**中国工程建设标准化协会标准**

**编号：**

**短螺旋挤土灌注桩技术规程**

**Technical code for soil displacement screw pile**

**（征求意见稿）**

**2019-\*\*-\*\* 发布 2019-\*\*-\*\* 实施**

**中国工程建设标准化协会 发布**

**中国工程建设协会标准**

**短螺旋挤土灌注桩技术规程**

**Technical code for soil displacement screw pile**

主编单位：中冶建筑研究总院有限公司

建研地基基础工程有限责任公司

批准部门：中国工程建设标准化协会

施行日期： 2019年\*\*月\*\*日

**前 言**

根据中国工程建设标准化协会（2017）建标协字第 [2017] 031号文《关于印发中国工程建设标准化协会2017年第二批标准制、修订项目计划的通知》要求，《短螺旋挤土灌注桩技术规程》编制组经过广泛调查研究，认真总结工程经验，参考欧盟与美国的先进标准，结合我国桩基工程行业实际情况，并在广泛征求意见的基础上，编制了本标准, 最后经审查定稿。

短螺旋挤土灌注桩是一项先进环保节能的桩基技术，近10年来，这项技术已在我国10多个省市自治区推广应用，并成功应用于工业与民用建筑工程、市政工程、公路工程与铁路工程等领域。解决了我国在桩基和复合地基工程中遇到的技术难题，也填补了我国在短螺旋挤土灌注桩领域的技术空白。在同等条件下，短螺旋挤土灌注桩相比传统工艺施工的钻孔灌注桩在承载力方面有大幅度提高，能够节约工程材料、缩短施工工期、降低工程造价，经济效益突出。由于这项桩基技术施工不排土，减少了环境污染，促进了节能减排与环境保护，社会效益显著，符合国家可持续发展战略。为了促进短螺旋挤土灌注桩技术在全国范围内的推广应用，为工程建设各主体单位提供标准依据，根据中国工程建设标准化协会的要求，由中冶建筑研究总院有限公司和建研地基基础工程有限责任公司会同勘察、设计、施工、科研、教学和装备制造等单位共同完成了技术标准的编制工作。

本标准分为6章及4个附录，主要技术内容包括：1、总则；2、术语和符号；3、基本规定；4、设计计算；5、施工；6、质量检验和验收。

根据国家计委计标 [1986] 1649号文《关于请中国工程建设标准化委员会负责组织推荐性工程建设标准试点工作的通知》，现批准协会标准《短螺旋挤土灌注桩技术标准》，编号为T/CECS XXX：2019，推荐给工程建设的设计、施工和使用单位采用。

本标准由中国工程建设标准化协会地基基础专业委员会CECS/TC 27归口管理，由中冶建筑研究总院有限公司负责具体技术内容的解释。在本标准执行过程中如有意见或建议，请寄送中冶建筑研究总院有限公司《短螺旋挤土灌注桩技术规程》管理组（地址：北京市海淀区西土城路33号，邮编：100088），以供今后修订时参考。

本标准主编单位：中冶建筑研究总院有限公司

建研地基基础工程有限责任公司

本标准参编单位：中国京冶工程技术有限公司

中冶京诚工程技术有限公司

哈尔滨工业大学

同济大学

陆军勤务学院

北京工业大学

中铁第四勘察设计院集团有限公司

北京市建筑设计研究院有限公司

兰州有色冶金设计研究院有限公司

威海建设集团股份有限公司

山东威建岩土科技有限公司

中铁四院集团岩土工程有限责任公司

中冶沈勘工程技术有限公司

深圳市工勘岩土集团有限公司

浙江坤德创新岩土工程有限公司

河南省有色工程勘察有限公司

宁夏夯中岩土工程有限公司

冀北中原岩土工程有限公司

北京建筑机械化研究院

山东卓力桩机有限公司

苏州欣源基础工程有限公司

本标准主要起草人：刘 钟 高文生 杨 松 刘 波 张 义 王 奋

邢占东 卢璟春 郭 钢 杨生贵 汤爱平 杨 坪

黄雪峰 李绪华 陈天镭 王 涛 李小和 孙宏伟

王家伟 付文光 陈 占 宋 杰 张培文 闫秋实

张楚福 万广达 吕美东 吴清星 张延记 顾建新

郭传新 王凤良 杨小林 岳 霞 陈晓旭 王宝启

本标准主要审查人：

**目 录**

[1 总 则 1](#_Toc2588411)

[2 术语和符号 2](#_Toc2588412)

[2.1 术 语 2](#_Toc2588413)

[2.2 符 号 3](#_Toc2588414)

[3 基本规定 5](#_Toc2588415)

[3.1 一般规定 5](#_Toc2588416)

[3.2 基本资料 6](#_Toc2588417)

[3.3 岩土工程勘察要点 7](#_Toc2588418)

[3.4 桩的分类与布置 8](#_Toc2588419)

[3.5 基桩构造 9](#_Toc2588420)

[4 设计计算 11](#_Toc2588421)

[4.1 桩顶作用效应计算 11](#_Toc2588422)

[4.2 桩基竖向承载力计算 12](#_Toc2588423)

[4.3 单桩竖向极限承载力计算 13](#_Toc2588424)

[4.4 竖向抗拔与水平承载力计算 16](#_Toc2588425)

[4.5 桩身承载力计算 17](#_Toc2588426)

[4.6 复合桩基承载力计算 18](#_Toc2588427)

[4.7 复合地基设计 19](#_Toc2588428)

[4.8 特殊土的桩基与复合地基设计 21](#_Toc2588429)

[4.9 沉降计算 24](#_Toc2588430)

[5 施 工 26](#_Toc2588431)

[5.1 一般规定 26](#_Toc2588432)

[5.2 施工准备 26](#_Toc2588433)

[5.3 钻机钻具与施工方法 27](#_Toc2588434)

[5.4 施工与质量控制 29](#_Toc2588435)

[6 质量检验和验收 32](#_Toc2588436)

[6.1 一般规定 32](#_Toc2588437)

[6.2 施工前检验 32](#_Toc2588438)

[6.3 施工中检验 32](#_Toc2588439)

[6.4 施工后检验 33](#_Toc2588440)

[6.5 工程验收 33](#_Toc2588441)

[附录A 短螺旋挤扩钻具的结构构造 35](#_Toc2588442)

[附录B 施工质量控制要点与控制措施 37](#_Toc2588443)

[附录C 基桩施工记录表 38](#_Toc2588444)

[附录D 施工工艺流程 39](#_Toc2588445)

[本标准用词说明 40](#_Toc2588446)

[引用标准名录 40](#_Toc2588447)

附：[条文说明 41](#_Toc2588448)

**Contents**

[1 General Provisions 1](#_Toc325207544)

[2 Terms and Symbols 2](#_Toc325207545)

[2.1 Terms 2](#_Toc325207546)

[2.2 Symbols 3](#_Toc325207547)

[3 Basic Requirements 5](#_Toc325207548)

[3.1 General Requirements 5](#_Toc325207549)

[3.2 Basic Data 6](#_Toc325207550)

[3.3 Geotechnical Investigation 7](#_Toc325207551)

[3.4 Classification and Arrangement of Piles 8](#_Toc325207551)

[3.5 Structure of Pile 9](#_Toc325207551)

[4 Design 11](#_Toc325207552)

[4.1 Effect Calculation of Pile Head](#_Toc325207553) 11

[4.2 Vertical Capacity Calculation of Pile Foundation 12](#_Toc325207554)

[4.3 Ultimate Vertical Bearing Capacity of Single Pile 13](#_Toc325207555)

[4.4 Vertical Uplift and Lateral Capacity of Pile Foundation 16](#_Toc325207557)

[4.5 Bearing Capacity of Pile 17](#_Toc325207556)

[4.6 Capacity Calculation of Composite Pile Foundation 18](#_Toc325207557)

[4.7 Design of Composite Foundation 19](#_Toc325207557)

[4.8 Design of Pile and Composite Foundation in Special Soils 21](#_Toc325207557)

[4.9 Calculation of Settlement 23](#_Toc325207557)

[5 Construction 25](#_Toc325207558)

[5.1 General Requirements 25](#_Toc325207560)

[5.2 Preparation of Construction 25](#_Toc325207559)

[5.3 Piling Rig、Auger and Construction Process 26](#_Toc325207561)

[5.4 Quality Control in Pile Construction 28](#_Toc325207561)

[6 Quality Inspection and Acceptance 32](#_Toc325207563)

[6.1 General Requirements 32](#_Toc325207564)

[6.2 Inspection before Construction 32](#_Toc325207565)

[6.3 Inspection in Construction 32](#_Toc325207566)

[6.4 Inspection after Construction 3](#_Toc325207567)3

[6.5 Acceptance 33](#_Toc325207568)

Appendix A Structure of Drilling Augers 35

Appendix B Quality Control of Construction 36

Appendix C Records of Pile Installation 37

Appendix D Process of Pile Installation 38

Explanation of Wording in This Code 39

List of Quoted Standards 39

Addition：Explanation of Provisions 40

**1 总 则**

**1.0.1** 为了贯彻执行国家的技术经济政策，保证短螺旋挤土灌注桩设计、施工与质量检验规范化，做到安全适用、技术先进、经济合理、确保质量、节能减排、保护环境，制定本标准。

**1.0.2** 本标准适用于建筑工程的短螺旋挤土灌注桩的桩基与复合地基的设计、施工、质量检验和验收。

**1.0.3** 短螺旋挤土灌注桩的桩基与复合地基的设计、施工及质量检验，应综合分析场地的工程与水文地质条件、上部结构特点、荷载分布特征、基础型式、钻机钻具性能、施工工艺、环境条件与地方经验等影响因素，遵循因地制宜、节约资源、保护环境，优化设计和保证质量的原则。

**1.0.4** 短螺旋挤土灌注桩的桩基与复合地基的设计、施工和检验验收，除应执行本标准外，尚应符合现行国家有关标准的规定。

**2 术语和符号**

**2.1 术 语**

**2.1.1**  短螺旋挤土灌注桩 soil displacement screw pile（简称SDS桩）

短螺旋挤土灌注桩是一种利用安装有短螺旋挤扩钻具的桩工钻机钻掘挤扩成孔并压灌混凝土而形成的中等直径、圆柱形的挤土灌注桩。

**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基础。

**2.1.3** 基桩 foundation pile

桩基础中的单桩。

**2.1.4** 复合基桩 composite foundation pile

由单桩与其对应面积承台或筏板下地基土共同承载的基桩。

**2.1.5** 复合桩基 composite pile foundation

由基桩和承台或筏板下地基土共同承担荷载的桩基础。

**2.1.6** 单桩竖向极限承载力 ultimate vertical bearing capacity of single pile

单桩在竖向荷载作用下到达破坏状态前或出现不适于继续承载的变形时所对应的最大荷载，它取决于岩土对桩的支承阻力和桩身承载力。

**2.1.7** 极限侧阻力 ultimate shaft resistance

相应于桩顶作用极限荷载时，桩身侧表面所产生的岩土阻力。

**2.1.8** 极限端阻力 ultimate tip resistance

相应于桩顶作用极限荷载时，桩端所产生的岩土阻力。

**2.1.9** 单桩竖向承载力特征值 characteristic value of vertical bearing capacity of single pile

单桩竖向极限承载力标准值除以安全系数后的承载力值。

**2.1.10** 负摩阻力 negative shaft resistance

由于桩周土自重固结、湿陷、液化、降水、地面堆载等原因导致土体沉降量大于桩的沉降时，所引起的对桩身侧表面向下的摩阻力。

**2.1.11** 复合地基 composite foundation

部分地基土体被增强或被置换，形成由地基土和竖向增强体两部分共同承担荷载的人工地基。

**2.1.12** 刚性桩复合地基 rigid pile composite foundation

以摩擦型或端承摩擦型刚性桩作为竖向增强体的复合地基。

**2.2 符 号**

**2.2.1** 作用和作用效应

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *F*k | *——* | 按荷载标准组合计算的作用于承台顶面的竖向力标准值； |
| *G*k | *——* | 桩基承台和承台上土自重标准值； |
| *H*k | *——* | 按荷载标准组合计算的作用于承台底面的水平力标准值； |
| *Hi*k | *——* | 按荷载标准组合计算的作用于第*i*基桩或复合基桩的水平力标准值； |
| *M*xk、*M*yk | *——* | 按荷载标准组合计算的作用于承台底面的外力，绕通过桩群形心的*x*、*y*主轴的力矩； |
| *N* | *——* | 荷载基本组合下的桩顶轴向压力设计值； |
| *N*k | *——* | 荷载标准组合轴心竖向力作用下，作用于基桩或复合基桩顶的竖向力标准值或按荷载标准组合计算的基桩上拔力标准值； |
| *Ni*k | *——* | 荷载标准组合偏心竖向力作用下，作用于第*i*基桩或复合基桩顶的竖向力标准值。 |

**2.2.2** 抗力和材料性能

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *E*s | *——* | 土的压缩模量； |
| *f*c | *——* | 混凝土轴心抗压强度设计值； |
| *f*rk | *——* | 岩石饱和单轴抗压强度标准值； |
| *f*s、*q*c | *——* | 静力触探双桥探头平均侧阻力、平均锥尖阻力； |
| *q*s*i*k | *——* | 单桩第*i* 层岩土的极限侧阻力标准值； |
| *q*pk | *——* | 单桩极限端阻力标准值； |
| *Q*sk*、Q*pk | *——* | 单桩总极限侧阻力、总极限端阻力标准值； |
| *Q*uk | *——* | 单桩竖向极限承载力标准值； |
| *R* | *——* | 基桩或复合基桩竖向承载力特征值； |
| *R*a | *——* | 单桩竖向承载力特征值； |
| *R*h | *——* | 基桩水平承载力特征值； |
| *f*sk | *——* | 处理后的桩间土地基承载力特征值； |
| *f*spk | *——* | 复合地基承载力特征值； |
| *T*gk | *——* | 群桩呈整体破坏时基桩的抗拔极限承载力标准值； |
| *T*uk | *——* | 群桩呈非整体破坏时基桩的抗拔极限承载力标准值。 |

**2.2.3** 几何参数

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *A*p | *——* | 桩身截面面积或桩端面积； |
| *D* | *——* | 桩身设计直径； |
| *li* | *——* | 桩周第*i*层岩土的厚度； |
| *s*a | *——* | 基桩的中心距； |
| *U* | *——* | 桩身周长； |
| *u*l | *——* | 桩群外围周长； |
| *M* | *——* | 复合地基面积置换率。 |

**2.2.4** 计算系数

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *K* | *——* | 安全系数； |
| Λ | *——* | 单桩竖向承载力发挥系数； |
| λ*i* | *——* | 基桩抗拔系数； |
| *Β* | *——* | 桩间土地基承载力发挥系数； |
| *η*c | *——* | 承台效应系数； |
| *ψ*c | *——* | 桩的工作条件系数； |
| *Φ* | *——* | 桩身稳定系数； |
| *ψ*1 | *——* | 土层液化影响折减系数。 |

**3 基本规定**

**3.1 一般规定**

**3.1.1** 短螺旋挤土灌注桩适用于填土、黏性土、粉土、黄土、砂土，也适用于角砾、圆砾、卵石、碎石、全风化岩和强风化岩等可挤压岩土层。

**3.1.2** 对于深厚软黏土、淤泥质土和泥炭质土层，应依据地区经验或通过现场试验确定短螺旋挤土灌注桩的适用性；对于深厚不可挤压的坚硬密实岩土层不宜采用短螺旋挤土灌注桩。

**3.1.3** 短螺旋挤土灌注桩的桩径宜采用350 mm～800 mm。

**3.1.4** 短螺旋挤土灌注桩适用于桩基和刚性桩复合地基。

**3.1.5** 短螺旋挤土灌注桩作为复合地基中的竖向增强体时，桩身可不配钢筋，其单桩竖向极限承载力计算方法应按本标准第4.3节规定执行，复合地基设计尚应符合现行国家与行业标准《复合地基技术规范》GB/T 50783和《建筑地基处理技术规范》JGJ 79的有关刚性桩复合地基的规定。

**3.1.6** 短螺旋挤土灌注桩基础应按下列两类极限状态设计：

**1** 承载能力极限状态：桩基础达到最大承载能力、出现整体失稳或发生不适于继续承载的变形；

**2** 正常使用极限状态：桩基础达到建构筑物正常使用所规定的变形限值或达到耐久性要求的某项限值。

**3.1.7** 依据建构筑物规模、体形功能特征、对差异变形敏感度、建筑场地复杂程度，以及由于桩基问题可能造成建构筑物破坏或影响其正常使用的程度，短螺旋挤土灌注桩基设计应按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94的有关规定划分为甲级、乙级和丙级三个设计等级。

**3.1.8** 短螺旋挤土灌注桩的复合桩基或刚性桩复合地基宜按上部结构、基础、基桩或竖向增强体、地基共同作用的原理进行设计，并应符合下列规定：

**1** 根据建构筑物的结构类型、荷载分布、作用效应组合、基础型式、使用要求、地质条件、施工条件及环境条件进行综合分析，并在桩长、桩径与桩距优化分析基础上确定布桩方案；

**2** 对于甲级建筑或重大工程设计方案，可基于现场试验性成桩施工和单桩静载试验结果对方案进行检验或修改；

**3** 桩基的沉降变形计算与稳定性分析应按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94的有关规定执行；

**4** 刚性桩复合地基沉降变形计算与稳定性分析应按现行国家与行业标准《复合地基技术规范》GB/T 50783和《建筑地基处理技术规范》JGJ 79的有关规定执行。

**3.2 基本资料**

**3.2.1** 短螺旋挤土灌注桩基或复合地基设计及施工应具备下列基本资料：

**1** 建构筑物相关资料：

**1）**总平面图、基础平面布置图及基础埋深资料；

**2）**建筑结构的安全等级；

**3）**结构类型、荷载、基础型式及使用条件；

**4）**基础对于沉降、倾斜及水平位移的限值。

**2** 建筑场地与环境条件资料：

**1）**建筑场地类别、抗震设防烈度及设计地震动参数；

**2）**相邻建构筑物安全等级、基础型式及埋置深度；

**3）**建筑场地内及周边交通设施、高压线、地下管线和地下结构物分布与埋深；

**4）**附近类似地质条件场地的桩基或复合地基设计与试桩资料；

**5）**周围建筑物的防振和防噪声要求。

**3** 岩土工程勘察资料：

**1）**根据地貌、年代及岩性确定的地层划分与分布；

**2）**岩土层物理力学参数与原位测试数据；

**3）**地下水类型、水位变化幅度、常年平均水位与抗浮设防水位；

**4）**地基土与地下水的腐蚀性评价；

**5）**抗震设防区按抗震设防烈度提供的液化土层资料；

**6）**对特殊地基的评价，如冻胀性、湿陷性、胀缩性等；

**7）**对建筑场地不良地质作用的分析判断与结论。

**4** 施工条件资料：

**1）**桩工钻机装备技术性能参数、短螺旋挤扩钻具型式及钻掘成孔动力要求；

**2）**不同成桩施工工艺对地质条件的适用性分析与判断；

**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施工条件。

**3.3 岩土工程勘察要点**

**3.3.1** 短螺旋挤土灌注桩基工程与复合地基工程的岩土工程勘察，应根据工程重要性、场地复杂程度与地基复杂程度确定勘察等级，并结合工程特点与设计要求确定勘察内容与重点。

**3.3.2** 岩土工程勘察宜分阶段进行，初步勘察应符合初步设计的要求；详细勘察应符合施工图设计的要求；场地条件复杂或有特殊要求的工程，宜进行施工勘察；场地或其附近存在不良地质作用时可增加专项勘察。

**3.3.3** 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，合理确定勘探点间距、勘探孔深度及控制性勘探深度；并应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021的有关规定。

**3.3.4** 岩土工程勘察应查明建筑场地的工程与水文地质条件，主要包括下列内容：

**1** 勘察前进行现场踏勘，收集已有勘察资料和工程环境调查资料；

**2** 依据地貌单元、地层时代与地层岩性组合三大要素进行地质勘察，确定地层划分与分布、岩土层性质、岩土体结构、岩土体化学稳定性与腐蚀性及场地稳定性；

**3** 查明地层断裂构造带的位置、规模与力学属性，岩体风化等级与程度及不良地质作用；

**4** 确定岩土体的物理参数、抗剪强度指标、压缩模量，提供标准贯入试验与静力触探试验数据以及基桩与地基承载力及沉降变形计算参数；

**5** 查明地下水的类型与分布，含水层的分布、厚度、埋深，地下水位、补给排泄条件、渗透系数、水质对混凝土与钢筋的腐蚀性，并评价地下水对设计与施工的影响；

 **6** 查明特殊地基土的范围与性质，对自重湿陷性黄土、欠固结土、液化土、松散填土及有大面积堆载的工程，应分析桩周侧表面产生负摩阻力的可能性，并提供桩侧负摩阻力计算参数；

**7** 持力层为倾斜地层、基岩面凹凸不平、具有临空面或洞穴时，评价桩基或复合地基的稳定性；

**8** 根据岩土层性质评价钻掘挤土成桩的可能性，并论证桩的施工条件和挤土效应对周边建构筑物的影响。

**3.3.5** 黄土场地岩土工程勘察应查明下列内容，并对黄土场地及地基作出评价：

**1** 查明黄土地层的年代、成因、分布与厚度，以及地表水与地下水的变化趋势；

**2**  确定黄土层的湿陷系数、自重湿陷系数与湿陷起始压力随深度的变化，评价黄土的湿陷类型与地基湿陷等级及平面分布；

**3**  分析并确定黄土场地工程与水文地质条件的复杂程度；

**4**  提供黄土场地的桩基或复合地基的沉降变形和承载力计算参数。

**3.4 桩的分类与布置**

**3.4.1** 短螺旋挤土灌注桩用于基础桩时可按下列规定分类：

**1** 按承载性状分类：

**1）**摩擦桩：在承载能力极限状态下，桩顶竖向荷载由桩侧阻力承担，桩端阻力小到可以忽略不计；

**2）**端承摩擦桩：在承载能力极限状态下，桩顶竖向荷载主要由桩侧阻力承担，桩端阻力仅占较小承载份额。

 **2** 按受力状态分类：

 **1）**竖向抗压桩：主要承受竖向荷载；

 **2）**竖向抗拔桩：主要承受竖向上拔荷载；

 **3）**水平受力桩：主要承受水平荷载。

**3.4.2** 短螺旋挤土灌注桩基宜采用挤土桩成桩工艺，在某些岩土条件下也可采用部分挤土成桩工艺，基桩的最小中心距应符合表3.4.2规定；有当地经验或施工中采用消减孔隙水压力和减少挤土效应的技术措施时，基桩的最小中心距可适当减小。

 **表3.4.2 基桩的最小中心距**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 岩土类别 | 排数不少于3排，且桩数不少于9根的摩擦型桩桩基 | 其他情况 |
| 非饱和土、饱和非黏性土、风化岩 | 4.0*d* | 3.5*d* |
| 饱和黏性土 | 4.5*d* | 4.0*d* |
| 非饱和黄土地基 | 3.0*d* | 3.0*d*  |

**3.4.3** 湿陷性黄土场地的短螺旋挤土灌注桩复合地基设计的基桩最小中心距不宜大于2.5*d*。

**3.4.4** 桩端持力层宜选择较坚硬的岩土层，桩端全断面进入持力层的深度宜符合下列规定：

**1** 黏性土、粉土层不小于2*d*；

**2** 砂土层不小于1.5*d*；

**3** 砾砂、碎石类土和强风化岩层不小于1*d*；

**4** 当存在软弱下卧层时，桩端以下硬持力层厚度不小于3*d*。

**3.5 基桩构造**

**3.5.1** 短螺旋挤土灌注桩配筋应符合下列规定：

 **1** 对于受压桩的纵向钢筋配筋率取0.65% ～ 0.2%（小直径桩取高值）；对于抗拔桩、受水平荷载桩、竖向荷载大的受压桩应根据计算确定配筋率，且纵向钢筋最小配筋率不宜小于表3.5.1规定值；

**表3.5.1 受压短螺旋挤土灌注桩的纵向钢筋最小配筋率**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 桩径*d*（mm）岩土类别 | ＜500 | 500 ~ 600 | ＞600 |
| 淤泥质土、严重液化土层 | 0.5% | 0.4% | 0.3% |
| 饱和黏性土、湿陷性黄土、杂填土 | 0.4% | 0.35% | 0.25% |
| 其他土层、风化岩层 | 0.3% | 0.25% | 0.2% |

**2** 基桩的纵向钢筋配筋长度应符合下列规定：

**1）**甲级建筑的桩基、位于地震设防烈度8度及以上地震区或自重湿陷性黄土场地的桩基，均应沿桩身等截面或变截面通长配筋，变截面长度位于桩身下部，且小于桩长的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）**纵向主筋应穿过可液化土和软弱土层，进入稳定岩土层深度不小于3*d*；

**4）** 受负摩阻力的桩，其纵向主筋应穿过可能产生负摩阻力的土层且进入稳定岩土层深度不小于3*d*。

**3** 基桩的箍筋配筋宜符合下列规定：

**1）**箍筋宜采用螺旋式，箍筋直径不小于6mm，间距为200mm～300mm；受水平荷载较大的基桩及考虑主筋作用计算桩身受压承载力时，宜加密桩顶以下5*d*范围内的箍筋，且箍筋间距不大于l00mm；位于液化土层范围内的桩身箍筋宜加密；钢筋笼长度超过4m时，宜每隔2m设置一道直径不小于12mm的焊接加劲箍筋；

**2）**甲级建筑桩基箍筋配筋率宜适度提高。

**3.5.2** 抗拔桩和受水平荷载桩的配筋应符合下列规定：

**1** 纵向钢筋配筋率与配筋长度根据计算确定；

**2** 纵向主筋沿桩身等截面或变截面通长配置，下部变截面长度不宜大于1/3桩长；

**3** 满足与受压桩相同的桩身构造要求。

**3.5.3** 桩身混凝土及混凝土保护层厚度应符合下列规定：

**1** 桩基的桩身混凝土强度等级不宜低于C25，刚性桩复合地基的桩身混凝土强度等级不宜低于C20；

**2** 钢筋笼主筋的混凝土保护层厚度不宜小于50mm；

**3** 四类、五类环境中的桩身混凝土保护层厚度应符合现行国家与行业标准《工业建筑防腐蚀设计标准》GB 50046和《港口工程混凝土结构设计规范》JTJ 267的有关规定。

**3.5.4** 桩基结构的耐久性设计应符合现行国家与行业标准《混凝土结构设计规范》GB 50010和《建筑桩基技术规范》JGJ 94的有关规定。

**4 设计计算**

**4.1 桩顶作用效应计算**

**4.1.1** 对于一般建构筑物和受水平力较小的高层建筑的短螺旋挤土灌注桩基础，应按下列公式计算柱、墙、核心筒群桩中基桩或复合基桩的桩顶作用效应：

**1** 竖向力：轴心竖向力作用下与偏心竖向力作用下

  （4.1.1-1）

  （4.1.1-2）

**2** 水平力作用下

 （4.1.1-3）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中 | *F*k | *——* | 荷载标准组合，上部结构传至承台顶面的竖向力标准值（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浮力（kN）； |
|  | *N*k | *——* | 荷载标准组合轴心竖向力作用下，作用于基桩或复合基桩顶的竖向力标准值（kN）； |
|  | *Ni*k | *——* | 荷载标准组合偏心竖向力作用下，作用于第*i*基桩或复合基桩顶的竖向力标准值（kN）； |
|  | *Mx*k、*My*k | *——* | 荷载标准组合，作用于承台底面通过桩群形心的*x*、*y*主轴的力矩（kN·m）； |
|  | *xi*、*xj* | *——* | 第*i*、*j*基桩或复合基桩至*y*轴的距离（m）； |
|  | *yi*、*yj* | *——* | 第*i*、*j*基桩或复合基桩至*x*轴的距离（m）； |
|  | *H*k | *——* | 荷载标准组合，作用于桩基承台底面的水平力标准值（kN）； |
|  | *Hi*k | *——* | 荷载标准组合，作用于第*i*基桩或复合基桩顶的水平力标准值（kN）； |
|  | *n* | *——* | 桩基中的桩数。 |

**4.1.2** 根据现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011的有关规定可不进行抗震承载力验算的低承台桩基，桩顶作用效应计算可不考虑地震作用。

**4.1.3** 存在液化土层的低承台桩基应进行抗震验算，桩顶作用效应的地震作用可考虑桩基承台周围土抗力对水平地震力的分担作用；且进行抗震验算时，基桩的竖向与水平向抗震承载力特征值可比非抗震设计时提高25%，当基桩的桩间距为2.5*d* ~ 4*d*时，若打桩后桩间土地基的标准贯入试验锤击数*N* > *N*cr (液化判别的标准贯入试验锤击数临界值) 时，基桩承载力可不折减；否则按本标准第4.8.6条和第4.8.7条规定执行。

**4.2 桩基竖向承载力计算**

**4.2.1**  在短螺旋挤土灌注桩基承载力分析中，基桩竖向承载力计算应符合下列规定**：**

**1** 荷载标准组合：

轴心竖向力作用下

*N*k≤*R* （4.2.1-1）

偏心竖向力作用下，除满足上式外，尚应满足下式的要求：

*N*kmax≤1.2*R*（4.2.1-2）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中 | *N*k | ***——*** | 荷载标准组合轴心竖向力作用下，作用于基桩或复合基桩顶的竖向力标准值（kN）； |
|  | *R* | ***——*** | 基桩或复合基桩竖向承载力特征值（kN）； |
|  | *N*kmax | ***——*** | 荷载标准组合偏心竖向力作用下，作用于基桩成复合基桩顶的最大竖向力标准值（kN）。 |

**2** 地震作用效应和荷载标准组合：

轴心竖向力作用下

*N*Ek≤1.25*R*（4.2.1-3）

偏心竖向力作用下，除满足上式外，尚应满足下式的要求：

*N*Ekmax≤1.5*R*（4.2.1-4）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中 | *N*Ek | ***——*** | 地震作用效应和荷载标准组合下，作用于基桩或复合基桩顶的竖向力标准值（kN）； |
|  | *N*Ekmax | ***——*** | 地震作用效应和荷载标准组合下，作用于基桩或复合基桩顶的最大竖向力标准值（kN）。 |

**4.2.2** 单桩竖向承载力特征值*R*a应按下式确定：

*R*a= *Q*uk/*K* （4.2.2）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中 | *Q*uk | ***——*** | 单桩竖向极限承载力标准值（kN）； |
|  | *K* | ***——*** | 综合安全系数，一般取*K* = 2。 |

**4.3 单桩竖向极限承载力计算**

Ⅰ 一般规定

**4.3.1** 短螺旋挤土灌注桩基设计采用的单桩竖向极限承载力标准值应符合下列规定：

**1** 设计等级为甲级的建筑桩基，其单桩竖向极限承载力应通过单桩静载试验确定，正式施工前的试验桩检测宜符合下列规定：

**1）**试验桩数量不少于3根；

**2）**采用低应变法检测试验桩的桩身完整性；

**3）**采用单桩静载试验确定试验桩的单桩竖向极限承载力。

**2** 设计等级为乙级的建筑桩基，应通过单桩静载试验确定单桩竖向极限承载力，当地质条件简单时，可参照地质条件相近的试桩资料，并结合标准贯入试验法、静力触探试验法和经验参数法综合分析确定；

**3** 设计等级为丙级的建筑桩基，可采用本节的计算方法确定单桩竖向极限承载力；

**4** 单桩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** 在特殊情况下，对于试验桩的试验荷载已达到或接近2倍设计荷载，仍未能达到试验破坏时，可采用Chin, F. K. (1970) 方法确定单桩竖向极限承载力；并可根据模拟直线上的桩顶沉降量为40mm所对应的荷载作为单桩竖向极限承载力。

**4.3.2**  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。

Ⅱ 经验参数法

**4.3.3** 根据岩土层类别、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确定短螺旋挤土灌注桩的单桩竖向极限承载力标准值时，宜按下式估算：

*Q*uk = *Q*sk + *Q*pk = *u*∑*q*s*i*k· *li* + *q*pk· *A*p （4.3.3）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中 | *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）； |
|  | *q*s*i*k | ***——*** | 桩侧第*i*层岩土的极限侧阻力标准值（kPa），无当地经验时按表4.3.3取值； |
|  | *q*pk | ***——*** | 极限端阻力标准值（kPa），无当地经验时按表4.3.3取值； |
|  | *u* | ***——*** | 桩身周长（m）； |
|  | *A*p | ***——*** | 桩端面积（m2）； |
|  | *li* | ***——*** | 桩周第*i*层岩土的厚度（m）。 |

**表4.3.3 桩的竖向极限承载力计算参数表( kPa)**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 岩土类别 | 岩土状态 | 桩的极限侧阻力标准值*q*s*i*k  | 桩的极限端阻力标准值*q*pk  |
| 5≤*l*＜9 | 9≤*l*＜16 | 16≤*l*＜26 | *l≥26* |
| 填土 | — | 24～40 | — | — | — | — |
| 淤泥 | — | 14～20 | — | — | — | — |
| 淤泥质土 | — | 20～30 | — | — | — | — |
| 黏性土 | 流塑 | *I*L＞1 | 24～40 | — | — | — | — |
| 软塑 | 0.75＜*I*L≤1 | 38～65 | — | — | — | — |
| 可塑 | 0.5＜*I*L≤0.75 | 60～90 | 850～1700 | 1300～2200 | 1700～2800 | 1900～3600 |
| 0.25＜*I*L≤0.50 | 80～110 | 1500～2500 | 2100～3300 | 2700～3600 | 3500～4500 |
| 硬塑 | 0＜*I*L≤0.25 | 90～120 | 2300～3800 | 3200～5500 | 4500～6000 | 4800～6800 |
| 坚硬 | *I*L≤0 | 100～125 | 3600～4800 | 4600～5800 | 5600～7000 | 6000～7000 |
| 粉土 | 稍密 | e＞0.9 | 30～50 | 600～1000 | 800～1500 | 1000～1800 | 1500～2400 |
| 中密 | 0.75≤e≤0.9 | 45～80 | 950～1700 | 1400～2100 | 1700～2700 | 2200～3600 |
| 密实 | e＜0.75 | 70～100 | 1500～2600 | 2000～3000 | 2600～3600 | 3400～4400 |
| 粉砂 | 稍密 | 10＜*N*≤15 | 26～60 | 1000～1600 | 1500～2300 | 1900～2800 | 2100～3600 |
| 中密 | 15＜*N*≤30 | 50～80 | 1400～2200 | 2100～3000 | 2700～4500 | 3500～5500 |
| 密实 | *N*＞30 | 70～100 |
| 细砂 | 稍密 | 10＜*N*≤15 | 26～60 | 1200～2100 | 1700～3000 | 2100～3600 | 2300～3800 |
| 中密 | 15＜*N*≤30 | 56～90 | 2000～4000 | 2800～5000 | 3400～6000 | 3600～7000 |
| 密实 | *N*＞30 | 80～110 |
| 中砂 | 中密 | 15＜*N*≤30 | 60～100 | 4000～6000 | 5500～7000 | 6500～8000 | 7500～9000 |
| 密实 | *N*＞30 | 80～120 |
| 粗砂 | 中密 | 15＜*N*≤30 | 80～120 | 5500～7500 | 7200～8500 | 8000～10000 | 9000～11000 |
| 密实 | *N*＞30 | 100～150 |
| 砾砂 | 稍密 | 5＜ *N*63.5≤15 | 80～120 | 2000～3600 | 3000～4800 | 3500～6000 | 4500～6500 |
| 中密密实 | *N*63.5＞15 | 118～150 | 4600～9000 | 6000～10000 |
| 角砾圆砾 | 中密密实 | *N*63.5＞10 | 160～200 | 7000～10000 | 9000～11000 |
| 碎石 卵石 | 中密密实 | 10＜ *N*63.5≤20*N*63.5＞20 | 170～240200～300 | 8000～11000 | 10000～12000 |
| 全风化 软岩 | — | 30＜*N*≤50 | 110～150 | 4000～7000 |
| 强风化软岩 | — | 30＜*N*≤60 | 150～240 | 6000～9000 |

注：**1** 尚未完成自重固结的填土和生活垃圾为主的杂填土，不计入正摩阻力且计入负摩阻力；

**2** *N* 为标准贯入试验锤击数，*N*63.5 为重型圆锥动力触探试验锤击数；

**3** 全风化、强风化软岩界定：饱和单轴抗压强度 *f*rk ≤15 MPa 的岩石。

Ⅲ 标准贯入试验法

**4.3.4** 根据标准贯入试验资料确定短螺旋挤土灌注桩的单桩竖向极限承载力标准值时，无当地经验时可根据岩土类别按表4.3.4选取计算参数，并按下式估算：

*Q*uk = *Q*sk + *Q*pk = *u*∑*q*s*i*k·*li* + *q*pk·*A*p （4.3.4）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中 | *q*s*i*k | ***——*** | 桩侧第*i*层土的极限侧阻力标准值（kPa）； |
|  | *q*pk | ***——*** | 极限端阻力标准值（kPa）； |
|  | *Ni* | ***——*** | 计算第*i*层岩土的未经修正的标准贯入试验锤击数，*Ni*≤40；当 *Ni* **＞** 40时取*Ni* = 40； |
|  | *N* | ***——*** | 桩端面以上4*d*和以下4*d*范围内岩土的未经修正的标准贯入试验锤击数平均值，*N* ≤ 40；当*N* ＞ 40 时取 *N* = 40。 |

**表4.3.4 基于标准贯入试验锤击数的极限侧阻力和极限端阻力标准值的计算参数表**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 岩土类别 | *q*s*i*k（kPa） | *q*pk（kPa） | *N*或*Ni*最大值 |
| 填土、黏性土、粉土、黄土、砂土 | (3～4)*Ni* | — | 40 |
| 角砾、圆砾、全风化岩和强风化岩 | (3.5～4)*Ni* | — | 40 |
| 填土、黏性土、粉土、黄土、粉细砂 | — | (100～160)*N* | 40 |
| 中粗砂、角砾、圆砾、全风化岩和强风化岩 | — | (150～190)*N* | 40 |

Ⅳ 静力触探试验法

**4.3.5** 根据双桥探头静力触探试验资料确定短螺旋挤土灌注桩的单桩竖向极限承载力标准值时，对于黏性土、粉土、黄土和砂土层，无当地经验可按下式估算：

 （4.3.5）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中 | *f*s*i* | ***——*** | 第*i*层土的触探头平均侧壁摩阻力（kPa）； |
|  | *ki* | ***——*** | 桩侧摩阻力增大系数，*ki =* 1.0～1.2，*f*s*i*为低值时*ki*取高值； |
|  | *q*c | ***——*** | 桩端平面上、下锥尖阻力，取桩端平面以上4*d*范围内土层的锥尖阻力加权平均值（kPa），再与桩端平面以下1*d*范围内土层的锥尖阻力进行平均； |
|  | *α* | ***——*** | 桩端阻力修正系数，对于黏性土、粉土取2/3，饱和砂土取1/2； |
|  | *βi* | ***——*** | 第*i*层土的桩侧摩阻力综合修正系数，砂土：，黏性土、粉土、黄土： 。 |

注：双桥探头的探头直径为 43.7mm，圆锥锥底截面积为 15cm2，锥尖锥角为 60°，摩擦套筒长度为 21.85cm，侧壁面积为 300cm2 。

**4.4 竖向抗拔与水平承载力计算**

**4.4.1** 承受上拔力的等桩长短螺旋挤土灌注桩基的岩土承载力验算，应按下列公式确定桩基础呈整体破坏和呈非整体破坏时的基桩抗拔承载力：

*N*k ≤ *T*gk/2 + *G*gp （4.4.1-1）

*N*k ≤ *T*uk/2 + *G*p （4.4.1-2）



|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中 | *N*k | ***——*** | 按荷载标准组合计算的基桩上拔力标准值（kN）； |
|  | *T*gk | ***——*** | 群桩呈整体破坏时，基桩抗拔极限承载力标准值（kN）按本节第4.4.2条规定确定； |
|  | *T*uk | ***——*** | 群桩呈非整体破坏时，基桩抗拔极限承载力标准值（kN）按本节第4.4.2条规定确定； |
|  | *G*gp | ***——*** | 群桩基础所包围体积的桩与岩土总自重除以总桩数（kN），计算中对于丙级建筑桩基地下水位以下取浮重度；对于甲级和乙级建筑桩基，采用现场单桩上拔静载试验确定基桩抗拔极限承载力标准值时，*G*gp仅为群桩基础所包围体积内的岩土自重除以总桩数，且地下水位以下取浮重度，此时式（4.4.1-1）中的*G*gp不包含桩身自重； |
|  | *G*P | ***——*** | 基桩自重（kN），对于丙级建筑桩基，计算中地下水位以下取浮重度；对于甲级和乙级建筑桩基，采用现场单桩上拔静载试验确定基桩抗拔极限承载力标准值时，式（4.4.1-2）中的桩身自重*G*p不再计入。 |

**4.4.2** 桩基础的基桩抗拔极限承载力确定应符合下列规定：

**1** 设计等级为甲级和乙级的建筑桩基，基桩抗拔极限承载力标准值应通过抗拔静载试验确定；

**2** 设计等级为丙级的建筑桩基，无当地经验时，基桩抗拔极限承载力标准值可按下列公式计算：

**1）**桩基呈非整体破坏时，基桩抗拔极限承载力标准值按下式估算：

 （4.4.2-1）



|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中 | *T*uk | ***——*** | 基桩抗拔极限承载力标准值（kN）； |
|  | *u* | ***——*** | 桩身周长（m）； |
|  | *q*s*i*k | ***——*** | 桩侧第*i* 层岩土的抗拔极限侧阻力标准值（kPa），无当地经验时按表4.3.3取值； |
|  | *λi* | ***——*** | 抗拔系数，无当地经验时按表4.4.2取值。 |

**表4.4.2 抗拔系数 *λ****i*

|  |  |
| --- | --- |
| 岩土类别 | *λi* 值 |
| 黏性土、粉土、黄土 | 0.70 ~ 0.80 |
| 填土、砂土 | 0.60 ~ 0.70 |
| 角砾、圆砾、碎石、卵石、残积土、全风化与强风化岩 | 0.60 ~ 0.80 |

注：桩长*l*与桩径*d*之比小于20时，*λi*取小值。

**2）**桩基呈整体破坏时，基桩抗拔极限承载力标准值按下式估算：

  （4.4.2-2）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中 | *u*l | ***——*** | 桩群外围周长（m）。 |

**4.4.3** 受水平荷载的单桩基础或群桩基础中的基桩应符合下式规定：

 *Hi*k ≤ *R*h （4.4.3）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中 | *Hi*k | ***——*** | 荷载标准组合，作用于基桩 *i* 桩顶的水平力标准值（kN）； |
|  | *R*h | ***——*** | 群桩基础中的基桩水平承载力特征值（kN），或单桩基础的单桩水平承载力特征值（kN）。 |

**4.4.4** 单桩水平承载力特征值确定应符合下列规定：

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

**2** 桩身配筋率小于0.65% 时，取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** 桩身配筋率不小于0.65% 时，取水平静载试验结果在设计桩顶标高处水平位移为10mm（对于水平位移敏感的建筑物则取水平位移6mm）对应荷载的75% 作为单桩水平承载力特征值；

**4** 取设计允许水平位移值对应的荷载作为单桩水平承载力特征值。

**4.5 桩身承载力计算**

**4.5.1** 短螺旋挤土灌注桩身承载力和裂缝控制计算应考虑桩身材料强度、荷载大小、钢筋配筋、地质条件、约束条件、环境类别等因素，除按本节规定执行外，尚应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010和《建筑抗震设计规范》GB 50011的有关规定。

Ⅰ 受压桩

**4.5.2** 钢筋混凝土或素混凝土轴心受压桩正截面受压承载力应符合下列规定：

**1** 桩顶以下5*d*范围内的桩身螺旋箍筋间距不大于100mm，且符合本标准第3.5节规定时：

 *N* ≤ *ψ*c·*f*c·*A*p + 0.9 *f*y*’*·*A*s*’* （4.5.2-1）

**2** 桩身配筋不符合第1款规定时：

 *N* ≤*ψ*c·*f*c·*A*p  （4.5.2-2）



|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中 | *N* | ***——*** | 荷载基本组合下的桩顶竖向力设计值（N）； |
|  | *ψ*c | ***——*** | 基于岩土类别与特征的桩工作条件系数，取值范围*ψ*c =0.6~0.8，其中淤泥质土、饱和黏性土、湿陷性黄土、严重液化土: *ψ*c =0.6，非饱和黏性土、非饱和土: *ψ*c =0.7，其他岩土: *ψ*c =0.8； |
|  | *f*c | ***——*** | 桩身混凝土轴心抗压强度设计值（N/mm2），按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010的有关规定选取； |
|  | *f*y*’* | ***——*** | 纵向主筋抗压强度设计值（N/mm2）； |
|  | *A*p | ***——*** | 桩身截面面积（mm2）； |
|  | *A*s*’* | ***——*** | 纵向主筋截面面积(mm2)。 |

**4.5.3** 轴心受压混凝土桩正截面受压承载力计算，低承台桩的桩身稳定系数可取 *φ* = 1.0。

**4.5.4** 偏心受压混凝土桩正截面受压承载力计算可不考虑偏心距影响。

Ⅱ 抗拔桩

**4.5.5** 钢筋混凝土轴心抗拔桩的正截面受拉承载力应符合下式规定：

 *N* ≤ *f*y·*A*s + *f*py·*A*py （4.5.5）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中 | *N* | ***——*** | 荷载基本组合下的桩顶轴向拉力设计值（N）； |
|  | *f*y , *f*py | ***——*** | 普通钢筋、预应力钢筋的抗拉强度设计值 （N/mm²）； |
|  | *A*s ,*A*py | ***——*** | 普通钢筋、预应力钢筋的截面面积（mm2）。 |

**4.5.6** 抗拔桩裂缝控制计算应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94的有关规定。

**4.6 复合桩基承载力计算**

**4.6.1** 对于摩擦型与部分端承摩擦型短螺旋挤土灌注桩基宜采用桩土共同作用分析计算方法，考虑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：

不考虑地震作用时 *R* = *R*a + *k*c·*η*c ·*f*ak·*A*c （4.6.1-1）

考虑地震作用时 *R* = *R*a +*ζ*a·*k*c·*η*c·*f*ak·*A*c **/** 1.25 （4.6.1-2）

 *A*c **=（***A***–** *n*·*A*p**）/** *n*（4.6.1-3）



|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中 | *η*c | ***——*** | 承台效应系数，按表4.6.1取值； |
|  | *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（kPa）； |
|  | *A*c | ***——*** | 减去基桩横截面积后的承台底净面积（m2）； |
|  | *A*p | ***——*** | 桩身截面面积（m2）； |
|  | *A* | ***——*** | 单桩承台、单排桩条形承台或筏板计算域面积（m2）； |
|  | *n**k*c | ***——******——*** | 基桩数量；承台效应系数的提高系数，无当地经验时，取*k*c = 1.0～1.2； |
|  | *ζ*a | ***——*** | 地基抗震承载力调整系数，应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011的有关规定取值。 |

当承台底面以下为可液化土、湿陷性黄土、高灵敏度软土、欠固结土或新近填土时，不应考虑承台效应，取 *η*c = 0 。

**表4.6.1 承台效应系数***η*c

*s*a */ d*

*B*c */ l*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *s**/ d**B*c */ l* | 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*c */ l* 为承台宽度与桩长之比；基桩为非正方形排列时，基桩中距，*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1.5*d* 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 0.8 倍。

**4.7 复合地基设计**

**4.7.1** 短螺旋挤土灌注桩复合地基适用于黏性土、粉土、黄土、砂土和填土场地；对于深厚饱和软黏土或淤泥质土层应按地区经验或通过现场试验确定其适用性。

**4.7.2** 刚性桩复合地基设计应符合下列规定：

**1** 复合地基中的竖向增强体（可采用素混凝土桩）为摩擦型或端承摩擦型刚性桩；

**2** 桩径宜采用350 mm～600mm；

**3** 桩间距应根据基础型式、设计承载力和允许沉降变形值、岩土层性质综合确定：

**1）**除湿陷性黄土外最小桩间距不宜小于3*d*；

**2）**桩长范围内存在饱和粉土、粉细砂、淤泥、淤泥质土层，成桩施工中可能发生窜孔时，宜采用较大的桩间距。

**4** 桩顶与基础之间应设置褥垫层，其厚度宜为100 mm～300mm，当刚性桩竖向承载力高、且桩径或桩间距较大时取高值；褥垫层材料宜采用中砂、粗砂、级配良好的砂石或碎石等，最大砂石粒径不宜大于30mm；

**5**   根据建筑荷载分布、基础平面形式、复合地基设计承载力和地基土性状合理布桩，刚性桩应布置在基础平面范围内，且桩中心与基础边缘的距离不宜小于1*d*，桩边缘与基础边缘的距离不宜小于150 mm；

**6** 复合地基承载力特征值应通过复合地基静载荷试验，或综合刚性桩单桩静载试验和成桩后桩间土地基静载荷试验确定；初步设计时，复合地基承载力特征值可按式（4.7.1）估算，处理后的桩间土地基承载力特征值ƒsk取值：一般黏性土取天然地基承载力特征值的1.1 ~ 1.2倍；松散砂土、粉土取天然地基承载力特征值的1.2 ～ 1.5倍，原地基土强度低的取大值；刚性桩承载力特征值*R*a应符合本标准第4.2节和第4.3节规定；桩身强度应按式（4.7.2）验算；

 *ƒ*spk = *λ m* *R*a / *A*p + *β* (1 - *m*)*ƒ*sk （4.7.1）

 ƒc ≥ *R*a / (*ψ*c·*A*p)  （4.7.2）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中 | *ƒ*spk | ***——*** | 复合地基承载力特征值（kPa）； |
|  | *λ* | ***——*** | 单桩竖向承载力发挥系数，可按地区经验取值，无地区经验时取*λ =* 0.95～1.0； |
|  | *m* | ***——*** | 复合地基面积置换率； |
|  | *R*a | ***——*** | 单桩竖向承载力特征值（kN）； |
|  | *ƒ*sk | ***——*** | 处理后桩间土地基承载力特征值（kPa），按地区经验或静载荷试验结果确定； |
|   | *β* | ***——*** | 桩间土地基承载力发挥系数，无地区经验时，取 *β =* 1.0； |
|  | *ƒ*c | ***——*** | 混凝土轴心抗压强度设计值（kPa），按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010的有关规定取值； |
|  | *ψ*c | ***——*** | 桩的工作条件系数，按本标准第4.5.2条规定取值。 |

**7** 复合地基沉降变形计算深度应大于复合岩土层深度，且复合地基沉降变形计算应符合现行国家与行业标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007、《复合地基技术规范》GB /T 50783和《建筑地基处理技术规范》JGJ 79的有关规定；

**8**复合地基稳定性分析应按现行国家标准《复合地基技术规范》GB/T 50783的有关规定执行。

**4.7.3** 复合地基静载荷试验应按现行行业标准《建筑地基检测技术规范》JGJ 340的有关规定执行；复合地基竖向增强体的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。

**4.8 特殊土的桩基与复合地基设计**

Ⅰ 湿陷性黄土

**4.8.1**  湿陷性黄土场地的短螺旋挤土灌注桩基设计应符合下列规定：

**1** 桩端应穿透湿陷性黄土层，并选择压缩性较低的非湿陷性岩土层作为桩端持力层；

**2** 单桩竖向极限承载力确定应符合下列规定：

**1）**甲级和乙级建筑桩基宜以现场浸水单桩静载试验确定，无浸水单桩静载试验条件时，可采用单桩静载试验并结合本节第4.8.2条规定确定；

**2）**丙级建筑桩基宜采用饱和状态下的土性指标，按本标准第4.3节规定估算；

**3）**对于非自重湿陷性黄土场地，当自重湿陷量的计算值小于70mm时，单桩竖向极限承载力可计入湿陷性黄土层内的桩长按饱和状态下的正摩阻力。

**4）**湿陷性黄土地基的单桩竖向极限承载力确定尚应符合现行国家标准《湿陷性黄土地区建筑规范》GB 50025的有关规定。

**4.8.2** 自重湿陷性黄土场地的单桩竖向极限承载力计算不得计入中性点深度以上黄土层内的按饱和状态下的桩侧正摩阻力，但应计入桩侧负摩阻力，中性点深度及桩侧负摩阻力宜通过现场浸水试验确定，无现场浸水试验实测资料时，可按表4.8.2-1与表4.8.2-2中的数值估算。

**表4.**8**.2-1 中性点深度**

|  |  |
| --- | --- |
| 自重湿陷性黄土层深度（m） | 中性点深度（m） |
| ≤20 | 按计算湿陷深度确定 |
| ＞20 | 按20 m湿陷深度确定 |

**表4.8.2-2 桩侧平均负摩阻力**

|  |  |
| --- | --- |
| 自重湿陷量的计算值或实测值（mm） | 桩侧平均负摩阻力（kPa） |
| 70～200 | 15 |
| ＞200 | 20 |

注：当自重湿陷量的计算值和实测值有矛盾时，以实测值为准。

**4.8.3** 湿陷性黄土场地的桩基础可采用长 — 短桩复合桩基，其设计原则应符合下列规定：

**1** 相邻桩的桩间距确定应满足消除中性点深度以上黄土层的湿陷性；

**2** 长桩与短桩的平面桩位宜按等边三角形布置，长短桩的桩位宜交叉布置，且相邻桩之间的桩间距均不应大于2.5 *d；*

**3** 长桩应采用钢筋混凝土短螺旋挤土灌注桩，并可先行施工；

**4** 短桩直径宜与长桩直径相同，短桩可采用同等刚度或低刚度桩身材料（如低强度等级的素混凝土、水泥土等），其桩端深度不宜小于湿陷性黄土层层底深度（巨厚黄土层除外），并可在其周围长桩施工完成后实施。

**4.8.4** 湿陷性黄土场地的刚性桩复合地基设计原则应符合下列规定：

**1** 符合本标准第4.7节规定；

**2** 采用等直径、等桩长、等强度或不等桩长、不等强度桩身的复合地基设计，应满足下列要求：

 **1）**最大地基处理深度不大于34m；

**2）**平面桩位宜按等边三角形布置，且相邻桩的桩间距不宜大于2.5*d*；

**3）**可先施工长桩，后施工短桩；

**4）**低强度桩身材料可低于 C20 素混凝土或水泥粉煤灰碎石或细石水泥砂浆或水泥土，高强度桩身材料不宜低于C20混凝土；

**5）**严防雨水和地表水在钻孔施工过程中流入桩孔内；

**6）**褥垫层厚度宜取100mm～300mm，褥垫层材料可选用灰土或素土材料。

**3** 采用预处理地基后的短螺旋挤土灌注桩复合地基设计时，尚应满足下列要求：

**1）**最大地基处理深度不大于34m；

**2）**预处理方法可包括：强夯法、素土挤密桩、灰土挤密桩、水泥土挤密桩、柱锤冲扩桩及短螺旋挤扩钻具成孔并进行孔内素土、灰土内夯形成的挤密桩；

**3）**经挤密处理后再施工短螺旋挤土灌注桩。

Ⅱ 地震液化土层

**4.8.5**  抗震设防区的短螺旋挤土灌注桩基设计应符合下列规定：

**1** 桩端进入液化土层以下稳定岩土层的深度宜由计算确定，且进入全风化与强风化岩，碎石土，砾、粗、中砂，密实粉土及坚硬黏土层不宜小于2*d*，其他土层不宜小于4*d*；

 **2** 可能因地震引起上部土体滑移的桩基，应根据滑移土体对桩产生的附加水平力验算桩基的稳定性；

**3** 存在液化土层的场地，对于液化土体流动可能产生侧向力时应验算桩基的稳定性；

**4** 承台周围为可液化土或地基土承载力特征值不大于40kPa的软弱土，且基桩水平承载力不满足设计要求时，应加固处理承台周侧的土体；

**5** 对于存在液化土与震陷软土的场地，桩身纵向主筋应穿透液化土和震陷软土层并进入稳定岩土层，桩身下部纵筋配筋量宜与桩身上部相同，且在桩顶部段的钢筋笼的箍筋宜加粗加密。

**4.8.6** 处于地震液化土层的低承台桩基，当承台底面上下分别有厚度不小于1.5m、1.0m的非液化土或非软弱土层时，单桩竖向极限承载力可按本标准第4.3节规定估算，并应通过将液化土层极限侧阻力乘以土层液化影响折减系数估算单桩竖向极限承载力标准值；土层液化影响折减系数*ψ*l按表4.8.6选取。

**表4.8.6 土层液化影响折减系数*ψ*l**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *λ*N= *N* **/***N* cr | 自地面算起的液化土层深度*d*L（m） | 折减系数*ψ*l |
| *λ*N≤ 0.6 | *d*L ≤ 1010 ＜ *d*L ≤ 20 | 01/3 |
| 0.6 ＜*λ*N≤ 0.8 | *d*L ≤ 1010 ＜ *d*L ≤ 20 | 1/32/3 |
| 0.8 ＜ *λ*N≤ 1.0 | *d*L ≤ 1010 ＜ *d*L ≤ 20 | 2/31.0 |

注： **1** *N*为完成短螺旋挤土灌注桩基施工后，挤密桩间土地基的标准贯入试验锤击数实测值；*N*cr为液化判别标准贯入试验锤击数临界值；

**2**  当桩间距小于等于4*d*，且桩的排数不少于5排、总桩数不少于25根时，土层液化影响折减系数按表内列值提高一档取值；桩间土地基的标准贯入试验锤击数*N* ≥ *N*cr时，取*ψ*l = 1。

Ⅲ 填方及填土地基

**4.8.8** 短螺旋挤土灌注桩基设计所需的填方及填土场地勘察与分析评价应包括下列内容：

**1** 查明填土场地原有下卧层的地形、地貌及工程地质与水文地质条件，并分析评价不良地质作用及岩土工程问题；

**2** 分析并确定人工填土的年代、性质与分类，评判短螺旋挤土灌注桩对填土场地的适宜性；

**3** 分析评估填料成分与性质，填土的分布、厚度、均匀性、压缩性、湿陷性、渗透性及密实度等填方设计参数与资料；

**4** 提供桩基设计计算参数，并评价承载力与沉降变形计算参数的可靠性；

**5** 填土底面坡度大于等于20%时，应验算填土场地沿原有坡面的稳定性，并判断原有底面斜坡受填土影响引发滑动的可能性；

**6** 边坡区应查明岩土层分布情况及影响边坡稳定的工程地质问题，并提供边坡稳定分析及计算需要的物理力学计算参数。

**4.8.9** 填方及填土场地的短螺旋挤土灌注桩基设计应符合下列规定：

**1** 应在本节第4.8.8条分析评价基础上进行桩基设计；

**2** 桩端应穿透填方土层，选择压缩性较低的可靠岩土层作为桩端持力层；

**3** 对于尚未完成固结的回填土场地，单桩竖向极限承载力计算不应计入回填土深度以上土层的桩侧正摩阻力，且应计入其桩侧负摩阻力；

**4** 填土场地存在新建坡地时，桩基础要与填土边坡保持一定的水平距离，并应按现行国家标准《高填方地基技术规范》GB 51254和《建筑边坡工程技术规范》GB 50330的有关规定对边坡进行稳定性分析。

**4.8.10**  可能存在负摩阻力的桩基设计尚应符合下列规定：

**1** 根据岩土工程勘察对场地填土地基的干密度、含水量、压实系数做出的分析评估，对可能产生的软化、固结变形及变形影响深度作出判定，底部原有下卧地层的物理力学指标应依据填筑后土体所承受的实际竖向压力进行试验确定；

**2** 由于场地填土固结、场地大面积堆载或地下水位降低等原因，引起的桩周土体沉降大于基桩沉降时，应考虑桩侧负摩阻力对桩基承载力与沉降的影响；

**3** 有大面积堆载的填土场地，宜采取降低地面沉降对建构筑物桩基础影响的措施。

**4.9 沉降计算**

**4.9.1**  表征短螺旋挤土灌注桩基的沉降变形的指标应包括：沉降量、沉降差、整体倾斜及局部倾斜。

**4.9.2**  设计等级为甲级与乙级的建筑桩基应进行沉降计算，对有下列情况之一的丙级建筑桩基也应作沉降计算：

**1** 持力层地基土承载力特征值低，且体形复杂的建筑物；

**2** 在桩基附近有地面堆载或相邻基础荷载差异大，可能导致地基产生不均匀沉降；

**3** 软弱地基上的建构筑物存在较大偏心荷载；

**4**  相邻建构筑物距离较近，可能引发倾斜；

**5**  地基内有厚度较大或厚薄不均的填土，且其自重固结尚未完成；

**6** 持力层下存在软弱下卧层。

**4.9.3** 桩基沉降变形计算应考虑下列因素：

**1** 土层厚度与性质不均匀、荷载差异大、建构筑物体形复杂等因素引起的地基沉降变形，对于砌体承重结构由局部倾斜控制；

**2** 多层或高层建筑或高耸结构的变形由整体倾斜控制；

**3** 采用框架、框架—剪力墙、框架—核心筒结构的建筑物变形由柱(墙)之间的差异沉降控制；

**4.9.4** 桩基的沉降变形计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；

**4.9.5**  建筑桩基沉降变形计算值应小于桩基沉降变形允许值，且沉降变形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；

**4.9.6**  刚性桩复合地基的沉降变形允许值以及沉降变形计算应按现行国家与行业标准《复合地基技术规范》GB/T 50783和《建筑地基处理技术规范》JGJ 79的有关规定执行。

**5 施 工**

**5.1 一般规定**

**5.1.1** 短螺旋挤土灌注桩施工应采用专用桩工钻机和专用短螺旋挤扩钻具。

**5.1.2** 桩基施工采用的桩工钻机、短螺旋挤扩钻具、机械设备、电器设施和安全装置应经常检查，确保性能完好和使用安全。

**5.1.3** 正式施工开始前宜在施工场地进行钻机试成孔、试成桩试验，根据试验结果选择适宜的施工工艺和施工参数，并掌握成孔、成桩施工中的钻掘速度、旋转速度、输出扭矩、竖向压力、提升速度、混凝土泵送压力与泵送数量以及混凝土充盈系数等施工参数。

**5.1.4** 基桩成桩深度应符合下列规定：

**1** 摩擦桩以设计桩长为依据控制成孔深度；

**2** 端承摩擦桩以设计桩长及桩端进入持力层深度控制成孔深度。

**5.1.5**  混凝土与钢筋施工应符合现行国家与行业标准《混凝土结构工程施工规范》GB 50666和《建筑桩基技术规范》JGJ 94的有关规定。

**5.2 施工准备**

**5.2.1** 短螺旋挤土灌注桩施工前应具备下列资料：

**1** 建筑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** 施工工艺试验参考资料；

**5** 桩工钻机、短螺旋挤扩钻具及配套设备的技术性能资料；

**6** 建筑场地和周边区域内的地下管线、地下构筑物、相邻建构筑物的调查资料；

**7** 水泥、砂子、石子、钢筋、掺合料、外加剂等原材料及其制品的质检报告。

**5.2.2** 短螺旋挤土灌注桩施工宜使用输出扭矩不小于200kN·m的桩工钻机，施工钻机和短螺旋挤扩钻具应提供出厂合格证。

**5.2.3** 应根据桩工钻机性能、桩孔深度、桩孔直径与地层条件选择适宜的短螺旋挤扩钻具、施工工艺与施工参数。

**5.2.4** 施工场地应符合下列规定：

**1** 场地应平整，地面坡度不宜大于3%，地面承载力应满足钻机接地比压要求；

**2** 施工作业区域内无地下障碍物、地下管线及高压供电线路；

**3**  基坑内场地的打桩作业面应满足钻机施工及移动要求。

**5.3 钻机钻具与施工方法**

**5.3.1** 短螺旋挤土灌注桩施工专用桩工钻机应符合下列规定：

**1** 动力头额定输出扭矩不宜小于200kN·m；

**2** 钻机竖向加压力不小于200kN；

**3** 钻机动力头滑行系统配置安全限位装置；

**4** 钻机控制系统具备下列功能：

**1）**能够对行走、回转操作进行精准控制；

**2）**能够调整控制主桅杆的垂直度与倾斜度；

**3）**能够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、钻具转速与提速。

 **5** 桩土钻机宜配备数字化施工信息采集与管理应用系统，在施工过程中通过各类传感器实时采集所需的施工数据，可包括桩孔定位、主桅杆垂直度、钻掘速度、钻具转速、输出扭矩、竖向钻压、钻孔深度、钻具提速、混凝土灌注泵压与泵量等。

**5.3.2** 施工专用短螺旋挤扩钻具应符合下列规定：

**1** 短螺旋挤扩钻具分为下列两种类型：

**1）**短螺旋封闭挤扩钻具：由中空连接钻杆、上螺旋挤扩体、封闭挤扩体、下螺旋挤扩体及钻尖组成；主要适用于标准贯入试验锤击数*N* ≤ 35、静力触探试验锥尖阻力 qc ≤15MPa的岩土层；钻具直径小于等于600mm；

**2）**可调控挤土量的短螺旋挤扩钻具：由中空连接钻杆、上螺旋挤扩体、可导流封闭挤扩体、下螺旋挤扩体、螺旋钻进体及钻尖组成；主要适用于标准贯入试验锤击数*N* ＞35、静力触探试验锥尖阻力qc ＞15MPa的岩土层；钻具直径可大于600mm；

**3）**两种类型的短螺旋挤扩钻具的结构构造应符合本标准附录A规定。

**2** 钻杆与钻具设置内径不宜小于125mm的中空芯管作为混凝土灌注通道；

**3** 钻具的钻尖可采用连接式钻尖或分离式钻尖，且底部活门应设置防水机构；

**4** 钻具应选用合金钢钻齿与截齿；

**5** 钻具外表面宜铺设焊接耐磨合金钢板、条或块；

**6** 钻杆与钻具（包括快速接头）应具有足够的抗扭、抗压及抗拉强度及刚度。

**5.3.3**  短螺旋挤土灌注桩的两类施工工法及其适用性应分别符合下列规定：

**1** 双向挤土施工方法：适用于标准贯入试验锤击数*N* ≤ 35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、砾砂、角砾和圆砾，且桩径不宜大于600mm、桩长不宜大于30m，施工采用短螺旋封闭挤扩钻具，钻机动力头输出扭矩不宜小于200kN·m；

**2** 可调控挤土量的双向挤土施工方法：适用于标准贯入试验锤击数*N* ≤35及*N* ＞ 35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、砾砂、角砾、圆砾、碎石、卵石、全风化岩和强风化岩，且桩径可大于600mm、桩长可大于30m，施工采用可调控挤土量的短螺旋挤扩钻具，钻机动力头输出扭矩宜为300kN·m～600kN·m。

**5.3.4**  双向挤土施工方法采用的三步挤土成桩工艺应符合下列规定：

**1）** 短螺旋封闭挤扩钻具应沿顺时针方向下旋钻掘挤土成孔，钻尖钻掘出的岩土体应被下螺旋挤扩体与封闭挤扩体全部挤压入桩孔侧壁；

**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，并应通过上螺旋挤扩体与封闭挤扩体将其上方桩孔内的坍落岩土体全部挤压入桩孔侧壁；

**3）** 在钻具开始上旋提升时启动混凝土泵，并应通过钻尖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）** 可在灌注桩体内插入钢筋笼、钢筋束或型钢。

**5.3.5**  可调控挤土量的双向挤土施工方法的三步挤土成桩工艺应符合下列规定：

**1）** 可调控挤土量的短螺旋挤扩钻具应沿顺时针方向下旋钻掘挤土成孔，钻尖钻掘出的岩土体应通过螺旋钻进体向上输送，并应利用下螺旋挤扩体和设有导流通道的封闭挤扩体将一部分岩土体挤压入桩孔侧壁，另一部分岩土体则通过导流通道进入钻具上方桩孔内；

**2）** 钻具底端到达设计桩端标高后，应保持顺时针方向旋转并上旋提升钻具，并应通过上螺旋挤扩体与封闭挤扩体将其上方桩孔内的岩土体逐渐挤压入桩孔侧壁；

**3）** 在钻具开始上旋提升时启动混凝土泵，并应通过钻尖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）** 可在灌注桩体内插入钢筋笼、钢筋束或型钢。

**5.4 施工与质量控制**

**5.4.1** 短螺旋挤土灌注桩的施工质量管理与控制应贯穿施工全过程，且应重点针对钻机成孔、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，并应确保基桩品质符合设计要求。

**5.4.2** 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、控制标准与检查方法，并应符合本标准附录B规定。

**5.4.3** 基桩施工放线与桩位确定应精准，轴线的引测必须设置不少于2个轴线控制点，放线前应设置固定的基准点并要进行妥善保护，桩位埋标、钻具对位均应进行测量与复测，桩位地面标高测量应准确。

**5.4.4** 施工过程中应及时填写施工记录表，填表内容应符合本标准附录C规定。

I 成孔施工

**5.4.5** 钻机开钻前应进行桩位复测，短螺旋挤扩钻具纵轴线与桩位允许偏差不应大于20mm。

**5.4.6** 基桩成桩施工的允许偏差应符合表5.4.6规定。

**表5.4.6 成桩施工的允许偏差**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 成桩直径（mm） | 桩径尺寸要求（mm） | 垂直度允许偏差（%） | 桩位允许偏差（mm） |
| 1 ~ 3 根桩、条形桩基沿垂直轴线方向和群桩基础中的边桩 | 条形桩基沿轴线方向和群桩基础的中间桩 |
| 350 ~ 800 | 不小于设计值 | 1 | *d* / 6且不大于100 | *d* / 4且不大于150 |

**5.4.7** 在地下水位较高的砂土层或砂砾层中施工时，应采用直径较粗的钻杆，并宜在短螺旋挤扩钻具的上部连接适宜长度的螺旋叶片直径与钻孔直径相同的螺旋钻杆，且钻具底部活门应设置防水机构。

**5.4.8** 成孔施工应考虑钻掘挤土效应对成桩质量、邻近建筑物、周边道路、地下管线的影响，必要时应采取消减孔隙水压力和降低挤土效应的技术措施，包括采用适宜的短螺旋挤扩钻具、合理的施工工艺与施工顺序、降低钻掘速度、减少竖向钻压、控制分层挤土的顺序与深度，以及防止土体侧向位移的措施。

**5.4.9** 成孔施工顺序宜符合下列规定：

**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** 一侧毗邻已有建构筑物时，宜从近建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基桩宜待承台内部其他基桩施工完成并重新测量桩位后再施工；

**4** 满足本标准第3.4.2条规定，且饱和黏性土场地的基桩中心距小于等于4.5*d*时，排桩或群桩基础范围内的基桩应采取跳打、对角线施打及控制钻掘速度等施工措施；

**5** 对于变桩径、变桩长的桩基设计方案，可采用先粗后细及先长后短的施工顺序；

**6** 施工工艺流程宜按本标准附录D规定执行。

**5.4.10** 在成孔施工阶段，钻具开孔时钻掘速度宜慢，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钻压，在钻具达到设计桩端标高前，钻具不得反转或提升；在桩孔灌注施工阶段，钻具仍应保持顺时针方向旋转，且不得反转。

**5.4.11** 在钻掘成孔施工过程中，如出现卡钻、钻机摇晃、偏斜或发生异常声响时，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

**5.4.12** 灌注桩用混凝土宜优先采用商品混凝土，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；混凝土坍落度宜为180mm～220mm；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。

 **5.4.13** 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端标高，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缓慢旋转提升，钻具提升速度应根据桩径大小与桩周岩土性质确定，且应与混凝土泵送量相匹配；

**2** 混凝土泵送中心压灌应连续进行，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低于400mm；

**3** 在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**  钻杆与钻具芯管内径不宜小于125mm，在混凝土连续中心压灌过程中，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宜小于1.02，桩顶混凝土超灌高度不宜小于0.5m；

**6** 施工中每连续灌注12小时混凝土，应制作一组混凝土试件（3件）；

**7** 混凝土输送泵可根据桩径尺寸选用40泵、60泵或80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宜超过80m；

**8** 气温高于30℃时，要求在输送泵管上覆盖隔热材料，每隔一段时间洒水降温；冬期施工要求输送泵管周围包裹保温材料；

**9** 成桩施工结束后，应及时清除钻具、钻杆、泵管及混凝土泵内的残留混凝土，施工长时间停置时，宜使用清水将钻具、钻杆、泵管、混凝土泵清洗干净。

III 钢筋笼制作与安装

**5.4.14** 钢筋笼制作、吊装、沉放应符合下列规定：

**1** 钢筋笼的材质、尺寸应符合桩基设计规定，制作允许偏差应满足表5.4.14要求；

**表5.4.14 钢筋笼制作的允许偏差**

|  |  |
| --- | --- |
| 检测项目 | 钢筋笼制作允许偏差 |
| 主筋间距 | ± 10mm |
| 加劲箍筋间距 | ± 20mm |
| 螺旋箍筋间距 | ± 20mm |
| 钢筋笼直径 | ± 10mm |
| 钢筋笼长度 | - 100mm |

**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%，并应符合现行国家与行业标准《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》JGJ 107和《钢筋焊接及验收规程》JGJ 18的有关规定；

**3** 加劲箍筋宜设在主筋内侧，箍筋平面与主筋垂直，按设计间距与主筋焊牢；

**4** 钢筋笼宜均匀对称设置保护层垫块，且采用水泥砂浆垫块或塑料成品垫块；

**5** 钢筋笼沉放宜在混凝土中心压灌结束后立即进行，钢筋笼搬运和吊装要防止变形，沉放时应对准桩孔中心，避免碰撞孔壁或自由下落，且满足钢筋笼主筋的设计混凝土保护层厚度；

**6** 钢筋笼沉放可利用振动插筋器，钢筋笼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

**5.4.15** 在湿陷性黄土场地施工短螺旋挤土灌注桩时，应严防雨水和地表水流入桩孔内。

**5.4.16** 桩头开挖截桩时，应采用人工或小型挖土机配合挖土，防止桩头部位产生裂隙。

**5.4.17** 先成桩后开挖基坑的工程，应合理设计基坑挖土施工顺序和分层开挖深度，防止基桩发生侧移、倾斜或断裂。

**5.4.18**  复合地基的褥垫层铺设宜采用静力压实法，当基础底面以下桩间土地基的含水量较低时也可采用动力夯实法。

**6 质量检验和验收**

**6.1 一般规定**

**6.1.1** 短螺旋挤土灌注桩基或刚性桩复合地基检验应依据检验目的、工程特点、场地复杂程度和施工阶段选择检测方法，制定检测方案，确定检测数量；检测内容宜包括：桩位、桩顶标高、桩长、桩径、混凝土试件强度与桩身完整性，以及基桩承载力及复合地基承载力；相关检测应符合现行国家与行业标准《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、《建筑地基检测技术规范》JGJ 340和《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106的有关规定。

**6.1.2** 基桩承载力、复合地基承载力及桩身质量检测宜在施工结束28d后进行。

**6.1.3** 工程检验宜分为施工前检验、施工中检验及施工后检验。

**6.1.4** 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的有关规定。

**6.2 施工前检验**

**6.2.1** 施工前应进行下列检验：

**1** 对桩工钻机的技术性能与短螺旋扩挤钻具直径进行检查；

**2** 对桩位进行复测，桩位偏差应符合本标准第5.4.6条规定；

**3** 对混凝土拌制的原材料质量与数量、混凝土配合比、坍落度进行检验与检查；

**4** 对钢筋笼原材料与焊条规格进行质量检查。

**6.3 施工中检验**

**6.3.1** 施工中应进行下列检验：

**1** 测量和记录桩工钻机主桅杆垂直度和基桩成孔深度；

**2** 检测混凝土入模坍落度，并制作、标养混凝土试件；

**3** 测量和记录混凝土超灌高度，并计算单桩混凝土充盈系数；

**4** 检查和记录钢筋笼的焊缝长度、接头质量，主筋和箍筋的制作偏差，钢筋笼的制作偏差应符合本标准第5.4.14条规定；

**5** 检查和记录钢筋笼安装位置与标高。

**6.3.2** 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，应复测桩位、调整施工顺序，采取跳打、消减超孔隙水压力、控制钻掘成孔速度等减小挤土负效应的施工措施。

**6.4 施工后检验**

**6.4.1** 工程桩施工完毕后，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。

**6.4.2** 桩基工程应进行工程桩验收检测，桩身完整性与基桩承载力检测数量与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。

**6.4.3** 刚性桩复合地基的验收检验应包括基桩承载力静载试验及复合地基承载力静载荷试验，其检测数量与方法应符合现行行业标准《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。对于设计要求消除地基湿陷性或地基液化的工程，尚应对桩间土地基的湿陷性或液化进行检测与判定。

**6.4.4** 抗拔桩或水平受力桩的工后检验，应分别进行基桩抗拔静载试验或水平静载试验，检测数量与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。

**6.4.5** 桩身质量除对预留混凝土试件进行28d强度等级检验外，尚应进行桩身完整性检测，检测可采用低应变法，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％，且不少于10根；

**2** 除符合本条1款规定外，每个柱下承台检测桩数不少于1根；

**3** 刚性桩复合地基有桩身完整性检测要求时，抽检数量不宜少于总桩数的10%，且不少于3根。

**6.5 工程验收**

**6.5.1** 短螺旋挤土灌注桩基或刚性桩复合地基施工全部结束，并经检验合格且确认符合设计要求和本标准规定后，方可进行工程验收。工程验收尚应符合国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300和《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202的有关规定。

**6.5.2** 工程验收时应提供完整、真实的验收资料，包括：

**1** 岩土工程勘察报告；

**2** 桩基或刚性桩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、桩顶标高测量值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** 成桩质量检查报告，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** 桩基工程或刚性桩复合地基工程竣工平面图；

**10** 发生质量事故时的处理记录；

**11** 施工技术措施记录；

**12** 其他相关资料。

# **附录A 短螺旋挤扩钻具的结构构造**

**A.0.1短螺旋挤扩钻具的两类结构构造**

1

2

4

3

7

5

6

1

2

3

4

5

**图A.0.1-1 短螺旋封闭挤扩钻具 图A.0.1-2 可调控挤土量的短螺旋挤扩钻具**

**图A.0.1 短螺旋挤扩钻具的结构构造示意图**

**注1**：图A.0.1-1为短螺旋封闭挤扩钻具，包括中空连接钻杆（1）、动密封挤扩体（2）、封闭挤扩体（3）、下螺旋挤扩体（4）和钻尖（5）等五个部件。在连接钻杆（1）的顶端设有法兰盘或快速接头；动密封挤扩体（2）为横截面自下而上逐渐缩小的圆台体，动密封挤扩体的外侧壁设有左旋的动密封螺旋叶片；封闭挤扩体（3）为圆柱体；而下螺旋挤扩体（4）为横截面自下而上逐渐增大的圆台体，其外侧壁设有右旋的下螺旋叶片。动密封螺旋叶片和下螺旋叶片的外径等于封闭挤扩体（3）的外径。

**注2**：图A.0.1-2为可调控挤土量的短螺旋挤扩钻具，包括中空连接钻杆（1）、动密封挤扩体（2）、封闭挤扩体（3）、下螺旋挤扩体（4）、钻尖（5）、螺旋钻进体（6）和过流通道（7）等七个部件。在连接钻杆（1）的顶端设有法兰盘或快速接头；动密封挤扩体（2）为横截面自下而上逐渐缩小的圆台体，动密封挤扩体的外侧壁设有左旋的动密封螺旋叶片；封闭挤扩体（3）为圆柱体，其外围设有若干道右旋的过流通道（7）；而下螺旋挤扩体（4）为横截面自下而上逐渐增大的圆台体，其外侧壁设有右旋的下螺旋叶片，下螺旋挤扩体（4）与钻尖（5）之间连接有可变长度的螺旋钻进体（6）。动密封螺旋叶片和下螺旋叶片的外径等于所述封闭挤扩体（3）的外径。

# **附录B 施工质量控制要点与控制措施**

**B.0.1 施工质量控制要点与控制措施表**

**表B.0.1 短螺旋挤土灌注桩施工质量控制要点与控制措施表**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 工序 | 主控内容 | 控制要点 | 控制标准 | 控制措施与检查方法 |
|
| 1 |  | 钻机定位 | 定位偏差 | ≤ 20mm | 1、 十字交叉法复测桩位2、 钻尖对准十字交叉点 |
| 2 | 成 | 孔径 | 桩孔孔径 | + 50mm | 测量钻具封闭挤扩体直径 |
| 3 | 孔 | 孔斜 | 桩孔垂直度 | ≤ 1% | 钻机仪器自动检测、调整 |
| 4 |  | 孔深 | 成孔深度 | 不小于设计值 | 测量钻杆与钻具入土总长度 |
| 5 | 混凝 | 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、无泌水现象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 | 土制备与 | 灌注 | 1、 混凝土储料斗容量2、 灌注的连续性3、 钻具的提速4、 灌注桩顶面标高 | 1、 钻杆芯管内的混凝土高度不得低于2m2、 钻具提速与泵量相匹配3、 灌注全程时间不超过混凝土初凝时间4、 混凝土超灌高度不小于0.5m | 1、 计算混凝土灌注量2、 根据混凝土初凝时间和用量，调配混凝土车辆3、 根据桩径、混凝土泵送量控制钻具提速 |
| 7 | 灌注 | 强度 | 制作混凝土试件 | 1、 满足混凝土试件数量要求2、 试件28d龄期强度满足设计要求 | 1、 按规定制作试件2、 试件进行标准养护3、 龄期28d后进行检验 |
| 8 |  | 充盈系数 | — | ＞ 1.02 | 按实际混凝土灌注量计算基桩灌注充盈系数 |
| 9 | 钢 | 材质检验 | 1、钢筋品种、规格2、焊条品种、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3、 钢筋性能检测 |
| 10 | 筋笼制作 | 制作 | 1、制作允许偏差2、焊接质量3、笼径、笼长4、主筋搭接长度 | 1、 主筋间距±10mm2、 箍筋间距±20mm3、 笼径±10mm4、 笼长－100mm5、 笼径、笼长符合设计要求6、 焊接无脱落、气孔与裂纹 | 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 |
| 11 | 与安装 | 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、 安装深度要求 0 ～+100 mm3、 笼顶标高符合设计要求 | 1、 外观检查焊接尺寸2、 检查焊接质量3、 测量钢筋笼是否居中4、 测量笼顶最终标高 |

# 附录C 基桩施工记录表

**C.0.1 短螺旋挤土灌注桩施工记录表**

**基 桩 施 工 记 录 表**

施工单位： 钻机型号： 记录编号：

工程名称：

设计桩长： m 设计桩径： mm 混凝土强度等级： 坍 落 度： mm

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 施工日期 | 序号 | 基桩编号 | 钻孔深度（m） | 施工桩长(m) | 钻孔时间 | 灌注时间 | 灌注总量(m³) | 地面标高(m) | 桩顶标高(m) | 钢筋笼标高（m） | 最大钻掘成孔扭矩(kN·m) | 最大持力层钻掘电流(A) |
| 起 | 止 | 起 | 止 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 小计 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

记录（签名）： 机长（签名）： 现场技术主管（签名）： 填表日期：

# **附录D 施工工艺流程**

**D.0.1 短螺旋挤土灌注桩三步挤土成桩施工工艺流程框图**

复合地基施工

桩工钻机就位

泵送混凝土同时顺时针方向

旋转提升钻具至地表

根据设计要求沉放钢筋笼

桩工钻机移至下一桩位

按上述施工顺序施打全部基桩后结束基桩施工

拌制混凝土

泵送混凝土

对钻具施加顺时针方向扭矩与

下压力，钻掘至设计桩端标高

**图D.0.1 短螺旋挤土灌注桩的三步挤土成桩施工工艺流程框图**

**D.0.2** **短螺旋挤土灌注桩三步挤土成桩施工工艺流程示意图**

振动插筋器器

混凝土泵

（1） （2） （3） （4） （5）

（1）钻机就位 （2）钻掘成孔 （3）提钻压灌混凝土 （4）后插钢筋笼 （5）基桩施工结束

**图D.0.2 短螺旋挤土灌注桩的三步挤土成桩施工工艺流程示意图**

**本标准用词说明**

**1** 为便于在执行本标准条文时区别对待，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，在条件允许时首先应这样做的：

正面词采用“宜”；反面词采用“不宜”。

表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

**2** 本标准中指定应按其他有关标准、规范执行时，写法为“应符合……的有关规定”或“应按……执行”。

**引用标准名录**

**1** 《复合地基技术规范》GB/T 50783

**2** 《建筑地基处理技术规范》JGJ 79

**3** 《建筑桩基技术规范》JGJ 94

**4** 《岩土工程勘察规范》GB 50021

**5** 《工业建筑防腐蚀设计标准》GB 50046

**6** 《港口工程混凝土结构设计规范》JTJ 267

**7** 《混凝土结构设计规范》GB 50010

**8** 《建筑抗震设计规范》GB 50011

**9** 《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106

**10**《建筑地基基础设计规范》GB 50007

**11**《建筑地基检测技术规范》JGJ 340

**12**《湿陷性黄土地区建筑规范》GB 50025

**13**《高填方地基技术规范》GB 51254

**14**《建筑边坡工程技术规范》GB 50330

**15**《混凝土结构工程施工规范》GB 50666

**16**《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204

**17**《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107

**18**《钢筋焊接及验收规程》JGJ 18

**19**《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202

**20**《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300

**21**《建筑地基检测技术规范》JGJ 340

**中国工程建设协会标准**

短螺旋挤土灌注桩技术规程

T/CECS\*\*\*—2019

# **条文说明**

制订说明

《短螺旋挤土灌注桩技术规程》T/CECS ×××-2019，经中国工程建设标准化协会于2019年×月×日公告批准发布。

本标准主编单位是中冶建筑研究总院有限公司、建研地基基础工程有限责任公司，参编单位是中国京冶工程技术有限公司、中冶京诚工程技术有限公司、哈尔滨工业大学、同济大学、陆军勤务学院、北京工业大学、中铁第四勘察设计院集团有限公司、北京市建筑设计研究院有限公司、兰州有色冶金设计研究院有限公司、威海建设集团股份有限公司、山东威建岩土科技有限公司、中铁四院集团岩土工程有限责任公司、中冶沈勘工程技术有限公司、深圳市工勘岩土集团有限公司、浙江坤德创新岩土工程有限公司、河南省有色工程勘察有限公司、宁夏夯中岩土工程有限公司、冀北中原岩土工程有限公司、北京建筑机械化研究院、山东卓力桩机有限公司、苏州欣源基础工程有限公司。

在本标准编制过程中，编制组进行了广泛的调查研究，总结了我国短螺旋挤土灌注桩的桩基与复合地基设计、施工和质量检验的实践经验，同时参考了国外先进技术标准，并通过试验及实践经验给出了设计与施工的重要技术参数。

为便于广大设计、施工、科研、院校等单位有关人员在使用本标准时能够正确理解和执行条文规定，《短螺旋挤土灌注桩技术标准》编制组按章、节、条顺序编写了本标准的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需要注意的有关事项进行了说明与解释。然而，本条文说明不具备与本标准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。

在使用中如发现本条文说明有不妥之处，请将意见或建议寄送中冶建筑研究总院有限公司《短螺旋挤土灌注桩技术规程》管理组，以供今后修订时参考。

**目 次**

[1 总 则 44](#_Toc2588449)

[2 术语和符号 45](#_Toc2588450)

[3 基本规定 47](#_Toc2588451)

[3.1 一般规定 47](#_Toc2588452)

[3.2 基本资料 48](#_Toc2588453)

[3.3 岩土工程勘察要点 48](#_Toc2588454)

[3.4 桩的分类与布置 49](#_Toc2588455)

[3.5 基桩构造 50](#_Toc2588456)

[4 设计计算 51](#_Toc2588457)

[4.1 桩顶作用效应计算 51](#_Toc2588458)

[4.2 桩基竖向承载力计算 51](#_Toc2588459)

[4.3 单桩竖向极限承载力计算 51](#_Toc2588460)

[4.4 竖向抗拔与水平承载力计算 59](#_Toc2588461)

[4.5 桩身承载力计算 60](#_Toc2588462)

[4.6 复合桩基承载力计算 60](#_Toc2588463)

[4.7 复合地基设计 61](#_Toc2588464)

[4.8 特殊土的桩基与复合地基设计 61](#_Toc2588465)

[4.9 沉降计算 65](#_Toc2588466)

[5 施 工 66](#_Toc2588467)

[5.1 一般规定 66](#_Toc2588468)

[5.2 施工准备 67](#_Toc2588469)

[5.3 钻机钻具与施工方法 6](#_Toc2588470)7

[5.4 施工与质量控制 68](#_Toc2588471)

[6 质量检验和验收 70](#_Toc2588472)

[6.1 一般规定 70](#_Toc2588473)

[6.2 施工前检验 70](#_Toc2588474)

[6.3 施工中检验 70](#_Toc2588475)

[6.4 施工后检验 70](#_Toc2588476)

[6.5 工程验收 71](#_Toc2588477)

**1 总 则**

**1.0.1** 短螺旋挤土灌注桩在国内外的工程应用已分别有50多年与10多年的历史，目前研究及使用这类桩的国家已涵盖欧洲、亚洲、美洲和澳洲等数十个国家。随着各国对环境保护、节能减排与节约资源的要求日益提高，近10年来，短螺旋挤土灌注桩的工程应用地域与数量正在快速增长。为使短螺旋挤土灌注桩基与刚性桩复合地基的设计与施工实现安全适用、技术先进、经济合理、确保质量、保护环境的目标，编制本标准已成为必然。

**1.0.2** 随着短螺旋挤土灌注桩基与复合地基技术和理论的发展，近10年来，这项桩基和复合地基技术已在我国工业与民用建筑（包括高层建筑）、市政、公路、铁路等土木工程建设中得到广泛应用。因此，本标准除适用于建筑工程外，也适用于市政、交通、铁道、水利及港口等工程的设计、施工与质量检验。

**1.0.3** 为能够确保实现本标准第1.0.1条的总体目标，在短螺旋挤土灌注桩基和复合地基的设计和施工中，应综合考虑下列技术要点以及影响因素：

**1** 建设场地的工程与水文地质条件：地貌单元与地层时代、地层岩性与分布特征、岩土物理与力学参数、不良地质作用范围与性质、地下水赋存状态与腐蚀性、桩工钻机与短螺旋挤扩钻具的钻掘能力是施工工艺工法确定以及桩端持力层选择的关键因素；建筑场地岩土工程勘察资料的完整可靠性是设计和施工的重要基础，设计与施工人员对地质条件的正确认识及合理使用，是保证短螺旋挤土灌注桩使用功能与长期性能的核心环节；

**2** 上部结构的类型、功能与荷载特征：不同的上部结构类型对于抵抗或适应桩基或刚性桩复合地基差异变形的能力不尽相同，建构筑物使用功能的重要性和特殊性是决定基础设计等级的主要依据；荷载大小与分布是确定基桩的几何尺寸及平面布置应考虑的重要因素；总体设计计算应突出概念设计，先定性后定量，在设计方案优化时，应注重岩土工程计算分析和工程经验类比的综合判定；

**3** 施工技术条件与环境保护要求：桩径、桩长和成桩工艺的选择应充分考虑地质条件、挤土施工技术的适宜性、不排土的技术功能要求、可能产生的负面挤土效应、施工质量的可控可靠性；为能顺利实现设计与施工目标，还应注重桩工钻机装备与短螺旋挤扩钻具的钻掘能力评判与选择，同时还要重视地方经验，以及确保工程质量的相关技术措施。

**1.0.4** 在本标准使用中，尚应符合现行国家标准的有关规定。此外，欧盟、比利时、美国的现行短螺旋挤土灌注桩技术标准也具有较大的参考价值。

**2 术语和符号**

短螺旋挤土灌注桩基与复合地基属于我国一项新兴技术，为便于使用将本标准中的重要概念，以专用术语的方式予以阐述，并附英语译文。本标准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，英语译文也注意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。

**2.1.1** 短螺旋挤土灌注桩亦称为双向螺旋挤土灌注桩或双向螺旋挤扩桩，这项桩基技术的英文名称为 Soil Displacement Screw Pile（简称：SDS 桩）。短螺旋挤土灌注桩的第一代技术20世纪60年代出现在欧洲，有代表性的短螺旋挤土灌注桩有FUNDEX Pile 和ATLAS Pile；而第二代技术在20世纪90年代开始推广应用，有代表性的短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、比利时和中国等国家和地区已编制了相关的技术标准，供各国的短螺旋挤土灌注桩设计、施工及质量检验使用。

近10多年来，这项桩基技术得到迅猛发展，基于不同钻具发明专利技术的短螺旋挤土灌注桩技术已在欧、亚、南北美、澳等大洲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、仓储与工厂、环境与能源、高速铁路与公路等土木建筑领域。国内外工程实践表明短螺旋挤土灌注桩技术适用于桩基础与刚性桩复合地基，并且具有广泛的地层适宜性，其适用范围包括填土、粉土、黄土、黏性土、砂土、角砾、圆砾、碎石、卵石、全风化岩与强风化岩等可挤压岩土层。地层适用性参考指标为标准贯入试验锤击数 *N* ≤ 60或静力触探试验锥尖阻力*q*c ≤ 30MPa。工程常用短螺旋挤土灌注桩属于中等直径桩，桩径介于350mm～800mm，单桩竖向极限承载力值域主要位于1500kN～10000kN。

作为一项技术先进、质量可靠、节省建材、节能减排、绿色环保、高效低价的桩基与复合地基技术，在国家住建部和财政部资助支持下，从2006年起，我国科研技术人员对短螺旋挤土灌注桩开展了全面的理论研究和技术创新，并构建了具有我国自主知识产权的成套短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、技术标准、大扭矩钻机、高效挤扩钻具及施工工艺工法等方面。10多年来，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、环保与经济效益，并且积累了大量工程技术数据，为我国大规模推广应用新技术体系打下了坚实的基础。

短螺旋挤土灌注桩施工应用双向挤土施工方法和三步挤土成桩工艺。短螺旋挤扩钻具（包括短螺旋封闭挤扩钻具和可调控挤土量的短螺旋挤扩钻具）在大扭矩桩工钻机施加的扭矩与竖向钻压作用下，通过钻具双向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挤压入桩孔侧壁，形成圆柱形混凝土桩。通过双向挤土施工方法和三步挤土成桩工艺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。

中国与世界数十个国家应用短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、不受地下水影响、工程应用领域广、地层适应性强、综合造价低，且具有完全不出土或可控性少量出土的绿色技术优势。此外，欧美国家还把短螺旋挤土灌注桩作为污染土地区采用桩基工程时的首选技术，以确保不发生因污染土外运引发的二次环境污染灾害。

**3 基本规定**

**3.1 一般规定**

**3.1.1～3.1.2** 从国内外近20多年的工程实践来看，短螺旋挤土灌注桩普遍适用于可挤压的填土、黏性土、粉土、黄土、砂土、砾砂、角砾、圆砾、卵石、碎石、全风化和强风化岩等地层，也适用于地下水位高的地层。国内外大量工程应用数据统计与分析表明短螺旋挤土灌注桩适用地层的参考指标可确定为未经修正的标准贯入试验锤击数*N* ≤ 60。但*N* = 60并非是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* ＞ 60的某些岩土层也是适用的。此外，欧美的工程实践证明静力触探试验的锥尖阻力*q*c ≤ 30MPa也可以作为岩土层的适用性参考指标。由于短螺旋挤土灌注桩属于挤土桩，采用这种双向挤土施工工法对特殊土层（如湿陷性黄土、液化土及深厚填土）中的桩基或刚性桩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有关规定执行。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短螺旋挤土灌注桩技术，也可以通过现场试验证明其适用性，正式工程应用时，在施工中还应采用相应的降低挤土负效应的技术保障措施。

**3.1.3**  依据目前国内外桩工钻机装备能力和实际工程经验，短螺旋挤土灌注桩的桩径使用范围为350mm～800mm，国内常用桩径为 400mm～700mm。目前国产专用桩工钻机所能够提供的动力头最大输出扭矩为450kN·m，而国外用于短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。

**3.1.4～3.1.5** 再一次明确并强调了短螺旋挤土灌注桩除可应用于桩基工程外，也适用于刚性桩复合地基工程。复合地基中的刚性桩的岩土承载力和桩身材料承载力可按本标准第4.3节和第4.5节规定进行估算，而复合地基承载力则应按本标准第4.7节规定并采用复合地基理论进行估算或由静载荷试验确定。

**3.1.6** 短螺旋挤土灌注桩基础（包括刚性桩复合地基）设计应遵循极限状态设计原则，两种极限状态包括承载能力极限状态和正常使用极限状态。

本标准采用综合安全系数*K*代替荷载分项系数和抗力分项系数，并以单桩竖向极限承载力和综合安全系数*K*作为基桩抗力的基本参数。承载能力极限状态的荷载基本组合的荷载分项系数为1.0，即为荷载标准组合。由于岩土体为大变形弹塑性材料，因此，真实的承载能力极限状态难以采用唯一的极限值界定。实际上，桩基和复合地基设计主要应该考虑正常使用极限状态的要求，采用以变形、抗裂、裂缝宽度为主控因素的正常使用极限状态设计原则。本标准强调以建筑桩基和刚性桩复合地基变形为主控因素的正常使用极限状态进行设计计算。

**3.1.7** 建筑桩基设计等级的划分目的在于界定桩基设计的重要性与复杂程度，桩基设计等级可根据建筑物规模、体型与功能特征、场地地质条件与环境复杂程度，以及由于桩基问题可能造成建筑物破坏或影响正常使用的程度划分为甲、乙、丙三个等级。

甲级建筑桩基可分为三类：①考虑建筑物的重要性、层数、高度以及荷载大小；②考虑由于建筑物体型复杂程度对基础变形所产生的特殊要求；③考虑场地不良地质作用和对相邻建筑物影响程度。

丙级建筑桩基包含场地和地基条件简单，荷载分布均匀、体型简单的七层及以下的建筑桩基，其设计简单，计算内容少。乙级建筑桩基，为甲级、丙级以外的建筑桩基，设计较甲级简单，计算内容应根据场地与地基条件、建筑物类型确定。

**3.1.8** 短螺旋挤土灌注桩的复合桩基或复合地基的设计计算宜采用基础、基桩或竖向增强体、地基共同作用的原理进行计算，并重点分析基桩与桩间土地基共同承担荷载的变形协调条件，即形成复合桩基或复合地基的必要条件，包括基桩类型（摩擦桩、部分端承摩擦桩）、基桩和桩间土地基的变形协调能力、褥垫层对基桩和桩间土地基的差异变形的协调能力，进而通过设计确保在荷载作用下，基桩和桩间土地基能够通过变形协调在建构筑物服务期内长期共同承担荷载。

**3.2 基本资料**

**3.2.1** 为保证桩基和刚性桩复合地基设计合理与施工质量可控，必须提供关于建构筑物、建筑场地、周边环境、岩土勘察及施工条件的真实、完整资料。

**3.3 岩土工程勘察要点**

**3.3.4** 总则已经清楚阐述了岩土工程勘察在短螺旋挤土灌注桩基与复合地基设计与施工中占据的至关重要地位。为能够做好岩土工程勘察应依据地貌单元、地层时代与地层岩性组合三大要素进行勘察，从而合理确定地层划分与分布、岩土层特征与参数、岩土体与地下水的化学稳定性与腐蚀性以及建筑场地的稳定性。为能做出安全、经济的桩基与复合地基设计，需要岩土工程勘察提供各岩土层的原位测试数据、现场取样的室内试验物理力学参数、不良地质作用的范围与性质，特殊土（包括湿陷性黄土、液化土、深厚填土、欠固结土）的性能参数，需要特别强调勘察资料的真实可靠性，杜绝虚假资料与数据。

**3.4 桩的分类与布置**

**3.4.1** 国内外工程实践表明，由于短螺旋挤扩钻具拥有强大的水平向挤土功能，短螺旋挤土灌注桩的主要技术优势表现在桩侧摩阻力的大幅度提高，而且桩侧阻力是单桩承载力的主要贡献者。因此，在实际工程应用中，桩的类型主要为摩擦桩或端承摩擦桩，摩擦端承桩占比很少，而端承桩则极为少见。从国内工程看，工程设计主要采用竖向抗压桩，而竖向抗拔桩与水平受力桩使用量都较少。在欧洲交通与铁路工程中，也有采用倾斜短螺旋挤土灌注桩设计以及使用先插笼施工方法，用以同时承担竖向压力与抵抗水平力；但我国还尚未使用过这类倾斜桩。

**3.4.2** 基桩的平面布置是桩基和刚性桩复合地基合理、优化设计的关键环节，基桩平面布置应把握以下原则与要求：

**1** 基桩平面布置的原则与要求：

**1）**考虑力系的最优平衡状态；

**2）**使上部荷载在桩基础上的传力路径尽量短；

**3）**可采用变刚度调平设计方法；

**4）**主楼、裙房连体时应弱化裙房布桩、强化主楼布桩；

**5）**复合桩基和刚性桩复合地基的桩间距设计应充分考虑持力层刚度及基础可能发生的竖向变形量。

**2** 确定基桩桩径和最小中心距是概念设计的重点，执行时应遵循三个原则：

**1）**有效发挥基桩的岩土承载力；

**2）**充分考虑岩土层性质、桩的排列与数量因素，以及钻具类型与成桩工艺工法可能引发的正负挤土效应；

**3）**若采用削减挤土效应的施工技术措施，可根据当地施工经验适当减小基桩的最小中心距；对于大面积桩群设计，可根据当地施工经验适当加大基桩的最小中心距。

**3.4.3** 对于湿陷性黄土场地的短螺旋挤土灌注桩复合地基设计，刚性桩的最小中心距应小于本标准第3.4.2条中对非饱和黄土地基的规定。国内试验与工程应用结果表明：对于刚性桩复合地基设计，为消除黄土的湿陷性，刚性桩的最小中心距不宜大于2.5*d*。兰州有色冶金设计研究院有限公司在甘肃省兰州市和平镇大厚度自重湿陷性黄土场地对短螺旋挤土灌注桩承载变形性能进行了大量现场浸水足尺试验研究，这些试验研究成果为本条提供了充分的试验依据，其具体试验研究成果将在本标准第4.8节中阐述。

**3.4.4** 虽然短螺旋挤土灌注桩桩主要采用摩擦桩和端承摩擦桩设计，但设计中也应该考虑端承力的贡献，而桩端持力层和进入持力层深度的选择会直接影响桩基承载力与沉降量，其确定应综合考虑单桩设计承载力大小、岩土层分布与性状、桩工钻机与钻具钻掘能力及成桩工艺。对于存在不良地质作用和负摩阻力的场地与地基，桩端进入持力层的深度应通过计算确定。

**3.5 基桩构造**

**3.5.1～3.5.2** 这两条明确了基桩的纵向钢筋配筋率、纵向配筋长度及箍筋配置应遵循的原则：

**1** 正截面最小配筋率与桩径相关：对于受压桩的正截面最小配筋率宜取0.2%～0.65%，大桩径取低值，小桩径取高值；基桩承受水平力时，桩身受弯截面模量为桩径的3次方，配筋对水平抗力的贡献随桩径增加而增大，对于受水平荷载桩与抗拔桩的纵向钢筋配筋率应通过计算确定；

**2**  纵向配筋长度与轴向荷载传递特征及荷载性质相关：短螺旋挤土灌注桩通常为端承摩擦桩或摩擦桩，可分段变截面配纵筋，对于长桩不需要全长配筋，但不宜小于2/3桩长；根据欧洲的工程经验，当地层较好时，纵向主筋长度可不小于1/2桩长，在这方面，国内设计具有更大的安全度。当基桩受水平力时，主筋长度宜大于反弯点下限4.0/α（α为桩的水平变形系数）；对于湿陷性土、可液化土、欠固结土、软弱土层，纵向主筋应穿越这些土层并进入稳定土层一定深度。对于抗拔桩则应根据桩身长度、裂缝控制要求、桩周岩土性质等因素进行全长等截面或变截面配筋；

**3** 箍筋的主要作用：① 箍筋受剪利于基桩顶部承受剪力和弯矩，剪力较大时应在桩顶5*d*范围内加密箍筋；② 在轴压作用下，箍筋约束加强了桩身混凝土，提高了桩身材料受压承载力；③ 提升了钢筋笼的整体刚度，以适宜间距与钢筋直径设置箍筋与加强筋后，提高了钢筋笼吊装与沉放的安全性。

**3.5.3** 桩基础的桩身混凝土的最低强度等级宜为 C25，根据现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010规定，设计使用年限为50年、环境类别为二 a 时，最低强度等级为 C25；环境类别为二 b 时，最低强度等级为 C30。对于复合地基中的增强体，混凝土强度等级可根据计算确定，但考虑到混凝土自身的耐久性，强度等级不宜低于C20。在欧美工程实践中，为提高短螺旋挤土灌注桩的极限承载力，曾采用过C35、C40和C45等级的混凝土。这也是我国今后可以参考的一个短螺旋挤土灌注桩设计思路。

**4 设计计算**

**4.1 桩顶作用效应计算**

**4.1.1**  桩顶竖向力与水平力（包括力矩和水平力）计算应通过上部结构分析将荷载凝聚于柱、墙底部的桩基础上进行。桩顶作用效应是上部结构荷载传递给各基桩或复合基桩的荷载，设计中应按公式4.1.1计算各柱、墙、核心筒底部群桩中基桩桩顶的竖向力和水平力。

**4.2 桩基竖向承载力计算**

**4.2.1～4.2.2**  桩基竖向承载力计算应首先明确作用于基桩的竖向荷载与基桩抗力的对应关系。本标准将单桩竖向极限承载力标准值*Q*uk作为基桩或复合基桩竖向承载力的基本参数，基桩竖向承载力特征值*R*作为抗力。设计中*R*对应上部结构荷载标准组合，基桩竖向承载力特征值*R*必须大于等于荷载标准组合下作用于基桩或复合基桩桩顶的竖向力*N*k。本标准综合安全系数取 *K*＝2，因此，单桩竖向承载力特征值*R*a的表达式为：*R*a = *Q*uk / 2，此综合安全系数已充分考虑了荷载分项系数与抗力分项系数的作用 。

**4.3 单桩竖向极限承载力计算**

Ⅰ 一般规定

**4.3.1** 短螺旋挤土灌注桩的单桩竖向极限承载力，是指单桩在竖向荷载作用下达到破坏状态前或出现不适合继续承载的变形时所对应的最大荷载，其取决于岩土对桩的支承阻力和桩身材料强度。本标准第4.3节内容仅涉及基于桩周岩土体抗力的单桩竖向极限承载力估算方法；而本标准第4.5节内容则涉及基于桩身材料强度的桩身承载力计算方法。单桩竖向极限承载力标准值是基桩竖向承载力的基本参数，设计采用的标准值应依据建筑桩基的甲、乙、丙三个设计等级使用不同的方法进行估算。

在桩基工程中，单桩现场静载试验是确定单桩竖向极限承载力最可靠的方法，辅助方法是利用地质条件相同的试桩资料和原位测试方法以及基于端阻力、侧摩阻力与岩土的物理力学指标的经验关系参数方法确定。对于不同等级的桩基设计应采用不同可靠度的单桩竖向极限承载力确定方法，具体设计时宜以单桩静载试验结果为主要判定依据，同时应重视综合分析判定，包括对勘察资料可靠性、岩土性质、成桩工艺等影响因素的分析判断。

单桩竖向极限承载力标准值应通过不少于3根的单桩现场静载试验确定，以便获取反映特定地质条件、成桩工艺、几何尺寸的单桩竖向极限承载力代表值。单桩竖向极限承载力标准值也可以根据特定的地质条件、成桩工艺、几何尺寸，以及极限侧阻力标准值和极限端阻力标准值的统计经验值进行估算，估算结果取值宜按本标准推荐的经验参数法、标准贯入试验法和静力触探试验法并结合工程经验综合判定。

部分欧洲国家在短螺旋挤土灌注桩工程实践中，对于未能达到试验破坏的单桩静载试验结果，建议采用 Chin, F. K. (1970) 方法推算单桩竖向极限承载力（F. K. Chin, Estimation of the Ultimate Load of Piles from Tests not Carried to Failure [C]. Proceedings of Second Southeast Asian Conference on Soil Engineering, Singapore City, 11-15，June，1970，pp. 81-92）。比利时、意大利等国曾基于不同类型的短螺旋挤土灌注桩静载试验实测数据与 Chin, F. K. (1970) 方法计算结果的对比分析，证明这种采用双曲线计算模型的模拟计算结果与单桩静载试验的实测结果存在良好的相关关系。

在国内实际桩基工程中，现场单桩静载试验因种种原因（包括桩头材料强度不足、千斤顶偏心、试验反力装置或量测仪表出现问题），经常达不到试验桩的岩土破坏，因此无法获得真实的单桩竖向极限承载力标准值。作为一种补救方法，应用 Chin, F. K.（1970）方法是具有积极意义的。然而，使用这种估算方法时需要注意适用条件，首先试验桩的Q – s 曲线应具有缓变形特征，其次试验桩的试验荷载宜已达到或接近2倍的设计荷载仍未能达到试验破坏；在这种特殊情况下，可根据模拟直线上的桩顶沉降量为40mm所对应的荷载作为单桩竖向极限承载力。

此外应该指出，大多数欧洲国家在利用单桩静载试验实测结果确定单桩竖向极限承载力时，若单桩静载试验的 Q - s 曲线呈缓变形，一般采用试验桩桩顶总沉降量 s = 0.1*d* 对应的试验荷载作为单桩极限荷载。我国通常建议将桩顶总沉降量 s = 40mm 对应的基桩静载试验荷载值作为基桩竖向抗压极限承载力，采用这种判定方法对于直径较大的桩存在偏严的可能性，因为桩径也是基桩承载力的重要影响因素之一。

Ⅱ 经验参数法

**4.3.3** 经验参数计算方法是在基桩静载试验结果与相应岩土层的物理力学指标大量统计分析基础上，建立的极限桩侧阻力和极限桩端阻力与地基土物理力学指标之间的经验关系，再利用目标场地的地基土物理力学指标与上述经验关系表估算单桩竖向极限承载力的方法。本标准推荐使用公式4.3.3进行单桩竖向极限承载力标准值估算，其值与成桩工艺、岩土类别、物理指标、标贯击数（动探击数）、截面尺寸、入土深度等因素有关。

短螺旋挤土灌注桩属于挤土桩，其旋转挤土效果与压入式混凝土预制桩挤土效果较为相似，其通过将桩周岩土体挤密，提高了桩周岩土体的抗剪强度参数*c*值与*φ*值，同时也使桩周岩土体对桩的水平压力大幅度增加，从而使桩周极限侧阻力显著提高。依据这两类桩在山东省威海市同一工程场地试桩数据统计分析与对比，发现短螺旋挤土灌注桩与打入式PHC混凝土预制管桩相比，其极限侧阻力能够提高10%～30%，而极限端阻力则与混凝土预制桩的极限端阻力相近。在山东省地方标准中推荐的经验参数法，通过引入极限侧阻力提高系数*α*s*i*明确了短螺旋挤土灌注桩较预制桩在侧阻力方面的优势。然而，这种方法在提高系数*α*s*i*值选取上增加了岩土工程师的设计工作难度；因此，本标准推荐采用更为简便快捷的经验参数计算方法。

为了验证本标准经验参数法的合理性与可靠性，中国京冶工程技术有限公司曾利用我国6个省市自治区11个工程项目的40根短螺旋挤土灌注桩静载试验结果，以及相应场地的地基土物理力学参数，对单桩静载试验结果与经验参数法计算结果进行了验证分析。为保证经验参数法的安全性，在对比分析中，极限桩侧阻力均采用区间内高值，计算分析结果见附表4.3.3。

**附表4.3.3 短螺旋挤土灌注桩竖向极限承载力静载试验结果与计算结果对比表**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| No. | 工程名称 | 试验场地 | 试桩尺寸 | 公式计算最大值*J*k (kN) | 静载试验实测值*Q*k (kN) | *Q*k / *J*k | 最终沉降量(mm) |
| *L* (m) | *d* (mm) |
| 1 | 威建公司院内试验 | 山东 | 16.2 | 500 | 3402 | 3850 | 1.13 | 36.72 |
| 2 | 威建公司院内试验 | 山东 | 15.2 | 500 | 3014 | 3300 | 1.09 | 23.04 |
| 3 | 职业技术学院1# | 山东 | 28 | 400 | 2559 | 2880 | 1.13 | 16.84 |
| 4 | 职业技术学院2# | 山东 | 28.8 | 400 | 2636 | 2880 | 1.09 | 13.71 |
| 5 | 职业技术学院3# | 山东 | 29 | 400 | 2655 | 3300 | 1.24 | 22.08 |
| 6 | 职业技术学院5# | 山东 | 27.9 | 500 | 3457 | 4300 | 1.24 | 17.39 |
| 7 | 职业技术学院6# | 山东 | 28 | 500 | 3469 | 3600 | 1.04 | 17.98 |
| 8 | 职业技术学院7# | 山东 | 28 | 500 | 3469 | 4300 | 1.24 | 21.78 |
| 9 | 恒宇-星河广场1# | 山东 | 15 | 400 | 1204 | 1240 | 1.03 | 4.32 |
| 10 | 恒宇-星河广场2# | 山东 | 15 | 400 | 1204 | 1240 | 1.03 | 5.02 |
| 11 | 恒宇-星河广场3# | 山东 | 15 | 400 | 1204 | 1240 | 1.03 | 4.09 |
| 12 | 恒宇-星河广场4# | 山东 | 19 | 400 | 2063 | 2100 | 1.02 | 8.21 |
| 13 | 恒宇-星河广场5# | 山东 | 19 | 400 | 2063 | 2100 | 1.02 | 9.34 |
| 14 | 恒宇-星河广场6# | 山东 | 19 | 400 | 2063 | 2100 | 1.02 | 10.40 |
| 15 | 金山迪雅溪谷32# | 辽宁 | 11.5 | 400 | 1582 | 1700 | 1.07 | 18.04 |
| 16 | 金山迪雅溪谷40# | 辽宁 | 10.7 | 400 | 1494 | 1700 | 1.14 | 15.92 |
| 17 | 金山迪雅溪谷60# | 辽宁 | 10.7 | 400 | 1494 | 1700 | 1.14 | 15.93 |
| 18 | 金山迪雅溪谷57# | 辽宁 | 9.1 | 400 | 1218 | 1700 | 1.40 | 16.29 |
| 19 | 金山迪雅溪谷69# | 辽宁 | 9.4 | 400 | 1350 | 1700 | 1.26 | 15.72 |
| 20 | 金山迪雅溪谷139# | 辽宁 | 10.1 | 400 | 1427 | 1700 | 1.19 | 17.10 |
| 21 | 神华宁煤1# | 宁夏 | 12 | 400 | 2967 | 3200 | 1.08 | 7.00 |
| 22 | 神华宁煤2# | 宁夏 | 12 | 400 | 2967 | 3200 | 1.08 | 12.00 |
| 23 | 神华宁煤3# | 宁夏 | 12 | 400 | 2967 | 3200 | 1.08 | 18.00 |
| 24 | 海尔试桩1# | 河南 | 16 | 500 | 2151 | 2520 | 1.17 | 10.31 |
| 25 | 海尔试桩2# | 河南 | 16 | 500 | 2204 | 2310 | 1.05 | 16.35 |
| 26 | 海尔试桩3# | 河南 | 16 | 500 | 2246 | 2520 | 1.12 | 11.3 |
| 27 | 海尔试桩4# | 河南 | 16 | 500 | 2550 | 3150 | 1.24 | 19.38 |
| 28 | 海尔试桩8# | 河南 | 16 | 500 | 2373 | 2730 | 1.15 | 14.7 |
| 29 | 海尔试桩9# | 河南 | 16 | 500 | 2424 | 2310 | 0.95 | 10.6 |
| 30 | 北京试验13# | 北京 | 13 | 400 | 2222 | 2757 | 1.24 | 13.12 |
| 31 | 北京试验14# | 北京 | 14 | 400 | 1285 | 2200 | 1.71 | 38.8 |
| 32 | 北京试验11# | 北京 | 11 | 400 | 1299 | 1400 | 1.08 | 36.99 |
| 33 | 北京试验142# | 北京 | 14 | 400 | 1808 | 2200 | 1.22 | 36.98 |
| 34 | 东兴家苑2# | 甘肃 | 14 | 400 | 3893 | 4000 | 1.03 | 39 |
| 35 | 东兴家苑2# | 甘肃 | 14 | 400 | 3893 | 3600 | 0.92 | 34 |
| 36 | 东兴家苑6# | 甘肃 | 14 | 400 | 3256 | 3600 | 1.11 | 34 |
| 37 | 东兴家苑8# | 甘肃 | 14 | 400 | 3303 | 3600 | 1.09 | 38 |
| 38 | 正商瑞钻1# | 河南 | 23 | 500 | 5861 | 6000 | 1.03 | 24.96 |
| 39 | 正商瑞钻2# | 河南 | 23 | 500 | 5861 | 6400 | 1.09 | 26.43 |
| 40 | 正商瑞钻3# | 河南 | 23 | 500 | 5861 | 6800 | 1.16 | 35.52 |

验证分析结果表明，单桩静载试验的实测极限承载力结果与中国京冶经验参数法的极限承载力计算结果相比，静载试验实测值与计算值之比有95% 的分析数据大于等于1.0，充分证明了中国京冶经验参数法的计算结果是安全可靠的。为清楚展示验证分析的安全度，利用上述40根短螺旋挤土灌注桩的试验实测值与计算值之比的数据，绘制了附图4.3.3。

 附图4.3.3 短螺旋挤土灌注桩极限承载力实测值/计算值频次分布图

附图4.3.3显示出经验参数计算方法的计算结果中共有38个结果小于或等于实测结果，占比95%。其中与静载试验实测结果接近的（1.0~1.1）共有17个，占比43%，5%小于1.0比值的区间为0.9~1.0的共有2个，另有2个样本的计算结果过于保守，其比值大于1.4。通过验证分析，可以确定经验参数法是兼顾经济性和安全性的可靠计算方法。另一方面，从附表4.3.3中的试验桩最终沉降量实测数据能够发现仅有35%的试验桩最终沉降量大于20 mm，即分析表给出的单桩静载试验实测值有绝大部分并未达到试验桩的极限承载力值。这从侧面证明本标准推荐的经验参数法是一种具有足够安全度的计算方法。今后还应根据不同地区的试桩资料与计算资料对比与验证，对本标准表4.3.3进行调整，形成不同地区的计算参数表。

Ⅲ 标准贯入试验法

**4.3.4** 基于建筑场地标准贯入试验结果的短螺旋挤土灌注桩承载力计算方法建立在单桩静载试验实测结果与原位试验测试参数之间的经验关系基础上，利用这些统计关系及场地标准贯入试验锤击数*N*能够较准确地预估桩的极限侧阻力和极限端阻力。在众多的地基原位试验方法中，标准贯入试验方法是国内外岩土工程勘察中最常用的方法，测试结果稳定可靠。标准贯入试验法已在世界数十个国家使用，因此，基于标准贯入试验结果的计算方法是一种国际上公认可靠的单桩竖向极限承载力计算方法。

美国学者Nesmith于2002年汇总了40根短螺旋挤土灌注桩（美国称DD Pile）静载试验数据，包括32根抗压桩和8根抗拔桩试验结果，这些试验桩来源于美国25个建筑场地，地质地貌单元涵盖了7大类型。试验场地的主要地层为：松散、中密、密实至非常密实的砂土、粉质砂土和黏质砂土，部分含砾石。试验桩直径为0.36m～0.46m，试验桩长度介于6m～21m。静载试验中有15根抗压桩埋置了桩身变形量测元件或桩身位移计。依据40组短螺旋挤土灌注桩的静载试验数据，Nesmith（2002）通过统计方法建立了未经修正的标准贯入试验锤击数*N* 与桩的极限侧阻力的经验关系，并给出了极限侧阻力qsi的计算公式：

  *Ni* ≤ 50

式中， *Ni* — 第i层土未经修正的标准贯入试验锤击数；

 *q*s*i* — 第i层土的极限侧阻力（MPa）；

 *w*s — 依据地基土性质调整的极限侧阻力增量（MPa）。

对于均匀、磨圆度好、细粒土含量不超过40% 的地基土，*w*s = 0，且*q*s*i*最大值不得超过0.16 MPa。对于级配良好、棱角状、细粒土含量少于10% 的砂性土，*w*s = 0.05 MPa，且*q*s*i*最大值不得超过0.21 MPa。对介于上述两类土之间的地基土，可依据地基土性质加以选择确定。

采用同样的统计方法，Nesmith（2002）建立了未经修正的标准贯入试验锤击数*N*与桩的极限端阻力经验关系，并给出了极限端阻力*q*p的计算公式：

   *N* ≤ 50

式中，*N* — 桩端面上下各4*d*范围内，未经修正的标准贯入试验锤击数平均值；

 *q*p — 极限端阻力（MPa）；

 *w*p — 依据地基土性质调整的极限端阻力增量（MPa）。

对于均匀、磨圆度好、细粒土含量不超过40%的地基土，*w*p = 0，且qp 最大值不得超过7.2 MPa。对于级配良好、棱角状、细粒土含量少于10% 的砂性土，*w*p = 1.34MPa，且*q*p最大值不得超过8.62MPa。对介于上述两类土之间的地基土，可以依据地基土的性质加以选择确定。

美国交通部标准推荐的短螺旋挤土灌注桩竖向极限承载力确定方法采用了Nesmith（2002）提出的单桩竖向极限承载力计算方法，其采用以下计算公式：

 

详情请见： FHWA-HIF-07-03，Geotechnical Engineering Circular No.8，Technical Report，2007，Federal Highway Administration，U.S. Department of Transportation。

为使我国拥有一套技术合理、可靠实用，基于标准贯入试验结果的短螺旋挤土灌注桩竖向极限承载力计算方法，中国京冶工程技术有限公司（2010）在Nesmith试桩数据基础上，通过增加我国的短螺旋挤土灌注桩静载试验实测数据，重新绘制了未经修正的标准贯入试验锤击数*N* — 桩侧阻力标准值*q*s*i*k以及*N* — 桩端阻力标准值*q*pk关系附图4.3.4-1和附图4.3.4-2，并以此为基础提出了本标准的标准贯入试验法的计算公式。

附图4.3.4-1 标贯击数*N*与桩侧阻力标准值*q*s*i*k关系图

附图4.3.4-2 标贯击数*N*与桩端阻力标准值*q*pk关系图

以上两个附图揭示了短螺旋挤土灌注桩的极限侧阻力和极限端阻力与建筑场地未修正标准贯入试验锤击数*N*的相关关系。为了确保单桩竖向极限承载力计算结果的安全性，取关系散点附图中的下限包络折线作为极限侧阻力和极限端阻力与标准贯入试验锤击数*N*的关系曲线；上述两附图包括了我国10省市自治区的数十个短螺旋挤土灌注桩静载试验实测结果。

参照欧美国家利用标准贯入试验*N*值确定短螺旋挤土灌注桩竖向极限承载力的方法，且考虑国内岩土工程勘察中普遍采用标准贯入试验的国情，因此，在结合国内大量工程试验检测数据分析验证后，本标准推荐了中国京冶（2010）依据岩土类别与标准贯入试验锤击数*N*来估算短螺旋挤土灌注桩竖向极限承载力方法。极限桩侧阻力和极限桩端阻力的计算公式如下：

**1**  极限侧阻力标准值：

填土、黏性土、粉土、黄土、砂土：*q*s*i*k =（3～4）*Ni* ；

角砾、圆砾、全风化岩和强风化岩：*q*s*i*k=（3.5～4）*Ni*。

**2** 极限端阻力标准值：

填土、黏性土、粉土、黄土、粉细砂：*q*pk =（100～160）*N*；

中粗砂、角砾、圆砾、全风化岩和强风化岩**：***q*pk  =（150～190）*N*。

目前，国外标准采用标准贯入试验成果时，均采用未经杆长修正的*N*值来确定短螺旋挤土灌注桩竖向极限承载力。在本标准中，标准贯入试验法也利用未经修正的标准贯入试验锤击数*N*值来估算桩的竖向极限承载力。为了保证工程安全，这个计算方法限制了标准贯入试验锤击数的最大值（*N* ≤ 40），实际上也是对极限侧阻力和极限端阻力标准值的最大取值进行了限制。此外，在利用*N*值确定桩端承载力时，*N*值为桩端面以上和以下4*d*范围内的标准贯入试验锤击数按土层厚度计算的加权平均值。应用此方法估算短螺旋挤土灌注桩竖向极限承载力时，建议与其他计算方法计算结果进行对比分析，经综合评判后再确定估算值。

Ⅳ 静力触探试验法

**4.3.5** 本标准静力触探试验法参照了现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94，将其依据双桥探头静力触探试验结果的计算公式作为本标准短螺旋挤土灌注桩计算公式4.3.5的基础公式，并在此基础上提出了桩侧摩阻力增大系数。

目前，许多欧美国家都采用静力触探试验法来确定短螺旋挤土灌注桩竖向极限承载力，常用标准包括欧盟标准、比利时标准、美国标准，此外，荷兰、法国等国也有各自的标准。在这些标准中，基桩的极限侧阻力和极限端阻力仅与CPT试验的锥尖阻力*q*c建立相关关系。比如比利时标准提出极限侧阻力*f*s的计算公式为：

*f*s = *αs • q*c

极限端阻力*q*p的计算公式为：

*q*p = *α*b•*q*c =（0.8～1.0）*• q*c

其中：

*q*c ＜ 10MPa *α*s = 1/150

*q*c ＞ 20MPa *α*s= 1/200

*q*c = 10MPa～20MPa时*α*s值内插求取。

美国交通部标准推荐的短螺旋挤土灌注桩竖向极限承载力计算方法，也包括了基于静力触探试验法的单桩竖向极限承载力计算方法，其采用以下计算公式：

 

详情请见： FHWA-HIF-07-03，Geotechnical Engineering Circular No.8，Technical Report，2007，Federal Highway Administration，U.S. Department of Transportation。

美国交通部标准通过统计方法建立了静力触探试验的锥尖阻力*q*c值与桩极限侧阻力的经验关系，并给出了极限侧阻力*q*s*i*的计算公式：

  *q*c*i* ≤ 20MPa

式中， *q*c*i* — 第*i*层土的锥尖阻力（MPa）；

 *q*s*i* — 第*i*层土的极限侧阻力（MPa）；

 *w*s— 依据地基土性质调整的极限侧阻力增量（MPa）。

*q*s*i*≤0.16 MPa时， *w*s = 0；

*q*s*i*≤ 0.21 MPa时 ，*w*s = 0.05MPa。

采用同样的统计方法，建立了静力触探试验的锥尖阻力*q*c值与桩极限端阻力经验关系，并给出了极限端阻力*q*p的计算公式：

 ≤ 19MPa

式中， *q*c — 桩端面以上和以下4*d*范围土层内的锥尖阻力加权平均值（MPa）；

 *q*p — 极限端阻力（MPa）；

 *w*T — 依据地基土性质调整的极限端阻力增量（MPa）。

*q*p ≤ 7.2MPa时， *w*T = 0；

*q*p ≤ 8.62MPa时， *w*T = 1.34MPa

欧美几十年的工程实践已证明这种基于静力触探试验的计算方法是安全可靠的，且便于设计使用。根据比利时的经验，使用静力触探试验方法计算单桩竖向极限承载力的设计量大约占桩基总设计量的90%。这里应该强调指出，我国国产的静力触探设备与国外的静力触探设备的触探头尺寸不完全相同，如欧洲静力触探试验设备的触探头圆锥底面积通常采用国际通用标准的10cm²；而我国广泛采用15cm2的探头。此外，试验技术与试验设备上也有一些差别，因此直接引用欧洲技术标准时，需要提前进行静力触探仪（手摇式、机械式、电动式、液压式）的探头几何尺寸对比研究工作。

本标准静力触探试验法参照了现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94，将其依据双桥探头静力触探试验确定混凝土预制桩竖向极限承载力标准值计算公式作为短螺旋挤土灌注桩计算公式4.3.5的基础公式，但扩大了地层适用范围。根据已有经验，采用现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94推荐的静力触探方法确定短螺旋挤土灌注桩竖向极限承载力偏于安全，因此，在计算公式的总桩侧摩阻力项前增加了一个桩侧摩阻力增大系数*k*，而*k*值介于1.0～1.2之间。今后随着工程经验与资料的积累，可对本标准提出的计算公式（4.3.5）进行调整和修改。

**4.4 竖向抗拔与水平承载力计算**

**4.4.1** 承受上拔力的桩基存在群桩整体拔出或单桩拔出的两种可能的破坏模式，所以抗拔桩基需要分别验算群桩基础呈整体破坏和呈非整体破坏时的基桩抗拔承载力。这里需要指出式（4.4.1-1）和式（4.4.1-2）只适用于基桩为同等长度的桩基础，并且仅用于岩土抗拔承载力分析。

**4.4.2** 抗拔系数λ*i* 定义为基桩的抗拔极限承载力与抗压极限承载力的比值，其确定基于试验的抗拔极限承载力实测值与抗压极限承载力实测值的计算，设计计算时应根据岩土层类别、桩的长径比按表4.4.2 取值。此外，抗拔桩的桩身正截面设计尚应满足受拉承载力，可按本标准第4.5.5条规定执行。

**4.5 桩身承载力计算**

**4.5.2**  依据安全、经济原则设计的合理单桩竖向极限承载力标准值应与桩周岩土体的极限抗力和桩身材料承载力极限值相匹配。在进行受压短螺旋挤土灌注桩身材料承载力验算时，轴向受压的钢筋混凝土或素混凝土桩身正截面受压承载力计算应考虑下述四方面因素：

**1** 纵向主筋作用：在一定条件下，纵向主筋的承压作用可计入桩身受压承载力；

**2** 箍筋作用：箍筋不仅起水平抗剪作用，更重要的是对桩身混凝土起侧向约束增强作用，有关试验结果表明，有箍筋约束的混凝土轴心抗压强度较无约束的混凝土可提高 80% 以上；当桩顶 5*d* 范围内的箍筋间距小于等于100mm 时，可以考虑纵向主筋的承载作用；

**3** 桩工作条件系数*ψ*c：桩身混凝土的受压承载力是桩身受压承载力的主要部分，桩身强度和截面面积变异与桩周岩土特性有关，为考虑桩周岩土对桩身的约束作用，本标准规定，短螺旋挤土灌注桩的桩工作条件系数应根据桩周岩土性质确定，其范围值为*ψ*c= 0.6 ~ 0.8；

**4** 桩身配筋与不配筋的混凝土桩受压承载力计算均应考虑桩工作条件系数*ψ*c的影响。

**4.5.3** 短螺旋挤土灌注桩处于岩土体中，一般不会出现压屈失稳问题，但下面两种情况应考虑桩身稳定系数对桩身受压承载力的影响，一是桩的自由长度较大，二是桩周土体为可液化土或超软弱土，譬如土的不排水抗剪强度小于等于10kPa，验算高桩承台基桩的桩身受压承载力时也应乘以小于1.0的稳定系数*φ*。当桩的计算长度与桩径之比*l*c /*d* 大于7.0时，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。

**4.6 复合桩基承载力计算**

**4.6.1**  考虑承台效应的复合基桩竖向承载力特征值*R* 应按公式4.6.1计算，但复合桩基设计是有前提条件的。前提条件包括基桩属于摩擦型或部分端承摩擦型桩，且在承台传递的荷载作用下，通过基桩和桩间土地基变形协调可以实现两者长期共同承担上部荷载。复合桩基的桩间土地基承载能力发挥系数即是本条中的承台效应系数*η*c。*η*c值的大小与荷载水平、承台沉降、桩中心距、基桩几何尺寸、承台几何尺寸、岩土性质等因素有关，因此，选择*η*c值时应综合考虑这些影响因素，慎重确定。在进行地基抗震验算时，应采用地震作用标准组合，地基抗震承载力应通过地基承载力特征值乘以地基抗震承载力调整系数*ζ*a获得。该调整系数的取值范围为1.0~1.5，其与岩土类别及性状相关，坚硬密实土取高值，松散软弱土取低值。

**4.7 复合地基设计**

**4.7.1**  我国短螺旋挤土灌注桩技术已大量应用于高层住宅楼（最高达30多层）以及铁路与公路路基的复合地基工程项目，并取得了良好的技术、环保和经济效果。在国外也有大量高速铁路与公路工程、仓库与堆料场、油库、大型商场采用短螺旋挤土灌注桩复合地基设计。因此，短螺旋挤土灌注桩技术完全适用于刚性桩复合地基工程，而且使用范围很广泛。然而，在工程应用中应注意研究分析不同岩土层的适用性以及可能产生的挤土负效应，特别是对深厚软弱地基场地，应考虑当地经验，并通过前期现场静载荷试验结果判断其适用性。

**4.7.2**  本条强调刚性桩复合地基适用桩型为摩擦桩或端承摩擦桩。复合地基承载力由刚性桩与桩间土地基两部分承载力构成，因此，通过刚性桩、桩间土地基与褥垫层三者之间的变形协调是桩土共同工作、长期共同承担筏板荷载或柔性基础荷载的必要条件和内在承载机制。本条还阐述了复合地基的布桩原则和最小桩中心距的要求。刚性桩复合地基通常由素混凝土桩和挤密后的桩间土地基组成，复合地基的面积置换一般不宜超过30%。桩间土地基在复合地基中面积占比较大，所以提高桩身材料强度是提高复合地基承载力的一条简单且经济的途径。同时，桩间土地基由于受到挤土桩施工产生的挤压效应也能够提高原有地基土的承载能力。但是，当所施工的短螺旋挤土灌注桩无空孔段时，必须考虑因地表土层隆起引发的表层桩间土地基承载力下降问题。

对于桩身材料强度验算，应先获取桩体混凝土试件标准养护28d的立方体（边长150mm）轴心抗压强度标准值*f*ck，而混凝土轴心抗压强度设计值 *f*c= *f*ck/1.4，进而可利用本条的式4.7.2进行桩身材料强度验算。

**4.8 特殊土的桩基与复合地基设计**

Ⅰ 湿陷性黄土

**4.8.1**  在湿陷性黄土场地采用桩基础时，桩周黄土在浸水条件下会发生软化变形导致桩侧极限阻力降低，在自重湿陷性黄土场地，还会产生负摩阻力，下拉荷载会使桩身轴向压力增加而产生附加沉降。甲类、乙类、丙类（重要性较高）建筑物，其工程重要性或浸水可能性较高时，应按较不利的浸水条件进行设计，并要求桩端必须穿透湿陷性黄土层且进入可靠持力层（压缩性较低的土层、砂砾层、卵石层、风化岩层）。已有研究资料表明，桩端持力层性质明显影响着桩基的浸水附加沉降，桩端持力层的压缩性越低，浸水产生的附加沉降越小，因此，应选择压缩性较低的岩土层作为桩端持力层。

在湿陷性黄土地区，桩间土的挤密是以消除湿陷性为目的，因此规定三桩孔之间的桩间土地基平均挤密系数不宜小于0.93。根据挤密地基浸水试验结果发现，当桩间土地基平均挤密系数不小于0.93时，挤密地基的湿陷起始压力均能达到200kPa以上。对于等边三角形布置挤密桩的挤密地基，其三根桩构成的三角形形心处的挤密地基土是最薄弱处，其挤密系数在理论上最小（最小挤密系数），最小挤密系数的大小，直接反映挤密地基的挤密效果。若三桩之间形心点处的桩间土地基存在湿陷性，与复合地基是否存在湿陷性没有必然的因果关系，即并不代表整个挤密地基一定存在湿陷性。

**4.8.2**  在自重湿陷性黄土场地的桩基础，中性点位置的确定是基桩正负摩阻力计算的关键环节，通常需要根据现场大面积浸水试验确定。自重湿陷性黄土场地的基桩负摩阻力、中性点与自重湿陷性黄土层深度关系的现场试验结果见附表4.8.2，其中性比*L*n/ *L*o 主要位于0.5 ~ 0.8之间，这些现场浸水试验实测数据可以作为短螺旋挤土灌注桩承载力计算的参考依据。

**附表4.8.2 自重湿陷性黄土场地的桩基负摩阻力、中性点与湿陷性黄土层深度现场试验结果汇总表**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 试验地点 | 桩号 | 桩长/m | 桩顶极限荷载/kN | 桩径/m | 桩类型 | 负摩阻力平均值/kPa | 中性点深度/m | 中性比*L*n/*L*o |
| 宁夏固原 | ZH3 | 40 | 8400 | 0.8 | 端承摩擦桩 | 46 | 19 | 0.55 |
| ZH4 | 40 | 4800 | 0.8 | 端承摩擦桩 | 33.1 | 18 | 0.52 |
| ZH5 | 20 | — | 0.8 | 悬吊桩 | 22 | — | — |
| 甘肃定西 | SZ1 | 26 | 5400 | 0.8 | 灌注桩 | 319.62(极限值) | 16 | 0.50 |
| SZ2 | 29 | 4200 | 0.8 | 灌注桩 | 586.68(极限值) | 21 | 0.67 |
| 甘肃庆阳 | SZ1 | 40 | 7500 | 0.8 | 灌注桩 | 27.6 | 13.5 | 0.68 |
| SZ2 | 40 | 8000 | 0.8 | 灌注桩 | 29.1 | 15.6 | 0.78 |
| 陕西蒲城电厂 | A1 | 40 | 6000 | D1.2D2.5 | 钻孔扩底桩 | 27.4 | 17.5 | 0.5 |
| A2 | 40 | 4110 | 钻孔扩底桩 | 43.6 | 25.0 | 0.72 |
| B1 | 32 | 4800 | D1.0D2.2 | 钻孔扩底桩 | 27.3 | 12.0 | 0.35 |
| B2 | 32 | 2960 | 钻孔扩底桩 | 44.9 | 21.0 | 0.60 |
| 陕西宝鸡第二电厂 | 甲3 | 23 | 1700 | D0.6D0.8 | 扩底灌注桩 | 23.0 | 12 | 0.60 |
| 甲1 | 23 | — | 扩底灌注桩 | 49.0 | 17 | 0.85 |
| 乙1 | 22.85 | 2100 | D0.8D1.2 | 扩底灌注桩 | 37.9 | 11 | 0.55 |
| 乙3 | 22.85 | — | 扩底灌注桩 | 37.4 | 15 | 0.75 |
| 山西太原 | 桩1 | 21 | 760 | 0.8 | 钻孔灌注桩 | 20.1 | 15 | 0.71 |
| 桩2 | 24 | 880 | 0.8 | 钻孔灌注桩 | 31.1 | 14 | 0.63 |
| 陕西华阴 | S1 | 60 | — | 1.25 | 灌注桩 | 48 | 25 | 1.2 |
| S2 | 60 | 5400 | 1.25 | 灌注桩 | 54 | 25 |
| 陕西潼关 | S3 | 60 | 3000 | 0.8 | 灌注桩 | 23 | 17 | 0.89 |
| S4 | 50 | 2000 | 0.8 | 灌注桩 | 29 | 16 |
| S5 | 60 | — | 0.8 | 灌注桩 | 25 | 24 |
| 河南灵宝 | S3 | 60 | 3000 | 0.8 | 灌注桩 | 18 | 18 | 0.74 |
| S4 | 50 | 2000 | 0.8 | 灌注桩 | 28 | 18 |
| S5 | 60 | — | 0.8 | 灌注桩 | 24 | 28 |

注：*L*n为中性点深度，*L*o为湿陷性黄土层厚度。

在甘肃省地方标准《双向螺旋挤土桩技术规程》编制过程中，兰州有色冶金设计研究院有限公司，在兰州市榆中县和平镇沈家和村实施了大型短螺旋挤土灌注桩的浸水和非浸水条件下的单桩静载试验研究。试验场地的黄土层厚为38m，为自重湿陷性黄土，湿陷等级为IV级，湿陷程度严重。大型浸水试验区直径20m，面积314m2，坑深0.5m，浸水水头高度保持为30cm。基于这一大型黄土地区的短螺旋挤土灌注桩试验结果，兰州有色冶金设计研究院有限公司编写了《双向螺旋挤土灌注桩在湿陷性黄土兼地震区及复杂地基中应用试验研究成果报告》，该报告提供了大量黄土地区短螺旋挤土灌注桩现场足尺试验数据，包括短螺旋挤土灌注桩试验数据及刚性桩复合地基试验数据。

根据兰州市和平镇短螺旋挤土灌注桩大型浸水试验研究资料，当室内计算评价自重湿陷性黄土厚度为36m时，在20m直径试坑浸水试验时，深度22m～25m以上的黄土含水率增加较快甚至达到饱和状态，试验量测结果表明这是实际自重湿陷性发生的下限深度，其下黄土渗透率、含水率增加极为缓慢，并且达不到湿陷起始含水率和湿陷起始压力，也未出现湿陷现象。兰州市和平镇大型浸水试验结果表明自重湿陷性黄土现场浸水水体入渗深度存在临界值，即超过这个临界深度时，土体湿陷量非常小或不发生湿陷，故提议将22m～25m作为类似深厚自重湿陷性黄土的桩基中性点，也可视为地基处理和湿陷性评价判定的最大临界深度。在实际工程中，因雨水和管道渗漏所引发的临界深度远小于22m，所以在本标准表4.8.2-1中给出了中性点深度的最大值小于等于20m的湿陷深度。

**4.8.3～4.8.4** 在湿陷性黄土场地的短螺旋挤土灌注桩基设计和刚性桩复合地基设计主要应考虑如何消除黄土的湿陷性。兰州市和平镇的大型浸水试验研究结果表明：为消除黄土的湿陷性，无论采用长 — 短桩复合短螺旋挤土灌注桩基设计方案，还是采用等强度或不等强度桩的刚性桩复合地基设计方案，相邻桩的最大基桩中心距均应小于等于2.5*d*。基于我国目前的短螺旋挤土灌注桩施工钻机装备能力，最大地基处理深度能达到 34m，基本上能够满足绝大多数工业与民用建筑工程和交通工程的实际应用需要，今后随着桩工钻机装备能力的提高，地基处理深度仍可以继续增加。

Ⅱ 地震液化土层

**4.8.5～4.8.6** 对于地震设防区内的短螺旋挤土灌注桩基设计，应充分考虑地震引起土层液化所产生的不利影响。设计应保证基桩进入地震液化土层之下的稳定岩土层的深度不小于本标准第4.8.5条规定。对于地震可能引发上部土体滑移或侧向流动的桩基，设计时应对附加水平力可能产生的隐患进行桩基础的稳定性分析。

对于低桩承台周围及其下面存在地震液化土体或地基承载力特征值小于等于40kPa 的软弱土体，且基桩水平抗力小于设计要求时，则需要对承台外侧土体进行加固处理；桩身纵向钢筋和箍筋的配置也应满足本标准规定。此外，处于有地震液化土层的低承台桩基，可依据本标准第4.8.6条规定对地震液化土层的侧摩阻力进行必要的折减计算，而折减系数的值域为 0 ~ 1.0。

Ⅲ 填方及填土地基

**4.8.8** 在填方及填土场地的短螺旋挤土灌注桩基设计中，应首先对填土地基作出客观、正确的勘察与分析评估，包括本条开列的 6个子内容，缺一不可。

**4.8.9～4.8.10** 填方及填土地基应包含人工填筑形成的填筑地基及其下卧原场地地基，填筑地基厚度大于20 m 时应定性为高填方地基。填方及填土地基的填筑土体是新近堆积土，属于欠固结土，其变形机理较为复杂，变形持续时间较长。在填方及填土场地采用桩基础时，桩周土体存在长期固结变形过程，特别是在浸水条件下可能会发生软化导致固结加快甚至发生很大的湿陷变形，导致基桩产生负摩阻力及下拉荷载，使桩身轴向压力增大并引发较大的附加沉降。因此，针对这类特殊土地基应根据工程重要性按较不利的浸水条件进行桩基设计，且桩端必须进入可靠持力层（压缩性较低的土层、砂砾层、卵石层、岩石层等），以保证桩基工程的安全。

**4.9 沉降计算**

**4.9.1～4.9.5** 桩基础的变形主要包括：沉降量、沉降差、整体倾斜和局部倾斜。对于设计等级为甲级和乙级的建筑物应进行沉降变形计算，桩基的最终沉降量计算方法宜采用现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94推荐的等效作用分层总和法。桩基沉降变形允许值则应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94的有关规定。

**4.9.6** 刚性桩复合地基的沉降变形由褥垫层压缩变形量、加固区复合土层压缩变形量及加固区下卧土层压缩变形量组成。计算刚性桩复合地基的沉降变形量时，作用于复合地基加固区下卧层顶面的附加压力宜采用等效实体法确定。根据工程实践经验，复合地基的沉降变形计算仍应采取以分层总和法为基础的计算方法，具体应按现行国家与行业标准《复合地基技术规范》GB/T 50783和《建筑地基处理技术规范》JGJ 79的有关规定执行。

**5 施 工**

**5.1 一般规定**

**5.1.3** 正式施工前，需要进行桩工钻机现场试成孔、试成桩试验，以确定桩工钻机、钻具以及施工工艺的适宜性。短螺旋挤扩钻具包括短螺旋封闭挤扩钻具和可调控挤土量的短螺旋挤扩钻具两大类。当桩孔设计深度范围内穿越或进入相关岩土层的标准贯入试验锤击数*N* ＞ 35 或静力触探试验锥尖阻力 *q*c ＞15MPa时，建议采用可调控挤土量的短螺旋挤扩钻具进行施工；对于N≤35的地层，宜采用短螺旋封闭挤扩钻具施工。

桩工钻机装备能力主要表现在输出扭矩、竖向钻压、整车重量及主桅杆高度等能否满足设计成桩直径和成孔深度的设计要求，并具备安全高效施工的能力。施工前的试成孔与试成桩试验，一般选择在工程桩范围之外进行试打。如果设计单位允许，或已有当地单桩静载试验资料和类似地层中的成桩经验，也可以直接在基桩桩位上进行试成桩施工。试成桩工作应详细记录成孔直径、成孔深度、相邻桩之间的影响，以及成孔扭矩、竖向钻压、钻掘速度、混凝土用量等施工工艺参数，试成桩结果可以用来指导施工工艺与施工参数选取，同时也可以指导后续的正式基桩施工。

近30年来，德国、意大利、法国、荷兰、英国、芬兰、日本及美国等国制造的桩工钻机装备都具有较高水平，特别在钻机的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，并逐步实现了短螺旋挤土灌注桩施工的自动化或半自动化。钻机的机载一体化数字信息采集与管理应用系统能够借助各类传感器，实时采集基桩施工过程中的各种数据，包括 GPS 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，以保证桩基施工品质。上述施工数据可以显示在驾驶舱内的计算机显示器上，并能够通过操作手查找信息、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，可以减少施工误差、提高功效、节省建筑材料、控制施工质量、提高短螺旋挤土灌注桩桩的承载力。利用第四代 IT 管理应用系统，还能够通过能量分析，在保证基桩设计承载力的前提下，确定每根短螺旋挤土灌注桩的合理施工长度。

未来，我国桩工钻机装备数字化采集、监测、控制、管理及应用系统后，通过桩基施工智能化管理，将能够大幅度提高桩基施工质量。

**5.2 施工准备**

**5.2.1** 施工准备工作的任务是收集项目施工所需要的设计、技术、设备和建材资料，统筹安排施工力量、桩工钻机和施工场地。施工前要完成地质条件、周边管线与建筑物、地下构筑物的勘察与测量工作。通过施工组织设计，制定完善的工程质量管理措施和质检要求，对人、机、料进行合理的安排与配置，并针对特殊气象条件制定专门的施工对应技术措施。

**5.2.2** 钻机装备与钻具应合理选用，特别要注重桩工钻机动力头最大输出扭矩、主桅杆高度、钻具类型。国内施工短螺旋挤土灌注桩的专用钻机装备提供的动力头输出扭矩有200kN·m、250kN·m、300kN·m、350kN·m和450kN·m五个级别，基本上能够满足国内成桩的施工需要。短螺旋挤扩钻具的选择则应符合本标准第5.3.2条规定。

**5.3 钻机钻具与施工方法**

**5.3.1** 常用短螺旋挤土灌注桩桩长为15m～26m，最大钻深为34m，桩径为400mm～800mm。施工钻机动力头输出扭矩为200kN·m～450kN·m，若采用大三角支撑桩工钻机施工，则桩工钻机主桅杆高度可达到30m～37m，钻机整机重量介于800kN～1200kN。为杜绝钻机倾覆事故，要求施工场地的平整度要好，地面坡度不宜大于3%，并要求钻机配置安全监控及预警系统。为了更好地控制短螺旋挤土灌注桩施工质量，促进高效施工，建议钻机配置数字化施工信息采集与管理应用系统，以利于施工参数精准执行、减小施工误差、缩短施工工期、节约建筑材料、保证基桩品质。

**5.3.2～5.3.5** 针对建筑场地岩土层的抗剪强度和可挤压性具有巨大差异，本标准提供了两套施工工艺工法，并阐述了与之配套的短螺旋挤扩钻具的基本特征。对于标准贯入试验锤击数*N* ＞ 35的坚硬、密实岩土层，且桩径较大的短螺旋挤土灌注桩应采用可调控挤土量的双向挤土施工方法。对于坚硬、密实甚至不可挤压的岩土层，大直径基桩施工需要动力头提供更大的扭矩，钻机动力头输出扭矩应能达到350kN·m～600kN·m。目前，国外用于短螺旋挤土灌注桩施工的桩工钻机最大输出扭矩已达到500kN·m。这类挤土桩施工的最大难点是在坚硬密实地层中的钻掘挤土成孔，因此，用于这类地层的施工钻具应采用可调控挤土量的短螺旋挤扩钻具。这种钻具拥有卓越的穿透能力和钻掘能力，在钻具钻掘挤土成孔过程中，由于封闭挤扩体设有过流通道，在钻掘阶段只有部分岩土体被钻具挤压入桩孔侧壁，而另一部分岩土体则经由过流通道进入钻具上部桩孔内，从而减小了钻孔阶段的挤土量，也降低了钻机的输出扭矩。钻具的螺旋钻进体设计目的是为了减少挤土量，并提升穿透力，采用这种方式解决了桩端坚硬持力层的嵌固深度以及密实夹层的钻掘挤土问题。利用大扭矩钻机，采用可调控挤土量的短螺旋挤扩钻具并配合双向挤土施工方法可以胜任大直径、中长短螺旋挤土灌注桩的高效施工。

**5.4 施工与质量控制**

**5.4.1～5.4.2** 短螺旋挤土灌注桩施工的多道工序需要相互配合、连续作业，因属于地下隐蔽工程施工，为保证桩基品质，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。本标准附录B给出了桩基施工质量的主控内容、控制要点、控制标准、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，建议采用控制性少量出土的施工工艺与技术。

I 成孔施工

**5.4.5** 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个工序，必须坚持严格的测量、复测、交接与验收程序，未经桩位点复测严禁钻机开钻，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护，且应按照程序进行严格的检查、交接、记录和验收。

**5.4.8～5.4.9** 短螺旋挤土灌注桩属于挤土桩，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

**5.4.12～ 5.4.13** 在短螺旋挤土灌注桩施工中，钻掘挤土成孔与桩身混凝土压灌是连续进行的关键工艺，必须按以下要点把控桩基的施工质量：

**1** 在钻掘成孔阶段，钻机对钻具施加顺时针方向扭矩和竖向钻压，短螺旋挤扩钻具下旋钻掘挤土成孔直至达到桩端设计标高；

**2** 钻具达到桩端设计标高后，钻具应保持顺时针方向旋转，钻具转速宜为10r/min～15r/min，并启动泵送混凝土，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维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，钻具提速要与桩孔直径、岩土层性质、混凝土泵送量相匹配，钻具芯管内维持至少2m高度的混凝土是实现有压灌注的最低要求。

**3** 在具有承压水或高水位的粉细砂地层中施工时，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2m/min～3m/min，桩径500mm时提钻速度宜取1.5m/min～2m/min, 桩径600mm时提钻速度宜取 1m/min～1.5m/min, 桩径700mm时提钻速度宜小于1m/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1m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，需要通过数字化施工信息采集与管理应用系统对混凝土的泵送数量与泵送压力进行全程监测和控制；

**4**  混凝土灌注前需检查泵送混凝土的塌落度，塌落度宜控制在180mm～220mm范围内。

III 钢筋笼制作与安装

**5.4.14** 后插钢筋笼施工工序应在桩身混凝土压灌结束后立即实施，其施工工艺措施包括以下几个步骤：

**1** 在钢筋笼搬运、吊装和沉放过程中，应采取措施防止钢筋笼弯曲、扭转变形；

**2** 钢筋笼沉放宜利用钻机副卷扬机和钢筋笼振动插筋器配合进行；

**3** 振动插筋装置可由低频率、大能量振动锤和传力导杆组成，传力导杆的直径和长度应根据钢筋笼的长度和直径确定，振动插放工艺应进行试验以保证钢筋笼能够顺利插放到设计深度；

**4** 沉放钢筋笼时，应将振动插筋装置的传力导杆穿入钢筋笼内一同下放，钢筋笼沉入桩身混凝土后先依靠自重下沉，当钢筋笼下沉缓慢或停顿时，启动振动锤通过传力导杆进行振动沉放，并随时监控钢筋笼顶部标高；

**5** 钢筋笼沉放就位后，应立即按设计标高固定钢筋笼；

**6** 在钢筋笼沉放工作结束后，宜使用振动棒对桩身顶部混凝土进行密实振捣。

**6 质量检验和验收**

**6.1 一般规定**

**6.1.1~6.1.3** 应根据现行国家与行业标准《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的有关规定对基桩承载力和桩身完整性进行检验。桩身质量好坏直接影响基桩承载力，通过桩身质量抽样检测，可以发现基桩安全隐患，并为基桩承载力的判定提供参考依据。对于刚性桩复合地基的工程检验宜包括基桩桩身完整性、基桩承载力、挤密后的桩间土地基承载力和复合地基承载力。

 为保证质量检验和验收结果的可靠性与公正性，基桩的桩身质量检测、承载力静载试验，以及复合地基承载力静载荷试验均应在达到28d养护龄期后进行。

**6.2 施工前检验**

**6.2.1** 施工前检验应包括钻机与钻具的性能和尺寸检查，桩位复测，混凝土拌制质量检验。

**6.3 施工中检验**

**6.3.1**施工中的检验是决定桩基或复合地基品质的关键环节，因为影响基桩承载力和桩身质量的不利因素往往产生于基桩施工过程中。特别当基桩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，都可能导致产生工程桩质量隐患，因此，加强施工过程中的质量控制管理和检验至关重要。

**6.4 施工后检验**

**6.4.1～6.4.4**桩基工程或刚性桩复合地基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测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、检测数量必须符合现行国家与行业标准《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》JGJ 340、《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。

**6.5 工程验收**

**6.5.1～6.5.2** 工程验收必须符合现行国家标准的有关规定，同时符合本节第6.5.2条规定，提供完整真实的全套工程验收资料。