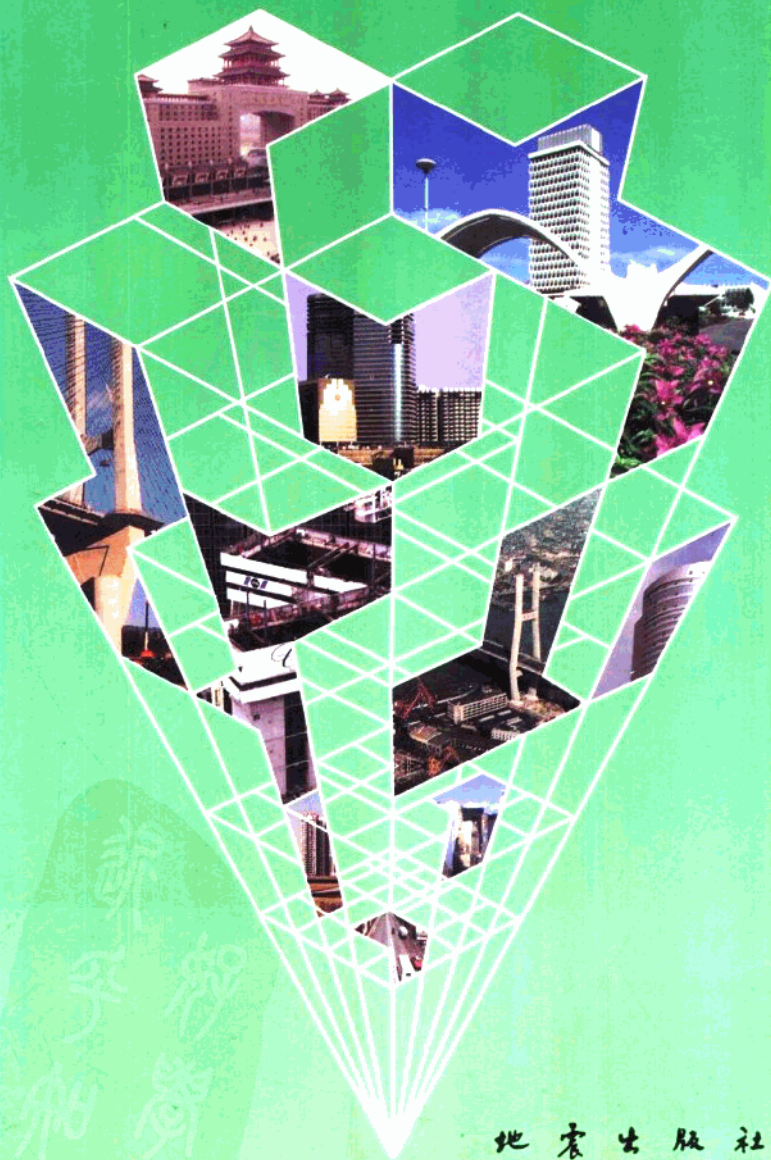


米祥友 彭安宁 主编

# 基础工程 400 例

技术与经济观点

下册



地震出版社

# 前 言

众所周知,地基基础是属于地下隐蔽工程。据调查统计,在世界各国的工程事故中,由于地基基础原因而导致发生的事故最多,而且这类事故一旦发生,不光损失巨大,同时补救将十分困难。地基基础的安全性,取决于天然土的条件、基础类型以及上部结构的特性。发生事故的原因往往是由于设计上的失误或施工质量问题。从设计方面说,诸如忽视了岩土的物理力学性质、现实存在的复杂因素,或过分相信了某些简化的设计理论及计算方法。

近年来,岩土工程界的专家曾反复提醒同行们注意:岩土工程的特点,往往是先技术,后理论;先实验,后理论。因此,对于土力学和基础工程而言,由于它不是基础科学而属于技术科学范畴,理论、试验、实践三者是互为因果,不可分离的。理论虽然十分重要,但如果没有试验和实践,就将停止发展并失去意义了。故对基础工程的设计,仅注重理论上的计算是远远不够的,它要求设计人员必须深入研究、综合判断实际工程的不同条件和相关因素,在不断吸收和借鉴其他工程经验及教训的基础上,才能有的放矢地作好具体工程的设计工作。

鉴于上述原因,并考虑到我国近年来各类工程地基基础建设数量庞大,为了使设计、施工和科研人员能够用少量的时间、最快的速度,去了解及吸取别人的经验,作好基础工程的设计和选型工作,以达到少花钱、多办事、办好事这一目的,在建设部领导和各有关部门的关心及支持下,我们曾于1995年初正式编辑出版了《基础工程400例》(上册)。该书出版后,深受工程界广大科技人员的欢迎,众多专家认为这是提高基础工程建设水平的一大举措,对设计、施工、监理、检测和建设单位有较强的借鉴作用,并迫切希望下册能尽快面世。为此,本书编委会在总结上册编写经验的基础上,决定结合当前我国工程建设的实际需要,以最大的努力继续做好本书下册的编写工作。

当前,建筑工程的基坑支护已成为基础工程建设的热点问题。由于现代城市要进一步开发和充分利用地下空间,基坑开挖深度已从几米十几米发展到二三十

米。我国已经有不少工程由于深基坑支护失误,导致重大经济损失并拖延工期的实例。因而,深基坑支护如何保证既安全又经济,已成为工程建设中的关键问题,故本书编委会在下册编写中增加了深基坑支护的设计与施工实例内容,供设计和施工人员参考,应该说是适时的。

本书的编写分为五个部分,共收入文稿 134 篇,第一部分为桩基础篇,主要包括灌注桩和预制桩等;第二部分为天然地基基础篇,内容包括单独和条形基础、十字交叉梁基础、片筏基础和箱形基础等;第三部分为复合地基基础篇,本部分内容包括 CFG 桩、粉喷桩、搅拌桩和挤密碎石桩等;第四部分为基坑支护篇,包括国内各种有影响的深基坑支护实例;第五部分为特殊地基基础及其他篇,主要包括各种特殊结构地基基础和的特殊性能地基的条件下工程基础的设计,以及其他有关的地基处理方法等等。本书的上述内容基本上反映了我国地基基础领域的现状和技术水平,具有较强的知识性、实用性和资料文献参考价值,读者可从中得到有益的知识,受到启迪和帮助。参加本书撰稿的均为具有实践经验并长期从事地基基础设计或施工的科技人员,其中很多作者为本领域的著名专家。

由于本书征稿和编辑的时间仓促,对于水平参差不齐的稿件,编委会虽作了一定的加工,但限于水平和实践经验,书中难免存在诸多遗漏或深度不足的欠缺,敬请广大读者予以谅解。

米祥友 彭安宁

1999 年仲夏于北京百万庄

# 目 录

## 一、桩 基 础

|                                 |       |
|---------------------------------|-------|
| 钻孔灌注桩工程技术与经济分析 .....            | ( 3 ) |
| 北京万客隆商城人工挖孔扩底桩的设计、施工及技术处理 ..... | (19)  |
| 桩箱逆作法施工技术首次成功应用于上海电子商厦工程 .....  | (27)  |
| 天津福星大厦桩箱联合基础设计 .....            | (31)  |
| 广州南航大厦主楼基础设计 .....              | (37)  |
| 南京国际贸易中心大厦桩基础设计 .....           | (43)  |
| 北京某花园高级公寓基础工程的设计及施工 .....       | (52)  |
| 超高强预应力混凝土离心管桩(PHC)施工技术 .....    | (62)  |
| 武汉香格里拉大酒店基础设计 .....             | (68)  |
| 上海科协大厦基础设计 .....                | (74)  |
| 重庆拓源物资大厦的基础设计 .....             | (80)  |
| 高层建筑复合基础施工 .....                | (83)  |
| 北海南南大厦群桩挤土效应与试桩分析 .....         | (89)  |
| 钻孔扩底灌注桩工程应用实例 .....             | (94)  |
| 广东南海市瑞安花园基础设计 .....             | (97)  |
| 武汉建银大厦基础设计与施工 .....             | (103) |
| 伦敦铁路上“领空”大楼的基础处理 .....          | (112) |
| 内击式沉管桩在广州三寓宾馆中的应用 .....         | (119) |
| 郑州薛店民用机场航管楼指挥塔的基础设计 .....       | (124) |
| 上海四联大厦基础设计的若干做法 .....           | (131) |
| 钻孔灌注桩滞后压浆技术在武汉的应用 .....         | (136) |
| 昆明佳华广场整体基础设计 .....              | (143) |
| 大直径嵌岩桩与非嵌岩桩承载性状的比较研究 .....      | (147) |
| 不同桩型共同工作的工程设计实例 .....           | (152) |
| 武汉江龙大厦夯扩桩工程实例 .....             | (157) |
| 镇江国贸大厦基础工程实录 .....              | (164) |
| 大面积密集群桩施工桩基位移的综合防治实例 .....      | (176) |
| 广州天河娱乐广场主楼基础设计 .....            | (181) |
| 应用高强预应力混凝土预制管桩的优越性 .....        | (186) |
| 广州科瑞大厦基础选型和设计 .....             | (192) |
| 平底大头沉管灌注桩基础的应用 .....            | (196) |

|                                 |       |
|---------------------------------|-------|
| 短桩加厚筏基础在高层建筑中的应用 .....          | (202) |
| 锚杆静压桩在上海工联大厦高层建筑中的成功应用 .....    | (208) |
| 工程桩基础应用的关键技术 .....              | (211) |
| 福州软土中静压沉管桩七种桩型的比较 .....         | (219) |
| 夯扩桩在大型工业厂房中的应用 .....            | (224) |
| 振动沉管灌注方桩设计与施工实践 .....           | (228) |
| 大直径挖孔扩底桩原型试验及承载力确定 .....        | (232) |
| 兆银大酒店扩底大直径人工挖孔桩水下混凝土的灌注技术 ..... | (236) |
| 安阳市人民银行营业楼桩筏基础与格式基础的联合设计 .....  | (239) |
| 人工挖孔桩常见质量通病的分析及处理 .....         | (244) |
| 浙江省邮运教育楼地基处理实例 .....            | (250) |
| 漳州市建筑桩基选型与工程实例 .....            | (253) |
| 桩基及独立柱基应用在同一建筑中的设计实例 .....      | (258) |
| 扩底钻孔桩在永富花园商住楼中的设计应用 .....       | (263) |
| 钻孔灌注桩在卵石层段的施工实践 .....           | (268) |
| 河南省新乡市公安局综合楼基础设计 .....          | (271) |
| 钢筋混凝土预制桩接桩事故浅析 .....            | (274) |
| 大直径钻孔灌注桩承载力的评价 .....            | (278) |
| 龙宝大厦桩基施工的经验及教训 .....            | (283) |
| 无桩靴夯扩桩的发展 .....                 | (290) |
| 某工程桩基质量事故剖析 .....               | (295) |

## 二、天然地基基础

|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| 翠宫饭店翻扩建工程基础设计 .....           | (301) |
| 北京国际饭店翼形箱基的应用及地基反力的实验研究 ..... | (307) |
| 东莞丝绸大厦筏板基础在花岗岩残积土上的应用 .....   | (317) |
| 预应力筏板基础的研究设计与应用 .....         | (324) |
| 福建南平德辉广场大厦基础选型及设计 .....       | (329) |
| 济南电力调度中心主楼基础设计 .....          | (335) |
| 浙江兰溪山江大厦基础设计 .....            | (341) |
| 成都军区通信枢纽机房基础(地下室)设计 .....     | (345) |
| 启东工商银行综合楼采用天然地基的工程实例 .....    | (354) |
| 高层建筑箱形基础计算的新方法 .....          | (359) |
| 某职工活动中心地基处理及基础设计 .....        | (363) |

## 三、复合地基基础

|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| 高压喷射注浆工艺在处理厦门汇腾大厦地基中的应用 ..... | (369) |
|-------------------------------|-------|

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| 粉喷桩在多层住宅地基加固中的应用             | (381) |
| 北京某塔式住宅楼的地基基础设计              | (388) |
| 超长深层搅拌桩的施工应用                 | (393) |
| 用锤击碎石桩加固填土地基的工程实例            | (399) |
| 某高层住宅塔楼基础设计及地基处理             | (403) |
| 华尔顿大厦地基基础设计                  | (406) |
| CFG 桩复合地基在北京慧忠北里 C 区高层住宅中的应用 | (411) |
| 挤密碎石桩加固粘土地基实例                | (416) |
| 水泥粉喷桩加固软土地基的工程实践             | (422) |
| 应用粉体喷射法加固软土地基的理论与实践          | (429) |
| 江阴市阳光公寓住宅楼基础工程实例             | (435) |
| 中小型建筑利用老杂填土做复合地基的实例          | (438) |
| 密布灰土桩辅助垫层法处理湿陷性黄土地基的探讨       | (440) |
| 复合桩基在某高层建筑中的应用实例             | (444) |
| 刚性桩复合地基的工程实例                 | (448) |
| 软弱杂填土地基中振冲法的设计与应用            | (454) |
| 徐州市复合地基设计与检测问题               | (458) |
| 深层搅拌桩在潮汕地区软弱地基中的应用           | (462) |
| 深层水泥搅拌桩加固软土地基的探讨             | (466) |

#### 四、基坑支护

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| 杭州京华科技影异世界工程基坑围护             | (473) |
| 沈阳新闻中心深基坑的自支撑体系              | (478) |
| 建筑结构作深基坑支护结构的探讨和应用           | (484) |
| 新上海国际大厦深基础施工技术               | (487) |
| 广州好世界广场大厦基础及深地下室工程设计与施工      | (499) |
| 椭圆拱圈梁支撑系统在中山广场基坑支护中的应用       | (502) |
| 武汉建银大厦深基坑支护与施工监理             | (507) |
| 兆丰世贸大厦基坑两墙合一的围护设计            | (514) |
| 重力式水泥搅拌桩挡土墙在上海新世纪商厦深基坑围护中的应用 | (520) |
| 武汉地区深基坑施工中地下水的处理             | (531) |
| 上海康宁大厦基坑支护实例                 | (543) |
| 石家庄国贸大厦高层建筑深基坑支护             | (547) |
| 杭州标力广场深基坑支护工程                | (555) |
| 天津今晚报大厦深基坑支护技术               | (560) |
| 海漫滩地基坑边坡喷锚网支护设计与施工           | (564) |
| 威海国际金融大厦深基础开挖及施工             | (571) |
| 瓦波形截面围护结构的工程实例               | (579) |



|                              |       |
|------------------------------|-------|
| 搅拌桩挡土墙加支撑的深基坑围护在上海国脉大厦工程中的应用 | (586) |
| 预制地下连续墙在达安地下车库中的应用           | (593) |
| 降水在常信大厦深基坑支护工程中的应用及体会        | (597) |
| 土钉支护技术的发展与应用                 | (604) |

## 五、特殊地基基础及其他

|                                |       |
|--------------------------------|-------|
| 珠海机场场道复杂地基工程设计实例               | (615) |
| 高压旋喷注浆技术在云南丽江机场跑道地基处理中的应用      | (621) |
| 江阴长江大桥北锚碇特大沉井基础设计              | (626) |
| 上海南浦大桥和杨浦大桥主墩钢管桩基础设计           | (633) |
| 三峡水利枢纽防渗墙施工技术                  | (641) |
| 嵌岩钢管桩在三峡供水码头工程中的应用             | (645) |
| 粉细砂夹层软粘土上大型油罐的基础设计             | (650) |
| 振动沉管桩在 102m 钢筋混凝土烟囱基础中的应用      | (656) |
| 江苏太仓浏家港液化气储罐软弱地基多种加固方法的对比研究    | (661) |
| 触变泥浆助沉深井技术应用于大屯煤井工程的实例         | (669) |
| 锚杆静压桩在炮台新村 1# ~ 5# 楼地基加固处理中的应用 | (676) |
| 汕头市金环大厦深基坑支护结构倒塌事故的分析          | (680) |
| 武汉桥苑新村 B 栋住宅楼桩基失稳的实例及教训        | (685) |
| 建筑工程地基基础质量事故实例及处理              | (694) |
| 钻孔灌注桩浸水事故分析及处理                 | (698) |
| 深梁在高层建筑基础结构转换中的应用              | (702) |
| 施工过程中要求增层不加大基础的解决方法            | (707) |
| 水溶性聚氨酯在地下室堵漏工程中的应用             | (710) |
| 关于已建建筑不均匀沉降与地基加固处理的研究及措施       | (712) |
| 人工挖孔桩在非匀质地基上不等高增层结构体系中的作用      | (717) |
| 用硅酸化法加固地基                      | (721) |
| 计算多层及单层砖房基础宽度的新方法              | (724) |
| 从月清园工程设计实例看基础选型与经济效益之间的关系      | (727) |
| 紧靠厂房基础的沉井设计与施工                 | (730) |
| 靖江市食品厂住宅楼地基基础设计                | (734) |
| 考虑房屋刚度与地基土共同作用的地基设计方法          | (737) |
| 回归分析在静载试验中的应用                  | (740) |
| 用混凝土灌注桩纠正基础不均匀沉降的做法            | (743) |
| 软土地基中某住宅楼的基础设计加固与沉降分析          | (745) |
| 对有防空洞的多层建筑的地基处理                | (749) |

---

# 一、桩基础

---





# 钻孔灌注桩工程技术与经济分析

中国土木工程学会 米祥友

中国建筑科学研究院 彭安宁

## 一、前言

钻孔灌注桩技术属于实用型的工程技术,它的发展与工程的实际需求密切相关。目前我国钻孔灌注桩工程技术水平仍十分落后,这是多种因素综合影响的结果。从钻孔灌注桩自身的特点来看,与在敞露状态下施工的结构相比,它属隐蔽工程,除了受到气温、晴雨、交通、水电、环境、设备、材料等因素的影响外,还要受土质、地下水和施工作业的不可见性等不利因素的制约。因此在相同的技术标准下,它的施工难度要大的多,这也是影响其质量的重要原因。

由于钻孔灌注桩施工质量问题造成的巨大损失和恶性事故屡见不鲜。从经济的角度看,由于施工质量差,导致承载力降低,于是就要增加桩数或桩长和桩径,造价自然就成倍增长。同时施工周期亦随之拖长,继而影响建筑物的投资收益。质量、数量、时间和效益的密切关系如同一复杂的多元非线性函数,而主元素就是质量。我国早在 50 年代就提出“百年大计、质量第一”,与此类似,国际上较为广泛的观点是“质量第一,永远第一”。

钻孔灌注桩工程虽然存在许多问题,但有些问题并非在目前条件下无法解决。只要重视,在现有设备、机具条件下,加强施工管理,加强施工人员技术培训,吸取国内外的先进技术,结合自己的条件进行必要的技术改进,就能大大提高钻孔灌注桩质量,进一步挖掘其承载能力的潜力,获得巨大的经济效益。

本文着重从工程实践的角度,以技术与经济的观点对钻孔灌注桩的主要问题进行探讨,文中所谈主要以实际工程为依据,力求能对从事钻孔灌注桩工程实践的技术人员有所裨益。

## 二、施工技术与施工管理

在中国,许多行业的设计水平都能达到甚至超过世界先进水准,然而由于加工制造技术的落后,性能优、品位高的产品只能呆在图纸上。钻孔灌注桩从设计的角度来讲,按照国家现行有关规范执行不存在什么困难,然而如同许多说起来容易、做起来难的事情一样,真正是设计容易,施工难。

钻孔灌注桩工程与其它工程一样,整个施工过程如同一条环链,找到最薄弱的环节,予以关注、予以加强,就能收到事半功倍的效果。某超高层建筑,设计期望单桩极限承载力能达到 13000kN,先施工了五根试桩,结果仅一根合格,四根未达到设计要求,最低的一根仅 2500kN 就破坏了。经过对原施工工艺进行认真分析,找出问题的关键所在,进行针对性改进,结果没花多大力气质量迅速提高,静载试验结果达到和超过设计要求,最高达 18500kN,仅沉降 4cm 多,卸荷回弹后,残余变形仅 1cm 多。还有一高层建筑,施工单位完成三根试桩,φ800mm 一根、

$\phi 1000\text{mm}$  二根, 桩端置于卵石层上, 静载试验全部未达到设计要求的  $7000\text{kN}$  的极限荷载, 于是有人建议改为  $\phi 1000\text{mm}$  的嵌岩桩。我们经过分析, 认为  $\phi 800\text{mm}$  桩, 桩端置于卵石层上, 完全可达到设计要求, 原试桩不合格的原因是施工工艺在某些重要环节存在问题。结果也是针对问题进行了改进, 即刻就见成效, 试桩结果达到  $7000\text{kN}$  仅沉降  $1\text{cm}$ , 因作工程桩用, 试验未继续进行。由于桩径由  $\phi 1000\text{mm}$  改为  $\phi 800\text{mm}$ , 桩端持力层由中风化岩层减至卵石层, 桩长减少  $8\text{m}$  左右, 节省了  $100$  多万元资金, 工时节省  $50\%$  以上。该工程的试桩  $Q-s$  曲线如图 1 所示。图中 NS1 和 NS2 为改进工艺后的桩。

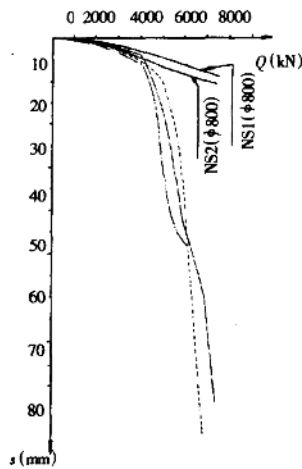


图 1  $Q-s$  曲线

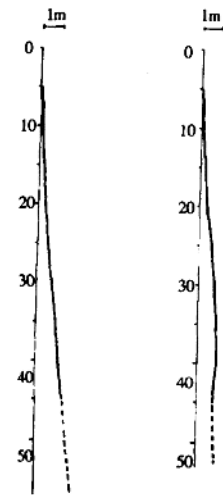


图 2 倾斜状态示意

成桩的最终目的是为了得到能充分发挥承载能力的桩, 下面对钻孔灌注桩施工中几个影响承载能力的环节作一剖析, 这些都是有通性的问题。

### (一) 施工技术

#### 1. 孔的垂直度

对钻孔灌注桩来说, 垂直度是保证承载能力的重要一环, 尤其对一柱一桩的工程更不能忽视。目前绝大多数施工现场不检查垂直度, 有的单位没有检查设备, 根本就不知如何测孔斜, 有的单位则因测孔斜费力费时不愿多此一举。某国家重点工程, 在施工过程中用孔斜仪对孔斜率进行抽检, 共抽检了  $130$  个孔, 其中超过规范要求的有  $38$  个, 占抽检数的  $29.2\%$ !

表 1 实测斜率

| 112# 桩    |           |           | 243# 桩    |           |           |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 深度<br>(m) | 斜率<br>(%) | 倾斜<br>(m) | 深度<br>(m) | 斜率<br>(%) | 倾斜<br>(m) |
| 0         | 0.00      | 0.000     | 0         | 0.00      | 0.000     |
| 5         | 0.00      | 0.000     | 5         | 0.00      | 0.000     |
| 10        | 0.63      | 0.063     | 10        | 0.57      | 0.057     |
| 15        | 1.33      | 0.200     | 15        | 1.80      | 0.270     |
| 20        | 1.50      | 0.300     | 20        | 1.99      | 0.398     |
| 25        | 1.79      | 0.448     | 25        | 2.66      | 0.665     |
| 30        | 2.37      | 0.711     | 30        | 2.79      | 0.837     |
| 35        | 2.53      | 0.886     | 35        | 2.85      | 0.998     |
| 40        | 2.71      | 1.084     | 40        | 2.63      | 1.052     |
| 45        | 2.94      | 1.323     | 45        | 1.93      | 0.869     |
| *56.2     | 2.94      | 1.652     | *52.3     | 1.93      | 1.009     |

注: 实际只测到  $45\text{m}$ , 孔底数据以  $45\text{m}$  推算。

规范规定孔斜率不许超过  $1\%$ , 而实际工程中检测结果有的高达  $2.9\%$ 。表 1 为某超高层工程嵌岩桩的两根超标实测数据, 图 2 为实际倾斜状态的示意图。该图使我们对孔斜超标有了直观的认识, 下面分析一下其不良后果。

(1) 由于斜率超标, 桩底倾斜值达  $1\text{m}$  以上, 与正常桩相比, 在垂直荷载作用下桩的受力状态被改变了, 偏压不但容易造成桩身抗压能力降低, 而且在桩身产生弯曲和剪切应力。在试桩时常常由于桩头接偏, 导致桩身压坏, 承载力达不到要求。

(2) 由于孔斜容易造成桩间偏位, 在上面的例子中, 桩头至地面约  $14\text{m}$ , 当斜率为  $1\%$  时桩头偏  $14\text{cm}$ , 斜率为  $2\%$  时桩头就偏出  $28\text{cm}$ , 再加上定位偏差, 桩头偏位则满足不了验收标准。桩位的改变不仅给承

台的设计、施工造成麻烦, 而且影响了上部结构的质量。

(3)由于孔斜,严重影响钢筋笼的安置质量,轻则导致钢筋笼在某些范围里失去保护层,重则导致钢筋笼难以设置到位,强行压入则不但破坏钢筋笼质量而且铲刮孔壁引起塌孔,使得沉渣堆积过厚。

(4)由于孔斜,在砂土类地层中孔壁极易坍塌,沉渣不易清尽。

(5)由于孔斜超标过大,当桩距较小时可能出现连体桩,如图3所示。

孔斜对工程桩和支护桩都能造成严重的质量事故,孔斜超标的发生率很高,应引起高度重视。下面介绍钻孔倾斜的原因和防治方法。

(1)钻机就位垂直度没校准,或虽校准,但固定不牢靠不平稳。每挪一次机,应一定将机座认真平整垫实,认真校核钻机的垂直度并固定稳妥。尤其要注意的是钻孔过程中,要时时注意校核钻杆的垂直度,发现偏斜及时纠正。

(2)地基不均匀、土层成斜状分布(特别是硬度大的土层如卵石层、岩层,某些地区岩层倾斜达 $60^\circ$ 。)和土层中夹有大的孤石或其它硬物,都是产生钻孔偏斜的原因。如图4示意。



图3 连体桩

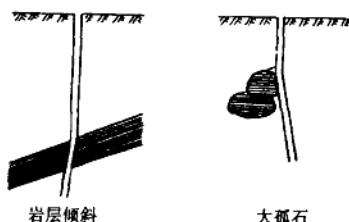


图4 地基造成孔斜示意

施工前必须对地层情况心中有数,针对各种不利因素事前准备好解决的策略。

在不均匀地层中钻机自重、钻杆刚度大,较为有利。在进入不均匀硬层、斜状岩层和碰到孤石时,钻速要打慢档。处理大孤石和坚硬岩石,采用自重大的复合式牙轮钻,或换用冲击钻都是有效的方法。图5所示的导正装置经工程实践应用,也是防止孔斜简单而又有效的方法。

钻孔过程中

操作人员认真负责地操作就可避免或减少孔斜超标,钻进过程中时时校核垂直度是重要的工序控制措施。钻孔完成后再发现孔斜,纠正起来则费时费力,由于修孔使桩的充盈系数增大,常达1.6以上。

## 2. 孔深

在发生恶性建筑工程事故的桩基工程中,孔深不到位的例子很多,关于孔深主要有以下几方面的问题。

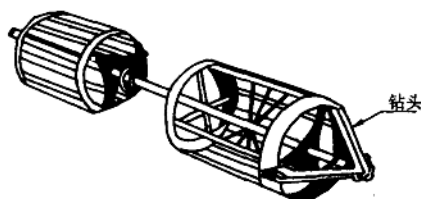


图5 导正器

(1)测量有误差达不到设计深度。一般施工队常用的测绳一经水泡就会出现收缩现象,质量不好的1m的收缩量可达1cm左右,测50m的孔就会产生0.5m左右的误差。更大的测量误差是由于测绳易断引起的,断了后以断处为起点继续使用,知道的人好办,不知道的人仍以零点计数,就产生了错误,往往能差数米。

采用细钢丝测绳能减少误测的错误,但也要当心数标松动错位。彻底避免误测的办法是在施工现场或附近地面上做上长度标记,每次终孔一定把测绳拿去核实。

(2)钻孔入岩深度达不到设计要求。这不仅是测量误差所造成,更多的是由于地层分布不均匀,如岩层分布成倾斜状或起伏变化剧烈导致判断失误。地质勘察孔的数量总是有限的,很难把整个施工场地的地质状况描述的十分清晰。一个场地内往往还会出现不同岩质的岩层,风化程度的判定也需要一定的地质学常识,因此入岩深度的控制应引起设计、施工和质检部门

的重视,不可掉以轻心。入岩深度的控制因钻孔工艺不同而有所区别,下面介绍的方法是行之有效的。

反循环工艺和冲击钻成孔的桩,可以采用岩样鉴别方法,由地质专业人员承担。钻孔入岩时取样鉴别是否达到设计岩层,一旦确定为达到,则由此标高继续下钻,达到嵌岩深度后再次取样鉴别确定是否为设计岩层,其条件均满足方可终孔。注意,有时岩层成交互状态,达到设计孔深,但却钻穿了硬质岩层,这时孔深的确定要与设计人员共同商酌。还需注意,每个桩的入岩和终孔的岩样最好留样备案,直至工程使用正常,沉降稳定。

正循环工艺成孔的桩由于取不到完整岩样,确定嵌岩深度则很困难。一般都是根据勘测资料估计孔深,钻孔时再根据钻进速度的变化判断是否入岩。钻速的变化人为因素多,可靠性不高。较可靠的办法是认真分析钻探资料,根据各钻孔土层分布情况综合评判场地地质概况,然后作出岩层分布的等高线图,按图确定成孔深度。因本法有一定的随机性,应适当加大安全系数,有时根据需要在适当补充钻探孔,在某些缺少钻孔的控制区域,也可用钻机换取芯钻头直接取岩芯。

以上介绍的方法都在超高层建筑钻孔灌注桩的施工中采用过,取得很好的效果。正循环工艺采用的方法难度大,此法在一48层建筑桩基的施工中由于各方重视,取得很好效果,现建筑物又增加4层。

3. 孔径

一般第四纪晚更新世( $Q_3$ )及其以前沉积的粘性土和粉土工程性能较好,在这类土中成孔如不人为缩小钻头尺寸,一般保证设计孔径无大的困难。在湖、塘、沟、谷与河漫滩地段新近沉积的粘性土和粉土中钻孔则容易出现缩孔现象。尤其要重视的是液性指数  $I_L > 0.75$  呈软塑状态和流塑状态的粘性土,而在  $I_L > 1.0$  呈流塑状态的淤泥质软土层,成孔缩孔现象就不可避免地要出现,孔径的检测与控制更是十分必要。与孔径有关的质量问题有:

(1)由于孔径小于规范要求,桩的截面被缩小,承载能力降低,实际上是降低了桩的安全系数。

(2)在软弱土层孔径达不到要求往往就是缩孔的症状,如不采取措施容易出现桩身缩颈现象,造成严重的工程隐患。软弱土层一般都在地层上部,因此缩颈现象也发生在桩的上段,而桩的内力也是上段大,容易造成桩身抗压强度不够而破坏,如图6所示。

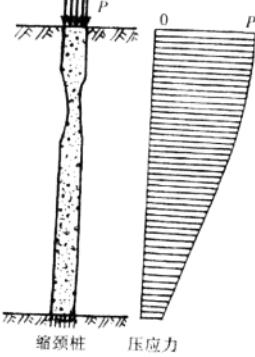


图6 缩颈示意图



图7 露筋桩

(3)由于孔径达不到要求,导致钢筋笼无保护层,桩的抗压抗弯能力削弱或丧失。如图7

所示。

在含有流塑状态土层的施工现场检测, 缩孔率几乎 100%! 为此, 不得不反复扫孔, 常常是刚扫完时合格, 待到下钢筋笼时又不合格, 对质量和工时影响极大, 有的工程根本就不检查孔径, 无疑是造成质量事故或隐患的重要因素。

防治方法最主要的手段就是提高泥浆质量, 加强泥浆管理, 增大泥浆比重和粘性及稠度较为有效。钻头直径应适当加大, 也可采用处理孔斜的导正器法(图 5), 在导正器上也焊一定数量的合金刀片, 在钻进或起钻的过程中起到扫孔的作用。此外在易于产生缩孔现象的土层中施工, 成孔后各后续工序争分夺秒, 减少空孔时间是非常重要、非常有效的措施。总而言之, 在软弱土层上施工钻孔灌注桩应引起各有关方面的重视, 即使工业发达国家对此亦十分头痛, 在这类土中, 法国的统计数据表明, 桩的不合格率达 10% 至 14.5%。

#### 4. 泥浆

泥浆的作用主要是在孔壁形成一层致密的护壁泥膜, 隔断孔内外水的渗流, 给孔壁施加侧向压力, 防止塌孔、缩孔, 泥浆还用来悬浮钻渣和润滑钻头。在钻孔灌注桩的施工中, 无论对于成孔质量还是最终对桩的承载能力的发挥, 泥浆质量都是相当重要的因素。目前桩基施工队伍绝大多数缺乏对泥浆质量和泥浆管理的重视, 甚至连必要的处理也没有, 更不要说设专人管理了。在一些高层甚至 30 层以上的超高层建筑钻孔灌注桩施工现场, 可以看到泥浆池不合要求, 没有沉淀池, 泥浆不作处理反复使用, 泥浆稠度大, 含砂量大, 以至于流动困难, 不得不用人力赶动。由于泥浆反复使用, 与灌注混凝土的水泥浆混为一体, 连颜色都变成水泥浆色了, 这样的泥浆反映出施工的不严肃不认真, 其后果是:

(1) 泥浆比重大, 产生的阻力亦大, 增加钻机负荷, 降低钻孔效率。有时泥浆过稠, 削出的泥块难以成浆, 累积过多时, 甚至能使电动机超载而损坏, 或造成卡钻等事故。根据国外资料介绍, 泥浆比重大于 1.08 时, 钻孔效率就会降低。由于出孔的携渣泥浆未经处理又返回孔内, 造成钻头重复破碎, 也是钻孔效率低的重要因素。

(2) 由于泥浆质量差, 形成不了护壁泥膜, 或形成的泥皮粘附力差, 易于脱落, 导致孔壁稳定性差, 在砂性土地层易于塌壁, 在流塑状粘土层则易于缩孔。

(3) 由于泥浆稠度大、比重大、含砂率大, 形成的泥皮质量差、厚度大, 大大降低桩的侧摩阻力。图 8 所示为某工程试桩所做的泥皮厚度测定, 试桩结果表明, 泥浆质量差, 泥皮厚度大于 5mm 的试桩极限承载力比泥浆质量好、泥皮厚度小于 2mm 的试桩少 6500kN, 沉降大 12mm。

(4) 泥浆质量对钢筋混凝土桩身的影响乃至对承载力的影响尤为关键。稠浆在钢筋笼钢筋上沉积粘附, 导致钢筋与混凝土握裹力降低。泥浆比重过大, 使得混凝土水下灌注阻力增大, 降低混凝土的流动半径, 使混凝土骨料大部分堆积在桩芯部位, 而钢筋笼外几乎无骨料, 于是不仅桩身质量不好, 而且桩的侧摩阻力难以发挥。有的工程计算承载力 14000kN 以上, 静载试验 5000kN 不到就破坏, 其中就有泥浆的影响。

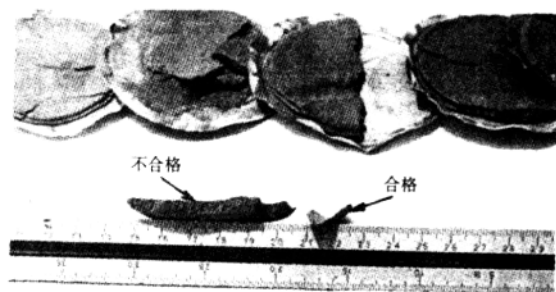


图 8 泥皮厚度

在空气中坍落度为 21cm, 扩散直径为 38cm 的混凝土, 在水中坍落度下降为 16.5cm, 扩散

直径为 30.5cm,而在比重为 1.2 的泥浆中,坍落度进一步下降为 14cm,扩散直径只有 27cm。

综上所述,泥浆质量、泥浆管理决不是小问题,施工中应按要求严格控制泥浆。

5. 沉渣与沉淤

一般都是把沉渣与沉淤混为一谈,凡是孔底的沉积物统称沉渣,实际上是有区别的。沉渣是钻孔过程中钻机切削和孔壁塌落的岩土,主要是砂、砾石和碎岩屑等,而沉淤则是比重重大、稠度大的劣质泥浆由于空孔时间过长沉淀而成的流塑状混合物,沉淤的厚度往往大于沉渣,沉渣与沉淤的存在都在桩底形成软弱隔层,导致端承力散失。

沉淤的控制主要是提高泥浆质量和减少空孔时间,许多工程空孔时间长达 20 小时甚至数日,沉淤不可避免增厚。

沉渣的清除采用反循环成孔工艺能达到较好的效果,反循环泥浆的上返速度能达到 2~3m/s,是正循环的 40 倍以上,故携渣能力强。

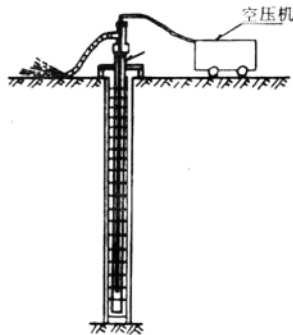


图 9 气举反循环示意

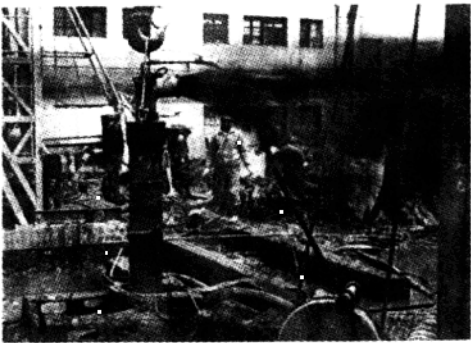


图 10 气举反循环应用

采用正循环成孔工艺,则不但清渣时间长而且效果差,尤其对粗颗粒的砂、砾石和岩石层,更是难清理得很干净。针对正循环成孔工艺在清孔方面的弱点,可采用正循环成孔,气举反循环清孔的工艺。此法现场只需增加一台 6m<sup>3</sup> 的空压机即可,费用不大,简便易行,效果良好。图 9 为气举反循环清孔工艺示意。图 10 为工程实际应用,不难看出,泥浆的返冲力是很大的。采用该法,关键要控制好孔内泥浆面的降落,降落快、落差大则易塌孔,因此补浆要跟上,而且抽渣时间要短。实践证明,应用得当,桩的承载力可大幅度提高。

无论采用反循环还是正循环成孔工艺,都应重视混凝土灌注前的灌前清孔。当灌注混凝土的工作准备停当之后,采用反循环方法抽吸两分钟左右,然后在 15 分钟内灌完第一斗混凝土。此法能最大限度地降低孔底沉渣和沉淤含量,确保端承力的发挥。灌注前抽吸两分钟左右,一方面抽出一定的沉渣,另一方面泥浆的抽吸作用导致一部分沉渣、沉淤浮起来,而且短时间内不会沉淀下去。此时灌注混凝土,由于混凝土坠落的巨大冲击力还能溅除最后残余的部分沉渣与沉淤,因此基本上能将孔底沉渣清除干净。实际工程的清孔工作应按图 11 的步骤进行。

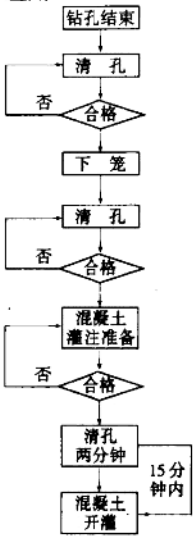


图 11 清孔步骤



## 6. 混凝土灌注

桩基的整个施工过程就是为了一个最终目的,即满足设计要求,达到质量标准。混凝土灌注是最关键的一道工序,水下混凝土灌注技术不过硬,可使前面各工序所做的工作毁于一旦,即使蒙混过关,也是先天不足后患无穷。由于水下混凝土灌注技术掌握不好而造成的质量事故和问题占有相当大的比重。

首先必须把好混凝土质量关,严格按设计强度配制混凝土,经检测部门确定后不得随意改变。许多施工单位都是现场搅拌混凝土,其常见问题是:①砂石的含泥量偏大;②配料的计量不准确;③水泥不易保管,容易受潮,如图 12 所示。

1994 年某市突击抽查 106 批次水泥,其合格率仅为 23.58%。石子的粒径也是必须严格控制的问题,与钢筋笼的配筋间距密切相关,粒径大,混凝土骨料不易穿过钢筋笼至孔壁,造成摩阻力损失和桩断面强度降低。

水下混凝土灌注由于阻力不易流畅灌入,施工现场常见随意加大水灰比,增大塌落度便于混凝土灌注现象,结果是混凝土的强度等级严重降低。质检和设计人员应加强现场质量控制,决不能简单地相信试块的试验结果。有的工程桩,拿根木棍就能把桩身混凝土捣碎,上部结构还未施工就成了危房!



图 12 现场受潮水泥

在保证混凝土质量合格的前提下,导管法水下灌注混凝土质量难以控制的主要原因是:

(1)不能像上部结构施工那样逐层震捣。

(2)由于导管埋在泥浆和混凝土中,混凝土的灌入阻力是相当大的,如图 13 所示。灌入阻力可按式(1)估算:

$$R = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) (l_1 \gamma_w + l_2 \gamma_h) \quad (1)$$

式中  $D$ ——桩直径(m);

$d$ ——导管直径(m);

$\gamma_w$ ——泥浆容重( $\text{kN}/\text{m}^3$ );

$\gamma_h$ ——混凝土容重( $\text{kN}/\text{m}^3$ );

$l_1, l_2$ ——如图 13 所示。

假设桩径 1.0m,导管直径 0.25m,  $l_1 = 30.0\text{m}$ ,  $l_2 = 3.0\text{m}$ ,  $\gamma_h = 23\text{kN}/\text{m}^3$ ,  $\gamma_w = 12.5\text{kN}/\text{m}^3$ ,可求得混凝土灌入阻力  $R = 326.92\text{kN}$ 。

要克服如此巨大的灌入阻力,保证混凝土桩身质量,必须有相当大的冲击力,冲击力越大,完成每一斗混凝土灌注的时间越短,混凝土桩身越均匀。由于混凝土是由水泥、砂、石子配制的混合料,不同材料、不同粒径,

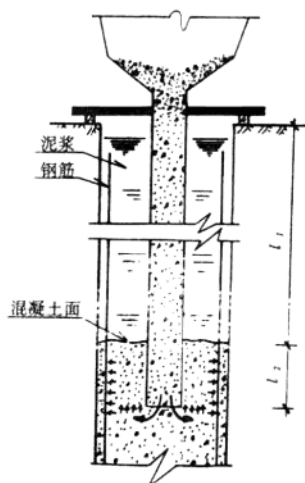


图 13 导管法水下混凝土灌注

则摩擦系数不一样,因此仅靠静力平衡产生的超压力缓慢流淌,则易造成混凝土粗骨料在桩芯堆积,随半径增大而递减,如图 14 所示。桩身不匀,影响桩的抗压强度。

目前最为常见的水下混凝土灌注方法如图 15 所示。将大斗管口与导管用螺扣连为一体,除第一斗用隔水栓外,随后大斗与导管保持连通。先将料斗装满料,吊至大斗上,打开出料口,混凝土落进大斗并顺导管落下,此时混凝土料一般堆积于导管直至大斗中。放下料斗,再将起重钩勾住大斗,起重杆不断上升下降往复运动,直至大斗和导管中的混凝土料落下去,有时往复运动几十次,长达数十分钟混凝土料才落下。此法的缺点是:

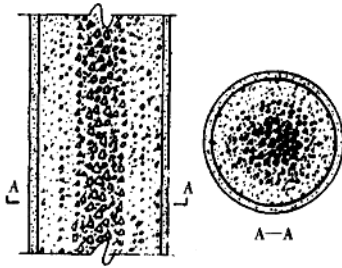


图 14 不均匀桩身

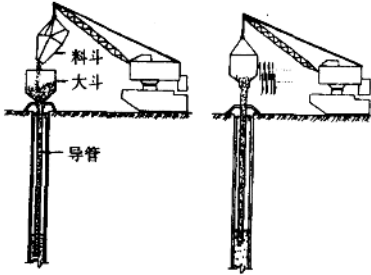


图 15 常见混凝土水下灌注法

(1)能量损失大、冲量小,料斗在向大斗投料过程中,混凝土料落在大斗内,绝大多数势能在撞击大斗壁的碰撞中损耗掉,混凝土料落入导管中不连续,形不成较大的冲击能量。

(2)混凝土料绝大多数要经过撞击大斗壁,反弹再落入导管,这就容易造成混凝土离析,进而又易造成堵管。

(3)吊臂上下移动速度慢,产生不了大的加速度,因此混凝土料的下落没有足够的超压,造成混凝土料在导管附近堆积成钟形断面,如图 16 所示。由于不能将隔浆层水平顶升,在钟形断面塌落时容易裹入泥浆,造成夹泥芯。

(4)由于导管上下移动次数过于频繁,使得泥浆不断沿导管壁渗入混凝土中,影响桩身混凝土质量。

(5)由于冲击能量小,没有足够的力量将混凝土向四周挤压扩散,混凝土到孔壁已成强弩之末,由于侧压力几乎丧失殆尽,桩的摩阻力严重受损。此外,还容易产生如图 14 所示不均匀的桩身。

鉴于以上缺点,我们倡导使用大体积混凝土冲击灌注法,该法具有能量大,冲击力强,灌注时间短,质量好的特点。

所谓大体积混凝土冲击灌注法就是如桩的初斗混凝土灌注一样,每一次灌注都是将 2 至 3 方混凝土在大斗中积蓄够量,然后打开活门一次连续冲击下去。此法大斗出料口与导管不采用螺扣连接,而是插入导管中,出料口加上一活门,打开活门混凝土料才能落入导管中,大斗与导管的连接则采用钢丝绳。图 17 为某超高

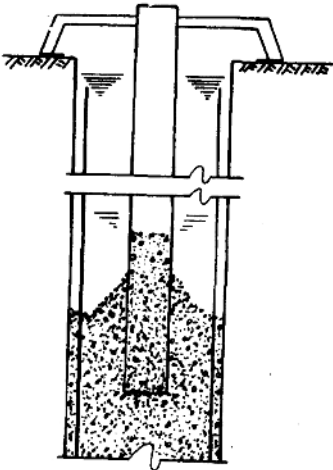


图 16 混凝土钟形堆积