



“十三五”普通高等教育本科规划教材

(第二版)

混凝土 结构设计

薛建阳 王 威 主 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



“十三五”普通高等教育本科规划教材

(第二版)

混凝土 结构设计

主	编	薛建阳	王 威
参	编	门进杰	朱佳宁
主	审	童岳生	



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为“十三五”普通高等教育本科规划教材。

本书是根据我国最新颁布的国家(行业)标准《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)、《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010)、《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)及相关科研成果编写而成的。全书分为5章,主要包括梁板结构设计、单层厂房结构设计、框架结构设计、高层建筑结构设计概论、附录等。各主要章节都配有必要的小结、思考题和习题,并编入了新的例题,将第一版中的设计实例也按照新规范重新进行了计算,便于学生自学和掌握混凝土结构的设计原理与方法。

本书可作为普通高等学校土木工程专业的教材,也可供相关工程技术人员设计、施工时参考。

图书在版编目(CIP)数据

混凝土结构设计/薛建阳,王威主编.—2版.—北京:中国电力出版社,2017.1

“十三五”普通高等教育本科规划教材

ISBN 978-7-5123-9940-2

I. ①混… II. ①薛… ②王… III. ①混凝土结构—结构设计—高等学校—教材 IV. ①TU370.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第255113号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2011年1月第一版

2017年1月第二版 2017年1月北京第二次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 16.75印张 409千字

定价 35.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前 言

本书自第一版问世以来,得到了广大读者的青睐,收到了许多关于改进教材内容的意见,对我们很有帮助。另外,国家(行业)标准《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)、《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010)、《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)等都已颁布实施,为使广大读者更加全面地了解新修订国家标准的相关内容,并进行工程应用,本书在第一版的基础上对其进行了全面修订,主要开展了以下工作:

(1) 按照 GB 50009—2012 规定的荷载组合原则、JGJ 3—2010 中高层建筑的适用高度和高宽比,以及 GB 50010—2010 中关于混凝土保护层厚度、钢筋级别、设计方法、构造措施等的新规定,修订了本书的部分内容和设计实例。

(2) 更新了吊车、风荷载的相关参数。

(3) 增加了混凝土框架结构重力二阶效应的计算方法。

(4) 梁板结构设计中,增加了对双向板极限平衡法的论述;高层建筑结构设计概论中,增加了对高层建筑结构设计特点的论述。

西安建筑科技大学的部分教师参与了本书的修订工作,其中薛建阳修订第 1、5 章,王威修订第 2 章,朱佳宁修订第 3 章,门进杰修订第 4 章,研究生周婷婷参与第 4 章例题的编写。全书由薛建阳、王威统稿并任主编。

西安建筑科技大学童岳生教授再次审阅了全书并提出宝贵意见,在此表示诚挚的谢意。

由于编者水平所限,本书仍会存在不足和疏漏,恳请广大读者不吝指正。

编 者

2016 年 11 月

第一版前言

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神,加强教材建设,确保教材质量,中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“十一五”教材规划。该规划强调适应不同层次、不同类型院校,满足学科发展和人才培养的需求,坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书为新编教材。

混凝土结构是土木工程中广泛使用的一种结构。本书介绍了房屋建筑工程中混凝土结构的设计方法,内容包括绪论、梁板结构设计、单层厂房结构、框架结构、高层建筑结构设计概论等,是根据现行有关国家标准和规范编写的。本书作为土木工程专业本科生的主干课程教材,对常用知识单元和混凝土结构整体设计进行了较全面的阐述,着重理论与实践相结合,力求对基本概念论述清楚,使读者通过对有关内容的学习,熟练掌握结构分析方法;书中给出了计算方法和实用设计步骤,力求做到能具体应用;特别是对各主要结构附有完整的工程设计实例,有利于初学者对基本概念的理解和设计方法的掌握。为了便于学习,大部分章有小结、思考题和习题,这对学生自学理解、巩固掌握、熟练应用相关知识都是有益的,能提升教学与学习效果。

本书是由西安建筑科技大学的教师组织编写的,其中薛建阳编写第1、5章,王威编写第2章,朱丽华编写第3章,邓明科编写第4章,附录由王威、邓明科整理。全书由薛建阳、王威任主编。

西安建筑科技大学资深教授童岳生先生审阅了全书,并提出了许多宝贵的意见和建议,在此表示衷心感谢!

本书在编写过程中参考了大量的国内外文献,引用了一些学者的资料,这在本书末的参考文献中已予列出,在此向其作者表示感谢!

希望本书能为读者的学习和工作提供帮助。鉴于作者水平有限,书中难免有错误及不妥之处,敬请广大读者批评指正!

编 者

2010年4月

目 录

前言

第一版前言

第 1 章 总述	1
1.1 结构的组成及分类	1
1.2 结构的选型与布置原则	1
1.3 结构分析	2
1.4 本课程的主要内容及特点	4
本章小结	4
思考题	5
第 2 章 梁板结构设计	6
2.1 概述	6
2.2 受弯构件塑性铰和结构内力重分布	9
2.3 单向板肋梁楼盖设计	13
2.4 双向板肋梁楼盖设计	39
2.5 无梁楼盖	52
2.6 楼梯	55
本章小结	62
思考题	62
习题	63
第 3 章 单层厂房结构设计	65
3.1 概述	65
3.2 结构组成与结构布置	67
3.3 横向排架结构内力分析	78
3.4 单层厂房排架柱设计	96
3.5 柱下独立基础设计	104
3.6 单层厂房排架结构设计实例	110
本章小结	141
思考题	142
习题	143
第 4 章 框架结构设计	145
4.1 概述	145
4.2 框架结构布置	145

4.3	框架结构的计算简图及荷载计算	150
4.4	竖向荷载作用下框架结构的内力计算	154
4.5	水平荷载作用下框架结构的内力和侧移计算	155
4.6	荷载效应组合和构件设计	166
4.7	框架结构的构造要求	169
4.8	多层框架结构基础	172
4.9	设计实例	179
	本章小结	208
	思考题	209
	习题	209
第5章	高层建筑设计概论	211
5.1	概述	211
5.2	高层建筑的发展	211
5.3	高层建筑设计的特点	213
5.4	高层建筑的结构体系	215
5.5	各种结构体系的适用高度和高宽比	221
5.6	结构的总体布置	223
5.7	楼盖结构	228
5.8	基础形式及埋置深度	229
	本章小结	230
	思考题	230
附录 A	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	231
附录 B	等截面等跨连续梁在常用荷载作用下的内力系数	233
附录 C	双向板计算系数	239
附录 D	钢筋混凝土结构伸缩缝最大间距	245
附录 E	吊车的工作级别	246
附录 F	风荷载特征值	247
附录 G	I形截面柱的力学特征	251
附录 H	框架柱反弯点高度比	253
	参考文献	260

第1章 总 述

1.1 结构的组成及分类

结构有多种分类方法,根据所使用材料的不同可分为木结构、砌体结构、钢筋混凝土结构、钢结构、钢—混凝土组合结构、塑料结构、膜结构等。按主体结构形式的不同可分为混合结构、排架结构、框架结构、剪力墙结构、框架—剪力墙结构、筒体结构、拱结构、网架结构、壳体结构、桁架结构和索结构等。混凝土结构是指以混凝土为主要材料制成的结构,它在现代工程结构中得到了非常广泛的应用。

建筑结构由竖向承重结构、水平承重结构和下部承重结构三部分组成。竖向承重结构中主要的结构构件有墙、柱等,承受竖向荷载和水平荷载;水平承重结构有楼盖结构、屋盖结构和楼梯等,主要承受竖向荷载;下部承重结构则包括房屋中的地基和基础。

1.2 结构的选型与布置原则

1.2.1 结构选型

结构选型包括上部结构选型和地基基础选型,主要根据建筑物的功能要求、建筑场地的工程地质条件、现场施工条件、工期要求和环境要求,经综合分析比较加以确定,做到既满足使用要求,结构受力性能好,又施工方便,经济合理。

1.2.2 结构布置

结构布置包括定位轴线布置、结构构件布置和设置变形缝。

定位轴线用来确定结构构件的水平位置,一般有横向定位轴线和纵向定位轴线,当建筑平面形状复杂时,还可能有斜向定位轴线。

结构构件的布置应使得在满足使用要求的前提下,沿结构的平面和竖向尽可能简单、规则、对称,避免承载力和刚度发生突变。荷载的传递路线应当明确,结构计算简图简明且易于确定。

变形缝包括伸缩缝、沉降缝和防震缝。变形缝的设置应满足相关设计规范的要求。伸缩缝可以防止由于温度变化引起的温度应力超过材料的抗拉强度而产生过大裂缝或变形。当建筑物的平面尺寸较大时,应考虑设置伸缩缝。在地基土的压缩性较大且不均匀或者建筑体型复杂、房屋高度或荷载差异较大时,应在适当部位用沉降缝将其划分为若干个独立的结构单元。在地震区,为避免强震发生时建筑物的各结构单元因体形不同发生相互碰撞而导致房屋破坏,应考虑设置防震缝。由于变形缝的设置会给建筑使用和建筑平面及立面处理带来不少麻烦,因此应通过平面布置、结构构造和施工措施尽量不设缝或少设缝。

1.3 结 构 分 析

结构分析就是根据已确定的结构方案和计算简图,采用科学合理的分析方法准确地计算出结构在各种荷载或作用下的内力,以便进行构件截面的配筋设计。

组成混凝土结构的两种主要材料——钢筋和混凝土的材料性能差别很大,钢筋为弹塑性材料,而混凝土的拉、压强度极不相同,在裂缝出现后更成为各向异性体。钢筋混凝土结构在荷载作用下的受力过程和受力性能十分复杂,非线性特征十分明显,在设计时很难通过非常简单的计算求出其真实的内力。因此,在实际工程应用时,应采用合适的结构分析方法,力图求得能够反映结构实际受力状态的内力,以进行科学合理且有相当精确度的设计。

1.3.1 结构分析的基本原则

混凝土结构应进行整体作用效应分析,必要时尚应对结构中受力状况特殊部位进行更详细的分析。结构分析中所采用的各种近似假定和简化,均应有理论、试验依据或经工程实践验证。

1. 结构的计算简图

在确定结构计算简图时,应注意以下问题:

- (1) 应能代表实际结构的体型和几何尺寸。
- (2) 边界条件和连接方式(刚接、铰接、弹性嵌固等)应能反映结构的实际受力状况,并应有相应的构造措施加以保证。
- (3) 截面尺寸、计算参数和材料性能应能符合结构的实际情况。
- (4) 荷载(或作用)的数值、位置及其组合应与结构的实际受力情况相吻合。
- (5) 应考虑施工偏差、初始应力、变形状况等对结构受力性能的影响。
- (6) 计算结果的精度应符合工程设计的要求。

2. 结构分析的基本条件

任何结构分析均应满足力学平衡条件和变形协调条件,并采用合理的材料本构关系或构件单元的受力—变形关系。

(1) 力学平衡条件。无论结构整体或其中一部分,在进行力学分析时,都必须满足力学平衡条件。

(2) 变形协调条件。结构或其各部分在荷载作用下,其变形应是协调的,在边界、支座及节点等处的变形应能相互吻合。

(3) 本构关系。构成结构的材料或单元在荷载作用下将产生应力和应变,应力与应变之间存在着确定的对应关系,即本构关系,而描述这种关系的数学模型即为本构模型。

1.3.2 结构分析方法和手段

混凝土结构应根据结构类型、材料性能和受力特点等选择合理的分析方法。目前常用的结构分析方法有以下五种。

1. 弹性分析方法

弹性分析方法假定结构材料均为理想的弹性体,变形模量和截面刚度均为常数,可用于混凝土结构的承载能力极限状态和正常使用极限状态的作用效应分析。混凝土杆系结构(构件长度大于截面高度的3倍)常为高次超静定结构,宜按空间体系进行结构的整体分析,且

宜考虑杆件受力后弯曲、轴向、剪切和扭转变形对结构内力分布的影响,但在一般情况下,可以作一定程度的简化以方便计算。

混凝土杆系结构的内力可采用解析法、有限单元法、差分法等分析方法求得。对体型规则的结构,可采用各种有效的简化分析方法,如连续梁可采用力矩分配法;竖向荷载作用下框架的内力分析可采用迭代法、分层法和弯矩分配法;水平荷载作用下框架的内力分析可采用反弯点法、 D 值法等。

考虑到混凝土结构开裂后刚度的减小,对梁、柱构件可分别取用不同的刚度折减值,且不再考虑刚度随作用效应而变化。在此基础上,结构的内力和变形仍可采用弹性方法进行分析。

2. 塑性内力重分布分析方法

由于混凝土结构的弹塑性性质,在一定条件下可以采用考虑塑性内力重分布的分析方法对超静定混凝土结构进行设计。该方法能够充分发挥结构潜力、节约材料、简化设计和方便施工,在工程设计中已广泛采用。

房屋建筑中的钢筋混凝土连续梁和连续单向板宜采用考虑塑性内力重分布的分析方法,其内力值可由弯矩调幅法确定。框架、框架-剪力墙结构以及双向板等经过弹性分析求得内力后,也可对支座或节点弯矩进行调幅,并确定相应的跨中弯矩。按考虑塑性内力重分布的分析方法设计的结构和构件,尚应满足正常使用极限状态的要求或采取有效的构造措施。对于直接承受动力荷载的结构以及要求不出现裂缝或处于严重侵蚀环境等情况下的结构,不应采用考虑塑性内力重分布的分析方法。

3. 塑性极限分析方法

塑性极限分析方法又称塑性分析法或极限平衡法,可用于混凝土板、连续梁、框架的承载力极限状态设计,特别是对于周边有梁或墙支承的双向板设计,计算和构造设计均简便易行,可保证结构的安全,且满足正常使用极限状态的要求。

4. 弹塑性分析方法

弹塑性分析方法以钢筋混凝土的实际力学性能为依据,引入相应的本构关系后,可进行结构受力全过程分析,详尽地反映结构从开始受力直至破坏各个阶段的内力、变形和裂缝发展,而且可以较好地解决各种体形和受力复杂结构的分析问题。目前主要用于重要、复杂结构工程的分析和罕遇地震作用下的结构分析。

5. 试验分析方法

结构或其部分体形不规则和受力状态复杂,又无恰当的简化分析方法时,可采用试验分析的方法,对结构的承载力极限状态和正常使用极限状态进行分析或复核。试验分析方法可以验证理论分析的准确性,测定计算模型中的待定参数,改进和完善设计结果。试验时,应对试件的形状、尺寸和数量,材料的品种和性能指标,支承和边界条件,加载的方式、数值和过程,量测项目和测点布置等做出周密考虑,以确保试验结果的有效和准确。

目前,计算机作为一种重要的计算工具已广泛应用于工程结构分析中。为保证计算结果的正确性,结构分析所采用的电算程序应经严格的考核和验证,其技术条件必须符合规范及有关标准的规定。对每一项电算的结果都应作必要的判断和校核,保证其运算的可靠性,才能用于工程设计。

此外,在现代混凝土结构中,由于温度、收缩、地基不均匀沉降等间接作用在超静定结

构中引起约束应力,导致现浇混凝土结构产生裂缝,因此对结构混凝土所处环境的温度变化以及混凝土收缩、徐变随时间变化和支座变形等间接作用对结构产生的影响,应给予必要的关注。但是间接作用下结构的效应分析十分复杂,无法用一般的线弹性分析方法解决,这方面的研究正在探索中。

1.4 本课程的主要内容及特点

1.4.1 主要内容

本课程为土木工程专业的重要课程,其主要内容包括:

(1) 梁板结构设计:主要介绍钢筋混凝土整体式单向板肋梁楼盖、整体式双向板肋梁楼盖、无梁楼盖和楼梯等结构的布置原则和设计计算方法等。

(2) 单层厂房结构设计:主要介绍单层厂房结构的组成及其布置,主要构件的选型,排架结构的内力分析方法、内力组合以及排架柱、牛腿和柱下独立基础的受力性能及其设计方法,钢筋混凝土屋架、吊车梁的设计要点,节点连接构造及预埋件设计等。

(3) 框架结构设计:主要介绍钢筋混凝土框架结构的用途、结构布置方案及要点,计算简图和荷载的确定,结构内力和侧移计算方法,荷载效应组合及构件截面设计方法,构造要求及多层框架基础设计等。

(4) 高层建筑结构设计概论:主要介绍高层建筑结构的定义、分类、设计特点,高层建筑的结构体系及其受力特点,高层建筑结构的总体布置及一般要求,楼盖及基础选型等。

1.4.2 本课程的特点

(1) 本课程的实践性较强,有利于学生工程素质和实践能力的培养。一方面通过本课程的学习,掌握混凝土结构设计的基本理论和方法;另一方面通过课程设计、毕业设计、现场参观实习等实践性教学环节,增加学生的工程经验,培养学生综合运用理论知识解决实际工程问题的能力。

(2) 结构设计是一项综合性很强的工作,有利于学生工程设计能力的培养。在形成结构方案、构件选型、材料选用、计算简图和分析方法确定、形成配筋构造和施工方案等过程中,除满足安全、适用、经济、耐久等设计原则外,尚应综合考虑各方面因素,充分发挥设计者的主动性和创造性,通过对结构使用功能、材料供应、施工条件、工程造价等各项指标的分析比较,选择最佳的设计方案。

(3) 注重结构方案以及构造措施在结构设计中的作用。结构设计由结构方案、结构计算和构造措施三部分组成。混凝土结构的设计离不开计算,但结构方案的选择及采取的构造措施往往是保证结构可靠性的关键内容。因为一般的计算方法都对实际工程结构进行了简化并只考虑结构的荷载效应,其他因素如混凝土的收缩、徐变以及温度变化的影响等难以用计算来考虑,由此带来的影响必须有相应的构造措施来保证。

本章小结



(1) 混凝土结构是指以混凝土为主要材料并根据需要配置钢筋制成的结构,是土木工程中应用最为广泛的一种结构形式。建筑结构包括竖向承重结构、水平承重结构和下部承重结

构三部分。

(2) 结构选型应力求做到既满足使用要求, 结构受力性能好, 又施工方便、经济合理。结构的布置应沿着平面和竖向简单、规则、对称, 避免承载力和刚度突变。

(3) 目前混凝土结构设计中常用的分析方法主要有弹性分析方法、塑性内力重分布分析方法、塑性极限分析方法、弹塑性分析方法和试验分析方法。结构分析所采用的电算程序应经严格的考核和验证后才能用于工程设计。

(4) 混凝土结构设计课程的实践性和综合性较强, 有利于培养学生的工程素质和创新实践能力。在学习中, 对于结构的分析计算以及结构方案和构造措施都应给予足够的重视。

思考题



1. 建筑结构由哪些部分组成? 如何进行分类?
2. 结构选型和结构布置时应注意哪些问题?
3. 在混凝土结构设计中, 常用的计算分析方法有哪些? 各有何特点?

第2章 梁板结构设计

2.1 概 述

楼盖是房屋建筑中的水平承重结构,对于保证建筑结构的承载力和整体刚度有重要作用。楼盖属梁板结构,其设计原理和方法可用于类似的桥面结构、筏板基础、水池和楼梯等许多结构物的设计。本章主要阐述房屋建筑中楼盖和楼梯的设计。

2.1.1 楼盖结构选型

在房屋建筑中,混凝土楼盖的造价占土建总造价的20%~30%;在钢筋混凝土高层建筑中,混凝土楼盖的自重占总自重的50%~60%。楼盖对于建筑效果和建筑隔声、隔热有直接影响。因此,选择合适的楼盖结构形式,对于整个建筑物的使用和技术经济指标至关重要。

房屋建筑中常见的现浇混凝土楼盖结构形式有单向板肋梁楼盖、双向板肋梁楼盖、无梁楼盖、密肋楼盖、井式楼盖和扁梁楼盖等,见图2-1。其中单向板和双向板肋梁楼盖应用最为普遍。

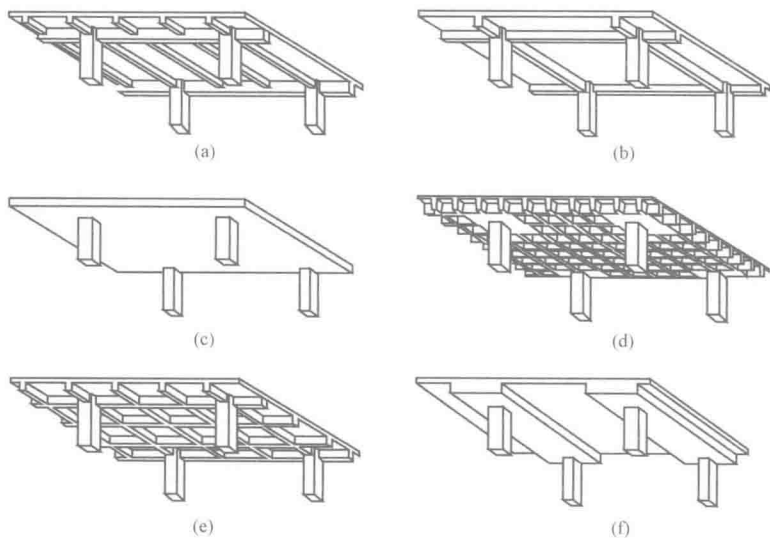


图2-1 楼盖结构类型

(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) 井式楼盖; (f) 扁梁楼盖

按施工方法,可将混凝土楼盖分为现浇、装配式和装配整体式三种。现浇混凝土楼盖整体刚度大,抗震性能好,对不规则平面和开洞的适应性强,在地震区应用较多,其缺点是需要大量模板,工期也长。装配式混凝土楼盖主要由多孔板及槽形板等铺板组成,其施工进度快,但整体刚度差,在混合结构房屋中应用较多。装配整体式混凝土楼盖是在铺板上做混凝土现浇层,兼有现浇楼盖和装配式楼盖的优点。

设计中一般根据房屋的性质、用途、平面尺寸、荷载大小、抗震设防烈度以及技术经济

指标等因素综合考虑,选择合适的楼盖结构形式。

本章内容主要为现浇混凝土楼盖的设计。

2.1.2 单向板与双向板

现浇肋梁楼盖一般由板、次梁和主梁组成,见图 2-1 (a)、(b)。板的四周可支承于次梁、主梁或墙上。因梁的刚度比板大很多,所以分析板时可略去梁的竖向变形,而梁作为板的固定支承。因此,现浇肋梁楼盖中的板一般按四边支承板分析。

在竖向荷载作用下,四边支承板的板截面内将产生弯矩、剪力和扭矩。为简化计算,略去扭矩不计,设想板由两个方向的板条所组成,并认为各相邻板条之间没有相互影响。在两个方向板条的交点处,板的挠度相等,见图 2-2。对于板中间部分两个相互垂直的单位宽度板条 [见图 2-2 (b)],根据中点处两方向板条挠度相等及竖向荷载平衡条件,可得

$$\begin{cases} \alpha_1 \frac{q_1 l_1^4}{EI_1} = \alpha_2 \frac{q_2 l_2^4}{EI_2} \\ q = q_1 + q_2 \end{cases} \quad (2-1)$$

式中: q 、 q_1 、 q_2 分别为板单位面积上的竖向均布荷载及均布荷载 q 在两个方向的分配值; l_1 、 l_2 、 I_1 、 I_2 分别为两个方向板条的跨度和截面惯性矩; α_1 、 α_2 为挠度系数,根据板条两端的支承情况而定,两端简支时, $\alpha_1 = \alpha_2 = 5/384$ 。

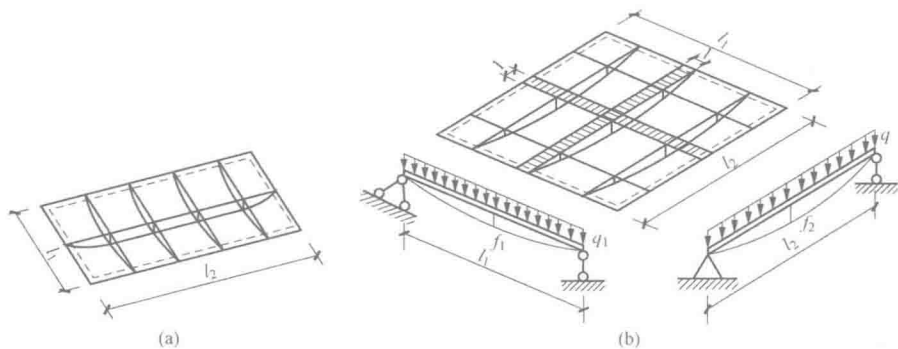


图 2-2 四边支承板的变形

忽略钢筋在两个方向的位置高低及数量不同等影响,取 $I_1 = I_2$,则由式 (2-1) 可得

$$q_1 = \frac{\alpha_2 l_2^4}{\alpha_1 l_1^4 + \alpha_2 l_2^4} q = k_1 q, \quad q_2 = \frac{\alpha_1 l_1^4}{\alpha_1 l_1^4 + \alpha_2 l_2^4} q = k_2 q \quad (2-2)$$

下面以两个方向板条端部支承情况相同为例予以分析,这时 $\alpha_1 = \alpha_2$,则由式 (2-2) 可得

$$k_1 = \frac{(l_2/l_1)^4}{1 + (l_2/l_1)^4}, \quad k_2 = \frac{1}{1 + (l_2/l_1)^4} \quad (2-3)$$

以 $l_2/l_1 = 2$ 代入式 (2-3),可得 $k_1 = 0.941$, $k_2 = 0.059$ 。可见,当板的长短跨度之比大于 2 时,则沿长跨方向所分配的荷载小于 6%,对板的计算结果影响不大,可以略去不计;这样的四边支承板,荷载大部分是沿板的短跨方向 (l_1 方向) 传递,其受力情况基本上为单向板。以 $l_2/l_1 = 0.5$ 代入式 (2-3),则得 $k_1 = 0.059$, $k_2 = 0.941$,荷载绝大部分沿 l_2 方向传递 (此时 l_2 为短跨)。当介于上述两种情况之间时,板面上的荷载将沿两个方向传递,其中任一方向的受力均不应忽略,此种板双向受力而为双向板。因此,对于四边支承板,实际使用时以下式作为双向板的条件:取

$$0.5 < l_2/l_1 < 2$$

(2-4)

其中 l_1 和 l_2 为板平面两个方向的计算跨度。

应当注意，式（2-4）是按四边支承板的分析结果得出的。如果板仅是两个对边支承，而另两个对边为自由边，则这样的板无论平面两个方向的长度如何，均属于单向板，板的荷载全部单向传递到两对边的支座上。

我国的《混凝土结构设计规范》（GB 50010—2010）规定：两对边支承的板应按单向板计算。对于四边支承的板，当长边与短边长度之比小于或等于 2.0 时，应按双向板计算；当长边与短边长度之比大于 2.0 但小于 3.0 时，宜按双向板计算；当按沿短边方向受力的单向板计算时，应沿长边方向布置足够数量的构造钢筋；当长边与短边长度之比大于或等于 3.0 时，可按沿短边方向受力的单向板计算，并沿长边方向布置构造钢筋。

单向板单向受力，单向弯曲（及剪切），受力钢筋单向配置。双向板双向受力，双向弯曲（及剪切），受力钢筋双向配置。

2.1.3 梁、板截面尺寸

梁、板截面尺寸应满足承载力和刚度要求。初步设计阶段可根据工程经验（见表 2-1）拟定，若开始拟定的截面尺寸偏小，则可能出现超筋梁或挠度不满足要求，此时应重新估算截面尺寸，直至满足要求；若截面尺寸偏大，则可能出现构造配筋或挠度很小，宜减小截面尺寸并重新计算，直到截面尺寸较合适为止。当初步拟定的截面偏大不太多时，一般不再重新计算。

表 2-1 梁、板截面的常用尺寸

构件种类		高跨比 (h/l)	备 注
多跨连续次梁		1/18~1/12	梁截面的宽高比 (b/h) 一般为 1/3~1/2, b 以 50m 为模数
多跨连续主梁		1/14~1/8	
单跨简支梁		1/14~1/8	
单向板	简支	$\geq 1/35$	最小板厚: 屋面板 $h \geq 60\text{mm}$ 民用建筑楼板 $h \geq 60\text{mm}$ 工业建筑楼板 $h \geq 70\text{mm}$ 行车道下的楼板 $h \geq 80$
	连续	$\geq 1/40$	
双向板	四边简支	$\geq 1/45$	高跨比 h/l 中的 l 取短向跨度 板厚一般宜为 $80\text{mm} \leq h \leq 160\text{mm}$
	多跨连续	$\geq 1/50$	
密肋板	单跨简支	$\geq 1/20$	高跨比 h/l 中的 h 为肋高 板厚: 当肋间距 $\leq 700\text{mm}$ 时, $h \geq 40\text{mm}$; 当肋间距 $> 700\text{mm}$ 时, $h \geq 50\text{mm}$
	多跨连续	$\geq 1/25$	
悬臂板		$\geq 1/12$	板的悬臂长度 $\leq 500\text{mm}$, $h \geq 60\text{mm}$ 板的悬臂长度 $> 500\text{mm}$, $h \geq 80\text{mm}$ 板的悬臂长度为 1200mm , $h \geq 100\text{mm}$
无梁楼板	无柱帽	$\geq 1/30$	$h \geq 150\text{mm}$
	有柱帽	$\geq 1/35$	

2.1.4 现浇整体式楼盖结构内力分析方法

现浇整体式楼盖通常为由梁板所组成的超静定结构，其内力可按弹性理论及塑性理论进

行分析。按塑性理论分析内力,使内力分析与截面计算在受力阶段相协调,结果比较经济,但一般情况下结构的裂缝较宽,变形较大。

在现浇钢筋混凝土肋梁楼盖中,板和次梁通常按塑性理论分析内力,而主梁则按弹性理论分析内力。这是因为主梁为楼盖中的主要构件,为保证使用中有较好的性能,主梁需要有较强的安全储备,正常使用阶段对挠度及裂缝控制较严。

2.2 受弯构件塑性铰和结构内力重分布

混凝土超静定结构按塑性理论计算结构内力,是基于结构的内力重分布,而明显的内力重分布主要是由塑性铰转动引起的。因此,在介绍塑性理论方法之前,本节先介绍受弯构件的塑性铰和结构内力重分布。

2.2.1 受弯构件的塑性铰

1. 塑性铰的形成

现以跨中作用集中荷载的简支梁 [见图 2-3 (a)] 为例,说明塑性铰的形成。梁内受拉纵筋为热轧钢筋,且配筋率合适而为适筋梁。当加载到受拉钢筋屈服 [见图 2-3 (c) 中的 A 点] 时,弯矩为 M_y , 相应的曲率为 ϕ_y 。此后如荷载少许增加,则受拉钢筋屈服伸长,裂缝继续向上开展,截面受压区高度减小,内力臂增加,从而截面弯矩略有增加,但截面曲率增加颇大,梁跨中塑性变形较集中的区域犹如一个能够转动的“铰”,称之为塑性铰。可以认为,这是受弯构件的受弯屈服现象。

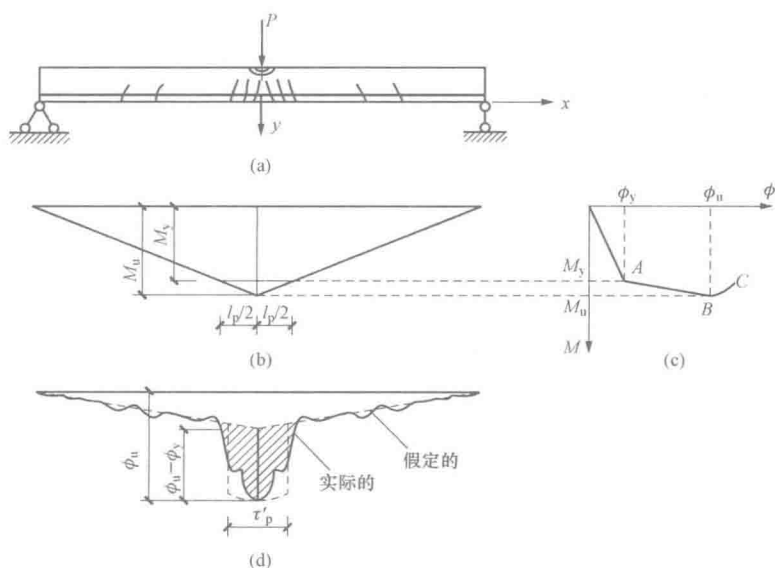


图 2-3 钢筋混凝土受弯构件的塑性铰

(a) 构件; (b) 弯矩图; (c) $M-\phi$ 曲线; (d) 曲率分布

2. 塑性转角及塑性铰的转动能力

理论上可以认为梁弯矩图上相应于 $M > M_y$ 的部分为塑性铰的范围,相应的长度 l_p 称为塑性铰长度,见图 2-3 (b)。图 2-3 (d) 中实线为曲率的实际分布,虚线为计算时假定的

曲率分布, 将曲率分为弹性部分和塑性部分 (图中的阴影部分)。塑性转角 θ_p 理论上可由塑性曲率的积分来计算, 实用上可将塑性曲率用等效矩形来代替, 矩形的宽度为塑性铰的等效长度。

设塑性铰截面屈服时的曲率为 φ_y , 屈服后某一阶段 (相应的 $M < M_u$) 的曲率为 φ_p , 这时相应的塑性铰等效长度为 $\bar{l}_p'$, 则塑性铰转角 θ_p 为

$$\theta_p = (\varphi_p - \varphi_y) \bar{l}_p' \quad (2-5)$$

塑性铰转动后, 截面受压区混凝土压应变不断增大, 最后使混凝土受压而破坏。到达这种程度时, 可认为塑性铰已破坏。从受拉纵筋屈服开始, 直到受压区混凝土压坏为止, 这一过程的塑性转动为塑性铰的转动能力, 即极限转角。将破坏时塑性铰截面的曲率用 φ_u 表示 [见图 2-3 (c)], 这时塑性铰等效长度用 $\bar{l}_p$ 表示, 则塑性铰的极限转角 θ_{pmax} 为

$$\theta_{pmax} = (\varphi_u - \varphi_y) \bar{l}_p \quad (2-6)$$

影响塑性铰转动能力的因素主要为钢筋种类、受拉纵筋配筋率以及混凝土的极限压缩变形。当受拉纵筋为软钢 (HPB300、HRB335、HRB400、RRB400、HRB500 级钢筋) 时, 塑性铰转动能力较大; 当受拉纵筋配筋率较低时, 塑性铰的转动能力较大。混凝土的极限压缩变形除与混凝土的强度等级有关外, 箍筋用量多或受压区纵筋较多时, 都能增加混凝土的极限压缩变形。一般情况下受拉纵筋采用 HPB300、HRB335、HRB400、HRB500 级钢筋, 在常用混凝土强度等级以及通常配筋率等条件下, 受拉纵筋配筋率对塑性铰转动能力具有决定性的作用。

受拉纵筋配筋率 ρ 的大小直接影响受压区高度 x 。对于单筋矩形截面受弯构件, 有

$$\xi = x/h_0 = \frac{A_s f_y}{\alpha_1 f_c b h_0} = \rho \frac{f_y}{\alpha_1 f_c}$$

式中: f_y 为受拉纵向钢筋的抗拉强度设计值; f_c 为混凝土轴心抗压强度设计值; α_1 为混凝土受压区等效矩形应力图形系数。

因此, ξ 值直接与塑性铰转动能力有关。 $\xi > \xi_b$ 时, 为超筋梁, 受压区混凝土先压坏, 不会形成塑性铰; $\xi \leq \xi_b$ 时, 为适筋梁, 可以形成塑性铰。 ξ 值越小, 塑性铰的转动能力越大。一般要求 $\xi \leq 0.35$, 且不小于 0.10。

3. 塑性铰的特点

与理想铰相比, 钢筋混凝土塑性铰的主要特点如下: ①塑性铰实际上不是集中于一个截面, 而是具有一定长度的塑性变形区域, 为了分析简化, 可认为塑性铰是一个截面; ②塑性铰能承受弯矩, 为简化考虑, 认为塑性铰所承受的弯矩为定值, 且取其等于截面屈服弯矩, 即作为理想弹塑性考虑; ③对于单筋受弯构件, 塑性铰只能沿弯矩作用方向, 绕不断上升的中和轴发生单向转动, 相反方向则不可能转动; ④塑性铰的转动能力受到配筋率等的限制, 与理想铰相比, 可转动的转角值较小。

2.2.2 超静定结构的塑性内力重分布

1. 塑性内力重分布的过程

在混凝土超静定结构中, 某截面出现塑性铰后, 结构中引起内力重分布, 使结构中的内力分布规律 (弯矩图等) 不同于按弹性理论即一般力学方法计算所得的结果。此外, 在混凝土超静定结构中, 构件受拉区出现裂缝、混凝土徐变以及结构支座的沉降等均会引起结构的内力重分布, 但这些因素所引起的内力重分布一般很小, 对结构设计影响不大, 明显的内力