



普通高等学校土木工程专业创新系列规划教材



钢筋混凝土结构设计

主编 郭靳时 金菊顺 庄新玲
主审 尹新生



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

钢筋混凝土结构设计

主 编	郭靳时	金菊顺	庄新玲
副主编	庞 平	刘晓霞	谢新颖
	陈敏杰	钱永梅	
主 审	尹新生		



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

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:武汉大学出版社,2013.12
普通高等学校土木工程专业创新系列规划教材
ISBN 978-7-307-12147-8

I. 钢… II. ①郭… ②金… ③庄… III. 钢筋混凝土结构—结构设计
IV. TU375.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 272138 号

责任编辑:蔡 巍 孙 丽

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:荆州市鸿盛印务有限公司

开本:850×1168 1/16 印张:28 字数:771 千字

版次:2013 年 12 月第 1 版 2013 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-12147-8 定价:49.00 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的模式而成为一次建设性、发现性的学习,从被动学习而成为主动学习,由教师传播知识而到学生自己重新创造知识。这无疑是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,将逐步配备基本数字教学资源,其主要内容包括:

课程教学指导文件

- (1)课程教学大纲;
- (2)课程理论与实践教学时数;
- (3)课程教学日历:授课内容、授课时间、作业布置;
- (4)课程教学讲义、PowerPoint 电子教案。

课程教学延伸学习资源

- (1)课程教学参考案例集:计算例题、设计例题、工程实例等;
- (2)课程教学参考图片集:原理图、外观图、设计图等;
- (3)课程教学试题库:思考题、练习题、模拟试卷及参考解答;
- (4)课程实践教学(实习、实验、试验)指导文件;
- (5)课程设计(大作业)教学指导文件,以及典型设计范例;
- (6)专业培养方向毕业设计教学指导文件,以及典型设计范例;
- (7)相关参考文献:产业政策、技术标准、专利文献、学术论文、研究报告等。

基本数字教学资源网站链接:<http://www.stmpress.cn>

前 言

本书是根据高等学校土木工程专业培养目标及《高等学校土木工程本科指导性专业规范》的要求,结合编者们多年来的教学实践经验而编写的。该书既可作为高等学校土木工程专业的教材,也可供从事土木工程建设的技术人员学习、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的讲解,使学生能正确理解和掌握混凝土结构构件各种受力形式的设计计算方法,以及培养学生综合运用知识的能力。本书注重理论联系实际,培养学生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。

本书的特色是:将原来某些独立课程如“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”课程相关内容的重复,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。

本书主要包括: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。每章均列举了适量的例题,每章末都有一定数量的思考题和习题,以帮助学生通过这些题目进一步消化、理解所学内容,检查学习效果。

参加本书编写的人员为:吉林建筑大学,郭靳时、庄新玲、庞平、谢新颖、钱永梅;吉林建筑大学城建学院,金菊顺、刘晓霞;长春建筑学院,陈敏杰。

具体编写分工如下:陈敏杰(第1章);金菊顺(第2章、第3章);郭靳时、庞平(第4章);庄新玲(第5章);郭靳时(第6章、第7章);郭靳时、谢新颖(第8章);金菊顺、刘晓霞(第9章);钱永梅(第10章)。参加编写工作的还有吉林建筑大学的翟莲、王伟、张塞北等,他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,庞平、刘晓霞、谢新颖、陈敏杰、钱永梅担任副主编,全书最后由郭靳时统一修改、定稿。

吉林建筑大学的尹新生教授担任本书主审,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,特此致谢。

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

2013年10月

目 录

1 绪论	1
1.1 多、高层建筑结构概述/1	
1.2 建筑结构抗震概述/5	
1.3 钢筋混凝土单层工业厂房结构概述/8	
知识归纳/9	
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	
2.2 地震震级与地震烈度/15	
2.3 建筑结构的抗震设防/18	
2.4 抗震设计的总体要求/21	
2.5 场地、地基和基础/24	
知识归纳/34	
思考题/35	
习题/35	
3 多、高层建筑结构荷载	36
3.1 竖向荷载/36	
3.2 水平荷载/37	
知识归纳/79	
思考题/79	
习题/80	
4 结构设计的基本规定和设计要求	82
4.1 一般规定/82	
4.2 结构总体布置原则/84	
4.3 水平位移限值和舒适度要求/97	
4.4 构件承载力设计表达式/101	
4.5 抗震结构延性要求和抗震等级/102	
4.6 结构抗震性能设计和抗连续倒塌设计基本要求/107	
4.7 结构设计的基本要求/110	
4.8 荷载组合和地震作用组合的效应及最不利内力/116	
知识归纳/122	
思考题/122	



习题/123

5 框架结构

124

- 5.1 概述/124
- 5.2 框架结构计算简图/128
- 5.3 框架结构在竖向荷载作用下的近似计算/129
- 5.4 框架结构在水平荷载作用下内力近似计算/134
- 5.5 框架结构在水平荷载作用下的侧移计算/149
- 5.6 框架结构抗震设计/151
- 5.7 框架结构的抗震构造要求/160

知识归纳/168

思考题/168

习题/168

6 剪力墙结构

170

- 6.1 概述/170
- 6.2 一般规定/172
- 6.3 剪力墙结构的受力分析及分类/176
- 6.4 整截面剪力墙的内力和位移计算/184
- 6.5 整体小开口剪力墙的内力和位移计算/186
- 6.6 联肢剪力墙的内力和位移计算/191
- 6.7 壁式框架在水平荷载作用下的近似计算/217
- 6.8 剪力墙设计和构造/228

知识归纳/251

思考题/252

习题/253

7 框架-剪力墙结构

255

- 7.1 概述/255
- 7.2 一般规定/255
- 7.3 框架-剪力墙结构内力和位移分析/261
- 7.4 截面设计和构造要求/280
- 7.5 框架-剪力墙结构设计实例/281

知识归纳/288

思考题/289

习题/289

8 筒体结构

291

- 8.1 概述/291
- 8.2 一般规定/293

8.3 筒体结构在水平荷载作用下的受力特点/295

8.4 筒体结构的截面设计及构造要求/297

知识归纳/299

思考题/300

9 单层厂房结构

301

9.1 单层厂房排架结构的组成和布置/301

9.2 排架计算/309

9.3 单层厂房钢筋混凝土排架柱的设计/326

9.4 单层厂房各构件与柱连接/334

9.5 单层钢筋混凝土柱厂房的抗震设计/336

9.6 单层厂房结构设计实例/346

知识归纳/377

思考题/377

习题/378

10 钢筋混凝土结构平法施工图简介

379

10.1 现浇混凝土框架、剪力墙、梁平面整体表示方法/379

10.2 现浇混凝土板式楼梯平面整体表示方法/399

10.3 现浇混凝土板平面整体表示方法/410

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/416

知识归纳/435

参考文献

437

1 绪 论

内容提要

本章主要内容包括:多高层建筑结构、建筑结构抗震、钢筋混凝土单层工业厂房结构的概述。教学重点为多高层建筑结构的概念和特点、地震概念及震害、单层工业厂房结构形式及分类。教学难点为多高层建筑结构的特点。

能力要求

通过本章的学习,学生应对多高层建筑结构的特点和地震基本概念及单层厂房结构形式有初步的认知。

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》(JGJ 3—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,无论是单层、多层还是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 H 呈线性关系,弯矩 M 、侧移 Δ 与高度 H 呈指数曲线上升关系,随着建筑高度的增加,结构侧移增加得更快。

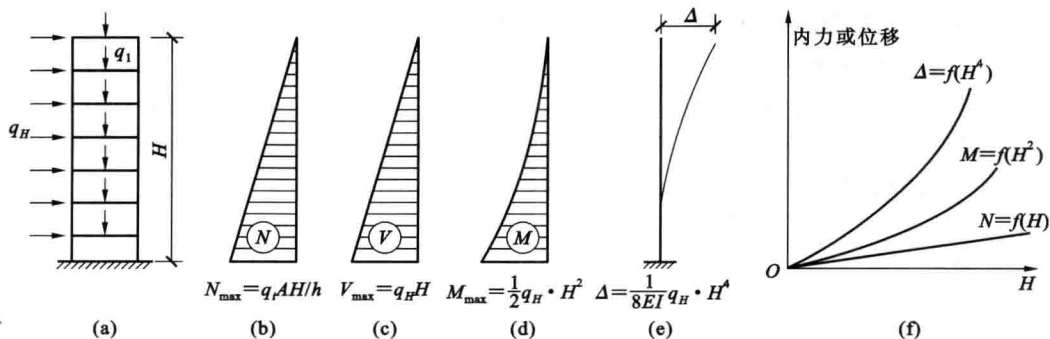


图 1.1 房屋高度对结构内力及侧移的影响

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,是本课程要解决的主要问题。

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,还要求节省材料和美观。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 层的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 年的“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)。到了 70 年代,我国的高层建筑有了较大发展。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,我国的高层建筑迅速发展。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 万平方米,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。1998 年 8 月建成的上海金茂大厦,是具有中国传统风格的超高层建筑,也是上海迈向 21 世纪的标志性建筑之一,它由美国 SOM 设计事务所主设计,占地 236 万平方米,建筑面积 28.95 万平方米,高 420.5 m,88 层。

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,建筑高度也不断增加。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方面。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,不仅满足承载力的要求,还可有效地减轻建筑物的自重。



② 发展高性能混凝土。

通常将 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,还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 级、HRBF400 级、HRBF500 级钢筋。

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《工程结构可靠性设计统一标准》(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,更加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(图 1.2),高 508m(含天线,至屋顶高 448m),1998 年动工,历时 5 年,耗资 600 亿新台币。台北 101 大楼采用新式的“巨型结构”(mega structure),在大楼的四个外侧分别各有两支巨柱,共八支巨柱,每支截面长 3m、宽 2.4m,自地下 5 层贯通至地上 90 层,柱内灌入高密度混凝土,外以钢板包覆。地下 5 层,地上 101 层。有世界上最大而且最重的“风阻尼器”,第 88~92 层之间有一颗巨大的“黄色大球”。它由 41 层 12.5cm 厚的实心钢板堆叠焊接而成,直径约 5.4m,重达 660t,价值 400 万美元。它的作用是减轻飓风、地震等自然现象给大厦带来的震动,也就是传说中的“调制阻尼器”,还有两台世界上最高速的电梯,从 5 层直达 89 层的室内观景台,只要 37s 左右的时间,电梯上升的速度为 1010m/min。

② 巨型支撑结构。

香港中银大厦(图 1.3),总建筑面积 12.9 万平方米,地上 70 层,楼高 315m,加顶上两杆的高度共计 367.4m,结构采用 4 角 12 层高的巨型钢柱支撑,室内无一根柱子。以平面为例,香港中银大厦是一个正方平面,对角划成 4 组三角形,每组三角形的高度不同,节节高升,使得各个立面在严谨的几何规范内变化多端。

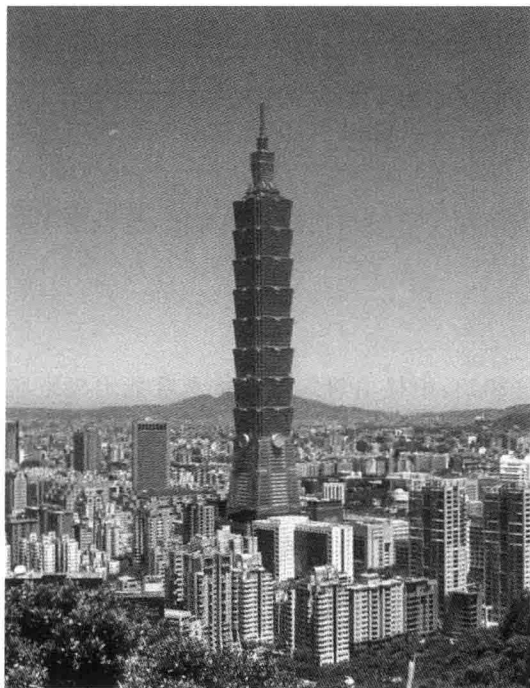


图 1.2 台北 101 大楼

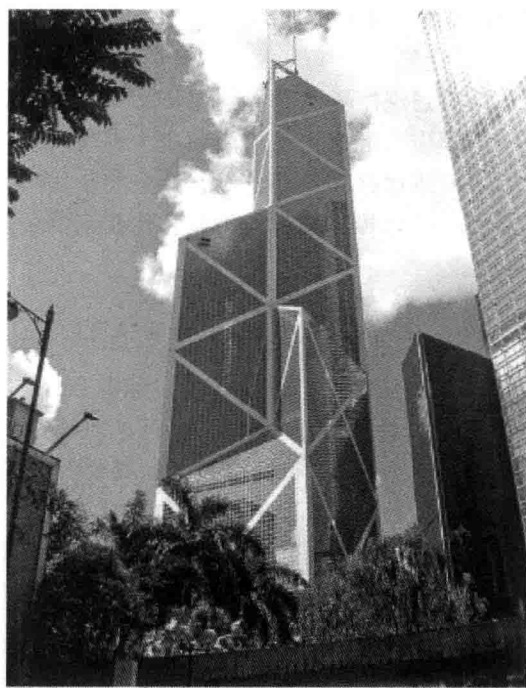


图 1.3 香港中银大厦

(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,各种构造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,目前世界上还采用得较少。

(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。隔震设计是指在房屋基础、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。至今 50 多年来,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,所以其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和进行结构加固。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,还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,并广泛应用其组合结构。这种组合梁的应用与计算中的一个关键问题是二者的连接问题,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

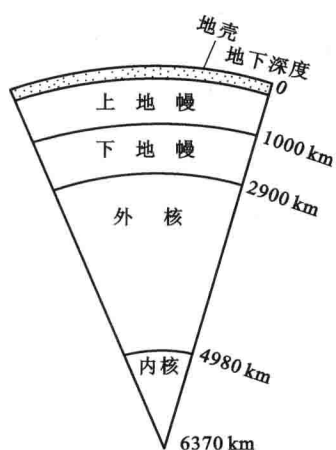


图 1.4 地球内部构造

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 1.4 所示。

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

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,桥墩错动、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,国际时间 2001 年 1 月 26 日 3 时 16 分),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°,截至当月 31 日,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强地震,直接严重受灾地区达 10 万平方千米。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。汶川地震造成的直接经济损失为 8451 亿元人民币。

1.2.4 地震的破坏作用

1.2.4.1 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。

1.2.4.2 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高,致使地基土发生液化,地基承载力下降,甚至完全丧失,从而导致上部结构破坏。

1.2.4.3 次生灾害

地震除直接造成建筑物的破坏外,还可能引起火灾、水灾、污染等严重的次生灾害,有时比地震直接造成的损失还大。在城市,尤其是在大城市,这个问题越来越引起人们的关注。

例如,发生在1995年1月17日的日本阪神大地震,引发火灾122起之多,烈焰熊熊,浓烟遮天蔽日,不少建筑物倒塌后又被烈火包围,火势入夜不减,这给救援工作带来很大困难。又如1923年日本关东大地震,据统计,震倒房屋13万栋。由于地震时正值中午做饭时间,故许多地方同时起火,自来水管普遍遭到破坏,而道路又被堵塞,致使大火蔓延,烧毁房屋达45万栋之多。1906年美国旧金山大地震,在震后的3天火灾中,共烧毁521个街区的28000幢建筑物,使已被震坏但仍未倒塌的房屋又被大火夷为一片废墟。1960年发生在海底的智利大地震,引起海啸灾害,除吞噬了智利中、南部沿海房屋外,海浪还从智利沿大海以640 km/h的速度横扫太平洋,22 h之后,高达4 m的海浪又袭击了距智利17000 km远的日本,在本州和北海道,海港和码头建筑遭到严重的破坏,甚至连巨轮也被抛上陆地。

1.3 钢筋混凝土单层工业厂房结构概述

1.3.1 单层工业厂房结构形式

单层工业厂房是空间尺度大、荷载数值大的厂房。单层工业厂房常用的结构形式有排架结构(图 1.5)和刚架结构(图 1.6)。排架结构主要由屋架(或屋面梁)、柱和基础组成,柱与屋面梁铰接,柱与基础刚接;刚架结构主要是门式刚架,柱和梁刚接成一个构件,柱和基础铰接。

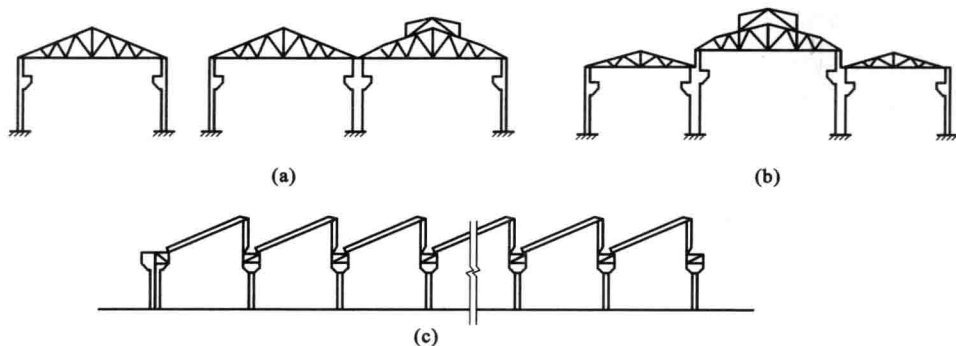


图 1.5 钢筋混凝土排架结构厂房

(a) 等高排架;(b) 不等高排架;(c) 锯齿形排架

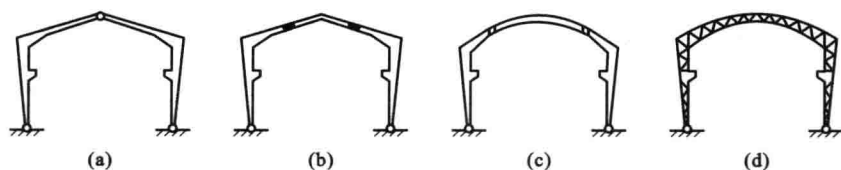


图 1.6 门式刚架

(a) 三铰门式刚架;(b)、(c)、(d) 两铰门式刚架

1.3.2 单层工业厂房结构的分类

1.3.2.1 按结构体系分类

(1) 排架结构体系

混凝土排架结构是我国单层厂房中应用较多的结构形式,根据生产和工艺的不同要求,可做成等高、不等高,单跨、多跨等多种形式。相对其他结构形式,混凝土排架结构刚度大,跨度和高度均可达 30 m 左右,且能适用于较大吨位的吊车。排架结构的构件一般采用现场预制、养护,然后吊装,各构件间多采用预埋铁件焊接以形成结构整体。

(2) 刚架结构体系

门式刚架属于梁柱合一的结构形式,因而构件种类少,且构件截面还可随力的变化做成变截面,故结构轻巧。门式刚架一般分段预制,然后通过螺栓或焊接连成整体,也属于预制、装配式施工的结构体系。门式刚架的缺点是刚度差,承载时易产生“跨变”现象,因而只能用于屋盖轻、无吊车或吊车起重量不大于 100 kN,且跨度和高度都较小的厂房和仓库。