

建筑力学

宁艳红 韩淑芳 代洪伟编



北京理工大学出版社



高等职业教育“十三五”规划教材

建筑力学

主 编	宁艳红	韩淑芳	代洪伟		
副主编	王绵坤	富 顺	牛少儒	杜瑞锋	
参 编	李 婕	徐 蓉	飞 虹	张 娜	
主 审	邬 宏	李永光			

内 容 提 要

本书力求体现高职高专院校教学特点,在提炼总结整理理论力学、材料力学、结构力学核心内容的基础上,充分考虑三者之间的内在联系,并结合编者多年的教学经验,将三大力学知识有机地融合成一个整体。全书主要包括绪论、静力学基本概念、平面力系的简化、平面力系的平衡、变形固体的基本知识与杆件变形的基本形式、轴向拉伸与压缩、剪切与挤压、扭转、截面的几何性质、平面弯曲、组合变形、应力状态分析和强度理论、压杆稳定、平面体系的几何组成分析、静定结构的内力分析、静定结构的位移计算、力法、位移法、力矩分配法、影响线及其应用,书后附有热轧型钢常用参数表。

本书可作为高职高专院校土建类相关专业的教材,也可作为工程技术人员工作时的参考用书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

建筑力学 / 宁艳红, 韩淑芳, 代洪伟主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2017.1
(2017.2重印)
ISBN 978-7-5682-3519-8

I. ①建… II. ①宁… ②韩… ③代… III. ①建筑科学—力学—高等学校—教材
IV. ①TU311

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第319924号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(总编室)

(010)82562903(教材售后服务热线)

(010)68948351(其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京紫瑞利印刷有限公司

开 本 / 787毫米×1092毫米 1/16

印 张 / 21

字 数 / 498千字

版 次 / 2017年1月第1版 2017年2月第2次印刷

定 价 / 49.00元

责任编辑 / 江 立

文案编辑 / 瞿义勇

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

前 言

“建筑力学”是建筑类专业中一门非常重要的专业基础课程。其主要培养目标是使学生掌握建筑力学的基础知识，能对建筑结构进行正确的受力分析，能正确分析杆件的强度、刚度、稳定性及变形问题，为解决实际工程问题提供理论依据，通过力学的学习，能够对建筑结构物的构件进行设计，能使所设计的建筑结构物安全、适用、经济。

本书以必需和够用为准则，强化应用为重点，简化了一些理论上的推导和证明，以培养学生的实践能力和动手能力为主，在内容编排上坚持由浅入深，编排顺序符合认知规律，注重基本理论、基本方法的讲解，突出工程上的实用性；在文字上力求做到精简、通俗易懂。本书符合当前高职高专院校对建筑力学课程培养能力要求，以培养实际应用能力为主线，在编写过程中充分吸收高职高专教育教学力学课程改革的成果，结合编者多年的教学经验，将三大力学有机地融为一体。

本书由内蒙古建筑职业技术学院宁艳红、韩淑芳、代洪伟担任主编，广东水利电力职业技术学院王绵坤，内蒙古建筑职业技术学院富顺、牛少儒、杜瑞锋担任副主编，内蒙古建筑职业技术学院李婕、徐蓉、飞虹、张娜参与部分章节的编写工作。具体编写分工如下：李婕编写绪论、第一章；飞虹编写第二章、第三章；徐蓉编写第四章、第八章；张娜编写第五章；王绵坤编写第六章、第七章、第十二章、第十七章；代洪伟编写第九章、第十章；韩淑芳编写第十一章、第十九章；富顺编写第十三章、第十五章；宁艳红编写

第十四章、第十八章第一节；牛少儒编写第十六章；杜瑞锋编写第十八章除第一节以外的内容。全书由内蒙古建筑职业技术学院郭宏和李永光主审。

在本书编写过程中，我们参阅了一些优秀教材的内容，在此向其作者表示衷心的感谢。由于编者水平有限，编写时间仓促，书中难免会有不妥之处，殷切希望广大读者和同行提出宝贵意见及建议。

编 者

目 录

绪论	1	第三节 力矩	12
第一节 建筑力学的研究对象、主要任务、学习意义	1	第四节 力偶	13
一、建筑力学的研究对象	1	第五节 工程中常见的约束及约束反力 ...	15
二、建筑力学的主要任务	2	一、约束及约束反力的概念	15
三、建筑力学的学习意义	3	二、工程中常见的约束及约束反力	16
第二节 建筑力学的学习内容、学习方法	3	三、工程中常见的支座及支座反力	17
一、建筑力学的学习内容	3	第六节 结构的计算简图	19
二、建筑力学的学习方法	4	一、结构计算简图的简化原则	19
第一章 静力学基本概念	5	二、结构计算简图的简化方法	19
第一节 力及静力学基本公理	5	第七节 物体的受力分析	21
一、力的概念、要素与单位	5	一、单个物体的受力分析	22
二、力系的概念	6	二、物体系统的受力分析	23
三、平衡的概念	6	思考与练习	26
四、刚体的概念	6	第二章 平面力系的简化	29
五、静力学公理	7	第一节 力的平移定理	29
第二节 力的投影	10	第二节 力系的简化	30
一、力在平面直角坐标轴上的投影	10	一、简化方法和结果	30
二、合力投影定理	11	二、平面一般力系简化结果的讨论	31
		三、平面一般力系的合力矩定理	32
		思考与练习	34

第三章 平面力系的平衡..... 35

第一节 平面汇交力系的平衡方程及其 应用	35
第二节 平面平行力系的平衡方程及其 应用	37
第三节 力偶系的平衡方程及其应用 ...	38
第四节 一般力系的平衡方程及其应用...	38
一、平面一般力系的平衡条件	38
二、平面一般力系平衡方程的其他形式 ...	39
三、物体系统的平衡	42
第五节 空间力系的平衡方程及其应用...	45
一、空间汇交力系的合成	45
二、空间汇交力系的平衡	45
三、空间力偶系的合成	46
四、空间力偶系的平衡	46
五、空间任意力系的简化	46
六、空间任意力系的平衡	47
思考与练习	48

第四章 变形固体的基本知识与杆件

变形的基本形式..... 51

第一节 变形固体的概念及其基本假设...	51
第二节 杆件变形的的基本形式	52
思考与练习	53

第五章 轴向拉伸与压缩..... 54

第一节 轴向拉（压）杆的内力与内 力图	54
一、内力的概念	54
二、内力的计算法——截面法	55

三、轴向拉压杆的内力	55
------------------	----

第二节 轴向拉（压）杆的应力

一、应力的概念	57
二、轴向受力构件应力计算	58

第三节 拉（压）杆的强度计算

一、许用应力	60
二、强度计算	60

第四节 轴向拉（压）杆的变形及胡克

定律

一、拉压杆的轴向变形	62
二、拉压杆的横向变形	63
三、胡克定律	63

第五节 材料在拉伸和压缩时的力学

性能

一、拉伸时材料的力学性能	65
二、压缩时材料的力学性能	67

第六节 应力集中

思考与练习

第六章 剪切与挤压..... 71

第一节 剪切与挤压的概念

一、剪切的的概念	71
二、挤压的概念	72

第二节 剪切的实用计算

第三节 挤压的实用计算

思考与练习

第七章 扭转..... 77

第一节 扭转的基本概念

第二节 圆轴扭转时横截面上的内力及 内力图	78	第九章 平面弯曲.....	96
第三节 圆轴扭转时横截面上的应力 ...	80	第一节 基本概念	96
一、分析变形规律	80	一、弯曲及平面弯曲的概念	96
二、分析应力的分布规律	80	二、梁的分类	97
三、圆截面二次极矩 I_p 及扭转截面系数 W_p 的计算	81	第二节 梁的内力	97
第四节 圆轴扭转的强度计算	82	一、梁的内力——剪力和弯矩	97
第五节 圆轴扭转时横截面上的变形 ...	83	二、剪力和弯矩的正负号规定	98
第六节 圆轴扭转时横截面上的刚度 计算	83	三、用截面法求指定截面上的剪力和 弯矩	98
思考与练习	85	四、直接用外力计算截面上的剪力和 弯矩	101
第八章 截面的几何性质.....	87	第三节 梁的内力图	102
第一节 静矩	87	一、剪力方程、弯矩方程	102
一、截面的形心位置	87	二、剪力图和弯矩图	103
二、静矩	88	三、剪力、弯矩和荷载集度之间的微 分关系及其应用	105
第二节 惯性矩、惯性积与惯性半径 ...	89	第四节 梁的应力及其强度计算	111
一、惯性矩	89	一、梁横截面上的正应力	111
二、惯性积	90	二、梁的正应力强度条件及计算	114
三、惯性半径	90	第五节 梁的切应力及其强度计算	116
第三节 组合图形的惯性矩	91	一、梁横截面上的切应力	116
一、平行移轴公式	91	二、梁的切应力强度条件及其计算	117
二、组合图形的惯性矩	91	第六节 平面弯曲梁的变形	118
第四节 形心主惯性轴、形心主惯性矩...	93	一、挠曲线近似微分方程	118
一、形心主惯性轴	93	二、积分法计算梁的变形	120
二、形心主惯性矩	93	三、叠加法计算梁的变形	126
思考与练习	94	四、梁的刚度条件	128
		第七节 提高梁承载能力的措施	131
		一、提高梁抗弯强度的措施	131
		二、提高梁刚度的措施	134

思考与练习	135	一、压杆的临界力	175
第十章 组合变形..... 142		二、压杆的临界应力	178
第一节 组合变形概述	142	第三节 压杆的稳定计算	180
第二节 斜弯曲	143	第四节 提高压杆稳定性的措施	181
一、正应力计算	143	一、选择合理的截面形状	181
二、正应力强度条件	144	二、改变压杆的约束条件	181
第三节 偏心压缩与截面核心	146	三、合理选择材料	181
一、单向偏心压缩	147	思考与练习	181
二、双向偏心拉伸（压缩）	147	第十三章 平面体系的几何组成分析... 183	
三、截面核心	150	第一节 几何组成分析的概念	183
思考与练习	150	第二节 平面体系的自由度和约束	184
第十一章 应力状态分析和强度理论... 152		一、自由度	184
第一节 应力状态分析	152	二、约束	184
一、应力状态的概念	152	第三节 几何不变体系的组成规则	186
二、二向应力状态分析——解析法	153	一、三刚片规则	186
三、二向应力状态分析——图解法	157	二、两刚片规则	187
四、平面应力状态的特殊情况	160	三、二元体规则	189
第二节 广义胡克定律	163	四、几何组成分析举例	190
第三节 强度理论	166	第四节 静定结构和超静定结构的概念... 192	
一、强度理论概述	166	一、无多余约束的几何不变体系	192
二、四种强度理论	166	二、有多余约束的几何不变体系	192
思考与练习	170	思考与练习	193
第十二章 压杆稳定..... 173		第十四章 静定结构的内力分析..... 195	
第一节 压杆稳定的概念	173	第一节 平面杆系结构	195
一、工程中的稳定问题	173	第二节 静定梁	197
二、压杆的稳定平衡与不稳定平衡	174	一、单跨静定梁	197
第二节 压杆的临界力、临界应力	175	二、多跨静定梁	199
		第三节 静定平面刚架	203

一、刚架的特点	203	二、位移互等定理	244
二、刚架的分类	204	三、反力互等定理	245
三、刚架的内力分析	204	四、反力位移互等定理	245
第四节 静定平面桁架	210	思考与练习	246
一、概述	210		
二、桁架的内力计算	211		
第五节 静定组合结构的计算	216	第十六章 力法..... 249	
第六节 静定结构的特性	218	第一节 概述	249
思考与练习	219	一、超静定结构的概念	249
		二、超静定次数	249
第十五章 静定结构的位移计算..... 223		第二节 力法的基本原理	250
第一节 概述	223	一、力法的基本结构	250
一、结构位移的概念	223	二、力法的基本未知量	251
二、计算结构位移的目的	224	三、力法的基本方程	251
第二节 虚功及其原理	224	第三节 力法的典型方程及其应用	252
一、虚功	224	一、力法的典型方程	252
二、虚功原理	225	二、力法的应用	254
第三节 结构位移计算的一般公式及其 应用	228	第四节 对称性的利用	255
一、结构位移计算的一般公式	228	第五节 超静定结构在温度变化、支座 移动情况下的计算	258
二、静定结构在荷载作用下的位移计算 ...	230	一、超静定结构在温度变化时温度内力 的计算	258
第四节 图乘法	234	二、超静定结构在支座移动时自应力的 计算	260
一、图乘法的计算公式	234	第六节 超静定结构的特性	261
二、图乘法的应用	235	思考与练习	261
第五节 静定结构在温度变化、支座移 动时引起的位移计算	240		
一、静定结构在温度变化时的位移计算 ...	240	第十七章 位移法..... 263	
二、静定结构在支座移动时的位移计算 ...	242	第一节 位移法的基本概念、未知量和 原理	263
第六节 线弹性体系的互等定理	243	一、位移法的基本概念	263
一、功的互等定理	243		

二、位移法的基本未知量	263	第十九章 影响线及其应用..... 289
三、位移法的原理	264	第一节 影响线的基本概念
第二节 位移法的基本未知量和基本		第二节 静力法作静定梁的影响线
结构	265	一、简支梁的影响线
一、位移法的基本未知量	265	二、外伸梁的影响线
二、位移法的基本结构	267	三、多跨静定梁的影响线
第三节 等截面直杆的转角位移方程 ... 267		四、影响线与内力图的比较
一、杆端力、杆端位移的有关规定	267	第三节 机动法作静定梁的影响线
二、公式推导	268	一、机动法作简支梁的影响线
第四节 位移法的典型方程及其应用 ... 273		二、机动法作静定多跨梁的影响线
第五节 位移法方程的建立及其应用 ... 278		第四节 影响线的应用
思考与练习	279	一、计算影响量值
第十八章 力矩分配法..... 281		二、求荷载的最不利位置
第一节 力矩分配法的基本概念	281	第五节 简支梁的内力包络图
一、结点外力偶作用时力矩分配法的		第六节 连续梁的内力包络图
基本原理	281	思考与练习
二、非结点荷载作用下力矩分配法的		附录 热轧型钢常用参数表
基本原理	283	参考文献
第二节 力矩分配法计算示例	284	
思考与练习	287	

绪 论

● 学习目标

- (1)掌握结构和构件的概念。
- (2)掌握构件强度、刚度、稳定性的概念。
- (3)掌握建筑力学的主要研究对象。

● 技能目标

- (1)能正确认识建筑力学的研究对象。
- (2)能明确建筑力学的主要任务。
- (3)能了解建筑力学的学习内容和学习方法。

第一节 建筑力学的研究对象、主要任务、学习意义

一、建筑力学的研究对象

建筑力学主要研究建筑工程结构的力学性能。建筑工程结构中的各类建筑物，都是由许多构件组合而成的。在建造之前，都要由设计人员对组成它们的构件进行受力分析，对构件材料的选择、尺寸大小、排列位置等都通过计算来确定。

建筑物在建造和使用过程中都会受到各种外部作用，可能出现的外部作用包括荷载作用(恒载、活载、风载、水压力、土压力等)、变形作用(地基不均沉降、材料胀缩变形、温度变化引起的变形、地震引起的地面变形等)、环境作用(阳光、风化、环境污染引起的腐蚀、火灾等)。在建筑物中，承受并传递外部作用的骨架部分称为结构。建筑结构中的每一个基本组成部分称为构件。实际工程中，结构一般都是由多个构件通过各种方式连接起来所组成的。例如，板、梁、柱等构件组成了常见的混凝土或钢框架结构，如图 0-1 所示；屋面板、屋架、柱、基础等构件组成了单层厂房排架结构，如图 0-2 所示。

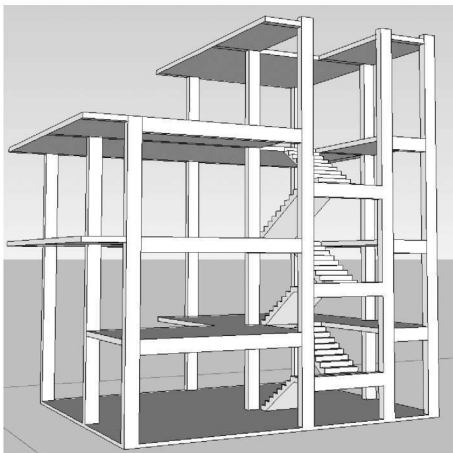


图 0-1 混凝土或钢框架结构

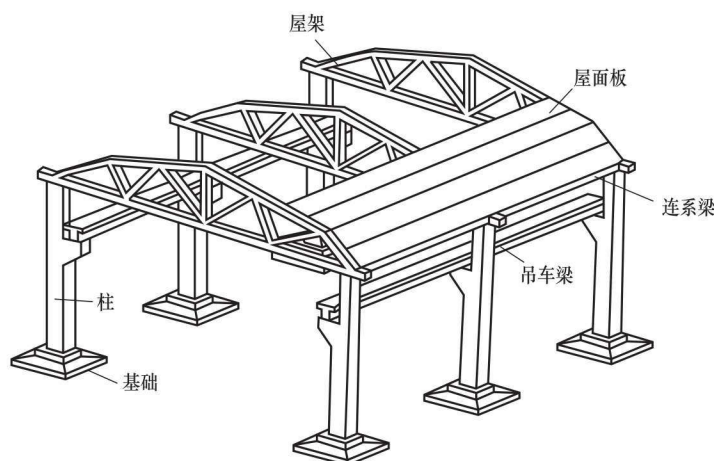


图 0-2 单层厂房排架结构

建筑结构中，构件是组成结构的基本部件，构件的形状多种多样，按照几何特征，构件可分为杆件、板、壳和实体，如图 0-3 所示。杆件的几何特征为长条形，长度远大于其他两个方向的尺寸(5 倍以上)。板壳的厚度远小于其他两个尺寸(长度和宽度)，板的几何特征为平面形，壳的几何特征为曲面形，实体的几何特征为块状，长、宽、高三个尺度大体相近，内部大多为实体。

按照组成结构构件的形状和几何尺寸，结构可分为杆系结构、薄壁结构和实体结构三类。全部构件均由杆件组成的建筑结构称为杆系结构，如由梁、柱等主要构件组成的混凝土或钢框架结构；薄壁结构如楼板、薄壳屋面等；实体结构如挡土墙、水坝、承台基础等。

建筑力学的研究对象主要是杆件及杆系结构。

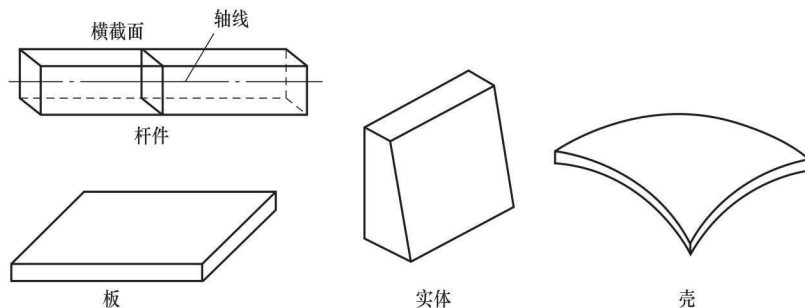


图 0-3 各类构件

二、建筑力学的主要任务

结构的主要作用就是承受荷载和传递荷载。承受和传递荷载就会使结构产生变形，并存在发生破坏的可能性。结构和构件本身应具有一定的维持平衡、抵抗变形和破坏的能力，才能保证结构和构件的安全和正常使用的基础。

工程中，把结构或构件抵抗破坏的能力称为结构的强度，抵抗变形的能力称为结构的刚度，把细而长的压杆保持原有平衡状态的能力称为稳定性。结构或构件维持平衡的能力、

强度以及压杆的稳定性都称为结构的承载能力。结构或构件的刚度是保证结构能够正常使用的基础。

在结构设计时,如果把构件的截面设计得过小,构件会因强度或稳定性不足使结构丧失承载力,或者因刚度较弱,使构件产生过大变形而丧失正常使用的能力;反之,构件截面设计得过大,经济性不好,会造成人力、物力和财力上的浪费。《建筑力学》的任务就是为解决安全和经济这一矛盾提供必要的理论基础和计算方法,研究和分析作用在结构或构件上的力与平衡的关系,结构或构件的内力、应力、变形的计算方法以及构件的强度、刚度和稳定性的力学分析问题。

三、建筑力学的学习意义

建筑力学是一门专业基础课程,它为建筑工程结构的设计及施工现场大量的受力问题提供基本的力学知识和实用的计算方法,为进一步学习相关专业课程打下必要的基础。

建筑工程结构设计人员的主要任务是将建筑物或构筑物的设计图建造成实物,因此,设计人员应该懂得所建造的建筑物或构筑物中各种构件的作用,知道它们受到哪些力的作用、力的传递路径,以及各构件在这些力的作用下发生怎样的变形或破坏等。

当然,作为建筑业生产一线的技术、质量、现场施工人员只有具备一定的建筑力学知识,才能正确理解设计图纸的意图与要求,科学地组织施工,制定出合理的安全和质量保证措施。

另外,在施工现场,有许多临时设施和机具,修建或安装这些临时设施,施工技术人员需要进行一些简单的计算;对一些重要的结构构件施工时,为了保证构件的形状、尺寸、位置的正确性,需要对安装的模板及支架系统进行设计或验算。这些工作都是由现场施工技术人员来完成的,建筑力学的相关知识能帮助人们合理、经济地完成设计任务,确保建筑施工的正常运行。

所以,建筑力学是建筑工程专业设计技术人员和施工技术人员必不可少的专业基础知识,只有学习好、掌握好建筑力学的知识,才能进一步深入学习和掌握建筑工程专业的其他专业技术知识。

第二节 建筑力学的学习内容、学习方法

一、建筑力学的学习内容

建筑力学的学习内容包括以下三大部分:

(1)第一部分——理论力学。主要讨论力系的简化、平衡及对杆件(或结构)进行受力分析的基本理论和方法。

(2)第二部分——材料力学。主要讨论杆件以及杆件的材料在外力作用下其本身的力学性质,并研究它们的内力与变形的计算以及强度、刚度和稳定的校核等问题。

(3)第三部分——结构力学。主要讨论杆件体系的几何组成规律及其内力和位移的问题。

二、建筑力学的学习方法

本课程是建筑类相关职业岗位群所必需的知识和技能，有较强的理论性和实用性。学习时应注意以下三点：

(1)基本原理的理解和应用。掌握建筑力学的基本原理以及分析问题的方法和思路，切忌死记硬背；在学习中，随时思考这些理论知识可以解决建筑工程中的什么问题，带着问题学，最终达到学以致用目的。

(2)完成一定数量的练习题。要想学好建筑力学，必须多做练习，做练习是低成本却最有效的实践。只有做一定数量的练习题才能理解和领悟力学的奥秘。

(3)及时改错并总结。对做题中出现的错误应认真分析，找出原因，及时纠正，总结学习力学的方法，提高力学素养。

第一章 静力学基本概念

◎学习目标

- (1)掌握静力学的公理和推论。
- (2)掌握力矩、力偶的概念及基本性质。
- (3)掌握常见约束的种类及确定约束反力的方法。
- (4)掌握结构计算简图的选取原则及简化方法。
- (5)掌握绘制物体受力图的方法及步骤。

◎技能目标

- (1)具有应用静力学基本公理分析力学简单问题的能力。
- (2)能够正确判定力和力偶的不同性质及作用效果。
- (3)能正确分析工程结构中的约束反力。
- (4)能够对工程中的建筑结构进行简化并正确绘制计算简图。
- (5)能正确绘制单个物体及物体系统的受力图。

第一节 力及静力学基本公理

一、力的概念、要素与单位

(一)力的概念

力是物体之间相互的机械作用，这种作用的效果会使物体的运动状态发生变化(外效应)、使物体发生变形(内效应)。既然力是物体与物体之间的相互作用，因此，力不可能脱离物体而单独存在，有受力物体就必定有施力物体。

物体相互之间的机械作用形式多种多样，力的作用形式一般有两种情况：一种是两物体相互接触时，它们之间产生的相互作用力；另一种是地球对物体产生的吸引力，也就是物体的重力。

(二)力的要素

力对物体的效应取决于三个要素。

1. 力的大小

力的大小表明物体之间相互作用的强弱程度。

2. 力的方向

力不但有大小，而且还有方向。力的方向包括力的作用线在空间的方位以及力的指向。

3. 力的作用点

力的作用点表示力对物体的作用位置。力的作用位置实际上是有一定范围的，只是当作用范围与物体相比很小时，可近似地看作是一个点，一般情况下，这个点都是指物体在接触处的几何中心。

在描述一个力时，必须全面表明这个力的三要素。在力的三要素中，任一要素的改变都会对物体产生不同的效果。

力是矢量，是既有大小又有方向的量。通常，力可以用一个带箭头的线段来表示，如图 1-1 所示。线段的长度表示力的大小；线段与某参照直线(通常为 x 轴)的夹角表示力的方位角，箭头表示力的指向；带箭头线段的起点和终点都可以是力的作用点。当用图解法根据已知力求解未知力时，必须如实地在图中反映已知力的方向和大小。在图 1-1 中，按比例可以量得力 F 的大小是 20 kN，与水平线成 45° 角，指向右上方且作用在物体的 A 点上。

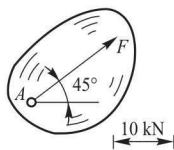


图 1-1 力

力矢量常用黑体字表示，如 $\mathbf{F}$ 、 $\mathbf{Q}$ 等。而 F 只表示力矢量的大小，例如，图 1-1 中力 $\mathbf{F}$ 的大小就写作 $F=20\text{ kN}$ 。

(三)力的单位

在国际单位制中，力的单位是牛顿(N)或千牛顿(kN)，两种单位制的换算关系是： $1\text{ kN}=1\,000\text{ N}$ 。

二、力系的概念

同时作用于同一个物体上的一群力或多个力叫作一个力系。建筑工程中的任何一个构件都承受着力系的作用。没有哪个物体能只受一个力的作用而相对静止。

三、平衡的概念

力学中的平衡是指物体相对于地面保持静止或做匀速直线运动的状态，如桥梁、房屋以及被吊起而做匀速直线运动的重物等，都处于平衡状态。

物体平衡时，作用于其上的各力所必须满足的条件称为力系的平衡条件。

在工程实际中，力系的平衡条件具有十分重要的意义。在设计工程结构及构件时，需要先分析构件的受力情况，再应用平衡条件计算其所受到的未知力，最后按照材料的性能确定几何尺寸或选择适当的材料品种等。因此，力系的平衡条件是设计结构及构件时进行静力计算的基础。由此可知，在建筑工程实际中，建筑力学具有广泛的应用，它所涉及的力系大多是平衡力系。

满足平衡条件的力系称为平衡力系，或者说，能使物体处于平衡状态的力系就可以叫作平衡力系。

四、刚体的概念

在分析计算物体的平衡问题时，人们总是忽略该物体在受力后发生的微小变形，即认