



复旦卓越

普通高等教育21世纪规划教材

建筑类

建筑力学

李孝军 主编

复旦卓越·普通高等教育 21 世纪规划教材·建筑类

建筑力学

主 编	李孝军		
主 审	邢佑为		
副主编	张谊平	丁晓铃	陈德泉
编 委	孔静静	王光炎	神滕波
	魏传志	郑贵超	唐湘梅

复旦大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

建筑力学/李孝军主编. —上海:复旦大学出版社,2011.1

(复旦卓越·普通高等教育21世纪规划教材·建筑类)

ISBN 978-7-309-07830-5

I. 建… II. 李… III. 建筑力学-高等学校-教材 IV. TU311

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第263919号

建筑力学

李孝军 主编

出品人/贺圣遂 责任编辑/张志军

复旦大学出版社有限公司出版发行

上海市国权路579号 邮编:200433

网址:fupnet@fudanpress.com <http://www.fudanpress.com>

门市零售:86-21-65642857 团体订购:86-21-65118853

外埠邮购:86-21-65109143

浙江省临安市曙光印务有限公司

开本 787×1092 1/16 印张 16.75 字数 358 千

2011年1月第1版第1次印刷

ISBN 978-7-309-07830-5/T·401

定价:31.00元

如有印装质量问题,请向复旦大学出版社有限公司发行部调换。

版权所有 侵权必究

内 容 简 介

本书从高职培养目标和学生的实际出发,以“必需够用”为度,以应用为目的,尝试多方面知识的融会贯通,注重知识层次的递进,克服理论力学、材料力学、结构力学3门课程浓缩叠加、跨度大的缺陷;重点讲授常用杆件及结构的受力分析方法、结构的内力计算及内力图的绘制方法、截面应力计算、杆件强度刚度稳定性计算方法及超静定结构计算等8个模块,且均备有综合训练项目,便于教师使用螺旋渐近、行动导向等教学法,更易于学生对理论知识的理解和专业技能的掌握;使学生具有对一般结构进行受力分析、内力分析和绘制内力图的能力,具有测试强度指标和构件应力的初步能力,具有对构件进行强度、刚度和稳定性计算的能力,具有正确选用各种常用结构材料的能力,具有在施工中分析有关结构受力问题的一般能力。本书可作为高职、高专院校土建类专业的建筑力学教材,也可作为土建工程技术人员培训用书。

前 言

建筑类专业学生的就业岗位一般是建筑业生产第一线的技术、质量、现场施工管理人员,而这些岗位都要求具备一定的建筑力学知识,才能理解设计图纸的意图与要求,正确识读结构施工图,保证工程质量,避免事故发生;另外在施工现场,许多临时设施是需要施工技术人员应用力学知识进行设计的。建筑力学一直是建筑类专业不可或缺的专业基础课程,通过本课程的学习使学生掌握对一般构件及结构的强度、刚度、稳定性的计算能力,了解材料的主要力学性能,并具有测试材料强度指标的能力;同时,对于建筑专业学生在完善知识结构、提高专业综合应用能力、增强岗位能力等方面起到十分重要的“承前启后”作用。

本教材按照一线人才的“必须够用、易学实用”要求,利用工程实际结构,由浅及深展示教学内容,打破了传统教材知识框架的封闭性,克服了建筑力学由理论力学、材料力学、结构力学3门课程浓缩叠加的缺陷,尝试多方面知识的融会贯通;注重知识层次的递进,同时加强理论与实践的结合,使教材更易于学生对理论知识的理解和专业技能的掌握;基于就业岗位能力和发展能力教学目标要求整合教学内容,将教学内容模块化,并设置基本能力专项训练,便于采用行动教学法,注重基础性、实用性、科学性和先进性;突出针对性、适用性,内容简明扼要、通俗易懂、图文配合紧密,使教学体系完善、教学内容精简优化,符合高等职业教育和专业建设发展的新要求,力求体现高职、高专教学改革的特点。本书编写有以下特点。

(一) 依据岗位职业能力需求,准确定位课程目标

依据岗位能力需求,按照“必须够用、易学实用”的原则重构教学目标和内容,难易梯度适中,知识、能力并重,符合认识规律,开拓学生潜能,体现力学为工程结构、施工服务的思想。

(二) 以常见结构为载体,解决主要问题

利用工程实际结构,由浅及深展示教学内容,使教学体系完善、教学内容精简优化,符合高等职业教育和专业建设发展的新要求。



（三）采用模块化教学，突出能力培养

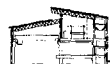
整个课程由 8 个模块构成，每一模块又由若干个学习任务组成，以学生为中心，以能力为核心，充分体现以能力为本位的现代教育思想和观念。对不同专业的不同需求，不仅能量体裁衣、各取所需，又能灵活组织教学。

由于编者水平有限，书中难免不妥之处，恳请广大读者提出宝贵意见。本书配有课件，如需要请与责任编辑联系 (Email: zzjlucky@yeah.net)。

编 者
2010 年 10 月

主要符号表

A_S	剪切面面积
A_{bs}	挤压面面积
l, L	长度, 跨度
f	矢高, 挠度
E	弹性模量, 杨氏模量
$F, \bar{F}$	力、广义力
$F_N, \overline{F_N}$	轴力、单位载荷引起的轴力
$F_P, F_{cr}, [F_{cr}]$	集中载荷、临界荷载、许用临界荷载
$F_S, \overline{F_S}$	剪力、单位载荷引起的剪力
F_R, F'_R	合力、主矢
$F_u, [F_u]$	极限载荷、许用极限荷载
F_x, F_y, F_z	力在 x, y, z 方向的分量
G	剪切弹性模量
I	惯性矩
I_p	极惯性矩
I_{xy}	惯性积
i	惯性半径
S	静矩(一次矩)、转动刚度
$M, \bar{M}$	弯矩、单位载荷引起的弯矩(内力)
m	外力偶矩
T	扭矩、周期、摄氏温度
n_s	对应于塑性材料 σ_s 的安全因数
n_b	对应于脆性材料 σ_b 的安全因数
n_{st}	稳定安全因数
q	分布载荷集度
W_z	抗弯截面系数
W_p	抗扭截面系数



α, θ, φ	倾角\转角、线膨胀系数
γ	切应变
ε	线应变
$W \setminus y$	竖向位移
λ	柔度、长细比,压杆轴向位移
μ	摩擦系数、长度因数、分配系数
ν	泊松比
ρ	曲率半径,材料密度
σ	正应力
σ_t	拉应力
σ_c	压应力
σ_b	极限强度
σ_{bs}	挤压应力
σ_e	弹性极限
σ_p	比例极限
$\sigma_{0.2}$	名义屈服应力
σ_s	屈服应力
$[\sigma]$	许用应力
$[\sigma_t]$	许用拉应力
$[\sigma_c]$	许用压应力
$[\sigma_{bs}]$	许用挤压应力
$\sigma_{cr}, [\sigma_{cr}]$	临界应力、许用临界应力
τ	切应力
τ_u	极限切应力
$[\tau]$	许用切应力
δ	单位位移

目 录

0 绪论	1	模块三:内力与内力图的绘制	56
0.1 建筑力学的研究对象	1	3.1 概述	56
0.2 建筑力学的内容及任务	3	任务 3.2 计算杆件的内力	59
0.3 学习建筑力学的意义及其 学习方法	4	任务 3.3 绘制梁的内力图——弯矩图、 剪力图	70
模块一:结构计算简图及组成分析	5	任务 3.4 静定结构的内力分析	79
任务 1.1 荷载简化与约束反力 (方向)确定	5	3.5 综合训练三	95
任务 1.2 掌握静力学公理及应用	11	模块四:杆件截面应力及变形计算	99
任务 1.3 结构构件的计算简图 绘制	15	任务 4.1 掌握应力与应变概念	99
任务 1.4 结构构件的受力分析	19	任务 4.2 掌握拉(压)杆的应力与 变形	101
任务 1.5 平面结构体系的几何组成 分析	23	任务 4.3 掌握常见工程材料拉伸与 压缩力学性能	103
1.6 综合训练一	30	任务 4.4 掌握等直圆轴的应力与变形 概念	109
模块二:力系的简化与平衡	32	任务 4.5 梁弯曲应力计算	114
2.1 概述	32	任务 4.6 剪切应力计算	125
任务 2.2 利用平面汇交力系的平衡 求解未知力	33	任务 4.7 组合变形的应力计算	128
任务 2.3 力矩与平面力偶系的简化 与计算	38	任务 4.8 了解平面应力状态	134
任务 2.4 平面一般力系的简化与 计算	43	4.9 综合训练四	142
2.5 综合训练二	52	模块五:杆件的强度设计准则及应用	146
		任务 5.1 杆件单向应力状态下强度 计算	146
		任务 5.2 强度理论及选用	159
		5.3 综合训练五	165

模块六:静定结构的位移计算及刚度

校核	168
6.1 概述	168
任务 6.2 梁的位移及刚度校核 ...	169
任务 6.3 了解虚功原理和单位荷载法	176
任务 6.4 静定桁架结构的位移计算	179
任务 6.5 梁和刚架的位移计算 ...	181
任务 6.6 了解互等定理	187
6.7 综合训练六	189

模块七:压杆稳定性

7.1 压杆失稳现象	192
任务 7.2 欧拉公式及适用范围 ...	193
任务 7.3 中长杆的临界力计算 ...	197
任务 7.4 压杆稳定工程实际应用	199

7.5 综合训练七

模块八:超静定结构的内力计算

任务 8.1 超静定次数的确定	204
任务 8.2 用力法求解超静定结构	207
任务 8.3 用位移法求解超静定结构	216
任务 8.4 力矩分配法	225
8.5 综合训练八	235

附录一:试验

试验一 轴向拉伸试验	241
试验二 轴向压缩试验	244

附录二:型钢规格表

参考文献

0 绪 论

知识点和教学要求

- (1) 了解结构、构件、荷载、平衡、承载力的概念；
- (2) 初步了解建筑力学的学习目的、内容和任务及学习方法。

一个庞大的建筑物,在建造之前,设计人员将对它的所有构件都需一一进行受力分析,如图 0-1 所示,对构件的尺寸大小、所用的材料、排列的位置都要通过结构计算来确定,这样才能保证建筑物的牢固和安全。这种繁复而又细致的计算工作,必须要有科学的计算理论作为依据才有可能进行。

建筑力学将静力学、材料力学、结构力学 3 门课程的主要内容贯通融合成为一体,是提供建筑结构受力分析和计算理论依据的一门学科。本教材将研究这些理论的最基本的部分,讨论其中用途很广的受力分析问题,为读者打开解决施工现场中许多受力问题的大门。

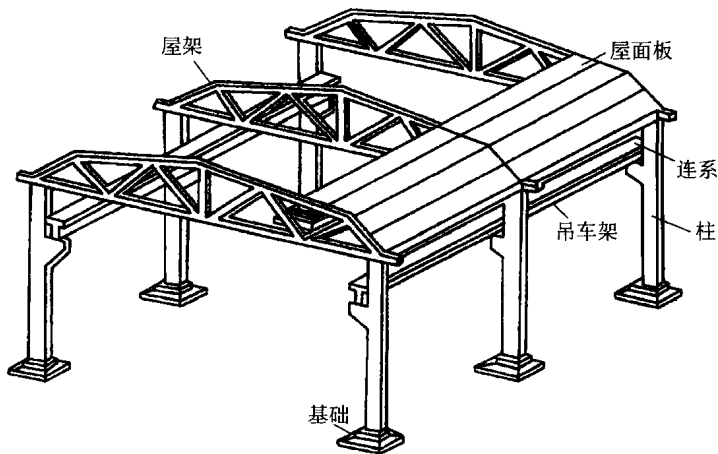


图 0-1

0.1 建筑力学的研究对象

建筑力学的研究对象是建筑结构及其构件。建筑结构,如厂房、桥梁、闸、坝、电视塔等是由工

程材料制成的构件(如梁、柱等)按合理方式联结而成的,它能承受和传递荷载,起骨架作用。

结构 是建筑物或构筑物中承受外部作用的骨架。结构一般是由多个构件联结而成,如桁架、框架等。最简单的结构则是单个构件,如单跨梁、独立柱等。

构件 是组成结构的基本部件,如板、梁、柱、基础等。按照几何特征,构件可分为杆件、板壳和实体,如图 0-2(a)所示。杆件的几何特征为长条形,长度远大于其他两个尺度(横截面的长度和宽度)。板壳的厚度远小于其他两个尺度(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 3 个尺度大体相近,内部大多为实体。组成结构的构件大多数可以视为杆件,如图 0-3 所示的厂房结构中组成屋架的构件,以及梁和柱都是一些直的杆件。

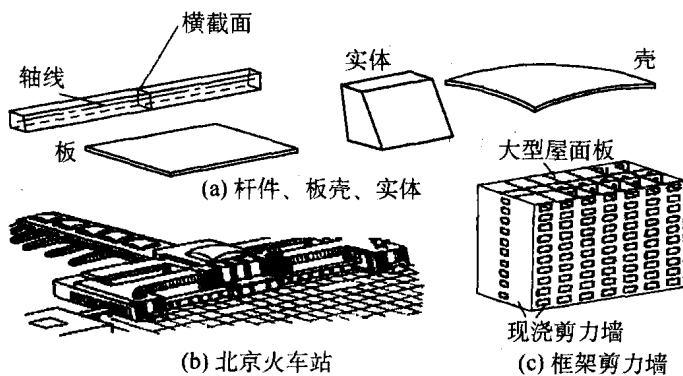


图 0-2

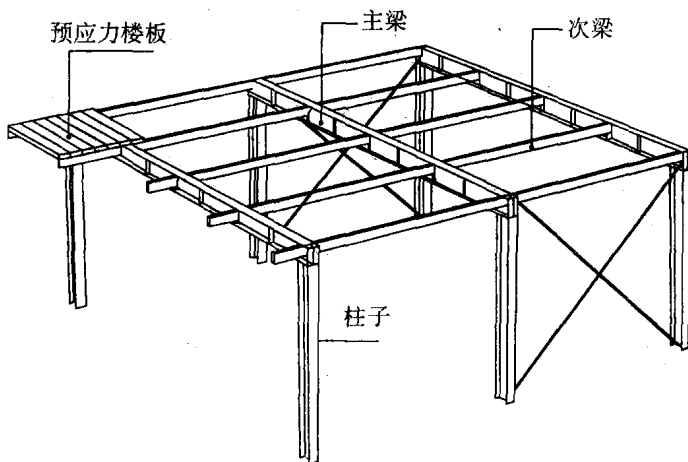


图 0-3

结构按其几何特征可分为以下 3 类。

(1) 杆系结构 长度方向的尺寸远大于横截面上两个方向尺寸的构件称为杆件。由若干杆件通过适当方式相互联结,而组成的结构体系称为杆系结构,如刚架、桁架等。杆系结构可以分为平面杆系结构和空间杆系结构两类。凡组成结构的所有杆件的轴线都在同一平



面内,并且荷载也作用于该平面内的结构,称为平面杆系结构;否则,为空间杆系结构。对于空间杆系结构,在进行计算时,常可根据其实际受力情况,将其分解为若干平面杆系结构来分析,使计算得以简化。本书研究的对象主要是杆件及平面杆系结构。

(2) 板壳结构 也可称为薄壁结构,是指厚度远小于其他两个方向上尺寸的结构。其中,表面为平面形状者称为板,为曲面形状者称为壳。例如,一般的钢筋混凝土楼面均为平板结构;一些特殊形体的建筑,如悉尼歌剧院的屋面及一些穹形屋顶,就是壳体结构。

(3) 实体结构 也称块体结构,是指长、宽、高 3 个方向尺寸相仿的结构,如重力式挡土墙、水坝、建筑物基础等均属于实体结构。

0.2 建筑力学的内容及任务

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)。建筑结构在承受荷载的同时,还会受到支承它的周围物体的反作用力,这些荷载和周围物体的反作用力都是建筑结构受到的外力。一般情况,在外力作用下,组成结构的各个构件都将受到力的作用,并且产生相应的变形。例如,房屋中的梁要承受楼板传给它的重力,同时还要受到支承这个梁的柱子的反作用力,在这些力的共同作用下梁会产生一定的弯曲变形。如果构件受到的力太大,将会导致构件及整个建筑结构的破坏。

1. 建筑力学的内容

结构物若能正常工作,不被破坏,就必须保证在荷载作用下,组成结构的每一个构件都安全、正常地工作。因此,结构物及其构件在力学上必须满足以下要求。

(1) 杆件体系必须以合理的方式进行组合,才能保持稳定的骨架而承受各种外部作用。结构各构件之间,以及结构整体与支承结构的基础之间不发生相对运动,使结构能承受荷载,并维持平衡。

(2) 构件必须具有足够的强度。所谓**强度**,是指构件抵抗破坏的能力。任何构件在正常工作情况下都不允许破坏,这就要求构件必须具有足够的强度。例如厂房中的吊车梁,在吊车起吊重物时,可能因强度不足而发生弯曲断裂。因此,在设计梁时,就要保证它在正常工作情况下不会发生破坏。

(3) 构件必须具有足够的刚度。所谓**刚度**,是指构件抵抗变形的能力。构件仅仅满足强度要求是不够的,如果变形太大,也会影响其正常工作和使用。例如,在吊车起吊重物时,吊车梁产生的弯曲变形太大,就会影响吊车沿吊车梁行走;屋面上的檩条变形过大时,就会引起屋面漏水。因此,构件在外力作用下,所发生的变形需要限制在正常工作所容许的范围内,即构件必须具有足够的刚度。

(4) 构件必须具有足够的稳定性。所谓**稳定性**,是指构件保持原有平衡形态的能力。有些构件在荷载作用下,其原有的平衡形态不能保持,可能丧失稳定性。例如,图 0-4 所示

的细长中心受压杆件,当压力 F 不太大时,它可以保持原有直线形态的平衡,这时杆件的平衡是稳定的;当压力超过一定限度时,它就不能继续保持原有直线形态的平衡,而突然从原来的直线形状变成弯曲形状,从而改变它原来中心受压的工作性质,导致构件丧失正常工作能力,这种现象称为丧失稳定(简称失稳)。显然,构件在外力作用下,必须能够始终保持原有的受力平衡形态,即具有足够的稳定性。

2. 建筑力学的任务

要使结构能承受荷载并维持平衡,除了作用于结构上的所有外力所构成的力系必须满足静力学的平衡条件以外,结构中的各构件还必须以合理的方式进行组合,满足强度、刚度及稳定性的要求。一般来说,可以为构件选用较好的材料和较大的截面尺寸。但是,这样又可能造成材料浪费,且结构笨重。可见,安全与经济,以及安全与重量之间存在矛盾。如何合理地选用材料,如何恰当地确定构件的截面形状和尺寸,就成为构件设计中的重要问题。因此,建筑力学的主要任务是研究结构的几何组成规则,研究力系的简化和力系的平衡问题,研究结构及其构件的强度、刚度、稳定性的问题,在既安全又经济的原则下。为结构构件设计提供必要的理论基础和计算方法。为此,必须做好以下主要 3 个方面工作,才能通过设计使杆件具有足够的强度、刚度及稳定性,防止出现相应失效,并节约材料。

- (1) 讨论结构的组成规律和合理形式,合理选择结构计算简图。
- (2) 讨论结构内力和变形的计算方法,对结构或构件进行强度和刚度计算。
- (3) 讨论结构或构件的稳定性。

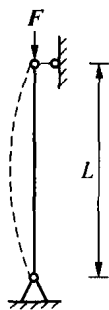


图 0-4

0.3 学习建筑力学的意义及其学习方法

房屋建筑工程是一门严谨的科学,所以建筑力学知识在建筑工程中是设计人员和施工技术人员必不可少的基础知识,学好建筑力学知识,对工作大有益处,也是现代施工技术所必须的。

建筑力学内容的主线:分析和计算结构及其构件所受的外力—分析和计算静定结构及其构件的内力—杆件的强度、刚度及稳定性的计算—超静定结构的计算。由此可见,建筑力学主要有以下特点。

(1) 内容的系统性比较强 由于内容的系统性较强,后面的内容总是以前面的为基础,因此,在学习过程中要及时掌握所学的概念、原理和方法。

(2) 与工程实际的联系比较密切 建筑力学必然会涉及如何将工程实际问题上升到理论高度进行研究,在理论分析时又如何考虑实际情况等。

(3) 概念和公式较多 建筑力学中的基本概念,对于理解内容、分析问题及正确运用基本公式,以至于对今后从事工作时如何分析实际问题,都是很重要的,必须引起足够的重视。在学习时,切不可只满足于背条文、代公式、囫圇吞枣、不求甚解,而应在完成任务过程中掌握概念与公式应用。

模块一

· 建 · 筑 · 力 · 学 ·

结构计算简图及组成分析

1. 知识点和教学要求

- (1) 熟悉荷载的简化与约束及约束反力；
- (2) 掌握静力学 4 个公理；
- (3) 掌握结构计算简图的简化；
- (4) 掌握物体的受力分析，画物体受力图；
- (5) 掌握几何不变体系的组成规则，能对简单体系作几何组成分析；
- (6) 了解静定与超静定结构概念。

2. 能力培养要求

- (1) 能绘制结构的计算简图；
- (2) 能熟练进行受力分析和画受力图；
- (3) 会应用几何不变体系的组成规则，对平面体系进行几何组成分析。

重点：绘制受力图。

难点：结构组成分析。

任务 1.1 荷载简化与约束反力(方向)确定

1.1.1 力的概念

通过长期的生产劳动和科学实践，人们逐渐认识到力是物体间的相互作用，这种作用使物体的运动状态或大小、形状发生改变。物体间的相互作用可分为两类：一类是物体间的直接接触的相互作用，另一类是场和物体间的相互作用。尽管物体间的相互作用力的来源和物理性质不同，但它们所产生的效应是相同的，即外效应和内效应。

(1) 外效应 也称运动效应，是使物体的运动状态发生改变。

(2) 内效应 也称变形效应，是使物体的形状和大小发生改变。

实践表明，力对物体作用的效应决定于力的三要素：**力的大小、方向和作用点。**

力的大小表明物体间相互作用的强弱程度，其度量单位是牛顿(N)或千牛顿(kN)；力的

方向包括力的作用线在空间的方位和指向,如水平向右、铅直向下等。

力的作用点是指力在物体上的作用位置,实际上,两个物体之间相互作用时,其接触的部位总是占有一定面积,力总是按照各种不同的方式分布于物体接触面的各点上。当接触面积很小时,则可以将微小面积抽象为一个点,这个点称为力的作用点,该作用力称为**集中力**;反之,如果接触面积较大而不能忽略时,则力在整个接触面上分布作用,此时的作用力称为**分布力**。分布力的大小用单位面积上力的大小来量度,称为**荷载集度**,用 $q(\text{N}/\text{m}^2)$ 来表示。

力是矢量,记作 F ,力的三要素可以用一个带箭头的有向线段来表示。线段的长度,按照一定的比例表示力的大小;线段的方位和箭头的指向,表示力的方向;箭头或箭尾,表示力的作用点。如图 1-1 所示,该线段称为力的图示。

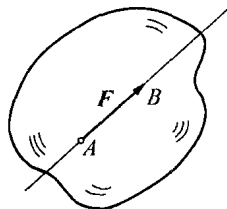


图 1-1

1.1.2 外力的分类

外力分为荷载和约束反力两种。

1. 荷载

工程上将作用在结构或构件上的主动力称为**荷载**。

(1) 荷载的分类 结构所承受的荷载往往比较复杂。为了便于计算,参照有关结构设计规范,根据不同特点加以分类如下:

① 按作用时间,荷载可分为恒载和活载及偶然荷载。**恒载**是指长时间作用结构上的不变荷载,如结构的自重、安装在结构上的设备的重量等,其荷载的大小、方向和作用位置是不变的。**活载**是指结构所承受的可变荷载,如人群、风、雪等荷载。**偶然荷载**是指使用时不一定出现,一旦出现其值很大,持续时间短,如爆炸荷载。

② 按作用范围,荷载可分为集中荷载和分布荷载。**集中荷载**是指荷载作用的面积相对与总面积而言很小,可近似认为荷载是作用在一点上的,如检修荷载等。**分布荷载**是指荷载分布在一定面积或长度上,如风、雪、结构自重等。分布荷载还可分为均布荷载及非均布荷载等。

③ 按作用性质,荷载可分为静力荷载和动力荷载。**静力荷载**是指缓慢施加而不引起结构振动因而可忽略其惯性力影响的荷载。**动力荷载**是指能引起明显的振动或冲击因而必须考虑其惯性力影响的荷载。

④ 按作用位置,荷载可分为固定荷载和移动荷载。**固定荷载**是指荷载作用的位置不变的荷载,如结构的自重等。**移动荷载**是指可以在结构上自由移动的荷载,如车辆轮压等。

(2) 荷载的简化和计算

① 等截面梁的自重。在工程结构计算中,通常用梁轴表示一根梁。等截面梁的自重总是简化为沿梁轴方向的均布线荷载 q 。

如图 1-2 所示,一矩形截面梁的截面宽度为 $b(\text{m})$ 、截面高度为 $h(\text{m})$ 。设此梁的单位

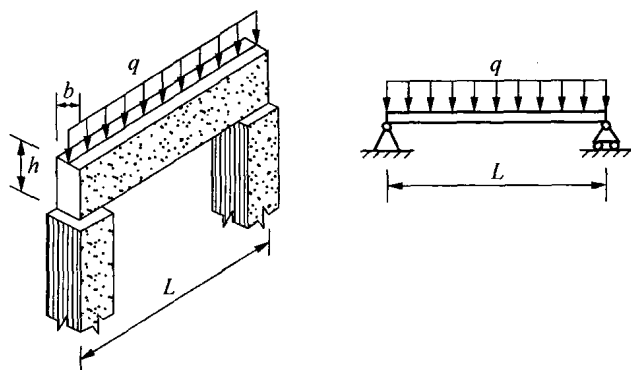


图 1-2

体积重(重度)为 γ (kN/m), 则此梁的总重为

$$Q = bhL\gamma \quad (\text{kN}).$$

梁的自重沿梁跨度方向是均匀分布的, 所以沿梁轴每米长的自重 q 为

$$q = Q/L \quad (\text{kN/m}).$$

将 Q 代入上式, 得

$$q = bh\gamma.$$

q 值就是梁自重简化为沿梁轴方向的均布线荷载值, 均布线荷载 q 也称**线荷载集度**。

② 均布面荷载。均布面荷载化为均布线荷载计算。设现浇板面上受到均布面荷载 q' (kN/m²) 作用, 板宽为 b (m) (受荷宽度)、板跨度为 L (m), 如图 1-3 所示。在这块板上受到全部荷载为

$$Q = q'bL.$$

而荷载 Q 是沿板的跨度均匀分布的, 于是, 沿板跨度方向均匀分布的线荷 q 为

$$q = bq'.$$

假设图 1-3 中平板为一块预应力钢筋混凝土屋面板, 宽 $b = 1.490$ m, 跨度(长) $L = 5.970$ m, 自重 11 kN, 简化为沿跨度方向的均布线荷载。自重均匀分布在板的每一块单位面积上, 所以自重形成的均布面荷载为

$$q'_1 = \frac{11000}{5.970 \times 1.49} = 1237 (\text{N/m}^2).$$

屋面防水层形成的均布面荷载为

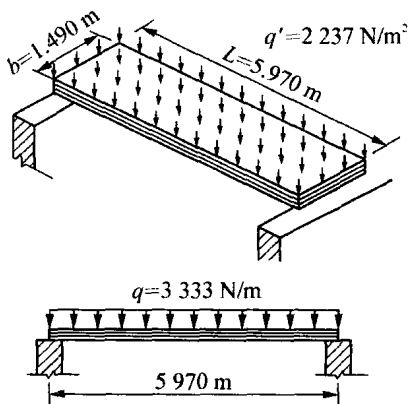


图 1-3