

# 高层建筑工程地质



## 内 容 提 要

本书是我国第一本较系统论述高层建筑工程地质方面的教科书。这次是第二版,在第一版的基础上又修改和补充了一些内容。全书共分三篇。第一篇高层建筑的结构体系和地基基础,介绍了高层建筑的三种结构体系与结构体系的选择、高层建筑的各种基础类型及其选择的工程地质依据、地基土的工程地质分类和工程地质性质等。第二篇高层建筑工程地质问题分析,内容包括场地稳定性问题、地基承载力和沉降问题、桩的动测法、基础的施工工程地质问题等。第三篇工程地质勘察,介绍工程地质勘察要点、地基评价内容和勘察中的试验工作。

书中除对有关原理作必要的阐明外,对经常遇到的高层建筑工程地质主要问题均作了详细讨论,实用性强,还附有工程实例和例题,便于读者学习领会。

本书可作为地质院校工程地质专业教材,还可供水文地质工程地质专业技术人员、土建科技人员参阅。

高等学校教材  
高层建筑工程地质  
(第二版) 匡有为 编著

---

出 版 中国地质大学出版社(武汉市·喻家山·邮政编码 430074)  
责任编辑 贾晓青 责任校对 熊华珍  
印 刷 武汉皇冠彩印厂  
发 行 湖北省新华书店经销

---

开本 787×1092 1/16 印张 12.75 字数 330 千字  
1993 年 7 月第 2 版 1996 年 6 月第 3 次印刷 印数 4501—7500 册

---

ISBN 7-5625-0838-1094-6 定价:10.50 元

## 第一版 前 言

随着我国经济建设的发展,自进入 70 年代以来,由于建筑材料的革新、电子计算机在设计中得到应用以及新的施工技术和施工机械不断被采用,为大规模地、经济地修建高层建筑提供了条件。迄今已先后在北京、上海、广州、深圳、天津、武汉等 20 多个大中城市修建了大批高层旅馆、办公楼、住宅。高层建筑占整个城市建筑面积的比例正在起着明显的变化。与过去相比,没有比现在更需要有更多的工程地质人员来从事高层建筑地基勘察以及施工地质方面的工作,以适应迅速地发展着的高层建筑建设的需要了。然而与这种情况很不相称的是有关高层建筑工程地质方面的书籍太少。编者现将近年来给工程地质专业学生授课的讲稿加以整理,编成这本书,但愿它能起到“抛砖引玉”的作用,并能为从事这方面实际工作的技术人员服务。

由于本书以介绍实践经验为主,对工程建设中的有关问题不可能面面俱到,但也考虑了工业与民用建筑,基本上照顾到土力学、地基与基础问题的完整性。对于十分浩瀚的当今土力学文献中的一些新理论和复杂的演算,因为它们的推广应用还需要有个过程,所以书中介绍不多。对于工程建设发展较快的一些重要的沿海港口城市,那里往往软土比较发育,所以在书中加强了对软土地基工程地质方面内容的叙述。

本书初稿曾得到潘别桐副教授、王智济副教授的审阅,并提出了宝贵的修改意见。全书插图由张小玉同志清绘。在此向他们谨致深切的谢意。

尽管本书旨在为从事高层建筑的工程地质技术人员服务,但由于涉及内容较广,编者水平又有限,难免有不当或错误之处,敬请读者批评指正。

编 者

1989 年 6 月

## 第二版 前 言

《高层建筑工程地质》自 1989 年出版以来，受到工程地质人员的重视。但是，初版出版之今，虽只有四年光景，国内高层建筑却得到了惊人的发展；同时，一些规范也相继制订或修订出版。因此，原书内容已不太适应迅速发展着的高层建筑建设的需要，故有必要对初版中存在的明显问题进行修订。

在修订过程中，除了对原章节根据近年来高层建筑发展现状进行适当的调整、修改与补充外，还增写了“桩的动力测试”内容。

尽管编者作了努力，但由于水平所限，加之经验不足，修订后仍难免有不少错漏之处，恳请读者批评指正。

编 者

1993 年 3 月

# 目 录

## 第一篇 高层建筑的结构体系和地基基础

|                          |      |
|--------------------------|------|
| • 第一章 高层建筑的结构体系          | (1)  |
| 第一节 高层建筑的发展情况            | (1)  |
| 第二节 高层建筑的划分              | (2)  |
| 第三节 高层建筑的结构体系与结构体系的选择    | (3)  |
| 第二章 高层建筑的基础类型            | (9)  |
| 第一节 地基与基础的概念             | (9)  |
| 第二节 高层建筑的基础类型            | (10) |
| 第三节 基础的埋置深度              | (12) |
| 第四节 基础类型选择的工程地质依据        | (13) |
| 第五节 基础工程施工方案的选择          | (15) |
| 第三章 地基土(岩)的工程地质分类和工程地质性质 | (17) |
| 第一节 概述                   | (17) |
| 第二节 土的工程地质分类             | (25) |
| 第三节 地基土的工程特性             | (42) |
| 第四节 岩石的工程特性和分类           | (42) |

## 第二篇 高层建筑工程地质问题分析

|                           |      |
|---------------------------|------|
| 第四章 有关场地稳定性问题的分析          | (48) |
| 第一节 基本概念                  | (48) |
| 第二节 场地条件和震害的关系            | (49) |
| 第三节 土层的液化                 | (51) |
| 第四节 估计土层液化势的方法            | (52) |
| 第五节 从高层建筑震害中得出的一些经验教训     | (57) |
| 第五章 浅基承载力问题的分析            | (59) |
| 第一节 概述                    | (59) |
| 第二节 确定浅基承载力的方法            | (61) |
| 第三节 地基土性质和场地地下水位对浅基承载力的影响 | (80) |
| 第四节 双层地基的承载力问题            | (83) |
| 第五节 变形和加荷速率对软土地基承载力的影响    | (85) |
| 第六节 岩石的承载力                | (86) |
| 第七节 基础底面压力及底面尺寸的确定        | (87) |
| 第六章 浅基沉降及稳定性问题的分析         | (93) |
| 第一节 概述                    | (93) |

|            |                          |       |
|------------|--------------------------|-------|
| 第二节        | 地基中的应力分布计算               | (94)  |
| 第三节        | 最终沉降量的计算                 | (102) |
| 第四节        | 考虑应力历史的地基沉降量计算           | (108) |
| 第五节        | 地基沉降与时间的关系               | (110) |
| 第六节        | 箱形基础的软土地基沉降特性            | (114) |
| 第七节        | 地基的允许变形值                 | (115) |
| 第八节        | 地基的稳定性问题                 | (118) |
| 第七章        | 桩基础地基的承载力与沉降量问题          | (121) |
| 第一节        | 概述                       | (121) |
| 第二节        | 单桩的工作性能                  | (125) |
| 第三节        | 单桩轴向承载力标准值的确定            | (127) |
| 第四节        | 软土中摩擦桩的承载力               | (139) |
| 第五节        | 负摩擦力的问题                  | (141) |
| 第六节        | 桩的水平承载力及其按水平静载荷试验资料确定的方法 | (144) |
| 第七节        | 群桩与土相互作用的一些问题            | (147) |
| 第八节        | 有关墩基础的某些问题               | (156) |
| 第九节        | 桩的动测法概述                  | (160) |
| 第八章        | 基础工程施工地质问题               | (171) |
| 第一节        | 基础工程施工对周围环境的影响           | (171) |
| 第二节        | 基坑深开挖的稳定性问题              | (171) |
| 第三节        | 基坑突涌、流砂和坑底原状土的保护         | (176) |
| 第四节        | 井点降水                     | (177) |
| 第五节        | 桩基础施工位移及其他               | (182) |
| 第六节        | 墩基础施工中的地质问题              | (183) |
| 第三篇 工程地质勘察 |                          |       |
| 第九章        | 高层建筑工程地质勘察要点             | (185) |
| 第一节        | 工程地质勘察的主要要求              | (185) |
| 第二节        | 初步勘察要点                   | (186) |
| 第三节        | 详细勘察要点                   | (187) |
| 第四节        | 地基评价的内容                  | (189) |
| 第五节        | 工程地质勘察报告书                | (190) |
| 第六节        | 对工程地质人员的要求               | (190) |
| 第十章        | 勘察中的试验工作                 | (191) |
| 第一节        | 室内试验工作                   | (191) |
| 第二节        | 现场原位试验                   | (191) |
| 第三节        | 试验指标的可靠性                 | (193) |
| 第四节        | 地基土指标的抽样估计               | (194) |
| 主要参考文献     |                          | (197) |

# 第一篇 高层建筑的结构体系和地基基础

## 第一章 高层建筑的结构体系

### 第一节 高层建筑的发展情况

解放前,我国是个半封建、半殖民地国家,经济技术十分落后,几乎没有高层建筑,只是个别城市,依赖外国人或直接由外国人投资,建造了为数有限的高层建筑,如上海的国际饭店、上海大厦、广州的爱群大厦等。解放后,随着我国社会主义建设事业的蓬勃发展,科学技术不断提高,城市人口的迅速增加,城市用地日趋紧张,因而促进了高层建筑的发展。北京、上海、广州、深圳、长沙、天津、南京、武汉等许多城市,相继建造了一些或一批高层建筑。以上海为例,自1974年修建的12层康乐大楼以来,至1987年已建成的高层建筑达180幢,其中电信大楼计27层(地面上24层,地下3层),高131.8m,锦江宾馆大楼高153m,正在修建的展览北馆大楼高167m。据1981年的统计资料,全国30多个城市12层以上的高层建筑已有300幢左右。

高层建筑的基础类型,目前常采用的有片筏基础(片基或称筏基)、箱形基础(箱基)、桩基础(桩基)和复合基础(片桩基、箱桩基)以及地下连续墙等。片基、箱基以及复合基础,要求开挖大基坑、深基坑。桩基的种类也越来越多,桩亦越来越长,上海市最长的桩已深达地下60~80m处的砂层中。因此,基础施工所带来的环境问题和施工地质问题亦就越来越复杂。

可以预料,随着四个现代化的进程加快,城市人民居住条件的不断改善,城市用地越来越紧张,今后将会建造更多的高层建筑。因此,无论在建筑材料、建筑结构以及工程地质勘察方面,将会提出新的课题,这就迫切需要我们去学习它,研究它。

在国外,高层建筑起始于19世纪末期。产业革命后,许多国家出现了人口超过100万的大城市。随着经济和技术的迅速发展,城市人口的高度集中,用地日趋紧张。因此,一些经济技术发达的资本主义国家,要求提高建筑层数,以适应发展需要。例如美国,1885年在芝加哥建造的10层人寿保险公司大楼,是当时世界上第一幢用铁和钢建造的摩天大楼;1895年,在辛辛那提建造的高为90m、共20层的公证大楼,是当时世界上第一幢全部用钢材做骨架建造的摩天大楼。

进入20世纪,由于工业技术的进步,高层建筑的发展加快。例如美国1907年在纽约建造了高度为187m、共47层的辛尔摩天大楼;1931年,建造了高381m、102层的帝国大厦;1973年,建造了高411m、共110层的世界贸易中心大厦。在芝加哥1974年建造了西尔斯大楼高443m,计110层。建筑物高度的竞赛似乎还要继续下去。

从房屋结构上说,如果把古代的一些塔楼也列为高层建筑的话,那么,高层建筑的结构最早是用砖、石、木料建造的承重墙结构。这一类型持续了一个漫长的历史时期,直到 19 世纪以来,才不断涌现出不少内部铁框架与外承重墙结构相结合的高层房屋以及用铁框架(部分钢梁)承受全部荷载、外墙仅为自承重的高层建筑。这些建筑可以说是近代高层建筑的萌芽。

19 世纪末到 20 世纪初,由于工业技术的发展,为高层建筑的发展创造了有利的条件,出现了钢框架结构和钢筋混凝土框架结构高层建筑。有些钢框架结构工程,由于增设了钢支撑、垂直桁架或剪力墙,因而其刚度和强度得到了加强和提高,使建筑物的高度有所增加,推动了高层建筑的发展。尽管这一时期的高层建筑有比较大的发展,但毕竟受到设计理论和建筑材料的限制,结构自重较大,材料用量较多,且仅限于框架结构,建于非地震区。

直到 20 世纪 50 年代,由于轻质高强材料研究成功,抗风抗震结构体系的不断发展,新的设计理论取得了重大成果,电子计算机在设计中得到了应用以及新的施工技术和施工机械不断涌现等,均为大规模地、较经济地修建高层建筑提供了先决条件,使高层建筑才得到了迅速发展。当然,由于城市人口大量集聚,人口密度猛增(如美国纽约每公顷面积平均为 1 000 人,香港为 3 700 人),造成城市生产和生活用房紧张,地价昂贵,是迫使建筑物向空间发展的重要因素。截至目前为止,不少国家的大城市,其高层建筑几乎占了整个城市建筑面积的 30%~40%;其中尤以美国的高层建筑数量最多,高度在 160~200m 的建筑就有 100 多幢;世界上最高的高层建筑亦在美国,它就是前面提到的芝加哥 110 层、高 443m 的西尔斯大楼。欧洲和其他洲的一些国家的高层建筑近十多年来发展亦很快,如日本在 earthquake 区建造了 30 多幢 100m 以上的高层楼房;南斯拉夫、比利时、荷兰、前苏联等国已把高层建筑的比例提高了 1~3 倍。在有些国家还出现了高层建筑群,如法国巴黎有的地区建了几十幢 30~50 层的楼房;罗马尼亚首都布加勒斯特的几个住宅区盖了几百幢 11 层左右的住宅;在我国北京的前三门沿十里长街修建了 40 多幢 9~15 层的高楼。

国外在建造高层建筑方面有着丰富的经验,值得我们借鉴。

## 第二节 高层建筑的划分

由于各国的经济技术水平不同,高层建筑的提法也不一致,有“多层建筑”、“高层建筑”、“超高层建筑”、“摩天大厦”,等等。同时,高层建筑的起始高度的规定也有差异,当符合以下条件者,有关国家便称之为高层建筑。

前联邦德国:经常有人停留的最上一层地板高出地面 22m 的建筑;

法国:高度超过 28m 的公共建筑和高度超过 50m 的居住建筑;

日本:超过 11 层或高度超过 31m 的建筑;

英国:高度超过 30m,底面积超过 900m<sup>2</sup> 的建筑;

比利时:高出入口路面 25m 以上的建筑;

前苏联:10 层及 10 层以上居住建筑,或 7 层以上的其他公共建筑;

美国:高 22~25m 或 7 层以上的建筑。

综合国外对高层建筑起始高度的划分可以看出,不能光按层数作为划分的标准,因为各种不同用途的建筑,其层高是不同的,一般在 2.7~5m 之间,个别高层建筑的层高达 6~7m。可见,层高相差很大。很明显,对于住宅建筑,其层高一般为 2.8~3.0m 之间,个别为 2.7m,层高相差仅 10~30cm。因此,对住宅按层数确定高层建筑的起始高度较为适宜;对于公共建筑,

由于其用途不同,层高相差悬殊,则按建筑高度来划分比较合适。

在具体确定高层建筑的起始高度时,则还必须考虑城市登高消防器材、消防车供水能力等实际情况。各国对高层建筑起始高度的规定之所以不一致,其主要原因是由于各个国家的消防登高车辆最大工作高度不同和消防车供水能力的不同。

1972 年,国际高层建筑会议规定,将高层建筑划分为四类:

第一类高层建筑:9~16 层(最高到 50m);

第二类高层建筑:17~25 层(最高到 75m);

第三类高层建筑:26~40 层(最高到 100m);

第四类高层建筑:40 层以上(高度超过 100m)。

我国根据目前城市登高消防器材、消防车供水能力等实际情况,参考国外高层和低层建筑的高度界线,确定适合我国高层建筑的起始高度为 24m,并将高层建筑划分为两类,其划分标准见表 1-1。

表 1-1 我国工业与民用建筑划分标准

| 分 类     | 层高(m) | 层 数  | 对建筑结构起控制作用的荷载 |
|---------|-------|------|---------------|
| 低 层 建 筑 | 3~6   | 1~2  | 竖向荷载          |
| 多 层 建 筑 | 9~12  | 3~7  | 竖向荷载与水平荷载     |
| 高 层 建 筑 | 24~60 | 8~20 | 水平荷载          |
| 超高层建筑   | >60   | >20  | 水平荷载          |

### 第三节 高层建筑的结构体系与结构体系的选择

#### 一、高层建筑的特点

与一般建筑物相比,高层建筑的显著特点是向高空发展,所以其总重量很大、重心高。如广州市 33 层的白云宾馆,高 114.05m,总重量达  $10^5\text{t}$  之多。由于高层建筑向高空发展,水平力也成为其结构设计中的主要控制因素。水平力包括地震力(为动力荷载)和风力(包括静力荷载和动力荷载两部分)。所以在高层建筑结构设计中,除应遵循一般结构设计要求外,对结构的承载能力、侧向刚度、抗震性能和材料用量等方面,均应满足高层建筑的上述特点。又因为高层建筑的层数、总高度及空间大小等方面的要求各不相同,也就形成了不同的结构体系。

#### 二、框架结构体系

在钢筋混凝土高层建筑中,我国通常采用的结构体系有:框架体系、框架-剪力墙体系和剪力墙体系。筒体结构、悬挂结构等新型结构体系在我国还很少采用。

框架结构由梁、柱构件通过节点连接而成(图 1-1)。框架梁、柱既承受垂直荷载,也承受水平力。框架节点是应力集中的地方,也是保证结构整体性的关键部位。对于预制装配式框架,节点部位更为重要。震害表明,节点常常是导致结构破坏的薄弱环节。

框架结构的侧向刚度小,属柔性结构。与剪力墙体系相比较,其自振周期长,建筑物自重轻,结构影响系数小,从而地震力小,这是有利于抗震的。

在高层建筑中,采用框架结构会使建筑平面布置灵活,易于满足设置大房间的要求,立面处理也易于表现建筑艺术的要求,常用于办公楼、旅馆类建筑。与框架-剪力墙结构体系比较,

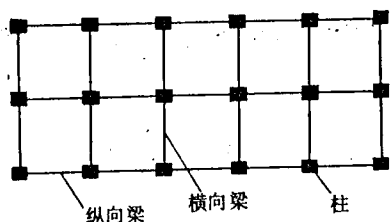


图 1-1 框架结构体系

(引自《高层建筑设计》，1985)

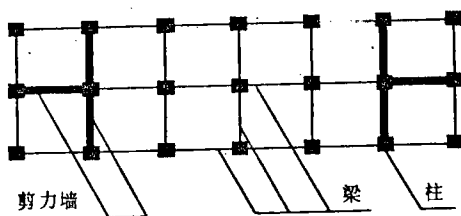


图 1-2 框架-剪力墙结构体系

(引自《高层建筑设计》，1985)

当多采取预制装配式时,在层数不多的情况下,框架结构的构件规格型号少,节点作法统一程度高,设计绘图工作量少,因而工程上经常采用框架结构。

我国采用钢筋混凝土框架结构体系的高层民用建筑,最高者为北京中国民航局办公楼,地上部分 15 层,其高度为 60.80m。

震害调查分析表明,在一般抗震设防区,框架结构体系以不超过 10 层为宜,最大高度约为 30m。当设计烈度为 9 度时,不应采用框架结构体系。

### 三、框架-剪力墙结构体系

在框架结构平面中的适当位置设钢筋混凝土剪力墙,也可以利用楼梯间、电梯间墙体作为剪力墙,便形成框架-剪力墙结构体系(图 1-2)。

在水平力作用下,框架、剪力墙为协同工作的结构体系。框架主要作为体系中承受垂直荷载的结构,因其具有一定的侧向刚度,所以也承受一部分水平剪力。而大部分水平剪力则由剪力墙承受。剪力墙所承受的水平剪力愈接近结构底部就愈大。通常,在结构上部,框架的水平位移较剪力墙的位移小,框架和剪力墙共同工作,剪力墙承受来自框架约束的负剪力。由于剪力墙分担水平剪力的作用,框架的受力状况和内力分布得到改善。与框架结构体系相比较,框架-剪力墙结构体系属中等刚性结构,在水平力作用下的位移亦显著减小。从位移限制条件来说,用它所能建造的房屋层数,比框架结构要多。

对于框架-剪力墙结构体系,由于剪力墙的作用,使整栋建筑物的侧向刚度增大,地震时结构变形和位移减小,故其具有良好的抗震性能。

采用该结构体系时,通常都能结合建筑使用要求布置剪力墙,建筑平面布置灵活,且一般能满足设置大房间的要求。从建筑设计、满足使用要求的观点来说,是一种适应面较广的结构体系。例如北京饭店东楼工程,方案设计时,地下室顶板至顶层梁之间的高度  $H$  为 95m,抗震设计烈度为 8 度,在相应水平地震力作用下,采用框架结构时,顶点水平位移为  $\Delta = 41.70\text{cm}$ ;  $\Delta/H = 41.70/9500 = 1/228$ 。显然,位移过大,不宜采用框架结构体系。当为框架-剪力墙结构体系时,  $\Delta = 15.40\text{cm}$ ,  $\Delta/H = 15.40/9500 = 1/620 < 1/500$ ,从而满足设计要求。北京饭店东楼的结构布置如图 1-3。

又如广州市人民大厦,18 层,设计时对比了框架与框架-剪力墙结构体系,如表 1-2 所示。

从表 1-2 看出,与框架结构体系比较,框架-剪力墙结构体系的柱子截面小,用料省,侧向刚度大,能适应较多的层数,常用于高层公寓、高层旅馆、高层办公楼以及底层为商店的高层住

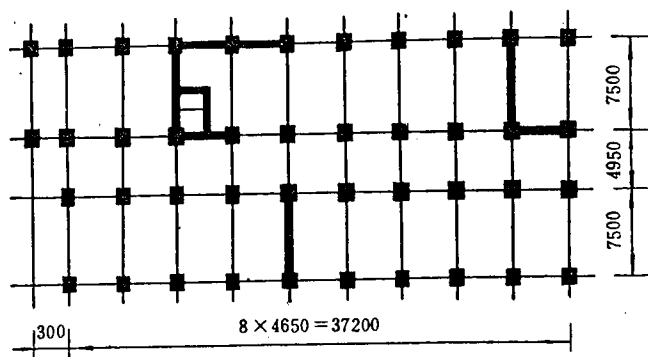


图 1-3 18 层现浇梁、柱,预制楼板、框架-剪力墙结构体系的北京饭店东楼  
(引自《高层建筑结构设计》,1985)

表 1-2 广州市人民大厦结构体系设计对比

| 结 构 体 系 | 柱                   |                                | 顶 点 位 移<br>$\Delta/H$ | 钢 材 用 量 |
|---------|---------------------|--------------------------------|-----------------------|---------|
|         | 截面( $\text{cm}^2$ ) | 混凝土( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) |                       |         |
| 框 架     | $60 \times 100$     | 300                            | $> 1/500$             | 大       |
| 框架-剪力墙  | $40 \times 60$      | 200                            | $< 1/2000$            | 小       |

宅。从我国工程实践看,一般可建 20 层以下的建筑。在考虑抗震设防时,设计烈度为 9 度和小于 9 度的地区,高层建筑采用钢筋混凝土框架-剪力墙结构体系,是可以达到安全效果的。

#### 四、剪力墙结构体系

承受主体结构全部为剪力墙时,就构成剪力墙结构体系(图 1-4)。剪力墙承受垂直荷载,也抵抗水平力。

在某些剪力墙结构中,夹有少量框架梁、柱,以承受局部平面范围内的垂直荷载,但它并不改变剪力墙结构体系本身的性质(图 1-5)。

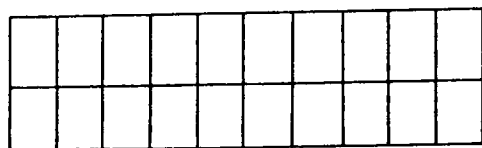


图 1-4 剪力墙结构体系  
(引自《高层建筑结构设计》,1985)

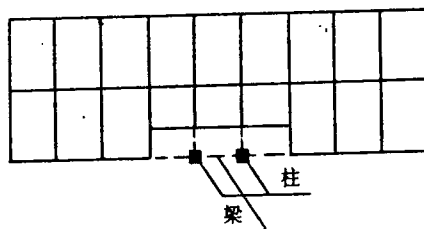


图 1-5 夹少量框架梁、柱的剪力墙结构体系  
(引自《高层建筑结构设计》,1985)

当建筑物底层需要设置大房间时,可以在底层做成框架。底层为框架的剪力墙结构称为框支剪力墙结构体系,是剪力墙结构体系的一种特殊形式(图 1-6)。

如果在剪力墙上设置门、窗洞,其承载能力与侧向刚度就会削弱。在水平力作用下,剪力墙结构的承载能力、水平位移,取决于剪力墙的平面形状、平面布置以及洞口的设置情况。此外,还与延性有关。

相对于前述两种结构体系而言,剪力墙结构体系为刚性结构。

剪力墙结构体系自重较大、侧向刚度大、自振周期短,因而导致产生较大的地震荷载。但由于其截面惯性矩大,截面的有效工作高度大,所以,有较大的强度储备,水平位移亦小。水平位

移小,就有利于避免设备管道、建筑装饰、内部隔断墙等非结构性破坏(非结构性破坏为三种结构体系中的最小者,框架结构体系的非结构性破坏最严重)。国内外震害调查资料表明,高层建筑剪力墙结构的破坏轻微,倒塌只是极个别的,说明剪力墙结构是一种抗震能力较强的结构体系。这种结构体系,近年来在我国高层住宅中已被广泛采用。

由于这种结构体系的承载力高、抗震性能强,从而成为高层建筑中一种高承载能力的结构体系。它所适应的层数,可以高于 30 层。我国目前已采用这种结构建造了 33 层的广州白云宾馆(图 1-7)。

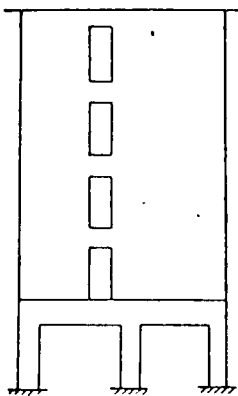


图 1-6 框支剪力墙结构体系  
(引自《高层建筑结构设计》,1985)

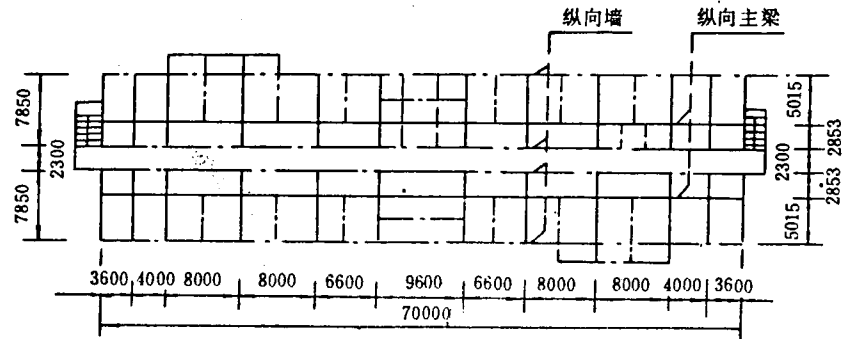


图 1-7 广州白云宾馆标准层结构平面布置  
(引自《高层建筑结构设计》,1985)

## 五、其他结构体系

1. 筒体结构体系 筒体结构体系属空间受力体系,是一种新型的高层建筑结构体系。它有以下几种典型的筒体结构形式(图 1-8)。

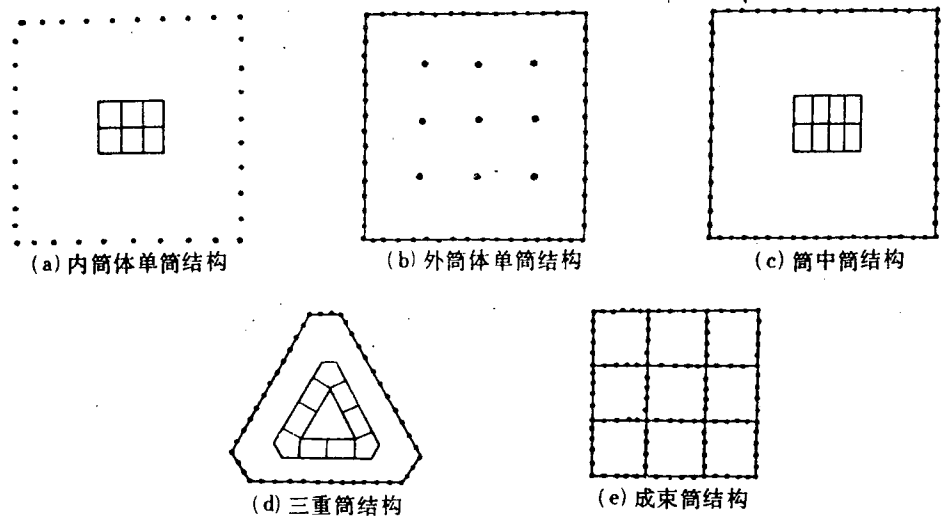


图 1-8 几种典型的筒体结构体系平面示意图  
(引自《高层建筑结构设计》,1983)

单筒结构形式:它是由四周采用框架,而利用电梯井、楼梯间、管道井和服务间等,在平面

中心部分形成一个筒核心(称为内筒),作为抵抗水平力的主要结构,外墙框架则承受垂直荷载或者承受很小的水平力,如 26 层的前联邦德国慕尼黑奥林匹克村办公大楼即属这种由钢筋混凝土内筒构成的内筒体单筒结构体系;另一种是将四周外墙设计成外筒体以作为抵抗水平力的结构,而内柱只用来承受垂直荷载。这种形式称为外筒体单筒结构体系,如 43 层高的美国芝加哥 Dewitt Chestnut 公寓大楼属外墙为框架筒的单筒结构体系。

筒中筒结构体系:当单筒结构体系不能满足抵抗水平力要求时,可利用内筒 和外筒共同抵抗水平力。由内、外筒组成筒体结构,就称为筒中筒结构体系。此时,楼盖把内、外筒连成一个抵抗水平力的整体。如我国的中央彩电中心工程主楼,地上为 26 层,地下为 3 层,它与香港 52 层高的康乐大厦均属此类结构体系。在筒中筒结构体系的基础上,又出现了三重筒结构体系,并通过刚性楼盖把内、中、外三筒连成整体以抵抗水平力。例如,日本东京新宿住友大厦,52 层,就是采用三重筒结构体系的高层建筑。

成束筒结构体系:系由若干个单元筒集成一体,从而形成空间刚度极大的结构。每一个单元筒能单独形成一个筒体结构。因此,沿建筑物高度方向,可以中断某些单元筒,且通过单元筒的平面组合,可形成很大的楼层面积。例如,美国芝加哥的西尔斯大楼的平面尺寸为  $68.70\text{m} \times 68.70\text{m}$ ,由 9 个方形单元筒组合而成,每个单元筒尺寸为  $22.90\text{m} \times 22.90\text{m}$ 。沿建筑物高度方向,在三个不同标高处中断了某些单元筒(图 1-9)。

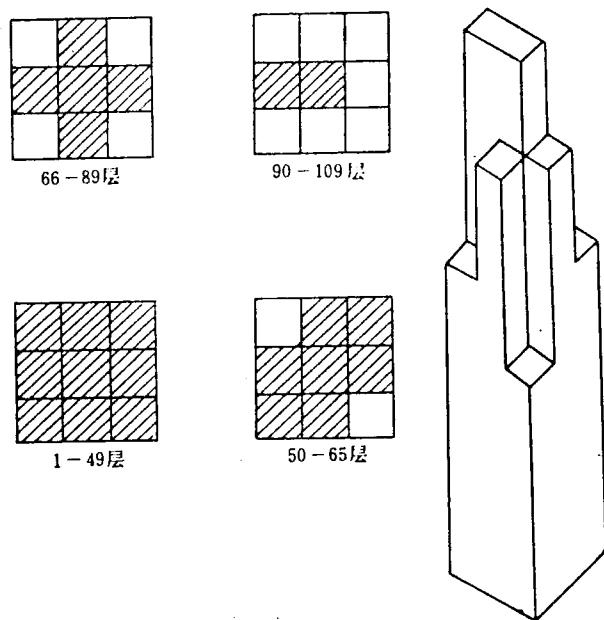


图 1-9 西尔斯大楼在三个不同标高处中断某些单元筒的示意图

(引自《高层建筑结构设计》,1985)

筒体结构体系的整个刚度很大,能提供很大的建筑空间与建筑高度,建筑物内部空间的划分可以灵活变更。因此,它广泛应用于多功能、多用途、层数较多的高层建筑。

2. 悬挂式结构体系(图 1-10) 悬挂式结构体系是近年来在国外迅速发展起来的一种新型结构体系。它有自重轻、基础集中在一个或多个承重筒体或者拱趾处、基础面积小、结构布置对称、钢筋混凝土构件常与钢构件结合使用以及运用预应力工艺等特点。其优点是:平面布置灵活,能扩大有效使用面积,钢材消耗少,基础工程量小,基础不均匀沉降的影响较小,有利于

抗震等。但是在设计中应妥善处理吊杆与核心之间的相对位移,垂直荷载与基础之间的可能偏心等问题。目前利用这种结构体系建造高层建筑已达 25 层。

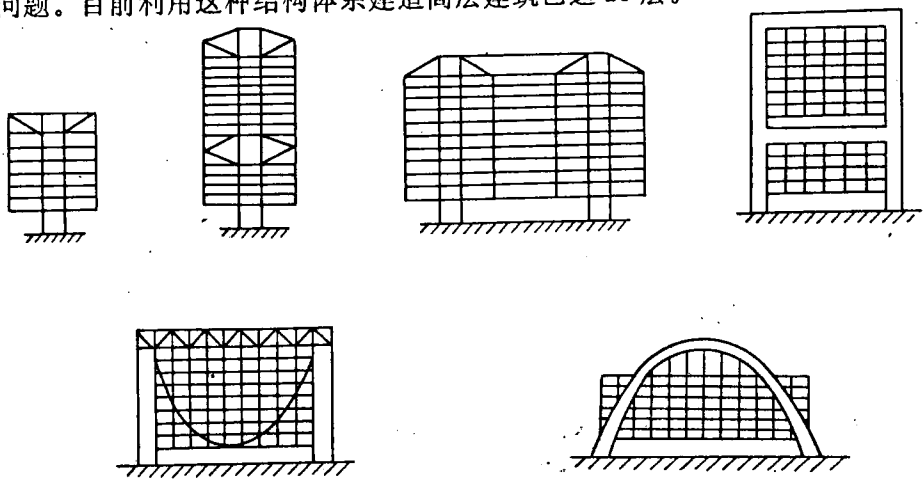


图 1-10 不同形式的悬挂式结构体系  
(引自《高层建筑设计》,1985)

3. 减震结构体系及自调谐结构体系 近年来,在法国、前苏联、日本等国家,研究和试验兴建了所谓“减震结构”体系或“免震结构”体系的建筑物。这种结构体系在建筑物基部设置隔震器来支承上部结构,通过隔震器吸收地震能量,以减少上部结构地震力。图 1-11 为法国 GAPEC 隔震系统,它采用了橡胶和钢板叠层的弹性支承。采用这种体系,可以把地震力降至 1/8,还可以提高基础的稳定性,减小构件内心,简化抗震构造,从而降低建筑造价。

前苏联还开展了所谓“自调谐体系”的研究。这种体系在底层或底部几层的框架中设置特殊的支撑或剪力墙,具有从低烈度到高烈度地震的自行适应能力。目前,前苏联已经建成一栋 9 层楼高的“自调谐”试验性建筑。

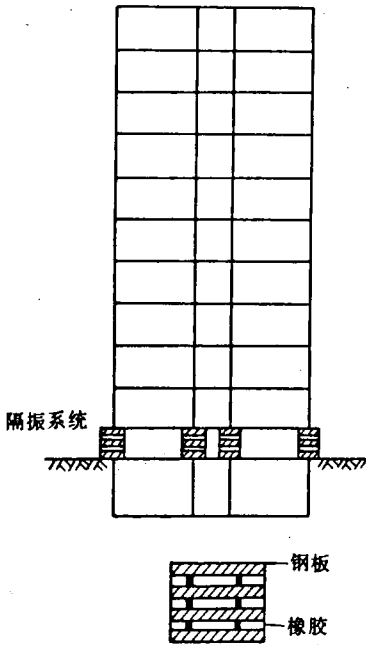


图 1-11 减震结构体系及其弹性支承  
(引自《高层建筑设计》,1985)

六、结构体系的选择

高层建筑结构体系方案的选择是一个很复杂的问题,其影响因素是多方面的。在不同的情况下,影响方案选择因素的主次轻重又是变化的。

一般地说,首先应考虑满足使用要求,在保证安全的前提下,具有最优的经济效果。在结构设计方面,应当从强度、刚度、抗震性能、变形能力等方面进行分析比较。在施工方面,应着眼于施工全过程实现机械化、工业化。在实际工程中,结构体系的选择还与材料供应、构件制作、施工方法等因素有直接关系。只有掌握了各种结构体系的特点,再结合具体工程的客观条件,设计者才能对结构体系作出恰当的选择。

## 第二章 高层建筑的基础类型

### 第一节 地基与基础的概念

建筑物的全部荷载都由它下面的岩、土体来承担。受建筑物荷载影响的那一部分的岩、土体称为地基,建筑物向地基传递荷载的下部结构就是基础。

由于建筑物的建造,使地基中原有的应力状态发生变化。这就必须运用力学方法来研究荷载作用下地基的变形和强度问题,以便使地基基础设计满足两个条件:①要求作用于地基的荷载不超过地基本身的承载能力,保证地基在防止整体破坏方面有足够的安全储备;②控制地基沉降使之不超过允许变形值,保证建筑物不因地基变形而损坏或者影响其正常使用。

基础是建筑物的根基,又是属于地下隐蔽工程。所以对地基的勘察、基础的设计和施工质量,直接关系到建筑物的安危。实践表明,建筑物事故的发生,很多与地基基础问题有关。而且,地基基础事故一旦发生,补救并非容易。如长沙火车站服务楼,它建于淤泥层厚薄不均的软土地基上(图 2-1)。在上部混合结构的柱下和墙下分别设置了一般的单独基础和毛石条形基础。

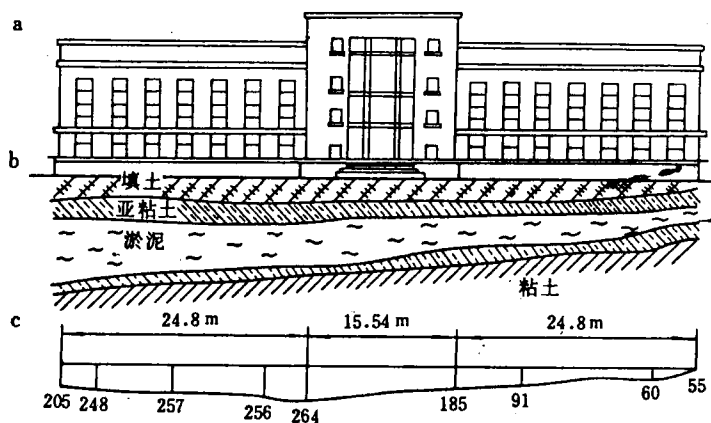


图 2-1 长沙火车站服务楼地基结构图

(引自《地基及基础》,1983)

a. 立面图 b. 地层剖面图 c. 建筑物的沉降量

设计时未从地基、基础和上部结构共同工作的整体概念出发综合考虑,以致结构布局不当。建成后,便出现了显著的不均匀沉降,两翼墙基向中部倾斜,使墙体、窗台、窗顶和钢筋混凝土梁面都出现相当严重的裂缝,影响使用和安全。补救措施是先将中部基础加宽,继之又再加固,都未收到预期效果,最后只得将两翼木楼面改成钢筋混凝土楼面,拆除严重开裂的墙体,更换部分钢筋混凝土梁,才算基本解决问题。但加固重建费用高达 18 万元,占建筑物总造价的 75%。国内外地基基础失事的实例是很多的,它告诫我们,如果忽视或缺乏对地基基础的研究,处理不当,可导致很大的损失。

上述实例说明,在建筑物的设计和施工中,地基和基础占有重要的地位,它们对建筑物

的安全使用、工程造价和工程量有着很大的影响。用于地基勘察和基础工程的投资,是由场地地质条件的复杂程度、设计、施工的是否合理等因素决定的,它们一般占建筑物工程总造价的百分之十几到百分之三十以上。因此,正确选择地基基础的类型十分重要。

如果地基内都是良好的土层(通常指允许承载力在 0.15MPa 以上的土层),或者上部有较厚的坚硬土层时,一般将基础直接造在天然土层上,这种地基称为天然地基。天然地基根据基础的埋深不同,又可分为浅基础地基和深基础地基两种。与之相应,前者的基础称浅基础,后者的基础称深基础。如天然土层的强度不能满足建筑物荷载的要求,须经人工加固处理以提高其承载力者,称为人工地基,或叫地基处理。

选择基础的类型,主要考虑两方面的因素:一是建筑物的性质,包括它的用途、结构体系、荷载大小与性质等;二是场地地震烈度和地基的地质情况,包括地层的分布、厚度变化、组合情况、岩土的工程地质性质和地下水等。对上述两方面因素进行具体分析,通过方案比较后才最终确定某一种基础类型。

建筑物的地基、基础和上部结构三个部分,虽然各自功能不同,研究方法各异,然而,对一个建筑物来说,在荷载作用下,它们却是彼此联系、相互制约的整体。所以,在考虑地基基础问题时,应该从三个部分共同工作的整体概念出发,全面加以考虑,才能获得比较理想的效果。

## 第二节 高层建筑的基础类型

### 一、高层建筑的基础类型有:

(1)钢筋混凝土条形基础 这种基础一般设置在承重墙下,宽度可达 2m 以上(图 2-2)。

(2)钢筋混凝土柱基础 它是一种独立基础,其上的柱常为钢柱或钢筋混凝土柱(图 2-3)。

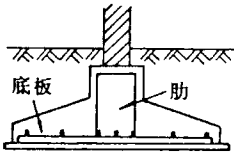


图 2-2 墙下钢筋混凝土条形基础

(引自《地基及基础》,1983)

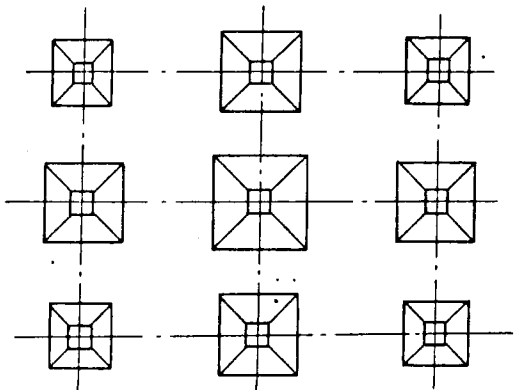


图 2-3 钢筋混凝土柱基

(引自《地基及基础》,1983)

(3)柱下梁式基础 它是用基础梁把柱互相连接起来的抗衡构件。若基础梁只是用来连接同一轴线上若干柱子,就称柱下条形基础(图 2-4a);若柱下纵横两个方向均用基础梁连接,则称柱下交梁基础(图 2-4b)。

(4)片筏基础 它是一种由钢筋混凝土制成的、覆盖建筑物全部投影面积的连续底板(即片筏),如图 2-5 所示。它具有足够的刚度,可跨过局部软弱或易受压缩的地段。这种基础如不考虑利用挖去的土重来补偿建筑物的荷载,则沉降量较大,如上海展览馆的塔楼,目前已沉降了 2m 左右。片筏基础分平板式和梁板式两种。前者可近似地按倒无梁楼盖进行计算,地基反力假定是均匀分布的;后者当上部结构的刚度较大,地基为较均匀的高压缩性土层时,可假定地基反力在两个方向都按直线分布,根据静力平衡条件确定。如果通过调整底板的外挑长度,使基础接近中心受荷时,亦可假定地基反力为均匀分布。

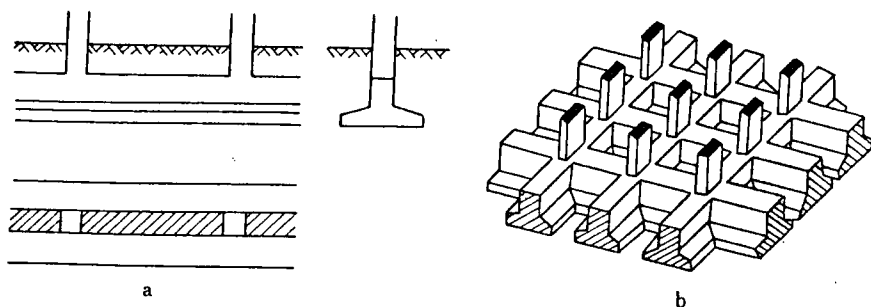
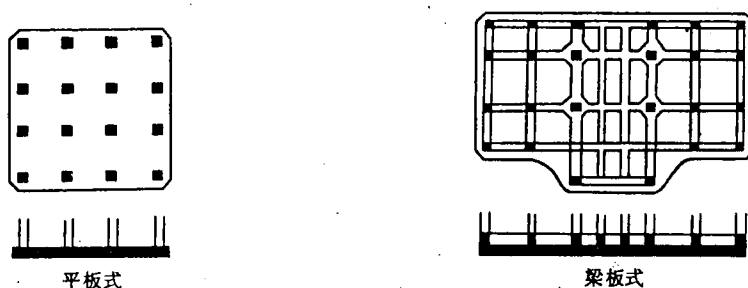


图 2-4 柱下梁式基础

(引自《地基及基础》,1983)

a 柱下条形基础

b 柱下交梁基础



平板式

梁板式

图 2-5 片筏基础

(引自《地基及基础》,1983)

(5)箱形基础 基础的整体外形如箱,是由钢筋混凝土的底板、顶板和纵横墙体组成的整体结构(图 2-6)。这种基础刚度很大,可减少建筑物的不均匀沉降。当上部结构荷载很大,地基软弱,片筏基础仍不能满足要求时,可用箱形基础。高层建筑一般设地下室,故常采用箱形基础。另外,箱形基础大部分为补偿性基础,并视其基底的实际平均压力的大小,分为全补偿和部分补偿两种。箱形基础的计算方法有两种:一种是把箱形基础看作

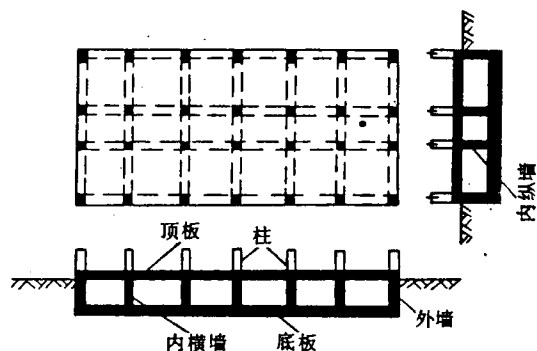


图 2-6 箱形基础

(引自《地基及基础》,1983)

为绝对刚性的板,不考虑上部结构的共同作用,用弹性理论确定地基反力和基础内力;另一种是把箱形基础作为建筑物的一个地下楼层,不考虑箱形基础整体受弯作用,只按局部弯曲来计算底板内力,地基反力假定为均布的,底板按倒楼盖计算,隔墙视作支座,顶板按支承在隔墙上的平面楼盖计算。

(6)桩基础 一般由设置于土中的桩和承接上部结构的承台组成(图 2-7)。绝大多数桩基础的桩数不止一根,而是群桩,它们通过承台联成一体。承台底面位于地面以下的称低承台桩基础;承台底面高出地面的称高承台桩基础。一般说来,低承台桩基础受荷载的条件比高承台好,特别是在水平力作用下,承台周围的土体可以发挥一定的作用。高层建筑中几乎都采用低承台桩基础。桩基础中的桩可以是竖直的,也有斜桩,而高层建筑的桩基础绝大多数采用竖