

新型桩 挤扩支盘灌注桩 设计施工与工程应用

第2版

徐至钧 张晓玲 张国栋 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



新 型 桩

挤扩支盘灌注桩设计

施工与工程应用

第 2 版

徐至钧 张晓玲 张国栋 编著



机 械 工 业 出 版 社

本书根据《挤扩支盘灌注桩技术规程》(CECS192:2005)对第1版进行修订和补充。

全书在收集80多项工程,150多根静载荷试桩曲线的基础上,对挤扩支盘桩的受力性状作了研究,还介绍了普通灌注桩与挤扩支盘桩的桩基施工,包括水下成孔施工和干法施工,桩基构造,桩基施工的工程质量控制与监测、工程验收,重点介绍了部分挤扩支盘桩应用成果和推广挤扩支盘桩的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18个。

可供工程建设、施工和使用单位的设计、施工工程技术人员使用,也可供高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

新型桩挤扩支盘灌注桩设计施工与工程应用/徐至钧,
张晓玲,张国栋编著. —北京:机械工业出版社,2007.4
ISBN 978-7-111-11370-6

I 新… II ①徐…②张…③张… III. 灌注桩-研究
IV. TU473.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第050413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:张莉娟
封面设计:马精明 责任印制:洪汉军
北京京丰印刷厂印刷 三河市国英印务有限公司装订
2007年7月第2版·第1次印刷
184mm×260mm·28印张·693千字
标准书号·ISBN 978-7-111-11370-6
定价:56.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010) 68326294
购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643
编辑热线电话:(010) 68327259
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

挤扩支盘灌注桩技术（以下简称挤扩支盘桩技术），是20世纪90年代初根据张俊生先生发明专利（专利号：89107846.0、94104550.1等，名称：挤扩支盘灌注桩，该桩的施工方法及成型机，专利持有者：张俊生）发展的技术，它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，是采用一种专用液压支盘设备挤扩支盘机挤压而成，并与其他桩工机械设备配套使用，最后灌注混凝土，形成挤扩支盘桩。

挤扩支盘桩通过沿桩身不同部位设置的承力盘和分支，使灌注桩成为变截面多支点的摩擦端承桩，从而改变了桩的受力机理，显著提高了单桩承载力，减小了沉降，降低了桩基的工程造价。在挤扩形成承力盘和分支的同时，也改善了桩周围地基土的性状，使周围土的干密度提高。

从20世纪90年代试制成功到今，已在200多项工程中应用，共推广使用挤扩支盘桩25000多根。

挤扩支盘桩可适用一般可塑至硬塑的粘性土，中密至密实的粉土；砂土或卵砾石层；全风化岩、强风化软质岩石及其他均匀或软硬交互的土层等，对其他可以形成桩孔的地基土，在地下水位上下均可选用不同的适用工法进行施工。

本书第1版在2003年出版后，深受多方读者的欢迎，现中国工程建设标准化协会批准发布了行业协会标准《挤扩支盘灌注桩技术规程》（CECS192:2005），推荐给工程建设、施工和使用单位采用。本书根据上述标准对第1版作了修订和补充。

本书共收集了80多项工程，150多根静载荷试桩曲线，在研究分析这些试桩资料的基础上，对挤扩支盘桩的受力性状作了研究，同时还介绍了普通灌注桩与挤扩支盘桩的桩基施工，包括水下成孔施工和干法施工，桩基构造，桩基施工的工程质量控制、监测与工程验收，还重点介绍了部分挤扩支盘桩应用成果和推广挤扩支盘桩的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18个，其中有28层高层建筑商住楼，电厂主厂房、锅炉房、汽机房等工业建筑及240m高度的烟囱。在上海金山石油化工总公司进行试桩等，同时在地下抗浮结构中，采用挤扩桩解决地下水浮力的抗拔问题。总之，工程中应用广泛，可供设计、施工工程技术人员在推广新技术中参考，也可供高等院校教师 and 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，张晓玲、张国栋同志参加编写，并提供了工程应用实例。在编写此书的工作中，还得到北京恒基中创基础工程有

限公司和北京交通大学隧道与岩土工程研究所的大力支持，为本书提供了大量工程实用资料。

此外，深圳市通力建设工程有限公司总经理张亦农和董绍勋、马旭龙、石树山、王海啸、罗利君、李景、易亚东、付细泉、张勇、林婷、陈月妮、杨晓龙等也参加了部分编写工作，在此一并表示谢意。

在编写过程中，本书引用了许多科研、教学和工程单位的一些科研成果和技术总结等，一般都注明在参考文献中，但难免有遗漏之处，在此谨向所有原作者表示深切的谢意。

由于作者的水平所限，书中不妥之处，尚祈各界读者朋友不吝指正。

编著者
2007 年 5 月
于深圳

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、预应力混凝土管桩的发展及应用	5
四、国内大直径灌注桩的应用	7
第二节 桩型选择与桩的技术特点	7
一、桩型的选择	7
二、技术特点	8
第三节 挤扩支盘桩的主要特征	10
一、挤扩支盘桩的发展简况	10
二、桩的作用机理	11
三、挤扩支盘桩的主要特征	15
第四节 桩的发展前景与展望	17
第二章 岩土工程勘察	20
第一节 岩土工程勘察分级	20
一、工程重要性等级	20
二、场地等级	20
三、地基等级	21
四、岩土工程勘察等级	21
第二节 岩土分类	21
一、岩石的分类	21
二、土的分类	22
第三节 勘察阶段的划分和基本要求	24
一、勘察阶段划分	24
二、勘察目的	24
三、初步勘察阶段	25
四、详细勘察阶段	25
第四节 勘察方案布设	26
一、天然地基	26
二、桩基	27
第五节 岩土工程评价	28
一、场地稳定性评价	28
二、天然地基评价	29
三、桩基评价	30
第六节 挤扩支盘灌注桩技术规程(CECS192: 2005)对岩土工程勘察的要求	33
一、基本规定	33
二、岩土工程勘察	34
第三章 岩土的工程力学特性	36
第一节 岩石试验和分类鉴定	37
第二节 土的物理性质及分类	40
一、土的组成	40
二、土的三相比例指标	42
三、土的分类	43
第三节 土的力学性质与试验测定	46
一、土的有效应力原理	46
二、土的渗透性	49
三、土的变形特性	50
四、土的抗剪强度	52
五、土的抗剪强度测定	53
第四节 土的原位测试	53
一、载荷试验	54
二、静力触探试验	55
三、圆锥动力触探试验	56
四、标准贯入试验	58
五、十字板剪切试验	59
第四章 桩的受力性状与单桩承载力的确定	61
第一节 普通灌注桩的荷载传递性状	61

一、灌注桩单桩竖向受压的极限状态	61	三、挤扩支盘桩盘径尺寸	114
二、竖向受压单桩的荷载传递性状	62	四、承台构造	114
三、单桩桩侧阻力的分析	64	第三节 桩基沉降计算	116
四、单桩桩端阻力的分析	69	第四节 国家和地方规范对建筑物变形允许值的规定	117
五、单桩桩侧阻力与桩端阻力的综合分析	73		
第二节 挤扩支盘桩竖向受力荷载传递性状	75	第六章 桩基施工	122
一、挤扩支盘桩竖向受力的原体试验	75	第一节 我国桩基施工技术现状	122
二、桩的竖向荷载传递特征	76	第二节 灌注桩施工的准备	129
三、工作荷载下支盘桩桩身应力的分布	77	一、资料准备	130
四、挤扩支盘桩同普通灌注桩的对比	78	二、做好施工组织设计	130
第三节 挤扩支盘桩单桩承载力的分析	81	三、场地准备	130
一、单桩垂直承载力	81	四、机械管理	131
二、单桩极限承载力试桩分析的各种方法	85	五、施工图会审	132
三、《火力发电厂支盘灌注桩暂行技术规定》(DLGJ153—2000) 计算公式	86	第三节 挤扩机的测试检查	132
四、《挤扩支盘灌注桩技术规程》(CECS192: 2005)	90	一、挤扩原理与机具设备	132
五、《浙江省挤扩支盘混凝土灌注桩技术规程》(J10270—2003)	93	二、挤扩支盘机检验要求	134
六、天津市工程建设标准《挤扩灌注桩技术规程》(J10360—2004)	96	三、当前挤扩机存在的主要问题	135
七、天津大学对挤扩支盘桩的研究与分析	96	第四节 灌注桩使用材料的组成及技术要求	136
第四节 挤扩支盘桩适用的地质条件	103	一、水泥	136
		二、粗集料	137
第五章 挤扩支盘桩构造及桩基沉降计算	106	三、细集料	139
第一节 《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002) 对桩基础的构造要求	106	四、外加剂	140
第二节 挤扩支盘桩的构造措施	110	五、钢筋	141
一、配筋	112	第五节 灌注桩的成孔方法	141
二、桩身混凝土及混凝土厚度	114	一、护筒及其埋设	142
		二、一般规定	144
		三、钢筋笼的制作与安放	145
		四、灌注混凝土	146
		第六节 泥浆护壁成孔灌注桩施工	147
		一、泥浆的制备与处理	147
		二、正反循环钻孔灌注桩施工	149
		三、冲击成孔灌注桩施工	159
		四、沉管灌注桩施工	162
		五、水下混凝土的灌注	167
		第七节 干作业成孔灌注桩施工	171
		一、螺旋钻进成孔技术	171
		二、钻头钻进成孔技术	177
		第八节 挤扩支盘灌注桩施工	180

一、挤扩支盘桩工艺流程	180
二、施工主要机具和设备	180
三、施工工艺方法要点	180
四、施工注意事项	185
五、质量控制	185
六、挤扩支盘灌注桩技术规程 (CECS 192: 2005) 对施工的要求	185
七、挤扩支盘灌注桩的工程量计算	187

第七章 桩的施工质量控制与

监测

第一节 灌注桩的施工质量控制

一、灌注桩成孔施工的允许偏差	189
二、挤扩支盘桩质量的控制	191
三、钢筋笼制作允许偏差	191
四、其他项目的质量控制	191

第二节 挤扩支盘桩质量检验

一、钻成孔及清孔检验	192
二、钢筋笼制作及安放	194
三、混凝土灌注	194
四、成桩检验	195
五、质量检验评定程序及组织	195

第三节 挤扩支盘桩基桩检测与工程验收

第四节 桩的质量监测

一、混凝土灌注桩提供经确认的参数	197
二、桩基工程事故	197
三、工程桩竖向承载力检验	197
四、综合判定承载力	198
五、《建筑地基基础设计规范》 (GB 50007—2002) 对载 荷试验的要求	198
六、单桩竖向抗拔静载试验	199
七、单桩水平静载试验	200
八、桩基动测技术	202
九、试验成果整理	203

第五节 挤扩支盘桩试验

一、试验概况	205
二、试验情况与检测	205
三、结论	207

第八章 挤扩支盘桩的工程特征与

经济效益

第一节 工程特征

第二节 挤扩支盘桩应用成果

证明

一、北京回龙观文化居住区	210
二、焦作万方电解铝车间	211
三、北京丽馨园商品住宅楼	211
四、发展大厦管理楼	211
五、北京四环制药厂	212
六、包头铝厂股份有限公司	212
七、百脑汇科技大厦桩基	212
八、天津顺驰城市星座桩基	213

第三节 挤扩支盘桩与普通灌注桩

应用成果对比

第四节 综合技术经济分析

第九章 试桩成果汇总与工程应用

实例

第一节 挤扩支盘桩试桩成果

汇总

第二节 工程应用实例

工程实例一 挤扩支盘桩在丽馨园商住楼的应用	225
工程实例二 伟业大厦	235
工程实例三 杭州高新技术开发区软件中心 9 号楼	251
工程实例四 禹州电厂挤扩支盘桩原体试验成果分析	256
工程实例五 901 科技创新大楼	263
工程实例六 天津巴黎现代广场	269
工程实例七 焦作万方铝业电解铝车间	272
工程实例八 中国人民银行 191 工程	273
工程实例九 美震大厦挤扩支盘桩应用	277
工程实例十 金淮花园二期工程挤扩支盘桩应用	279
工程实例十一 挤扩支盘灌注桩在电厂	

	建设中的应用	283		工程实例十七	上海金山石化试桩	
工程实例十二	天津百脑汇科技大厦挤扩				分析	306
	支盘桩应用	288		工程实例十八	酒仙家园地下车库抗拔	
工程实例十三	天津顺驰城市星座五栋				桩应用	316
	高层住宅楼	290	附录			320
工程实例十四	挤扩支盘桩在深圳复杂		附录 A	挤扩支盘桩单桩垂直静荷载		
	岩溶地基中的应用	292		试桩记录		320
工程实例十五	挤扩支盘桩在天津美震		附录 B	挤扩支盘桩单桩抗拔荷载试		
	(三期) 一号楼、八号楼			桩记录		425
	工程中的应用	297	参考文献			433
工程实例十六	金来欣住宅小区					
	(大湖山庄) 挤扩					
	支盘桩应用	304				

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，而下卧层土有可作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“挤扩支盘桩”，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。

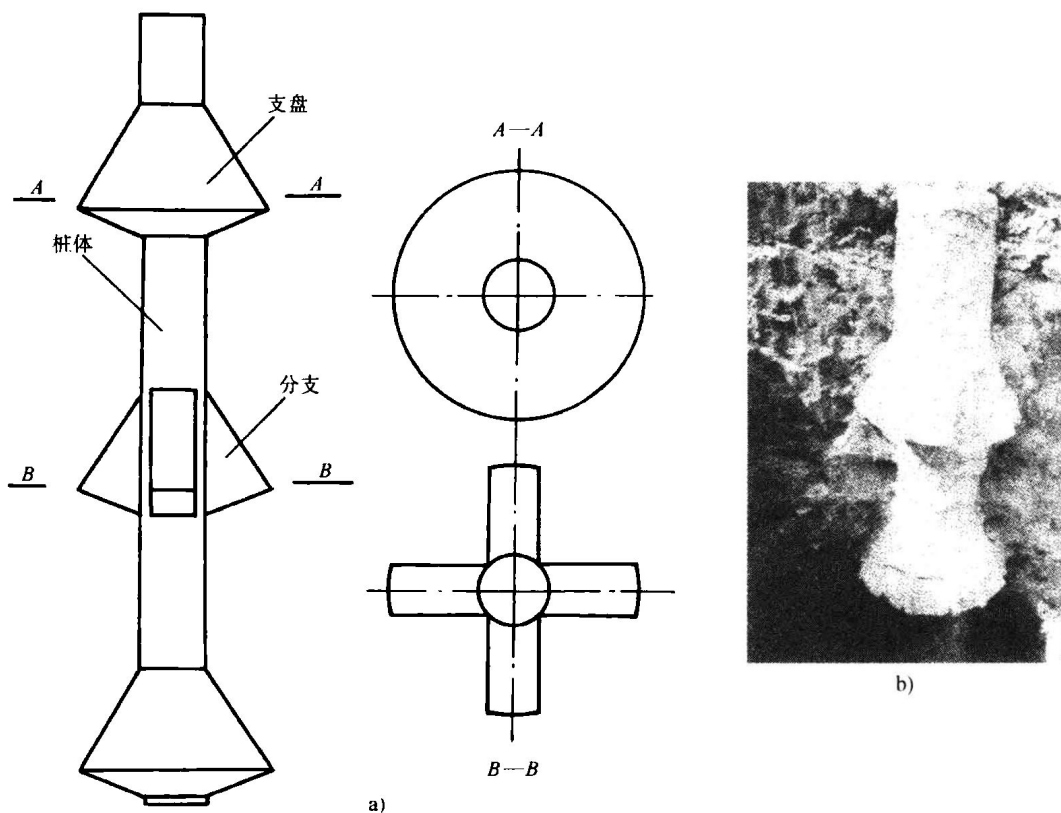


图 1-1 挤扩支盘桩外形图
a) 外形尺寸 b) 实体照片

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,已有几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。

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年代随着大功率钻孔机具研制成功,首先在美国问世。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20世纪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以往的传统,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。

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 1100km^2 。全区的岛屿与半岛，其地形以丘陵山岭为主，海拔低于 50m 的低平地仅占总面积的 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 多平方千米。

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，高架路逶迤千余千米，起伏盘旋，蔚为壮观；行车桥梁跃地腾空，交互重叠，竞数以千计。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。所以香港用桩数量大、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：①大量挤土桩；②少量挤土桩；③置换桩；④特殊桩型。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：矩形桩；小桩；复合桩。

现将特殊桩型的三种桩简要介绍如下：

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

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 5~6m。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，矩形桩采用碾磨机造孔。

矩形桩若合理布置（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。矩形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。

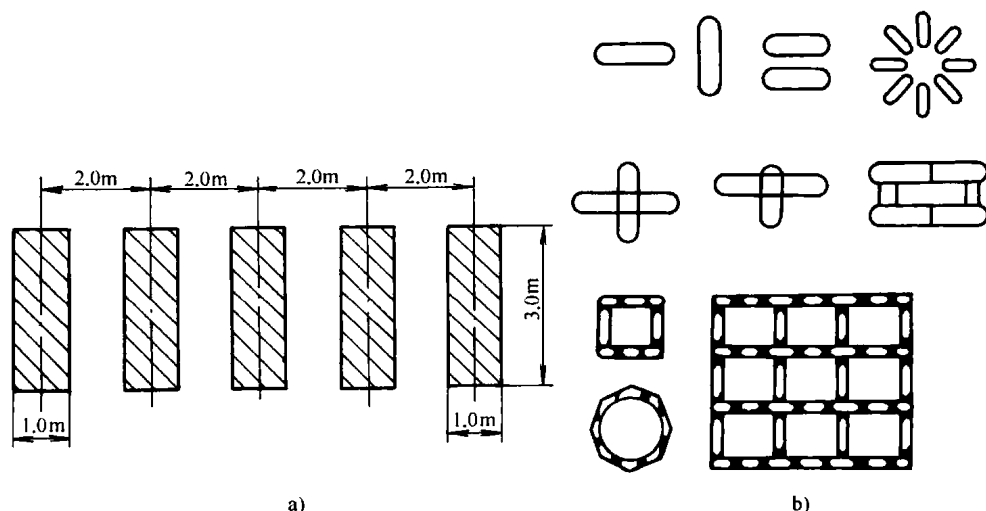


图 1-2 矩形桩平面布置

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

矩形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形桩的荷载试验表明，此类桩的摩擦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，矩形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%）的桩侧摩擦阻力。

2) 小桩。小桩的直径一般为 100 ~ 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应用。

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，扩底灌入混凝土；然后将一根 H 型钢放入桩管内，用锤轻轻击入至桩底标高；再在桩身下段灌注混凝土，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

的是为了避免预制桩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心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、预应力混凝土管桩的发展及应用

20 世纪 50 年代,铁道部北京丰台桥梁厂曾少量生产过直径 $D=400\text{mm}$ 的钢筋混凝土离心管桩,并在 60 年代末,开始研制先张法预应力混凝土管桩(简称 PC 管桩)直径 $D=550\text{mm}$,用 $\phi 7\text{mm}$ 高强钢丝为主筋,获得成功并生产至今。20 世纪 60 年代末为建设南京长江大桥需要管桩基础,所以大桥工程局三处也开始生产预应力管桩至今。

20 世纪 80 年代以来,特别是在上海宝山钢铁公司建设中,由于引进日本技术,在工程建设中大量采用了钢管桩,这不但使工程造价提高,使用寿命降低,钢管的耐久性也差,形势迫切需要基础采用预应力管桩。

1984 年广东省构件公司与广东省基础公司和广东省建筑科学研究所合作,首先研制成功新型接桩形式的预应力混凝土管桩,将以往法兰接口桩接头连接,改为现在使用的焊接连接,并于 1987 年通过广东省建委组织的技术鉴定。

为了适应港口建设发展的需要,1987 年交通部第三航务工程局从日本全套引进预应力高强混凝土管桩(简称 PHC 管桩)生产线,PHC 管桩的主要规格为 $D=600\sim 1000\text{mm}$ 。1987~1994 年,国家建材局苏州混凝土水泥制品研究院和广东番禺市桥丰水泥制品有限公司在有关科研院所的合作下,根据我国的实际情况,通过对引进管桩生产线的消化吸收,自主开发了国产化的预应力高强混凝土管桩生产线,1993 年该项成果被建设部列入全国重点推广项目。接着中山鸿运、宏基、鸿业等一批管桩厂建成,当时全国已有 70 余家管桩生产厂,年生产能力达 2000 余万米。

20 世纪 80 年代后期,宁波浙东水泥制品有限公司在有关科研院所的合作下,针对我国沿海地区淤泥软弱土层较多的特点,通过对 PC 管桩的改造,开发了先张法预应力混凝土薄壁管桩(简称 PTC 管桩),PTC 管桩的主要规格有 $D=300\sim 600\text{mm}$ 。

改革开放以来,我国经济建设带动了土木建筑工程的迅速发展,大量的高层建筑、民用住宅、公用工程及大跨度桥梁、高速公路、港口、码头等工程均需要优质的桩基础。预制混凝土管桩是重要的桩基材料,它是体现了当代混凝土技术进步与混凝土制品高新技术水平的一种预制混凝土桩,与其他桩基础相比较,它具有制作工艺简单、质量容易保证、植桩方便、耐打性好、造价便宜、检测方便、施工速度快、桩基抗震性好等优点。因此,近十多年

来, 预应力混凝土管桩在我国的生产与应用以惊人的速度迅猛发展, 生产管桩企业在 10 年内增加了近 10 倍, 据不完全统计, 到 2003 年底, 全国已有 180 多家管桩生产厂家, 其中广东省约 55 家, 深圳 3 家, 江苏省约 24 家, 浙江省约 56 家, 上海市约 15 家, 福建省约 6 家, 湖北省约 5 家, 云南省 3 家, 天津市 4 家, 其他地区约 10 余家。

管桩按混凝土强度等级分为预应力混凝土管桩 (代号 PC 桩) 和预应力高强混凝土管桩 (代号 PHC 桩)。预应力混凝土管桩的离心混凝土强度等级不得低于 C50 级; 预应力高强混凝土管桩的离心混凝土强度等级不得低于 C80 级。因此, 区分 PC 桩与 PHC 桩仅仅是桩的离心混凝土强度。对于几何尺寸、抗弯等级相同时, PC 和 PHC 仅反映承载能力的大小。

1992 年我国制定《先张法预应力管桩》(GB 13476—1992) 国家标准。随着我国管桩生产技术的不断提高, 为了适应管桩行业的发展需要, 保证产品质量, 促进管桩技术的进步, 以国家建材局苏州混凝土水泥制品研究院为主, 组织国内 15 家管桩生产、设计、施工等单位对 1992 年版的标准进行了修订, 将修订后的《先张法预应力混凝土管桩》(GB 13476—1999) 作为国家强制性执行标准已于 2002 年 12 月 1 日开始实施。

针对江、浙、沪地区近年来迅速发展应用先张法预应力混凝土薄壁管桩的情况, 1999 ~ 2000 年由国家建材局苏州混凝土水泥制品研究院组织了国内 20 个设计、生产等单位, 制定了建材行业标准《先张法预应力混凝土薄壁管桩》(JC888—2001), 此标准也作为强制性执行标准已于 2002 年 6 月 1 日开始实施。

由苏州中材建筑建材设计研究院会同宁波市建筑设计研究院、中山建华管桩有限公司等 6 家参编单位和 15 家协编单位, 编制出版了国标《预应力混凝土管桩》(03SG409), 已由中国建筑标准设计研究所建质 [2003] 143 号文公布, 于 2003 年 9 月 1 日起正式执行。

上述几项标准的制定, 使管桩的设计、生产、施工有章可循。对预应力混凝土管桩的生产与应用可起到十分重要的技术指导作用。

1993 年成立中国水泥制品工业协会, 预制混凝土桩专业委员会共有会员单位 100 多个, 并办有会刊《预制混凝土桩》(正式出版刊物), 并在 1993 ~ 1999 年间多次召开了年会。

1993 年由国家建材局苏州混凝土水泥制品研究院完成的“预应力高强混凝土管桩的生产及应用开发”项目, 先后成为国家建材局“九·五”建材工业重点推广的科技成果。该项成果于 1998 年度获“建材行业部级科技进步二等奖”、1999 年度“国家科技进步三等奖”。

1995 年广东省建委组织广东省建筑设计研究院、广东省建筑科学研究院等 16 个有关单位, 制定了《预应力混凝土管桩基础技术规程》(DBJ/T15—22—1998), 在 1998 年 10 月开始实施。

迄今广东省已累计使用预应力混凝土管桩达 4000 万 m, 以一个工程用管桩 5000 多米计算, 全省已成功地应用于 8000 多个工程, 未有一个工程是失误的。因此, 先进的管桩设计和施工经验值得推广到全国, 供全国各有关部门学习和借鉴。推广应用新技术关键在设计部门, 但当前设计水平发展很不平衡, 不少甲、乙级建筑设计院的结构总工程师, 对这项新技术的推广应用还了解不多, 有的还受传统思想的束缚, 又不愿意去接受管桩这项新的技术, 因而也阻碍了管桩的推广和应用。

当前, 我国预应力混凝土管桩的制造技术和产品质量在国际上已达到先进水平, 许多生产预应力管桩及设备配套的企业已得到 ISO9002 质量管理体系认证证书, 不少产品已打入

港、澳、台地区,许多工艺生产主机,如墩头机、滚焊机、离心机、模具、蒸压釜、大型强制式混凝土搅拌机的生产已经过关,而且部分设备已出口到第三世界国家,生产预应力混凝土管桩所必须的高强度预应力凹螺纹钢筋、高效减水剂等的生产企业已经配套发展,这也为今后预应力管桩的继续发展打下了良好的基础。

四、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建设工程建筑基础,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、深圳等地已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、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,设计与施工单位可以按照图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3~5h。而且必须申请“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。

对于靠近飞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。

鉴于人工挖孔桩在历史上曾发生过几起严重的事故以及施工中对于人身安全的威胁,建设部和香港政府都作了规定,在下列场合不得采用挖孔桩:

- 1) 地下水位高的沿海围垦区场地。
- 2) 下卧层为大孔性大理岩的场地。
- 3) 大深度(例如超过30m)的基础工程。
- 4) 新填土或受化学污染的场地。
- 5) 曾有深部地层有断层位移史的场地。
- 6) 紧靠输水或污水隧道的场地。
- 7) 紧靠浅基础的场地。