

T/GEDA

团体标准

T/GEDA XXX-2024

挤土式螺旋灌注桩技术规程

Technical specification for soil extrusion spiral cast-in-place pile

征求意见稿

XXX-XX-XX 发布

XXX-XX-XX 实施

广西勘察设计协会 发布

广西勘察设计协会公告

前言

根据广西勘察设计协会《关于〈第二批广西勘察设计协会〉团体标准立项的通知》（桂设协〔2022〕58号）要求，编制组经广泛调查研究，总结近年来广西挤土式螺旋灌注桩的经验，结合工程实践，参考区内外先进标准，在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程共分7章和3个附录，主要内容包括：总则、术语和符号、基本规定、勘察、设计、施工、质量检验。

本规程的某些内容可能涉及专利，本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由广西勘察设计协会归口管理，由中建材广西勘测规划设计有限公司负责具体技术内容解释。本规程执行过程中如有意见或建议，请寄送至中建材广西勘测规划设计有限公司（地址：广西壮族自治区桂林市象山区翠竹路南一巷6号，邮政编码：541004，电子邮箱：gkancha@163.com），以便修订时参考。

主编单位：中建材广西勘测规划设计有限公司
广西中岩实业发展有限公司

参编单位：广西华南岩土工程集团有限公司
广西壮族自治区建筑工程质量检测中心有限公司
核工业柳州工程勘察院
中铁二院工程集团有限责任公司南宁勘察设计院
桂林建筑规划设计集团有限公司
广西大学设计院有限公司
四川志德岩土工程有限责任公司
广西有色勘察设计院
南宁市勘测设计院集团有限公司
建华建材（广西）有限公司
广西结建人防工程设计有限公司
恒晟水环境治理股份有限公司
桂林市水利电力勘测设计研究院
广西地龙岩土工程有限公司
广西钧辉岩土劳务有限公司

主要起草人：姜大伟 蒋仕清 汤湘军 付道领 廖可超 覃燕娜 李永新 冯建东
陈宇棠 邢文豪 乌青松 潘科 张家文 杨振宇 莫东 麦颖
贺行良 张友军 闫慧莲 陈宇柱 梁清潭 左述明 王洋 李勇成
沈园园 马旭山 石科 苏弦 韦耀琥 王文龙 黄剑军 杨存

唐合岗 李小明 韦联华 梁新彩 张信贵 严利娥 谢卓言 韩 伟
黄春民 董庆华 史瑞旭 劳本桔 付 博 李 峰 刘永红 李 敏
吴思睿 梁 星 董建明 吴连泽 邓冠民 黄甫金 张祖飞 甘永荫
吴新华 闫林芳 卢超玉 刘海光 汤 辉

主要审查人：

目 次

1 总 则	- 1 -
2 术语和符号	- 2 -
2.1 术 语	- 2 -
2.2 符 号	- 2 -
3 基本规定	- 3 -
4 勘 察	- 5 -
5 设 计	- 7 -
5.1 一般规定	- 7 -
5.2 桩的分类与布置	- 7 -
5.3 基桩构造	- 8 -
5.4 单桩竖向抗压承载力确定	- 10 -
5.5 抗拔承载力验算	- 15 -
5.6 单桩水平承载力计算	- 17 -
5.7 桩基沉降计算	- 17 -
5.8 复合地基	- 18 -
6 施 工	- 22 -
6.1 一般规定	- 22 -
6.2 施工准备	- 22 -
6.3 钻机、钻具与施工方法	- 23 -
6.4 施工与质量控制	- 24 -
7 检验和验收	- 27 -
7.1 一般规定	- 27 -
7.2 施工检验	- 27 -
7.3 工程验收	- 28 -
附录 A 螺旋挤扩钻具的结构构造	- 30 -
附录 B 施工质量控制要点与控制措施	- 32 -
附录 C 施工工艺流程	- 33 -
用 词 说 明	- 34 -
引用标准名录	- 35 -
条文说明	错误！未定义书签。

Contents

1	General Provisions.....	1
2	Terms and Symbols.....	2
2.1	Terms.....	2
2.2	Symbols.....	2
3	Basic Assumptions.....	5
4	Investigation.....	7
5	Design.....	9
5.1	General requirements.....	9
5.2	Classification and arrangement of piles.....	9
5.3	Foundation pile construction.....	10
5.4	Determination of vertical compressive bearing capacity of single pile.....	12
5.5	Calculation of uplift bearing capacity.....	18
5.6	Calculation of horizontal bearing capacity of single pile.....	20
5.7	Calculation of pile foundation settlement.....	20
5.8	Composite foundation.....	21
6	Construction.....	25
6.1	General requirements.....	25
6.2	Construction preparation.....	25
6.3	Drilling rig, drilling tools and construction methods.....	26
6.4	Construction and quality control.....	27
7	Inspection and Acceptance.....	30
7.1	General requirements.....	30
7.2	Construction inspection.....	30
7.3	Engineering acceptance.....	31
Appendix A	Structural construction of the screw extrusion drilling tool.....	33
Appendix B	Key points and control measures for construction quality control.....	35
Appendix C	Construction process flow.....	36
	Explanation of Wording in This Code.....	37
	List of Quoted Standards.....	38
	Addition: Explanation of Provisions.....	39

1 总 则

1.0.1 为规范挤土式螺旋灌注桩的技术要求，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 本规程适用广西壮族自治区房屋建筑与市政基础设施工程中挤土式螺旋灌注桩的勘察、设计、施工和质量检验。

1.0.3 挤土式螺旋灌注桩应根据岩土工程勘察资料，综合考虑拟建场地环境、荷载特征、施工技术及设备条件，合理选型和强化施工质量控制及检验。

1.0.4 挤土式螺旋灌注桩的勘察、设计、施工和检验，除应符合本规程的规定外，尚应符合国家、行业和广西壮族自治区现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 挤土式螺旋灌注桩 Soil-squeezing spiral cast-in-place pile

一种利用螺旋挤扩钻具在可挤密岩土层中钻掘挤土成孔并通过钻具中心压灌混凝土而形成的圆柱形的桩体。

2.1.2 桩基 Pile foundation

由设置于岩土中的桩和与桩顶连接的承台或筏板共同组成的基础或由柱与桩直接连接的单桩基础。

2.1.3 复合桩基 Composite pile foundation

由基桩和承台或筏板（或箱形基础）下地基土共同承担荷载的桩基础。

2.1.4 复合地基 Composite foundation

部分土体被增强或被置换，形成由地基土和竖向增强体共同承担荷载的人工地基。

2.1.5 挤土式螺旋灌注桩复合地基 Compaction-type spiral grouting pile

以挤土式螺旋灌注桩作为竖向增强体的复合地基。

2.1.6 全挤土式螺旋挤扩钻具 Full-extrusion type spiral extrusion drilling tool

由中空钻杆、钻杆螺旋叶片、挤扩体、钻头反向螺旋叶片与钻头构成的钻具。

2.1.7 部分挤土式螺旋挤扩钻具 Partial soil-squeezing screw expanding drilling tool

由中空钻杆、钻杆螺旋叶片、挤扩体、挤扩体中排土槽、钻头正向螺旋叶片、挤扩体加长钻杆与钻头构成的钻具。

2.2 符号

2.2.1 作用和作用效应：

N ——相应于作用的基本组合时，作用于桩顶的竖向力设计值；

N_k ——相应于作用的标准组合时，作用于基桩的竖向上拔力；

p_0 ——相应于作用的准永久组合时，作用于基础底面处的附加压力。

2.2.2 抗力和材料性能：

E_{spi} ——加固区第*i*土层的复合压缩模量；

E_{si} ——加固区第*i*土层的压缩模量；

E_{sj} ——加固区以下第*j*土层的压缩模量；

- \bar{E}_s ——变形计算深度范围内压缩模量的当量值；
- f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值；
- f'_y ——纵向受力钢筋抗压强度设计值；
- f_{spa} ——深度修正后的复合地基承载力特征值；
- f_{spk} ——复合地基承载力特征值；
- f_{spk2} ——采用桩径为 d_2 的桩进行地基处理，在基础底面形成的复合地基承载力特征值；
- f_{ak} ——基础底面下天然地基承载力特征值；
- f_{sk} ——处理后桩间土承载力特征值；
- f_{cu} ——桩体试块(边长为150mm的立方体)标准养护28d的立方体抗压强度平均值；
- G_{gp} ——群桩基础及其所包围的桩间土总自重除以总桩数后计算的单桩自重标准值；
- G_p ——基桩自重及其扩径体以上部分土体自重标准值；
- Q_{uk} ——单桩竖向抗压极限承载力标准值；
- q_{pk} ——单桩极限端阻力标准值；
- q_{sik} ——桩侧第 i 层土的极限侧阻力标准值；
- R_a ——单桩竖向抗压承载力特征值；
- T_{gk} ——群桩呈整体破坏时，基桩总抗拔极限侧阻力标准值；
- T_{uk} ——群桩呈非整体破坏时，基桩总抗拔极限侧阻力标准值；
- γ_m ——基础底面以上土的加权平均重度。

2.2.3 几何参数：

- A_p ——桩身截面面积；
- A_s' ——纵向受力钢筋截面面积；
- D ——桩身直径；
- d ——基础埋置深度；
- l ——桩身长度；
- m ——按桩身截面面积计算的面积置换率；或加固区以下土层分层数；
- n ——群桩基础中的桩数；或加固区土层分层数；
- s ——挤土式螺旋灌注桩桩基的最终沉降量；或复合地基最终沉降变形量；
- s_z ——按等截面桩基计算的最终沉降量；
- s_1 ——复合地基加固区土层压缩变形量；
- s_2 ——复合地基加固区以下土层压缩变形量；

u ——桩身周长；
 u_{gk} ——群桩外围周长。

2.2.4 计算系数：

K ——安全系数；
 β ——桩间土承载力发挥系数；
 β_p ——挤土式螺旋灌注桩端阻力提高系数；
 β_{si} ——挤土式螺旋灌注桩侧阻力提高系数；
 λ ——复合地基单桩承载力发挥系数；或加固区地基变形量调整系数；
 λ_i ——抗拔系数；
 ζ ——加固土层压缩模量提高系数；
 ξ_l ——等效抗拔长度系数；
 Ψ_B ——桩基沉降计算经验系数；
 Ψ_c ——基桩成桩工艺系数；
 Ψ_s ——复合地基沉降计算经验系数。

3 基本规定

3.0.1 挤土式螺旋灌注桩适用于一般填土，黏性土，粉土，砂土，细粒碎石土，全风化基岩，强风化软质岩；红黏土，膨胀土，广西新近系、古近系全~强风化软质半成岩等可挤密的岩土层；对深厚饱和软黏土、淤泥质土、含碎（块）石填土，粗粒碎石土，强风化硬质岩，广西新近系、古近系中风化软质半成岩地层，应通过试验确定。

3.0.2 挤土式螺旋灌注桩可用作桩基础的基桩和复合地基的竖向增强体。

3.0.3 挤土式螺旋灌注桩的桩径宜为200mm~800mm。

3.0.4 挤土式螺旋灌注桩基础及挤土式螺旋灌注桩复合地基设计前，应具备岩土工程勘察报告、上部结构及基础设计和场地环境等有关资料。

3.0.5 挤土式螺旋灌注桩桩基础或挤土式螺旋灌注桩复合地基设计应基于下列资料：

1 拟建场地与环境条件资料，包括下列内容：

1) 岩土工程详细勘察报告，主要包括拟建场地类别、抗震设防烈度及设计地震动参数；

2) 拟建场地内及周边交通设施、地上与地下管线及地下结构物分布；

3) 附近工程地质条件类似场地的桩基或复合地基的现场试验资料；

4) 周围环境的防振与防噪声要求。

2 建（构）筑物的相关资料，包括下列内容：

1) 总平面布置图；

2) 结构类型、荷载分布、建（构）筑物的使用条件、对地基基础的竖向及水平向变形的要求；

3) 建筑结构的安全等级。

3.0.6 排列基桩时，宜使桩群承载力合力点与竖向永久荷载和力作用点重合。

3.0.7 桩身混凝土应采用和易性较好的超流态混凝土，混凝土拌制所用的原材料应符合下列规定：

1 水泥强度等级不应低于32.5MPa；

2 粗骨料宜选用质地坚硬的卵石或碎石，最大粒径不宜大于20mm，含泥量不应大于2%，粗骨料的质量应符合现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52 的有关规定；

3 细骨料应选用中砂，含泥量不应大于3%，质量应符合现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52 的有关规定；

4 粉煤灰宜选用I级或II级粉煤灰，质量应符合现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596 的有关规定；

5 外加剂宜选用丙烯酸系水下混凝土絮凝剂，质量应符合现行国家标准《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 的有关规定；

6 混凝土拌制用水应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63 的有关规定。

3.0.8 挤土式螺旋灌注桩施工应具备下列资料：

- 1 不同的挤土成桩施工工艺对地质条件的适用性评价；
- 2 挤土式螺旋封闭挤扩钻具的类型、钻机的技术性能参数及动力要求；
- 3 水、电及建筑材料的供应条件；
- 4 施工机械设备的进出场及现场作业条件。

3.0.9 采用挤土式螺旋灌注桩的工程，施工前应通过成桩工艺性试验确定桩的施工参数。

3.0.10 挤土式螺旋灌注桩应根据设计用途进行施工质量检验。

4 勘 察

4.0.1 拟采用挤土式螺旋灌注桩的桩基础与复合地基工程，应根据工程重要性与特点、场地条件、地基复杂程度及本规程的桩基础与复合地基的设计需要确定岩土工程勘察方案；岩土工程勘察应采用现场勘探、原位测试与土工试验相结合的方法，并合理确定勘探点间距、勘探孔深度及控制性勘探孔深度。

4.0.2 拟采用挤土式螺旋灌注桩的桩基础或复合地基工程的场地，工程地质与水文地质勘察应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 及《广西壮族自治区岩土工程勘察规范》DBJ/T 45-066 的有关规定，并应符合下列规定：

- 1 应依据地貌单元、地层时代与地层岩性确定地层划分、岩土层结构与性质、风化等级与程度及岩土体对建筑材料的腐蚀性；
- 2 应查明场地及周边不良地质作用类型、成因、分布及危害程度，评价坡地、近岸场地的稳定性；
- 3 应查明地下水的类型与分布，含水层的分布、厚度、埋深与水位及补给排泄条件，并应评价地下水对建筑材料的腐蚀性以及对施工与正常使用期间的不利影响；
- 4 应提供岩土层的分类指标、物理性质指标、工程力学指标等；
- 5 对于可液化土、欠固结土、红黏土及膨胀岩土，应查明特殊地基土的范围与性质，并应分析桩周土体产生负摩阻力的可能性，提供桩侧负摩阻力计算参数；
- 6 持力层为倾斜地层、基岩面凹凸不平、具有临空面或洞穴时，应评估桩基础或复合地基的稳定性。

4.0.3 岩土勘察前应收集拟建场地与环境条件的有关资料：

- 1 拟建场地地上及地下管线、地下构筑物 and 受沉桩影响的相邻既有建筑安全等级、基础形式及埋置深度；
- 2 附近类似工程地质条件场地的工程试桩资料和单桩承载力设计参数。

4.0.4 挤土式螺旋灌注桩作为桩基础时，其详细勘察除应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021及《广西壮族自治区岩土工程勘察规范》DBJ/T 45-066的有关规定外，尚应符合下列规定：

- 1 对于端承型桩，当相邻两个勘探点揭露出的桩端持力层面坡度大于10%或持力层起伏较大、地层分布复杂时，应根据具体工程条件适当加密勘探点；
- 2 对于摩擦型桩，遇到土层的性质或状态在水平方向分布变化较大，或存在可能影响成桩的土层时，应适当加密勘探点；

3 复杂地质条件下的柱下单桩基础应按柱列轴线布置勘探点，并宜每桩设一勘探点；

4 软土、黏性土、粉土和砂土的原位测试方法宜采用标准贯入试验，碎石土宜采用重型或超重型圆锥动力触探试验；

5 勘探深度应满足稳定性和沉降计算深度的要求。

4.0.5 挤土式螺旋灌注桩作为地基处理竖向增强体时，其详细勘察应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 及《广西壮族自治区岩土工程勘察规范》DBJT 45-066 的有关规定外，尚应符合下列规定：

1 勘探点平面布设应按天然地基勘察方案布设，当适宜作为桩端持力层的土层顶面高程、厚度变化较大时，应加密勘探点，查明其变化；

2 勘探点深度应符合本规程第4.0.4条的规定，查明适宜作为桩端持力层的地层分布情况和下卧层岩土层的性状。

4.0.6 岩土工程勘察报告有关挤土式螺旋灌注桩技术选用的评价应包括下列内容：

1 拟建场地所在地区的地震效应、地基土液化、湿陷性、膨胀性以及泥岩砂岩软化性评价；

2 提供场地地下水的类型、埋藏条件及年变化幅度等水文地质条件，判定地下水对建筑材料的腐蚀性，评价地下水对桩基、复合地基设计和施工的影响；

3 对挤土式螺旋灌注桩技术可行性进行定性分析、评价，并对成桩过程中的施工风险及对周围环境等造成的不良影响进行分析、评价；

4 根据勘察成果，结合当地经验和既有工程资料，提出挤土式螺旋灌注桩工艺选择建议及相关技术设计参数。

4.0.7 当已有勘察资料不能满足挤土式螺旋灌注桩设计和施工要求、地下水状态和性质对设计和施工有影响时，应进行施工勘察。

5 设计

5.1 一般规定

5.1.1 挤土式螺旋灌注桩基础和挤土式螺旋灌注桩复合地基应根据现行国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153 的有关规定，按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行设计。

5.1.2 挤土式螺旋灌注桩按桩基础设计时，应根据现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定确定设计等级。

5.1.3 应根据挤土式螺旋灌注桩基础的使用功能和受力特征分别进行桩基的竖向承载力计算、水平承载力计算及稳定性验算，并应符合下列规定：

1 设计等级为甲级的建筑或有设计要求时，应在场地有代表性的区域进行试验性施工和试验桩试验，并应根据检验结果进行桩基础设计；

2 布桩方案应在综合分析建筑物或构筑物的使用要求、结构类型、荷载分布、基础形式、地质条件及环境条件的基础上确定；

3 桩基础的沉降变形计算与稳定性验算应按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定执行。

5.1.4 挤土式螺旋灌注桩复合地基应按上部结构、基础和地基共同作用的原理进行设计，并应符合下列规定：

1 对于大型和重要工程，应在有代表性的场地上进行现场试验或试验性施工，并应检验设计参数和处理效果，通过分析计算对设计方案进行优化；

2 复合地基的承载力与变形计算及稳定性验算应按国家现行标准《复合地基技术规范》GB/T 50783 和现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 的有关规定执行；

3 复合地基应进行桩身强度及完整性检验，复合地基承载力应采用复合地基静载荷试验和单桩静载荷试验进行验收检验。

5.2 桩的分类与布置

5.2.1 挤土式螺旋灌注桩用作基础桩时宜采用摩擦型桩或端承摩擦型桩。

5.2.2 挤土式螺旋灌注桩用作基础桩时，最小中心距应根据相邻基桩间的成桩挤土效应影响范围和挤密程度来确定，最小中心距应符合表5.2.2 的规定；有当地经验或施工中采用减小挤土效应的技术措施时，最小中心距可适当减小。

表 5.2.2 挤土式螺旋灌注桩用作桩基础时的最小中心距

岩土类别	排数不少于 3 排， 且桩数不少于 9 根的情况	其他情况
非饱和土、饱和非黏性土、 风化软质岩	4.0D	3.5D
饱和黏性土、细粒碎石土	4.5D	4.0D

注：D为桩身直径。

5.2.3 需要利用挤密效应处理松散填土、碎石土的挤土式螺旋灌注桩基础或挤土式螺旋灌注桩复合地基的工程，桩的最小中心距宜取 $(2.5\sim 3.0)D$ 。

5.2.4 桩端持力层应选择较为密实、坚硬、层位稳定的岩土层，桩端全断面进入持力层的深度应符合下列规定：

- 1 黏性土、粉土层不宜小于 $2.0D$ ；
- 2 砂土层不宜小于 $1.5D$ ；
- 3 碎石土层、全风化软质岩与强风化软质岩层不宜小于 $1.0D$ ；
- 4 当存在软弱下卧层时，桩端以下硬持力层厚度不应小于 $3.0D$ 。

5.3 基桩构造

5.3.1 挤土式螺旋灌注桩用作桩基础时，其配筋应符合下列规定：

1 受压桩的正截面配筋率宜取 $0.40\%\sim 0.65\%$ ，小直径桩应取高值，承重较大荷载的受压桩应根据计算确定配筋率，且配筋率不宜小于表5.3.1的规定值。

2 基桩的纵向钢筋配筋长度应符合下列规定：

1) 设计等级为甲级的建筑桩基、位于地震设防烈度8度及以上地震区或 $2/3$ 桩长位于具有湿陷性的填土层中的桩基础，应沿桩身等截面或变截面通长配筋，且变截面长度应小于桩长的 $1/2$ ；

2) 地震设防烈度小于8度区域的场地，摩擦型受压桩配筋长度不宜小于 $2/3$ 桩长；

3) 基桩纵向主筋应穿过可液化土及欠固结土层，且进入稳定岩土层的深度不宜小于 $3.0D$ ；

4) 可能产生负摩阻力的桩，桩身纵向主筋应穿过可能产生负摩阻力的土层，进入稳定岩土层深度不宜小于 $3.0D$ 。

表5.3.1 挤土式螺旋灌注桩的纵向钢筋最小配筋率

岩土类别	$D < 500\text{mm}$	$500\text{mm} \leq D < 600\text{mm}$	$D > 600\text{mm}$
淤泥质土、严重液化土	0.50%	0.45%	0.40%
饱和黏性土、具有湿陷性的土、素填土	0.45%	0.40%	0.40%
全风化软质岩、强风化软质岩、其他土	0.40%	0.40%	0.40%

3 基桩的箍筋配筋应符合下列规定：

1) 箍筋应采用螺旋式，箍筋直径不应小于 6mm ，间距宜为 $200\text{mm} \sim 300\text{mm}$ ；受水平荷载较大的基桩及计入纵筋作用计算桩身受压承载力时，桩顶以下 $5.0D$ 范围内的箍筋应加密，且箍筋间距不应大于 100mm ；

2) 位于可液化土层范围内的桩身箍筋应加密；钢筋笼长度超过 4m 时，应每隔 2m 设置一道直径不小于 12mm 的焊接加劲箍筋；

3) 桩身配筋其他要求应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定。

5.3.2 对于受水平荷载的桩，主筋不应小于 $8\phi 12$ ；对于抗压桩和抗拔桩，主筋不应小于 $6\phi 10$ ；纵向主筋应沿桩身周边均匀布置，其净距不应小于 60mm ，并应尽量减少钢筋接头。

5.3.3 工程中的锚桩，主筋配筋应根据锚桩抗拔力通过计算确定，箍筋配置的长度可与工程桩钢筋笼相同。

5.3.4 桩顶嵌入承台内的长度不宜小于 50mm ，当桩主要承受水平力时，不宜小于 100mm ；主筋伸入承台内的锚固长度不宜小于钢筋直径的35倍。

5.3.5 桩身混凝土强度等级及混凝土保护层厚度应符合下列规定：

1 挤土式螺旋灌注桩用作桩基础时，桩身混凝土强度等级不应低于C25；挤土式螺旋灌注桩用作复合地基竖向增强体时，桩身混凝土强度等级不应低于C20；

2 基桩的钢筋笼纵向主筋的混凝土保护层厚度不应小于 50mm ；

3 四类、五类环境中的基桩桩身混凝土保护层厚度应符合国家现行标准《工业建筑防腐设计标准》GB/T 50046 的有关规定。

5.3.6 桩基结构的耐久性设计应符合国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 和《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定。

5.4 单桩竖向抗压承载力确定

5.4.1 挤土式螺旋灌注桩单桩竖向抗压极限承载力标准值应通过单桩竖向静载试验确定，并应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 及《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的有关规定。

5.4.2 对于建（构）筑物和受水平力较小的高层建筑的挤土式螺旋灌注桩，应按下列公式柱、墙、核心筒等群桩中基桩或复合基桩的桩顶作用效应按下列公式计算：

1 竖向力

1) 轴心竖向力作用下

$$N_k = \frac{F_k + G_k}{n} \quad (5.4.2-1)$$

2) 偏心竖向力作用下

$$N_{ik} = \frac{F_k + G_k}{n} \pm \frac{M_{xk} y_i}{\sum y_j^2} \pm \frac{M_{yk} x_i}{\sum x_j^2} \quad (5.4.2-2)$$

2 水平力

$$H_{ik} = \frac{H_k}{n} \quad (5.4.2-3)$$

式中

F_k ——荷载效应标准组合下，作用于承台顶面的竖向力（kN）；

G_k ——桩基承台和承台上土自重标准值，对稳定的地下水位以下部分应扣除水的浮力（kN）；

N_k ——荷载效应标准组合轴心竖向力作用下，基桩或复合基桩的平均竖向力（kN）；

N_{ik} ——荷载效应标准组合偏心竖向力作用下，第 i 基桩或复合基桩的竖向力（kN）；

M_{xk} 、 M_{yk} ——荷载效应标准组合下，作用于承台底面，绕通过桩群形心的 x 、 y 主轴的力矩（kN·m）；

x_i 、 x_j 、 y_j 、 y_i ——第 i 、 j 基桩或复合基桩至 y 、 x 轴的距离（m）；

H_k ——荷载效应标准组合下，作用于桩基承台底面的水平力（kN）；

H_{ik} ——荷载效应标准组合下，作用于第 i 基桩或复合基桩的水平力

(kN);

n ——桩基中的桩数。

5.4.3 挤土式螺旋灌注桩作为桩基础时，桩基础的抗震验算应按国家现行标准《建筑抗震设计规范》GB 50011、《建筑桩基技术规范》JGJ 94的有关规定执行。

5.4.4 单桩竖向承载力计算应符合下列规定：

1 荷载效应标准组合：

1) 轴心竖向力作用下

$$N_k \leq R \quad (5.4.4-1)$$

2) 偏心竖向力作用下，除应满足式(5.2.4-1)外，尚应满足下式的要求：

$$N \leq 1.2 \quad (5.4.4-2)$$

2 地震作用效应和荷载效应标准组合：

1) 轴心竖向力作用下

$$N_{Ek} \leq 1.25R \quad (5.4.4-3)$$

2) 偏心竖向力作用下，除应满足式(6.2.4-3)外，尚应满足下式的要求：

$$N_{Ekmax} \leq 1.5R \quad (5.4.4-4)$$

式中 N_k ——荷载效应标准组合轴心竖向力作用下，基桩或复合基桩的平均竖向力；

N_{kmax} ——荷载效应标准组合偏心竖向力作用下，桩顶最大竖向力；

N_{Ek} ——地震作用效应和荷载效应标准组合下，基桩或复合基桩的平均竖向力；

N_{Ekmax} ——地震作用效应和荷载效应标准组合下，基桩或复合基桩的最大竖向力；

R ——基桩或复合基桩竖向承载力特征值。

5.4.5 单桩竖向承载力特征值 R_a 应按下式确定：

$$R_a = \frac{1}{K} Q_{uk} \quad (5.4.5)$$

式中 Q_{uk} ——单桩竖向极限承载力标准值；

K ——安全系数，取 $K=2$ 。

5.4.6 对于摩擦型或部分端承摩擦型挤土式螺旋灌注桩基础，可采用桩土共同作用分析方法计算；计入承台效应的复合基桩竖向承载力特征值(R)可按下列公式估算：

1 不计入地震作用时

$$R \leq R_a + k_c \eta_c f_{ak} A_c \quad (5.4.6-1)$$

2 计入地震作用时

$$R = R_a + \frac{\zeta_a k_c \eta_c f_{ak} A_c}{1.25} \quad (5.4.6-2)$$

$$A_c = \frac{A - nA_p}{n} \quad (5.4.6-3)$$

$$H_{ik} = \frac{H_k}{n} \quad (5.4.6-4)$$

式中

η_c ——承台效应系数，无当地经验或试验数据时，可按表 6.4.6 取值，当承台底面以下地基土为可液化土、高灵敏度软土、欠固结土或新近填土时，取 $\eta_c = 0$ ；

f_{ak} ——承台下 1/2 承台宽度且不超过 5m 深度范围内各层土的地基承载力特征值，按厚度加权的平均值取值 (kPa)；

A_c ——基桩所对应的承台扣除基桩截面积后的承台底净面积 (m²)；

A_p ——桩身截面积 (m²)；

A ——单桩承台、单排桩条形承台或筏板计算域面积 (m²)；

n ——桩基中的桩数；

k_c ——与挤土效应相关的桩间土承载力提高系数，无当地经验或试验数据时，取 $k_c = 1.0 \sim 1.1$ ；

表 5.4.6 承台效应系数 η_c

B/l \ s/D	3	4	5	6	>6
≤0.4	0.06~0.08	0.14~0.17	0.22~0.26	0.32~0.38	0.50~0.80
0.4~0.8	0.08~0.10	0.17~0.20	0.26~0.30	0.38~0.44	
>0.8	0.10~0.12	0.20~0.22	0.30~0.34	0.44~0.50	
单排桩条形承台	0.15~0.18	0.25~0.30	0.38~0.45	0.50~0.60	

注：1 s/D 为基桩中心距与桩径之比； B/l 为承台宽度与桩长之比；基桩为非正方形排列时，基桩中心距 $s = \sqrt{A/n}$ ， A 为承台或筏板计算域面积， n 为总桩数；

2 对于桩布置于墙下的箱、筏基础， η_c 可按单排桩条形承台取值；

3 对于单排桩条形承台，当承台宽度小于 1.5D 时， η_c 按非条形承台取值；

4 对于饱和黏性土中的桩基承台， η_c 取低值的 80%。

5.4.7 挤土式螺旋灌注桩的单桩竖向极限承载力标准值确定应符合下列规定：

1 设计等级为甲级的建筑桩基，单桩竖向极限承载力应通过单桩竖向抗压静载试验确定，试验桩数量不应少于3根，且应采用低应变法检测试验桩的桩身完整性；

2 设计等级为乙级的建筑桩基，可通过单桩竖向抗压静载试验确定单桩竖向极限承载力；当地质条件简单时，可根据地质条件相同的试桩资料，并结合经验参数法和原位测试参数法综合分析确定；

3 设计等级为丙级的建筑桩基，可采用经验参数法或原位测试参数法确定单桩竖向极限承载力；

4 单桩竖向抗压静载试验应按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的有关规定执行。

5.4.8 桩端持力层下受力范围内存在软弱下卧层时，应验算软弱下卧层的地基承载力。

5.4.9 按经验参数法确定挤土式螺旋灌注桩的单桩竖向极限承载力标准值时，应根据岩土类别、岩土状态、物理力学指标、基桩几何尺寸与承载力计算参数之间的经验关系来确定单桩竖向极限承载力标准值，宜按下式估算：

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{pk} = u \sum q_{sik} l_i + q_{pk} A_p \quad (5.4.9)$$

式中 Q_{uk} ——单桩竖向抗压极限承载力标准值 (kN)；

Q_{sk} ——单桩总极限侧阻力标准值 (kN)；

Q_{pk} ——单桩总极限端阻力标准值 (kN)；

u ——桩身周长 (m)；

q_{sik} ——桩侧第 i 层土的极限侧阻力标准值，无当地经验时，可按本规程表 5.4.9 取值 (kPa)；

q_{pk} ——极限端阻力标准值，无当地经验时，可按本规程表 5.4.9 取值 (kPa)；

A_p ——桩端截面积 (m²)。

表 5.4.9 挤土式螺旋灌注桩的极限侧阻力标准值 q_{sik} 和桩的极限端阻力标准值 q_{pk} (kPa)

岩土层名称	岩土层状态		桩的极限侧阻力标准值 q_{sik}	桩的极限端阻力标准值 q_{pk}			
				桩长 l (m)			
				$6 \leq l < 9$	$9 \leq l < 16$	$16 \leq l < 25$	$l > 25$
填土	—		24~40	—	—	—	—
淤泥	—		14~20	—	—	—	—
淤泥质土	—		18~30	—	—	—	—
黏性土	流塑	$I_L > 1.00$	24~40	—	—	—	—
	软塑	$0.75 < I_L \leq 1$	38~65	—	—	—	—
	可塑	$0.50 < I_L \leq 0.75$	60~90	850~1700	1300~2200	1700~2800	1900~3600
	硬可塑	$0.25 < I_L \leq 0.50$	80~110	1500~2500	2100~3300	2700~3800	3500~4500
	硬塑	$0.00 < I_L \leq 0.25$	90~130	2300~3800	3200~5500	3600~6000	4400~6800
	坚硬	$I_L \leq 0.00$	100~135	3600~4800	4600~5800	5500~6500	6000~7000

续表 5.4.9 挤土式螺旋灌注桩的极限侧阻力标准值 q_{sik} 和桩的极限端阻力标准值 q_{pk} (kPa)

岩土层名称	岩土层状态		桩的极限侧阻力标准值 q_{sik}	桩的极限端阻力标准值 q_{pk}			
				桩长 l (m)			
				$6 \leq l < 9$	$9 \leq l < 16$	$16 \leq l < 25$	$l > 25$
红黏土	$0.7 < \alpha_w \leq 1.0$		15~35	600~1500	800~2000	1000~2500	1200~3000
	$0.5 < \alpha_w \leq 0.7$		35~75	2000~3500	2500~5000	3200~5500	4000~6000
粉土	稍密	$e > 0.9$	30~55	600~1000	800~1500	1000~1800	1500~2400
	中密	$0.75 < e \leq 0.9$	55~80	950~1700	1400~2100	1700~2700	2200~3500
	密实	$e < 0.75$	85~100	1500~2600	2000~3000	2600~3600	3400~4400
粉砂	稍密	$10 < N \leq 15$	25~50	1000~1600	1500~2300	1900~2800	2100~3300
	中密	$15 < N \leq 30$	50~70	1400~2200	2100~3000	2700~4500	3200~5500
	密实	$N > 30$	65~95				
细砂	稍密	$10 < N \leq 15$	25~55	1200~2100	1700~3000	2100~3600	2300~3800
	中密	$15 < N \leq 30$	50~80	2000~4000	2800~5000	3500~6000	3600~7000
	密实	$N > 30$	70~100				
中砂	中密	$15 < N \leq 30$	60~90	4000~6000	5500~7000	6500~8000	7500~9000
	密实	$N > 30$	80~110				
粗砂	中密	$15 < N \leq 30$	75~115	5500~7500	7200~8500	8000~10000	9000~11000
	密实	$N > 30$	100~150				
砾砂	稍密	$10 < N \leq 15$	75~110	2000~3600	3000~4800	3500~6000	4500~6500
	中密	$15 < N \leq 30$	105~130	4800~9000		6500~10000	
	密实	$N > 30$	120~160				
角砾、圆砾	中密、密实	$N_{63.5} > 10$	160~220	6500~10000		9000~11000	
碎石、卵石	中密、密实	$N_{63.5} > 10$	200~300	7500~11000		10000~12000	
全风化软质岩	—	$30 < N \leq 50$	105~150	4000~6000			
全风化硬质岩	—	$30 < N \leq 50$	150~180	5000~8000			
强风化软质岩	—	$N_{63.5} > 10$	140~250	5500~9000			

注：1 对于尚未完成自重固结的填土和以生活垃圾为主的杂填土，不计算其侧阻力；

2 α_w 为含水比平均值， $\alpha_w = \omega/\omega_l$ ， α_w 为土的天然含水量平均值， ω_l 为土的液限平均值；

3 N 为标准贯入试验锤击数标准值； $N_{63.5}$ 为重型动力触探锤击数标准值；

4 全风化系指其母岩分别为 $f_{rk} \leq 15\text{MPa}$ 的岩石。

5 砂土和碎石类土中桩的极限端阻力取值，宜综合考虑土的密实度，桩端进入持力层的深径比 h_b/d ，土愈密实， h_b/d 愈大，取值愈高；

6 红黏土桩的极限端阻力与含水比 α_w 、孔隙比 e 之间存在线性负相关关系，含水比 α_w 、孔隙比 e 愈大，取值愈低。

5.4.10 按原位测试参数法确定挤土式螺旋灌注桩的单桩竖向极限承载力标准值时，应根据标准贯入试验资料来确定单桩竖向极限承载力标准值，宜按下式估算：

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{pk} = u \sum q_{sik}^{SPT} l_i + q_{pk}^{SPT} A_p \quad (5.4.10)$$

式中 Q_{uk} ——单桩竖向抗压极限承载力标准值 (kN)；
 Q_{sk} ——单桩总极限侧阻力标准值 (kN)；
 Q_{pk} ——单桩总极限端阻力标准值 (kN)；
 u ——桩身周长 (m)；
 q_{sik}^{SPT} ——基于标准贯入试验锤击数桩侧第 i 层土的极限侧阻力标准值，无当地经验时，可按本规程表 5.4.10 取值 (kPa)；
 q_{pk}^{SPT} ——基于标准贯入试验锤击数桩的极限端阻力标准值，无当地经验时，可按本规程表 5.4.10 取值 (kPa)；
 A_p ——桩端截面积 (m²)；
 l_i ——桩周第 i 层岩土厚度 (m)。

表5.4.10 基于标准贯入试验锤击数桩的极限侧阻力标准值 q_{sik}^{SPT} 和桩的极限端阻力标准值 q_{pk}^{SPT} (kPa)

计算内容	岩土类别	计算参数 q_{sik}^{SPT} 或 q_{pk}^{SPT} (kPa)
桩的极限侧阻力 标准值	素填土、黏性土、粉土、粉砂、细砂、中砂	(7.0~10.0) N_i
	粗砂、砾砂、全风化软质岩、强风化软质岩	(8.0~12.0) N_i
桩的极限端阻力 标准值	素填土、黏性土、粉土、粉砂、细砂	(200.0~350.0) N
	中砂、粗砂、砾砂、全风化软质岩、强风化软质岩	(300.0~450.0) N

注：1 N_i 为桩侧第 i 层岩土的未经修正的标准贯入试验锤击数平均值，当 $N_i > 40$ 时取 $N_i = 40$ ；

2 N 为桩端面以上 $4D$ 和以下 $4D$ 范围内岩土的未经修正的标准贯入试验锤击数的加权平均值，当 $N > 40$ 时取 $N = 40$ ；

3 当角砾、圆砾、碎石与卵石土层有重型圆锥动力触探试验资料时，可按 $N = (2.5 \sim 3.0) N_{63.5}$ 取值。

5.4.11 抗拔或水平受力的基桩应按现行国家标准《混凝土结构设计规范（2015年版）》GB 50010 的有关规定验算基桩材料的承载力，并进行裂缝控制计算。

5.5 抗拔承载力验算

5.5.1 承受上拔力的挤土式螺旋灌注桩，群桩基础及基桩的抗拔承载力的验算，应符合下列规定：

1 群桩呈非整体破坏时，应满足下式要求：

$$N_k \leq \frac{1}{2}T_{uk} + G_p \quad (5.5.1-1)$$

2 群桩呈整体破坏时，应满足下式要求：

$$N_k \leq \frac{1}{2}T_{gk} + G_{gp} \quad (5.5.1-2)$$

式中 N_k ——相应于作用的标准组合时，作用于基桩的竖向拔力 (kN)；

T_{uk} ——群桩呈非整体破坏时，基桩总抗拔极限侧阻力标准值 (kN)，按本规程式 (5.5.2-1) 确定；

T_{gk} ——群桩呈整体破坏时，基桩总抗拔极限侧阻力标准值 (kN)，按本规程式 (5.5.2-1) 确定；

G_p ——基桩自重标准值 (kN)，计算地下水位以下部分的基桩自重时应扣除水浮力；

G_{gp} ——群桩基础及其所包围的桩间土总自重除以总桩数后计算的单桩自重标准值 (kN)，地下水位以下的部分扣除水浮力。

5.5.2 挤土式螺旋灌注桩单桩竖向抗拔极限承载力标准值的确定应符合下列规定：

1 设计等级为甲级和乙级的桩基础，基桩的抗拔极限承载力标准值应通过单桩竖向抗拔静载试验确定。单桩抗拔静载试验及抗拔极限承载力标准值的确定应符合现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106的有关规定。

2 无当地经验时，群桩基础及设计等级为丙级的桩基础，基桩的抗拔极限承载力应按本规程式 (5.3.1-1) 和式 (5.3.1-2) 进行验算，其中 T_{uk} 和 T_{gk} 的计算可按下列规定执行：

1) 群桩呈非整体破坏时，基桩总抗拔极限侧阻力标准值可按下列式计算：

$$T_{uk} = \sum \lambda_i q_{sik} u_i l_i \quad (5.5.2-1)$$

式中 q_{sik} ——桩侧第 i 层土的抗压极限侧阻力标准值 (kPa)，可按本规程表 5.4.9 取值；

u_i ——桩身破坏表面周长 (m)，取 $u_i = \pi D$ ；

l_i ——桩周第 i 土层的厚度 (m)；

λ_i ——抗拔系数，按表 5.5.2 取值。

表 5.5.2 抗拔系数 λ_i

土类	全风化软质岩	细粒碎石土 (角砾、圆砾、碎石、卵石)	砂土	黏性土(红黏土)、 粉土
λ_i	0.7~0.9	0.4~0.6	0.5~0.7	0.7~0.8

注：桩长与桩径之比小于20时， λ_i 取小值。

2) 群桩基础呈整体破坏时，基桩总抗拔极限侧阻力标准值可按下式计算：

$$T_{gk} = \frac{1}{n} u_{gk} \sum \lambda_i q_{sik} l_i \quad (5.5.2-2)$$

式中 u_{gk} ——群桩外围周长 (m)，按表 5.4.9 分段计算；

n ——群桩基础中的桩数。

5.6 单桩水平承载力计算

5.6.1 对于受水平荷载较大的设计等级为甲级和乙级桩基础，挤土式螺旋灌注桩单桩水平承载力特征值应通过单桩水平静载试验确定，试验方法可按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的有关规定执行。

5.6.2 单桩水平承载力特征值确定应符合下列规定：

1 承受水平荷载较大且设计等级为甲级和乙级的建筑桩基，单桩水平承载力特征值应通过单桩水平静载试验确定；

2 桩身配筋率小于0.56%时，可取单桩水平静载试验的临界荷载的75%作为单桩水平承载力特征值；

3 桩身配筋率大于0.56%时，可取单桩水平静载试验结果在地面处水平位移为10mm所对应荷载的75%作为单桩水平承载力特征值，对于水平位移敏感的建筑物或构筑物，可取水平位移6mm所对应荷载的75%作为单桩水平承载力特征值。

5.7 桩基沉降计算

5.7.1 挤土式螺旋灌注桩桩基沉降计算应符合下列规定：

1 对以下建筑物的桩基应进行沉降验算：

1) 地基基础设计等级为甲级的建筑物桩基；

2) 体形复杂、荷载不均匀或桩端以下存在软弱土层的设计等级为乙级的建筑物桩基；

3) 摩擦型桩基。

2 桩基沉降不得超过建筑物的沉降允许值。

5.7.2 设计等级为丙级的建筑物桩基、对沉降无特殊要求的条形基础下不超过两排桩的桩基、吊车工作级别A5及A5以下的单层工业厂房且桩端下为密实土层的桩基，可不进行沉降验算。当有可靠地区经验时，对地质条件不复杂、荷载均匀、对沉降无特殊要求的端承型桩基也可不进行沉降验算。

5.7.3 挤土式螺旋灌注桩桩基需要进行沉降验算时，沉降计算和沉降允许值应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定。

5.7.4 挤土式螺旋灌注桩桩基最终沉降量宜按下式计算：

$$s = \psi_B s_z \quad (5.7.4)$$

式中 s ——长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩桩基的最终沉降量 (mm)；

ψ_B ——桩基沉降计算经验系数，宜根据地区沉降观测资料及经验确定，无当地经验时取 0.6~0.8，桩端持力层为砂土时取低值，桩端持力层为黏土时取高值；

s_z ——按等截面桩基计算的最终沉降量 (mm)，其中等截面桩直径为桩身平均直径，按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 49 的有关规定计算最终沉降量。

5.7.5 按等截面桩基计算最终沉降量 s_z 时，应符合下列规定：

1 桩中心距不大于 $3D$ 的桩基，最终沉降量 s_z ，可采用现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的等效作用分层总和法计算；

2 桩中心距大于 $3D$ 的桩基，最终沉降量 s_z ，宜按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94关于单桩、单排桩或疏桩基础的有关规定计算，其中桩身压缩量应按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定计算，桩身压缩系数宜按端承桩取值。

5.8 复合地基

5.8.1 挤土式螺旋灌注桩复合地基设计应根据复合地基承载力、地层性状、地基变形、施工工艺等因素综合确定桩径、桩距、桩长、扩径体尺寸及布桩方式。

5.8.2 复合地基增强体桩身直径宜选用400mm、500mm、600mm、700mm、800mm。

5.8.3 复合地基增强体桩中心距宜为 (3.0~5.0) D 。

5.8.4 复合地基增强体桩顶应设置褥垫层，褥垫层的厚度宜为 $(0.4\sim 0.6)D$ 。当桩直径或桩间距大时，褥垫层厚度宜取大值。褥垫层材料宜为粗砂、级配良好的砂石或碎石等，最大粒径不宜大于 30mm 。

5.8.5 复合地基的设计、施工、质量检验应符合现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 和《建筑地基检测技术规范》JGJ 340 的有关规定。

5.8.6 复合地基承载力特征值应通过单桩竖向静载试验及复合地基静载试验确定。初步设计时，可按下式估算：

$$f_{spk} = \lambda m \frac{R_a}{A_p} + \beta(1 - m)f_{sk} \quad (5.8.6)$$

式中 f_{spk} ——复合地基承载力特征值 (kPa)；

f_{sk} ——处理后桩间土承载力特征值 (kPa)，可按地区经验确定，无试验资料时，取桩身范围内天然地基土经深度修正后承载力最低的特征值 (kPa)；

λ ——复合地基单桩承载力发挥系数，可按地区经验确定，无经验时取 $0.8\sim 1.0$ ；

R_a ——复合地基增强体单桩竖向抗压承载力特征值 (kN)，按本规程 4.4 章节公式计算；

A_p ——桩身截面面积 (m^2)；

m ——面积置换率，按现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 计算；

β ——桩间土承载力发挥系数，可按地区经验确定，无经验时取 $0.9\sim 1.0$ 。当复合地基单桩承载力发挥系数 λ 取大值时， β 取小值；反之，亦然。

5.8.7 桩身混凝土强度的计算应符合下列规定：

挤土式螺旋灌注桩桩身混凝土强度应符合公式 (5.8.7-1) 的规定，当复合地基承载力进行基础埋深修正时，应符合公式 (5.8.7-2) 的规定：

$$f_{cu} \geq 4 \frac{\lambda R_a}{A_p} \quad (5.8.7-1)$$

$$f_{cu} \geq 4 \frac{\lambda R_a}{A_p} \left[1 + \frac{\gamma_m(d - 0.5)}{f_{spa}} \right] \quad (5.8.7-2)$$

式中 f_{cu} ——桩体试块 (边长为 150mm 的立方体) 标准养护 $28d$ 的立方体抗压强度平均值 (kPa)；

γ_m ——基础底面以上土的加权平均重度 (kN/m^3)，地下水位以下取有效重度；

d ——基础埋置深度 (m)；

R_a ——复合地基增强体单桩竖向抗压承载力特征值 (kN)，按本规程 4.4 章节公

式计算：

A_p ——桩身截面面积 (m^2)；

f_{spa} ——深度修正后的复合地基承载力特征值 (kPa)。

5.8.8 复合地基的变形计算除应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定外，还应符合下列规定：

- 1 地基变形计算深度应大于复合土层的深度；
- 2 各复合土层的分层应与天然地基相同，各复合土层的压缩模量可按下列公式计算：

$$E_{spi} = E_{si} \cdot \zeta \quad (5.8.8-1)$$

$$\zeta = \frac{f_{spk}}{f_{ak}} \quad (5.8.8-2)$$

式中 E_{spi} ——第 i 复合土层的压缩模量 (MPa)；

E_{si} ——加固区第 i 土层的压缩模量 (MPa)；

f_{ak} ——基础底面下控制复合地基承载力的岩土层。取桩身范围内天然地基土经深度修正后承载力最低岩土层的天然地基承载力特征值 (kPa)；

ζ ——加固土层压缩模量提高系数；

f_{spk} ——复合地基承载力特征值 (kPa)。

- 3 加固区复合土层和下卧层均应按分层总和法进行沉降计算；

- 4 复合地基最终沉降变形量可按下列公式计算：

$$s = s_1 + s_2 = \psi_s \left[\lambda \sum_{i=1}^n \frac{p_0}{E_{spi}} (z_i \bar{\alpha}_i - z_{i-1} \bar{\alpha}_{i-1}) + \sum_{j=1}^m \frac{p_0}{E_{sj}} (z_j \bar{\alpha}_j - z_{j-1} \bar{\alpha}_{j-1}) \right] \quad (5.8.8-3)$$

式中 s ——复合地基最终沉降变形量 (mm)；

s_1 ——复合地基加固区土层压缩变形量 (mm)；

s_2 ——复合地基加固区以下土层压缩变形量 (mm)；

n ——加固区土层分层数；

m ——加固区以下土层分层数；

p_0 ——相应于作用的准永久组合时，作用于基础底面处的附加压力 (kPa)；

$\bar{\alpha}_i$ 、 $\bar{\alpha}_{i-1}$ ——基础底面计算点至加固区第 i 土层、第 $i-1$ 土层产生的平均附加应力系数；

$\bar{\alpha}_j$ 、 $\bar{\alpha}_{j-1}$ ——基础底面计算点至加固区以下第 j 土层、第 $j-1$ 土层产生的平均附加应力系数；

- E_{spi} ——加固区第 i 土层的复合压缩模量 (MPa);
- E_{sj} ——加固区以下第 j 土层的压缩模量 (MPa);
- z_i 、 z_{i-1} ——基础底面至加固区第 i 层土、第 $i-1$ 层土底面的距离 (m);
- z_j 、 z_{j-1} ——基础底面至加固区以下第 j 层土、第 $j-1$ 层土底面的距离 (m);
- λ ——加固区地基变形量调整系数, 取 0.5~0.8; 扩径体位于砂土时取小值, 黏土时取大值;
- ψ_s ——复合地基沉降计算经验系数, 按地区沉降观测资料统计值确定, 无经验取值时, 采用表 5.8.8 的数值。

表5.8.8 沉降计算经验系数 ψ_s

\bar{E}_s (MPa)	≤ 4.0	7.0	15.0	20.0	≥ 35.0
ψ_s	1.0	0.7	0.4	0.25	0.2

注: \bar{E}_s 为变形计算深度范围内压缩模量的当量值。

5 变形计算深度范围内压缩模量的当量值 (\bar{E}_s), 应按下式计算:

$$\bar{E}_s = \frac{\sum_{i=1}^n A_i + \sum_{j=1}^m A_j}{\sum_{i=1}^n \frac{A_i}{E_{spi}} + \sum_{j=1}^m \frac{A_j}{E_{sj}}} \quad (5.8.8-4)$$

式中 A_i ——加固土层第 i 土层附加应力系数沿土层厚度的积分值;
 A_j ——加固土层下第 j 土层附加应力系数沿土层厚度的积分值。

6 施 工

6.1 一般规定

6.1.1 挤土式螺旋灌注桩施工应采用专用钻机和专用螺旋挤扩钻具，设备扭矩满足施工要求。

6.1.2 正式施工前应检查钻机、螺旋挤扩钻具、电气设施及安全装置，并宜进行钻机试成孔或试成桩试验。

6.1.3 基桩成桩深度应符合下列规定：

- 1 摩擦桩应以设计桩长为依据控制成孔深度；
- 2 端承摩擦桩应以设计桩长及桩端进入持力层深度控制成孔深度。

6.2 施工准备

6.2.1 挤土式螺旋灌注桩施工前应具备下列资料：

- 1 拟建场地岩土工程勘察报告；
- 2 施工图与图纸会审纪要；
- 3 桩基工程的施工组织设计；
- 4 施工工艺参数资料；
- 5 拟建场地和周边区域内的地下管线、地下构筑物、相邻建筑物或构筑物的调查资料；
- 6 钻机、螺旋挤扩钻具及配套设备的技术资料；
- 7 水泥、砂石料、钢筋、掺合料、外加剂等原材料及其制品的质检报告。

6.2.2 应根据钻机技术性能、最大成孔深度、成桩直径、地层条件以及试成孔试验结果，确定螺旋挤扩钻具型号及施工工艺参数。

6.2.3 施工场地应平整，地面承载力应满足钻机的接地压力要求，在基坑内施工时，场地作业面应满足钻机施工及行走的要求。

6.2.4 成孔施工前应分析钻具钻孔挤土效应对已成基桩、邻近建筑物或构筑物、周边道路、地下管线的影响，并制定降低孔隙水压力和减小挤土效应的技术方案，具体技术措施宜包括采用可调控挤土量的螺旋挤扩钻具、部分挤土施工方法、合理的施工顺序、降低钻具钻掘速度以及减小钻具竖向下压力等。

6.3 钻机、钻具与施工方法

6.3.1 挤土式螺旋灌注桩施工钻机应符合下列规定：

- 1 钻机应符合本规程第6.1.1条规定；
- 2 钻机动力头滑行系统应配置安全限位装置；
- 3 钻机控制系统应具备下列功能：
 - 1) 应能对行走、回转操作进行有效控制；
 - 2) 应能调整控制主枢杆的垂直度与倾斜度；
 - 3) 应能精准控制钻机的输出扭矩、竖向钻压、钻掘速度、钻进深度、旋转方向、钻具转速与提升速度。

4 在施工过程中，通过各类传感器实时采集的施工数据宜包括桩孔定位、主枢杆垂直度、钻掘速度、钻具转速、输出扭矩、竖向钻压、钻孔深度、钻具提升速度、混凝土灌注压力与泵量等。

6.3.2 螺旋挤扩钻具的选型及使用应符合下列规定：

1 钻具可分为全挤土螺旋挤扩钻具 (*Type I*) 和部分挤土螺旋挤扩钻具 (*Type II*)，两种挤扩钻具的结构构造应符合本规程附录A 的规定。挤扩钻具的使用宜符合下列规定：

- 1) 全挤土螺旋挤扩钻具宜用于标准贯入试验锤击数 (N) 不大于35击/30cm的岩土层，且成桩直径不宜大于600mm桩体施工；
- 2) 部分挤土螺旋挤扩钻具宜用于标准贯入试验锤击数标准值 (N) 大于 35击/30cm的岩土层，且成桩直径可大于600mm桩体施工。

- 2 钻杆与钻具应设置内径不小于140mm的中空芯管作为混凝土灌注通道；
- 3 钻具的钻头可采用连接式或分离式头；
- 4 钻具宜选用合金钢、金刚石钻齿与截齿；
- 5 钻具外表面宜铺设焊接耐磨合金钢板、条或块。

6.3.3 挤土式螺旋灌注桩施工方法可分为全挤土施工方法和部分挤土施工方法，施工前应按下列要求选择确定：

1 全挤土施工方法宜用于标准贯入试验锤击数 (N) 不大于35击/30cm的地层，包括软塑~硬塑黏性土、稍密~中密粉土和黄土、稍密~密实砂土、角砾、圆砾及全风化软质岩等可挤密岩土层，且桩径不宜大于600mm、桩孔深度不宜大于30m，施工应采用螺旋封闭挤扩钻具，钻机动力头输出扭矩不应小于200kN·m；

2 部分挤土施工方法宜用于标准贯入试验锤击数 (N) 不大于60击/30cm的地层，包括硬塑~坚硬黏性土、中密~密实粉土和黄土、中密~密实砂土、角砾、圆砾、碎石、

卵石土层及全风化软质岩与强风化软质岩层，且桩径可大于600mm、桩孔深度可大于30m，施工应采用部分挤土螺旋挤扩钻具，钻机动力头输出扭矩不宜小于300kN·m。

6.3.4 挤土式螺旋灌注桩成桩工艺应按下列步骤施工：

1 在动力头扭矩作用下，螺旋挤扩钻具应沿顺时针方向下旋钻掘挤土成孔，钻头钻掘出的岩土体应被全部或大部分挤压入桩孔侧壁；当采用部分挤土螺旋挤扩钻具时，可有部分岩土体通过排土槽进入钻具上方桩孔内；

2 钻具底端达到设计桩端标高后，应保持顺时针方向旋转并上旋提升钻具，并通过钻具将钻具上方桩孔内的坍落或输入岩土体全部挤压入桩孔侧壁；

3 在钻具开始上旋提升前应先启动混凝土泵，并应通过钻具底端出口向桩孔内连续压灌混凝土，直至混凝土达到桩顶施工标高形成圆柱形挤土灌注桩为止；

4 桩身混凝土灌注结束后，可在灌注桩体内插入钢筋笼、钢筋束或型钢。

6.4 施工与质量控制

6.4.1 挤土式螺旋灌注桩的施工质量管理与控制应贯穿施工全过程，且应针对钻机成孔、混凝土制备与灌注、钢筋笼制作与沉放三个关键工序进行质量管理及控制，并确保成桩质量符合设计文件的规定。

6.4.2 施工质量管理与控制的关键环节应包含主控内容、控制要点、控制标准与要求以及控制措施与检查方法，并应符合本规程附录B 的规定。

6.4.3 基桩桩位测设精度应符合本规程附录B 的规定，且应测量桩位地面标高。

6.4.4 施工过程中应填写基桩施工记录表，填表内容应符合本规程附录C 的规定。

I 成孔施工

6.4.5 钻机开钻时，螺旋挤扩钻具的钻尖应对准桩位，基桩成孔施工的桩位偏差应符合本规程附录B的规定。

6.4.6 施工场地为饱和砂土层时，螺旋挤扩钻具的上部应连接带有螺旋叶片且具有较大直径的中心管的钻杆。

6.4.7 成孔施工顺序应符合下列规定：

1 群桩施工宜自中间向外两个方向或四周进行对称施工；

2 一侧毗邻已有建筑物或构筑物时，宜从近建筑物或构筑物一侧开始由近端至远端施工；

3 位于多桩承台边缘的桩，宜待承台内部基桩施工完成，并重新测量桩位后再施工；

4 对于饱和黏性土地，且桩的最小中心距不大于 $4.5D$ 时，排桩或群桩基础范围内的桩应采取跳打及控制成孔钻掘速度等施工措施；

5 施工工艺流程宜按本规程附录D 的规定执行。

6.4.8 在成孔施工阶段，钻具开孔时宜采用较慢的钻掘速度，钻具应保持顺时针方向旋转，在钻机动力头施加扭矩的同时可依据岩土层性质施加适宜的竖向下压力，在钻具达到设计桩孔深度前，钻具不得反转或提升。

6.4.9 在钻掘成孔施工过程中，若出现卡钻、钻机摇晃、偏斜或发出异响时，应立即停钻，待查明原因并采取相应措施后方可继续作业。

II 混凝土制备与灌注

6.4.10 灌注桩用混凝土宜优先采用预拌混凝土，条件具备时也可现场制备；混凝土制备应根据桩身混凝土的设计强度等级，通过试验确定混凝土配合比；水泥强度等级不应低于32.5级；细骨料宜采用中粗砂；粗骨料最大粒径不宜大于 $20mm$ ，且不宜大于钢筋笼纵向主筋最小净距的 $1/3$ ；也可掺加适量的粉煤灰或外加剂，压灌成桩施工的混凝土坍落度宜为 $180mm\sim 220mm$ 。

6.4.11 桩身混凝土灌注施工应符合下列规定：

1 当钻具钻掘至设计桩孔深度时，应继续保持顺时针方向旋转，待混凝土泵入钻具芯管后，钻具应保持顺时针方向旋转并缓慢提升，钻具提升速度应依据桩径尺寸与桩周岩土性质确定，且应与混凝土泵送量相匹配；

2 桩身混凝土泵送压灌应连续进行，混凝土泵料斗内的混凝土应保持连续搅拌，且料斗内混凝土高度不宜低于 $400mm$ ；

3 在桩身混凝土连续压灌过程中，宜监测并控制混凝土泵送量与泵送压力；

4 在混凝土连续压灌过程中，钻杆与钻具的中空芯管内的混凝土高度不得低于 $2m$ ；

5 桩身混凝土灌注的充盈系数不应小于 1.0 ，桩顶混凝土超灌高度不宜小于 $0.5m$ ；

6 每个灌注台班应留置不少于一组混凝土试件（3件）；

7 应根据桩径尺寸选择混凝土输送泵，泵管布置宜减少弯道、保持水平，垫实泵管，且混凝土泵与钻机的距离不应超过 $80m$ ；

8 气温高于 $30^{\circ}C$ 时，应在输送泵管上覆盖隔热材料，每隔一段时间洒水降温；冬期施工应在输送泵管周围包裹保温材料。

III 钢筋笼制作与安装

6.4.12 钢筋笼制作、吊装、沉放应符合下列规定：

1 钢筋笼的材质、尺寸应符合设计文件的规定，制作允许偏差应符合本规程附录B 规定；

2 分段制作的钢筋笼，纵向主筋接头可采用焊接或机械式接头，在任一纵筋35倍钢筋直径长度区段内的钢筋接头不应超过纵筋总数的50%，并应符合国家现行标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204、《钢筋机械连接技术规程》JGJ107 和《钢筋焊接及验收规程》JGJ 18 的有关规定；

3 加劲箍筋宜设在纵向主筋内侧，箍筋平面应与主筋垂直，按设计间距与主筋焊牢；

4 钢筋笼应均匀对称设置保护层垫块或滚轮，且宜采用水泥砂浆垫块或塑料成品滚轮；

5 钢筋笼沉放宜在桩身混凝土压灌结束后立即进行，钢筋笼的搬运与吊装应防止变形，沉放时应对准桩孔中心，避免碰撞孔壁或自由下落，并应满足钢筋笼纵向主筋的混凝土保护层厚度设计要求；

6 钢筋笼沉放可利用振动插笼装置，钢筋笼沉放就位后应立即进行位置固定；

7 钢筋笼安装结束后，应使用混凝土振捣棒对桩身顶部混凝土进行振捣。

IV 其他施工要求

6.4.13 在欠固结具有湿陷性的场地施工挤土式螺旋灌注桩时，应严防雨水和地表水流入桩孔内。

6.4.14 桩头开挖和截桩时，应采取对桩体及桩间土的保护措施。

6.4.15 对于先成桩后开挖基坑的工程，应设计合理的基坑开挖方案，并应控制挖土施工顺序和分层、分区开挖深度。

6.4.16 复合地基的褥垫层铺设宜采用静力压实法，当基础底面以下为低含水量土层时可采用动力夯实法。

7 检验和验收

7.1 一般规定

7.1.1 挤土式螺旋灌注桩基础或复合地基质量检验应依据工程特点、检验目的、场地复杂程度与施工阶段，确定检测项目、制定检测方案、选择检测方法、明确检测数量；相关的质量检验应符合国家现行标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202、《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300、《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 和《建筑地基检测技术规范》JGJ 340 的有关规定。

7.1.2 工程检验宜包括施工前检验、施工中检验及施工后检验。

7.1.3 基桩质量检验的主控项目应包括承载力、桩身完整性、混凝土强度、桩长及桩径；一般项目应包括桩位、混凝土坍落度、混凝土充盈系数、桩孔垂直度、桩顶标高及钢筋笼顶标高。

7.1.4 对混凝土、钢筋及其制品等原材料质量的检验项目与方法应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202 和《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 的有关规定。

7.1.5 位于砂土、碎石土层，全风化软质岩与强风化软质岩层施工场地时，工程试验桩的承载力检测可在施工结束28d后进行；而基桩承载力、复合地基承载力以及桩身质量验收检测宜在施工结束28d后进行。

7.2 施工检验

I 施工前与施工中检验

7.2.1 挤土式螺旋灌注桩施工前检验应包括下列内容：

- 1 钻机与短螺旋挤扩钻具直径检查；
- 2 桩位复测检查，桩孔定位偏差应符合本规程附录B 的规定；
- 3 混凝土拌制的原材料质量与数量、混凝土配合比、坍落度检验与检查；
- 4 钢筋笼原材料与焊条规格质量检查。

7.2.2 施工中检验应包括下列内容：

- 1 监测和记录钻机主脆杆垂直度和基桩成孔深度；
- 2 检测混凝土入模坍落度，并检查制作、标养混凝土试件数量；
- 3 测量与记录混凝土超灌高度，并计算单桩混凝土充盈系数；

4 钢筋笼的加工质量及制作偏差应符合本规程附录B 的规定；

5 检查与记录钢筋笼沉放位置和标高。

7.2.3 施工过程中，应对已施工基桩顶部的偏位值与隆起值进行抽检测量，若发现异常，应复测未施工基桩的桩位、调整施工顺序，并应采取跳打、控制成孔钻掘速度及减小挤土负效应的施工措施。

II 施工后检验

7.2.4 工程桩施工结束后，应测量基桩的顶部成桩直径、桩顶标高与桩位偏差，检测结果应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202 的有关规定。

7.2.5 桩基工程应进行工程桩验收检测，基桩承载力检测数量与检测方法应符合现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的有关规定。

7.2.6 复合地基的验收检测应包括桩的竖向抗压静载试验及复合地基承载力载荷试验，检测数量与方法应按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 和《建筑地基检测技术规范》JGJ 340 的有关规定执行。

7.2.7 桩身质量检验，除应对留置的混凝土试件进行28d 龄期强度检测外，尚应进行桩身完整性检测，采用低应变法的检测数量应符合下列规定：

1 设计等级为甲级或复杂地质条件场地的桩基工程，抽检数量不应少于总桩数的30%，且不应少于20根；其他桩基工程的抽检数量不应少于总桩数的20%，且不应少于10根；

2 除符合本条第1款规定外，每个柱下承台检测桩数不宜少于1根；

3 复合地基工程的桩身完整性检测的抽检数量不应少于总桩数的20%。

7.2.8 抗拔桩或水平受力桩的验收检测，应对基桩进行竖向抗拔静载试验或水平静载试验，检测数量与检测方法应按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的有关规定执行。

7.3 工程验收

7.3.1 挤土式螺旋灌注桩基础或复合地基施工全部结束，并经检验全部合格后，方可进行工程验收。工程验收应符合现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300、《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202 和《建筑地基基础工程施工规范》GB 51004 的有关规定。

7.3.2 工程验收所提供的验收资料应包括下列内容：

1 岩土工程勘察报告；

2 桩基或复合地基设计文件和施工图，包括施工图纸会审纪要、设计变更单及材料代用通知单等；

3 经审定的施工组织设计与施工方案；

4 原材料质量合格证与质量检验报告；

5 桩位测量轴线平面图及工程桩位复核签证单；

6 施工记录与隐蔽工程验收记录，包括桩位编号图；

7 成桩质量检测报告，包括桩身完整性检测报告；

8 单桩承载力检测报告或（和）复合地基承载力检测报告；

9 桩基或复合地基的工程桩竣工平面图及桩顶标高图；

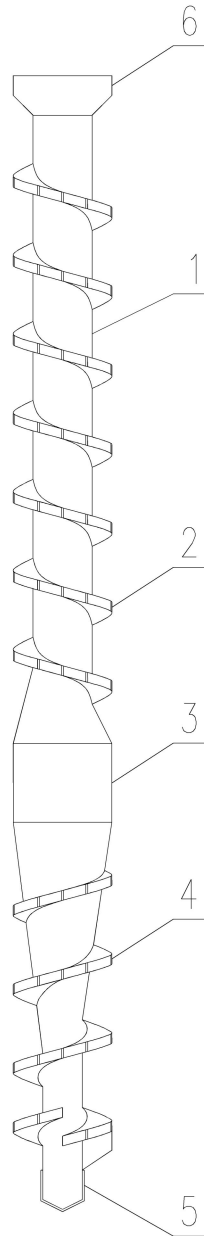
10 发生质量事故时的处理记录；

11 施工技术措施记录；

12 其他必须提供的相关资料。

附录 A 螺旋挤扩钻具的结构构造

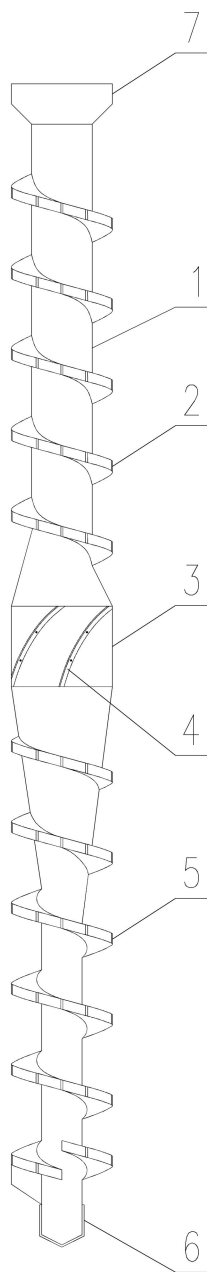
A.0.1 全挤土螺旋挤扩钻具 (*Type I*) 应由中空钻杆、钻杆螺旋叶片、挤扩体、钻头反向螺旋叶片、钻头和快速接头组成 (图A.0.1)。



图A.0.1 *Type I* 钻具

注：1——中空钻杆；2——钻杆螺旋叶片；3——挤扩体；4——钻头反向螺旋叶片；5——钻头；6——快速接头。

A.0.2 部分挤土螺旋挤扩钻具 (*Type II*) 应由中空钻杆、钻杆螺旋叶片、挤扩体、排土槽、钻头正向螺旋叶片、钻头和快速接头组成 (图A.0.2)。



图A.0.2 *Type II* 钻具

注：1——中空钻杆；2——钻杆螺旋叶片；3——挤扩体；4——排土槽；5——钻头正向螺旋叶片；6——钻头；7——快速接头。

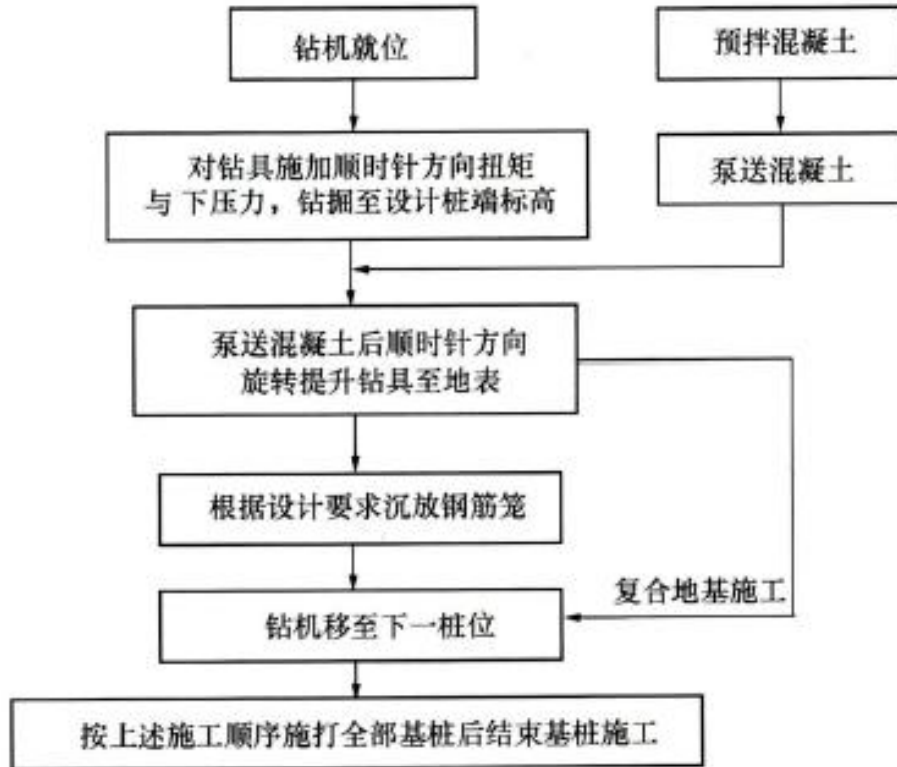
附录 B 施工质量控制要点与控制措施

表B.0.1 施工质量控制要点与控制措施

序号	工序	主控内容	控制要点	控制标准与要求	控制措施与检查方法
1	成孔	桩孔定位	定位偏差	不大于 20mm	1、全站仪测量 2、交叉法复核桩位
2		孔径	桩孔孔径	不小于设计值	测量钻具挤扩体直径
3		孔斜	桩孔垂直度	不大于 1%	经纬仪或钻机仪器检测
4		孔深	成孔深度	不小于设计值	测量钻杆与钻具入土深度
5	混凝土制备与灌注	制备	1、配合比 2、和易性 3、坍落度	1、配合比符合设计要求 2、和易性良好、无离析、无泌水现场 3、坍落度 180mm~220mm	1、原材料质检报告 2、按设计配合比称重拌制 3、抽检坍落度、和易性
6		灌注	1、中空钻杆内的混凝土高度 2、灌注的连续性 3、钻具的提速 4、灌注的桩顶标高	1、中空钻杆内的混凝土高度不得低于 2m 2、钻具的提速与泵送量相匹配 3、灌注的全程时间不得超过混凝土的初凝时间 4、桩顶混凝土超灌高度不低于 0.5m	1、计算混凝土灌注量 2、根据混凝土的初凝时间和用量，调配混凝土供货量 3、根据桩径、混凝土泵送量，控制钻具提速
7		强度	制作混凝土试样	1、满足混凝土试件数量与养护要求 2、试件强度不小于设计值	1、按规定抽取制作试件 2、试件进行标准养护 3、龄期 28d 后进行检验
8		充盈系数	—	不小于 1.0	实际混凝土灌注量与理论混凝土灌注量之比
9	钢筋笼制作与安装	材料检验	1、钢筋品牌、规格 2、焊条品牌、规格	符合工艺标准和设计要求	1、钢筋出厂合格证 2、检查包括：直径、锈蚀、损伤、裂纹情况等 3、钢筋性能检验
10		制作	1、制作允许偏差 2、焊接质量 3、笼径、笼长 4、主筋连接方式及搭接长度 5、主筋接头位置错开要求	1、主筋间距±10mm 2、箍筋间距±20mm 3、笼径±10mm 4、笼长±100mm 5、笼径、笼长、连接方式、接头错开符合设计要求 6、焊接无脱落、气孔及裂纹	1、焊工持证上岗 2、主筋调直、量测间距 3、量测箍筋间距 4、焊点外观与质量检查 5、量测笼径与笼长 6、主筋搭接位置检查
11		安装	1、吊装安装质量 2、钢筋笼沉放深度 3、沉放后笼顶标高	1、搭接长度、焊接质量符合设计要求 2、沉放深度要求 0mm~ +100mm 3、笼顶标高符合设计要求	1、外观及焊接尺寸检查 2、焊接质量检查 3、测量钢筋笼是否居中 4、测量笼顶最终标高

附录 C 施工工艺流程

C.0.1 挤土式螺旋灌注桩施工工艺应按图C.0.1所示流程执行。



图C.0.1 挤土式螺旋灌注桩施工工艺流程图

用词说明

为便于在执行本规程条文区别对待，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该这样做的：
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”。

引用标准名录

《建筑地基基础设计规范》	GB 50007
《岩土工程勘察规范》	GB 50021
《混凝土结构设计规范》	GB 50010
《混凝土外加剂应用技术 规范》	GB 50119
《建筑地基基础工程施工质量验收标准》	GB 50202
《建筑地基基础工程施工规范》	GB 51004
《用于水泥和混 凝土中的粉煤灰 》	GB/T 1596
《施工现场临时用电安全技术规范》	JGJ 46
《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》	JGJ 52
《混凝土用水标准》	JGJ 63
《建筑地基处理技术规范》	JGJ 79
《建筑桩基技术规范》	JGJ 94
《建筑基桩检测技术规范》	JGJ 106
《钢筋机械连接技术规程》	JGJ 107
《建筑地基检测技术规范》	JGJ 340
《螺纹桩技术规程》	JGJ/T 379
《螺杆灌注桩技术规程》	T/CECS 780
《短螺旋挤土灌注桩技术规程》	T/CECS 781
《螺杆灌注桩技术规程》	DBJ/T45
《广西壮族自治区岩土工程勘察规范》	DBJ/T 45-066
《长螺旋钻孔压灌桩技术规范》	DB 45/T 1155

广西勘察设计协会团体标准

挤土式螺旋灌注桩技术规程

条文说明

目 次

1	总 则	- 38 -
2	术语和符号	- 39 -
2.1	术 语	- 39 -
3	基本规定	- 41 -
4	勘 察	- 42 -
5	设 计	- 43 -
5.1	一般规定	- 43 -
5.2	桩的分类与布置	- 43 -
5.3	基桩构造	- 43 -
5.4	单桩竖向抗压承载力确定	- 44 -
5.5	单桩竖向抗拔承载力验算	- 44 -
5.6	单桩水平承载力计算	- 45 -
5.7	桩基沉降计算	- 45 -
5.8	复合地基	- 45 -
6	施 工	- 47 -
6.1	一般规定	- 47 -
6.2	施工准备	- 47 -
6.3	钻机、钻具与施工方法	- 47 -
6.4	施工与质量控制	- 49 -
7	质量检验	- 51 -
7.1	一般规定	- 51 -
7.2	施工检验	- 51 -
7.3	工程验收	- 51 -

1 总 则

1.0.1 挤土式螺旋灌注桩作为一种新桩型，具有竖向抗压承载力高、抗拔承载力高、沉降变形小、质量可靠、安全性好、工艺简便、施工速度快、能耗及工程造价低、可实现单机自动一体化施工等特点，符合我国节能降耗绿色的产业政策方向。

1.0.2 本规程适用于工业与民用建筑（包括构筑物）、市政工程中使用的挤土式螺旋灌注桩的低承台桩基及复合地基的勘察、设计、施工、检验。对于其他行业（例如铁路、港口、航空、电厂、石油化工等）采用挤土式螺旋灌注桩的工程，本规程亦可参照使用，但同时应满足相应行业标准的规定。

1.0.3 为确保挤土式螺旋灌注桩的施工质量，应采用专用配套设备钻机施工。

1.0.4 挤土式螺旋灌注桩既可作为桩基础，也可作为地基处理竖向增强体，其基本原理及模型按本规程规定，其余诸如沉降、检测、监测等仍需执行国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 挤土式螺旋灌注桩基与复合地基属于国内外新兴的岩土工程技术，为便于使用，将本规程中的重要概念、名词以专用术语的方式予以阐述，并附英语译文。本规程使用的符号尽可能沿用现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 使用的符号，英语译文也主要采用现行欧盟标准与美国标准使用的词语，以方便设计人员和施工人员使用。挤土式螺旋灌注桩的第一代技术于20世纪60年代出现在欧洲，有代表性的螺旋挤土灌注桩有FUNDE Xile和ATLAS Pile；第二代技术在20世纪90年代中期开始推广应用，有代表性的螺旋挤土灌注桩有比利时OMEGA Pile、德国FD Pile、美国DD Pile、中国SDS桩、英国TSD System、意大利CDS Pile、澳大利亚V-Pile等。欧盟、美国等国家和地区已编制了相关的技术标准。

近10年来，挤土式螺旋灌注桩基与复合地基技术得到迅猛发展，基于不同钻具发明专利的螺旋挤土灌注桩技术已在欧洲、亚洲、南北美洲、澳洲等数十个国家得到大规模应用。工程项目涵盖了中高层住宅公寓（最高35层）、公共与商用建筑、市政工程、仓储与工厂、环境与能源、高速公路与铁路、港工与水利等土木工程领域。国内外工程实践表明，螺旋挤土灌注桩技术适用于桩基与复合地基工程，且具有广泛的地层适用性，其适用范围包括素填土、黏性土、粉土、黄土、砂土、角砾、圆砾、碎石、卵石、全风化软质岩与强风化软质岩等可挤密岩土层。地层适用性参考指标为标准贯入试验锤击数（ N ）小于或等于60，或静力触探试验钻头阻力（ q_c ）小于或等于30MPa。工程常用螺旋挤土灌注桩属于中等直径桩，桩径介于200mm~800mm，单桩竖向极限承载力值域主要位于1500kN~10000kN。

对于这项技术先进、质量可靠、节省建材、节能减排、绿色环保、性价比高的桩基与复合地基技术，我国科研技术人员已构建了具有自主知识产权的成套螺旋挤土灌注桩技术体系。新技术体系涵盖了钻具优化理论、桩的承载变形机制、设计计算方法、大扭矩钻机、高效挤扩钻具、施工方法及技术标准等方面，其在我国10多个省市自治区的工程应用获得了突出的经济、环保与社会效益，并且积累了大量工程技术数据。

螺旋挤土灌注桩施工应用挤土施工方法，螺旋挤扩钻具（包括全挤土螺旋挤扩钻具和部分挤土螺旋挤扩钻具）在大扭矩钻机施加的扭矩与竖向下压力作用下，通过钻具机械挤土功能与混凝土中心压灌挤土功能，将桩孔中的岩土体全部或部分挤压入桩孔侧壁，形成圆柱形混凝土桩。通过挤土施工方法能够实现桩周岩土体的物理挤密，提高桩周岩

土体的应力水平与抗剪强度，从而能够使桩侧摩阻力比传统灌注桩提高30%~60%，其宏观表现为单桩竖向极限承载力大幅度提高和沉降变形性能显著改善。

我国与其他数十个国家应用螺旋挤土灌注桩基和复合地基技术的工程实践已充分证明，这项技术具有单桩承载力高、节省建筑材料、施工便捷高效、质量可控可靠、受地下水位影响较小。

3 基本规定

3.0.1 挤土式螺旋灌注桩适用于一般填土，黏性土，粉土，砂土，细粒碎石土，全风化基岩，强风化软质岩；红黏土，膨胀土，广西新近系、古近系全~强风化软质半成岩等可挤密的岩土层；对深厚饱和软黏土、淤泥质土、含碎（块）石填土，粗粒碎石土，强风化硬质岩，广西新近系、古近系中风化软质半成岩地层，应通过试验确定。

3.0.2~3.0.4 从国内外近20年的工程实践来看，螺旋挤土灌注桩适用于可挤密的素填土、黏性土、粉土、黄土、砂土、圆砾、角砾、卵石、碎石、全风化软质岩和强风化软质岩等地层，且不受地下水位限制。国内外大量工程应用数据的统计与分析结果表明：螺旋挤土灌注桩适用于未经修正的标准贯入试验锤击数 (N) 不大于60击/30cm的岩土地层。但 N 等于60并非一个硬性的分界指标，今后随着钻机与钻具能力不断增强， N 大于60击/30cm的某些可挤密岩土层也是适用的。此外，欧美的工程实践已证明静力触探试验的锥尖阻力(q_c)不大于30MPa也可以作为岩土层的适用性参考指标。由于螺旋挤土灌注桩属于挤土桩，用挤土施工工艺对特殊土层（如液化土、填土）中的桩基或复合地基能够提供较大的正面挤土效应；相关特性评价可按现行有关国家标准的规定执行。对于深厚的饱和软黏土、淤泥、淤泥质黏土和泥炭质土层应慎用螺旋挤土灌注桩技术，但也可以通过现场试验证明其适用性，正式工程应用时，应增大桩的最小中心距，并应在施工中采取减小挤土负效应的技术保障措施。

依据目前国内外钻机装备能力和实际工程经验，螺旋挤土灌注桩的桩径适用范围为200mm~800mm；国内常用桩径为350mm~800mm，国内最大桩孔钻深为36m。目前，国产专用钻机能够提供的动力头最大输出扭矩为300kN·m，国外用于螺旋挤土灌注桩施工的专用钻机能够提供的最大扭矩达到了500kN·m。

4 勘 察

4.0.1 本条规定明确挤土式螺旋灌注桩在设计前，需收集相关的地质资料。

4.0.2 本条规定明确拟采用挤土式螺旋灌注桩的桩基础或复合地基工程的场地，工程地质与水文地质勘察相应的要求。

4.0.3 本条规定明确拟采用挤土式螺旋灌注桩时，岩土勘察前应收集拟建场地与环境条件的有关资料。

4.0.4 本条规定明确挤土式螺旋灌注桩作为桩基础时的勘察要求。

4.0.5 本条规定明确挤土式螺旋灌注桩作为地基处理竖向增强体时的勘察要求。

4.0.6 本条规定明确岩土工程勘察报告中有关挤土式螺旋灌注桩技术选用的评价内容。

4.0.7 本条规定明确当已有勘察资料不能满足挤土式螺旋灌注桩设计和施工要求、地下水状态和性质对设计和施工有影响时，应进行施工勘察。

5 设计

5.1 一般规定

5.1.1 本条规定了挤土式螺旋灌注桩基础和挤土式螺旋灌注桩复合地基应按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行设计。

5.1.2 本条规定了挤土式螺旋灌注桩按桩基础设计时，应根据现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定确定设计等级。

5.1.3 本条规定了挤土式螺旋灌注桩基础在设计时，应根据其使用功能和受力特征分别进行桩基的竖向承载力计算、水平承载力计算及稳定性验算。

5.1.4 本条规定了挤土式螺旋灌注桩作为复合地基，设计时应按上部结构、基础和地基共同作用的原理进行设计。

5.2 桩的分类与布置

5.2.1 本条规定了挤土式螺旋灌注桩用作基础桩时宜采用摩擦型桩或端承摩擦型桩。

5.2.2 本条规定了挤土式螺旋灌注桩用作基础桩时，最小中心距。

5.2.3 本条规定了需要利用挤密效应处理松散填土、碎石土的挤土式螺旋灌注桩基础或挤土式螺旋灌注桩复合地基的工程，桩的最小中心距。

5.2.4 本条规定了挤土式螺旋灌注桩的桩端持力层应选择较为密实、坚硬、层位稳定的岩土层，且桩端全断面进入持力层的最小深度。

5.3 基桩构造

5.3.1~5.3.2 本条规定了挤土式螺旋灌注桩用作桩基础时，其桩身配筋要求。

5.3.3 本条规定了挤土式螺旋灌注桩用作工程中的锚桩时，其桩身配筋方式。

5.3.4 本条规定了挤土式螺旋灌注桩用作桩基础时，桩顶与承台的连接方式。

5.3.5 本条规定了挤土式螺旋灌注桩用作桩基础时，桩身混凝土强度等级及混凝土保护层厚度。

5.3.6 本条规定了挤土式螺旋灌注桩结构的耐久性执行的标准。

5.4 单桩竖向抗压承载力确定

5.4.1 本条规定挤土式螺旋灌注桩的单桩承载力特征值的确定方法，并应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 及《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的有关规定。

5.4.2 本条规定了对于建（构）筑物和受水平力较小的高层建筑的挤土式螺旋灌注桩、柱、墙、核心筒等群桩中基桩或复合基桩的桩顶作用效应的计算方式。

5.4.3 本条规定了挤土式螺旋灌注桩作为桩基础时，桩基础的抗震验算按国家现行标准《建筑抗震设计规范》GB 50011、《建筑桩基技术规范》JGJ 94的有关规定执行。

5.4.4 本条规定了不同荷载效应组合时，单桩竖向承载力的计算要求。

5.4.5 本条规定了单桩竖向承载力与极限承载力标准值的安全系数关系。

5.4.6 本条规定了对于摩擦型或部分端承摩擦型挤土式螺旋灌注桩基础，采用桩土共同作用分析方法计算，并考虑承台效应。

5.4.7 本条规定了挤土式螺旋灌注桩的单桩竖向极限承载力标准值的确定原则。

5.4.8 本条要求挤土式螺旋灌注桩的桩端持力层下受力范围内存在软弱下卧层时，应验算软弱下卧层的地基承载力。

5.4.9 本条规定按经验参数法确定挤土式螺旋灌注桩的单桩竖向极限承载力标准值时的计算方法，并给出了相关岩土层的经验参数。

5.4.10 本条规定了按原位测试参数法确定挤土式螺旋灌注桩的单桩竖向极限承载力标准值时，应根据标准贯入试验资料来确定单桩竖向极限承载力标准值，并给出了相关的经验参数换算方法。

5.4.11 本条规定了挤土式螺旋灌注桩作为抗拔或水平受力的基桩时，应按现行国家标准《混凝土结构设计规范（2015年版）》GB 50010 的有关规定验算基桩材料的承载力，并进行裂缝控制计算。

5.5 单桩竖向抗拔承载力验算

5.5.1~5.5.2 承受竖向拔力的桩基存在群桩整体拔出或单桩拔出两种可能的破坏模式，所以，抗拔桩基应分别进行桩基整体破坏和非整体破坏的两种抗拔承载力计算。桩基抗拔承载力计算应充分考虑承台或筏板基础的结构形式与埋深、结构荷载大小与分、基桩的长度与直径影响，并应在划分抗拔结构计算单元基础，针对桩基的两种破坏模式分别进行分区计算。

单桩极限抗拔承载力确定通常采用两种方法：①利用经验公式或理论公式计算确定；②利用单桩抗拔静载试验确定。因此，对于分区桩群的两种破坏模式下的基桩抗拔承载力特征值计算分别采用了式（5.5.1-1）、式（5.5.1-2）、式（5.5.2-1）、式（5.5.2-2）。

抗拔系数（ λ_i ）定义为基桩的抗拔极限侧阻力与抗压极限侧阻力的比值，其确定基于基桩的抗拔极限侧阻力实测值与抗压极限侧阻力实测值，设计计算时应根据岩土层类别、桩的长径比按表5.5.2选取 λ_i 值。

5.6 单桩水平承载力计算

5.6.1~5.6.2 挤土式螺旋灌注桩是等径桩，影响挤土式螺旋灌注桩水平承载力的因素除桩的抗弯强度（它取决于桩身截面尺寸、配筋情况及混凝土强度等）、桩顶允许位移和地基土的物理力学性能外，还与桩顶嵌固情况、桩端的约束情况、桩顶竖向荷载的大小以及承台的底面阻力和侧面抗力等方面有关。要按某一种分析计算法较准确地确定其单桩水平承载力是困难的，故对于承受水平荷载较大的设计等级为甲级的挤土式螺旋灌注桩，应按水平静载试验确定其单桩水平承载力。

根据设计要求，挤土式螺旋灌注桩的水平静载试验可进行桩顶自由的单桩试验、加竖向荷载的单桩试验及带承台的单桩或多桩试验等。

5.7 桩基沉降计算

5.7.1~5.7.3 规定挤土式螺旋灌注桩需要进行沉降计算的桩基情况以及沉降控制标准。

5.7.4~5.7.5 挤土式螺旋灌注桩是一种新型的挤土桩，目前还未有严密的理论和简便易行的计算方法，只能依据现行计算方法，根据工程实践经验加以修正确定最终沉降量。根据搜集到的沉降变形监测资料，在同等条件下，沉降量均大幅度小于一般灌注桩，约为普通灌注桩沉降量的1/2~2/3。本规程沉降公式中引入桩基沉降修正系数 $\psi_B=0.6\sim0.8$ 。

5.8 复合地基

5.8.1~5.8.5 挤土式螺旋灌注桩作为地基处理竖向增强体时，其符合刚性桩地基处理增强体的特性：

1 由于挤土式螺旋灌注桩的刚度较大，单桩承载力较高，应在挤土式螺旋灌注桩和基础之间设置褥垫层。褥垫层能调整桩土应力比，减少桩顶应力集中，有利于桩间土承载力发挥。

2 褥垫层设置应根据与桩身直径相协调，为充分发挥挤土式螺旋灌注桩承载力较高的优势，5.8.4条规定了褥垫层的厚度宜为 $0.4\sim 0.6D$ 。

5.8.6~5.8.7 挤土式螺旋灌注桩作为地基处理竖向增强体，其形成的复合地基参考《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 中水泥粉煤灰碎石桩的方式进行计算，桩身混凝土强度的验算，参照《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 进行计算。

5.8.8 为方便设计人员利用公式、经验参数进行设计计算，本规程复合地基的变形计算采用复合模量计算方法，并参照现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 的有关规定执行。

挤土式螺旋灌注桩复合地基总沉降量：

为加固区土层压缩变形量 s_1 和下卧层压缩变形量 s_2 之和。由于挤土式螺旋灌注桩的模量很大，在荷载作用下，轴向力引起的压缩变形很小，可忽略不计。所以加固区的变形为桩顶上刺入 $\Delta_{上}$ 和桩端下刺入 $\Delta_{下}$ 变形之和， $s_1 = \Delta_{上} + \Delta_{下}$ 。褥垫层很薄，压缩变形很小，可忽略不计。扩径体在加固区承载力大、变形小，桩端下刺入 $\Delta_{下}$ 很小。

通过对已完成工程复合地基工程的沉降变形观测资料分析，与本规程沉降变形计算公式（5.8.8-1）对比，反推加固区沉降量调整系数，认为加固区沉降量调整系数 $\lambda=0.5\sim 0.8$ 是合理的。挤土式螺旋灌注桩复合地基桩长一般由沉降变形控制。

6 施 工

6.1 一般规定

6.1.1 挤土式螺旋灌注桩工程为地下隐蔽工程，需采用专用的挤土设备，设备应具有足够的扭矩，确保挤土成桩质量。

挤土式螺旋灌注桩施工应采用专用钻机和专用螺旋挤扩钻具，设备扭矩满足施工要求。

6.1.2 正式施工前应检查钻机、螺旋挤扩钻具、电气设施及安全装置，并宜进行钻机试成孔或试成桩试验。

6.1.3 基桩成桩深度应符合下列规定：

- 1 摩擦桩应以设计桩长为依据控制成孔深度；
- 2 端承摩擦桩应以设计桩长及桩端进入持力层深度控制成孔深度。

6.2 施工准备

6.2.1 挤土式螺旋灌注桩施工前应具备审查合格的勘察成果资料、施工图，并编制专项施工组织方案。

6.2.2 钻机装备与钻具应合理选用，特别要注重钻机动力头最大输出扭矩、主桅杆高度、钻具类型。目前，国内施工挤土式螺旋灌注桩的专用钻机装备提供的动力头输出扭矩有 $200\text{kN}\cdot\text{m}$ 、 $250\text{kN}\cdot\text{m}$ 、 $300\text{kN}\cdot\text{m}$ 、 $350\text{kN}\cdot\text{m}$ 和 $450\text{kN}\cdot\text{m}$ 五个级别，基本上能够满足我国成孔施工的动力需求。

6.2.3 施工场地应“三通一平”，地面承载力应满足钻机的接地压力要求，一般不低于 120kPa ；在基坑内施工时，场地作业面应满足钻机施工及行走的要求。

6.2.4 施工前的专项施工组织方案应详实、可靠。

6.3 钻机、钻具与施工方法

6.3.1 近20年来，德国、意大利、法国、荷兰、英国、芬兰、美国及日本等国的钻机装备制造发展较快，特别在钻机的智能数字化施工信息采集与管理应用系统方面已经历了四代量测、监测、控制、管理、应用功能的全面提升，并已逐步实现了挤土式螺旋灌注桩施工的自动化或半自动化。钻机的机载一体化智能数字化施工信息采集与管理应用

系统能够借助各类传感器，实时采集桩基施工过程中的各种数据，包括卫星定位、主桅杆垂直度、钻深、钻速、提速、扭矩、钻压、混凝土泵压与流量等信息，以保证桩基的施工品质。上述施工信息数据可以显示在驾驶舱内的计算机显示器上，并能够通过钻机操作手查找信息、调整施工指令、存储与发送施工数据文件。通过采集数据的分析应用，可以减少桩基的施工误差、提高功效、节省建筑材料、控制施工质量、保证挤土式螺旋灌注桩的承载力。利用第四代IT管理应用系统，还能够通过数据分析，在保证桩基设计承载力的前提下，确定每根挤土式螺旋灌注桩的合理施工长度，从而可以节省混凝土材料，同时也提高了施工效率。

目前，国内常用短螺旋挤土灌注桩桩长为 $15m\sim 26m$ ，最大成孔深度为 $36m$ ，常用桩径为 $350mm\sim 750mm$ ，施工钻机动力头输出扭矩为 $200kN\cdot m\sim 450kN\cdot m$ ；国产电液式大三角支撑钻机的主桅杆高度可达到 $42m$ ，钻机整机重量介于 $80t\sim 120t$ 。未来，国产钻机装配智能数字化采集、监测、控制、管理及应用系统后，将能够通过桩基施工智能化管理，确保施工参数精准执行、减小施工误差、节约建筑材料，并大幅度提高桩基施工质量及施工效率。

6.3.2~6.3.4 由于建筑场地岩土层的抗剪强度和可挤密性具有巨大差异性，本规程提供了两种施工工法，并阐述了与之配套的螺旋挤扩钻具的基本特征。对于标准贯入试验击数 N 大于 35 击/ $30cm$ 的坚硬、密实岩土层，且桩径与桩长较大的挤土式螺旋灌注桩应采用部分挤土施工方法。对于坚硬、密实甚至不易挤密的岩土层，较大直径桩基施工时需要动力头提供更大的扭矩，因此，钻机动力头输出扭矩应大于 $300kN\cdot m$ 。目前，国外用于挤土式螺旋灌注桩施工的钻机最大输出扭矩已达到 $500kN\cdot m$ 。这类挤土桩施工的最大难点是在坚硬密实地层中钻掘挤土成孔，因此，用于这类地层的施工钻具应采用部分挤土螺旋挤扩钻具（*Type II*）。这种钻具拥有卓越的穿透能力和钻掘能力，在钻具的钻掘挤土成孔过程中，由于挤扩体设有排土槽，在钻掘阶段只有部分岩土体被钻具下螺旋挤扩体挤压入桩孔侧壁；而另一部分岩土体则会经由排土槽进入钻具上部桩孔内，从而能够在钻掘阶段减少坚硬密实岩土层中的挤土量，同时也降低了钻机的输出扭矩。钻具螺旋钻进体的设计目的也是为了减少挤土量，并提升穿透力，采用这种部分挤土螺旋挤扩钻具，能够解决桩端坚硬密实持力层的嵌入深度以及密实夹层的钻掘挤土问题。因此，利用大扭矩钻机，采用部分挤土螺旋挤扩钻具可以胜任较大直径、中长挤土式螺旋灌注桩的高效施工。

6.4 施工与质量控制

6.4.1~6.4.4 挤土式螺旋灌注桩施工的多道工序需要相互配合、连续作业，因为基桩施工属于地下隐蔽工程施工，为保证桩基工程品质，必须实施全过程施工质量控制与管理。其中，对三个关键工序的逐一质量控制是确保基桩品质的关键控制点。本规程附录B给出了桩基施工质量的主控内容、控制要点、控制标准与要求及控制措施与检查方法，在基桩施工过程中，只有据此进行严格的施工质量管理与控制，才能确保实现桩基设计的目标。针对特殊岩土条件以及可能产生过大挤土负效应的场地，建议采用部分挤土螺旋挤扩钻具，并可采用控制性少量出土的施工工艺与技术。

I 成孔施工

6.4.5 施工放线与标出桩位是基桩施工的首要工作，也是控制工程质量的首道工序，所以，必须坚持严格的测量、复测、交接与检查程序，未经桩位点复测应严禁钻机开钻，以确保施打桩位误差在允许偏差之内。为确保放线定位的准确性，基桩轴线的控制点和水准点应设置在不受施工影响的位置并妥善保管，且应按照程序进行严格的检查、交接、记录和验收。

6.4.6 挤土式螺旋灌注桩在地下水位较高的砂土层及软弱土层中施工，且上部具有较长空孔段时，为防止上部桩孔段发生塌孔或缩颈，应采用直径较大的钻杆，并应在螺旋挤扩钻具的上部连接长螺旋钻杆。此外，还可以采用螺旋挤扩钻具挤土成孔、套管跟进灌注混凝土的施工方法。

6.4.7~6.4.8 挤土式螺旋灌注桩属于挤土桩，除应在设计阶段合理选择基桩的最小中心距之外，在施工阶段还需要充分考虑挤土成桩对周围环境可能产生的挤土负效应；必要时，应通过调整钻具类型、成桩工艺、施工顺序、竖向钻压、打桩速率，以及采用屏障措施来消减孔隙水压力和挤土负效应。

II 混凝土制备与灌注

6.4.10~6.4.11 在挤土式螺旋灌注桩施工中，钻掘挤土成孔与桩身混凝土压灌是连续进行的关键工艺，需要按以下要点把控桩基的施工质量：

1 钻机对钻具施加顺时针方向扭矩和竖向钻压，螺旋挤扩钻具下旋钻掘挤土成孔直至达到桩端设计标高后，钻具应继续保持顺时针方向旋转，钻具转速宜为 $10r/min \sim 15r/min$ 。启动泵送混凝土，待泵送混凝土进入钻具芯管后，开始进行混凝土连续中心压灌并保持钻具顺时针方向旋转，同时缓慢提升钻具。在钻具上旋提升过程中，必须保持混凝土泵连续泵料，钻具提升速度要与桩孔直径、岩土层性质、混凝土泵送量相匹配，钻杆与钻具芯管内维持至少 $2m$ 高度的混凝土，以满足有压灌注的最低要求。

2 在具有承压水或高水位的粉细砂及软弱土地层中施工时，混凝土压灌必须连续进行、不得中断。除考虑混凝土泵型号外，钻具提升速度应根据成桩直径及地层条件控制，工程经验表明提钻速度与成桩直径具有良好的相关性，建议的参考值为：桩径400mm时提钻速度宜取2.0m/min~3.0m/min，桩径500mm时提钻速度宜取1.5m/min~2.0m/min，桩径600mm时提钻速度宜取1.0m/min~1.5m/min，桩径700mm时提钻速度宜小于1.0m/min。

对于淤泥或淤泥质土地层以及具有承压水地层，应适当放慢提钻速度，钻具芯管内的混凝土存留高度也应增加；当钻具底端距桩顶设计标高1.0m左右时可以停止混凝土泵送，并由钻具芯管中剩余混凝土继续进行桩孔灌注。根据欧洲、美国和澳大利亚的施工经验，短螺旋挤土灌注桩施工大多要求采用满管有压灌注混凝土，因此，需要通过智能数字化施工信息采集与管理应用系统对混凝土的泵送量与泵送压力进行全程监测和控制。

3 混凝土灌注前需检查泵送混凝土的坍落度，坍落度建议控制在180mm~220mm范围内，并且桩身混凝土灌注的充盈系数不得小于1.0。

III 钢筋笼制作与安装

6.4.12 钢筋笼制作应严格按后插钢筋笼的做法进行施工，钢筋笼焊接（绑扎）牢固，保证振动沉笼时钢筋笼的稳定。钢筋笼沉入采用后插式振动沉入，需在桩身混凝土完成初凝前将钢筋笼沉入桩内，钢筋笼起吊时必须夹紧，将钢筋笼对中及保持钢筋垂直，并保证将振动锤的击振力通过钢筋笼导入管传到钢筋笼底部。插入速度宜控制在1.2m/min~1.5m/min。

IV 其他施工要求

6.4.13~6.4.16 桩间保护土层的清运如在灌注桩施工期间进行，应不影响长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩正常工作。桩间保护土层开挖、清运过程中，应合理安排开挖、清运顺序，禁止开挖和运输机直接在基底面上行走。如需在已开挖完成的基底面上行走，应采取铺设木板等保护措施。严禁机械碰撞桩头。

7 质量检验

7.1 一般规定

7.1.1~7.1.5 影响挤土式螺旋灌注桩单桩承载力和桩身完整性的因素存在于桩基施工的全过程中，仅有施工后的检验是不全面的。如施工过程中出现局部地质条件与岩土工程勘察报告不符、工程桩施工参数与成桩工艺性试验确定的参数不同、设计变更等情况，都可能产生质量隐患，因此，加强施工过程中的动态检验是必要的，应按不同施工阶段对挤土式螺旋灌注桩进行检验。施工质量的检验项目与方法应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202 和《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 的有关规定。

7.2 施工检验

7.2.1~7.2.3 施工中的检验是决定桩基或复合地基品质的关键环节，因为影响其承载力和桩身质量的不利因素往往产生于桩的施工过程中。特别当施工过程中出现局部地质条件与岩土勘察报告不符、工程桩施工参数与施工前试验参数不同、原材料发生变化、设计变更、施工钻机与钻具更换、施工单位变更等情况，都可能产生工程桩质量隐患，因此，加强施工过程的质量控制管理和检验至关重要。

7.2.4~7.2.8 桩基工程或复合地基工程能否顺利通过工程验收，主要取决于工后检测与检验结果。为了保障工后检测与检验结果的真实性与有效性，确保工程桩的品质，所有的检验内容、检测要求、检测数量必须符合国家现行标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202、《建筑地基检测技术规范》JGJ340、《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 和《建筑地基处理技术规范》JGJ 79的有关规定。

7.3 工程验收

7.3.1~7.3.2 施工质量验收应按照国家现行标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202、《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300、《建筑桩基技术规范》JGJ 94、《建筑地基处理技术规范》JGJ 79相关规定执行，并对项目资料进行检查，其

资料按国家现行标准《建筑工程资料管理规程》JGJ/T 185 及当地主管部门对工程资料的管理规定进行汇编。