

黑龙江省高等教育应用型人才培养系列教材

钢筋混凝土 结构设计

主编 郭庆勇 崔晓明

HEUP 哈尔滨工程大学出版社

黑龙江省高等教育应用型人才培养系列教材

钢筋混凝土结构设计

主 编 郭庆勇 崔晓明

 哈尔滨工程大学出版社

内 容 提 要

本书依据中华人民共和国国家标准《混凝土结构设计规范》(GB50010—2010)《建筑抗震设计规范》(GB50011—2011)《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ3—2010)《建筑结构荷载规范》(GB50009—2012)等编写,主要包括混凝土结构设计的一般概念、梁板结构设计、楼梯设计、悬挑梁构件设计、排架结构设计和多层混凝土框架设计等内容。以混凝土结构的受力特点、结构构件布置、计算单元、计算简图、设计原理、计算方法以及施工图等都做了深入浅出的论述,具有很强的实用性和指导性。

本书可作为大专院校土木工程专业的教材,也可供从事工程设计、施工和相关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

钢筋混凝土结构设计/郭庆勇,崔晓明主编. —哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2015.5

ISBN 978-7-5661-1037-4

I. ①钢… II. ①郭… ②崔… III. ①钢筋混凝土结构-结构设计 IV. ①TU375.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 102871 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 哈尔滨市石桥印务有限公司
开 本 787mm × 1 092mm 1/16
印 张 19.25
字 数 495 千字
版 次 2015 年 8 月第 1 版
印 次 2015 年 8 月第 1 次印刷
定 价 46.00 元
<http://www.hrbeupress.com>
E-mail:heupress@hrbeu.edu.cn

前 言

混凝土结构是土木工程中广泛使用的一种结构,本书是依据中华人民共和国国家最新标准《混凝土结构设计规范》(GB50010—2010)《建筑抗震设计规范》(GB50011—2011)《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ3—2010)《建筑结构荷载规范》(GB50009—2012)等编写,具有很强的针对性和实用性。本书对混凝土基本结构的受力特点、结构构件布置、计算单元、计算简图、设计计算方法以及施工图的绘制等都有深入浅出的论述,并以相应例题进行讲解,在内容上理论与实践相结合,更注重实际经验的运用。在结构体系上重点突出,详略得当,还注意了知识的融会贯通。

本书可作为土木工程专业的专业基础课教材,也可作为从事混凝土结构设计、施工或监理技术人员的参考用书。

由于编者的学识水平有限,书中内容难免有疏漏或未尽之处,书中不当之处请各位读者批评指正。

编 者

2015 年 4 月

目 录

第1章 钢筋混凝土结构设计概论	1
1.1 建筑结构的定义及功能	1
1.2 结构的分类	3
1.3 混凝土结构设计的内容和要求	7
1.4 结构的选型与布置原则	9
1.5 混凝土结构分析	10
1.6 结构分析软件	18
1.7 结构施工图	19
1.8 混凝土结构的新发展	23
1.9 本课程的主要内容及特点	25
思考与练习	26
第2章 钢筋混凝土梁板结构设计	27
2.1 混凝土梁板概述	27
2.2 现浇式单向板梁板结构	33
2.3 双向板肋梁楼盖设计	77
2.4 整体式无梁楼盖	98
2.5 装配式楼盖	106
2.6 整体式楼梯	111
2.7 悬挑构件	124
思考与练习	126
第3章 单层厂房结构设计	128
3.1 工业建筑概述	128
3.2 单层厂房的结构形式和结构体系	131
3.3 单层工业厂房的结构组成和布置	134
3.4 单层厂房排架内力分析	154
3.5 排架结构内力分析与内力组合	167
3.6 柱下单独基础设计	185
3.7 钢筋混凝土屋架设计与构造	194
3.8 单层厂房排架结构设计实例	197
思考与练习	228
第4章 框架结构设计	230
4.1 框架结构概述	230
4.2 框架结构体系	230
4.3 结构的组成及布置方法	232



4.4 框架的计算简图	237
4.5 竖向荷载作用下框架结构内力计算	245
4.6 水平荷载作用下框架结构内力计算	251
4.7 框架结构的内力组合	263
4.8 水平作用下框架侧移的近似计算和验算	266
4.9 框架结构的构造要求	267
思考与练习	271
附录1 混凝土和钢筋的强度标准值设计值及弹性模量	272
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	273
附录3 双向板计算系数表	282
钢筋混凝土结构设计自学考试大纲	288
参考文献	299

第1章 钢筋混凝土结构设计概论

本章重点:

本章介绍了混凝土结构的类型及设计流程,讲述了混凝土结构设计的一般规定、混凝土结构方案设计的内容和原则、结构分析方法、结构分析基本概念和适用范围以及绘制结构施工图的要点,同时,对本教材的主要内容进行了简单的介绍。

1.1 建筑结构的定义及功能

1.1.1 结构的定义

结构是建筑物和构筑物的基本部分,它承担着建筑物和构筑物在施工与使用过程中可能出现的各种作用。为了安全、经济且适用地设计一个建筑物或构筑物中的结构,必须首先弄清它的功能和影响其功能的主要因素。房屋结构是建筑物的基本受力骨架,无论古代人建造的简单掩蔽物,还是现代人建造的现代化、复杂的大空间,都必须具有足够抵抗能力,以抵御可能发生的各种作用力,为人类的生产和生活需要服务,这种骨架就是结构。结构可以从广义和狭义两方面定义,结构的广义是指房屋建筑和土木工程的建筑物、构筑物及其相关组成部分的实体,结构的狭义是指各种工程实体的承重骨架。混凝土结构是指以混凝土为主要建筑材料制成的各种工程实体的承重骨架。《混凝土结构设计规范》(GB50010—2010)规定,混凝土结构是指以混凝土为主而制成的结构,包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构等。本课程主要讲述常用钢筋混凝土建筑结构的设计理论。

结构在其使用年限内,要承受各种永久荷载和可变荷载(包括偶然荷载),同时还可能受到温度、收缩、徐变及地基不均匀沉降等作用的影响。在地震区,结构还要承受地震作用。这就要求结构在上述各种因素的影响下应具有足够的承载能力,且不发生整体或局部的破坏或失稳。结构还应具有足够的刚度,不产生过大的挠度或侧移。对于混凝土结构而言,还应具有足够的抗裂性,满足对其提出的裂缝控制要求。除此之外,结构还要具有足够的耐久性,在其使用年限内,钢材不出现严重锈蚀,混凝土等材料不发生严重劈裂、腐蚀、风化或剥落等现象。

1824年,英国人阿斯匹丁(J. Aspdin)发明了水泥,1850年,法国人蓝波特(L. Lambot)制成了铁丝网水泥砂浆船,1861年,法国人莫尼埃(J. Monier)取得了制造钢筋混凝土板、管道和拱桥的专利。它们标志着现代混凝土结构的问世。从19世纪中叶,钢筋混凝土结构开始应用在建筑工程中,混凝土结构的历史距今也仅150多年。在我国,水泥工业始于1889年,19世纪末20世纪初在上海等沿海城市的个别建筑中,部分地采用了钢筋混凝土楼板,如1908年建造的上海电话公司大楼是我国最早的钢筋混凝土框架结构。与木结构、砌体结构以及钢结构相比,混凝土结构的历史虽不长,但是,由于它具有承载能力高的特点,不仅可



以用于一般建筑结构,而且可以用于高层、大跨的土木工程结构。除此之外,它还具有节省钢材、可模性好和耐火等一系列其他结构难以相比的优点。因此,随着配置各种纤维的混凝土及高强、高性能混凝土在施工过程中的应用,混凝土结构的发展速度非常快,特别是自1949年后,混凝土结构的应用远超过其他的结构形式,已经成为当今我国建筑结构中的主导结构。

1.1.2 建筑结构的功 能

建筑结构的第一个功能是使结构骨架形成的空间能良好地满足人类生活、生产的要求和人类对美观的需求,这也是建筑结构之所以存在的根本原因。不同的使用和美观需求,要求有不同的建筑空间,以及采用与建筑空间相适应的结构形式,而合理的结构形式又必须与建筑使用和美观需求统一起来。因此,具有良好的工作性能,为使用和美观的需要服务是建筑结构的第 一功能。

建筑结构的另一功能是抵御自然界各种作用力,如作用于楼面、屋盖、墙体、支撑结构上的重力荷载、设备家具、人类的各种活动荷载、风荷载、地震作用和由于温度变化、地基不均匀沉降或混凝土收缩在结构中引起的各种作用力等,因而建筑结构需要有抵抗力的功能。在正确施工和正常使用条件下,要使结构具有能抵抗各种作用力而不发生破坏的能力,这是结构承载力问题。除承载力问题外,结构还需要其他的一些抵抗功能,例如,结构在各种力作用下不致倾覆、失稳或产生过大变形,而需要具有耐久性和在偶然事件发生时仍能保持必需的整体稳定的功能。

结构的第三个功能是充分发挥结构所采用材料的作用。材料是结构之所以存在的根本条件。结构的承载力问题,实质上是组成结构构件的材料强度问题;结构的变形问题,实质上是组成结构构件的材料应变问题;结构问题,从某种意义上说,是结构所采用材料的能力以及怎样合理利用材料的问题。合理地利用材料就能使结构在抵御相同作用时所用材料最少或较少,这实质上是一个经济问题。结构的功能特性使得工程中技术人员必须考虑它的经济问题,一般说来,如果用最少的钱、最省的劳动力和最短的工期能最大限度地满足前述功能要求的话,当然是人们所期望的。所以,在进行结构设计时,需要对几种不同结构形式的方案比较分析,然后选用较为经济合理的结构形式。

综上所述,在土木工程中,结构的主要用途可分为以下四个方面:

(1) 为人类提供生产、生活的空间

这类结构主要由梁、板和桁架等来组成水平方向的构件,墙、柱和框架等组成竖直方向的构件。

(2) 为人类提供各种交通通道

一般指由梁、板和柱等组成的交通设施。

(3) 抵御自然界水、土或岩石等侧向压力的作用

这个可以用水坝、护堤、挡土墙或隧道等水工结构、土工结构、钢筋混凝土结构、钢结构和其他组合结构来实现。

(4) 构成为其他专门用途服务的空间

这个可以用排除废气的烟囱、储存液体的罐体、水池或储料仓等特殊结构来获得。



1.2 结构的分类

根据结构构件的几何形状及受力特点,以及结构所在的空间位置、结构层数和高度等,可以有不同的分类方法。

1.2.1 按照结构所在的空间位置分类

建筑结构主要由水平承重结构、竖向承重结构和底部承重结构(天然地坪以下)三部分组成。

1. 水平承重结构

水平承重结构由楼盖、屋盖和楼梯等组成,它将竖向荷载传递至竖向承重结构,主要有梁板结构、平板结构、密肋结构和大跨结构(桁架、网架、壳体、拱结构、索结构和膜结构等)。

2. 竖向承重结构

竖向承重结构由墙和柱等构件组成,承受竖向荷载和水平荷载的作用,主要有墙体结构、框架结构、筒体结构和复合结构(框架-剪力墙、框架-筒体、框架-支撑和转换结构等)。

3. 底部承重结构

底部承重结构包括地基和基础,基础主要有独立基础、条形基础、十字形基础、筏型基础和箱型基础等浅基础以及桩基础、沉井基础和地下连续墙等深基础。

这三类承重结构的荷载传递关系如图1-1所示,即水平承重结构将楼盖、屋盖上的荷载传递给竖向承重结构,竖向承重结构将自身承受的荷载和自重以及水平承重结构传来的荷载传递给基础和地基。

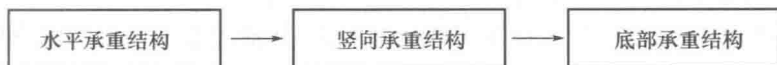


图 1-1 结构的荷载传递框图

将结构作以上分类,不但可以使我们清楚地了解结构中荷载的传递关系,而且可以使我们更为深入地对各类结构进行研究。

但是,应该了解,水平承重结构、竖向承重结构和底部承重结构是一个整体,它们之间相互作用、相互影响。水平承重结构将荷载传递给竖向承重结构,但水平承重结构有可能是竖向承重结构的组成部分,如楼盖结构中的主梁可能是框架结构中的横梁;竖向承重结构将荷载传递给底部承重结构,底部承重结构的变形也可能引起上部结构的内力发生变化,甚至可能引起上部结构的变形。

1.2.2 按结构构件的几何形状分类

按照结构构件的几何形状和受力特征,混凝土结构可以分为如下几种。

1. 杆系结构

这类结构中的结构构件都是细长的直杆,如连续梁、钢筋混凝土或预应力混凝土屋架、框架结构以及排架结构等,这些是实际工程中应用最广泛的结构形式。



2. 板壳结构

当结构构件两个方向的尺寸远大于第三个方向的尺寸时,其中平者称为板,曲面形状者称为壳,这样的结构称为板壳结构。板以受弯为主要受力形式,壳以受压为主要受力形式。板壳结构是一种空间受力的结构,如图 1-2 所示。

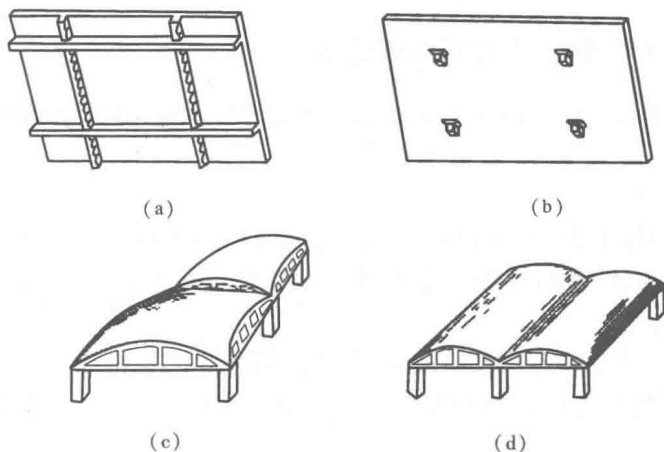


图 1-2 板和壳结构图

(a)带肋板;(b)无梁板;(c)双曲扁壳;(d)筒壳

3. 拱结构

拱是以承受轴压力为主的结构。由于拱的各横截面上的内力大致相等,因而拱结构是一种有效的大跨度结构,在桥梁和房屋中都有广泛的应用。

拱结构可分为无铰、双铰和三铰等几种结构形式,其轴线常采用抛物线形状(当拱的矢高 f 不大于拱的 $1/4$ 跨度时,也可用圆弧代替),如图 1-3 所示。拱的矢高 f 一般介于 $\frac{1}{8}l_0 \sim \frac{1}{2}l_0$ 。矢高小的拱水平推力大,拱体受力也大;矢高大时则相反,但拱体长度会增加。合理选择矢高是设计拱结构时应充分考虑的问题。

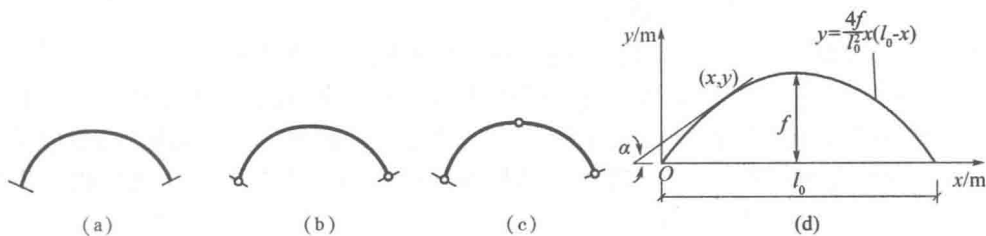


图 1-3 拱的形式及拱轴线

(a)无铰拱;(b)双铰拱;(c)三铰拱;(d)抛物线拱轴

拱体结构横截面一般为矩形或 I 形等实体截面,当截面高度较大(如大于 1.5 m)时,可做成格构式、折板式或波形截面,如图 1-4 所示。

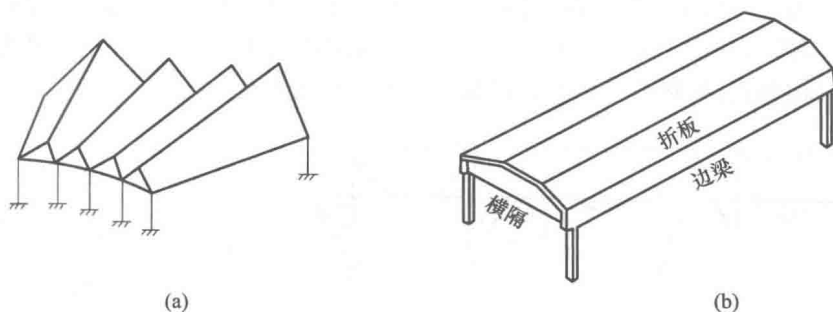


图 1-4 折板的截面形式
(a) 扇形折板; (b) 波形拱体

4. 块体结构

三个方向的尺寸为同量级的结构,称为块体结构。属于块体结构的有柱下独立基础、设备基础、桥台和桥墩等,如图 1-5 所示。

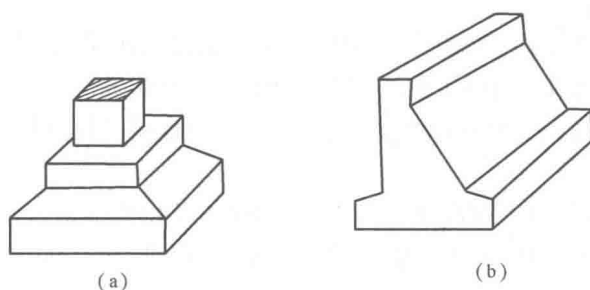


图 1-5 块体结构
(a) 柱下独立基础; (b) 桥墩

1.2.3 按结构的层数和高度分类

混凝土结构按层数和高度的不同,可分为单层、多层和高层结构。

关于多、高层建筑的界定,世界各国规定不尽相同,但原则上均以建筑的层数和高度进行划分。我国《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ3—2010)规定:10 层及 10 层以上或高度超过 28 m 的住宅建筑结构和房屋高度大于 24 m 的其他民用建筑为高层民用建筑。故可认为,10 层及 10 层以上的住宅和 24 m 以上高度的其他建筑为高层建筑,2~9 层或高度不超过 24 m 的建筑称为多层建筑,40 层或高度超过 100 m 的建筑称为超高层建筑。多、高层混凝土结构的建筑应用较为广泛,可采用框架、板柱、剪力墙、框架-剪力墙、板柱-剪力墙或筒体等结构体系。其中,混凝土框架结构式是多、高层建筑中常见的结构形式。

1. 单层混凝土结构

单层混凝土结构主要用于单层工业厂房,包括钢筋混凝土排架结构和钢筋混凝土刚架结构。其中排架结构是本书要讲述的基本结构之一,用于有较大起重设备的工业厂房、仓库、实验室和食堂等单层且空间大的房屋;而刚架是一种梁柱合一的结构构件,钢筋混凝土



刚架结构常作为中小型单层厂房的主体结构,它可以有三铰、两铰及无铰等几种形式,可以做成单跨或多跨结构(图 1-6)。单层房屋中也有采用拱结构的。屋盖可采用梁板、拱、薄壳或折板等结构形式,材料可采用钢筋混凝土屋架或钢屋架。

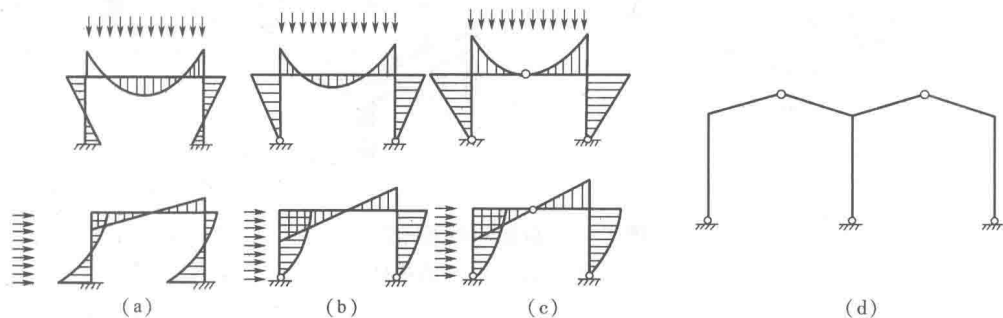


图 1-6 刚架结构形式和受力图

(a) 无铰刚架(单跨);(b) 双铰刚架(单跨);(c) 三铰刚架(单跨);(d) 双跨刚架

2. 多层混凝土结构

多层混凝土结构主要用于多层轻工业厂房及多层民用房屋,包括框架结构及框架-剪力墙结构。框架结构也是本书要讲述的基本结构之一,而框架-剪力墙结构则是在框架结构的适当部位设置成片的钢筋混凝土墙体,目的是提高框架结构抵抗水平作用的能力。

3. 高层混凝土结构

一般把层数在 10 层以上或高度超过 28 m 的房屋结构称为高层结构,主要用于民用房屋。其结构形式除框架结构、框架-剪力墙结构外,还有剪力墙结构、筒体结构等。

(1) 剪力墙结构

钢筋混凝土剪力墙是指以承受水平荷载为主要目的(同时也承受相应范围内的竖向荷载)而在房屋结构中设置的成片钢筋混凝土墙体,其长度可与房屋的总宽度相同,其高度可为房屋的总高,其厚度最薄时可达 140 mm。《混凝土结构设计规范》(GB50010—2010)规定:当钢筋混凝土墙的长度大于其厚度的 4 倍时,应按钢筋混凝土剪力墙要求进行设计(未超过时按柱设计)。

当纵横交叉的房屋墙体都由剪力墙组成时,形成剪力墙结构(图 1-7)。剪力墙结构适用于 40 层以下的高层旅馆、住宅等房屋,适用高度见表 1-1。

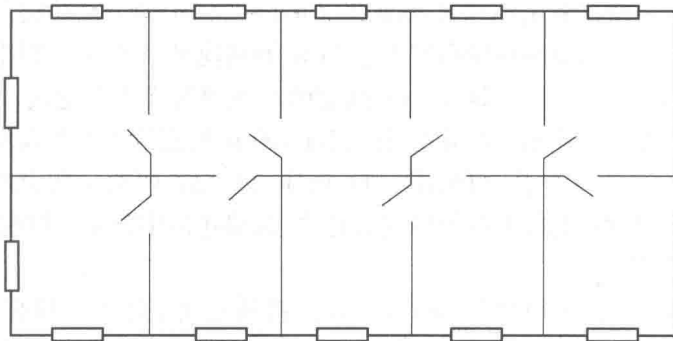


图 1-7 剪力墙房屋平面图



表 1-1 剪力墙结构房屋总高度限值

抗震设防烈度	≤6 度	7 度	8 度	9 度
房屋最大高度/m	140	120	100	60

(2) 筒体结构

将房屋的剪力墙集中到房屋的外部或内部,组成一个竖向悬臂的封闭式箱体时,可大大增强房屋的整体空间受力性能和抵抗侧移(水平位移)的能力,这种封闭的箱体称为筒体。当筒体和框架结合形成框筒结构,内筒和外筒结合则形成筒中筒结构。筒体结构一般用于 30 层以上的高层房屋(图 1-8)。

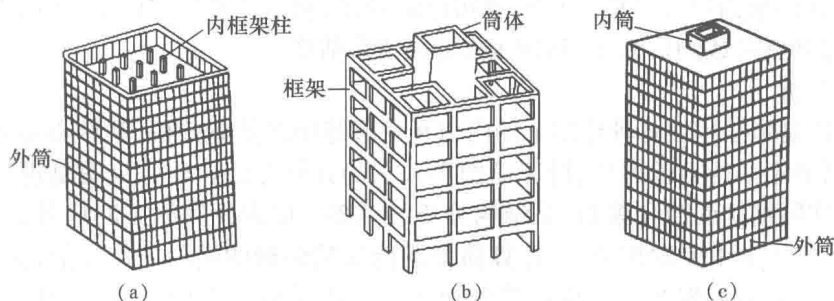


图 1-8 筒体结构

(a) 外筒内框; (b) 内筒外框; (c) 筒中筒

1.3 混凝土结构设计的内容和要求

1.3.1 混凝土结构设计的内容

结构设计的基本内容主要包括四个部分,依次是结构方案设计、结构分析、构件设计和绘制施工图。

1. 结构方案设计

结构方案设计主要是配合建筑设计的功能和造型要求,结合所选结构材料的特性,从结构受力、安全和经济的角度以及地基基础和抗震设计要求等条件出发,综合确定合理的结构形式。结构方案应在满足适用性的条件下,符合受力合理、技术可行和尽可能经济的原则。无论是初步设计阶段,还是技术设计阶段,结构方案设计都是结构设计中最重要的一项工作,也是结构设计成败的关键。初步设计阶段和技术设计阶段的结构方案,所考虑的问题是相同的,只不过是随着设计阶段的深入,结构方案的成熟程度不同而已。

结构方案设计包括结构选型、结构布置和主要构件的截面尺寸估算等内容。

(1) 结构选型

结构选型主要包括确定结构形式、结构体系和施工方案。在初步设计阶段,一般需提出两种以上不同的结构方案,然后进行方案比较,综合考量,选择出较优的方案。对钢筋混凝土建筑来说,结构方案设计包括确定上部主要承重结构、楼(屋)盖结构和基础的形式及



其结构布置,并对结构主要构造措施和特殊部位进行处理。

(2) 结构布置

结构布置主要包括定位轴线、构件布置和变形缝的设置。定位轴线一般由横向定位轴线和纵向定位轴线组成,用来确定各构件的水平位置。构件布置就是要确定构件的平面位置和竖向位置,平面位置通过构件与定位轴线的相对关系确定,竖向位置由标高来确定。标高有建筑标高和结构标高两种,建筑标高是指建筑物建造装修完毕后应有的标高,结构标高是指结构构件表面的标高,即建筑标高扣除建筑构造层厚度后的标高。变形缝包括伸缩缝、沉降缝和防震缝三种,不同的结构类型、结构体系以及建筑构造做法,变形缝的设置和要求也不同,这将在本书的第3章和第4章分别介绍。

(3) 主要构件截面尺寸的估算

水平构件的截面尺寸一般根据刚度和稳定条件,利用经验公式确定;竖向构件的截面尺寸一般根据侧移(或侧移刚度)和轴压比的限值来估算。

2. 结构分析

结构分析是指结构在各种作用下的内力和变形等作用效应分析,其核心是确定结构计算模型,包括确定结构力学模型、计算简图和采用的计算方法。计算简图是进行结构分析时用以代表实际结构的简化模型,是结构分析的基础。确定计算简图时应分清主次,抓住本质和主体,略去不重要的细节,使计算简图既能反映结构的实际工作性能,又便于计算。计算简图确定后,应采取相应的构造措施使实际结构尽量符合计算简图的特点。一般来说,结构越重要,选取的计算简图应越精确;施工图设计阶段的计算简图应比初步设计阶段精确;静力计算可选择较复杂的计算简图,动力和稳定计算可选用较简单的计算简图。

3. 构件设计

对钢筋混凝土构件,根据结构内力分析结果,选取对配筋起控制作用的截面作为控制截面进行不利内力组合,选取最不利内力进行截面的配筋计算,且计算结果应满足构造要求。实际工程中,有时需经多次调整或修改使构件设计逐渐完善、合理。

4. 施工图绘制

施工图是结构设计工作的最后成果,是进行施工的主要依据,是设计意图最准确、最完整的体现,是保证工程质量的重要环节。结构施工图编号前一般冠以“结施”字样,其绘制应遵守一般的制图规定和要求,并应注意以下事项。

(1) 图纸应按以下内容和顺序编号:结构设计总说明、基础平面图、基础剖面图、楼盖平面图、屋盖平面图、梁和柱等构件详图以及楼梯平剖面图。

(2) 结构设计总说明一般是用以说明图纸中一些共同的问题、要求以及难以表达的内容,如材料质量或型号的要求、施工注意事项和主要质量标准等。对局部问题的说明,可分别放在有关图纸的边角处。

(3) 楼盖、屋盖结构平面图应分层绘制,并准确标明各构件关系及轴线或柱网尺寸、孔洞和埋件的位置及尺寸;应准确标注梁、柱、剪力墙、楼梯等和纵横轴线的位置关系以及板的规格、数量和布置方法,同时也应表示出墙厚及圈梁的位置和构造做法;构件代号一般应以构件名称的汉语拼音的第一个大写字母作为标志;如选用标准构件,其构件代号应与标准图一致,并注明标准图集的编号和页码。

(4) 基础平面图的内容和要求基本同楼盖平面图,且应绘制基础剖面大样及注明基底标高,钢筋混凝土基础应画出模板图及配筋图。



(5) 梁、板、柱和剪力墙等构件施工详图应分类集中绘制,对各构件应把钢筋规格、形状、位置及数量表示清楚,且钢筋编号不能重复,用料规格应用文字说明,对标高尺寸应逐个构件标明,对预制构件应标明数量、所选用标准图集的编号。复杂外形的构件应绘出模板图,并标注预埋件、预留孔洞等。大样图可索引标准图集。

(6) 绘图的依据是计算结果和构造规定,同时应充分发挥设计者的创造性,力求简明清楚,图纸数量少,且不能与计算结果和构造规定相抵触。

1.3.2 混凝土结构设计的要求

结构设计的总体要求是保证其安全性、适用性和耐久性。

工程建设在国民经济中占有十分重要的地位,尤其是重大工程项目。因此,为保证工程建设项目的安全性、可靠性和耐久性,国家对工程建设颁布了各种政策、法规、设计标准及规程,以规范工程建设的设计和施工的各个环节。一般情况下,工程结构的设计工作均应准照这些规范、标准和规程进行。本教材主要依据《建筑结构荷载规范》(GB50009—2012)《混凝土结构设计规范》(GB50010—2010)《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ3—2010)等介绍建筑结构的设计方法。为保证结构设计的可靠性和安全性,避免人为错误,结构设计还应该进行校对和审核,以检查是否存在不合理的情况和不符合设计规范规定的情况。

需要指出的是,结构工程是不断发展的学科,随着工程建设发展的需要,新材料、新技术和新方法不断出现。而已颁布的技术标准、规范和规程是对以往成熟技术的总结,不能成为限制新技术推广应用的障碍。但对于新理论、新方法和新技术的初期应用阶段,应经过必要的实验研究和理论论证,以确保其可靠性。经过一段时间的试点实践、改进和完善,新理论、新方法和新技术的内容可纳入有关技术标准、规范和规程,或编制专门的技术规程,用以推广应用。

1.4 结构的选型与布置原则

1.4.1 结构选型原则

结构一般是由水平承重结构、竖向承重结构和基础结构组成,水平、竖向和基础承重结构都有许多结构形式。水平承重结构有有梁楼盖体系和无梁楼盖体系,屋盖结构还有有檩屋架的屋面大梁体系和无檩屋架的屋面大梁体系。竖向承重结构有框架、排架、刚架、剪力墙、框架-剪力墙和筒体等多种体系。基础承重结构有独立基础、条形基础、筏板基础、桩基础、箱形基础、桩筏基础及桩箱基础等许多基础形式。地基分天然地基和人工地基等。

进行结构设计时,首先要选择合理的水平、竖向和基础承重结构的形式。结构选型是否合理,不但关系到是否满足使用要求和结构受力是否可靠,而且也关系到是否经济以及是否方便施工等问题。结构选型的基本原则:①满足使用要求;②满足建筑美观要求;③受力性能好;④施工简便;⑤经济合理。

1.4.2 结构布置原则

结构形式选定以后,要进行结构布置,即确定梁、柱和墙的位置等问题。结构布置得是



否合理不但影响到使用,而且影响到受力、施工和造价等。结构布置的基本原则:①在满足使用要求的前提下,沿结构的平面和竖向应尽可能地简单、规则、均匀和对称,避免发生突变;②荷载传递路线要明确、简捷,结构计算简图简单并易于确定;③结构的整体性好,受力可靠;④施工简便;⑤经济合理。

此外,在平面尺寸较大的建筑中,要考虑是否设置温度伸缩缝的问题。当设置温度伸缩缝时,温度伸缩缝的最大间距要满足设计规范中的有关要求;在地基不均匀或不同部位的高度或荷载相差较大的房屋中,要考虑沉降缝的设置问题;在地震区,当房屋相距很近,或房屋中设有温度伸缩缝或沉降缝时,为了防止地震时房屋与房屋或同一房屋中不同结构单元之间相互碰撞和不同步震动而造成房屋毁坏,应考虑防震缝的设置问题。温度伸缩缝、沉降缝和防震缝统称为变形缝。当房屋中需要设置伸缩缝、沉降缝和防震缝时,应尽可能将三者设置在同一位置处。

1.5 混凝土结构分析

结构分析(Structural Analysis)是指根据已确定的结构方案、结构布置、构件截面尺寸和材料性能等,确定合理的计算简图和分析方法,进行荷载(作用)计算,通过科学的计算和准确的分析求出结构内力和变形,以便根据计算结果进行构件截面配筋计算并采取可靠的构造措施。

混凝土结构是由钢筋和混凝土组成,两种材料的性能差别很大。钢筋为接近理想弹塑性体的材料,而混凝土的拉、压强度相差悬殊,应力-应变关系为非线性变化,且出现裂缝后为各向异性体。因此,钢筋混凝土结构在荷载作用下的受力性能十分复杂,是一个不断变化的非线性过程。对混凝土结构,合理地确定其力学模型和选择分析方法是提高设计质量、确保结构安全可靠的重要环节。为此,我国《混凝土结构设计规范》(GB50010—2010)(以下简称《规范》)对混凝土结构分析的基本原则和各种分析方法的应用条件做出了明确规定,其内容反映了我国混凝土结构的设计现状、工程经验和试验研究等方面所取得的进展。

1.5.1 基本原则

进行混凝土结构分析时,应遵守以下基本原则。

1. 结构按承载能力极限状态计算和按正常使用极限状态验算时,应按我国《建筑结构荷载规范》(GB50009—2012)及《建筑抗震设计规范》(GB50011—2011)等国家标准规定的荷载(作用)及其组合,对结构的整体进行荷载(作用)效应分析。必要时,还应应对结构中的重要部位、形状突变部位以及内力和变形有异常变化的部位(例如较大孔洞周围、节点及其附近、支座和集中荷载附近等)进行更详细的结构分析。

2. 结构在施工(制作、运输和安装)和使用期(施工期、检修期和使用期等)的不同阶段有多种受力状况时,应分别进行结构分析,并确定其最不利的作用效应组合。当结构可能遭遇火灾、爆炸或撞击等偶然作用时,还应按国家现行有关标准的要求进行相应的结构分析。

3. 结构分析所需的各种几何尺寸、所采用的计算图形、边界条件、荷载(作用)的取值与组合、材料性能的计算指标、初始应力和变形状况等应符合结构的实际工作状况,并应具有相应的构造措施。例如固定端和刚节点的承受弯矩能力和对变形的限制,塑性铰的充分转



动能力等应能得到保证。

4. 结构分析时应根据结构或构件的受力特点,采用具有理论或试验依据的一些近似简化和假定。对计算结果还应进行校核和修正,其准确程度应符合工程设计的要求。

5. 所有结构分析方法的建立都基于三类基本方程,即力学平衡方程、变形协调(几何)方程和材料本构(物理)方程。其中,结构整体或其中任何一部分的力学平衡条件都必须满足;结构的变形协调条件,包括边界条件、支座和节点的约束条件、截面变形条件等,若难以严格地满足,应在不同程度上予以满足;材料或各种计算单元的本构关系,应合理地选取,尽可能符合或接近钢筋混凝土的实际性能。

6. 混凝土结构宜根据结构类型、构件布置、材料性能和受力特点选择合理的分析方法。目前工程设计中常用的计算方法,按其力学原理和受力阶段可分为以下五类:①线弹性分析方法;②考虑塑性内力重分布的分析方法;③塑性极限分析方法;④非线性分析方法;⑤试验分析方法。

上述分析方法中,又各有多种具体的计算方法,如解析法、数值解法、精确解法或近似解法。结构设计时,应根据结构的重要性、使用要求、结构体系的特点、荷载(作用)状况以及要求的计算精度等加以选择。计算方法的选取还取决于已有的分析手段,如计算程序、手册和图表等。

7. 目前普遍采用计算机作为手段进行结构分析,也是今后结构设计的发展方向。为了确保计算结果的正确性,结构分析所采用的电算程序应经考核和验证,其技术条件应符合国家规范和有关标准的要求。电算结果应经判断和校核,在确认其合理、有效后,方可用于工程设计。

1.5.2 结构分析模型

建筑结构的基本受力构件可分为梁、柱、支撑、墙和板等,可根据具体情况简化为一维单元(杆元、梁元)、二维单元(膜元、板元、壳元)或三维单元(实体单元)。进行建筑结构分析时,可假定楼板在其自身平面内为无限刚性,相应的设计应采取必要措施以保证楼板平面内的整体刚度。当楼板或局部楼板产生较明显的面内变形时,应考虑楼板的面内变形进行结构分析,或对采用楼版面内无限刚性假定的分析结果进行适当调整。

梁、柱等杆系结构的计算简图应根据结构的实际形状和尺寸、杆件的受力和变形特点、构件间的连接构造和支承条件等做合理简化。杆件的轴线宜取为截面几何中心的连线;杆件的节点和支座视其构造对相对变形的约束程度取为刚接或铰接,钢筋混凝土现浇和装配整体式结构的梁柱节点、柱与基础连接处等可视为刚接,梁、板与其支承构件非整体浇筑时可作为铰接;杆件的计算跨度(或高度)宜按其两端支承构件的中心距或净距确定,并根据支承节点的连接刚度或支承反力的位置加以修正;杆件间连接部分的刚度远大于杆件中间截面刚度时,可作为刚接插入计算图形。

对于现浇楼面和有现浇面层的装配整体式结构,可近似采用增加梁翼缘计算宽度的方式来考虑楼板作为翼缘对梁刚度和承载力的贡献。建筑结构楼面梁受扭计算中应考虑楼盖对梁的约束作用。当计算中未考虑楼盖对梁扭转的约束作用时,可对梁的计算扭矩乘以折减系数予以折减。梁扭矩折减系数应根据梁周围楼盖的情况确定,一般可取为0.4~1.0。

在对带地下室的建筑结构进行分析时,宜适当考虑回填土对结构水平位移的约束作用;当地下室结构的楼层侧向刚度不小于相邻上部结构楼层侧向刚度的2倍时,可将地下室