

建筑工程新技术丛书

1

地基基础工程 基坑支护工程

主 编 林寿 杨嗣信

副主编 余志成 侯君伟 高玉亭 吴琰

中国建筑工程出版社

建筑工程新技术丛书

1

地基基础工程 基坑支护工程

主 编 林 寿 杨嗣信

副主编 余志成 侯君伟



璁

中国建筑工程出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

地基基础工程 基坑支护工程/林寿, 杨嗣信主编. —北京:
中国建筑工业出版社, 2009
(建筑工程新技术丛书 1)
ISBN 978-7-112-11141-1

I. 地… II. ①林…②杨… III. ①地基-基础(工程)-工
程施工-新技术应用②基坑-坑壁支撑-工程施工-新技术应用
IV. TU753-39 TU46-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 119350 号

建筑工程新技术丛书

1

**地基基础工程
基坑支护工程**

主 编 林 寿 杨嗣信

副主编 余志成 侯君伟 高玉亭 吴 璠

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京密东印刷有限公司印刷

*

开本: 850×1168 毫米 1/32 印张: 5 $\frac{1}{2}$ 字数: 162 千字

2009 年 10 月第一版 2009 年 10 月第一次印刷

定价: 15.00 元

ISBN 978-7-112-11141-1

(18391)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本书是《建筑工程新技术丛书》之一，以地基基础工程和基坑支护工程为专题。主要介绍了近些年，在建筑工程施工领域所采用的新技术、新工艺和新材料等，旨在为新技术的推广应用，起到促进作用。

* * *

责任编辑：周世明

责任设计：赵明霞

责任校对：王金珠 陈晶晶

《建筑工程新技术丛书》 编写委员会

组织编写单位：

北京市城建科技促进会

北京双圆工程咨询监理有限公司

主 编：林 寿 杨嗣信

副主编：余志成 侯君伟 高玉亭 吴 璉

编 委（按姓氏笔划） 王广鼎 王庆生 王建民

毛凤林 安 民 孙競立 杨嗣信 余志成

肖景贵 吴 璉 张玉明 林 寿 周与诚

侯君伟 赵玉章 高玉亭 陶利兵 程 峰

路克宽 薛 发

本册编写人员：余志成 侯君伟 高玉亭 陶利兵

马 锴 张运凯 王 维 潘江洋

刘文航 张 婷 陈 科 于益生

邵 茂

建设部于 1994 年首次颁发了《关于建筑业 1994、1995 年和“九五”期间重点推广应用 10 项新技术的通知》，对促进我国建筑技术的发展起到了积极的作用。随后，于 1998 年根据我国建筑技术的发展新情况，又颁发了《关于建筑业进一步推广应用 10 项新技术的通知》，进一步推动了我国建筑新技术的发展。为此，我们于 2003 年在系统总结经验的基础上，组织编写了《建筑业重点推广新技术应用手册》，供广大读者阅读参考。

随着我国建筑技术水平的不断提高，建设部于 2004 年对 10 项新技术进一步进行了修订，并于 2005 年又颁发了《关于进一步做好建筑业 10 项新技术推广应用的通知》，将 10 项新技术的范围扩大到铁路、交通、水利等土木工程。为此，我们根据 21 世纪以来新颁布的标准和建筑技术发展的新成果，以房屋建筑为主，突出施工新技术以及有关建筑节能技术，组织摘选，编写了本系列丛书。

本书共分 6 册，第一册地基基础工程和基坑支护工程；第二册新型模板、高效钢筋、钢筋连接及高性能混凝土应用技术；第三册预应力技术；第四册设备安装工程应用技术；第五册围护结构节能技术及新型空调和采暖技术；第六册钢结构工程。

本丛书仅摘选了有关房屋建筑施工中一些新技术内容，在编写中难免存在挂一漏万和错误之处，恳请批评指正。

编 者

目

录

1. 地基基础工程	1
1.1 水泥粉煤灰碎石桩 (CFG 桩) 复合地基技术	1
1.1.1 概况	1
1.1.2 有关技术规定	2
1.1.3 CFG 桩复合地基的设计计算	3
1.1.4 施工工艺	6
1.1.5 质量要求	9
1.1.6 施工注意事项	10
1.2 夯实水泥土桩复合地基技术	10
1.2.1 概况	10
1.2.2 施工机具	11
1.2.3 施工工艺	12
1.2.4 质量要求	13
1.2.5 施工注意事项	14
2. 基坑支护工程	15
2.1 预应力锚杆施工技术	15
2.1.1 锚杆的发展与应用	15
2.1.2 锚杆的构造及类型	15
2.1.3 锚杆的抗拔作用	18
2.1.4 锚杆承载力	24
2.1.5 锚杆设计	29
2.1.6 锚杆稳定性计算	31
2.1.7 锚杆试验	35

2.1.8	锚杆施工	36
2.1.9	国内锚杆技术的发展	43
2.1.10	工程实例	48
2.2	土钉墙支护和复合土钉墙支护技术	54
2.2.1	土钉墙支护技术	54
2.2.2	复合土钉墙支护技术	80
2.3	水泥土桩墙支护技术	95
2.3.1	材料与机具	96
2.3.2	施工工艺	97
2.3.3	质量要求	101
2.4	地下连续墙施工技术	103
2.4.1	材料和机具	104
2.4.2	施工接头构造	124
2.4.3	施工技术	127
2.4.4	质量检验标准	143
2.4.5	工程实例	143
【例 1】	国家大剧院超大超深高承压基坑“隔、降、疏”综合地下水位控制措施的应用	143
【例 2】	国家大剧院工程地下连续墙施工技术	154
参考文献		170

1. 地基基础工程

1.1 水泥粉煤灰碎石桩(CFG 桩)复合地基技术

1.1.1 概况

水泥粉煤灰碎石桩 (CFG 桩) 是在碎石桩的基础上, 掺入适量石屑 (或砂)、粉煤灰和少量水泥, 加水拌合后制成的一种具有一定强度的桩体。通过在基础和桩顶之间设置一定厚度的褥垫层 (图 1-1-1), 保证桩、土共同承担荷载, 使桩、桩间土和褥垫层一起构成复合地基。必须指出, 褥垫层是刚性桩复合地基的重要组成部分, 是保证桩、桩间土共同承担荷载的必要条件。

CFG 桩复合地基成套技术是中国首创的地基处理技术。

CFG 桩的主要施工工艺, 是长螺旋钻钻孔、管内泵压灌注成桩, 属排土成桩工艺, 对地基的加固效应只有置换作用。该工艺具有穿透能力强, 无泥浆污染、无振动、低噪声, 适用地质条件广、施工效率高及质量容易控制等特点。与混凝土桩基相比, 桩身不配筋并可以充分发挥桩间土的承载能力, 因此处理费用远低于其他桩基础, 其经济效益非常显著。该技术已在全国大部分省、市、自治区广泛应用, 目前已成为北京及周边地区应用最普遍的地基处理技术。

对地基土是松散的饱和粉细砂、粉土, 以消除液化和提高地基承载力为目的, 应选择振动沉管成桩, 属挤土成桩工艺, 对桩间土具有挤 (振) 密效应。此时复合地基的加固效果除了置换作用以外, 尚有一定的挤密作用。但该工艺难以穿透较厚的硬土层、砂层和卵石层等。在饱和黏性土中成桩, 会造成地表隆起, 挤断已成桩, 且振动、噪声污染严重, 在城市居民区施工受到限制。

1. 地基基础工程

1.1.2 有关技术规定

1. CFG 桩复合地基适用于处理黏性土、粉土、砂土和已自重固结的素填土等地基。对淤泥质土应按地区经验或通过现场试验确定其适用性。

CFG 桩应选择承载力相对较高的土层作为桩端持力层。

CFG 桩复合地基设计时应进行地基变形验算。

2. CFG 桩可只在基础范围内布置，桩径宜取 350~600mm。

3. 褥垫层的厚度 150~300mm，当桩径大或桩距大时，褥垫层厚度宜取高值。材料宜用中砂、粗砂、碎石或级配砂石等，不宜选用卵石，最大粒径不宜大于 30mm。

4. 桩间距应按设计要求的复合地基承载力、土性、施工工艺等确定，宜取 3~5 倍桩径。

5. CFG 桩地基竣工验收时，承载力检验应采用复合地基载荷试验。

进行复合地基载荷试验时，必须保证桩体强度，满足试验要求。进行单桩载荷试验时，为防止试验中桩头被压碎，宜对桩头进行加固。

复合地基载荷试验所用载荷板的面积应与受检测桩所承担的处理面积相同。

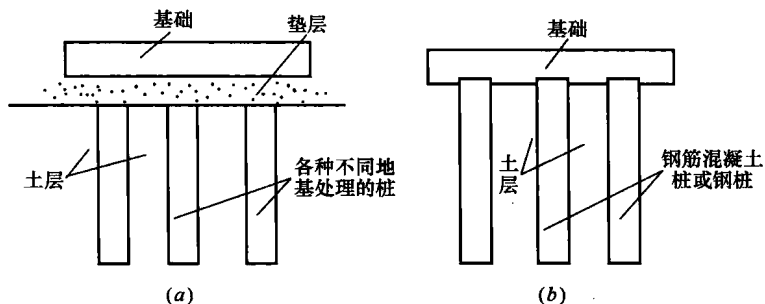


图 1-1-1 复合地基与桩基础示意图

(a) 复合地基；(b) 桩基础

1.1.3 CFG 桩复合地基的设计计算

1. 承载力计算

CFG 桩复合地基的计算在国家行业标准《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79—2002) 规范中尚没有规定, 但经多幢工程实践经验提出下列公式进行估算:

$$f_{sp,k} = m \frac{R_k}{A_p} + \alpha \cdot \beta (1 - m) f_k \quad (1-1-1)$$

$$\text{或} \quad f_{sp,k} = [1 + m(n - 1)] \alpha \cdot \beta f_k \quad (1-1-2)$$

式中 $f_{sp,k}$ ——复合地基承载力标准值 (kPa);

m ——面积置换率;

n ——桩土应力比;

A_p ——桩的断面面积 (m^2);

f_k ——天然地基承载力标准值 (kPa);

α ——桩间土强度提高系数, $\alpha = f_{s,k} / f_k$;

$f_{s,k}$ ——加固后桩间土承载力标准值 (kPa);

β ——桩间土强度发挥度, 对一般工程 $\beta = 0.9 \sim 1.0$, 对重要工程或对变形要求高的工程 $\beta = 0.75 \sim 1.0$;

R_k ——自由单桩承载力标准值 (kN)。

R_k 可按下列式计算, 取其较小者:

$$R_k = \eta R_{28} \cdot A_p \quad (1-1-3)$$

$$R_k = (U_p \sum q_{si} h_i + q_p \cdot A_p) / K \quad (1-1-4)$$

式中 η ——系数取 $0.30 \sim 0.33$;

R_{28} ——桩体 28d 立方体 ($15\text{cm} \times 15\text{cm} \times 15\text{cm}$) 试块强度;

U_p ——桩的周长 (m);

q_{si} ——第 i 层土的极限侧阻力, 按桩基规范取值 (kPa);

h_i ——第 i 层土厚度 (m);

q_p ——与土性有关的极限端阻力, 按桩基技术规范取值 (kPa);

K ——安全系数, $K = 1.5 \sim 1.75$ 。

2. 沉降计算

沉降计算理论和实践正处在不断发展之中, 相比之下复合地基沉降计算远不如承载力计算研究更深入更成熟。目前较统一计算将总沉降量分为加固区沉降量 s_1 和压缩层范围内下卧层的沉降量 s_2 , 分别计算再求和。

加固区 s_1 的沉降可以以加固区桩间土为计算对象, 也可以把桩作为计算对象, 因为复合地基的基本假定是桩和桩间土协调变形, 即变形相等。

CFG 桩总的沉降量小, L/B 越大 (L 指桩长, B 指基础宽度), 桩数越少, 下卧层压缩量占总沉降量的百分比越少, 因为起控制作用的是加固区的沉降量 s_1 。

当荷载不超过复合地基承载力时, 可按下列式计算复合地基沉降

$$s = s_1 + s_2 = \psi \left(\sum_{i=1}^{n_1} \frac{\Delta \sigma_{soi}}{E_{si}} h_i + \sum_{j=1}^{n_2} \frac{\Delta p_{oj}}{E_{sj}} h_j \right) \quad (1-1-5)$$

式中 n_1 ——加固区分层数;

n_2 ——下卧层分层数;

$\Delta \sigma_{soi}$ ——桩间土应力 σ_{so} 在加固区第 i 层土产生的平均附加应力 (kPa);

Δp_{oj} ——荷载 p_o 在下卧第 j 层产生的平均附加应力 (kPa);

E_{si} ——加固区第 i 层的压缩模量 (MPa);

E_{sj} ——下卧层第 j 层土的压缩模量 (MPa);

h_i 、 h_j ——分别为加固区和下卧层, 第 i 层和第 j 层的分层厚度 (m);

ψ ——沉降计算经验系数, 参照《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002) 表 5.3.5 取值。

第二种沉降计算也称复合模量法。

$$s = s_1 + s_2 = \psi \left(\sum_{i=1}^{n_1} \frac{\Delta p_{oi}}{\xi E_{si}} h_i + \sum_{i=n_1+1}^{n_2} \frac{\Delta p_{oi}}{E_{si}} h_i \right) \quad (1-1-6)$$

式中 n_1 ——加固区分层数；

n_2 ——总的分层数；

Δp_{oi} ——荷载 p_0 在第 i 层土产生的平均附加应力 (kPa)；

E_{si} ——第 i 层土的压缩模量；

h_i ——第 i 层土分层厚度 (m)；

ζ ——模量提高系数， $\zeta = \alpha [1 + m(n-1)]$ ，其中 m 为置换率， n 为桩土应力比， α 为桩间土提高系数；

ψ ——沉降计算经验系数与公式 (1-1-5) 相同。

上式中 n 为桩土应力比，可按

$$n = \frac{\sigma_p}{\sigma_s}$$

式中 σ_p ——桩顶应力 (kPa)；

σ_s ——桩间土应力 (kPa)。

3. 设计参数

CFG 桩复合地基有 5 个设计参数，分别述之如下：

(1) 桩径 d 及施工工法：一般桩径 d 设计为 350~400mm，则可用 $\phi 377$ 振动沉管桩施工工法。

如 d 设计大于 400mm 时，则可采用长螺旋钻孔管内泵压 CFG 桩工法。

(2) 桩距 s ：一般桩距 $s = 3 \sim 6$ 倍桩径 d ，桩距大小取决于设计要求的复合地基承载力、土质、施工机具等。因此 s 的大小应综合考虑。

(3) 桩长：由公式 (1-1-2) 可解出桩间土强度发挥为 β 时的桩土应力比 n

$$n = \left(\frac{f_{sp,k}}{\alpha \beta f_k} - 1 \right) / m + 1 \quad (1-1-7)$$

上式 $f_{sp,k}$ (设计复合地基承载力)、 f_k (天然地基承载力) 为已知； d 及 s 确定后， m 可求出， α 及 β 在公式 (1-1-2) 已阐明，故 n 可以算出。

桩预应力 $\sigma_p = n \alpha \beta f_k$

1. 地基基础工程

$$\text{桩顶受的集中力 } P_0 = n\alpha\beta f_k A_p \quad (1-1-8)$$

由 (1-1-8) 式求得的 P_0 和地基土性质, 参照相关桩周侧阻力和端承力, 可预估单桩承载力为 P_0 时的桩长 L 。

(4) 桩体强度: 原则上桩体配合比按桩体强度控制, 最低强度按 3 倍桩顶应力确定, 即 $f_{28} > 3\sigma_p$ 。

(5) 褥垫层: 褥垫层厚度一般取 10~30cm, 当桩距大时并考虑土性, 褥垫层厚度还可适当加大。

褥垫层材料可用碎石、级配砂石、粗砂或中砂。

1.1.4 施工工艺

1. 材料要求

(1) 水泥

宜选用 P.O 42.5 普通硅酸盐水泥。使用前送验复试。

(2) 碎石

用粒径为 20~50mm, 松散密度为 1.39t/m^3 , 杂质含量小于 5%。

(3) 石屑或砂

石屑粒径为 2.5~10.0mm, 松散密度为 1.47t/m^3 , 杂质含量小于 5%。

砂为中砂或粗砂, 含泥量不大于 5%。

(4) 粉煤灰

宜选用 II 级粉煤灰细度分别不大于 12% 和 20%。

(5) 外加剂

多为泵送剂、早强剂、减水剂等, 掺量通过试验确定。

2. 配合比

根据拟加固场地的土质情况及加固后要求达到的承载力而定。水泥、粉煤灰、碎石混合料按抗压强度相当于 C7~C1.2 低强度等级混凝土, 密度大于 2000kg/m^3 。掺加最佳石屑率 (石屑率量与碎石和砂总重量之比) 约为 25% 左右情况下, 当 W/C (水与水泥用量之比) 为 1.01~1.47, F/C (粉煤灰与水泥重量

之比) 为 1.02~1.65, 混凝土抗压强度约为 8.8~14.2MPa。

3. 主要施工机具

桩成孔、灌注一般采用振动式沉管打桩机架, 配 DZJ90 型变矩式振动锤。亦可采用长螺旋钻机。此外配备混凝土搅拌机、混凝土输送泵和连接混凝土输送泵与钻机的钢管、高强柔性管以及长短棒式振捣器、机动翻斗车、小推车等。

4. 施工要点

(1) 按 CFG 桩位平面图测设桩位轴线。基坑内施工时, 边坡 (离桩边) 应外扩不小于 1.0m, 以利边角桩施工。

(2) 采用振动式沉管打桩机施工

一般在有房渣土情况下采用。

1) 桩施工程序为: 桩机就位→沉管至设计深度→停振下料→振动捣实后拔管→留振→振动拔管、复打。应考虑隔排隔桩跳打, 新打桩与已打桩间隔时间不应少于 7d。

桩施工工艺流程, 见图 1-1-2。

2) 桩机就位须平整、稳固, 沉管与地面保持垂直。如带预

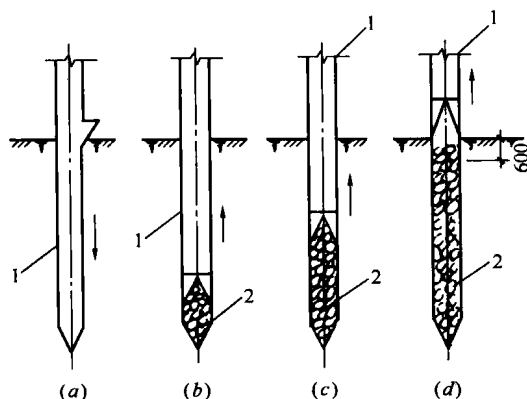


图 1-1-2 水泥粉煤灰碎石桩工艺流程

(a) 打入管桩; (b)、(c) 灌水泥
粉煤灰碎石、振动、拔管; (d) 成桩
1—桩管; 2—水泥粉煤灰碎石桩

1. 地基基础工程

制混凝土桩尖，需埋入地面以下 300mm。

3) 混合料应按设计配合比配制，投入搅拌机加水拌合，搅拌时间不少于 2min，加水量由混合料坍落度控制，一般坍落度为 30~50mm；成桩后桩顶浮浆厚度一般不超过 200mm。

4) 在沉管过程中用料斗向桩管内投料，待沉管至设计标高后，须继续尽快投料，直至混合料与钢管上部投料口齐平。如上料量不够，可在拔管过程中继续投料，以保证成桩标高及密实度的要求。

5) 当混合料加至钢管投料口齐平后，沉管在原地留振 10s 左右，即可边振动边拔管，拔管速度控制在 1.2~1.5m/min 左右，每提升 1.5~2.0m，留振 20s。桩管拔出地面确认成桩符合设计要求后，用粒状材料或黏土封顶，移机进行下一根桩施工。

6) 为使桩与桩间土更好的共同工作，在基础下宜铺一层 150~300mm 厚的碎石或灰土垫层。

(3) 采用长螺旋钻机施工

1) 工艺流程：桩机就位→钻孔→混凝土配制、运送及泵送→压灌混凝土成桩→成桩验收。

2) 桩机就位时，必须保持平稳，不发生倾斜、移位。为准确控制造孔深度，应在桩架上或桩管上作出控制的标尺，以便于在施工中观测、记录。

3) 应根据桩长来安装钻塔及钻杆。每施工 2~3 根桩后，应对钻杆连接处进行紧固。

4) 钻进速度应根据土层情况确定：杂填土、黏性土、砂卵石层为 0.2~0.5m/min；素填土、黏性土、粉土、砂层为 1.0~1.5m/min。

钻到桩底设计标高，验孔后，进行压灌混凝土。

5) 混凝土泵位置应与钻机的施工顺序相配合，两者距离一般在 60m 以内为宜，尽量减少弯道。

6) 泵送前采用水泥砂浆进行润湿，但不得倒入泵孔内。泵送时，应保持料斗内混凝土的高度，不得低于 400mm，以防吸

进空气造成堵管。

当钻机移位时,地泵料斗内混凝土应连续搅拌。

混凝土的原材料、配合比强度等级应符合设计要求。

7) 成桩施工各工序应连续进行。

8) 钻杆的提升速度应与混凝土泵送量相一致,其充盈系数不小于 1.0。应通过试桩确定提升速度及何时停止泵送。遇到饱和砂土或饱和粉土层,不得停泵待料,并减慢提升速度。成桩过程中经常检查排气阀是否工作正常。

9) 成桩后必要时,应对桩顶 3~5m 范围内进行振捣。

1.1.5 质量要求

1. 水泥、粉煤灰、砂(石屑)及碎石等原材料应符合设计要求。

2. 施工中应检查桩身混合料的配合比、坍落度和提拔钻杆速度(或提拔套管速度)、成孔深度、混合料灌入量等。

3. 施工结束后,应对桩顶标高、桩位、桩体质量、地基承载力以及褥垫层的质量做检查。

承载力检验数量为总数的 0.5%~1.0%,但不应少于 3 处,有单桩强度检验要求时,数量为总数的 0.5%~1.0%,但不少于 3 处。

4. CFG 桩复合地基质量检验标准,见表 1-1-1。

水泥粉煤灰碎石桩复合地基质量检验标准

表 1-1-1

序号	检查项目	允许偏差或允许值		检 查 方 法
		单位	数 值	
1	原材料	设计要求		查产品合格证书或抽样送检
2	桩径	mm	-20	用钢尺量或计算填料量
3	桩身强度	设计要求		查 28d 试块强度
4	地基承载力	设计要求		按规定的办法
5	桩身完整性	按桩基检测技术规范		按桩基检测技术规范