

zhuangjishejishigongyujiance

桩基设计施工 与检测

刘金砺 主编
李大展 副主编
张 雁



中国建材工业出版社

中国土木工程学会土力学及岩土工程学会桩基础学术委员会
中国工程建设标准化协会地基基础委员会桩与深基础分委员会
第五届联合年会论文集

桩基设计施工与检测

刘金砺 主 编

李大展 副主编

张 雁

中国建材工业出版社

内 容 提 要

本书集中反映了近二年来我国在建筑桩基工程技术中的最新成果,特别是桩基施工中的新技术、新实践。主要包括:桩基工程技术的理论研究;复杂桩基典型工程设计实例;桩基检测的经验总结;施工监理手段及应注意的问题;并详情地报道了若干桩基事故的处理实例和在复杂地质条件下桩基础的新桩型、新工艺。

本书可供科研、设计、教学、施工、质检、监理和勘察部门的人员使用和参考。

图书在版编目(CIP)数据

桩基设计施工与检测/刘金砺主编. —北京:中国建材工业出版社, 2001.5

ISBN 7-80159-132-1

I. 桩… II. 刘… III. ①桩基础—设计②桩基础—工程施工③试桩 IV. TU473.

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 026740 号

桩基设计施工与检测

刘金砺 编著

*

中国建材工业出版社出版

(北京海淀区三里河路 11 号 邮编: 100831)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京丽源印刷厂印刷

*

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 31.625 字数: 766.58 千字

2001 年 5 月第一版 2001 年 5 月第一次印刷

印数: 1—5000 册 定价: 60.00 元

ISBN 7-80159-132-1/TU·065

目 录

1 综述

- 1.1 深圳地区的地质条件和建筑桩基工程 张旷成 张镇 丘建金 (1)
- 1.2 桩基础施工技术现状及发展趋向浅谈 沈保汉 (11)
- 1.3 环境因素对桩基选型的影响 张敬书 (18)
- 1.4 桩端压力注浆桩 沈保汉 应权 (24)

2 理论研究

- 2.1 桩基扭转动力参数测试 吴成元 付茂朝 (31)
- 2.2 三轴应力状态下软岩嵌岩桩荷载传递及破坏模式的
试验研究 黄绍铨 叶琼瑶 (37)
- 2.3 一种新桩型的模型试验研究 吴迈 窦远明 王恩远 (46)
- 2.4 桩端为硬层的低承台群桩模型试验研究 李华 张震 (51)
- 2.5 浅析大直径锤击沉管桩竖向承载力提高的原因 林梁 (60)
- 2.6 钻孔桩混凝土灌注后传力给土层转换机理的观测 张靖 潘东发 (66)
- 2.7 阳泉二电厂大直径嵌岩灌注桩的试验分析 衡朝阳 何满潮 孙晓明 (76)
- 2.8 桩的竖向荷载传递机理与单桩极限承载力检测 曾利民 辛新 (83)
- 2.9 利用原位试验确定红层嵌岩桩的端阻力 彭柏兴 王文忠 (89)
- 2.10 港工桩基嵌岩锚杆受力特性的试验研究 蔡苏荣 (93)
- 2.11 预应力混凝土管桩在竖向荷载作用下的沉降特性分析 陈勇 杨晓淞 (99)
- 2.12 桩基下粘弹性土应力计算探讨 徐文忠 徐激抒 (104)
- 2.13 西安某大厦泥浆护壁后压浆灌注桩的工程
特性研究 费鸿庆 王燕 董群 (108)
- 2.14 桩土相互作用的空间耦合数值模型 暴雨 顾晓鲁 (114)

3 设计

- 3.1 桩基按变形控制设计的几个问题 刘金砺 (121)
- 3.2 基桩承载力不满足设计要求的原因分析
..... 杜庆林 徐决华 单明汕 董毓红 范忠贤 彭光 (131)
- 3.3 汕头地区静力压桩设计与施工若干问题分析 黄上进 谢昭南 陈立强 (137)
- 3.4 挤扩支盘桩在北京某居住区地下车库
设计中的应用 尚锡章 武源 杨晓勇 张晓玲 (142)
- 3.5 大直径锤击沉管桩的设计与施工 蔡长庚 (148)
- 3.6 桩基设计中的若干问题 刘祖德 (154)
- 3.7 软质岩嵌岩桩的应用 查松亭 毛由田 (160)

4 施工新技术

- 4.1 组合桩简介 康宪泉 (164)
- 4.2 加筋水泥土承重复合桩与施工设备 黄均龙 张冠军 谢彬 (166)

4.3	混凝土劲芯水泥土复合桩在试点工程中的应用	宣嘉伦 郭立忠 宣军	(170)
4.4	在单排深层搅拌桩中套打钻孔灌注桩技术	贺为民 孙铭心 袁秉才	(175)
4.5	粉煤灰混凝土沉管桩在软土路基 中的应用	邓剑涛 朱春森 李述良 陈振建	(178)
4.6	超高强预应力混凝土管桩 (PHC 桩) 施工技术	李雪超 瞿启忠 季彩群 陆建中	(182)
4.7	预承载力钻孔灌注桩的特性及工程应用	陈中 孔清华	(187)
4.8	灌注桩后压浆技术在小营商场工程中的应用	高印立 李华 张峰	(192)
4.9	机动洛阳铲挖孔沉管灌注夯扩桩	史学固 李建军	(197)
4.10	冲击反循环钻进方法在大直径 桩孔中的应用研究	王茂森 殷琨 徐会文 姜立新	(203)
4.11	肇庆大桥岩溶区大直径嵌岩桩施工技术	梁鉴亮 俞尧稳	(206)
4.12	地下超深护筒支护方法	冯广胜 赵剑发	(211)
4.13	聚能爆破在铁路桥桩成孔中的应用	荆和平	(219)
4.14	MZ 系列摇动式全套管钻机及工程应用	刘富华 沈保汉	(221)
5	施工方法		
5.1	PHC 高强预应力管桩在城市密集地区的应用	金振 李倩 顾仲文	(228)
5.2	静压管桩基础在华建苑商住楼的应用体会	辛水平 陈雄辉	(231)
5.3	静压预制空心桩在天津软土地基 中的应用研究	吴永红 刘承标 任彦华 郭成麦	(235)
5.4	振动静压预制桩施工方法与工程应用	黄明辉 叶毅 钟亚良	(239)
5.5	谈夯扩桩承载力的可塑性	杨家丽 王银根 杨晋 丁豪 葛留福	(245)
5.6	夯扩桩施工及其断桩原因分析	马军 郝伟从	(250)
5.7	深圳地区泵吸反循环钻孔扩底桩施工技术探索	雷斌	(257)
5.8	长螺旋钻孔管内泵压灌注成桩 施工的质量控制	张东刚 马骥 张震 阎明礼 陈湘兴	(265)
5.9	卵碎石地层超长钻孔桩施工技术要点	孟庆浩	(269)
5.10	大直径嵌岩桩在武汉长江广场基础工程中的应用	戴志强	(275)
5.11	夷陵长江大桥主塔 3# 墩大直径钻孔灌注 桩施工实践	金仁兴 李康俊	(279)
5.12	某些特殊地基灌注桩施工方法探讨	蒋荣庆 王茂森 殷琨 辜华良	(284)
5.13	振动沉管桩在复杂岩土地基中的应用	刘传新 王成春 孟凡博	(290)
5.14	浅谈爆破技术在冲孔灌注桩施工中的应用	胡文年	(296)
5.15	喀斯特地区冲 (钻) 孔灌注桩成孔技术	何志平 袁明桂 韦泽楷	(300)
5.16	深水无覆盖层受海潮影响钻孔桩施工技术	张立超	(306)
5.17	挤扩多支盘灌注桩及其工程应用	魏路先	(312)
5.18	挤扩支盘灌注桩在人防工程中的应用	魏路先	(316)
5.19	挤扩多支盘灌注桩基础在深圳地区工程中的使用与推广	禹伟杰	(321)
5.20	桥梁工程中人工挖孔桩的实践与认识	谭荣鸣	(324)
5.21	岩溶地区桩基持力层的加固处理	周翰斌	(328)

5.22	钻孔灌注桩后压浆工程实践中的几点认识	高文生 刘金砺	(333)
6	事故处理		
6.1	某高层公寓嵌岩桩基事故剖析	叶世建 谢征勋	(339)
6.2	预制空心桩基渗漏水软化持力层问题及解决方法	吕怀民	(343)
6.3	大孔径钻孔桩施工中事故处理几例	张立超	(346)
6.4	冲孔灌注桩施工中几种常见事故的处理	胡文年	(349)
6.5	人工挖孔灌注桩施工及事故处理	余斯复	(353)
6.6	关于某大厦基础开裂渗水事故原因的分析	迟铃泉 刘金砺	(367)
6.7	桩侧高压旋喷注浆处理冲(钻)孔灌注桩质量事故的方法	陈义侃	(373)
7	检测		
7.1	关于动力测桩技术首次国际性竞赛总结的述评	赵学勤	(380)
7.2	对基桩低应变动力检测规程的一些修改意见	黎超群	(386)
7.3	利用高科技的测试仪器和设备对桩基工程质量进行全过程监控	胡晓泉	(391)
7.4	用计算机辅助分析低应变动力检测桩桩身缺陷性的性质和范围	刘健	(398)
7.5	既有钢管塔桩基检测实例与分析	胡钧 高倚山 张建龙	(404)
7.6	基桩反射波法检测误判分析与控制	江峥	(409)
7.7	低应变反射波法检测桩身完整性几个不易解决的问题	冯贵银	(416)
7.8	基桩完整性分析探讨	柴华友 李祺 吴亚平	(419)
7.9	反射波法检测桩身质量的几点体会	朱朝胜	(424)
7.10	低应变动力检测对桩身长度进行核对的实例分析	陈义军 钟和	(429)
7.11	沉管灌注桩浅部缺陷的测试及问题分析	于永志 林希春	(433)
7.12	大直径钻孔桩应用高应变动测法的几项 试验研究	张靖 潘东发 蔡登山	(437)
7.13	超声波桩孔检测仪在桩身质量检测中的应用	王燕 董群 王臻	(447)
7.14	Osterberg-cell 现场载荷试验研究	温庆博 阿拉特 李广信	(453)
7.15	成桩质量检测影响因素的分析	刘向阳	(459)
8	监理		
8.1	桩基工程建设监理经验谈	刘清海 沈晓燕 王祖东 张芝香	(462)
8.2	超长钻孔灌注桩施工及监理	马军 郝伟从 周永官	(466)
8.3	大直径嵌岩钻孔灌注桩施工质量监理	张靖 周培勇	(475)
8.4	人工挖孔灌注桩的监理方法	周绍纓 雷元新 黄上进	(478)
8.5	确保人工挖孔灌注桩质量的阶段性监控	王洋 汤连生、张鹏程	(482)
9	其它		
9.1	挤密法处理地基浅仪	强瑜	(488)
9.2	搅拌程度对深层搅拌桩承载力影响的试验及分析	王兴龙	(496)

1.1 深圳地区的地质条件和建筑桩基工程

张旷成 张 镇 丘建金

(深圳市勘察测绘院 深圳 5180287)

摘 要 本文首先概述深圳市的地质条件,对深圳市 20 年来建筑桩基工程进行回顾,分析现行几种主要桩型利弊,对今后的发展提出建议和希望。

关键词 建筑桩基,人工挖孔桩,钻孔扩底灌注桩,预应力混凝土管桩。

一、前 言

1980 年 8 月 26 日,深圳经济特区正式宣告成立,20 年来深圳市进行了大规模经济建设,数以千计的高层建筑拔地而起,建筑桩基工程从无到有,吸收了香港和内地各种先进技术和经验教训,逐步形成了适应于深圳地区工程地质条件特点的各类桩基。深圳地区过去采用过的桩基主要有沉管灌注桩,夯扩桩(沉管灌注桩发展而得)、人工挖孔桩、冲孔桩、钻孔灌注桩,前两者主要用于多层建筑,后三者则主要用于高层和超高层建筑,近两三年来,高层建筑逐步引入了预应力管桩和钻孔扩底灌注桩。桩基工程的选型,主要决定于场地的工程地质、水文地质和环境条件,随着深圳市城市建设逐步发展,建筑物逐步密集,水文地质和环境条件逐步起到控制性作用。本文对深圳地区工程地质水文地质条件作简要介绍,对深圳市建筑桩基工程的发展作一简要回顾,对目前建筑桩基工程中几种主要桩型存在的问题进行分析,对 21 世纪深圳地区桩基工程的发展提出建议和希望。

二、深圳地区工程、水文地质条件简介

建筑桩基工程的选型必须充分掌握场地的工程地质和水文地质条件。

1. 深圳地区的土体^[1]

深圳地区的第四系土体,按时代、成因类型,从新到老可分为 7 个大层:

第①层,人工填土:它都是深圳市大规模建设以来人工填积而成,最长时间只有 20 年左右。

第②层,全新统、沙井组, Q_4^3 ,属于新近沉积, C^{14} 测定的年龄为 $640 \pm 70 \sim 2150 \pm 90a$,它包括:(2-1)海积淤泥流塑;(2-2)海积含淤泥粉细砂,松散;(2-3)海陆交互沉积、淤泥质粘性土夹砂层,流塑~软塑;(2-4)冲洪积粘土或粉质粘土,软塑~可塑;(2-5)冲洪积中、粗砂,稍密~中密。所在地貌单元为海滩、海积平原和冲积平原。

第③层,全新统、赤湾组, Q_4^2 ,它包括:(3-1)海积粗砂,松散~稍密, C^{14} 测定 $2530 \pm 90 \sim 3860 \pm 110a$,分布于古砂堤和海积平原;(3-2)海积淤泥质粘性土,软塑或海积含淤泥粉细砂,松散~稍密;(3-3)海积、冲积、粗、砾砂,稍密, C^{14} 测定 $4300 \pm 140 \sim 7080 \pm 160a$,分布于海积、泻湖和冲积平原。

第④层,全新统、松岗组, Q_4^1 , 它包括: (4-1) 冲、洪积粘土、粉质粘土, 可塑~硬塑; (4-2) 冲、洪积砾砂、卵石, 中密~密实, 广泛分布于冲积平原。

第⑤层, 晚更新统、坪山组, Q_3^3 , 它包括: (5-1) 湖沼沉积泥炭质粘性土, 软塑~可塑, 分布于台地凹部和古冲沟内; (5-2) 冲、洪积粘土, 粉质粘土, 呈黄白、紫红等杂色, 花斑状结构, 可塑~硬塑; (5-3) 冲、洪积中、粗、砾砂, 中密~密实, (5-2)、(5-3) 层分布于冲积阶地。

第⑥层, 晚更新统、科技馆组, Q_3^2 , 坡积、残积砂土, 中密~密实, 粉质粘土, 硬塑~坚硬, 网纹(蠕虫)状结构, 分布于一、二级台地上部。

第⑦层, 中更新统、科技馆组, Q_2 , 花岗岩风化形成的残积土, 按其含砾($>2\text{mm}$)颗粒量, 超过 20% 者, 称为砾质粘性土, 含砾不超过 20% 者为砂质粘性土, 不含砾者为粘性土, 由二长岩风化而成者几乎不含石英角砾, 为粘性土; 由变质岩、凝灰岩风化而成者多为粉质粘土, 各类残积土多为硬塑状, 但在海域内亦有呈软塑~可塑。按风化(脱硅)速率 2 万年 1m 计算, 约 10 万~70 万年, 本层广泛分布于各类岩石为基底的各地貌单元。

就上述各土体而言, 可供选择作为桩端良好持力层的为第⑥层和第⑦层。

2. 深圳地区的岩体^[1]

深圳地区的岩体主要为加里东期 (My_3) 侵入岩混合花岗岩、燕山期侵入岩第二期 [$\gamma_5^{2(2)}$]、第三期 [$\gamma_5^{2(3)}$]、第四期 [$\gamma_5^{3(1)}$]、第五期 [$\gamma_5^{3(2)}$] 其岩性为细粒花岗岩、细粒斑状花岗岩、中粗粒黑云母花岗岩、细粒斑状黑云母二长花岗岩等, 粗略估计这些岩体分布面积约占 60%; 其余分布有震旦系 (Z) 变质岩; 泥盆系 (D_3) 变质细粒石英岩、长石石英岩、石英砂岩、粉砂岩; 石炭系测水组上段 (C_1^{deb}), 以砂岩、石英砂岩含砾石英砂岩为主, 下段 (C_1^{dea}) 以砂岩、凝灰岩、细砂岩为主; 侏罗系下统 (J_1), 石英质砂岩、细砂岩、泥质页岩、凝灰岩等, 侏罗系中统 (J_2), 中~薄层状石英砂岩, 长石石英砂岩等, 侏罗系上统 (J_3) 以凝灰岩为主; 龙岗地区有可溶性白云质灰岩, 属于复杂和比较复杂岩溶地区。

上述岩体除龙岗岩溶地区外, 均属硬质岩石, 可作为桩基的良好持力层。深圳建设初期高层和超高层建筑多以微风化或新鲜基岩作为桩端持力层, 后来发展为以中风化作为桩端持力层, 近年来 30 层左右高层建筑已有以强风化岩作为桩端持力层。

3. 深圳地区的断裂稳定性问题

深圳地区的断裂构造可分为北东向、北西向和东西向三组, 其中以北东向的“深圳断裂束”, 规模最大, 是区内的主干断裂, 单条断裂长度多数大于 5~10km, 宽 10~20m, 最宽达 70 余米, 影响带宽度几十至三百余米, 走向北 60° 东, 深圳断裂束的轴心是横岗—罗湖断裂, 该断裂西南段通过罗湖闹市区, 深圳市罗湖区的若干高层超高层建筑, 均位于该断裂束之上。在特区建设初期对此断裂束的抗震稳定性问题极为重视, 经过许多专家的认真论证分析。参考文献^[2]提出: “罗湖区至少在这 420 年期间内, 未发生过 $M_s > 3$ 级地震。” “从区域地质构造背景分析, 深圳市不具备发生 $M_s \geq 5$ 级地震的条件。” 从抗震角度看是整体稳定的, 可以不考虑断裂的活动、错动的影响。20 年的工程实践证明, 建于断裂带上的众多高层、超高层建筑, 并未受到断裂活动的影响, 说明上述判断是正确的。“深圳断裂束” 按现行的《岩土工程勘察规范 (GB50021-94)》判断, 在全新地质时期 (一万年), 没有过地震活动, 全新世地层未被错断, 近期 (近 500 年来) 也未发生过震级 $M \geq 5$ 级的地震, 因而它不属于“全新活动断裂”, 更不属于全新活动断裂中的“发震断裂”。当然, 位于该断裂带上的天然地基或桩基对其强度和不均匀沉降问题还是要认真对待的。

4. 深圳地区的水文地质条件概述

深圳地区一般有两层地下水：上部为潜水类型，含水层为第四系砂砾层，而砂砾层的分布与特区内几条河流有关，特区内从东往西有沙湾河、布吉河、福田河、新洲河、大沙河和深圳河。前五条河大致呈南北向，而深圳河为东西向，由于河流短，在这些河流的上游分布的砂、砾层均混有粘性土，下游和出海口的砂、砾层则含粘性土少，比较纯净；沿河流两侧阶地（通常只有一、二级阶地，没有更高的阶地）的砂层和圆砾卵石层，其渗透系数为 $30 \sim 50\text{m/d}$ 。潜水往往随季节变化与上述河流互为补给，但靠近海域的潜水，则往往都与海水有联通关系，直接受到海水涨、落潮的影响。潜水的赋水程度还与原始地貌有很大关系。

下部则为基岩裂隙水，主要赋存于强风化岩的裂隙带中，其赋水性主要决定于裂隙的发育程度和不同的岩性，在花岗岩地区其强风化带勘察报告所提渗透系数 k 一般为 $3 \sim 5\text{m/d}$ ，抽水试验实测值较此值小，例如世贸中心强风化花岗岩仅为 0.6m/d ；红岭中路对外贸易中心强风化花岗岩 $k = 1.79\text{m/d}$ 。而在罗湖区受深圳大断裂带的影响，裂隙比较发育，且岩性多为凝灰质砂岩，而非花岗岩。赋水性较强，例如位于罗湖区和平路的九龙海关，侏罗系凝灰质砂岩，分层抽水试验结果，强、中风化带的渗透系数达 9.5m/d 、微风化带的渗透系数达 7.2m/d ，较福田花岗岩地区大 $2 \sim 3$ 倍。

深圳地区的水文地质条件是比较复杂的，而它与建筑桩基工程密切相关，尤其是深圳地区高层建筑大都采用挖孔桩，由于建筑基坑内大量的大直径挖孔群桩抽水，对邻近建筑和管线造成的危害和影响累见不鲜。基坑支护是否采取截水？抗浮桩设计中，如何合理选择最高水位等，都需要较详细研究场地水文地质条件，而目前在这方面的的工作做得不够，是勘察、设计中的薄弱环节。

三、深圳地区建筑桩基工程发展的回顾

深圳建设和特区初期，开发项目多为多层住宅和标准工业厂房，当需采用桩基础时多采用沉管灌注桩。这是因为建筑物单柱荷重不大且沉管桩已有多年的使用经验和生产能力。桩管一般有 340mm 和 480mm 两种，沉管方式为柴油锤打入，振动锤打入和自由落锤打入。根据荷载要求，沉管灌注桩一般采用两桩以上的多桩承台。单桩承载力标准值： $300 \sim 400\text{kN}$ (340mm) 和 $550 \sim 750\text{kN}$ (480mm)，桩长一般为 $12 \sim 18\text{m}$ ，桩尖放置在砂、卵石、残积土中或强风化岩表面。八十年代前期建成的工业小区和成片多层住宅，桩基础几乎一律是 480 沉管桩。至今， 480 沉管桩在特区外仍占有一定的市场。

随着高层建筑的兴建，大直径沉管灌注桩逐渐采用和发展，1984 年施工的十八层深业大厦首次采用大直径沉管灌注桩，大直径沉管桩包括 600mm 管径的水泥桩头的普通沉管桩、管径 $560 \sim 750\text{mm}$ 的钢桩靴沉管桩和管径 600mm 的弗兰克 (FRANKI) 桩。

普通大直径沉管桩因其桩身截面积和桩身表面积变大而使承载力增加。钢桩靴沉管桩是靠重打、多打使桩尖进入较坚硬持力层（强风化岩）中及击实桩尖地层，使其桩端总阻力比传统锤击沉管桩有较大的提高，极限承载力高者可达 8000kN 以上。1992 年开工的 32 层诗宁大厦即采用的此桩型。弗兰克桩为比利时人首创，在香港地区使用已有七十年历史，其独特的沉管方式和筑桩工艺而与其他沉管桩不同。弗兰克桩是通过桩管内击钢锤夯击桩管内预填的碎石，借碎石与桩管摩擦和拱托作用形成桩底碎石塞将桩管沉至设计深度，而后吊紧桩管，锤击碎石塞，使其排出管外，再注入水灰比为 0.25 之干性混凝土，边注边锤击，形成

桩端扩大头。这种成桩工艺的最大优点是比外击沉管桩噪音小，对环境的影响降低很多。1983年开工的红岭大厦（28层）、而后开工的台湾花园（33层）基础就采用了此桩。

钻孔（冲孔）灌注桩在国内铁路、桥梁等交通部门使用多年，有丰富的实践经验，在深圳地区建立初期的1981年开工的友谊大厦（七栋）、罗湖大厦、翠竹楼、翠兰楼等均采用此桩型，随后一直延续采用，尤其是在立交桥的基础选用上更多钟情于此，至今，冲（钻）孔桩作为各种建（构）筑物的基础选型中仍占有一定的优势。为了提高钻孔桩的承载力（桩端放置在强风化岩上），九十年代中开始使用钻孔扩底桩。虽然JGJ4-80规范中已有钻孔扩底灌注桩的技术标准，但在这之前一直没有采用过，而今，钻孔扩底桩已作为推广桩型在逐步发展中，有的施工单位已编制了较详细的企业标准。

人工挖孔灌注桩最早自香港引进是1982年，首次在金城大厦（25层、五栋）桩基方案中采用。人工挖孔桩施工设备简单，劳动力资源丰富，成本较低。同时对高大建筑物承载力高的要求容易满足，桩径可以按不同承载力的要求随意调整，桩尖持力层的性状和桩底沉渣可以肉眼观察，对岩石中结构面的处理易操作。由于以上诸多原因，人工挖孔桩自引入之日起推广迅速，大量采用，进而又发展成人工挖孔扩底桩，加大端承面积，提高承载力。深圳50层以上的高楼如地王大厦、国贸大厦、发展中心、鸿昌广场、联合广场、赛格广场无一例外地采用人工挖孔桩。初期挖孔桩桩径最小为1000mm，因人工操作很不方便，从安全施工角度考虑，市政府主管部门规定挖孔桩直径不得小于1200mm，并在“深圳地区地基基础设计规程（试行）”中作了明确规定。随着建筑物高度的增加，对单桩承载力的要求越来越大，甚至超过100000kN，所以，人工挖孔桩最大直径目前的记录是4800mm。

由于人工挖孔桩桩孔施工是高强度、低技术的体力劳动，工作环境差。人工挖孔桩成孔过程要强制降低地下水，容易产生周边地面沉降，造成道路、管线及周边建筑物的不同程度的破坏，所以人工挖孔桩虽然在高层建筑基础类型中仍占最大比例，但这一比例正在缩小。

预制桩（预应力管桩）的采用也可以追溯到特区建立初期。最早采用预制方桩的建筑是十八层的电子大厦，开工于1981年，桩径450×450mm。而后的爱华大厦、长安大厦、园岭高层住宅等一批高层建筑也采用了预制方桩。预应力管桩始用于1985年开工建设的中国物资大厦，桩径550mm。由于预制桩价格偏高，尤其是早期的预应力管桩桩身由香港进口，基础的综合造价大大高于其他桩型，故使用面不广。九十年代中后期，珠江三角洲数间预应力管桩厂相继建立，桩产量大幅增加，目前已达近1千万米，使管桩价格迅速降低。1995年以后，预应力管桩逐渐成为桩基础的主力军之一。广东省建委于1998年发布广东省标准—《预应力混凝土管桩基础技术规程（DBJ/T15-22-98）》，为预应力管桩的材质、规格、承载力计算、施工方法、质量检测提供了统一的标准。

在江浙和武汉地区最早开发的夯扩桩实际上是沉管灌注桩的一种，通过夯扩桩尖混凝土来增大桩端截面，提高承载力。在九十年代中期由市建筑新技术推广站引进深圳建筑市场，制定了《深圳地区夯扩桩技术规定（SJG03-96）》，并于1996年7月1日颁布实行，从而使夯扩桩在深圳建筑史上留下了辉煌的一页。

因为任何一种桩型均有自己的适用条件而各具优势，所以至今上述各类桩型均在不同的环境下采用，可谓百花齐放、异彩纷呈。根据1996年6月30日前397栋高层建筑的统计结果，桩基础采用挖孔桩的有307栋，占总量的77%，采用冲（钻）孔桩的51栋，占总量的13%，采用预制桩（预应力管桩）的有22栋，占5.5%，大直径沉管桩和弗兰克桩的有18栋，占4.5%。

四、深圳地区几种主要桩型存在问题的分析

1. 人工挖孔桩

这是深圳经济特区建设以来最常用的一种建筑桩基，它最主要的优点是承载力高；由于劳动力便宜，与其它桩型相比，造价相对低廉；持力层容易鉴别，通俗的说法是所谓“看得见，摸得着”但也存在以下一些不可忽视的问题：

(1) 降水给邻近建筑道路和管线带来严重影响。

深圳地区地下水位一般均很高，一栋高层和超高层建筑下往往都有数十甚至百多条桩，而且都是直径1.5~3.0m的大直径桩，作人工挖孔桩时，必须抽水，且降深很大，从2~3m开始，降深至30~40m，虽然基坑周围可以设置帷幕，但前已述及深圳有两层水，帷幕仅能解决截堵上层潜水，而不能有效解决封堵基岩裂隙水的问题，为此，造成由于基坑内大量桩孔抽水，而影响基坑外地下水不均匀下降，从而给邻近建筑造成危害。例如在深圳市福田区一栋高层建筑有数十条大直径人工挖孔桩，由于开挖桩孔抽取基岩裂隙水，造成北侧32m外的一栋十二层采用天然地基的高层建筑，整体倾斜达39cm，按基础宽度40m（实际小于40m）计，其整体倾斜达0.0098，远远超过现行地基规范多层和高层建筑，允许倾斜为0.003的规定，经多次专家会论证，市建设局强令更改桩型；又如南山区某在建高层，拟采用人工挖孔桩在基坑内降水并试抽水过程中，距基坑7m外的四栋居民楼基础产生不均匀沉降，导致排水管道断裂，小区道路开裂，也被迫更改桩型。其余由于基坑和挖孔桩抽水而引起邻近建筑、道路、管道开裂者，累见不鲜，引起纠纷相当多。为此，深圳市建设局1997年7月29日曾专门以深建施[1997]42号文“关于加强深基坑、人工挖孔桩施工降水设计和施工管理的通知，”要求：“对周边建筑物比较密集、有重要的市政管网或地下水充沛、地质情况复杂的拟建工程，一般不采用人工降水的设计和施工方案，”几年的工程实践证明，建设局这些要求是完全适时、合理的。深圳市建设开发初期场地空旷，人工挖孔桩抽水造成的危害和影响不突出，但目前建筑、道路、管网密集，对此必须加以重视。

(2) 人工挖孔桩不考虑桩身摩阻力，是不合理的。

深圳地区的大直径人工挖孔桩几乎所有的设计都把它看成端承桩，仅考虑端阻力而不考虑摩阻力，这可能是由于建设初期大直径人工挖孔桩桩端都是置于微风化基岩上，一般不产生大的位移，摩阻力因没有大的位移，而不能发挥出来，所以不考虑桩身摩阻力。又《深圳地区建筑地基基础设计试行规程（SJG1-88）》规定：“对于桩端支持于微风化岩的灌注桩，当桩按构造配筋时，单桩轴向受压承载力设计值由桩身混凝土强度确定，按公式 $N_d = 0.48R_a d^2$ 计算，式中： N_d 系单桩轴向受压承载力设计值（kN）， R_a 系混凝土轴心抗压设计强度（kPa）， d 为桩身设计直径。”现考查一下，桩身的弹性变形情况，设桩径为2.0m，灌注桩桩身混凝土强度为 C_{25} ，其轴心抗压强度设计值为12.5MPa，则 $N_d = 0.48 \times 12.5 \times 2.0^2 = 24000$ kN，桩身承载力设计值 $q_p = \frac{N_d}{A_p} = \frac{24000}{\frac{\pi}{4} \times 2.0^2} = 7639$ kPa，略小于该规范所给定的

微风化花岗岩 q_p 值8000~10000kPa。配筋率按0.3%考虑、 C_{25} 混凝土弹性模量 $E_c = 28000$ MPa，Ⅱ级钢筋弹性模量 $E_s = 200000$ MPa，则钢筋混凝土按面积加权平均的弹性模量 $E_{cs} = \frac{3.132 \times 28000 + 0.0942 \times 200000}{3.1416} = 28514.1$ MPa，桩身应变 $\epsilon = \frac{q_p}{E_{cs}} = \frac{7.639}{28514.1} =$

0.000268，设桩长 30m，则在此应力状态下桩身的弹性变形 $\Delta L = \epsilon \cdot L = 0.000268 \times 30000 = 8.037\text{mm}$ 。在 8mm 左右的桩身弹性位移下，桩身摩阻力是可以得到充分发挥的，因而作者认为，即便是以微风化岩作为桩端持力层，桩身摩阻力实际上还是存在的，何况目前许多高层建筑已以中风化、强风化岩作为桩端持力层，则桩底的变形和桩身的弹性变形，足以使桩侧摩阻力可以得到充分发挥。加之，目前深圳地区的挖孔桩护壁，外侧往往是锯齿形，其摩阻力是相当可观的，设计中不考虑摩阻力不合适，完全把它作为储备是很大的浪费。

(3) 人工挖孔桩施工劳动强度大，遇涌砂、涌泥时极不安全。

人工挖孔桩完全是靠人工在桩孔内开挖，劳动强度极大，在建设初期，挖孔桩施工曾出现过一些人身安全事故，虽然出于保证安全，深圳规范《SJG1-88》曾对桩径和桩长作过一些限制性规定，但遇地下水压力大和软土砂层厚时，往往产生从孔壁涌泥、涌砂现象，侧壁形成空洞，此时施工相当困难，安全很难保证，某些工程中的少数桩孔中到最后不得不改变了桩型，由挖孔桩改为冲孔桩和钻孔桩。

在深圳市区有的地段微风化花岗岩深达 70~80m，在这种情况下，要以微风化岩作为桩端持力层，出于安全因素，人工挖孔桩是难以实现的，深圳地区最深的挖孔桩一般不超过 50m。

2. 钻孔扩底灌注桩

钻孔扩底灌注桩是在钻孔灌注桩基础上发展起来，它的最大优点是避免了人工挖孔桩必须抽、降水的缺陷，且单桩承载力明显可以提高，在同一持力层上，当 $\frac{D}{d} = 2$ 时（d 为桩身直，D 为扩底直径），其承载面积或单桩承载力可提高 4 倍，经济效益十分明显，而 $\frac{D}{d} = 2$ 的构造要求，从目前的施工机械水平是完全达到的。作者认为这种桩型，对深圳地区的高层建筑或超高层建筑是比较适合的，值得推广。下面对该桩型存在的问题作一些分析。

(1) 关于钻孔扩底灌注桩的构造型式和扩底角

钻孔扩底灌注桩，由于施工机具的差异，一般可以形成以下两种型式：

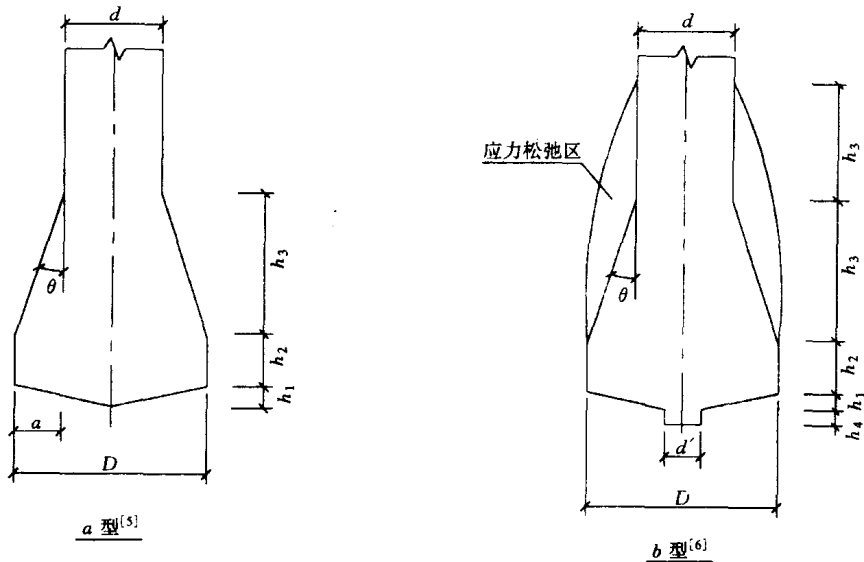


图 1 钻孔扩底灌注桩实际形成桩型示意

上述两种形式主要在于 b 型有一个沉淀孔，其直径 d' 一般为 $0.2\sim 0.3\text{m}$ ，高度一般为 $0.1\sim 0.3\text{m}$ 这可贮存少量未尽残渣，而又不削弱桩端承载力。影响扩底桩结构型式和浇灌混凝土前孔壁稳定性的一个重要参数是扩底角 θ ，《建筑桩基技术规范（JGJ94-94）》规定， a/h_3 对于砂土取 $1/3$ ，即相当于 18.4° ，对粘性土取 $1/2$ ，即 26.6° ，对于强风化、中风化岩未作规定，在深圳地区主要是在残积土、全风化、强风化和中风化岩中扩底，若以微风化岩作为桩端持力层，由于其单桩承载力设计值系由桩身混凝土强度确定，所以没有必要在微风化岩中进行扩底。扩底桩的构造型式可以按表 1 中的型式选用：

钻孔扩底灌注桩构造型式的主要参数 (mm)^[5]

表 1

桩直径 d	扩底直径 D	h_1	h_2	h_3	θ°
800	1600	500	300	990	21.8
900	1800	550	300	1330	18.7
1000	2000	620	300	1400	19.7
1100	2200	700	320	1450	20.8
1200	2400	780	320	1500	21.8
1300	2600	840	320	1600	22.1
1400	2800	900	340	1700	22.4
1500	3000	970	350	1850	22.1
1600	3200	1050	350	2100	20.9
1700	3400	1130	350	2200	21.1
1800	3600	1220	350	2300	21.4
1900	3800	1300	350	2450	21.2
2000	4000	1390	350	2600	21.0

注：表 1 中参数主要是以 a 型桩且按 $D/d=2$ 计算推荐。

表 1 中的矢高 h_1 约为 $(0.3\sim 0.35)D$ ，较《JGJ94-94》规定 $(0.10\sim 0.15)D$ 为高，这有利于灌注混凝土前清除孔底沉渣和灌注混凝土时，不形成死角。

(2) 钻孔扩底灌注桩端阻力和摩阻力的选取

计算桩端阻力时按全断面，即按直径 D 计算，底部斜面或曲面增加的面积作为储备；关于桩端进入持力层的深度对于扩底桩应从何处起算，《JGJ94-94》未予明确，作者认为，从全断面概念出发，应从 h_2 底端起算，对于中风化岩石、强风化岩、全风化岩和残积土进入持力层最小深度，分别建议不宜小于 $0.6d$ 、 $1.0d$ 、 $1.5d$ 和 $2.0d$ ；关于端阻力，深圳规范《SJG1-88》对冲、钻、挖孔灌注桩的基岩承载力标准值 q_p (kPa) 曾有明确规定（见下表），对于钻孔扩底灌注桩仍可参照使用。

外（内）击式沉管灌注桩、打入式预制桩、冲、钻、挖孔灌注桩

基岩承载力标准值 q_p (kPa)^[4]

表 2

基岩名称 端承力 q_p (Pa) 风化程度		花岗岩	花岗片麻岩	硅化凝灰岩	硅化千枚岩
风化岩	强风化	2700~3000	2700~3000	2700~3000	2600~3000
	中风化	5000~6000	5000~6000	4500~5500	4500~5500
	微风化	8000~10000	8000~10000	7500~9000	7500~8500
构造岩、 构造破 碎带	块 状	2400~3000	2400~3000	2400~3000	2400~3000
	胶结状	5000~6000	5000~6000	4500~5500	4500~5500
	断层泥（硬塑）	2400	2400	2400	2400

上表在深圳地区的勘察设计单位普遍采用,已沿用了十余年,所有高层、超高层建筑,凡是置于基岩上的桩基均用此表,已建成的建筑沉降量很小,未发生过问题。不过,计算中完全不考虑摩阻力,但实际上桩侧摩阻力是在起作用的,即作用于桩端的荷载并没有计算值大。《SJG1-88》还规定当根据单桩垂直载荷试验所确定的极限荷载,按 $N_d = 1.2 \frac{P_u}{K_y}$ 确定单桩受压承载力设计值,式中 P_u 为单桩轴向受压极限荷载, K_y ——安全系数,一般取 2,这说明单桩极限荷载换算成单桩承载力设计值时,也相当于极限荷载除 1.667 的分项系数,与现行桩基规范是一致的。理论与实践证明,钻孔扩底灌注桩应该考虑摩阻力,但如图 1.6 所示,由于扩大头斜面以下混凝土灌注时,难以塞满,且在桩受荷下沉后形成空隙,则其上部形成应力松弛区,为安全计, $2h_3$ 范围段摩阻力不计^[10]。上覆各种上层的摩阻力标准值 (q_s) 在《SJG1-88》中,有详细规定可参照使用,但岩石和风化岩没有规定,可以参照《JGJ94-94》用岩块的单轴极限抗压强度确定。

(3) 钻孔扩底灌注桩施工中应注意的问题

(1) 过去人们的印象中总是认为钻孔灌注桩、钻孔扩底灌注桩在施工中,泥浆横溢,施工场地很脏、很乱,但近年来一些单位施工管理已有明显改进,设备进场前,首先进行场地“硬地化”,安排好排浆沟和泥浆池,文明施工,加强管理,形象化地说:可以作到“穿着皮鞋进现场”。

(2) 对于一般的钻孔灌注桩,《JGJ94-94》曾规定:“对孔深大于 30m 的端承型钻,宜采用反循环工艺成孔或清孔。”而对于钻孔扩底灌注桩来说,则均宜采用反循环工艺成孔和清孔,经两次、甚至三次清孔后,孔底沉渣厚度可以满足 $< 100\text{mm}$ 的要求。

(3) 扩底形状是否能达到设计要求和如何检测是人们所最关心的问题,目前在深圳地区有的单位是采用自行研制的“机械式孔径检测器”,有的则是采用“超声波孔形检测仪”检测后,计算机可以绘制出扩孔形状。

(4) 如何保证扩底后混凝土的初灌量至关重要。例如扩底后,扩底端的容积往往都在 15m^3 以上,为了确保初灌后导管应埋入混凝土面以下 0.8m 以上,必须配置大容量的初灌斗和运料斗,为确保连续灌注质量,有的工程施工时,配备了 8m^3 的初灌斗和 2.2m^3 的运料斗。

(5) 施工面标高不宜低于现地下水稳定水位面以下过低,否则坑外地下水水头高,钻孔扩底灌注桩施工时,泥浆护壁困难或孔底涌泥、涌砂,若加大泥浆浓度,又将造成洗孔困难或泥皮过厚,影响摩阻力。当基坑过深时,宜将施工面提高至适当位置,上部留空桩,以解决成孔护壁困难问题。

3. 预应力混凝土管桩

自广东省标准《预应力混凝土管桩基础技术规程 (DBJ/T15-22-98)》^[8] 自 1998 年 6 月 16 日由广东省建委颁发于 10 月 1 日试行以来,预应力混凝土管桩在深圳地区得到广泛应用,其主要优点是:预应力混凝土管桩完全由有资质的工厂生产,桩身质量可以有效的得到保证。由于管桩强度高,耐打性好,可以进入强风化岩一定深度,因而比较适合作摩擦端承桩或端承摩擦桩,再则是工期短,造价低。工期短体现在:一是施工前期准备时间短;二是施工速度快;三是检测简单快捷。造价低主要体现在:一是单位承载力的造价低,虽然管桩单位长度的造价较高,但由于其承载力高,综合计算,单位承载力的造价还是较低的;二是由于工期短,可以节省施工费用,缩短投资者回收时间。在深圳地区目前已用于 30 余层

的高层建筑,但在目前设计、施工中也还遇到一些问题。

1) 预应力管桩虽然只能进入强风化一定深度,不能穿透强风化岩以中风化或微风化岩作为持力层,不过,由于管桩是挤土桩,由于挤密效应,端阻和侧阻都高,所以可以获得较高的单桩承载力,摩阻力随着桩长桩径的增加,可达单桩总承载力的40%~60%,是典型的摩擦端承桩或端承摩擦桩。由于在深圳地区预应力管桩大多数是以强风化岩作为持力层,因而要求勘察单位对强风化岩的界限作出准确划分,在勘探点间距和竖向的标准贯入试验都应适当加密。

2) 打入式预应力管桩,由于振动和噪音的影响在市区施工还是受到较大的限制和影响,不少单位研究和推行静压式预应力管桩,可以克服振动和噪音等对环境的影响,但由于其设备比较笨重,单件重量较大,难于下到较深的基坑中施工,且有些靠基坑壁的边桩不能施工,因而静压桩在目前也受到一些限制。

3) 预应力管桩是挤土桩,设计上应严格控制管桩的中心距不超过规范规定,即便这样在桩数比较多时,会出现桩体上浮,在此情况下应控制施工速率、采取降水和复打等措施。

4) 用低应变检测桩身质量时,第一个接头以下的桩身质量,低应变难以作出有效的判断,值得检测部门研究,或提出另外的有效检测办法。

五、对深圳地区建筑桩基工程的展望

2000年1月24日国务院批复了《深圳市城市总体规划(1996~2010)》,确定的全部行政辖区2020km²为城市规划范围,现建成城区面积仅为320.3km²,标志作“第二次创业”时期,深圳市还将有大量的建设工作,建筑桩基工程在深圳大有作为,现对其发展提出以下建议和希望:

1. 《深圳地区建筑地基基础设计试行规程(SJG1-88)》试行十余年来对深圳地区建筑桩基工程的发展起了很大的作用,目前,地基基础岩土工程和建筑桩基工程有很大发展,新技术、新方法不断涌现,应尽快地组织修订。

2. 1999年12月3日,深圳市建设局批准发布了深圳市标准《深圳地区基桩质量检测技术规程》^[9]为强制性标准,从2000年1月1日起施行。这无疑对保证基桩工程质量将会起到很好作用。希望工程建设单位结合规定的检测工作,有目的地安排一些科研性工作,积累资料,加强总结,提高建筑桩基工程水平。

3. 目前深圳市建设局已开始非常重视引进和扩广一些新型的桩基设备和工艺,例如,有的公司引进了“全套管钻孔灌注桩(即Benoto灌注桩)”,这无疑是好的,但目前值得注意的一种倾向是有个别人不讲科学,假借“专利”之名,把公知技术,据为己有,违反宪法,侵犯他人利益,为此,我们呼吁国家专利管理部门,对申报专利要严格按照授予专利权的新颖性、创造性和实用性的三个必备条件进行审查,否则将达不到推行国家专利法是“促进科学技术发展”的根本目的。建议各级领导管理部门在引进推广新技术时,必须既积极而又慎重,使深圳地区的建筑桩基工程有序和健康地发展。

参 考 文 献

[1] 张镇、张旷成. 深圳地区岩土工程岩土体特征与岩土工程发展和回顾, 深圳地区岩土工程的理论与

实践. 北京中国建筑工业出版社, 2000

- [2] 地质矿产部. 深圳市区域稳定性评价. 北京: 地质出版社, 1991
- [3] 中华人民共和国行业标准. 建筑桩基技术规范 (JGJ94-94). 北京: 中国建筑工业出版社, 1995
- [4] 深圳地区建筑地基基础设计试行规程 (SJG1-88). 深圳: 1990
- [5] 唐四联. 桩基工程新技术介绍与桩基工程施工实践和探讨. 深圳市湛联基础建筑工程有限公司: 1998 (内部资料)
- [6] 泵吸反循环钻孔扩底桩施工技术. 江西省地质工程总公司: 1999 (内部资料)
- [7] 大直径嵌岩钻孔扩底灌注桩施工技术. 河北省建设勘察研究院: 1999 年 9 月 (内部资料)
- [8] 广东省标准. 预应力混凝土管桩基础技术规程 (DBJ/T15-22-98), 广州: 1998
- [9] 深圳市标准. 深圳地区基桩质量检测技术规程 (SJG09-99). 深圳: 1999
- [10] 中华人民共和国行业标准. 高层建筑岩土工程勘察规程 (JGJ72-90). 北京: 1991

1.2 桩基础施工技术现状及发展趋向浅谈

沈保汉

(北京市建筑工程研究院 北京 100039)

摘 要 本文介绍桩基础的分类方法, 工艺选择及其发展趋向。

一、桩基础施工技术现状

按施工方法桩可分为非挤土桩、部分挤土桩和挤土桩三大类型。再细分, 桩的施工方法超过 300 种。施工方法的变化、完善、更新可以说是日新月异。

图 1 中仅列出桩的部分施工类型。

以埋入式桩为例, 图中仅列出三大类, 实际上细分可有 60 种以上类型。所谓中掘施工法桩是把小于桩径 30~40mm 的长螺旋钻、或钻杆端部装有搅拌翼片的螺旋钻及钻斗钻等插入桩的中空部, 在钻头附近的地层连续钻进, 使土沿中空部上升, 从桩顶排土的同时将桩沉设。在施工中通常在桩端注入压缩空气和水, 促进钻进的同时也使桩沉设顺利。为使桩获得较大的承载力, 桩埋入孔中后可分别采用量终打击方式、桩端加固方式或扩大头加固方式。按中掘埋入工艺、钻机、承载力发挥方法及采用的预制桩种类等, 中掘施工法桩又可细分为 30 余种桩型。而预钻孔埋入式桩亦可细分为 30 余种。

以泥浆护壁法钻孔扩底灌注桩的成孔方法为例, 亦有 40 种以上, 扩底方式可分为反循环扩底、钻斗钻扩底、正循环扩底及潜水钻扩底等。其中反循环扩底方式又分为扩刀上开、扩刀下开、扩刀滑降及护刀推出等方式; 钻斗钻扩底方式又分为水平推出、滑降及下开和水平推出的并用等方式。

以桩端压力注浆桩为例, 注浆工艺可分为闭式注浆和开式注浆两大类, 桩端压力注浆施工工艺的核心部件—桩端压力注浆装置又可分为预留压力注浆室、预留承压包、预留注浆空腔、预留注浆通道及预留特殊注浆装置五大类, 两者组合, 目前已有 20 余种桩端压力注浆桩工法, 其中国内有 16 种。

二、常用桩设桩工艺选择

桩型的选择应考虑以下原则:

1. “因荷载制宜”, 即上部结构传递给基础的荷载大小是控制单桩承载力要求的主要因素。
2. “因土层制宜”, 即根据建筑物场地的工程地质条件、地下水位状况和桩端持力层深度, 通过比较各种不同方案桩结构的承载力和技术经济指标, 选择桩的类型。
3. “因机械制宜”, 即考虑本地区桩基施工单位现有的桩工机械设备; 如确实需要从其他地区引进桩工机械时, 则需考虑其经济合理性。
4. “因环境制宜”, 即考虑设桩过程中对环境的影响, 例如打入式预制桩和打入式灌注桩的