

结构设计及计算丛书

高层建筑 混凝土结构设计 及实用计算

王全凤（丛书主编） 林雨生 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn



高层建筑 混凝土结构设计 及实用计算

王全凤（丛书主编） 林雨生 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

本书以 JGJ 3—2002《高层建筑混凝土结构技术规程》、GB 50010—2002《混凝土结构设计规范》、GB 50011—2001《建筑抗震设计规范》和 GB 50009—2001《建筑结构荷载规范》等系列规范和技术标准为依据,按照设计程序编写,并通过计算实例阐述高层建筑混凝土结构力学原理和实用设计计算方法。

全书共分 8 章,内容包括绪论、荷载和地震作用、框架结构的内力分析、剪力墙结构内力与位移计算、框架—剪力墙结构、筒体结构、扭转近似计算、结构构件的截面设计及构造要求。

对各类典型构件和结构实例,书中首先介绍其设计构造要点、荷载取值方法、计算模型假定以及内力分析方法,然后叙述其设计计算步骤和内容。内容简明扼要、深入浅出,概念明晰,系统全面,实用性强。

本书可供从事工程结构设计、施工、监理和工程管理人员使用,也可以作为大专院校土木类专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

高层建筑混凝土结构设计及实用计算/王全凤,林雨生编著. —北京:中国电力出版社,2009

(结构设计及计算丛书)

ISBN 978-7-5083-6805-4

I. 高… II. ①王…②林… III. ①高层建筑-混凝土结构-结构设计②高层建筑-混凝土结构-结构计算 IV. TU973

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 029384 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 3 月第一版 2009 年 3 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 11.25 印张 269 千字

印数 0001—3000 册 定价 26.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

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

在国民经济持续高/快速发展的大好形势下,作为国民经济重要支柱的建筑行业,正面临高质量、高标准的严峻要求和挑战,同时也提供了迅猛发展的大好机遇。此外,由于设计和施工可能错误、使用功能的改变以及灾害等事故的影响,也有大量的工程项目需要加固修复。如何经济合理地进行工程结构设计是一个既复杂而又在实际工作中需要解决的问题。为此,我们组织编写了结构设计及计算丛书,这套丛书的作者都是多年从事教学、科研、设计,具有丰富经验的、在一线工作的教师和工程师。

科学的东西往往是简洁的,内涵深刻的数学往往在形式上具有出奇的简洁之美。如牛顿第二运动定律,一个极简洁的数学公式就囊括了世间万事万物。隐含在科学中的工程技术与科学相通,简洁为至美。在英国泰晤士河畔有一座举世闻名的大本钟,世界一流的瑞士钟表制造商对这个超大型巨钟的准确走时也没有一点把握。英国人本杰明大胆承接了这项工程。他解决走不准的方法极为简单,就是在钟摆上放置或取下一枚便士。一枚小小的便士,居然起到了四两拨千斤的作用。大自然的线条、古老而鲜活的禅语、质朴的人际关系等,无不因其简而美。追求简洁正是人类创造思维的最普遍原则。为了提高现有的工程结构技术人员的综合素质,帮助即将从事工程结构设计的人员尽快掌握这门技术,挖土取金,简洁、实用易懂、便于自学是本丛书编写遵循的原则。

书中融入了近年来国内外学者及丛书作者在工程结构设计计算方面的理论研究成果,深入浅出地分析了设计计算方法的工程应用和典型的工程案例,力求达到理论推导删繁就简、基本概念清晰完整、计算方法简单实用、实际操作规范。

丛书内容包括工程结构设计计算的基本概念和简单的理论分析,重点是结构设计计算的基本方法 and 应用。它的主要特点:

第一,内容广泛,涵盖各种主要结构的设计;取材适当,重点突出,强调设计计算方法和应用。

第二,定位的结构设计计算方法大多是基础性的和应用较广、行之有效的方法。每章有概述和例题,枚举的例题都有浓厚的工程背景,力求典型、计算简

单、便于验证。以例题学习方法，举一反三。

第三，为了方便离开大学课堂有一定时间的读者，在介绍结构设计的某种方法之前，简要介绍其计算原理，为读者进一步提高奠定基础。

本丛书适合在职的工程技术人员和即将从事工程结构设计人员的进修、自学和参考。阅读本丛书只要具备一般理工科大专的基础即可。希望本丛书能为促进我国工程结构的健康发展作出有益的贡献，同时对从事工程结构检测、设计、施工、质量监督和建设工程监理等技术人员有所裨益。

王金凤

2007年3月于福建泉州

高层建筑已经成为一个城市的标志和象征,同时,高层建筑的建设也反映了一个国家、地区的经济、科学水平和施工技术管理的综合水平。高层建筑结构设计在土木工程专业的教学计划中占有很重要的地位,其基本原理和设计计算方法是工程设计人员必须掌握的知识。

本书以 JGJ 3—2002《高层建筑混凝土结构技术规程》、GB 50010—2002《混凝土结构设计规范》、GB 50011—2001《建筑抗震设计规范》和 GB 50009—2001《建筑结构荷载规范》等系列规范和技术标准为依据,按照设计程序编写,并通过计算实例阐述高层建筑混凝土结构力学原理和实用设计计算方法。

高层建筑结构设计原理与数学、力学、建筑材料、结构抗震和混凝土结构等课程紧密联系。对工程技术人员在学习过程中觉得较难理解的部分,本书紧密结合规范的要求,着重对概念进行解释和分析,包括对高层建筑结构体系的选择、荷载计算、力学模型的建立、结构受力和变形的特性分析、高层建筑结构构件的截面设计与构造要求等内容。通过计算实例,给出高层建筑结构设计计算的基本思路和设计的基本步骤,以及提高概念设计的综合能力。各章节编写力求内容精简、概念清晰,结合算例,便于理解。

本书附有较多的计算例题。在注重对高层建筑结构设计概念理解的同时,紧密结合相关的设计规范要求,通过算例与分析,使读者容易掌握高层建筑结构设计的基本原理和高层结构设计的基本方法。

本书在编写过程中得到土木工程界各位前辈和同仁的大力支持,也得到有关专家、学者和编者所在单位领导和同事的帮助和鼓励,书中引用他们的有关著作和研究成果,限于篇幅,参考文献未能一一列出,在此一并致谢。还要特别感谢华侨大学土木工程学院 06 级硕士研究生校核了工程实例。

由于作者水平所限,书中疏漏及错误之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者

2007 年 10 月

序
前言

第一章 绪论	1
第一节 高层建筑的发展	1
第二节 高层建筑结构体系	7
第三节 结构总体布置的一般原则	9
第四节 高层建筑结构的特点	15
第二章 荷载和地震作用	17
第一节 竖向荷载	17
第二节 风荷载	18
第三节 地震作用	24
第三章 框架结构的内力分析	31
第一节 框架结构的布置和计算简图	31
第二节 竖向荷载作用下的近似计算	34
第三节 水平荷载作用下的近似计算——反弯点法	36
第四节 水平荷载作用下的改进反弯点法—— D 值法	41
第五节 水平荷载作用下位移的近似计算	53
第六节 重力二阶效应及结构稳定	55
第四章 剪力墙结构内力与位移计算	57
第一节 概述	57
第二节 水平力作用下整体剪力墙的内力和位移计算	60
第三节 水平力作用下整体小开口剪力墙的内力和位移计算	61
第四节 水平力作用下连肢墙的内力和位移计算	63
第五节 水平荷载作用下壁式框架的内力和位移计算	88
第六节 剪力墙的分类	93

第七节 剪力墙重力效应及结构稳定	95
第五章 框架—剪力墙结构	97
第一节 概述	97
第二节 铰接体系内力与位移计算	104
第三节 刚接体系框架—剪力墙结构内力与位移计算	114
第四节 构件内力计算	116
第五节 结构刚度特征值对框架—剪力墙结构受力性能的影响	127
第六章 筒体结构	129
第一节 筒体结构分类和结构布置	129
第二节 筒体结构在侧向力作用下的受力特点	131
第七章 扭转近似计算	133
第一节 概述	133
第二节 质量中心、刚度中心及扭转偏心距	133
第三节 考虑扭转作用的剪力修正	136
第八章 结构构件的截面设计及构造要求	139
第一节 荷载效应组合	139
第二节 框架结构截面设计及构造要求	141
第三节 剪力墙结构截面设计和构造要求	155
第四节 框架—剪力墙结构截面设计和构造要求	165
第五节 框筒（筒中筒）结构截面设计和构造要求	166
参考文献	169

第一章

绪 论

良好的建筑设计是建筑师、结构工程师和设备设计相关专业工程师相互间精心协作的共同产品,尤其在设计过程中,建筑师和结构工程师之间必须保持密切的配合,对设计作品不断进行修改和优化。建筑师根据自己卓越的专业知识和丰富的实践经验,通过杰出的构思,提出精美的建筑方案的同时,还应当了解结构的基本知识,理解建筑结构的受力特性,才能设计出符合实际、切实可行的建筑方案;在经过调查研究并符合基本概念的基础上,结构设计应尽量满足日益发展的、各种各样的建筑形式的需要。

结构工程师应十分注重概念设计,尤其是高层建筑结构的抗震设计。概念设计应贯穿于设计的全过程。总体设计包括选择合适的建筑场地,择优选用抗震和抗风性能好且经济合理的结构体系和结构材料等;在单体设计中,应注意加强结构空间的整体性,重视结构平、立面布置的规则性,使结构受力明确,传力途径直接简单,确保结构具有必要的承载能力、刚度和变形能力,做到安全适用、技术先进、经济合理,并能方便施工。

高层建筑的界定,不同的国家有各自的标准。我国建设部批准的国家标准和行业标准也有各自相应的要求。GB 50352—2005《民用建筑设计通则》规定:10层及10层以上的住宅建筑为高层住宅;高度超过24m的公共建筑(不包括高度大于24m的单层公共建筑)为高层建筑;凡建筑高度超过100m的居住建筑和公共建筑均为超高层建筑。JGJ 3—2002《高层建筑混凝土结构技术规程》则将10层及10层以上或房屋高度超过28m的非抗震设计和抗震设防烈度为6~9度抗震设计的住宅和公共建筑称为高层建筑。

第一节 高层建筑的发展

高层建筑随着城市化进程的推进和城市经济的繁荣而日益增多,是现代化城市建设和发展的必然产物。高层建筑作为一个城市的元素,表现出该城市的风格。同时,高层建筑的发展也加快了城市建设的步伐,带动了经济、技术和管理等各个领域的发展。

第一次高层建筑的兴起是18世纪末至19世纪末,欧洲和美国的工业革命带来了生产力的发展与经济的繁荣,也带来了高层建筑发展的初期。从世界上第一幢近代高层建筑,即建于1885年的10层、55m高的美国芝加哥家庭保险大楼的建成至今,高层建筑的发展已经历了一个多世纪。美国由于其生产力的发展与经济的繁荣,总是扮演着主角,尤其是以美国芝加哥和纽约为代表的超高层建筑,至今仍称雄在高层建筑的舞台上,位于世界少数最高的建筑物之列。1913年,57层、高度为242m的哥德式建筑风格的伍尔沃思大厦建成,直到1930年,一直是世界上最高的建筑(见图1-1);1930年,77层、高319m的克莱斯勒大厦落成(见图1-2);1931年建成的纽约帝国大厦,共102层,高381m(见图1-3)。



图 1-1 伍尔沃思大厦

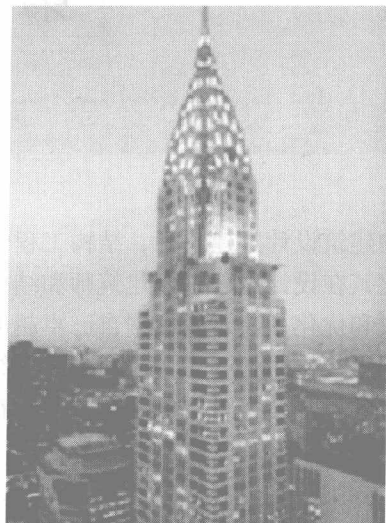


图 1-2 克莱斯勒大厦



图 1-3 纽约帝国大厦

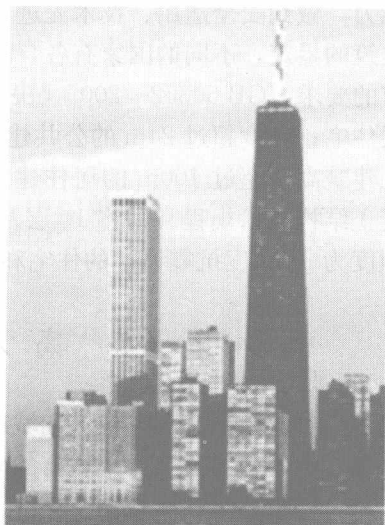


图 1-4 约翰·汉考克大厦

20 世纪 60 年代后期到 70 年代中期，是美国高层建筑最辉煌的时期：1968 年，芝加哥建成 100 层的约翰·汉考克大厦，为高度达 344m 的多功能综合建筑（见图 1-4）；1973 年，芝加哥又建成 80 层的阿摩珂大厦（标准石油大厦），高 346m（见图 1-5）；同年在纽约建成的原世界贸易中心大厦，是两座并立的 110 层塔式办公综合体，高 417m，成为当时世界最高建筑（见图 1-6）；1974 年，美国又建成芝加哥西尔斯大厦，由 9 座塔楼组成，110 层，高达 443m（见图 1-7）。

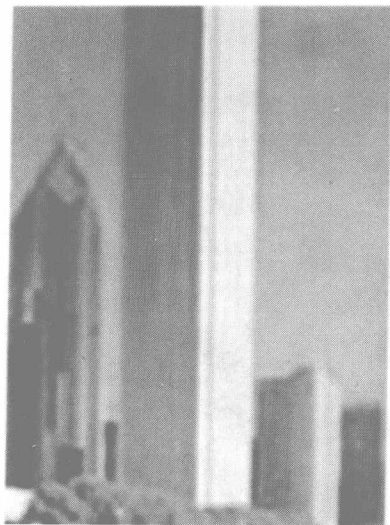


图 1-5 阿摩柯大厦



图 1-6 原纽约世界贸易中心大厦

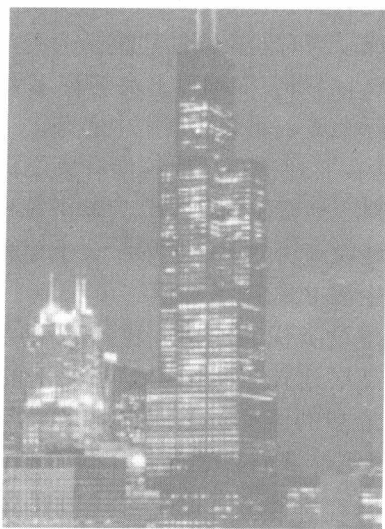


图 1-7 西尔斯大厦

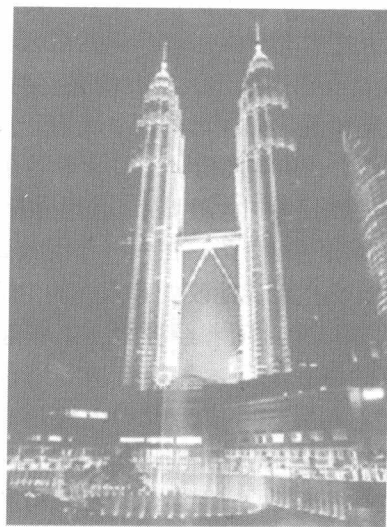


图 1-8 佩重纳斯大厦

20 世纪 90 年代后，超高层建筑的重心移到了亚洲。1998 年建成的吉隆坡双子塔佩重纳斯大厦高达 452m，成为当时世界上的最高建筑（见图 1-8）。

20 世纪 80 年代，凡到上海的工程界人士都会到繁华的南京路上去参观建于 1934 年的 24 层、78m 高的国际饭店，其高度在我国领先了半个世纪（见图 1-9）。但我国自行建造高层建筑是从 20 世纪 50 年代开始的。50 年代，北京十大建筑主要是以体量和风格著称，其中也有几幢是高层建筑，如民族饭店、民族文化宫等。50 年代中期建造了几幢 8~10 层的砖混结构的住宅和旅馆，1957 年在厦门集美建成的 14 层的南薰楼也成为区域性的标志性建筑，形成一道城市建筑与海相依的独特的风景（见图 1-10）。



图 1-9 上海国际饭店



图 1-10 厦门集美南薰楼

至 20 世纪 70 年代中期,北京、上海、广州等地区都在探索性地进行高层建筑的建设。北京的民航大楼、北京饭店,广州的白云宾馆等都成了当时的象征性建筑。

80 年代是我国高层建筑发展的兴盛时期,北京、广州、深圳、上海等许多大中城市建造了一批高层建筑,如深圳的国贸大厦,广州的国际大厦,北京的京广中心等。

20 世纪 70~80 年代初,一些学者对在我国是否需要建造高层建筑尚有争议,随着城市化进程的推进和日益扩大的城市建设,提高了人们对土地资源的认识,为珍惜每寸土地,合理地发展和利用空间资源,在人口密度较高的城市建设高层建筑已显得十分重要和必然。同时,高层建筑也在逐步地改变着人们的生活理念和生活方式。

80 年代末以来,随着经济的迅速崛起和城市建设步伐的加快,我国的高层建筑得到了前所未有的蓬勃发展,各种新型的结构体系在高层建筑工程中得到了广泛的应用,其规模和高度不断突破,成为世界上建设高层建筑最多的国家。上海、北京、广州、深圳等一些经济较发达的城市不但形成了成片的高层建筑群,而且还建造了许多超高层建筑,建筑高度也在不断改写。包括中国台湾和香港在内,建筑高度位于世界前列的超高层建筑已占世界多数。

1989 年,香港建成 72 层中国银行大厦,高达 369m (见图 1-11); 1992 年,香港又建成了 78 层、高 374m 的中环广场大厦 (见图 1-12); 1996 年建成的深圳地王大厦,69 层,高 1260 英尺 (384m) (见图 1-13); 1997 年,台湾高雄建成了 85 层,高达 347m 的东帝士大厦 (见图 1-14); 同年,在广州建成中信广场,80 层,高度 391m (见图 1-15),曾为我国超高层的顶峰; 1999 年,上海金茂大厦建成,88 层,高 420m (见图 1-16); 2003 年,香港建成 TWO IFC 国际金融中心,共 88 层,高 415m,成为香港最高的建筑物 (见图 1-17); 2004 年,台北 101 国际金融中心建成,101 层,480m (塔尖高达 508m),是目前世界最高建筑 (见图 1-18)。这些超高层建筑都曾为当地的第一建筑高度,建成时期也都曾排名在世界十大建筑高度之内。

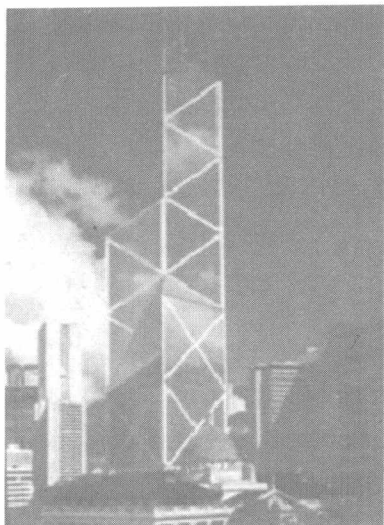


图 1-11 香港中银大厦

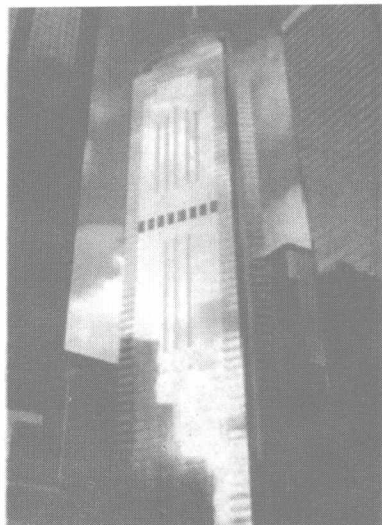


图 1-12 香港中环广场大厦

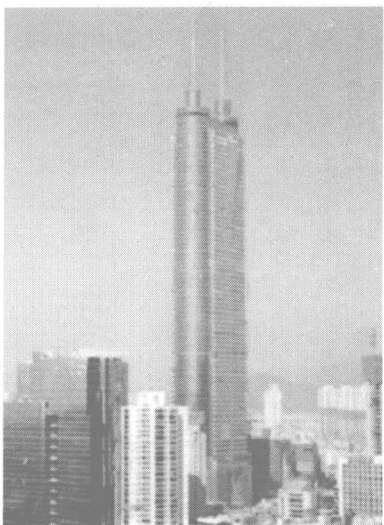


图 1-13 深圳地王大厦

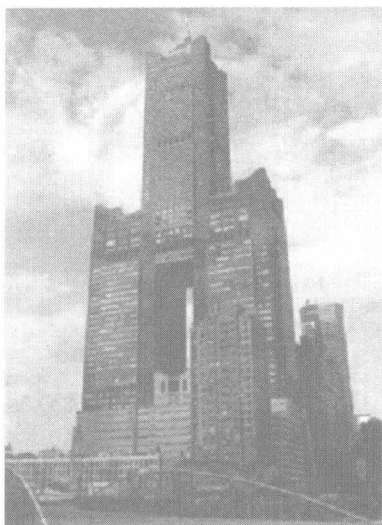


图 1-14 台湾高雄东帝士大厦

上海环球金融中心共 101 层，高达 492m，是目前世界第一高建筑，于 2008 年 8 月正式投入使用。

摩天大厦曾代表了工业文明和科学技术的骄人成就，这些超高层建筑不仅成为一个城市的地理坐标，而且也成为一个区域中人们的心理坐标。然而，人们面对如此快速发展的超高层建筑发出内心赞叹的同时，不少专家也对正在我国许多城市蔓延的超高层建筑和屡屡创出的新高是否合适提出了质疑。从经济效益、环保安全要求、人文社会、发展趋势等方面进行探讨，分析其结果，是当今社会的一个新的大课题。

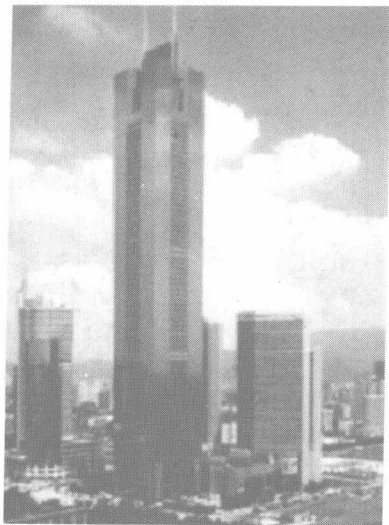


图 1-15 广州中信广场

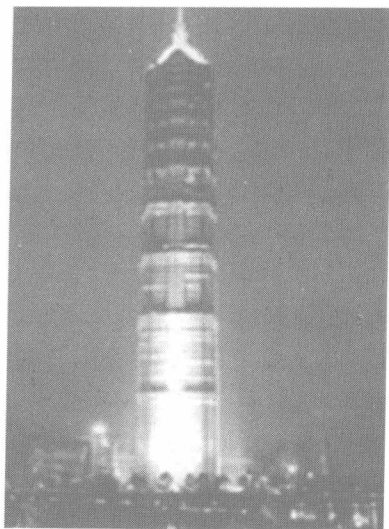


图 1-16 上海金茂大厦

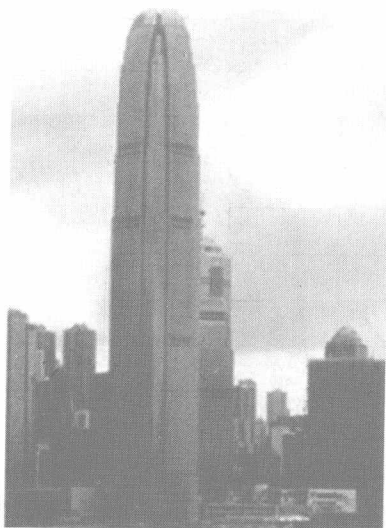


图 1-17 香港国际金融中心

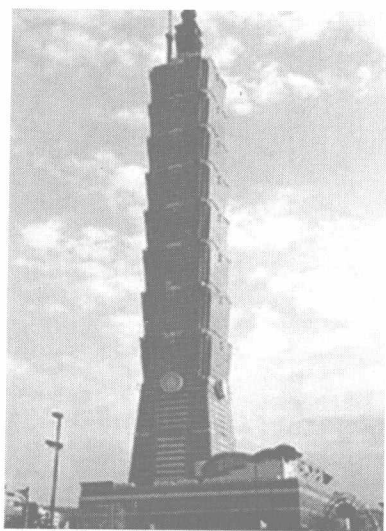


图 1-18 台北国际金融中心

我国高层建筑大部分采用钢筋混凝土结构，对于一般的高层建筑，今后将依然以钢筋混凝土为主要结构材料。钢筋混凝土结构较钢结构的优势主要是防腐性能 and 耐火性能较好，且钢筋混凝土结构的整体性好，抗侧刚度大，变形小，舒适性佳，以及维护方便、造价低等。世界上许多国家，包括美国和日本，钢筋混凝土高层建筑也正迅速发展。尤其以采用钢结构为主要建筑结构材料的日本，也正大力发展钢筋混凝土结构，主要运用于 20~30 层的高层建筑中。超高层建筑则更多采用钢筋混凝土和钢结构相结合的组合结构形式。随着新材料的开发和应用，结构理论和新型结构形式的不断发展和创新，会在日趋合理的基础上不断发展高层建筑，并再创新的高度。

第二节 高层建筑结构体系

钢筋混凝土高层建筑常用的结构体系有框架结构体系、剪力墙结构体系、框架—剪力墙结构体系、筒体结构体系和板柱—剪力墙结构体系，设计时应选择与建筑相适宜的结构体系。

一、框架结构体系

框架结构是由梁、柱组成的纵、横向的抗侧力结构，同时也作为建筑竖向的承重结构。框架结构具有建筑平面布置灵活，可以形成较大的使用空间，易于满足多功能使用要求的特点，见图 1-19。框架结构柔性较好，可以承受较大的变形。框架结构的自振周期较长，地震反应较小，经过合理的结构设计，可以具有较好的延性性能。

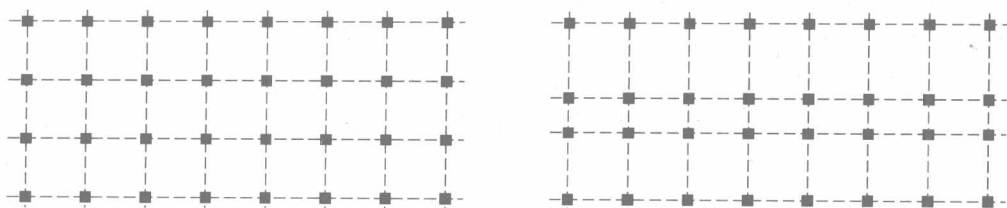


图 1-19 框架结构平面布置

为了更好地利用建筑空间，框架梁、柱的截面尺寸不宜设计得太大，所以，框架结构的抗侧刚度较小，结构侧移较大，易引起框架柱的 $p-\Delta$ 效应。较大的变形还会造成非结构构件的裂缝或破坏，因此，限制了框架结构的建筑高度，一般不宜超过 60m。在抗震设防烈度高的地区，高度更应受到限制。

二、剪力墙结构体系

剪力墙结构是由钢筋混凝土墙体组成的承受竖荷载和水平作用的结构。剪力墙是下端固定在基础顶面上的竖向悬臂板，墙体截面的面积较大，在竖向荷载作用下，承载力容易满足要求。同时剪力墙墙体自身平面内的抗侧刚度很大，在水平力作用下侧向变形较小，抗震性能较强，所以，剪力墙结构可以建造层数较多和高度较大的高层建筑。

剪力墙的间距受楼板跨度的限制，平面布置不灵活，不适于建造公共建筑，常被用于高层住宅和高层旅馆建筑，如图 1-20 所示。

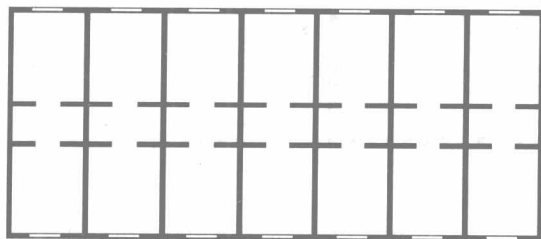


图 1-20 剪力墙结构平面

三、框架—剪力墙结构体系

将框架结构和剪力墙结构的优点相结合，即在框架中布置一些剪力墙，就形成了框架—剪力墙结构。它既保留了框架结构建筑布置灵活、使用方便、能获取较大建筑空间的优点，又具有剪力墙结构抗侧刚度大、抗震性能好的优点，具有较好的技术经济指标，因此被广泛地应用于高层办公楼建筑和旅馆建筑中，见图 1-21。

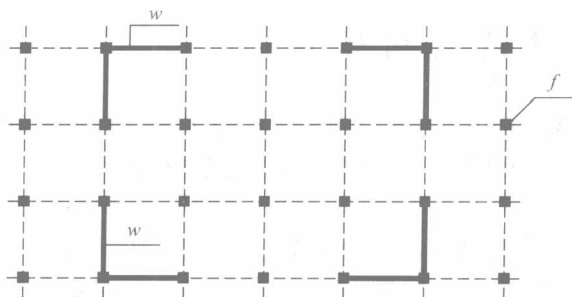


图 1-21 框架—剪力墙结构平面

在高层建筑中，框架—剪力墙结构是应用最广泛的结构体系，可以根据不同的建筑高度和体型，合理地布置剪力墙的数量和形式。通过楼板的联系作用，使框架和剪力墙的变形协调，底部框架柱承担的水平剪力减小。同时沿高度方向的水平侧移趋于均匀，整体结构获得较好的抗震性能。

四、筒体结构体系

筒体结构体系组成的筒体是由剪力墙构成的空间薄壁筒体，或由密柱高梁组合而形成的框筒筒体，见图 1-22 (a)。筒体结构是由单个筒体或多个筒体组合的结构。单筒往往设计成实腹筒，也称为核心筒。

单个核心筒体是一个箱型的竖向悬臂结构，在地震力作用下，没有多余的约束，缺乏第二道防线。因此，高层建筑主要采用多个筒体的组合，主要的组合形式有筒中筒结构 [见图 1-22 (b)]、束筒结构和多重筒结构。筒体结构还可以和框架结构组合在一起共同承载，形成框架—筒体结构。典型的束筒结构层间的变化如西尔斯大厦，如图 1-23 所示。

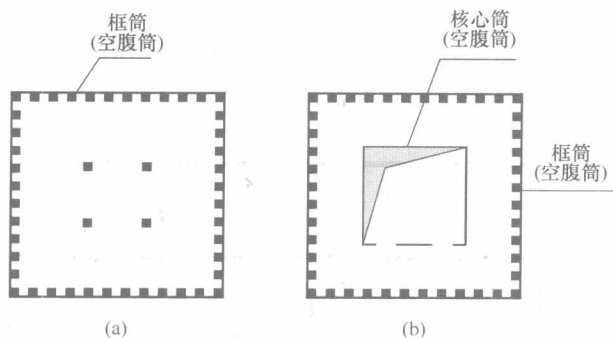


图 1-22 框筒及筒中筒结构平面

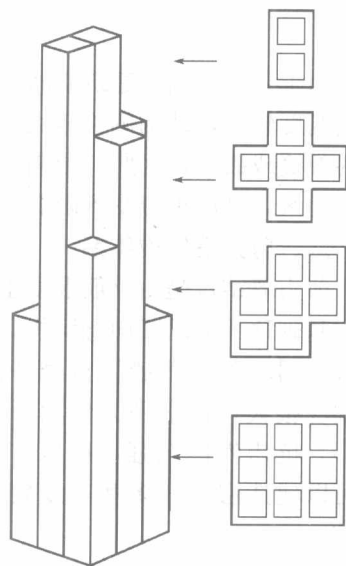


图 1-23 西尔斯大厦筒体平面变化

筒体结构具有造型美观，使用灵活，能够提供很大的、可以自由分隔的使用空间等优点，同时，筒体结构受力合理、抗侧刚度大、整体性强，适用于较高的高层建筑。目前世界上最高的 100 幢高层建筑约有 2/3 采用筒体结构，国内百米以上的高层建筑约有 1/2 采用钢筋混凝土框架—筒体结构和筒中筒结构。

五、高层建筑结构的其他结构体系

实际工程应用和发展中，在各种基本结构形式的基础上进行灵活的组合和布置，形成新的抗侧力结构体系，如悬挂式结构体系、巨型框架结构体系和竖向桁架结构体系等，如图

1-24 和图 1-25 所示。

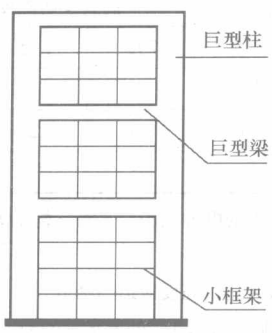


图 1-24 巨型框架

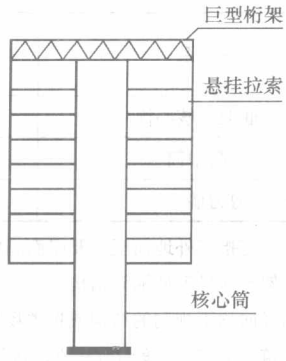


图 1-25 悬挂式结构

第三节 结构总体布置的一般原则

确定了结构体系之后，应进行与建筑设计相适宜的结构总体布置。高层建筑不应采用严重不规则的结构体系，结构布置是良好结构体系的补充和保证。结构布置应在概念设计的指导下进行，要求结构的竖向和水平布置都具有合理的刚度和承载力分布，同时避免因局部突变和扭转效应而形成薄弱部位。抗震设计时，应设计成多道抗震防线，避免因部分结构或构件的破坏而导致整个结构丧失承受水平风荷载、地震作用和重力荷载的能力。

高层建筑根据其使用功能的重要性分为甲、乙、丙类三个抗震设防类别。甲类建筑属于重大建筑工程和地震时可能发生严重次生灾害的建筑，地震作用应按高于本地区抗震设防烈度计算，其值应按批准的地震安全性评价结果确定；乙类建筑属于地震时使用功能不能中断或需尽快恢复的建筑，地震作用应按本地区抗震设防烈度计算；丙类建筑属于除甲、乙类以外的一般建筑，地震作用应按本地区抗震设防烈度计算。

JGJ 3—2002《高层钢筋混凝土结构技术规程》将钢筋混凝土高层建筑结构的最大适用高度分为 A 级和 B 级，并规定了相应的高宽比。A 级高度钢筋混凝土乙类和丙类高层建筑的最大适用高度应符合表 1-1 的规定，且高宽比不宜超过表 1-2 的限制值。对于框架—剪力墙、剪力墙和筒体结构的高层建筑，其高度超过表 1-1 规定时为 B 级高度高层建筑，B 级高度钢筋混凝土乙类和丙类高层建筑的最大适用高度应符合表 1-3 的规定，且高宽比不宜超过表 1-4 的限制值。

表 1-1 A 级高度钢筋混凝土高层建筑的最大适用高度 m

结 构 体 系		非抗震设计	抗震设防烈度			
			6 度	7 度	8 度	9 度
框架		70	60	55	45	25
框架—剪力墙		140	130	120	100	50
剪力墙	全部落地剪力墙	150	140	120	100	60
	部分框支剪力墙	130	120	100	80	不应采用