

支盘桩理论研究 及工程应用

高笑娟 朱向荣 主编



科学出版社

www.sciencep.com

内 容 简 介

本书首先综述了桩基础的发展历史,总结了支盘桩出现以来的研究成果,在前人研究成果的基础上,对支盘桩竖向承载力估算公式进行了较为全面的总结;结合支盘桩在湿陷性黄土地基中的应用实例,分析了桩周土层的性质对桩基承载力和变形的影响;利用有限元分析软件对水平荷载作用下支盘桩单桩和群桩的受力和变形性状进行了数值模拟分析,初步了解了支盘桩桩身几何参数和桩周土体参数对其承载力的影响;最后介绍了支盘桩的一些改进成果。

本书可供结构设计、土建施工等领域的技术人员参考,也可供大专院校土建专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

支盘桩理论研究及工程应用/高笑娟,朱向荣主编. —北京:科学出版社, 2010

ISBN 978-7-03-027241-6

I. ①支… II. ①高…②朱… III. ①灌注桩 桩基础 研究 IV. ①TU473.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 067830 号

责任编辑:耿建业 王向珍/ 责任校对:宋玲玲

责任印制:赵 博 / 封面设计:鑫联必升

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

丽源印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010年4月第 一 版 开本:B5 (720×1000)

2010年4月第一次印刷 印张:14 3/4

印数:1—2 000 字数:301 000

定价:60.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

桩基础是最古老的基础形式之一,也是迄今为止应用最为广泛的建筑物基础和支护构件。作为建筑物基础,它适用于上部建筑物荷载较大,而作为持力层的土层又埋藏较深的情况。桩基技术发展到现在,在桩型和施工工艺等方面更为多样化,在桩基设计和施工领域中产生了许多新概念和新理论;由于单桩的设计承载力越来越大,设计者不得不从诸如桩身材料优选、加大桩身截面、追求新的有效的成桩工艺等途径来加大桩的承载能力,因此出现了各种新型高承载力的改良桩系;与此同时,电子计算机和数值计算方法的巨大成就给桩基设计提供了方便快捷的研究方法,桩基的设计理论也向着更完善的目标发展。支盘桩由主桩和若干个承力盘组成,采用普通钻机成孔、通过专用装置在沿桩身深度范围内的地基土中各硬土层来设置承力盘和分支,增加了桩体受力范围,增大了桩的端阻力和侧摩阻力,具有很大的承压、抗拔和抗水平荷载能力,而且稳定性好。支盘桩技术一经出现,由于其无可比拟的优点便为广大学者和技术人员所关注并进行了大量的研究,使这一技术在工程中得到广泛应用。

本书首先综述了桩基础的发展历史,总结了支盘桩出现以来的研究成果,在前人研究成果的基础上,对支盘桩竖向承载力估算公式进行了较为全面的总结;结合支盘桩在湿陷性黄土地基中的应用实例,分析了桩周土层的性质对桩基承载力和变形的影响;利用有限元分析软件对水平荷载作用下支盘桩单桩和群桩的受力和变形性状进行了数值模拟分析,初步了解了支盘桩桩身几何参数和桩周土体参数对其承载力的影响;最后介绍了支盘桩的一些改进成果。

全书共分9章,由高笑娟、朱向荣担任主编,其中第1章由浙江大学朱向荣编写;第6~9章由河南科技大学高笑娟编写;第2、3章及参考文献由河南科技大学白晓红编写;第4、5章、附录A由河南科技大学刘丰军编写;附录B、C由河南科技大学李跃辉编写;全书由高笑娟负责统稿。

本书在编写过程中引用了许多专家、学者的研究成果和资料,在此一并表示感谢。由于作者水平所限,书中难免有不妥之处,恳请广大读者批评指正。

高笑娟

2010年3月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 桩基础概述	1
1.1.1 桩基础的发展简况	1
1.1.2 桩基础的分类	2
1.1.3 桩基础的发展趋势	6
1.2 支盘桩的发展和研究现状	7
1.2.1 支盘桩的概念和发展简史	7
1.2.2 挤扩支盘桩的特点	9
1.2.3 旋扩珠盘桩	14
第 2 章 支盘桩的岩土工程勘察	17
2.1 岩土工程勘察	17
2.1.1 岩土工程勘察的任务	17
2.1.2 工程地质条件	17
2.1.3 岩土工程勘察等级的划分	19
2.1.4 岩土工程勘察阶段的划分	20
2.2 岩土工程勘察成果报告	22
2.2.1 文字部分	23
2.2.2 图表部分	23
2.2.3 岩土工程勘察应注意的问题	24
2.3 岩土工程勘察方法	26
2.3.1 工程地质测绘与调查	26
2.3.2 勘探和取样	28
2.3.3 工程现场试验	30
2.3.4 勘探手段的选择	34
2.3.5 现场检验及观测	35
2.3.6 勘察资料的室内整理	35
2.4 支盘桩的主要勘察内容	36
2.4.1 桩基勘察的主要内容及勘察要求	36
2.4.2 挤扩支盘桩岩土勘察要点	37

第3章 支盘桩的施工	39
3.1 支盘桩的施工工艺	39
3.1.1 支盘桩施工的一般程序	39
3.1.2 支盘桩施工成孔方法及辅助工法	39
3.2 挤扩支盘桩的施工机械	40
3.2.1 钻扩分离式施工装置	41
3.2.2 钻扩一体机	42
3.3 施工过程中的注意事项	43
3.3.1 成孔施工注意事项	43
3.3.2 支盘施工注意事项	43
3.3.3 钢筋笼施工注意事项	44
3.3.4 混凝土浇筑施工注意事项	44
3.4 支盘桩的检测	44
3.4.1 挤扩支盘桩的检测方法	45
3.4.2 旋扩珠盘桩的检测方法	46
3.5 支盘桩的质量控制	46
3.5.1 成孔质量控制	47
3.5.2 盘位质量控制	48
3.5.3 挤扩支盘质量控制	48
3.5.4 清孔质量控制	49
3.5.5 浇灌混凝土质量控制	49
3.5.6 钢筋笼质量控制	49
3.5.7 成桩质量控制	50
3.6 支盘桩构造要求	50
3.7 挤扩支盘桩的适用要求	51
3.7.1 挤扩支盘桩的适用性	51
3.7.2 支盘桩的不适用性	53
第4章 支盘桩承载力和沉降计算方法	55
4.1 单桩受力机理分析	55
4.1.1 单桩竖向荷载的传递	55
4.1.2 支盘桩的荷载传递机理分析	59
4.2 单桩竖向承载力的计算	63
4.2.1 单桩竖向承载力的确定方法	63
4.2.2 支盘桩抗压承载力的确定方法	70
4.2.3 支盘桩承载力计算公式	71

4.2.4 影响支盘桩抗压承载力大小的因素	89
4.2.5 支盘桩抗拔承载力计算方法	91
4.3 支盘桩群桩抗压极限承载力的计算	94
4.3.1 不考虑承台、桩、土相互作用计算支盘桩群桩极限承载力公式	94
4.3.2 考虑承台、桩、土相互作用计算支盘桩群桩极限承载力公式	94
4.4 支盘桩沉降量的计算	96
4.4.1 桩基沉降量计算	96
4.4.2 支盘桩沉降计算方法	98
第5章 支盘桩在湿陷性黄土地基中的应用研究	101
5.1 支盘桩的静载荷试验	101
5.1.1 工程概况	101
5.1.2 试验装置及原理	102
5.1.3 加载、卸载方法	103
5.1.4 终止加载条件	103
5.1.5 检测数据分析与判定	104
5.1.6 试桩钢筋应力计安装方法	104
5.1.7 浸水	104
5.1.8 支盘桩完整性检测	105
5.1.9 支盘桩高应变试验	105
5.2 静载荷试验结果分析	106
5.2.1 $Q-s$ 关系曲线	107
5.2.2 $Q/Q_0-\Delta s$ 关系曲线	107
5.2.3 支盘桩的荷载传递机理分析	108
5.3 支盘桩极限承载力的预测及分段承载力的拟合	113
5.3.1 支盘桩极限承载力的预测	113
5.3.2 分段平均摩阻力 q 与沉降 s 之间的双曲线拟合	117
第6章 有限元法	122
6.1 有限元法概述	122
6.1.1 引言	122
6.1.2 有限元法的概念	122
6.1.3 有限元法的基本步骤	122
6.2 有限元法的发展	124
6.3 有限元分析软件介绍	126
6.3.1 有限元分析方法的发展趋势	126
6.3.2 ABAQUS 软件简介	128

第 7 章 竖向荷载下支盘桩承载性状数值模拟分析	130
7.1 模型和单元	130
7.1.1 桩、土本构模型	130
7.1.2 本章用到的单元	133
7.2 基本假定	135
7.3 桩周土参数对支盘桩承载性状的影响	135
7.3.1 材料参数及边界条件	135
7.3.2 网格划分	136
7.3.3 有限元分析方法可靠性验证	136
7.3.4 基本算例分析	136
7.3.5 土层参数的影响分析	138
第 8 章 支盘桩水平承载性状数值模拟分析	148
8.1 支盘桩水平承载性状理论分析	148
8.1.1 普通直桩的桩身挠曲微分方程	148
8.1.2 支盘桩桩身挠曲微分方程	151
8.1.3 算例	153
8.2 有限元模型及基本参数	154
8.2.1 材料本构模型	154
8.2.2 本章用到的单元	155
8.2.3 基本参数及边界条件	159
8.2.4 基本假定	160
8.2.5 网格划分	160
8.3 有限元结果与理论分析结果比较	160
8.4 基本算例分析	161
8.5 桩身几何参数对支盘桩水平承载性状的影响	163
8.5.1 承力盘位置的影响	163
8.5.2 承力盘个数的影响	165
8.5.3 承力盘间距的影响	166
8.5.4 承力盘直径的影响	168
8.5.5 桩长的影响	169
8.5.6 桩身直径的影响	171
8.5.7 桩顶约束条件的影响	172
8.6 桩周土参数对支盘桩水平承载性状的影响	173
8.6.1 土的黏聚力的影响	174
8.6.2 土内摩擦角的影响	175

8.6.3 土弹性模量的影响	176
8.6.4 土层分布的影响	177
8.7 支盘桩群桩水平承载性状研究	179
8.7.1 引言	179
8.7.2 水平荷载下群桩基础的分析方法	179
8.7.3 支盘桩群桩水平受力性状分析	181
8.7.4 几何参数对群桩水平承载性状影响研究	184
第9章 支盘桩的发展	194
9.1 旋扩变径锥体螺盘混凝土灌注桩	194
9.1.1 概述	194
9.1.2 旋扩变径锥体螺盘混凝土灌注桩的特点	195
9.1.3 旋扩变径锥体螺盘混凝土灌注桩的施工	196
9.1.4 旋扩变径锥体螺盘混凝土灌注桩承载力计算公式	196
9.2 扩底支盘注浆桩	197
9.2.1 概述	197
9.2.2 扩底支盘注浆桩的特点	198
9.2.3 支盘扩底压力注浆桩的施工	198
9.2.4 支盘扩底注浆桩承载力计算公式	200
9.3 多支盘水泥土桩	201
9.3.1 概述	201
9.3.2 多支盘水泥土桩的优缺点	202
参考文献	203
附录 A 挤扩支盘桩的应用工程实例	205
附录 B 旋扩珠盘桩的应用工程实例	211
附录 C 旋扩珠盘桩竖向承载力计算公式推导	217

第 1 章 绪 论

1.1 桩基础概述

1.1.1 桩基础的发展简况

桩基础(简称桩基)是迄今为止应用最为广泛的建筑物基础,适用于上部建筑物荷载较大,而作为持力层的土层又埋藏较深的情况。

桩基础是最古老的基础型式之一。早在有文字记载之前,人类就懂得在地基条件不良的河谷和洪积地带采用木桩支承房屋。1982 年,在智利发掘的文化遗址中的桩,距今已有 12000~14000 年。我国最早的桩基距今已有七千多年。据历史文物遗址的挖掘显示,我国历史上最早的桩出现在浙江省宁波市余姚的河姆渡,作为古代干阑式木结构建筑的基础是由圆木桩、方木桩和板桩这三种木桩组成的桩基础。圆木桩直径一般在 6~8cm,板桩厚 2~4cm,宽 10~50cm,木桩均系下部削尖,入土深度最深达 115cm。

桩基经久耐用。我国古代许多建造于软弱地基上的重型、高耸建筑以及历史名桥,都是成功地运用了桩基才抵御住了无数次地震灾害和海浪冲击而不失雄姿。如饱经风霜的上海龙华塔(977 年重建)至今仅略有倾斜;山西太原晋祠圣母殿(建于 1023~1031 年)至今仍无明显不均匀沉降;闻名中外的北京市郊卢沟桥(重建于 1189~1192 年),虽已局部损坏,但仍能承受四百多吨的大型平板车正常运行。

从桩基使用的材料来说,早期多采用天然材料的木桩、石桩;混凝土出现后,混凝土桩和钢筋混凝土桩得到广泛应用;现阶段除钢筋混凝土桩大量使用外,钢桩系列以及特种桩系列(超高强度、超大直径、变截面、异型桩等)也得到发展和推广。

工程中最为常用的灌注桩,包括人工挖孔桩和机械钻孔桩两大类。人工挖孔桩先于 1893 年在美国问世,至今已有 110 余年。为满足承载力要求,工程师不得不考虑将桩设在很深的持力层,并且还必须将其截面设计得很大。

钻孔灌注桩是在人工挖孔桩问世后约 50 年,即 20 世纪 40 年代随着大功率钻孔机具研制成功在美国问世。随着第二次世界大战后世界各地经济的复苏与发展,不断兴建的高层、超高层建筑和重型构筑物绝大多数都选择钻孔桩为基础型式。自七八十年代以来,钻孔桩在世界范围出现了蓬勃发展的局面,其用量逐年上升。

我国应用大直径灌注桩始于 20 世纪 60 年代初,当时先在南京、上海、天津等地作为桥梁和港工建筑基础;自 70 年代中期陆续在广州、深圳、北京、上海、厦门等大城市应用于高层和重型建(构)筑物;至 80 年代末 90 年代初,大直径灌注桩迅猛发展,仅数年已普及全国除西藏外的各省、市、自治区数以百计的大城市及各新兴开发区,应用于包括软土、黄土、膨胀土等特殊土在内的各类地基。北京、深圳等地还编制了大直径灌注桩的技术规程。据估计,近年我国应用大直径灌注桩数量之多已堪称世界各国之最,可谓起步虽晚但发展迅猛。

一个世纪以来世界各地的应用情况说明,大直径人工挖孔桩的问世,解决了当时某些工程面临的难题,更重要的是突破了沿袭的传统,这就是人类自从利用天然木材制桩,以至 19 世纪 20 年代曾企图利用铸铁制桩,后因其性质脆而失败,20 世纪初开始成功地利用热轧型钢制桩,稍后又利用钢筋混凝土制桩,都一直采取先预制而后借助某种机具打入土中的传统。人工挖孔灌注桩取法于混凝土在上部结构司空见惯的现浇工艺,却为古老的桩基技术开创了一条崭新的工艺路线。

桩基技术发展到目前阶段,在桩型和施工工艺等方面不断地推陈出新,桩的成桩工艺和应用比过去更为多样化,特别是在桩基设计和施工领域中提出了许多崭新的概念和理论。单桩设计承载力越来越大,设计者不得不从诸如桩身材料优选、加大桩身截面、追求有效的新成桩工艺等途径来着手,于是出现了各种新型高承载力的改良桩系;同时电子计算机和数值计算方法的巨大成就给桩基设计提供了方便快捷的研究方法,桩基的设计理论迅速向着更完善的目标发展。桩基设计和施工规范化已受到了工程界的高度重视,有关各种新型桩系的标准与规范在不断地推出。

1.1.2 桩基础的分类

桩基按照不同的分类方法,可以分成不同的种类(表 1-1)。

按桩身各部分承担的荷载比例来分类,纯端承桩、摩擦端承桩、端承摩擦桩、纯摩擦桩桩身各部分承担的荷载比例见表 1-2。

各类桩型都不是万能的,都有其各自的优缺点和适用范围。如近年来灌注桩在我国得到广泛而迅速的发展,与其他桩相比,它有很多优点,如造价低、节省钢材、当持力层顶面起伏不平时容易处理等,利用人工挖孔的地基土体作为成桩模具,无需像预制桩一样用外力将桩体贯入地基但施工质量要求严格。据统计,我国个别省区灌注桩用量已达桩基工程的 80% 左右。随着高层建筑的发展,大直径灌注桩增长迅速,直径可达数米。但是由于灌注的混凝土为流体,所以桩的成形将完全依赖人工挖孔的型状,土体自身的性质变化多端,以及地下水的影响,决定了土体不是一种理想的成桩模具,桩身质量毕竟不像预制桩那样稳定和可靠,混凝土强度也难保证。在分析灌注桩的承载力时,混凝土向土体的渗透、桩身的缩径、断桩、

局部夹泥、混凝土离析、顶端混凝土疏松等都是需要考虑的因素。

表 1-1 桩的分类(武熙等,2004)

分类方法	桩的种类		分类方法	桩的种类			
按承载性状分类	摩擦桩	纯摩擦桩	按桩施工方法分类	灌注桩	无护壁作业	螺旋钻孔桩	
		端承摩擦桩				机动挖孔灌注桩	
	端承桩	纯端承桩				人工挖孔灌注桩	
		摩擦端承桩			泥浆护壁作业	潜水钻孔灌注桩	
按桩身材料分类	钢桩	冲击灌注桩					
		磨盘钻孔灌注桩					
		沉井护壁作业			震动桩		
	锤击桩						
	贝诺特桩						
	弗朗基桩						
	混凝土桩	普通混凝土桩					
		预应力混凝土桩					
组合材料桩	钢桩与混凝土桩组合						
	木桩与混凝土桩组合						
按桩型分类	等截面桩	等截面方桩、圆桩		预制桩	按成桩方法分	打入桩	
		等截面管桩				震动沉入桩	
		等截面板桩				静力压入桩	
	按材料分	混凝土桩				普通混凝土桩	
					预应力混凝土桩		
		扩底桩			挤扩桩	钢桩	
	挖扩桩						
	爆扩桩						
	异型桩			夯扩桩	按桩直径大小分类	小直径桩 桩径 $d<250\text{mm}$	
		多层扩大桩		中等直径桩 桩径 $250\text{mm}<d<800\text{mm}$			
		树根型桩		大直径桩 桩径 $d>800\text{mm}$			
		锥型桩	按桩使用功能分类	竖向抗拔桩			
		梯型桩		竖向承压桩			
螺旋桩		横向受荷桩					
支盘桩		组合受荷桩					

表 1-2 桩侧摩阻力占桩承载力的比例

分类 承载	纯摩擦桩	端承摩擦桩	摩擦端承桩	纯端承桩
桩侧摩阻力	100~95	95~50	5~50	0~5
桩端承力	0~5	5~50	95~50	100~95

为改善灌注桩的受力状况,提高单桩承载力和减小沉降,结合不同的地基设计要求,工程中出现了各种灌注桩新桩型,如扩底灌注桩、多节挤扩灌注桩、钻埋大直径空心桩等,同时出现了很多新的成桩工艺和地基处理方法。下面对一些工程中常见的桩型进行简单介绍。

1) 扩底桩

扩底桩是以桩端阻力为主、桩侧阻力为辅的桩型。通过压力或者机械方式在桩底型成扩大头,增大了桩端承载面积,与同样长度的普通桩相比,扩底桩可大大提高承载力,降低工程造价。在建造较重型建筑物和高层、超高层建筑中,替代大直径、超长灌注桩,经济效益比较显著。

根据扩底桩型成底部扩大头的方法不同,扩底桩又可分为夯扩桩、静压扩底桩、机械扩底桩、人工挖孔扩底桩、压力注浆扩底桩、爆炸扩底桩等。其中,夯扩桩在成桩过程中,被动土体被震动、挤密,使桩土体系得到较大改善,桩端和桩侧被动土体被压密,也提高了桩端和桩侧阻力,对于易液化土体,在震动挤压作用下还能增加密实度,不同程度地提高了土体的抗液化能力。在成桩时,通过高频激震,还能对所灌注的桩身混凝土产生较强的震捣作用,从而提高混凝土的密实度。

国内外主要的端部夯扩桩包括:阿尔法桩(Alpha pile)、得尔塔桩(Delta pile)、法兰克桩(Franki pile)、麦克阿瑟柱桩(MacArthur pedestal pile)、道塞提桩(Dowsett pile)、西方柱桩(western pedesel pile)、GKN 打入桩、由维斯特雷顿 BV 桩(Verstraeten BV)、辛普勒克斯桩(Simplex pile)、日本 TFP 工法扩底桩、夯底灌注桩、内夯式灌注桩及冲扩桩等。这些桩各有其特点,例如,日本 TFP 工法扩底桩的特点是扩底直径与桩身直径之比小于 2,而扩大头视桩端进入持力层深度而定有数米之高,有实例达 8m。

结合不同的地基设计要求,工程中还出现了各种扩底新桩型,如孔底夯碎石混凝土灌注桩、夯扩挤密水泥土桩、钻孔灌注桩桩底后注浆、人工扩底灌注桩和大直径人工挖孔灌注桩等。

2) 异型断面桩

桩身的比表面积(侧表面积与体积之比)越大,桩侧摩阻力所提供的承载力就越高。因此,为提高桩的竖向承载力,可将桩身截面做成三角型、六边型、环型、十字型、H 型等异型断面桩,或做成楔型、螺旋型、“糖葫芦”型等变截面桩。为提高桩端总阻力,常将桩端做成扩大头。桩身的横向刚度越大,对于减小横向荷载下桩的位移和桩身内力的效果越明显,因而,受横向荷载桩的桩身可做成矩型、T 型、工字型、“8”字型(两圆桩相切)、十字型等异型桩,或将承受弯矩较大的上段做成异型断面桩。

3) 碎石桩和 CFG 桩

碎石桩是指用震动、冲击或水冲等方式在软弱地基成孔后,再将碎石挤压入已

成的孔中,型成大直径碎石构成的密实桩体。碎石桩又可分为震冲碎石桩、挤密碎石桩和干震碎石桩。碎石桩是一种常用的地基处理方法,广泛应用于工业民用建筑、铁路、高速公路和土石堤坝的地基中。

CFG(cement fly-ash grave)桩是近年来发展起来的一种新桩型,是由碎石、石屑、砂、粉煤灰掺水泥加水拌和,用各种成桩机械制成的可变强度桩。通过调整水泥掺量及配比,其强度等级在 C5~C25,是介于刚性桩与柔性桩之间的一种桩型。CFG 桩和桩间土一起,通过褥垫层型成 CFG 桩复合地基共同工作,故可根据复合地基性状和计算进行工程设计。CFG 桩一般不用计算配筋,并且还可利用工业废料粉煤灰和石屑作掺和料,进一步降低了工程造价。CFG 桩在砂土、粉土、黏土、淤泥质土、杂填土等地基均有大量成功的实例。

4) 复合载体夯扩桩

复合载体夯扩桩是近几年来针对夯击式沉管扩底桩存在的问题发展起来的,它吸收了国外的夯击式沉管扩底桩的优点,摒弃沉管灌注桩的一些缺点,是具有中国特色的一种桩型。复合载体夯扩桩的基本原理是采用细长锤夯击成孔,将护筒沉到设计标高后,细长锤击出护筒底一定深度,分批向孔内投入填充料和干硬性混凝土,用细长锤反复夯实、挤密,在桩端型成复合载体,然后放置钢筋笼,灌注桩身混凝土而型成的桩。复合载体夯扩桩通过特定的工艺,对桩端下一定范围内土体进行挤密加固,提高了地基土的承载力,以达到提高复合载体夯扩桩承载力。自开始应用以来,由于其具有施工简单、承载力高、质量易保证、造价经济等特点,很快在全国范围内推广,为基础工程设计提供了一个全新的方案。

5) 筒桩

筒桩是在沉管灌注桩的基础上加以改进发展而成的一种新桩型,该技术是谢庆道先生自主研制开发的一项专利技术,专利号为 ZL98233440.0(朱明双,2006)。筒桩属于弱挤土桩,它改变了普通沉管灌注桩的施工工法,采用双钢管筒加环型桩尖结构,套管上部与震动锤连接,下部与桩靴上的内、外支承面相接触,应用高频震动头将桩筒沉入土中,外管和内管型成排土体积向内心挤密并部分排出地面,外侧土体基本不受挤压,这既避免了沉管灌注桩易产生的质量缺陷即离析、缩径、断桩等;又克服了沉管灌注桩挤土效应强易对周围环境造成不良影响、桩径小和承载力低等缺点,因此近年来,筒桩在公路桥梁工程、海洋水利工程、基坑工程方面都得到了较为广泛的应用。

6) 钻孔咬合桩

钻孔咬合桩是采用机械钻孔施工,桩与桩之间相互咬合排列的一种基坑围护结构。施工时,A 桩(又称母桩)采用超缓凝型混凝土先期浇筑;在 A 桩混凝土初凝前利用套管钻机的切割能力切割掉相邻 A、B 桩相交部分的混凝土,然后浇筑 B 桩,实现 A、B 桩的咬合(刘丰军等,2006)。根据工程需要 A 桩可以采用素混凝土

桩、混合材料(如水泥土)桩、钢筋(矩型钢筋笼)混凝土桩或型钢加劲桩,B 柱中一般配置圆型钢筋笼,其咬合方式如图 1-1 所示。

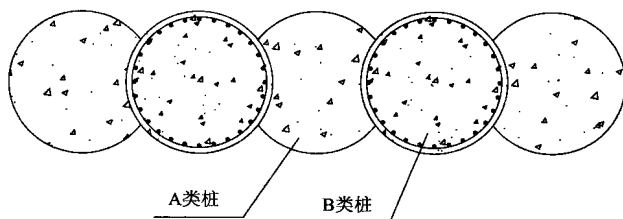


图 1-1 钻孔咬合桩示意图

近年来,各种桩基技术、地基(或土体)加固技术及地下墙技术等正在相互交流渗透或者嫁接移植,从而产生了新桩型、新工艺、新技术。如新出现的壁桩,是从地下墙演化而成并提高了地下墙施工机械的利用率。它起源于法国,称为“Barrette”,在我国台湾和香港早有应用。其他类型的异型桩还有竹节桩、树根桩等。

1.1.3 桩基础的发展趋势

桩基技术在历史发展过程中,应特别指出以下几点:

(1) 桩基技术的发展受工业化的影响巨大。例如,水泥工业的问世,现代钢铁工业的高速发展以及化学工业的崛起,都使桩基技术及其应用型成了独特的时期或阶段。

(2) 由于桩型及施工工艺不断推陈出新、千变万化,桩基的有关理论概念和桩的效用都发生了许多实质性的变化,桩的应用及成桩工艺比过去更为多样化和复杂化。

(3) 随着桩基技术的改良和发展,桩已不只是单独地被应用,而是在许多情况下与其他的基础型式或工艺联合应用。

(4) 桩基设计及施工规范化已受到工程界的高度重视,有关各种桩系的规范正在陆续制定和推出。

(5) 桩基的施工监测和检测已型成一项相当丰富有效的技术。

未来工程建设的大规模与高难度以及桩基工程本身的复杂性必将向以下趋势发展:

(1) 桩型及其适用范围通过定型化和规范化进行科学筛选和整理,以改变过去规格和型式繁多,桩工机械和工艺难以适应的弊端。

(2) 超高强度材料及无公害成桩工艺将成为未来桩基础技术研究的主要内容。在许多情况下,桩和桩基的含义将被拓展,工程实践中将涌现出新的支护结构和深基础,例如,桩墙、格栅状群桩护壁、圆筒式环型支护结构等将在桩基设计和

施工理论中被进一步分析、论证和完善。

(3) 化学和化工技术开始向岩土工程领域渗透并显示了其巨大影响和威力。例如,桩基工程环境反应的化学研究与桩身材料和桩尖与持力层加固的化学灌浆处理、油母页岩地基中桩基设计与施工、高压喷射成桩的工艺与理论等。

(4) 经过一定时期的实践,已有许多试探式的桩型和工艺将得到确认和淘汰,目前的混乱现象将有所改观。科学将代替纯经验,规范将代替随心所欲,可靠而有效的计算将代替劳民伤财的现场承载试验,无公害施工技术将代替现时伴随着有噪声、震动、排土及污染等的成桩工艺,特别是自动化将在桩基施工中显示其非凡作用。

(5) 在不久的将来,桩基技术中一系列特殊问题:如膨胀土中桩的设计和施工;基岩埋藏很深的软土地基中大荷载桩承载力的提高与保证;桩承载力的时间效应;沉桩施工控制的简单可靠方法;特殊桩型(树根桩、斜桩、桩墙、桩与其他构件联合结构等)的工作机理和应力与位移计算;桩基施工的环境效应;以及桩的压屈分析等。这些问题将会受到岩土工程科学工作者的特别关注,其中大部分可望获得满意的解决。

1.2 支盘桩的发展和研究现状

1.2.1 支盘桩的概念和发展简史

我国目前采用较多的钢筋混凝土灌注桩是靠桩周摩阻力与桩底端承力共同作用来完成荷载传递的。对同一地基土,支承面积越大,桩身摩阻力越大,则桩的总支承力就越大。为了提高单桩承载力,人们大都围绕着提高桩周摩阻力与桩底端承力这两方面来研究。要提高桩的摩阻力,只有增加桩长或增大桩径以提高桩的比表面积,但增加桩长特别是增加桩径会大大增加混凝土的用量,使混凝土的抗压强度不能充分利用造成材料浪费。因此,人们大都在桩的端承力上下工夫,出现了扩底桩、夯扩桩、桩底注浆等改良桩。

20世纪50年代后期,印度开始在膨胀土中使用多节扩孔桩,六七十年代,印度、英国以及苏联在黑棉土、黄土、亚黏土、黏土以及砂土中使用多节扩孔桩,当时有20余篇文献报道了直孔桩、扩底桩、两节和三节扩孔桩的对比试验结果(包括模型试验和现场静载试验)(巨玉文,2005)。

为防止地震时地基土液化,可采用结节桩。在打结节桩时,桩周堆放一定量的砾石,桩沉入时桩身的结节将砾石带入土中,在桩周型成一个一定厚度的砾石圈。桩周的砾石既起到排水作用,又可加速打桩引起的超孔隙水压力的消散,使桩的承载力能较快地达到稳定,同时又能释放地震引起的超孔隙水压力,从而防止土的液

化。试验表明,结节桩的承载力比普通桩高出 30%~40%。日本在采用这种桩型方面具有较多经验。按日本 Takenchi 工程公司的经验,最大结节直径为 500mm,桩身直径为 400mm,桩最大入土深度为 12m。

1979 年,建设部北京建筑机械研究所和北京市机械施工公司在国内首先研制开发出挤扩、钻扩和清虚土的三联机,简称 ZKY-100 型扩孔器。同年,北京市桩基研究所首先在劲松小区对用该挤扩装置制作成的四节挤扩分支桩和相应的直孔桩进行了竖向受压静载试验,试验表明,前者的极限荷载为后者的 138%。

1987 年初,北京市建筑工程研究所等在团结湖小区进行干作业成孔的小直径(桩身直径 300mm,扩大头直径 480mm)两节和三节扩孔短桩(桩长不足 5m)的施工工艺及静载试验研究。

20 世纪 90 年代,北京俊华地基基础工程技术集团研制开发出该公司的第一代锤击式挤扩装置(冲击锤锤出两支腔的简易设备)和第二代 YZJ 型液压挤扩支盘成形机(单向液压油缸两支腔挤扩),依此实施挤扩多分支承载力盘桩。

1998 年,贺德新研制开发出新型的多功能液压挤扩装置,并先后于 2000 年 10 月 11 日和 2001 年 4 月 17 日获中国和美国的发明专利授权。2001 年 12 月 12 日,贺德新“多节扩桩”实用新型专利获中国国家知识产权局授权。

目前,国内外采用的方型和圆型断面桩,在沿高度方向都是垂直线型的,主要靠桩周与土体的摩阻力,因此这一类的桩承压、抗拔、抗水平剪切能力都很差。树根有扩展范围很大的主根、侧根和毛根组成的根系深入土中,在根系范围内型成坚硬密实的复合土体,具有很好的承压能力、抗拔能力、抗水平剪切能力,稳定性好。支盘桩是在系统总结了各种常用地基处理的方法和分析研究树根结构特点的基础上采用仿生原理创造发明的一种新型桩基。

支盘桩由主桩、若干个承力盘、数对分支和周围被挤压密实的土层组成。由于分支和承力盘的存在,增加了桩体受力范围,增大了桩的端阻力和侧摩阻力,支盘桩与树根的根系结构和作用类同,具有很大的承压、抗拔和抗水平荷载能力,而且稳定性能好。支盘桩主桩孔的施工与普通混凝土灌注桩毫无区别,可以是螺旋钻成孔或回旋钻成孔,而承力盘和分支的成形,则是通过专门的液压挤扩支盘成形机或旋扩机在主桩普通圆形桩孔内的不同部位施做近似于圆锥盘状的扩大头腔,随后放入钢筋笼,充填混凝土,即型成桩身、分支、承力盘和桩端共同承载的桩型。周围土体与腔内灌注的钢筋混凝土桩身、支盘紧密结合为一体,充分发挥了桩土共同承担上部荷载的作用,有效地挖掘了地基潜力,增加了基桩的端承面积,将原来只有一个端承点的端承摩擦桩改变为多个端承点的摩擦端承桩,从而改变了桩的受力机理,使基桩承载力大幅度增加。相对于等径普通混凝土灌注桩而言,支盘桩的桩身结构发生了根本改变,其成桩工艺和设备也为之一新。支盘桩的出现对克服混凝土灌注桩的许多技术欠缺、提高和改进混凝土灌注桩的承载性状有着重大的

影响和改进,成为灌注桩大家族中一项新的技术成果。

挤扩支盘灌注桩又称“多级扩盘桩”、“多支盘钻孔灌注桩”、“挤扩多支盘DX灌注桩”,或简称“DX”桩,是在等截面钻孔灌注桩基础上发展起来的一种新型桩,其成功应用并迅速发展的基础是20世纪80年代末俊华集团张俊生先生发明了支盘挤扩成形的液压设备一支盘机。技术及其设备在1990年取得了国家发明专利,随后又在美国、欧洲、日本、加拿大、泰国等地取得或申请了专利。

挤扩支盘灌注桩最早于1992年在工程中使用,迅速发展包括北京、天津、河北、山东等十余省市的百余项工程中,应用效果良好。浙江省于2000年由北京俊华地基基础工程技术集团在杭州高新开发区软件园9号楼(软件开发中心)首先试验应用成功,并于2000年12月24日通过了浙江省建设厅认证。

挤扩支盘桩的桩体、承力盘和分支如图1-2所示。

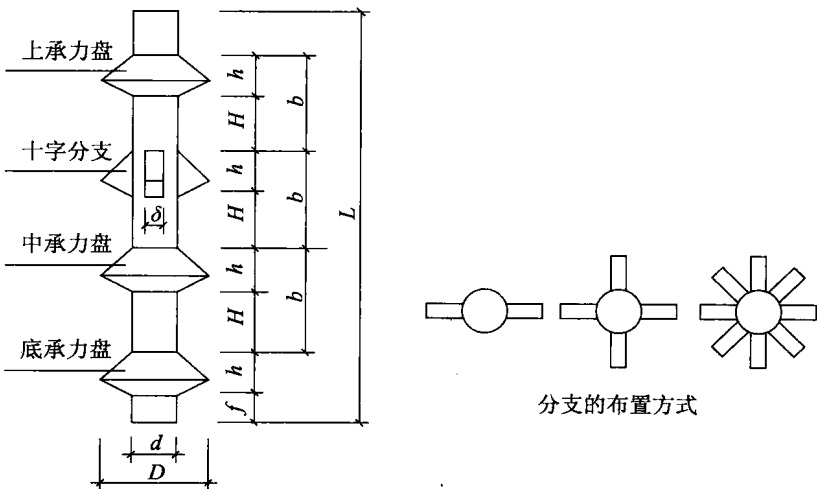


图 1-2 挤扩支盘桩构造示意图

d , 主桩径; D , 承力盘(分支)直径; L , 桩长; b , 支盘间距;
 H , 支盘净距; h , 支盘高度; c , 盘间距; f , 桩根长度; δ , 分支厚度

1.2.2 挤扩支盘桩的特点

1. 挤扩支盘桩的主要优点

(1) 它可充分利用桩身上下各部位的硬土层。支盘灌注桩是采用普通钻机成孔,通过专用装置液压挤密,充分利用沿桩身深度范围内地基土中的各硬土层来设置承力盘和分支,扩大了基桩与硬土层的接触面,发挥了支和盘的端承作用,增加