

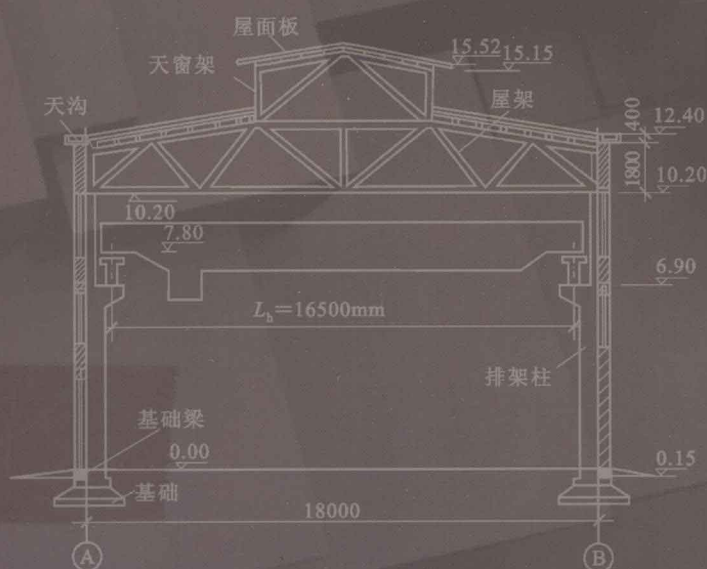
高等学校试用教材

依据**最新**规范编写

• 《混凝土结构设计规范》 •
(GB 50010-2010)

钢筋混凝土结构设计

主 编 • 郭靳时 金菊顺 庄新玲



武汉理工大学出版社
WUTP Wuhan University of Technology Press

高等学校教材

钢筋混凝土结构设计

主 编 郭新时 金菊顺 庄新玲
副主编 金玉杰 刘晓霞 钱永梅 陈敏杰



武汉理工大学出版社

· 武 汉 ·

内 容 简 介

“混凝土结构设计”是高等学校土木工程专业的主干专业课程,分为“混凝土结构基本原理”和“钢筋混凝土结构设计”两部分。“钢筋混凝土结构设计”系作者们根据国家颁发的《建筑工程抗震设防分类标准》(GB 50223—2008)、《工程结构可靠性设计统一标准》(GB 50153—2008)、《建筑结构荷载规范》(2006 版)(GB 50009—2001)、《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)、《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)、《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010)等编写而成的。

本书内容包括:绪论;建筑抗震设计的基本知识;多、高层建筑结构荷载;结构设计的基本规定和设计要求;框架结构、剪力墙结构、框架-剪力墙结构、筒体结构和单层厂房结构设计;钢筋混凝土结构平法施工图简介。

本书注重概念叙述,基本理论和方法讲解通俗易懂,每章都列举了适量的例题及部分工程实例。每章末尾都有一定数量的思考题和习题,以便通过这些题目进行自测,检查学习效果。

本书可作为高等学校土建类及相关专业的本科教材,也可作为广大从事土建工作科研人员、技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

钢筋混凝土结构设计/郭靳时,金菊顺,庄新玲主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2011.12
ISBN 978-7-5629-3641-1

I. ① 钢… II. ① 郭… ② 金… ③ 庄… III. ① 钢筋混凝土结构-结构设计-教材
IV. ① TU375.94

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 269514 号

项目负责人:田道全

责任编辑:曲生伟 蔡 巍

责任校对:丁 冲

装帧设计:吴 极

出版发行:武汉理工大学出版社(武汉市洪山区珞狮路 122 号 邮编:430070)

网 址:<http://www.techbook.com.cn>

经 销:各地新华书店

印 刷:武汉兴和彩色印务有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:28.5

字 数:730 千字

版 次:2011 年 12 月第 1 版

印 次:2011 年 12 月第 1 次印刷

印 数:1~3000 册

定 价:45.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:027-87394412 87383695 87384729 87397097(传真)

· 版权所有 盗版必究 ·

前 言

本书是根据高等学校土木工程专业的培养目标要求,结合作者们多年来的教学实践经验编写的。该书既可作为高等院校土木工程专业的教材,也可供从事土木工程建设的专业技术人员学习参考。

“混凝土结构”是高等学校土木工程专业的主干专业课程,分为“混凝土结构基本原理”和“钢筋混凝土结构设计”两部分。其教学指导思想是注重基本原理及结构构件设计计算方法,使学生能正确理解和掌握混凝土结构各种受力形式的设计计算方法以及综合运用知识的能力。注重理论联系实际,培养用工程理念解决实际工程问题的能力和创新能力,培养土木工程师应有的基本素质。

该教材的特色是:将原来某些独立课程“多高层建筑设计”、“建筑结构抗震设计”相关内容进行优化、整合,合并列入《钢筋混凝土结构设计》课程中,避免了“多高层建筑设计”和“建筑结构抗震设计”课相关内容的重复,即减少了理论学时,同时增加了课程内容的紧密联系,该课程内容整合在国内院校同类专业中具有创新性,独具特色。另外增加了钢筋混凝土结构平法施工图简介,通过结构设计和施工业务实习使学生进一步了解结构施工图的表达方法。

本书内容共分为10章,内容包括:建筑抗震设计的基本知识;多、高层建筑结构荷载;结构设计的基本规定和设计要求;框架结构、剪力墙结构、框架-剪力墙结构、筒体结构和单层厂房结构设计;钢筋混凝土结构平法施工图简介。

为了便于高等学校学生和广大土建技术人员学习,本书编写时力求内容充实、重点突出,语言通俗、深入浅出,例题完备、注重实用。每章都列举了适量的例题,每章末尾都有一定数量的习题和思考题,以便通过这些题目进一步消化、理解所学内容,检查学习效果。

本书参加编写的有:陈敏杰(第1章);金菊顺(第2章、第3章);郭靳时(第4章、第6章、第7章);庄新玲(第5章);郭靳时、金玉杰(第8章);金菊顺、刘晓霞(第9章);金玉杰、钱永梅(第10章)。参加编写工作的还有庞平、谢新颖等,她们绘制了本书的部分插图,参加了部分书稿的整理工作。本书由郭靳时、金菊顺、庄新玲担任主编,金玉杰、刘晓霞、钱永梅、陈敏杰担任副主编。

本书在编写过程中参考了大量的文献,引用了一些学者的资料,在本书末的参考文献中已予列出。

由于编者的经验和水平有限,对新修订的规范学习理解不够,书中难免出现不妥和疏漏之处,敬请读者给予批评和指正,以便及时修正。

编 者

2011年10月

目 录

1 绪论	(1)
1.1 多、高层建筑结构概述	(1)
1.1.1 多、高层建筑结构的特点	(1)
1.1.2 国内外多、高层建筑的历史和现状	(1)
1.1.3 现代多、高层结构的发展	(2)
1.2 建筑结构抗震概述	(5)
1.2.1 地球构造	(5)
1.2.2 地震概念	(5)
1.2.3 地震灾害和地震的破坏作用	(5)
1.3 钢筋混凝土单层工业厂房结构概述	(7)
1.3.1 单层工业厂房结构形式	(7)
1.3.2 单层工业厂房结构的分类	(8)
思考题	(9)
2 建筑抗震设计的基本知识	(10)
2.1 地震与地震动	(10)
2.1.1 地震类型与成因	(10)
2.1.2 常用地震术语	(11)
2.1.3 地震波	(12)
2.1.4 地震动	(14)
2.2 地震震级与地震烈度	(15)
2.2.1 地震震级	(15)
2.2.2 地震烈度	(16)
2.2.3 基本烈度、抗震设防烈度与地震区划	(18)
2.3 建筑结构的抗震设防	(18)
2.3.1 抗震设防的目的和要求	(18)
2.3.2 抗震设计方法	(19)
2.3.3 建筑物重要性分类与设防标准	(20)
2.4 抗震设计的总体要求	(21)
2.4.1 注意场地选择	(21)
2.4.2 合理选择结构形式	(21)
2.4.3 利用结构延性	(23)
2.4.4 设置多道防线	(24)

2.4.5 注意非结构因素	(24)
2.5 建筑场地与地基基础	(25)
2.5.1 建筑场地	(25)
2.5.2 地基基础抗震验算	(29)
2.5.3 地基土的液化	(31)
思考题	(35)
习题	(36)
3 多、高层建筑结构荷载	(37)
3.1 竖向荷载	(37)
3.1.1 永久荷载	(37)
3.1.2 可变荷载	(37)
3.2 水平荷载	(37)
3.2.1 风荷载	(37)
3.2.2 地震作用	(45)
思考题	(77)
习题	(77)
4 结构设计的基本规定和设计要求	(79)
4.1 一般规定	(79)
4.1.1 高层建筑结构体系的选择	(79)
4.1.2 结构的规则性	(79)
4.1.3 非荷载作用的影响	(80)
4.1.4 非结构构件的影响	(80)
4.2 结构总体布置原则	(81)
4.2.1 房屋的适用高度和高宽比	(81)
4.2.2 结构平面布置和竖向布置	(84)
4.2.3 不规则结构	(88)
4.2.4 变形缝的设置	(91)
4.3 水平位移限值和舒适度要求	(94)
4.3.1 水平位移控制	(94)
4.3.2 舒适度要求	(98)
4.4 构件承载力设计表达式	(98)
4.5 抗震结构延性要求和抗震等级	(100)
4.5.1 延性结构的概念	(100)
4.5.2 抗震等级的划分	(101)
4.6 结构抗震性能设计和抗连续倒塌设计基本要求	(105)
4.6.1 结构抗震性能设计	(105)
4.6.2 抗连续倒塌设计基本要求	(107)

4.7 结构设计的基本要求	(108)
4.7.1 结构计算的基本假定	(108)
4.7.2 水平荷载作用的方向	(109)
4.7.3 竖向活荷载的布置	(109)
4.7.4 钢筋混凝土框架梁弯矩塑性调幅	(109)
4.7.5 楼面梁的扭矩	(110)
4.7.6 结构的嵌固部位	(110)
4.7.7 楼梯间的设计要求	(111)
4.7.8 结构整体稳定和倾覆	(112)
4.8 荷载组合和地震作用组合的效应及最不利内力	(115)
4.8.1 荷载组合和地震作用组合的效应	(115)
4.8.2 控制截面及最不利内力	(120)
思考题	(120)
习题	(121)
5 框架结构	(122)
5.1 概述	(122)
5.1.1 框架结构	(122)
5.1.2 框架结构平面布置	(123)
5.1.3 一般规定	(124)
5.2 框架结构计算简图	(125)
5.2.1 基本假定	(125)
5.2.2 计算简图	(126)
5.3 框架在竖向荷载作用下的近似计算	(127)
5.3.1 计算假定	(127)
5.3.2 分层法	(128)
5.3.3 弯矩二次分配法	(131)
5.4 框架在水平荷载作用下内力近似计算	(132)
5.4.1 反弯点法	(132)
5.4.2 D 值法	(137)
5.5 框架在水平荷载作用下的侧移计算	(148)
5.5.1 梁柱弯曲变形引起的侧移	(149)
5.5.2 柱轴向变形引起的侧移	(149)
5.6 框架结构抗震设计	(150)
5.6.1 延性耗能框架的概念设计	(150)
5.6.2 框架梁抗震设计	(151)
5.6.3 框架柱抗震设计	(154)
5.6.4 框架节点核心区抗震设计	(157)
5.7 框架结构的抗震构造要求	(160)

5.7.1 框架梁的抗震构造要求	(160)
5.7.2 框架柱的抗震构造要求	(162)
5.7.3 钢筋的连接与锚固	(166)
思考题	(167)
习题	(167)
6 剪力墙结构	(169)
6.1 概述	(169)
6.2 一般规定	(171)
6.2.1 剪力墙布置	(171)
6.2.2 有关短肢剪力墙设计要求	(174)
6.2.3 梁的布置与剪力墙的关系	(174)
6.3 剪力墙结构的受力分析及分类	(175)
6.3.1 剪力墙结构的受力分析	(176)
6.3.2 剪力墙的分类及受力特点	(178)
6.3.3 剪力墙的分类判别式	(179)
6.3.4 内力在各榀剪力墙间的分配	(182)
6.4 整截面剪力墙的内力和位移计算	(184)
6.4.1 整截面剪力墙的内力计算	(184)
6.4.2 整截面剪力墙的位移计算	(184)
6.5 整体小开口剪力墙的内力和位移计算	(186)
6.5.1 整体小开口剪力墙的内力计算	(186)
6.5.2 整体小开口剪力墙的位移计算	(188)
6.6 联肢剪力墙的内力和位移计算	(190)
6.6.1 双肢墙的计算	(191)
6.6.2 多肢墙的计算	(208)
6.7 壁式框架在水平荷载作用下的近似计算	(218)
6.7.1 计算简图及特点	(218)
6.7.2 带刚域杆考虑剪切变形后刚度系数和 D 值计算	(219)
6.7.3 壁式框架柱反弯点高度比	(221)
6.8 剪力墙设计和构造	(228)
6.8.1 延性剪力墙概念	(228)
6.8.2 剪力墙截面设计	(232)
6.8.3 剪力墙轴压比限制及边缘构件配筋要求	(239)
6.8.4 剪力墙截面构造要求	(242)
6.8.5 连梁截面设计及构造要求	(247)
思考题	(253)
习题	(254)

7 框架-剪力墙结构	(256)
7.1 概述	(256)
7.2 一般规定	(256)
7.2.1 框架-剪力墙结构的形式	(256)
7.2.2 框架-剪力墙结构的设计方法	(256)
7.2.3 框架-剪力墙结构的结构布置	(259)
7.3 框架-剪力墙结构内力和位移分析	(262)
7.3.1 框架与剪力墙的协同工作	(262)
7.3.2 基本假定和计算简图	(263)
7.3.3 基本计算参数	(265)
7.3.4 框架-剪力墙铰接体系在水平荷载下的计算	(267)
7.3.5 框架-剪力墙刚接体系在水平荷载下的计算	(274)
7.3.6 框架-剪力墙结构受力特性的分析	(276)
7.3.7 框架-剪力墙结构在竖向荷载作用下的内力计算	(281)
7.4 截面设计和构造要求	(282)
7.4.1 截面设计	(282)
7.4.2 构造要求	(282)
7.5 框架-剪力墙结构设计实例	(283)
7.5.1 设计资料	(283)
7.5.2 结构内力和位移计算	(285)
思考题	(290)
习题	(291)
8 筒体结构	(293)
8.1 概述	(293)
8.1.1 筒体结构的特点和适用范围	(293)
8.1.2 筒体结构的分类	(293)
8.2 一般规定	(294)
8.2.1 筒体结构布置	(294)
8.2.2 筒体结构设计	(296)
8.3 筒体结构在水平荷载作用下的受力特点	(297)
8.3.1 框筒结构在水平荷载作用下的受力特点	(297)
8.3.2 筒中筒结构在水平荷载作用下的受力特点	(298)
8.4 筒体结构的截面设计及构造要求	(299)
8.4.1 框架-核心筒结构	(299)
8.4.2 筒中筒结构	(300)
思考题	(301)

9 单层厂房结构	(303)
9.1 单层厂房排架结构的组成和布置	(303)
9.1.1 结构的组成	(303)
9.1.2 柱网布置	(305)
9.1.3 变形缝	(305)
9.1.4 厂房高度	(305)
9.1.5 支撑的布置	(305)
9.1.6 维护结构的布置	(309)
9.2 排架计算	(311)
9.2.1 排架的计算简图(模型)	(312)
9.2.2 排架荷载计算及各种荷载作用下的计算简图	(313)
9.2.3 排架的内力计算	(322)
9.3 单层厂房钢筋混凝土排架柱的设计	(329)
9.3.1 柱的形式及选型	(329)
9.3.2 矩形、工字形截面柱的设计	(330)
9.3.3 牛腿设计	(332)
9.4 单层厂房各构件与柱连接	(337)
9.4.1 屋架(屋面梁)与柱的连接	(337)
9.4.2 吊车梁和柱连接	(337)
9.4.3 墙与柱的连接	(338)
9.4.4 圈梁与柱连接	(338)
9.4.5 屋架(屋面梁)与山墙抗风柱的连接	(338)
9.5 单层钢筋混凝土柱厂房的抗震设计	(339)
9.5.1 概述	(339)
9.5.2 单层工业厂房横向抗震计算	(339)
9.5.3 横向自振周期的计算	(342)
9.5.4 排架地震作用的计算	(342)
9.5.5 排架在横向水平地震作用下的内力分析	(343)
9.5.6 内力组合及抗震承载力验算	(345)
9.5.7 抗震构造措施	(345)
9.6 单层厂房结构设计实例	(350)
9.6.1 设计资料	(350)
9.6.2 结构平、剖面布置	(350)
9.6.3 定位轴线	(351)
9.6.4 选用标准结构构件	(352)
9.6.5 排架柱几何参数及排架计算简图	(352)
9.6.6 荷载计算	(354)
9.6.7 各种荷载作用下排架内力计算	(360)

9.6.8 内力组合	(366)
9.6.9 排架柱截面设计	(366)
9.6.10 柱牛腿设计	(368)
9.6.11 柱的吊装验算	(370)
9.6.12 基础计算	(372)
思考题	(381)
习题	(381)
10 钢筋混凝土结构平法施工图简介	(383)
10.1 现浇框架、剪力墙、梁、板平面整体表示方法	(383)
10.1.1 柱平法施工图的表示方法	(383)
10.1.2 剪力墙平法施工图表示方法	(386)
10.1.3 梁平法施工图的表示方法	(396)
10.2 现浇板式楼梯平面整体表示方法	(403)
10.2.1 楼梯类型	(403)
10.2.2 板式楼梯平法施工图的表示方法	(404)
10.3 现浇楼面与屋面板平面整体表示方法	(413)
10.3.1 有梁楼盖板平法施工图表达方式	(413)
10.3.2 无梁楼盖板平法施工图表达方式	(417)
10.4 筏形基础、独立基础、条形基础、桩基承台平面整体表示方法	(417)
10.4.1 筏形基础平面整体表示方法	(418)
10.4.2 独立基础施工图平面表示方法	(426)
10.4.3 条形基础施工图平面表示方法	(434)
10.4.4 桩承台施工图平面表示方法	(434)
10.4.5 基础连梁的表示方法	(438)
参考文献	(440)

1 绪 论

1.1 多、高层建筑结构概述

1.1.1 多、高层建筑结构的特点

多层和高层结构的差别主要是层数和高度,《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ3—2010)规定 10 层及 10 层以上或房屋高度大于 28 m 的住宅建筑结构以及房屋高度大于 24 m 的其他高层民用建筑混凝土结构为高层建筑结构。但是实际上,多层与高层建筑结构没有实质性的差别。无论单层、多层或高层建筑结构都要抵抗竖向和水平荷载作用,对于单层或两层建筑,往往竖向荷载起控制作用;对于多层建筑,竖向荷载、水平荷载共同起控制作用,当建筑高度增加时,水平荷载对结构起的作用将越来越大。所以,抗侧力结构成为高层建筑结构设计的主要问题,设计时要满足更多要求。

荷载作用下的结构内力和侧移如图 1.1 所示,轴力 N 、剪力 V 与高度呈线性关系,弯矩 M 、侧移 Δ 与高度呈指数曲线上升,随着建筑高度的增加,结构侧移增加得更快。

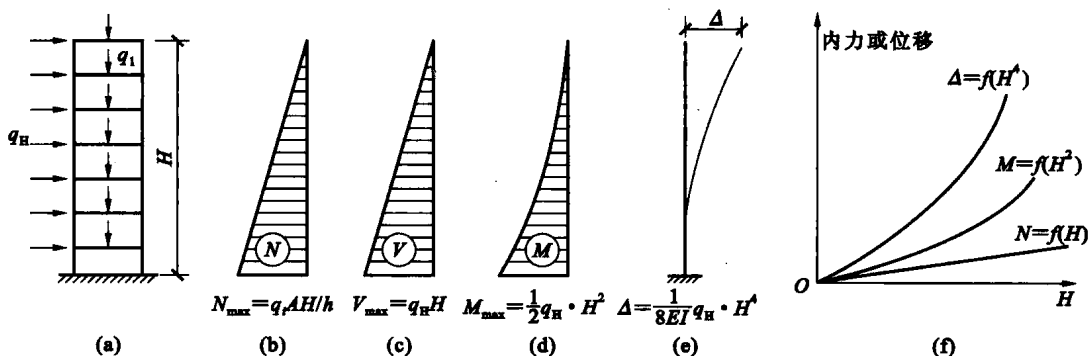


图 1.1 房屋高度对结构内力及侧移的影响

因此,高层建筑设计中的结构既要具有足够的承载能力(强度),又要有足够的抗侧移能力(刚度),将结构在水平荷载作用下产生的水平位移限制在规定的范围内,以保证建筑结构的正常使用功能要求。在高层建筑中,抗侧力的设计是一个关键的问题,如何提高结构抵抗水平荷载的能力及抗侧刚度,是学习本课程的主要问题。

1.1.2 国内外多、高层建筑的历史和现状

现代高层建筑是随着社会生产的发展和人类活动的需要而发展起来的;是商业化、工业化和城市化的结果;是节约用地、解决和缓解住房紧张、减少市政基础设施的需要。现代高层建筑不仅要满足各种使用功能,而且既要求节省材料,又要求美观。只有科学技术的进步、轻质高强材料的出现以及机械化、电气化、计算机在建筑中的广泛应用,才能为多层及高层建筑的

发展提供物质基础和技术条件。

现代高层建筑出现在 19 世纪。1883 年,美国芝加哥 11 层家庭保险大楼,是近代高层建筑的开端。1931 年,纽约帝国大厦 102 层 381 m 高,享有“世界最高建筑”之美誉长达 40 年之久。1972 年,纽约世贸中心 110 层 402 m 高,钢结构(在 2001 年“9.11 事件”中被毁)。1973 年,芝加哥西尔斯大厦 110 层 443 m 高,钢结构。1998 年,吉隆坡石油双塔大楼 88 层 450 m 高,钢筋混凝土结构。

我国的现代高层建筑起步较晚,我国自己设计和建造高层建筑始于 20 世纪 50 年代初。1959 年,北京民族饭店 47.7 m 12 层。60 年代,1968 年,广州宾馆 88 m 27 层(60 年代最高)。到 70 年代,有较大发展。1974 年,北京饭店 87.4 m 20 层,1976 年,广州白云宾馆 114 m 33 层。80 年代以后,迅速发展。北京中央彩电中心 112.7 m 27 层,上海静安希尔顿饭店 143 m 43 层,深圳国际贸易中心大厦 158 m 50 层。90 年代,中银大厦(香港中国银行大厦),由贝聿铭建筑师事务所设计,1990 年完工,总建筑面积 12.9 万 m^2 ,地上 70 层,总高 369 m,结构采用 4 角 12 层高的巨型钢柱支撑,室内无一根柱子。中信广场大厦(天河中信广场)是广州继 63 层广东国际大厦之后,又一次夺得 90 年代的全国建筑高度之冠,楼高达 391 m,80 层,迄今为止仍是广东省之最。作为中国最高的建筑之一,中信广场有 68 部电梯上下,保利物业负责人称,整个中信是“立起来的街道”。上海金茂大厦,具有中国传统风格的超高层建筑,是上海迈向 21 世纪的标志性建筑之一,由美国 SOM 设计事务所主设计,1998 年 8 月建成,占地 236 万 m^2 ,建筑面积 28.95 万 m^2 ,高 420.5 m,88 层,金茂大厦主楼 1~52 层为办公用房,53~87 层为五星级宾馆,88 层为观光层,大厦充分体现了中国传统文化与现代高新科技相融合的特点,既是中国古老塔式建筑的延伸和发展,又是海派建筑风格的再现。

1.1.3 现代多、高层建筑结构的发展

现代高层建筑既要满足使用功能,又要充分表现其美学功能,高层建筑往往成为现代城市的点缀或标志性建筑。高层建筑的发展首先是经济发展的必然结果,必须以现代技术发展为前提,城市美观又要求建筑与美学形式的高度结合。发展至今,高层建筑的功能和形式极为多样化,建筑高度也不断加大。为适应高层建筑多样化及高度不断增加的要求,在过去的 100 年里,高层建筑结构的技术有了巨大的发展,其发展包括材料、结构体系及施工技术等。高层建筑结构的材料主要是钢筋混凝土和钢。除了全部采用钢材的钢结构和全部采用钢筋混凝土材料的钢筋混凝土结构外,同时采用两种材料做成的混合结构在近几年得到越来越广泛的应用。

1.1.3.1 钢筋混凝土材料的发展趋势

(1) 混凝土

① 采用轻骨料混凝土

轻骨料混凝土是指采用黏土陶粒、粉煤灰陶粒、浮石或火山渣为骨料所配制成的混凝土,如已制成的轻质混凝土、加气混凝土、陶粒混凝土等。轻骨料混凝土作为结构承重材料用于高层建筑剪力墙、框架梁和柱,不仅满足承载力要求,而且可有效地减轻建筑物的自重。

② 发展高性能混凝土

通常对 C50 以上的混凝土称为高强混凝土。采用高强混凝土可大幅缩小底层钢筋混凝土柱的截面尺寸,扩大柱网间距,增大建筑使用面积,避免上、下柱采用不同强度等级混凝土,有利于统一柱子尺寸和模板规格,方便施工。高性能混凝土是一种新型的高技术混凝土,是在

大幅度提高普通混凝土性能的基础上采用现代混凝土技术制作的混凝土。它以耐久性作为设计的主要指标,针对不同用途要求,保证混凝土的实用性和强度,并达到高耐久性、高工作性、高体积稳定性和经济性。发展高性能混凝土可充分利用各种工业废弃物,大力发展复合胶凝材料,可最大限度地降低硅酸盐水泥的用量,因此可节约资源、能源,更有利于保护环境,走可持续发展之路。充分利用高性能混凝土的特点,可创造新的结构和构造来开辟新用途,增强混凝土表面的抗震、抗渗、抗磨和耐腐蚀性能。高强混凝土不一定是高性能混凝土;高性能混凝土不只是高强混凝土,而是包括各种强度等级的混凝土。

③ 发展各种纤维混凝土

在抗拉强度很差的混凝土中掺入纤维,使之能抵抗很大的拉力,即形成一种新的复合材料——纤维混凝土。如钢纤维混凝土、玻璃纤维混凝土和碳纤维混凝土等的问世和应用,大大地提高了混凝土的抗拉性能和韧性。

(2) 钢筋

① 普通混凝土结构提倡用 HRB400 级、HRB500、HRBF400、HRBF500 钢筋。

② 预应力混凝土结构用预应力钢丝、钢绞线和预应力螺旋钢筋。

③ 纤维增强塑料筋已经开始应用于实践。

④ 碳纤维棒材通常作为代替传统钢筋的材料,既可用于已建结构的补强加固,也可用于新建结构中。

1.1.3.2 设计理论的发展

(1) 提倡非线性分析方法

在《工程结构可靠度设计统一标准》(GB 50153—2008)中提出建筑结构按承载能力极限状态设计时,根据材料对作用的反应,可采用线性、非线性或塑性理论计算;在建筑结构按正常使用极限状态设计时,可采用线性理论计算,必要时,可采用非线性理论计算。对混凝土结构中特别重要的重大结构或受力状态特殊的大型杆系结构的二维、三维结构,必要时应对结构的整体或其部分进行受力过程的非线性分析。非线性分析方法以钢筋混凝土的实际力学性能为依据,引入相应的非线性结构关系后,可准确地分析结构受力全过程的各种荷载效应,且可以解决一切体型和应力复杂的结构分析问题,是一种先进的分析方法。

(2) 继续完善的研究课题

① 更进一步深入研究开发新型建筑材料,并应用于结构中;

② 进一步控制荷载、温度和干缩引起的裂缝,保证结构的正常使用功能和耐久性;

③ 提高混凝土结构的耐久性,正确估算、预测混凝土结构的寿命;

④ 研究发展新结构体系,进一步提高结构的强度和刚度,更有效地控制高层建筑的侧移。

1.1.3.3 新结构体系不断涌现

(1) 巨型结构体系

国内外,高层建筑的高度呈上升趋势,需要能适应超高、更加经济有效的抗风、抗震结构体系;建筑使用功能上,超高层建筑设计方案中有时有内部共享空间,结构需要提供特大空间。此时结构常采用巨型框架结构体系或巨型支撑结构体系。

① 巨型框架结构:用筒体做成巨型柱,用高度很大的箱形构件或桁架做巨型梁(台北 101 大楼)。

② 巨型支撑结构(中银大厦)。

(2) 悬挂式结构

将建筑物的各层楼板通过钢或预应力吊杆作用在筒体、刚架、拱等各种承重结构上,即形成现今世界上的一种新型结构——悬挂结构。这种结构的优点为自重轻,用钢量少,基础工程最少,各种构建能充分发挥其受力性能,抗震性能较好,但节点构造处理及施工质量等要求较高,也较复杂,目前世界上采用得还较少。

(3) 减震结构

在建筑物中采取某种减震构造措施,可以在地震时能吸收一部分地震能量,减少地震力对建筑物的破坏作用。这种减震构造措施可采用隔震和消能减震设计。隔震设计指在房屋基础、底部或下部结构与上部结构之间设置由橡胶隔震支座和阻尼装置等部件组成具有整体复位功能的隔震层,以延长整个结构体系的自振周期,减少输入上部结构的水平地震作用,达到预期防震要求。消能减震设计是指在房屋结构中设置消能器,通过消能器的相对变形和相对速度提供附加阻尼,以消耗输入结构的地震能量,达到预期防震减震要求。

1.1.3.4 组合结构的迅速发展

组合结构:两种不同性质的材料组合成整体共同工作的构件称为组合构件,由组合构件组成组合结构。由于两种不同性质的材料扬长避短,各自发挥其特长,具有一系列优点,至今 50 多年来,已成为一种公认的新的结构体系。

(1) 钢与混凝土组合结构

钢与混凝土组合结构,充分利用两种材料各自的优点,达到良好的经济技术效果。组合结构是将钢材放在构件内部,外部由钢筋混凝土做成,称为劲性混凝土或型钢混凝土。

(2) 钢管混凝土结构

在钢管内部填充混凝土,做成外包钢构件,称为钢管混凝土。

(3) 钢筋混凝土外包钢板箍构件

钢筋混凝土外包钢板箍构件是近年来研究与应用的一种新组合结构形式,可以用来新建也可以用于旧房屋改造进行结构加固。在构件(梁、柱)端部或跨间包钢板箍后不仅能局部提高构件抗压强度与抗剪强度,而且能改善构件与结构的延性。钢板箍常用于柱端及梁的剪力较大处。

(4) 压型钢板混凝土组合楼板

压型钢板混凝土组合楼板开始应用于欧美国家,压型钢板与混凝土组合成整体,共同工作,压型钢板代替钢筋承受拉力,可减少钢筋的制作安装等施工费用。这种组合板的设计计算的关键是解决压型钢板与混凝土之间的组合剪切计算。20 世纪 80 年代中期,我国引进与研究这种结构形式,由于这种结构形式可省去全部模板工程,并可立体作业,不仅节省大量木材与人力,且大大加快了施工进度,很快受到社会的欢迎。

(5) 钢梁支承钢筋混凝土板的组合结构

钢梁支承钢筋混凝土板的组合结构很早就已应用,但最初多未考虑它们的组合作用,而是各自作为单独构件进行设计计算。美国最早考虑两者的组合连接,组合成整体形成组合梁,并将计算方法纳入规范,把混凝土板视为钢梁的一部分(翼缘),节省大量钢材,造价大为降低,应用于桥梁与房屋建筑中。我国从 20 世纪 50 年代开始,尤其是 20 世纪 80 年代以后,开始深入研究,广泛应用。这种组合梁的应用与计算中的一个关键问题是二者连接问题,许多专家学者对连接件的试验研究、设计计算方法及施焊专用机具等进行了广泛的研究,美国、英国等首先

推出了实验得出的剪力强度计算公式,并纳入英国规范,同时焊接带头栓钉的栓焊机等专用机具问世,大大简化并加速了焊接连接件的施工作业,为组合梁的推广应用铺平了道路。

1.2 建筑结构抗震概述

1.2.1 地球构造

地球是一个一端微扁的实心球体,其半径约为 6400 km。从地表至球心由三层性质不同的物质构成。地壳为地球最表面的一层,平均厚度为 30 km;地核为最里面的部分,其平均半径为 3470 km;中间的部分为地幔,其厚度约为 2900 km。地壳由各种不均匀的岩石组成,它的厚度是不均匀的,高山或高原处厚度可达 70 km,而深海底部却只有 5~8 km。地幔主要由相对密度较大的黑色橄榄岩组成。地幔的顶部为强度较低并带有塑性性质的岩流层,它是地震波急剧变化的不连续面。地核分为外核和内核,主要由铁、镁等物质构成,据地震波传播的分析,外核可能处于液态,内核可能处于固态。地球内部构造如图 1.2 所示。

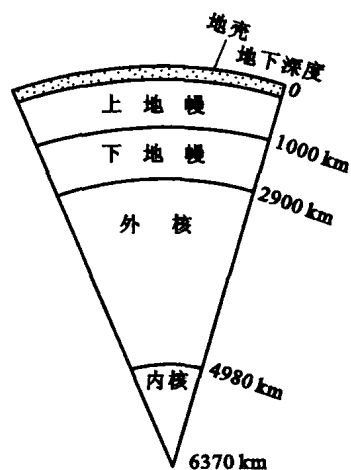


图 1.2 地球内部构造

1.2.2 地震概念

地震是指因地球内部缓慢积累的能量突然释放而引起的地球表层的振动。地震是一种自然现象,地球上每天都在发生地震,一年约有 500 万次,其中约有 5 万次人们可以感觉到;能造成破坏的约有 1000 次;7 级以上的大地震平均一年有十几次。目前记录到的世界上最大地震是 8.9 级,即发生于 1960 年 5 月 22 日的智利地震。

1.2.3 地震灾害和地震的破坏作用

1.2.3.1 地震灾害

地震灾害是群灾之首,它具有突发性和不可预测性,以及频度较高,并产生严重次生灾害,对社会也会产生很大影响等特点。

如 1976 年 7 月 28 日 3 时 42 分 54 秒,在河北省唐山、丰南一带(东经 118.0°,北纬 39.4°)发生了 7.8 级强烈地震,震中区烈度 11 度,地震波及天津市和北京市。这次地震发生在工矿企业集中、人口稠密的城市,极震区内工矿设施大部分毁坏,主要表现为厂房屋顶塌落,围护墙多数倒塌,高层建筑和一般民房几乎全部坍塌。震区内普遍发生铁路路基下沉,铁轨弯曲变形,公路路面开裂,桥墩错位、倾倒,梁体移动及坠落等,150 万人口中死亡 24 万,伤 16 万,直接经济损失 100 亿元,震后重建费用 100 亿元。

又如印度大地震,当地时间 2001 年 1 月 26 日上午 8 时 46 分(北京时间 2001 年 1 月 26 日 11 时 16 分 36.4 秒,国际时间 2001 年 1 月 26 日 3 时 16 分 40 秒),在印度西北部古吉拉特邦发生一次强烈地震。据印度地震部门测定,这次地震为里氏 7.9 级,震中位于北纬 23.6°和东经 69.8°,至当月 31 日止,地震发生后已发生了 196 次余震,死亡人数达 16403 人,受伤人数

达 55863 人,经济损失 45 亿美元。

再如汶川地震,2008 年 5 月 12 日 14 时 28 分 04 秒,震中位于四川省汶川县映秀镇,震级里氏 8.0 级,最大烈度 11 度,震源深度 14 km。汶川地震是中华人民共和国自成立以来有记录的最大地震,直接严重受灾地区达 10 万 km²。地震成因:印度洋板块向亚欧板块俯冲,造成青藏高原抬升。地震类型:汶川大地震为逆冲、右旋、挤压型断层地震。震源深度:汶川大地震是浅源地震,震源深度为 10~20 km。因此破坏性巨大,影响范围包括震中 50 km 范围内的县城和 200 km 范围内的大中城市。伤亡统计:全国各地伤亡汇总(截至 2008 年 10 月 8 日 12 时),遇难 69229 人,受伤 374643 人,失踪 17923 人。这次汶川地震造成的直接经济损失为 8451 亿元人民币。

1.2.3.2 地震的破坏作用

(1) 地表的破坏现象

① 地裂缝

在强烈地震作用下,常常在地面产生裂缝。根据产生的机理不同,地裂缝分为重力地裂缝和构造地裂缝两种。重力地裂缝是由于在强烈地震作用下,地面做剧烈震动而引起的惯性力超过了土的抗剪强度所致。这种裂缝长度可由几米到几十米,其断续总长度可达几千米,但一般都不深,多为 1~2 m。构造地裂缝是地壳深部断层错动延伸至地面的裂缝。美国旧金山大地震圣安德烈斯断层的巨大水平位移就是现代可见断层形成的构造地裂缝。

② 喷砂冒水

在地下水位较高、沙层埋深较浅的平原地区,地震时地震波的强烈震动使地下水压力急剧增高,地下水经地裂缝或土质松软的地方冒出地面,当地表土层为沙层或粉土层时,则夹带着砂土或粉土一起喷出地表,形成喷砂冒水现象。喷砂冒水现象一般要持续很长时间,严重的地方可造成房屋不均匀下沉或上部结构开裂。

③ 地面下沉(震陷)

在强烈地震作用下,地面往往发生震陷,使建筑物破坏。

④ 河岸、陡坡滑坡

在强烈地震作用下,常引起河岸、陡坡滑坡。有时规模较大,造成公路堵塞、岸边建筑物破坏。

(2) 建筑物的破坏

在强烈地震作用下,各类建筑物发生严重破坏,按其破坏的形态及直接原因,可分为以下几类:

① 结构丧失整体性

房屋建筑或其他结构物,都是由许多构件组成的,在强烈地震作用下,构件连接不牢、支撑长度不够和支撑失效等都会使结构丧失整体性而破坏。

② 承重结构强度不足引起破坏

任何承重构件都有各自的特定功能,以适用于承受一定的外力作用。对于设计时没有考虑抗震设防或抗震设防不足的结构,在强烈地震作用下,不仅构件内力增大很多,而且其受力性质往往也将改变,致使构件强度不足而被破坏。

③ 地基失效

当建筑物地基内含饱和砂层、粉土层时,在强烈地面运动影响下,土中空隙水压力急剧增