



住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材

高等学校土木工程学科专业指导委员会规划教材
(按高等学校土木工程本科指导性专业规范编写)

高层建筑结构设计

(建筑工程专业方向适用)

赵 鸣 李国强 主编
周建龙 主审

中国建筑工业出版社

住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材
高等学校土木工程学科专业指导委员会规划教材
(按高等学校土木工程本科指导性专业规范编写)

高层建筑结构设计

(建筑工程专业方向适用)

赵 鸣 李国强 主编
周建龙 主审

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

高层建筑结构设计/赵鸣,李国强主编. —北京:中国工业出版社, 2017.8

住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材. 高等学校土木工程学科专业指导委员会规划教材. 按高等学校土木工程本科指导性专业规范编写. 建筑工程专业方向适用

ISBN 978-7-112-20906-4

I. ①高… II. ①赵…②李… 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(2017)第 150685 号

本书为住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材,按照高等学校土木工程学科专业指导委员会编制的《高等学校土木工程本科指导性专业规范》编写。本书主要包括:高层建筑结构的体系及布置、高层建筑结构荷载与结构设计的一般要求、高层建筑结构分析、楼盖设计、竖向结构设计、节点设计以及复杂高层结构设计的要点。为便于读者学习和应用,书中主要章节附有典型例题、思考题与习题。

本书可作为我国土木工程专业本科教材,也可供从事高层建筑结构设计的技术人员参考使用。

本书作者制作了配套的教学课件,有需要的教师可发送邮件至:jiangongkejian@163.com 索取。

责任编辑:吉万旺 王 跃

责任校对:李欣慰 关 健

住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材
高等学校土木工程学科专业指导委员会规划教材
(按高等学校土木工程本科指导性专业规范编写)

高层建筑结构设计

(建筑工程专业方向适用)

赵 鸣 李国强 主编

周建龙 主审

*

中国工业出版社出版、发行(北京海淀三里河路9号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京科地亚盟排版公司制版

北京富生印刷厂印刷

*

开本:787×1092毫米 1/16 印张:16¼ 字数:338千字

2017年12月第一版 2017年12月第一次印刷

定价:32.00元(赠课件)

ISBN 978-7-112-20906-4

(30554)

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)

本系列教材编审委员会名单

主任：李国强

常务副主任：何若全 沈元勤 高延伟

副主任：叶列平 郑健龙 高波 魏庆朝 咸大庆

委员：(按拼音排序)

陈昌富	陈德伟	丁南宏	高辉	高亮	桂岚
何川	黄晓明	金伟良	李诚	李传习	李宏男
李建峰	刘建坤	刘泉声	刘伟军	罗晓辉	沈明荣
宋玉香	王跃	王连俊	武贵	肖宏	徐蓉
徐秀丽	许明	许建聪	杨伟军	易思蓉	于安林
岳祖润	赵宪忠				

组织单位：高等学校土木工程学科专业指导委员会

中国建筑工业出版社

出版说明

近年来,高等学校土木工程学科专业教学指导委员会根据其研究、指导、咨询、服务的宗旨,在全国开展了土木工程学科教育教学情况的调研。结果显示,全国土木工程教育情况在2000年以后发生了很大变化,主要表现在:一是教学规模不断扩大,据统计,目前我国有超过400余所院校开设了土木工程专业,有一半以上是2000年以后才开设此专业的,大众化教育面临许多新的形势和任务;二是学生的就业岗位发生了很大变化,土木工程专业本科毕业生中90%以上在施工、监理、管理等部门就业,在高等院校、研究设计单位工作的本科生越来越少;三是由于用人单位性质不同、规模不同、毕业生岗位不同,多样化人才的需求愈加明显。土木工程专业教指委根据教育部印发的《高等学校理工科本科指导性专业规范研制要求》,在住房和城乡建设部的统一部署下,开展了专业规范的研制工作,并于2011年由中国建筑工业出版社正式出版了土建学科各专业第一本专业规范——《高等学校土木工程本科指导性专业规范》。为紧密结合此次专业规范的实施,土木工程教指委组织全国优秀作者按照专业规范编写了《高等学校土木工程学科专业指导委员会规划教材(专业基础课)》。本套专业基础课教材共20本,已于2012年底前全部出版。教材的内容满足了建筑工程、道路与桥梁工程、地下工程和铁道工程四个主要专业方向核心知识(专业基础必需知识)的基本需求,为后续专业方向的知识扩展奠定了一个很好的基础。

为更好地宣传、贯彻专业规范精神,土木工程教指委组织专家于2012年在全国二十多个省、市开展了专业规范宣讲活动,并组织开展了按照专业规范编写《高等学校土木工程学科专业指导委员会规划教材(专业课)》的工作。教指委安排了叶列平、郑健龙、高波和魏庆朝四位委员分别担任建筑工程、道路与桥梁工程、地下工程和铁道工程四个专业方向教材编写的牵头人。于2012年12月在长沙理工大学召开了本套教材的编写工作会议。会议对主编提交的编写大纲进行了充分的讨论,为与先期出版的专业基础课教材更好地衔接,要求每本教材主编充分了解前期已经出版的20种专业基础课教材的主要内容和特色,与之合理衔接与配套、共同反映专业规范的内涵和实质。此次共规划了四个专业方向29种专业课教材。为保证教材质量,系列教材编审委员会邀请了相关领域专家对每本教材进行审稿。

本系列规划教材贯彻了专业规范的有关要求,对土木工程专业教学的改革和实践具有较强的指导性。在本系列规划教材的编写过程中得到了住房和城乡建设部人事司及主编所在学校和单位的大力支持,在此一并表示感谢。希望使用本系列规划教材的广大读者提出宝贵意见和建议,以便我们在重印再版时得以改进和完善。

高等学校土木工程学科专业指导委员会
中国建筑工业出版社
2014年4月

前 言

改革开放以来,高层建筑结构在我国取得了长足的发展,在住宅、办公等建筑中得到广泛应用,建设高度和建设规模均居世界各国前列。

高层建筑设计是土木工程专业一门重要的专业课。编者多年来一直从事高层结构的教学和科研工作,本教材是编者结合多年的教学心得和高层结构的新进展而编写的。着重于培养学生的结构设计概念,对结构分析方法和抗震设计也有较为深入的讨论。可以作为土木工程专业的教材,也可供工程技术人员参考。

本教材将钢筋混凝土、钢以及组合高层结构的内容合并编写,以满足宽口径教学需求。在教学过程中可根据需要对相关内容进行取舍。在教材体系设计上,对荷载、结构选型、结构分析方法进行综合介绍,而对构件设计则分别按水平构件、竖向构件和节点设计进行介绍,以节省授课时间,在教学过程中应注意知识体系的贯通。

本教材钢和组合高层结构部分内容由李国强编写,其余部分由赵鸣编写。例题由硕士研究生曲阳帮助完成。本书由华东建筑设计研究院周建龙总工程师主审。

我们恳请读者对本书中的缺点与错误提出批评指正。

编 者

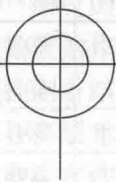
2017年4月

目 录

第1章 绪论	1	3.2.2 风荷载计算	39
1.1 高层建筑结构发展概况	1	3.2.3 横向风振动	43
1.2 高层建筑结构的受力特点	2	3.3 地震作用	46
1.3 高层建筑结构的发展趋势	4	3.3.1 一般原则	46
思考题与习题	5	3.3.2 水平地震作用	47
第2章 高层建筑结构体系及布置	6	3.3.3 竖向地震作用	52
本章知识点	6	3.4 非荷载作用	52
2.1 结构体系简介	6	3.4.1 温度作用	52
2.1.1 框架	6	3.4.2 收缩与徐变	53
2.1.2 框架-支撑	8	3.5 荷载组合	54
2.1.3 剪力墙	12	3.5.1 高层建筑荷载组合的特点	54
2.1.4 框架-剪力墙	14	3.5.2 荷载组合	54
2.1.5 筒体	16	3.6 高层建筑的位移与舒适度要求	56
2.1.6 巨型结构	18	3.6.1 侧移限值	56
2.2 结构布置原则	18	3.6.2 舒适度	57
2.2.1 抗震设计原则	18	3.7 高层建筑稳定与抗倾覆要求	58
2.2.2 适用高度及高宽比	20	3.8 基于性能的设计要求	60
2.2.3 总体布置原则	22	小结及学习指导	61
2.2.4 基础形式	26	思考题与习题	62
2.2.5 楼盖形式	28	第4章 结构分析	63
2.2.6 结构设缝原则	30	本章知识点	63
2.2.7 减少结构侧移的措施	33	4.1 结构分析方法	63
2.3 高层结构布置实例	35	4.2 有限元分析法	63
小结及学习指导	37	4.2.1 有限元方法的基本思想	63
思考题与习题	37	4.2.2 单元的类型与划分	64
第3章 高层结构荷载与结构设计一般要求	38	4.3 简化分析法	65
本章知识点	38	4.3.1 框架结构	66
3.1 竖向荷载	38	4.3.2 框架-支撑结构	71
3.1.1 恒载	38	4.3.3 剪力墙结构	74
3.1.2 活载	38	4.3.4 框架-剪力墙结构	85
3.2 风荷载	38	4.3.5 筒体结构	97
3.2.1 基本风压	39	4.3.6 钢框架-混凝土芯筒结构	98
		4.4 结构弹塑性地震反应分析	101

4.4.1 结构的弹塑性性质	101
4.4.2 结构弹塑性地震反应分析的逐步 积分法	103
小结及学习指导	108
思考题与习题	109
第5章 楼盖设计	110
本章知识点	110
5.1 楼盖布置	110
5.1.1 柱网布置	110
5.1.2 主、次梁的布置	110
5.2 楼板设计	112
5.2.1 钢筋混凝土楼板	112
5.2.2 压型钢板混凝土楼板	112
5.3 梁设计	122
5.3.1 钢筋混凝土梁	122
5.3.2 钢-混凝土组合梁	127
5.3.3 偏心支撑梁段	146
小结及学习指导	148
思考题与习题	148
第6章 竖向构件设计	150
本章知识点	150
6.1 柱设计	150
6.1.1 钢筋混凝土柱	150
6.1.2 纵向钢筋的连接与锚固	162
6.1.3 钢柱	163
6.1.4 钢管混凝土柱	170
6.1.5 型钢混凝土柱	174
6.2 支撑设计	189
6.2.1 普通支撑	189
6.2.2 屈曲约束支撑	191
6.3 剪力墙设计	192
6.3.1 剪力墙的配筋形式	192
6.3.2 剪力墙墙肢承载力	193
6.3.3 剪力墙的构造要求	196

小结及学习指导	200
思考题与习题	200
第7章 节点设计	201
本章知识点	201
7.1 梁-柱节点	201
7.1.1 钢筋混凝土结构节点	201
7.1.2 钢结构节点	207
7.2 梁-墙结构	220
7.2.1 钢筋混凝土梁-墙节点	220
7.2.2 钢梁-墙节点	224
7.3 钢结构其他节点	227
7.3.1 主梁与主梁的拼接	227
7.3.2 次梁与主梁的连接	228
7.3.3 柱-柱拼接	230
7.3.4 支撑与框架的连接	237
小结及学习指导	238
思考题与习题	239
第8章 复杂高层结构设计要点	240
本章知识点	240
8.1 框支剪力墙及设计要点	240
8.1.1 在垂直荷载作用下框支剪力墙的 受力性能	240
8.1.2 在水平荷载作用下框支剪力墙的 受力性能及设计要点	241
8.2 带转换层结构及设计要点	242
8.3 带加强层高层建筑结构及设计 要点	244
8.4 多塔楼结构及设计要点	245
8.5 连体高层结构及设计要点	246
小结及学习指导	247
思考题与习题	247
参考文献	248



第1章

绪论

1.1 高层建筑结构发展概况

高层建筑作为城市发展的象征,首先是在美国大批出现的,是现代城市人口高度集中、土地不足而地价昂贵的产物。在1883年出现了第一幢完全由钢框架承重的高层建筑——位于芝加哥的11层的家庭保险大厦(Home Insurance Building);1931年建成的纽约帝国大厦(Empire State Building, 381m, 102层)、1972年建成的纽约世界贸易中心姐妹楼(World Trade Center, 417m, 415m, 110层)和1974年建成的芝加哥威利斯大厦 Willis Tower, 442m, 110层)是美国高层建筑的代表作。“9·11”恐怖袭击导致世界贸易中心大厦倒塌,造成令人发指的人间惨剧。其后高层建筑作为经济和技术实力的象征,发展并未止步,反而发展更快。在世界贸易中心大厦遗址建造的世贸中心一号楼(541m, 82层)成为美国最高的建筑。1985年以来,随着亚太地区经济的强劲发展,亚洲的日本、韩国、马来西亚、新加坡、阿联酋等建成了大量的高层建筑,其中,建于迪拜的哈利法塔(Burj Dubai, 800m, 200层,图1-1)是目前世界最高的高层建筑。我国的高层建筑近30年来也得到了蓬勃的发展,目前中国已是全球拥有250m以上超高层建筑最多的国家,共有122座,占全球总数一半以上。金茂大厦(421m、88层)、环球金融中心(492m, 101层)和上海中心(632m, 118层)构成了上海陆家嘴独特的天际线,上海中心是目前我国最高的高层建筑(图1-2),也是世界第二的高层建筑。表1-1给出了目前世界最高20座建筑的列表。



图1-1 迪拜塔

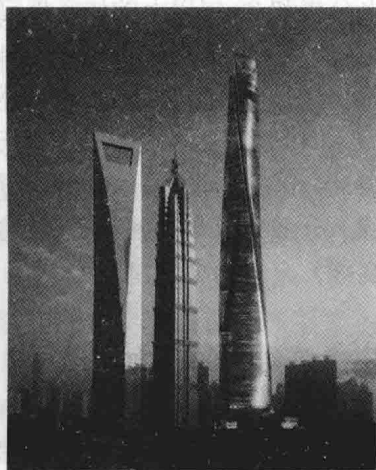


图1-2 金茂大厦、环球金融中心和上海中心

全球最高的20座超高层建筑

表 1-1

排名	楼名	高度	层数	城市	结构材料	建成时间
1	哈利法塔	828.0	163	迪拜	钢-混凝土	2010
2	上海中心	632.0	125	上海	组合	2014
3	皇家钟楼酒店	601.0	120	麦加	钢-混凝土	2011
4	世界贸易中心1号楼	541.3	105	纽约	组合	2013
5	台北101大厦	509.0	101	台北	组合	2004
6	环球金融中心	492.0	101	上海	组合	2008
7	环球贸易广场	484.0	108	香港	组合	2010
8	双子塔1座	451.9	88	吉隆坡	组合	1998
9	双子塔2座	451.9	88	吉隆坡	组合	1998
10	绿地广场紫峰大厦	450.0	66	南京	组合	2009
11	威尔斯塔	442.1	108	芝加哥	钢	1974
12	京基金金融中心	441.8	100	深圳	组合	2011
13	国际金融中心	438.6	103	广州	组合	2010
14	花园街432号	425.5	85	纽约	混凝土	2015
15	特朗普国际酒店大厦	423.2	98	芝加哥	混凝土	2009
16	金茂大厦	420.5	88	上海	组合	1999
17	公主大厦	413.4	101	迪拜	钢-混凝土	2012
18	艾哈姆拉大厦	412.6	80	科威特	混凝土	2011
19	国际金融中心2期	412.0	88	香港	组合	2003
20	马丽娜23大厦	392.4	88	迪拜	混凝土	2012

目前,世界各国对于高层建筑的定义有着不同的规定。美国规定高度22~25m以上或7层以上的建筑为高层建筑;法国规定高度50m以上的居住建筑、28m以上的其他建筑为高层建筑;英国规定高度24.3m以上的建筑为高层建筑;日本则把8层以上或高度31m以上的建筑称为高层建筑,并把30层以上的旅馆、办公楼和20层以上的住宅规定为超高层建筑。根据我国《建筑设计防火规范》,10层以上的居住建筑和24m以上的其他民用建筑为高层建筑,而根据我国《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3—2010(以下简称《高规》),10层和10层以上或房屋高度大于28m的建筑物视作高层建筑。实际上,凡在设计、施工、设备、环境等涉及与高度有关的因素时,如风、地震、温度、电梯、计算等,即可称为高层建筑。以后本章的叙述如无特别说明,均指按《高规》定义的高层建筑。

1.2 高层建筑结构的受力特点

为了保证高层建筑结构的安全性、适用性、耐久性,有必要充分了解高层建筑结构设计的特点。

1. 水平荷载成为决定因素

所有的建筑结构都需要承受垂直荷载和风产生的水平荷载，同时还要抵抗地震的作用。但在低层和多层房屋结构中，往往是以重力为代表的竖向荷载控制着结构设计，水平荷载产生的内力和位移很小，对结构的影响也较小。而在高层建筑中，尽管竖向荷载仍对结构设计产生重要影响，但水平荷载却起着决定性作用。

一方面，因为楼房自重和楼面使用荷载在竖向构件中所引起的轴力和弯矩的数值，仅与楼房高度的一次方成正比；而水平荷载对结构产生的倾覆力矩，以及由此在竖向构件中引起的轴力，是与楼房高度的二次方成正比的；另一方面，对某一定高度的楼房来说，竖向荷载大体上是定值，而作为水平荷载的风荷载和地震作用，其数值随结构动力特性的不同而有较大幅度的变化。

2. 侧移成为控制指标

与较低楼房不同，结构侧移已成为高层建筑结构设计中的关键因素。从图 1-3 可以看出，结构的侧向位移与建筑高度 H 的 4 次方成正比。随着楼房高度的增加，水平荷载下结构的侧移变形迅速增大，因而结构在水平荷载作用下的侧移应被控制在某一定度之内。

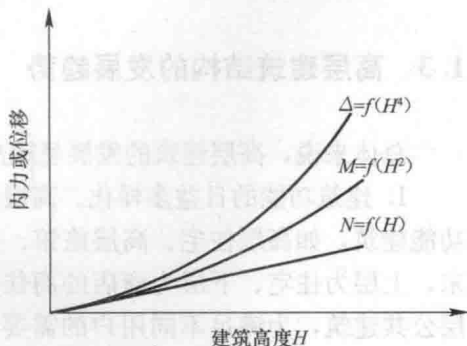


图 1-3 建筑物高度对内力和位移的影响

另外，高楼的使用功能和安全性能与结构的抗侧移能力是密切相关的，这表现在：

(1) 过大的侧向变形会导致填充墙或建筑装饰开裂或损坏，使电梯轨道变形造成电梯不能正常运行。

(2) 高层建筑的重心位置较高，过大的侧向变形将使结构因 $P-\Delta$ 效应而产生较大的附加应力，尤其是竖向构件，当侧向位移增大时，偏心加剧，当产生的附加内力值超过一定数值时，将会导致房屋侧塌。

3. 轴向变形、剪切变形对结构的影响不能忽略

通常在低层建筑结构分析中，只考虑弯矩影响，因为轴力影响很小，而剪力影响更小，基本可以忽略。但是对于高层建筑结构来说，轴向变形和剪切变形就不能忽略了。由于层数多，高度大，高层建筑结构的轴力值大，再加上沿高度积累的轴向变形显著，轴向变形会使高层建筑结构的内力在数值与分布上产生显著的改变。

同时，我们还应注意到高层建筑结构所受的竖向荷载并不是在结构完成之后一次施加的。例如，竖向荷载中最重要的部分——结构自重——在施工过程中是逐层施加的，轴向压缩变形在施工过程中分阶段完成，并在各楼层标高处找平。此外，高层建筑的轴向变形还会对预制构件的下料长度产生影响。这就要求根据轴向变形计算值，对下料长度进行调整。

4. 结构延性是重要设计指标

有抗震设防的高层建筑结构设计,除要考虑正常使用时的竖向荷载、风荷载外,还必须使结构具有良好的抗震性能,做到“小震不坏、中震可修、大震不倒”。

相对于较低楼房而言,高层建筑结构更柔一些,在地震作用下的变形更大一些。为了使结构在进入塑性变形阶段后仍具有较强的变形能力,避免倒塌,特别需要在构造上采取恰当的措施,来保证结构具有足够的延性。

5. 对舒适度提出了要求

除了要保证具有足够的承载能力和变形能力之外,还需要保证房屋具有足够的舒适度,以防止出现因振动等因素引起的不适或恐惧。结构在风荷载作用下的振动加速度 a 超过 $0.015g$ (即 0.15m/s^2)时,就会影响建筑内使用人员的正常生活与工作。

1.3 高层建筑结构的发展趋势

总体来说,高层建筑的发展呈现出如下的特点:

1. 建筑功能的日益多样化。高层建筑在20世纪五六十年代多为单一用途功能建筑,如高层住宅、高层旅馆、高层办公楼等。而到了20世纪70年代末,上层为住宅、下层为商店的商住楼开始兴建。目前,层数日益增多的高层公共建筑,为满足不同用户的需要,同时也为适应现代社会高效率、快节奏的要求,发展为功能更为综合的高层大厦。不同的功能对结构的要求不同,因而结构变得越来越复杂。

2. 建筑层数不断增加,新高度不断被突破。由于城市的建设用地日益紧张,加之建筑功能和城市规划的需要,近年来高层建筑的层数越来越多,原有的高度不断被突破。到2020年,全球250m以上的超高层建筑将达到近500座,超过9成以上将在中国。超高层建筑的不断涌现,必然对现有的结构设计带来新的挑战。

3. 建筑结构体系日趋多样化。20世纪50年代以前,我国高层建筑结构基本上是钢筋混凝土三大常规体系:框架结构、剪力墙结构和框架-剪力墙结构。随着建筑物高度的增加和建筑表现艺术的提高,平面布置和竖向体型日益复杂,建筑物在地震作用及风荷载等水平荷载作用下设防要求的提高,使得这三大结构体系已难以满足要求。空间整体受力更为合理且抗侧力刚度更大的筒体结构得到了广泛应用。另外还有一些更新颖的结构形式也得到了应用,取得了良好的效果,如巨型框架体系和框架-支撑体系等。目前超高层建筑所采用的结构体系主要有以下四种:框架-筒体体系、多筒体系、框架-支撑体系、巨型框架体系。

4. 目前超高层建筑中,结构控制,结构安全自动监测,各类阻尼器等新技术以及高强混凝土、高强钢材等新材料的应用不断加快。随着全球低碳概念的盛行,绿色环保和高效节能将是超高层建筑开发商、设计师及行业专家

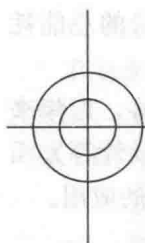
未来高度关注的新领域。提升节能生态技术，有利于降低建筑自身的总能耗并减少建筑运营对周边环境的影响。

5. 预制体系因其在节能、环保和质量控制方面具有的独特优势，近年来得到国家的强力推动。随着对施工技术、一体化技术和抗震性能设计等方面的不断进步，预制体系在高层住宅、办公等建筑中将得到更广范围的应用。

思考题与习题

1-1 什么条件下的房屋可称为高层建筑？

1-2 高层建筑结构今后将如何发展？



第2章

高层建筑结构体系及布置

本章知识点

【知识点】 高层建筑结构体系、受力特征、适用范围，结构布置及选型，楼面结构选型。

【重点】 高层结构抗震设计原则，高层结构的规则性。

【难点】 支撑系统、高层结构减小侧移的方法。

2.1 结构体系简介

2.1.1 框架

框架结构一般由竖直的柱和水平横梁所组成，在高层建筑中，梁柱节点必须为刚接。几种典型的框架梁柱布置如图 2-1 所示。

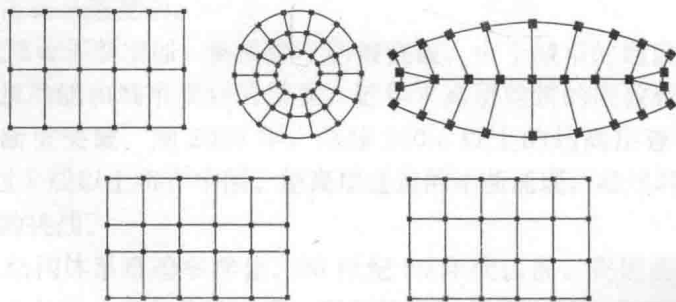


图 2-1 典型框架梁柱布置示意图

框架结构按所用材料的不同，可分为钢框架和钢筋混凝土框架。钢框架结构具有自重轻、抗震性能好、施工速度快等优点。同时也具有用钢量大、造价高以及耐火、耐腐蚀性能差等缺点。

钢筋混凝土框架结构按施工方法不同可分为整体式、半现浇式、装配式和装配整体式等。

整体式框架即梁、柱、楼盖全部在现场浇筑。半现浇式框架是指梁、柱为现浇，楼板为预制或柱为现浇、梁板为预制的框架结构。装配式框架是指梁、柱、楼板均为预制，现场只进行装配。装配整体式框架是指梁、柱、楼板均为预制，在吊装就位后，焊接或绑扎节点区钢筋，并在现场浇捣混凝土，

形成框架节点，将梁、柱及楼板连成整体。由于现浇框架具有良好的整体性和抗震能力，在地震区和高层建筑中应为首选。装配整体式框架既具有良好的整体性和抗震能力，又可采用预制构件，减少现场浇捣混凝土工作量，且可省去接头连接件，用钢量少，因此，它兼有现浇式框架和装配式框架的优点，但节点施工复杂。近年来，装配式（预制）结构获得较大发展，新一代装配式框架的抗震性能可以满足抗震需求，在工程中应用日渐增多。

根据不同的楼板布置方案，承重框架的布置方案有横向框架承重方案、纵向框架承重方案和纵横向框架混合承重方案等几种。

横向框架承重方案是在横向布置框架主梁，以支承楼板，在纵向布置连系梁，如图 2-2 (a) 所示。横向框架往往跨数少，承受风力大，主梁沿横向布置有利于提高建筑物的横向抗侧刚度。而纵向框架则往往跨数较多，承受风力小，所以在纵向仅需按构造要求布置连系梁。这也有利于房屋室内的采光和通风。

纵向框架承重方案是在纵向布置框架主梁以承受楼板传来的荷载，在横向布置连系梁，如图 2-2 (b) 所示。因为楼面荷载由纵向梁传至柱子，所以横梁高度较小，有利于设备管线的穿行，当房屋开间方向需要较大空间时，可获得较高的室内净高；另外，当地基土的物理力学性质在房屋纵向有明显差异时，可利用纵向框架的刚度来调整房屋的不均匀沉降。纵向框架承重方案的缺点是房屋的横向刚度较差，进深尺寸受预制板长度的限制。

纵横向框架混合承重方案是在两个方向均需布置框架主梁以承受楼面荷载。当采用预制板楼盖时其布置如图 2-2 (c) 所示。当采用现浇楼盖时其布置如图 2-2 (d) 所示。当楼面上作用有较大荷载，或楼面有较大开洞，或柱网布置为正方形或接近正方形时，常采用这种承重方案。纵横向框架混合承重方案具有较好的整体工作性能，框架柱均为双向偏心受压构件，为空间受力体系，因此也称为空间框架。

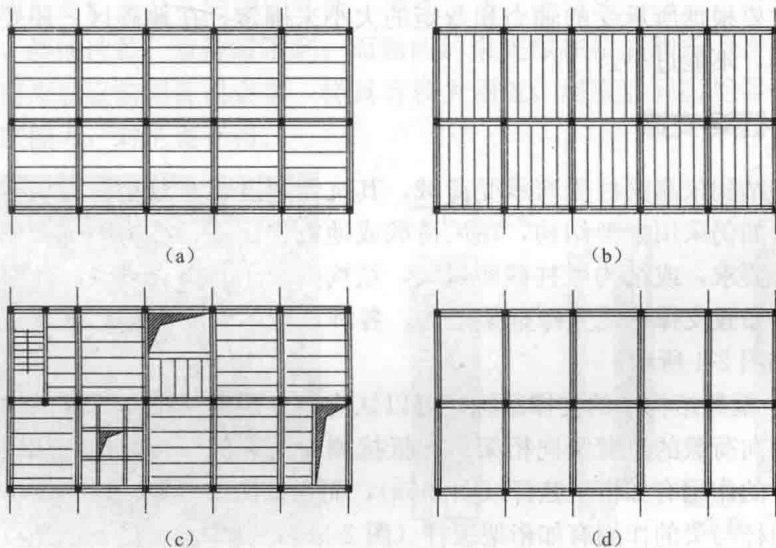


图 2-2 楼板布置方案

高层建筑框架结构一般为现浇楼面，特别是在地震区，由于地震作用方向难以确定，框架均为空间框架，无横向承重和纵向承重之说。

最常见的框架结构计算简图如图 2-3 (a) 所示，受到竖向荷载和水平荷载的共同作用。竖向荷载如结构自重、建筑装修自重、楼面活荷载等，一般可简化为沿框架梁分布的线荷载或集中荷载。在竖向荷载作用下框架结构的弯矩如图 2-3 (b) 所示。水平荷载如风和地震作用，一般都可简化为作用于框架梁柱节点上的集中力。在水平荷载作用下框架结构的弯矩如图 2-3 (c) 所示，侧移如图 2-3 (d) 所示，呈剪切型。框架结构的抗侧刚度小，在水平荷载作用下的位移较大，在地震作用下容易由于大变形而引起非结构构件的损坏，因此其建设高度受到限制，一般在非地震区不宜超过 60m，地震区不宜超过 50m。

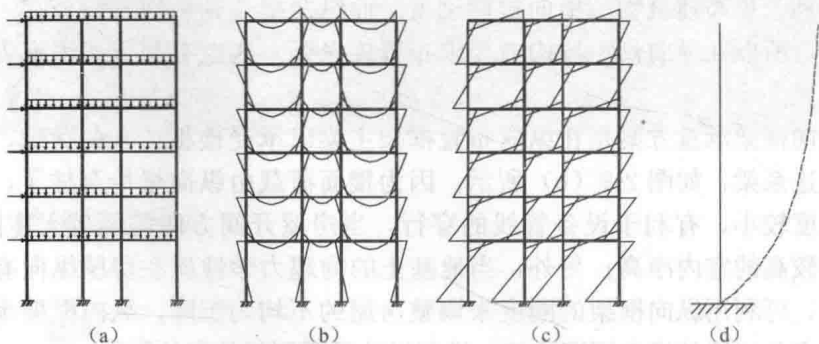


图 2-3 框架结构计算简图

与其他高层建筑结构体系相比，框架结构具有布置灵活、造型活泼等优点，容易满足建筑布置使用功能的要求，如会议厅、休息厅、餐厅和贸易厅等的布置。同时，经过合理设计，框架结构可以具有较好的延性和抗震性能。

通常是根据建筑功能要求确定的柱网和层高布置梁和柱。梁的跨度受到梁断面尺寸的限制，过大的梁断面会增加层高，是不经济的，对抗震也不利。柱断面主要根据所承受的轴力和弯矩的大小来确定，在地震区，还要受轴压比的限制，不能过小。

2.1.2 框架-支撑

框架结构依靠梁柱受弯承受荷载，其抗侧刚度相对较小。当结构的高度较高时，如仍采用框架结构，在风荷载或地震作用下，结构的抗侧刚度难以满足设计要求，或结构梁柱截面过大，结构失去了经济合理性，此时可在框架结构中布置支撑构成支撑框架结构，各种典型的中心支撑形式及抗侧力传力路径如图 2-4 所示。

支撑-框架结构中的支撑系统，可以认为是主要通过柱与支撑的轴向刚度以抵抗侧向荷载的悬臂竖向桁架。在抵抗侧向荷载的倾覆力矩作用时，支撑系统中柱的作用有如桁架弦杆（图 2-5a），而在抵抗水平剪力时，支撑系统中的支撑斜杆与梁的作用有如桁架腹杆（图 2-5b），其中斜杆的受压或受拉，取决于其倾斜方向。一般支撑系统的侧向变形以整体弯曲变形为主，另有小部

分剪切变形，如图 2-5 (c) 所示。

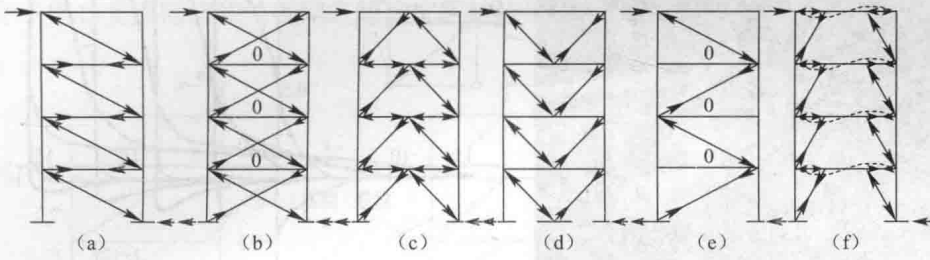


图 2-4 典型中心支撑形式及抗侧力传力路径

(a) 单斜杆支撑；(b) X形支撑；(c) 人字支撑；(d) V形支撑；(e) K形支撑；(f) 角支撑

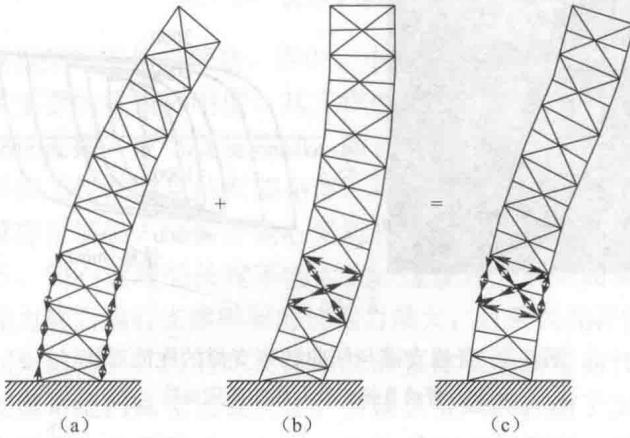


图 2-5 支撑系统的变形

(a) 弯曲变形；(b) 剪切变形；(c) 组合变形

普通支撑在地震作用下很容易发生屈曲破坏 (图 2-6)，为防止支撑屈曲可对普通支撑加设约束套筒 (图 2-7)，构成屈曲约束支撑。套筒不起承受支撑轴向力的作用，仅起阻止支撑屈曲的作用。图 2-8 是普通支撑和屈曲约束支撑在地震反复作用力下的滞回性能，显然普通支撑受压屈曲后，承载力和刚度丧失，耗能性差，对抗震不利；而屈曲约束支撑在拉力和压力作用下均只屈服，而未屈服前同普通支撑一样具有较大刚度，屈服后同阻尼器一样具有较大耗能能力，对抗震有利。

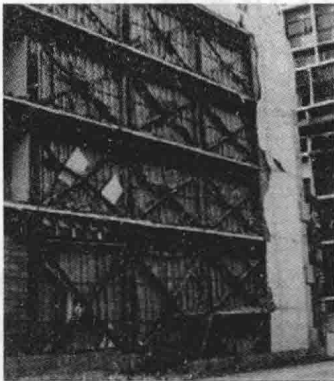


图 2-6 普通支撑在地震下的破坏

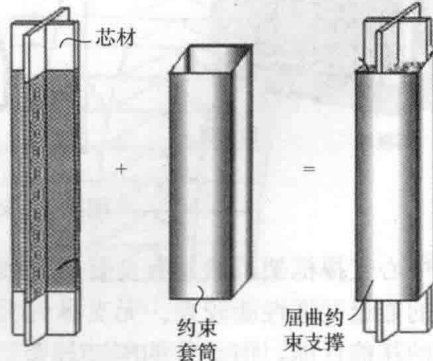


图 2-7 屈曲约束支撑构成