

新型桩 挤扩支盘灌注桩 设计与工程应用

徐至钧 张国栋 编著



挤扩多支盘混凝土灌注桩是在原有等截面混凝土灌注桩的基础上采用仿生原理发展而来的,设置在桩身纵向不同位置的分支或承力盘是靠一种专用液压支盘挤扩设备巧妙地与现有桩工机械设备配套使用,经高能量挤扩成型支盘后灌注混凝土成桩形成的,同时通过液压表掌握不同标高土层情况而使桩达到设计要求承载力。该技术不仅工艺设计科学、合理,同时也构造形成了独具特色的一种新型桩。

全书主要内容收集了 60 多项工程 120 多根静载荷试桩曲线,在研究分析这些试桩资料的基础上,提出了确定挤扩支盘单桩承载力的经验公式,可供工程设计中参考,同时还介绍了普通灌注桩与挤扩支盘桩的桩基施工、桩基构造、桩基施工的工程质量控制与监测,还介绍了部分挤扩支盘桩应用成果和推广及挤扩支盘桩工程特征及经济效益等。最后还汇集了挤扩支盘桩工程十个应用实例及抗压桩 $Q \sim S$ 曲线 120 多条。可供设计、施工工程技术人员在推广新技术中参考,也可供高等学校教师和研究生在工作中参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

新型桩挤扩支盘灌注桩设计与工程应用/徐至钧,张国栋编著. —北京:机械工业出版社, 2003. 3

ISBN7-111-11370-5

I. 新… II. ①徐…②张… III. 灌注桩-设计
N. TU473.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 007392 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 何文军 版式设计: 冉晓华 责任校对: 姚培新
薛俊高

封面设计: 姚毅 责任印制: 闫焱

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2003 年 3 月第 1 版·第 1 次印刷

1000mm×1400mm B5·14.625 印张·570 千字

0 001—3 000 册

定价: 39.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

序

新桩型和新工艺的开发是促进桩基技术进步的重要方面,20世纪90年代以来,我国岩土科技工作者在这一领域开展了卓有成效的工作。将土体加固技术融入桩工技术以提高单桩承载力成为新桩型、新工艺开发的主流,挤扩多支盘灌注桩乃是利用静力挤扩技术,既加密增强土体又扩大桩的承载面,从而大幅度提高桩的承载力。这种桩型是多级钻扩桩(糖葫芦桩)技术的延伸和发展。

工程应用实践表明,挤扩多支盘灌注桩应用于非软土地地区桩长不太大的情况下,可以获得良好的技术经济效益。

挤扩多支盘灌注桩由于其多级扩头的存在改变了传统等截面桩的荷载传递和变形性状,桩侧土层的荷载分担率和应力扩散度提高,桩端荷载减小,桩侧土层的性质对于桩的承载力和沉降的影响加大。因此,承载力和沉降的计算、挤扩支盘的优化布置与间距、桩的最小中心距、群桩效应等都成为设计应用的新课题。随着对这一系列问题研究的深入,必将促进该项技术的应用和提高。

本书作者汇集了近年来全国各地试验研究和应用挤扩多支盘灌注桩的丰富资料和经验,并进行了很好的归纳分析,这对于促进该项新技术的应用和发展将起到积极作用。

刘金砺

2002年8月12日

前 言

挤扩多支盘混凝土灌注桩（以下简称挤扩支盘桩）专利号：92205038.4，是在原有等截面混凝土灌注桩的基础上采用仿生原理发展而来的，设置在桩身纵向不同位置的分支或承力盘是靠一种专用液压支盘挤扩设备巧妙地与现有桩工机械设备配套使用，经高能量挤扩成型支盘后灌注混凝土成桩形成的，同时通过液压表掌握不同标高土层情况而使桩达到设计要求承载力。该技术不仅工艺设计科学、合理，同时也构造形成了独具特色的一种新型桩。

挤扩支盘桩可适用于一般粘性土、粉土、砂性土等均匀或软硬交互的土层，以及黄土、膨胀土、残积土、回填土、强风化岩等其他可以形成桩孔的地基上，且地下水位上下均可选用不同的适用工法进行施工。

挤扩支盘桩一般可应用于建（构）筑物抗压桩基、抗拔桩基、基坑支护桩，包括建筑物增层改造桩基、复合地基处理以及石油化工高塔基础、电厂等特种结构、桥梁、城市立交桥桩基等工程领域。

挤扩支盘桩受力机理明确，竖向承载能力高，受荷变形小，抗震性能良好，使结构设计方案优化；由于其独特的技术形式，能有效减小桩的数量，缩短桩长，缩短工期，节省原材料至使工程造价大幅度降低，改良施工作业环境，降低劳动强度，且工程质量稳定，使结构工作安全度大大提高。

挤扩支盘桩适用范围广，可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，成桩工艺简单。

对不同土质的适用性强，且不受地下水位的限制，在内陆冲积和洪积平原下的硬塑粘性土、密实粉土、粉细砂层及中粗砂层等均适合作挤扩支盘桩的持力层。

北京俊华地基基础技术集团（以下简称俊华地工集团）是北京市新技术产业开发试验区的高新技术企业，主要从事地基基础工程的技术开发与技术服务。

集团的发展中，凝聚了集团每个人的心血，更离不开建设部、原冶金部、原化工部、国家专利局领导的关怀以及中国老教授协会、中国房地产协会、中国土木工程协会等方面专家的支持。

除此之外，北京中阔地基基础技术有限公司、中国北方光电工业总公司地基基础工程部以及北京华云建筑工程有限公司等都是积极推广应用挤扩支盘桩的先进单位，也值得加以赞扬。

本书中收集了 60 多项工程 120 多根静载荷试桩曲线，在研究分析这些试桩资料的基础上，提出了确定挤扩支盘桩单桩承载力的经验公式，可供工程设计中参

考,同时还介绍了普通灌注桩与挤扩支盘桩的桩基施工、桩基构造、桩基施工的工程质量控制与监测,还介绍了部分挤扩支盘桩应用成果和推广及挤扩支盘桩工程特征及经济效益等。最后还汇集了挤扩支盘桩工程应用实例十个。可供设计、施工工程技术人员在推广新技术中参考,也可供高等学校教师和研究生在工作中参考。

本书由教授级高级工程师徐至钧主编,张国栋同志负责编写第六章、第七章有关挤扩支盘桩施工和质量监测部分,并提供了部分工程实例,在编写此书的工作中,还得到了北京俊华地基基础工程技术集团、北京华云建筑工程有限公司的大力支持,为本书提供了大量工程应用实例。

在编写过程中还有张晓玲、董哨红、蓝岚、孟宏超、王春虎、罗利君、石树山、王海啸、杨瑞清、韩显华、郭晰娥、戴家骅、杨琳、赵尧钟、曾庆良、徐卓、吴军等以及深圳地质建设工程公司李景博士和深圳粤地建设工程有限公司张亦农经理等参加了部分编写和提供实例等工作,在此一并表示感谢。

但由于作者的水平限制,错误之处在所难免,敬请读者批评指正。

编著者

2002年9月10日

于北京

目 录

序

前言

第一章 绪论	1
第一节 国内外桩的发展概况	2
一、国外概况	2
二、香港特别行政区桩基的应用	3
三、国内大直径灌注桩的应用	6
第二节 桩型选择与桩的技术特点	6
一、桩型的选择	6
二、技术特点	8
第三节 挤扩支盘桩的主要特征	9
一、挤扩支盘桩的发展简况	9
二、桩的作用机理	12
三、挤扩支盘桩的主要特征	15
第四节 桩的发展前景与展望	18
第二章 桩基岩土工程勘察	22
第一节 勘察场地分级和工程勘察等级	22
一、岩土工程勘察分级	22
二、按复杂程度划分的三个场地等级	22
三、按地基的复杂程度划分的三个地基等级	23
四、按工程重要性划分的岩土工程勘察等级	23
第二节 勘察阶段的划分与勘察要点	23
一、勘察阶段的划分	23
二、初步勘察要点	24
三、详细勘察要点	25
第三节 勘探点的平面布设	26
一、勘探点平面布设原则	26
二、初步勘探	26
三、详细勘探	28
四、详细勘探点的布置	29
五、详细勘察的单栋高层建筑勘探点的布置	29
六、详细勘察的勘探深度控制	29

七、详细勘察的勘探孔其他深度控制	29
八、国内规范对桩基勘察勘探点间距的规定	30
九、详细勘察采取土试样和进行原位测试的要求	31
第四节 桩基勘察的主要任务	32
一、合理选择桩端持力层	35
二、正确提供桩侧阻力和桩端阻力标准值	36
三、正确估计沉桩可能性	37
四、提出桩型选择和桩基设计施工的建议	37
第三章 岩土的工程力学特性	38
第一节 岩石试验和分类鉴定	39
一、岩石试验内容	39
二、岩体原位应力测试	39
三、岩石分类和鉴定	40
第二节 土的物理性质及分类	42
一、土的组成	42
二、土的三相比例指标	45
三、土的分类	46
第三节 土的力学性质与试验测定	50
一、土的有效应力原理	50
二、土的渗透性	53
三、土的变形特性	54
四、土的抗剪强度	58
五、土的抗剪强度测定	59
第四节 土的原位测试	59
一、载荷试验	60
二、静力触探试验	61
三、圆锥动力触探试验	63
四、标准贯入试验	64
五、十字板剪切试验	65
第四章 桩的受力性状与单桩承载力的确定	67
第一节 普通灌注桩的荷载传递性状	67
一、灌注桩单桩竖向受压的极限状态	67
二、竖向受压单桩的荷载传递性状	68
三、单桩桩侧阻力的分析	71
四、单桩桩端阻力的分析	77
五、单桩桩侧阻力与桩端阻力的综合分析	81
第二节 挤扩支盘桩的荷载传递性状	83

一、挤扩支盘桩竖向受力的原体试验	83
二、桩的竖向荷载传递特征	84
三、工作荷载下支盘桩桩身应力的分布	86
四、挤扩支盘桩同普通灌注桩的对比	87
第三节 挤扩支盘桩单桩承载力的分析	91
一、单桩垂直承载力	91
二、单桩极限承载力试桩分析的各种方法	96
三、火力发电厂支盘灌注桩暂行技术规定 (DLGJ153—2000) 计算公式	96
四、北京市挤扩支盘桩技术规程计算公式	102
五、挤扩支盘桩单桩竖向承载力经验公式的研究分析	105
第四节 挤扩支盘桩适用的地质条件	111
第五章 挤扩支盘桩构造	114
第一节 “建筑地基基础设计规范” (GB50007—2002) 对桩基础的 构造要求	114
第二节 国家和地方规范对建筑物变形允许值的规定	119
第三节 挤扩支盘桩的构造措施	124
一、配筋	124
二、桩身混凝土及混凝土厚度	127
三、挤扩支盘桩盘径尺寸	127
四、承台构造	128
第六章 桩基施工	130
第一节 我国桩基施工技术现状	130
第二节 灌注桩的成孔方法	139
一、施工前的准备工作	140
二、一般规定	144
三、灌注桩成孔方法	145
第三节 挤扩支盘桩施工	204
一、挤扩支盘桩工艺流程	204
二、施工主要机具和设备	206
三、挤扩支盘桩基础工程施工	207
四、挤扩支盘桩施工注意要点	209
第四节 挤扩支盘桩试验	210
一、试验概况	210
二、试验情况	210
三、结论	213
第七章 桩的施工质量控制与监测	214
第一节 桩的施工质量控制	214

一、灌注桩成孔施工的允许偏差	214
二、挤扩支盘桩质量的控制	214
三、钢筋笼制作允许偏差	215
四、其他项目的质量控制	215
第二节 挤扩支盘桩质量检验	216
一、钻成孔及清孔检验	216
二、钢筋笼制作及安放	218
三、混凝土灌注（与挤扩多支盘桩有关的特殊要求部分）	218
四、成桩检验	219
五、质量检验评定程序及组织	219
第三节 挤扩支盘桩工程验收	220
一、支盘桩工程验收包括隐蔽工程验收和工程竣工验收	220
二、支盘桩组织验收时，一般应提供下列资料	220
第四节 挤扩支盘桩质量检验评定标准	220
一、保证项目	220
二、允许偏差项目	221
三、质量检验评定等级	221
第五节 桩的质量监测	224
一、混凝土灌注桩提供经确认的参数	224
二、桩基工程事故	224
三、工程桩竖向承载力检验	224
四、按上述方法判断有困难时，可结合其他辅助分析方法综合判定	225
五、根据建筑地基基础设计规范（GB50007—2002）的要求	225
六、单桩竖向抗拔静载试验	226
七、单桩水平静载试验	227
八、桩基动测技术	230
九、试验成果整理	231
第八章 挤扩支盘桩的工程特征与经济效益	233
第一节 工程特征	233
第二节 挤扩支盘桩应用成果证明	234
第三节 挤扩支盘桩与普通灌注桩应用成果对比	237
第四节 综合技术经济分析	239
第九章 试桩成果汇总与工程应用实例	242
第一节 挤扩支盘桩试桩成果汇总	242
第二节 工程应用实例	247
工程实例一 挤扩支盘桩丽馨园商住楼的应用	247
工程实例二 伟业大厦	260

工程实例三	杭州高新技术开发区软件中心 9 号楼	277
工程实例四	禹州电厂挤扩支盘桩原体试验成果分析	283
工程实例五	901 科技创新大楼	291
工程实例六	天津巴黎现代广场	298
工程实例七	焦作万方铝业电解铝车间	302
工程实例八	中国人民银行 191 工程	303
工程实例九	美震大厦挤扩支盘桩应用	309
工程实例十	金淮花园二期工程挤扩支盘桩应用	312
附录 A	挤扩支盘桩单桩垂直静荷载试桩记录	316
附录 B	挤扩支盘桩单桩抗拔荷载试桩记录	448
	参考文献	454

第一章 绪 论

当建筑物上部结构荷载较大，地基上部土层较差，而下卧层土有可做为桩基持力层的较好的上层时，最适宜采用桩基；当建筑物受竖向荷载大，或受地面大面积荷载影响的结构，对沉降方面有较高要求的结构也可采用桩基。当有较大倾覆力矩的高耸结构，采用桩基能较好地承受水平力及抗拔力。

应该说桩基础在工程建设中已经被广泛应用。这些年来通过施工工艺、成桩机具或注桩材料等方面的不断革新，灌注桩技术也在不断地改进和提高，为建筑物提供安全可靠的基础，以适应更加复杂的建设需要。

“挤扩支盘灌注桩”（以下简称挤扩支盘桩）技术，是北京俊华地基基础工程技术集团发明的专利技术。采用他们研制的支盘挤扩机械装置，在桩孔内的合适土层，进行加压挤扩，形成“支”或“盘”，形成“挤扩支盘见图 1-1。这是在施工工艺、施工机具甚至包括注桩材料等方面，对灌注桩技术的全面改进。给人们提供一项崭新的桩基技术。“挤扩支盘灌注桩”技术的出现，为我国在灌注桩技术上的重大改进，同时在桩基施工中又增加了一项新的施工手段，受到工程技术人员和专家们的极大关注和欢迎。

广泛的工程实践证明，“挤扩支盘灌注桩”技术具有施工机具简单，适应土层广泛，能充分利用地基承载土层，工程造价低，可大量节省钢材和水泥，能有效减小桩直径和减少桩长，提高桩的承载力，减少沉降量，抗水平力和抗拔力好，特别是用其他手段难以奏效的水下砂层中，采用这项技术可以挤扩形成桩基扩大头，形成大直径扩底桩。这项技术的出现扩大了桩基工程的适用范围，改善了桩基工程的使用条件。

“挤扩支盘灌注桩”技术的机理研究工作也是很深入、很有成果的。广泛的室内外试验证明，这项技术受力机理明确，挤扩影响范围较大，对周边土具有加固密实的效应，对土层具有验证功能，提供了支与盘的合理间距和桩径与盘径的合理尺寸。不仅有单桩承载力与沉降值的估算方法，而且通过大量工程积累也提供了这项专利技术用于指导工程的施工细则。

目前“挤扩支盘桩”技术配套，工艺完善，检测手段明确，设计计算方法可行。是一项从专利技术到工程实施都得到充分肯定的一项重要新技术。从海南岛到黑龙江，从沿海到内地，已有上百项工程采用这项新技术。从普通粘性土、粉土、砂土到软土和湿陷性黄土，大量的工程实践都充分证明这是一项适用广泛，安全可靠的桩基新技术。许多地方建设行政主管部门及技术指导部门，对这项技术

都给予充分认可、肯定，并建议积极推广。为这项新技术的广泛应用创造了条件。应该说“挤扩支盘桩技术”的推广和应用，是灌注桩技术的一项重大改进。

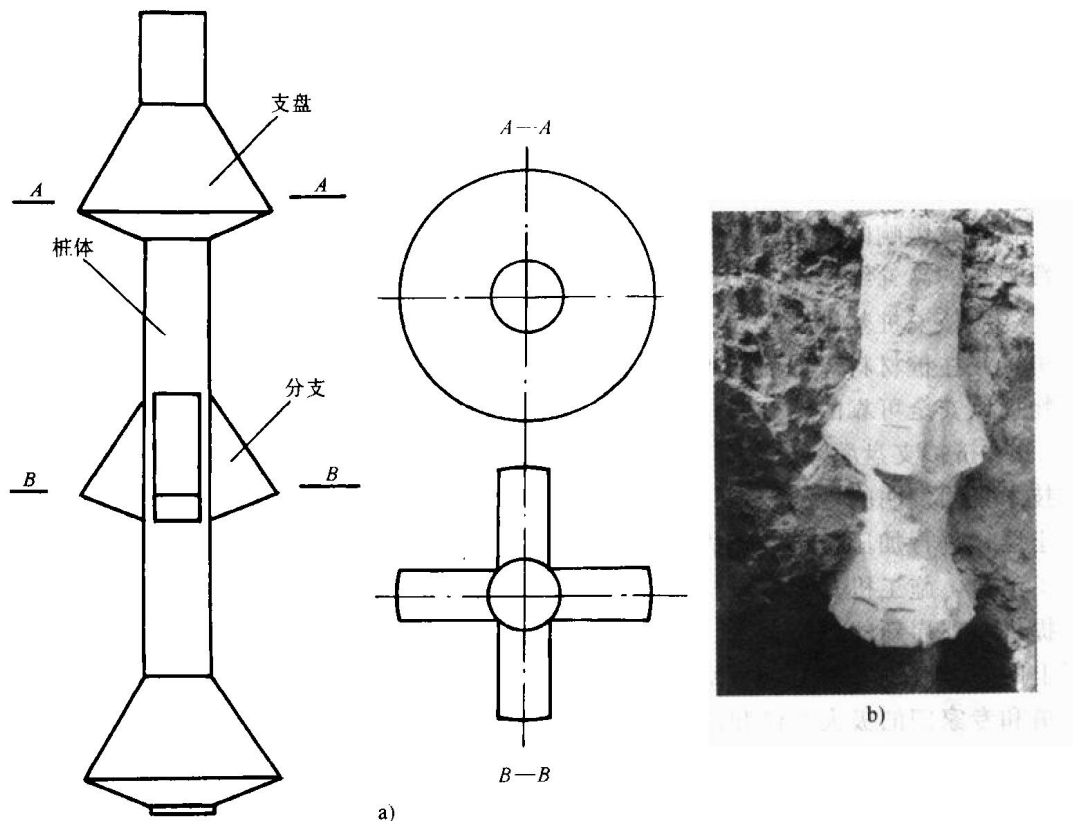


图 1-1 挤扩支盘桩外形图

a) 外形尺寸 b) 实体照片

现简单介绍灌注桩的发展历史、桩的造型、技术特点，挤扩支盘桩的主要特征、桩的发展前景与展望等。

第一节 国内外桩的发展概况

一、国外概况

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 年。当时美国芝加哥、底特律等大城市由于土地紧张，建筑物层数不断增加，而某些高强轻质的新材料相继开始生产，正为高层建筑设计施工创造了条件。但这些城市地表以下存在着厚度很大的软土或仅中等强度的粘土层，建造高层建筑如仍沿用当时通行的摩擦桩，必然会产生很大的沉降。于是工程师们不得不考虑把桩设在很深的持力层，并且为满足承载力要求，还必须把其

截面设计得很大。但这样的桩既不可能用木材制作，若用钢管、型钢或钢筋混凝土预制，依靠当时的打桩设备也难以打至必要的深度。于是，借鉴人类自古相传的掘井技术，人工挖孔桩就在这一历史背景下试验成功，解决了上述难题。这种桩后来就被称为“芝加哥式挖孔桩”。由于其工艺简单，且不需特殊机械，故不久即不胫而走，不仅为美国其他城市而且在中国与港、澳地区及日、英等国，乃至世界各地所采用。

钻孔灌注桩是在人工挖孔桩问世后约 50 年，亦即 20 世纪 40 年代被随着大功率钻孔机具研制成功，首先也在美国问世的。随着二次大战后世界各地经济复苏与发展，高层、超高层建筑物和重型构筑物不断兴建，它们中绝大多数都选择了钻孔桩。尤其自 70~80 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，居高不下。

整整一个世纪以来世界各地的应用情况说明，110 年以前大直径人工挖孔桩的问世，其意义和贡献不仅在于它解决了当时某些工程面临的难题，更重要的是它突破了一个沿袭了一万数千年的传统，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，乃至 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。它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。

二、香港特别行政区桩基的应用

1. 地理、地形与地质复杂

我国香港特别行政区由香港岛、大屿岛、南丫岛等 200 多个大小岛屿及九龙半岛组成，陆地总面积约 1100km²。全区的岛屿与半岛，其地形以丘陵山岭为主，海拔低于 50m 的低平地仅占总面的 20%。全区地势呈北高南低，最高处在九龙半岛新界的大帽山，山顶海拔 957m，向南至香港本岛西南的南丫岛；最高点海拔 350m。

香港本岛在约一万年前本与九龙半岛相连，后因地质构造运动，才出现了现今著名的维多利亚海峡。

香港在地质构造上属华夏隆起的西南部分，在中生界发生显著的变动而有大量火山喷发和岩浆岩。因此，全区埋藏大面积的侏罗——白垩纪侵入岩（花岗岩）和火山岩（喷发酸性熔岩、凝灰岩）；并有少量沉积岩分布于新界北部等地。在低海拔地带则有近代河口三角洲沉积和海洋沉积以及近代人工堆积。

香港的土层大多由花岗岩和火山岩经物理或化学风化而形成。经物理风化形成的砾石土，其厚度一般不超过 30m，化学风化形成的土层不超过 60m。花岗岩的性质不一定随深度而改善。花岗岩风化一般形成砂质土，火山岩风化后形成淤泥质土。

由于平地面积少,香港人民不得不移山填海造地,其面积累计已达 40 多 km^2 。

2. 桩的主要类型

香港地质条件如此复杂,而如今不论繁华闹市、丘陵山坡或围海填土地区,无不高楼林立;30 层以上的大厦比比皆是,374m 高的中环广场大厦和 369m 高的中银大厦巍然冲天;弹丸之地,高架路透迤千余公里,起伏盘旋,蔚为壮观;行车桥梁跃地腾空,交互重叠,竟数以千计。这些工程设施以及星罗棋布的地铁出入口,乃至跨海、外海、近海和港湾等各类海洋结构物,究其基础,多非桩莫属。是以香港用桩数量大、类型多、用途广。

香港政府主管工程建设的土木工程署认为,由于桩的施工会改变地基土的工程性质,并转而影响桩的性状,因此,按照桩在施工时对地基土的扰动程度,来进行桩的分类最为明确,且便于实施管理。按此观点,目前香港常用的桩型大致被归纳为四大类,即:(1)大量挤土桩;(2)少量挤土桩;(3)置换桩;(4)特殊桩型等四种类型,现分述如下:

(1)大量挤土桩:钢筋混凝土预制管桩;预应力混凝土管桩;闭口钢管桩;沉管灌注桩。

(2)少量挤土桩:主要指 H 型钢桩及开口钢管桩。

(3)置换桩:香港通常把钻、冲孔灌注桩叫做机械成孔桩,又把机械成孔桩与人工挖孔桩统称为置换桩。

(4)特殊桩型:矩型桩;小桩;复合桩。

现将特殊桩型的三种桩简要介绍如下:

1)矩型桩。这种桩英文叫 Barrette,内地尚未应用,因其截面特别大,也可称为巨形桩。

这种桩是传统的钻孔灌注桩的一种变种,唯其截面呈矩形。香港目前常用的尺寸是 $0.8\text{m} \times 2.2\text{m}$ 及 $1.2\text{m} \times 2.8\text{m}$ 。最大的长边尺寸已达到 5m 至 6m。已施工的最大深度达到 80m,它在一般土层中采用抓斗成孔,因此也可采用地下连续墙的施工设备完成。在硬土层或岩石中,Barrette 采用碾磨机造孔。

矩型桩作合理布置(例如群桩以其长边相平行布置),可承受很大的竖向荷载及弯矩和水平力。矩型桩还可以根据上部结构的平面形状布置成各种复合体或合成体,参见图 1-2。

矩型桩的单桩轴向容许荷载,在硬土层中可达到 10^5kN 。对支承于风化土的矩型桩的荷载试验表明,此类桩的摩阻力可得到很大的发挥。

由几何形状计算可知,在桩身体积相等(当桩长相同时,亦即桩端面积相等)的条件下,矩型桩比大直径桩或方桩具有更多的桩表面积,因而可发挥更高(一般约增加 20%)的桩侧摩阻力。

2)小桩。小桩的直径一般为 100mm 至 250mm,桩身有配筋。其深度已达到

60 余米，但深度愈深，对其垂直度的控制愈难。常用的施工设备是小型钻机，并有锤可沉入桩孔进行工作，或采用回转式冲击钻。这些设备可在施工场地的出入口较狭窄的情况或施工空间高度受限制的场地中应用，也可在基础托换工程中的应用。

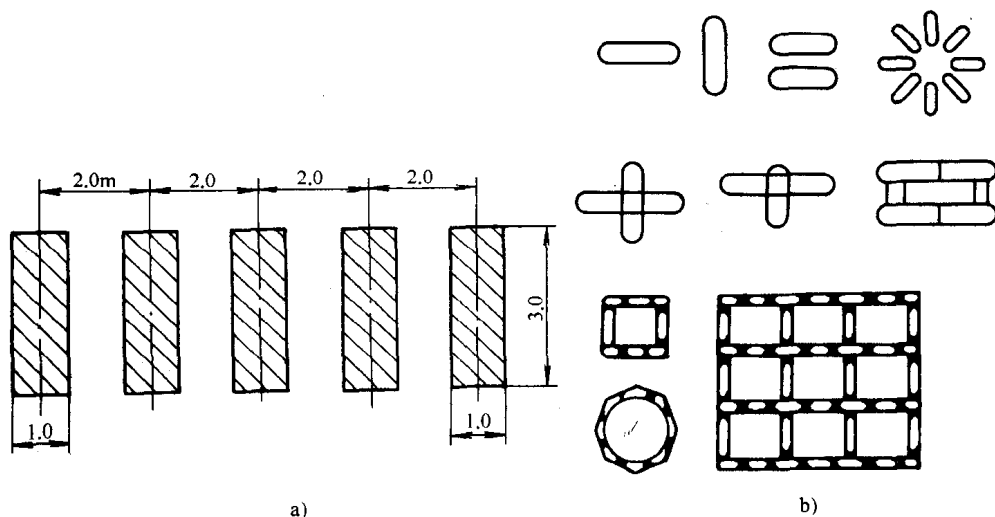


图 1-2 矩形桩平面布置

a) 一般截面尺寸的群桩平面布置图 b) 按上部结构平面作各种不同布置桩的示意图

小桩的直径小而长径比大，荷载主要由桩侧阻力承受。一般支承于土中的小桩，其工作荷载常小于 700kN。若采用预埋管进行后注浆，工作荷载可达到 1000kN 以上。嵌岩的小桩，工作荷载达到 1350kN。

采用小桩时，水平荷载系借桩与承台的共同作用来承受。

3) 复合桩。香港为某些特殊的地基条件开发了一些复合桩。这里列举三种：

第一种是在围垦地上应用的复合桩，是将沉管桩与 H 型钢桩相组合而成。施工时先将沉管桩的桩管沉至设计标高，并进行扩底，灌入扩底混凝土；然后将一根 H 型钢放入桩管内，用锤轻轻击入至桩底标高；再灌注桩身下段混凝土，使 H 型钢得以固定，并能将荷载传递给端扩大头；桩身混凝土一般仅灌至软土层以下，其余部分用砂灌入，然后将桩管拔出。

与此类似的另有一种做法，是将表面涂上沥青的预制混凝土桩植入于沉管桩桩管，其目的是为了避免预制采用打入法沉桩而损坏其沥青涂层。再一种类似的做法，是在岩石中钻成桩孔，然后将 H 型钢插入，再用高压灌浆。此法可代替岩石锚杆，抵抗浮力或上拔力。

第二种复合桩称为钢与混凝土复合桩 (SC 桩)，其桩身由结构钢套管、离心式空心混凝土内芯和实心桩靴三者组合而成。由于兼具优质混凝土和高强钢材外套的优点，最大工作荷载约 2800kN。它采用“中心钻入法”施工，不用冲击法，施

工噪声和振动均较小。施工时先从桩身的空心中进行钻孔,然后借配重和液压千斤顶将桩压入钻孔,再用打桩锤击桩,使其符合终沉要求。

第三种复合桩采用钻打联合法施工,即当开口管桩打入深度达不到要求时,采用钻孔法继续深入,直至预定标高。这种桩在香港主要是为了穿透多孔性大理岩。但钻孔时必须严格控制,以避免地基承载力受到不必要的损失。

如果将钢管打入后再灌入混凝土,这种复合桩的容许承载力将受变形协调的限制。因为混凝土会产生径向收缩,将使它与钢管的粘结受到影响。故当开口钢管的上段灌入混凝土时,常采用剪力销以保证剪力传递。

三、国内大直径灌注桩的应用

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年代中期后又陆续在广州、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,随着改革开放步伐加快,大直径灌注桩迅猛发展,仅数年间已普及于全国除西藏外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、深圳等地编制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,可谓起步虽晚而发展迅猛。而挤扩支盘桩是近几年发展起来的。

第二节 桩型选择与桩的技术特点

一、桩型的选择

选择最适宜的桩型必须通盘考虑以下诸因素,即:地质条件、荷载性质、施工对于周围结构物和环境的影响、现场的制约情况及施工设备的供给情况、安全、工期、造价、以及桩的设计寿命等。或简言之,必须考虑该桩型在技术、质量、安全、环境、工期、造价诸方面的综合效果。为此,设计与施工单位经按照图1-3所示的步骤,通过分析计算得出具体数据,提供给业主进行决策。

另一方面,选择桩型还必须遵守政府法令。例如:国内各大城市均有环境保护、控制噪声和泥浆污染的规定,如香港政府于1994年颁布的《噪声控制条例》,其中规定:冲击法打桩施工不得在工作日的晚上7时以后至次晨7时以前施工,以及星期日和公共假日全天施工;在人口稠密地区,即使在工作日亦只能施工3至5小时。必须申请“施工噪声许可证”。同时,鉴于柴油打桩锤施工噪声大,且散发浓烟,香港政府已决定从闹市区开始,逐渐予以淘汰。

对于靠近机场的场地以及场地上空存在各种公共设施之处,香港法律对施工空间有严格限制。因此,凡由起重机装载的各种大型施工设备均不宜在此应用。此时小桩便成为选择对象。