



普通高等教育土建类规划教材

高层建筑结构 设计理论

● 程选生 何晴光 刘彦辉 编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育土建类规划教材

高层建筑结构设计理论

程选生 何晴光 刘彦辉 编



机械工业出版社

本书根据全国高等学校土木工程专业指导委员会制定的本科教育培养目标和培养方案,结合我国现行的规范和规程编写而成。

全书共11章,内容包括概述、高层建筑设计基本规定、荷载作用与结构计算分析、高层框架结构内力计算、高层框架结构截面设计与构造要求、剪力墙结构内力计算、框架-剪力墙结构内力计算与设计、剪力墙结构的截面设计与构造要求、筒体结构设计介绍、高层建筑结构基础计算与设计、高层建筑结构设计软件应用等。

本书可作为高等院校土木工程专业的本科生教材和教师教学参考用书,也可作为相关专业工程技术和科研人员等参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

高层建筑结构设计理论/程选生,何晴光,刘彦辉编. —北京:机械工业出版社,2010.7

普通高等教育土建类规划教材

ISBN 978-7-111-31138-6

I. ①高… II. ①程…②何…③刘… III. ①高层建筑-结构设计-高等学校-教材 IV. ①TU973

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第12444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:马军平 责任编辑:马军平

版式设计:张世琴 责任校对:吴美英

封面设计:张静 责任印制:杨曦

保定市中华美凯印刷有限公司印刷

2010年8月第1版·第1次印刷

184mm×260mm·18.5印张·457千字

标准书号:ISBN 978-7-111-31138-6

定价:32.00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

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

读者服务部:(010)68993821

封面防伪标均为盗版

前 言

本书根据全国高等学校土木工程专业指导委员会制定的本科教育的培养目标和培养方案，并结合我国现行的规范和规程编写而成，它是土木工程专业的一门专业课教材。

全书共 11 章，内容包括：概述、高层建筑结构设计基本规定、荷载作用与结构计算分析、高层框架结构内力计算、高层框架结构截面设计与构造要求、剪力墙结构内力计算、框架-剪力墙结构内力计算与设计、剪力墙结构的截面设计与构造要求、筒体结构设计介绍、高层建筑结构基础计算与设计、高层建筑结构设计软件应用等。

本书的编写分工为：第 1 章、第 3 章和第 10 章由兰州理工大学程选生编写；第 2 章、第 4 章至第 6 章、第 8 章和第 9 章由兰州理工大学何晴光编写；第 7 章、第 11 章由北京工业大学刘彦辉编写，全书由程选生统稿。

本书可作为高等院校土木工程专业的本科生教材和教师教学参考用书，也可作为相关专业工程技术和科研人员等参考用书。

在编写本书过程中，参考了许多同行专家的研究成果，在此向这些专家表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限，书中不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

作 者

目 录

前言

第1章 概述	1
1.1 高层建筑的定义	1
1.2 高层建筑的结构体系	2
1.3 高层建筑结构新技术的应用	20
第2章 高层建筑结构设计基本规定	21
2.1 结构平面布置	21
2.2 结构的竖向布置	24
2.3 楼盖结构	29
2.4 水平位移限制和舒适度要求	30
2.5 抗震设计基本规定	33
第3章 荷载作用与结构计算分析	37
3.1 竖向荷载	37
3.2 风荷载	45
3.3 地震作用	59
3.4 结构计算分析	76
第4章 高层框架结构内力计算	79
4.1 结构方案布置与计算简图	79
4.2 竖向荷载作用下的内力计算	84
4.3 框架在水平荷载作用下的内力计算	88
4.4 框架在水平荷载作用下的位移计算	94
4.5 框架在竖向荷载及水平荷载作用下的内力组合	96
第5章 高层框架结构截面设计与构造要求	100
5.1 一般规定	100
5.2 截面设计	101
5.3 框架梁构造要求	111
5.4 框架柱构造要求	114
5.5 钢筋的连接与锚固	117
第6章 剪力墙结构内力计算	120
6.1 概述	120
6.2 整体墙和小开口整体墙的计算	123
6.3 联肢墙内力和位移计算	128
6.4 壁式框架的内力和位移计算	135
6.5 框支剪力墙内力计算	138

第7章 框架-剪力墙结构内力计算与设计

7.1 概述	142
7.2 框架-剪力墙结构按铰结体系的计算	145
7.3 框架-剪力墙结构按刚结体系的计算	153
7.4 框架与剪力墙的内力分配与调整	156

第8章 剪力墙结构的截面设计与构造要求

8.1 一般规定	159
8.2 剪力墙正截面强度设计	162
8.3 剪力墙斜截面抗剪强度设计	166
8.4 剪力墙连梁截面的计算和设计	167
8.5 剪力墙构造	169
8.6 框架-剪力墙结构截面设计与构造	175

第9章 筒体结构设计介绍

9.1 概述	177
9.2 筒体结构的简化计算方法	179
9.3 筒体结构主要构造要求	181

第10章 高层建筑结构基础计算与设计

10.1 概述	184
10.2 筏形基础计算与设计	184
10.3 箱形基础计算与设计	191
10.4 桩基础计算与设计	209

第11章 高层建筑结构设计软件应用

11.1 结构程序设计的基本原理	236
11.2 常用工程软件简介及选用原则	244
11.3 高层建筑结构设计 PKPM 软件应用	258
11.4 高层建筑结构程序计算结果的分析	286

参考文献

第1章 概 述

1.1 高层建筑的定义

高层建筑是指层数较多、高度较高的建筑。但是，迄今为止，世界各国对多高层建筑的划分界限并不统一。表 1-1 中列出了部分国家和组织对高层建筑起始高度的规定。

表 1-1 部分国家和组织对高层建筑起始高度的规定

国家和组织名称	高层建筑起始高度
联合国	大于等于 9 层，分为四类： 第一类：9~16 层（最高到 50m）； 第二类：17~25 层（最高到 75m）； 第三类：26~40 层（最高到 100m）； 第四类：40 层以上（高度在 100m 以上时，为超高层建筑）
美 国	22~25m，或 7 层以上
法 国	住宅为 8 层及 8 层以上，或大于等于 31m
英 国	21.3m
日 本	11 层，31m
德 国	大于等于 22m（从室内地面起）
比利时	25m（从室外地面起）
中 国	GB 50045—1995《高层民用建筑设计防火规范》：大于等于 10 层或大于等于 24m，GB 50352—2005《民用建筑设计通则》与 GB 50045—1995 规定相同 JGJ3—2002《高层建筑混凝土结构技术规程》：大于等于 10 层，或大于等于 28m

我国原 JGJ3—91《钢筋混凝土高层建筑设计规程》曾规定 8 层及 8 层以上的民用建筑为高层建筑，JGJ3—2002《高层建筑混凝土结构技术规程》（以后简称为《高层规程》）将其修改为 10 层及 10 层以上，或房屋高度大于 28m。这是由于原规程制订时，我国高层建筑的层数大多为 8~30 层。然而在近 10 年来我国高层建筑得到迅速发展，各地兴建的高层建筑层数已普遍增加。此外，国际上许多国家和地区对高层建筑的划分界限大多在 10 层以上。为适应我国高层建筑的发展和世界上大多数国家的划分界限，JGJ3—2002 将适用范围定为 10 层及 10 层以上的民用建筑结构；又考虑到有些民用建筑其层数虽未达到 10 层，但层高较高，为适应设计需要，将房屋高度超过 28m 的民用建筑也纳入了该规程的适用范围。对于房屋层数少于 10 层或房屋高度小于 28m，若其层数接近 10 层或高度接近 28m

且无专门规范的钢筋混凝土结构民用建筑，其结构设计也可参照高层建筑的相关规定。

目前世界层数最多、高度最高的已建成的高层建筑是阿联酋迪拜塔，其层数和高度分别达到 160 层和 828m，如图 1-1 所示。为什么世界各国仍然将高层建筑定位在层数为 10 层或高度为 30m 左右？这是因为在划分多层建筑和高层建筑的界限时，要考虑多方面的因素。例如，发生火灾时，不超过 10 层的建筑一般可以通过消防车进行扑救，对于更高的建筑则很难利用消防车进行扑救，因此需要有许多自救措施。又如，从受力上讲，10 层以下的建筑，由竖向荷载产生的内力占主导地位，水平荷载的影响较小。更高的建筑在水平均布荷载作用下，由于弯矩与高度的平方成正比，侧移与高度的四次方成正比（见图 1-2），风荷载和地震作用占主导地位，竖向荷载的影响相对较小，侧移验算不可忽视。此外，由于高层建筑所受荷载较大，内力也较大，因此梁柱截面尺寸也较大，竖向荷载中恒荷载所占比重较大。

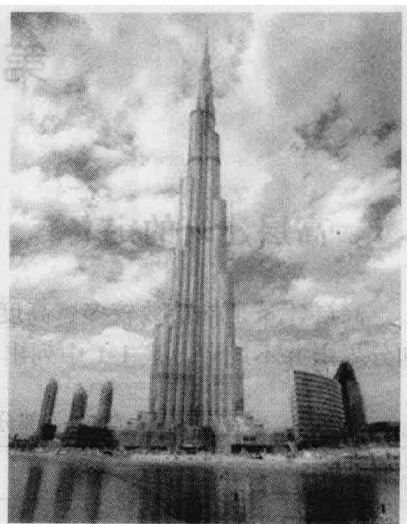


图 1-1 全球第一高楼迪拜塔

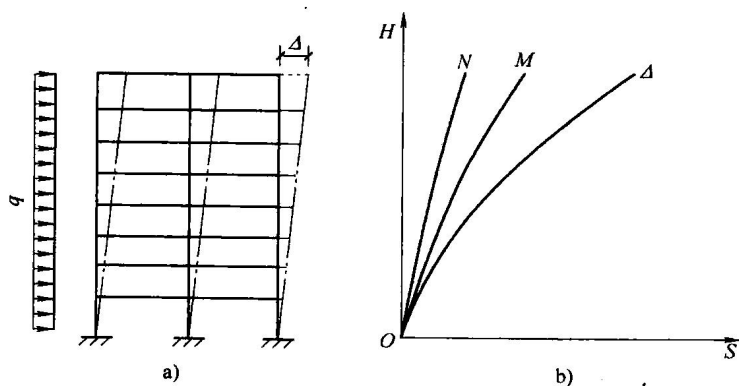


图 1-2 框架结构在水平均布荷载下的轴力、弯矩、侧移与荷载的关系

1.2 高层建筑的结构体系

结构体系是指结构抵抗外部作用的构件组成方式。在高层建筑中，抵抗水平力成为设计的主要矛盾，因此结构体系抗侧力的确定和设计成为结构设计的关键问题。高层建筑中基本的抗侧力单元是框架、剪力墙、实腹筒（又称井筒）、框筒及支撑等，由这几种单元可以组成以下多种结构体系。

1.2.1 框架结构体系

由梁、柱构件组成的结构称为框架。整幢结构都由梁、柱组成称为框架结构体系，有时称为纯框架结构。框架结构的优点是建筑平面布置灵活，可以做成有较大空间的会议室、餐

厅、车间、营业室、教室等。同时,根据需要可用隔墙分隔成多个小房间,也可以拆除隔墙改成大房间,因而使用灵活。外墙用非承重构件,可使立面设计灵活多变。如果采用轻质隔墙和外墙,就可大大降低房屋自重,节省材料。

框架结构在水平力作用下的受力变形特点如图 1-3 所示。其侧移由两部分组成:第一部分侧移由柱和梁的弯曲变形产生。柱和梁都有反弯点,形成侧向变形。框架下部的梁、柱内力大,层间变形也大,越到上部层间变形越小,使整个结构呈现剪切型变形,如图 1-3a 所示。第二部分侧移由柱的轴向变形产生。在水平荷载作用下,柱的拉伸和压缩使结构出现侧移。这种侧移在上部各层较大,越到底部层间变形越小,使整个结构呈现弯曲型变形,如图 1-3b 所示。框架结构中第一部分侧移是主要的,随着建筑高度加大,第二部分变形比例逐渐加大,但合成以后框架仍然呈现剪切型变形特征,如图 1-3c 所示。

框架抗侧移刚度主要由梁、柱截面尺寸的大小决定。通常梁柱截面惯性矩小,侧向变形较大,这是框架结构的主要缺点,也因此限制了框架结构的使用高度。通过合理设计,钢筋混凝土框架可以获得良好的延性,即所谓“延性框架”设计。它具有较好的抗震性能。但是,由于框架结构层间变形较大,在地震区,高层框架结构会产生另一严重的问题,即容易引起非结构构件的破坏。

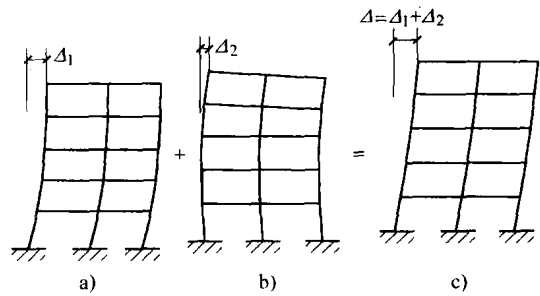


图 1-3 框架侧向变形

天津友谊宾馆的震害是一个典型例子。该宾馆,东段为 8 层框架结构,西段为 11 层框架剪力墙结构。按 7 度设防设计,其平面图及剖面图如图 1-4 所示。在唐山地震时,东段框架结构侧向变形很大,空心砖填充墙产生严重裂缝,外檐窗间墙裂缝也大。而西段框架剪力墙结构变形较小,填充墙仅有轻微裂缝。据天津市建筑设计院初步推算,东段顶部实际侧移 Δ/H 为 $1/374 \sim 1/164$,西段顶部实际侧移 Δ/H 则为 $1/960 \sim 1/430$ 。表 1-2 列出了东西段层间变形的侧移值及各层填充墙的破坏程度。由表 1-2 可见,东段框架结构基本上是剪切型变形,填充墙震害下重上轻;西段框架剪力墙结构为弯剪型变形,填充墙震害是上重下轻,但总的来说是东段震害比西段重。值得指出的是,震后填充墙进行了修复,但在时隔不久的宁河地震中,基本上所有修复部位都在原处开裂破坏。在再次修复时,设置了剪力墙,成为框架剪力墙结构。

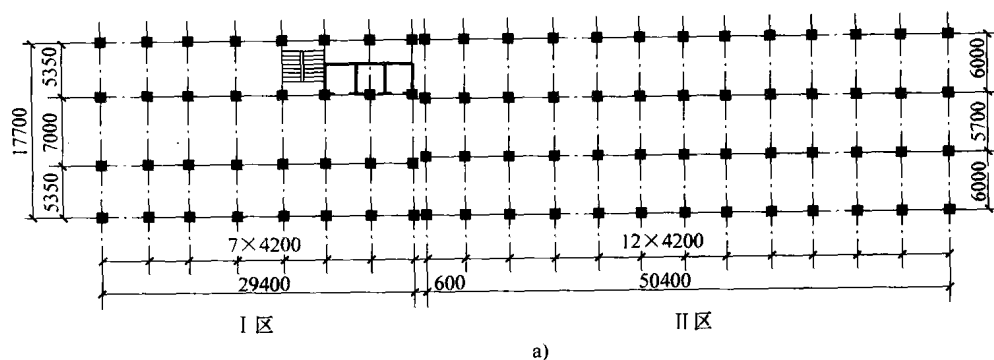
表 1-2 天津友谊宾馆东西段层间变形与填充墙破坏程度对比

层数	东 段(横向)			西 段(横向)		
	按 8° 计算 层间变形	实际层间变形	填充墙破坏 程度	按 8° 计算 层间变形	实际层间变形	填充墙破坏 程度
10				1/592	1/474 ~ 1/207	II
9				1/520	1/416 ~ 1/182	II
8	1/1200	1/960 ~ 1/420	I	1/810	1/650 ~ 1/230	I
7	1/885	1/710 ~ 1/310	I	1/835	1/670 ~ 1/292	I
6	1/590	1/472 ~ 1/206	I	1/890	1/712 ~ 1/312	I

(续)

层数	东 段(横向)			西 段(横向)		
	按 8° 计算 层间变形	实际层间变形	填充墙破坏 程度	按 8° 计算 层间变形	实际层间变形	填充墙破坏 程度
5	1/366	1/292 ~ 1/128	Ⅱ -	1/985	1/790 ~ 1/345	I
4	1/750	1/600 ~ 1/282	Ⅱ -	1/1120	1/895 ~ 1/392	I
3	1/434	1/34 ~ 1/148	Ⅱ -	1/1300	1/1040 ~ 1/455	I
2	1/424	1/21 ~ 1/95	Ⅱ +	1/1640	1/1310 ~ 1/575	Ⅱ
1	1/271	1/600 ~ 1/262	Ⅲ -	1/3600	1/2880 ~ 1/1260	I
0	1/750					

注: 破坏程度 I 为灰皮轻微裂缝; Ⅱ 为明显裂缝, 沿裂缝灰皮少许掉落; Ⅲ 为空心砖砌体内裂缝宽度很大, 表皮大块掉落, 甚至空心砖掉落。



I 区 外柱 450×450

内柱 450×550

剪力墙厚: 电梯井 150

II 区 外柱 450×450

内柱 450×500

其他 180

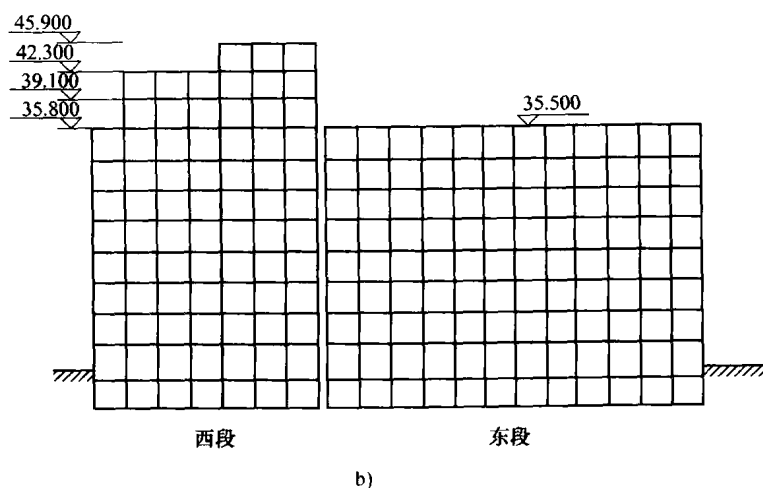


图 1-4 天津友谊宾馆

a) 标准层结构平面 b) 剖面

但是,美国旧金山附近的一幢钢筋混凝土框架结构建筑(Pacific Park Plaza Condominium),严格按照延性框架要求设计与施工,采用轻质隔墙,改进了轻质外墙与框架的连接构造,在1989年10月17日Loma Prieta地震(旧金山附近)中,经受了强烈地震($0.22g$),而建筑物未发生任何的裂缝与破坏。这是一个典型的延性钢筋混凝土框架结构抗震成功的例子。

框架结构构件类型少,易于标准化、定型化,可以采用预制构件,也易于采用定型模板而做成现浇结构,有时还可采用现浇柱及预制梁板的半现浇半预制结构。现浇结构的整体性能好,抗震性能好,在地震区应优先采用。

综上所述,在高度不高的高层建筑中,框架结构体系是一种较好的体系。当有变形性能良好的轻质隔墙及外墙材料时,钢筋混凝土框架结构可建30层左右。但在我国目前的情况下,框架结构建造高度不宜太高,以15~20层以下为宜。

图1-5是我国20世纪70年代建造的北京民航办公大楼平面图,最高部分为15层,是装配整体式框架结构。图1-6是20世纪80年代建造的北京长城饭店柱网布置图,最高部分达22层,为现浇延性框架结构。图1-7是一些框架结构典型平面图。

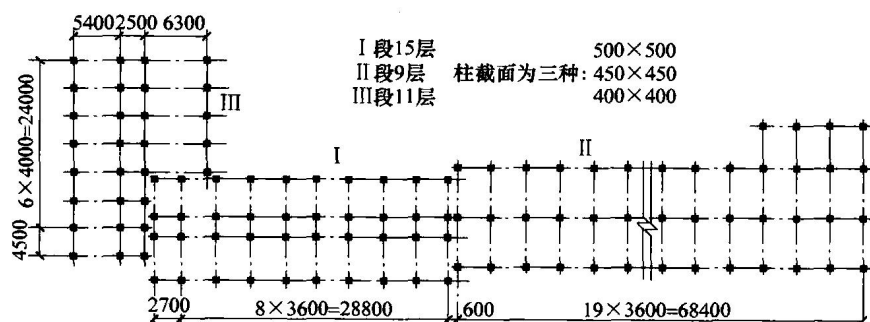


图 1-5 北京民航办公大楼



a)

图 1-6 北京长城饭店

a) 效果图

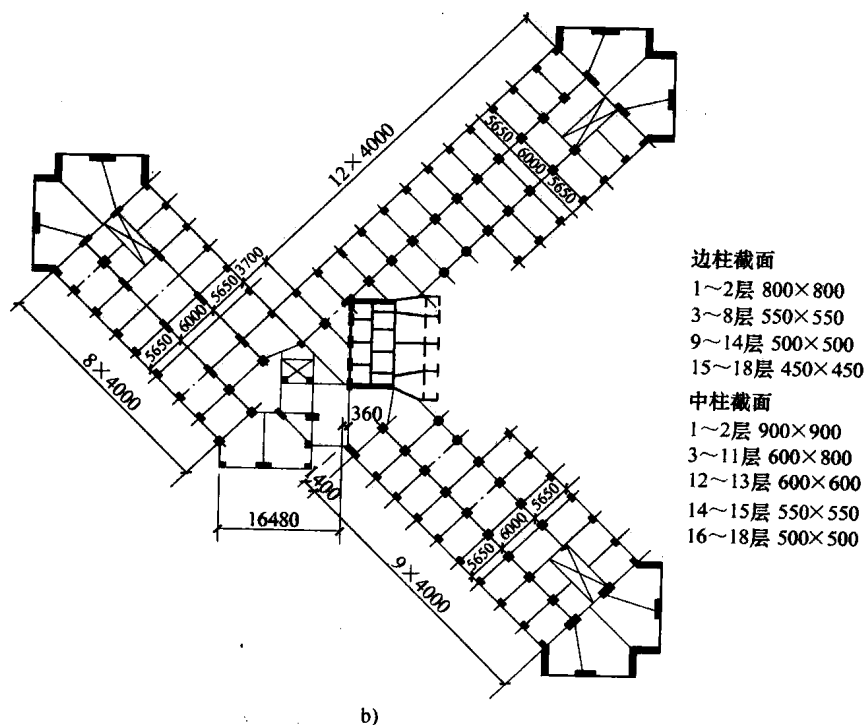


图 1-6 北京长城饭店 (续)

b) 标准层平面图

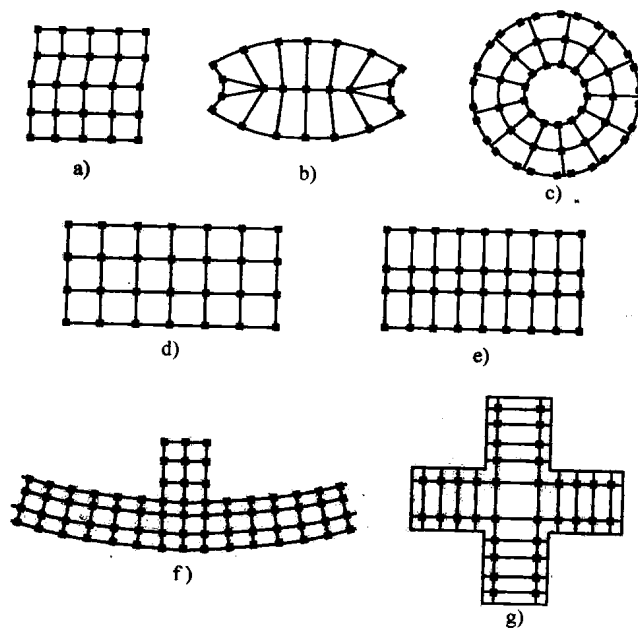


图 1-7 框架结构典型平面图

框架结构体系也是高层钢结构的一种常用体系，与钢筋混凝土框架相比，梁的跨度较大，且梁、柱截面均比较小，但由于侧向刚度小，建造高度也受到限制。北京长富宫中心的高层饭店为27层，高88.9m，采用了钢框架结构体系。

1.2.2 剪力墙结构体系

利用建筑物墙体作为承受竖向荷载、抵抗水平荷载的结构，称为剪力墙结构体系。墙体同时也作为围护及房间分隔构件。竖向荷载由楼盖直接传到墙上，因此剪力墙的间距取决于楼板的跨度。一般情况下剪力墙间距为3~8m，适用于较小开间的建筑。当采用大模板、滑升模板或隧道模板等先进施工方法时，施工速度很快，可节省砌筑隔断等工程量。因此，剪力墙结构在住宅及旅馆建筑中得到广泛应用。

现浇钢筋混凝土剪力墙结构的整体性好，刚度大，在水平荷载作用下侧向变形小，承载力要求也容易满足。因此，这种剪力墙结构适合建造较高的高层建筑。

当剪力墙的高宽比较大时，是一个以受弯为主的悬臂墙，侧向变形是弯曲型，如图1-8所示。经过合理设计，剪力墙结构可以成为抗震性能良好的延性结构。根据多次国内外大地震的震害情况分析可知，剪力墙结构的震害一般比较轻。因此，剪力墙结构在非地震区或地震区的高层建筑中都得到了广泛的应用。10~30层的住宅及旅馆，也可以做成平面比较复杂，体型优美的建筑物。

图1-9是常见的剪力墙结构布置方式。图1-10a是北京常见的高层住宅结构布置方式，图1-10b是北京国际饭店剪力墙平面图。

剪力墙结构的缺点和局限性也是很明显的。主要是剪力墙间距不能太大，平面布置不灵活，不能满足公共建筑的使用要求。此外，结构自重也较大。为了克服上述缺点，减轻自重，尽量扩大剪力墙结构的使用范围，应当改进楼板做法，加大剪力墙间距，做成大开间剪力墙结构。下述两种结构是剪力墙结构体系的发展，可扩大其适用范围。

(1) 底部大空间剪力墙结构 在剪力墙结构中，将底层或下部几层的部分剪力墙取消，形成部分框支剪力墙以扩大使用空间。图1-11是底层为商店的住宅平面；图1-12与图1-13是旅馆、饭店中常用的布置方式。框支剪力墙的下部为框支柱，与上部墙体刚度相差悬殊，在地震作用下将产生很大侧向变形。因此，在地震区不允许采用框支剪力墙结构体系。

当采用部分框支剪力墙时，通过加强其余落地剪力墙，可避免框支部分的破坏。经过试验研究，对图1-11所示的底层大空间剪力墙结构提出了布置要求和设计方法。在我国，这种底层大空间剪力墙结构已得到了广泛应用。底部多层大空间的剪力墙结构也正在实践和研究中逐步发展。

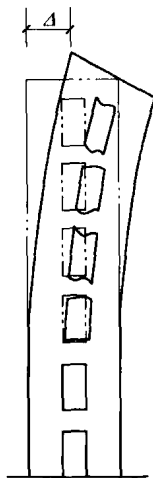


图1-8 剪力墙结构变形

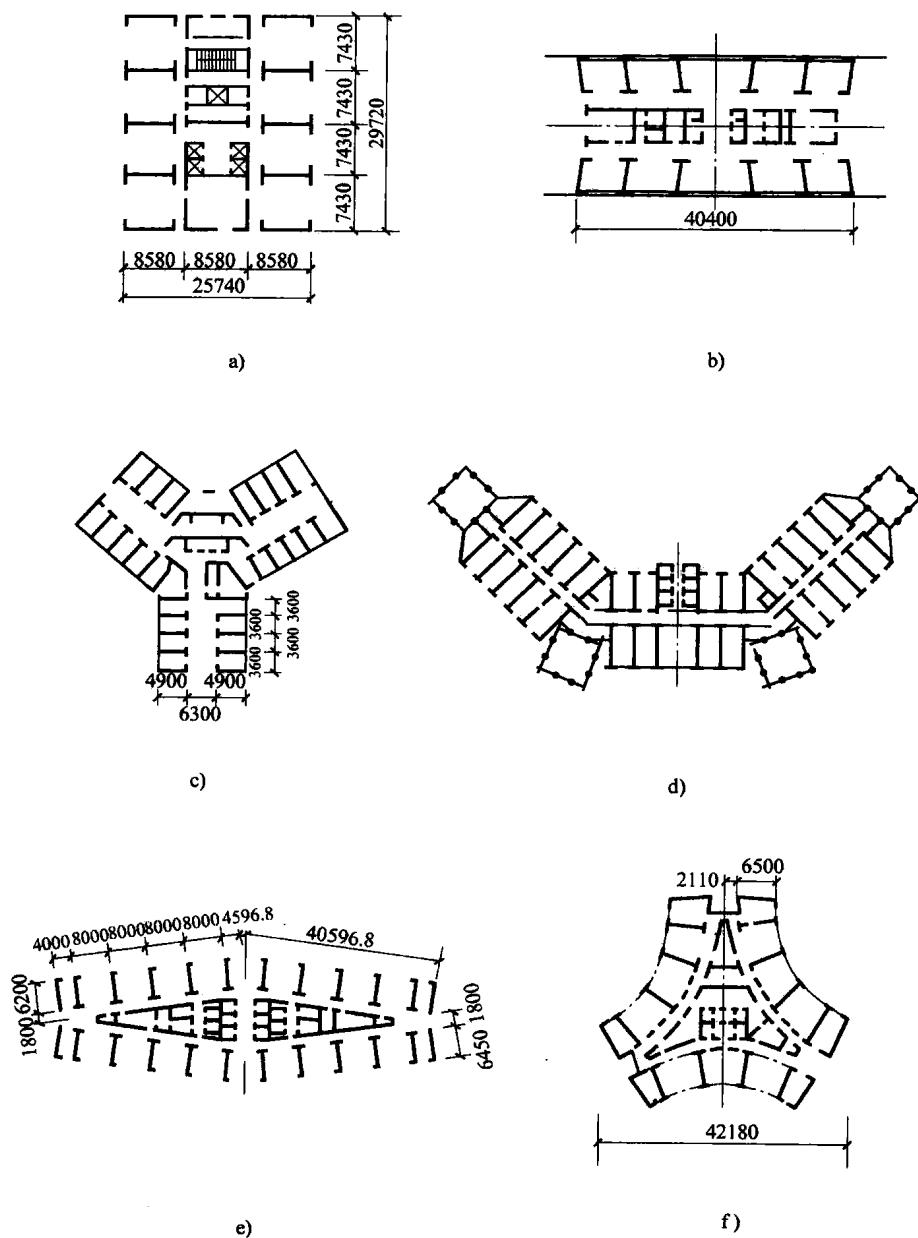
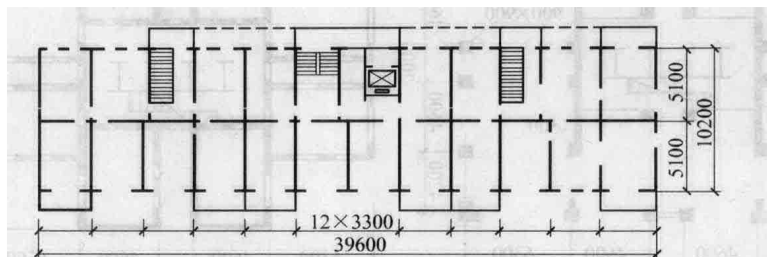
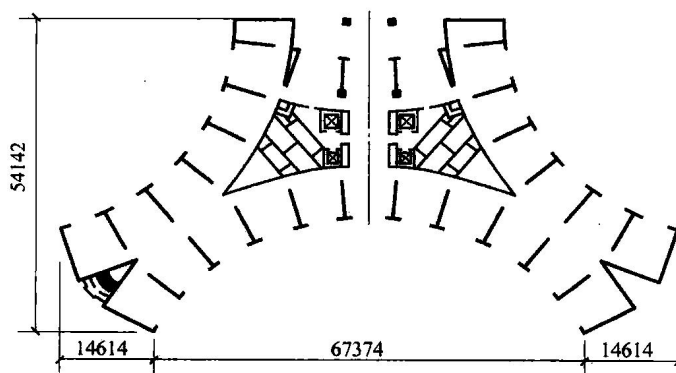


图 1-9 剪力墙结构典型平面图

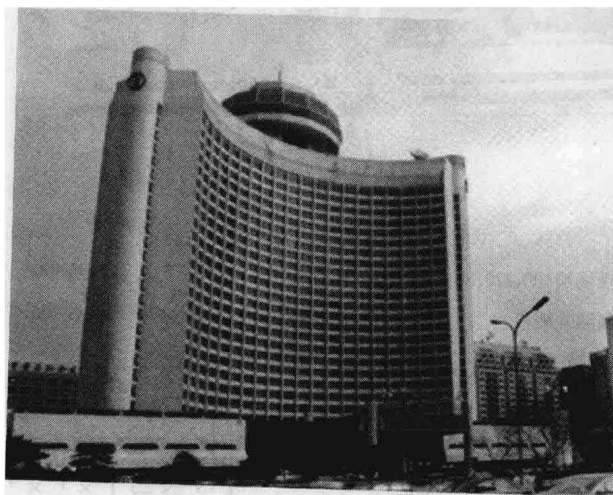
- a) 深圳金融中心财税楼 (31 层, 125.5m) b) 成都蜀都大厦 (33 层, 122m)
 c) 北京军区老干部活动中心 (20 层, 65.7m) d) 北京中国旅行社 (30 层, 101.5m)
 e) 广州白天鹅宾馆 (33 层, 90.4m) f) 成都旅行服务社 (25 层, 81.5m)



a)



b)



c)

图 1-10 剪力墙结构

a) 大模板高层住宅 b) 北京国际饭店平面图 (31 层, 104.4m) c) 北京国际饭店

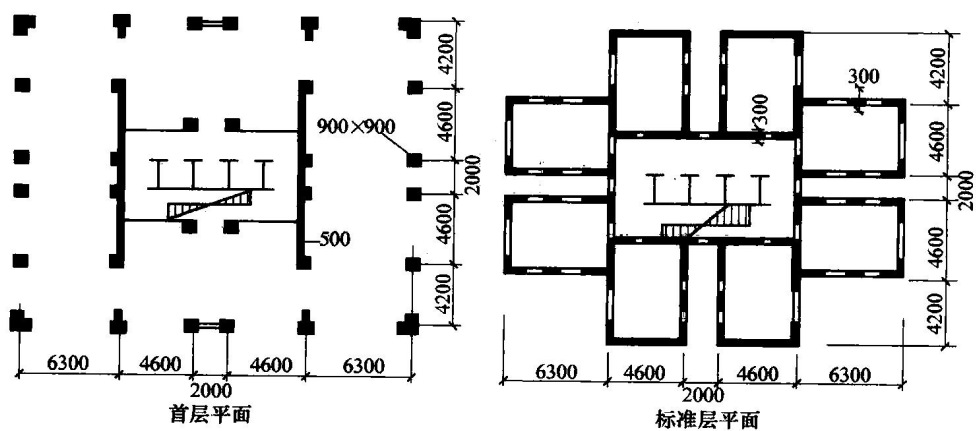
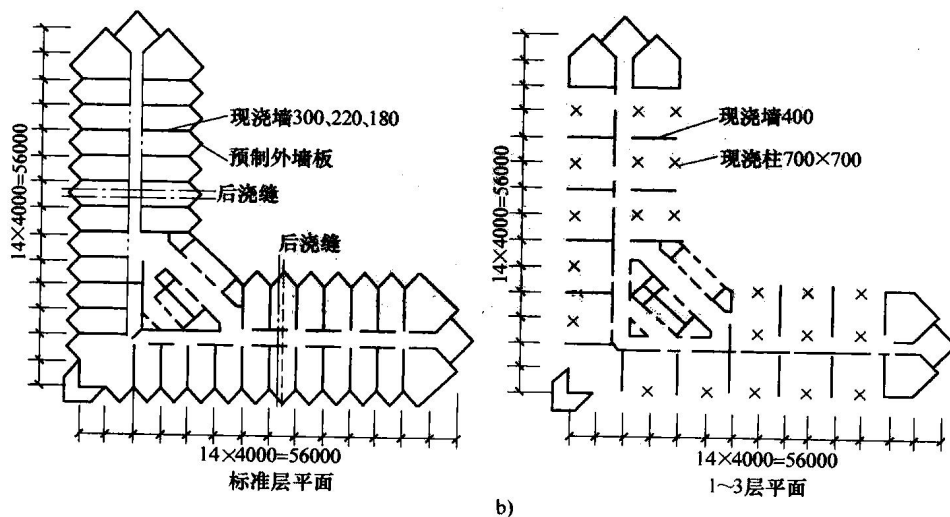


图 1-11 底层大空间塔式住宅楼



a)



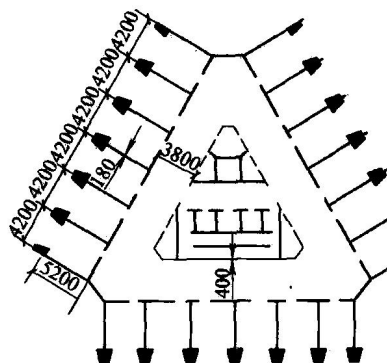
b)

图 1-12 北京西苑饭店 (29 层, 93.06m)

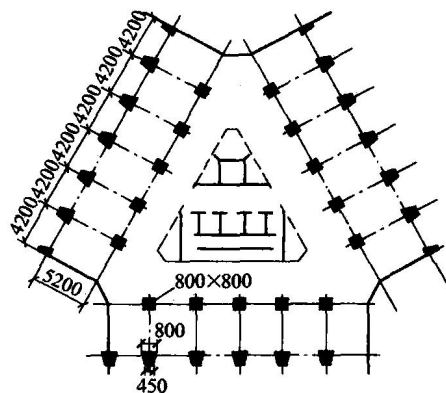
a) 效果图 b) 平面布置图



a)



b)

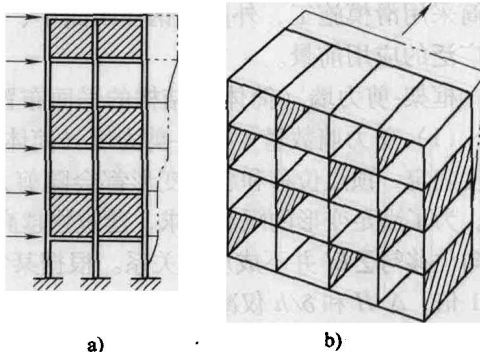


c)

图 1-13 北京兆龙饭店 (22 层, 73.2m)

a) 效果图 b) 标准层结构平面 c) 1~3 层结构平面

(2) 跳层剪力墙结构 图 1-14a 所示为跳层剪力墙结构中的一片基本单元, 剪力墙与柱隔层交替布置。当把许多片这样的单元组合成结构时, 相邻两片的剪力墙布置互相错开, 即形成图 1-14b 所示的跳层结构。跳层剪力墙结构的优点是楼板的跨度不大, 既可获得较大空间的房间 (两开间为一房间), 又可避免由柱形成的软弱层。如果从单片结构看, 它的侧向变形将集中在柱层, 这对柱的受力十分不利。但当相邻两片抗侧力结构的剪力墙交替布置时, 便可减小柱的侧向变形, 使整个结构出现基本是弯曲型的变形曲线。跳层剪力墙结构在国内尚无建筑实例, 在这方面的研究也较少。它的结构设计方法、抗震设计及构造等问题都需进行研究和实践, 以便取得经验。



a)

b)

1-14 跳层剪力墙结构示意图

a) 单片结构变形 b) 整体结构变形

1.2.3 框架-剪力墙结构（框架-筒体结构）体系

在框架结构中设置部分剪力墙，使框架和剪力墙相结合起来，取长补短，共同抵抗水平荷载，这种体系称为框架-剪力墙结构体系。如果把剪力墙布置成筒体，又可称为框架-筒体结构体系。筒体的承载能力、侧向刚度和抗扭能力都较单片剪力墙有了很大的提高，在结构上也是提高材料利用率的一种途径。在建筑布置上，利用筒体作电梯间、楼梯间和竖向管道的通道等也是十分合理的。

框架-剪力墙（筒体）结构中，由于剪力墙刚度大，剪力墙将承担大部分水平力（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。框架则在承担少部分的水平力时主要承担竖向荷载，提供了较大的使用空间。

框架本身在水平荷载作用下呈剪切变形，剪力墙则呈弯曲变形。当两者通过楼板协同工作，共同抵抗水平荷载时，变形必须协调，如图 1-15 所示，侧向变形将呈弯剪型。其上下各层层间变形趋于均匀，并减小了顶点侧移。同时，框架各层层剪力趋于均匀，各层梁柱截面尺寸和配筋也趋于均匀。

由于上述受力变形特点，框架-剪力墙（筒体）结构的刚度和承载能力远远大于框架结构的刚度和承载能力，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，这种结构形式都用来建造较高的高层建筑。目前，框架-剪力墙结构在我国得到广泛的应用。

通常，当建筑高度不大时，如 10 ~ 20 层，可利用单片剪力墙作为基本单元。我国较早期的框架-剪力墙结构都属于这种类型，如图 1-10 所示的北京国际饭店东楼。当采用剪力墙筒体作为基本单元时，建造高度可增大到 20 ~ 60 层，如上海的联谊大厦（29 层，106.5m 高），如图 1-16 所示。把筒体布置在内部，形成核心筒，外部柱子的布置便可十分灵活，可形成体型多变的高层塔式建筑。典型框架-筒体的结构平面如图 1-17 所示。

框架-筒体结构的另一个优点是它适于采用钢筋混凝土内筒和钢框架组成的组合结构。内筒采用滑模施工，外围的钢柱断面小、开间大、跨度大，架设安装方便，因而这种体系有着广泛的应用前景。

框架-剪力墙（筒体）结构的平面布置要注意以下两方面问题：

(1) 剪力墙数量 框架-剪力墙（筒体）结构中，结构的抗侧移刚度主要由剪力墙的抗弯刚度确定，顶点位移和层间变形都会随剪力墙 $\sum EI$ （全部剪力墙抗弯刚度总和）的增加而减小。为了满足变形的限制要求，建筑物越高，要求 $\sum EI$ 越大。但是应当注意，在地震作用下，侧向位移与 $\sum EI$ 并不成反比关系。根据某实际工程计算，在其他条件不变的情况下， $\sum EI$ 增加 1 倍， Δ/H 和 δ/h 仅减少 13% ~ 19%（ Δ 和 δ 分别为顶点侧移和最大层间变形， H 、 h 分别为建筑物总高及层高）。这是因为增加剪力墙的数量及抗弯刚度 $\sum EI$ 时，结构刚度加大，地震作用就会加大。实例分析表明，当 $\sum EI$ 增大 1 倍时，地震力将增大 20%。因此，过多增加剪力墙的数量是不经济的。在一般工程中，以满足位移限制作为设置剪力墙数量的依据较为合适。

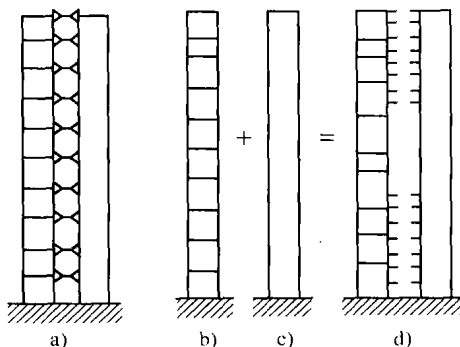


图 1-15 框架-剪力墙协同工作