

舒士霖 邵永治 陈鸣 编著

钢筋混凝土结构设计

浙江大学出版社

钢筋混凝土结构设计

舒士霖 邵永治 陈 鸣 编著

浙江大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

钢筋混凝土结构设计 / 舒士霖等编著. — 杭州: 浙江大学出版社, 2001. 2
ISBN 7-308-02647-7

I. 钢... II. 舒... III. 钢筋混凝土结构-结构设计-教材 IV. TU375.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 04339 号

编 著: 舒士霖 邵永治 陈 鸣
责任编辑: 陈晓嘉
封面设计: 刘依群

出版发行: 浙江大学出版社
(杭州浙大路 38 号 邮政编码 310027)
(网址: <http://www.zjupress.com>)
(E-mail: zupress@mail.hz.zj.cn)

排 版: 浙江大学出版社电脑排版中心
印 刷: 浙江大学华家池印刷厂
经 销: 浙江省新华书店
开 本: 787mm×1092mm 16 开
印 张: 21.75
字 数: 557 千
版 次: 2001 年 2 月第 1 版第 1 次印刷
印 数: 0001—1000
书 号: ISBN 7-308-02647-7/TU·050
定 价: 26.00 元

内容简介

本书共五章,书中系统地介绍了混凝土梁板结构、单层厂房及多层和高层房屋的结构设计原理、结构组成和结构布置、适用条件、计算简图、设计计算实用方法以及配筋构造和施工图等,扼要地介绍了结构计算机分析方法,还介绍了抗震设计原则及方法,强调了概念设计和结构延性的重要作用及各类结构的延性设计方法。每章均有计算例题、复习思考题,此外,书中还附有单向板肋梁楼盖和单层厂房两个设计实例。

本书按国家建设部建筑工程专业指导委员会的要求及我国现行有关规范、规程、图集、手册及有关教材、专著编写而成。

本书是《钢筋混凝土结构》(舒士霖主编)的后续课程教材,是一本实践性很强的专业课用书。编写过程中,既注意到理论性,又注意到实践性,是一本理论性和实践性并重的教材。通过本书的学习,读者将掌握一般钢筋混凝土结构设计的技能。

本书主要对象是高等院校土木建筑类专业本科生;对大专、夜大和函授类学生,按不同要求对本书内容取舍后同样适用。本书也可供土木建筑工程设计、施工及科学研究人员参考。

前 言

本书根据国家建设部建筑工程专业指导委员会制订的《混凝土结构及砌体结构》课程的要求,并按照我国现行的《钢筋混凝土结构设计规范》(GBJ10-89)等有关规范、规程及其局部修改条文编写而成,同时参考了有关的图集、手册,以及国内外有关的教材和专著。

全书共5章,系统地介绍了钢筋混凝土梁板结构、单层厂房及多层和高层房屋的结构设计原理、结构组成和结构布置、设计计算方法、截面配筋和构造要求。书中还介绍了抗震设计的原则和方法。

钢筋混凝土梁板结构一章中重点阐述了塑性铰及内力重分布的概念、单向板肋梁楼盖按弹性及塑性调幅设计的方法以及双向板按塑性铰线设计的方法,结合无梁楼盖介绍了受冲切承载力的计算方法。单层厂房一章中重点阐述荷载计算、等高排架的内力分析和内力组合方法以及排架柱、柱下独立基础和牛腿的设计方法和配筋构造。在目前的设计中,屋架和吊车梁等大多选用标准图,因此本书适当压缩了这部分内容,主要介绍其受力特点和设计要点。多层和高层房屋一章中,重点介绍常用的框架结构、剪力墙结构和框架-剪力墙结构及其结构组成、结构布置、受力特点和适用条件;对内力和变形计算,主要介绍实用的计算方法,并着重其物理概念。鉴于目前多层房屋,特别是高层房屋的结构设计已大多采用计算机计算,因此扼要地介绍了结构计算机分析的内容以及对计算机计算结果进行分析判断的要点。在多层与高层房屋构件的截面与抗震设计一章中,适当增加了抗震设计的内容,强调了概念设计的重要性、应遵循的原则、主要内容及设计经验;重点阐述了结构延性的概念和作用、各结构体系和结构构件的延性设计方法,简要介绍了国内外有关这方面的试验研究成果和设计实践经验;结合框架结构,还阐述了叠合构件的受力特点及计算方法;本书最后对高层房屋常用的基础形式和实用计算方法也作了扼要介绍。

书中每章均有计算例题和复习思考题,此外还附有单向板肋梁楼盖和单层厂房等高排架两个设计实例及供参考的两个课程设计任务书。

本书是《钢筋混凝土结构》(舒士霖主编)的后续课程教材,也是一本实践性很强的专业课用书。作者在编写过程中,既注意其理论性,也注意其实践性,因此是一本理论和实践并重的教材。通过本书的学习,力求使读者达到对建筑工程中一般钢筋混凝土结构进行设计的能力,并为学习后续有关课程、毕业设计及今后工作打好基础。

本书第1章由陈鸣副教授撰写,第2章、第3章、第4章和第5章由邵永治副教授撰写,全书由舒士霖教授校核定稿。

由于作者水平有限,书中的不当和谬误之处,请读者不吝指正。

编 者

2000年5月于浙江大学求是园

目 录

第 1 章 钢筋混凝土梁板结构

1.1 单向板肋梁楼盖	2
1.1.1 结构布置	3
1.1.2 弹性理论计算方法	4
1.1.3 塑性理论计算方法	8
1.1.4 截面设计与构造要求	17
1.2 双向板肋梁楼盖	32
1.2.1 双向板的试验研究	32
1.2.2 弹性理论计算方法	34
1.2.3 塑性理论计算方法	36
1.2.4 截面设计与构造要求	39
1.3 无梁楼盖	47
1.3.1 无梁楼盖的试验研究	47
1.3.2 弹性理论计算方法	48
1.3.3 塑性理论计算方法	49
1.3.4 柱帽设计	51
1.3.5 构造要求	52
1.4 楼梯	53
1.4.1 楼梯的类型	53
1.4.2 楼梯的内力计算与构造要求	54
复习思考题	60
习题	61
钢筋混凝土肋梁楼盖课程设计任务书	63

第 2 章 单层厂房

2.1 单层厂房的结构组成和布置	66
2.1.1 结构组成	66
2.1.2 结构平面布置	67
2.1.3 支撑作用和布置原则	69
2.1.4 抗风柱、圈梁、连系梁、过梁和基础梁的作用和布置原则	72
2.2 排架计算	74
2.2.1 计算简图	74

2.2.2 排架荷载计算	75
2.2.3 等高排架内力分析——剪力分配法	80
2.2.4 内力组合	82
2.2.5 考虑厂房整体空间作用的计算	84
2.2.6 排架分析中的几个问题	87
2.3 单层厂房柱的设计要点	89
2.3.1 矩形、工字形柱的设计	89
2.3.2 抗风柱设计	94
2.4 柱下单独基础设计	96
2.5 屋架设计要点	102
2.6 吊车梁设计要点	105
2.7 抗震设计要点	106
2.8 设计实例	108
2.8.1 设计任务及资料	108
2.8.2 柱截面选定和排架计算简图	110
2.8.3 荷载计算	110
2.8.4 内力分析(剪力分配法计算)	117
2.8.5 内力组合	126
2.8.6 柱设计(A轴柱)	129
2.8.7 基础设计(A轴)	135
复习思考题	140
单层厂房结构课程设计任务书	141

第3章 多层与高层房屋的结构与分析

3.1 结构体系与布置	143
3.1.1 结构单体	144
3.1.2 结构体系及有关布置	149
3.1.3 结构总体布置	161
3.2 荷载与作用	165
3.2.1 风荷载	166
3.2.2 地震作用	168
3.2.3 荷载效应组合	175
3.3 结构分析	176
3.3.1 结构的计算机分析	176
3.3.2 框架结构内力和侧移的近似计算	181
3.3.3 剪力墙结构内力和侧移的近似计算	198
3.3.4 框架-剪力墙结构内力和侧移的近似计算	214
复习思考题	224

第4章 多层与高层房屋构件的截面与抗震设计

4.1 结构及截面设计的要求	225
4.2 结构抗震设计要点	227
4.2.1 抗震设计的基本要求	227
4.2.2 结构的延性	229
4.2.3 钢筋混凝土结构构件抗震设计的一般规定	243
4.3 框架杆件的截面设计与配筋构造	246
4.3.1 最不利内力组合	246
4.3.2 框架柱的设计	250
4.3.3 框架梁的设计	254
4.3.4 叠合梁设计要点	257
4.3.5 框架节点设计	264
4.4 剪力墙的截面设计与配筋构造	269
4.4.1 剪力墙墙肢的设计	270
4.4.2 连梁设计(普通配筋)	277
复习思考题	281

第5章 多层与高层房屋基础设计

5.1 基础的类型及其选择	282
5.2 条形基础的内力计算	287
5.2.1 基床系数法——温格尔假定	287
5.2.2 连杆法——半无限弹性体假定	293
5.2.3 力平衡法——线性分布假定	295
5.3 十字形基础的内力计算	296
5.4 片筏基础的内力计算	298
5.5 箱形基础的计算	300
复习思考题	306

附表	307
----------	-----

参考文献

第 1 章 钢筋混凝土梁板结构

楼盖是房屋结构中的重要组成部分,是在任何房屋中都必不可少的。由于楼盖在整个房屋的材料用量和造价方面所占的比重较大,因此,在设计中合理地选择楼盖形式并给予精心设计,对整个房屋的合理使用和技术经济指标都有十分重要的影响。

钢筋混凝土楼盖通常分为现浇式、预制装配式及装配整体式三大类。

现浇楼盖结构,按板支承和受力条件的不同,可分为肋梁楼盖、双重井式楼盖和无梁楼盖三种形式(见图 1.1,1.2,1.3)。

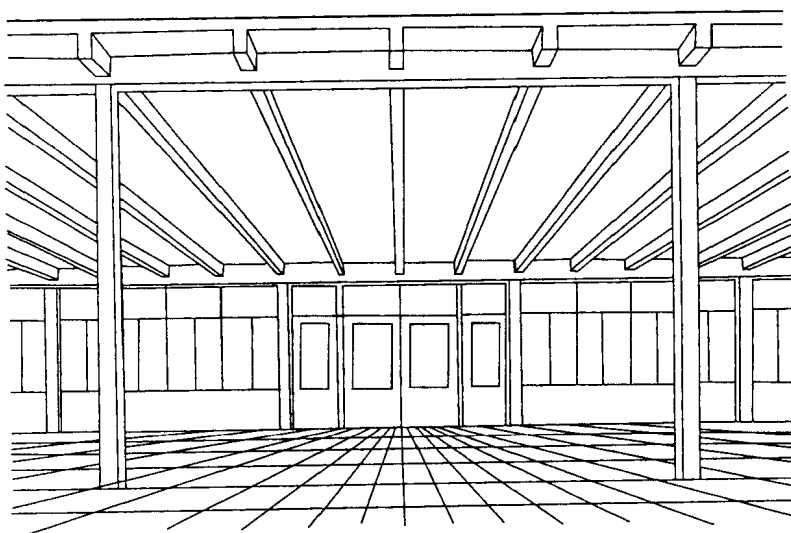


图 1.1 钢筋混凝土肋梁楼盖

肋梁楼盖由板、次梁和主梁组成,可用作多种房屋的楼盖,是应用最广泛的一种现浇楼盖形式。双重井式楼盖由板和双向正交或斜交的梁组成,由于其天棚的区格整齐,建筑效果较好,故常用于建筑物的门厅、餐厅、展厅和会议厅中。无梁楼盖由板与柱组成,因其天棚平整、净空较大,并适合于承受较大的楼面荷载,故常用于冷库、书库及其它仓库建筑中,也可用于商店建筑。另外,还有一种密肋楼盖,形式与肋梁楼盖相仿,只是次梁排得很密,且截面尺寸较小,在荷载较小而跨度不大时,采用此结构较为经济。

现浇楼盖的整体刚度大、抗震性能好、适用性强,但施工中需大量模板,施工速度较慢。

预制装配式楼盖的梁、板在预制构件厂生产,因此具有施工进度快,便于工业化生产和机械化施工等优点,在单层和多层房屋中应用较为广泛。但由于其整体刚度较差,故不宜用于高层建筑及地震烈度较高的地区。

装配整体式楼盖在预制构件吊装就位后,利用后浇钢筋混凝土层将梁板连成整体,提高了楼盖的整体刚度,与现浇楼盖相比,减少了支模,故在房屋建筑中应用较广。

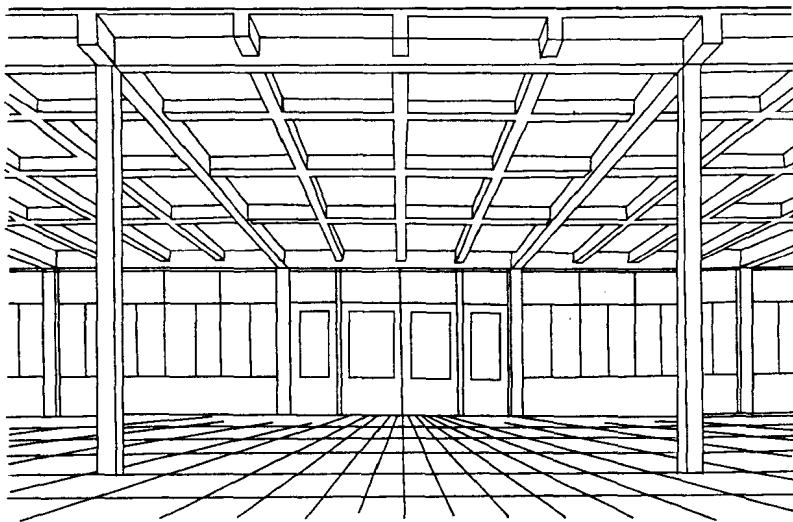


图 1.2 钢筋混凝土双重井式楼盖

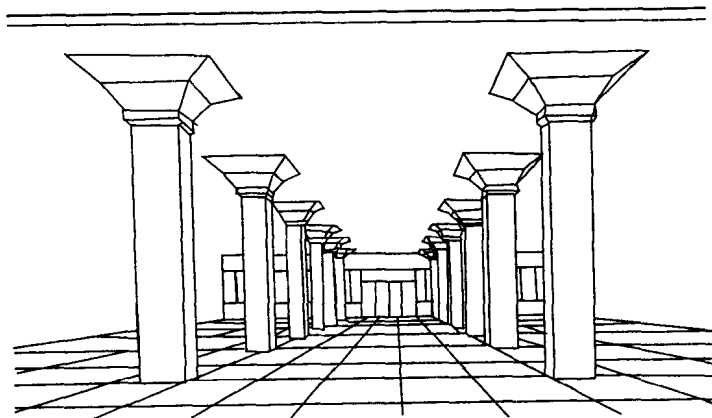


图 1.3 钢筋混凝土无梁楼盖

1.1 单向板肋梁楼盖

肋梁楼盖一般由板、次梁和主梁等构件组成,板的四周支承于次梁、主梁或砖墙上。当板的长边 l_2 比短边 l_1 大得多时,板上的荷载主要沿短向传递到支承构件上,而沿长向传递的荷载很小,可以忽略不计,这种板称为单向板。当板的长短边相差不大时,板上的荷载将通过两个方向分别传递到相应的支承构件上,这种板称为双向板。

在弹性理论计算中,当 $l_2/l_1 > 2$ 时,可按单向板计算,否则按双向板计算。在塑性理论计算中,当 $l_2/l_1 > 3$ 时,可按单向板计算,否则按双向板计算。

1.1.1 结构布置

合理布置柱网和梁格,对楼盖的设计和它的适用性以及经济效果,有十分重要的意义。

柱网和梁格尺寸应满足生产工艺和使用要求,并应使结构具有较好的经济指标。柱网、梁格尺寸过大会使梁、板截面尺寸过大,从而引起材料用量的大幅度增加;柱网、梁格尺寸过小又会受到梁、板截面尺寸及配筋等构造要求的限制,而使材料不能充分发挥作用,同时也限制了使用的灵活性。根据设计经验,

板的经济跨度: $1.7 \sim 2.7\text{m}$;

次梁的经济跨度: $4.0 \sim 6.0\text{m}$;

主梁的经济跨度: $5.0 \sim 8.0\text{m}$ 。

梁格布置应尽可能规整、统一,减少梁、板跨度的变化,以简化设计、方便施工。主梁一般沿横向布置(见图 1.4(a)),这样有助于提高房屋的横向刚度。另外,由于主梁与外墙窗户垂直,故窗户的高度可较大,有利于室内采光。若房屋有集中通风的要求,主梁也可沿纵向布置(见图 1.4(b)),但这时房屋的横向刚度相对较差。在有中间走廊的房屋中,可利用中间纵墙承重,此时可仅布置次梁而不布置主梁(见图 1.4(c))。

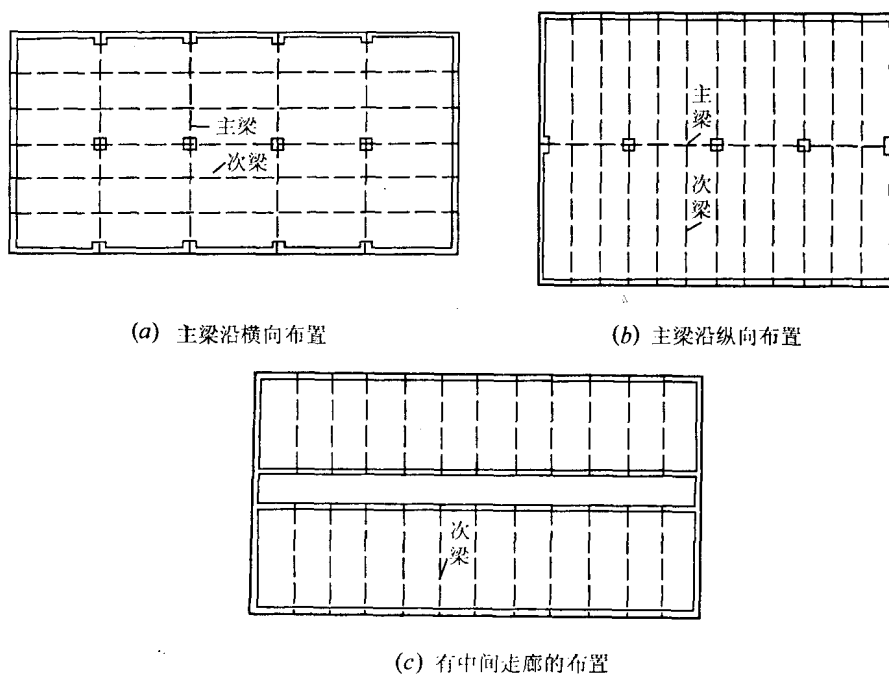


图 1.4 楼面梁的布置

此外,若楼面上有隔墙或固定设备,则在相应的位置应布置承重梁。若楼板上开有较大的洞口,则应在洞口四周布置小梁。

1.1.2 弹性理论计算方法

按弹性理论计算的方法,是将钢筋混凝土梁、板视为理想弹性体,并按结构力学中的一般方法进行内力计算。

1.1.2.1 计算简图

1. 计算单元及计算模型

对于单向板肋梁楼盖,可从整个板面上沿板短跨方向取 1m 宽板带作为板的计算单元,梁的计算单元取与该梁两边相邻梁间距一半之和的范围(见图 1.5(a))。

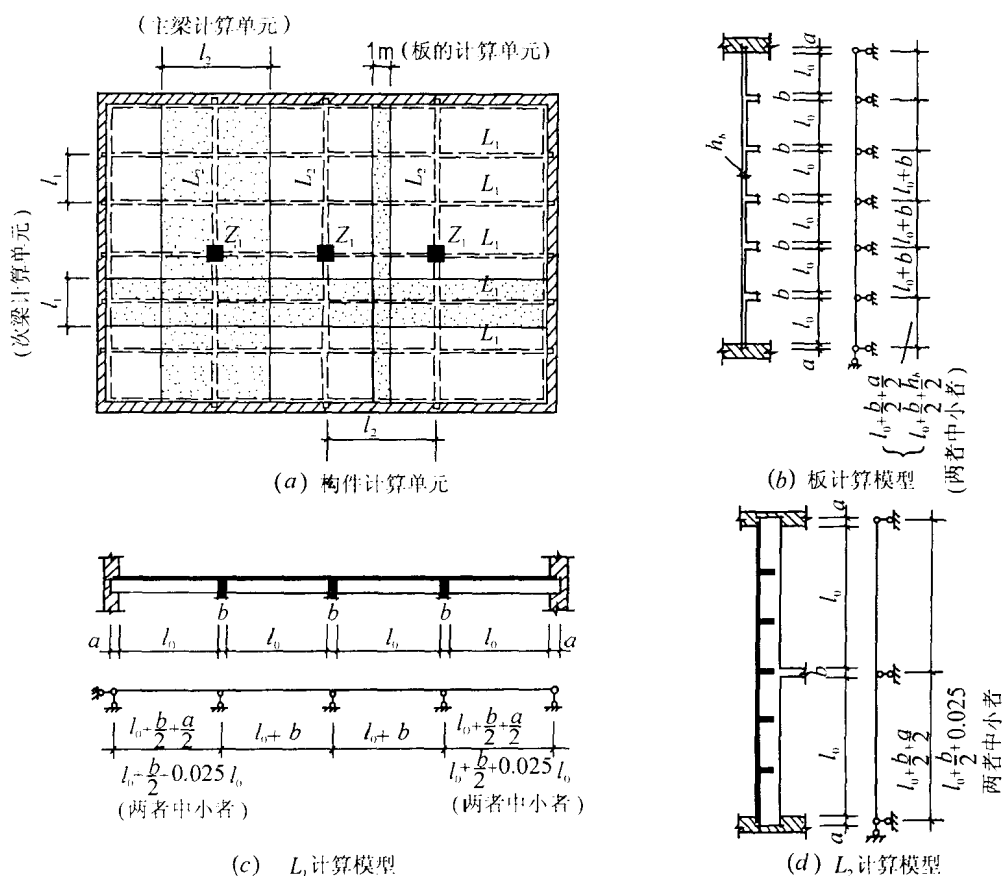


图 1.5 单向板肋梁楼盖按弹性理论计算的梁、板计算模型

板带可简化为一支承在次梁上的多跨连续梁,并假定次梁对板的支承为铰支,即不考虑次梁对板转动的约束作用,由此引起的误差将在荷载取值中进行调整(采用折算荷载)。见图 1.5(b)。次梁可简化为以主梁为支座的多跨连续梁(见图 1.5(c))。主梁一般可简化为以柱或墙为支座的多跨连续梁(见图 1.5(d)),但当梁与柱的线刚度比小于 4 时,则应按框架计算主梁的

内力。

当连续梁、板各跨的计算跨度相差不超过10%时,为简化计算,可视为等跨,其支座负弯矩应按相邻两跨的平均值确定,跨中正弯矩则仍按本跨跨长计算。

对于各跨荷载相同,跨数超过五跨的等跨、等截面连续梁(板),第三跨以内的所有中间跨的内力十分接近。为简化计算,可按五跨连续梁(板)来计算其内力。

计算跨度应按支座处的实际转动情况确定。一般,中间跨可取支座中心线间的距离。而边跨,当边支座为砖墙时,其计算跨度 l 为:

板是 $l = l_0 + b/2 + h_b/2$ 与 $l = l_0 + b/2 + a/2$ 的较小值;

梁是 $l = l_0 + b/2 + a/2$ 与 $l = l_0 + b/2 + 0.025l_0$ 的较小值。

以上式中:

l_0 ——净跨度;

b ——第一内支座宽度;

a ——在砖墙内的支承长度;

h_b ——板厚。

2. 荷载

楼面荷载包括永久荷载 g 和可变荷载 p 两部分。永久荷载为梁、板结构的自重及隔墙、固定设备重量等;可变荷载为人群、家具、堆料及临时设备的重量等。永久荷载可根据梁、板等几何尺寸求得,可变荷载可直接从《工业与民用建筑结构荷载规范》(以下简称《规范》)中查用。

在计算主、次梁的荷载时,为简化计算,一般忽略次梁或板的连续性,并将主梁自重换算成集中荷载加到次梁传来的集中荷载内。

3. 折算荷载

在计算模型的简化过程中,把与板、梁整体连结的支承视作铰支承,未考虑次梁对板、主梁对次梁在支承处的弹性约束作用。以板为例,当板在隔跨布置可变荷载时,板在支座处将产生转角 θ ,但实际上板与次梁整体连接,当板受荷载发生弯曲转动时,将带动作为其支座的次梁产生扭转,而次梁的扭转抵抗将限制板的自由转动,此时板在支座处的实际转角应为 θ' ,其值将小于板自由转动产生的转角 θ (见图1.6(a),(b)),即降低了板中的弯矩。为了考虑这一影响,可采用增大永久荷载和减小相应可变荷载的办法来处理,即以折算荷载来代替计算荷载(见图1.6(c))。类似的情况也发生在次梁与主梁之间,但由于次梁的抗扭刚度与板的抗弯刚度之比大于主梁的抗扭刚度与次梁的抗弯刚度之比,所以次梁对板的约束作用大于主梁对次梁的约束作用,故对于板和次梁,其折算荷载 g' 和 p' 分别取值为:

$$\text{板} \quad g' = g + \frac{1}{2}p \quad p' = \frac{1}{2}p \quad (1.1)$$

$$\text{次梁} \quad g' = g + \frac{1}{4}p \quad p' = \frac{3}{4}p \quad (1.2)$$

式中:

g', p' ——折算永久荷载和折算可变荷载;

g, p ——实际永久荷载和实际可变荷载。

当板或梁支承在砖墙或钢梁上时,上述约束作用将不存在,则荷载也不作上述调整。

对主梁不进行上述荷载折算。因柱对主梁的约束作用很小,忽略其影响不会引起太大的误

差。为简化计算,工程中一般不考虑柱对主梁的约束作用,但当柱刚度较大时,则应按框架计算结构的内力。

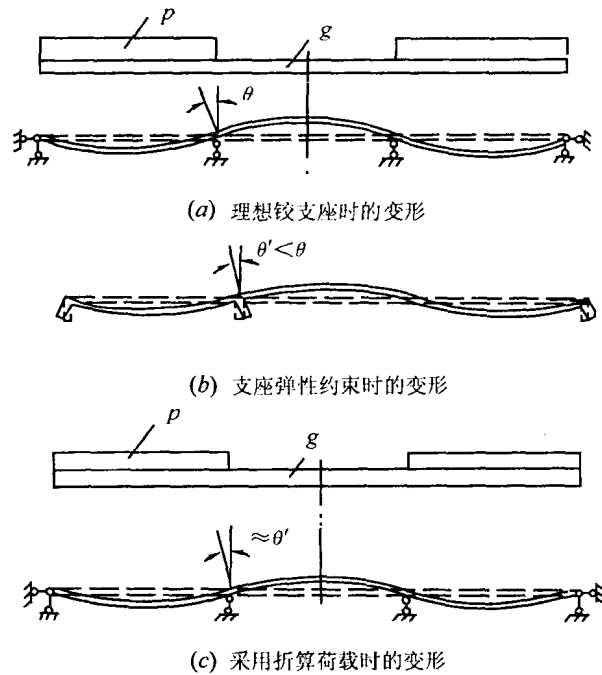


图 1.6 连续梁的变形

1.1.2.2 荷载的最不利组合

永久荷载是固定作用于结构上的荷载,而楼面可变荷载的位置是可变的,有可能出现,也有可能不出现,所以对于多跨连续结构,应考虑可变荷载如何布置才会使结构各截面上产生最大的内力。现以五跨连续梁为例来讨论这一问题。

图 1.7 给出了在永久荷载作用下及每跨单独作用可变荷载时五跨连续梁的弯矩和剪力图。由图可以很方便地得出可变荷载最不利组合的规律为:

- (1) 求某跨跨中最大正弯矩时,应在该跨布置可变荷载,然后每隔一跨布置;
- (2) 求某跨跨中最大负弯矩(即最小弯矩)时,该跨不布置可变荷载,而在相邻两跨布置,然后每隔一跨布置可变荷载;
- (3) 求某支座最大负弯矩时,应在该支座左右两跨布置可变荷载,然后每隔一跨布置;
- (4) 求某支座截面最大剪力时,其可变荷载的布置与求该支座最大负弯矩时相同,永久荷载则应按实际情况布置。

1.1.2.3 内力计算及包络图

等跨连续梁、板的内力可按结构力学中的方法计算,设计时则可通过内力系数表来确定。各等跨连续梁在常用荷载作用下的内力系数列于附表 1 中。不等跨连续梁、板的内力可采用二次弯矩分配法或其它方法求解。

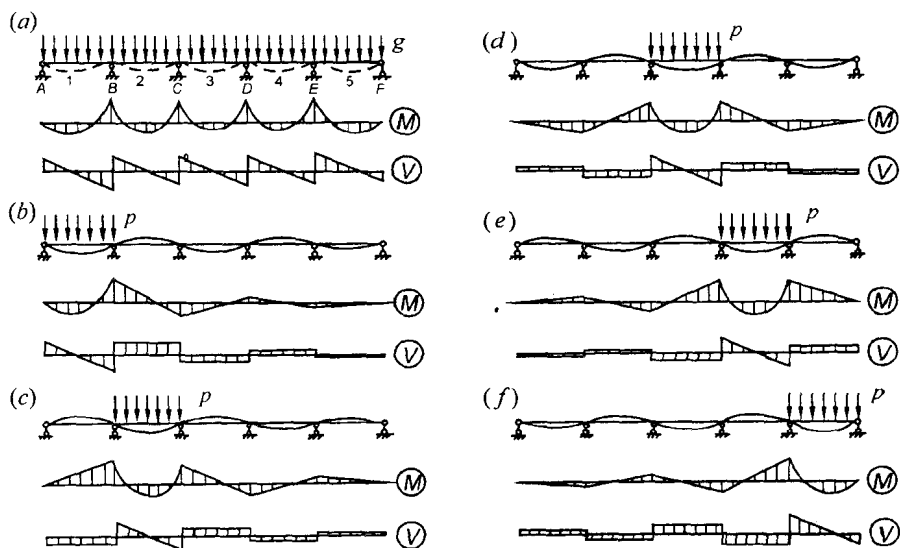
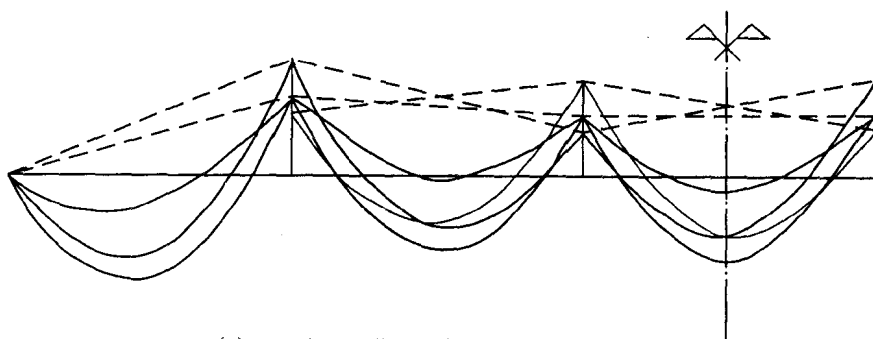
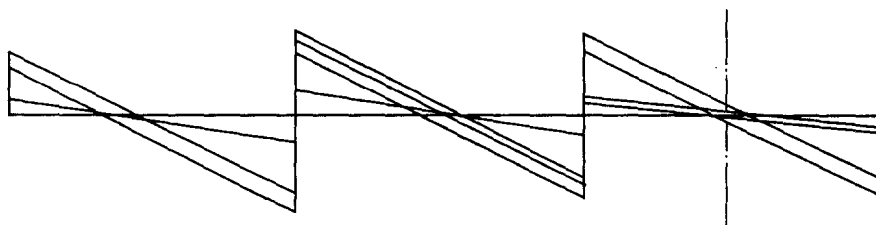


图 1.7 五跨连续梁在六种荷载情况下的力图

把永久荷载作用下各截面产生的内力与各相应截面在最不利可变荷载作用下产生的内力相叠加(包括正、负弯矩和剪力),便可得到各截面可能出现的最不利内力。图 1.8(a) 为一承受均布荷载五跨连续梁的弯矩叠合图,其外包线即为各截面可能出现弯矩的最大和最小值,由这些外包线围成的图形称为弯矩包络图。利用类似的方法可绘出剪力包络图(见图 1.8(b))。



(a) 承受均布荷载的五跨连续梁的弯矩叠合图



(b) 承受均布荷载的五跨连续梁的剪力叠合图

图 1.8 内力包络图

1.1.2.4 结构设计时弯矩和剪力的取值

按弹性理论计算时,跨度取支承中心线间的距离,因而支座最大负弯矩和支座最大剪力均出现在支座中心处,但此处由于整体连接的支承梁(或柱)加大了截面的高度和宽度,所以截面破坏一般只发生在支座边,故应取支座边的弯矩和剪力值作为计算值(见图 1.9)。弯矩 M_c 和剪力 V_c 可按下式计算:

$$M_c = M - V_0 \times \frac{b}{2} \quad (1.3)$$

$$V_c = V - (g + p) \frac{b}{2} \quad (1.4)$$

式中:

M, V —— 支座中心截面上的弯矩和剪力;

V_0 —— 按简支梁计算的支座剪力;

b —— 支座宽度;

g, p —— 梁上均布的永久荷载和可变荷载的设计值。

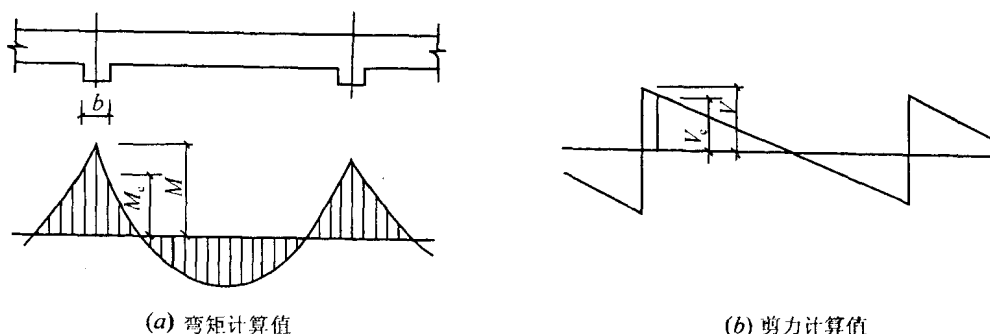


图 1.9 支座边的内力计算值

1.1.3 塑性理论计算方法

按弹性理论计算的连续梁弯矩包络图来设计构件的截面及配筋,无疑可以保证结构的安全可靠,但弯矩包络图反映的是各截面可能出现的最不利弯矩,而这些最不利弯矩并非同时出现,所以某截面的弯矩达到最大值时,另一些截面的弯矩并未达到最大值,也即这些截面的材料未能得到充分利用。弹性理论计算方法还把结构刚度视为常数,同时认为任意一个截面上的弯矩达到其极限值时,整个结构即达到破坏状态,这对于静定结构或脆性材料结构来说是适合的,但不适合弹塑性材料的超静定结构。事实上,由于钢筋混凝土结构在荷载作用下会开裂及材料本身的非弹性性能,特别是钢筋屈服后产生明显的塑性变形,使结构各截面的刚度随弯矩的变化而不断改变,也就是说,结构并不是等刚度的。对超静定结构而言,刚度的不断改变使结构的弯矩不断发生变化,即产生内力重分布现象。这时实际的弯矩分布与弹性理论计算的弯矩有较大的差异,而且当某一截面的弯矩达到极限值时,由于钢筋屈服后具有较大的塑性变形能力,结构并未破坏,尚可继续承载。

钢筋混凝土结构的截面配筋是按极限状态设计的,这已充分考虑了钢筋混凝土的塑性性能,而按弹性理论计算的内力却未考虑这一性能,所以两者是互不协调的。若在钢筋混凝土超静定结构内力计算时考虑塑性内力重分布,则可使计算的内力与实际情况相符合,消除内力计算和截面计算之间的矛盾;另外,还可使各截面的材料都得到充分利用,获得一定的技术经济效益。下面对这一问题进行分析和论述。

1.1.3.1 钢筋混凝土受弯构件的塑性铰

钢筋混凝土受弯构件在受拉钢筋达到屈服强度后,将发生钢筋的流动,此时弯矩的增量很小,但相应的截面转角却大大增加(见图 1.10)。若忽略钢筋开始屈服到截面破坏前这一阶段弯矩的微小增长,则梁中钢筋一旦达到屈服,截面将在弯矩不变的情况下产生很大的转动,从而形成一个能转动的“铰”。对于这种塑性变形集中发展的区域,在杆系结构中称为塑性铰(此区域的长度 l_y 即为塑性铰长度),在板内则称为塑性铰线。其特点为:

- (1) 塑性铰不是集中于一点,而是形成于钢筋屈服的整个区域;
- (2) 塑性铰处能承受一定的弯矩,即能承受该截面的极限弯矩 M_u ;
- (3) 塑性铰只能沿弯矩作用方向作一定限度的转动。

塑性铰的出现,可使超静定结构的超静定次数减少,直到结构成为机动可变体系。

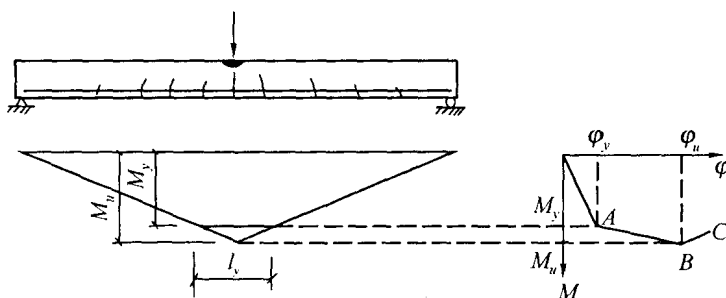


图 1.10 梁截面弯矩曲率图

1.1.3.2 钢筋混凝土超静定结构的内力重分布

在钢筋混凝土超静定结构中,由于混凝土开裂引起的刚度变化,特别是塑性铰的形成,将在结构各截面产生内力重分布。

图 1.11(a) 所示为一两跨连续梁,每跨距离中支座 $1/3$ 跨度处作用有集中荷载 P ,现讨论中支座截面及荷载作用截面弯矩随荷载变化的情况。

(1) 弹性阶段:从加载开始至混凝土开裂之前,整条梁接近于弹性体,其弯矩的实测值与按弹性理论的计算值非常接近,一般观测不到内力重分布现象。其弯矩分布如图 1.11(b) 所示。

(2) 弹塑性阶段:当加载到中支座受拉区混凝土开裂,但跨中尚未出现裂缝时,梁中出现内力重分布。由于开裂使截面刚度减小,故中支座弯矩增长率下降,跨中弯矩增长率上升。如果继续加载至跨中截面受拉区混凝土开裂,但中支座的受拉筋尚未屈服,则此时跨中截面弯矩增长率减慢,而中支座弯矩增长率加快——表现出两截面之间的内力重分布。