



21世纪高职系列教材

SHIJI GAOZHI XILIE JIAOCAI

钢筋混凝土及 砌体结构(下)

主编 / 马利耕 主审 / 卢 宏

哈尔滨工程大学出版社



21世纪高职系列教材
SHIJI GAOZHI XILIE JIAOCAI

钢筋混凝土及 砌体结构(下)

主编/马利耕 副主编/李欣 宋旭东 主审/卢宏

哈尔滨工程大学出版社

内容简介

本教材分为上、下两册。上册为基本构件部分,主要讲述材料的力学性能,结构设计方法,受弯构件、受压构件、受拉构件、受扭构件的受力性能,承载力计算方法,配筋构造、裂缝和变形验算及预应力构件的基本知识和计算方法;下册为结构设计部分,主要讲述梁板结构、框架结构、单厂结构、砌体结构的结构布置、构件选型、内力计算、配筋构造、施工图绘制等。

图书在版编目(CIP)数据

钢筋混凝土及砌体结构(下)/马利耕主编. —哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2007.6

ISBN 978-7-81073-734-0

I. 钢… II. 马… III. ①钢筋混凝土结构-高等学校-教材②砌体结构-高等学校-教材 IV. TU375 TU36

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 073033 号

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451-82519328
传 真 0451-82519699
经 销 新华书店
印 刷 黑龙江省地质测绘印制中心印刷厂
开 本 787mm×1 092mm 1/16
印 张 18.5
字 数 405 千字
版 次 2007 年 8 月第 1 版
印 次 2007 年 8 月第 1 次印刷
定 价 30.00 元

<http://press.hrbeu.edu.cn>

E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

21 世纪高职系列教材编委会

(按姓氏笔画排序)

主任委员	王景代	丛培亭	刘 义	刘 勇
	李长禄	张亦丁	张学库	杨永明
	季永青	罗东明	施祝斌	唐汝元
	曹志平	蒋耀伟	熊仕涛	
委 员	王景代	丛培亭	刘 义	刘 勇
	刘义菊	刘国范	闫世杰	李长禄
	杨永明	张亦丁	张学库	陈良政
	肖锦清	林文华	季永青	罗东明
	胡启祥	施祝斌	钟继雷	唐永刚
	唐汝元	郭江平	晏初宏	曹志平
	蒋耀伟	熊仕涛	潘汝良	

前 言

本教材是根据教育部提出的“以综合素质培养为基础,以能力培养为主线”为指导思想,结合高等职业教育的教学培养目标,按国家新修订的《混凝土结构设计规范》(GB50010—2002)而编写的。为全面贯彻素质教育思想,从社会发展对高技术人才的需求出发,在内容的构建上结合专业岗位群对职业能力的需要而确定教材的知识点、技能点和素质要求点,并注重新知识、新工艺、新方法的应用,注重对学生的创新精神和实践技能的培养,新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面作了一些新的尝试,以适应高等职业技术学院的教学需要。

本教材共十三章,分为上、下两册。上册内容包括绪论、钢筋混凝土材料的力学性能、结构设计方法、钢筋混凝土受弯构件正截面承载力计算、钢筋混凝土受弯构件斜截面承载力计算、钢筋混凝土受扭构件正截面承载力计算、钢筋混凝土受压构件正截面及斜截面承载力计算、钢筋混凝土受拉构件正截面承载力计算、钢筋混凝土构件裂缝和变形验算、预应力混凝土轴心受拉构件的承载力计算。下册内容包括钢筋混凝土梁板结构、多层框架结构、砌体结构、单层厂房结构。本教材针对高职高专系列学生,内容以够用为度,以掌握原理、方法和提高技能为原则,力求内容充实精练,讲解深入浅出,概念完整准确,文字通俗易懂,突出实践教学。为了学以致用,本教材结合工程实际编写例题,并在书后附有本学期课程设计任务书。为了便于学生更好地消化理解所学知识,上册书中每章后都有基本训练题(包括填空题、选择题、判断题、简答题、技能题)并附有答案。

本教材适用于建筑工程技术与专业及管理专业及土建类非建筑工程专业,也可作为土建技术人员的参考书。

本教材上册由马利耕独立编写,下册由马利耕担任主编、李欣、宋旭东担任副主编,其中第十章由马利耕、李欣合作编写,第十一章由李欣编写,第十二章由马利耕编写,第十三章由宋旭东编写。由于水平有限,加之时间仓促,书中难免有编写不当之处,欢迎批评指正。

本教材由卢宏主审,衷心感谢他在百忙中对本教材提出宝贵意见。

编 者

2007年5月

目 录

第十章 钢筋混凝土梁板结构	1
第一节 概述	1
第二节 钢筋混凝土现浇单向板肋形楼盖	2
第三节 钢筋混凝土现浇双向板肋形楼盖	32
第四节 钢筋混凝土井式楼盖	40
第五节 装配式钢筋混凝土楼盖	41
第六节 现浇楼梯设计	44
第七节 雨篷设计	55
第十一章 钢筋混凝土框架结构	57
第一节 框架结构体系及布置	57
第二节 荷载取值	63
第三节 竖向荷载作用下的内力近似计算——分层法	65
第四节 水平荷载作用下的内力近似计算	69
第五节 框架结构侧移的近似计算	78
第六节 荷载效应组合和构件设计	79
第七节 现浇框架的一般构造要求	84
第八节 框架柱基础	88
第十二章 单层厂房结构	90
第一节 概述	90
第二节 单层厂房的结构组成与结构布置	91
第三节 单层厂房结构主要构件的选型	99
第四节 单层厂房结构排架计算	106
第五节 单层厂房柱设计	115
第六节 柱下单独基础设计	120
第七节 屋架设计要点	129
第十三章 砌体结构	153
第一节 砌体结构的发展及材料性能	153
第二节 无筋砌体结构构件的承载力	160
第三节 配筋砌体结构设计	183
第四节 混合结构房屋设计	196
第五节 过梁、挑梁、圈梁及墙梁设计	217
附录	254
附录 1 连续梁板的计算跨度表	254
附录 2 等截面等跨连续梁在常用荷载作用下按弹性分析的内力系数表	256
附录 3 双向板按弹性分析的计算系数表	267
附录 4 等效均布荷载表	272

附录 5	井字梁大弯矩及剪力系数表	274
附录 6	单层厂房排架柱柱顶反力与位移系数图	276
附录 7	D 值法确定反弯点位置用表	280
附录 8	单层厂房结构课程设计任务书	284
附录 9	钢筋混凝土整体式单向板肋梁楼盖设计任务书	286

第十章 钢筋混凝土梁板结构

第一节 概 述

实际工程中,钢筋混凝土梁板结构是极为常见的,如楼盖、屋盖、筏板基础、雨篷、楼梯、挡土墙等。钢筋混凝土屋盖、楼盖是建筑结构的重要组成部分,在建筑物总造价中占有很大的比例,因此,屋盖、楼盖的结构选型和布置的合理性以及结构计算和构造的正确性,对建筑的安全使用和经济性有着重要的意义。

钢筋混凝土楼盖按其施工方法不同可分为现浇式、装配式和装配整体式三种。

1. 现浇式楼盖

现浇式楼盖的所有构件均现场浇筑,具有整体性好、刚度大、抗震性强、防水性好等优点,但模板用量大,工期长,施工受季节限制。

现浇式楼盖适用于布置上有特殊要求的各种楼面、有振动荷载作用的楼面及高层建筑和抗震结构。随着经济技术的发展,现浇式楼盖的应用日趋增多。

2. 装配式楼盖

装配式楼盖是用预制构件在现场安装而成的,具有施工速度快,机械化、工厂化程度高,工人劳动强度小等优点,但结构的整体性差、刚度小,抗震性差、防水性差,不便于开设孔洞。

装配式楼盖适用于多层民用建筑和多层工业厂房。不宜用于高层建筑及有抗震设防要求的建筑以及使用上要求防水和开设孔洞的楼面。

3. 装配整体式楼盖

装配整体式楼盖是在预制板或预制板和预制梁上现浇一个叠合层,形成整体,其兼有现浇式和装配式两种楼盖的优点,刚度和抗震性能也介于上述两种楼盖之间,需要进行混凝土二次浇筑,有时还需增加焊接工作量,故对施工进度和造价都带来一些不利影响。

装配整体式楼盖适用于荷载较大的多层工业厂房、高层民用建筑及有抗震设防要求的建筑。

在现浇式楼盖中,按结构形式不同分为肋梁楼盖、井式楼盖、无梁楼盖、密肋楼盖,如图10-1所示。

1. 肋梁楼盖

肋梁楼盖由板和梁组成,梁将板分成多个区格,根据板区格长边和短边尺寸的比值不同,将肋梁楼盖分为单向板肋梁楼盖和双向板肋梁楼盖。肋梁楼盖中若板为四边支承,受荷载时将在两个方向产生翘曲。当板的长边 l_2 与短边 l_1 之比较大时,按力的传递规律,板的荷载主要沿短方向传递。分析表明:按弹性理论计算时 $l_2/l_1 > 2$ 的板及按塑性理论计算时 $l_2/l_1 > 3$ 的板,在长方向分配的荷载小于6%,其对板的计算影响很小,可忽略不计,计算时只考虑沿短方向受荷载作用,即只考虑一个方向受弯,这种板称为单向板,多用于多层厂房和公共建筑。否则应考虑两个方向都受荷载作用,即考虑两个方向受弯,这种板称为双向板,多用于公共建筑和高层建筑。

2. 井式楼盖

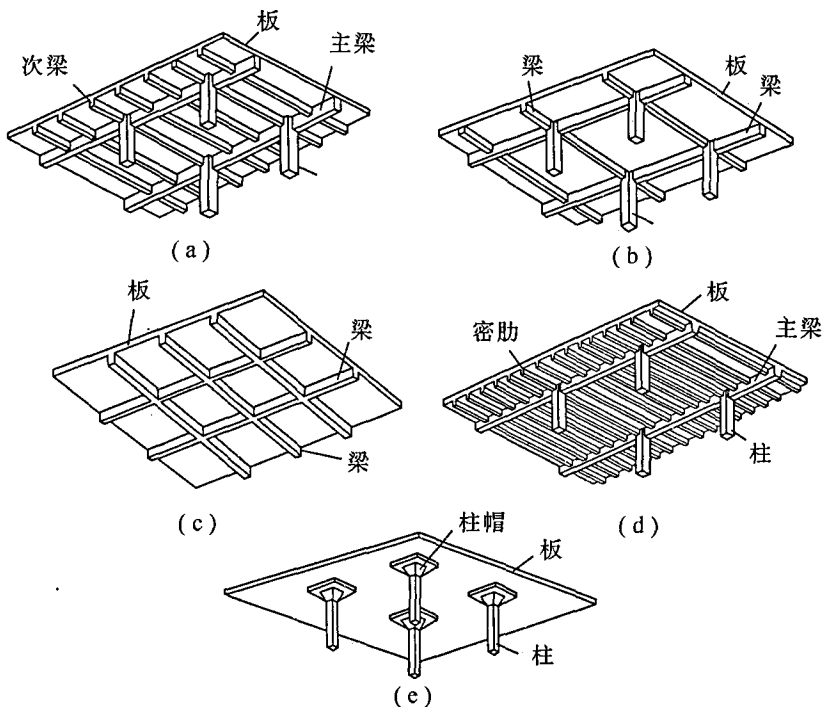


图 10-1 楼盖的结构形式

(a)单向板肋梁楼盖;(b)双向板肋梁楼盖;(c)井式楼盖;(d)密肋楼盖;(e)无梁楼盖

井式楼盖通常是满足建筑上的需要少设或不设内柱,能跨越较大的空间,获得美观的天花板而采用的一种楼盖。井式楼盖由梁把楼板划分成若干个正方形或接近正方形的小区格,两个方向的梁截面相同,不分主次,都直接承受板传来的荷载,整个楼盖支承在周边的柱、墙或更大的梁上。多用于中小礼堂、餐厅及公共建筑的门厅。

3. 无梁楼盖

无梁楼盖上不设梁,楼板与柱直接浇筑在一起,楼面荷载直接由板传给柱。无梁楼盖柱顶处的板承受较大的集中力,可设置柱帽来扩大柱板接触面积,改善受力。多用于建筑柱网接近正方形,柱距小于 6 m,且楼面荷载不大的情况。

4. 密肋楼盖

密肋楼盖由排列紧密、肋高较小的梁单向或双向布置形成。由于肋距小,板可做得较薄甚至不设钢筋混凝土板,用填充物充填肋间空间,形成平整顶棚。一般用于需要良好隔音隔热效果的建筑。

第二节 钢筋混凝土现浇单向板肋形楼盖

现浇单向板肋形楼盖是一种普遍采用的结构形式。学习和掌握这种楼盖的计算和构造,将有助于进一步掌握其他楼盖及其他梁板结构的设计应用。

单向板肋形楼盖一般由板、次梁和主梁组成。板的四边可支承在次梁、主梁或砖墙上。理论分析表明,当四边支承板两个方向的计算跨度之比 $l_2/l_1 > 2$ 时,板上荷载分配到长跨方

向不到 6%，故在设计中可仅考虑板在短跨方向受弯，而忽略荷载在长跨方向的传递，只在构造上对长跨方向的受弯作适当处理。为合理进行四边支承板的计算，《规范》规定：当 $l_2/l_1 \leq 2$ 时，应按双向板计算；当 $2 < l_2/l_1 < 3$ 时，宜按双向板计算；当 $l_2/l_1 \geq 3$ 时，可按单向板计算。

设计楼盖时，首先要进行结构平面布置及编号，然后进行结构内力计算、截面设计，最后按计算和构造要求绘制施工图。

一、结构平面布置及编号

在肋形楼盖中，结构平面布置包括柱网布置和梁格布置。梁、板、柱的布置是密切相关的，因为次梁的间距即为板的跨度，主梁的间距即为次梁的跨度，柱沿主梁和次梁方向的间距分别为主梁和次梁的跨度。在满足建筑功能的前提下，结构布置应力求简单、规整、经济、适用。

(一) 柱网布置

柱网布置应满足建筑功能要求和经济要求。柱网和梁格布置应同时考虑。柱网尽量布置成矩形或正方形，尺寸宜尽可能大，内柱尽可能不设或少设，以满足使用要求和增大建筑面积的利用率。但柱距过大，则梁的跨度过大，将增大梁的截面尺寸；柱距太小，柱和基础增多，而梁、板由于跨度小而按构造要求设计也未必经济。所以在结构布置中首先要确定经济合理的柱网尺寸。根据设计及实践经验，柱间距即梁的跨度常用数值为：次梁跨度 4~6 m，主梁跨度 5~8 m。

(二) 梁格布置

梁格布置力求规整、统一，梁系尽可能连续贯通，板厚和梁的截面尺寸尽可能统一。由于板中混凝土用量较大，故板厚尽可能接近构造要求的最小厚度，一般工业楼盖为 70 mm，民用楼盖为 60 mm，屋面为 60 mm，行车道下楼板为 80 mm。板跨度一般为 1.7~2.7 m。在较大孔洞的四周、非轻质隔墙下和较重的设备下应设梁，避免楼板直接承受集中荷载。

为增强房屋横向刚度，主梁一般沿房屋横向布置。主梁与柱构成平面内框架，使整个结构具有较大的侧向刚度。各榀框架和纵向次梁形成空间结构，因此房屋整体刚度较好。此外，因主梁与外墙垂直，对室内采光有利，但室内净空有所减少。

结构平面布置确定后，即可对梁板编号。荷载、几何尺寸和支承情况相同的构件可用相同的编号。

二、结构内力计算

在肋形楼盖中，结构计算包括选择合适的内力计算方法，确定构件的计算简图，进行构件内力计算及内力组合。

(一) 内力计算方法

楼盖结构中的梁板内力计算方法有两种，一种按弹性理论计算方法，即假定钢筋混凝土梁板为均质弹性体，按结构力学的方法计算；另一种是按塑性理论计算方法，即考虑钢筋混凝土塑性内力重分布的方法计算。通常对直接承受动力荷载和重复荷载作用的结构、使用阶段不允许出现裂缝的结构、负温条件下的结构及处于重要部位而又要求有较大承载力储备的构件不考虑塑性内力重分布，而按弹性理论计算内力，其他结构都应按塑性理论计算内力。楼盖结构中的连续板、连续次梁应按塑性理论计算内力，连续主梁应按弹性理论计算内

力。

(二) 构件计算简图

在内力计算之前,应按照尽可能符合结构实际受力情况和简化计算原则,确定结构构件的计算简图,如图 10-2 所示。计算简图的确定包括确定支座形式、计算跨数和跨度、荷载分布和大小。

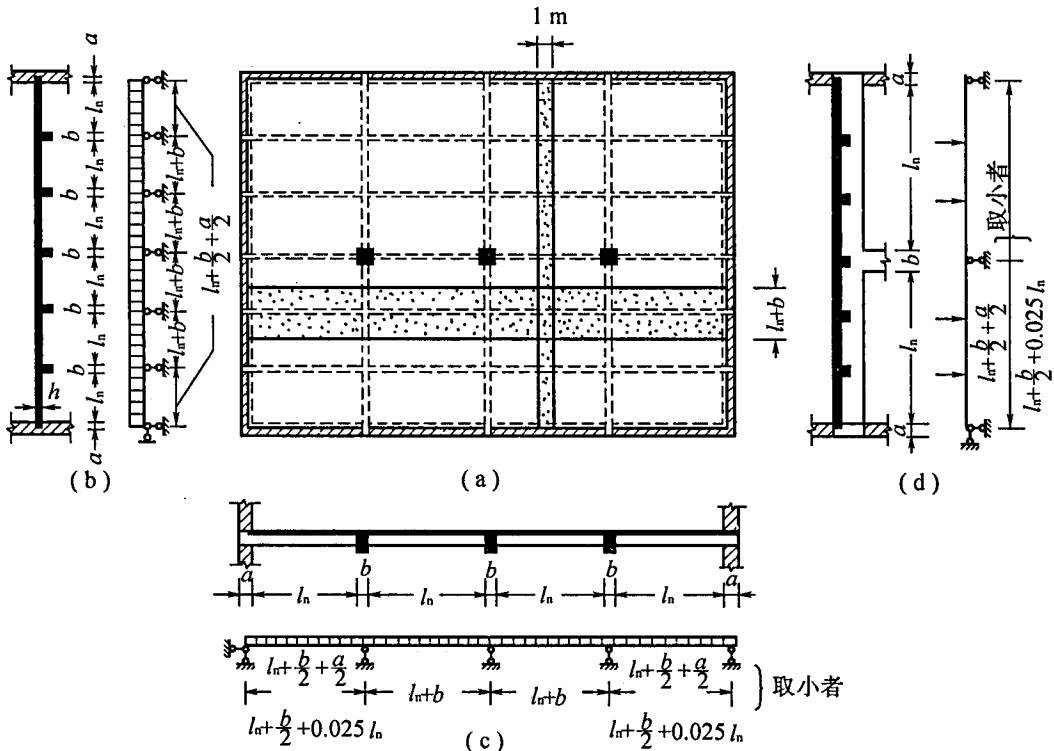


图 10-2 单向板肋形楼盖的计算简图

(a) 楼盖结构平面; (b) 板计算简图; (c) 次梁计算简图; (d) 主梁计算简图

1. 支座形式

当板或梁支承在砖墙上或砖柱上时,可按铰支座考虑。实际墙或柱对板是有约束作用的,这一误差将在构造设计中考虑。

当板支承在次梁上,次梁支承在主梁上时,可按铰支座考虑,即按连续板、连续次梁计算。实际次梁对板、主梁对次梁是有约束作用的,这一误差将在荷载和内力计算中考虑。

当主梁支承在柱上时,其支座形式应根据梁柱线刚度比而定。当主梁与柱的线刚度比大于 4 时,可按铰支座考虑,即按连续主梁计算,当线刚度比不大于 4 时,梁柱按刚接考虑,可按框架梁计算。

2. 计算跨数

对于五跨和五跨以内的连续梁、板,跨数按实际跨计算;对于多于五跨的等跨或跨差不超过 10%、等刚度、等荷载的连续梁、板,可近似按五跨的等跨梁板计算。略去的各跨的内力按五跨的中间跨计算,如图 10-3 所示。

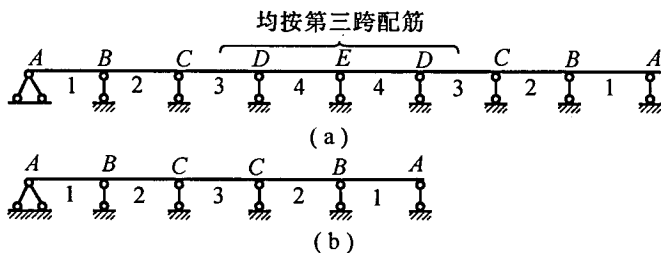


图 10-3 连续梁板计算简图

(a)实际跨数的简图;(b)5跨连续梁(板)简图

3. 计算跨度

梁、板的计算跨度 l_0 是指在计算内力时所采用的跨长,其值与支承长度 a 和构件的抗弯刚度有关。连续梁、板按弹性理论和塑性理论计算内力时的计算跨度按附表计算。

4. 荷载计算

作用在楼盖上的荷载有永久荷载和可变荷载。

连续板上的永久荷载值指板及构造层自重、永久性设备自重等;可变荷载值指楼盖活荷载,对于屋盖还有雪荷载或施工荷载。因此连续板上的荷载形式一般为均布荷载。

连续次梁上的永久荷载值指次梁及构造层自重、板传来的永久荷载;可变荷载值指板传来的可变荷载。因此连续次梁上的荷载形式一般为均布荷载。

连续主梁上的永久荷载值指主梁及构造层自重、次梁传来的永久荷载;可变荷载值指次梁传来的可变荷载。由于次梁传来的荷载为集中荷载,其作用点由次梁位置而定,主梁自重虽为均布荷载,但其值相对较小,为简化计算,可将其折算成集中荷载,因此连续主梁上的荷载形式一般为集中荷载。

可见,肋梁楼盖的荷载传递途径是:荷载经由板传给次梁,由次梁传给主梁,再由主梁传给柱(或墙),最后传至基础。

在确定连续梁、板的支座时,将与梁、板整体连结的支承视为铰支座,这对于等跨连续梁、板而言,当可变荷载沿各跨均为满布时是可行的,其计算误差很小,可不考虑。但当可变荷载隔跨布置时,其计算误差较大,不能忽略。如图 10-4 所示连续板,当按铰支座计算时,板绕支座的转角值 θ 较大。实际上,由于板与次梁整体浇筑在一起,当板受荷载弯曲在支座发生转动时,将带动次梁一起转动。次梁具有一定的抗扭刚度,且两端又受

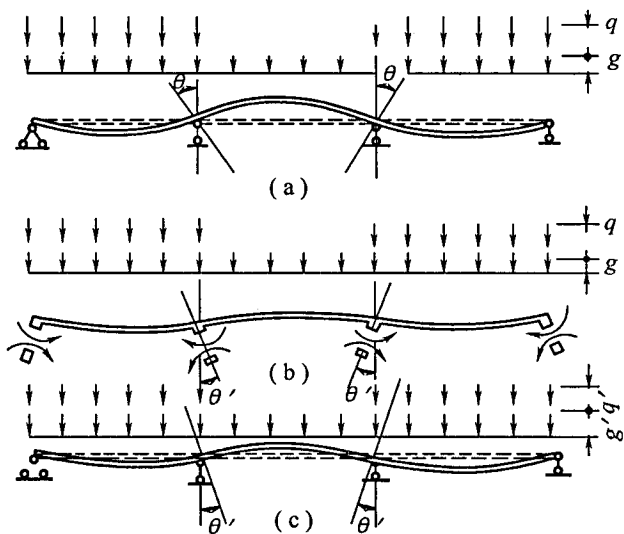


图 10-4 连续梁板的折算荷载

(a)实际荷载作用下理想铰支时的变形;(b)实际荷载作用下非理想铰支时的变形;(c)折算荷载作用下理想铰支时的变形

主梁约束,将阻止板自由转动,最终只能发生两者变形协调的约束转角 θ' ,其值小于 θ ,使板的跨中弯矩有所降低,支座负弯矩相应有所增加,但不会超过两相邻跨满布可变荷载时的支座负弯矩。类似的情况也发生在次梁与主梁及主梁与柱之间。这种由于支承构件的抗扭刚度使被支承构件跨中弯矩相对于按铰支计算有所减小的有利影响,在设计中一般用增大永久荷载和减小可变荷载的办法来考虑,即用折算荷载代替原荷载。

对于板:

$$g' = g + q/2, \quad q' = q/2$$

对于次梁:

$$q' = 3q/4, \quad g' = g + q/4$$

式中 g' 、 q' ——折算永久荷载、可变荷载;

g 、 q ——实际永久荷载、可变荷载。

考虑折算荷载后,在计算跨中最大正弯矩时,本跨的折算荷载($g' + q'$)与实际荷载($g + q$)相同,而邻跨折算荷载($g' = g + q/2$ 或 $g + q/4$)大于实际荷载 g ,这将使本跨正弯矩减小,与考虑次梁或主梁抗扭刚度的计算效果是类似的。

对于主梁,这种影响很小,一般不予考虑。此外,当板、梁搁置在砖墙或钢梁上时,不得作此调整,应按实际荷载计算。

(三) 构件内力计算

1. 按弹性理论计算内力

(1) 内力系数法计算内力 肋梁楼盖各构件均为多次超静定,用一般结构力学方法计算内力非常复杂。为简化起见,对于常用荷载作用下的等截面等跨度连续梁,可利用内力系数法计算内力。内力系数见附表,内力计算公式如下。

均布荷载作用下:

$$M = \text{表中系数} \cdot (g + q) l_0^2, \quad V = \text{表中系数} \cdot (g + q) l_n$$

集中荷载作用下:

$$M = \text{表中系数} \cdot (G + Q) l_0, \quad V = \text{表中系数} \cdot (G + Q)$$

对于跨度相差在 10% 以内的不等跨连续梁,其内力也可近似按此方法计算。

(2) 荷载最不利组合 可变荷载作用位置是可变的,要使构件在各种可能的荷载作用下都能达到设计要求,则需要确定在各截面的最大内力。因此,需要研究如何布置可变荷载使某一截面内力最大,这种使某一截面产生最大内力的荷载布置称为荷载最不利荷载组合。

图 10-5 为五跨连续梁,当可变荷载布置在不同跨间时的弯矩图和剪力图,分析其变化规律和不同组合后的结果,可得出确定截面最不利可变荷载布置的原则如下:

a. 求某跨跨中最大正弯矩 $+M_{\max}$ 时,在该跨布置可变荷载,然后向两侧隔跨布置;

b. 求某跨跨中最大负弯矩 $-M_{\min}$ 时,与上一可变

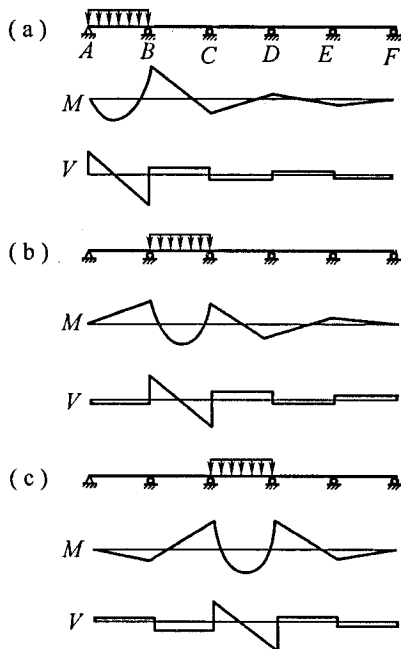


图 10-5 5 跨连续梁可变荷载在不同跨向时的弯矩图及剪力图

荷载布置情况相反；

c. 求某支座最大负弯矩 $-M_{\max}$ 时, 在该支座相邻两跨布置可变荷载, 然后再向两侧隔跨布置；

d. 求某支座最大剪力 V_{\max} 时, 其可变荷载布置与求该跨支座最大负弯矩的荷载布置相同。

梁上永久荷载应按实际情况布置。

(3) 内力包络图 根据各种最不利荷载组合, 按一般结构力学方法或利用内力系数法进行计算, 即可求出各种荷载组合作用下的内力图, 把他们叠画在同一坐标图上, 其外包线所形成的图形称为内力包络图, 如图 10-6 所示。此图可以表示出连续梁在各种最不利荷载组合下各截面可能产生的最大内力值。

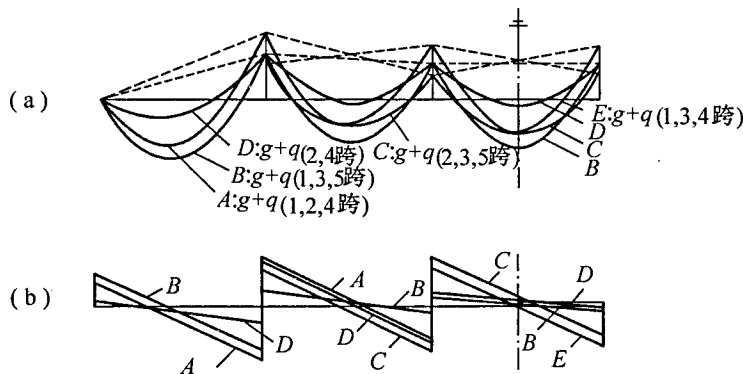


图 10-6 内力包络图

(a) 弯矩包络图; (b) 剪力包络图

由于绘制包络图的工作量大, 在设计中, 通常根据若干控制截面的最不利内力进行截面配筋计算, 然后根据构造要求和设计经验确定在负弯矩区段内纵向受力钢筋的截断位置, 这样计算会偏于保守。随着计算机的普及与发展, 按弯矩包络图配筋已不难做到。

(4) 支座内力调整 在按弹性理论计算连续梁的内力时, 其计算跨度取支承中心线间的距离。若梁、板与支座并非整体连结, 或支承宽度很小, 计算简图与实际情况基本相符。实际上, 支承有一定宽度, 且梁、板又与支承整体连结, 使支承宽度内梁、板的工作高度加大, 因此, 支承范围内, 支座中心处虽然弯矩最大, 但并不是最危险截面, 真正的危险截面在支座边缘, 如图 10-7 所示。肋梁楼盖设计, 支座内力即取支座边缘处的内力, 其内力设计值近似按下式计算。

$$M_0 = M_c - \frac{V_0 b}{2}$$

当为均布荷载时:

$$V_0 = V_c - \frac{(g+q)b}{2}$$

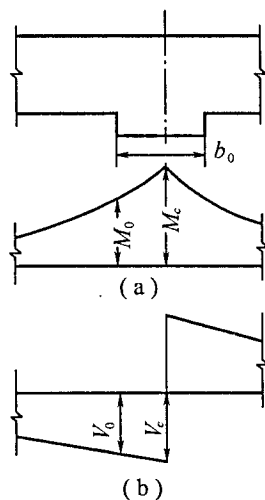


图 10-7 支座边缘的

弯矩和剪力

(a) 弯矩图; (b) 剪力图

当为集中荷载时:

$$V_0 = V_c$$

式中 M_c 、 V_c ——支座中心线处截面的弯矩、剪力;

V_0 ——按简支梁计算的支座剪力;

b ——支座宽度;

g 、 q ——梁上的永久荷载和可变荷载。

2. 按塑性理论计算内力

(1) 钢筋混凝土受弯构件的塑性铰 钢筋混凝土连续梁内塑性铰的形成是结构破坏阶段发生内力重分布的主要原因。

现以图 10-8(a) 所示跨中受集中荷载作用的简支梁为例, 说明塑性铰的特性。画出该梁跨中弯矩 M 与曲率 φ 的关系曲线如图 10-8(b)、10-8(c) 所示。由图可以看出, 从纵向受拉钢筋开始屈服到构件达极限承载能力的阶段, M -

φ 曲线接近水平, 说明在截面承受的弯矩 M 几乎维持不变的情况下截面曲率激增, 犹如形成了一个能够转动的“铰”, 称为塑性铰。塑性铰的形成是塑性变形集中发展的结果。

塑性铰与理想铰不同。塑性铰不是集中于一点, 而是在一个局部变形很大的区域; 塑性铰处弯矩不为零, 而等于该截面所能承受的极限弯矩 M_u ; 塑性铰是单向铰, 只能沿弯矩作用方向转动, 且转动幅度有限。

(2) 塑性内力重分布 结构构件内力分布与各截面间的刚度比有关。按弹性理论计算钢筋混凝土连续梁、板内力是假定梁、板为匀质弹性体, 认为结构的刚度始终不变, 内力与荷载成线性关系, 内力分布规律始终不变, 这在荷载较小、混凝土开裂的初始阶段时是适用的。随着荷载的增加, 混凝土受拉区裂缝开展, 受压区混凝土产生塑性变形, 纵向受拉钢筋屈服后也产生塑性变形, 各截面间的刚度比值不断发生变化, 内力亦随之变化, 钢筋混凝土连续梁的内力与荷载不再成线性关系, 钢筋混凝土连续梁的内力分布规律相对于线性分布发生了变化, 即发生了内力重分布。现以一个两跨连续梁为例来具体说明这一问题。

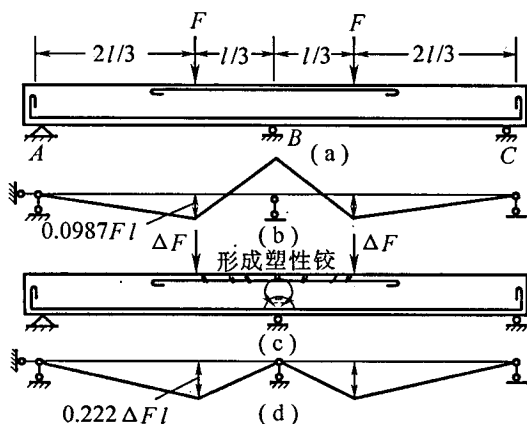


图 10-9 两跨连续梁 B 支座形成塑性铰的内力重分布 (a) 形成塑性铰之前的计算简图; (b) 形成塑性铰之前的 M 图; (c) 形成塑性铰之后增加的荷载; (d) 形成塑性铰之后的新增 ΔM 图

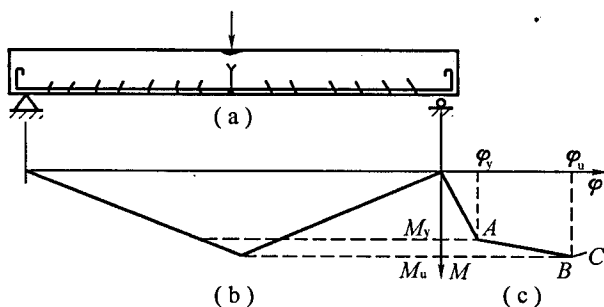


图 10-8 M 图及 M - φ 关系曲线

(a) 跨中出现塑性铰的简支梁; (b) M 图; (c) M - φ 关系曲线

图 10-9 所示两跨连续梁, 跨度相同, 每跨距离中间支座 $1/3$ 跨度处作用有

集中荷载。若梁跨中和中间支座配置的纵向受拉钢筋相同,则两个截面所能承受的极限弯矩 M_u 相同。若支座截面弯矩为 M_B ,荷载作用截面弯矩为 M_1 ,则梁从加载到破坏将经历如下三个阶段。

第一阶段:混凝土出现裂缝前整个截面接近于弹性体系,各截面的刚度比值基本不变,按弹性理论计算,两截面的内力比 $|M_B/M_1|$ 基本不变。

第二阶段:中间支座附近的受拉区混凝土首先开裂,致使支座附近区段内的刚度降低,使支座处的弯矩 M_B 增长率减小,而跨中截面由于尚未开裂,刚度基本不变,跨中弯矩 M_1 增长率则加大,两个截面的刚度比发生了变化,导致了两个截面间内力比值 $|M_B/M_1|$ 降低。当继续加载至跨中出现裂缝时,跨中截面的刚度降低又使跨中弯矩 M_1 增长率减小,支座弯矩 M_B 增长率则加大,两个截面间内力比值 $|M_B/M_1|$ 又增大。

由于裂缝形成和开展而使构件各截面刚度比发生变化并不显著,则由此引起的内力重分布也不明显。

第三阶段:荷载增大到使中间支座截面的纵筋屈服,支座截面形成塑性铰,承受的弯矩 $M_B = M_{B_u}$,结构的计算简图发生了变化,原来的两跨一次超静定连续梁变为两个静定简支梁。继续加荷,支座弯矩不增,跨中弯矩增长加快,直至跨中受拉钢筋屈服,也形成塑性铰,承受的弯矩 $M_1 = M_{1_u}$,结构成为几何可变体系而丧失承载力,两个截面间内力比值 $|M_B/M_1| = |M_{B_u}/M_{1_u}|$,显然,在第一个塑性铰形成到结构最后丧失承载力的过程中,结构发生了明显的内力重分布。

从上例可知,构件从加载到破坏,两个截面的弯矩比一直在变化,但是产生内力重分布的原因及变化程度不同。由此可将连续梁的塑性内力重分布分为两个阶段:第一阶段发生在混凝土开裂至塑性铰形成以前,主要由于裂缝的形成和开展使梁各截面刚度比值变化而引起内力重分布;第二阶段发生在第一个塑性铰形成以后,主要是由于塑性铰的转动使结构的计算简图发生改变而引起的内力重分布,第二阶段的内力重分布程度比第一阶段显著。

在钢筋混凝土静定结构中,任意截面出现塑性铰都将使结构成为几何可变体系而丧失承载能力。但对于存在多余约束的超静定结构来说,某一截面出现塑性铰后,该截面的弯矩不再增大只是转角继续增大,这就相当于使超静定结构减少了一个多余约束,结构仍然可继续承受荷载,即结构还有强度储备可利用,只是荷载作用下的内力分布规律发生了显著的改变。随着荷载的增加,结构上将不断有新的塑性铰出现,其内力分布规律亦随之发生变化。当结构出现了足够数目的塑性铰使其整体或局部变成几何可变体系时,结构将最终丧失其承载力。考虑塑性内力重分布的计算方法正是为了利用结构的这一承载潜力,从而达到节约钢材的经济效果。此外,用弹性方法计算的结果,支座配筋量大,施工困难,考虑塑性内力重分布可调整支座配筋,方便施工。

例如,上述的两跨连续梁,如果使中间支座和跨中的截面配筋相同,并使两截面的极限弯矩 $M_{B_u} = M_{1_u} = 50 \text{ kN}\cdot\text{m}$,分别按弹性理论方法和考虑塑性内力重分布方法来计算其极限荷载 P_u 。

①按弹性理论方法计算:计算简图为两跨连续梁,则

$$M_{B_u} = -0.185 P_u l_0$$

极限荷载 $P_u = M_{B_u} / 0.185 l_0 = 90.1 \text{ kN}$ 。

此时, $M_1 = M_2 = 0.0987 P_u l_0 = 26.68 \text{ kN}\cdot\text{m}$ 。

②考虑塑性内力重分布计算:计算简图为两个静定简支梁,则:

跨中正截面承载力储备为 $\Delta M_1 = 50 - 26.68 = 23.32 \text{ kN}\cdot\text{m}$;

结构可继续增加的荷载 $\Delta M_1 = 2\Delta Pl_0/9, \Delta P = 9\Delta M_1/2 l_0 = 34.98 \text{ kN}$;

极限荷载 $P_u = 90.1 + 34.98 = 125.08 \text{ kN}$ 。

可见,考虑塑性内力重分布计算的极限荷载比按弹性理论方法计算的极限荷载提高了 $(125.08 - 90.1)/90.1 = 38.8\%$ 。

(3)影响塑性内力重分布程度的因素 对于超静定结构,若构件中各塑性铰均具有足够的转动能力,不致在其转动过程中使受压混凝土过早破坏,结构先后出现足够数目的塑性铰,使结构成为几何可变体系,这种情况称为完全内力重分布。在塑性铰转动过程中出现混凝土被压碎,而这时结构尚未成为几何可变体系,这种情况称为不完全内力重分布。

塑性内力重分布的程度取决于塑性铰的转动能力。而塑性铰的转动能力主要取决于以下四方面因素。

①钢筋的种类:构件采用流幅大的受拉钢筋,塑性铰的转动能力就大,塑性内力重分布的程度就大。《规范》规定,按塑性内力重分布计算的结构构件宜采用 HPB235 级和 HRB335 级钢筋。

②纵筋的配筋率:试验表明,配筋率越大,极限曲率越小,塑性铰的转动能力越低,当配筋率较高时,塑性内力重分布的程度将是不完全的。为此,《规范》规定:按塑性内力重分布计算的结构构件,应使 $\xi \leq 0.35$ 。

③混凝土的极限压应变:当 ξ 较小时,内力重分布主要取决于钢筋的流幅,因为钢筋开始屈服时,压区混凝土压应变尚小,当钢筋流幅较大时才达到极限压应变。当 ξ 较大时,内力重分布主要取决于混凝土的极限压应变,因为钢筋屈服时,混凝土压区应变已经很大,塑性铰的转动主要靠混凝土压应变的发展。其越大,塑性转动能力越大。

④梁的抗剪能力:塑性铰出现后,连续梁受剪承载力降低,要实现预期的塑性内力重分布,必须有足够的抗剪能力。

(4)考虑塑性内力重分布的计算方法 连续梁、板考虑塑性内力重分布的计算方法较多,如:极限平衡法、塑性铰法及弯矩调幅法等。目前工程上应用较多的是弯矩调幅法。

所谓弯矩调幅法是先按弹性方法求出截面弯矩值,再根据需要将结构中某些截面最大弯矩(绝对值)进行调整(降低),按调整后的内力进行截面配筋计算的设计方法。

①弯矩调幅法的基本原则是:

a. 调幅要考虑使结构满足刚度、裂缝要求,不使支座截面过早出现塑性铰,弯矩调幅值一般 $\leq 25\%$ 。对承受均布荷载的连续梁,调整后各支座及跨中截面弯矩的绝对值应满足:

$$M \geq (g + q) l^2 / 24$$

b. 为方便施工,通常调整支座截面弯矩,并尽可能使调整后的支座弯矩与跨中弯矩接近;

c. 调幅后应满足静力平衡条件,即调整后的每跨两端支座弯矩的平均值与跨中弯矩之和应不小于该跨满载时按简支梁计算的跨中弯矩值,且不小于按弹性方法求得的考虑荷载最不利布置的跨中最大弯矩,如图 10-10,即

$$\left| \frac{M_A + M_B}{2} \right| + M_c \geq M_0$$

d. 在可能产生塑性铰的区段,箍筋用量增大 20%。增大范围:对集中荷载,取支座边至