

建 筑 工 程 专 业 系 列 教 材

建筑力学

王明金 编著

1

河海大学出版社

建筑工程专业系列教材

建筑力学

王明金 编著



河海大学出版社

责任编辑 毛积孝

责任校对 卢孝行

建筑工程专业系列教材

建筑力学

王明金 编著

出版发行:河海大学出版社

(南京西康路1号 邮政编码:210098)

经 销:江苏省新华书店

印 刷:南京京新印刷厂

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 14 字数 349 千字

1999年1月第1版 1999年1月第1次印刷

印数 1—6000 册

ISBN 7—5630—1249—4/TU·39

定价:20.00 元

编写说明

“建筑工程专业系列教材”共包括 11 本,它们是:《建筑力学》、《建筑施工测量》、《建筑制图与识图》、《民用建筑构造》、《建筑材料》、《建筑结构设计原理》、《地基与基础》、《建筑施工技术》、《建筑施工组织与管理》、《工程事故分析与处理》、《建筑工程造价》。本丛书内容简明扼要,通俗易懂,具有新颖性、实用性、可操作性强等特点,是建筑工程类大中专学校以及岗位培训的理想教材,也可用作建筑工程类自学考试人员、工程技术人员自学教材及参考资料。

丛书编委会

“建筑工程专业系列教材”编写委员会

主任委员	徐其耀				
副主任委员	姚纬明				
主 编	赵积华				
副 主 编	王 亮	张银发	殷惠光	贾德智	毛积孝
	徐震宇				
编 委	(以姓氏笔画为序)				
	王 亮	王 赫	王明金	毛积孝	叶燕华
	刘子彤	刘石英	刘永福	杨伯成	张国华
	张银发	陈晓荣	林晓东	赵积华	胡朝斌
	姚伯金	贾德智	顾建平	徐永铭	徐秀丽
	徐震宇	徐德良	殷惠光	陶耀光	曹露春
	盛永锡	韩爱明	程晓武	雷 英	滕晓维

序

改革开放以来,我国建筑业得到了前所未有的大发展,但是由于建筑业是一个传统产业,从业人员总体文化素质不高,所以基本上还处于粗放型经营的状态,科技含量不高。随着科学技术的突飞猛进,许多新技术、新材料、新工艺不断涌现。作为国民经济支柱产业之一的建筑业,只有不断增加技术含量,积极应用新技术,紧紧依靠科技进步和提高劳动者素质,才能使建筑业高速度、高效益、健康发展,也才能巩固和发展其支柱产业地位。这就需要广大教育工作者不断研究并传授新知识;需要建筑工程技术人员加强学习,不断提高业务素质;需要即将加入建筑行业的新兵,扎扎实实地接受岗前培训。这实际上已经成为当前建筑工程教育所面临的时代大课题。

在这样的大背景下,河海大学出版社组织出版了这套建筑工程专业系列教材。这套教材,对广大从事教学工作的人员来说,体系完备,内容新颖,对新理论、新技术、新材料、新工艺都有涉及,且结合教学实践进行编排,易于讲解;对建筑工程专业各层次的在校学生、广大工程技术人员和接受岗位培训的人员来说,理论阐述简明扼要,文字通俗易懂,紧密结合工程实践介绍常用的技术方法,应用性强,易于理解和应用。

这套教材从建筑制图到施工技术、从建筑结构到建筑材料、从建筑施工测量到施工组织与管理,涉及到建筑工程专业的各个方面。它既是建筑工程专业各层次教学的基本教材、重要参考用书,更是建筑工程专业职业教育、技术培训的理想教材。

愿这套教材能成为建筑工程专业学生学好专业知识、建筑业从业人员提高业务素质的良师益友,愿广大建筑工程专业学生、建筑业从业人员,通过系统的学习和培训,为我国建筑业的发展创造出更加辉煌的业绩。

徐其耀

一九九八年十一月十九日

绪 言

建筑物中能够承受荷载的骨架部分称为结构。例如,厂房中的屋面板、屋架、屋架大梁、柱及基础等组成整个建筑的承重结构。建筑力学的研究对象就是工程实际中各种常见的建筑结构。

建筑物在其使用过程中总是受到各种力的作用。例如,风荷载对建筑物的影响,积雪对屋面的作用,厂房中吊车及起吊重量对吊车梁的作用,楼面上人群及货物对楼面的作用,构件本身的自重及结构中各部分构件的相互作用等。结构或构件在这些因素的影响下要求能够正常使用,一般说,应满足以下几个方面的要求。

1. 几何构造上的稳固性要求

构件与构件或构件与支承之间的联结方式要合理,使之构造成的杆体体系具有较好的稳固性,能够承担荷载作用。

2. 强度要求

强度是指构件材料抵抗破坏的能力。若构件因荷载过大,或截面尺寸过小,或因承载方式不合理,或选用材料不适当等发生破坏,使结构不能正常工作,这种情形称为强度不足。任何结构在使用中都不允许发生破坏,这就要求结构中构件必须具备足够的强度。

3. 刚度要求

刚度是指构件抵抗变形的能力。结构虽有足够的强度,不发生破坏,但变形过大,也会影响正常使用。例如,楼板梁在荷载作用下产生过大变形时,抹灰层就会开裂、脱落,屋面上檩条变形过大时,往往造成屋面漏水,吊车梁弯曲过大时,吊车就不能正常行驶等。因此,设计和建造任何一个结构,必须保证它具有足够的刚度,使其变形的数值不超过允许的范围。

4. 稳定性要求

结构中的细长受压杆件,在压力达到一定数值后,压杆会突然偏离其原来位置而弯曲,失去原有直线状态的平衡,这种现象称为压杆失稳或稳定性不足。压杆失稳后将丧失承载能力,甚至导致结构的倒塌,其后果往往是很严重的。因此,正常工作的结构还必须有足够的稳定性。

为了保证结构安全可靠地工作,必须使其满足强度、刚度和稳定性要求。同时还须满足最大的经济性和合理性要求,这就需要适宜选用结构中构件的尺寸和材料,使之建造的结构用材少,造价低。

研究和解决上述问题的理论基础之一是建筑力学。所以,对结构进行受力分析,分析和研究结构的内力,讨论关于结构的强度、刚度、稳定性的计算原理和分析方法,研究结构的合理组成规则,使设计和建造的结构既安全可靠,又经济合理,这就是建筑力学研究的基本任务。

本书就是围绕上述问题讨论的。首先建立结构受力分析的基本概念,研究作用于物体上力系的简化与平衡,用平衡条件求解约束反力。这些内容是在前三章中讨论的,仅研究了平面力系的情况。然后研究结构的内力计算。结构的内力分析分为静定结构和超静定结构两部分,在静定结构的内力一章中,着重讨论了工程实际中常见的静定梁、平面刚架、三铰拱和桁架

的内力计算;在超静定结构计算中,讨论了力法、位移法和力矩分配法。强度计算编入了一章,只研究了四种基本变形下的构件及偏心受压柱的强度计算。稳定性方面,只讨论了压杆的稳定计算。同时,还讨论了结构位移计算的图乘法,结构计算简图的概念和平面体系的几何组成分析。以上是本书讨论的基本内容,这些仅是建筑力学中最基本的内容。

对从事建筑工程的技术人员来说,都应掌握建筑力学的基本知识。因为要保证设计和建造的建筑物高质量,或避免建筑施工中的失误,应该知道结构或构件的受力情况,各种力的传递途径,结构或构件可能会发生的破坏形式等。

同时,建筑力学研究的结构分析的基本原理、计算方法,也为有关结构课程(钢结构、木结构、钢筋混凝土结构、地基基础等)的学习提供了基础知识。

目 录

绪言	(I)
第一章 静力学基本概念	(1)
第一节 力和刚体的概念	(1)
第二节 静力学基本公理	(2)
第三节 荷载的简化和计算	(4)
第四节 约束与约束反力	(6)
第五节 物体的受力分析和受力图	(9)
思考题	(11)
习题	(12)
第二章 平面汇交力系	(13)
第一节 平面汇交力系合成与平衡的几何法	(13)
第二节 力在坐标轴上的投影 合力投影定理	(15)
第三节 平面汇交力系合成与平衡的解析法	(16)
思考题	(19)
习题	(20)
第三章 平面一般力系	(21)
第一节 概述	(21)
第二节 力对点的矩	(21)
第三节 力偶的概念 平面力偶系的合成与平衡	(22)
第四节 力的平移定理 平面一般力系的简化 合力矩定理	(24)
第五节 平面一般力系的平衡	(27)
第六节 滑动摩擦	(33)
第七节 物体的重心和平面图形的形心	(36)
思考题	(38)
习题	(38)
第四章 静定结构的内力	(41)
第一节 概述	(41)
第二节 静定梁的内力	(45)
第三节 静定刚架的内力	(54)
第四节 三铰拱的内力	(61)
第五节 静定平面桁架的内力	(65)
思考题	(70)
习题	(71)
第五章 应力与强度计算	(73)
第一节 轴向拉伸和压缩	(73)
第二节 梁的弯曲应力与强度计算	(88)

第三节 剪切和挤压的实用计算	(101)
第四节 扭转时的强度计算	(105)
第五节 偏心压缩时的强度计算	(111)
思考题	(114)
习题	(115)
第六章 压杆稳定	(118)
第一节 压杆稳定的概念	(118)
第二节 临界压力和临界应力	(119)
第三节 压杆的实用计算	(121)
第四节 提高压杆稳定性的措施	(124)
思考题	(125)
习题	(125)
第七章 结构的位移计算	(127)
第一节 概述	(127)
第二节 结构的位移计算公式	(127)
第三节 图乘法计算结构的位移	(131)
第四节 互等定理	(138)
思考题	(140)
习题	(140)
第八章 计算简图和体系的几何组成分析	(143)
第一节 结构的计算简图	(143)
第二节 几何组成分析的基本概念	(145)
第三节 体系的几何组成分析	(147)
第四节 静定和超静定结构的概念	(151)
思考题	(152)
习题	(153)
第九章 力法	(154)
第一节 超静定次数的确定	(154)
第二节 力法的基本原理和力法典型方程	(155)
第三节 力法的计算步骤与示例	(158)
思考题	(169)
习题	(169)
第十章 位移法	(171)
第一节 位移法的基本概念	(171)
第二节 位移法的基本未知量和基本方程	(177)
第三节 用位移法计算连续梁和刚架	(180)
思考题	(187)
习题	(188)
第十一章 力矩分配法	(190)

第一节 力矩分配法的基本概念.....	(190)
第二节 用力矩分配法计算连续梁和无侧移刚架.....	(193)
思考题.....	(199)
习题.....	(200)
附录 I 几种常用截面的面积、形心位置和惯性矩	(201)
附录 II 型钢规格表.....	(203)
后 记.....	(210)

第一章 静力学的基本概念

第一节 力和刚体的概念

一、力的概念

力的概念是劳动人民在长期的生产实践中逐步形成的。最初,人们在推、提、拉、掷物体等活动中感觉到力的存在,例如,人们用手推动小车、提起重物或弯曲钢筋等感到肌肉紧张和收缩,这就是说人对小车、重物和钢筋施加了力,从而使物体改变了运动状态和发生了变形。随着生产技术和科学进步,人们进一步观察到,不仅人对物体能产生力的作用,物体间的相互作用也会引起物体机械运动的改变,使物体发生变形。于是经过归纳和抽象,形成了力的概念:力是物体之间相互的机械作用,这种作用使物体的机械运动发生改变,同时使物体发生变形。通常我们把物体相互作用所引起的机械运动改变称为力作用的运动效应或外效应,引起的物体变形称为力的变形效应或内效应。

应当指出,力是物体间的相互机械作用,力不能脱离实际物体而单独存在。因此,我们在分析某一物体上受到的力时,必须清楚知道,这个力是哪一个物体对该分析物体的作用力,这在力学分析中是十分重要的。

实践证明,力对物体的作用效果取决于力的大小、方向和作用点三个因素,这三个因素称为力的三要素。

力的大小表明力对物体作用的强弱程度。在国际单位制中,力的常用单位是牛顿(N)或千牛顿(kN)。

力的方向包括力的方位和指向两个含义。其方位由该力与一已知方向间的夹角来表示,指向用箭头表示出。

力的作用点是指力在物体上的作用位置。一般情况,物体间的相互作用都有一定的接触面积,当接触面积很小时,可以抽象成一个点,分析物体上的受力时,认为力作用在这个点上。

由此可知,力是有大小、方向和作用点的物理量。我们可以把力表示成矢量,即用一带有箭头指向的直线段来表示。其中线段的长短取一定的比例尺表示力的大小,线段的方位和箭头的指向表示力的方向,线段的起点或终点则表示力的作用点。力矢量常用黑体字母来表示,或在字母的上方画一横线。

改变力的三要素中的任一要素,力对物体的作用效应就随之改变。例如用扳手拧螺母,见图1-1,在A点作用力就比在B点作用力省劲,如果在C点作用力且方向通过螺母中心O点的话,

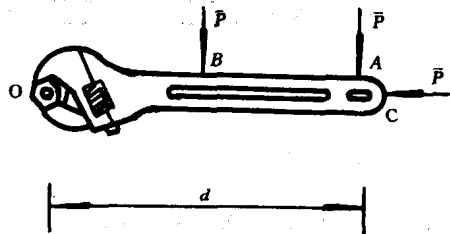


图 1-1

不论这个力有多大,也不能使螺母转动。

二、刚体的概念

在研究力对物体作用的外部效应时,常把物体抽象成刚体,即假定物体内部任意两点的距离始终保持不变。事实上,刚体是不存在的,现实生活中的一切物体,受力后总会有些变形,只不过它们的变形相对于原有尺寸非常微小,并不影响物体的平衡和运动特性。但是,在研究结构的内力时,需要考虑物体受力后的内部效应,要确定力与变形的关系,这时的物体一定要作为变形体来研究。

在这里,只研究刚体机械运动的特殊情况,即刚体的平衡问题。所谓平衡,是指物体相对周围物体作匀速直线运动或静止。静止下的平衡,是指作用于刚体上若干个力的作用效果互相抵消,并不引起运动状态的改变。在静力学中涉及的平衡,都指物体相对于地面处于的平衡状态。

作用于刚体上的一群力称为力系。如果刚体上作用一力系而处于平衡,则这个力系称为平衡力系。如果有两个力系,它们分别对同一刚体的作用效果是相同的,则称这两个力系是等效力系。如果一个力系对刚体的作用效果与一个力作用的效果等效,则这个力就是这个力系的合力。

第二节 静力学基本公理

静力学公理是人类在长期生产活动中的经验积累并由实践反复验证的结果,是人类对自然界中客观规律认识的总结。它是力学分析的理论基础。

公理一 二力平衡公理

作用于刚体的两个力,使刚体处于平衡的必要与充分条件是:这两个力的大小相等,方向相反,作用在同一直线上。或简称此两力等值、反向、共线。

此公理只适用于刚体,如图1-2(a)、(b)所示刚性杆。对于变形体并非充分条件,图1-2(c)、(d)所示之绳索,受拉力时可以平衡,而变为受压时便不能平衡。

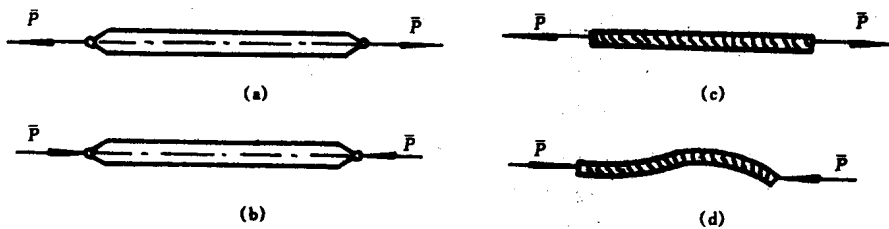


图 1-2

公理二 加减平衡力系公理

在作用于刚体上的任意力系中,加上或减去任意平衡力系,并不改变原力系对刚体的作

用。

因为平衡力系不会改变刚体的运动效应,所以在原力系中增加或去掉一个平衡力系,也一定不影响原力系对刚体的作用效应。

这个公理常用于研究力系的简化。由这个公理还可以导得一个推论,即

推论 1 力的可传性原理

作用于刚体上一点处的力,可沿此力的作用线移动,而不改变该力对刚体的作用。

证明:设力 $\bar{F}$ 作用在刚体的 A 点处,如图 1-3(a)所示。根据公理二,在力的作用线上任取一点 B,加上等值、反向、共线的两个力 $\bar{F}_1$ 和 $\bar{F}_2$,并使 $\bar{F}_1 = -\bar{F}_2 = \bar{F}$,如图 1-3(b)所示。再由公理二, $\bar{F}_1$ 、 $\bar{F}_2$ 和 $\bar{F}$ 组成的力系与原力 $\bar{F}$ 等效。而 $\bar{F}$ 和 $\bar{F}_2$ 是一平衡力系,又可以去掉,这样只剩下作用于 B 点处的 $\bar{F}_1$,它等于原力 $\bar{F}$,实际上,就把作用于 A 点处的 $\bar{F}$ 力沿其作用线移动到了 B 点。

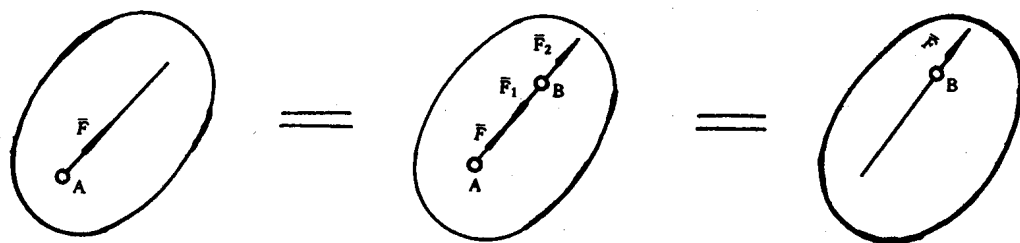


图 1-3

由上述推论可知,在研究力对刚体作用的外效应时,作用在刚体上的力,对于作用在作用线上的哪一点已无关紧要。于是力的三要素又可表达为力的大小、方向和作用线。

上述原理很容易被实践所验证,例如,用绳拉动小车,或沿绳子同一方向,以同样大小的力用手推动小车,对车产生的运动效果相同。

应当注意,上述公理及推论,只适用于刚体,在研究物体的变形或物体内部的受力时,这些都不适用。

公理三 力的平行四边形法则

作用于物体上同一点的两个力,可以合成为作用于同一点的一个合力,其大小和方向可由这两个力为邻边的平行四边形的对角线来表示。如图 1-4 所示。

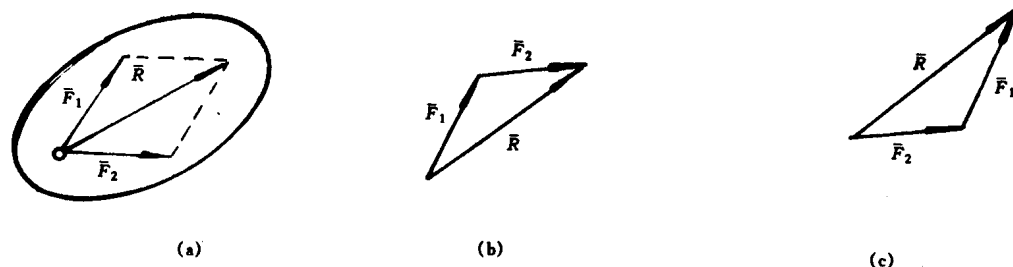


图 1-4

由图 1-4 看到, 求作用一点处的两个力的合力, 无须作出整个平行四边形, 可用下述力的三角形来代替, 方法是先作出 $\bar{F}_1$, 由 $\bar{F}_1$ 的终点连接 $\bar{F}_2$, 再由 $\bar{F}_1$ 起点连接 $\bar{F}_2$ 的终点得到此两力的合力 $\bar{R}$ 。如图 1-4(b) 所示。应注意, 合力的作用点仍为原两力的汇交点。同时, 在作力的三角形时与两力的顺序无关, 图 1-4(c)。

由公理三可导得一个推论, 即

推论 2 三力平衡汇交定理

当刚体在三个力作用下处于平衡时, 若其中两力的作用线相交于一点, 则第三个力的作用线必通过该交点。

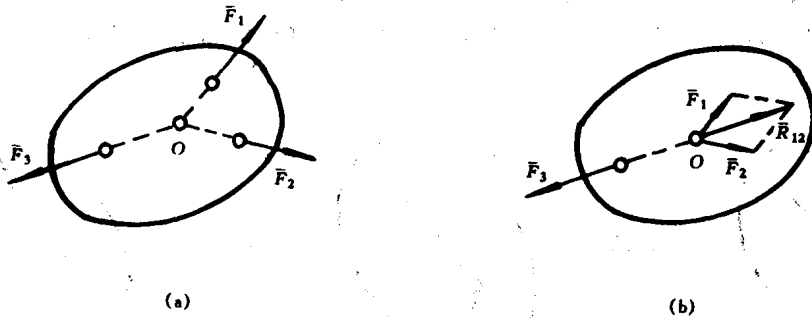


图 1-5

证明: 设 $\bar{F}_1$ 、 $\bar{F}_2$ 和 $\bar{F}_3$ 作用于刚体而处于平衡, 如图 1-5(a) 所示。 $\bar{F}_1$ 和 $\bar{F}_2$ 的作用线相交于 O 点, 由公理三, $\bar{F}_1$ 、 $\bar{F}_2$ 可合成为合力 $\bar{R}_{12}$, 因是平衡力系, $\bar{F}_3$ 应与 $\bar{F}_{12}$ 相平衡, 由公理一知, $\bar{F}_3$ 一定通过 O 点。

公理四 作用力与反作用力公理

两物体间相互作用的力总是大小相等, 方向相反, 作用线相同, 但分别作用在两个相互作用的物体上。

应注意, 两物体的相互作用力, 是同时存在, 同时消失的, 没有作用力, 就没有反作用力, 尽管这两个力是等值、反向、共线, 但它们是分别作用于两个不同的物体。不可把这个公理与二力平衡公理混为一谈。

第三节 荷载的简化和计算

一、荷载的分类

按荷载作用的时间长短, 荷载可分为恒载和活荷载。

1. 恒载

指长期作用在结构上的不变荷载。如结构的自重、土压力、建筑物中放置的固定设备的自重等。

2. 活荷载

指作用在结构上的可变荷载。如楼面荷载、雪荷载、风荷载、吊车荷载等。土建工程中, 有

些荷载的标准值,可在《荷载规范》中直接查用。

按荷载作用的范围,又可分为集中荷载和分布荷载。

1. 集中荷载

在荷载作用范围相对结构的尺寸非常小时,可略去作用范围,把力简化成作用在一点上,这种荷载称为集中力。

2. 分布荷载

连续分布在一面积内的荷载称面分布荷载。如面板的自重等。如果荷载分布的宽度相比长度较小时,可视为沿一长度方向连续分布的线分布荷载。如等截面梁的自重可简化为这种情况。

二、荷载的简化计算

1. 等截面梁自重的计算

在工程结构计算中,通常用梁的轴线表示一根梁。等截面梁的自重一般简化为沿梁轴方向的均布线荷载。

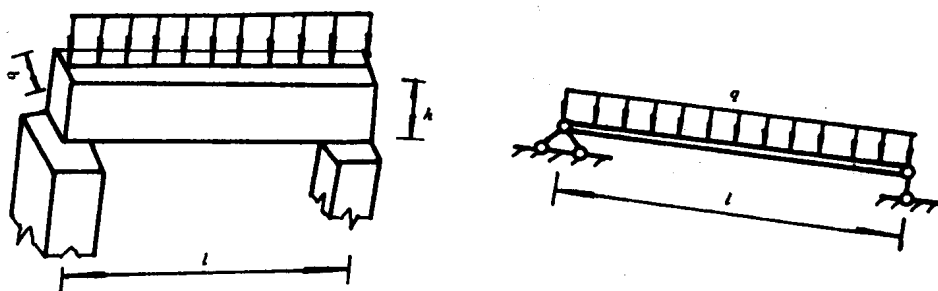


图 1-6

设一矩形截面梁,截面宽度为 b ,高度为 h ,梁的单位体积的重量(容重)为 γ (kN/m^3),如图 1-6(a)所示。现将此梁的自重简化为沿梁跨度方向的线均布荷载。

首先考虑梁的总重量 Q

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

因是等截面梁,所以沿梁轴每米长度上的自重 q 为

$$q = \frac{Q}{l} = bh\gamma \quad (\text{kN}/\text{m})$$

这就是该等截面梁的自重简化为沿梁轴方向的线分布荷载值。 q 也称为线荷载集度。

若图 1-6 所示梁的 $h = 30\text{cm}$, $b = 24\text{cm}$, $\gamma = 22\text{kN}/\text{m}^3$,由上式可算得其荷载集度 q 的大小为

$$q = bh\gamma = 0.24 \times 0.30 \times 22 = 1.584\text{kN}/\text{m}$$

2. 均布面荷载简化为均布线荷载

在考虑面板自重的荷载简化时,有时需要把板平面内的均布面荷载 q' (kN/m^2),简化成沿板长度(跨度)方向的线均布荷载。

如图 1-7(a)所示预应力钢筋混凝土屋面板,宽度为 b ,板厚为 t ,长度是 l 。将此板的自

重简化为沿跨度方向的均布线荷载。

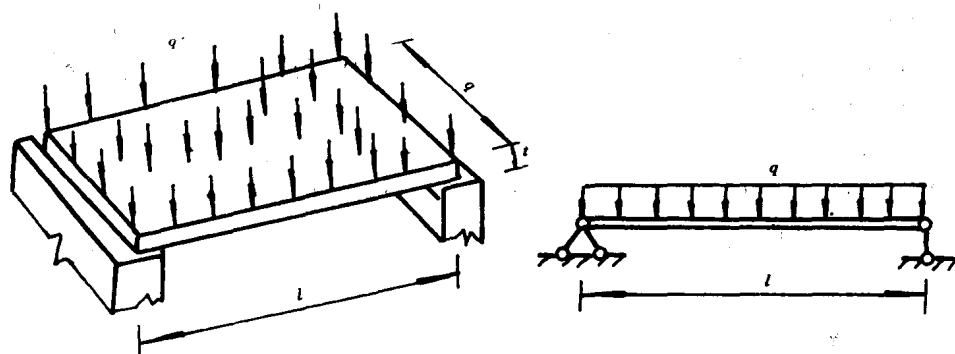


图 1-7

该板的总重量是

$$Q = t b l \gamma \quad (\text{kN})$$

于是板的自重简化成在板平面内的面分布荷载是

$$q' = \frac{Q}{b l} = t \gamma \quad (\text{kN/m}^2)$$

把它化为沿板长方向线分布荷载只需将 q' 乘以受荷宽度 b , 即

$$q = b q' = b t \gamma \quad (\text{kN/m})$$

这就是把面均布荷载简化成线均布荷载的算式。

第四节 约束与约束反力

在力学分析中,通常把物体分为自由体和非自由体两类,凡是能在空间任意运动的物体称为自由体。例如,飞行中的飞机等,它与周围的固定物体没有接触,又无联系,能在空间任意运动,所以称它为自由体。如果物体受到相接触的其它物体的限制,使其在某些方向上的位移不可能实现,这类物体就称为非自由体。工程实际中的大多数物体都是非自由体。若周围物体对某一物体的位移产生了限制作用,则这些周围物体就称为该物体的约束。因为力是物体间的相互作用,约束限制了物体的运动,改变了物体的运动状态,必然受到物体对它的作用力,与此同时,约束也给物体以反作用力。这种反作用力就称为对物体的约束反力,简称反力。例如,屋架受到墙体的约束,墙体对于屋架的支承力,就是墙体对屋架的约束反力。可以想象,约束是阻碍物体位移的限制条件,它对物体产生的约束反力的大小不能预先确定,是未知的,但是,约束反力的方向一定是与约束所能阻止物体位移的方向相反。

在工程实际中,常见约束有四种基本类型,下面一一分析它们对物体产生的约束特性及其约束反力。

一、柔体约束

象绳索、皮带、链条等属此类约束。这类约束的特点是只能承受拉力,限制物体背离柔体轴线方向的位移。所以柔体约束的约束反力是拉力,方向沿其轴线背离物体。如图 1-8