



从校园到职场
CONG XIAOYUAN DAO ZHICHANG

多层及高层混凝土 结构设计

—— 专业技能入门与精通

季韬 黄志雄 吕官记 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



石油工业出版社
CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM PRESS

多层及高层混凝土 结构设计

——专业级入门与精通

张斌 张永刚 张永刚 编



张斌 张永刚 张永刚 编

从校园到职场

多层及高层混凝土结构设计 ——专业技能入门与精通

季 韬 黄志雄 吕官记 编著



机械工业出版社

本书紧密结合新规范、新标准图集、新版设计软件，并附有工程实例。内容按照建筑结构设计思路进行编写，可以使读者对实际建筑结构设计有感性认识，指导初始设计人员了解设计的过程，系统地掌握设计的关键点，快速地掌握设计技巧，从而顺利完成从校园到职场的转变。

全书共十章，主要内容包括：建筑结构设计简介、建筑结构计算及绘图软件、建筑结构设计基本知识、建筑结构荷载效应及结果正确性判断、SATWE 参数的理解与选择、框架结构设计、框剪结构设计、平法及施工图绘制、工程实例、设计常用图表及构造规定等。

本书可供建筑结构设计人员、审图人员、施工人员及高等院校师生参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

多层及高层混凝土结构设计：专业技能入门与精通/季韬，黄志雄，吕官记编著. —北京：机械工业出版社，2012.7

(从校园到职场)

ISBN 978-7-111-38737-4

I. ①多… II. ①季…②黄…③吕… III. ①多层建筑-混凝土结构-结构设计-基本知识②高层建筑-混凝土结构-结构设计-基本知识 IV. ①TU97

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 123443 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑：张 晶 责任编辑：张 晶

版式设计：纪 敬 责任校对：陈延翔

封面设计：路恩中 责任印制：乔 宇

三河市宏达印刷有限公司印刷

2012 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

210mm×285mm·19.5 印张·621 千字

标准书号：ISBN 978-7-111-38737-4

定价：39.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010) 88361066

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售一部：(010) 68326294

机工官网：<http://www.cmpbook.com>

销售二部：(010) 88379649

机工官博：<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线：(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

刚从高校毕业和刚进入设计院的初级设计人员对建筑结构设计没有一个整体的概念,所掌握的理论知识与实际的建筑结构设计不能接轨,且对建筑结构设计缺乏经验。本书按照建筑结构设计思路进行编写,书中附有工程实例,可以使读者对实际建筑结构设计有感性的认识,指导初级设计人员了解设计的过程,系统地掌握设计的关键点,快速地掌握设计技巧,从而顺利完成从校园到职场的转变。

本书力求突出以下特点:①紧密结合新规范、设计软件和实际工程。本书采用的新规范包括《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)(简称《混凝土规》)、《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001)(2006年版)(简称《荷规》)、《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)(简称《抗规》)、《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010)(简称《高规》)、《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)(简称《基规》)、《砌体结构设计规范》(GB 50003—2011)(简称《砌规》)等。本书采用的设计软件主要包括PKPM2010和探索者。本书介绍的实际工程包括框架结构、框剪结构和一些超高限建筑结构。②本书紧密结合新图集《混凝土结构施工图平面整体表示方法制图规则和构造详图(现浇混凝土框架、剪力墙、梁、板)》(11G101-1)。③尽量做到深入浅出,不仅告诉读者如何进行设计,还告诉读者为什么要这样进行设计,达到不仅知其然,还要知其所以然的目的。④本书包含建筑结构设计基本知识,并对设计常用图表及构造规定进行汇总,即使对于长期从事设计的人员,本书也具有一定的参考价值。⑤本书提供部分实例电子文件,包括:第六章和第九章第一节的一个框架结构、第七章和第九章第二节的两个框剪结构电算源程序,以及大量与本书实际工程有关的建筑施工图和结构施工图等,能够满足土木工程专业《结构应用软件分析》大学课程及初级设计人员学习和练习的需要。电子文件索要方式详见封面。

全书共十章,主要内容包括:建筑结构设计简介、建筑结构计算及绘图软件、建筑结构设计基本知识、建筑结构荷载效应及结果正确性判断、SATWE参数的理解与选择、框架结构设计、框架-剪力墙结构设计、平法及施工图绘制、工程实例、设计常用图表及构造规定等。

本书的使用方法如下:①读者可以直接阅读第六章,通过一步一步的操作,初级设计人员能够快速建立起对建筑结构设计的感性认识和整体概念,从而达到入门的目的。②本书也可以作为工具书,设计人员在设计过程中,当遇到一些概念和构造不是很清楚时,可以直接查阅本书的第三章、第四章、第五章和第十章。③读者可以按本书的章节顺序往后阅读,循序渐进地建立起建筑结构设计理念。

本书在编写过程中,黄志雄总工、吕官记工程师、陈永波工程师提供了本书实际工程的电算结果及图样等资料,并对本书内容进行了修正和补充。周丰和张永霞为本书的编写提供了很大的帮助。季韬教授负责本书策划、资料收集、编写和统稿等工作。

作者在2007年7月编写了《多高层钢筋混凝土结构设计》,受到了高校师生和设计人员的好评。由于设计规范、软件及图集的更新,作者在该书的基础上,编写了本书。

由于时间所限,书中难免有引用同行专家或资料中的某些内容而未能详细说明出处的地方,敬请谅解。限于编者水平,加之时间仓促,书中可能有疏漏之处,敬请广大读者不吝指正。

编 者

目 录

前言		第六章 框架结构设计	96
第一章 建筑结构设计简介	1	第一节 工程概况	96
第一节 多层与高层建筑结构的特点、类型及发展概况	1	第二节 设计准备	98
第二节 建筑结构体系	3	第三节 结构整体模型的输入	100
第三节 多层与高层在结构设计中的区别	6	第四节 平面荷载显示校核	120
第四节 建筑结构设计过程	6	第五节 结构三维透视图	123
第五节 施工图审查要点	10	第六节 在 SATWE 中的操作	123
第二章 建筑结构计算及绘图软件	17	第七节 在 PKPM 中绘制施工图	149
第一节 建筑结构 CAD 系统的组成及功能	17	第八节 在“探索者”中绘制施工图	156
第二节 建筑结构计算软件	18	第七章 框架-剪力墙结构设计	171
第三节 建筑结构绘图和构件计算软件	26	第一节 工程概况	171
第三章 建筑结构设计基本知识	33	第二节 结构整体模型的输入	178
第一节 建筑结构设计基本概念	33	第三节 在 SATWE 中的操作	195
第二节 建筑结构概念设计	37	第四节 剪力墙施工图的绘制	216
第三节 建筑结构的规则性	40	第八章 平法及施工图绘制	220
第四节 建筑结构平面布置	43	第一节 图样目录	220
第五节 建筑结构竖向布置	50	第二节 结构总说明	222
第六节 楼盖的选型与布置	51	第三节 基础施工图	223
第七节 水平位移限值和舒适度要求	53	第四节 柱平法施工图	224
第八节 基础设计	55	第五节 剪力墙平法施工图	226
第四章 建筑结构荷载效应及结果正确性判断	57	第六节 梁平法施工图	227
第一节 荷载和地震作用	57	第七节 楼板施工图	230
第二节 荷载效应组合	63	第八节 楼梯施工图	230
第三节 地震作用内力的调整	65	第九章 工程实例	233
第四节 设计内力的调整	66	第一节 某售楼部设计	233
第五节 计算结果的正确性判断	67	第二节 某公寓设计	251
第六节 结构设计的四个阶段	69	第三节 某市新天地大厦结构设计	278
第五章 SATWE 参数的理解与选择	73	第四节 某带转换层高层建筑结构设计	281
第一节 总信息	73	第五节 某复杂高层商住楼结构设计	282
第二节 风荷载信息	77	第十章 设计常用图表及构造规定	286
第三节 地震信息	80	第一节 新规范的修订内容	286
第四节 活荷信息	84	第二节 钢筋	287
第五节 调整信息	85	第三节 混凝土	289
第六节 设计信息	88	第四节 板	291
第七节 配筋信息	90	第五节 框架梁	293
第八节 荷载组合	91	第六节 框架柱及框支柱	295
第九节 地下室信息	93	第七节 剪力墙	299
第十节 砌体结构	94	第八节 基础	301
		附录 (电子文件使用说明)	303
		参考文献	305

第一章 建筑结构设计简介

第一节 多层与高层建筑结构的特点、类型及发展概况

一、多层与高层建筑的特点

(一) 多层与高层建筑的高度

《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010)(简称《高规》)第1.0.2条规定:本规程适用于10层及10层以上或房屋高度大于28m的住宅建筑以及房屋高度大于24m的其他高层民用建筑混凝土结构;非抗震设计和抗震设防烈度为6~9度抗震设计的高层民用建筑结构,其适用的房屋最大高度和结构类型应符合本规程的有关规定。该条款对高层建筑进行了定义,不属于高层的建筑就是多层建筑。

(二) 多层与高层建筑的受力特点

多层和高层建筑结构都要抵抗竖向和水平荷载作用。但在较低的建筑结构中,往往竖向荷载控制着结构设计。随着建筑高度的增大,水平荷载效应逐渐增大。在高层建筑中,水平荷载却起着决定性作用。如图1-1所示,把房屋结构看成一根最简单的竖向悬臂构件,轴力与高度成正比[式(1-1)];水平力产生的弯矩与高度的二次方成正比[式(1-2)];水平力产生的侧向顶点位移与高度的四次方成正比[式(1-3)]。

竖向荷载产生的轴力:

$$N = WH \quad (1-1)$$

水平力产生的弯矩:

$$M = \frac{1}{2}qH^2 \quad (1-2)$$

水平力产生的侧向顶点位移:

$$\Delta = \frac{qH^4}{8EI} \quad (1-3)$$

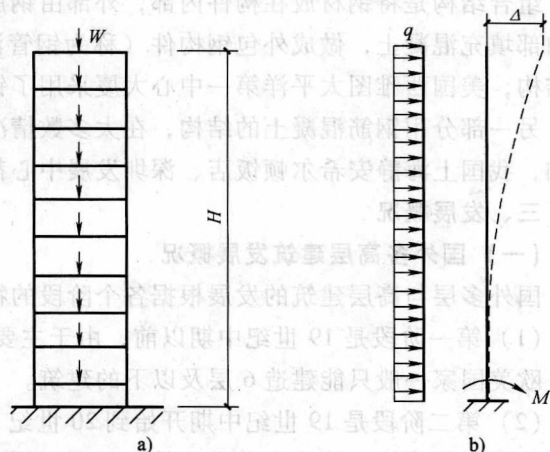


图1-1 荷载内力和位移

a) 重力荷载 b) 水平均匀荷载

因此,在高层建筑设计时,不仅要求结构具有足够的强度,而且还要求具有足够的刚度,使结构在水平荷载作用下产生的侧移限制在一定的范围内,以保证建筑结构的正常使用功能和安全性。

另外,相对于低层建筑而言,高层建筑相对较柔,因此在地震区高层建筑应具有足够的延性。也就是说,在地震作用下,结构进入弹塑性阶段后,仍具有足够的抵抗地震作用的变形能力,不致于倒塌。这样才能在满足使用条件下达到既安全又经济的设计要求。

二、多层与高层建筑结构类型

根据使用功能的不同,多层与高层建筑有旅馆、办公楼、住宅、公寓、教学楼、医院及多功能综合性建筑等。

多层与高层建筑采用的结构可分为砖混结构、钢筋混凝土结构、钢结构、钢-混凝土组合结构等类型。根据不同结构类型和特点正确选用材料,就成为经济合理地建造多层与高层建筑的一个重要方面。

(一) 砖混结构

砌体材料由于取材容易,造价较低,施工方便,广泛地应用于我国的多层建筑中。但由于砌体是一种脆性材料,其抗剪、抗拉、抗弯强度均较低,因而砌体房屋的抗震能力较差,历次地震震害也证实了这一

点。一般 8 层以下的建筑可采用砖混结构。

（二）钢筋混凝土结构

钢筋混凝土结构具有造价较低、取材丰富，强度高、刚度大、耐火性和延性良好，结构布置灵活方便，可组成多种结构体系等优点，因此，在多层与高层建筑中得到广泛应用。当前，在我国的高层建筑中，钢筋混凝土结构占主导地位。到目前为止，我国已建成几十幢 200m 以上的钢筋混凝土建筑。马来西亚吉隆坡建造的双塔楼建筑，88 层，高 452m，也是钢筋混凝土结构。但钢筋混凝土结构的主要缺点是构件截面积大、自重大、施工速度慢等。

（三）钢结构

钢结构强度高、自重轻、延性及抗震性能好；钢构件易于工厂加工，施工方便，能缩短现场施工工期。当为大跨度、大空间、多用途的、层数较多的高层建筑时，大多采用钢结构。但高层建筑钢结构用钢量大、造价高，而且钢材耐火性能不好，需要采取防火保护措施，从而增加了工程造价。在发达国家，高层建筑的结构类型以钢结构为主。在我国，由于钢产量不高，且价格较高，钢结构的应用受到了限制。近年来，随着高层建筑建造高度的增加，采用钢结构的高层建筑也不断增多，如我国深圳于 1996 年 6 月封顶的钢结构地王大厦（69 层，高 384m）；北京的京广中心（地上 52 层，地下 3 层，209m）等高层钢结构。

（四）钢-混凝土结构

钢和钢筋混凝土相结合的组合结构和混合结构可以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（称为钢骨混凝土或劲性混凝土），或在钢管内部填充混凝土，做成外包钢构件（称为钢管混凝土）。例如，我国北京香格里拉饭店采用了钢骨混凝土结构，美国西雅图太平洋第一中心大厦采用了钢管混凝土结构等。混合结构则是部分抗侧力结构用钢结构，另一部分用钢筋混凝土的结构，在大多数情况下用钢筋混凝土做剪力墙或筒，用钢材做框架梁、柱。例如，我国上海静安希尔顿饭店、深圳发展中心都是采用这种混合结构。

三、发展概况

（一）国外多高层建筑发展概况

国外多层与高层建筑的发展根据各个阶段的特点，大体可分为三个阶段：

（1）第一阶段是 19 世纪中期以前，由于主要建筑材料是砖石和木材，以及设计手段和施工技术的限制，欧美国家一般只能建造 6 层及以下的建筑。

（2）第二阶段是 19 世纪中期开始到 20 世纪 50 年代初。由于 1855 年发明了电梯系统，才使得人们能够建造更高的建筑。被认为世界上第一幢的近代高层建筑是美国芝加哥的家庭保险公司大楼（Home Insurance Building），11 层、高 55m，建于 1884～1886 年，采用铸铁框架承重结构；它标志着一种区别于传统砌筑结构的新结构体系的诞生。到了 19 世纪末，高层建筑已突破了 100m 大关。美国纽约于 1898 年建成的 Park Row 大厦，30 层、高 118m，是 19 世纪世界上最高的建筑。1931 年美国纽约曼哈顿建造了 102 层、高 381m 的著名的帝国大厦，它保持世界最高建筑达 41 年之久。世界上最早的钢筋混凝土框架结构高层建筑，是 1903 年在美国辛辛那提建造的因格尔斯大楼，16 层、高 64m。这一时期，显然高层建筑有了比较大的发展，但受到设计理论和建筑材料的限制，结构材料用量较多、自重较大，仅限于框架结构，建于非地震区。

（3）第三阶段是从 20 世纪 50 年代开始，由于在轻质高强材料、抗风抗震结构体系、新的设计理论、计算机在设计中的应用、施工技术及施工机械等方面都取得了较大的进步，使得高层建筑得到了大规模的迅速发展。20 世纪 70 年代，波兰华沙建成了 Palac Kulturgi Nauki 大楼，47 层、高 241m。日本于 1964 年废除了建筑高度不得超过 31m 的限制，于 1968 年首次建成了 36 层的霞关大厦，以后陆续兴建了多幢超过 100m 的高层建筑。20 世纪 90 年代，亚洲成为经济发展最快的地区，西太平洋沿岸的日本、朝鲜、韩国、中国、新加坡和马来西亚等国家，陆续建成了超过 200m、300m 的高层建筑。

美国是世界上高层建筑最多的国家。1972 年在纽约建造了世界贸易中心大楼（World Trade Center），110 层、高 402m，打破了帝国大厦保持了 41 年之久的高层建筑世界纪录。1974 年美国在芝加哥建成西尔斯大厦（Sears Tower），楼高 443m，地上 110 层、地下 3 层，钢结构。1997 年马来西亚建成的双塔楼高层

建筑, 88 层、高 452m, 混凝土结构, 比西尔斯大厦高出 9m。

目前, 世界上最高的建筑是位于阿拉伯联合酋长国迪拜的 2010 年 1 月建成的哈利法塔 (原名迪拜塔), 高度 828m, 该大厦地上 168 层、地下 2 层。

(二) 国内多高层建筑发展概况

我国是高层建筑发展历史悠久的国家。早在公元 524 年建造的河南嵩岳寺塔, 为 15 层单筒结构, 高 50m; 公元 704 年在西安建造的大雁塔, 为砖木结构, 共 7 层, 总高 64m; 公元 1055 年河北定县建造的料敌塔, 11 层, 筒体结构, 高 82m; 堪称世界木结构奇迹的山西应县木塔, 建于公元 1056 年, 9 层、高 67m, 是迄今保存得最完好、最古老、最大的木塔。这些古老的高塔建筑经受了几百年乃至上千年的风吹雨打, 甚至若干次大地震的考验。这说明我国古代在建筑设计、结构体系选择、施工技术和方法上具有很高的水平。

但是, 我国近代高层建筑发展迟缓。从 20 世纪初到新中国成立, 我国高层建筑很少, 且大都是外国人设计的。新中国成立后, 20 世纪 50 年代我国开始自行设计、建造高层建筑, 如北京的民族饭店 (14 层)、民航大楼 (16 层) 等。20 世纪 60 年代建成的广州宾馆 (27 层), 其高度与 20 世纪 30 年代建成的最高的上海国际饭店相同。20 世纪 70 年代北京、上海、广州等地建成了一批剪力墙结构住宅和旅馆。1975 年广州白云宾馆 (剪力墙结构 33 层、112m) 的建成, 标志着我国自行设计、建造的高层建筑高度开始突破 100m。20 世纪 80 年代我国高层建筑发展进入兴盛时期, 10 年内全国 (不包括香港、澳门、台湾) 建成 10 层以上的高层建筑面积约 4000 万 m^2 , 高度 100m 以上的共有 12 幢。1985 年建成的深圳国际贸易中心 (筒中筒结构、50 层、160m) 是 20 世纪 80 年代最高的建筑。

20 世纪 90 年代我国高层建筑进入飞跃发展的阶段。截至 1998 年末, 全国 (不包括香港、澳门、台湾) 建成的 10 层以上高层建筑面积约 2 亿 5 千万 m^2 , 高度 100m 以上的高层建筑达 200 多幢, 其中 150m 以上的 100 多幢, 200m 以上的 20 多幢。目前世界最高的 10 幢建筑中, 台北 101 大厦 (高 509m、101 层), 上海环球金融中心 (高 492m、101 层), 南京紫峰大厦 (高 450m、89 层), 上海金茂大厦 (高 420.5m、88 层), 香港国际金融中心 (高 420m、88 层)、广州中信广场大楼 (高 391m、80 层), 深圳信兴广场大厦 (高 384m、69 层) 分别列为第 2 名、3 名、6 名、7 名、8 名、9 名和 10 名。特别值得提及的是, 我国的超高层建筑绝大多数建于地震区。

第二节 建筑结构体系

框架、剪力墙、框架-剪力墙结构体系是多层及高层钢筋混凝土建筑结构中最为传统的、广为应用的结构体系。在建筑高度较高时, 利用结构空间作用, 又发展了框架-筒体结构、筒中筒结构、成束筒结构和巨型结构等多种结构体系。

一、框架结构体系

当采用梁、柱组成的结构体系作为竖向承重结构, 并同时承受水平荷载时, 称其为框架结构体系。框架结构是空间刚性连接的杆系结构, 独立承担竖向、横向的荷载作用。框架结构的承重系统有横向承重、纵向承重和双向承重三种体系。

框架结构体系的主要构件是梁和柱, 可以做成预制或现浇框架, 其优点是建筑平面布置灵活, 立面也可变化。框架结构适宜于多层办公楼、医院、学校和旅馆等, 图 1-2 为一些框架结构平面布置形式。

二、剪力墙结构体系

利用建筑物墙体作为建筑的竖向承重和抵抗侧向力的结构, 称其为剪力墙结构体系。剪力墙结构与楼盖一起组成空间结构。由于墙体截面大, 剪力墙结构体系整体性好、抗侧移刚度大、抗震性能较好; 同时剪力墙也可作为维护结构和房间分隔构件。

剪力墙的间距受楼板构件跨度的限制, 一般为 3~8m, 因而剪力墙结构只适用于建造住宅、旅馆等隔墙较多的建筑。剪力墙结构的缺点和局限性是明显的, 主要是剪力墙间距较小, 平面布置不灵活, 不适应建造公共建筑, 结构自重较大。图 1-3 是典型剪力墙结构平面布置形式。

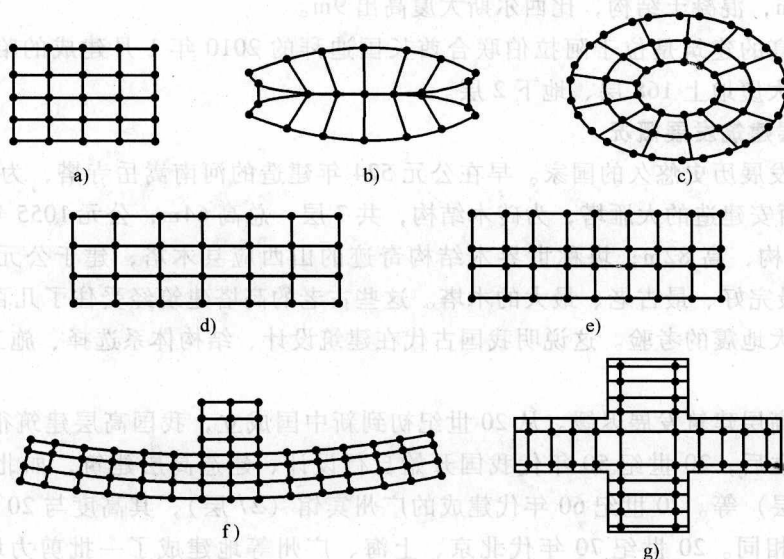


图 1-2 框架结构平面布置形式

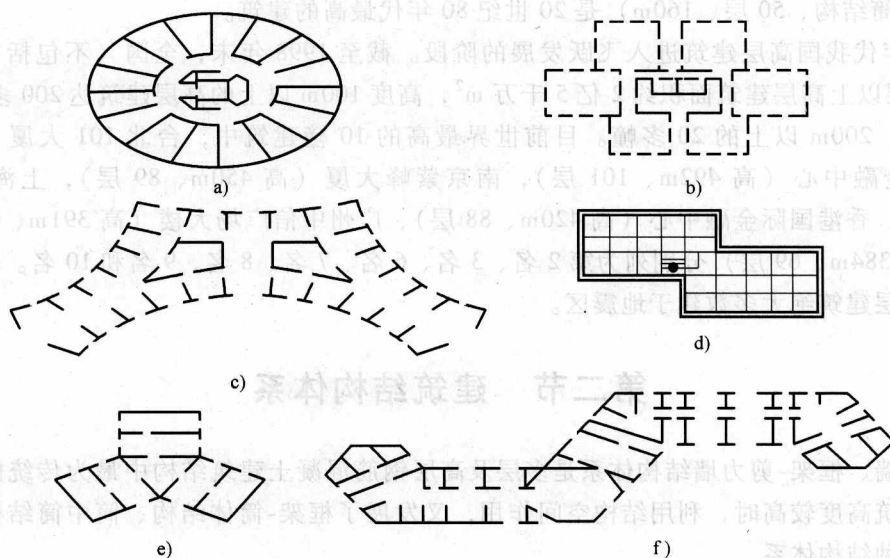


图 1-3 剪力墙结构平面布置形式

三、框架-剪力墙结构体系

将框架和剪力墙结构有机地结合在一起，组成一种共同抵抗竖向荷载、水平荷载和作用的体系，称其为框架-剪力墙结构体系。该体系利用剪力墙抗侧移刚度和承载力大的优点，弥补了框架结构柔性大和侧移大的缺点；同时只在部分位置上设剪力墙，保持了框架结构具有较大空间和立面易于变化等优点。

在框架-剪力墙结构体系中，剪力墙常常承担大部分水平荷载，结构总体刚度加大，侧移减小。同时，由于框架和剪力墙协同工作，通过变形协调，使各楼层层间变形趋于均匀，改善纯框架和纯剪力墙结构中上部和下部变形相差较大的缺点。框架-剪力墙是一种比较好的结构体系，在公共建筑和办公楼等建筑中得到广泛应用。

四、筒体结构体系

由若干片剪力墙围成的井筒结构，作为建筑的竖向承重和抵抗侧向力的结构体系，称其为筒体结构体系。筒体结构是一种空间受力性能较好的结构体系，它比框架或剪力墙结构具有更大强度和刚度，犹如一

个固定于基础的封闭箱形悬臂构件，具有良好的抗弯抗扭性能。该类结构体系根据筒的布置、组成和数量等又可分为框架-筒体结构体系、筒中筒结构体系和束筒结构体系等，如图 1-4 所示。

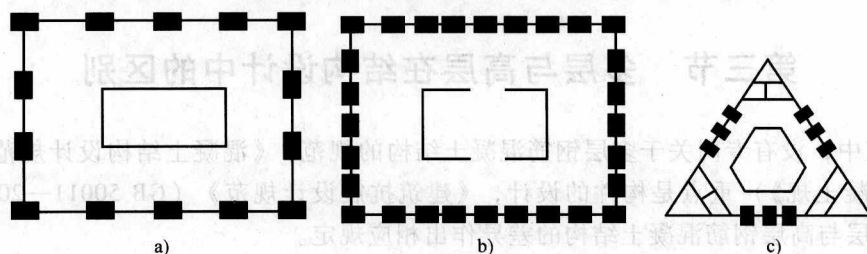


图 1-4 筒体结构平面布置形式

a) 框架-筒体结构体系 b) 筒中筒结构体系 c) 束筒结构体系

1. 框架-筒体结构体系

框架-筒体结构体系是由一般的框架结构和筒体结构组成，具有较大的抗侧刚度和抗扭刚度。框架-筒体结构体系最明显的应用是美国纽约世界贸易中心和芝加哥标准石油公司大厦，前者达 110 层，后者为 80 层。

2. 筒中筒结构体系

框筒结构可以在外围立面内用斜撑加强，还可以在房屋内部增设剪力墙筒体或内部核心筒体，于是形成由两个或两个以上的筒体作为竖向承重和抗侧力的高层建筑结构体系。一般情况下，内部核心筒由电梯间、楼梯间和设备间等墙体和支撑组成，楼面结构将外框筒和核心框筒连接在一起，使二者形成一个整体抵抗水平荷载。核心筒不仅承受竖向荷载，也承受水平荷载。筒中筒结构体系在水平荷载作用下的受力性能接近于框架-剪力墙结构，但是外框筒的刚度要比一般框架强得多。

3. 束筒结构体系

当多个框筒组合在一起时，形成了束筒结构，相邻两个筒毗连处的公共筒壁成为框架横隔，内筒柱距与外筒柱距相近，各层窗裙梁是连续的，这样大大增强了建筑物的抗弯和抗剪能力。著名的西尔斯大厦就是由 9 个方筒组成的，并逐步向上收缩。

五、巨型结构体系

随着高层建筑功能、造型要求的提高，建筑师对大空间的需求越来越迫切，于是结构工程师提出了新颖的巨型结构体系。这种结构体系的主要特点是布置若干个“巨大”的竖向支承结构（组合柱、角筒体、边筒体等），并与梁式或桁架式转换楼层结合，形成一种巨型框架或巨型桁架的结构体系，如图 1-5 所示。

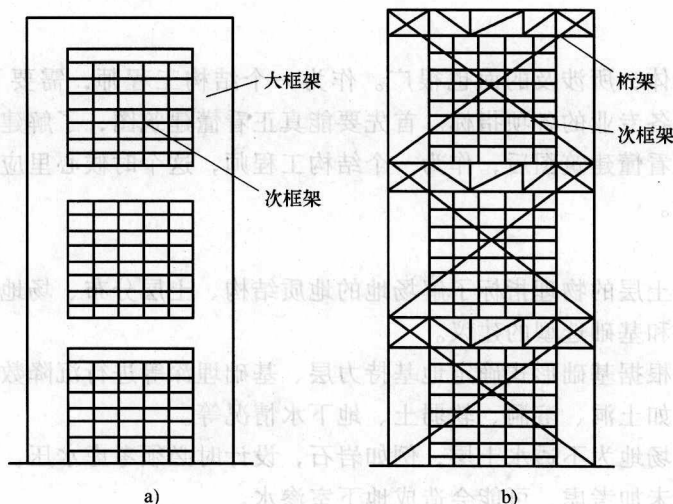


图 1-5 巨型结构体系

a) 巨型框架 b) 巨型桁架

此外, 还有其他一些高层建筑结构体系, 如悬挂结构体系、板柱结构体系等也得到广泛应用。但应用最广的还是框架结构、剪力墙结构、框架-剪力墙结构和筒体结构等。

第三节 多层与高层在结构设计中的区别

我国现行规范中, 没有专门关于多层钢筋混凝土结构的规范, 《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010) (简称《混凝土规》) 重点是构件的设计, 《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010) (简称《抗规》) 也没有对多层与高层钢筋混凝土结构的差异作出相应规定。

在实际工程设计中的处理方法是, 所有的钢筋混凝土多高层建筑均必须遵守《混凝土规》和《抗规》。对于高层钢筋混凝土建筑, 除了必须遵守《混凝土规》和《抗规》外, 还必须遵守《高规》。对于不超过 10 层或房屋高度不超过 28m 但接近 10 层或 28m (如 8 层或 24m) 的钢筋混凝土民用建筑, 可参照《高规》的相关规定执行。

实际上低层、多层建筑和高层建筑由于荷载效应的不同, 在结构设计特别是抗震设计上是有不少区别的。低层、多层建筑以抵抗竖向荷载为主, 水平荷载对结构产生的影响较小, 绝对侧向位移值小, 甚至可以忽略不计。而在高层建筑结构中, 随着高度的增加, 不但竖向荷载产生的效应很大, 水平荷载 (风荷载及水平地震作用) 产生的内力和侧向位移更是迅速增大, 水平荷载成了设计的主要控制因素, 因此, 不应当用同一标准来设计这两类建筑结构。也就是说, 在结构体系的选择、结构抗震设防标准、侧向位移的限值和构造要求等方面应有所区别。

现有的结构设计软件, 如 PKPM 结构系列软件, 主要根据《高规》开发。它采用同一标准来设计多层与高层钢筋混凝土结构, 虽然能保证多高层建筑结构的安全, 但在很多情况下, 采用该软件设计的多层钢筋混凝土结构是偏于保守的。所以对于层数较少、房屋高度较低的钢筋混凝土房屋, 《高规》的某些规定可根据具体情况适当放松。

多层建筑结构的周期短, 绝对侧移值较小, 层间位移角也很小, 住建部建质 [2003] 46 号文件指出: “规则性要求的严格程度, 可依设防烈度不同有所区别。当计算的最大水平位移、层间位移很小时, 扭转位移比的控制可略有放宽。” 因此, 多层建筑结构的楼层扭转位移控制条件可适当放宽。建议不宜大于 1.4, 不应大于 1.8。《抗规》第 3.4.4-1 条指出, 楼层竖向构件最大的弹性水平位移和层间位移分别不宜大于楼层两端弹性水平位移和层间位移的 1.5 倍, 当最大层间位移远小于规范限值时, 可适当放宽。

第四节 建筑结构设计过程

一、看懂建筑图

建筑物是一个复杂物体, 所涉及的面也很广。作为一个结构工程师, 需要了解建筑、电气、给水排水、暖通、空调、勘察等各专业的各项指标。首先要能真正看懂建筑图, 了解建筑师的设计意图以及建筑各部分的功能及做法。在看懂建筑图后, 作为一个结构工程师, 这个时候心里应该对整个结构的选型及基本框架有一个大致的思路。

二、看懂地质报告

根据地质剖面图和各土层的物理指标了解场地的地质结构、土层分布、场地稳定性、均匀性。看清楚地质资料中对场地的评价和基础选型的建议。

确定基础形式, 然后根据基础形式确定地基持力层、基础埋深等进行沉降数据分析。看看是否发现影响基础的不利地质情况, 如土洞、溶洞、软弱土、地下水情况等。

如果带地下室, 而且场地为不透水土层, 例如岩石, 设计时必须考虑水压。因为基坑一旦进水, 而水又无处可去, 如果设计时未加考虑, 可能会造成地下室渗水。

三、建模 (以框架结构为例)

当结构工程师对整个建筑有一定了解后, 就可以进行建模了。建模就是利用软件, 把建筑结构在计算

机上再现出来,然后再利用软件的计算功能进行适当的调整,使之符合现行规范,以及满足各方面的要求。

目前可进行结构设计的软件很多,常用的有 PKPM、广厦等,每个软件的具体操作都差不多。首先要建轴网,建筑图已经把轴网定好了,直接输入或导入就可以了;然后就是确定柱截面及布置柱子。柱截面大小的确定需要有一定的经验,作为初学者,刚开始无法确定就大致估一下,慢慢再调整。柱子布置也需要结构工程师对整个建筑的受力合理性有一定的结构概念,柱子布置的合理性对整个建筑的安全与否以及造价的高低起决定性作用。不过建筑师在建筑图中基本已经布好了柱网,作为结构工程师只需要对布好的柱网进行研究,看是否合理,适当的时候需要建议建筑师更改柱网。

当布好了柱网以后就是梁截面以及主次梁的布置。梁截面相对容易确定,主梁高度按 $1/8 \sim 1/12$ 跨度确定,次梁高度可按 $1/12 \sim 1/18$ 跨度确定。主次梁的高度要有一定的差别。主次梁的布置涉及结构的安全与造价,总的原则是要求传力明确,由次梁传到主梁,主梁传到柱。另外,根据建筑物各部分功能的不同,要考虑梁布置及梁高的确定。比如住宅,在层高只有 3m 的房间中间布一根梁,不但影响美观,而且房间的净高就可能不满足使用要求,所以尽量在房间内不设次梁。

梁布完后,板基本上也就被划分出来了,当然悬挑板等以后再加上。梁板柱布置完后,要输入基本参数,比如混凝土和钢筋强度、每一标准层的层高、板厚和保护层等,应严格按规范执行。接下来就是输入和调整各种荷载(如板面荷载和梁间荷载等),以及调整各种参数(比如板厚、开洞、板的受力方式、悬挑板的位置等)。这样,建筑模型就基本建立起来了。生成三维线框图后,看看是否与原来在结构工程师脑海中的那个框架相吻合。

四、计算

计算过程就是采用软件对结构工程师所建模型进行导荷、内力计算及配筋的过程。在计算的时候需要根据实际情况调整软件的各种参数,以符合实际情况及保证安全。如果先前所建模型不满足要求,通过计算出的各种图形和文本文件可以反映出来。结构工程师可以通过计算出的各种参数(周期、振型、剪重比等)和受力图、内力图、弯矩图等对计算结果进行分析,找出模型中的不足并加以调整,直至计算结果满足要求为止。这样,模型也就完全确定了,然后再根据计算结果生成施工图,导出到 CAD 中进行修改。通常计算机计算的只是上部主体结构,也就是梁、板、柱;基础、楼梯通常需要手算,或者采用专业的构件设计软件(如探索者或理正等)来计算。

五、绘图

软件导出的图样是不能够指导施工的,需要结构工程师根据现行制图标准进行修改。现在通常根据图集 11G101 出图,减少了图样量。施工图是工程师的语言,要想让他人了解自己的设计,需要有详细的说明。出图前结构工程师要确保施工图能够完整地将整个建筑物再现于实际中。

结构工程师在绘图时需要针对计算机计算的配筋,适当加强薄弱环节,使施工图更符合实际情况,因为毕竟所建模型不能完全与实际相符。

配筋的调整注意事项如下:

- (1) 无特殊理由不可小于计算值。
- (2) 符合基本的构造,如钢筋间距、箍筋肢距、梁侧钢筋配置等。
- (3) 正常使用验算,裂缝、挠度等,特别是前者。
- (4) 计算中未考虑的影响因素,例如多梁相交引起的 h_0 损失。
- (5) 配筋方式是否与模型相符、梁相交处等,注意查看内力图,不可简单按梁高区分主次梁;十字交叉梁,无论梁高是否相同,均宜按一跨配筋。
- (6) 抗震结构的相应构造措施,如加密区、配筋率、钢筋直径等。
- (7) 一些构造措施是否具备满足的条件,例如较小的柱、较粗的钢筋,锚固的水平段很难满足 $0.4l_a$ 。
- (8) 框架梁配筋确定后应核算柱配筋是否满足“强柱弱梁”。
- (9) 一些相对特殊的梁应多加注意,例如连梁、深梁和薄腹梁等。
- (10) 正确理解输出文件的格式和意义。

(11) 应注意支座负筋长度的取值,特别是相邻跨跨度相差较大时。

(12) 梁边与柱边相齐时,计算每排钢筋根数应把梁宽减去 3~5cm。

(13) 抗扭钢筋,特别是抗扭箍筋直径应满足构造要求。

(14) 柱钢筋根数上下尽量相同,方便钢筋变化时的搭接。

(15) 尽量考虑到施工时混凝土的浇筑振捣需要。

最后还需要根据现行各种规范对施工图的每一个细节进行核对,宗旨就是完全符合规范。结构施工图包括:设计总说明;基础平面布置及基础大样图,如果是桩基础还要有桩位图;柱网布置及柱平法大样图;每层的梁平法配筋图;每层楼板配筋图;屋面梁板的配筋图;楼梯大样图;墙、暗柱详图及构造等。根据建筑复杂程度,有几个到几十个节点大样图。

六、校对审核出图

按照审核程序,结构工程师在完成施工图后,应由校对人员对整个施工图进行仔细的校对。校对人员通常有丰富经验、资历较高,设计中的问题大多是校对过程中发现的,校对出问题后,返回设计者修改。修改完毕交总工程师审核,总工程师进一步发现问题返回设计者修改。通常修改完毕后的施工图,有错误的可能性就很低了。即便是有错误,也不会对整个结构产生灾难性的后果。

七、图样审查和图样会审

图样审查前,应整理好计算书,计算书内容包括:

(一) 设计依据

(1) 执行的国家标准、部颁标准与地方标准。

(2) 应用的计算分析软件名称、开发单位。

(3) 资料:地质勘察报告、试桩报告和动测报告等。

(二) 结构的安全等级

包括混凝土结构、钢结构、桩基、天然地基等安全等级。

(三) 荷载取值

(1) 墙自重取值。包括混凝土墙、围护外墙、内隔墙和活动隔断自重。

(2) 侧压力、水浮力、人防等效静载、底层施工堆载和支挡结构的地面堆载。

(四) 楼面(含地下室)荷载、屋面荷载计算

(1) 底层楼面荷载计算。

(2) 楼面荷载计算。按荷载标准层分别填写,包括一般楼面和屋面(包括不上人屋面和上人屋面)。

(3) 楼梯荷载计算。

(五) 地基基础计算书

1. 天然地基

(1) 持力层选择,基础底面标高。

(2) 地基承载力设计值计算。

(3) 底层柱下端内力组合标准值及设计值。

(4) 基础底面积计算、地基变形计算,应归纳总底面积、总竖向荷载设计值供校对用。

(5) 冲切、抗剪和抗弯计算。

2. 复合地基

(1) 静载试验值。

(2) 承载力设计值计算与选用值。

(3)、(4)、(5) 同天然地基。

3. 桩基

(1) 单桩承载力极限标准值计算(分别按钻孔计算)。

(2) 桩数计算。总桩数、总荷载设计值。

(3) 静载试验分析、桩位调整。

求受(4) 承台设计计算(冲切、剪切、抗弯)。

(六) 地下室计算

(1) 荷载计算。

(2) 内力分析。侧板、底板的内力分析。

(3) 配筋原则

1) 强度控制。控制顶板强度。

2) 裂缝控制。控制结构自防水底板、周边墙板裂缝。

(七) 计算机计算及出图部分

(1) 结构设计总信息。

(2) 周期、振型和地震力。

(3) 结构位移。

(4) 轴压比与有效计算长度系数简图。

(5) 各层楼面及墙、梁荷载。

(6) 各层平面简图。

(7) 各层配筋简图。

(8) 各层超筋超限输出信息。

(八) 水池结构计算、楼梯计算、人防计算等

将签完字、盖完出图章和注册章的施工图,连同计算书送到审图中心进行审查。如果审查通过,就可以拿去晒图;如果有一些小问题,可以出设计变更通知;如果存在严重的问题,图样退回设计院进行修改。

施工前要进行图样会审,一般由施工单位、设计院、建设单位和监理单位参加,主要由设计单位对工程的主要技术问题及施工中可能遇到的问题向施工单位交底;施工单位从施工角度对图样提出问题,尽量将问题在施工前解决。

八、设计变更

在建筑物的施工过程中,有时候实际情况与设计考虑的情况不符,或者设计的施工难度过大,施工无法满足,这时就需要设计变更。由甲方或施工队提出问题,返回设计者修改。在施工过程中,结构工程师也需要多次到工地进行现场检查,看施工是否是按照自己的设计意图来做,不对或不足的地方要及时指出。

九、验收

(一) 验槽

验槽是为了探明基槽的土质和特殊土的情况,据此判断异常地基的局部处理是否正确,原钻探是否需补充,原基础设计是否需修正,并对所接受的资料和工程外部环境进行确认。主要内容包括:

(1) 地基土层是否与地质部门提供的土层相一致。

(2) 基础深度是否达设计深度,持力层是否到位或超挖,基坑尺寸是否正确,轴线位置和基础尺寸是否正确。

(3) 验证地质报告,有不相符的情况要协商解决。

(4) 基坑是否积水,基底土层是否被搅动。

(5) 有无其他影响基础施工质量的因素(如基坑放坡是否合适,有无塌方等)。

(二) 钢筋验收

钢筋验收的内容主要包括:钢筋锚固,钢筋数量与直径,钢筋间距,钢筋保护层,箍筋弯钩,后浇带钢筋,拉结筋,钢筋搭接长度及接头率,钢筋接头部位,钢筋合格证及试验报告。

(三) 主体验收

(1) 梁柱板尺寸、定位是否满足设计要求,其成形质量如何,是否有蜂窝、麻面等。主体结构是否有修补的痕迹,如果有,应询问修补的原因及是否对结构有影响。

(2) 预埋件是否准确埋设, 插筋是否预留, 雨水管过水洞是否留设准确, 卫生间等设备是否按要求留设, 对后封的洞板钢筋是否预留等。

(3) 检查各层施工时的沉降记录, 每层增加的沉降量, 各观测点间的沉降差。如沉降差过大, 要加大观测密度。

(4) 查看施工记录, 各种材料合格证及强度检验报告等。

第五节 施工图审查要点

关于钢筋混凝土多层与高层建筑上部结构施工图审查要点如下:

一、强制性条文

审查内容: 是否符合《工程建设标准强制性条文》(房屋建筑部分)(具体条款略)的要求。

二、设计依据

(一) 工程建设标准

审查内容: 使用的设计规范、规程是否适用于本工程, 是否为有效版本。

(二) 建筑抗震设防类别

审查内容: 建筑抗震设计所采用的建筑抗震设防类别是否符合国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》(GB 50223—2008)的规定。

(三) 建筑抗震设计参数

审查内容: 建筑抗震设计采用的抗震设防烈度、设计基本地震加速度和所属设计地震分组, 是否按《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)附录A采用; 对已编制抗震设防区划的城市, 是否按批准的抗震设防烈度或设计地震参数采用; 对于在规范上未明确的地区, 地震动参数的取值应由勘察单位依据《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)第1.0.4条、1.0.5条提供。

(四) 岩土工程勘察报告

审查内容:

(1) 是否正确使用岩土工程勘察报告所提供的岩土参数, 是否正确采用岩土工程勘察报告对基础形式、地基处理、防腐蚀措施(地下水有腐蚀性时)等提出的建议并采取了相应措施。

(2) 需考虑地下水位对地下建筑影响的工程, 设计及计算所采用的防水设计水位和抗浮设计水位, 是否符合《岩土工程勘察报告》中的水位要求。

注: 根据《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001)第4.1.13条规定, 岩土工程勘察时应提供设计所需的地下水位。

三、结构计算书

(一) 软件的适用性

审查内容:

(1) 所使用的软件是否通过有关部门的鉴定。

(2) 计算软件的技术条件是否符合现行工程建设标准的规定, 并应阐明其特殊处理的内容和依据。

(二) 计算书的完整性

审查内容: 结构设计计算书应包括输入的结构计算总信息、周期、振型、地震作用、位移、结构平面简图、荷载平面简图、配筋平面简图; 地基计算; 基础计算; 人防计算; 挡土墙计算; 水池计算及楼梯计算等。

(三) 计算分析

审查内容:

(1) 计算模型的建立、必要的简化计算与处理, 是否符合工程的实际情况。

(2) 所采用软件的计算假定和力学模型是否符合工程实际。

(3) 复杂结构进行多遇地震作用下的内力和变形分析时, 是否采用了不少于两个不同力学模型的软

件进行计算,并对其计算结果进行分析比较。

(4) 所有计算机计算结果,应经分析判断确认其合理、有效后方可用于工程设计。

(四) 结构构件及节点

审查内容:

(1) 结构构件是否具有足够的承载能力,是否满足《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001)第3.2.2条、《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)第3.3条及其他规范、规程有关承载力极限状态的设计规定。

(2) 结构连接节点及变截面悬臂构件各截面承载力是否满足规范、规程的要求。

四、结构设计总说明

审查内容:

着重审查设计依据条件是否正确,结构材料选用、统一构造做法、标准图选用是否正确,对涉及及使用、施工等方面需作说明的问题是否已作交待。审查内容一般包括:

(1) 建筑结构类型及概况,建筑结构安全等级和设计使用年限,建筑抗震设防分类、抗震设防烈度(设计基本地震加速度及设计地震分组)、场地类别和钢筋混凝土结构抗震等级,地基基础设计等级,砌体结构施工质量控制等级,基本雪压和基本风压,地面粗糙度,人防工程抗力等级等。

(2) 设计标高 ± 0.000 所对应的绝对标高、持力层土层类型及承载力特征值,地下水类型及水位、防水设计水位和抗浮设计水位,场地的地震动参数,地基液化、湿陷及其他不良地质作用,地基土冻结深度等描述是否正确,相应的处理措施是否落实。

(3) 设计荷载,包括规范未作出具体规定的荷载均应注明使用荷载的标准值。

(4) 混凝土结构的环境类别、材料选用、强度等级、材料性能(包括钢材强屈比等性能指标)和施工质量的特别要求等。

(5) 受力钢筋混凝土保护层厚度,结构的统一做法和构造要求及标准图选用。

(6) 建筑物的耐火等级、构件耐火极限、钢结构防火、防腐蚀及施工安装要求等。

(7) 施工注意事项,如后浇带设置、封闭时间及所用材料性能、施工程序、专业配合及施工质量验收的特殊要求等。

五、地基和基础

审查内容:

(一) 基础选型与地基处理

(1) 基础选型、埋深和布置是否合理;基础底面标高不同或局部未达到勘察报告建议的持力层时,结构处理措施是否得当。

(2) 人工地基的处理方案和技术要求是否合理,施工、监测及验算要求是否明确。

(3) 桩基类型选择、桩的布置、试桩要求、成桩方法、终止沉桩条件、桩的监测及桩基的施工质量验收是否明确。

(4) 是否要进行沉降观测,如要进行观测,沉降观测的措施是否落实,是否正确。

(5) 深基础施工中是否提出了基础施工中施工单位应注意的安全问题,基坑开挖和工程降水时是否有消除对毗邻建筑物的影响及确保边坡稳定的措施。

(6) 对有液化土层的地基,是否根据建筑物的控制设防类别、地基液化等级,结合具体情况采取了相应的措施;液化土中的桩的配筋范围是否符合《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)第4.4.5条的规定。

(二) 地基和基础设计

(1) 地下室顶板 and 外墙计算,采用的计算简图和荷载取值(包括地下室外墙的地下水压力及地面荷载等)是否符合实际情况,计算方法是否正确;有人防地下室时,要注意审查基础结构是人防荷载控制还是建筑物的荷载控制。

(2) 存在软弱下卧层时,是否对下卧层进行了强度和变形验算。