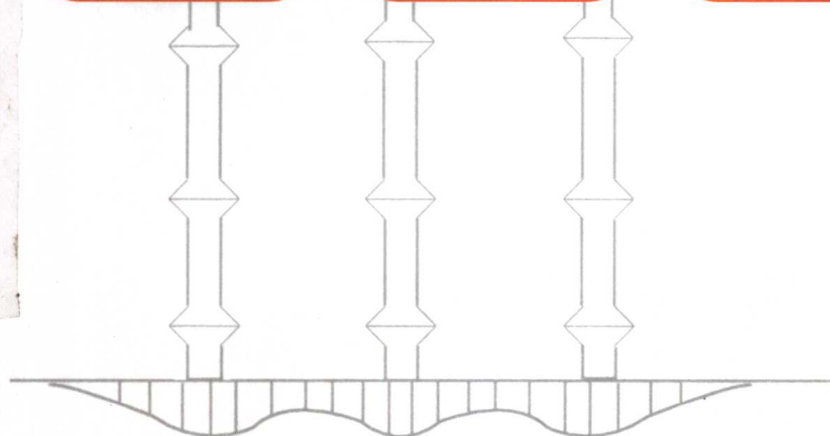
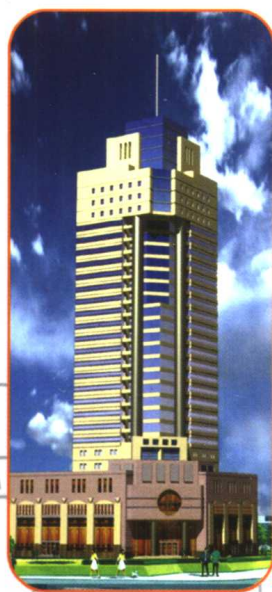


钱德玲 著

变截面桩



土的相互作用机理



合肥工业大学出版社

变截面桩与 土的相互作用机理

钱德玲 著



合肥工业大学出版社

内 容 简 介

变截面桩是在沿袭了几千年的等截面桩的基础上发展起来的,是桩基技术人员劳动和智慧结晶。由于变截面桩具有较高的抗压和抗拔承载力,因而在工程中多有用之,并成为当代桩基技术的新课题和前沿课题。

变截面桩的类型较多,为了系统、全面地论述变截面桩与土的相互作用机理,本书选择了新型挤扩支盘桩作为代表,介绍变截面桩的主要类型、变截面桩与等截面桩的区别、施工工艺、承载力计算、设计依据以及与土的相互作用机理。全书内容以实测资料为依据,以理论计算为根本,以数值仿真为技术,采用多种方法研究变截面桩与土的相互作用机理,从而满足工程设计的需要,以达到推广应用的目的。

本书共有8章,内容包括变截面桩总论、挤扩支盘桩的成桩机理、孔穴扩张理论、承载力理论、沉降量计算、破坏机理、数值仿真计算和优化设计等。

本书可供从事桩基工程设计者和施工人员参考使用,也可供土木工程专业的科研人员、高校教师以及研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

变截面桩与土的相互作用机理/钱德玲著. —合肥:合肥工业大学出版社,2003.10

ISBN 7-81093-064-8

I. 变… II. 钱… III. 桩基础 IV. TU473.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 089303 号

变截面桩与土的相互作用机理

钱德玲 著

责任编辑 陆向军

出 版	合肥工业大学出版社	印 刷	合肥现代印务有限公司
地 址	合肥市屯溪路 193 号 邮编 230009	开 本	787×1092 1/16
电 话	0551-2903038(总编室) 2903198(发行部)	印 张	7.5 字 数 200 千字
网 址	www.hfut.edu.cn/出版社	版 次	2003 年 11 月第 1 版
发 行	全国新华书店	印 次	2003 年 11 月第 1 次印刷

ISBN 7-81093-064-8/TU·3

定价:19.80 元

如有影响阅读的印装质量问题,请与出版社发行科联系调换

前 言

作为一种深基础,桩基工程广泛用于各类土木工程中,沿用至今已有七千多年的历史了。有关桩型、施工工艺、监测、试验技术等均取得了显著的进展,特别是随着计算机技术的不断应用,使桩基设计、施工、监控技术数值化,桩基技术更朝着信息化方向发展。当前,桩型、尺寸和工艺的发展给桩基承载性能、变形性能和设计理论、方法的研究提出了新的课题。

如何提高桩基承载力、减小沉降量、降低工程造价已成为我国和世界工程界的一大热点技术问题,变截面桩就是在这种情形下产生的。由于它具有较高的抗压和抗拔特性,因而日益受到工程界的青睐。变截面桩的类型较多,本书中选择挤扩支盘桩作为变截面桩的代表,系统地论述了支盘桩与土的相互作用,即支盘桩的荷载传递性状、变形性状、破坏性状等,并采用数值仿真技术,再现了支盘桩在荷载作用下应力场和位移场的变化。在此基础上,对支盘桩的设计进行了优化,根据应力场和位移场的变化范围,指出了最佳盘间距和桩间距。

本书在撰写过程中的指导思想是立足于阐明支盘桩与土的相互作用原理、施工技术、高承载力和低沉降量的内涵,侧重于优化设计的研究。其特点在于对抗压和抗拔原理作了系统的分析和承载力的计算,用数值仿真技术探讨了支盘桩受力后应力场和位移场的动态变化过程。旨在为广大桩基工作者提供一部了解变截面桩工作性状的书籍,为需要提高抗压和抗拔承载力的各类建筑物和构筑物的设计者提供一个值得考虑的桩型设计方案,为完善变截面桩的设计理论提供一个可量化的依据。

在本书出版之际,作者由衷地感谢为本书撰写提供实测资料的中国科学院武汉岩土力学研究所周青春博士、郑先昌博士,感谢唐辉明教授、孟高头教授、史鸿林总工程师的悉心指导,感谢本书所引用文献资料的众多作者,是他们的丰硕成果为本书提供了不可多得的宝贵材料。

由于作者水平有限,且在较短的时间内完成了书稿,书中难免有错误、缺点和疏忽的内容,在此,恳请同行专家和广大读者批评指正。

本书获得国家自然科学基金项目(50278030)的资助。

作 者

2003 年 11 月

目 录

0 绪 论	(1)
§ 0.1 引 言	(1)
§ 0.2 挤扩支盘桩在国内外的研究现状	(1)
§ 0.3 挤扩支盘桩的特点及其发展趋向	(2)
0.3.1 特 点	(2)
0.3.2 支盘桩的发展趋向	(4)
§ 0.4 存在的问题	(6)
§ 0.5 研究支盘桩的目的、内容及意义	(7)
参考文献	(7)
 1 变截面桩总论	(8)
§ 1.1 变截面桩的类型	(8)
1.1.1 扩径变截面桩	(8)
1.1.2 锥形桩	(9)
1.1.3 扩底桩	(10)
1.1.4 爆扩桩	(12)
1.1.5 挤扩支盘桩	(14)
1.1.6 带翼桩	(14)
§ 1.2 变截面桩的工作性能	(15)
1.2.1 变截面与扩径桩的受力特性	(15)
1.2.2 扩底桩的受力特性	(17)
1.2.3 挤扩支盘桩的受力特性	(18)
1.2.4 变截面桩的抗拔性能	(18)
参考文献	(20)
 2 变截面桩的典型代表——支盘桩的成桩机理	(22)
§ 2.1 支盘桩的成桩机理	(22)
§ 2.2 挤扩支盘桩的施工设备及施工工序	(23)
§ 2.3 支盘桩的挤扩作用及挤密效应	(25)
2.3.1 挤密效应	(25)
2.3.2 “拱”效应	(26)
§ 2.4 挤扩支盘桩与其他变截面桩的区别	(26)
2.4.1 变截面桩的特性	(26)
2.4.2 支盘桩与其他变截面桩的差异	(27)
§ 2.5 支盘桩的经济效益评价	(28)

参考文献	(30)
3 孔穴扩张理论	(31)
§ 3.1 概 述	(31)
§ 3.2 球形孔扩张问题的弹塑性分析	(32)
3.2.1 基于变形控制的球形孔扩张的基本方程	(32)
3.2.2 球形孔扩张问题弹性变形阶段解	(33)
3.2.3 Tresca 材料球形孔扩张问题的弹塑性解	(33)
§ 3.3 用球形孔扩张理论估算扩孔挤压效应	(35)
3.3.1 用球形孔扩张理论计算径向压力	(35)
3.3.2 工程实例计算	(36)
§ 3.4 挤扩过程中超孔隙水压力的计算	(37)
3.4.1 超孔隙水压力的计算	(37)
3.4.2 孔隙水压力消散理论	(39)
参考文献	(39)
4 承载力理论	(40)
§ 4.1 竖向荷载传递性状	(40)
4.1.1 静载试验及轴力传递特征	(41)
4.1.2 支盘端承力性状	(45)
4.1.3 桩侧摩阻力性状	(47)
4.1.4 桩端阻力性状	(49)
4.1.5 桩侧摩阻力、桩端阻力及支盘端承力综合分析	(51)
4.1.6 分析与结论	(53)
§ 4.2 单桩竖向受压承载力的计算	(54)
4.2.1 荷载传递函数法	(55)
4.2.2 根据经验公式确定单桩承载力	(61)
4.2.3 实例分析	(62)
§ 4.3 群桩承载力的计算	(63)
4.3.1 群桩效应	(63)
4.3.2 群桩承载力的计算	(65)
§ 4.4 挤扩支盘桩的抗拔性能及其抗拔力的计算	(66)
4.4.1 支盘桩的抗拔性能	(67)
4.4.2 破坏模式及机理	(70)
4.4.3 抗拔承载力的计算	(71)
参考文献	(72)
5 沉降量计算	(74)
§ 5.1 概 述	(74)

§ 5.2 单桩沉降量的计算	(75)
§ 5.3 群桩沉降量的计算	(78)
5.3.1 概 述	(78)
5.3.2 沉降量计算	(79)
参考文献	(81)
6 破坏机理	(82)
§ 6.1 单桩的破坏模式	(82)
§ 6.2 支盘桩的破坏模式	(83)
6.2.1 桩身强度的破坏	(85)
6.2.2 桩周土体的破坏	(86)
参考文献	(87)
7 数值仿真计算	(88)
§ 7.1 概 述	(88)
§ 7.2 力学模型	(88)
7.2.1 模型的建立	(88)
7.2.2 计算模型和边界条件	(90)
§ 7.3 模拟成果分析	(91)
7.3.1 位移场分析	(91)
7.3.2 应力场分析	(93)
7.3.3 对支盘桩破坏模式的分析	(97)
§ 7.4 小 结	(97)
参考文献	(98)
8 优化设计	(99)
§ 8.1 支盘桩的系统分析	(99)
§ 8.2 最佳盘间距、桩间距	(100)
§ 8.3 最佳支盘形状及支与盘的承载力对比	(101)
§ 8.4 支盘数、承载力可调性及承载力经验公式中修正系数的确定	(101)
§ 8.5 影响支盘桩承载力的主要因素及适用条件	(102)
8.5.1 影响支盘桩承载力的主要因素	(102)
8.5.2 支盘桩的适用条件	(104)
§ 8.6 实例分析	(105)
8.6.1 荷载与沉降的关系	(105)
8.6.2 荷载传递特性	(106)
8.6.3 桩顶与桩端沉降的关系	(108)
参考文献	(109)

0 绪 论

§ 0.1 引 言

桩基础作为一种支承上部荷载的工具已有七千多年的历史了。从古到今,桩基是从简单到复杂,从单一型到多功能型,从固定截面到变截面型等不断地发展。随着科学技术的发展,桩基的设计、施工技术也逐步得以提高和完善,日益成为各类工程建筑物基础不可缺少的主要型式之一。就其用途而言,桩基不仅在房屋建筑工程中得到广泛地应用,而且在路基、桥梁、港口、深海平台、地下构筑物等方面也受到青睐。据不完全统计,我国年用桩量达 100 万根以上,这一数值就足见桩基工程的地位和重要性了。

随着岩土工程技术的不断发展,桩基技术也日趋成熟。特别是随着计算机技术的不断应用,使桩基设计、施工、监控技术数值化,桩基技术更朝着信息化方向发展。但是,由于高层建筑的兴起和工程地质条件的日趋复杂,桩基技术又面临着新的挑战^[1]。在市场经济体制下,工程质量高、进度快、造价低的苛刻要求,迫使桩基技术人员向更高的桩基技术迈进,先后设计出各种异形桩,如结节桩、扩底桩、多级扩径桩或变截面桩等,以此来提高桩的承载力和满足各种工程建设的需要。可以说,桩型、尺寸和工艺的发展给桩基承载性能、设计理论和方法的研究提出了新的课题。作为变截面桩的一种新技术——挤扩支盘桩是桩基技术人员在生产实践中创造出来的一种新桩型,它的诞生给桩基工程带来了新的活力,也为桩基技术发展注入了新的动力。本书中,将支盘桩作为变截面桩的代表,详细论述支盘桩—土的相互作用、荷载传递性状、承载力和沉降量的计算方法、破坏机理、优化设计等,并采用有限元数值仿真技术,模拟支盘桩在荷载作用下应力场和位移场的变化,探求支盘桩的最佳盘间距和桩间距,以获得支盘桩的设计依据。

§ 0.2 挤扩支盘桩在国内外的研究现状

挤扩支盘桩技术创始于 20 世纪 90 年代初期,由张俊生先生发明^[2],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和第二代 YZJ 型液压挤扩支盘成型机及挤扩多分支承载力盘桩。1998 年 5 月,北京中阔地基基础技术有限公司研制开发出新型的多功能液压挤扩装置,实施多级挤扩功能。该技术在天津、湖北、安徽等地的工程中得到应用,由于支盘桩的单桩承载力是相应直杆桩的两倍左右,因而取得了较显著的经济效益。

在桩型构造上,基于单桩承载力是由桩侧摩阻力和桩端阻力构成的原理,为了提高端阻力又不增加桩身横截面积,且能够充分利用地表以下中下部较好的土层,设计时在桩身不同位置处将直径扩大以增加桩—土接触面积而成为多支点摩擦端承桩,以此来提高单桩承载力(图 0-1)。这就是新型挤扩支盘桩的创意之处!支盘桩造型新颖,具有先进的施工工艺,1990 年在国内获得国家发明专利权以后,又分别在美国、欧洲、日本、加拿大和泰国取得了专利权。可

见,支盘桩不仅在国内而且在国外都属于一种新桩型。由于使用时间较短,研究程度较低,因而在推广和应用方面受到较大的限制。在网上用 Multi-nodes pile、Branch pile、Squeezed pile、Multi-grade piles、Bearing enlarge disk piles、Multi-under reamed piles 等名词搜寻也未搜寻到相关的研究或试验成果。因此,进一步研究和推广应用挤扩支盘桩是非常必要的。

挤扩支盘桩以其高承载力和低造价的特点在桩基工程中显示出了它的优势。自 1992 年起,支盘桩开始在建筑领域中应用,近十年来,已在北京、天津、河北、河南、安徽、山东、江苏、黑龙江、湖北、广东、海南等十几个省市的近百项工程中得到了应用。由于支盘桩适用范围较广,特别适合于大吨位的建筑物,因此,在设计方案进行对比时,在考虑到承载力大小、沉降量大小、安全性、工程造价和施工工期等方面的因素后,就会显示出支盘桩的优越性和经济效益。鉴于支盘桩在工程中逐步广泛地被采用,北京俊华地基基础工程技术集团于 1997 年向国家科学技术委员会火炬计划办公室申请了挤扩支盘桩的研究项目,并于 1998 年 4 月列入了国家级火炬计划重点项目。经专家论证后,认定此项技术达到了“国内领先水平和国际先进水平”。此后,一些省市如天津市建委、北京市科委、河南省建委、广州市建委等也相应地批准使用此项新技术,至此,挤扩支盘桩的技术成果才得到了工程界的认可。

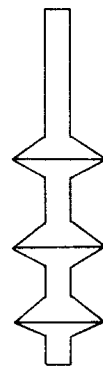


图 0-1 挤扩支盘桩的造型

支盘桩技术在使用过程中,都做了大量的现场静力载荷试验,因此,基本上了解了支盘桩荷载—沉降的关系曲线。1992 年北方交通大学完成了《挤扩多分支盘混凝土灌注桩受力机理及承载力性状的试验研究》,并做了 18 组不同盘距、不同盘数支盘桩的数据测定,总结出不同盘距和盘数对承载力的影响并导出了承载力的计算公式,为挤扩支盘桩技术的应用提供了重要的理论依据。此后,天津大学和北京华俊基础工程技术开发公司合作,于 1995 年在顾晓鲁教授的指导下,在天津沿海软土地区进行挤扩支盘桩的荷载传递性状的试验研究,为挤扩支盘桩的设计提供了重要的理论依据。除此之外,中国科学院武汉岩土力学研究所受武汉劳业综合开发股份有限公司的委托,曾对挤扩支盘桩做过三组静力载荷试验,基本上了解了荷载沿深度变化的规律,并获取了支盘桩的动测检验结果。随着支盘桩在工程中被广泛采用,建设部和电力规划设计总院都在本部门批准了推广应用支盘桩的技术,并在《建筑施工手册》^[3]和《地基基础施工手册》^[4]中介绍了挤扩支盘桩的特点及施工方法等。因此,进一步推广应用支盘桩技术,完善设计理论是十分重要的。

§ 0.3 挤扩支盘桩的特点及其发展趋向

0.3.1 特 点

支盘桩主要是利用专用的挤扩设备在桩身不同截面处扩大直径,以增加桩与土的接触面积来提高单桩承载力。主桩直径与支盘直径的大小,目前在施工中有不同的选择,其大小通常采用表 0-1 中的数据。

表 0-1 主桩直径与支盘直径的大小关系

主桩径(mm)	400	600	800	1000
盘径(mm)	960	1400	2000	2500

由此可见,支盘直径扩大后,与直杆桩相比,不但桩—土接触面积增大数倍,而且多支点端阻力也增加数倍。

与其他桩型相比,支盘桩主要有以下特点:

(1)无环境效应

支盘桩是在普通钻孔灌注桩基础上利用专门的挤扩设备成桩的,因此,在施工过程中仍具有钻孔灌注桩的无噪声和振动的优点。

(2)竖向承载力成倍地提高

通过静载试验,支盘桩与直杆桩相比(相同条件下),其竖向承载力提高一倍以上^[5],显示出极大的承载潜力(表 0-2)。其原因主要有三:一是支盘桩的桩径多级扩大,使桩体与土体的接触面积增大,从而提高了单桩承载力。二是由于分支器(挤扩设备)在挤扩过程中压密土体,使土体强度得到提高^[6],在承受荷载时,支盘就显示出了很大的端阻力,因而充分调动了地基土的储备力量,这是其他桩型不可能实现的。三是根据土层性质,在不同深度的土层上多处分支挤压,既增大了接触面积又压密了土体。在承力时,单桩将轴向荷载多级分配给扩径支盘端的好土层(或称支端持力层),这样一来,就充分利用了中下部土层较高的承载力,而不至于将轴向荷载较多地传递到桩端,由桩端持力层承受较大的荷载,致使持力层破坏。

(3)工期短、经济效益明显

挤扩支盘桩的最大优点是承载力成倍地提高。因此,在相同的设计荷载下,与直杆桩施工图设计相比,可以通过缩短桩长、减少桩数或桩径来达到降低造价的目的。经过计算和分析,提高经济效益主要体现在两个方面:一是由于桩数和桩长的减少,使混凝土用量减少,原材料可节约 30%以上。相应地,承台面积的缩小,或沿箱基墙下或筏基柱下布桩以减小底板厚度及配筋量来减少原材料。二是由于桩数的减少,施工期缩短,由此加快了施工进度。从以上两个方面累积起来计算,整个桩基工程的造价可降低 30%~50%。这也是很多工程使用支盘桩基础的原因所在。

表 0-2 支盘桩与直杆桩的承载力比较^[7]

桩长(m)	桩径 (mm)	支盘直径 (mm)	混凝土 用量(m ³)	桩 型	极限承载力计算值/kN				极限承载 力试验值
					桩端阻力	总摩阻力	总分支力	合计	
18.8	520	1200	5.08	支盘桩	93	1735	1601	3429	3600
18.8	520	/	3.99	直杆桩	93	1635	/	1728	1800
10.9	420	930	1.75	支盘桩	44	693	500	1237	1350
11.2	420	/	1.55	直杆桩	44	635	/	679	770
12.7	420	930	2.37	支盘桩	55	924	1347	2434	2600
12.7	420	/	1.9	直杆桩	55	924	/	979	/
17.7	820	1660	10.47	支盘桩	284	2565	2167	5016	5200
17.7	820	/	9.3	直杆桩	284	2349	/	2633	/

(4) 先进的施工工艺

新一代的挤扩机具有智能型多功能双向三支挤压效果,并装备了液压自动旋转系统、压力传感器、角度传感器、位移传感器等^[8]。通过双向液压油缸,弓压臂始终对土体进行3D方向挤压,并在土体中形成支(盘)状腔膜。由于受到挤压,在腔膜四周的土体无松动现象,同时,地面智能系统可通过压力传感器、角度及位移传感器,观察记录被挤压土体的承载力情况及挤扩成型情况。因此,施工方便、安全可靠。

(5) 承载力的可调性

由于地下土层是随机分布的,其物理力学性质随深度而变化,因此各层土的承载力也不相同。根据单桩承载力设计值的大小,可选择力学性质较好的土层作为支(盘)端持力层,使土层分层承受荷载,以此达到提高承载力的目的。其分支数或分盘数可依据承载力设计值的大小、盘间距及土层性质等情况而定。

(6) 验证静探资料

在挤扩设备挤压土体时,弓压臂是通过液压系统控制的,土层性质的好坏,可由液压表读数的大小反映出来。一般情况下,挤压过程中油压数值愈大,说明土层性质愈好,承载力愈大;成支(盘)后,支端阻力也愈大。因此,挤压过程相当于静力触探,成盘作业的挤扩压力值反映了各土层的软硬程度,既可验证勘探资料的可靠性,也可以了解支盘所在土层的承载力大小^[9]。如果发现土层性质和支盘承载力与单桩承载力设计值不吻合时,可通过增设支或盘来提高单桩承载力,这也是其他桩型不可能相比的。

(7) 具有抗震及承受活荷载的功能

由于挤密作用,各支盘与土体相互嵌固的较牢,具有较好的稳定性,故而使支盘桩竖向承载力、抗拔力及水平推力都相应地提高,对承受动荷载的桥梁桩基、重型工业厂房、大吨位行车、大跨度柱下的桩基和抗震设防建筑桩基的稳定性均具有良好的作用。

(8) 能适应各类土层的性质

内陆冲积平原和洪积平原、沿海及河口部位的海陆交互层和三角洲平原下的硬塑粘性土、密实粉土、粉细砂或中细砂层等均适合作为支盘桩的持力层,而且不受地下水位高低的限制。

(9) 成桩工艺适用范围广

支盘桩适用于泥浆护壁成孔工艺、干作业成孔工艺、水泥注浆护壁成孔工艺和重锤挤扩成孔工艺等。

0.3.2 支盘桩的发展趋向

(1) 桩基技术的发展动态

作为一种深基础,桩基础在古老的人类建筑史中已记载了七千多年。从木桩、石桩到现代的钢桩、钢筋混凝土桩,桩基技术也随着人类文明的进展而得到更新和发展。面对现代高层建筑的兴起,桩基础也将面临着新的挑战。

大规模和高难度的人类工程——经济活动以及桩基工程的复杂性必将促使桩基技术朝以下几个趋势发展^[1]:

① 桩型及其适用范围将通过定型化和规模化进行科学的筛选和整理,以改变过去规格和形式繁多、施工机械和工艺难以适应的弊病。

② 超高强度材料及无公害成桩工艺将成为未来桩基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宽,工程实践中将涌现出新的支护结构和深基础。一些桩墙、格栅状群桩护壁、桩筏、桩箱深基础以及桩型变化等将在桩基设计和施工理论中被进一步分析、论证和完善。

③一向为工业专宠的化学和化工技术,开始向岩土工程领域渗透并显示出它的巨大影响和威力。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有关的化学灌浆处理、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。可以说,岩土工程化学对桩基技术的影响还仅仅是开始,未来的发展也许将为桩基技术的发展开创一个崭新的时期和阶段。

④经过一定时期的实践,目前许多试探式的桩型和工艺将得到确认或淘汰。当前的混乱现象将有所改变。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载荷试验,无公害施工技术将代替伴随有噪音、振动、排土以及污染等的成桩工艺,特别是自动化将在桩基施工中显示出它的非凡作用。

⑤在不久的将来,桩基技术中的一系列特殊问题,例如:膨胀土中桩的设计与施工、基岩埋藏很深的软土地基中大吨位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的方法、特殊桩型(树根桩、斜桩、桩墙、变截面桩或扩径桩等)的工作机理以及应力与位移的计算、用以描述打桩性状的波动方程的困惑、桩基施工的环境效应、桩的压屈分析等,将会受到岩土工程科学工作者的特别关注,从而其中的大部分可望获得满意的解答。

(2) 支盘桩的发展趋向及其应用前景

作为变截面或扩径桩的特例——挤扩支盘桩的应用和发展,也备受广大桩基技术人员的关注。就目前支盘桩在大量工程中的应用和研究程度来看,其发展趋向和应用前景可以归纳为以下几点:

①与直杆桩相比,支盘桩在成桩原理及造型方面突出地展现了它的合理性和科学性,其发展前景较大。计算机应用与机械化施工相结合,将使支盘桩的施工工艺进一步完善。地面上全自动化操作将代替繁重的人工操作,同时避免人为因素的影响,施工既方便又安全,从而有效地缩短了工期。

②桩的类型很多,有钻孔灌注桩、扩底桩、预制桩、结节桩等,根据不同的地质条件及设计要求,同一工程可以选择不同的桩型。支盘桩以其承载力大、稳定性好、工期短、造价低的优势将向其他桩型挑战。因此,支盘桩研究成熟的一天将是它替代夯扩桩、竹结桩及其他变截面桩的一天。

③高层建筑和具有大吨位荷载的工程所需要的高承载力地基,往往因工程地质条件的复杂性和松软土的存在而难以满足设计要求。支盘桩与筏基或箱基结合起来组成桩—筏基础或桩—箱基础,无疑将会成倍地提高其承载力,因而扩大了支盘桩的应用范围,并使其具有良好的应用前景。

在实际工程中,采用支盘桩作为桩基础的实例太多,现仅举一例来介绍具体情况。如安徽省阜阳商厦三期工程,主体五层、局部十层、地下两层,建筑面积 26 000 m²,总高 43.5 m。采用预应力混凝土框架结构,柱网 12 m×12 m,中厅 24 m×24 m。框架柱承载力为 20 000 kN 左右,选用支盘桩桩—筏基础^[10]。在承受荷载方面,支盘桩不仅作为抗压桩,而且还作为抗浮桩。与原设计(直杆桩)相比,仅桩基一项就节约投资 270 余万元。

§ 0.4 存在的问题

随着高层建筑的兴起,桩基使用频率也日益增多。桩基以其高承载力和低沉降量的特点往往成为工程设计人员首先选用的基础型式。除了常规的桩基础以外,目前桩—筏基础及桩—箱基础在高层建筑中的应用也层出不穷。因此,桩基的承载力问题、变形问题及工程造价问题也日益成为建筑领域中最令人关注的问题。如何解决这些问题呢?人们在生产实践中不断地摸索,设计出了很多的异形桩,如结节桩、扩径桩、扩底墩及变截面桩等^[11]。这些改良的桩型在工程建设中的确都发挥了很大的作用,但在提高承载力、降低工程造价及提高抗拔力和抗震性能方面还显得不尽人意。因此,设计出能够满足不同建筑物要求的各种桩型已是当今桩基工程迫在眉睫的需要首要解决的问题。

虽然挤扩支盘桩在造型上类似于变截面桩或扩径桩,但在成桩机理及施工工艺上均不同于它们。支盘桩在工程应用中也已经证实了它的优越性,因此,进一步研究和完善设计理论是十分必要的。但由于支盘桩使用的时间较短、工程实例较少、实测资料较少,应用范围又仅限于建筑工程,这无疑给理论上的研究带来了不少困难。因此,对支盘桩的进一步研究和推广应用还存在以下几个问题:

(1) 挤扩支盘桩作为一种新型技术在理论研究上尚不够成熟。由于缺乏足够的在桩身内埋置量测元件的静载荷试验,对支盘桩的荷载传递性状、受力特征、沉降特性、抗拔特性以及最佳盘间距、桩间距等尚不能完全确定。到目前为止,支盘桩主要作为抗压基础在工程中得到大量使用,但在抗拔方面的荷载试验和理论研究较少。

(2) 缺乏单桩承载力可靠度分析。关于支盘桩承载力的可靠度分析,目前尚无专门的研究。这主要是由于试桩资料少,样本不够大,计算结果精度不高的原因。因此,作者打算从各方面收集一些静载荷试验资料,特别是抗拔试验数据,力求扩大样本数量,争取获得满意的计算结果。

(3) 尚无统一的设计及施工规范。目前,虽然支盘桩已在十几个省市得到认证和广泛使用,但大多数单位是按扩底桩设计的,支盘间距及桩间距任意确定,没有设计依据,更谈不上施工规范。只有少数单位制定了施工规程、操作方法及质量评定标准,因而应用范围受到限制,导致普及率不高或推广应用较难。

(4) 各部门的合作难以协调。目前投资部门与承包部门仍为独立核算单位,若设计部门采用支盘桩作为桩基础,将为投资方(委托方)节省 20%~45% 的基础造价。相对地说,拨给承包部门的资金就相应地减少,施工单位获得的利润也就随之而降低。因此,施工单位希望仍按直杆桩设计,通过增加桩数及桩长来获得较高的资金投入。但在资金到位以后,承包部门即施工单位却又希望设计部门改用支盘桩技术,在满足设计要求的同时,以此来减少桩数或桩长,从中获取利润。这样一来,就会导致国家资金大量流失。

通过市场调查,作者粗略地计算一下,若建筑面积为 10 万 m^2 ,建筑总投资在亿元左右。若采用挤扩支盘桩作为桩基础,仅桩基工程就可节约 1 000 万元。如果在全国范围内广泛采用挤扩支盘桩的设计、施工及科研成果等整套技术,每年将为国家节约投资近 30 亿元。因此,推广此项新技术光靠科研及宣传还不够,还需要各部门的相互合作、协调及政府支持才行。

§ 0.5 研究支盘桩的目的、内容及意义

挤扩支盘桩的优点除了承载力高,沉降量小以外,还在于它的经济效益显著,因而日益受到工程界的重视和青睐。目前,由于各种原因,支盘桩的应用还仅限于建筑行业。如果一旦在设计、施工及理论上研究成熟后,并形成可行性规范,推广应用到桥梁、路基、水利、电力部门、地下构筑物及一些抗震设防等工程上,将是一个可喜的局面,既保证了各类建筑物、构筑物等工程的安全和正常使用,又为国家节约了大量资金。因此,研究支盘桩的目的就在于以静力载荷试验为主要依据,研究各个承力盘的荷载传递特性、桩侧摩阻力特性及桩端阻力的特性;建立适应支盘桩特点的荷载传递函数,推导出适合支盘桩的极限承载力计算公式和沉降量计算公式;在试验和理论研究的基础上,提供最佳盘间距、桩间距以及设计、施工依据,最终系统地完善理论分析和可行性规范。

支盘桩的研究是一个多学科应用的综合课题,它基于力学、数学、工程地质学、模拟实验学等土木类学科,也是一个应用性非常广泛并具有较强的社会效益的学科。它的内容涉及成桩理论、孔穴扩张理论、承载力理论及破坏机理等四大理论,并被应用到竖向承载力计算、沉降量计算、抗拔力计算及抗震稳定性分析。完成一个系统地阐述挤扩支盘桩的受力机理、分析和计算的理论并被广大工程界所接受,将是一个非常艰巨的任务,需要广大科技工作者的集体力量和时间的验证。

挤扩支盘桩非常适用于大吨位的建筑物,同样,也适用于具有抗拔特性的构筑物,如输电线路杆塔基础、索道桥、悬索桥和高耸结构物等,适用范围非常广泛,研究意义也非常重大。

参 考 文 献

- [1]林天健,熊厚金,王利群. 桩基础设计指南. 北京:中国建筑工业出版社,1999
- [2]张晓玲,王理,唐业清. 挤扩支盘灌注桩的研究与工程应用. 地基基础工程,1999,9(1)
- [3]建筑施工手册编写组. 建筑施工手册. 北京:中国建筑工业出版社,1997
- [4]江正荣. 地基基础施工手册. 北京:中国建筑工业出版社,1997
- [5]胡林忠,史鸿林,王维雅. 钻孔挤压分支桩竖向承载力的研究. 合肥工业大学学报,1996,19(4):114—121
- [6]王毅斌,王振志,秦爱国. 挤扩支盘成型机及其应用. 探矿工程,2000,1:16—17
- [7]史鸿林,胡林忠,王维雅. 新型挤压分支桩的计算与试验研究. 建筑结构学报,1995,18(1):49—55
- [8]吴兴龙,闫军,魏章和等. 多节扩孔灌注桩的挤扩效应及形成机理. 岩土工程技术,2000,1:29—32
- [9]钱德玲,唐辉明. 挤扩支盘桩的成桩机理及其应用前景. 地质科技情报,2000,19(4):89—91
- [10]胡林忠,史鸿林. 钻孔挤压分支桩在阜阳商厦三期工程中的应用. 建筑结构学报,1998,19(1):73—75
- [11]Mohan D, Murthy V N S & Jain GS. Design and Construction of Multi-under Reamed piles, Proc. 7th, Int. Conf. s. m. & FE, Mexico, 183—186, 1969

1 变截面桩总论

§ 1.1 变截面桩的类型

变截面桩是在等截面桩基础上发展起来的,是一种不同于常规桩型的系列。在桩基设计中,为了增加桩—土接触面积和更大地发挥各土层的承载潜力,在桩身的不同位置扩大横断面,形成桩身截面沿深度而变化的特型桩,以获取最大的承载力。变截面桩类型较多,各自具有独特的力学性质、成桩机理和工作性状,因此,分析和研究各种变截面桩的特点是十分有意义的。

根据桩身纵断面形状的不同,工程中常见的变截面桩类型有以下几种。

1.1.1 扩径变截面桩

扩径变截面桩包括变截面桩、扩径桩、结节桩(糖葫芦桩)等,如图 1—1 所示。

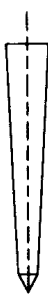
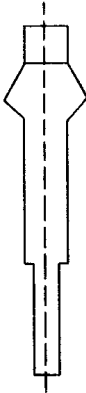
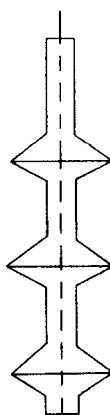
桩形	锥形桩	扩径桩	多级扩径桩	支盘桩	糖葫芦桩
断面形状					
桩体材料	土、钢、钢筋混凝土	钢筋混凝土	钢筋混凝土	钢筋混凝土	钢筋混凝土

图 1—1 扩径变截面桩类型

扩径变截面桩的扩径位置是选择土层力学性质较好的地段扩径,增大桩身截面积,将轴向荷载逐一分配到各扩径处的土层上去,传至桩端的荷载较小,使桩端沉降量减少,并大幅度提高单桩承载力。

(1) 设计要点

扩径处直径由主桩径和施工工具来确定,根据土层的力学性质和静力触探资料确定扩径

位置,并根据设计荷载的大小选择扩径数量。扩径处之间的距离一定要有所控制。因为,在相邻的扩径段之间,由于存在应力叠加和桩侧摩阻力的减少,将会失去扩径效果,承载力增幅不大;扩径变截面桩的工作性能就变成了与扩径处直径相等的等截面桩。有关扩径间距、扩径土层性质、承载力计算公式、优化设计等问题将在后续章节中讨论。

(2) 扩径工具

扩径变截面桩的施工过程是把按等直径钻孔(或沉管)方法形成的桩孔,在设计扩径的深度处换上扩孔钻头后,撑开钻头的扩孔刀刃使之旋转切削土层扩大桩径,成孔后放入钢筋笼,浇灌混凝土形成扩径桩以获得较大承载力^[3]。

扩径机具有:1000/2600 扩孔钻头、重力启闭式扩孔钻头、ZQ-Ⅲ型钻扩机、铰接式扩孔器等,如图 1-2、图 1-3、图 1-4 所示。

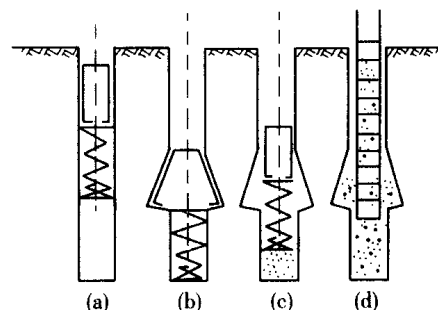


图 1-2 短螺旋钻孔扩底灌注桩施工工艺示意图

a—钻直孔;b—扩孔;c—清底;d—灌注混凝土

(引自北京市建筑工程研究所,1982 年)

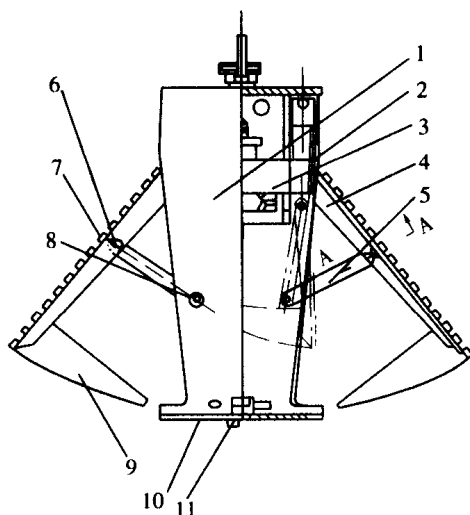


图 1-3 1000/2600 扩孔钻头结构图

1—钻筒;2—上销轴;3—滑块;4—刀杆;5—支撑架;
6—中销轴;7—刀齿;8—下销轴;9—推土板;10—底门;
11—清底刀片(引自张步钦,1988 年)

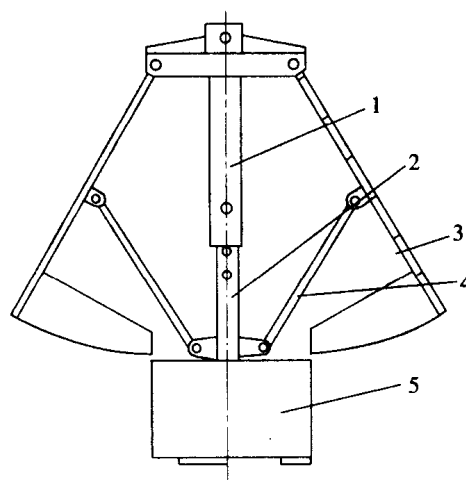


图 1-4 重力启闭式扩孔钻头结构图

1—上回转杆;2—下回转杆;3—刮土刀;
4—连杆;5—集土斗

在扩孔处,由于扩孔刀刃切削土体,致使扩孔后四周土体变得松动,孔内处于悬空状态,四周土体产生应力释放。除此之外,掉泥或清土不干净都会影响浇灌质量和单桩承载力大小,因此,扩孔后必须立即浇灌混凝土。

1.1.2 锥形桩

锥形桩的桩身材料为木、钢和钢筋混凝土。根据设计要求和土层条件可以确定桩身任意截面和桩长,如图 1-5 所示。锥形桩通常为预制桩,施工方法有:锤击法沉桩、振动法沉桩、静压法沉桩及辅助法沉桩法。其特点为^[3]:

- (1) 预制桩的施工性质属于挤土桩,能够挤密松软土,使土体强度得以提高;
- (2) 易于在水上施工;
- (3) 能够保证和检查桩身质量。预制桩是在地面制造,桩身质量和尺寸易于控制;
- (4) 桩身混凝土的密度大,抗腐蚀性能强;
- (5) 施工功效高。打入桩的施工工序较灌注桩简单得多,功效也高,桩的单位面积承载力较大。



图 1-5 锥形桩

1.1.3 扩底桩

扩底桩是通过钻扩工具和人工挖扩等手段将桩的底端扩大,如图 1-6 所示,增加桩底与土的接触面积,提高桩端阻力,减小单桩沉降量。扩底桩一般为钢筋混凝土桩。扩底尺寸及桩长必须根据荷载大小、持力层承载力大小、变形要求等来确定。除此之外,还应该考虑以下几点因素^[1]:

- (1) 扩底端外悬部位不会因冲剪而破坏。

这是因为荷载主要通过扩大端传递到持力层上去,因而桩底土层反力较大。其基底压力分布类似于刚性基础,因此,刚性角必须满足规范要求。

(2) 无论是采用钻扩还是人工挖扩方式来扩大桩端尺寸,都可能会遇到扩大端上方土体的坍塌,并且在浇注混凝土时会有夹泥存在,导致扩大端质量下降,直接影响承载力的大小。

(3) 根据理论研究和有限元数值模拟,证实了在扩大端的斜面上,由于桩的下沉,导致扩大端顶部与土体脱开,出现松动区,使扩大端上部一定范围内摩阻力下降,甚至等于零。

- (4) 扩底桩的荷载传递受扩径比 D/d 的影响。

综合以上因素,扩大端设计时可考虑以下计算公式。

- (1) 大直径灌注桩^[1]

$$\begin{aligned} \text{扩底尺寸:} \quad A_k &= \frac{P+G}{f} \\ \frac{D-d}{2} : h_2 &= 1 : 4 \\ h_1 &\geq \frac{D-d}{4} \end{aligned}$$

式中 A_k ——由地基土强度决定的扩大底的截面积(cm^2);

P ——上部结构作用于桩顶的荷载(kN);

G ——灌注桩的自重荷载(kN);

f ——地基承载力设计值。

$$\text{或者采用: } h_1 \geq \frac{D-d}{2.5}$$

- (2) 《建筑桩基技术规范》规定^[2]

扩底灌注桩扩底端尺寸宜按下列规定确定:

- ① 当持力层承载力低于桩身混凝土受压承载力时,可采用扩底桩。扩底端直径与桩身直径比 D/d ,应根据承载力要求及扩底端部侧面和桩端持力层土性确定,最大不超过 3.0;

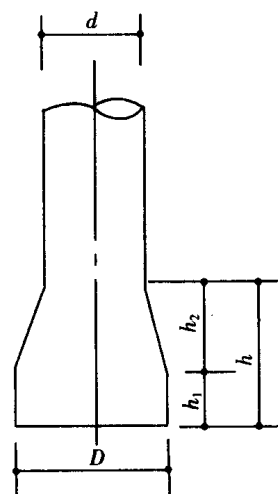


图 1-6 扩大头尺寸