

福建省工程建设地方标准 DB

工程建设地方标准编号：DBJ/T13-128-2010

住房城乡建设部备案号：J11728-2010

水泥粉煤灰碎石桩复合地基 技术规程

Specification for composite foundation of
cement-flyash-gravel piles

2010-12-01 发布

2011-02-01 实施

福建省住房和城乡建设厅 发布

福建省工程建设地方标准

水泥粉煤灰碎石桩复合地基技术规程

**Specification for composite foundation of
cement-flyash-gravel piles**

DBJ/T 13-128-2010

J11728-2010

组织单位：厦门市建设与管理局

主编单位：厦门市建设工程质量安全监督站

福建省建筑科学研究院

批准部门：福建省住房和城乡建设厅

实施日期：2011年02月01日

2010年 福州

福建省住房和城乡建设厅
关于批准发布工程建设地方标准
《水泥粉煤灰碎石桩复合地基技术规程》的通知

闽建科[2010]50号

各设区市建设局（建委），厦门市市政园林局、泉州市公用事业局：

由厦门市建设工程质量安全监督站、福建省建筑科学研究院主编的《水泥粉煤灰碎石桩复合地基技术规程》，经审查，批准为福建省工程建设地方标准，编号为 DBJ/T 13-128-2010，自 2011 年 2 月 1 日起实施。施行中有什么问题和意见请函告省厅建筑节能与科学技术处。

该标准由省厅负责管理。

福建省住房和城乡建设厅
二〇一〇年十一月二十五日

关于同意福建省《水泥粉煤灰碎石桩复合地基技术规程》地方标准备案的函

建标标备[2010]186号

福建省住房和城乡建设厅：

你厅《关于报送福建省工程建设地方标准〈水泥粉煤灰碎石桩复合地基技术规程〉备案的函》（闽建科函[2010]166号）收悉。经研究，同意该标准作为“中华人民共和国工程建设地方标准”备案，其备案号：J11728-2010

该项标准的备案公告，将刊登在近期出版的《工程建设标准化》刊物上。

中华人民共和国住房和城乡建设部
建设部标准定额司
二〇一〇年十二月六日

前 言

本规程是根据福建省建设厅闽建科函（2008）38号文《福建省建设厅2008年科学技术项目计划》的任务要求，由厦门市建设工程质量安全监督站和福建省建筑科学研究院会同有关单位主编而成。编写组在深入工程实践调查研究，认真总结省内外科研成果和大量工程案例经验，并在广泛征求意见基础上，编制了本技术规程。

本规程的主要技术内容共七章和五个附录，分别为：1、总则；2、术语和符号；3、基本规定；4、CFG桩复合地基岩土工程勘察；5、CFG桩复合地基设计；6、CFG桩施工与安全措施；7、CFG桩复合地基工程质量检验与验收和附录A~E。

本规程由福建省住房和城乡建设厅负责管理，由厦门市工程建设质量安全监督站和福建省建筑科学研究院负责具体技术内容的解释。

在执行本标准过程中，如发现需要修改和补充之处，请及时将意见和有关资料寄交厦门市建设工程质量安全监督站（通信地址：厦门市斗西路209号电控大厦6楼，邮编：361004）或福建省建筑科学研究院（通信地址：福州市杨桥中路162号，邮编：350025）。

组织单位：厦门市建设与管理局

主编单位：厦门市建设工程质量安全监督站
福建省建筑科学研究院

参编单位：厦门火炬集团有限公司

西南交通大学

厦门华旻建筑工程设计有限公司

厦门合道工程设计集团有限公司

参加单位：厦门市宏业工程建筑技术有限公司

化学工业岩土工程有限公司

中国京冶工程技术有限公司(厦门)

福建四海建设有限公司

福建永强岩土工程有限公司

厦门中联建设工程有限公司

福建省四建建筑工程有限公司

主要起草人：林 梁 郑 勇 张雨涛 廖良辉 林树枝

何伯干 曹新文 肖 伟 鲍伏波 林荣坦

戴荔生 何文英 赖志峰 陈云彬 满永斌

张 萌 庄景峰 郑颖辉 邱荣晖

主要审查人：卢伟煌 廖文彬 赖树钦 林 彤 张云波

黄可明 陈木炎 韩 明 钟钢生

目 次

1	总则	1
2	术语、符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	3
3	基本规定	5
4	CFG 桩复合地基岩土工程勘察	7
5	CFG 桩复合地基设计	9
5.1	一般规定	9
5.2	CFG 桩复合地基设计	10
5.3	特殊环境下的 CFG 桩设计措施	14
6	CFG 桩施工与安全措施	16
6.1	一般规定	16
6.2	施工准备	17
6.3	振动沉管灌注成桩	19
6.4	长螺旋钻孔压灌成桩	20
6.5	基槽开挖和桩头处理	21
6.6	褥垫层铺设与基槽回填	22
6.7	安全措施	22
7	CFG 桩复合地基工程质量检验与验收	24
7.1	施工中质量控制	24
7.2	成桩质量检验	24
7.3	工程验收	26

附录 A 振动沉管 CFG 桩施工记录.....	28
附录 B 非振动沉管 CFG 桩施工记录.....	29
附录 C CFG 桩复合地基子分部工程质量控制资料核查记录.....	30
附录 D CFG 桩复合地基工程检验批质量验收记录.....	31
附录 E CFG 桩复合地基子分部工程质量验收记录.....	32
本规程用词说明.....	33
引用标准名录.....	34
附：条文说明.....	35

Contents

1	General Provisions.....	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms.....	2
2.2	Symbols	3
3	Basic Requirements	5
4	Geotechnical Investigation of CFG Pile Composite Foundation....	7
5	Design of CFG Pile Composite Foundation	9
5.1	General Requirements.....	9
5.2	Design of CFG Pile Composite Foundation	10
5.3	Design Measures of CFG Pile In Special Environment	14
6	Construction of CFG Pile and Safety Measures	16
6.1	General Requirements.....	16
6.2	Construction Preparation	17
6.3	Vibrator Pipe Sinking Cast-in-place Pile	19
6.4	Auger Bored Cast-with-pressure Concrete Pile.....	20
6.5	Trench Excavation and Treatment of Pile Head	21
6.6	Cushion Laying and Trench Backfill	22
6.7	Safety Measures.....	22
7	Engineering Quality Checking and Acceptance of CFG Pile Composite Foundation.....	24
7.1	Construction Quality Control	24
7.2	Quality Control of Pile-forming.....	24

7.3 Project Acceptance	26
Appendix A Vibrator Pipe Sinking CFG Pile Construction Record	28
Appendix B Non-Vibrator Pipe Sinking CFG Pile Construction Record.....	29
Appendix C Subproject of CFG Pile Composite Foundation Quality Control Data Checking Record.....	30
Appendix D CFG Pile Composite Foundation Engineering hecking and Quality Acceptance Record.....	31
Appendix E Subproject of CFG Pile Composite Foundation Engineering Quality Acceptance Record.....	32
Explanation of Wording in This Specification	33
Normative Standards	34
Explanation of Provisions.....	35

1 总 则

1.0.1 为了贯彻执行国家的技术经济政策,使福建省水泥粉煤灰碎石桩-CFG 桩复合地基设计与施工做到安全适用、技术先进、经济合理、确保质量、保护环境,制定本规程。

1.0.2 本规程适用于工业与民用建筑和市政工程的 CFG 桩复合地基勘察、设计、施工、监理及质量检验与验收。

1.0.3 在建筑工程中采用 CFG 桩复合地基型式时,应综合考虑建筑功能要求、岩土工程条件、施工与材料供应、环境条件的可行性。

1.0.4 CFG 桩复合地基设计、施工、监理及质量检验与验收除应符合本规程外,尚应符合国家、行业和福建省现行有关标准的规定。

2 术语、符号

2.1 术语

2.1.1 水泥粉煤灰碎石桩 cement-flyash-gravel piles

本规程所称的水泥粉煤灰碎石桩（简称为 CFG 桩——CFG Piles），是由水泥、粉煤灰、碎石、石屑或砂等混合料加水拌合形成的高黏结强度桩。

2.1.2 地基 subgrade, foundation soil

支承基础的土体或岩体。

2.1.3 基础 foundation

将结构所承受的各种作用传递到地基上的结构组成部分

2.1.4 复合地基 composite subgrade, composite foundation

部分土体被增强或置换形成增强体，由增强体和周围地基土共同承担荷载的地基。本规程具体指由 CFG 桩、桩间土和褥垫层一起形成复合地基。

2.1.5 地基承载力特征值 characteristic values of subgrade bearing capacity

指由载荷试验测定的地基土压力变形曲线线性变形段内规定的变形所对应的压力值，其最大值为比例界限值。

2.1.6 地基变形允许值 allowable subsoil deformation

为保证建筑物正常使用而确定的地基变形控制值。

2.1.7 褥垫层 cushion layer

铺设于基础之下、CFG 桩顶及桩间土之上的散体垫层，起着调节桩土协同沉降、调整桩土竖向、水平荷载分担比、减小基础底面的应力集中的作用。

2.1.8 复合地基置换率 replacement ratio of composite

foundation

指桩体的横断面积与该桩体所对应（或所承担的）的复合地基面积的比值。

2.1.9 长短桩复合地基 long-short pile composite foundation

指竖向增强体由长桩和短桩组成的桩体复合地基。长桩常采用刚性桩，短桩常采用柔性桩或散体材料桩。

2.2 符 号

- A ——基础底面积；
- A_p ——桩的截面积；
- E_{si} ——基础底面下的第*i*层土的压缩模量；
- f_{ak} ——基础底面下天然地基承载力特征值（处理前桩间土承载力特征值）；
- f_{cu} ——桩体混合料试块立方体抗压强度平均值；
- f_{sk} ——处理后桩间土的承载力特征值；
- f_{spk} ——复合地基的承载力特征值；
- h ——褥垫层设计厚度；
- h' ——褥垫层虚铺厚度；
- l_i ——第*i*层土的厚度；
- m ——面积置换率；
- n ——桩土应力比；
- n_1 ——复合土层范围内所划分的土层数；
- n_2 ——复合地基变形计算深度范围内所划分的土层总数；
- p_0 ——相应于荷载效应准永久组合时，基础底面处的附加压力；
- p_k ——相应于荷载效应标准组合时，基础底面处的平均压力值；

- q_p —— 桩端阻力特征值；
 q_{si} —— 桩周第 i 层土的侧阻力特征值；
 R_a —— 单桩（加劲体）竖向承载力特征值；
 s_c —— 复合地基最终变形量；
 s_1 —— 复合土层范围内地基变形量；
 s_2 —— 复合土层范围以下地基变形量；
 u_p —— 桩的横截面周长；
 z —— 复合地基变形计算深度；
 z_i —— 基础底面至第 i 层土底面的距离；
 z_{i-1} —— 基础底面至第 $i-1$ 层土底面的距离；
 α —— 桩间土的承载力提高系数；
 $\bar{\alpha}_i$ —— 基础底面计算点至第 i 层土土底面范围内平均附加应力系数；
 $\bar{\alpha}_{i-1}$ —— 基础底面计算点至第 $i-1$ 层土土底面范围内平均附加应力系数；
 β —— 桩间土承载力折减系数；
 λ —— 褥垫层夯填度；
 θ —— 压力扩散角；
 ψ_s —— 复合地基变形计算经验系数；
 ζ —— 各复合土层的压缩模量提高系数。

3 基本规定

3.0.1 CFG 桩复合地基适用于粘性土（残积土）、粉土、砂土、经过处理的新近（吹）填土（砂）或已完成自重固结的填土等场地的地基。对于存在淤泥~淤泥质土层（ $f_{ak} < 50\text{kPa}$ ）的场地，当采用 CFG 桩复合地基设计时，应在设计阶段通过现场试验确定下列项目的可行性：

- 1 CFG 桩复合地基的承载能力；
- 2 CFG 桩复合地基的沉降变形；
- 3 CFG 桩的成桩工艺与成桩质量。

3.0.2 CFG 桩应选择场地内承载能力较高的土层作为桩端持力层。

3.0.3 对于具有挤密效果的土层，采用 CFG 桩复合地基时，宜检测桩间土处理前后的承载力，以动态调整、确定合理的计算参数。

3.0.4 CFG 桩复合地基应进行变形验算；采用结合以减小差异沉降和基础结构内力为目标的 CFG 桩复合地基设计的工程，宜进行 CFG 桩复合地基的变刚度调平设计，且应符合下列规定：

- 1 对于主裙楼连体建筑，宜增强主楼区域的 CFG 桩复合地基的刚度，相对弱化裙房（含纯地下室）区域的 CFG 桩复合地基的刚度；

- 2 对于框架—核心筒结构的中高层或高层建筑，宜增强核心筒区域的 CFG 桩复合地基的刚度，相对弱化核心筒外围的 CFG 桩复合地基的刚度；

- 3 对于长度超过 40m 的多层住宅建筑，宜增强建筑物长度方向中部区域的 CFG 桩复合地基的刚度，相对弱化建筑物长度方向两端区域的 CFG 桩复合地基的刚度；

- 4 对于大体量筒仓、储罐或方形建筑，宜按内强外弱的变刚度原则布 CFG 桩。

3.0.5 下列工程 CFG 桩复合地基与基础完成后,在上部施工期间及竣工验收后使用期间,应按现行行业标准《建筑变形测量规范》JGJ 8 的规定进行沉降变形监测,监测时间为沉降趋于收敛稳定或竣工验收后不应少于 3 年:

1 设计等级为甲级、乙级的工程;

2 存在软弱夹层或桩端持力层遇水易软化等地质条件较复杂的工程;

3 受场地地下水等周边环境因素变化影响的工程;

4 需要积累经验或进行设计动态控制与反分析的工程。

3.0.6 CFG 桩复合地基设计中,应按工程实际情况明确变形量和变形速率等预警值指标;端承型 CFG 桩的桩顶刺入褥垫层的刺入量(或褥垫层的剩余厚度)应纳入监控内容。监测中发现异常情况时,监测单位应立即报告委托方,并应及时增加观测次数或调整变形监测方案。

4 CFG 桩复合地基岩土工程勘察

4.0.1 CFG 桩复合地基设计前应进行岩土工程勘察，岩土工程勘察应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的有关规定。

4.0.2 勘探孔间距宜为 12m~24m，且每项工程或大型项目中的每个单位工程勘探孔数不宜少于 5 个，其中控制性勘探孔数不应少于勘探孔数的 1/3；当地质条件复杂或设计有要求时应适当加密勘探点。

4.0.3 一般勘探孔深度应达到预估桩长以下 3m~5m，控制性勘探孔深度应满足下卧层的验算和复合地基变形计算要求。

4.0.4 CFG 桩复合地基的岩土工程勘察应查明以下内容：

1 建筑场地及附近区域不利于 CFG 桩的地质或埋藏物的分布和埋深；

2 被加固地基土的分布、物理力学性质、厚度变化情况；

3 当桩端持力层下存在软弱下卧层时，应查明软弱下卧层的分布、埋深、厚度、工程特性等；

4 场地内的地下水类型、稳定水位及变化幅度和被加固深度内的水和土对 CFG 桩材料的腐蚀性情况。

4.0.5 岩土工程勘察时应适当增加标准贯入试验、圆锥重型动力触探试验、十字板抗剪强度、静力触探等原位测试孔数或数量，原位测试孔数应为勘探孔总数的 1/2。

4.0.6 被加固土层及其桩端下卧土层的钻孔取样应每 1.0m~1.5m 的深度间隔取一组试样，当夹层厚度大于 0.5m 时应取土样；砂类土应进行颗粒分析并测定最大、最小干密度及水上、水下休止角；软土应进行有机质含量测试，当基础底面以下存在软土时宜做灵敏度试验。

4.0.7 岩土工程勘察报告除应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的有关规定外，还应详列以下内容：

- 1 场地浅层土的地基承载力；
- 2 估算的 CFG 桩承载力的各土层的侧阻力、端阻力特征值和用于变形计算的相关参数，提出桩端持力层建议；
- 3 欠固结软土、填土负摩阻力系数，对可液化土层应提供土层液化折减系数；评价欠固结软土、填土层和液化土层对桩基承载力的影响；
- 4 预估单桩承载力和复合地基承载力，估算复合地基的沉降量；
- 5 评价桩体与水、土的相互作用；
- 6 评价成桩的可行性和成桩工艺对周围土体、邻近建筑、工程设施及环境的影响，并提出防范措施的建議。

5 CFG 桩复合地基设计

5.1 一般规定

5.1.1 CFG 桩宜采用摩擦型桩，也可采用端承型桩。当 CFG 桩采用端承型桩时，应符合下列规定：

1 应采取桩顶褥垫层与桩间土及其上覆褥垫层能够协同变形的必要措施；

2 高层建筑中端承型 CFG 桩的桩顶应设置可压缩变形的调节装置或采用其他可协同变形的有效措施，并对桩顶刺入褥垫层的刺入量应提出控制指标和监控要求。

5.1.2 CFG 桩竖向加劲体（桩体）强度等级范围宜为 C5~C30，当桩体采用素砼桩时，其混凝土强度等级范围宜为 C15~C35。

5.1.3 摩擦型的 CFG 桩复合地基，其基础设计计算方法应采用天然地基的基础计算模式；端承型的 CFG 桩复合地基，其基础设计计算方法可按桩土共同作用的桩基承台模式进行设计计算。符合下列规定的 CFG 桩复合地基在基础设计时，应补充柱下应力扩散角外桩对基础的冲切验算，验算方法应按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的规定执行：

1 端承型的 CFG 桩复合地基的基础；

2 CFG 桩分担荷载比例超过 50%的基础；

3 根据现场试验结果、信息化施工与动态设计，设计认为需要进行冲切验算的基础。

5.1.4 CFG 桩复合地基设计采用的荷载及其效应组合，应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 和行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的规定执行。

5.1.5 CFG 桩复合地基设计阶段宜按建筑物地基基础设计等级和场地复杂程度，选择有代表性的部位进行现场试验或试验性施

工，并根据试验结果确定设计参数和提出施工技术要求。

5.1.6 经处理后的地基，若需要对其地基承载力特征值进行修正或存在软弱下卧层而需要验算下卧层的地基承载力时，应按现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 的规定执行。

5.1.7 CFG 桩复合地基设计时，应对处理后的地基进行变形验算，验算方法应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的规定执行。

5.1.8 当处理后的地基承受较大水平载荷或位于斜坡上时，应按现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 的规定进行稳定性验算。

5.1.9 同一基础的褥垫层宜在同一水平面。

5.2 CFG 桩复合地基设计

5.2.1 CFG 桩桩径宜为 350mm~600mm，桩间距宜为 3~6 倍桩径。桩径、桩间距应根据处理后复合地基承载力要求、单桩承载力、施工工艺、土层情况综合考虑并按以下要求确定：

1 采用锤击（或振动）沉管灌注工艺成桩，当桩间土挤密性较好或桩数较少时，桩间距可取小值；当桩间土挤密性较差或桩数较多时，桩间距宜取大值；

2 采用长螺旋钻孔灌注成桩时，桩间距可取小值。

5.2.2 CFG 桩可只在基础范围内布桩，最外排桩中心至基础边缘不宜小于 1 倍桩径，且基础边缘至桩边缘的最小距离不宜小于 150mm、对于条型基础不宜小于 75mm。

5.2.3 桩顶和桩间土与基础之间必须设褥垫层，并符合以下规定：

1 褥垫层厚度宜采用 150mm ~300mm；当桩分担荷载比例超过 50%或采用端承型的 CFG 桩时，应取高值；

2 褥垫层材料宜采用中砂、粗砂、碎石或级配良好的砂石

等，不宜选用卵石，最大粒径不宜大于 30mm、不应大于 50mm；

3 褥垫层的铺设范围应比基础面积大，其四周宽出基础边不小于褥垫层厚度；当基槽开挖出现超宽、超长时，褥垫层应满槽铺设；

4 褥垫层虚铺厚度可按下式计算：

$$h' = \frac{h}{\lambda} = (1.1 \sim 1.15)h \quad (5.2.3)$$

式中： h ——褥垫层设计厚度（mm）；

h' ——褥垫层虚铺厚度；

λ ——褥垫层夯填度，根据试验确定；当无资料时，可取 $\lambda = 0.87 \sim 0.90$ ；

5 端承型的 CFG 桩桩顶褥垫层厚度与级配砂石比例应通过试验，综合分析褥垫层的变形量和桩顶刺入量（或褥垫层的剩余厚度）后确定。

5.2.4 CFG 桩复合地基承载力特征值，应通过现场复合地基承载力载荷试验确定，初步设计时也可按下式估算：

$$f_{\text{spk}} = m \frac{R_a}{A_p} + \alpha \cdot \beta (1 - m) f_{\text{ak}} = m \frac{R_a}{A_p} + \beta (1 - m) f_{\text{sk}} \quad (5.2.4)$$

式中： f_{spk} ——复合地基承载力特征值（kPa）；

m ——面积置换率；

R_a ——单桩（加劲体）竖向承载力特征值（kN）；

A_p ——桩的截面面积（ m^2 ）；

α ——桩间土的承载力提高系数；

β ——桩间土承载力折减系数；

f_{ak} ——天然地基（处理前桩间土）承载力特征值（kPa）；

f_{sk} ——处理后桩间土承载力特征值（kPa）， $f_{\text{sk}} = \alpha f_{\text{ak}}$ 。

5.2.5 桩间土的承载力提高系数 $\alpha = f_{\text{sk}} / f_{\text{ak}}$ ，宜按当地经验或通过试验结果取值。当无当地经验、采用长螺旋钻孔灌注成桩和

振动沉管灌注成桩时，可按表 5.2.5 的规定取值。

表 5.2.5 桩间土的承载力提高系数 α

成桩工艺方式	加固区岩土条件	提高系数 α
长螺旋钻孔灌注成桩	地下水水位埋深在加固区以下，或加固区土层与地下水不容易导致成孔的侧壁塌孔或缩颈。	1.0
振动沉管灌注成桩	松散的砂土、粉土。	1.2
	一般粘性土、稍密砂土、回填土（砂）。	1.1~1.2
	不可挤密土、饱和粘土，且施工速度慢。	1.0
	密实度很高的砂土和粘土。	0.9~1.0
	不可挤密土、饱和粘土，且施工速度快。	0.75~1.0

5.2.6 桩间土承载力折减系数，宜按当地经验取值，如无经验时，可按以下规定选取：

- 1 对一般工程 $\beta = 0.9 \sim 0.95$ ；
- 2 对重要工程或对变形要求高的建筑物 $\beta = 0.75 \sim 0.90$ 。

5.2.7 初步设计时单桩竖向承载力特征值 R_a 的确定，应符合下列要求：

1 当采用现场单桩静载试验确定时，应将单桩竖向极限承载力标准值除以安全系数 2；

2 当无现场单桩静载试验资料时，可按下列公式估算：

$$R_a = u_p \sum_{i=1}^{n_1} q_{si} l_i + q_p A_p \quad (5.2.7)$$

式中： u_p ——桩的横截面周长（m）；

n_1 ——复合土层范围内所划分的土层数；

q_{si} ——桩周第 i 层土的侧阻力特征值（kPa）；

q_p ——桩端阻力特征值（kPa）；

l_i ——第 i 层土的厚度（m）。

3 q_{si} 、 q_p 可按福建省现行地方标准《建筑地基基础技术规范》DBJ 13-07 有关规定确定。

5.2.8 复合地基中桩体试块抗压强度平均值应满足下式要求：

$$f_{cu} \geq 3 \frac{R_a}{A_p} \quad (5.2.8)$$

式中： f_{cu} ——桩体混合料试块（边长 150mm 立方体）标准养护 28 天立方体抗压强度平均值（kPa）。

5.2.9 CFG 桩复合地基的沉降变形计算应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定执行。复合地基沉降变形计算采用复合压缩模量法，复合土层的分层原则与天然地基相同，各复合土层的压缩模量应等于该层天然地基压缩模量的 ζ 倍，复合地基变形可按下式计算：

$$s_c = s_1 + s_2 = \psi_s \sum_{i=1}^{n_1} \frac{p_0}{\zeta \cdot E_{si}} (z_i \bar{\alpha}_i - z_{i-1} \bar{\alpha}_{i-1}) + \psi_s \sum_{i=n_1+1}^{n_2} \frac{p_0}{E_{si}} (z_i \bar{\alpha}_i - z_{i-1} \bar{\alpha}_{i-1}) \quad (5.2.9)$$

式中： s_c ——复合地基最终变形量（mm）；

s_1 ——复合土层范围内地基变形量（mm）；

s_2 ——复合土层范围以下地基变形量（mm），端承型 CFG 桩时加固段以下取 $s_2=0$ ；

ψ_s ——复合地基变形计算经验系数，宜根据当地经验确定；当无当地经验时，可按现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 的有关规定取值；

p_0 ——相应于荷载效应准永久组合时，基础底面处的附加压力（kPa）；

E_{si} ——基础底面下第 i 层土的压缩模量（MPa）；

z_i ——基础底面至第 i 层土底面的距离（m）；

z_{i-1} ——基础底面至第 $i-1$ 层土底面的距离（m）；

α_i ——基础底面计算点至第 i 层土底面范围内平均附加应力系数；

$\bar{\alpha}_{i-1}$ ——基础底面计算点至第 $i-1$ 层土底面范围内平均附

加应力系数；

n_2 ——复合地基变形计算深度范围内所划分的土层总数；

ζ ——各复合土层的压缩模量提高系数， $\zeta = f_{\text{spk}} / f_{\text{ak}}$ 。

5.2.10 CFG 桩复合地基的变形计算深度应满足下列规定：

1 变形计算深度应大于复合土层的厚度，并符合下式的要求：

$$\Delta S'_n \leq 0.025 \sum_{i=1}^{n_2} \Delta S'_i \quad (5.2.10)$$

式中： $\Delta S'_i$ ——在计算深度范围内，第 i 层的计算变形值；

$\Delta S'_n$ ——在由计算深度向上取厚度为 Δz 的土层计算变形值；

Δz ——计算土层的分层厚度取值，按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 有关规定取值。

2 当复合土层范围内压缩模量很高或者确定的计算深度下部仍有较软弱的土层时，虽然式 5.2.10 满足要求，但仍应继续增加深度验算 CFG 桩桩端以下土层或下部较软弱土层的变形量。

5.3 特殊环境下的 CFG 桩设计措施

5.3.1 CFG 桩复合地基的耐久性应根据设计使用年限、现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的环境类别规定以及水、土对复合地基腐蚀性的评价进行设计，耐久性的设计措施应按现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计规范》GB 50046 和现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 等规范的规定执行。

5.3.2 液化地基场地，应采用锤击或振动沉管的成桩设计措施。地基处理后，地基土的液化状态应通过试验重新判定；若不能满足要求，应采取可行的辅助设计措施进行处理。当建筑范围以外紧邻区域未布置 CFG 桩时，应采取消除或减轻地基土液化的设计技术措施。

5.3.3 当 CFG 桩布桩范围内持力层层面局部存在坡度较陡时,应进行局部设计补勘;当相邻或邻近桩端持力层层面标高相差较大出现桩长差别较大时,应采取防止长桩受到不对称的挤土应力作用而产生质量缺陷的技术措施。

6 CFG 桩施工与安全措施

6.1 一般规定

6.1.1 成桩机械就位后必须平整、稳固，应进行垂直度复核和采用防止施工中发生倾斜、失稳滑动的施工安全措施；成孔机具上应设置观测、控制成孔深度的标尺，施工中标尺磨损影响观测时应及时修复。

6.1.2 成桩施工顺序宜根据土层情况、施工机械及基础桩位布置等综合考虑。

6.1.3 成桩施工中应根据不同工艺分别按本规程附录 A 振动沉管 CFG 桩施工记录或附录 B 非振动沉管 CFG 桩施工记录的规定填写。

6.1.4 成孔的控制深度应符合设计要求，且桩长及桩端必须进入设计持力层深度；当桩端持力层出现异常时，应报告设计单位进行处理，必要时应进行施工阶段的补勘。

6.1.5 成孔施工允许偏差应符合表 6.1.5 的规定：

表 6.1.5 成孔施工允许偏差

桩径 偏差 (mm)	桩长 偏差 (mm)	垂直度 允许偏 差(%)	桩位允许偏差 (mm)			
			满堂 基础	条型基础		单排
				垂直轴线方向	沿轴线方向	
-20	100	< 1	≤ 0.4d	≤d/4 且单排桩不 大于 100	≤d/3 且单排桩 不大于 d/4	60

6.1.6 桩体材料质量应符合下列规定：

1 施工前，对所用的水泥应检验其初凝时间、强度和安定性，不合格的不得使用。当储存不当引起质量明显下降或水泥出厂超过三个月时，应在使用前对其质量进行复验，复验合格方可使用；

2 粗骨料可选用碎石或卵石，粒径宜为 20mm~50mm，含泥量

应小于 5%；

3 砂应采用中粗砂，含泥量应小于 5%；

4 粉煤灰宜选用Ⅲ级或Ⅲ级以上等级粉煤灰；

5 外加剂的种类与掺量应按混合料的初凝时间、从拌制到灌注的时间间隔、施工工艺等因素综合考虑后选定，外加剂进场后应按有关规定取样复验；

6 施工时应按设计配合比要求配置混合料。

6.1.7 CFG 桩施工时，安全、劳动保护、防火、防雨、防台风、文物和环境保护等方面应按有关规定执行。

6.1.8 桩身强度必须符合设计要求。用于检查桩身强度的混合料的试件，应在浇筑地点抽取。每台机械每个工作班取样不得少于一组标准养护试件。

6.1.9 当同基础结构内 CFG 桩成桩后相邻或邻近桩桩长出现长短桩时，应及时报告设计，并与勘察、设计等有关单位共同协商分析；对于长桩底部可能受到不对称的挤土应力作用而影响成桩质量的，应由设计提出或确定处理方案，不得擅自处理或隐瞒不处理。

6.2 施工准备

6.2.1 CFG 桩复合地基施工前应具备下列资料：

1 施工图自审及会审形成的会议纪要；

2 岩土工程勘察报告和根据建筑物位置的岩土特点必要时进行的补充勘察资料；

3 建筑场地及邻近的高压电缆、地下管线、地下构筑物及障碍物等调查资料；对于可能影响施工或受施工影响的周边环境的原始和旁证记录等资料，以及采取必要的安全技术措施资料；

4 建筑物场地的水准控制点设置、建筑物位置和桩基轴线坐标控制及放样等资料；

5 主要施工机械及其配套设备的技术性能资料；

6 经企业技术负责人批准和项目总监审核的施工组织设计或施工方案等资料；

7 水泥、砂、石、粉煤灰、外加剂、钢筋等原材料及其制品的质检合格报告。

6.2.2 施工组织设计除应符合《建筑施工组织设计规范》GB/T 50502 规定外，应结合工程特点编制。施工组织设计应包括下列主要内容：

1 施工平面布置图：标明桩位、编号、施工顺序、水电线路、材料堆放和临时设施的位置；

2 施工的机械、配套设备和合理的施工工艺或施工方法；

3 施工作业计划和劳动力组织计划；

4 机械设备、工具、材料供应计划；

5 保证工程质量、安全生产、文明施工和季节性施工的技术措施；

6 施工重大危险源辨识与应急预案。

6.2.3 施工场地应进行平整处理，其承载力和运输通行能力应满足成桩机械正常移动与施工的要求。

6.2.4 施工临时设施，如供水、供电、道路、排水、照明、临时房屋等，必须在开工前准备就绪，临时房屋等临时建筑物应符合现行行业标准《施工现场临时建筑物技术规范》JGJ/T 188 的规定。

6.2.5 施工机具及工艺的选择，应根据桩型、深度、土层情况及处理条件综合确定；对于新近填土场地宜首选振动沉管机型。

6.2.6 施工现场所有设备、设施、安全装置、工具配件以及个人劳保用品必须经常检查，确保完好和使用安全；用于施工质量检验的仪表、器具的性能指标，应符合现行国家相关标准的规定。

6.2.7 施工前应按设计要求由试验室通过试配确定配合比，并提交配合比设计报告。

6.2.8 正式施工前应进行设计技术参数工艺试成孔，试成孔数量应不少于3个，试成孔时应通知建设、勘察、设计、监理等有关人员参加；试成孔时可同时试成桩，并应留置同条件养护的试件，试件组数可根据实际需要确定。

6.2.9 轴线的控制点和水准点应设在不受施工影响的地方；开工前控制点和水准点经复核后应妥善保管，施工中应经常复核控制点和水准点。

6.3 振动沉管灌注桩

6.3.1 应根据土质情况和荷载要求，分别选用单打法、反插法和复打法等。单打法适用于低含水量的土层，且宜采用预制桩尖；反插法和复打法适用于饱和土层。

6.3.2 单打法施工质量控制应符合下列规定：

1 必须严格控制成孔时最后30s的电流、电压值，其值按设计要求或根据试桩、当地经验确定；

2 桩管内灌满混合料后，应先振动5s~10s，再开始拔管，应边振边拔，每拔出0.5m~1.0m，应停拔留振5s~10s；如此往复，直至桩管全部拔出；

3 在一般土层内，拔管速度宜为1.2m/min~1.5m/min，在软弱土层中宜控制在0.5m/min~0.7m/min；用活瓣桩尖时应取低值。

6.3.3 反插法施工质量控制应符合下列规定：

1 桩管灌满混合料后，应先振动再拔管，每次拔管高度宜为0.5m~1.0m，反插深度宜为0.3m~0.5m；在拔管过程中，应分段添加混合料，并应保持管内混合料面始终不低于地表面或高于地下水位1.0m~1.5m以上，拔管速度应小于0.5m/min；

2 在距桩尖处1.5m范围内，宜多次反插；

3 穿过淤泥层时，应减慢拔管速度，并减少拔管高度和反插

深度。

6.3.4 复打桩施工质量控制应符合下列规定：

- 1 第一次灌注混合料高度应达到自然地面；
- 2 拔管过程中应及时清除粘在管壁上和散落在地面的混合料；
- 3 初打和复打的桩轴线应重合；
- 4 复打施工必须在第一次灌注的混合料初凝之前完成。

6.3.5 成桩施工的混合料现场拌制时坍落度宜为 30 mm~50mm，集中预拌且由灌车运送到现场时坍落度宜为 80mm~120mm；成桩后的桩身混合料顶面宜高于桩顶设计标高不少于 0.5m，桩顶浮浆厚度不应大于 200mm。

6.3.6 充盈系数不得小于 1.0；对于充盈系数小于 1.0 的桩，应查明原因，并采用全长复打或局部复打。全长复打时，桩管入土深度宜接近原桩长，局部复打应超过断桩或缩颈区 1.0m 以上。

6.4 长螺旋钻孔灌注桩

6.4.1 当需要穿越老粘土、厚层砂土、碎石土以及塑性指数大于 25 的粘土时，应进行试钻。

6.4.2 钻机定位后，应进行复检，开钻时下钻速度应慢；钻进过程中，不宜反转或提升钻杆。

6.4.3 钻进过程中，如遇到卡钻、钻机摇晃、偏斜或发生异常声响时，应立即停钻，查明原因，采取相应措施后方可继续作业。

6.4.4 应根据桩身的设计强度等级，通过试验或施工工艺确定混合料的配合比；可掺加粉煤灰或外加剂。塌落度和粗骨料宜按下列规定选用：

- 1 普通灌注时塌落度宜为 30mm~80mm，粗骨料可用卵石或碎石，最大粒径不应大于 50mm；

- 2 泵送压灌时塌落度宜为 160mm~200mm；粗骨料可用卵石或

碎石，最大粒径一般不应大于 30mm；

6.4.5 施工中应有混合料泵送工作顺利进行的施工技术措施；桩身混合料的泵送压灌应连续进行，当钻机移位时，混凝土泵料斗内的混合料应连续搅拌；泵送混合料时，料斗内混合料的高度不得低于 400mm。

6.4.6 当气温高于 30℃时，宜在输送泵管上覆盖隔热材料，每隔一段时间洒水降温。

6.4.7 钻至设计标高后，应先泵入混合料并停顿 10s ~20s，再缓慢提升钻杆。提钻速度应根据土层情况确定，且应与混合料泵送量匹配，保证管内有一定高度的混合料。

6.4.8 在地下水以下的砂土层中钻进时，钻杆底部活门应有防止进水的措施，压灌混合料应连续进行。

6.4.9 普通灌注时充盈系数不应小于 1.0，泵送压灌时充盈系数宜为 1.0~1.2。桩顶混合料超灌高度不宜小于 0.5m。

6.5 基槽开挖和桩头处理

6.5.1 基槽开挖时应按以下规定执行：

- 1 桩体强度达到设计强度的 70%以上，方可进行基槽开挖；
- 2 基槽开挖施工顺序宜先深后浅；
- 3 机械挖土时必须确保基槽内的桩体不受损坏；
- 4 基槽底面以上 500mm 的土层应采用人工开挖，施工时严格控制标高，不得超挖，不得扰动基底土和桩间土；
- 5 在基槽坡顶 1.5m 宽度范围不得堆土。

6.5.2 当地下水位较高需降水时，可根据周围环境情况采用内降水或外降水措施。

6.5.3 开挖到基槽底出现桩间土局部软化时，不得擅自处理，应报告设计单位处理。

6.5.4 基槽开挖出现超挖后不得擅自回填处理，应报告设计单位

处理。

6.5.5 场地内弃土清运时,不得扰动未施工桩位的表面土层。

6.5.6 桩体强度达到设计要求后,方可进行 CFG 桩的桩头处理。

6.5.7 桩顶超灌高度或浮浆凿除处理时不得造成桩顶设计标高以下桩身断裂和扰动桩间土,出现桩身断裂和扰动桩间土时,应报告设计单位处理。

6.6 褥垫层铺设与基槽回填

6.6.1 褥垫层的虚铺厚度可按本规程第 5.2.3 条第 4 款的规定确定,铺设施工前基槽中应设立厚度控制的标尺,并妥善保护;褥垫层虚铺厚度达到要求后的整平应满足本规程第 5.1.9 条的规定。

6.6.2 当地下水位较高影响褥垫层铺设或者基础底面下桩间土的含水量较高影响褥垫层夯实时,可按本规程第 6.5.2 条的规定进行降水。夯实方法宜根据基础底面下桩间土的含水量情况,分别采用静力压实法或动力夯实法;对于较干的砂石材料,可适当洒水后再进行振动夯实。

6.6.3 摩擦型 CFG 桩的褥垫层铺设夯实后,若粗颗粒的碎石沉陷明显,而导致面层级配不均时,可在面层增补适量的粗颗粒碎石后,继续振压或夯实。

6.6.4 基础混凝土结构施工完成后,应尽快进行基槽回填;回填土前,应排除积水,清除虚土,填土应按设计要求选料,分层夯实,对称进行。

6.7 安全措施

6.7.1 成桩机械的安装、使用、维修、检验检测、拆卸及设备用电安全等,应符合设备使用说明书要求,并按现行行业标准《建筑机械使用安全技术规范》JGJ 33、《施工现场临时用电安全技术

规范》JGJ 46 及《施工现场机械设备检查技术规程》JGJ 160 等规定执行。

6.7.2 桩工机械操作工必须经过技术培训,并取得省级建设行政主管部门颁发的特种作业证后,方可上岗操作,严禁无证操作。

6.7.3 开工前,各岗位操作人员必须对成桩机械,特别是对桩架、紧固螺栓等安全装置进行安全检查,确认成桩机械性能良好,方可开工。

6.7.4 成桩机械在空旷场地作业应有防雷击措施,各种动力设备均应设置安全防护装置,并应配备专用的末级开关箱,不得将成桩机械本身的配电箱当作末级开关箱使用。

6.7.5 成桩机械移动时,应设置防止桩架倒塌的保护措施,确保设备移动平稳安全。

6.7.6 成桩施工时,若有高处作业的应采取配带使用安全带等防止高处坠落的有效措施。

6.7.7 易引起粉尘的细料或松散材料应采用帆布等覆盖,水泥、粉煤灰、碎石、石屑或砂等混合料拌合机站应有防尘设备,作业人员配备必要的劳保防护用品。

6.7.8 施工现场的环境卫生和文明施工应按现行行业标准《建筑施工现场环境与卫生标准》JGJ 146 等规定执行。

7 CFG 桩复合地基工程质量检验与验收

7.1 施工中质量控制

7.1.1 CFG 桩施工质量检验应包括下列项目：

- 1 桩径；
- 2 桩身垂直度；
- 3 混合料塌落度抽查；
- 4 截桩后的桩顶标高；
- 5 桩位偏差；
- 6 桩身的完整性；
- 7 单桩承载力和复合地基承载力；
- 8 桩身原材料；
- 9 褥垫层厚度；
- 10 褥垫层夯填度；
- 11 桩体试块抗压强度。

7.1.2 当 CFG 桩成桩深度与勘察资料不符或对桩端下卧层有怀疑时，可采用补勘方法核查，核查自桩端以上 1m 起至下卧层 6 倍桩径范围内的标准贯入击数。

7.2 成桩质量检验

7.2.1 CFG 桩成桩后、复合地基竣工验收前，应进行单桩与多桩复合地基承载力和桩身质量检验。

7.2.2 CFG 桩桩身质量除对预留桩体混合料试件进行抗压强度等级检验外，尚应采用低应变法进行现场检测；低应变法按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的有关规定执行。单位工程中，CFG 桩低应变法检测数量应符合下列规定：

1 端承型 CFG 桩检测数量不应少于总桩数的 30%，且不得少于 20 根，每个柱下基础检测桩数不得少于 1 根；

2 摩擦型 CFG 桩检测数量不应少于总桩数的 10%，且不得少于 10 根；当复合土层中存在淤泥等软弱夹层、成桩质量可靠性较低时，检测数量不应少于总桩数的 20%，且不得少于 10 根；每个柱下基础检测桩数不得少于 1 根。

7.2.3 CFG 桩复合地基承载力检验应在桩身强度满足试验荷载条件，且宜在施工结束 28 天后进行单桩竖向抗压载荷试验、单桩与多桩复合地基载荷试验；单桩竖向抗压载荷试验应按现行国家标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 中的有关规定执行，复合地基载荷试验应按现行国家标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 中的有关规定执行。

7.2.4 静载荷试验桩（点）的选择应具有代表性，且宜符合下列规定：

- 1 地勘报告中复合土层及其下卧土层变化不同的桩（点）；
- 2 施工中局部地质条件出现异常的桩（点）；
- 3 设计认为重要部位的桩（点）；
- 4 不同桩径、不同施工班组与施工工艺的桩（点）；
- 5 成桩质量可靠性较低或施工质量有疑问的桩（点）；
- 6 低应变动测法检测判断为 III 类的桩（点）；
- 7 同类型的桩（点）宜均匀随机分布选择。

7.2.5 静载荷试验桩（点）的检验数量应符合下列规定：

- 1 端承型 CFG 桩复合地基载荷试验数量应为总桩数的 1%，且每个单位工程中试验数量不应少于 3 点；
- 2 摩擦型 CFG 桩复合地基载荷试验数量应为总桩数的 0.5%~1%，且每个单位工程中试验数量不应少于 3 点；
- 3 设计有单桩承载力要求时，单桩载荷试验数量应为总桩数的 0.5%，且每个单位工程中试验数量不应少于 5 根；
- 4 复合地基载荷试验中单桩与多桩复合地基承载力检验数

量分配比例由设计单位根据地区经验和工程需要确定，必要时在载荷试验中同时监测不同桩顶应力和桩土反力的差异性情况；

5 符合下列条件的 CFG 桩，应由勘察、设计单位确定适当增加复合地基承载力检验数量：

- 1) 桩端持力层为遇水易软化的土层；
- 2) 石灰岩岩溶地区的风化土层场地。

7.2.6 CFG 桩桩身质量完整性检测或复合地基承载力检验后出现不合格的桩（点）时，应由建设、设计、施工、监理、检测部门共同分析原因，并确定处理方法。

7.3 工程验收

7.3.1 CFG 桩工程验收程序应符合下列规定：

1 全部 CFG 桩施打完毕，检测合格，并开挖到设计标高和轴线复核后进行验收；检验批的验收应按附录 D 的要求进行，子分部工程的验收应按附录 E 的要求进行；

2 当施工标段范围较小时，宜一次性验收；当施工标段范围较大时，可分片区验收；

3 CFG 桩工程完工后，检验不合格且未经设计处理的工程，不得进入下一道工序的施工。

7.3.2 褥垫层工程验收程序应符合下列规定：

1 褥垫层全部施工完毕，经检查合格后，方可进行验收；

2 褥垫层可全部一次性验收，也可按实际需要分片区中间验收；

3 未经检查合格的褥垫层，不得进行隐蔽验收和进行下一道工序的施工。

7.3.3 CFG 桩复合地基子分部工程验收时应具备下列资料，并按附录 C 的要求进行核查：

1 岩土工程勘察报告和 CFG 桩复合地基施工图、施工图审批

文件、施工图纸会审纪录、设计变更通知书等；

2 经审核、审定（批准）的施工组织设计、施工方案及实施中的变更确认单；

3 桩位测量放线图及工程基线、桩位复核签证单；

4 各种原材料的质量合格证书、配合比、复验报告等；

5 施工记录及汇总、隐蔽工程验收文件、桩位编号图；

6 成桩质量检查报告，包括桩顶标高、桩顶平面位置、垂直度偏差检测结果、桩径检查资料、低应变动力检测报告等；

7 打桩工程竣工图，包括桩数桩位的改变、桩偏位实测情况和补桩、试桩位置等；

8 褥垫层施工与质量检查记录及汇总，包括褥垫层骨料配合比、厚度与层顶标高、夯实施工及夯填度检查记录等；

9 单桩、多桩复合地基承载力和单桩竖向承载力检验报告；

10 质量缺陷、质量事故处理记录，包括经审批的处理方案、施工记录；

11 复合地基变形监测点预埋平面布置图，包括监测点保护措施。

附录 A 振动沉管 CFG 桩施工记录

工程名称: _____ 施工日期 _____ 年 _____ 月 _____ 日
 设计桩长/桩径: _____ m, 地坪/桩顶标高: _____ m,
 桩机类型: _____, 桩尖类型: _____, 混合料坍落度: _____ mm。

施工 序号	桩位 编号	桩入 土深 度 (m)	有效 桩长 (m)	沉管 时间		拔管 时间		投料 量 (m ³)	浮浆 高度 (mm)	激振电流(A/m)					备注	
				起	止	起	止			1	2	3	4	5		

施工单位: _____ 施工员: _____ 机长: _____
 监理单位: _____ 监理员: _____

附录 B 非振动沉管 CFG 桩施工记录

工程名称：_____ 施工日期 _____ 年 _____ 月 _____ 日
 设计桩长/桩径：_____ m， 地坪/桩顶标高：_____ m， 桩尖类型：_____
 桩机类型：_____， 混合料坍落度：_____ mm， 成孔或收锤标准：_____。

施工 序号	桩位 编号	入土深 度深 (m)	有效桩 长(m)	成孔时间 (时、分)		成桩时间 (时、分)		投料 量 (m ³)	浮浆 高度 (mm)	备 注
				起	止	起	止			

施工单位：_____ 施工员：_____ 机长：_____
 监理单位：_____ 监理员：_____
第 _____ 页 共 _____ 页

本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1) 表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”;

2) 表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”;

3) 表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;

4) 表示有选择,在一定条件下可以这样做的:

采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为:“应符合……的规定(要求)”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《建筑地基基础设计规范》 GB 50007
- 2 《混凝土结构设计规范》 GB 50010
- 3 《岩土工程勘察规范》 GB 50021
- 4 《工业建筑防腐蚀设计规范》 GB 50046
- 5 《建筑施工组织设计规范》 GB/T 50502
- 6 《建筑变形测量规范》 JGJ 8
- 7 《建筑机械使用安全技术规范》 JGJ 33
- 8 《施工现场临时用电安全技术规范》 JGJ 46
- 9 《建筑地基处理技术规范》 JGJ 79
- 10 《建筑桩基技术规范》 JGJ 94
- 11 《建筑基桩检测技术规范》 JGJ 106
- 12 《建筑施工现场环境与卫生标准》 JGJ 146
- 13 《施工现场机械设备检查技术规程》 JGJ 160
- 14 《施工现场临时建筑物技术规范》 JGJ/T 188
- 15 《福建省建筑地基基础技术规范》 DBJ 13-07

福建省工程建设地方标准

水泥粉煤灰碎石桩复合地基技术规程

DBJ/T 13-128-2010

J11728-2010

条文说明

制 订 说 明

《水泥粉煤灰碎石桩复合地基技术规程》DBJ/T 13-128-2010 经福建省住房和城乡建设厅 2010 年 11 月 25 日以闽建科[2010]50 号文批准发布，并经住房和城乡建设部 2010 年 12 月 6 日以建标标备[2010]186 号文批准备案。

本规程在编制过程中，编制组对我省水泥粉煤灰碎石桩复合地基技术应用情况进行了调查研究，收集了大量资料，针对近年来我省水泥粉煤灰碎石桩复合地基技术应用存在的问题，总结了我国水泥粉煤灰碎石桩复合地基技术应用经验，开展了水泥粉煤灰碎石桩复合地基室内建模试验和大量的现场试验，同时参考借鉴了国内相关技术标准，通过广泛征求意见，反复修改后制订的。

为了便于广大建筑工程设计、施工、监理等人员在使用本规程时能正确理解和执行条文规定，《水泥粉煤灰碎石桩复合地基技术规程》编制组按章、节、条顺序编制了本规程条文说明，对条文规定的目的、依据、以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与规程正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目 次

1	总则	38
2	术语、符号	40
2.1	术语	40
2.2	符号	40
3	基本规定	41
4	CFG 桩复合地基岩土工程勘察	44
5	CFG 桩复合地基设计	46
5.1	一般规定	46
5.2	CFG 桩复合地基设计	53
5.3	特殊环境下的 CFG 桩设计措施.....	57
6	CFG 桩施工与安全措施	60
6.1	一般规定	60
6.2	施工准备	62
6.3	振动沉管灌注成桩.....	62
6.4	长螺旋钻孔压灌成桩	62
6.5	基槽开挖和桩头处理	63
6.6	褥垫层铺设与基槽回填.....	63
6.7	安全措施	63
7	CFG 桩复合地基工程质量检验与验收	65
7.1	施工中质量控制	65
7.2	成桩质量检验	65
7.3	工程验收	68

1 总 则

1.0.1 CFG 桩复合地基技术是 20 世纪 80 年代由中国建筑科学研究院开发的一项地基加固技术，并经过建设部的技术鉴定，于 1994 年列为全国推广项目；于 1997 年发布了《水泥粉煤灰碎石桩（CFG 桩）复合地基技术规定》企业标准 Q/JY 06-1997。通过十余年的工程实践，已经广泛应用于多层、中高层和高层建筑的地基处理中，成为了一种常用的地基处理方法。并列入《建筑地基处理技术规范》JGJ 79-2002。

本规程是考虑到福建省本地区地质条件、施工技术条件和环境的特殊性而编写。

在本省各地区中分别有丘陵地貌、岩溶地貌、花岗岩侵入地貌与滨海地貌等复杂特征，这些不同地区存在着不同的、且复杂的岩土特征与环境条件，采用 CFG 桩复合地基能够解决其他桩型不能解决的特殊技术问题，具有独特的工程实用意义。

在厦门翔安滨海新近吹填土地等东、北部环东海域，因场地地下水具有中等~强腐蚀性和下卧层中含有粗砾砂或砾砂或圆砾或卵石等不良夹层，对于新建多层建筑，从技术、经济和施工工期等方面综合分析采用了 CFG 桩复合地基具有显著的经济效益。

在龙岩岩溶地貌结合丘陵地貌山地冲洪积层地区，因场地地下水卧层中存在石灰岩溶洞、岩面变化大和含有圆砾、卵石、碎石角砾等不良上覆土层，尤其溶洞大小、分布及桩端下有效的岩层厚度等最难于界定或施工判断；而采用了 CFG 桩复合地基对于高层建筑更具有较好的经济效益和社会效益。

选择 CFG 桩复合地基应考虑环境因素的可行性，尤其不得有扰民和影响环境的施工，否则应考虑采用其他的地基基础型式。

1.0.2 条文中“工业与民用建筑”包含低层、多层建筑、构筑物 and 条件可行的中高层、高层建筑。

在工程实践中，对于没有粉煤灰或粉煤灰的价格不具优势的地区，设计与施工直接采用了水泥代替粉煤灰，即 CFG 桩采用素混凝土桩；采用素混凝土有利于集中预拌。如厦门华旻建筑设计有限公司设计的厦门火炬公司翔安三期通用厂房（约 52 万 m²），在中~强腐蚀填海的场地，成功采用了素混凝土桩复合地基，现已竣工验收并投入使用。

CFG 桩复合地基在低层、多层建筑中的应用已有较多的成功案例。近几年来，CFG 桩复合地基已在中高层、高层建筑中得到积极的采用；如本省的龙岩地区中元大酒店（地下 1 层，地面以上为 23 层和 17 层两幢塔楼）和泉州地区南安某大厦（地下 1 层，地上 30 层）等高层建筑中已成功采用了 CFG 桩复合地基，在北京地区大屯惠忠北里居住区 27 层塔楼、凤凰城 34 层塔楼和华亭嘉园小区六栋 32~35 层公寓楼等高层建筑中也成功采用了 CFG 桩复合地基。考虑到中高层、高层建筑的特殊性和重要性，需要做综合技术分析比较后，方可确定是否可采用 CFG 桩复合地基。

1.0.3 本条规定了建筑工程中采用 CFG 桩复合地基的前提条件，在这些条件的技术经济综合比较的基础上，选择合理可行的复合地基型式。

1.0.4 在 CFG 桩复合地基设计、施工、监理及质量检验与验收中执行本规程的同时，尚应执行《建筑地基基础设计规范》GB 50007-2002、《建筑地基处理技术规范》JGJ 79-2002、《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008、《福建省建筑地基基础技术规范》DBJ 13-07-2006 等现行规范标准。

2 术语、符号

本规程采用的术语、符号以《建筑地基基础设计规范》GB 50007—2002，《建筑地基处理技术规范》JGJ 79—2002 为基础，略作补充和修订。

2.1.1 水泥粉煤灰碎石桩最近在国内有着广泛的应用和发展，尤其在多层~高层地基处理中，为了提高复合地基的承载力，直接按照常规的混凝土配合比进行配置、拌制和灌注施工，桩身中未配置任何钢筋，所以水泥粉煤灰碎石桩包含了素混凝土桩(concrete pile)。

2.1.7 CFG 桩主要传递垂直荷载，但当基础承受水平荷载时，褥垫层厚度的变化对于作用在桩顶和桩间土上的水平剪应力具有一定的影响，可相对减少桩体直接受水平力的作用；对于地震时的水平荷载，褥垫层可以起到减震的效果；因此褥垫层也具有分担一定量的水平荷载。

3 基本规定

3.0.1 本条对 CFG 桩复合地基适用的地基土范围作了明确的规定。本条中着重地提出“经过处理的新近（吹）填土（砂）或已完成自重固结的填土地基”，主要是针对福建省沿海地区吹填土（砂）造地的场地地基；因为新近（吹）填土（砂）地基若没有经过处理或未完成自重固结，在采用 CFG 桩复合地基处理后，其自重固结过程将产生对 CFG 桩附加作用的负摩阻力，并将导致复合地基的沉降增加，而这一过程在设计中很难准确计算和判断。

淤泥~淤泥质土地基（ $f_{ak} < 50\text{kPa}$ ）的场地能否采用 CFG 桩复合地基型式，不能仅仅通过设计计算确定，强调应通过现场试验验证后再确定其适用性；不同区域的淤泥~淤泥质土厚度有变化，应分别进行现场试验。对于“CFG 桩的成桩工艺”的试验目的：是为了检验软弱的场地表层及其上覆铺设的硬壳层对于基桩施工设备运行和成桩的可行性等；而对其“成桩质量”的试验是为了了解 CFG 桩的缩径等质量缺陷情况。

3.0.2 虽然 CFG 桩桩端承载力不是主要的控制指标，但桩端土层具有较高的承载力既有利于提供较高的 CFG 桩端阻力，根据桩端硬化效应原理，又有利于提高 CFG 桩的侧阻力，有助于减小 CFG 桩复合地基的变形沉降；反之亦然。需要说明的是，设计选择桩端持力层时，并非要求选择承载力最大土层的作为 CFG 桩桩端持力层，而需要综合考虑桩长、桩间距、桩数设置与持力层间的相互协作关系，选择场地内承载力相对较高的土层作为持力层即可。

3.0.3 CFG 桩复合地基的宗旨就是要尽最大限度的发挥桩间土的有效承载能力。因此具有挤密效果的土层，当采用具有挤密效果的 CFG 桩施工成桩后，土层的承载能力将有一定程度的提高，为了使得经挤密后的桩间土承载能力能够得到最大限度的合理充

分发挥，需要通过检测和进行动态设计调整，以便做到技术可靠和经济合理。

3.0.4 考虑到 CFG 桩复合地基在本省范围内正在不断的发展，并且在一类高层建筑中不断得到应用，在参考《建筑桩基技术规范》JGJ 94—2008 第 3.1.8 条规定内容的基础上，制定了本条内容，以适应 CFG 桩的不断发展。如厦门中福元建筑设计研究院设计的龙岩中元大酒店（主楼 23 层、裙房 5 层），采用了 CFG 桩复合地基的变刚度调平设计，已竣工使用 4 年，未发现差异沉降。国内许多工程实例表明，主楼与裙房分别采用不同持力层和不同的桩长、桩径、桩数等减小差异沉降的变刚度调平设计措施，可以达到施工方便、经济合理的要求。但是考虑到本规程 CFG 桩复合地基设计中首次引入变刚度调平设计的概念，尚需通过更多的工程实践进行补充完善，所以要求“宜”实施 CFG 桩复合地基的变刚度调平设计。

第 3 款“对于长度超过 40m 的多层住宅建筑”采用 CFG 桩复合地基时，宜实施变刚度调平设计，是针对多层住宅若出现差异沉降引起墙体裂缝等质量缺陷后，居民的敏感性较特殊而作此规定。实践中，长度超过 40m 的多层建筑物较容易出现这类的质量缺陷：如厦门某小区工程竣工验收后，3 年间多栋长度超过 40m 的多层建筑（天然地基+部分处理地基、独立基础、框架结构）首层出现较严重的墙体裂缝和个别地梁裂缝，虽经施工多次处理都不能有效解决；根据裂缝部位和特征进行综合判断，均显示出明显的差异沉降特征。所以只有在地基基础设计时充分考虑并实施变刚度调平设计的措施，方可有效避免出现这类质量缺陷。

《建筑桩基技术规范》JGJ 94—2008 第 3.1.8 条规定的内容如下：

以减小差异沉降和承台内力为目标的变刚度调平设计，宜结合具体条件按下列规定实施：

1 对于主裙楼连体建筑，当高层主体采用桩基时，裙房（含纯地下室）的地基或桩基刚度宜相对弱化，可采用天然地基、复合地基、疏桩或短桩基础。

2 对于框架—核心筒结构高层建筑桩基，应强化核心筒区域桩基刚度（如适当增加桩长、桩径、桩数、采用后注浆等措施），相对弱化核心筒外围桩基刚度（采用复合桩基，视地层条件减小桩长）。

3 对于框架—核心筒结构高层建筑天然地基承载力满足要求的情况下，宜于核心筒区域局部设置增强刚度、减小沉降的摩擦型桩。

4 对于大体量筒仓、储罐的摩擦型桩基，宜按内强外弱原则布桩。

5 对上述按变刚度调平设计的桩基，宜进行上部结构—承台—桩—土共同工作分析。

3.0.5 设计等级为甲级、乙级的工程包括地基基础和上部结构设计等级为甲级和乙级的工程。监测方案中监测点的选择、标志类型及埋设、监测频率、数据处理分析和报告制度等按《建筑变形测量规范》JGJ 8-2007 的有关规定执行，提倡有条件的重要工程采用 GPS 接收机进行监测。

3.0.6 工程的实际情况不同，需要的预警值也不同，所以不能教条的参照有关规范规定值或工程经验值，设计单位应根据工程实际情况及其周边环境的特殊性等综合考虑，明确预警值指标；在无特殊需要的一般情况下变形量和变形速率的预警值指标为允许值的 60%（允许值由设计单位按实际要求或参照有关规范规定提出）。异常情况除包含《建筑变形测量规范》JGJ 8-2007 第 3.0.11 条的规定内容外，还包括周边爆破等突发事件。

4 CFG 桩复合地基岩土工程勘察

4.0.2~4.0.3 勘探布点间距和勘探孔深度要求与国家现行标准《岩土工程勘察规范》GB50021-2001 基本要求相一致；孔深由勘察单位依据 CFG 桩复合地基方案及可能的持力层来判断。

4.0.4 考虑到 CFG 桩沉桩工艺和 CFG 桩复合地基的受力特殊性，所以除查明建筑场地不良地质作用外，尚应对场地附近区域的不良地质作用的分布范围和埋藏深度进行调查。

4.0.5 根据我省的施工经验，岩土勘察中较重视标准贯入试验。当采用锤击沉管方式施工时，标贯试验有模拟打桩的成分，其测试成果较适合锤击式沉管法的应用。有时在填土或砂层采用（轻型）重型动力触探试验即能很好地反映土层的沿垂向分布均匀性，又能取得较好模拟连续打桩的效果。十字板剪切试验等，可以了解淤泥等软土层的灵敏度。

4.0.6 本条规定的为土样室内试验，为区别于上一条十字板等原位测试，故增加灵敏度试验，查明基底土层灵敏度大小，为褥垫层施工提供依据。对中、高灵敏度土，褥垫层施工时应尽量避免对桩间土产生扰动，防止产生“橡皮土”。本条文中的软土包括（吹）填土、淤泥、淤泥质土、粘土、粉质粘土等。

4.0.7

1~2 CFG 桩，尤其是素混凝土桩，属于刚性桩；与散体材料的柔性桩和半刚性桩不同。这种桩的单桩可以承担较大的荷重，复合地基设计需要估算单桩承载力，所以勘察时必须提供岩土层的桩侧阻力和桩端阻力。实施中采用沉管方式成桩的 CFG 桩，可按沉管灌注桩施工工艺提供岩土层桩侧阻力和桩端阻力；采用长螺旋工艺施工，宜按冲钻孔桩的施工工艺提供岩土层桩侧阻力和桩端阻力。

5 评价内容包括地下水和土对桩体材料的腐蚀程度及桩体材料对周围水土的环境污染的影响。

6 成桩施工的可行性评价包括地下障碍物、地下洞穴、管网及机械运行的可行性等；对周边环境的影响包括噪音、振动、侧向挤土和地面隆起等。

5 CFG 桩复合地基设计

5.1 一般规定

5.1.1 CFG 桩复合地基与桩筏基础中桩土共同作用的型式不同，但桩土共同作用的原理是相同的。

在桩筏基础中，桩顶直接锚入承台刚性连接（不设褥垫层），通过桩端“刺入”桩端土，来保证桩与土能够共同沉降、协同工作；因此，设计一般都采用摩擦型桩。但如果遇到特殊岩土条件不可避免需要设计成端承型桩时，则需在桩顶采取可压缩变形的特殊措施，以确保桩与土达到共同沉降、协同工作。如厦门嘉益大厦、蓝湾国际高层建筑工程中，在桩顶设置了可压缩变形的调节装置。

在摩擦型的 CFG 桩复合地基中，基础底面与 CFG 桩桩顶之间设置了褥垫层，通过桩顶“刺入”褥垫层和褥垫层本身变形调节，以及桩端“刺入”桩端土和桩端以下土层的压缩变形，这些共同协调来达到桩土共同沉降、协同工作；由此充分发挥和利用桩间土的地基承载力，并满足建筑变形需要。这与桩筏基础中的桩土共同作用的型式是不同的。

而端承型的 CFG 桩复合地基中，CFG 桩与土的协调变形全部通过桩顶“刺入”褥垫层和褥垫层本身变形调节来达到共同沉降、协同工作，因此桩顶褥垫层的早期压缩变形量和后期的蠕变变形量对于协调桩土复合地基共同变形具有十分重要的意义，若完全依靠设计计算来确定褥垫层的短期与长期的变形情况，可能出现较大的差异，也是不科学的。因为褥垫层中粗颗粒（如碎石）级配比例较大时，则其变形量将相对较小，反之则较大。只有通过试验才能确定桩顶褥垫层的短期与长期变形量，并相应地调整褥

垫层的厚度与级配比例，才能确保桩顶褥垫层与桩间土及其褥垫层能够协同变形。而对于高层建筑，最担心的是 CFG 桩桩顶区域的褥垫层被压缩到极限而不可再压缩，但桩体以外的褥垫层及其对应的桩间土并没有被压缩到极限；或者桩顶褥垫层蠕动“流失”使得桩直接顶在基础结构底面。这时，受力状态相当于普通的桩台基础型式；在这样的状况下，桩间土并没有按照设计计算所应承担的荷载量，大部分竖向荷载将由没有配筋的 CFG 桩桩体承担，这样容易出现桩身承载力不足而被压碎破坏。所以应设置可压缩变形的调节装置或其他可协同变形的有效措施，并对桩顶刺入褥垫层的刺入量（或褥垫层的剩余厚度）提出控制指标和监控要求。据了解最近在本省某地区已有几十栋高层建筑工程中采用了端承型的 CFG 桩复合地基，在桩顶没有设置可压缩变形的调节装置的情况下，完全由褥垫层的压缩变形和蠕动变形来调整桩土协同变形，其实践效果尚需进一步跟踪了解和探索。应同行专家的要求和为了适应端承型 CFG 桩复合地基的发展，给工程设计等人员提供统一的依据与参考，避免不规范的行为，制定了本条规定。

5.1.2 采用水泥、粉煤灰、碎石、石膏或砂等材料加水拌合形成的 CFG 桩，其桩体强度等级为 C5~C25；素混凝土桩的桩体强度等级为 C15~C25。考虑到 CFG 桩复合地基在技术应用中的不断发展和应用范围越来越广泛，尤其国内近年来的复合桩基技术的应用与发展，使得复合地基技术与复合桩基技术达到相互交融与渗透。复合桩基中的桩基在广义技术概念上已经不是单纯的基础结构的一部分；同样，复合地基中的托换技术从广义技术概念上也不再是传统的处理地基中的托换技术型式。复合地基与复合桩基两者在学术理论与应用上已经发展到相互交融和相互渗透的境界，若再保持传统的观念来理解和定义复合地基与复合桩基，则将影响甚至阻碍了复合地基与复合桩基的技术发展，所以为了给有条件的场地使用 CFG 桩复合地基的设计与施工开拓发展空间和

提供依据，同时也参照北京等国内有关地区的工程实践经验（CFG 桩复合地基中桩体强度最大的达到 C35），以动态发展的理念提出了本条规定。

5.1.3 关于 CFG 桩复合地基的基础设计模式和冲切验算方面

1 经 CFG 桩处理后的复合地基，根据工程实践经验，当桩体强度等级相对于地基土强度为柔性桩（如桩体强度等级 \leq C15 的摩擦型 CFG 桩）时，其基础设计计算按天然地基的基础设计计算模式是可行的。当桩体强度等级相对于地基土强度为刚性桩（如桩体强度等级 \geq C20 的摩擦型 CFG 桩）时，或者 CFG 桩分担荷载比例超过 50%时，在工程试验研究与实践中发现桩顶与桩间土的地基反力存在着较大的差异性，出现两者相差数倍甚至几十倍的现象（如下列案例中的试验数据——表 5.1-1~表 5.1-3），所以应考虑桩顶和桩间土的地基反力的不均匀性，需要补充柱下应力扩散角外桩对基础的冲切验算。

2 对位于柱（墙）下应力扩散角（冲切破坏锥体）以外的基桩对基础的冲切力计算可按《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008 第 5.9.8 条的规定执行。

3 案例介绍

厦门环东海域翔安火炬工业园区通用厂房三期工程位于厦门市同安区洪塘镇石浔村，沈海高速公路南侧，场地由海滩滩涂地貌单元经综合整治后形成，场地内分布有新近吹填砂土和淤泥质土、粗砾砂、砾砂（局部圆砾）、残积（砂）砾粘性土、全风化花岗岩、散体状强风化花岗岩、碎块状强风化花岗岩、中风化花岗岩等。

通用厂房和办公楼的地基采用 CFG 桩复合地基，CFG 桩桩径为 400mm，桩体采用 C25 素混凝土（坍落度为 80~120mm），桩端持力层为砾砂（局部圆砾）或残积土层。CFG 桩单桩竖向承载力特征值为 450kN，桩间土承载力特征值为 100kPa，CFG 桩复合地

基承载力特征值 $f_{ask}=380\text{kPa}$ ，置换率 $m=8.1\%$ 。CFG 桩顶与基础间的褥垫层采用级配砂石，砂石比为 1:1（体积比），厚 300mm。

基础结构采用柱下独立基础，根据荷载情况和冲切验算，柱下基础分别设有 1 阶、2 阶和 3 阶基础，每个独立基础下的 CFG 桩的桩数由 4 桩~13 桩组成，桩的间距也随基础桩数、布置型式而变，共有 11 种型式。其中部分 CFG 桩复合地基桩土应力比等试验综合数据表如下：

表 5.1-1 单桩复合地基试验综合数据表

编号	试验栋号 柱位	桩号 桩长 (m)	垫层 厚度 (mm)	淤泥 质土 夹层 厚度 (m)	最大 荷载 (kPa)	沉降量 (mm)	桩顶 压力 (kPa)	桩间土 压力 (kPa)	桩土 应力 比	桩土 承载比	单桩复 合地基 承载力 特征值 (kPa)
1	2-1 栋 2 [#] 柱	7 [#] 12.00	100	1.0	1500	37.37	3889	947	4.109	1.003	600
2	2-1 栋 3 [#] 柱	11 [#] 12.35	300	2.2	2000	98.22	9478	181	52.37	7.522	820
3	2-1 栋 3 [#] 柱	12 [#] 12.65	300	2.2	1500	102.72	4860	790	6.152	0.884	600
4	2-2 栋 1 [#] 柱	2 [#] 12.75	300	0.5	2000	69.98	4875	1225	3.980	0.572	925
5	2-2 栋 7 [#] 柱	26 [#] 12.95	100	1.5	2000	82.69	4077	1362	2.99	0.430	875
6	2-2 栋 7 [#] 柱	27 [#] 12.95	100	1.5	2000	93.57	4637	1410	3.289	0.472	875
7	2-4 栋 41 [#] 柱	372 [#] 12.55	100	0	1200	43.405	3329	1539	2.163	0.311	600
8	2-3 栋 48 [#] 柱	438 [#] 12.55	100	0	1200	33.4225	7690	110	69.91	10.042	600

注：桩土应力比与承载比的关系如下：

$$\frac{P_p}{P_s} = \frac{n \cdot m}{1 - m}$$

式中： m ——置换率， $m = A_p/A$ ；

n ——桩土应力比， $n = \sigma_p/\sigma_s$ ；

p_p ——试验载荷板面积范围内，桩分担的荷载；

p_s ——试验载荷板面积范围内，桩间土分担的荷载。

表 5.1-2 双桩复合地基试验综合数据表

编号	试验栋号 柱位	桩号 桩长 (m)	垫层 厚度 (mm)	淤泥质 土夹层 厚度 (m)	最大 荷载 (kPa)	沉降量 (mm)	桩顶压 力 (kPa)	桩间土 压力 (kPa)	桩土应 力比	桩土承 载比	复合 地基 承载力特 征值 (kPa)
9	2-1 栋 2#柱	10# 12.75	300	2.2	576	102.52	4086	745	5.485	0.479	380
		11# 12.35									
10	2-2 栋 5#柱	19# 12.75	100	0	760	53.16	1991	960	2.075	0.181	380
		20# 12.95									
11	2-3 栋 48#柱	434# 12.75	288	0	760	35.16	3512	634	5.537	0.484	380
		435# 12.55									

表 5.1--3 多桩复合地基试验综合数据表

编号	试验栋号柱位	桩号桩长(m)	垫层厚度(mm)	淤泥质土夹层厚度(m)	最大荷载(kPa)	沉降量(mm)	桩顶压力(kPa)	桩间土压力(kPa)	桩土应力比	桩土承载力比	复合地基承载力特征值(kPa)
12	2-1栋2#柱	5#12.35 6#12.75 7#12.65 8#12.65 9#12.55	300	1.0	760	98.91	4170	660	6.29	0.79	380
13	2-1栋4#柱	15#12.45 16#12.95 17#12.35 18#12.75	300	0	760	35.81	848	498	1.70	0.15	380
14	2-1栋7#柱	30#12.65 31#12.95 32#12.15 33#12.75	300	0	760	69.16	3486	725	4.81	0.42	380
15	2-1栋7#柱	30#12.65 31#12.95 32#12.15 33#12.75	500	0	760	22.21	1545	814	1.90	0.17	——
16	2-4栋41#柱	370#12.05 371#11.55 372#12.05	288 300 305	2.0~2.5	760	23.785	2154	315	6.839	0.938	380
17	2-6栋29#柱	201#12.3 203#11.9 204#12.5 206#11.9	288 305 350 386	5.6~6.2	760	53.17	2000	970	2.07	0.27	380
18	2-6栋32#柱	229#12.35 230#11.85 232#12.65 233#12.25	300	5.6~6.2	760	81.27	1570	870	1.81	0.20	380

从试验中发现桩土应力比的变化特征是：在单桩复合地基的试验中，桩土应力比随荷载增加而增加，说明桩土承载比随荷载增加而增加。但在双桩和多桩复合地基的试验中，虽也有部分复合地基的桩土应力比随试验荷载增加而增加，但多数情况下，桩土应力比随荷载变化的规律性不强，有的呈现上下波动，有的还出现降低的情况。这些说明在多桩复合地基中，桩顶受力非常复杂，影响桩土受力的因素较多。

5.1.4 CFG 桩复合地基设计采用的荷载及其效应组合，应按《建筑地基基础设计规范》GB50007-2002 第 3.0.4 条和行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008 第 3.1.7 条的规定执行。

5.1.5 由于复合地基中的地层情况和施工效果等本身存在着差异性与复杂性等特点，所以对 CFG 桩复合地基设计技术参数与施工工艺质量控制要求较高。若没有邻近同类场地的设计与施工经验参照，在设计阶段进行现场试验或试验性施工，才能使得设计达到科学合理。

5.1.6 经处理后的地基地基承载力特征值修正或验算下卧层的地基承载力等，应按《建筑地基处理技术规范》JGJ 79-2002 第 3.0.4 条有关规定的內容执行。

《建筑地基处理技术规范》JGJ 79-2002 第 3.0.4 条有关规定的內容如下：

CFG 桩复合地基，当基础宽度大于 3m 或埋置深度大于 0.5m 进行地基承载力特征值修正时，应符合下列规定：

- 1 基础宽度的地基承载力修正系数应取零；
- 2 基础埋深的地基承载力修正系数应取 1.0。

经处理后的地基，当在受力层范围内仍存在软弱下卧层时，尚应验算下卧层的地基承载力。

5.1.7 经 CFG 桩加固处理后，地基承载力和压缩模量将大幅度提高，地基变形也比未处理的地基小，但是，在地基处理的基础设

计中，仍应进行地基基础变形验算，《建筑地基处理技术规范》JGJ 79-2002 第 3.0.5 条也作了相应的规定，变形验算的范围按《建筑地基基础设计规范》GB 50007-2002 第 3.0.2 条的规定执行。

5.1.8 存在受水平荷载较大的地基，或者位于斜坡上的建筑物、构筑物存在着下滑惯性的水平力较大的地基，应对处理后的地基进行稳定性验算，即按《建筑地基处理技术规范》JGJ 79-2002 第 3.0.6 条的规定执行。

5.1.9 同一基础底面的褥垫层若不在同一水平面，出现了高差，则将造成厚度不一的褥垫层产生差异的变形，这不利于基础的均匀受力和复合地基的协同变形。为此，若有基础梁时，基础梁应设置上翻，使褥垫层在同一水平面上。

5.2 CFG 桩复合地基设计

5.2.1 CFG 桩的桩径应根据地质条件、土层性质和复合地基承载力的设计需要，综合考虑后确定；目前在国内华北与西北（雨季较少、地下水埋深较深）地区，有些 CFG 桩的桩径超过 600mm。桩径过小，施工质量不易控制；桩径过大，需加大褥垫层厚度，才能保证桩土共同作用。对于低层、多层建筑，可采用小直径，避免浪费；对于中高层、高层建筑，可采用大桩径，避免布桩困难。

桩间距的设置与土的挤密性有着直接的关系，根据工程实践，在饱和粘性土、砂土、粉土和人工填土等挤（振）密效果好的地基土中采用振动沉管成桩，桩间距取值大于 4 倍的桩径，则能够大幅度提高桩间土的承载力。而在饱和软粘土（如淤泥）、较密实的砂土和粘土等不可挤（振）密的地基土中不宜采用振动沉管，因为振动沉管过程中将对这些地基土产生扰动、松弛，反而会降低桩间土的承载力；由此宜采用静压沉管或长螺旋钻孔灌注成桩工艺。

5.2.2 为了使复核地基中各桩所属基础面积相差不大，CFG 桩不能布置的太靠基础边，以确保各桩承担均匀荷载。桩间距较大时，桩相互影响小，可充分发挥桩间土承载力；但置换率和复合地基承载力较低，所需的基础面积就较大，反而不经济，甚至会影响相邻桩的桩布置。相反地，桩间距较小、桩数较多时，置换率和复合地基承载力较高，所需的基础面积就较小，但桩间土得承载能力没有充分发挥，也是不经济。因此桩间距必须根据荷载、柱距、施工方法、地质情况综合考虑。

5.2.3 褥垫层主要是调节桩与桩间土应力和应变，密实度要求不宜太高，其夯填度不大于 0.90。采用夯填度控制方便现场施工控制，现场量测控制很容易做到，有利于工期。根据大量的现场试验测试结果表明，褥垫层厚度采用 150mm~300mm，较有利于桩与桩间土应力分配和应变协调；同时根据试验研究发现桩顶与桩间土的地基反力存在着较大的差异性，所以提出当桩分担荷载比例超过 50%或采用端承型的 CFG 桩时，应取高值。

而对于端承型的 CFG 桩桩顶的褥垫层厚度与级配砂石比例要求比较严格，要求应通过试验等综合分析后确定，理由详见 5.1.1 条文说明。

5.2.4~5.2.5 面积置换率 m ，根据布桩情况而定；工程实践中一般按 7~10%的面积置换率控制。

桩间土承载力按处理后再进行现场试验确定是比较符合实际的，但是，在设计阶段难于获得处理后的桩间土承载力，即使先作试验，数据也比较少，很难准确反映整个场地处理后的情况，因此，在设计时还要结合地区经验，并根据土的挤密性、施工方法等综合确定桩间土承载力。本规程表 5.2.5 中提供的桩间土承载力提高系数 α 值作为初步设计时参考。

对于挤（振）密效果好的松散砂土、粉土和填土（砂），采用振动沉管成桩处理后，桩间土承载力会大幅度提高。根据厦门翔

安滨海新近吹填土地地的 CFG 桩应用的研究结果表明，吹填土（砂）场地振动沉管灌注桩成桩直径扩大达 5~15%，所以取 $f_{sk} = 1.2 f_{ak}$ ，是安全可靠的。若设计中为了获得更高的提高系数，应通过现场试验确定 f_{sk} 。

对于可挤（振）密的黏性土，采用振动沉管成桩处理后，桩间土承载力也将高于天然地基承载力，根据厦门翔安滨海新近吹填土地地的 CFG 桩应用的研究结果表明，取 $f_{sk} = 1.1 \sim 1.2 f_{ak}$ 是安全可行的。但由于挤（振）密效果好的土其复合地基的承载力提高幅值与土的挤密分量大小有着直接的关系，所以，对于不同场地，宜通过现场试验确定 f_{sk} 的取值。

对于不可挤密的土，当施工速度慢时，桩间土受扰动较小，其承载力比天然地基承载力降低也较小；如淤泥质土，根据厦门翔安滨海新近吹填土地地的 CFG 桩应用的研究结果表明，取 $f_{sk} = f_{ak}$ 是可行的。同样，不可挤密土，对于快速施工时，施工中桩间土易扰动，桩间土承载力受影响较大，本规程表 5.2.5 中给出 $f_{sk} = (0.75 \sim 1.0) f_{ak}$ 供初步设计时参考，施工前尚应通过现场试验确定 f_{sk} 的最终取值，以获得较好的经济效益。

所谓施工速度快、慢是指上部结构加载与桩间承载力恢复两者的相比较而言，如果上部结构施工工期滞后桩间承载力恢复期，可认为是速度慢；如不可挤密的淤泥质土桩间承载力恢复期为 1~4 个月（不同地区的恢复期不同）。如果处理地基上的主体结构（含填充墙）施工工期在 3 个月以上（大部分工程施工期长于此时间），可视为速度慢。

对于长螺旋钻孔灌注成桩，无论是普通灌注成桩，还是压灌成桩（具有轻度挤土特征），取 $f_{sk} = f_{ak}$ 是安全可行的。

5.2.6 折减系数是为了给复合地基承载力留有安全储备而设置；重要的建筑应选择较小值，具有主楼与裙楼的高层建筑中，高层

部分可选择较小值，低层部分选择较大值。

5.2.7 CFG 桩复合地基中单桩（加劲体）竖向承载力特征值的计算方法与普通基桩相同，对不同设计等级的建筑基础要求，可按照《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008 第 5.3 节的有关规定执行。初步设计估算时，各土层的侧阻力特征值 q_{si} 和桩端阻力特征值 q_p ，可按福建省现行地方标准《建筑地基基础技术规范》DBJ 13-07-2006 表 9.2.4 中的有关经验参数确定。

5.2.8 与普通基桩按桩身混凝土强度的设计表达不同，CFG 桩桩身强度是以混合料的试块抗压强度平均值来表达，但实际结果基本相当。混凝土桩轴心抗压强度设计值 $Q = (0.65 \sim 0.75) f_c A_p$ ，从《混凝土结构设计规范》GB 50010-2002 可知， $f_c = 0.88 \times 0.76 f_{cu,k} / 1.4$ ，将其代入得： $Q = (0.435 \sim 0.502) f_{cu,k} A_p$ ，由 $Q/R_a = 1.27$ （设计值/特征值）代入得： $R_a = (0.435 \sim 0.502) f_{cu,k} A_p / 1.30 = (0.334 \sim 0.386) f_{cu,k} A_p = (1/3 \sim 1/2.6) f_{cu,k} A_p$ ，按下限取 $R_a = f_{cu,k} A_p / 3$ ，对于 CFG 桩， $f_{cu,k}$ （混凝土抗压强度标准值）改为 f_{cu} （CFG 桩抗压强度平均值）。

5.2.9 对于摩擦型 CFG 桩复合地基的基础变形计算包括加固区范围内复合土层的变形和加固区以下土层的变形。其变形验算的方法按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007-2002 第 5.3.5 条的规定执行。

对于端承型 CFG 复合地基，加固区以下的桩端岩土层应为坚硬的持力层（如碎块状强风化花岗岩或中微风化花岗岩等），相对于加固区土层是基本不发生沉降变形的，或者所能够发生的沉降变形极小，所以加固区以下可取 $S_2=0$ ，不需要进行变形验算。当然，当加固区以下沉降变形极小时，将使得桩（竖向加劲体）与土存在不协调变形的现象，这时需要褥垫层或桩顶可压缩变形的调节装置来协调基础的整体变形，这些方面设计计算时应综合考

虑，并结合检测试验进行动态设计修正。

复合地基变形计算经验系数 ψ_s ，不同地区的取值不同，也可按现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79-2002 中表 9.2.8 的有关规定取值。

5.2.10 由于加固段处理后的地基压缩模量较高、变形较小，而加固区以下，天然地基土压缩模量一般低于加固段复合地基的压缩模量，因此，地基变形计算深度应大于复合土层的厚度。变形验算深度按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007-2002 第 5.3.6 条的规定执行，计算土层的分层厚度 Δz 取值，按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007-2002 表 5.3.6 中有关规定取值。

在复合土层范围内，当压缩模量很高时，虽然计算的复合地基变形量满足公式（5.2.10）的要求，但遗漏了 CFG 桩桩端以下土层的变形量，所以应继续加深计算。

5.3 特殊环境下的 CFG 桩设计措施

5.3.2 采用锤击或振动沉管的成桩设计措施可以减轻或消除地基土的可液化性质，但处理效果未必全部满足设计要求，所以需采用辅助技术措施进行处理。在本省由厦门中福元建筑设计研究院设计的南安某高层住宅（地下一层，地上 30 层），底板以下约有 6~8m 厚的粉细砂层具严重液化特征；CFG 桩采用静压振动沉管工艺，施工完成后实测，发现该粉细砂层部分标贯未达设计要求，采用了高压旋喷桩作为防液化的辅助措施。竣工验收时实测累计最大沉降量为 28mm，处理效果较好，可借鉴。

建筑范围以外紧邻区域，指的是建筑范围以外的散水坡、紧邻的绿化带和小区道路等区域。这些区域若无防液化处理，地震时，将因其液化而造成建筑物地基抗震能力的下降，甚至造成建筑物的地基局部破坏等事故。这些区域可采用高压旋喷桩、高压

注浆等措施进行处理。

采用 CFG 桩复合地基的场地，当下卧存在较厚的淤泥、淤泥质土或可液化的软弱夹层时，对于有抗震设防要求的高层建筑物，是否对这些软弱夹层分别进行处理？尚需进一步研究和经验积累。下面根据国内外的相关地震研究成果资料，就地震与岩土层、地下水的关系情况介绍如下：

1 深度区别：地震时，地表的水平运动最大加速度比深层（地下 110m~150m）的大，即地表面的运动具有加速作用；

2 土质区别：地震时，地表土层的不同其地震运动放大系数不同，岩石风化土为 1.5，砂土为 1.5~3.0，软粘土为 2.5~3.5，淤泥 ≥ 3.5 ；

3 厚度区别：覆盖土层厚的，其地面建筑物破坏严重，反之则不严重（基岩埋深 $> 500\text{m}$ 的，抗震措施不到位的 100%倒塌）；

4 卓越周期区别：卓越周期是指地震加速度时呈曲线上相应于最大加速度的周期；若建筑物的固有周期与场地土层的卓越周期相近，则地震时建筑物的振幅大大增加。如建在卓越周期较短的硬而薄的土层上，刚度较大的 5~6 层房屋（固有周期较短——一般为 0.4~0.5 秒），将因地震激起较大的振幅，而 20~30 层的房屋（固有周期较长——一般为 1.5~2.5 秒）受影响极小。相反，建在厚度较大的软弱土层上的高层建筑对地震的响应比硬土上的放大 3~4 倍；

5 地下水区别：饱和的粉、细砂，可能由于地震液化（较多发生在 10m 以内、多数在 15m 以内、很少超过 20m 深的）而丧失地基承载能力；一般地下水埋深在 5m 以内时，受影响最明显；埋深大于 10m 后，则受地震影响很小；地下水对于砾石、碎石几乎无影响。

5.3.3 在本省区域内存在着丘陵地貌、岩溶地貌、花岗岩侵入地貌与滨海地貌，这些特殊的地貌中，往往存在持力层岩面起伏很

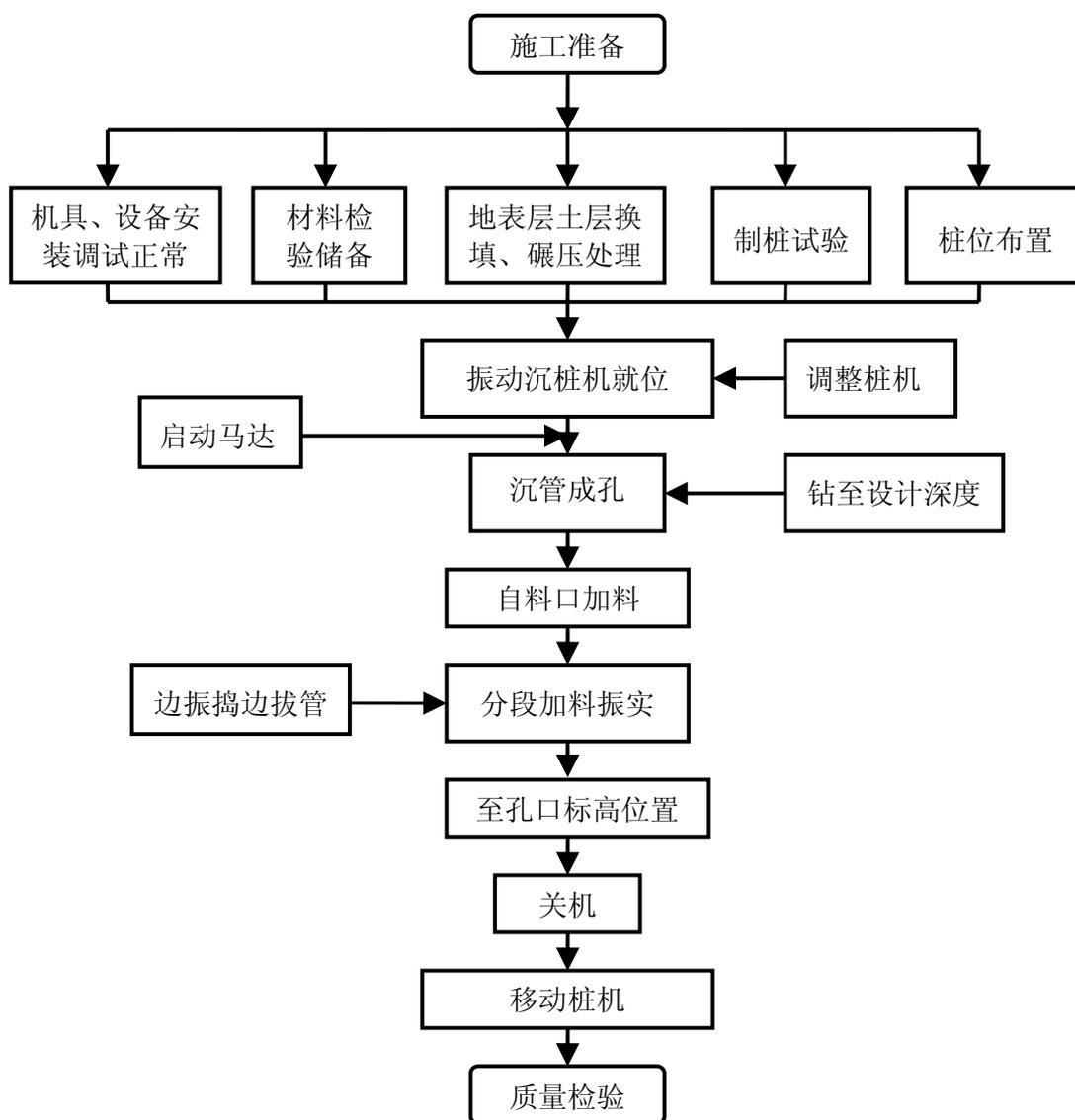
大、局部甚至起伏极大，这样在同基础结构内相邻或邻近桩往往会出现长短桩，由于 CFG 桩无配筋，则对于成桩后或后施工的长桩底部将受到不对称的挤土应力的作用而影响质量、甚至造成断桩缺陷，因此设计阶段应进行局部补勘，以便制定相应合理的技术措施。条文中“桩端持力层层面”出现“坡度较陡”或“标高相差较大”是以相邻桩中短桩的桩端应力扩散角范围的持力层是否完整和是否对相邻的长桩造成挤土影响来界定；若桩端应力扩散角范围内的持力层不完整(局部缺失、由强度较低的土层代替)，则将因桩端土层产生较大的蠕动变形而对其相邻的 CFG 桩造成挤压影响，这是设计与施工中需要重点防范的，由此进行补勘与采取技术措施是必要的。在本省龙岩地区厦门中福元建筑设计研究院设计的某工程中，其下卧石灰凝岩岩面变化极大，CFG 桩施工完成后发现相邻桩相差几米甚至 10 来米，考虑桩间补桩易造成已施工无钢筋的 CFG 桩桩身折断，所以采用了高压旋喷桩进行桩间补桩的设计处理措施，效果较好，可借鉴。

6 CFG 桩施工与安全措施

6.1 一般规定

6.1.1 成桩机械的垂直度偏差控制按表 6.1.4 的要求执行；在施工中标尺画线往往易受磨损，若不及时修复将影响观测的准确性。

6.1.2 挤土型的桩宜采用隔桩跳打的方法；当满堂布桩时，宜从中部向四周推进施工。CFG 桩振动沉管成桩施工工艺流程图如下：



6.1.4 持力层异常是指局部桩端持力层埋深与地勘报告中剖面

不一致，这时需要报告设计处理。

6.1.6 当水泥明显受潮、或淋过小雨，虽然抽查复检合格，但应考虑可能存在质量离散性，使用中应引起注意，必要时降级使用。

桩体材料中粗骨料应按灌注工艺的可行性而定，对于泵送、压灌成桩工艺的粗骨料粒径取低值。

6.1.8 混合料的试块为边长 150mm 的立方体，一组共 3 块。

6.1.9 本条中的“出现长短桩”指的是桩长相差大于桩间距或者大于短桩的桩端应力扩散角范围的情况，处理方法可参照第 5.3.3 条的条文说明。

6.2 施工准备

6.2.8 施工前“试成孔数量不少于 3 个”是考虑到 CFG 桩复合地基的场地岩土条件差异性、设计计算复杂性和施工质量不稳定性等因素，若试成孔数量太少则可能影响代表性。

6.3 振动沉管灌注桩

6.3.1 当软土较为深厚且布桩较密，或周边环境有严格要求时，应谨慎选用施工方法。若采用预制钢筋混凝土桩尖，需埋入地表以下 300mm 左右。

6.3.2 单打法施工在控制成孔时最后 30s 的电流、电压值，对应的控制是抬架的配重；“在软弱土层中宜控制在 0.5m/min~0.7m/min”是根据厦门翔安滨海吹填土地 CFG 桩应用研究结果而制定。

6.3.3 如果能够一次加满混合料的可不该分段添加混合料。

6.3.5 灌注时塌落度和骨料的粒径主要应通过试验和施工工艺的可行性来确定。

6.4 长螺旋钻孔灌注桩

6.4.1 长螺旋预钻孔灌注桩适用于地下水以上或地下水水量较少的粘性、粉土、砂土、填土地基；地下水位较高或较丰富时，应采用长螺旋钻孔中心压灌法施工。

6.4.4 本条规定普通灌注时粗骨料的“最大粒径不应大于50mm”、而不是“最大粒径不宜大于30mm”，是因为CFG桩中无钢筋，容易灌注、且不会影响成桩质量，同时也适应素混凝土桩的发展需要。

6.4.5 施工中保证混合料泵送工作顺利进行的施工技术措施，包括输送泵管径选型，输送管布置及弯道数量的控制，泵机与钻机的距离控制和保持输送管水平、稳固的措施。本条规定“料斗内混合料的高度不得低于400mm”，是为了防止吸入空气造成堵管。

6.4.9 泵送压灌时充盈系数宜为1.0~1.2，是考虑到施工中经常遇到岩土层异常情况，出现超灌现象；为了避免盲目超灌，所以规定充盈系数上限为1.2。出现超灌宜暂停、并查找原因。

6.5 基槽开挖和桩头处理

6.5.3 当开挖到基槽底出现局部软化，通俗称为“橡皮土”时，应按设计要求进行处理。

6.6 褥垫层铺设与基槽回填

6.6.2 在降水基础上，当基础底面下桩间土的含水量还是较大时，选用动力夯实法的效果较好；其他情况的选用动力夯实法或静力压实法均可。

6.6.3 对于端承型CFG桩的褥垫层，若粗颗粒的碎石沉陷明显，褥垫层的面层可否增补适量的粗颗粒碎石，应按工程的实际设计情况而定，不能盲目增补粗颗粒碎石等。

6.7 安全措施

6.7.1 CFG桩机械设备的安装、使用、维修、检验检测及设备用电安全等，应按《建筑机械使用安全技术规范》JGJ33—2001、《施工现场机械设备检查技术规程》JGJ160—2008及《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ46—2005等有关规定执行。本条文中“应符合设备使用说明书”，主要是考虑不同成桩方法（振动沉管灌注成桩、长螺旋钻孔灌注成桩）所使用机械设备不同，而不同厂家的成桩机械其安装、使用、维修、拆卸等程序或方法有差别，且机械检查规程又没办法根据各种桩型具体说明；另外也参照近来发生的一些塔吊、施工电梯等大型施工设备的安全事故而强调的装拆使用应按使用说明书要求。

6.7.2 根据住房和城乡建设部《建筑施工特种作业人员管理规定》（建质[2008]75号）的文件要求，桩工机械操作工必须取得省级建设行政主管部门颁发的“桩工机械操作工”特种作业操作证，持证上岗。

6.7.4 本条文中“成桩机械在空旷场地作业应有防雷击措施”是根据厦门翔安某滨海开发区在空旷场地成桩机械作业时遭遇雷击的案例而规定。条文中要求配置“末级开关箱”，主要是借鉴在平时安全检查时，发现很多施工现场都直接将大型设备（如成桩机械设备等）随机配电箱作为末级开关箱使用，随机配电箱只是作为机械开启或关闭作用，其内部安全防护装置不能满足临时用电规范中对末级开关箱的要求。

6.7.8 施工现场的环境卫生和文明施工应按现行行业标准《建筑施工现场环境与卫生标准》JGJ 146-2004的有关规定执行。

7 CFG 桩复合地基工程质量检验与验收

7.1 施工中质量控制

7.1.1~7.1.3 施工过程中,振动对桩间土产生的影响视土性不同而异,对结构性土强度一般要降低,但随时间增长会有所恢复;对挤密效果好的土强度会增加。

7.2 成桩质量检验

7.2.1 本条规定了 CFG 桩复合地基中不仅应进行复合地基承载力的检验,而且还应进行桩身质量检验。由于工程实践中,发现不少工程复合地基承载力检验中仅做单桩复合地基承载力的检验,没有多桩复合地基承载力的检验,但又无相关规范的规定,为了给工程施工与验收中有个依据,本条明确了复合地基承载力的检验包括单桩和多桩复合地基承载力的检验。

7.2.2 现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106-2002 第 9.4.4 条仅规定:低应变动测法的检测数量不应少于总桩数的 10%,没有其他针对性的规定内容。因本规程根据工程实践发展的需要,首次在 CFG 桩复合地基中提出端承型 CFG 桩设计与施工,并考虑到其桩体受力具有特别重要性,因此规定了其桩身质量动测法检测数量与《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 中钢筋混凝土的基桩的动测法检测数量相同。

根据厦门翔安滨海新近吹填土地场的 CFG 桩应用的研究结果表明,当复合土层中存在淤泥等软弱夹层时,CFG 桩成桩质量存在不同程度的缩径现象,因此有必要增加桩身质量动测法检测数量,所以本规程规定了这类摩擦型 CFG 桩检测数量不应少于总桩数的 20%,比无淤泥的摩擦型 CFG 桩检测数量增加 10%。其他摩擦型的 CFG 桩成桩质量检测数量与现行行业标准《建筑基桩检测技

术规范》JGJ 106-2002 第 9.4.4 条的规定相同：即不应少于总桩数的 10%，但增加了不得少于 10 根规定。

本条成桩质量检验的规定中没有涉及钻芯法等其他检验方法，是因为 CFG 桩内无配筋，钻芯时的振动可能导致中小直径的 CFG 桩产生破坏；但是当 CFG 桩的桩径较大，不受钻芯影响时，CFG 桩的成桩质量检验采用钻芯法检验也是可行的，具体可由设计、施工等单位根据实际情况商定。

若出现 III 类桩时，有条件的可采用开挖验证。

7.2.3 CFG 桩桩体强度能够满足试验荷载条件，一般需要在施工结束后 3~4 周的时间。不同土层受基桩施工挤土扰动后强度恢复期的时效分别为：杂填土，不宜少于 7 天；砂土，不宜少于 7~10 天；粉土，不宜少于 10 天；花岗岩残积砂质粘性土，不宜少于 12 天；非饱和粘性土，不宜少于 15 天；饱和软粘性土，不宜少于 25 天；遇水易软化的风化岩层，不宜少于 30 天；根据《建筑地基处理技术规范》JGJ 79-2002 中介绍南京造纸厂淤泥质粉质粘土强度恢复期超过 32 天、天津塘沽地区淤泥质粘土强度恢复期超过 120 天。

单桩竖向抗压静载试验应按现行国家行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106-2003 中的有关规定执行，复合地基载荷试验应按现行国家行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79-2002 中附录 A 复合地基载荷试验要点的有关规定执行。

7.2.4 施工质量有疑问的桩（点）：除了常见的施工质量缺陷以外，还包括混合料供应不及时造成单桩两次灌注的间隔时间超过初凝时间的桩（点）和施工成桩速度慢造成预拌混合料在施工现场停滞时间超过初凝时间后再灌注的桩（点）等。

7.2.5

1~2 本条文中单桩与多桩复合地基承载力检验数量和单桩竖向抗压静载试验的检验数量都是最低的检验数量要求，工程实

践中应根据本规程第 7.2.4 条中罗列的代表性类型进行对应分析，每个类型中应有检验桩（点）作为该类型的代表；除了这些特殊类型的桩（点）以外，施工正常成桩的也是一个类型，也应有代表性的检验桩（点）。

3 本条文中单桩承载力的载荷试验数量是参照现行福建省工程建设地方标准《建筑地基基础技术规范》DBJ 13-07-2006 中第 12.4.2 条的规定内容。

4 根据厦门翔安滨海新近吹填土地地的 CFG 桩应用的研究结果表明，在多桩复合地基承载力检验中同时监测同基础中不同桩顶应力的差异性和桩土反力的差异性情况，可达到一举两得的目的。有了多桩复合地基承载力检验和同基础中不同桩顶应力及桩土反力的差异性资料，在基础施工前、设计可根据这些实际数据进行复核或验算柱下应力扩散角外桩对基础的冲切情况和验证基础设计型式中的合理性情况；所以在承载力检验中同时进行桩顶应力和桩土反力的监测工作是十分重要的。

5 桩端持力层为遇水易软化的土层，经常因施工的扰动、浸水而改变土层的性能；石灰岩岩溶地区的风化土层场地，因为桩端下卧层可能有无知的薄壳易坍塌的溶洞；因此要求由勘察、设计单位确定适当增加复合地基承载力检验数量。

7.2.6 CFG 桩桩身完整性检测或复合地基承载力检验发现不合格的桩（点）时，应由项目监理机构总监理工程师召集建设、勘察、设计、施工、检测等单位共同根据地质条件和施工情况进行讨论确定处理方案。

7.3 工程验收

7.3.1~3 CFG 桩子分部工程完工后，工程验收过程中除了执行本条文中的规定外，还应按《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202-2002 中有关规定执行。