

高层建筑施工
培训丛书

3

高层建筑基础工程施工

● 饶天赞

曹喜仁

编著

湖南科学技术出版社



高层建筑施工
培训丛书

.3

TU974
6

饶天赞 曹喜仁 编著
湖南科学技术出版社

高层建筑 基础 工程施工

TU974
6



高层建筑施工培训丛书之三

高层建筑基础工程施工

编 著 者：饶天赞 曹喜仁

责任编辑：殷 健 谢 颖

出版发行：湖南科学技术出版社

社 址：长沙市展览馆路3号

印 刷：湖南省新华印刷二厂

(印装质量问题请直接与本厂联系)

厂 址：邵阳市双坡岭

邮 码：422001

经 销：湖南省新华书店

出版日期：1995年10月第1版第1次

开 本：850×1168毫米 1/32

印 张：12.25

插 页：4

字 数：322,000

印 数：1—3,100

ISBN 7—5357—1804—3/TU·63

定 价：14.80元

湘新登字 004 号

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 高层建筑基础工程的特点	(1)
第二节 基础类型和施工方案的选择	(6)
第三节 高层建筑基础类型	(8)
第二章 高层建筑中的箱基及筏板基础	(11)
第一节 箱形基础	(11)
一、构造要求	(12)
二、一般计算	(14)
三、施工要求	(15)
第二节 筏板基础	(16)
一、构造要求	(18)
二、简化计算	(19)
三、施工要点	(21)
第三章 桩基础	(22)
第一节 桩和桩基础的类型	(22)
一、桩按施工方法分类	(22)
二、按桩的制作材料分类	(26)
三、按承台位置分类	(27)
四、按荷载传递方式分类	(27)
五、竖直桩与斜桩	(28)
六、按设置效应区分	(28)
第二节 钻孔灌注桩	(28)
一、钻孔灌注桩的特点及其在高层建筑中的应用	(28)
二、钻孔的准备工作	(30)
(一) 埋设护筒	(30)
(二) 安装钻架	(32)

(三) 泥浆	(32)
(四) 钻孔内外的水头差	(37)
三、旋转钻钻孔	(37)
(一) 正循环旋转钻	(38)
(二) 反循环旋转钻	(39)
(三) 正反循环旋转钻的比较	(43)
(四) 正反旋转钻机的机具设备	(44)
(五) 循环旋转钻钻孔操作	(52)
(六) 钻孔事故的预防和处理	(54)
(七) 潜水电钻	(57)
(八) 斗式钻	(59)
四、冲击钻成孔	(63)
(一) 成孔方法和使用情况	(63)
(二) 冲击钻孔机具	(65)
(三) 冲击锥钻孔施工	(69)
(四) 冲击钻成孔的特点	(70)
(五) 冲击成孔事故的预防和处理	(72)
五、冲抓锥成孔	(75)
六、贝诺托施工法	(76)
(一) 概要	(76)
(二) 贝诺托施工法的特点	(77)
(三) 贝诺托桩的施工程序	(79)
(四) 贝诺托钻机的主要部件	(80)
(五) 贝诺托钻机的型号和施工实录	(82)
七、钢筋笼的加工和钢筋骨架的安放	(87)
(一) 对钢筋笼的要求	(87)
(二) 钢筋笼制作方法	(88)
(三) 钢筋笼的吊运和安放	(89)
八、清孔	(89)
九、浇灌水下混凝土	(91)
(一) 浇灌水下混凝土的机具	(92)
(二) 水下混凝土灌注	(94)
(三) 对材料的要求	(95)

(四) 灌注水下混凝土注意事项	(96)
(五) 可能发生的故事和处理	(97)
(六) 钻孔灌注桩的补强	(99)
第三节 挖孔桩	(101)
一、挖孔桩及其在高层建筑中的应用	(101)
二、挖孔桩的优缺点	(103)
三、挖孔桩施工机具	(104)
四、挖孔桩施工	(104)
五、质量要求和安全措施	(109)
第四节 干作业成孔钻孔桩	(109)
一、概述	(109)
二、螺旋钻孔机施工	(110)
(一) 长螺旋钻孔机	(110)
(二) 长螺旋钻孔桩施工程序	(112)
(三) 短螺旋钻孔机	(113)
(四) 螺旋钻与扩底灌注桩	(114)
(五) 螺旋钻孔机型号	(114)
(六) 螺旋钻孔机的特点和适用情况	(114)
第五节 打入桩	(117)
一、钢筋混凝土预制桩	(118)
(一) 钢筋混凝土实心桩	(118)
(二) 钢筋混凝土管桩	(121)
二、钢管桩	(123)
(一) 钢管桩在高层建筑中的应用和特点	(123)
(二) 钢管桩施工	(125)
(三) 钢管桩的构造	(126)
(四) 钢桩防腐蚀	(132)
三、桩锤	(133)
四、桩架	(148)
五、预制桩施工中的有关事项	(156)
六、打入桩施工	(162)
(一) 桩锤的选择	(162)
(二) 锤击沉桩施工	(163)

七、打入桩施工对临近建筑物的影响	(167)
第四章 基坑开挖与支护	(170)
第一节 深基坑降水	(171)
一、基坑内集水井排水	(171)
二、井点降水	(181)
(一) 轻型井点	(182)
(二) 喷射井点	(200)
(三) 电渗井点	(202)
(四) 管井井点	(204)
第二节 深基坑土方开挖	(207)
一、机械挖土的方法及机具选择	(207)
二、挖土机与运土自卸汽车配合	(212)
三、基坑土方开挖注意事项	(215)
四、基坑土方回填	(217)
第三节 深基坑的挡土和支护结构	(221)
一、挡土支护结构的类型	(221)
二、钢板桩	(231)
(一) 钢板桩的计算	(233)
(二) 钢板桩的施工	(262)
三、地下连续墙的施工	(277)
四、高层建筑逆筑法施工	(305)
(一) 高层建筑深地下室的传统施工方法	(305)
(二) 逆筑法施工程序	(306)
(三) 逆筑法施工的特点	(308)
(四) 逆筑法地下室各结构物的施工	(309)
第四节 基础施工中的土层锚杆	(312)
一、土层锚杆的发展、类型和构造	(312)
二、土层锚杆的抗拔作用	(316)
三、土层锚杆的稳定性计算	(321)
四、土层锚杆设计	(324)
五、预应力锚杆的张拉值	(336)
六、土层锚杆的施工	(338)

第五章 高层建筑基础工程中的大体积混凝土	(346)
第一节 高层建筑基础工程中大体积混凝土的特性	(346)
一、大体积混凝土与水泥水化热	(346)
二、水化热对大体积混凝土的危害	(348)
(一) 表面裂缝	(348)
(二) 垂直裂缝	(349)
(三) 混凝土的收缩变形	(350)
(四) 气温影响	(353)
三、高层建筑基础工程中的大体积混凝土	(353)
第二节 大体积混凝土裂缝的防止	(356)
一、减少水化热	(356)
二、降低混凝土凝结硬化期的温度	(357)
三、按不同的季节采用不同的施工方法	(358)
四、减少大体积混凝土的内外约束	(358)
五、合理配置钢筋	(360)
六、作好测温工作	(361)
七、实例	(361)
第三节 大体积混凝土的温度效应计算	(362)
一、大体积混凝土的温差计算	(363)
二、算例	(368)
三、混凝土所需保温材料厚度的计算	(371)
四、大体积和大面积混凝土的温度和收缩应力计算	(372)
第四节 大体积混凝土的施工	(376)
一、材料	(376)
二、混凝土配合比设计	(377)
三、施工准备	(378)
四、施工工艺	(379)

第一章 概 述

第一节 高层建筑基础工程的特点

近年来，我国的高层建筑如雨后春笋般涌现出来。目前，在我国不用说那些大城市，就是中、小城市乃至县城都有高层建筑出现。关于什么是高层建筑，我国建设部《民用建筑设计通则》(JGJ37—87)规定，高层建筑是指10层以上的住宅及总高度超过24m的公共建筑及综合建筑。1972年召开的国际高层建筑会议则定为：第一类高层建筑 9~16层（最高50m）；第二类高层建筑 17~25层（最高75m）；第三类高层建筑 26~40层（最高100m）；超高层建筑 40层以上（高度大于100m）。

由此可知，人们所指的高层建筑，就是那些高耸和多层数的建筑物。我国的高层建筑一般是民用建筑，包括那些高层的高级宾馆、饭店、贸易中心、高层办公楼和综合楼，以及高层住宅等等。一般占地面积并不大，但因多层而建筑面积大，一般带裙房的高层建筑就高层二字而言仅指塔楼。

这些高耸的，稳固的，美观而舒适的建筑物当然是奠基在它下面的地基基础上的。因而高层建筑的地基基础受力的一个主要特点就是：要在不太大的面积内承受巨大的荷载。对基础而言，要求稳固可靠且能传递巨大的荷载；对地基而言，则要能承受这么大的荷载且不丧失强度和稳定性。所以高层建筑的基础一般是厚实的钢筋混凝土梁板式基础或粗长的桩基础；地基则一般为压缩性小而强度高的好的土层或岩层。

高层建筑在有限的面积内传到地基的竖向荷载之大，常常是很惊人的。例如我国70年代修建的广州白云宾馆，地上33层，地

下1层，高114.05m，采用钢筋混凝土剪力墙结构，这在当时已是全国最高的高层建筑，总重量达10万吨。因为荷载巨大，只好选用大量的嵌入基岩的大直径钢筋混凝土灌注桩和钻孔墩。

美国的高层建筑，举世瞩目。1931年建成的纽约帝国大厦(Empire State Building)，总层数102层，总距地面高度380m，大厦总体积96.4万 m^3 ，有效使用面积16万 m^2 。为了减轻自重，已经采取许多措施，总重量仍达30万吨以上，结构用钢就达5.8万吨。大楼建成以后，由于重量极大，大厦钢结构本身就压缩了15~18cm。时至今日，历史已表明这所大厦是十分成功的，但在当时，因为重量是如此之大，曾有人担心大厦的巨大荷载会引起地层的变动。

高层建筑地基基础不但要承受巨大的垂直荷载，承受的水平荷载也很可观。随着建筑层数的增加，水平荷载（风压和地震荷载）的比重愈来愈大。在层数超过10~12层的高层建筑中，水平荷载的影响将成为选择结构体系的决定因素。就风荷载而言，高层建筑本来迎风面积就大，又因为高耸，承受的风的强度（单位面积的风载）又比低处的大，因而加大了风荷载。纽约帝国大厦在大风中的摆动幅度就达7.6cm（人并不感觉）。就地震区的地震荷载而言，重心高的结构物承受的横向的地震力比重心低的大，于是对高层建筑的抗震性能就要求更高。我国上海于30年代修建的国际饭店，24层，高82.5m，当时是远东最高的建筑。论科学技术，当时的日本更发达。但日本1923年发生关东大地震，横滨、东京一带损失惨重，城市大部分被毁，死亡10万余人。在那以后，日本政府为考虑安全，也顾及到当时的经济实力，于1931年规定，居住区建筑高度限制在16m和20m以内，商业区则限制在31m以内，于是最高的建筑也不过10来层。到1962年日本用电子计算机检验高层建筑新结构体系的抗震性能，得出了合格的结论；1963年日本建设省修正建筑法规，撤消高度限制。在这以后，日本高层建筑发展极快，但均考虑到了抗震性能，如曾受地震灾害的东京都墨田区的高层住宅建筑，采用桩基，钢筋混凝土桩打入

地下 40m 以增强建筑物的抗震能力。1963 年以后,日本的高层建筑蓬勃发展:1968 年建成东京三井霞关大厦(36 层,高 147m);1970 年建成东京新宿京王广场旅馆(47 层);1974 年建成东京新宿住友大厦(52 层)及新宿三友大厦(55 层);1979 年建成东京池袋区“阳光城”,群体包括阳光大厦(高 240m,地上 60 层,地下 3 层),36 层的旅馆,12 层的文化会馆,11 层的舶来品商场等。同时,日本的其他城市如大阪、名古屋、神户等的高层建筑也蓬勃发展。

在地基变形方面,高层建筑对地基的沉降特别是沉降差要求严格。它一般属于地基规范的一级建筑物,要进行地基的沉降验算,以防止发生超过允许的倾斜和过大的沉降。同时要求下卧层的承载力足够且不发生过大的变形,所以有时对有争议的下卧层要进行详细的补充勘探,包括现场的静力触探试验、标准贯入试验、旁压仪试验、取原状土做三轴剪力试验等。必须做到心中有数,才能选用正确的基础方案并采取正确的施工措施。

高层建筑的基础一般要深埋,为深基础。深埋的原因有二,其一是受力方面的原因:深埋可以增加基础的稳定性和抗震性能,可以利用深层地基的较大的承载能力并减少沉降,深埋的箱形基础还是理想的补偿式基础。另外就是建筑物功能方面的要求:高层建筑须要有一层或多层地下室以用于作设备层,作地下车库或出于人防方面的要求等等。有多层地下室的高层建筑国内外都很多,例如我国北京京城大厦(高 184 米,地上 52 层,地下 4 层);深圳国贸中心(高 160 米,地上 50 层,地下 3 层);北京新华社(高 117 米,地上 28 层,地下 4 层)。又如我国于 93 年 7 月已动工兴建的海南省海口“868”大厦,以两幢高层塔楼为主体,主塔楼高 330 米(地上 86 层),次塔楼高 268 米(地上 68 层),两座楼均有 6 层地下室。

国外使用多层地下室的情况同样很多,例如 1969 年~1973 年兴建的美国纽约世界贸易中心大厦,地面以上建筑高度 411 米,两座塔式大厦均为 110 层,另外加地下室 7 层。地下室部分设有

地下铁道车站和商场，并有 4 层汽车库，可停车 2000 辆。在同一时期建造的法国巴黎曼恩·蒙帕纳斯大厦，高 229m，建成后是欧洲最高的大厦，地上 58 层，地下 6 层。有些建筑物本身并不很高，但需要多层地下室，如日本的读卖新闻社大楼，地上 9 层，地下 6 层。

地下室的采用增加了基础的埋置深度。我国已建成的高层建筑埋深超过 15m 的例子很多。以北京为例，就有京城大厦、京广大厦等 10 多项工程，其中京城大厦埋置深度达 -23.76m。

因为荷载巨大和基础深度大等原因，与普通基础相比，高层建筑基础施工更为复杂，一般造价高昂。随着岩土工程技术的发展，近年来在高层建筑的基础施工中采用了许多新技术。目前，基础工程已成为影响高层建筑施工总工期和总造价的重要因素，在工程地质条件差和场地条件差的情况下，这种现象尤为突出。在建筑密集区，高层建筑基础施工很易波及临近建筑物；在软土地区，高层建筑基础工程的造价要占总造价的 25~40%，工期要占到 1/3 左右。有多层地下室时，修筑基础和地下结构物所花的时间和费用就更多了，使整个建筑工期拉长。在这种情况下，目前缩短工期的有效施工方法是逆筑法，就是利用地下连续墙的防渗和支护能力，以及大直径钻孔桩的巨大承载能力，从地面以下第二层开始，同时向上施工空间结构和向下施工地下结构，因而加快了施工进度。逆筑法是一种带多层地下室高层建筑和其他结构物的新型施工方法，在我国已多次成功地采用。

高层建筑基础施工的复杂性还表现在支护结构上。深的基坑必须有牢固的支护结构，包括对基坑用钢板桩、钢筋混凝土板桩、钻孔桩或其他类排桩和墙体加以围护。为保证围护结构的稳定又必须用钢围檩和支撑结构加以支撑；如不加支撑则必须通过拉杆、围檩和锚桩对围护结构加以锚碇，或用土层锚杆施加预应力加以锚固。当场地地下水位高时，为防止直接抽水产生流砂，常采用井点法从深层抽水以降低地下水位。

在前面已经提及，高层建筑基础施工可以波及邻近建筑物和

其他结构物。如人们所知，使用高层建筑的一个重要原因是为了节省城市用地，故高层建筑常处在建筑密集的城市区。这些地区常是冲积平原区，包括湖相沉积和海相沉积地带，地层中常有软土层。因为建筑密集，在这些地区使用不加支护的放边坡敞坑开挖的基坑已不可能。而那些加支护的深基坑，不要说万一基坑失稳，发生坍塌事故所造成的巨大损失，就是基坑支护结构的变形（如钢板桩变形等），坑底隆起和井点降水所引起的场地附近地层的附加沉降，都可以影响附近建筑物、道路和地下管线的稳固性和正常使用。在建筑密集的软土地区的高层建筑，当采用打入桩桩基时，因为荷载大，桩粗长而密，桩沉入后场地土层必定隆起且土层侧移，形成桩的挤土作用，又尤以沉入实心桩最严重。沉桩时的挤土作用可以造成邻近建筑物、道路和地下管线的变形，墙体和道路开裂，门窗不能启闭等现象。这种现象在我国已多次发生，有关部门在处理后又积累了不少经验。

近代高层建筑的基础施工中，已逐步使用了多种先进的施工技术和基础类型。这些先进的方法可以加快施工进度，缩短工期，增加基础的稳固性和修筑期间的安全度，也大大减少了如前述的因基础施工而造成的对邻近建筑物的影响。我们的许多高层建筑基础工程已采用了这些先进的方法和技术，获得良好的效益。例如土层锚杆支护技术，地下连续墙，大直径钻孔灌注桩基础，大而长的钢管桩基础，以及多层地下室的逆筑法施工等，我国均已成功地使用，其中有一些已积累了非常丰富的经验。不过这些新方法和新技术的采用几乎都需要一些特有的设备，也要一定的经验，因而目前还只在某些大城市和特区的高层建筑中获得使用，有的甚至在同一地区中在某些业务部门采用的技术在不同的业务部门又不采用。当然，随着我国国民经济的飞速发展，这些先进的高层建筑基础施工方法将逐步在全国各地获得越来越广泛的采用。

第二节 基础类型和施工方案的选择

任何一座建筑物基础设计首先是选择基础类型，高层建筑也不例外。这本来是属于设计方面的工作，但在高层建筑基础方案的选择时，除了考虑设计方面的因素外，还要考虑到建筑的功能，施工时可能采用的施工技术，施工方案对周围建筑物的影响等诸方面的因素。目前，在高层建筑基础方案和施工方案的选择中应综合考虑下列各问题：

1) 场地的工程地质条件 与其他建筑物一样，土质的好坏，岩层埋藏的深浅和岩层的强度对高层建筑的基础类型有极重要的影响。以挖孔桩为例，我国南方一些省区，包括南方特区及港澳地区，岩层通常埋藏不深，能以较经济的挖孔桩穿越覆盖层而抵达岩层，因而挖孔桩的基础方案很容易被选用。

2) 场地的水文地质条件 与工程地质条件一样，地下水位的高低和状况也对基础方案和基础施工方案的选择有着关键性的作用。例如在地下水位高的地区的深基础施工中，为避免流砂就不得不采用井点法降低地下水位；又如有的钻孔桩（如螺旋钻）只用在无地下水的地区，因而在我国南方就无法使用。

3) 高层建筑的层数及荷载情况 层数愈多，高度愈大，荷载就愈大；钢结构与钢筋混凝土结构相比，相同的层数或高度，钢筋混凝土结构的荷载就更大。不论是平基（即梁板式基础）或桩基，荷载愈大，就愈要采用深置的、稳定性好的和刚度大的基础。

4) 上部结构形式 不论何种结构物，对地基的不均匀沉降越敏感的，对地基基础的要求就越高，高层建筑也不例外。

5) 地下室的层数 如前述采用地下室在核算地基承载力时有补偿作用，但更多的是从用户对地下室的功能要求出发而设置。有的建筑物地上层数并不多，但地下要求很多层。地下室层数越多，基础就埋置得越深，所要求的施工技术也就越高。

6) 场地周围条件 如前述，在建筑密集地区，特别是软土区，

沉入预制的实心桩可因挤土作用波及临近建筑物和结构物，这时应选用不挤土的桩，如钻孔灌注桩、挖孔桩等，或采用其他防护措施。又如，打入桩噪声大，在医院、学校等要求安静的地方，宜选用无噪声的桩基，如钻孔灌注桩等。

7) 当地的经济条件和材料供应 高层建筑基础工程造价很高，耗费的材料颇多，应注意节约。否则，不但增加了造价，有时还使工程无法进展。例如钢管桩本来是一种良好的桩基，强度高，施工也快速，但耗钢多，价格高，也易锈蚀，有条件的地方当然可以用，暂时无条件的则可采用别的桩基类型。又比如挖孔桩目前我国南方的高层建筑中仍被经常采用，除了工程地质和水文地质条件之外，一个很重要的原因是挖孔桩经济。

8) 施工单位的设备、能力和施工经验 目前就全国范围来说，各地高层建筑上下部施工并非都以招标形式选择承包商（即施工单位），多数情况下只能由本地区本部门的施工公司来施工。这时，设计的基础类型和计划采用的施工方案就要充分考虑这些施工公司所拥有的施工设备、技术力量、施工经验和历史。施工公司所拥有的技术力量与选用的方案所要求的技术条件相吻合，日后的施工工作就能顺利进行。

上述各项只是选择方案的一般原则，实际的选择工作还要复杂得多。方案的设计者和施工者除了本身要具有丰富的专业知识和实践经验外，还要熟悉当地的经济和技术状况，材料供应情况和业主要求等等。最重要的工程的方案选择不论是上部结构还是下部结构，要广泛征集意见，要不止一次地召集各方人士磋商。参加磋商的人士包括：业主、设计者、施工者、政治和经济界人士，以及有关方面的专家、教授和工程师等，最后由上级有关部门选定和审批一个最佳方案予以实施。作为工程技术人员，在制定方案时，即要按经济节约、因地制宜、就地取材的原则进行，又要考虑采用新技术、新设备和新材料，制定新的方案，这样才能逐渐缩小与先进地区的差距，本专业和本学科才能不断发展。

第三节 高层建筑基础类型

现代高层建筑的基础类型是各式各样的，但若从大的方面区分则只有筏片基础、箱形基础、桩基础以及近年来出现的复合基础几类。其中前两类在设计时将基础视为弹性地基上的梁和板，基于这一概念，合称为梁板式基础，属平基。本书在后面各章节将会对这些基础类型作详细介绍，故下面只对它们作概略介绍。

1. 筏板基础

筏板基础又称筏片基础或片筏基础，简称筏基。其实，在我国古代早就在一些高耸的建筑物以及桥梁中使用过筏板基础，不过现代高层建筑中使用的筏板基础均为地基上的连续的钢筋混凝土板式基础，又可分为平板式和梁板式两大类，每类还可再细分。用在现代高层建筑下的筏片基础的底板一般设计得很厚，有些厚度超过 1.5m，可以承受很大的荷载。筏基也可与桩基连合使用形成筏基加桩结构。我国 90 年代初在广州建成的广东国际大厦（地上 63 层，地下 2 层，高 200.18m，筒中筒结构）就是采用的筏板基础。北京国际贸易中心（地上 39 层，地下 2 层）也为筏基。

2. 箱形基础

箱形基础是由顶板、底板和纵横交错的隔墙组成的一个箱形钢筋混凝土整体结构。这是一种近代基础类型，上个世纪末在美国的一些早期近代高层建筑中开始采用。它的刚度大，整体性好，因重心下移而稳定性好，抗震性强，可采用补偿原理设计而充分利用地基强度。我国比较早就使用箱形基础，如 50 年代修筑的上海工业展览馆，北京民族文化宫等建筑物已使用箱基；80~90 年代的许多高层建筑，如北京的北京饭店、燕京饭店、西苑饭店、长城饭店和京城大厦等，长沙的留芳宾馆、长沙大厦和蝴蝶大厦等均采用了箱形基础。目前箱基仍是高层建筑的主要基础类型。箱基也可与桩基联合使用而成为箱基加桩结构。

3. 桩基础

桩基是一种古老的基础类型。我国在 30 年代前后修建的一些高层建筑中（如上海国际饭店、锦江饭店等）已使用桩基。近年来，我国在高层建筑中使用的桩基就更先进了，一般使用那些强度高、桩径大、入土深、质量可靠的优质材料的桩，如桩径（或边长）较大的钢筋混凝土桩和预应力混凝土桩，钢管桩，挖孔桩和大直径的钻孔灌注桩等。我国现代高层建筑采用桩基的例子比比皆是，如深圳国际贸易大厦、深圳金城大厦、汕头国际金融大厦、广州白云宾馆、长沙中山商业大厦、武汉创和大厦、上海银河宾馆、上海虹桥宾馆等等，均采用桩基。

我国使用大型桩基的技术已很先进。在高层建筑中，我国的打入的钢筋混凝土桩和大直径钻孔灌注桩的入土深度已达 70m。如果再计入其他类结构物（如桥梁）的桩基，则打入的钢管桩有的已深达 80 多 m，施工的大直径钻孔灌注桩入土深度已超过 100m，有的嵌入岩层的深度已达 15m。

目前，桩基础是我国高层建筑中的重要基础类型。

4. 复合基础

如前述，桩基与箱基或桩基与筏基联合使用，则形成复合基础，它使基础的受力更加稳妥可靠。这是近年来出现的基础型式，已越用越多。这方面的实例也很多，如上海远洋宾馆基础，是钢管桩与箱基的复合；广州的广东大厦，是挖孔桩与箱基复合；台北世界贸易中心（地上 36 层，地下 3 层，高 143 米），是桩基与筏基的复合。

5. 墩基础

在现代基础的设计理论中，将深基础区分为弹性深基础（在横向荷载作用下可以挠曲，比如弹性桩）和刚性深基础（认为其抗弯刚度 $EI \rightarrow \infty$ ，不能挠曲，如墩基础、沉箱、沉井等）。在按“m”法的设计中，对粗而入土浅的挖孔桩和钻孔桩可以区别它们是弹性深基还是刚性深基。方法是：若以 α 表示深基础的变形系数，以 h 表示深基础的入土深度，则

若 $\alpha h > 2.5$ 深基础属桩基；