

T/GEDA

团 体 标 准

T/GEDA XXX-2024

长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩技术规程

Technical specification for long spiral drilling high pressure jet grouting belled 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，标准编制组经广泛调查研究，总结近年来广西长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩的经验，结合工程实践，参考区内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，编制了本规程。

本规程共分7章和4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、质量检验等。

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。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

中聿博成设计（集团）有限公司

梧州市建筑设计院

核工业柳州工程勘察院

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

广西大汉岩土工程有限责任公司

中化（广西）地质勘查有限公司

南宁市勘测设计院集团有限公司

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：廖可超 蒋仕清 汤湘军 付道领 覃燕娜 莫东 贺行良 姜大伟

杨振宇 乌青松 崔宇 陈宇棠 冯建东 曹魏 张家文 周松

张信贵 陈宇柱 梁清潭 左述明 王洋 马旭山 甘永荫 秦健华

殴文 欧健 王树庭 石科 苏弦 黄剑军 杨存 唐合岗

秦群 卢超玉 曾为峰 韦柳梅 严利娥 陆敏 陈冬发 陈俊任

邹瑜 韦炳思 袁桂波 吴连泽 邓冠民 吴新华 闫林芳 刘海光

汤辉

主要审查人：

目 次

1 总 则	- 4 -
2 术语和符号	- 4 -
2.1 术 语	- 4 -
2.2 符 号	- 5 -
3 基本规定	- 8 -
4 勘 察	- 10 -
5 设 计	- 11 -
5.1 一般规定	- 11 -
5.2 单桩竖向抗压承载力确定	- 14 -
5.3 单桩竖向抗拔承载力验算	- 19 -
5.4 单桩水平承载力计算	- 21 -
5.5 桩基沉降计算	- 21 -
5.6 复合地基	- 22 -
6 施 工	- 26 -
6.1 一般规定	- 26 -
6.2 施工机具	- 27 -
6.3 施工作业	- 27 -
6.4 施工安全和环境保护	- 29 -
7 质量检验	- 30 -
7.1 一般规定	- 30 -
7.2 施工前检验	- 30 -
7.3 施工中检验	- 31 -
7.4 施工后检验	- 32 -
7.5 质量验收	- 33 -
附录 A 常用机械设备主要技术参数	- 34 -
附录 B 水泥浆、水泥用量估算表	- 35 -
附录 C 施工记录表	- 37 -
附录 D 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩施工工艺流程图	- 38 -
用词说明	- 39 -
引用标准名录	- 40 -
条文说明	- 40 -

Contents

1	General provisions.....	- 4 -
2	Terms and symbols.....	- 4 -
2.1	Terms.....	- 4 -
2.2	Symbols.....	- 5 -
3	Basic requirements.....	- 8 -
4	Survey.....	- 10 -
5	Design.....	- 11 -
5.1	General requirements.....	- 11 -
5.2	Determination of vertical compressive bearing capacity of single pile.....	- 14 -
5.3	Checking calculation of vertical uplift bearing capacity of single pile.....	- 19 -
5.4	Calculation of horizontal bearing capacity of single pile.....	- 21 -
5.5	Checking calculation of bearing capacity of pile body.....	- 21 -
5.6	Composite foundation.....	- 22 -
6	Construction.....	- 26 -
6.1	General requirements.....	- 26 -
6.2	Construction equipments.....	- 27 -
6.3	Construction operations.....	- 27 -
6.4	Construction safety and environmental protection.....	- 29 -
7	Inspection of quality	- 30 -
7.1	General requirements.....	- 30 -
7.2	Inspection before construction.....	- 30 -
7.3	Inspection during construction.....	- 31 -
7.4	Inspection after construction.....	- 32 -
7.5	Quality acceptance.....	- 33 -
Appendix A	Main technical parameters of common mechanical equipment.....	- 34 -
Appendix B	Dosage estimation list of cement paste and cement.....	- 35 -
Appendix C	Construction record sheet.....	- 37 -
Appendix D	Flow diagram of construction process of the long spiral drilling high pressure jet grouting belled pile.....	- 38 -
	Explanation of wording in this code.....	- 39 -
	List of quoted standards.....	- 40 -
	Addition: explanation of provisions.....	- 40 -

1 总 则

1.0.1 为规范长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩的技术要求，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长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩的勘察、设计、施工和质量检验。

1.0.3 长螺旋钻孔高压旋喷扩底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 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩的勘察、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 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩 Long spiral drilling high pressure jet grouting belled pile

采用长螺旋多功能钻机成孔钻至设计深度，通过设置在钻头底部的喷嘴向孔侧或孔侧和孔底同时高压喷射水泥浆，旋喷切割、软化破坏孔壁周围及孔底的岩土层，形成桩端具有一定高度的扩大头空腔，然后通过长螺旋中空钻具自钻杆底部向孔内连续压灌制备好的流态混凝土，边压灌流态混凝土边提升钻具，灌至桩顶标高后，形成的混凝土桩体。

2.1.2 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩竖向增强体 Long spiral drilling high pressure jet grouting pile vertical reinforcement

采用长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩施工工艺形成的素混凝土桩体，作为地基处理竖向增强体使用的刚性桩体。

2.1.3 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩桩基础 Long spiral drilling high pressure jet grouting belled pile foundation

长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩施工工艺形成的混凝土桩体在混凝土初凝前，采用后插钢筋笼的做法，沉入制备好的钢筋笼，形成的钢筋混凝土桩体，作为桩基础使用。

2.1.4 长螺旋多功能钻机 Long spiral multi-function drill

集钻孔、高压喷射、钻具中心压灌及吊放钢筋笼等多种功能于一体的自动化钻机。

2.1.5 流态混凝土 Fluid concrete

由水泥、粉煤灰、粗骨料（粒径5mm~20mm）、细骨料、外加剂和水拌合的坍落度为180mm~220mm的流动性混凝土。

2.1.6 扩径体 Expanding body

在桩端一定高度范围内采用高压喷射切割、软化土体得到的空腔，经压灌混凝土后，形成的扩大混凝土柱状体。

2.1.7 扩径体变径角度 Variable diameter angle of the expanding body

桩端扩径柱体母线与竖向直线间的夹角。

2.1.8 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩复合地基 Long spiral drilling high pressure jet grouting expanding bottom pile composite foundation

以长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩作为竖向增强体与地基土共同承担荷载的人工地基。

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_i*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_1 ——扩径体上部桩身截面面积;

A_2 ——扩径体下部桩身截面面积;

A_s' ——纵向受力钢筋截面面积;

D ——扩径体直径;

d ——基础埋置深度;

d_1 ——桩身直径;

h ——扩径体高度;

l ——桩身长度;

m ——按扩径体上部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 ——长螺旋钻孔高压旋喷扩底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;

θ ——扩径体变径角度;

u ——桩身周长;

u_i ——桩身破坏表面周长;

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 ——长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩端阻力提高系数;

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;

ζ_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；

Ψ_{si} —— 扩底直径 $\geq 800\text{mm}$ 时的侧阻力尺寸效应系数；

Ψ_p —— 复合地基沉降计算经验系数。

3 基本规定

3.0.1 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩适用于自重固结已完成的素填土，黏性土，红黏土，粉土，砂土，细粒碎石土，膨胀土，广西新近系、古近系全风化软质半成岩等岩土层；对含碎（块）石填土，粗粒碎石土，广西新近系、古近系强～中风化软质半成岩地层，应通过试验确定适用性。

3.0.2 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩可用做桩基础的基桩和复合地基的竖向增强体。

3.0.3 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩的扩径体应设置在桩端底部。

3.0.4 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩的持力层宜设置在承载力较高、层位稳定且适合高压喷射切割的地层。

3.0.5 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩作为竖向抗压桩使用时，扩径体及桩端持力层应符合下列规定：

1 桩端持力层应采用承载力相对较高、层位稳定的岩土层；

2 扩径体宜设置在持力层的上部，扩径体下端与桩端齐平；

3 桩端以下持力层厚度不应小于 $1.0D$ （ D 为扩径体直径），当有软弱下卧层时不应小于 $1.5D$ ；

4 桩端全断面进入持力层的深度：持力层为黏性土、粉土时不宜小于 $2.0d_1$ （ d_1 为桩身直径）；持力层为砂土、细粒碎石土、全～强风化软质岩层时不宜小于 $1.5d_1$ 。

3.0.6 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩作为抗拔桩使用时应符合下列规定：

1 扩径体上端面以上低压缩性土层厚度不宜小于 $1.5D$ ；

2 扩径体不宜设置在软弱土层中，扩径体上端面进入上部低压缩性土层深度不宜小于 $1.2m$ 。

3.0.7 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩作为桩基础时，其桩中心距不应小于 $3.0d_1$ ，且桩的中心距不应小于 $1.5D$ 。

3.0.8 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩作为地基处理竖向增强体时，其桩心距不应小于 $2.0d_1$ ，且不应小于 $1.0D$ 。

3.0.9 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。

3.0.10 当采用以减小差异沉降和承台内力为目的的变刚度调平设计时，可增加扩径体的高度。

3.0.11 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。

3.0.12 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩应采用高压旋喷切割扩底后中心压灌法施工，常用施工设备主要技术参数应符合本规程附录A 的规定。

3.0.13 采用长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩的工程，施工前宜通过成桩工艺性试验确定桩的施工参数。

4 勘 察

4.0.1 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、地下构筑物和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。

4.0.2 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩作为桩基础时，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》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 勘探深度应满足稳定性和沉降计算深度的要求。

4.0.3 长螺旋钻孔高压旋喷扩底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》DBJ / T 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3.2.2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。

4.0.4 岩土工程勘察报告有关长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩技术选用的评价应包括下列内容：

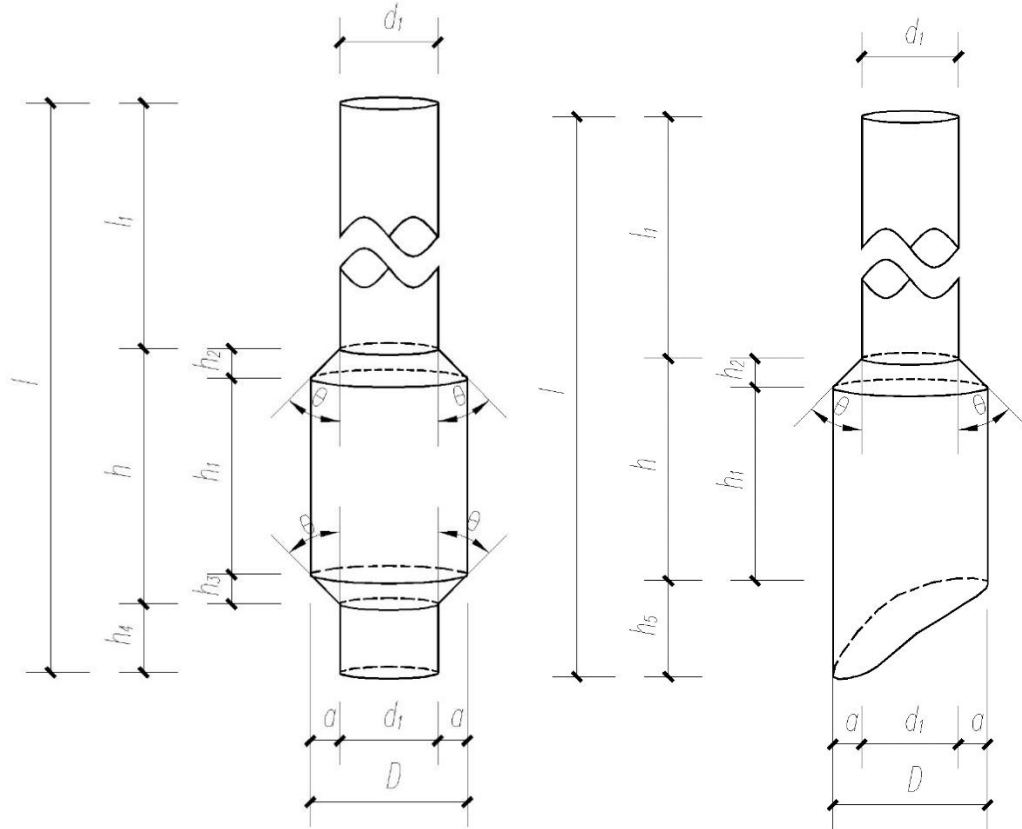
- 1 拟建场地所在地区的地震效应、地基土液化、湿陷性、膨胀性以及泥岩砂岩软化性评价；
- 2 提供场地地下水的类型、埋藏条件及年变化幅度等水文地质条件，判定地下水对建筑材料的腐蚀性，评价地下水对桩基、复合地基设计和施工的影响；
- 3 对长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩技术可行性进行定性分析、评价，并对成桩过程中的施工风险及对周围环境等造成的不良影响进行分析、评价；
- 4 根据勘察成果，结合当地经验和既有工程资料，提出长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩工艺选择建议及相关技术设计参数。

4.0.5 当已有勘察资料不能满足长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩设计和施工要求、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 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩构造和设计参数应符合图 5.1.1、表5.1.5的规定。



(a) 桩端持力层为土层或软质岩

(b) 桩端持力层为硬质岩

图5.1.1 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩构造

注： d_1 —桩身直径； D —扩径体直径； l —桩身长度； l_1 —扩径体上部桩身长度； h —扩径体高度； h_1 —扩径体直段长度； h_2 —扩径体上变截面高度； h_3 —扩径体下变截面高度； h_4 —桩根长度； h_5 —桩端喷射置换长度； a —扩径体扩出尺寸； θ —扩径体变径角度

5.1.2 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩桩身直径宜选用400mm、500mm、600mm、700mm、800mm、1000mm及1200mm。扩底尺寸应根据地质条件、设计需要等综合考虑，按地方经验选取。扩底直径可比桩身直径增大200mm~600mm，扩大端高度 h 应不小于 $2.0d_1$ 且不小于1.0m，扩径体变径角度 θ 宜为 $30^\circ \sim 45^\circ$ 。

5.1.3 当桩端持力层为土层、软质半成岩等桩端可全截面进入持力层时，宜选用侧喷扩底工艺，其构造见图5.1.1 (a)。

5.1.4 当桩端持力层为硬质基岩等桩端不能全截面进入持力层时，宜选用侧喷与30°底喷相结合的扩底工艺，其构造见图5.1.1（b）。

5.1.5 常用的扩底尺寸与工艺参数的选定见表 5.1.5。

表5.1.5 常用的扩底尺寸与工艺参数对照表

岩土类别	岩土体状态	扩底桩每边 扩大尺寸	高压喷射 钻具转数	提升（下沉） 速率	旋喷压 力	喷嘴直径
		<i>a</i>				
		<i>mm</i>	<i>r/min</i>	<i>cm/min</i>	<i>MPa</i>	<i>mm</i>
自重固结已完 成的素填土	松散	200~250	15~30	45~60 (复喷一次)	20.0	3.0~5.0
	稍密	150~250				
	中密	100~200				
黏性土 (红黏土)	$0.50 < I_L \leq 0.75$	150~250	15~30	35~50 (复喷一次)	30.0	2.0~3.0
	$0.25 < I_L \leq 0.50$	150~200				
	$0.00 < I_L \leq 0.25$	100~150				
粉土	$e > 0.90$	200~300	15~30	40~60 (复喷一次)	25.0	2.5~4.0
	$0.75 \leq e \leq 0.90$	150~250				
	$e < 0.75$	100~200				
砂土	$N \leq 10$	200~300	15~30	40~60 (复喷一次)	25.0	2.5~4.0
	$10 < N \leq 15$	150~250				
	$15 < N \leq 30$	150~200				
	$N > 30$	100~200				
砾砂	$5 < N_{63.5} \leq 15$	100~200	15~30	35~50 (复喷一次)	30.0	3.0~5.0
	$15 < N_{63.5}$	100~150				
细粒碎石土	$N_{63.5} \leq 5$	150~250	15~30	30~50 (复喷一次)	30.0	3.0~5.0
	$5 < N_{63.5} \leq 10$	150~200				
	$10 < N_{63.5} \leq 20$	100~150				
全风化软质岩	$30 < N \leq 50$	100~150	15~30	30~40 (复喷一次)	30.0	2.0~2.5
全风化硬质岩	$30 < N \leq 50$	80~120	15~30	30~35 (复喷一次)	30.0	1.8~2.0
广西新近系、 古近系软质半 成岩	全风化 ($N \leq 30$)	100~150	15~30	30~40 (复喷一次)	30.0	2.0~2.5
	强风化 ($30 < N \leq 50$)	80~120	15~30	30~35 (复喷一次)	30.0	1.8~2.0

注：1 I_L 为液性指数平均值； e 为天然孔隙比平均值； N 为标准贯入试验锤击数标准值； $N_{63.5}$ 为重型动力触探试验锤击数标准值。

2 细粒碎石土指的是卵石、碎石、圆砾、角砾，不包含漂石、块石。

5.1.6 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩的高压旋喷宜采用强度等级不低于32.5的硅酸盐水泥，水灰比可根据工程经验取0.7~1.5，宜为1.0；水泥浆及水泥用量估算值宜按本规程附录B 确定。

5.1.7 当长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩设置成桩基础时，其正截面配筋率可取0.65%~0.2%（小直径桩取高值）。

5.1.8 当长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩设置成桩基础时，桩身配筋长度应符合以下规定：

1 受水平荷载和弯矩较大的桩，配筋长度应通过计算确定；

2 桩基承台下存在淤泥、淤泥质土或液化土层时，桩身纵向配筋长度应穿过淤泥、淤泥质土层或液化土层；

3 坡地岸边的桩、8度及8度以上抗震设防区的桩、抗拔桩、端承桩应等截面或变截面通长配筋；

4 桩径大于600mm的摩擦型桩，桩身纵向配筋长度不应小于2/3桩长。

5 当单桩端阻力不小于设计单桩竖向抗压承载力的50%时，桩身应通长配筋；

6 当单桩端阻力小于设计单桩竖向抗压承载力的50%时，桩身纵向配筋长度不应小于2/3桩长。

7 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。

5.1.9 对于受水平荷载的桩，主筋不应小于8Φ12；对于抗压桩和抗拔桩，主筋不应小于6Φ10。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。

5.1.10 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。

5.1.11 箍筋应采用螺旋式，直径宜为6mm~8mm，间距宜为200mm~300mm，并应在钢筋笼内侧每隔1.5m~2.0m设一道Φ10~Φ14的加强筋。受水平荷载较大的桩基、承受水平地震作用的桩基以及考虑主筋作用计算桩身受压承载力时，桩顶以下5d₁范围内的箍筋应加密，间距不应大于100mm。

5.1.12 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。

5.1.13 桩身混凝土强度等级可按设计需要选定。作为桩基础时，宜采用C25~C40；作为地基处理竖向增强体时，宜采用C15~C25。

5.1.14 主筋的混凝土保护层厚度不得小于50mm。基桩结构的耐久性应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定。

5.1.15 当桩端以下存在软弱下卧层时，应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定验算软弱下卧层的承载力。

5.1.16 采用长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩的建筑物应进行沉降变形观测，观测范围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。

5.2 单桩竖向抗压承载力确定

5.2.1 长螺旋钻孔高压旋喷扩底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《建筑桩基检测技术规范》JGJ 106 的有关规定。

5.2.2 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

$$N_k = \frac{F_k + G_k}{n} \quad (5.2.2-1)$$

2) 偏心竖向力作用下

$$N_{ik} = \frac{F_k + G_k}{n} \pm \frac{M_{xk} y_i}{\sum y_j^2} \pm \frac{M_{yk} x_i}{\sum x_j^2} \quad (5.2.2-2)$$

2 水平力

$$H_{ik} = \frac{H_k}{n} \quad (5.2.2-3)$$

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_i 、 y_j ——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。

5.2.3 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩作为桩基础时，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。

5.2.4 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

$$N_k \leq R_d \quad (5.2.4-1)$$

2) 偏心竖向力作用下, 除应满足式(4.2.4-1)外, 尚应满足下式的要求:

$$\leq 1.2R_a \quad (5.2.4-2)$$

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

$$N_{Ek} \leq 1.25R_a \quad (5.2.4-3)$$

2) 偏心竖向力作用下, 除应满足式(4.2.4-3)外, 尚应满足下式的要求:

$$N_{Ekmax} \leq 1.5R_a \quad (5.2.4-4)$$

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_a ——基桩或复合基桩竖向承载力特征值。

5.2.5 单桩竖向承载力特征值 R_a 应按下列公式确定:

$$R_a = \frac{1}{K} Q_{uk} \quad (5.2.5)$$

式中 Q_{uk} ——单桩竖向极限承载力标准值;
 K ——安全系数, 取 $K=2$ 。

5.2.6 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, 应通过单桩静载试验确定;
- 2 设计等级为乙级的建筑桩基, 当地质条件简单时, 可参照地质条件相同的试桩资料, 结合原位测试和经验参数综合确定; 其余均应通过单桩静载试验确定;
- 3 设计等级为丙级的建筑桩基, 可根据原位测试和经验参数确定;
- 4 初步设计时, 单桩竖向极限承载力标准值可按下列公式估算:

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{pk} = u \sum \psi_{si} q_{sik} l_{li} + \psi_p \beta_p q_{pk} \frac{\pi}{4} D^2 \quad (5.2.6)$$

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 ——扩径体以上的桩身周长 (m);
 q_{sik} ——桩侧第 i 层土的极限侧阻力标准值, 由《岩土工程勘察报告》提供, 无当地经验时, 可按本规程表 5.2.6-3 取值 (kPa);
 l_{li} ——扩径体以上桩周第 i 层土的厚度 (m);
 q_{pk} ——极限端阻力标准值, 由《岩土工程勘察报告》提供, 无当地经验时, 可按本规程表 5.2.6-4 取值 (kPa);
 D ——高压旋喷扩底后扩径体直径 (m);
 ψ_{si} ——扩底直径 ≥ 800 mm 时的侧阻力尺寸效应系数, 可按表 5.2.6-2 取值;

Ψ_p ——扩底直径 $\geq 800\text{mm}$ 时的端阻力尺寸效应系数，可按表 5.2.6-2 取值；

β_p ——桩端阻力提高系数，可按表 5.2.6-1 取值。

表5.2.6-1 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩桩端阻力提高系数 β_p

提高系数		岩土层名称	自重固结已完成的素填土、淤泥、淤泥质土	黏性土、红黏土	粉土、粉砂、	细砂、中砂	粗砂、砾砂	细粒碎石土	全风化软质岩
β_p	侧喷			1.1~1.2	1.1~1.5			1.05~1.1	
	侧喷+底喷			1.3~1.4	1.5~2.0			1.2~1.3	

注：当扩径体底面距离桩顶小于15m时 β_p 取大值，当扩径体底面距离桩顶大于25m时 β_p 取小值，中间值可采用内插法取值。

表5.2.6-2 扩底直径 $\geq 800\text{mm}$ 时的侧阻力尺寸效应系数 Ψ_{si} 、端阻力尺寸效应系数 Ψ_p

岩土层类型	黏性土、粉土	砂土、碎石类土
Ψ_{si}	$\left(\frac{0.8}{d_1}\right)^{1/5}$	$\left(\frac{0.8}{d_1}\right)^{1/3}$
Ψ_p	$\left(\frac{0.8}{D}\right)^{1/4}$	$\left(\frac{0.8}{D}\right)^{1/3}$

表 5.2.6-3 桩的极限侧阻力标准值 q_{sik} (kPa)

岩土层名称	岩土层状态		长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩
填土	—		20~30
淤泥	—		12~20
淤泥质土	—		20~30
黏性土	流塑	$I_L > 1.00$	15~30
	软塑	$0.75 < I_L \leq 1$	40~55
	可塑	$0.50 < I_L \leq 0.75$	55~70
	硬可塑	$0.25 < I_L \leq 0.50$	70~85
	硬塑	$0.00 < I_L \leq 0.25$	85~95
	坚硬	$I_L \leq 0.00$	95~105
红黏土	$0.7 < \alpha_w \leq 1.0$		15~30
	$0.5 < \alpha_w \leq 0.7$		30~70

续表 5.2.6-3

岩土层名称	岩土层状态		长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩
	稍密	$e > 0.9$	
粉土	中密	$0.75 < e \leq 0.9$	25~45
	密实	$e < 0.75$	45~65
			65~85
粉细砂	稍密	$10 < N \leq 15$	25~45
	中密	$15 < N \leq 30$	45~65
	密实	$N > 30$	65~85
中砂	稍密	$10 < N \leq 15$	30~55
	中密	$15 < N \leq 30$	55~75
	密实	$N > 30$	75~95
粗砂	稍密	$10 < N \leq 15$	40~75
	中密	$15 < N \leq 30$	75~100
	密实	$N > 30$	100~120
砾砂	稍密	$10 < N \leq 15$	60~100
	中密	$15 < N \leq 30$	100~115
	密实	$N > 30$	115~130
角砾、角砾	中密、密实	$N_{63.5} > 10$	135~150
碎石、卵石	中密、密实	$N_{63.5} > 10$	140~170
全风化软质岩	—	$30 < N \leq 50$	80~110
全风化硬质岩	—	$30 < N \leq 50$	120~160
广西新近系、古近系泥质半成岩	全风化	$N < 30$	40~80
	强风化	$30 < N \leq 50$	70~120

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； $N_{63.5}$ 为重型动力触探试验锤击数标准值；

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

表5.2.6-4 桩的极限端阻力标准值 q_{pk} (kPa)

岩土层名称	岩土层状态		长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩 (m)		
			$6 \leq l < 10$	$10 \leq l < 15$	$l > 15$
黏性土	软塑	$0.75 < I_L \leq 1$	200~400	400~700	700~950
	可塑	$0.50 < I_L \leq 0.75$	500~700	800~1100	1000~1600
	硬可塑	$0.25 < I_L \leq 0.50$	800~1100	1500~1700	1700~1900
	硬塑	$0.00 < I_L \leq 0.25$	1600~1800	2200~2400	2600~2800
	坚硬	$I_L \leq 0.00$	2200~2400	2600~2800	3000~3400
红黏土	$0.7 < a_w \leq 1.0$		200~1000	400~1400	700~1800
	$0.5 < a_w \leq 0.7$		1200~1600	1500~2000	1800~2400
粉土	中密	$0.75 < e \leq 0.90$	800~1200	1200~1400	1400~1600
	密实	$e < 0.75$	1200~1700	1400~1900	1600~2100
粉砂	稍密	$10 < N \leq 15$	500~950	1300~1600	1500~1700
	中密、密实	$N > 15$	900~1000	1700~1900	1700~1900
细砂	中密、密实	$N > 15$	1200~1600	2000~2400	2400~2700
中砂		$N > 15$	1800~2400	2800~3800	3600~4400
粗砂		$N > 15$	2900~3600	4000~4600	4600~5200
砾砂		$N > 15$	3500~5000		
角砾、角砾		$N_{63.5} > 10$	4000~5500		
碎石、卵石		$N_{63.5} > 10$	4500~6500		
全风化软质岩	—	$30 < N \leq 50$	1200~2000		
全风化硬质岩	—	$30 < N \leq 50$	1400~2400		
广西新近系、古近系泥质半成岩	全风化	$N < 30$	600~1300		
	强风化	$30 < N \leq 50$	1300~2600		

注：1 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；

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

5.2.7 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩的钢筋混凝土轴心受压桩正截面受压承载力应符合下列规定：

1 当桩顶以下 $5d_l$ 范围的桩身螺旋式箍筋间距不大于100mm,且符合本规程第5.1.4条、5.1.5条规定时,应满足下式要求:

$$N \leq \psi_c f_c A_a + 0.9 f'_y A'_s \quad (5.2.7-1)$$

2 当桩顶以下 $5d_l$ 范围的桩身螺旋式箍筋间距大于100mm或不符本规程第5.1.4条、5.1.5条规定时,应满足下式要求:

$$N \leq \psi_c f_c A_1 \quad (5.2.7-2)$$

式中 N ——相应于作用的基本组合时,作用于桩顶的竖向力设计值(kN);

f_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[2015年版]》GB 50010取值;

A_1 ——桩身截面面积(m^2);

ψ_c ——基桩成桩工艺系数,取0.85;

f'_y ——纵向受力钢筋抗压强度设计值(kPa);

A'_s ——纵向受力钢筋截面面积(m^2)。

5.2.8 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)》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。

5.3 单桩竖向抗拔承载力验算

5.3.1 承受上拔力的长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩,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:

$$N_k \leq \frac{1}{2} T_{uk} + G_p \quad (5.3.1-1)$$

2 群桩呈整体破坏时,应满足下式要求:

$$N_k \leq \frac{1}{2} T_{gk} + G_{gp} \quad (5.3.1-2)$$

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(5.3.2-1)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(5.3.2-1)确定;

G_p ——基桩自重及其扩径体以上部分土体自重标准值(kN),计算地下水位以下部分的基桩自重时应扣除水浮力;基桩及扩径体以上部分土体周长和长度,按本规程5.3.2条第2款规定确定;

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;群桩及其所包围的土体周长

和长度，按本规程 5.3.2 条第 2 款规定确定。

5.3.2 长螺旋钻孔高压旋喷扩底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：

$$T_{uk} = \sum \lambda_i q_{sik} u_i l_i \beta_{si} \quad (5.3.2-1)$$

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 5.2.6-3 取值；

u_i ——桩身破坏表面周长（m），按表 5.3.2-1 取值；扩径体长度及上端面以上 $\zeta_i D$ 长度范围，按扩径体直径 D 计算周长，其余部分按扩径体上部桩身直径计算； ζ_i 为等效抗拔长度系数，按表 5.3.2-2 确定；

l_i ——桩周第 i 土层的厚度（m）；

λ_i ——抗拔系数，按表 5.3.2-3 取值；

β_{si} ——长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩侧阻力提高系数，按本规程表表 5.2.6-1 取值， $\zeta_i D$ 长度范围内取 1.0。

表5.3.2-1 桩身破坏表面周长 u_i

自扩径体上端面起算的长度范围 $\zeta_i D$	扩径体长度范围 h	其余桩身长度范围
πD	πD	πd_i

表5.3.2-2 等效抗拔长度系数 ζ_i

扩径体以上土的类型	黏性土（红黏土）、粉土	砂土		细粒碎石土	全风化软质岩
		松散、稍密	中密、密实	角砾、圆砾、碎石、卵石	
ζ_i	4~5	5~6	6~8	7~9	7~10

注：1 当扩径体上端面距地面的距离小于表中的 $\zeta_i D$ 时，按实际距离计算长度 l_i ；

2 当扩径体以上 $\zeta_i D$ 范围内存在不同土层时，可根据扩径体以上各层土的类型综合确定系数 ζ_i 。

3 土体的强度高时 ζ_i 取大值，土体强度低时 ζ_i 取小值。

表 5.3.2-3 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：

$$T_{gk} = \frac{1}{n} u_{gk} \sum \lambda_i q_{sik} l_i \beta_{si} \quad (5.3.2-2)$$

式中 u_{gk} ——群桩外围周长 (m)，按表 5.3.2-1 分段计算；

n ——群桩基础中的桩数；

β_{si} ——长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩侧阻力提高系数，按本规程表表 5.2.6-1 取值， $\xi_i D$ 长度范围内取 1.0，其余长度范围取 1.1。

5.4 单桩水平承载力计算

5.4.1 对于受水平荷载较大的设计等级为甲级和乙级桩基础，长螺旋钻孔高压旋喷扩底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。

5.4.2 单桩的水平承载力特征值的确定应符合下列规定：

1 对于桩身正截面配筋率不小于 0.65% 的灌注桩，可根据静载试验结果取地面处水平位移为 10mm (对于水平位移敏感建筑物取水平位移 6mm) 所对应的荷载的 75% 为单桩水平承载力特征值；

2 对于桩身配筋率小于 0.65% 的灌注桩，可取单桩水平静载试验的临界荷载的 75% 为单桩水平承载力特征值。

5.4.3 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩可按扩径体上部桩身直径的灌注桩进行水平承载力与位移计算，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。

5.5 桩基沉降计算

5.5.1 长螺旋钻孔高压旋喷扩底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。

5.5.2 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。

5.5.3 长螺旋钻孔高压旋喷扩底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。

5.5.4 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩桩基最终沉降量宜按下式计算：

$$s = \psi_B s_z \quad (5.5.2)$$

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，扩径体持力层为砂土时取低值，扩径体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。

5.5.5 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。

5.6 复合地基

5.6.1 长螺旋钻孔高压旋喷扩底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，并应符合本规程第 3 章的规定。

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

5.6.3 复合地基增强体桩扩径体上部桩身长度不应小于 2m。

5.6.4 复合地基增强体桩中心距宜为 3.0~5.0 d_l ，且不应小于1.5 D 。

5.6.5 复合地基增强体桩顶应设置褥垫层，褥垫层的厚度宜为0.4~0.6 d_l ；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。

5.6.6 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。

5.6.7 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，可按式(5.6.7)估算：

$$f_{spk} = \lambda m \frac{R_a}{A_1} + \beta(1 - m)f_{sk} \quad (5.6.7)$$

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 0.8~1.0；

R_a ——复合地基增强体单桩竖向抗压承载力特征值 (kN)，按本规程公式(5.2.5)、公式(5.2.6)计算；

A_1 ——扩径体上部桩身截面面积 (m²)；

m ——按扩径体上部桩身截面面积计算的面积置换率，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 0.9~1.0。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。

5.6.8 桩身混凝土强度的计算应符合下列规定：

长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩桩身混凝土强度应符合公式(5.6.8-1)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(4.6.8-2)的规定：

$$f_{cu} \geq 4 \frac{\lambda R_a}{A_1} \quad (5.6.8-1)$$

$$f_{cu} \geq 4 \frac{\lambda R_a}{A_1} \left[1 + \frac{\gamma_m(d - 0.5)}{f_{spa}} \right] \quad (5.6.8-2)$$

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/m³)，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)，按本规程公式(5.2.5)、公式(5.2.6)计算；

A_1 ——扩径体上部桩身截面面积 (m²)；

f_{spa} ——深度修正后的复合地基承载力特征值 (kPa)。

5.6.9 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：

$$E_{spi} = E_{si} \cdot \zeta \quad (5.6.9-1)$$

$$\zeta = \frac{f_{spk}}{f_{ak}} \quad (5.6.9-2)$$

- 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：

$$s = s_1 + s_2 = \psi_s \left[\lambda \sum_{i=1}^n \frac{p_0}{E_{spi}} (z_i \bar{\alpha}_i - z_{i-1} \bar{\alpha}_{i-1}) + \sum_{j=1}^m \frac{p_0}{E_{sj}} (z_j \bar{\alpha}_j - z_{j-1} \bar{\alpha}_{j-1}) \right] \quad (5.6.9-3)$$

- 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 5.6.9 的数值。

表5.6.9 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：

$$\bar{E}_s = \frac{\sum_{i=1}^n A_i + \sum_{j=1}^m A_j}{\sum_{i=1}^n \frac{A_i}{E_{spi}} + \sum_{j=1}^m \frac{A_j}{E_{sj}}} \quad (5.6.9-4)$$

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 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩施工前应具备下列资料：

- 1 岩土工程勘察报告；
- 2 桩基或复合地基工程施工图及图纸会审纪要；
- 3 建筑场地和邻近区域内的地下管线、地下构筑物、房屋等 的调查资料；
- 4 桩基或复合地基工程的施工方案、安全技术交底资料；
- 5 主要施工机械及其配套设备的技术性能资料；
- 6 水泥、钢筋、混凝土等材料的质量证明文件；
- 7 有关类似地质条件及本工程现场施工工艺参数的试验调查资料。

6.1.2 施工组织设计（方案）主要包括以下内容：

- 1 施工现场平面布置图；
- 2 主要施工工艺、方法；
- 3 设计要求及技术要求；
- 4 施工进度计划和劳动力组织计划；
- 5 机械设备、 备（配）件需用计划及原材料供应计划；
- 6 安全、劳动保护、防火、防雨和环境保护等内容；
- 7 保证工程质量、 安全生产和季节性（冬、雨期）施工的技术措施。

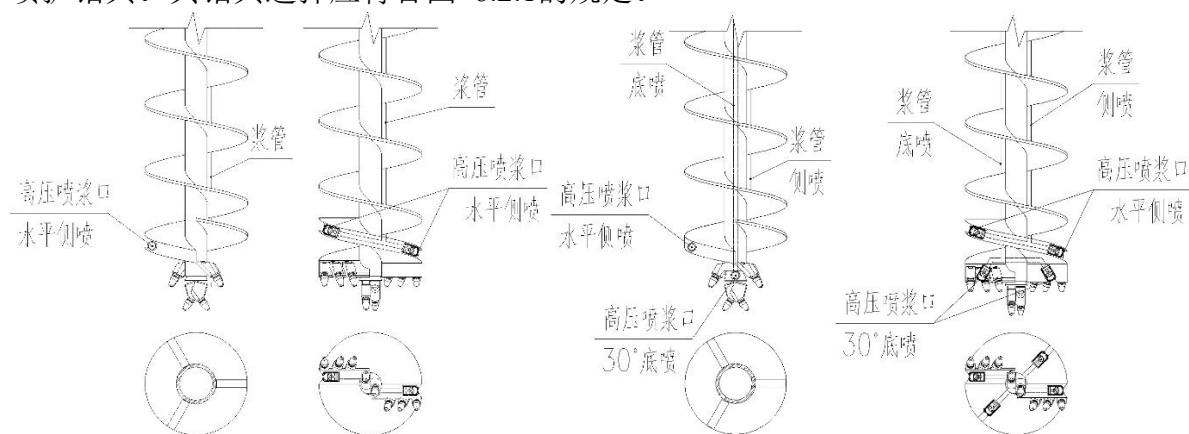
6.1.3 开工前，施工现场应达到“三通一平”，桩基施工用的供水、供电、道路、排水、临时房屋等临时设施应在开工前准备就绪，施工场地应进行平整处理。

6.1.4 桩轴线的控制点和水准点应设在不受施工影响的位置，开工前经复核后应妥善保护，施工中应检查复测。

6.1.5 桩施工前宜进行成孔、扩孔、成桩工艺性试验，核对地质资料、设计参数、工艺参数以及技术要求，并应按本规程附录C 的格式做好记录，编写试成孔、成桩总结报告。

6.2 施工机具

6.2.1 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩宜采用长螺旋多功能钻机进行施工，钻机的选型应根据高压旋喷扩底桩的桩径、扩径、孔深及地层情况等因素综合确定，并应根据地层条件选用喷扩钻具。其钻具选择应符合图 6.2.1的规定。



(a) 桩端持力层为土层或软质岩

(b) 桩端持力层为硬质岩

图6.2.1 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩施工钻具构造

6.2.2 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩施工主要配套设备应符合下列规定：

- 1 混凝土输送泵和注浆泵的压力、流量应满足施工要求；
- 2 当需要空压机辅助施工时，空压机的供气量和额定压力不应小于施工参数值；
- 3 水泥浆搅拌机的性能与需浆量应匹配，浆液搅拌应均匀；
- 4 储浆桶的容积应满足连续供给高压喷射浆液的需求；
- 5 连接注浆泵和钻机的高压输送管长度不宜大于60m。

6.2.3 施工前应对长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩施工机械及配套设备进行检查试运行，并应对其流量、压力、钻杆提升速度、钻杆旋转速度、钻杆提升高度等施工参数进行标定。

6.3 施工作业

6.3.1 施工单位应按桩基施工图进行桩位放线并填写放线、验线记录，经监理、总承包、建设单位复核签认后方可开工。

6.3.2 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩施工工艺流程应按本标准附录D 执行。

6.3.3 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩扩径体施工工艺参数宜按表5.1.5选用。

6.3.4 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩施工控制要点应符合下列规定：

- 1 高压旋喷进行桩底扩径体腔体施工时，钻杆及喷嘴的钻进或提升速度可根据土层性质取300mm/min~600mm/min，转速可取20r/min~40r/min，并进行至少一次复喷；扩孔的浆液喷射压力不应小于20MPa；

- 2 应根据设计要求压灌混凝土填充置换扩径体腔内混凝土；
- 3 压灌桩身混凝土时，混凝土开始压灌时，宜先提升钻杆200mm~300mm，开始泵送混凝土，确认钻头阀门打开后泵入混凝土并停顿10s~20s，方可缓慢提升钻杆；
- 4 提升钻具高出扩径体顶端500mm后，下压钻杆挤压混凝土，使混凝土充分填充于扩径体空腔内；
- 5 下压钻杆挤压混凝土时，应封闭钻具出料口铰链式活门，形成活塞效应，腔内混凝土应挤压至设定标高；
- 6 混凝土的泵送宜连续进行，边泵送混凝土边提钻，提钻速率按试桩工艺参数控制，控制提钻速率与混凝土泵送量相匹配，保持料斗内混凝土的高度不低于400mm，并保证钻头始终埋在混凝土面以下不小于1000mm；
- 7 混凝土充盈系数宜为1.0~1.2，桩顶混凝土超灌高度不应小于500mm；
- 8 在混凝土压灌结束后，应立即将钢筋笼沉入至设计深度，钢筋笼沉入应采用后插钢筋笼方式，振动沉笼工艺，宜采用专用插筋器；
- 9 冬期施工应采取有效的冬施方案，压灌混凝土时，混凝土的入孔温度不得低于5℃；
- 10 当气温高于30℃时，应在混凝土输送泵管上采取降温措施。

6.3.5 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩施工除应符合国家现行标准《建筑地基基础工程施工规范》GB 51004、《建筑桩基技术规范》JGJ 94、《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 的有关规定外，还应符合下列规定：

- 1 根据桩身混凝土设计要求，通过试验确定流态混凝土配合比，初凝时间不宜小于8h，坍落度宜为180mm~200mm；
- 2 高压喷射注浆用的水泥，宜采用强度等级不低于32.5的硅酸盐水泥；
- 3 水泥浆液的水灰比应按工艺、设备、地层情况确定，可取0.8~1.5，试钻（喷）时，宜先取1.0，再根据喷射效果进行调整。水泥浆应过筛后使用，水泥浆的搅拌时间不应小于3min，自制备至用完的时间不应超过2h；
- 4 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩群桩施工应采用“隔桩跳打法”，相邻桩施工间隔时间不应小于12h；
- 5 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩成桩过程中，应抽样留置混凝土试块，每台机械每班不应少于1组。

6.3.6 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩施工过程中应按本规程附录C 的要求做记录。

6.3.7 钢筋笼制作应满足下列规定：

- 1 按设计要求的规格、尺寸制作钢筋笼，刚度应满足振插钢筋笼的要求，钢筋笼底部应有加强构造，保证振动力有效传递至钢筋笼底部；

2 钢筋笼底部500mm处主筋宜向内侧弯曲 $15^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 形成钢筋笼焊接锥尖，钢筋笼应每隔 2m对称设置导向支架。

6.3.8 钢筋笼沉入应按下列要求执行：

1 将振动用钢管在地面水平穿入钢筋笼内，并与振动装置可靠连接，钢筋笼顶部与振动装置应进行连接；钢筋笼吊装时，应采取措施，防止变形，安放时对准孔位，并保证垂直、居中；

2 在插入钢筋笼时，先依靠钢筋笼与导管的自重缓慢插入，当依靠自重不能继续插入时，开启振动装置，使钢筋笼下沉到设计深度，断开振动装置与钢筋笼的连接，缓慢连续振动拔出钢管；钢筋笼应连续下放，不宜停顿，下放时禁止采用直接脱钩的方法。

6.3.9 桩体达到一定强度（灌注后3~7天）后，方可进行开槽及桩间土挖除等土方清理工作。

6.3.10 清土和截桩时，应采用小型机械或人工剔除等措施，严禁采用机械强行折断、挖出桩头，不得造成桩顶标高以下桩身断裂或桩间土扰动。

6.4 施工安全和环境保护

6.4.1 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩施工安全应符合下列规定：

- 1 机械设备应保持性能良好，应由考核合格的专业机械工操作；
- 2 施工中应对机械设备、设施、工具配件以及劳保用品定期检查；
- 3 应控制喷浆压力，不得超压运作，试压时作业人员应确保安全距离；
- 4 启动、钻进及移机时，应设专人负责收、放电缆和输送胶管；
- 5 提钻灌注混凝土时，应设专人清理钻杆附着泥土；
- 6 工地临时用电线路架设及用电设施，应按现行行业标准《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ 46 的有关规定执行。

6.4.2 施工完成桩孔应采取防护措施。

6.4.3 遇暴风雨、雷电等恶劣天气时应暂停施工，设备应停放平稳并切断电源。

6.4.4 环境保护应符合下列规定：

- 1 应采用防护罩对施工机械进行降噪处理；
- 2 水泥堆放、水泥浆搅拌应采取覆盖、封闭等防尘措施；
- 3 废弃泥浆、渣土应有序排放、及时清理，不得随意流淌和堆放；不得污染环境；
- 4 施工现场作业面应进行覆盖，不得裸露。

7 质量检验

7.1 一般规定

7.1.1 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩与复合地基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 和《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 的有关规定。

7.1.2 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩质量检验按时间顺序可分施工前检验、施工中检验和施工后检验。

7.1.3 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩作为桩基础时，其质量检验项目应包括：钢筋、混凝土、水泥及外添加剂质量、水泥用量、桩数、桩位偏差、桩径偏差、桩长、桩身完整性和单桩承载力的检验。

7.1.4 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩作为地基处理时，其质量检验项目应包括：混凝土、水泥及外添加剂质量、水泥用量、桩数、桩位偏差、桩径偏差、桩长、桩身完整性、单桩承载力和复合地基承载力的检验。

7.2 施工前检验

7.2.1 施工前应对钢筋、水泥及混凝土原材料进行复试检验。

7.2.2 施工前应对施工机械设备及性能进行检验。

7.2.3 施工前应对桩位进行检查、复核。

7.2.4 施工前应按设计要求进行现场工艺性试验，确定合适的工艺参数，检验扩径体直径和成桩质量。扩径体直径的检验可采用下列方法：

1 通过混凝土用量验算扩径体直径；

2 通过长螺旋钻孔高压旋喷扩底与同条件同直径桩进行施工对比，计算混凝土用量差验算扩径体直径。

7.2.5 施工前质量检验应符合本规程表7.2.5 的规定。

表7.2.5 施工前质量检验标准

分类	检查项目	允许偏差或允许值	检查办法
主控项目	水泥、混凝土、钢筋质量	符合出厂及设计要求	查产品合格证和抽样送检
一般项目	施工机械设备及性能	符合出厂及设计要求	查设备合格证及标定记录
	桩位 (mm)	±10	用钢钢尺或全站仪测量
	钢筋笼质量	符合设计要求	用钢钢尺测量

7.3 施工中检验

7.3.1 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩施工中检验应包括成孔深度、垂直度、旋喷扩孔、混凝土灌注、混凝土复灌、钢筋笼顶标高、混凝土及水泥浆制备等工序过程。

7.3.2 施工中应对材料计量、混凝土配合比、混凝土坍落度、水泥浆水灰比、混凝土灌注量和水泥使用量进行检验。

7.3.3 施工中钢筋笼制作应对钢筋规格、焊条规格、品种、焊缝长度、焊缝外观和质量、主筋和箍筋制作偏差等进行检验。

7.3.4 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩的充盈系数宜为1.05~1.3，桩顶混凝土超灌高度不应小于500mm。

7.3.5 施工中应按表7.3.5规定进行检验，并应填写相应的质量检验记录。

表7.3.5 施工中质量检验标准

分类	序	检查项目	允许偏差或允许值	检查办法
主控项目	1	桩长（或孔深）（mm）	+300 0	量钻杆有效长度
	2	桩径（mm）	不小于设计值	用钢钢尺测量
	3	混凝土用量	不小于设计值	查施工记录
	4	水泥用量	不小于设计值	查施工记录
	5	扩径体直径（mm）	不小于设计值	查旋喷压力、气压、旋喷扩孔钻杆的提升（下沉）速度、复压混凝土深度、单桩混凝土用量施工记录
	6	扩径体高度（mm）	不小于设计值	量钻杆旋喷提升（下沉）长度
一般项目	1	混凝土坍落	按设计要求	用坍落度量
	2	垂直度	≤1/100	用经纬仪或钻机水平尺量
	3	钢筋笼标高（mm）	±100	用水准仪测量
	4	主筋保护层厚度（mm）	±20	用钢钢尺测量
	5	喷浆压力（MPa）	按设计要求	查施工记录
	6	水泥浆水灰比	按设计要求	查施工记录
	7	旋喷扩孔钻杆的提升（下沉）速度（cm/min）	按设计要求	查施工记录
	8	复压混凝土深度（m）	按设计要求	查施工记录

7.4 施工后检验

7.4.1 施工结束后，应对长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩的桩数、桩位偏差、桩径、桩顶标高、桩顶混凝土质量进行检验。

7.4.2 施工结束后，应对长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩的桩身完整性和单桩竖向抗压承载力进行检测，检测方式及数量应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94、《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的有关规定。

7.4.3 工程完成后应进行复合地基承载力检测，检测方式及数量应符合现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 的有关规定。

7.4.4 主要承受抗拔力或承受水平力的长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩，应按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的有关规定进行检验。

7.4.5 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩施工后质量检验应符合表7.4.5的规定。

表7.4.5 施工后质量检验标准

分类	序	检查项目	允许偏差或允许值	检查办法
主控项目	1	承载力	不小于设计值	静载试验法
	2	混凝土强度	不小于设计值	试块或钻芯取样送检
	3	桩位 (mm)	±70	用钢钢尺和全站仪测量
	4	桩径 (mm)	不小于设计值	用钢钢尺测量
	5	桩长 (m)	$l \sim l+0.5$	低应变法，声波透射法，钻芯法
	6	桩身完整性	按设计要求	低应变法，声波透射法
一般项目	1	桩顶标高 (mm)	+30 -50	用水准仪测量

7.5 质量验收

7.5.1 工程质量检查验收应在施工单位自检合格的基础上进行。

7.5.2 分项工程的质量验收应分别按主控项目和一般项目进行验收：

- 1 主控项目必须符合验收标准规定，发现问题应立即处理直至符合要求；
- 2 一般项目的合格率应不小于80%。

7.5.3 分部（子分部）工程所含分项工程的质量均应验收合格。

7.5.4 质量控制资料应完整。

7.5.5 有关安全及功能的检验和抽样检测结果应符合有关规定。

7.5.6 观感质量验收应符合要求。

7.5.7 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩基础工程验收应具备下列资料：

- 1 岩土工程勘察报告、桩基施工图；
- 2 图纸会审记录、设计变更及材料代用通知单；
- 3 经批准的施工组织设计（方案）；
- 4 桩位测量放线记录；
- 5 原材料复验报告，混凝土试块抗压强度报告；
- 6 技术（质量）交底记录；
- 7 隐蔽工程检查验收记录；
- 8 质量验收记录表；
- 9 施工记录汇总表；
- 10 单桩承载力检测报告；
- 11 桩基础工程竣工平面图；
- 12 桩基础工程竣工验收报告。

附录 A 常用机械设备主要技术参数

A.0.1 常用长螺旋多功能钻机主要技术参数可按表A.0.1取值。

表 A.0.1 常用长螺旋多功能钻机主要技术参数

设备型号	钻孔直径 (mm)	最大钻孔 深度 (m)	主机功率 (kW)	钻具转速 (r/min)	最大扭矩 (N·m)	集成高压 旋喷系统	自动开闭 阀门
60型	300~800	25	55×2	21	65	具备	具备
90型	300~800	30	55×2	21	100	具备	具备
120型	500~1000	35	90×2	6.5~21	250	具备	具备
180型	500~1200	40	90×2	6.5~21	250	具备	具备

A.0.2 常用高压注浆泵主要技术参数可按表A.0.2取值。

表A.0.2 常用高压注浆泵主要技术参数

设备型号	电机功率(kW)	理论流量 (L/min)	额定输出压力 (MPa)	柱塞直径(mm)	柱塞行程(mm)
90E	110	240	25	80	80
	132	240	30	80	80
230V	132	320	25	90	100
	160	320	30	90	100
	185	320	35	90	100
	220	320	40	90	100

附录 B 水泥浆、水泥用量估算表

B.0.1 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩扩径体水泥浆、水泥用量可按表B.0.1取值。

表B.0.1 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩扩径体水泥浆、水泥用量

岩土层名称	岩土层状态		扩出尺寸	升降速率	旋喷喷射压力	水泥浆	水泥用量
			<i>a</i>				
自重固结已完成的素填土	松散		200~250	45~60 复喷一次	25.0	2.0~4.0	1550~ 3100
	稍密		150~250				
	中密		100~200				
黏性土	软塑	$0.50 < I_L \leq 0.75$		35~50 复喷一次	30.0	1.3~3.0	1000~2250
	可塑	$0.50 < I_L \leq 0.75$	150~200				
	硬可塑	$0.25 < I_L \leq 0.50$	100~150				
	硬塑	$0.00 < I_L \leq 0.25$	100~150				
红黏土	$0.7 < \alpha_{w0} \leq 1.0$		150~200	35~50 复喷一次	30.0	1.3~3.0	1000~ 2250
	$0.5 < \alpha_{w0} \leq 0.7$		100~150				
粉土	稍密	$e > 0.90$	200~300	40~60 复喷一次	25.0	1.5~3.0	1150~2250
	中密	$0.75 \leq e \leq 0.90$	150~250				
	密实	$e < 0.75$	100~200				
砂土	松散	$N \leq 10$	200~300	40~60 复喷一次	25.0	1.5~3.0	1150~2250
	稍密	$10 < N \leq 15$	150~250				
	中密	$15 < N \leq 30$	150~200				
	密实	$N > 30$	100~200				
砾砂	松散	$5 < N_{63.5} \leq 15$	100~200	35~50 复喷一次	30.0	1.3~2.5	1000~1900
	稍密	$15 < N_{63.5}$	100~150				
	稍密	$15 < N_{63.5}$	100~150				
细粒碎石土	松散	$N_{63.5} \leq 5$	150~250	30~50 复喷一次	30.0	2.0~4.0	1550~3100
	稍密	$5 < N_{63.5} \leq 10$	150~200				
	中密	$10 < N_{63.5} \leq 20$	100~150				

续表B.0.1

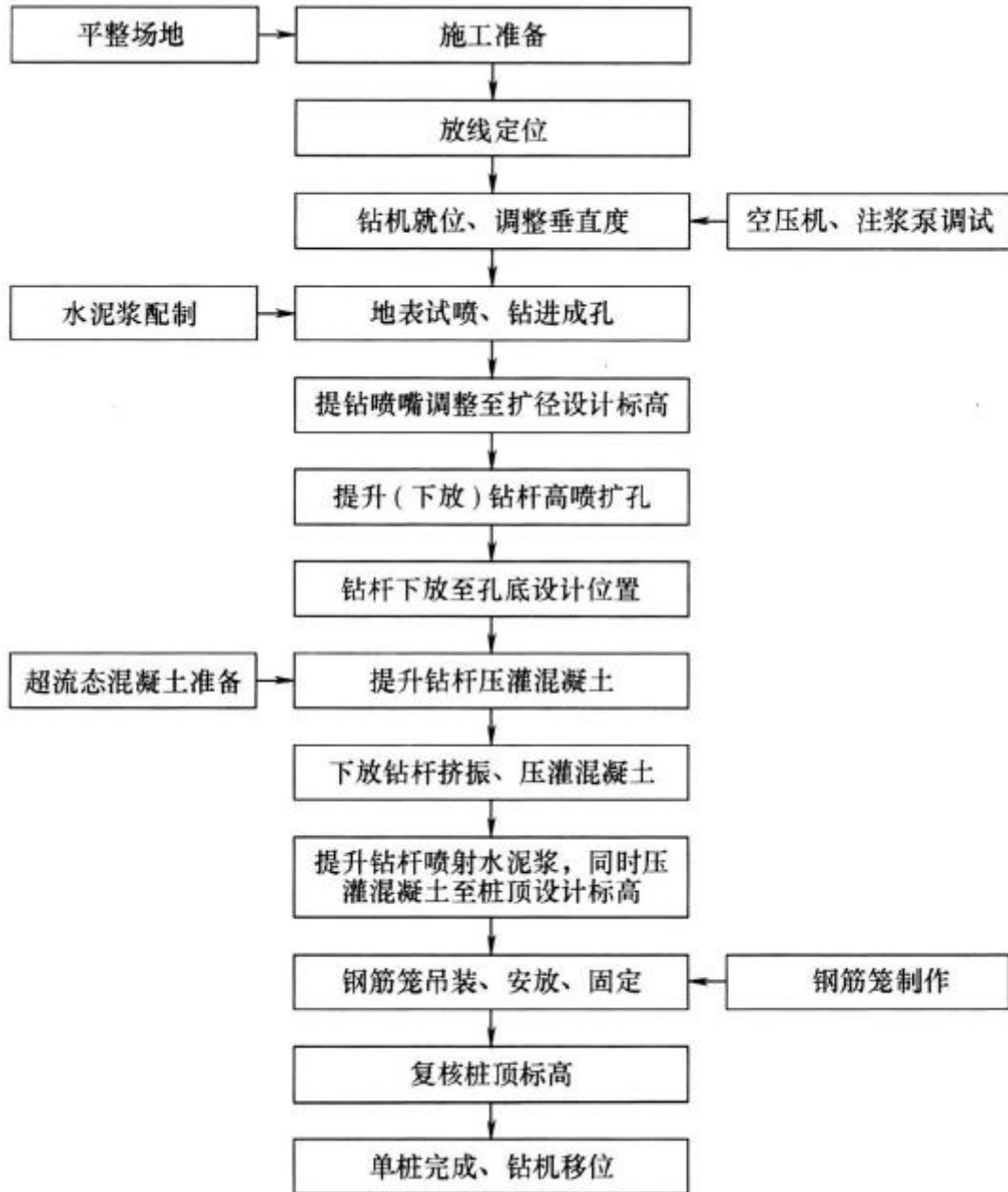
岩土层名称	岩土层状态		扩出尺寸	升降速率	旋喷喷射压力	水泥浆	水泥用量
			a				
全风化软质岩	30<N≤50		100~150	30~40 复喷一次	30.0	1.2~2.0	900~1550
全风化硬质岩	30<N≤50		80~120	30~35 复喷一次	30.0	1.0~2.0	800~1550
广西新近系、 古近系泥岩	全风化	100~150	150~200	35~40 复喷一次	30.0	1.5~2.5	1150~ 1900
	强风化	80~120	100~150	30~35 复喷一次	30.0	1.0~2.0	800~1550

附录 C 施工记录表

表C 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩施工记录表

工程名称：						施工单位：									
设计桩径：		mm	扩径体直径：		mm	扩径体高度：		m	水灰比：			混凝土：			
序号	桩号	孔口 标高	桩顶 标高	成孔 深度	扩径体			混凝土灌注				施工 时间			
		m	m	m	喷扩 时间	旋喷 压力	旋喷 高度	水泥 用量	理论 方量	实际 方量	复压 高度		充盈 系数		
					时：分	MPa	m	kg	m ³	m ³	m		—	年/月/日	
专业分包单位：				总承包单位：				监理单位：				建设单位：			
专业技术负责人：				专业技术负责人：				专业监理工程师：				项目专业负责人：			
质量检查员：															
日期： 年 月 日				日期： 年 月 日				日期： 年 月 日				日期： 年 月 日			

附录 D 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩施工工艺流程图



图D 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩施工工艺流程图

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
《混凝土结构设计规范〔2015〕》	GB 50010
《岩土工程勘察规范〔2009〕》	GB 50021
《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
《大直径扩底灌注桩技术规程》	JGJ/T 225
《长螺旋钻孔压灌混凝土后插钢筋笼混凝土灌注桩技术规程》	DB11/T 582
《长螺旋钻孔压灌混凝土旋喷扩孔桩基础设计与施工技术规范》	DB23/T 1320
《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
《复合扩底桩技术规程》	T/CECS 515
《喷扩锥台压灌技术标准》	T/CECS 657

广西勘察设计协会团体标准

长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩技术规程

T/GEDA XXX-2024

条文说明

目 次

1 总 则.....	- 43 -
2 术语和符号.....	- 44 -
3 基本规定.....	- 46 -
4 勘 察.....	- 48 -
5 设 计.....	- 49 -
6 施 工.....	- 54 -
7 质量检验.....	- 58 -

1 总 则

1.0.1 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩作为一种新桩型，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）、市政工程中使用的长螺旋钻孔高压旋喷扩底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）采用长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩的工程，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 为确保长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩的施工质量，应采用专用配套设备螺旋多功能钻机施工。

1.0.4 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩既可作为桩基础，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 高压旋喷扩桩底压灌混凝土法是长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩施工方法的简称，是实现扩底桩体结构的核心技术，是结合高压旋喷和长螺旋中心压灌技术的创新和发展，工法特点及优越性如下：

1 成孔速度快，高压旋喷扩径体后顺次、瞬时压灌混凝土，对桩端、侧土产生预压，桩侧无泥皮、底部无沉渣；

2 单机成孔、护壁、旋喷扩径体、压灌混凝土、安装钢筋笼，工序流畅、衔接紧凑、工艺简便、功效高、质量可靠。

2.1.2 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩是根据喷扩、中心压灌等工艺形成带有扩径体，长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩的承载机理及特点如下：

1 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩是一种集中了长螺旋钻孔中心压灌桩、旋喷桩等多种桩型优势的高效桩型，具有承载力高、沉降变形小的优点；

2 桩身在压灌混凝土过程中，高压水泥浆渗透在桩周围，起到良好的桩侧注浆效果，改善了桩土界面力学性能，提高了桩侧承载力。桩顶施加荷载后，桩体上部结构荷载传递给混凝土芯桩，芯桩通过水泥土与芯桩之间的粘结力传给水泥土，然后水泥土通过与土层之间的粘结力，传给外围土层，这样从芯桩、水泥土、外围土层形成强、中、弱的强度渐变过程，构成一种中间材料强度高、外围材料强度低的合理荷载传递结构。桩侧摩阻力由原来的桩土界面抗剪强度控制，转化为外围土层剪切强度控制，拉动桩周围土体一起位移，提高桩侧承载力；

3 利用高压旋喷技术及钻具在扩径体持力层中高压喷射水泥浆形成扩径腔体。经过钻杆挤压、振动桩孔内超流态混凝土，使扩径体腔内充满混凝土，形成混凝土扩径体，同时对扩径体周围土层进行渗透挤密，扩径体侧摩阻力由原来的桩土界面抗剪强度控制，转化为被挤密土层剪切强度控制，拉动扩径体端部周围土体一起位移，提高了桩端承载力；

4 扩径体界面由高压直喷形成，通过钻杆振动挤压桩内混凝土，桩端及扩径体端土层被挤密，端面无沉渣，提高了桩端承载力，减小了沉降变形。

2.1.3 长螺旋多功能钻机能够实现长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩技术，是长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩成桩施工的专用钻机，对于保障施工质量不可或缺。

2.1.4 流态混凝土是根据混凝土的流动状态确定的，是长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩的专用混凝土，坍落度一般在180mm~220mm之间，并具备流动性好、自动密实、有一定黏度、不泌水、缓凝的特性，可在桩孔内混凝土中下放钢筋笼。

2.1.5 扩径体变径角度 30° ~ 45° 之间为合理受力角度。

2.1.6 扩径体水泥土过渡层为挤密水泥土与混凝土混合层，包裹在扩径体混凝土外侧，是扩径体端承受力结构的一部分，经现场开挖测量，厚度为100mm~150mm。

3 基本规定

3.0.1 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩适用于自重固结已完成的素填土，黏性土，红黏土，粉土，砂土，细粒碎石土，膨胀土，广西新近系、古近系全风化软质半成岩等岩土层；对含碎（块）石填土，粗粒碎石土，广西新近系、古近系强～中风化软质半成岩地层，应通过试验确定适用性。

3.0.2~3.0.4 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩既可作为桩基础，又可作为复合地基竖向增强体，桩端持力层以上地层应具备喷扩条件。规定了扩径体的设置原则，主要基于三点：

1 选择设置扩径体的地层端阻力相对较大，地层结构稳定且符合设置扩径体持力层的厚度要求；

2 设置扩径体的地层适宜喷扩且具有较高的压缩模量和内摩擦角，如中密～密实的砂土和粉土；

3 应根据桩端持力层条件，设置侧喷、侧喷+底喷灵活组合的方式，确保桩端底面、桩端侧面预计喷扩范围得到有效的喷扩、加强，这样才能获得最佳效果。

实际上，长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩根据不同的地质情况和不同的设计目的，桩身构造还有很多，主要有以下几种：

1) 在桩间土较差或孔隙较大情况下，可以桩身全长设置扩径体，形成大直径复合“粗桩”，大幅度提高单桩承载能力；

2) 在液化土层中可加大旋喷压力，增大扩径体长度及直径，固化液化土层，提高桩基抗震能力；

3) 通过调整旋喷钻具的提升速度可形成螺纹桩身，提高桩身侧摩阻力；

4) 在桩端持力层为碎石土、砂土时，设置侧喷+底喷组合，对桩端下持力层直接进入高压旋喷加强，提高桩端阻力；

5) 在桩端持力层为灰岩时，由于灰岩多发育岩溶沟槽，基岩面起伏大，设置侧喷+底喷组合，利用底喷高压旋喷对基岩面岩溶沟槽内的土层进行切割、清洗，使桩端能与基岩面充分接触，提高单桩承载力；

6) 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩单桩承载力往往由桩身强度控制，单桩承载力很大时，可在桩身混凝土中插入高强混凝土预制桩或型钢，通过对螺旋多功能钻机结构及施工工艺微调，可形成复合桩或“植桩法”桩型。

3.0.5 本条根据抗压桩的受力特点规定了扩径体及桩端设置在持力层中的合理位置，明确了扩径体及桩端持力层的厚度，确保扩径体及桩端的承载力发挥。

3.0.6 本条根据抗拔桩的受力特点规定了扩径体设置在土层中的合理位置，明确了扩径体上部土层的厚度，确保扩径体作用的充分发挥。

3.0.7~3.0.9 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩为非挤土桩，扩径体由高压旋喷水泥浆施工形成，扩孔时对周围土体有硬化、密实效果，不会出现塌孔现象，本条规定作为桩基础时，其桩中心距不应小于 $3.0d_1$ ，且桩的中心距不应小于 $1.5D$ 。作为地基处理竖向增强体时，其桩中心距不应小于 $2.0d_1$ ，且桩的中心距不应小于 $1.0D$ ，以保证成桩质量。

3.0.10 减小建筑物差异沉降的主要途径是增加桩长，变刚度调平设计应以改变扩径体下部桩长为主要措施。

3.0.11 本条规定长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩的桩身材料要求。

3.0.12 本条规定长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩的施工方法，并提供经验施工参数。

3.0.13 成桩工艺试验的目的是：验证地层条件的适应性，确定实际成桩步骤、浆液压力、水灰比、钻杆的提升（下放）速度等工艺参数，了解钻进阻力情况并采取措施。

4 勘 察

- 4.0.1 本条规定明确长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩在设计前，需收集相关的地质资料。
- 4.0.2 本条规定明确长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩作为桩基础时的勘察要求。
- 4.0.3 本条规定明确长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩作为地基处理竖向增强体时的勘察要求。
- 4.0.4 本条规定明确岩土工程勘察报告中有关长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩技术选用的评价内容。
- 4.0.5 本条规定是对长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩详细勘察的补充，规定在特殊情况下，需进行施工勘察。

5 设计

5.1 一般规定

5.1.1 本条规定了桩的几何构造，确保桩身侧摩阻力及扩径体端阻力的承载力发挥。

5.1.2 本条规定了长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩进行高压旋喷扩底时水泥材料的等级，喷浆水灰比以及经验材料用量估算方式。

5.1.3~5.1.7 本条规定长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩设置成桩基础时，其桩身钢筋配置要求。

5.1.8 本条规定长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩设置成桩基础时，桩顶及桩身纵向主筋锚入承台的深度要求。

5.1.9 本条规定长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩的桩身材料等级。

5.1.10 根据长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩不同的用途，调整设备后桩身直径及扩径体直径均可进一步加大，从而获得合理的桩身承载力，减少材料用量。此外，长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩的扩径体几何尺寸与施工工艺参数、地质条件等息息相关，根据现有的工程经验，给出了长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩的经验参数。

5.1.11 本条规定长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩作为桩基础时，桩身主筋的混凝土保护层厚度及基桩结构的耐久性要求。

5.1.12 本条规定长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩桩端以下存在软弱下卧层时，需验算软弱下卧层的承载力。

5.1.13 本条规定长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩的建筑物应进行沉降变形观测。

5.2 单桩竖向抗压承载力确定

5.2.1 本条规定长螺旋钻孔高压旋喷扩底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。

5.2.2 本条规定群桩中基桩或复合基桩的桩顶作用效应的计算方式。

5.2.3 本条规定长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩作为桩基础时，桩基础应按国家现行标准《建筑抗震设计规范》GB 50011、《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定进行抗震验算。

5.2.4 本条规定长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩单桩竖向承载力计算时桩顶荷载效应组合的计算方式。

5.2.5~5.2.6 当采用经验公式进行估算时，可根据岩土工程勘察报告提供的极限侧阻力标准值、极限端阻力标准值或本规程中规定的极限侧阻力标准值、极限端阻力标准值取值，乘以相应增强系数。

长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩目前已完成多个项目的施工，取得了一定的试验资料。根据收集到的资料，统计在不同土层对应的长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩极限侧阻力标准值和极限端阻力标准值，与岩土工程勘察报告或现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 规定的钻孔桩极限侧阻力标准值和极限端阻力标准值进行分析对比，极限侧阻力标准值提高约1.2倍~1.7倍，极限端阻力标准值提高约1.5倍~2.5倍。鉴于现状样本数量有限，桩的端阻力与侧摩阻力之间相互影响（近年来国内很多试验表明，桩端阻力的增强会明显增强桩的侧摩阻力）方面研究不足，因而本规程桩侧阻力提高系数不予考虑；桩端经复压混凝土后无沉渣，扩径体经喷扩水泥浆和复压混凝土后无沉渣，且扩径体下面为挤密土层，桩端及扩径体端阻力提高系数 β_p 按本规程表5.2.6-1取值。试验表明，长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩总桩长在15m以上时，扩径体的端阻力能够充分发挥，总桩长在15m以下时，扩径体的端阻力不能够充分发挥，因此端阻力增强系数 β_p 进行了深度修正，单桩承载力估算公式（5.2.6）是偏于保守的。

水泥土过渡层包裹在扩径体混凝土外侧，是扩径体端承受力结构的一部分，经现场开挖测量，其厚度为100mm~150mm。扩径体侧摩阻力由原来的桩土界面抗剪强度控制，转化为被挤密土层剪切强度控制，拉动扩径体端部周围土体一起位移，因此扩径体按 D 进行端阻力计算。

考虑到扩径体范围内桩侧摩阻力可能减小的不利影响，扩径体长度范围内未计入侧摩阻力，但当扩径体长度 h 大于1.5m时，应计入扩径体长度1.5m以外范围的侧摩阻力。

5.2.7 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩的桩身钢筋混凝土正截面轴心受压承载力验算，应按式（5.2.7）的规定，该式的物理意义是，在考虑桩工作条件影响因素的情况时，相应于作用的基本组合的桩顶轴向压力设计值不得大于桩身材料的混凝土轴心抗压承载力设计值。

现行国家标准《混凝土结构设计规范〔2015〕》GB 50010 中定义混凝土抗压强度等级是按没有横向约束的立方体抗压强度标准值作为基本指标，而实际工程中的桩身材料，却是处于三向受力工作状态。国内外对圆柱体混凝土试件周围的加液试验结果表明，当侧向液压力不是很大时，最大主压力轴向极限强度随着侧向压应力数值的增加而提高。上述试件的受力状态比较贴切地模拟桩身受力的实际情况。

轴向受压桩的承载状况与上部结构柱相近，较柱的受力条件更为有利的是长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩周围挤密土的约束，长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩由于高喷水泥浆形成

水泥土过渡层，增大了侧摩阻力及有效的桩身断面，使得轴向荷载随深度递减较快，因此桩身受压承载力由桩顶下一定区段控制。纵向主筋的承压作用在一定条件下可计入桩身受压承载力。

箍筋不仅起水平抗剪作用，更重要的是起侧向约束增强作用。已有研究表明，带箍筋的约束混凝土轴心抗压强度较无约束混凝土提高80%左右。现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 规定，凡桩顶以下 $5d_i$ 范围箍筋间距不大于100mm时，均可考虑纵向主筋的作用。

综上所述，本程式（5.2.7）中工作条件系数应综合考虑桩身受力状态、纵向主筋与箍筋的作用及成孔成桩工艺等因素，长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩工作条件系数也取0.85是适宜的。

5.2.8 本条规定长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩的抗拔或水平受力的基桩应验算基桩材料的承载力，并进行裂缝控制计算。

5.3 单桩竖向抗拔承载力验算

5.3.1~5.3.2 本条是关于群桩和单桩的抗拔承载力的确定应符合的规定。

1 单桩抗拔承载力一般通过单桩竖向抗拔静载试验确定。

2 本规程表5.3.2-3抗拔系数取值参照现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 中表5.4.6-2，考虑到高喷水泥浆对抗拔桩侧摩阻力的增强影响，采用了桩侧摩阻力提高系数；

3 初步设计时，可用本规程的公式估算。基桩抗拔承载力的估算有理论计算模式和基于试验结果的经验公式，长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩因扩径体的存在，其抗拔的破坏机理更加复杂。本规程参考了理论和试验两种方法。

梅耶霍夫(Meyerhof)对浅埋与深埋两种锚板的计算方法基本上是采用锚板以上一定高度范围(ξD)用直径为锚板的直径 D 的破裂柱面计算侧阻力。现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 改为 $(4\sim 10)d$ ，随土的摩擦角增大而增加，但是仍然偏小。例如梅耶霍夫建议，当土的内摩擦角 $\varphi=20^\circ\sim 45^\circ$ 时，破裂柱面高度可达 $(2.5\sim 9.0)D$ ， D 为锚板直径。长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩扩径体可参考这种计算方法，采用 D 进行计算。

本规程给出的表5.3.2-2基于梅耶霍夫的建议值，通过已经取得的一些试验结果验证，数值基本合理。

5.4 单桩水平承载力计算

5.4.1~5.4.3 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩是桩端部带有扩径体的扩大头桩，影响长螺旋钻孔高压旋喷扩底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长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩，应按水平静载试验确定其单桩水平承载力。

根据设计要求，长螺旋钻孔高压旋喷扩底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。

5.5 桩基沉降计算

5.5.1~5.5.3 规定长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩需要进行沉降计算的桩基情况以及沉降控制标准。

5.5.4~5.5.5 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩是一种新型的变截面灌注桩，其荷载传递规律和沉降机理不同于等截面灌注桩和其他型式的变截面灌注桩。鉴于其荷载传递和沉降机理的复杂性，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 $1/2\sim 2/3$ 。本规程沉降公式中引入桩基沉降修正系数 $\psi_B=0.6\sim 0.8$ 。

5.6 复合地基

5.6.1~5.6.6 长螺旋钻孔高压旋喷扩底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 由于长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩的刚度较大，单桩承载力较高，应在长螺旋钻孔高压旋喷扩底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，为充分发挥长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩承载力较高的优势，本规程5.6.5条规定了褥垫层的厚度宜为 $0.4\sim 0.6d_1$ 。

5.6.7~5.6.8 长螺旋钻孔高压旋喷扩底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。

5.6.9 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。长螺旋钻孔高压旋喷扩底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。由于长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩的模量很大，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（5.6.9-3）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。

长螺旋钻孔高压旋喷扩底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 长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩工程为地下隐蔽工程，岩土层对施工的影响较大，故施工前需要结合已有施工经验，对该区域岩土层的土性和分布情况进行研究。对扩径体设置的岩土层进行详细分析，用于指导工程施工。

6.1.2 施工前应编制专项施工组织设计（方案），并经公司内部审核、批准报监理工程师审批合格后方可进行施工。

6.1.3 施工现场应达到“三通一平”，施工场地的地基承载力应满足安全作业要求。

6.1.4 施工前应进行测量放线，并对控制点进行复核、保护。

6.1.5 本条规定的主要目的是：通过施工前长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩工艺性施工试验，确保施工机械及其配套设备安全运行，掌握流量、浆液压力、钻杆提升速度、钻杆旋转速度等施工参数，指导工程施工。

6.2 施工机械

6.2.1 根据地质条件及桩身几何尺寸选用相应的长螺旋多功能钻机、配套设备及喷扩钻具，保证施工质量，提高施工效率。

6.2.2~6.2.3 所有施工机具应具备合格证，设备运行正常。混凝土输送泵和注浆泵的压力、流量应满足施工要求，其额定压力、流量不应小于施工参数值的1.2倍。

6.3 施工作业

6.3.1 施工前准备工作应细致、充分。

6.3.2~6.3.6 应严格按照长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩规定的施工工艺流程进行施工操作，不得随意变动。为确保钻具下沉挤压混凝土的压力，钻具出料口需具备活门自动封闭功能。施工中如遇到地质条件、设备等因素的变化，应暂停施工、及时研究、找出原因、制订可靠的解决方案后，方可进行下一步施工。

现场施工常见问题及处理措施详见表1：

表1 施工中常见问题及处理措施

常见问题	发生原因	处理措施
桩位不准	定位不准 施工中垂直度偏差超出规定值 桩位标记点受机械影响发生位移	采用全站仪进行定位、复检 采用线锤或经纬仪控制施工时的垂直度及桩位
高压旋喷扩孔 孔径偏小	浆液压力小 浆液流量小、钻杆提升（下沉）过快	调整浆液压力、流量、钻杆提升（下沉）速度等施工参数
钻进下沉困难、 电流值高、跳闸	电压偏低 土质坚硬，黏性大 地下障碍物影响 漏电	调高电压 更换合适的钻具 开挖排除障碍物 检查电缆接头，排除漏电或加大电缆线径
高压旋喷浆液 过早用完或剩 余过多	供浆管路堵塞、漏浆 钻杆提升速度过慢或过快 投料不准、加水量过少或过多	检修注浆泵及供浆管路 调整钻杆提升速度 重新标定投料量及加水量
注浆泵堵塞、供 浆管路堵塞、爆 裂，喷嘴堵塞	水泥浆杂质多 供浆管路内有杂物 杂物进入喷嘴	增加水泥浆过滤遍数或更换过滤网 拆洗供浆管路、注浆泵 检查拆洗喷嘴
注浆泵压力剧 增或剧减	喷嘴或注浆管路堵塞 喷嘴或注浆管路漏浆	拆洗检查 更换喷浆管
注浆泵压力不 稳	注浆泵内进气 注浆泵内进入硬质颗粒 注浆泵机械磨损	排除空气 拆洗检查 更换磨损件
注浆泵压力，钻 杆提升速度等 施工参数与设 计不符	喷嘴直径与设计不符 供浆管路堵塞 调速电机控制器出现问题	检查喷嘴直径 检查供浆管路 检查或更换调速电机控制器
混凝土输送管 堵塞	混凝土和易性差 动力头混凝土输送管道因残渣空间减小 混凝土输送胶管磨损，阻力加大 混凝土管道连接漏水 钻头出料口进水	控制混凝土搅拌质量和供应时间 定期清理管道 及时更换磨损管件 按相关规定连接与铺设 开钻前做好出料口密封及安装， 钻进时避免反钻现象

续表1

常见问题	发生原因	处理措施
相邻桩混凝土串孔	地层中出现软弱地层 临近桩施工完成时间短	间隔施工 增加相邻桩施工时间间隔
埋钻	钻头埋置地下较深时，钻杆停止转动	降低钻进速度，检查电路及设备，更换动力头，增大扭矩，维修设备时，应将钻杆提出地面
钢筋笼下放达不到设计标高	钢筋笼施工与灌混凝土施工完成时间间隔过长 混凝土和易性差离析 振动、锤击振力不足 桩身倾斜，压入土中桩身出现缩径	减少时间间隔 控制混凝土质量，杜绝现场加水 调换大动力振动锤 钻进时控制垂直度 控制钻进速度，增加软弱地层混凝土压灌量
桩头混凝土标高或强度不够	混凝土坍落度过大 混凝土灌注量不足 渣泥掉进混凝土 串孔 安装钢筋笼时，振动时间过长，混凝土离析	控制混凝土质量 加大灌注量 及时清理孔口积土 跳打施工 调整钢筋笼安装方法
钢筋笼标高偏差	钢筋笼制作、安装时弯曲变形 钢筋笼安装时未固定 标高控制不准确	按规定要求制作安装 孔口采取固定措施 严格控制下笼标高

6.3.7 作为桩基础时，长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩的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。

6.3.8 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。

6.3.9~6.3.10 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。

6.4 施工安全和环境保护

6.4.1~6.4.3 高压注浆设备是长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩工程施工的主要危险源，所以针对高压注浆泵、供浆管等设备应制订相应的安全技术措施，定期检查，并做好设备运转情况记录。施工过程中必须按设备操作规程进行操作，严禁违规操作。

6.4.4 应根据施工现场的噪声、扬尘等常规环境因素，制订现场环境保护的控制措施；做好水泥堆放和水泥浆制作过程中的扬尘防护措施；施工现场要定期清理、覆盖，采取措施确保施工环境达到环境质量要求。

7 质量检验

7.1 一般规定

7.1.1~7.1.4 影响长螺旋钻孔高压旋喷扩底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长螺旋钻孔高压旋喷扩底桩进行检验。

7.2 施工前检验

7.2.1~7.2.5 扩径体直径 D 的试验检验除本条规定的两种方法之外，有条件时还可以采用其他可靠的方法，例如可采用低应变动力测试法，根据测试信号判定扩径体大致尺寸；当对扩径体质量有疑问时，可采用声波透射法或钻芯法确定扩径体尺寸。

7.3 施工中检验

7.3.1~7.3.6 这六条规定是参照国家现行标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202、《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定制定的。

7.4 施工后检验

7.4.1~7.4.5 施工后应按照国家现行标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106、《建筑地基处理技术规范》JGJ 79、《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202 的相关规定执行，对工程桩进行桩身完整性和承载力检验，并应符合当地主管部门关于工程验收的有关规定。

7.5 质量验收

7.5.1~7.5.5 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。