

建筑与市政工程施工现场专业人员继续教育教材

适用范围

施工员 质量员

超高层建筑施工 新技术

中国建设教育协会继续教育委员会 组织编写

中国建筑工业出版社



建筑与市政工程施工现场专业人员继续教育教材

超高层建筑施工新技术

中国建设教育协会继续教育委员会 组织编写

徐 辉 主编

武佩牛 主审

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

超高层建筑施工新技术 / 中国建设教育协会继续教育委员会组织编写. —北京: 中国建筑工业出版社, 2015. 10
建筑与市政工程施工现场专业人员继续教育教材
ISBN 978-7-112-18552-8

I. ①超… II. ①中… III. ①超高层建筑-工程施工-教材
IV. ①TU974

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 242493 号

本书结合工程实例系统阐述了超高层建筑施工新技术, 包括超高层建筑结构、液压自动爬升模板技术、整体提升钢平台模板技术、电动整体提升脚手架技术、混凝土工程施工、钢结构框架安装技术、钢结构桁架安装技术、钢结构塔桅安装技术。各章均附有思考题。

本书可作为建筑与市政工程施工现场专业人员培训教材, 也可供相关工程技术人员参考使用。

责任编辑: 朱首明 李明 李阳

责任设计: 李志立

责任校对: 李美娜 党蕾

建筑与市政工程施工现场专业人员继续教育教材
超高层建筑施工新技术
中国建设教育协会继续教育委员会 组织编写
徐辉 主编 武佩牛 主审

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京富生印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 8¼ 字数: 201 千字

2015 年 10 月第一版 2015 年 10 月第一次印刷

定价: 23.00 元

ISBN 978-7-112-18552-8

(27812)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

建筑与市政工程施工现场专业 人员继续教育教材 编审委员会

主任：沈元勤

副主任：艾伟杰 李明

委员：（按姓氏笔画为序）

于燕驰	王昭	邓铭庭	白俊	台双良	朱首明
刘冰	刘仁辉	刘传卿	刘善安	孙延荣	李阳
李波	李庚尧	李晓文	李雪飞	李慧平	肖兴华
宋志刚	张囡囡	陈春来	周显峰	赵泽红	俞宝达
姚莉萍	袁蘋	徐辉	高原	梅晓丽	曾庆江
虞和定	阚咏梅	颜龄			

参编单位：

中建一局培训中心

北京建工培训中心

山东省建筑科学研究院

哈尔滨工业大学

河北工业大学

河北建筑工程学院

上海建峰职业技术学院

杭州建工集团有限责任公司

浙江赐泽标准技术咨询有限公司

浙江铭轩建筑工程有限公司

华恒建设集团有限公司

序

建筑与市政工程施工现场专业人员队伍素质是影响工程质量、安全、进度的关键因素。我国从20世纪80年代开始,在建设行业开展关键岗位培训考核和持证上岗工作,对于提高建设行业从业人员的素质起到了积极的作用。进入21世纪,在改革行政审批制度和转变政府职能的背景下,建设行业教育主管部门转变行业人才工作思路,积极规划和组织职业标准的研发。在住房和城乡建设部人事司的主持下,由中国建设教育协会主编了建设行业的第一部职业标准——《建筑与市政工程施工现场专业人员职业标准》JGJ/T 250—2011,于2012年1月1日起实施。为推动该标准的贯彻落实,中国建设教育协会组织有关专家编写了考核评价大纲、标准培训教材和配套习题集。

随着时代的发展,建筑技术日新月异,为了让从业人员跟上时代的发展要求,使他们的从业有后继动力,就要在行业内建立终身学习制度。为此,为了满足建设行业现场专业人员继续教育培训工作的需要,继续教育委员会组织业内专家,按照《标准》中对从业人员能力的要求,结合行业发展的需求,编写了《建筑与市政工程施工现场专业人员继续教育培训教材》。

本套教材作者均为长期从事技术工作和培训工作的业内专家,主要内容都经过反复筛选,特别注意满足企业用人需求,加强专业人员岗位实操能力。编写时均以企业岗位实际需求为出发点,按照简洁、实用的原则,精选热点专题,突出能力提升,能在有限的学时内满足现场专业人员继续教育培训的需求。我们还邀请专家为通用教材录制了视频课程,以方便大家学习。

由于时间仓促,教材编写过程中难免存在不足,我们恳请使用本套教材的培训机构、教师和广大学员多提宝贵意见,以便我们今后进一步修订,使其不断完善。

中国建设教育协会继续教育委员会

2015年12月

前 言

近年来，随着中国经济强劲增加，城市人口快速增加，城市用地紧张的矛盾日益凸显，而高层建筑由于其用地少，城市基础设施费用低，可提高城市面貌等众多优点，得到了迅速发展。据不完全统计，就上海而言，16层以上高层建筑幢数已排名世界第一，目前上海就有4000多幢高层建筑，其中100m以上的超高层建筑就有1000多幢，中国已逐步成为世界建造高层建筑的新中心。现代工程项目超限高层建筑越来越多，施工技术难度与质量的要求不断在提高，施工技术管理的复杂程度和难度也越来越高，传统的技术方法、手段、经验已经无法适应快速发展的要求。

本书将为读者详细介绍我国建筑工程中常见的超高层建筑施工新技术，主要分为如下8个部分：超高层建筑结构、液压自动爬升模板技术、整体提升钢平台模板技术、电动整体提升脚手架技术、混凝土工程施工、钢结构框架安装技术、钢结构桁架安装技术、钢结构塔桅安装技术。通过上述8部分的介绍以期展现我国现有的超高层建筑最新施工新技术，能为读者今后的学习与工作起到一定的指引作用。本书可作为建筑与市政工程施工现场专业人员培训教材，也可供相关各院校相关专业师生参考。

本书由上海建峰职业技术学院徐辉主编，杨秀方、阳吉宝为副主编；参与编写人员还有：梁治国、夏凉风、张松、孙海忠、冯明伟、段存俊。

本书由武佩牛担任主审。

在本书编写过程中，得到了上海建工（集团）股份有限公司及其相关公司的大力支持，同时也得到了上海市建工设计研究院有限公司的田全红、赵家毅、林圣杰、张会新、谷远朋、董林兵同志的大力支持，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，加之时间仓促，不妥或错误之处在所难免，敬请广大读者指正。

目 录

第 1 章 超高层建筑结构	1
1.1 超高层建筑的定义	1
1.2 超高层建筑结构类型	1
1.2.1 钢结构	1
1.2.2 钢筋混凝土结构	2
1.2.3 混合结构与组合结构	2
1.3 超高层建筑结构体系	5
1.4 超高层建筑施工的特点	8
1.4.1 超高层模板工程	8
1.4.2 钢结构的安装工程	8
1.4.3 混凝土工程	9
思考题	11
第 2 章 液压自动爬升模板技术	12
2.1 概述	12
2.2 工艺原理及特点	13
2.2.1 工艺原理概述	13
2.2.2 工艺特点	14
2.3 系统组成和工作原理	15
2.3.1 承重系统	15
2.3.2 模板系统	17
2.3.3 操作平台系统	18
2.3.4 爬升机械系统	19
2.3.5 液压动力系统	21
2.3.6 自动控制系统	21
2.4 关键技术	21
2.4.1 倾斜爬升技术	21
2.4.2 截面收分技术	22
2.5 工程应用	23
2.5.1 上海环球金融中心	23
2.5.2 广州珠江城	28
思考题	33
第 3 章 整体提升钢平台模板技术	34
3.1 概述	34

3.2 工艺原理及特点	34
3.2.1 工艺原理	34
3.2.2 工艺特点	35
3.2.3 系统组成	36
3.3 关键技术	38
3.3.1 截面收分技术	38
3.3.2 穿越外伸桁架技术	39
3.4 系统设计	40
3.4.1 钢平台系统	41
3.4.2 内、外挂脚手系统	41
3.4.3 支撑系统	41
3.4.4 液压动力及电气控制系统	41
3.4.5 大模板系统	42
3.4.6 实施效果	42
3.5 上海中心大厦工程应用	42
3.5.1 工程概况	42
3.5.2 施工工艺	43
3.5.3 标准层施工方案	43
3.5.4 伸臂桁架层施工方案	47
3.5.5 过剪力钢板层施工方案	57
思考题	57
第4章 电动整体提升脚手架技术	58
4.1 工艺原理及特点	58
4.1.1 工艺原理	58
4.1.2 工艺特点	58
4.2 系统组成	59
4.3 关键技术	61
4.3.1 防倾覆和防坠落技术	61
4.3.2 同步提升控制技术	62
4.4 工程应用	62
4.4.1 工程概况	62
4.4.2 施工工艺	62
4.4.3 系统设计	67
4.4.4 实施效果	71
思考题	71
第5章 混凝土工程施工	72
5.1 混凝土生产	72
5.1.1 原材料选择	72
5.1.2 配合比设计	73

5.1.3 混凝土生产质量控制	74
5.2 混凝土超高程泵送	74
5.2.1 泵送工艺	74
5.2.2 泵送设备	75
5.2.3 施工技术	76
5.3 上海中心大厦的工程应用	76
5.3.1 工程概况	76
5.3.2 主楼混凝土泵送设备	76
5.3.3 混凝土性能设计	80
5.3.4 混凝土泵送控制	81
思考题	82
第6章 钢结构框架安装技术	83
6.1 概述	83
6.1.1 施工特点	83
6.1.2 安装工艺	83
6.2 工程应用	84
6.2.1 上海环球金融中心	84
6.2.2 广州新电视塔	87
思考题	95
第7章 钢结构桁架安装技术	96
7.1 概述	96
7.1.1 施工特点	96
7.1.2 安装工艺	96
7.2 钢结构桁架安装工程应用	97
7.2.1 上海证券大厦	97
7.2.2 马来西亚国家石油大厦	99
7.2.3 中央电视台新台址大厦主楼	102
思考题	107
第8章 钢结构塔桅安装技术	108
8.1 概述	108
8.1.1 施工特点	108
8.1.2 安装工艺	108
8.2 钢结构塔桅安装工程应用	109
8.2.1 多伦多电视塔	109
8.2.2 上海世贸国际广场	110
8.2.3 广州塔	112
思考题	120

第 1 章 超高层建筑结构

1.1 超高层建筑的定义

超高层建筑属于高层建筑的范畴。高层建筑的划分标准在国际上并不统一，但是基本原则是一致的。我国《民用建筑设计通则》GB 50352—2005 将住宅建筑层数划分为：1~3 层为低层；4~6 层为多层；7~9 层为中高层；10 层以上为高层；公共建筑及综合性建筑总高度超过 24m 为高层；凡高度超过 100m 的建筑均为超高层。日本建筑大辞典将 5~6 层至 14~15 层的建筑定义为高层建筑，15 层以上的建筑定义为超高层建筑。1972 年国际高层建筑会议将高层建筑按高度分为 4 类：9~16 层（最高到 50m）；17~25 层（最高到 75m）；26~40 层（最高到 100m）；40 层（100m）以上（即超高层建筑）。

1.2 超高层建筑结构类型

钢和混凝土是超高层建筑最主要和最基本的结构材料，根据所用结构材料的不同，超高层建筑结构可以划分为三大类型：钢结构、钢筋混凝土结构、混合结构与组合结构。

1.2.1 钢结构

钢结构充分利用了钢材抗拉、抗压、抗弯和抗剪强度高的优良特性，是一种历史悠久、应用广泛的超高层建筑结构类型。钢结构具有自重轻、抗震性能好、工业化程度高、施工速度快、工期比较短等优点，但是也存在钢材消耗量大、建造成本高、结构抗侧向荷载刚度小、体形适应性弱、防火性能差、施工技术和装备要求比较高等缺点。因此钢结构超高层建筑主要在工业化发展水平比较高的发达国家得到广泛应用。世界著名钢结构超高层建筑如图 1-1 所示；

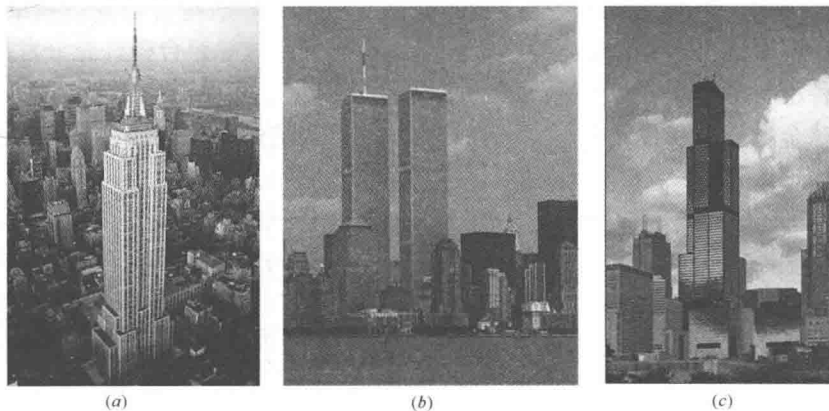


图 1-1 世界著名钢结构超高层建筑

(a) 美国纽约帝国大厦；(b) 美国纽约世界贸易中心；(c) 美国芝加哥西尔斯大厦

我国著名钢结构超高层建筑如图 1-2 所示。

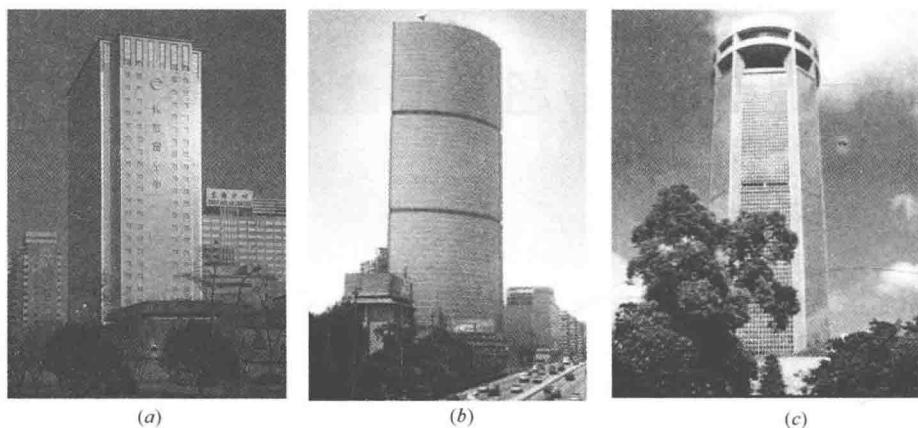


图 1-2 我国著名钢结构超高层建筑

(a) 北京长富宫饭店；(b) 北京京广中心；(c) 上海新锦江大酒店

1.2.2 钢筋混凝土结构

钢筋混凝土结构充分发挥了混凝土受压和钢筋受拉的优良特性，是一种广泛应用于超高层建筑的结构类型。钢筋混凝土结构具有原材料来源广、钢材消耗量小、建造成本低、结构抗侧向荷载刚度大、体形适应性强、防火性能优越、施工技术和装备要求比较低等优点，但是也存在自重比较大、现场作业多、施工工期比较长的缺点。因此钢筋混凝土结构超高层建筑首先在工业化发展水平比较低的发展中国家得到广泛应用。由于具有良好的经济性，因此近年来在发达国家，钢筋混凝土结构超高层建筑也日益增加。世界著名钢筋混凝土超高层建筑如图 1-3 所示；我国著名钢筋混凝土结构超高层建筑如图 1-4 所示。

1.2.3 混合结构与组合结构

钢结构和钢筋混凝土结构各有其优缺点，可以取长补短。在超高层建筑不同部位可以采用不同的结构材料，形成混合结构，在同一个结构部位也可以采用不同的结构材料形成组合（复合）结构。钢与钢筋混凝土组合方式多种多样，通过组合形成组合梁、钢骨梁、钢骨柱、钢管混凝土柱、组合墙、组合板和组合薄壳等。这些组合构件充分发挥了钢和钢筋混凝土两种材料的优势，性能优异，性价比高，因此已经广泛应用于超高层建筑工程中，上海环球金融中心和台北 101 大厦就是典型的组合结构。组合结构分类见表 1-1。

组合结构分类

表 1-1

类 型	特 征
组合梁	钢梁通过连接件与其上钢筋混凝土楼板组合为一体
钢骨梁	钢筋混凝土梁与埋置其中的型钢组合为一体
钢骨柱	钢筋混凝土柱与埋置其中的型钢组合为一体
钢管混凝土柱	钢管与灌注其中的混凝土组合为一体
组合墙	钢筋混凝土墙与埋置其中的型钢组合为一体
组合板	压型钢板与其上钢筋混凝土板组合为一体
组合薄壳	钢板与其上钢筋混凝土板组合为一体

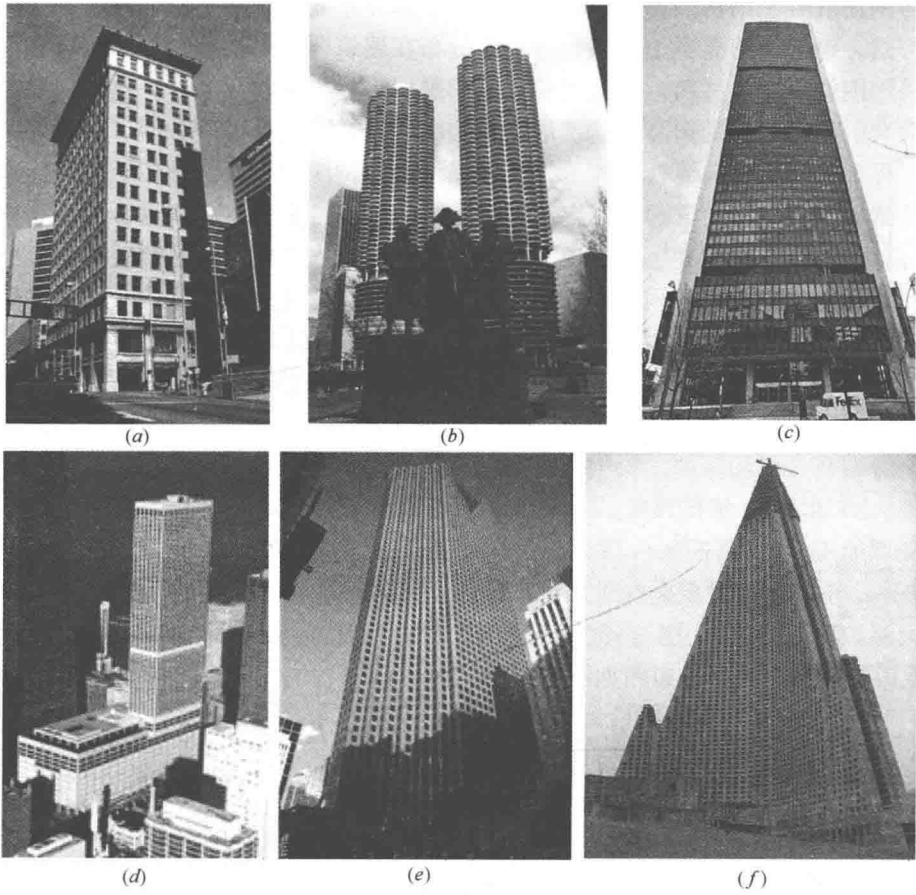


图 1-3 世界著名钢筋混凝土超高层建筑
(a) 殷盖兹大厦；(b) 玛丽娜城双塔；(c) 蒙特利尔市的维多利亚宫；
(d) 水塔大厦；(e) 多伦多斯科亚大厦；(f) 平壤柳京饭店

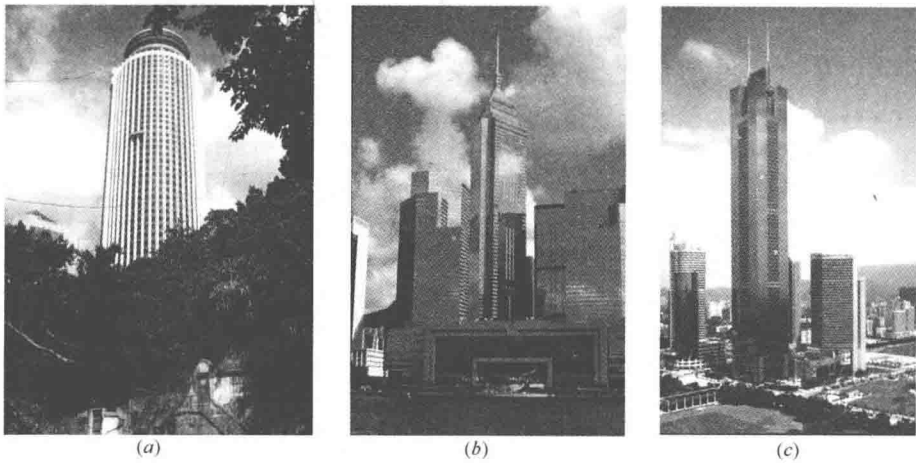


图 1-4 我国著名钢筋混凝土结构超高层建筑
(a) 香港合和中心；(b) 香港中环广场；(c) 广州中信广场

钢与钢筋混凝土结构混合方式比较少,按空间分布划分主要有横向混合和竖向混合两种基本方式。钢与钢筋混凝土按照自身性能分布在建筑横向不同部位,承受结构荷载,如核心筒采用钢筋混凝土材料,外框架及楼层梁采用钢材(或组合结构),这样的混合方式即为横向混合。横向混合是超高层建筑最主要的混合方式,上海金茂大厦、香港国际金融中心二期工程都采用了横向混合结构。钢与钢筋混凝土按照自身性能分布在建筑竖向不同部位,承受结构荷载,如中下部采用钢筋混凝土材料,上部采用钢材,这样的混合方式即为竖向混合。竖向混合在超高层建筑中应用不多,最有代表性的工程是阿联酋迪拜的哈利法塔。哈利法塔在156层以下采用钢筋混凝土材料,157层以上采用钢材,高度达到828m,结构用钢量在 $75\sim 100\text{kg}/\text{m}^2$ 之间,设计师将钢与钢筋混凝土材料各自的优越性发挥到了极致。受经济发展水平所限,我国超高层建筑特别是高度超过150m的超高层建筑多采用钢与钢筋混凝土混合结构,如20世纪80年代建设的北京香格里拉饭店、上海静安希尔顿酒店、上海瑞金大厦和深圳发展中心大厦等都采用了钢框架和钢筋混凝土核心筒相结合的混合结构。20世纪90年代以来,采用钢与钢筋混凝土混合结构类型的超高层建筑越来越多,如深圳地王大厦(高384m,81层)、上海新金桥大厦(高167m,42层)、森茂国际大厦(高201m,46层)、世界金融大厦(高189m,46层)、世贸国际广场(高333m,63层)及金茂大厦(高421m,88层)。世界著名混(组)合结构超高层建筑如图1-5所示,世界200栋最高建筑结构类型分布图如图1-6所示。

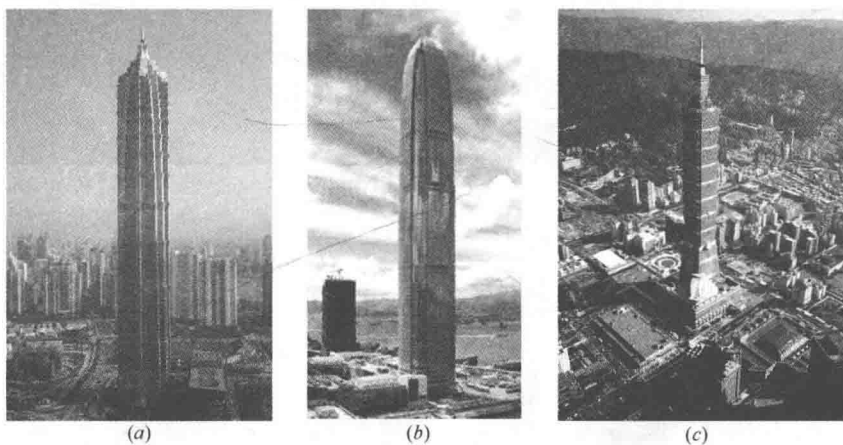


图1-5 世界著名混(组)合结构超高层建筑
(a) 上海金茂大厦; (b) 香港国际金融中心二期; (c) 台北101大厦

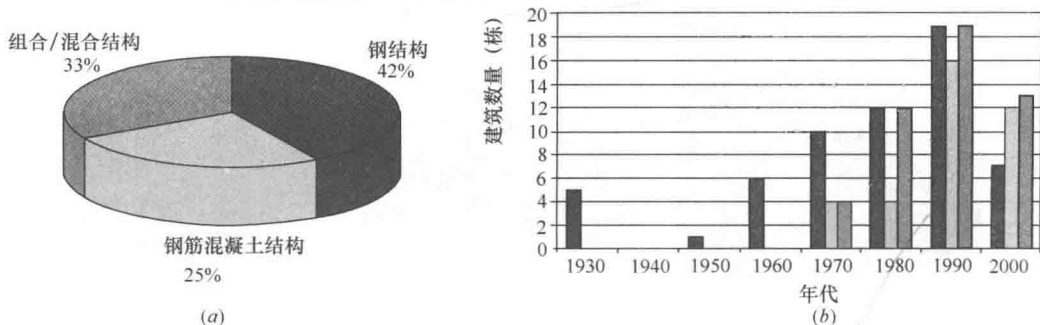


图1-6 世界200栋最高建筑结构类型分布图
(a) 3种结构类型所占比例; (b) 各年代各结构类型建筑数量

1.3 超高层建筑结构体系

超高层建筑承受的主要荷载是水平荷载和自重荷载,按照结构抵抗外部作用的构件组成方式,超高层建筑结构体系主要有:框架结构体系、剪力墙结构体系、筒体结构体系、框架—剪力墙(筒体)结构体系和巨型结构体系等。

1) 框架结构体系

框架结构体系是由杆件—梁、柱所组成的结构体系,是一种承重体系与抗侧力体系合二为一的结构体系,它依靠梁、柱的抗弯能力来抵抗侧向荷载作用,如图 1-7 所示。框架结构体系具有结构布置灵活、室内空间开阔、使用比较方便等优点,但是也存在抗震性能较差、抗侧向荷载刚度较低、建筑高度受到限制等缺点。框架结构体系历史悠久,是高层建筑和超高层建筑发展初期主要的结构体系,目前主要用于不考虑抗震设防、层数较少的高层建筑中。在抗震设防要求高和高度比较大的超高层建筑中应用不多,高度一般控制在 70m 以下,只有极少数超高层建筑采用框架结构体系。

2) 剪力墙结构体系

剪力墙结构体系是利用建筑物墙体作为承受竖向荷载、抵抗水平荷载的结构体系,也是一种承重体系与抗侧力体系合二为一的结构体系。由于剪力墙采用现场浇捣的方法施工,因此剪力墙结构体系具有整体性好、抗侧向荷载刚度大、承载力高等优点,但是也存在剪力墙间距比较小、平面布置不灵活、难以满足公共建筑的使用要求等缺点。剪力墙结构体系在住宅及旅馆超高层建筑中得到广泛应用,广州白云宾馆剪力墙结构体系如图 1-8 所示。

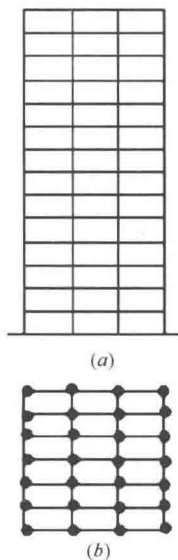


图 1-7 框架结构体系
(a) 立面图; (b) 平面图

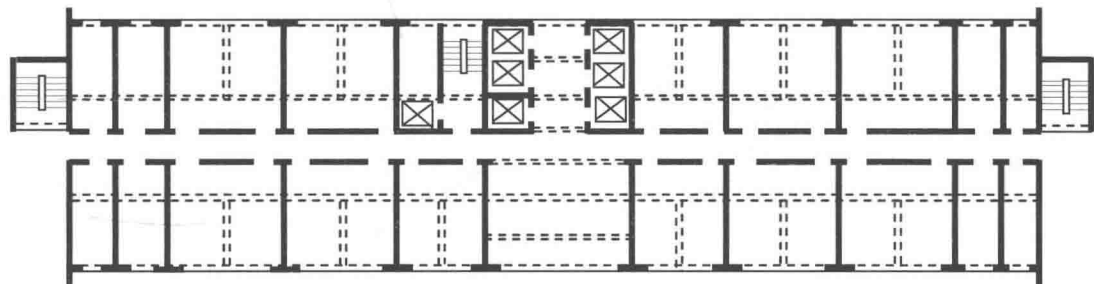


图 1-8 广州白云宾馆剪力墙结构体系

3) 筒体结构体系

筒体结构体系是利用建筑物筒形结构体作为承受竖向荷载、抵抗水平荷载的结构体系,也是一种承重体系与抗侧力体系合二为一的结构体系。结构筒体可分为实腹筒、框筒和桁筒。平面剪力墙组成空间薄壁筒体,即为实腹筒;框架通过减小肢距,形成空间密柱框筒,即为框筒;筒壁若由空间桁架组成,则形成桁筒。实际结构中除烟囱等构筑物外不可能存在

单筒结构，而常常以框架—筒体结构、筒中筒结构、多筒体结构和成束筒结构形式出现。若既设置内筒，又设置外筒，则称为筒中筒结构体系，它的典型代表就是美国世界贸易中心（见图 1-9）。美国世界贸易中心是双塔楼，每幢平面 $63\text{m} \times 63\text{m}$ ，建筑面积约 100 万 m^2 ，高分别为 415m 和 417m，采用的就是筒中筒结构体系。它的外柱中至中间距只有 1.02m，柱间以深梁相连，它们焊接在一起后，从整体上看像一片有小洞口的剪力墙，整个外墙围成一个外筒，内筒为钢桁架筒。美国西尔斯大厦则是著名的成束筒结构超高层建筑。

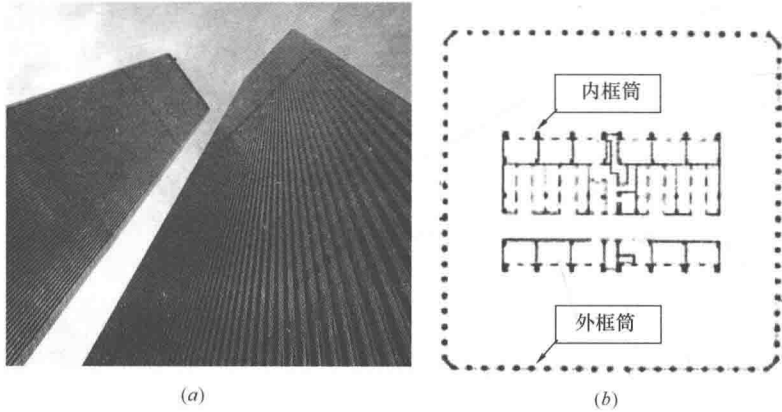


图 1-9 美国世界贸易中心筒中筒结构体系
(a) 实物图；(b) 平面示意图

4) 框架—剪力墙（筒体）结构体系

在框架结构中设置部分剪力墙，使框架和剪力墙两者结合起来，取长补短，共同抵抗竖向荷载和水平荷载，就构成了框架—剪力墙结构体系。如果把剪力墙布置成筒体，就转化为框架—筒体结构体系。框架—剪力墙（筒体）结构体系是一种承重体系与抗侧力体系相结合的结构体系。框架—剪力墙（筒体）结构体系中，由于剪力墙（筒体）刚度大，剪力墙（筒体）将承受大部分水平荷载（有时可达 80%~90%），是抗侧力的主体，整个结构的侧向刚度大大提高。框架则承担竖向荷载，同时也承担少部分水平荷载。

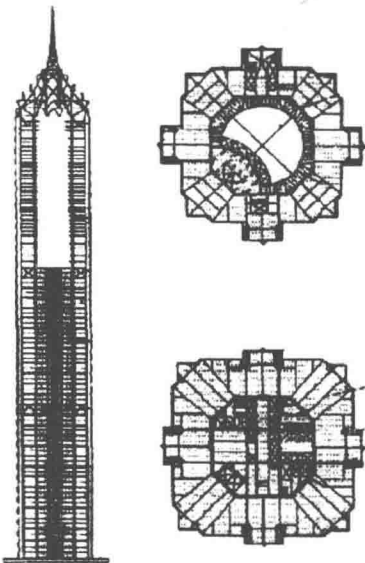


图 1-10 金茂大厦结构体系

框架—剪力墙（筒体）结构体系综合了框架结构体系和剪力墙（筒体）结构体系的优点，避开两种结构体系的缺点，应用极为广泛。与框架结构体系相比，框架—剪力墙（筒体）结构体系的刚度和承载能力都大大提高了，在地震作用下层间变形减小，因而也就减小了非结构构件（隔墙及外墙）的损坏，这样无论在非地震区还是地震区，这种结构体系都可用来建造较高的超高层建筑，目前在世界超高层建筑中得到广泛的应用。上海金茂大厦（见图 1-10）、台北 101 大厦、吉隆坡石油大厦都采用了框架—筒体结构体系。

5) 巨型结构体系

巨型结构一般由两级结构组成。第一级结构超越楼层划分，形成跨越若干楼层的巨梁、巨柱（超级框架）或巨型桁架杆件（超级桁架），承受水平荷载和竖向荷载。楼面作为第二级结构，只承受竖向荷载并将荷载所产生的内力传递到第一级结构上。常见的巨型结构有巨型框架结构和巨型桁架结构。巨型结构体系非常高效，抗侧向荷载性能卓越，应用日益广泛。上海环球金融中心（见图 1-11）、香港国际金融中心二期都采用了巨型结构体系。目前超高层建筑高度不断增加，但是建筑宽度受自然采光所限难以同步增加，因此只有不断提高结构体系效率，才能在建筑宽度保持基本不变的情况下，继续实现超高层建筑的新跨越。

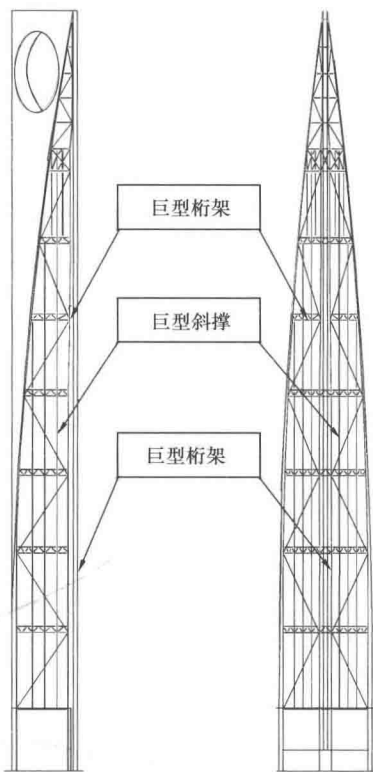


图 1-11 上海环球金融中心巨型结构体系

不同的结构体系所具有的强度和刚度是不一样的，因而它们适合应用的高度也不同（见图 1-12）。一般说来，框架结构适用于高度低、层数少、设防烈度低的情况；框架—剪力墙（筒体）结构和剪力墙结构可以满足大多数建筑物的高度要求；在层数很多或设防烈度要求很高时，筒体结构不失为合理选择；巨型结构则将支撑超高层建筑实现更大跨越。

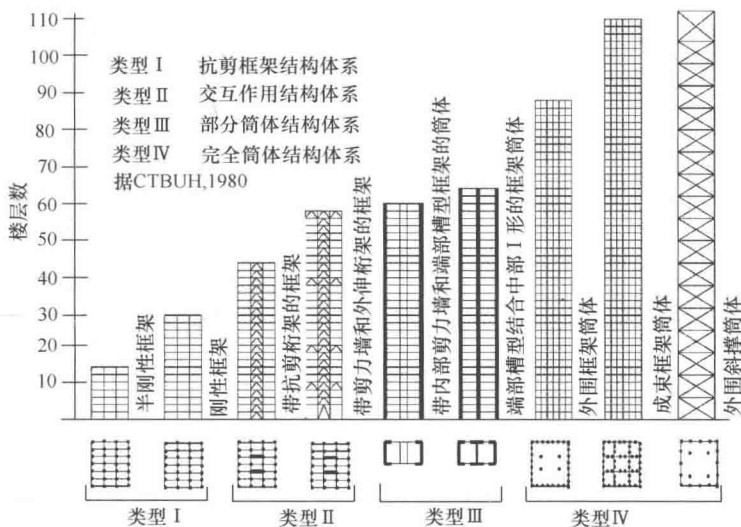


图 1-12 结构体系的高度适应性