理专业、工程造价专业、高等级公路维护与管理专业”主干课程教材研讨会,正式规划和启动了这三个专业教材的编写出版工作。

2005年12月,教育部高等教育司发布了“关于申报普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”选题的通知(教高司函[2005]195号),人民交通出版社积极推荐本套教材参加了“十一五”国家级规划教材选题的评选。

2006年6月,经教育部组织专家评选、网上公示,本套教材中有十五种入选为“十一五”国家级规划教材,2008年1月,又有六种教材在“十一五”国家级规划教材补报中列选,共计21种,标志着广大参与本套教材编写的教师的辛勤劳动得到了社会的认可、本套教材的编写质量得到了社会的认同。

2006年7月,交通土建高职高专统编教材编审委员会及时在银川召开会议,有24所各省市交通高职院校或开办有交通土建类专业的高等学校系部主任、专业带头人、骨干教师以及人民交通出版社领导共39位代表出席了本次会议。会议就全面落实教育部“十一五”国家级规划教材的编写工作进行了研讨。与会代表一致认为必须以入选的十五种国家级规划教材为基本标准,进一步全面提升本套教材的编写质量,编审委员会将严格按照国家级规划教材的要求审稿把关,并决定本套教材更名为“**全国交通土建高职高专规划教材**”,原编委会相应更名为“**全国交通土建高职高专规划教材编审委员会**”。以期在全国绝大多数交通高职院校和开办有交通土建类专业的高等院校的参与、统筹、规划下,本套教材中有更多的进入“十一五”国家

级规划教材行列。

2007年5月,编委会在湖南长沙召开工作会议,就“十一五”国家级规划教材主参编人员的确定和教材的编写原则作出了具体安排,全面启动“十一五”国家级规划教材的编写与出版工作。

2008年4月,编委会在广东珠海召开工作会议,研讨了“工学结合”高职高专教材编写思路,决定在“十一五”国家级规划教材编写过程中,注重高职教学改革新方向,注重工程实践经验的引入,倡导“工学结合”。

本套高职高专规划教材具有以下特色:

——顺应交通高职院校人才培养模式和教学内容体系改革的要求,按照专业培养目标,进一步加强教材内容的针对性和实用性,适应学制转变,合理精简和完善内容,调整教材体系,贴近模块式教学的要求;

——实施开放式的教材编审模式,聘请高等院校知名教授和生产一线专家直接介入教材的编审工作,更加有利于对教材基本理论的严格把关,有利于反映科研生产一线的最新技术,也使得技能培训与实际紧密结合;

——全面反映2003年以来的公路工程行业已颁布实施的新标准、规范;

——服务于师生、服务于教学,重点突出,逐章均配有思考题或习题,并给出本教材的参考教学大纲;

——注重学生基本素质、基本能力的培养,教材从内容上、形式上力求更加贴近实际;

——为加强学生的实际动手能力,针对《工程测量》、《道路建筑材料》等课程,本套教材特别配套有实训类辅导教材;

——为方便教学,本套教材配套有《道路工程制图多媒体教材》、《公路工程试验实训多媒体教材》、《路基路面施工与养护技术多媒体教材》、《桥涵设计多媒体教材》、《桥涵施工技术多媒体教材》、《现代道路测量仪器与技术多媒体教材》等。

本套教材的出版与修订再版,始终得到了交通部科教司路桥工程学科委员会和全国交通职教路桥专业委员会的指导与支持,凝聚了交通行业专家、教师群体的智慧和辛勤劳动。愿我们共同向精品教材的目标持续努力。

向所有关心、支持本套教材编写出版的各级领导、专家、教师、同学和朋友们致以敬意和谢意。

全国交通土建高职高专规划教材编审委员会

人民交通出版社

2008年5月

第三版前言

本书是在孔七一主编、张金喜主审的《工程力学》(第二版)的基础上,根据2007年4月在湖南长沙召开的全国交通土建高职高专“十一五”国家级规划教材工作会议精神,按照教育部高等教育“十一五”国家级规划教材编写的指导思想和有关原则进行修订的。

为适应目前高职教育“校企合作,工学结合”的人才培养模式改革和基于工作过程的课程体系开发,结合道路桥梁工程技术等专业的建设与改革,本书进一步突出了知识的实践性和应用性要求,以满足培养交通土建施工、管理、服务第一线的高技能人才的需要。通过学习和任务训练使学生具有一定的力学知识的应用能力,尤其是能将力学分析方法与交通土建类专业的其他相关课程相结合的能力;具备今后在生产第一线运用力学方法分析解决工程中遇到的简单力学问题的能力。

与前两版比较,本教材配套了学生学习用书《工程力学学习指导》。学习指导书增加了学习提要、问题解析、基本练习和课程学习项目,并提供了课程教学计划、课外力学实践活动方案和课程考核评价标准。为了培养学生的自主学习能力,拓展学习的时间和空间,为学生提供了学习参考文献和课程学习网站(湖南交通职业技术学院《工程力学》国家精品课程网站 <http://shifan.hnjtyz.com.cn/gj/gclx>)。

本版教材由孔七一任主编。执笔情况如下:湖南交通职业技术学院孔七一(绪论、第一、二、八章)、青海交通职业技术学院王明义(第三、四章)、山西交通职业技术学院郭秀峰(第六章)、湖南交通职业技术学院邓林(第五、七、十二章)、河北交通职业技术学院史彬茹(第九章、阅读材料)、湖南交通职业技术学院吴俊(第十、十一章)。

本书由北京交通大学金明教授、北京工业大学张金喜教授任主审。两位教授对本教材提出了很多宝贵意见,在此深表感谢。山东交通职业学院王爱兰、云南交通职业技术学院于书凤、四川交通职业技术学院宋林锦、江西交通职业技术学院刘文灵、湖北交通职业技术学院叶文海、提出了很好的修改建议,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,难免出现错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编者
2008年5月

第二版前言

本书是在孔七一主编、王晓农主审的第一版的基础上,根据2004年8月人民交通出版社交通土建高职高专统编教材编审委员会新疆会议精神进行修订的,适用于道路桥梁工程、工程监理等专业。

本书与第一版比较,删去了弹性变形体静力学分析基本知识及动应力计算;将梁的应力及强度计算、应力状态和强度理论两章,精简合并为一章——梁的应力与强度理论;将力学在工程中的应用示例作为阅读材料,供学生课后自学;大作业供教师选用。其余章节作了部分修订和改写。大部分习题增加了答案,可供查对。

本次修订工作由湖南交通职业技术学院担任,孔七一任主编,执笔的有孔七一(绪论、第一、二、三章)、舒世明(第四、五、六章)、曹建民(第七、八、十二章)、吴俊(第十、十一章)、谢海涛(第九章、阅读材料)。参与习题解答的有张艳芹(第一、二、三、十章)、舒世明(第四、五、六章)、杨杰(第七章)、吴俊(第八章)、邹宇峰(第九章)、周益民(第十一章)、邓林(第十二章)。

本书第二版由北京工业大学张金喜教授(留日博士)担任主审,张教授对第二版原稿提出了很多宝贵意见,在此深表感谢。青海交通职业技术学院郭量、湖南交通职业技术学院曹孟晖、山西交通职业技术学院郭秀峰、甘肃交通职业技术学院张宁峰、浙江交通职业技术学院虞文锦提出了不少中肯的建议,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平时间所限,书中一定存在许多不当之处,恳望同行和读者指正。

编者

2005年4月

第一版前言

本书是根据2001年7月在昆明召开的“交通高职院校路桥专业教材工作联络组会议”的精神,并获得路桥工程学科委员会的认可而编写的。

《工程力学》是路桥专业一门重要的技术基础课。本书根据高等职业教育的培养目标和培养计划,结合编者多年的教学和教改实践,汲取了兄弟院校教材的宝贵经验。在编写过程中力求体现以应用为目的,基础理论以“必须”、“够用”为度,注重理论在工程实际中的应用。在静力学部分没有按力系的类型分章,而是突出了平面力系平衡方程的应用,并增加了单跨梁的反力求法一节。对空间力系只作简单介绍。材料力学部分按杆件的基本变形分章,各章又按内力、应力与强度、变形与刚度的顺序编排,突出了应力和强度计算。对压杆稳定、动应力及疲劳强度等问题只作简单介绍,要求学生压杆失稳和动荷载引起的后果有足够的认识。同时,为了体现高等职业教育的教学要求,使教材更具有针对性和实用性,增加了力学在工程中的应用示例一章和大作业,供教学选用,以培养学生分析工程实际问题解决问题的能力。

本书总课时为90学时左右,各院校可根据实际情况进行取舍。

本书由湖南交通职业技术学院孔七一主编,南京交通职业技术学院王晓农主审,参加本书编写工作的有:湖南交通职业技术学院孔七一(绪论、第1、2、3、6、14、15、16章二、四节、大作业),青海交通职业技术学院郭量(第4、5、10、13、16章一、三节),青海交通职业技术学院王先(第7、8、9、11、12章)。

在本书的编写过程中,南京交通职业技术学院陆春其、刘静予,烟台师范学院交通学院李仕东,湖南交通职业技术学院曹孟晖提出了宝贵的意见和建议,并得到了湖南交通职业技术学院教务处、科研处的大力支持。对此,编者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,编写时间仓促,书中难免会有不妥之处,敬请同行和读者批评指正。

编者
2002年4月

目 录

绪论	1
第一章 静力学基本知识	4
第一节 基本概念	4
第二节 静力学基本公理	5
第三节 力矩	7
第四节 力偶	8
第五节 力的平移定理	10
第六节 约束和约束反力	10
第七节 受力图	13
小结	15
思考题	17
第二章 平面力系的合成与平衡	18
第一节 平面汇交力系的合成与平衡	19
第二节 平面力偶系的合成与平衡	22
第三节 平面任意力系的简化	24
第四节 平面任意力系的平衡条件及其应用	26
第五节 单跨梁的反力求法	36
小结	42
第三章 空间力系与重心	44
第一节 力在空间直角坐标轴上的投影	44
第二节 力对轴的矩	45
第三节 空间力系的平衡方程	47
第四节 物体的重心	48
小结	52
思考题	53
第四章 轴向拉伸与压缩	54
第一节 轴向拉(压)杆的内力与轴力图	54
第二节 轴向拉(压)杆横截面上的正应力	57
第三节 轴向拉(压)杆的强度计算	61
第四节 轴向拉(压)杆的变形计算	64
第五节 材料在拉伸和压缩时的力学性能	67
小结	73
思考题	74

第五章 连接的实用计算	75
第一节 概述	75
第二节 剪切和挤压的实用计算	76
第三节 剪切虎克定律与剪应力互等定理	79
小结	80
思考题	81
第六章 扭转	82
第一节 扭转的概念	82
第二节 扭转时的内力——扭矩	83
第三节 扭转强度计算	85
第四节 圆轴扭转变形和刚度计算	89
第五节 矩形截面杆扭转时的应力简介	91
小结	92
思考题	93
第七章 截面的几何性质	95
第一节 静矩和形心	95
第二节 惯性矩、极惯性矩和惯性积	97
第三节 惯性矩的平行移轴公式	101
第四节 转轴定理、主惯性轴和主惯性矩	104
小结	104
思考题	105
第八章 梁的内力	107
第一节 概述	107
第二节 剪力图和弯矩图	111
第三节 剪力、弯矩与荷载集度间的关系	115
第四节 叠加法作弯矩图	119
小结	121
思考题	122
第九章 梁的应力及强度计算	124
第一节 纯弯曲梁横截面上的正应力	124
第二节 梁的正应力强度条件	128
第三节 梁的剪应力强度条件	132
第四节 提高梁弯曲强度的措施	136
第五节 梁的主应力与强度理论	138
小结	142
思考题	144
第十章 梁的变形	147
第一节 弯曲变形的概念	147
第二节 梁的变形计算	149
第三节 梁的刚度计算	153

小结	155
思考题	156
第十一章 组合变形	157
第一节 斜弯曲	157
第二节 偏心压缩	161
小结	166
思考题	167
第十二章 压杆稳定	168
第一节 压杆稳定的概念	168
第二节 临界力的欧拉公式	169
第三节 压杆的稳定计算	171
小结	175
思考题	176
第十三章 力学在工程中的应用示例	177
阅读材料一 钢筋混凝土梁受力分析	177
阅读材料二 焊接的实用计算	180
阅读材料三 挡土墙受力分析	182
阅读材料四 路基稳定性分析	184
大作业	190
大作业一 截面图形的几何性质	190
大作业二 弯曲内力	191
大作业三 梁的强度和刚度计算	194
附录 型钢规格表	196
附:教学参考建议	209
参考文献	211

绪 论

在道路、桥梁工程中,有大量的建筑物如桥梁、涵洞、房屋、水工结构物,都是由构件(梁、桁架、拱、墙、柱、基础等)所组成。这些构件在建筑物中互相支承、互相约束,直接地或间接地,单独地或协同地承受各种荷载作用,构成了一个结构整体——建筑结构。建筑结构是建筑物的骨架,是建筑物赖以存在的物质基础,它的质量好坏,对于建筑物的适用、安全和使用寿命等具有决定性的作用。

工程力学(engineering mechanics)是为建筑结构提供受力分析方法和计算理论依据的一门科学,是道路、桥梁及土建类各专业的一门重要的技术基础课。

一、工程力学的研究对象与力学模型

工程中各种各样的建筑物都是由称为结构(structure)的若干构件按照一定的规律组合而成的,它们就是工程力学的研究对象。

工程力学的研究对象往往比较复杂,在对其进行力学分析时,首先必须根据研究问题的性质,抓住其主要特征,忽略一些次要因素,对其进行合理的简化,科学地抽象出力学模型。

固态物体(固体)在力的作用下都将发生变形,但在大多数工程问题中这种变形是极其微小的。在研究物体的平衡问题时,将它略去不计,而认为物体不发生变形,不会影响计算结果的精确性。这种在力的作用下形状、大小保持不变的物体称为刚体(rigid body),它是一种理想的力学模型。

当分析强度、刚度和稳定性问题时,由于这些问题都与变形密切相关,因而即使是极其微小的变形也必须加以考虑,这时就必须把物体抽象为变形固体(deformation solid)这一理想的力学模型。

实验证明,变形固体加载时将产生变形,卸载后,具有恢复原形的性质,称为弹性。卸载后消失的那一部分变形,称为弹性变形。当外载超过某极限值时,卸载后消除一部分弹性变形外,还将存在一部分未消失的变形,称为塑性变形。为了使问题的研究得到简化,通常对变形固体作如下假设:

1. 连续均匀性(homogeneous)假设 假设变形固体内毫无间隙地充满了物质,而且各处的力学性能都相同。

2. 各向同性(isotropic)假设 假设变形固体在各个方向上具有相同的力学性质。

上述假设,其本符合大多数工程材料(如钢、铜、铸铁、玻璃等)的实际情况。但也有一些材料,如轧制钢材、木材等,其力学性质有方向性,称为各向异性材料。根据以上假设建立的理论,用于各向异性材料时,只能得到近似的结论,但也可满足工程上所要求的精度。

二、工程力学的基本任务与研究方法

工程力学的基本任务有两个:其一是对处于平衡状态的物体进行静力分析。物体在空间的位置随时间的改变,称为机械运动,例如车辆的行驶、机器的运转等。若物体相对于地球静止或做匀速直线运动,则称物体处于平衡状态。物体处于平衡状态时,作用于物体上所有的力必须满足一定的条件。根据这种平衡条件,可以由作用于物体上的已知力求出未知的力,这一过程称为静力分析。

其二是研究构件的强度、刚度和稳定性。工程结构和构件受力作用而丧失正常功能的现象,称为失效(failure)。在工程中,首先要求构件不发生失效而能安全正常工作。其衡量的标准主要有以下三个方面:

- (1) 构件应具有足够的强度(strength),即不发生破坏;
- (2) 构件应具有足够的刚度(rigidity),即发生的变形在工程容许的范围内;
- (3) 构件具有足够的稳定性(stability),即不丧失原来形状下的平衡状态。

工程力学为设计构件提供有关的理论方法和试验技术,合理确定构件的材料和形状尺寸,达到既安全又经济美观的要求。

工程力学主要应用三种研究方法:理论分析、试验分析和计算机分析。理论分析是以基本概念和定理为基础,经过严密的数学演绎推理,得到问题的解答。它是广泛使用的一种方法。构件的强度、刚度和稳定性问题都与所选材料的力学性能有关,因此,试验方法成为了力学研究的重要方法之一。材料的力学性能是材料在力的作用下,抵抗变形和破坏等表现出来的性能,它必须通过材料试验才能测定。另外,对于现有理论还不能解决的某些复杂的工程力学问题,有时也要依靠试验方法得以解决。随着计算机、网络的出现和飞速发展,为数学在力学中的应用提供了方便,使工程力学的计算手段发生了根本性变化。例如大型桥梁和高层建筑的结构计算,利用计算机仅用几小时便可得到全部结果。不仅如此,在理论分析中,可以利用计算机得到难于导出的公式;在试验分析中,计算机可以整理数据、绘制试验曲线,选用最优参数等。计算机分析已成为一种独特的研究方法,其地位将越来越重要。应该指出,上述工程力学的三种研究方法是相辅相成、互为补充、互相促进的。在学习工程力学经典内容的同时,掌握传统的理论分析与试验分析方法是很重要的,因为它是进一步学习工程力学其他内容以及掌握计算机分析方法的基础。

三、杆件变形的基本形式

工程构件的形状是多种多样的,根据几何形状和尺寸的不同,通常分为杆、板(如楼板)、壳(如薄壳)、块体(如水坝)等。杆是最常见的一种工程构件。所谓杆件(bar),是指长度方向的尺寸远大于宽度和厚度方向尺寸的构件,例如,建筑结构中的梁、柱,机械机构中的传动轴等。如图0-1,与杆件长度方向垂直的截面称为横截面(cross section);所有横截面形心的连线称为杆件的轴线(axial line)。

杆件在外力作用下的变形有以下四种基本形式。

1. 轴向拉伸或压缩 在一对大小相等、方向相反、与杆件轴线重合的外力作用下,杆件将发生轴向伸长或缩短(图0-2a、b)。

2. 剪切 在一对大小相等、方向相反、作用线相距很近的横向外力作用下,杆件的横截面将沿外力作用方向发生相对错动(图0-2c)。

3. 扭转 在一对大小相等、转向相反、作用平面与杆轴线垂直的力偶作用下，杆件的任意两横截面将发生相对转动(图 0-2d)。

4. 弯曲 在一对大小相等、转向相反、位于杆件的纵向对称平面内的力偶作用下或受垂直于杆轴线的横向力作用，杆的轴线由直线弯曲成曲线(图 0-2e)。

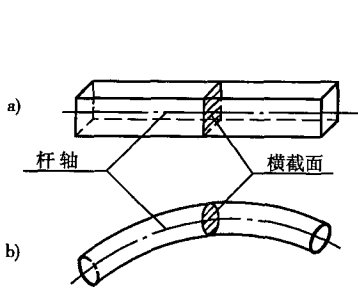


图 0-1

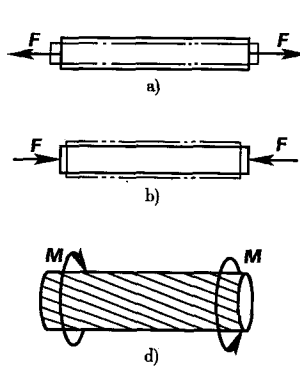


图 0-2

第一章 静力学基本知识

第一节 基本概念

一、力

1. 力(force) 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或引起物体变形。其效应有二:一种是使物体的运动速度大小或运动方向发生变化的效应,称为力的运动效应或外效应;一种是使物体变形的效应,称为力的变形效应或内效应。例如踢球或打铁,由于人对物体施加了力,则使球的速度大小或运动方向发生改变或使铁块产生了变形。

2. 力的三要素 力的大小、方向、作用点称为力的三要素。实践表明,力对物体的作用效果,完全取决于这三个因素,如果改变这三个因素中的任一个因素,都会改变力对物体的作用效果。

力是一个既有大小又有方向的量,即矢量。通常用一个带箭头的线段表示力的三要素。线段的长度(按选定的比例)表示力的大小,线段的方位和箭头表示力的方向,带箭头线段的起点或终点表示力的作用点(图 1-1)。通过力的作用点并沿着力的方位的直线,称为力的作用线。本书中用黑体字如 \mathbf{F} 、 \mathbf{P} 等表示力矢量,用普通字母如 F 、 P 等表示矢量的大小。

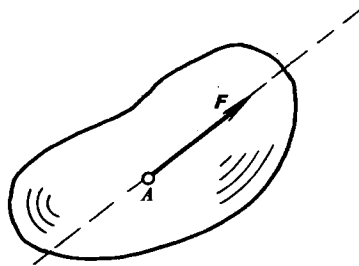


图 1-1

3. 力的单位 本书采用国际单位制,力的国际单位是牛顿(N)或千牛顿(kN)。

二、荷载

主动使物体产生运动或运动趋势的力叫做主动力,如重力、风压力、土压力等。主动作用于结构的外力在工程上统称为荷载(load)。力的作用位置实际上是一块面积,当作用面积相对于物体很小时,可近似地看作一个点。作用于一点的力,称为集中力(concentrated force)或集中荷载。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,都可看作是集中荷载。如果力的作用面积大,就称为分布力(distributed force)或分布荷载。如堆放在路面上的沙石、货物对于路面、路基的压力,建筑物承受的风压,都是分布力的例子。当荷载连续作用于整个物体的体积上时,称为体荷载(如物体的重力);当荷载连续作用于物体的某一表面积上时,称为面荷载(如风、雪、水等对物体的压力);当物体所受的力,是沿着一条线连续分布且相互平行的力系,称为线分布力或线荷载。例如梁的自重,可以简化为沿梁的轴线分布的线荷载,如图 1-2。单位长度上所受的力,称为分布力在该处的荷载集度,通常用 q 表示。线荷载的荷载集度单位是 N/m 或 kN/m ,体荷载的荷载集度单位是 N/m^3 或

kN/m^3 , 面荷载的荷载集度单位是 N/m^2 或 kN/m^2 。如果 q 为一常量, 则该分布力称为均布荷载, 否则就是非均布荷载。

三、力系

作用在同一物体上的一群力称为力系 (force system)。一个较复杂的力系, 总可以用一个和它作用效果相等的简单力系来代替。在不改变作用效果的前提下, 用一个简单力系代替复杂力系的过程称为力系的简化或力系的合成 (composition of force)。对物体作用效果相同的力系, 称为等效力系。如果一个力与一个力系等效, 则此力称为该力系的合力 (resultant force), 而力系中的各个力都是其合力的分力 (component force)。合力对物体的作用效果等效于所有分力的作用效果。使物体保持平衡的力系, 称为平衡力系。要使物体处于平衡状态, 就必须使作用于物体上的力系满足一定的条件, 这些条件叫做力系的平衡条件。物体在各种力系作用下的平衡条件在建筑、路桥工程中有着广泛的应用。

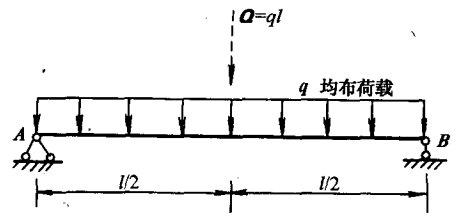


图 1-2

第二节 静力学基本公理

静力分析中的几个基本公理是人类长期经验的积累与总结, 又经实践反复检验, 证明是符合客观实际的普遍规律。它阐述了力的一些基本性质, 是静力学 (statics) 的基础。

【公理一】二力平衡公理

刚体在两个力作用下保持平衡的必要和充分条件是: 此两力大小相等、方向相反、作用在同一条直线上。这个公理说明了刚体在两个力作用下处于平衡状态时应满足的条件 (图 1-3)。

对于只受两个力作用而处于平衡的刚体, 称为二力构件 (图 1-4)。根据二力平衡条件可知: 二力构件不论其形状如何, 所受两个力的作用线必沿二力作用点的连线。若一根直杆只在两点受力作用而处于平衡, 则此两力作用线必与杆的轴线重合, 此杆称为二力杆件 (图 1-5)。

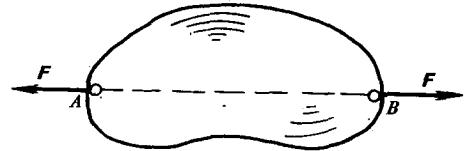


图 1-3

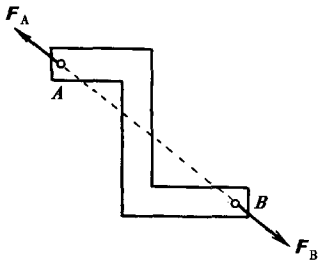


图 1-4

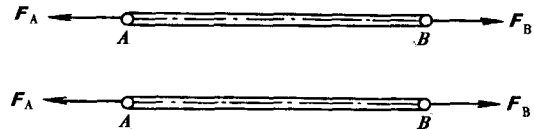


图 1-5

必须指出: 二力平衡公理只适用于刚体, 不适用于变形体。例如, 绳索的两端受到大小相等、方向相反, 沿同一条直线作用的两个压力, 是不能平衡的。

【公理二】加减平衡力系公理

在作用于刚体的力系中, 加上或去掉一个平衡力系, 并不改变原力系对刚体的作用效果。

这是因为一个平衡力系作用在物体上,对物体的运动状态是没有影响的,即新力系与原力系对物体的作用效果相同。

由上述两个公理可以得出一个推论: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果。这个推论称为力的可传性。

证明:(1)设力 F 作用在物体 A 点(图 1-6a)。

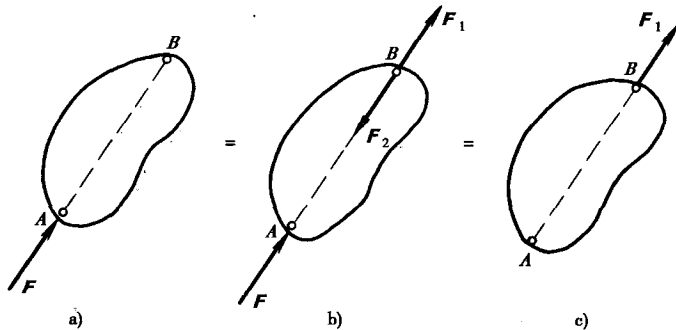


图 1-6

(2)根据加减平衡力系公理,可在力的作用线上任取一点 B ,加上一个平衡力系 F_1 和 F_2 ,并使 $F_1 = F_2 = F$ (图 1-6b)。

(3)由于 F 和 F_2 是一个平衡力系,可以去掉,所以只剩下作用在 B 点的力 F_1 (图 1-6c)。

(4)力 F_1 和原力 F 等效,就相当于把作用在 A 点的力 F 沿其作用线移到 B 点。

由此,力的可传性得到了证明。

力的可传性只适用于刚体而不适用于变形体。因为如果改变变形体受力的作用点,则物体上发生变形的部位也将随之改变,这也就改变了力对物体的作用效果。

【公理三】平行四边形公理

作用于物体上同一点的两个力,可以合成为一个合力,合力的作用点也作用于该点,合力的大小和方向用这两个力为邻边所构成的平行四边形的对角线表示,如图 1-7a)。

力的平行四边形法则是力系合成与分解的基础。这种求合力的方法,称为矢量加法。其矢量式为:

$$R = F_1 + F_2$$

即作用于物体上同一点的两个力的合力,等于这两个力的矢量和。

为了方便,也可由 O 点作矢量 F_1 ,再由 F_1 的末端作矢量 F_2 ,则矢量 OA 即为合力 R (图 1-7b)。这种求合力的方法称为力的三角形法则。

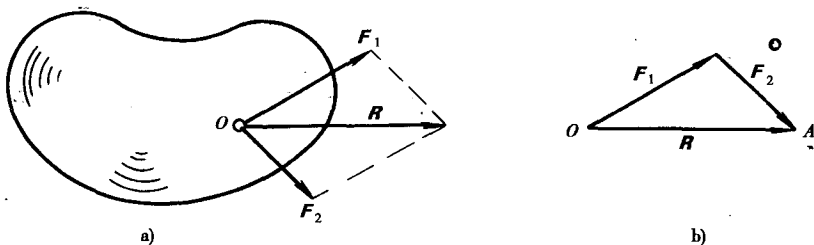


图 1-7

应用上述公理可推导出同平面不平行三力平衡时的汇交定理。

若一刚体受三个共面而互不平行的力作用处于平衡时,则此三力必汇交于一点。

证明:如图 1-8 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,将力移到此两力作用线的交点 O ,并按平行四边形法则合成为一个合力 F_{12} ,这样,刚体就在 F_{12} 和 F_3 作用下处于平衡。由二力平衡公理知, F_{12} 与 F_3 必共线,即力 F_3 必通过 F_1 和 F_2 的交点 O 。定理由此得证。

【公理四】作用与反作用公理

两个物体间的作用力和反作用力总是同时存在,它们大小相等,方向相反,沿同一直线分别作用在两个物体上。

这个公理概括了任何物体间相互作用的关系,不论物体是处于平衡状态还是处于运动状态,也不论物体是刚体还是变形体,该公理都普遍适用。力总是成对出现的,有作用力必有反作用力。

例如地面上有一个物体处于静止状态(图 1-9),物体对地面有一个作用力 N' 作用在地面上,而地面对物体也有一个反作用力 N 作用在物体上,力 N' 和 N 大小相等,方向相反,沿同一条直线分别作用在地面和物体上,是一对作用力和反作用力。物体上作用的两个力 G 和 N 处于平衡,因此力 G 和 N 是一对平衡力。

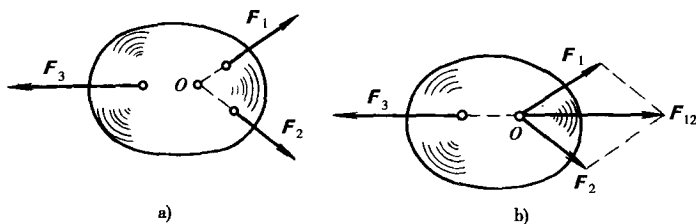


图 1-8

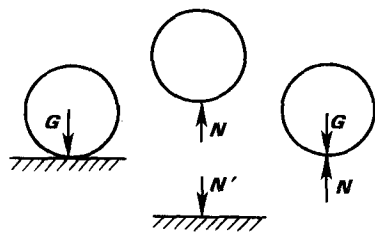


图 1-9

需要强调的是,作用与反作用的关系与二力平衡条件有本质的区别:作用力和反作用力是分别作用在两个不同的物体上;而二力平衡条件中的两个力则是作用在同一个物体上,它们是平衡力。

第三节 力 矩

从生活和实践中知道,力除了能使物体移动外,还能使物体转动。例如用扳手拧螺母时,加力可使扳手和螺母绕螺母轴线转动。如杠杆、定滑轮等简易机械也是力使物体绕一点转动的实例。

力使物体产生转动效应与哪些因素有关呢?例如用扳手拧螺母时(图 1-10),力 F 使扳手绕螺母中心 O 转动的效应,不仅与力 F 的大小成正比,还与螺母中心 O 到该力作用线的垂直距离 d 成正比。此外,扳手的转向可能是逆时针方向,也可能是顺时针方向。因此我们用力的大小与力臂的乘积 Fd ,再加上正负号来表示力 F 使物体绕 O 点转动的效应(图 1-11),称为力 F 对 O 点的矩,用符号 $M_o(F)$ 或 M_o 表示,单位是牛顿·米($N \cdot m$)或千牛·米($kN \cdot m$)。

$$M_o(F) = \pm Fd \quad (1-1)$$

一般规定:使物体产生逆时针转动的力矩为正;反之为负。所以力对一点的力矩为代数量。