

普通高等教育“十二五”土木工程系列规划教材

高层建筑 施工

● 高兵 卞延彬 主编

EDUCATION



免费电子课件



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十二五”土木工程系列规划教材

高层建筑施工

主 编 高 兵 卞延彬
副主编 张柏玲 金玉杰
参 编 郑文辉 刘 石 刘雪雁
主 审 钟春玲



机械工业出版社

本书按照最新的相关规范、规程编写,力求反映高层建筑施工技术的发展和现状,满足高层建筑施工技术和管理的教学要求。本书主要内容包括高层建筑深基坑工程、高层建筑基坑工程的监测、高层建筑深基础施工、桩基础工程、大体积混凝土结构施工、高层建筑常用施工机具、高层建筑施工用脚手架工程、混凝土结构高层建筑施工、钢结构施工、高层建筑施工现场安全管理与消防等。本书每章设有教学目标、本章小结和复习思考题,方便教学和使用。

本书可作为土木工程、工程管理等专业的教学用书,也可作为土建类设计、施工、监理等工程技术人员参考书。

本书配有电子课件,免费提供给选用本书的授课教师。需要者请根据书末的“信息反馈表”索取。或登录机械工业出版社教材服务网免费下载,网址: www.cmpedu.com。

图书在版编目(CIP)数据

高层建筑施工/高兵,卞延彬主编. —北京:机械工业出版社,2013.8
普通高等教育“十二五”土木工程系列规划教材
ISBN 978-7-111-42444-4

I. ①高… II. ①高…②卞… III. ①高层建筑—工程施工—高等学校—教材 IV. ①TU974

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第175059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:刘涛 责任编辑:刘涛 陈将浪 臧程程 马军平
责任校对:张玉琴 封面设计:张静
责任印制:张楠
北京振兴源印务有限公司印刷
2013年10月第1版第1次印刷
184mm×260mm·17.5印张·429千字
标准书号:ISBN 978-7-111-42444-4
定价:36.00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

社服务中心:(010) 88361066
销售一部:(010) 68326294
销售二部:(010) 88379649
读者购书热线:(010) 88379203

网络服务

教材网: <http://www.cmpedu.com>
机工官网: <http://www.cmpbook.com>
机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>
封面无防伪标均为盗版

前 言

“高层建筑施工”是土木工程专业本科生的任选专业课之一，是一门具有广博性、深层性和实践性的技术工程课程。通过学习本课程，可以使学习者系统地掌握高层建筑施工方面的专业知识，提高专业素质，以适应 21 世纪建筑工程对专业人才的要求。

本书为“高层建筑施工”课程教材，具有以下特点：结合实际情况，综合运用有关学科的基本理论和知识解决生产实践中的问题；理论联系实际，侧重于应用；着重基本理论、基本原理和基本方法的介绍和实践应用。

本书由吉林建筑大学、白城师范学院联合编写，全书由吉林建筑大学钟春玲教授主审，高兵、卞延彬教授主编，具体编写分工如下：

吉林建筑大学高兵：第 1 章；第 2 章；第 3 章。

白城师范学院张柏玲：第 4 章；第 5 章。

吉林建筑大学郑文辉：第 6 章。

吉林建筑大学金玉杰：第 7 章。

吉林建筑大学刘石：第 8 章；第 9 章。

吉林建筑大学卞延彬：第 10 章。

吉林建筑大学刘雪雁：第 11 章。

由于水平所限，书中缺点和不当之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第1章 概述	1
教学目标	1
1.1 高层建筑简况	1
1.2 高层建筑的定义	2
1.3 我国高层建筑的发展	2
1.4 超高层建筑存在的问题	4
本章小结	4
复习思考题	5
第2章 高层建筑深基坑工程	6
教学目标	6
2.1 深基坑工程概述	6
2.2 高层建筑基坑工程勘察	9
2.3 高层建筑基坑地下水的控制 与防治	14
2.4 深基坑工程土方开挖	25
2.5 深基坑工程的支护方案	30
本章小结	56
复习思考题	56
第3章 高层建筑基坑工程的监测	57
教学目标	57
3.1 施工监测概述	57
3.2 监测项目及方法	59
本章小结	65
复习思考题	66
第4章 高层建筑深基础施工	67
教学目标	67
4.1 概述	67
4.2 深基础结构类型及方案选择	67
4.3 高层建筑深基础施工具体 内容	74
本章小结	88
复习思考题	88

第5章 桩基础工程	89
教学目标	89
5.1 概述	89
5.2 桩基础的分类与选择	90
5.3 混凝土预制桩施工	93
5.4 混凝土灌注桩施工	100
5.5 桩基础检测	114
本章小结	117
复习思考题	118
第6章 大体积混凝土结构施工	119
教学目标	119
6.1 大体积混凝土裂缝	119
6.2 大体积混凝土的施工	130
6.3 大体积混凝土的冬期施工	136
本章小结	138
复习思考题	138
第7章 高层建筑常用施工机具	139
教学目标	139
7.1 高层建筑常用施工机具的 选用	139
7.2 塔式起重机	140
7.3 垂直升运机械	147
7.4 施工电梯	154
7.5 混凝土运送机械	156
7.6 施工机械使用安全注意事项	161
本章小结	163
复习思考题	164
第8章 高层建筑施工用脚手架 工程	165
教学目标	165
8.1 高层建筑脚手架综述	165
8.2 扣件式钢管脚手架设计	175
8.3 脚手架的施工及安全防护	190

本章小结	200	10.3 钢结构的制作与连接	245
复习思考题	200	10.4 钢结构安装方案及安装工艺 ...	256
第9章 混凝土结构高层建筑		10.5 钢结构防腐涂装工程	259
施工	202	本章小结	260
教学目标	202	复习思考题	260
9.1 现浇钢筋混凝土结构高层		第11章 高层建筑施工现场安全	
建筑施工	202	管理与消防	262
9.2 装配式混凝土结构高层建筑		教学目标	262
施工	230	11.1 高层建筑施工现场的安全	
本章小结	239	管理	262
复习思考题	239	11.2 高层建筑施工现场用火与	
第10章 钢结构施工	241	消防	266
教学目标	241	本章小结	268
10.1 钢结构的特点与应用	241	复习思考题	268
10.2 钢和钢材	242	参考文献	269

第1章 概述

教学目标:

熟悉高层建筑的定义,了解高层建筑的发展概况,掌握高层建筑施工的特点及本课程的内容及学习方法。

随着人民生活水平的提高,城市建设的快速发展,出现了城市用地和城市发展之间的矛盾。目前,解决空间问题只有两个方法:一是向地下要空间,二是向地上要空间。但是,土质情况复杂,向地下要空间必须要解决地下复杂情况与建筑物之间的矛盾问题,由此增加了建造成本。可见,向地上要空间是解决城市用地紧张的好办法。

高层建筑能够节约城市土地,缩短公用设施和市政管网的开发周期,加快城市建设,这些优点已经逐渐得到公认。世界各城市的生产和消费发展达到一定程度后,无不积极致力于高层建筑的建设。实践证明,高层建筑可以带来明显的社会效益:第一,使人口集中,可利用建筑内部的竖向和横向交通缩短部门之间的联系距离,从而提高效率;第二,能使建筑用地大幅度缩小,使在城市中心地段选址成为可能;第三,可以减少市政建设投资和缩短建筑工期。

1.1 高层建筑简况

自古以来,人们就开始建造高层建筑,埃及于公元前270年建造的亚历山大港灯塔,高100多米,为石结构,保留残址。中国建于523年的河南登封县嵩岳寺塔,高40m,为砖结构。建于1056年的山西应县佛宫寺释迦塔,高67多米,为木结构,均保存至今。

现代高层建筑从美国兴起,1883年在芝加哥建造了第一幢砖石自承重和钢框架结构——芝加哥保险公司大楼,10层。1913年在纽约建成的伍尔沃思大楼,57层。1931年在纽约建成的帝国大厦,高381m,102层。第二次世界大战后,出现了世界范围内的高层建筑繁荣时期。1962~1976年建于纽约的世界贸易中心大楼,又称双塔楼,110层,高411m,该大楼于2001年9月11日被恐怖分子劫持的两架飞机先后撞击,由于撞击引起的大火,双塔楼在几分钟内相继倒塌。1974年建于芝加哥的西尔斯大厦,110层,高443m。加拿大兴建了位于多伦多的商业宫和第一银行大厦,前者高239m,后者高295m。日本于20世纪60年代建成的东京池袋阳光大楼,60层,高240m。中国近代的高层建筑始建于20世纪20~30年代。1934年在上海建成的国际饭店,22层。20世纪50年代在北京建成13层的民族饭店、15层的民航大楼。20世纪60年代在广州建成18层的人民大厦、27层的广州宾馆。20世纪70年代末期起,全国各大城市兴建了大量的高层住宅,如北京的崇文门、前门、宣武门、复兴门、建国门和上海的漕溪北路等处,都建起了12~16层的高层住宅建筑群,以及大批高层办公楼、旅馆。1986年建成的深圳国际贸易中心大厦,50层。上海金茂大厦于1994年开工,1998年建成,地上88层(若再加上尖塔的楼层共有93层),地下3层。上海

环球金融中心是位于上海陆家嘴的一栋摩天大楼, 2008 年 8 月 29 日竣工, 高 492m, 地上 101 层。

2010 年 1 月 4 日, 世界第一高楼——哈利法塔, 在阿拉伯联合酋长国迪拜正式落成, 该塔共 160 层, 高达 828m。

1.2 高层建筑的定义

高层建筑的定义是一个相对概念, 随着对高层建筑研究的深入, 其定义也在不断变化。目前认为, 超过一定层数或高度的建筑称为高层建筑。高层建筑的起点高度或层数, 各国的规定都不一样, 而且没有绝对的、严格的标准。

在美国, 24.6m 或 7 层以上视为高层建筑; 在日本, 31m 或 8 层及以上视为高层建筑; 在英国, 等于或大于 24.3m 的建筑视为高层建筑。

我国的《民用建筑设计通则》(GB 50352—2005) 规定: 一~三层为低层住宅, 四~六层为多层住宅, 七~九层为中高层住宅, 十层及十层以上为高层住宅; 除住宅建筑之外的民用建筑高度不大于 24m 的为单层和多层建筑, 大于 24m 的为高层建筑 (不包括建筑高度大于 24m 的单层公共建筑); 建筑高度大于 100m 的民用建筑为超高层建筑。

《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010) 规定, 10 层及 10 层以上或房屋高度大于 28m 的住宅建筑和房屋高度大于 24m 的其他高层民用建筑为高层建筑。

1.3 我国高层建筑的发展

20 世纪 70 年代以前, 我国的高层建筑多采用钢筋混凝土框架结构、框架-剪力墙结构和剪力墙结构。进入 20 世纪 80 年代, 筒中筒结构、筒体结构、底部大空间的框支剪力墙结构, 以及大底盘多塔楼结构在工程中逐渐采用。自 20 世纪 90 年代以来, 多筒体结构、带加强层的框架-筒体结构、连体结构、巨型结构、悬挑结构、错层结构等也逐渐在工程中采用。

为满足结构体系的多样化, 结构材料也有了长足的发展, 20 世纪 80 年代以前高层建筑主要为钢筋混凝土结构。进入 20 世纪 90 年代后, 钢结构、钢-混凝土混合结构逐渐被采用, 如金茂大厦、地王大厦都是钢-混凝土混合结构。此外, 型钢混凝土结构和钢管混凝土结构在高层建筑中也正在得到广泛应用。

高层建筑结构采用的混凝土强度等级不断提高, 从 C30 逐步向 C60 及更高的等级发展。预应力混凝土结构在高层建筑的梁、板结构中广泛应用。钢材的强度等级也不断提高。

高层建筑平面布置和立面体型日趋复杂。结构平面形式多样, 三角形、梭形、圆形、弧形, 以及多种形式的组合等也多有采用。高层建筑立面体型也有丰富的变化, 立面退台、部分切块、挖洞、尖塔、大悬臂等, 使高层建筑的刚度沿竖向发生突变。由于建筑功能的改变, 使结构体系、柱网等发生变化, 因此主体结构也要发生转换, 即由上部剪力墙结构到下部筒体框架或框架剪力墙结构的转换; 或主体结构由上部小柱网、薄壁柱到下部大柱网的转换。结构体系的转换及立面体型变化丰富的结构在地震区建造难度较大, 还有待于进一步深入研究, 并经历强震的检验。

高层建筑结构设计方法不断创新。高层建筑结构的分析计算已基本告别传统的手工计算

而采用计算机程序计算,基本上都采用三维空间结构分析计算程序。常用的计算分析模型有:空间杆-薄壁杆件分析模型、空间杆-墙组元模型及空间杆-壳元分析模型。有些程序可考虑楼板变形进行结构分析计算,能更真实地反映复杂结构的受力特点。除可进行钢筋混凝土结构计算外,有些计算分析软件还可进行钢结构、钢-混凝土混合结构的计算。

1980年,我国颁布并施行了《钢筋混凝土高层建筑设计施工规定》(JGJ 3—1979),通过一段时间的实践应用,1991年修改为《钢筋混凝土高层建筑设计施工规程》(JGJ 3—1991)。

20世纪90年代以来,由于钢结构、钢-混凝土混合结构的兴建,1998年我国编制了《高层民用建筑钢结构技术规程》(JGJ 99—1998)。近年来由于体型复杂的高层建筑增多及超过200m的超高层建筑的出现,对《钢筋混凝土高层建筑设计施工规程》(JGJ 3—1991)进行修订,修订后改为《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010)。内容将包括:总则、荷载和地震作用、常规高度结构设计的一般规定、结构计算分析、框架结构设计、剪力墙结构设计、框架-剪力墙结构设计、筒体结构设计、复杂高层建筑设计、混合结构设计、超高层建筑结构设计、基础设计、高层建筑结构施工等,将更适合高层建筑结构的设计应用。其中,按建筑物的高度、结构体系、抗震设防烈度可确定各类构件的抗震等级,从而按各类构件的延性要求,确定各构件的截面配筋设计及构造要求,以确保其良好的抗震性能。

高层建筑由于对抗震、抗风的要求较高,而且建筑多样化,层数、高度也日益增高,20世纪90年代以来国内高层建筑的施工方法是以全现浇钢筋混凝土施工为主体;另外,由于钢结构和钢-混凝土混合结构的兴建,需要辅以此类结构的预制安装方法和多种混合施工方法。高层现浇钢筋混凝土施工技术着重解决了模板、混凝土、钢筋3个方面的施工新技术。

高层建筑采用的混凝土强度等级已由常用的C30、C40逐步向C50、C60、C80及更高的强度等级发展。高强度、高性能混凝土的生产要有严格的质量控制与管理措施,应由工厂预拌生产。国内的预拌商品混凝土近年来发展很快,约占全部混凝土总量的21%。

高层建筑还需要解决泵送混凝土的问题,1997年我国就可用国产混凝土拖式泵一次泵送到200m以上高度。在普及C50、C60混凝土的工程应用,扩大C70、C80混凝土的工程试点的同时,开发配制C100高强度混凝土(主要是在常规水泥、砂、石的基础上,依靠添加外加剂和矿物掺和料来降低混凝土用水量及改善微观结构)。

在高层建筑基础采用大体积混凝土施工技术方面也积累了经验,主要经验为:减少水泥水化热,采用较低水化热的水泥,掺粉煤灰和减水剂,提高混凝土抗拉强度;采用泵送预拌混凝土,分段、分层连续作业的合理浇捣方法,及时养护并进行测温监控。

新上海国际大厦的基础底板尺寸为76m×72m,主楼底板厚3.5m,裙楼底板厚3m,不设结构缝,采用C30混凝土斜面分层浇筑,每层厚度不超过50cm,17000m³混凝土共用64h,一次浇筑到顶,整平养护后未发现裂缝。

20世纪50~80年代,主要对混凝土预制装配框架、装配式大板、升板、盒子结构等预制安装技术进行了研究,取得了一定成效。从20世纪80年代至今,由于钢结构、钢-混凝土混合结构的兴建,钢结构安装技术有了新的发展,主要以塔式起重机为主机进行安装,高强度螺栓联接已取代铆接和部分焊接。钢结构还需解决防火、防锈、防腐等问题。

深圳佳宁娜友谊广场两座33层高的公寓楼相距25.2m,在其顶部由8层高的钢结构连

成整体,采用高空平移法施工,获得了成功。

1.4 超高层建筑存在的问题

毋庸置疑,高层建筑给人们的生活带来了巨大的变化,它在人类的建筑发展史中占有重要的地位。随着设计理念的不断完善,新型结构材料的不断涌现,新型施工技术的不断进步,将会出现越来越高的建筑。

超高层建筑在节约城市用地,迅速提高城市知名度方面起到了巨大的作用。但是,应清醒地认识到在超高层建筑的应用中还存在许多问题,这些问题将成为高层建筑发展的瓶颈。

1.4.1 安全防火问题

如果大楼突然发生火灾,应该怎么办?这是每个人都应该思考的问题。城市安全部门曾经做过一个试验,让一名身强力壮的消防员从第33层跑到第1层,用了35min。如果是一名身体素质一般的人员或老人、小孩,所需时间肯定会更多,因此高层建筑安全防火问题至关重要。

1.4.2 交通、生态环境问题

超高层建筑中工作人员很多,必须乘坐电梯,有的超高层建筑甚至还需中途换乘电梯。如果电梯出现故障,将给使用者带来较大的麻烦。另外,上下班的人流高峰,将造成楼层拥挤,超高层建筑周围也会出现人流高峰和车流高峰。

超高层建筑阻挡阳光,总平面布局必须考虑日照间距。同时,高层建筑会将高空强风引至地面,造成高楼附近局部强风,影响行人的安全。

除了局部强风,高层建筑还会加剧城市热岛现象。由于空调、照明等设备均需较大的能量供应,产生的大量热能会改变城市原有的热平衡,导致城市热岛现象加剧。

1.4.3 经济成本问题

由于超高层建筑具有设计特殊、技术先进、施工复杂、材料耗费巨大的特点,所以建造一座摩天大楼一般要耗费大量的资金。资料显示,一座200m高的建筑,其成本远高于两座100m高的建筑;330m高的超高层建筑,其成本远超过3座100m高的建筑。

超高层建筑的运营成本巨大,如果超高层建筑的使用寿命以65年计算,它的维护费用将是一般建筑的3倍,因此目前建筑界的共识是,高度超过300m的摩天大楼已经失去了节约用地的经济意义。

本章小结

全球城市化的急剧发展,使得城市人口迅速增多,由此高层建筑获得了巨大的发展机遇。高层建筑的发展与材料、设备、设计等方面的发展密不可分。面对资源的约束、环境的影响,高层建筑也面临许多挑战。

高层建筑的发展要满足可持续性发展的要求。在绿色生态、建筑节能、防灾减灾及提高生活品质等方面还有大量的课题需要攻克;对高层建筑的学习要不断地创新设计理念、探索

新的结构形式、应用各种高新技术，才能满足社会发展的需要。

复习思考题

1. 什么是高层建筑？
2. 简述高层建筑的发展历程。
3. 高层建筑存在哪些问题？

第2章 高层建筑深基坑工程

教学目标:

1. 熟悉基坑工程的内容及基坑支护结构的安全等级。
2. 了解基坑支护结构的设计原则与方法。
3. 熟悉基坑工程勘察工作包含的内容及勘探点的布置。
4. 熟悉地下水的控制措施;了解多级井点、喷射井点、电渗井点、深井井点的适用范围、构造组成及工作原理;掌握井点降水设计的计算、施工与应用方法。
5. 掌握深基坑土方开挖方案的选择;掌握基坑支护结构的选型;熟悉常见的几种基坑支护的设计原理和施工方法。

2.1 深基坑工程概述

随着我国经济建设和城市建设的发展,地下工程越来越多,应用范围日益扩大,我国许多地区都建设了一大批规模大、深度深、地质和周边环境复杂多样的基坑工程。通过实践,工程技术人员已经积累了非常丰富的经验,可以熟练地掌握各种高难度基坑工程的施工技术,为更多、更复杂的地下建筑工程施工打下了坚实的基础。

基坑工程是为挖除建(构)筑物地下结构处的土方,保证主体地下结构的安全施工及保护基坑周边环境而采取的围护、支撑、降水、加固、挖土与回填等工程措施的总称,包括勘察、设计、施工、检测与监测。

基坑工程是一门综合性很强的学科,涉及的学科较多,如工程地质学、土力学、基础工程学、结构力学、材料力学、工程结构、工程施工等,它所包含的内容基本涵盖了勘测、基坑支护结构的设计和施工、地下水控制、基坑土方的开挖、土体加固、工程监测和周围环境的保护等多个领域。

同时,基坑工程还具有较强的实践性,在设计和施工过程中必须要考虑:复杂多样的周边环境、各地区土层的变化、工程量大、工序多等不确定因素,因此基坑工程成为施工风险大,施工技术复杂,难度大的一项工程。基坑工程的施工也是在工程建设过程中极其重要的阶段。

2.1.1 基坑工程设计的一般规定与要求

基坑工程按边坡情况分为无支护开挖(放坡)和有支护开挖(在支护体系保护下开挖)两种形式。场地开阔、周围环境允许及在技术经济上合理时,宜优先采用放坡开挖或局部放坡开挖;在建筑物稠密地区、不具备放坡开挖条件,或者技术经济上不合理时,应采用有支护结构的垂直开挖施工。

基坑工程应根据现场实际工程地质、水文地质、场地和周边环境情况,以及施工条件进

行设计和组织施工。

基坑工程设计时应考虑的荷载主要有：土压力、水压力；地面超载；施工荷载；邻近建筑物的荷载；当围护结构作为主体结构的一部分时，还应考虑人防和地震荷载等；以及其他不利于基坑稳定的荷载等。

基坑工程设计应包括：支护体系选型、围护结构的强度设计、变形计算、坑内外土体稳定性计算、渗流稳定性计算、降水要求、挖土要求、监测内容等。在施工中，要确定挖土方法，挖土及支撑的施工工艺流程。

基坑支护结构设计应采用以分项系数表示的承载能力极限状态进行计算。这种极限状态对应于支护结构达到最大承载能力或土体失稳、过大变形导致的支护结构、内支撑或锚固系统、或基坑周边环境破坏。对于安全等级为一级及对支护结构变形有限定的二级建筑基坑侧壁，还应对基坑周边环境及支护结构变形进行验算。

根据《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120—2012)的规定，基坑支护结构的极限状态，可以分为以下两类：

1) 承载能力极限状态。这种极限状态，对应于支护结构达到最大承载能力或土体失稳、过大变形导致的支护结构或基坑周边环境破坏。

2) 正常使用极限状态。这种极限状态，对应于支护结构的变形已影响地下结构施工，或影响基坑周边环境的正常使用功能。

根据承载能力极限状态和正常使用极限状态的设计要求，基坑支护应进行下列计算：

1) 根据基坑支护形式及其受力特点进行土体稳定性计算。

2) 基坑支护结构的受压、受弯、受剪承载力计算。

3) 当有锚杆或支撑时，应对其进行承载力计算和稳定性验算。

4) 对于安全等级为一级及对支护结构变形有限定的二级建筑基坑侧壁，还应对基坑周边环境及支护结构变形进行验算。

基坑工程设计时应具备下列资料：

1) 场地工程地质和水文地质资料。

2) 邻近建（构）筑物和地下设施的类型、分布及结构情况。

3) 用地红线范围、建筑总平面图、基础和地下工程平面图、剖面图和桩位图。

4) 相邻地下工程施工情况。

基坑工程施工前应取得下列资料：

1) 完整的基坑设计施工图样。

2) 技术、质量、安全及施工监测准备完毕。

3) 施工组织设计编制完成。

2.1.2 基坑支护结构的作用及设计原则

基坑支护是指为了保证地下结构施工和基坑周边环境安全，对基坑侧壁及周边环境采用的支挡、加固与保护措施。它是工程体系中重要的组成部分，其研究内容也是岩土工程的主要技术问题，即支护结构物与岩、土体相互作用共同承担上部、周围荷载及自身重量的变形与稳定问题。

深基坑支护工程已成为当前工程建设的热点，目前深基坑支护工程建筑的发展趋势是高

层化, 基坑向更深层发展。基坑开挖面积增大, 宽度超过百米, 长度达到上千米, 整体稳定性要求更高; 在软弱地层中的深基坑开挖易产生较大的位移和沉降, 对周围环境可造成较大的影响; 深基坑施工、运行周期长, 对临时性基坑支护有更高的牢固性要求; 深基坑支护系统不再只是临时性结构, 而是参与到加固与改善建筑物的基础和地基作用当中来。

在此种情况下, 深基坑支护结构的作用主要体现在以下三方面:

1) 挡土作用, 保证基坑周围未开挖土体的稳定, 使基坑内有一个开阔、安全的空间。

2) 控制土体变形作用, 保证与基坑相邻的周围建筑物和地下管线在基坑内结构的施工期间不因土体向坑内的位移而受到损害。

3) 截水作用, 保证基坑内场地达到无水施工作业条件, 不影响周围水位变动。

基坑支护工程设计的总体原则为: 严格贯彻执行国家的技术经济政策, 做到技术先进、经济合理、安全适用、确保质量。除应满足工程设计要求外, 还应做到因地制宜、就地取材、保护和节约资源。

基坑支护工程的设计要满足安全性、经济性及适用性三方面的要求。安全性包含两个方面: 一是支护结构自身强度满足, 结构内力必须在材料强度允许范围内; 二是支护结构与被支护体之间的作用是稳定的, 要求支护结构具有足够的承载力, 不能产生过量的变形。经济性及适用性要求在设计中通过应用先进的技术和手段, 充分把握支护结构特征, 通过多方案比较, 在施工中采用适当的工艺、工序, 使设计更经济合理, 既满足规范要求, 又不过量配置材料, 也不影响支护结构的使用功能, 寻求最佳设计方案, 使支护结构成本最低。

2.1.3 基坑工程的安全等级

基坑工程的安全等级应根据周边环境、破坏后果和严重程度、基坑深度、工程地质和地下水等具体情况, 划分为一、二、三级, 见表 2-1。

表 2-1 基坑工程安全等级划分

基坑工程安全等级	周边环境、破坏后果和严重程度、基坑深度、工程地质和地下水条件
一级	周边环境条件很复杂; 破坏后果很严重; 基坑深度 $h > 12\text{m}$; 工程地质条件复杂; 地下水水位很高、条件复杂、对施工影响严重
二级	周边环境条件较复杂; 破坏后果严重; 基坑深度 $6\text{m} < h \leq 12\text{m}$; 工程地质条件较复杂; 地下水水位较高、条件较复杂, 对施工影响较严重
三级	周边环境条件简单; 破坏后果不严重; 基坑 $h \leq 6\text{m}$; 工程地质条件简单; 地下水水位低、条件简单, 对施工影响轻微

注: 从一级开始, 有两项 (含两项) 以上最先符合该等级标准的, 即可定为该等级。

我国的基坑支护执行的是《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120—2012)。基坑支护结构设计应根据表 2-2 选用相应的支护结构安全等级及结构重要性系数 γ_0 。

表 2-2 支护结构的安全等级及结构重要性系数 γ_0

安全等级	破坏后果	γ_0
一级	支护结构失效, 土体过大变形对基坑周边环境或主体结构施工安全的影响很严重	1.1
二级	支护结构失效, 土体过大变形对基坑周边环境或主体结构施工安全的影响严重	1.0
三级	支护结构失效, 土体过大变形对基坑周边环境或主体结构施工安全的影响不严重	0.9

我国幅员辽阔,各地土体性状不一,各地区、各城市根据其特点和要求,对基坑工程作出了相应的规定,以便更好地进行岩土勘察、支护结构设计、基坑工程施工方案审查等实践应用。例如,《基坑工程技术规范》(DGTJ08 61—2010),是目前上海市执行的标准;《建筑基坑支护技术规程》(DB11/489—2007),是目前北京市执行的标准。

支护结构设计应考虑结构水平变形、地下水变化对周边环境水平与竖向变形的影响。对于安全等级为一级和对周边环境变形有限定要求的二级建筑基坑侧壁,应根据周边环境的重要性、对变形的适应能力及土的性质等因素确定支护结构的水平变形限值。

当场地内有地下水时,应根据场地及周边区域的工程地质条件、水文地质条件、周边环境情况、支护结构与基础形式等因素,确定地下水的控制方法。当场地周围有地表水汇流、排泄或地下水管渗漏时,应对基坑采取保护措施。

基坑支护工程的设计与分析主要考虑的是岩土与支护结构物的共同作用,正是由于环境介质的不确定性,使得基坑支护设计理论和计算方法与地上建筑结构有较大的区别,涉及更加复杂的因素。支护结构的稳定与安全是地下工程施工的前提与保障。

对于支护工程的设计和计算要保证有足够的安全考虑,主要体现在以下几方面:

- 1) 支护结构的抗倾覆性。基坑上部边坡不应产生明显变形,以防周围建筑发生裂缝。
- 2) 支护结构体底部与土体之间的抗滑性。不应出现滑动,以防支护结构体失效。
- 3) 土体的稳定性。被支护土体的深部不应出现圆弧滑动,以防支护结构整体失稳。
- 4) 在地面及附加荷载作用下,锚索的抗拉强度应大于所承受的拉力。
- 5) 支护结构自身强度应满足抗弯、抗剪及轴向抗拉、抗压的要求。
- 6) 支护结构的地基不能发生沉陷与基坑隆起。

2.2 高层建筑基坑工程勘察

近年来基坑失稳事故频繁发生,为此建设各方都给予了高度重视。目前,基坑工程已成为岩土工程领域中的一门专门学科。高层建筑基础埋置较深,必然涉及基坑工程勘察这一重要问题。基坑工程的勘察也必然要遵循岩土工程勘察等的相关规范。

根据《高层建筑岩土工程勘察规程》(JGJ 72—2004)的规定,高层建筑岩土工程勘察是指采用工程地质测绘与调查、勘探、原位测试、室内试验等多种勘察手段和方法,对高层建筑(含超高层建筑、高耸构筑物)场地的稳定性、岩土条件、地下水及其与工程之间的相互关系进行调查研究,并在此基础上对高层建筑的地基基础、基坑工程等作出分析评价和预测建议。

根据工程重要性等级、场地复杂程度等级和地基复杂程度等级,可将岩土工程勘察划分为甲、乙、丙三个等级。甲级是指在工程重要性等级、场地复杂程度等级和地基复杂程度等级中,有一项或多项为一级;乙级是指除勘察等级为甲级和丙级以外的勘察项目;丙级是指工程重要性等级、场地复杂程度等级和地基复杂程度等级均为三级。建在岩质地基上的一级工程,场地复杂程度等级和地基复杂程度等级均为三级时,岩土工程勘察等级可定为乙级。

应注意的是,根据《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001)的规定,岩土工程勘察等级是根据工程的重要性等级、场地复杂程度等级及地基复杂程度等级来划分的。对于所有高层建筑、超高层建筑(高耸构筑物)而言,按工程重要性等级划分均应属于一、二级工程,

不存在三级工程,故高层建筑的岩土工程勘察等级只划分为甲、乙两级。当工程重要性等级为一级时,即便是场地复杂程度等级或地基复杂程度等级为三级,按《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001)对勘察等级的划分标准,其勘察等级应划分为甲级;当工程重要性等级为二级时,即便是场地复杂程度等级或地基复杂程度等级为三级时,其勘察等级也应划分为乙级。

2.2.1 高层建筑工程地质勘察阶段划分

高层建筑工程地质(岩土)勘察一般分为地基勘察和基坑勘察两个方面,均是在城市规划的基础上进行的。除要求满足立体建筑基础设计外,同时要兼顾基坑工程设计和施工的要求,如不能满足时,则宜再进行补充勘察。

其勘察阶段的划分一般可分为初步勘察和详细勘察两阶段。当工程规模较小而要求不太高、地基的工程地质条件较好时,可合并为一个阶段去完成。

初步勘察阶段的主要任务是初步查明与基坑及地基稳定性有关的地震地质条件及其危害,了解地层的岩土特性、成因类型和水文地质条件,收集建筑经验和水文气象资料等,对建筑场地的建筑适宜性和岩土稳定性作出明确的结论,为基坑支护及确定建筑物的规模、平面造型、地下室层数与基础类型等提供可靠的地质资料。

初步勘察阶段的勘察要点,首先是收集城市规划中已有的气候、水文、工程地质和水文地质等资料。通过踏勘,着重研究地质环境中的地震地质条件,以及建设场地内是否存在较弱土层和其他不稳定因素;查明建筑场地深部有无影响工程建筑稳定性的不良地质因素;在地震烈度较高地区,还须查明地基中液化土层(如有)的埋藏和分布情况,并提供抗震设计所需的有关参数。勘探工作应保证勘探孔的距离不小于30m,每一建筑场地的勘探孔数量为3~5个,保证每一单独高层建筑的勘探孔数量不少于1个,并应连成纵贯场地而平行于地质地形变化最大方向的勘探线,以便作出说明和评价地质变化规律的工程地质剖面图。必要时,应对关键性的软弱土层做少量试验工作,初步确定其工程性质。

详细勘察阶段的主要勘察任务是进一步查明建筑场地的工程地质条件,详细论证有关工程地质问题,并为基坑支护和基础设计及施工措施提供准确的定量指标和计算参数。详细勘察阶段的工程地质工作是进行大量的钻探和室内试验,配合大型的现场原位测试,其目的是查明地基中建筑物影响范围内土体的成因类型及其分布情况;各土层的成分、结构及均匀性,提交各土层的物理力学指标,对地基的强度和变形作出工程地质评价;查明地下水位及其季节性变动情况,各含水层的分布及其透水性、水质的侵蚀性等,为设计和施工提供与基坑开挖及人工降低地下水位有关的参数。勘探工作以钻探为主,适当布置一些坑槽和浅井。勘探坑孔按网格布置,以便能通过制图反映地基土层的分布、厚度、状态,以及地下水的埋藏条件等,全面说明该建筑场地的工程地质条件,并作出确切的结论。每幢单独高层建筑的勘探坑孔数量不少于4个,按建筑物的轮廓布置,其中有2个以上是控制孔。

箱形基础勘探孔的间距,一般根据地层的变化和建筑物的具体要求确定,通常为20~35m。各孔的深度是从箱形基础底面算起,无黏性土取1倍的箱形基础宽度,黏性土取1.5~2倍的箱形基础宽度;若遇基岩、硬土或软土时,孔深可适当增大或减小。

桩基础勘探孔的间距,一般根据桩尖持力层顶板的起伏情况确定,当其起伏不大时,孔距为12~24m,否则应适当加密,甚至按每柱一个孔布置。控制孔的深度是自预定桩尖深度

算起再往下与群桩相当的实体基础宽度的0.5~2倍。一般勘探孔的深度与持力层的岩性有关,对于持力层为砂土或卵石层,钻孔宜钻入该层顶板以下2m;对于持力层为黏性土,钻孔宜钻入该层顶板以下3m;若持力层为基岩时,应打穿强风化层,宜钻入微风化带不小于3~5倍的桩径;在球状风化的花岗岩地区,钻孔宜钻入微风化带不应小于5m;在岩溶发育地区,钻孔宜钻入稳定地层不应小于5m。此外,由于高层建筑基础具有深基础的特点,标准贯入深度应不受21m的限制。

高层建筑不仅对整体倾斜要有严格限制,而且对抗震和抗风等有较高要求,因此在室内试验工作中,除了进行一定数量的物理力学试验外,箱形基础工程还要做前期固结压力试验及反复加荷卸荷的固结试验,为估算基底土层隆胀提供参数;同时,还要在加荷卸荷条件下测定弹性模量及无侧限抗压强度等。对重要基础,还要做三轴剪切试验。在高地震烈度地区,还要做动三轴试验,求得动剪切模量、动阻尼等,为抗震设计提供动力参数。

高层建筑岩土勘察采取岩土试样进行室内试验的结果和原位测试的相符:每幢高层建筑每一主要土层内采取不扰动土试样的数量或进行原位测试的次数不应少于6件(组)次;在地基主要受力层内,对厚度大于0.5m的夹层或透镜体,应采取不扰动土试样或进行原位测试;当土层性质不均匀时,应增加取土数量或原位测试次数;岩石试样的数量各层不应少于6件(组);地下室侧墙计算、基坑边坡稳定性计算或锚杆设计所需的抗剪强度试验指标,各主要土层应采取不少于6件(组)的不扰动土试样。

根据地基土的工程地质性质,结合建筑物结构的特点和基础类型,在建筑物的关键部位进行现场原位试验,如静力触探、标准贯入试验、波速试验、十字板剪切试验、载荷试验、回弹测试和基底接触反力的测试等,以校核室内试验的成果,提供可靠的计算参数。

箱形基础还要做渗透试验,求得地基中地下水位以下至设计基础底面附近各土层的渗透系数,为基坑排水设计和沉降稳定时间计算提供参数。桩基础需做压桩试验,以求得单桩及群桩的承载力和沉降;通过拔桩试验,求得桩的抗拔力,以及验证单桩的摩擦力;有时也要做推桩试验,求得桩的侧向抗推力及其水平位移。必要时,还要做单桩及群桩的刚度试验,从而求得桩基础的刚度系数及阻尼比。有时,在箱形基础开挖前,要在少量足够深度的孔底中设置基点,为基坑施工时对坑底的隆胀进行观测提供依据。

对重大的或具有科研价值的高层建筑物,还要进行基础沉降量观测,建筑物整体倾斜、水平位移及建筑物裂缝观测等长期观测工作。

2.2.2 基坑工程勘察

基坑工程勘察的范围和深度应根据场地条件和设计要求确定。勘察深度宜为开挖深度的2~3倍,在此深度内遇到坚硬的黏性土、碎石土和岩层,可根据岩土类别和支护设计要求减少勘察深度。勘察的平面范围宜超出开挖边界外开挖深度的2~3倍。深厚软土区,勘察深度和范围还应适当扩大。在开挖边界外,勘察方法以调查研究、搜集已有资料为主,复杂场地和斜坡场地应布置适量的勘探点。

基坑工程的勘察是为正确进行基坑支护结构设计和合理制定施工方案提供依据,因此需要对影响支护结构设计和施工的技术资料进行全面收集并加以深入了解及分析。一般主要做好三个方面资料的收集整理工作:工程地质(岩土)勘察和水文地质资料调查;场地周围环境及地下管线状况调查;地下结构设计资料调查。