



普通高等学校土木工程专业创新系列规划教材



混凝土结构(下)

——混凝土结构设计

主编 秦 力 张自荣
主审 王立成



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

普通高等学校土木工程专业创新系列规划教材

混凝土结构(下)

——混凝土结构设计

主 编 秦 力 张自荣
副主编 杨永东 刘 卉
主 审 王立成



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

混凝土结构. 下, 混凝土结构设计/秦力, 张自荣主编. —武汉: 武汉大学出版社, 2017. 1

普通高等学校土木工程专业创新系列规划教材

ISBN 978-7-307-18196-0

I. 混… II. ①秦… ②张… III. 混凝土结构—高等学校—教材
IV. TU37

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 145000 号

责任编辑:方竞男 路亚妮 责任校对:李嘉琪 装帧设计:吴 极

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:whu_publish@163.com 网址:www.stmpress.cn)

印刷:珞珈山学苑印务有限公司

开本:850×1168 1/16 印张:17.75 字数:482千字

版次:2017年1月第1版 2017年1月第1次印刷

ISBN 978-7-307-18196-0 定价:39.00元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

普通高等学校土木工程专业创新系列规划教材 编审委员会

(按姓氏笔画排名)

主任委员:刘殿忠

副主任委员:张利 孟宪强 金菊顺 郑毅 秦力

崔文一 韩玉民

委员:马光述 王睿 王文华 王显利 王晓天

牛秀艳 白立华 吕文胜 仲玉侠 刘伟

刘卫星 李利 李栋国 杨艳敏 邱国林

宋敏 张自荣 邵晓双 范国庆 庞平

赵元勤 侯景鹏 钱坤 高兵 郭靳时

程志辉 蒙彦宇 廖明军

总责任编辑:曲生伟

秘书长:蔡巍

特别提示

教学实践表明,有效地利用数字化教学资源,对于学生学习能力以及问题意识的培养乃至怀疑精神的塑造具有重要意义。

通过对数字化教学资源的选取与利用,学生的学习从以教师主讲的单向指导模式转变为建设性、发现性的学习,从被动学习转变为主动学习,由教师传播知识到学生自己重新创造知识。这无疑锻炼和提高学生的信息素养的大好机会,也是检验其学习能力、学习收获的最佳方式和途径之一。

本系列教材在相关编写人员的配合下,逐步配备基本数字教学资源,主要包括:

主 文 本:课程重难点、思考题与习题参考答案、知识拓展等。

图 片:课程教学外观图、原理图、设计图等。

视 频:课程讲述对象展示视频、模拟动画,课程实验视频,工程实例视频等。

音 频:课程讲述对象解说音频、录音材料等。

数字资源获取方法:

- ① 打开微信,点击“扫一扫”。
- ② 将扫描框对准书中所附的二维码。
- ③ 扫描完毕,即可查看文件。

更多数字教学资源共享、图书购买及读者互动敬请关注“开动土木传媒”微信公众号!





前 言

本书是根据全国高等学校土木工程专业指导委员会审定通过的《高等学校土木工程本科指导性专业规范》编写的,分上、下两册,上册为《混凝土结构基本原理》,属专业基础课教材,主要讲述基本理论和基本构件;下册为《混凝土结构设计》,属专业课教材,主要讲述楼盖、单层厂房、砌体结构设计、多层框架结构和高层建筑结构。

本书的编写以教学为主,突出重点、讲清难点,与相关规范和工程实际紧密结合,注意与其他相关课程的衔接和综合应用,尽量体现国内外最新科技成果。为使学生掌握每章的核心内容,每章开篇设有内容提要和能力要求,每章结束设有知识归纳;为利于学生巩固每章学习内容,每章章末设有思考题。

本书由秦力、张自荣担任主编,杨永东、刘卉担任副主编。具体编写分工为:长春工程学院张自荣(第1、5章)、东北电力大学秦力(第2、5章)、陇东学院杨永东(第3章)、长春工程学院刘卉(第4章)。大连理工大学王立成教授担任本书主审,详细审阅了编写大纲和全部书稿,并提出了宝贵的修改意见,特此感谢。

本书可作为土木工程专业及相关专业本科学生的基础教材,也可作为从事混凝土结构设计与施工专业技术人员的参考用书。

在本书编写过程中,编者参考了国内近年来正式出版的相关规范和教材,在此特向规范编制部门和有关作者表示衷心的感谢。

限于作者水平,书中不妥之处在所难免,敬请读者批评、指正。

编 者

2016年11月

目 录

1 楼盖	1
1.1 概述/1	
1.2 现浇单向板肋梁楼盖/3	
1.3 双向板肋梁楼盖/33	
1.4 无梁楼盖/47	
1.5 装配式楼盖/53	
1.6 楼梯/56	
知识归纳/59	
思考题/60	
参考文献/61	
2 单层厂房	62
2.1 单层厂房的结构形式、结构组成和结构布置/62	
2.2 排架计算/72	
2.3 单层厂房柱/86	
知识归纳/95	
思考题/95	
参考文献/96	
3 砌体结构设计	97
3.1 概述/97	
3.2 块体、砂浆的种类和强度等级/100	
3.3 砌体结构的设计方法与砌体的强度设计值/103	
3.4 砌体结构构件的承载力/108	
3.5 混合结构房屋的砌体结构设计/125	
3.6 墙体的设计计算/133	
3.7 圈梁、过梁、挑梁和墙梁的设计/154	
3.8 墙、柱的一般构造要求、框架填充墙和防止墙体裂缝的措施/169	
知识归纳/176	
思考题/176	
参考文献/177	
4 多层框架结构	178
4.1 多层框架结构的组成与布置/178	
4.2 框架结构内力近似计算方法/181	

- 4.3 多层框架结构内力组合/202
- 4.4 多层框架结构构造要求/206
- 4.5 现浇混凝土多层框架结构设计示例/209
- 知识归纳 /211
- 思考题/211
- 参考文献/211

5 高层建筑结构

- 5.1 概述/212
- 5.2 高层建筑结构体系与布置/216
- 5.3 高层建筑结构上的作用/228
- 5.4 剪力墙结构/229
- 5.5 框架-剪力墙结构/241
- 5.6 筒体结构/256
- 知识归纳/267
- 思考题/268
- 参考文献/268

附录

- 附录 1 民用建筑楼面均布活荷载标准值及其组合值、频遇值和准永久值系数/269
- 附录 2 等截面等跨连续梁在常用荷载作用下的内力系数表/269
- 附录 3 双向板弯矩、挠度计算系数/269
- 附录 4 钢筋混凝土结构伸缩缝最大间距/269
- 附录 5 单阶柱柱顶反力与水平位移系数值/270
- 附录 6 《砌体结构设计规范》(GB 50003—2011)的有关规定/270
- 附录 7 电动桥式起重机基本参数 50~500/50 kN 一般用途电动桥式起重机基本参数和尺寸系列(ZQ1-62)/270
- 附录 8 规则框架承受均布及倒三角分布水平力作用时标准反弯点的高度比/270
- 附录 9 混凝土结构设计规范(GB 50010—2010)/270
- 附录 10 建筑结构荷载规范(GB 50009—2012)/271
- 附录 11 厂房建筑模数协调标准(GB 50006—2010)/271
- 附录 12 砌体结构设计规范(GB 50003—2011)/271
- 附录 13 建筑抗震设计规范(GB 50011—2010)/271
- 附录 14 高层建筑混凝土结构技术规程(JGJ 3—2010)/271
- 附录 15 房屋建筑制图统一标准(GB 50001—2010)/272
- 附录 16 建筑制图统一标准(GB 50104—2010)/272
- 附录 17 习题库/272

数字资源目录

1 楼盖	(1)
重难点	(1)
现浇钢筋混凝土楼盖视频	(3)
钢筋混凝土施工三维立体图解	(15)
思考题答案	(61)
2 单层厂房	(62)
重难点	(62)
厂房结构形式图	(62)
厂房的结构布置动画	(64)
柱间支撑形式图	(68)
钻孔灌注桩施工动画	(86)
思考题答案	(96)
3 砌体结构设计	(97)
重难点	(97)
块体的种类图	(100)
智能混凝土概述	(100)
砂浆的组成材料图	(102)
思考题答案	(177)
4 多层框架结构	(178)
重难点	(178)
框架节点连接图	(206)
总结 100 种弯矩图图例	(209)
日本对混凝土保护层控制方法和措施	(210)
思考题答案	(211)
5 高层建筑结构	(212)
重难点	(212)
中国 35 栋 500 m 以上高楼(含在建、拟建、完工)	(214)
筒体结构建筑图	(256)
思考题答案	(268)
附录	(269)



内容提要

本章主要内容包括现浇单向板肋梁楼盖、双向板肋梁楼盖、无梁楼盖、装配式楼盖和楼梯等结构设计。本章的教学重点是现浇单向板肋梁楼盖和双向板肋梁楼盖设计,教学难点是双向板肋梁楼盖设计。

能力要求

通过本章的学习,学生应掌握现浇单向板肋梁楼盖、双向板肋梁楼盖的设计方法,了解无梁楼盖、装配式楼盖的设计思路,理解楼梯的设计方法。



重难点

1.1 概 述

楼盖是房屋结构中的重要组成部分,对保证建筑物的承载力、刚度、耐久性及抗风、抗震性能具有重要的作用,对建筑效果和建筑隔声、隔热也有直接的影响。混凝土楼盖在整个房屋的材料用量和造价中所占的比重较大,因此,合理选择楼盖形式,并正确进行设计,对整个房屋的使用和技术经济指标至关重要。

此外,楼盖的设计概念和方法也被广泛用于土木工程中的其他相关领域,比如挡土墙、梁板式基础、桥面、水池等梁板形式的结构设计。

1.1.1 楼盖的结构类型

混凝土楼盖的结构主要有两种分类方法。

按照结构形式可分为单向板肋梁楼盖、双向板肋梁楼盖、无梁楼盖、密肋楼盖、井字楼盖、扁梁楼盖等,分别如图 1-1(a)~(f)所示,其中单向板肋梁楼盖和双向板肋梁楼盖的应用最为普遍。

按照施工方法可分为现浇式楼盖、装配式楼盖和装配整体式楼盖三种。现浇式楼盖整体性好,刚度大,抗震抗冲击性好,防水性好,易于开洞,对不规则平面适用性强。其缺点是费工、费模板、施工周期长。装配式楼盖可以克服现浇楼盖的缺点,施工速度快,但整体性较差,在抗震设防区有限制使用的趋势。而装配整体式楼盖是对装配式楼盖的一种改进,它是在装配式楼盖的面板上做配筋细石混凝土现浇层,以提高楼盖的刚度、整体性和抗震性能,因此,它兼具现浇式楼盖和装配式楼盖的优点。

随着商品混凝土、泵送混凝土及工具式模板的广泛使用,钢筋混凝土结构,包括混凝土楼盖,大多采用现浇式。

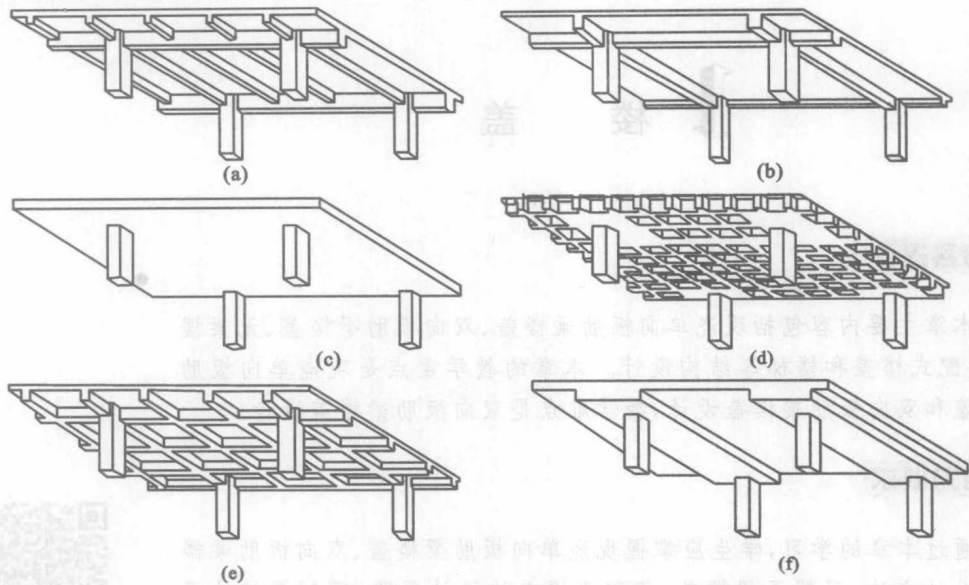


图 1-1 楼盖的结构形式

(a) 单向板肋梁楼盖; (b) 双向板肋梁楼盖; (c) 无梁楼盖; (d) 密肋楼盖; (e) 井字楼盖; (f) 扁梁楼盖

1.1.2 单向板与双向板的定义

肋梁楼盖是由板、次梁、主梁所组成的,如图 1-2 所示。

肋梁楼盖每一区格板的四边一般均有梁或墙支撑,板上的荷载主要通过板的弯曲作用传递到四边支撑的构件上。根据弹性薄板理论的分析结果,当区格板的长边与短边之比超过一定数值时,荷载主要是通过沿板的短边方向的弯曲作用传递的,沿长边方向传递的荷载可以忽略不计,这时可称其为单向板;如果荷载沿着板的两个方向均存在弯曲作用传递,且不能忽略任意一个方向的弯曲时,这样的板称为双向板。

如图 1-3 所示,承受竖向均布荷载 q 的四边简支矩形板, l_1, l_2 分别为其长跨、短跨方向的计算跨度,现在来研究荷载 q 在长跨、短跨方向的传递情况。取出跨度中点两个相互垂直的宽度为 1 m 的板带来分析,沿短跨方向传递的荷载为 q_1 ,沿长跨方向传递的荷载为 q_2 ,则 $q = q_1 + q_2$,当不计相邻板带对它们的影响时,这两条板带的受力如同简支梁,且其跨度中点的挠度相等,即 $\frac{5q_1 l_1^4}{384EI} = \frac{5q_2 l_2^4}{384EI}$,由此可求得两个方向传递的荷载的比值, $\frac{q_1}{q_2} = \left(\frac{l_2}{l_1}\right)^4$,故 $q_1 = \frac{l_2^4}{l_1^4 + l_2^4} q = \eta_1 q, q_2 = \frac{l_1^4}{l_1^4 + l_2^4} q = \eta_2 q$,式中, η_1, η_2 为短跨、长跨方向的荷载分配系数。

当 $l_2/l_1 = 2$ 时, $\eta_1 = 0.941, \eta_2 = 0.059$,此时由长跨方向传递的荷载不超过 6%,可见,当 $l_2/l_1 > 2$ 时,荷载绝大部分由短跨方向传递,如忽略荷载沿长跨方向的传递,可近似地将板视为单向板。《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)(附录 9)有以下规定。

- ① 两对边支承的板,应按单向板计算。
- ② 四边支承的板,应按下列规定计算:
 - a. 当长边与短边之比不大于 2.0 时,应按双向板计算;
 - b. 当长边与短边之比大于 2.0,但小于 3.0 时,宜按双向板计算;
 - c. 当长边与短边之比不小于 3.0 时,宜按短边受力的单向板计算,并应沿长边方向布置构造钢筋。

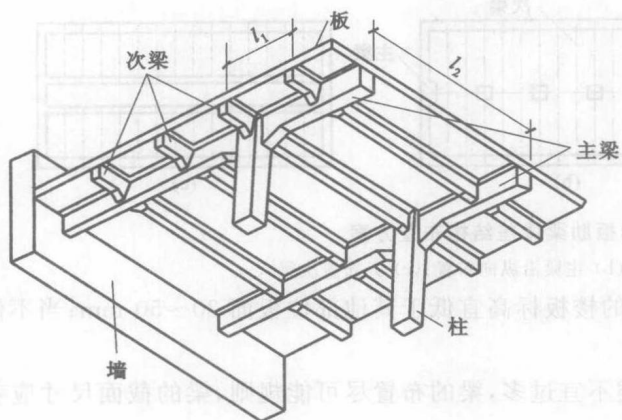


图 1-2 整体式钢筋混凝土肋梁楼盖

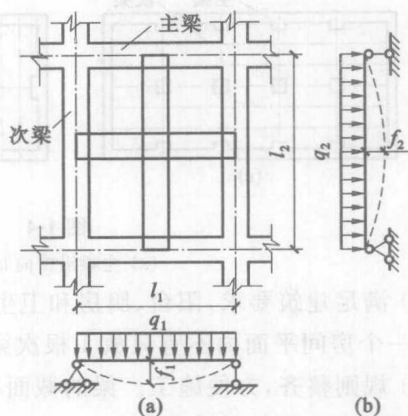


图 1-3 受均布荷载作用的四边支承矩形板

1.2 现浇单向板肋梁楼盖

现浇单向板肋梁楼盖由单向区格板、次梁和主梁组成,其特点是传力明确,计算简单,荷载不大时较为经济,被广泛应用于一般的工业与民用建筑的楼屋盖。其设计步骤为:① 结构平面布置,并拟定板厚及次梁和主梁的截面尺寸;② 确定板、次梁和主梁的计算简图;③ 荷载计算及板、次梁和主梁的内力分析;④ 截面配筋计算及构造要求;⑤ 绘制结构施工图。



现浇钢筋混凝土
楼盖视频

1.2.1 结构平面布置

单向板肋梁楼盖结构平面布置主要是确定柱网和梁格的平面尺寸,梁格布置应综合考虑房屋的使用要求和梁的合理跨度,与柱网布置统一考虑。梁格及柱网布置应力求简单、规整、统一,以减少构件类型,方便设计和施工。具体布置方案有以下三种。

① 主梁横向布置,次梁纵向布置,如图 1-4(a)所示。主梁截面较大,抗弯刚度较好,与框架柱形成横向框架,可以增强承受水平作用力的侧向刚度,各榀横向框架由板和次梁纵向连接,房屋的整体性较好。此外,由于主梁与外纵墙垂直,窗户高度可以开得大些,有利于采光、通风。

② 主梁纵向布置,次梁横向布置,如图 1-4(b)所示。这种布置适用于横向柱距比纵向柱距大得多的情况,此时可以减小主梁截面高度,增大室内净空,多用于多层工业厂房。

③ 只布置次梁,不设主梁,如图 1-4(c)所示。它适用于有中间走廊的砌体墙承重的混合结构房屋。

在进行楼盖的结构平面布置时,应注意以下几个问题。

① 受力合理,荷载传递明确,梁应连续贯通,尽量避免将梁,特别是主梁搁置在门、窗洞口过梁上;主梁跨间最好不要只布置 1 根次梁,以减小主梁跨间弯矩的不均匀性;在楼盖上有较大集中荷载处宜设置次梁,楼板上开有较大洞口时(大于 800 mm),应在洞口周边设置加劲小梁。

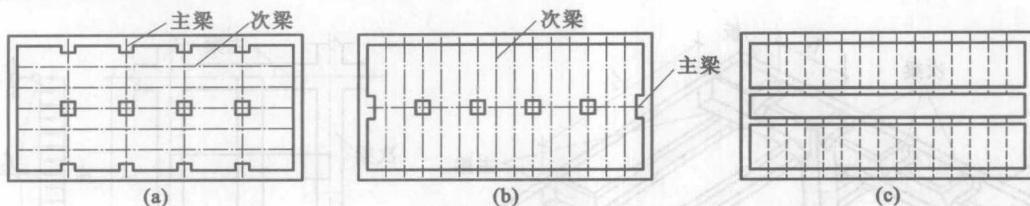


图 1-4 单向板肋梁楼盖结构布置方案

(a) 主梁沿横向布置;(b) 主梁沿纵向布置;(c) 只布置次梁

② 满足建筑要求,阳台、厨房和卫生间的楼板标高宜低于其他部位板面 30~50 mm;当不做吊顶时,一个房间平面内不宜只放 1 根次梁。

③ 规则整齐,方便施工。梁的截面种类不宜过多,梁的布置尽可能规则,梁的截面尺寸应考虑模板设置的方便性,符合模数。

④ 考虑经济效益,柱网尺寸决定主梁跨度,主梁间距决定次梁跨度,次梁间距决定板的跨度。板、次梁和主梁的常用经济跨度:单向板为 1.7~2.5 m,次梁为 4~6 m,主梁为 5~8 m。此外,要尽量减小板厚。在现浇楼盖中,板的混凝土用量占混凝土总用量的 50%~60%,所以在满足承载力、隔声和防水等条件的情况下,应尽量减少板厚。

1.2.2 计算简图

1.2.2.1 设计思路

单向板肋梁楼盖的板、次梁、主梁和柱均整浇在一起,形成一个复杂体系,但由于板的刚度很小,次梁的刚度又比主梁的刚度小很多,所以整个楼盖体系可以分解为板、次梁、主梁几个构件单独进行计算。作用在板面上的荷载传递路线为:荷载—板—次梁—主梁—墙或柱。墙或柱是主梁支座,主梁是次梁的支座,次梁是板的支座。

1.2.2.2 计算单元

为减少计算工作量,进行结构内力分析时,常常不是对整个结构进行分析,而是从实际结构中选取有代表性的一部分作为计算的对象,称为计算单元。

① 对单向板,可以沿着区格板的长边方向取 1 m 宽板带作为计算单元,如图 1-5(a)所示,并将 1 m 宽板简化成一根连续梁,次梁和两边的墙体简化为板的铰支座,荷载可取 1 m 宽板带上的线荷载,如图 1-5(b)所示。

② 次梁的计算简图可取以主梁和墙为铰支座的连续梁,如图 1-5(c)所示,其荷载包括板传来的荷载和次梁的自重,均按线荷载考虑。板传来荷载的负荷载范围如图 1-5(a)的阴影所示,即次梁两侧板跨各一半荷载传给次梁。

③ 当主梁与柱的混凝土为整体浇筑时,梁与柱组成一个整体,其内力可按刚架计算。如果梁的刚度比柱的刚度大很多时(如梁与柱的线刚度比大于 5),可将主梁视为铰支于柱上的连续梁计算,如图 1-5(d)所示。主梁承受次梁传来的集中力及主梁自重,由于主梁自重比次梁传来的荷载小得多,为简化计算,可将其换算成集中荷载一并计算。

1.2.2.3 荷载计算

楼盖上的荷载有恒荷载和活荷载两种,恒荷载标准值按其截面尺寸和材料重度计算,活荷载标准值可从《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)(附录 10)中直接查取。

在确定连续梁、板计算简图时,假定为铰支座,即假定支座可以自由转动,实际上忽略了次梁对板、主梁对次梁、柱对主梁的支座弯曲转动的约束能力。在现浇楼盖中,板和次梁是整浇在一起的,

板发生弯曲转动时,支承它的次梁将产生扭转,反过来,次梁的抗扭刚度将约束板的弯曲转动,使板在支承处的实际转角 θ' 比理想铰支承的转角 θ 小,如图1-6(a)、(b)所示。同样的情况发生在次梁和主梁之间,由此带来的误差将通过荷载调整的方式来修正,如图1-6(c)所示。

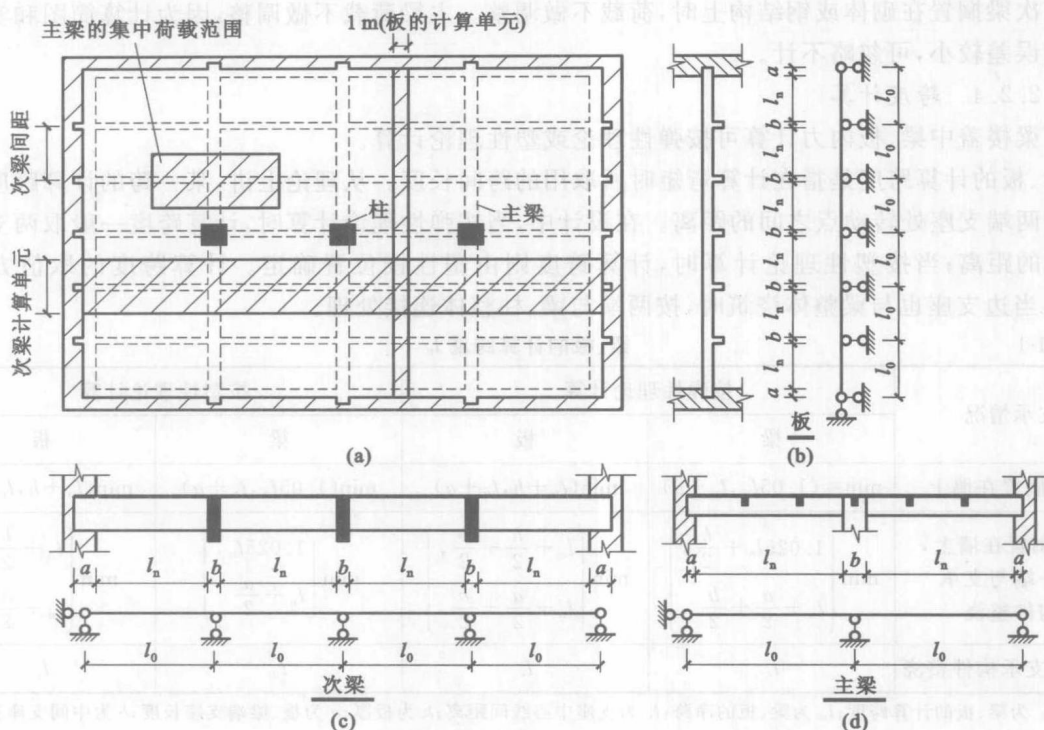


图 1-5 单向板肋梁楼盖的计算简图

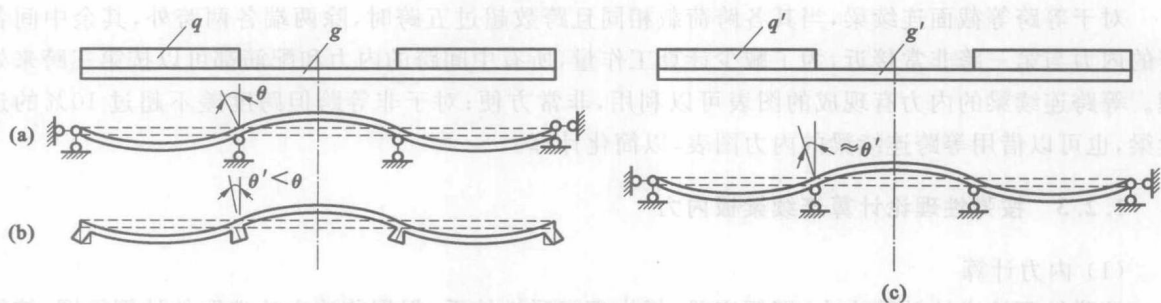


图 1-6 连续梁和单向连续板的折算荷载束影响

(a) 理想铰支座的变形; (b) 支座弹性约束时的变形; (c) 采用折算荷载时的变形

由于板、次梁支座转动主要是由活荷载不利布置产生的,因此,采用保持总荷载不变,增大恒荷载,减小活荷载这种比较简单方便的方法来进行修正,即在计算板、次梁的内力时,采用折算荷载计算。

连续板:

$$g' = g + \frac{q}{2}, \quad q' = \frac{q}{2} \quad (1-1)$$

连续次梁:

$$g' = g + \frac{q}{4}, \quad q' = \frac{3q}{4} \quad (1-2)$$

式中 g, q ——单位长度上恒荷载、活荷载设计值;

g', q' ——单位长度上折算恒荷载、活荷载设计值。

考虑主梁对次梁的转动约束能力要小于次梁对板的转动约束,因此荷载调整幅度要小一些。当板或次梁搁置在砌体或钢结构上时,荷载不做调整。主梁荷载不做调整,因为计算简图和实际结构之间误差较小,可忽略不计。

1.2.2.4 跨度计算

肋梁楼盖中梁、板内力计算可按弹性理论或塑性理论计算。

梁、板的计算跨度是指在计算弯矩时所取用的跨间长度。从理论上讲,某一跨的计算跨度应取为该跨两端支座处转动点之间的距离。在设计中,当按弹性理论计算时,计算跨度一般取两支座反力之间的距离;当按塑性理论计算时,计算跨度则由塑性铰位置确定。计算跨度的取值方法见表 1-1,当边支座也与梁整体浇筑时,按两端与梁、柱整体连接处理。

表 1-1 梁、板的计算跨度 l_0

支承情况	按弹性理论计算		按塑性理论计算	
	梁	板	梁	板
两端搁置在墙上	$\min(1.05l_n, l_n+a)$	$\min(l_n+h, l_n+a)$	$\min(1.05l_n, l_n+a)$	$\min(l_n+h, l_n+a)$
一端搁置在墙上, 另一端与支承 构件整浇	$\min\left(1.025l_n + \frac{b}{2}, l_n + \frac{a}{2} + \frac{b}{2}\right)$	$\min\left(l_n + \frac{h}{2} + \frac{b}{2}, l_n + \frac{a}{2} + \frac{b}{2}\right)$	$\min\left(1.025l_n, l_n + \frac{a}{2}\right)$	$\min\left(l_n + \frac{h}{2}, l_n + \frac{a}{2}\right)$
两端与支承构件整浇	l_c	l_c	l_n	l_n

注: l_0 为梁、板的计算跨度; l_n 为梁、板的净跨; l_c 为支座中心线间距离; h 为板厚; a 为板、梁端支座长度; b 为中间支座宽度。

1.2.2.5 跨数计算

对于等跨等截面连续梁,当其各跨荷载相同且跨数超过五跨时,除两端各两跨外,其余中间各跨的内力与第三跨非常接近,为了减少计算工作量,所有中间跨的内力和配筋都可以按第三跨来处理。等跨连续梁的内力有现成的图表可以利用,非常方便;对于非等跨但跨度差不超过 10% 的连续梁,也可以借用等跨连续梁的内力图表,以简化计算。

1.2.3 按弹性理论计算连续梁板内力

(1) 内力计算

按弹性理论方法计算内力,即假定梁、板为理想弹性体系,根据前述方法选取的计算简图,按结构力学中所述的方法求出弯矩和剪力。

设计时为了减轻计算工作量,更多地采用查表法进行计算。对于各种不同布置的荷载作用下的等跨连续梁和连续单向板,先从附录 2 中直接查得相应的弯矩系数和剪力系数,再利用下列公式计算跨内或支座截面的内力。

均布及三角形荷载作用下:

$$M = k_1 gl_0^2 + k_2 ql_0^2 \quad (1-3)$$

$$V = k_3 gl_0 + k_4 ql_0 \quad (1-4)$$

集中荷载作用下:

$$M = k_5 Gl_0 + k_6 Ql_0 \quad (1-5)$$

$$V = k_7 G + k_8 Q \quad (1-6)$$

式中 g, q ——单位长度上的均布永久荷载设计值、可变荷载设计值；

G, Q ——集中永久荷载设计值、可变荷载设计值；

k_1, k_2, k_5, k_6 ——附录 2 中的弯矩系数；

k_3, k_4, k_7, k_8 ——附录 2 中的剪力系数。

附录 2 中系数适用于等跨等截面连续梁板,对于非等跨连续梁板,当跨度差不超过 10% 的,也可以借助于等跨连续梁板内力系数表(附录 2),以简化计算。

(2) 活荷载最不利布置

楼盖所受荷载包括永久荷载和可变荷载两部分,其中可变荷载的位置是变化的。

对于单跨梁,显然是当全部永久荷载和可变荷载同时作用时将产生最大内力;但对于多跨连续梁的某一截面而言,当所有荷载同时满布各跨时引起的内力未必为最大。欲使设计的连续梁在各种可能的荷载布置下都能可靠使用,就必须求出在各个截面可能产生的最不利内力,即必须考虑可变荷载的最不利布置。

图 1-7 所示为某五跨连续梁在不同跨间布置荷载时梁的弯矩图和剪力图,从图中可以看出一些变化规律。如当可变荷载作用在某跨时,该跨跨中为正弯矩,临跨跨中为负弯矩,然后正负弯矩相同。由此不难总结出确定连续梁可变荷载最不利布置的原则如下。

① 欲求某跨跨中最大正弯矩时,应在该跨布置可变荷载,然后向两侧隔跨布置。

② 欲求某跨跨中最小正弯矩时,该跨不布置荷载,而是在该跨左右临跨布置可变荷载,然后向两侧隔跨布置。

③ 欲求某支座截面最大负弯矩时,应在该支座相邻两跨布置可变荷载,然后向两侧隔跨布置。

④ 欲求某支座截面最大剪力时,应在该支座相邻两跨布置可变荷载,然后向两侧隔跨布置。

根据上述原则可以确定可变荷载下最不利布置的各种情况,它们分别与永久荷载(布满各跨)组合在一起,就得到荷载的最不利组合。

(3) 内力包络图

求出了支座和跨中截面的最大弯矩值、最大剪力值,就可以进行截面设计。但这只能确定支座和跨中的配筋,而不能确定钢筋在跨内的变化情况,例如上部纵向钢筋的切断和下部纵向钢筋的弯起,为此就要知道每一跨内其他截面最大弯矩和最大剪力的变化情况,即内力包络图,包括弯矩包络图和剪力包络图。

对于多跨连续梁(板),不同的截面将可能有不同的可变荷载最不利布置,将所用各种可能的可变荷载最不利布置下的永久荷载和可变荷载作用的内力图按同一比例画在同一基线上,其最外包线即为内力包络图。它完整地给出了各个截面可能出现的内力上、下限值,是设计时选择截面和布置钢筋的依据。图 1-8 所示为承受集中荷载的两跨连续梁的弯矩包络图,同理可作剪力包络图。

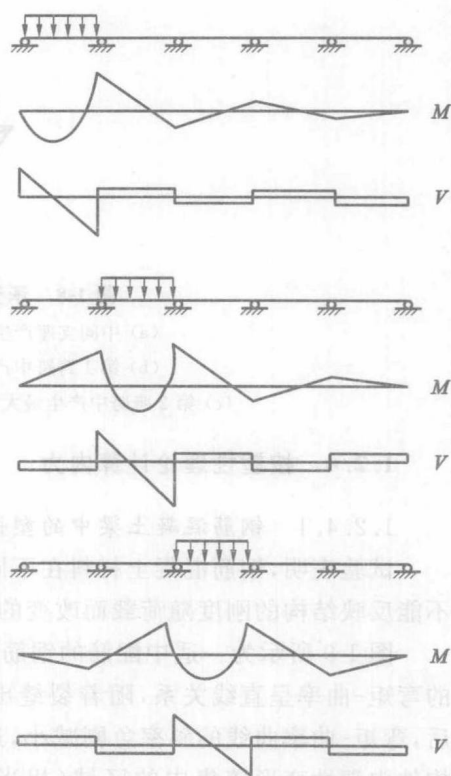


图 1-7 连续梁在不同跨间荷载作用下的内力图

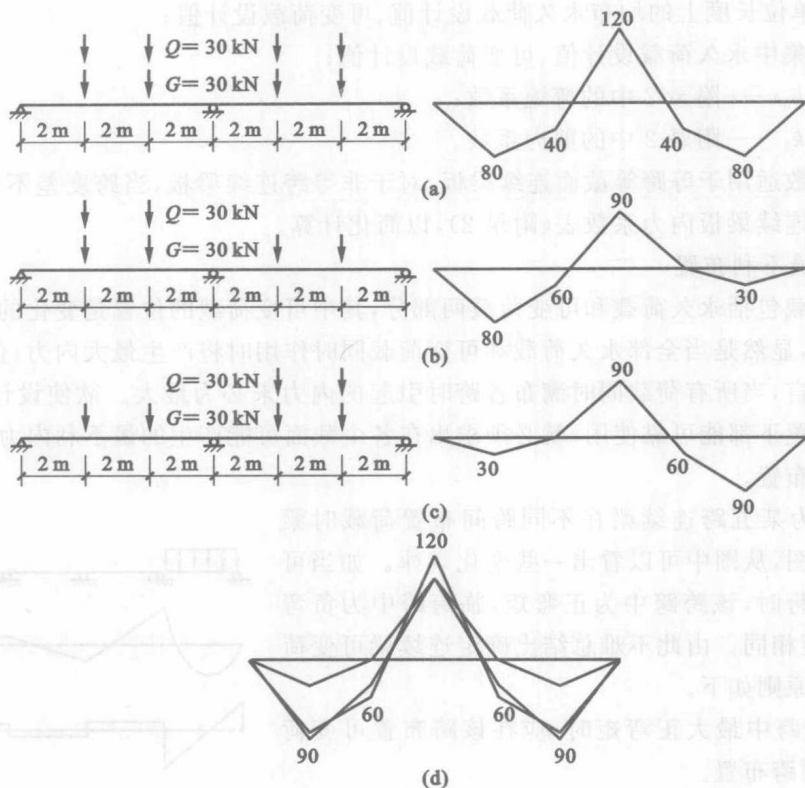


图 1-8 承受集中荷载的两跨连续梁的弯矩包络图

- (a) 中间支座产生最大负弯矩的荷载最不利布置及相应的弯矩图；
 (b) 第 1 跨跨中产生最大弯矩的荷载最不利布置及相应的弯矩图；
 (c) 第 2 跨跨中产生最大弯矩的荷载最不利布置及相应的弯矩图；(d) 弯矩包络图

1.2.4 按塑性理论计算内力

1.2.4.1 钢筋混凝土梁中的塑性铰

试验表明,钢筋混凝土材料在不同加载阶段,均具有非弹性质。按照弹性理论计算其内力,不能反映结构的刚度随荷载而改变的特点,与已考虑材料塑性性质的截面计算理论不协调。

图 1-9 所示为一适中配筋的钢筋混凝土简支梁,在跨中施加集中荷载 P ,在加载初期跨中截面的弯矩-曲率呈直线关系,随着裂缝出现,弯矩-曲率渐呈曲线关系,当受拉钢筋达到屈服(A 点)后,弯矩-曲率曲线的斜率急剧减小,这意味着在截面弯矩增加很少的情况下截面相对转角激增,构件中塑性变形较集中的区域(相当于图 1-9 中 $M > M_y$ 的部分)表现得犹如一个能够转动的“铰”,称之为塑性铰,可以认为这是受弯构件的“屈服”现象。

塑性铰区域处于梁跨中弯矩最大截面($M = M_u$)两侧 $l_y/2$ 的范围内, l_y 称为塑性铰长度($M > M_y$ 的部分)。图中, ϕ_y 为截面钢筋屈服时的曲率, ϕ_u 为截面的极限曲率。

塑性铰与结构力学中的理想铰相比,有三个主要区别:

- ① 理想铰不能承受任何弯矩,而塑性铰则能承受基本不变的弯矩;
- ② 理想铰集中于一点,塑性铰则有一定长度;