

建筑桩基设计与计算

—— 桩基变刚度调平设计

徐至钧 赵锡宏 等编著

JIANZHU ZHUANGJI
SHEJI YU JISUAN
ZHUANGJI BIANGANGDU
TIAOPING SHEJI



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



建筑桩基设计与计算

——桩基变刚度调平设计

徐至钧 赵锡宏 等 编著



机械工业出版社

本书根据最新的《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008)的主要内容,结合工程实例,介绍了我国桩基技术设计与计算的发展和现状。内容包括桩基设计规定、桩的分类与选型、桩基计算与单桩承载力的确定、变刚度调平设计、桩基础沉降计算、软土地基减沉复合疏桩基础、复合桩基的承台效应、桩基承台计算与构造、桩基变刚度调平应用实例。

本书重点分析了桩基变刚度调平设计这种概念设计方法,即考虑上部结构形式、荷载和地层分布以及相互作用效应,通过调整桩径、桩长、桩距等改变基桩与支承刚度分布,以及建筑物沉降趋于均匀、承台内力降低的设计方法,并列出了一些实例。

本书可为建筑工程设计和科研人员提供参考,也可供高等院校土木工程、建筑结构等相关专业师生阅读。

图书在版编目(GIP)数据

建筑桩基设计与计算:桩基变刚度调平设计/徐至钧等编著. —北京:机械工业出版社, 2009. 11.

ISBN 978-7-111-28353-9

I. 建… II. 徐… III. ①桩基础—设计②桩基础—计算
IV. TU473. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 168729 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:何文军 责任编辑:何文军 版式设计:霍永明

封面设计:马精明 责任校对:刘志文 责任印制:洪汉军

北京瑞德印刷有限公司印刷 (三河市胜利装订厂装订)

2010 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

140mm×203mm·12.25 印张·325 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-28353-9

定价:35.00 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

封面无防伪标均为盗版

前 言

建筑桩基是当今建筑工程领域中一大热点技术学科。随着我国建筑工程的蓬勃发展,不少高层建筑、工业厂房、重点工程、桥梁、码头等都采用桩基,由于桩基础具有较大的刚度,能承受较大的竖向荷载和水平荷载,所以桩基在建筑工程中的使用范围有所增长,据不完全统计桩基的工程占基础工程量的 25% ~ 30%。

但由于建筑桩基的类型和形式名目繁多,如小直径桩、大直径桩、短桩、长桩、灌注桩、预制桩、钢管桩、摩擦桩、端承桩、扩底桩、挤扩支盘桩、刚性桩、柔性桩,等等。所以桩基的计算,从来就是地基基础工程中的难题之一,再加上各种错综复杂的土质情况。所以桩基计算中的许多实际问题靠理论上分析是根本无法解决的,这是因为各类土层千差万别,很难列出各种理论计算分析程序,即使列出了,也会因为土的参数测定等困难而无法从理论上加以求解。当前应该说桩基的理论研究是滞后于工程实践的,进行完全的理论求解较为困难,于是不得不靠现场检测方法,如单桩静载荷试验、桩基的高应变动测等,来探求桩基的规律性。但这种直接检测的方法也有很大的局限性,即只能推广到试验条件完全相同或相似的工程上去;另外,根据检测结果,也只能反映个别现象,得出桩基与土质之间的表面经验性关系,难以抓住它们的内在本质。因此说桩基计算从来就是地基基础工程中的难题之一。几百年来很多专家、学者都对此作出过研究和探索,但至今还没有完全解决。“万丈高楼从地起,上天难,入地更难”。

本书按最新颁布的中华人民共和国行业标准《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008)的主要内容结合工程实例加以介绍,

分绪论、基本设计规定、桩的分类与选型、桩基计算与单桩承载力的确定、变刚度调平设计、桩基础沉降计算、软土地基减沉复合疏桩基础、复合桩基的承台效应、桩基承台计算与构造、桩基变刚度调平应用实例等。可供有关工程技术人员参考与应用。

本书由徐至钧、赵锡宏等编著，参加编写的还有曾朝杰、陈祥福、杨瑞清、陈月妮、国振喜、李景、付细泉、张勇、赵尧钟、陈静、易亚东、全科政、肖长生、林婷等。

在编写中引用了一些科研、教学和工程单位的一些研究成果和技术总结，在书中参考文献中都尽量注明出处，但难免有遗漏，在此谨向所有原作者表示深情的谢意。

由于编者水平所限，对新规范的应用与理解难免有欠缺之处，书中不妥之处，尚祈读者不吝指正。

编 者

目 录

前言

第一章 绪论	1
一、我国桩基技术现状	1
二、桩基沉降计算方法	13
三、桩基础沉降研究的进展和问题	15
四、高层建筑桩箱（筏）基础沉降研究的进展	17
五、高层建筑桩基础沉降计算中存在的主要问题	25
六、《建筑桩基技术规范》（JGJ 94—2008）的颁布与实施	27
第二章 基本设计规定	29
一、一般规定	29
二、桩基设计的基本资料	32
三、特殊条件下的桩基设计规定	34
四、设计耐久性的规定	40
第三章 桩的分类与选型	43
一、桩型选择与桩的技术特点	43
二、桩基础的受力特征、分类和选型	47
三、桩型与成桩工艺选择	56
四、桩的分类与选型的相关内容	56
第四章 桩的受力性状与单桩承载力的确定	60
一、普通灌注桩的荷载传递性状	60
二、桩基竖向承载力计算	81
三、特殊条件下桩基竖向承载力验算	92
四、桩的根数计算	99
五、桩基础直接计算法	102
六、复合地基承载力的确定	110
七、桩基水平承载力与位移计算	115
第五章 变刚度调平设计	124

一、变刚度调平概念	125
二、桩基承台受力性状与变刚度调平设计	128
三、碟形沉降和马鞍形反力分布的负面效应	136
四、变刚度调平的理论与计算方法	138
五、工程应用	154
第六章 桩基础沉降计算	157
一、基础沉降计算	157
二、高层建筑深基础沉降研究进展和问题	158
三、超高层建筑深基础沉降计算中实用模型和计算参数	159
四、土的泊松比和变形模量的确定	166
五、按《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008) 建筑桩基的沉降 计算	171
六、空间变刚度群桩等沉降设计	188
七、高层建筑基础沉降计算与实测分析	200
第七章 软土地基减沉复合疏桩基础	210
一、减沉复合疏桩基础计算	210
二、减沉桩设计理论中的若干问题分析	215
三、上海地区桩基沉降计算方法探讨	221
四、原位试验方法估算桩基沉降量	236
五、疏桩基础设计实例分析	245
六、减沉桩在厂房桩基础上的应用	253
第八章 复合桩基的承台效应	260
一、承台效应的试验实测	260
二、高层建筑的桩筏(箱)荷载分担的实测与计算	296
三、《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008) 对承台效应的 分析	300
第九章 桩基承台计算与构造	302
一、关于桩和桩基的一般规定	302
二、桩承台构造	303
三、桩的平面布置	308
四、桩基承台计算	309
五、桩箱桩筏基础结构计算	316

六、底板局部受力计算	325
第十章 桩基变刚度调平应用实例	331
一、德国法兰克福展览大楼	331
二、北京京广中心大厦	332
三、南京工业大学图书馆	334
四、南通市金童苑	338
五、久阳滨江酒店、联富商业广场、中环生活广场三个桩基基础 变刚度优化设计工程简介	356
六、储油罐基础采用变刚度调平设计	359
附录：土的压缩特性和力学指标	366
参考文献	377

第一章 绪 论

一、我国桩基技术现状

1. 概述

改革开放 30 年来,随着我国经济持续高速增长,城市建设向高空和地下发展,市内交通向多层次立体化发展,铁路公路新线不断延伸,码头港口机场不断扩建,从而从东海之滨至西部边疆,从黑龙江至三亚湾,全国城乡到处出现了打桩工地,连年不绝,蔚为壮观。

本节试论当前我国各地工业与民用建筑、铁路公路市政桥梁、港口码头海洋等领域各类工程的桩基施工技术的总体特点、主要成就、存在问题以及与发达国家之间存在的差距,以供同行业内外有关人士参考。

2. 桩型体系

我国地域辽阔,而且各类工程本身的性质、结构、荷载和沉降要求互不相同,施工环境或施工条件常有差异,因此,全国各地各类工程所采用的桩的类型名目繁多。近几年随着各项工程的技术要求日新月异,而所遇地质、环境等条件更趋复杂,桩的类型又有了新的发展。

目前,我国各地各类工程所采用各种主要桩型,经加以归纳整理,得出“我国正在应用的桩型体系图”如图 1-1 所示。由图中可以看到,凡世界各地在发展应用桩的历史过程中所出现的各种基本桩型,包括早期的或已被国外认为“过时”的,乃至现代的、先进的桩型,几乎都正在我国应用。诚然,有的桩型(如木桩、爆扩桩等)近年我国已很少采用,有的桩型(如锥形桩)虽曾出现而未获发展,故未将其列入该图。

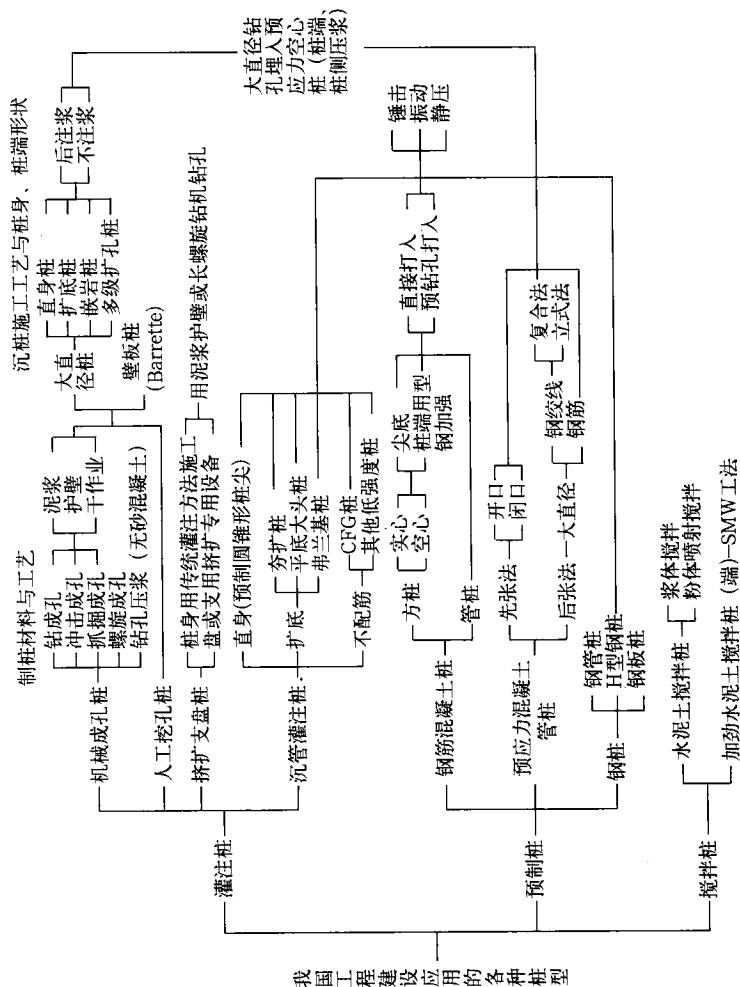


图1-1 我国正在应用的桩型体系

3. 近年桩基施工技术主要成就

(1) 约 10 年前仅有少数单位能施工的大直径钻孔、冲孔灌注桩,如今已为我国工程界所普遍掌握,成为我国各地高层超高层建筑、铁路公路大桥特大桥、城市地铁立交以及港口码头船台等结构物的最常用的基础形式,并且不论在大中城市闹市中心,还是大江大河海上岸边,众多的大深度大难度施工项目都取得了成功,据估计,近些年我国应用此类桩的数量每年达 50 万~60 万根,堪称世界之最。其直径最大已达 4m,一般为 2~4m。其深度最大已逾 100m (厦门昌林大厦、黄河北镇大桥等),在软土地区通常为 50~80m。

大直径钻孔、冲孔桩,当桩端存在良好持力层时往往采取扩底,以充分发挥桩端土的作用。当桩端遇岩层时,则施工成嵌岩桩。以往多视嵌岩桩为单纯的端承桩,且不适当地增加嵌岩深度。近年通过研究者的工作和大量施工实践,已减少了嵌岩深度,从而减轻了施工难度,缩短了工期,降低了造价,并提高了桩的承载力。

此外,为充分发挥大直径桩的侧阻力,必要时还可施工成多节挤扩桩或多分枝桩。

(2) 人工挖孔桩不仅被大量应用于北方地下水位低而且土质好的地区,也被大量应用于南方沿海地下水位甚高的软土地区。由于其造价低有竞争力,经过论证能采用之处往往都优先予以采用,并采取相应措施,取得了安全、快速、优质的效果。有的城市(如广东惠州等)以挖孔桩作为当地高层建筑的主要桩型(占该地高层建筑用桩总量的 75% 左右)。挖孔桩所支承的建筑物层数已达 50 层以上(如北京京广大厦、深圳国贸中心大厦等),桩深已逾 50m。

(3) 为了从根本上消除大直径桩孔底沉渣不易清理和混凝土质量不稳定等缺陷,最近交通部系统成功地开发了具有 90 年代国际水平的“大直径钻孔埋入预应力混凝土空心桩”新技术。这种桩适合于各类土层,其直径可达 5m 或更大。用于跨径在

120m 以内的桥梁时可不作承台。也可用于高层建筑等荷载大的结构物。它提高了大直径桩施工的工业化水平,减少了水下作业,并可杜绝塌孔。已在河南、湖南等地数处大桥应用,使下部结构造价降低 20% ~ 40%。已在九江鄱阳湖口大桥应用。与其他方案相比,仅该工程即可节约投资人民币约 1 亿元,并可缩短工期约 1 年。

(4) 在钻孔、冲孔、挖孔桩中,成桩后实施的压力灌浆取得了消除桩底沉渣隐患、改善桩端和桩周土性能以及提高承载力和减少沉降量的综合效果。该技术自西南交通大学等在京九铁路新建桥梁工地及中国建筑科学研究院等在武汉等地试验成功以来,仅数年间已在京、津、沪等十余个省市相继应用。其所采用的工艺与管路等均有我国自己的特色。

此外,利用压浆概念还开发了钻孔压浆无砂混凝土桩。它不需泥浆护壁,不致产生断桩缩颈,不致残留沉渣。现已用于南北各地数百项工程中。

(5) 继上海宝钢一期工程打入 3 万余根钢管桩后,近年上海、浙江、江苏、广东等地一批电厂、码头、桥梁及高层宾馆等公共建筑又打入约 3 万余根钢管桩和 H 型钢桩,其中包括曾经是中国最高建筑的上海环球中心和上海金茂大厦。金茂大厦工程地上 88 层,地下 3 层,建筑面积 28 万 m^2 ,地面以上总高 421m,桩深 83m,桩径 904mm,已于 2001 年建成,以及上海南浦、杨浦大桥等,后者为当今世界跨径最大(602m)的双塔双索面斜拉桥,主塔高 208m。

由于钢管桩造价高昂,我国通常只在其他桩型确实不能胜任或工期十分紧迫等特殊情况下应用。例如,上海地铁一号线有 3 个车站位于淮海路闹市中心,为了尽量减少施工对该地交通和商业等的影响,乃采用钢管桩,以加快速度。

(6) 预应力混凝土管桩早年开始应用于桥梁和码头等水工建筑,近年大量推向工业与民用建筑。广东、上海、浙江、海南等地有上百家工厂生产此类管桩,年产量达 2000 多万平方米,其桩

径自 $\phi 300\text{mm}$ 至 $\phi 1300\text{mm}$ 不等, 强度等级有 C60、C70 和 C80 三种, 前二者称为 PC 桩, 后者称 PHC 桩。其所支承的高层建筑在武汉达 25 层, 北京达 30 层, 广东达 40 层。施工长度最长已达 65m, 用它代替钢管桩, 降低造价约 50%。广东省已率先编制了此类桩的专门规程。天津制成了外壁呈竹节状的预应力混凝土管桩, 其侧阻力大于直径相同的光面管桩, 并具有良好的抗砂土液化性能, 适合抗震地区应用。为了检测和确保管桩预应力的张拉质量与桩身耐冲击性能, 浙江研制了一种“智能测力仪”, 可查明每根钢筋的张拉内力和各根钢筋之间的离散率。

(7) 在高层建筑深基坑及工业设备、市政设施等地下开挖工程中, 采用各种排桩支护结构, 辅以深层搅拌桩等隔水措施, 以代替泥浆槽壁式地下连续墙, 具有良好的技术经济效益, 已成为风行各地的一项常用技术。排桩可采用钻孔、冲孔、挖孔桩, 也可采用沉管桩或预制桩, 因而可与基桩施工结合进行。其布置形式有疏排、密排、双排框架式及排桩加挡板等, 可按计算要求灵活选用。工程实际最大支护深度已达 18m。

此外, 北京、上海二地已成功地将应用用在搅拌桩中插入型钢或钢筋笼, 使其成为既能挡土又能隔水的 SMW 工法支护结构, 从而使柔性桩转化为刚性桩。

(8) 钢筋混凝土预制桩以其桩身质量相对稳定可靠而取胜, 故在城市郊区或空旷之处, 铁路公路沿线桥梁, 或港湾水域以及其他不宜采用其他桩型的场合仍在使使用。其中近年的重大项目有屹立在上海黄浦江畔的 468m 高的亚洲第一电视塔“东方明珠”, 它采用 $500\text{mm} \times 500\text{mm} \times 35\text{m}$ 的预制桩, 送桩达 12.5m, 以及上海交通大学包兆龙图书馆、上海华亭宾馆、福州国际大厦、天津贸易中心、深圳爱华大厦等。

预制桩近年也朝着超长方向发展, 其长度与截面尺寸之比已达 140。如温州某大厦桩长 70m, 截面 $500\text{mm} \times 500\text{mm}$ 。

为了减少打桩引起挤土、振动等危害, 近年预制桩大多实施预钻孔打入法, 也有采用预制平底开口空心桩的。为了提高其贯

入硬土、砾石或岩层的能力，常采用 H 型钢焊接于桩底。为了减少施工噪声，常以静压代替锤击或振动。通过上述措施扩大了预制桩的应用范围。

(9) 在施工环境条件容许的场地，分别采用锤击、振动或静压沉管灌注桩，包括弗兰基桩、夯扩桩、平底大头桩等，建成了数亿平方米的多层民用建筑和工业厂房。此类桩由于造价特低，在许多地方特别受到青睐。近年其桩径和入土深度有增大的趋势，分别达到了 700mm 和 35m；并在某些地区直接支承高层建筑，或作为桩筏、桩箱基础的组成部分。此类桩的质量主要依赖于施工操作水平。它以短（<15m）见长，长径比宜小不宜大。

(10) 挤扩支盘桩是从灌注桩中发展出来的一种新型桩，它主要是应用桩身的多级挤扩支盘，大大提高了桩身的承载能力，克服了原桩身依靠摩阻力的局面，将灌注桩的应用推向了一个新的起点，目前应用挤扩桩最长达 35m，挤扩支盘 4~8 个。

4. 桩的应用及存在的问题

(1) 大量挤土桩。包括各种实心的打入式钢筋混凝土预制桩、预应力混凝土管桩、闭口钢管桩及沉管灌注桩。

1) 钢筋混凝土预制桩。此类桩的截面通常仍为传统的正方形，其尺寸 250~450mm，单节最大长度约 20m。此外，尚有圆形、六角形、三角形、H 形等截面，但不常用。预制桩的最大容许轴向荷载约 1000kN。预制桩常用的接桩方法以桩端预埋钢板焊接为主，有的采用插筋用环氧树脂胶泥连接。

2) 预应力混凝土管桩。常用的预应力混凝土管桩，其桩端为封闭式，管径为 $\phi 400 \sim \phi 600$ ，最大容许轴向荷载约 3000kN，单节长度一般为 12m，一般采用桩端钢板焊接接长，定制的最大单节长度可达 20m。

预应力混凝土管桩均采用高强混凝土制作，精心控制。对预制厂的养护条件有严格要求。生产 75MPa 以上高强混凝土预应力管桩时，采用离心法密实及高压蒸养。

此类桩的渗透性较普通预制桩为小, 适宜应用于海洋工程。国内在许多港口水上项目中应用均取得成功。

3) 闭口钢管桩。国内从宝钢开始采用钢管桩以来用量越来越大, 尤其在各种海洋结构物中, 钢管桩具有较高的抗弯和抗压强度, 对于冲击荷载具有良好的吸收能量的特性。

钢管桩在必要时尚需在管内灌入混凝土。例如在某些海洋工程中, 常自桩顶标高灌至至少海底标高以下, 亦即将处于海水中的上段钢外壳视为海水长期侵蚀的牺牲品。因为一般的海水比较温暖, 并且含有各种污染物或厌氧的硫酸盐还原性细菌, 大大增加了钢管的腐蚀或点蚀的危险性。对于海底以上的各类钢桩, 不论其是否完全浸没于海水, 或处于波浪潮汐涨落区之中或之上, 均需充分考虑桩在其设计寿命内的防腐蚀措施。

4) 沉管灌注桩。沉管灌注桩有两种沉管方法: 一种是以管顶锤击或振动; 另一种是在管内用落锤打击管底干硬性混凝土 (或砾石) 形成的桩塞, 并将桩塞击出管外而形成扩大头。桩塞混凝土的水灰比控制在 0.20 ~ 0.25。桩塞的密实高度不小于 2.5 倍桩身直径。

沉管桩的最大直径为 600mm^②, 最大容许轴向荷载约为 1400kN。实际施工最大长度约为 30m。

扩底沉管桩的桩管, 由于不直接承受冲击, 故常采用较薄的管壁厚度。同时, 打桩架的高度相应减低, 这种设备 (包括桩架、桩管及内击锤等配套) 较内地的“夯扩桩”的设备更为合理。

上述这类桩的挤土效应非常显著, 不少工程往往由于大量打桩的影响, 造成周围地面起拱、建筑物倾斜、甚至房屋抬高等情况。

(2) 少量挤土桩。主要指 H 型钢桩及开口钢管桩。

通常此类桩的截面面积都比较小。一般采用冲击法沉桩。由于沉桩时常易形成土塞, 开口钢管桩更易形成土塞, 故需要不时钻孔清土, 以减小沉桩阻力。由于土塞在桩管内壁有阻力, 故其

所引起的沉桩阻力常会大于闭口钢管桩。

H 型钢由于搬运和沉桩均较方便,在国内用量也较大。与混凝土桩相比,其可沉性较好,因而可沉至更大深度。但当遇孤石等障碍物或在坡地岩层施工时,它常有可能被打弯。因此,遇有下卧层为多孔性大理岩的情况,常将其截面加厚,端部加强,以承受强打或穿透喀斯特地层。

H 型钢桩有较多的规格尺寸,并且有不同的钢材等级。其最大容许轴向荷载一般为 3000kN。有的工程采用大型重级 H 型钢(283kg/m),其容许荷载可达 3600kN。

H 型钢桩和开口钢管桩常用于海洋结构物及围海填土地区的建筑物中。施工最大长度在 50m 以上,直径 275mm ~ 2.0m。最大容许轴向荷载约为 7000kN。一项工程能采用多大的桩径,主要取决于打桩机的能量。目前国内最大的桩锤是 Delonag100 柴油锤。

(3) 置换桩。通常把 CFG 桩、水泥土搅拌桩,以及人工挖孔桩统称为置换桩。

当地基为不能自承的含水土层时,桩孔常用钢套或混凝土环圈支护,或采用膨润土泥浆,或聚合物泥浆护壁。钢套管有时在灌注混凝土后拔出,有的留置不拔出。

1) 机械成孔桩的常用成孔方法有钻孔法和冲击法两类。根据《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008)规定,直径 300mm 以下的称为小直径桩,大于 300mm 的称为中直径桩。

而实际应用中,小直径钻孔桩的直径自 300 ~ 400mm 不等。最大工作荷载约为 1500kN。

小直径钻孔桩有一种专利桩型,其特点是采用一种特制的工具取土,并采用压缩空气使桩身混凝土致密。此类桩的直径一般为 325 ~ 508mm,工作荷载可达 1000kN。它们可用于施工净空高度受限制的场地,有时不配钢筋。但对不配钢筋的桩,需要考虑其承受因邻近的施工打桩所产生的地层位移对其桩身缩颈、断桩可能引起的影晌。

另有一种专利桩型,其桩孔采用长螺旋钻机钻成,叫做 PIP 长螺旋钻机钻孔桩。它将水泥浆或混凝土通过空心钻杆泵入桩孔。其直径自 300~700mm 不等,长度最大可达 30m。这种桩的优点是在含水的不稳定的土层中不需要采用套管,也不发生水下灌注混凝土的问题;施工噪声小,振动小,常在市区应用。但它不适用于含孤石的场地。遇硬土层或障碍物时,施工钻杆会连续旋转而不能进尺,会引起钻头损坏,地面沉降。

大直径机械成孔桩在国内常用来支承高层建筑及高架路和立交桥的重桩荷载。常用直径为 1.0~2.5m,最大深度约 80m,最大工作荷载约 36000kN。它有各种专用的扩底工具,直径更大的桩也曾有施工,但其深度较小。

传统上对大直径机械成孔桩常要求支承在具有一定安全承载力的基岩上。这种桩设置在风化土中主要依靠桩侧阻力承受荷载。

2) 人工挖孔桩大量地用于建筑物基础,或作为挡土结构,其直径通常为 1.5~2.5m,最大容许荷载达 25000kN。直径更大(7.0~10.0m)的挖孔桩也用得很成功。

对于设置在山坡地区的建构筑物挖孔桩,上段有时采用套管,以与山坡互相隔离,从而防止侧向荷载传至山坡,或由于山坡位移而产生侧向荷载。但这种套管的长期性状究竟如何,尚缺乏实测资料。

① 制止井涌与流砂。井涌为井底土突然失去强度,泥土随水由孔底急速上涌的一种现象。一般遇细粒花岗岩和长石风化而构成的残积黏土、粉土时较易出现。井涌一般发生在挖孔施工快要接近强风化岩的部位。从理论上讲,引起井涌的条件有:
a. 土层由均匀的粉细砂构成; b. 地下水位差很大。而在地下水不太丰富的黏土、粉土中出现井涌,主要原因是由于土体内存在网状裂痕,在地下水渗流作用下,裂隙不断变宽,使水渗流加快。当土颗粒间是以氧化铁为主的胶质时,水的流动使其加速溶解,部分细小颗粒在抽水过程中流失,而另一部土壤呈现松散状