

T/CECS XXX:XXXX

中国工程建设标准化协会标准

旋挖扩底灌注桩技术规程

（拟改为全液压可视可控旋挖扩底灌注桩技术规程）

Technical Specification for Screw-drilled Reamed Cast-in-situ Pile

（Technical Specification for Hydraulically visual controllable Screw-drilled under-reamed Cast-in-situ pile）

（征求意见稿）

中国工程建设标准化协会标准

旋挖扩底灌注桩技术规程

（拟改为全液压可视可控旋挖扩底灌注桩技术规程）

Technical Specification for Screw-drilled Reamed

Cast-in-situ Pile

（Technical Specification for Hydraulically visual controllable Screw-drilled under-reamed Cast-in-situ pile）

主编单位：上海市基础工程集团有限公司

 浙江鼎业基础工程有限公司

批准部门：

施行日期：

**前 言**

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2019年第一批协会标准制定、修订计划〉的通知》（建标协字[2019]12号）的要求，规程编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国外和国内先进标准，并在广泛征求各方意见的基础上，编制了本规程。

本规程共分6章，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；5 施工；6 质量检验与验收及有关附录。

本规程由中国工程建设标准化协会归口管理，由上海市基础工程集团有限公司负责解释。在执行过程中如有意见或建议，请寄送至上海市基础工程集团有限公司（地址：上海市杨浦区民星路231号；邮编：200433）。

主编单位：上海市基础工程集团有限公司

 浙江鼎业基础工程有限公司

参编单位：上海勘察设计研究院（集团）有限公司

中国建筑科学研究院有限公司

上海市隧道工程轨道交通设计研究院

北京城建设计发展集团股份有限公司

中铁工程设计咨询集团有限公司

中铁上海设计院集团有限公司

上海城投（集团）有限公司

上海城投水务工程项目管理有限公司

上海交通大学

同济大学

华东建筑设计研究院有限公司

同济大学建筑设计研究院（集团）有限公司

上海市政工程设计研究总院（集团）有限公司

铁道第三勘察设计院有限公司

中铁第四勘察设计院集团有限公司

广东省基础工程集团有限公司

上海创异基础工程有限公司

浙江华展工程研究设计院有限公司

宁波市城建设计研究院有限公司

浙江省交通规划设计研究院

台州市市政基础设施开发集团有限公司

天颂建设集团有限公司

主要起草人：

主要审查人：

**目 次**

[1 总 则 1](#_Toc89419722)

[2 术语和符号 2](#_Toc89419723)

[2.1 术语 2](#_Toc89419724)

[2.2 符号 3](#_Toc89419725)

[3 基本规定 5](#_Toc89419726)

[4 设计 7](#_Toc89419727)

[4.1 一般规定 7](#_Toc89419728)

[4.2 构造 7](#_Toc89419729)

[4.3 计算 10](#_Toc89419730)

[5 施工 18](#_Toc89419731)

[5.1 一般规定 18](#_Toc89419732)

[5.2 材料与设备 20](#_Toc89419733)

[5.3 施工准备 21](#_Toc89419734)

[5.4 成孔 22](#_Toc89419735)

[5.5 清孔 24](#_Toc89419736)

[5.6 钢筋笼制作与吊放 26](#_Toc89419737)

[5.7 水下混凝土施工 28](#_Toc89419738)

[6 质量检验与验收 32](#_Toc89419739)

[6.1 一般规定 32](#_Toc89419740)

[6.2 施工前检验 32](#_Toc89419741)

[6.3 施工过程质量检验 32](#_Toc89419742)

[6.4 质量验收 33](#_Toc89419743)

[附录A 全液压可视可控旋挖扩底灌注桩扩径部分体积增加量理论值速查表 36](#_Toc89419745)

[附录B 全液压可视可控旋挖扩底灌注桩施工记录表 37](#_Toc89419746)

[附录C 全液压可视可控旋挖扩底灌注桩分项工程质量检验评定表 39](#_Toc89419747)

[本规程用词说明 40](#_Toc89419748)

[引用标准名录 41](#_Toc89419749)

[条文说明 42](#_Toc89419750)

Contents

1 General provisions 1

2 Terms and symbol 2

2.1 General reqirements 2

2.2 Structure 3

3 Basic reqirements 5

4 Design 7

4.1 General reqirements 7

4.2 Structure 7

4.3 Calculation 10

5 Construction 18

5.1 General reqirements 18

5.2 Material and equipment 20

5.3 Construction preparation 21

5.4 Pore forming 22

5.5 Pole cleaning 24

5.6 Fabrication of reinforcement cage 26

5.7 Construction of underwater concreting 28

6 Quality inspection and acceptance 32

6.1 General reqirements 32

6.2 Pre construction inspection 32

6.3 Quality inspection during construction 32

6.4 Quality acceptance 33

Appendix A Quick reference table of theoretical value of volume increase of diameter expansion part of Hydraulically visual controllable screw-drilled under-reamed cast-in-situ pile 36

Appendix B Construction record of Hydraulically visual controllable screw-drilled under-reamed cast-in-situ pile 37

Appendix C Construction record of Hydraulically visual controllable screw-drilled under-reamed cast-in-situ pile 39

Explanation of wording in this standard 40

List of quoted standards 41

Explanation of provisions 42

# 1 总 则

**1.0.1** 为规范全液压可视可控旋挖扩底灌注桩的设计、施工、质量检验与验收，做到安全适用、技术先进、经济合理、确保质量、保护环境，制订本规程。

**1.0.2** 本规程适用于建设工程中全液压可视可控旋挖扩底灌注桩的设计、施工、质量检验与验收。

**1.0.3** 全液压可视可控旋挖扩底灌注桩应综合考虑周边环境条件、工程地质和水文地质条件、工程特性、施工条件和工程造价等因素进行设计与施工。

**1.0.4** 全液压可视可控旋挖扩底灌注桩的设计、施工、质量检验与验收除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

# 2 术语和符号

## 2.1 术语

**2.1.1** 全液压可视可控旋挖扩底灌注桩 Hydraulically visual controllable screw-drilled under-reamed cast-in-situ pile

采用全液压可视可控旋挖扩底钻机旋转切削、挖掘成孔，利用扩底铲斗在预定位置或底部进行扩径，并通过扩底铲斗回收带出扩径部分渣土形成的灌注桩，也称为AM工法。成孔过程能实时监控桩径、深度、垂直度等施工参数。

**2.1.2** 扩径段 bottom expansion pile shaft

灌注桩中扩大段的桩身。

**2.1.3** 常径段 constant-diameter pile shaft

灌注桩中等截面的桩身。

**2.1.4** 扩径率 bottom expansion ratio

扩径段面积与常径段面积之比。

**2.1.5** 稳定液 stabilizer

膨润土与外加剂或其他高分子材料与水拌和形成的泥浆，在施工中起到冷却、护壁、携渣等作用。

**2.1.6** 充盈系数 fulling coefficient

灌注桩实际浇灌的混凝土体积与理论计算量的体积之比。

## 2.2 符号

**2.2.1** 作用和作用效应

*G*p——单桩自重设计值；

*N*k——按荷载效应标准组合计算的基桩拔力。

**2.2.2** 抗力和材料性能

*q*s*ik*——单桩第i层土的极限侧摩阻力；

*q*pjk——桩身第j个扩大部分所在土层极限承载力；

*q*pk——桩端土层极限承载力；

*q*rk——修正后的桩端土承载力特征值；

*Q*uk——单桩竖向受压极限承载力；

*Q*sk——后注浆非竖向增强段的总极限侧阻力标准值；

*Q*gsk——后注浆竖向增强段的总极限侧阻力标准值；

*Q*pk——非后注浆极限端阻力标准值；

*Qg*pk——后注浆极限端阻力标准值；

*R*a——工业与民用建筑、公路桥梁的单桩竖向受压承载力特征值，铁路桥梁单桩轴向受压承载力容许值；

*T*uk——单桩竖向抗拔极限承载力；

*γ*2——桩端以上各土层的加权平均重度；

*γ*m——稳定液重度；

$γc$——混凝土重度；

[σ]——桩底地基土的容许承载力。

**2.2.3** 几何参数

*A*pj、*A*p——分别为桩身第j个扩大头部分桩底面积和桩端扩径截面面积；

*d*1——导管内径；

*D* ——扩径段直径；

*D*1——初灌后混凝土面直径；

*h*——桩端的埋置深度；

*h* ——桩孔深度；

*h*1——扩径斜面高度；

*h*2——扩径段垂直面高度；

*h*3——锅底形扩径端矢高；

*h*4——初灌混凝土下灌后导管外混凝土高度；

*h*5——导管内混凝土与导管外泥浆柱平衡所需的高度；

*lg*i——后注浆竖向增强段内第i层土厚度；

*lsi*——一般工业与民用建筑为桩身穿过第*i*层土的厚度；

*u*——常径段桩身截面周长；

*ui* ——桩身截面周长；

*V* ——混凝土初灌量。

**2.2.4** 计算系数及其他

*k*2——承载力特征值的深度修正系数；

*K*——安全系数；

*m*——扩大头数量；

*m' 0*——旋挖扩孔灌注桩桩底支承力折减系数；

*m*0*c*——清底系数；

*ψ*s*i*，*ψ*pj——大直径桩侧阻力、端阻力尺寸效应系数；

*λ*——修正系数；

*λi* ——抗拔系数；

*k* ——充盈系数；

α——桩的水平变形系数；

*β*si、*β*pj——分别为后注浆侧阻力、端阻力增强系数。

# 3 基本规定

**3.0.1** 全液压可视可控旋挖扩底灌注桩适用于填土、黏性土、粉土、砂土、卵石以及饱和单轴抗压强度不大于10MPa的岩土，当缺乏地区经验时，应通过现场试验确定其适用性。

**3.0.2** 全液压可视可控旋挖扩底灌注桩的勘察要求应符合现行国家标准《工程勘察通用规范》GB55017和《岩土工程勘察规范》GB 50021的规定。

**3.0.3**  全液压可视可控旋挖扩底灌注桩的设计前应具备下列资料：

 **1** 岩土工程勘察报告：

 **2** 场地与周边环境的有关资料：

 **3** 拟建建（构）筑物的有关资料。

**3.0.4** 全液压可视可控旋挖扩底灌注桩设计计算所采用的作用效应组合应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007及行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94的规定。

**3.0.5** 全液压可视可控旋挖扩底灌注桩应按下列两类极限状态设计：

 **1** 承载能力极限状态：桩基达到最大承载能力、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：桩基达到建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。

**3.0.6**  全液压可视可控旋挖扩底灌注桩施工前应具备下列资料：

 **1** 岩土工程勘察报告；

 **2** 设计文件；

 **3** 测量基线和水准点资料；

 **4** 周边的建（构）筑物和地上、地下管线等相关资料；

 **5** 施工区域内地下障碍物有关资料；

 **6** 通过审批的施工组织设计或施工专项方案。

**3.0.7** 全液压可视可控旋挖扩底灌注桩施工应采用经质量检验合格的原材料，并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的规定。

**3.0.8** 施工期间应对涉及施工安全、周边环境安全及可能对人身财产安全造成危害的对象或被保护对象采取保护措施，并进行工程监测。

# 4 设计

4.1 一般规定

**4.1.1** 桩基最小间距应符合下列要求：

 **1** 桩中心距不宜小于3.0*d*（*d*为常径段直径）且不宜小于1.5*D*（*D*为扩径段直径）；

 **2** 当扩径段直径大于2m时，桩中心距不宜小于*D* +1m；

 **3** 桩中心距不小于4 *D*时，可按单桩设计。

**4.1.2** 桩端持力层宜符合下列要求：

 **1** 桩端持力层宜选择硬塑黏性土（标准贯入击数*N*>15击，无侧限抗压强度*q*u>200kPa）、中密或密实粉性土、砂土、砂砾（*N*>30击，重型圆锥动力触探击数*N*63.5>15击）等较硬土层，不得将桩端置于淤泥质土层中；

 **2** 当存在软弱下卧层时，桩端以下持力层厚度不宜小于3*d*且不小于4m；

 **3** 抗压桩扩径全断面进入持力层的深度，黏性土和粉土不宜小于2*d*，砂土不宜小于1*d*，碎石类土和岩石（饱和单轴抗压强度不大于10MPa）不宜小于0.5*d*；

 **4** 抗拔桩扩径全断面进入持力层不宜小于0.5*d*；

 **5** 对于土性相似或均适宜作为持力层的相邻土层，可合并考虑进入持力层深度。

**4.1.3** 当桩长范围内存在满足本规程第4.1.2条要求的土层，可在这些土层设置多个扩径段。扩径段宜浅置，且扩径段间净距不应小于2*D*。

4.2 构造

**4.2.1** 全液压可视可控旋挖扩底灌注桩构造（图4.2.1），应符合下列规定：

 **1** 扩径段斜面倾角*θ*宜为8°~12°；

 **2** 设计应根据不同地质条件确定扩径率，扩径率不宜大于3.2，且不应大于3.5；

 **3** 扩径段垂直面高度*h*2不应小于500mm；

 **4** 扩径段直径*D*允许偏差为0mm～100mm。



图 4.2.1 全液压可视可控旋挖扩底灌注桩构造示意图

1—桩身扩径体，j—表示桩身扩径体编号；2—等直径桩身；3—桩端扩径体

**4.2.2** 全液压可视可控旋挖扩底灌注桩扩径规格应符合表4.2.2规定，扩径部分体积增加量计算见附录A。

表4.2.2 全液压可视可控旋挖扩底灌注桩设计扩径规格表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 常径段直径 *d*（㎜） | 常规扩径直径*D*（㎜） | 最大扩径直径*D*（㎜） | 最大扩径直径 扩径斜面高度*h*1(mm) | 扩径段垂直面高度建议值*h*2(mm) |
| φ850 | φ1300 | φ1500 | ≥1530 | ≥500 |
| φ1000 | φ1600 | φ1800 | ≥1900 |
| φ1200 | φ1800 | φ2000 | ≥1900 |
| φ1300 | φ1900 | φ2300 | ≥2360 |
| φ1500 | φ2300 | φ2500 | ≥2360 | ≥600 |
| φ1600 | φ2500 | φ3000 | ≥3293 |
| φ1800 | φ3000 | φ3300 | ≥3582 |
| φ2000 | φ3200 | φ3700 | ≥3999 | ≥750 |
| φ2200 | φ3800 | φ4100 | ≥4469 |
| φ2500 | φ4000 | φ4300 | ≥4240 |
| φ3000 | φ4500 | φ5000 | ≥3528 |

**4.2.3** 全液压可视可控旋挖扩底灌注桩应按下列规定配筋：

 **1** 桩身配筋按计算确定，采用构造配筋，竖向承压桩的配筋率不小于0.42%，承受水平力的桩的配筋率不小于0.65%；

 **2** 桩身配筋长度：

1）端承桩、抗拔桩和承受负摩擦力的桩应通长配筋；位于坡地或岸边的桩，如坡地或岸坡的地层存在软土层，或由于其他因素使岸坡稳定性不足，应通长配筋；

2）端承摩擦桩宜通长配筋，桩长较大时，也可根据内力大小沿深度分段变截面配筋；

3）受水平力作用的抗弯桩和偏心受压桩，地面以下的配筋长度不宜小于4.0/α（α为桩的水平变形系数）；

 **3** 对于受水平荷载的桩，主筋不宜少于12φ18；对于抗压桩和抗拔桩，主筋不应少于12φ14；采用束筋时，每束不宜多于2根钢筋；纵向钢筋应沿桩身周边均匀布置，其净距不应小于80mm；

 **4** 箍筋应采用螺旋式，直径不应小于8mm，间距宜为200mm～300mm；受水平荷载作用的桩，在桩顶以下5d范围内箍筋应加密，间距不应大于100mm；当钢筋笼长度超过4m时，应每隔2.0m设置一道直径不小于16mm的加强箍筋；当钢筋笼长度超过10m时，应每隔5.0m～8.0m在笼内设置一道支撑架。

**4.2.4** 桩身混凝土及混凝土保护层厚度应符合下列要求：

 **1** 桩身混凝土采用水下灌注时，混凝土设计强度等级不应低于C30；

 **2** 灌注桩主筋的混凝土保护层厚度不得小于50mm，四类、五类环境中桩身混凝土保护层厚度应符合国家现行标准《水运工程混凝土结构设计规范》JTS151、《工业建筑防腐蚀设计规范》GB50046的相关规定。

**4.2.5** 桩与桩帽或承台的连接应符合下列规定：

 **1** 桩嵌入桩帽或承台的长度不宜小于100mm；

 **2** 桩顶钢筋伸入桩帽或承台的长度，受压桩不宜小于35倍主筋直径，受拉桩不宜小于40倍主筋直径；

 **3** 伸入桩帽或承台的桩顶钢筋应根据受力情况采用直筋伸入或喇叭形伸入方式；桩顶弯矩较大时宜采用直筋伸入，桩帽或承台承受较大冲切力时宜采用喇叭形伸入；

 **4** 桩帽或承台的部分主筋宜与桩顶钢筋相交；

 **5** 桩帽或承台边缘与边桩外侧的距离，对直径不大于1000mm的桩，不宜小于0.5d且不应小于300mm；对直径大于1000mm的桩，不宜小于0.4d且不应小于500mm；

 **6** 当桩与上部结构横梁直接连接时，梁边与桩外侧的距离不宜小于250mm；

 **7** 对大直径灌注桩的一柱一桩连接时可设置承台或将桩与柱直接连接。

**4.2.6** 承台构造、承台与柱的连接构造、承台与承台之间的连接构造尚应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94、《铁路桥涵地基和基础设计规范》TB10093、《公路桥涵地基和基础设计规范》JTG3363的有关规定。

4.3 计算

**4.3.1** 全液压可视可控旋挖扩底灌注桩单桩极限承载力应根据载荷试验最终确定。

**4.3.2** 工业与民用建筑、公路桥梁的单桩竖向受压承载力特征值以及铁路桥梁单桩轴向受压承载力容许值应按下式确定：

  （4.3.2）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： | *R*a—— | 工业与民用建筑、公路桥梁的单桩竖向受压承载力特征值，铁路桥梁单桩轴向受压承载力容许值（kN），公路、铁路桥梁、港口工程桩身自重与置换土重（当自重计入浮力时，置换土重也计入浮力）的差值计入作用效应； |
|  | *Q*uk—— | 单桩竖向受压极限承载力； |
|  | *K*—— | 安全系数，对于一般工业与民用建筑、桥梁等工程，取*K*≥2.0。 |

**4.3.3** 单桩竖向受压极限承载力计算可按下式估算：

 （4.3.3）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： | *u*—— | 常径段桩身截面周长(m)； |
| *ψ*s*i*，*ψ*pj—— | 大直径桩侧阻力、端阻力尺寸效应系数，可参照现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94取值； |
| *q*s*ik*—— | 单桩第*i*层土的极限侧摩阻力（kPa），可根据土的名称、土层埋藏深度、土的性质及原位测试值选用，如无当地经验值时，可参照《建筑桩基技术规范》JGJ94、《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG3363、《铁路桥涵地基和基础设计规范》TB10093、《港口工程桩基规范》JTS167的规定取值； |
| *q*pjk—— | 桩身第j个扩大部分所在土层极限承载力（kPa），可根据土的名称、土层埋藏深度、土的性质及土的原位测试值选用，如无当地经验值时，可参照《建筑桩基技术规范》JGJ94取值； |
| *q*pk—— | 桩端土层极限承载力，可根据土的名称、土层埋藏深度、土的性质及土的原位测试值选用，如无当地经验值时，一般工业与民用建筑可参照《建筑桩基技术规范》JGJ94取值，公路桥梁可按式4.3.4估算，铁路桥梁可按式4.3.5估算； |
|  | *lsi*—— | 一般工业与民用建筑为桩身穿过第*i*层土的厚度(m)，公路、铁路桥梁为承台底面或局部冲刷线以下各土层的厚度（m），对于扩孔桩斜面及变截面以上2d长度范围不计侧阻力；  |
| *A*pj、*A*p—— | 分别桩身第j个扩大头部分桩底面积和桩端扩径截面面积（m2），对于中间扩大节点，应扣除等径桩部分面积（m2）； |
| *m*—— | 扩大头数量。 |

**4.3.4** 公路桥梁中桩端土层极限承载力可按下式估算：

 （4.3.4）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： | *q*rk—— | 桩端土层极限承载力（kPa），当持力层为砂土、碎石土时，若计算值超过下列值，宜按下列值采用：粉砂2000kPa；细砂2300kPa；中砂、粗砂、砾砂2900kPa；碎石土5500kPa； |
| *m*0—— | 清底系数，按表4.3.4-1选用； |
| *λ——* | 修正系数，按表4.3.4-2选用； |
| *f*a0*——* | 桩端土的承载力特征值（kPa），可参照现行行业标准《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG3363取值； |
| *k*2*——* | 承载力特征值的深度修正系数，根据桩端持力层土的类别按表4.2.4-3选用； |
| *γ*2*——* | 桩端以上各土层的加权平均重度（kN/m3），当持力层在水位以下且不透水时，均应取饱和重度；当持力层透水时，水中部分土层应取浮重度； |
| *h——* | 桩端的埋置深度（m），对有冲刷的桩基，埋深由局部冲刷线起算；对无冲刷的桩基，埋深由天然地面线或实际开挖后的地面线起算；*h*的计算值不应大于40m，大于40m时，取40m。 |

表4.3.4-1 清底系数*m*0

|  |  |
| --- | --- |
| *t*0/*d* | 0.3~0.1 |
| m0 | 0.7~1.0 |

注：1.*t*0、*d*为桩端沉渣厚度和桩的直径。

2.*d*≤1.5m时，*t*0≤300mm；*d*＞1.5m时，*t*0≤500mm。同时满足条件0.1＜*t*0/*d*＜0.3。

表4.3.4-2 修正系数*λ*值

|  |  |
| --- | --- |
| 桩端土情况 | *l*/*d* |
| 4~20 | 20~25 | >25 |
| 透水性土 | 0.70 | 0.70~0.85 | 0.85 |
| 不透水性土 | 0.65 | 0.65~0.72 | 0.72 |

表4.3.4-3 承载力特征值的深度修正系数*k*2值

|  |  |
| --- | --- |
| 土性 | 系数*k*2 |
| 黏性土 | 老黏性土 | 2.5 |
| 一般黏性土 | IL≥0.5 | 1.5 |
| IL<0.5 | 2.5 |
| 新近沉积黏性土 | 1.0 |
| 残积土 | 1.5 |
| 粉土 | 1.5 |
| 黄土 | 新黄土 | 1.5 |
| 老黄土 | 1.5 |
| 砂土 | 粉砂 | 中密 | 2.0 |
| 密实 | 2.5 |
| 细砂 | 中密 | 3.0 |
| 密实 | 4.0 |
| 中砂 | 中密 | 4.0 |
| 密实 | 5.5 |
| 砾砂、粗砂 | 中密 | 5.0 |
| 密实 | 6.0 |
| 碎石土 | 碎石、圆砾、角砾 | 中密 | 5.0 |
| 密实 | 6.0 |
| 卵石 | 中密 | 6.0 |
| 密实 | 10.0 |

注：1.对稍密和松散状态的砂、碎石土，*k*2值可采用表列中密值的50%。

 2.强风化和全风化的岩石，可参照所风化成的相应土类取值；其他状态下的岩石不修正。

**4.3.5** 铁路桥梁中桩端土层极限承载力可按下式估算：

 （4.3.5）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： | *q*rk—— | 桩端土层极限承载力（kPa）； |
|  | *m' 0*—— | 全液压可视可控旋挖扩底灌注桩桩底支承力折减系数，按表4.3.5采用； |
| [*σ*]—— | 桩底地基土的容许承载力（kPa）：当*h*≤4*d*时，[*σ*]= *σ*0+*k*2*γ*2（*h*-3）；当4*d*<*h*≤10*d*时，[*σ*]= [*σ*0]+*k*2*γ*2(4*d*-3) +k' 2*γ*2(*h*-4*d*)；当*h*>10*d*时，[*σ*]= [*σ*0]+*k*2*γ*2(4*d*-3) +*k' 2γ*2(6*d*)；*σ*0可参照现行行业标准《铁路桥涵地基和基础设计规范》TB10093取值；对于黏性土和黄土，*k*' 2取1.0；对于其他土，*k*' 2取*k*2/2。 |

表4.3.5 全液压可视可控旋挖扩底灌注桩桩底支承力折减系数*m' 0*

|  |  |
| --- | --- |
| 土质及清底情况 | *m' 0* |
| 5*d＜h≤*10*d* | 10*d＜h≤*25*d* | 25*d＜h≤*50*d* |
| 土质较好，不易坍孔，清底良好 | 0.9~0.7 | 0.7~0.5 | 0.5~0.4 |
| 土质较差，易坍孔，清底稍差 | 0.7~0.5 | 0.5~0.4 | 0.4~0.3 |
| 土质差，难以清底 | 0.5~0.4 | 0.4~0.3 | 0.3~0.1 |

注：*h*为地面线或局部冲刷线以下桩长，以m计。

**4.3.6** 后注浆灌注桩的单桩极限承载力，应通过静载试验确定，对于一般工业与民用建筑、公路桥梁，在符合《建筑桩基技术规范》JGJ94和《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG3363相关技术实施规定的条件下，其后注浆单桩极限承载力标准值可按下式估算，且桩端水泥质量尚不应少于5D（扩底段直径D单位为m，水泥质量单位为t）：



（4.3.6）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： | *Q*sk—— | 后注浆非竖向增强段的总极限侧阻力标准值（kN）； |
| *Q*gsk—— | 后注浆竖向增强段的总极限侧阻力标准值（kN）； |
| *Q*pk—— | 非后注浆极限端阻力标准值（kN）； |
| *Qg*pk—— | 后注浆极限端阻力标准值（kN）； |
| *lg*i—— | 后注浆竖向增强段内第i层土厚度；对于一般工业与民用建筑全液压可视可控旋挖扩底灌注桩，当为单一桩端后注浆时，竖向增强段为桩端以上12m；当桩端、桩侧复式注浆时，竖向增强段为桩端以上12m及各桩侧注浆断面以上12m，重叠部分应扣除；对于公路桥梁，在饱和土层中桩端压浆时，仅对桩端以上10m~12m范围内的桩侧阻力进行增强修正，在非饱和土层中桩端压浆时，仅对桩端以上5m~6m的桩侧阻力进行增强修正；在饱和土层中桩侧压浆时，仅对压浆断面以上10m~12m范围内的桩侧阻力进行增强修正，在非饱和土层桩侧压浆时，仅对压浆断面上下各5m~6m范围内的桩侧阻力进行增强修正；对于港口工程，在饱和土层中压浆时，仅对桩端以上8m~12m范围的桩侧阻力进行增强修正；在非饱和土层中压浆时，仅对桩端以上4m~5m范围的桩侧阻力进行增强修正； |
| *β*si、*β*pj—— | 分别为后注浆侧阻力、端阻力增强系数，无当地经验时，一般工业与民用建筑可按表4.3.6-1取值，公路桥梁可按表4.3.6-2取值，港口工程可按表4.3.6-3取值。 |

表4.3.6-1 后注浆侧阻力增强系数*β*si，端阻力增强系数*β*pj（一般工业与民用建筑）

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 土层名称 | 淤泥淤泥质土 | 黏性土粉土 | 粉砂细砂 | 中砂 | 粗砂砾砂 | 砾石卵石 | 全风化岩强风化岩 |
| *β*si | 1.2~1.3 | 1.4~1.8 | 1.6~2.0 | 1.7~2.1 | 2.0~2.5 | 2.4~3.0 | 1.4~1.8 |
| *β*pj | — | 2.2~2.5 | 2.4~2.8 | 2.6~3.0 | 3.0~3.5 | 3.2~4.0 | 2.0~2.4 |

表4.3.6-2 后注浆侧阻力增强系数*β*si，端阻力增强系数*β*pj（公路桥梁）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 土层名称 | 淤泥质土 | 黏土粉质黏土 | 粉土 | 粉砂 | 细砂 | 中砂 | 粗砂砾砂 | 角砾圆砾 | 碎石卵石 | 全风化岩强风化岩 |
| *β*si | 1.2~1.3 | 1.3~1.4 | 1.4~1.5 | 1.5~1.6 | 1.6~1.7 | 1.7~1.9 | 1.8~2.0 | 1.6~1.8 | 1.8~2.0 | 1.2~1.4 |
| *β*pj | — | 1.6~1.8 | 1.8~2.1 | 1.9~2.2 | 2.0~2.3 | 2.0~2.3 | 2.2~2.4 | 2.2~2.5 | 2.3~2.5 | 1.3~1.6 |

注：对稍密和松散状态的砂、碎石土可取较高值，对密实状态的砂、碎石土可取较低值。

表4.3.6-3 后注浆侧阻力增强系数*β*si，端阻力增强系数*β*pj（港口工程）

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 土层名称 | 黏性土粉土 | 粉砂 | 细砂 | 中砂 | 粗砂 | 砾砂 | 碎石土 |
| *β*si | 1.3~1.4 | 1.5~1.6 | 1.5~1.7 | 1.6~1.8 | 1.5~1.8 | 1.6~2.0 | 1.5~1.6 |
| *β*pj | 1.5~1.8 | 1.8~2.0 | 1.8~2.1 | 2.0~2.3 | 2.2~2.4 | 2.2~2.4 | 2.3~2.5 |

注：当地质条件比较复杂或持力层为软弱土层时，增强系数应作适当折减。

**4.3.7** 单桩抗拔承载力设计值应按下式确定，通过抗拔试验确定的单桩极限抗拔承载力应扣除桩的自重：

 （4.3.7）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： | *N*k—— | 按荷载效应标准组合计算的基桩拔力（kN）； |
|  | *T*uk—— | 单桩竖向抗拔极限承载力（kN），对于公路桥梁，当桩的轴向力由结构自重、预加力、土重、土侧压力、汽车荷载和人群荷载的频遇组合引起时，桩不得受拉；当桩的轴向力由上述荷载与其他可变作用、偶然作用的频遇组合或偶然组合引起时，桩可受拉； |
|  | *G*p—— | 单桩自重设计值（kN），地下水位以下应扣除浮力。 |

**4.3.8** 单桩竖向抗拔极限承载力计算可按下式估算：

 （4.3.8）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： | *λi*—— | 抗拔系数，可按表4.3.8取值； |
|  | *ui*—— | 桩身截面周长（m），在扩径段影响范围以上取πd，在扩径段影响范围内取πD，扩径段影响范围包括扩底段长度和自扩底段的起始位置往上取8*D*范围，且至软弱土层层底止。 |

表4.3.8 抗拔系数*λi*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 一般工业与民用建筑 | 公路、铁路桥梁 | 港口工程 |
| 砂土0.50~0.70 | 0.6 | 砂土0.5-0.6 |
| 黏性土、粉土0.70~0.80 | 黏性土0.7-0.8 |

**4.3.9** 桩基位于季节性冻土层或膨胀土中时，应验算桩的抗拔稳定性，可按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94、《公路桥涵与基础设计规范》JTG3363的有关规定计算。

**4.3.10** 当作用于桩基上的外力主要为水平力时，应根据使用要求对桩顶变形的限制，按桩身直径为d的等截面灌注桩进行水平承载力验算。当外力作用面的桩距较大时，桩基的水平承载力可视为各单桩的水平承载力之和；当承台侧面的土未经扰动或回填密实时，可考虑土抗力的有利作用，可按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94的有关规定计算。

**4.3.11** 对于承受水平荷载较大的、设计等级为甲级的建筑桩基，单桩水平承载力特征值应通过水平静载试验确定。试验应采用慢速维持荷载法，并符合现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ106的规定。

**4.3.12** 根据原位测试和经验参数确定单桩竖向受压极限承载力的全液压可视可控旋挖扩底灌注桩，当桩端下持力层厚度2.0D内存在与持力层压缩模量之比不大于0.6的软弱下卧层时，可按现行行业标准《大直径扩底灌注桩技术规程》JGJ/T225的有关规定计算。对于桩距不超过6d的群桩基础，桩端持力层下存在承载力低于桩端持力层承载力1/3的软弱下卧层时，可按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94的有关规定计算。

**4.3.13** 当需要进行沉降验算时，全液压可视可控旋挖扩底灌注桩可按《大直径扩底灌注桩技术规程》JGJ/T225计算单桩竖向变形。

**4.3.14** 全液压可视可控旋挖扩底灌注桩桩身强度和裂缝控制计算应符合国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB50010和《建筑桩基技术规范》JGJ94的有关规定。

**4.3.15** 当全液压可视可控旋挖扩底灌注桩穿过欠固结土、可液化土、自重湿陷性黄土或由于大面积地面堆载、降低地下水位等使桩周土体承受荷载而产生显著压缩沉降时，应考虑桩的负侧阻力或侧阻力折减，并可按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94的有关规定进行计算。

**4.3.16** 桩基承台受弯计算、受冲切计算、受剪计算、局部受压计算、抗震验算应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94的规定。

**4.3.17** 群桩基础的基桩承载力及沉降变形应考虑由承台、桩群、土相互作用产生的群桩效应，可按《建筑桩基技术规范》JGJ94的有关规定计算。

# 5 施工

5.1 一般规定

**5.1.1** 施工前应根据设计要求、工程地质和水文地质条件、周边环境资料及场地条件等编制施工组织设计或专项施工方案。主要包括以下内容：

1 勘察、设计文件资料；

2 工程场地及周边环境资料；

3 施工设备资料；

4 施工技术参数；

5 施工工艺流程；

6 施工技术要点；

7 施工安全及环境保护措施；

8 施工质量检验要求；

9 工程监测要求；

10 应急预案等。

**5.1.2** 全液压可视可控旋挖扩底灌注桩施工前应进行工艺性试成孔，试成孔数量不应少于2个。

**5.1.3** 全液压可视可控旋挖扩底灌注桩施工应复核测量基准线、基准点，基准线、基准点应设在不受桩基施工影响的区域，并在施工中加以保护。

**5.1.4** 全液压可视可控旋挖扩底灌注桩施工应做好施工记录，施工记录表可按附录B执行。

**5.1.5** 全液压可视可控旋挖扩底灌注桩设备进场组装后应进行调试，经检验合格方可投入施工。

**5.1.6** 成孔挖掘的渣土宜放置于土箱内，并应及时清运。

**5.1.7** 全液压可视可控旋挖扩底灌注桩施工工艺流程应符合下列规定（图5.1.7）：

稳定液配制

安放导管

检测沉渣

扩径成孔开始

使用专用清渣泵或采用气举循环进行二次清孔

气举循环进行二次清孔

安装钢筋笼

埋设护筒完毕

钻机定位

利用扩底铲斗一次清孔

扩径成孔结束测量孔深

注入稳定液

灌注混凝土

成孔开始

钢筋笼制作

混凝土灌注完毕

拆除护筒

成孔至扩底标高

施工现场准备

测量孔深

稳定液回收处理

稳定液储存

多段扩孔

检验合格后

成孔完成

不合格

合格

图5.1.7 全液压可视可控旋挖扩底灌注桩施工流程图

5.2 材料与设备

**5.2.1** 钢筋、混凝土材料应符合下列要求：

 **1** 钢筋的材质、规格应符合设计要求；

 **2** 钢筋应按批号、规格分批验收，并应进行抽样复试，复试合格后方可使用；

 **3** 钢筋进场后，应按批按规格分类堆放，标识清楚，妥善保管，防止污染和锈蚀；

 **4** 混凝土应进行坍落度检测，符合设计要求方可使用。

**5.2.2** 稳定液配合比应按土层情况试配确定，遇土层极松散、颗粒粒径较大及含盐量高或有化学污染的地下水时，应采取措施调整稳定液配比。

**5.2.3** 稳定液应选用优质膨润土与外加剂或其他高分子材料，膨润土宜选用不大于200目且过筛率达98%的钠基膨润土。

**5.2.4** 成孔设备应根据场地地质条件、周边环境条件并结合全液压可视可控旋挖扩底灌注桩的深度、桩径等因素进行选择。

**5.2.5** 全液压可视可控旋挖扩底钻机应包括履带式主机、伸缩式凯式钻杆、旋挖钻斗、扩底铲斗、智能监控系统等。

**5.2.6** 履带式主机应应满足工程施工要求的孔径和深度。

**5.2.7** 扩底铲斗应具有以下功能：

1 扩底铲斗液压控制，液压系统应具有不小于20Mpa的液压力，在竖向力作用下能自由收放；

2 扩底铲斗应具有旋转切削挖掘扩底功能，并能将扩底部位渣土清除带出地面。

**5.2.8** 智能监控系统在成桩过程应能自动监控成桩直径、扩底直径、成桩深度、回转力矩、铲斗渣土容量等参数。

**5.2.9** 全液压可视可控旋挖扩底设备可施工常径段最小直径850mm，最大直径3000mm，扩大段最大直径5000mm，应符合表4.2.2要求，最大成孔深度不宜超过120m。

**5.2.10** 旋挖钻斗直径应根据设计桩径、工程地质条件和成孔工艺合理选定,且不应小于设计桩径。成孔用钻头应设置保径装置,每根桩成孔前应检查确认钻头直径。

**5.2.11** 扩底铲斗伸扩臂的长度、角度与其连杆行程应根据设计扩孔段外形尺寸确定。

5.3 施工准备

**5.3.1** 施工前应做好相应的准备工作：

 **1** 施工前应调查邻近工程的施工相互影响情况；

 **2** 引入基准点，并定期复核；

 **3** 对杂填土等不良地质和地下障碍物进行查验和处理；

 **4** 场地平面布置应根据施工流程、钢筋堆场、钢筋笼制作场地、泥浆池及设备行走路线等合理布置；

 **5** 施工场地应做到水通、电通、道路畅通，并及时清理平整，道路应满足施工设备对地基承载力的要求；

 **6** 大型设备及吊装机具进场应进行安装调试、检查验收，确保完好状态；

 **7** 原材料进场应具有产品质量证明文件，并进行验收，检验合格后投入使用。

**5.3.2** 施工测量放样应符合下列规定：

 **1** 施工前应完成测量和复测工作，并形成书面资料；

 **2** 现场应建立测量控制网，包括平面控制点、水准控制点，并应在施工中及时复测。

**5.3.3** 稳定液循环系统的设置和使用应符合下列规定：

 **1** 稳定液循环系统应由新浆池、成孔浆液储浆池、灌注浆液回收池、泥浆泵、除砂设备等设施、设备组成，并应设有排水、清洗、排渣等设施；

 **2** 稳定液回收应采用除砂设备，除砂设备宜设置在回收池和储浆池之间；

 **3** 回收池和储浆池的设置数量应按场地条件、单桩方量、施工进度计划和设备配置数量确定，每套设备配置的储浆池不宜少于单桩方量的1.5倍；新浆池、储浆池、回收池的布置应按桩位分布合理确定；

 **4** 储浆池宜设置在桩位区域外，储浆池宜砌筑在混凝土地坪上，池壁高度宜为1.5m~2.0m；池壁墙体厚度应根据计算确定，且不宜小于200mm，新浆池与储浆池之间应采用泥浆泵输送循环；

 **5** 泥浆泵应悬挂在支架上，并采用链条葫芦调节泥浆泵浸入稳定液流面的深度；

 **6** 储浆池、回收池应疏通清理，清出的泥渣应集中堆放、外运；

**5.3.4** 施工场地内应设置渣土集土坑，并应符合下列规定：

1 集土坑容量应与施工计划相匹配，开挖深度不宜超过2.0m；

2 集土坑应采用钢筋混凝土浇筑，墙体厚度应根据计算确定，且不宜小于200mm，宜高出地面1.0m；

3 集土坑内应设置排水设施，并及时排水。

5.4 成孔

**5.4.1** 成孔时钻机定位应准确，桩位中心定位偏差为20mm，钻孔垂直度偏差为1/200。

**5.4.2** 护筒的选用和埋设应符合下列规定：

 **1** 护筒应采用钢制护筒，并应具有足够的强度和刚度，护筒内径宜比设计桩径大200mm；

 **2** 护筒埋设位置应准确，其偏差为20mm，并应保持垂直度偏差不超过1/300；

 **3** 护筒长度不应小于2m，埋入原状土的深度不应小于0.5m，遇浅层易坍孔土层宜采取深护筒等措施；

 **4** 护筒上口应开设与排浆槽连通的溢浆口；

 **5** 护筒埋设后，周围应采用黏土分层回填、夯实；

 **6** 成孔中护筒应有防止下沉的措施。

**5.4.3** 应根据钻进速度同步补充稳定液，保持液面高度不变，且施工期间护筒内稳定液液面应高出地下水位0.5m以上。

**5.4.4** 稳定液拌制应采用稳定液搅拌机进行搅拌，搅拌时间、配合比应经试验确定。新拌制稳定液应经充分水化，贮放时间不应少于24h。

**5.4.5** 成孔施工中新浆稳定液性能指标应符合表5.4.5规定。

表5.4.5-1 新浆稳定液性能指标

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | 性能指标 | 检测方法 |
| 比重 | 1.05~1.10 | 比重计 |
| 黏度（s） | 25~35 | 黏度计 |
| pH值 | 7~9 | pH试纸 |

**5.4.6** 循环稳定液的含砂量大于6%时，应用除砂设备进行处理，并对其性能指标进行检验应符合表5.4.6规定。

表5.4.6 循环稳定液性能指标

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | 性能指标 | 检测方法 |
| 比重 | 黏性土 | 1.05~1.20 | 比重计 |
| 砂土 | 1.05~1.25 |
| 砂夹卵石 | 1.05~1.30 |
| 黏度（s） | 黏性土 | 18~28 | 黏度计 |
| 砂土 | 28~35 |
| 含砂率（%） | ≤6% | 洗砂瓶 |

**5.4.7** 成孔应采用间隔成孔方式，成孔卸土的位置与已成桩孔的最小距离不应小于6m，并应及时清理外运。

**5.4.8** 常径段成孔施工应符合下列规定：

 **1** 成孔直径应达到设计桩径，钻头尺寸应与设计孔径相匹配；

 **2** 开始成孔时应用低钻压缓慢钻进，钻速不宜超过10m/h，待钻头进入土层一定深度后，再逐渐增大转速并调整钻压进行钻进；

 **3** 常径段成孔至设计孔深后，应对孔深进行验收，验收合格后方可进行下道扩孔施工工序。

**5.4.9** 常径段钻进速度应根据土层、孔径、孔深等因素确定，并应符合下列要求：

**1** 护筒下1m范围内，钻速不宜超过8m/h；

**2** 在淤泥或淤泥质土层中，钻速不宜大于10m/h；

**3** 在松散砂层中，钻速不宜大于15m/h；

**4** 在硬土层中，钻速不宜大于5m/h；

**5** 穿过软硬土层交界处时，宜缓慢进尺，在杂填土层或含水量较大的软塑黏性土层中钻进时，应减少钻杆晃动；

**6** 空钻斗升降速度宜符合表5.4.9的规定。

表5.4.9 空钻斗升降速度限值

|  |  |
| --- | --- |
| 常径段直径*d*(mm) | 升降速度(m/*s*) |
| <1200 | ≤1.00 |
| 1200~1300 | ≤0.80 |
| ≥1300 | ≤0.60 |

**5.4.10** 扩径段成孔施工应符合下列规定：

1 成孔应连续施工,常径段成孔到达设计深度后，应在30min内转换成扩底铲斗进行扩底施工，缓慢旋转并通过液压系统逐步打开扩大翼进行扩底作业；

2 扩底桩设计参数应在施工前输入智能监控系统，在系统监视下进行扩底施工；

3 扩底过程中钻进速度应降低，每次扩孔量应小于扩底铲斗容量，扩底铲斗内的渣土应及时提升至地面，并堆放至指定位置；

4 在裂隙发育、不均质的风化岩中扩底时，应在运转平稳后施加旋转切削压力；

5 扩底铲斗提出孔外后，应及时冲洗、检查，发现问题应及时处理；

6 桩身存在多个扩径段时，应从上往下依次进行扩底施工。

**5.4.11** 成孔前和每次提出钻斗时，应检查钻斗和钻杆连接销子、钻斗门连接销子以及钢丝绳的状况，并应清除钻斗上的渣土。

**5.4.12** 废弃稳定液应根据环境要求和场地条件在现场干化处理或用封闭罐车运输到指定位置处理。

5.5 清孔

**5.5.1** 清孔应分两次进行，第一次清孔在扩孔完成后进行，第二次清孔在钢筋笼下放后，灌注混凝土之前进行。

**5.5.2** 采用正循环清孔时，应符合下列规定：

 **1** 第一次清孔可利用扩底铲斗直接进行清渣；

 **2** 第二次清孔宜在钢筋笼安装完成后利用导管进行清孔。

**5.5.3** 采用泵吸反循环清孔时，应符合下列规定：

 **1** 泵吸反循环的二次清孔可利用导管、吸浆泵组成反循环系统进行，清孔时应将导管提离孔底0.5m~0.8m，吸出孔底沉渣进行清孔；

 **2** 清孔时，输入孔内的泥浆量不应小于泵吸的排量，保持孔口液面高度。

**5.5.4** 采用气举反循环清孔时，应符合下列规定：

 **1** 第二次清孔可利用气举反循环进行，可利用混凝土浇灌导管配置气管及气水混合器进行；

 **2** 导管底部距离孔底宜为300mm~400mm，气水混合器至稳定液液面的距离与孔深之比宜为0.55~0.65；

 **3** 开始送气时，应向孔内供浆，停止清孔时应先关气后断浆；

 **4** 送气量应由小到大，气压应大于孔底水头压力，孔底沉淤较厚时，可加大送气量，并摇动排浆管；

 **5** 清孔时排浆管应同步跟进，以保证排浆管底口与沉淤面的距离；

 **6** 清孔中应保证补浆充足和孔内稳定液液面稳定；

 **7** 二次清孔时间宜为清除孔底沉渣满足设计要求后持续15min以上。

**5.5.5** 清孔后应测定稳定液指标，孔底0.5m以内的稳定液性能指标应符合表5.5.5的规定。

表5.5.5 清孔后稳定液性能指标

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | 性能指标 | 检测方法 |
| 比重 | 黏性土 | 1.10~1.20 | 比重计 |
| 砂土 | 1.10~1.25 |
| 砂夹卵石 | 1.10~1.25 |
| 黏度（s） | 黏性土 | 22~30 | 黏度计 |
| 砂土 | 22~35 |
| 砂夹卵石 |
| 含砂率(%) | ≤4% | 洗砂瓶 |

**5.5.6** 成孔达到设计深度，灌注混凝土之前，孔底沉渣厚度指标应符合下列规定:

 **1** 对端承型桩，不应大于50mm；

 **2** 对后注浆端承型桩，不应大于100mm；

 **3** 对抗拔、抗水平力桩，不应大于200mm。

**5.5.7** 钢筋笼到达设计深度后检测沉渣超过本规程第5.5.6条的要求时，应在混凝土浇筑前进行二次反循环清孔。

**5.5.8** 清孔后超过30min未灌注混凝土时，应重新检测沉渣，沉渣超过本规程第5.5.6条的要求时，在混凝土浇筑前再次进行反循环清孔。

**5.5.9** 清孔回收的稳定液应配置除砂设备进行除砂处理。

5.6 钢筋笼制作与吊放

**5.6.1** 钢筋笼的制作应符合下列规定：

1钢筋笼应采用环形模制作，外型尺寸应符合设计要求，其允许偏差应符合表5.6.1的规定；

表5.6.1 钢筋笼制作允许偏差

|  |  |
| --- | --- |
| 项目 | 允许偏差（mm） |
| 主筋间距 | ±10 |
| 箍筋间距 | ±20 |
| 钢筋笼直径 | ±10 |
| 钢筋笼整体长度 | ±100 |
| 主筋保护层厚度 | ±20 |

2钢筋笼长度在50m以内时，宜单节整体加工，超过50m时钢筋笼宜分段制作，分段长度应根据钢筋笼整体刚度、钢筋长度以及起重设备的有效高度等因素确定；

3 钢筋笼接头宜采用焊接或机械接头，接头应相互错开符合相关规范要求；

4 钢筋笼起吊吊点宜设在加强箍筋部位，吊点上下1m范围箍筋宜100%电焊；

5 当钢筋笼无法满足起吊刚度要求时，应在钢筋笼加强箍内设置三角支撑增加整体刚度。

**5.6.2** 钢筋笼焊接应符合下列规定：

 **1** 焊接用焊条应与母材等强度；

 **2** 钢筋宜采用搭接或绑条焊，焊缝长度应符合表5.6.2的规定，焊缝宽度不应小于0.8d，厚度不应小于0.3d，绑条焊时两主筋端面的间隙应为2mm~ 5mm；

表5.6.2 钢筋绑条长度

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 钢筋型号 | 焊缝形式 | 焊缝长度 |
| HRB400RRB400 | 单面焊 | ≥10d |
| 双面焊 | ≥5d |

 **3** 焊接接头的抽样测试与测试结果应符合现行行业标准《钢筋焊接及验收规程》JGJ 18的规定；

 **4** 同一截面内的接头数量不应大于主筋总数的50%，相邻接头应上下错开，错开距离不应小于35倍主筋直径；

 **5** 环形箍筋与主筋的连接应采用电弧焊点焊连接；螺旋箍筋与主筋的连接可采用铁丝绑扎并间隔点焊固定，也可采用点焊固定。

**5.6.3** 钢筋笼主筋采用机械连接时应符合下列规定：

 **1** 钢筋机械连接应具有型式检验报告；

 **2** 每批钢筋连接接头的检验结果应符合按现行行业标准《钢筋机械连接通用技术规程》JGJ 107的规定；

 **3** 同一连接区段内有接头的受力钢筋截面面积占受力钢筋总截面面积的百分率，二级接头不应大于50%，一级接头可不受限制，错开距离不应小于35倍受力钢筋直径；

 **4** 钢筋笼制作允许偏差除应符合本规程表5.6.1的规定外，还应满足机械连接接头的要求；

 **5** 机械连接接头的操作应符合现行行业标准《钢筋机械连接通用技术规程》

JGJ 107的有关规定；

 6 当钢筋笼分节吊装孔口对接时，宜采用机械接头对接。

**5.6.4** 成型的钢筋笼应平卧堆放在平整干净的地坪上，堆放层数不应超过2层。

**5.6.5** 钢筋笼主筋混凝土保护层允许偏差应为±20mm，钢筋笼上应设置保护层垫块，每4m钢筋笼不应少于1组，每组不应少于3块，且应均匀分布于同一截面上。

**5.6.6** 钢筋笼的吊放安装应符合下列规定：

 **1** 钢筋笼应经验收合格后安装；

 **2** 钢筋笼在起吊、运输和安装中应采取防止变形的措施，起吊吊点和钢筋笼的搁置点应设在加强箍位置；

 **3** 钢筋笼安装入孔时，应保持垂直状态，对准孔位轻放，避免碰撞孔壁；

 **4** 钢筋笼安装标高应符合设计要求，偏差不得大于100mm；

 **5** 钢筋笼全部安装入孔后应检查安装位置，确认笼顶标高符合设计要求后，将钢筋笼用吊筋进行固定。

**5.6.7** 钢筋笼孔口连接应符合下列规定：

 **1** 下节钢筋笼上端宜露出孔口操作面1m；

 **2** 上、下节钢筋笼主筋连接部位应对正，且上、下节钢筋笼应在垂直状态时连接；

 **3** 连接时宜两边对称进行；

 **4** 每节钢筋笼连接完毕后应补足连接部位的箍筋，并应按本规程第5.6.1条规定进行验收，验收合格后继续进行下一节钢筋笼的安装。

5.7 水下混凝土施工

**5.7.1** 水下灌注的混凝土应符合下列规定：

 **1** 配合比应通过试验确定，且应符合现行行业标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55的规定；

 **2** 混凝土应具有良好的和易性，坍落度宜为180mm～220mm；

 **3** 混凝土强度应按比设计强度提高等级配置，宜按表5.7.1确定。

表5.7.1 混凝土配置强度与设计强度等级对照表

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 混凝土设计强度 | C25 | C30 | C35 | C40 | C45 | C50 | C60 |
| 混凝土配制强度 | C30 | C35 | C40 | C50 | C55 | C60 | C70 |

**5.7.2** 灌注桩混凝土的导管应符合下列规定：

 **1** 导管内径应按常径段直径和每小时灌注量确定，宜为200mm～300mm，导管壁厚不应小于6mm，导管第一节底管长度不应小于4m，导管标准节长度宜为2.5m~3.0m，并可设置各种长度的短节导管；

 **2** 导管使用前，需经过压水试验，试水压力为0.6MPa~ 1.3MPa，确保不渗漏水，方能投入灌注混凝土工作；

 **3** 导管接头应保证导管连接可靠和平直，具有良好的密封性；

 **4** 导管总长2/3处或钢筋笼半笼上2m处应放置一节有三角形加劲板的导管，避免导管提升过程中碰撞钢筋笼；

 **5** 每次使用后应对导管内外进行清洗。

**5.7.3** 混凝土灌注用隔水塞应有良好的隔水性能。隔水塞宜采用球胆或与桩身混凝土强度等级相同的细石混凝土制作的混凝土块。

**5.7.4** 水下混凝土灌注施工应符合下列规定：

 **1** 导管安装完毕后，应进行二次清孔，清孔结束后泥浆指标及沉渣厚度应符合本规程第5.5.5条及第5.5.6条的规定，符合要求后应30min内浇筑混凝土；

 **2** 开始灌注混凝土时，导管底部至孔底的距离宜为300mm~500mm；

 **3** 混凝土初灌量应能保证混凝土灌入后，导管埋入混凝土深度不应小于1.0m；

 **4** 灌注过程中导管应始终埋在混凝土中，严禁将导管提出混凝土面；导管埋入混凝土面的深度宜为3m~10m，最小埋入深度不应小于2m，导管应勤提勤拆，一次提管拆管不得超过6m；

 **5** 应连续灌注水下混凝土，并应经常检测混凝土面上升情况，灌注时间应确保混凝土不初凝；

 **6** 混凝土灌注应控制最后一次灌注量，超灌高度应高于设计桩顶标高不小于1.0m且最小超出高度不宜小于桩长的3%。

**5.7.5** 混凝土初灌量应按式5.7.5-1~式5.7.5-3计算（图5.7.5）：



1—漏斗；2—导管

图5.7.5 混凝土初灌量计算示意图

$V\geq \frac{1}{4}πd\_{1}^{2}h\_{4}+\frac{1}{4}kπD\_{1}^{2}h\_{2}+\frac{1}{12}kπ\left(h\_{3}-h\_{2}\right)\left(D\_{2}^{2}+D\_{1}^{2}+D\_{2}D\_{1}\right)$ （5.7.5-1）

$h\_{4}=\frac{\left(h-h\_{3}\right)r\_{m}}{r\_{c}}$ （5.7.5-2）

$D\_{2}=D\_{1}-2\left(h\_{3}-h\_{2}\right)\tan(θ)$ （5.7.5-3）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： | *V*—— | 混凝土初灌量（m3）； |
|  | *h*—— | 桩孔深度（m）； |
|  | *h*1—— | 扩径斜面高度（m）； |
|  | *h*2—— | 扩径段垂直面高度（m）； |
|  | *h*3—— | 初灌混凝土下灌后导管外混凝土高度（m），取1.3m~1.8m； |
|  | *h*4—— | 导管内混凝土与导管外泥浆柱平衡所需的高度（m）； |
|  | *γ*m—— | 稳定液重度，取1.2×103kg/m3； |
|  | *γ*c—— | 混凝土重度，取2.3×103kg/m3； |
|  | *d*1—— | 导管内径（m）； |
|  | *D1*—— | 扩径段直径（m）； |
|  | *D*2—— | 初灌后混凝土面直径（m）； |
|  | *k*—— | 充盈系数，取1.3。 |

**5.7.6** 冬季施工期间，商品混凝土的原材料、配合比设计及拌制应按冬季施工要求控制。对桩顶标高与自然地面标高持平或接近的桩，桩顶应采取保温措施。

# 6 质量检验与验收

6.1 一般规定

**6.1.1** 全液压可视可控旋挖扩底灌注桩的质量验收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。

**6.1.2** 桩身完整性及承载力检测，除应符合本规程规定外，尚应符合现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106的规定。

**6.1.3** 施工前应检验灌注桩的原材料及桩位处的地下障碍物处理资料；施工中应对成孔、清孔、钢筋笼制作与吊放、水下混凝土施工等各项质量指标进行检查验收；施工后，应对桩身完整性、混凝土强度及承载力进行检验。

**6.1.4** 全液压可视可控旋挖扩底灌注桩分项工程质量检验评定表应按附录C执行。

6.2 施工前检验

**6.2.1** 施工前应进行下列检验：

 **1** 应对钢筋以及钢筋笼制作进行检查验收，钢筋笼制作允许偏差应符合本规程表5.6.1的要求；

 **2** 混凝土应具有良好的和易性，坍落度宜为180mm～220mm，混凝土强度应符合设计要求；

 **3** 稳定液的原材料质量控制指标应符合本规程第5.2.3条的规定。

**6.2.2** 施工设备应进行安装调试及检验，检验合格后方可投入使用。

6.3 施工过程质量检验

**6.3.1** 施工过程中应对桩径、垂直度、桩位、沉渣厚度、钢筋笼进行检验，检验合格后方可进行混凝土浇筑。

**6.3.2** 全液压可视可控旋挖扩底灌注桩的桩径、垂直度及桩位允许偏差、沉渣厚度应符合表6.3.2的规定。

表6.3.2 全液压可视可控旋挖扩底灌注桩的桩径、垂直度及桩位允许偏差（mm）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 项次 | 项目 | 允许偏差 | 检测方法 |
| 1 | 桩径 | 常径段直径*d* | ≥0 | 超声波检测 |
| 扩径段桩径*D* | ≥0 |
| 2 | 垂直度 | ≤1/200 | 测钻杆的垂直度或超声波检测 |
| 3 | 桩位 | *d*＜1000mm | ≤70+0.005*H* | 开挖后量桩中心 |
| *d*≥1000mm | ≤100+0.005*H* |
| 4 | 沉渣厚度 | ≤100 | 沉渣测定仪或重锤测量 |

注：*H*为施工现场地面标高与桩顶设计标高的距离。

**6.3.3** 全液压可视可控旋挖扩底灌注桩应进行成孔孔径检测，检测桩数为总桩数的100%，并应进行扩孔施工记录。

**6.3.4** 钢材焊接应符合国家现行有关标准的规定。

6.4 质量验收

**6.4.1** 全液压可视可控旋挖扩底灌注桩工程验收应包括隐蔽工程验收和工程竣工验收。隐蔽工程验收应在被验工序完毕后，下道工序施工前进行。工程竣工验收应视下列两种情况分别组织进行：

 **1** 桩顶设计标高与自然地面标高相同时，可在桩体混凝土达到龄期强度后组织验收；

 **2** 桩顶设计标高低于自然地面标高时，应在基坑开挖至设计标高后组织验收。

**6.4.2** 单桩验收提供的材料应包括：

 **1** 岩土工程勘察报告、桩基施工图、图纸会审纪要、设计变更及材料代用通知单等；

 **2** 经审定的施工组织设计、施工方案及执行中的变更情况；

 **3** 桩位测量放线图，包括工程桩位线复核签证单；

 **4** 原材料的质量出厂合格证和进场复检报告；

 **5** 施工记录、隐蔽工程验收报告、灌注桩开孔通知单、钢筋笼验收单和水下混凝土灌注记录；

 **6** 扩孔最终成孔尺寸映像记录或成孔检测报告；

 **7** 成桩质量检查报告；

 **8** 单桩承载力检测报告、混凝土强度检测报告；

 **9** 基坑开挖至设计标高的基桩竣工平面图及桩顶标高图；

 **10** 工程的重大质量问题的处理方案和验收记录。

**6.4.3** 全液压可视可控旋挖扩底灌注桩质量检验项目应包括：承载力、孔深、桩身完整性、混凝土强度，并应符合表6.4.3的规定。

表6.4.3 全液压可视可控旋挖扩底灌注桩质量检验标准

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 检查项目 | 允许值或允许偏差 | 检查方法 |
| 承载力 | 不小于设计值 | 静载试验、高应变动测等 |
| 桩长 | 不小于设计值 | 声波透射法、钻芯法 |
| 桩身完整性 | — | 钻芯法、低应变法、声波透射法 |
| 混凝土强度 | 不小于设计值 | 28d试块强度或钻芯法 |

**6.4.4** 全液压可视可控旋挖扩底灌注桩扩径段质量检验除应符合本规程6.4.3条的规定，尚应符合表6.4.4的规定。

表6.4.4 扩径段的质量检验标准

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 检查项目 | 允许偏差 | 检查方法 |
| 孔径（上、下口） | ≥0 | 用井位仪或超声波测井仪 |
| 扩径段高度 | ≥0 | 用井位仪或超声波测井仪 |

**6.4.5** 全液压可视可控旋挖扩底灌注桩可采用钻芯法或声波透射法进行桩身完整性检验，抽检数量不应少于总桩数的20%，且不应少于10根；采用低应变法检验桩身完整性时，检验数量应为100%。钻芯法或声波透射法检验应符合现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106及相应行业、地方标准的规定。

**6.4.6** 全液压可视可控旋挖扩底灌注桩当采用单桩静载试验进行承载力检测时，当总桩数少于50根时，检测数量不应少于2根；当总桩数大于50根时，检验数量不应少于同条件下总桩数的1%，且不应少于3根。

**6.4.7** 全液压可视可控旋挖扩底灌注桩单桩竖向抗压承载力的静载试验应符合设计要求，单桩竖向抗拔承载力和单桩水平承载力的静载试验应符合现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106及相应行业、地方标准的规定。

# 附录A 全液压可视可控旋挖扩底灌注桩扩径部分体积增加量理论值速查表

（单位m³，按*h*2=750mm）

计算公式： 



# 附录B 全液压可视可控旋挖扩底灌注桩施工记录表

全液压可视可控旋挖扩底灌注桩钻孔施工记录表

工程名称：

施工班组：

钻桩类型：

设计桩长： 设计桩径： 扩孔桩径：

设计孔底标高： 桩顶标高： 自然地面标高：

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 桩 位 编 号 | 钻 孔 时 间 | 钻 孔 | 护 筒 | 孔底沉淤厚度(mm) | 稳定液比重 |
| 开始 | 等径孔完成  | 扩底开始 | 扩底结束 | 耗时 (min) | 直径 (mm) | 深度(m) | 扩孔直径 (mm) | 扩孔高度(mm) | 直径 (mm) | 长度(mm) | 一次清孔 | 二次清孔 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

工程负责人： 记录： 年 月 日

水下混凝土施工记录表

工程名称：

施工班组：

设计桩规格：φ (mm)× (m)+φ (mm) × (m)

设计桩顶标高： (m) 自然地面标高： (m)

设计混凝土标号： 混凝土坍落度： (mm)

钢筋笼规格：φ (mm)× (m) 导管直径： (mm)

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 桩位编号 | 气候 | 导管 | 施工标号 | 实验坍落度 | 灌注量 | 灌注时间 |
| 天气 | 温度(℃) | 总长(m) | 至孔 底距离 (m) | 第一次(mm) | 第二次 (mm) | 第三次 (mm) | 设计灌量 (m3) | 实际灌量 (m3) | 充盈系数 | 开始 | 结束 | 耗时(min) |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

工程负责人： 施工员： 试验工：

年 月 日

# 附录C 全液压可视可控旋挖扩底灌注桩分项工程质量检验评定表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 工程名称： |  | 检验批部位： |  |
| 施工单位： |  | 项目经理： |  |
| 监理单位： |  | 专业监理工程师： |  |
| 施工依据标准： |  | 分包单位负责人： |  |
| 主控项目 | 质量合格标准（按本标准） | 施工单位检验评分记录或结果 | 监理（建设）单位验收记录或结果 | 备注 |
| 1 | 承载力 |  |  |  |  |
| 2 | 孔深 |  |  |  |
| 3 | 桩身完整性 |  |  |  |
| 4 | 混凝土强度 |  |  |  |
| 一般项目 | 质量合格标准（按本标准） | 施工单位检验评分记录或结果 | 监理（建设）单位验收记录或结果 | 备注 |
| 5 | 垂直度 |  |  |  |  |
| 6 | 孔径 | 常径段 |  |  |  |
| 扩径段 |  |  |  |
| 7 | 桩位 |  |  |  |
| 8 | 钢筋笼质量 | 主筋间距 |  |  |  |
| 长度 |  |  |  |
| 钢筋材质检验 |  |  |  |
| 箍筋间距 |  |  |  |
| 笼直径 |  |  |  |
| 9 | 沉渣厚度 |  |  |  |
| 10 | 混凝土坍落度 |  |  |  |
| 11 | 钢筋笼安装深度 |  |  |  |
| 12 | 混凝土充盈系数 |  |  |  |
| 13 | 桩顶标高 |  |  |  |
| 施工单位检验评定结果 |  |  |  |  |
| 班组长： |  | 质检员： |  |
| 年 月 日 |  | 年 月 日 |  |
| 监理（建设）单位验收结论 |  |  |  |  |
| 监理工程师 |  |  |  |
| （建设单位项目技术人员） |  年 月 日 |  |

# 本规程用词说明

　　**1** 为便于在执行本标准条文时区别对待，对于要求严格程度不同的用词，说明如下：

　　1）表示很严格，非这样做不可的用词：

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用词：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。

　　3）表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：正面词采用“宜”或“可”，反面词采用“不宜”。

　　**2** 条文中指定应按其他有关标准、规范执行时，写法为“应符合……的规定”。非必须按所指定的标准、规范或其他规定执行时，写法为“可参照……”。

# 引用标准名录

1 《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202

2 《建筑地基基础工程施工规范》GB 51004

3 《普通混凝土配合比设计规程》JGJ 55

4 《建筑桩基技术规范》JGJ 94

5 《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106

6 《铁路桥涵地基和基础设计规范》TB 10093

7 《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG D63

中国工程建设标准化协会标准

旋挖扩底灌注桩技术规程

（拟改为全液压可视可控旋挖扩底灌注桩技术规程）

Technical Specification for Screw-drilled Reamed

Cast-in-situ Pile

（Technical Specification for Hydraulically visual controllable Screw-drilled under-reamed Cast-in-situ pile）

# 条文说明

**目 次**

[1 总则 45](#_Toc96759976)

[3 基本规定 46](#_Toc96759977)

[4 设计 48](#_Toc96759978)

[4.1 一般规定 48](#_Toc96759979)

[4.2 构造 48](#_Toc96759980)

[4.3 计算 56](#_Toc96759981)

[5 施工 70](#_Toc96759982)

[5.1一般规定 70](#_Toc96759983)

[5.2材料与设备 70](#_Toc96759984)

[5.3 施工准备 70](#_Toc96759985)

[5.4 成孔 70](#_Toc96759986)

[5.5清孔 72](#_Toc96759987)

[5.7水下混凝土灌注 73](#_Toc96759988)

[6 质量检验与验收 74](#_Toc96759989)

[6.1 一般规定 74](#_Toc96759990)

[6.3 施工过程质量检验 74](#_Toc96759991)

[6.4 质量验收 74](#_Toc96759992)

# 1 总则

**1.0.1** 扩底桩是指采用一定方式将桩的底部扩大所形成的桩，它通过扩大桩端面积来提高单桩竖向承载力。国内早期由于施工手段的限制，扩底-般采用爆扩或人工挖孔的方法。爆扩桩对桩底爆扩的范围无法精确控制，很难确定有效桩底面积;人工挖孔由于依靠人工开挖，桩径较大，一般大于1. 4m，入土深度也受限制，一般不宜超过25m，桩孔内空间狭小，施工条件差，而且难以保障施工过程中的安全问题。1984年日本开发研制成功扩底桩施工机具，实现扩底桩的机械化施工，桩长、桩径均与普通钻孔灌注桩相同，且桩端扩底的可视化能够有效控制扩底尺寸与质量。该技术在日本国内的多项工程中得到应用，并在提高单桩承载力，降低造价方面取得了良好的效果。2000年国内企业从日本引进了“AM工法”钻孔灌注扩底桩设备和施工技术(专利)，结合国内情况进行改进形成了自主知识产权，并在上海、天津、武汉等地施工了试验桩，试验结果显示：打底桩在相同桩径下，单桩轴向容许承载力比常径桩提高30%以上；而在相同承载力的情况下，比常径桩混凝土用量节省25%以上，并且桩径越大，节省量越多。

该施工工艺首先采用钻机按成孔桩径钻至设计深度，再把扩底机(全液压扩底快速魔力铲斗)下降至桩的底端，打开扩大翼进行护大切削挖掘作业，此时操作人员只需要按照设计要求预先将打底数据输入电脑，桩深及扩底部位的形状、尺寸等数据和图像通过检测装置显示在操作室的监控器上，达到“可视”效果。

AM工法施工时采用要求严格的稳定液护壁，扩底采用全液压扩底快速魔力铲斗进行旋转切削挖掘，扩底时桩端保持液压水平扩大，切削挖掘机施工时采用电脑管理及检测映像装置进行自动控制，施工中避免桩周泥皮过厚，并有效减少孔底沉渣，使单机承载力大幅度提高,从而降低投资成本。

# 3 基本规定

**3.0.1** 全液压可视可控旋挖扩底灌注桩可适用于粒径小于等于20cm的卵石。

**3.0.3**  全液压可视可控旋挖扩底灌注桩（AM工法）的设计前应具备下列基本资料：

 **1** 岩土工程勘察报告：

1） 桩基按两类极限状态进行设计所需用岩土物理力学参数及原位测试参数；

2） 拟建场地的不良地质作用及其分布情况；

3） 地下水位埋藏情况、类型和水位变化幅度，地下水的腐蚀性评价，地下水设计水位；

4） 按设防烈度提供的液化地层资料。

 **2** 场地与环境条件的有关资料：

1） 场地现状交通设施、高压架空线、地下管线和地下构筑物的分布资料；

2） 相邻建（构）筑物安全等级、基础形式及埋置深度。

 **3** 拟建建（构）筑物的有关资料：

1）总平面布置图；

2）结构类型、设计荷载；

3）结构的安全等级。

为满足桩基设计所需的基本资料，除建筑场地工程地质、水文地质资料外，对于场地的环境条件、新建工程的平面布置、结构类型、荷载分布、使用功能上的特殊要求、结构安全等级、抗震设防烈度、场地类别、桩的施工条件、类似地质条件的试桩资料等,都是桩基设计所需的基本资料。根据工程与场地条件，结合桩基工程特点，对勘探点间距、勘探深度、原位试验这三方面制定合理完整的勘探方案，以满足桩型、桩端持力层、单桩承载力、布桩等概念设计阶段和施I图设计阶段的资料要求。

**3.0.5** 本条说明桩基设计的两类极限状态的相关内容。

1 承载能力极限状态

原《建筑桩基技术规范》JGJ 94-94采用桩基承载能力概率极限状态分项系数的设计法，相应的荷载效应采用基本组合。本规范改为以综合安全系数K代替荷载分项系数和抗力分项系数，以单桩极限承载力和综合安全系数K为桩基抗力的基本参数。这意味着承载能力极限状态的荷载效应基本组合的荷载分项系数为1.0,亦即为荷载效应标准组合。本规范作这种调整的原因如下:

1) 与现行国家标准《建筑地基基础设计规范》(GB 50007)的设计原则一致，以方便使用。

2) 关于不同桩型和成桩工艺对极限承载力的影响，实际上已反映于单桩极限承载力静载试验值或极限侧阻力与极限端阻力经验参数中，因此承载力随桩型和成桩工艺的变异特征已在单桩极限承载力取值中得到较大程度反映，采用不同的承载力分项系数意义不大。

3) 鉴于地基土性的不确定性对基桩承载力可靠性影响目前仍处于研究探索阶段，原《建筑桩基技术规范》JGJ 94-94的承载力概率极限状态设计模式尚属不完全的可靠性分析设计。关于桩身、承台结构承载力极限状态的抗力仍采用现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《钢结构设计规范》 GB 50017(钢桩)规定的材料强度设计值，作用力采用现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009规定的荷载效应基本组合设计值计算确定。

2 正常使用极限状态

由于问题的复杂性，以桩基的变形，抗裂、裂缝宽度为控制内涵的正常使用极限状态计算，如同上部结构一样从未实现基于可靠性分析的概率极限状态设计。因此桩基正常使用极限状态设计计算维持原《建筑桩基技术规范》JGJ 94-94规范的规定。

# 4 设计

4.1 一般规定

**4.1.2** 旋挖扩孔灌注桩对持力层的要求更多时候不是出于施工可行性，而是从经济先进性出发，作为对设备和施工工艺要求较高的工法，以过软的土层作为持力层难以体现其经济和技术优先性，因此条文对持力层提出适宜性要求。

目前勘察报告往往根据土层颜色、成因分层，忽略了工程特性，因此造成土层性质接近土层被人为划分后桩基持力层选择出现桩端不能以不同土层作为持力层问题，因此本条文强调对工程性质接近土层可合并考虑作为桩基持力层。

**4.1.3** 多节扩径被工程实践证明除了能大幅度提高单桩承载力，还能有效控制正常使用荷载阶段桩基沉降量。但应注意相邻扩大节点之间净距满足要求，确保成桩质量。扩孔成桩施工时，应从下往上施工扩大节点，防止上节点施工时下坍土体堵塞钻孔。

4.2 构造

**4.2.1** 扩径率是旋挖扩孔灌注桩严格控制的设计指标之一，从设计角度，扩径率越大，端阻比越大，经济性越好，但从施工角度出发，过大的扩孔直径一方面提高了扩孔成孔设备性能要求，另一方面也更容易产生坍孔现象，降低了成桩质量稳定性。现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94规定钻孔桩的D/d不应大于2.5，相应扩径率达6.25，本标准要求扩径率不宜大于3.2，且不应大于3.5，设计时应格外注意。

1 关于合理扩径角度

常径段直径到设计扩大直径涉及扩大段高度和扩径角度。一种方法是以最小的高度和最大的扩径角度θ完成扩径（大θ小h型），减少扩大段混凝土方量，但是对设备扭矩要求很高，桩身受力不合理；另一种方法是以很长的扩径高度实现扩径（小θ大h型），桩身受力均匀，设备要求不高，但是混凝土方量增加很多。如何寻找一种合理的扩径角度是扩孔设备设计师考虑的问题，也是桩基设计师的责任。合理的扩径角度是在不大量增加混凝土方量条件下，尽量使桩身和桩周土充分发挥侧阻力。



（a）大θ小h型 （b）小θ大h型

图4.2.1-1 不同扩径方式示意图

采用有限元分析扩孔桩在受压和受拉情况下的受力情况，在桩顶施加均布荷载5MPa。计算结果如表4.2.1-1所示，图4.2.1-2是表4.2.1-1计算结果的曲线图。

表4.2.1-1 不同扩径角度计算结果汇总

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 扩大头角度(°) | 0（等截面） | 6 | 9.5 | 12 |
| 沉降(mm) | 100 | 40.1 | 26.8 | 24.7 |



图4.2.1-2 扩径角度与沉降关系

从表中可见，随着扩大角度增加，在相同作用荷载条件下，应力扩散后的桩端沉降逐渐减少。同时，扩大角增加到一定程度后，沉降减少趋势变缓，从图中可见，在扩径6°以后与不扩径相比，桩端沉降减少了超过一半；而在超过10°以后，角度扩大对控制桩端沉降效果已经变得不显著，也就是说在超过12°后再通过增加扩径角度来控制沉降就变得事倍功半了。因此对于扩孔桩而言，比较合理的扩径角度应在6°~12°。

2 扩径段垂直面高度对扩孔桩承载性状影响分析

旋挖扩孔灌注桩根据设备情况，在扩径后需形成一与扩径直径相同的直身段，其长度一般在500mm~750mm之间，分别取*h*2为500mm、750mm、1000mm，查看荷载沉降*Q*-*s*曲线（见图4.2.1-3）几乎重合，微小的变化主要是由侧摩阻力的变化引起，与常径桩桩端沉降对比如表4.2.1-2，可见，*h*2的变化对扩孔桩承载力影响不大，这一高度可以通过构造措施加以控制。

 

图4.2.1-3 荷载沉降*Q*-*s*曲线

表4.2.1-2 直段长度对桩端沉降影响对比

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 桩型参数 | 常径桩 | 扩大直身长度*h*2=1m |
|  桩端沉降（mm） | 30.5 | 29.2 |

当*h*2=500mm时，顶部施加最后一级荷载时桩体内三向应力矢量分布如图4.2.1-4所示。由图可知，扩大头受力状态主要以受压为主，桩底左下部分第一和第二主应力为拉应力。



图4.2.1-4 扩大头主应力分布矢量图

桩身应力变化情况见图4.2.1-5，从*h*2=1m和*h*2=0m桩端应力对比结果可见，*h*2高度的存在对桩端应力分布是有利的，图a（*h*2=1m）中的应力集中现象明显小于图b（*h*2=0m）的情况。因此在不减少单桩承载力情况下，有限量地增加*h*2高度有利于桩端应力分布的均匀性。

 

 (a) *h*2=1m (b)无扩大头*h*2=0

图4.2.1-5桩扩大部位竖向应力云图

从土体屈服云图（图4.2.1-6）也可以发现，*h*2高度的存在明显地减少了扩大部分土体塑性发展的范围，使产生塑性变形土体基本沿扩大部分桩土边界发展。



(a) *h*2=1m (b)无扩大头*h*2=0

图4.2.1-6 土体屈服云图

**4.2.3**

全液压可视可控旋挖扩底灌注桩底部扩径桩配筋示意图如图，扩径体部分不配置钢筋。



图4.2.3 全液压可视可控旋挖扩底灌注桩底部扩径桩配筋示意图

1—工程桩顶标高；2—螺旋箍筋（加密）；3—主筋；4—螺旋箍筋；5—加强环箍

1 《建筑桩基技术规范》JGJ94-2008规定正截面最小配筋率为0.2%~0.65%，大桩径取低值，小桩径取高值；《大直径扩底灌注桩技术规程》JGJ/T225-2010要求桩身正截面的最小配筋率不应小于0.3%，本规程给出竖向承压桩最小配筋率0.42%。《港口工程桩基规范》JTS167-4-2012在考虑到桩的耐久性、船舶意外碰撞和施工因素所造成的不利影响等，并在参考国外规范的灌注桩最小配筋率的基础上，给出桩身配筋率由水平承载力要求控制，不得小于0.6%，本规程给出承受水平力的桩的配筋率不小于0.65%。

2 端承桩、抗拔桩和承受负摩擦力的桩，全桩长的轴向压力都较大，所以通长配筋。位于坡地或岸边的桩，当坡地或岸边存在软土层，往往会产生附加的水平推力，使桩受到剪切，所以宜通长配筋。端承摩擦桩通长配筋主要考虑桩端应力分布较为复杂。图4.2.3-1和图4.2.3-2分别是扩大头部位的轴力分布曲线和侧摩阻力分布曲线。从曲线走势可以看出，在扩大头部位，侧摩阻力分布情况是比较复杂的，在扩展斜面的两个转折点处的侧摩阻力急剧减小，在整个扩展斜面上，侧摩阻力比常规桩有较大的减少；在扩展斜面以下的垂直部分，侧摩阻力有一定的回升。因此，在扩径斜面处，侧摩阻力比常规桩有了较大程度的减小，扩展斜面以下的垂直段部分，侧摩阻力得到一定程度的恢复。因此在单桩极限承载力计算中，对于扩孔桩扩展斜面以下部分的侧摩阻力不予考虑，有一定的保守性，但是和工程实际还是比较符合的。



图4.2.3-1 扩大头部位轴力分布



图4.2.3-2 扩大头部位侧摩阻力分布

3 《建筑桩基技术规范》JGJ94-2008规定受水平荷载的桩，主筋不应小于8φ12，抗压桩和抗拔桩，主筋不应小于6φ10；《铁路桥涵地基和基础设计规范》TB10093-2017规定主筋直径不宜小于14mm；《公路桥涵地基和基础设计规范》JTG3363-2019规定主筋直径不应小于16mm，主筋数量不应少于8根；《港口工程桩基规范》JTS167-4-2012要求主筋宜采用热轧带肋钢筋，数量不宜少于12根，直径不宜小于16mm。结合各行业标准要求及工程实践，本规程要求受水平荷载的桩，主筋不宜少于12φ18，抗压桩和抗拔桩，主筋不应少于12φ14。

《建筑桩基技术规范》JGJ94-2008要求纵向主筋净距不应小于60mm；《铁路桥涵地基和基础设计规范》TB10093-2017为避免主钢筋布置太密影响桩身保护层的灌注，规定净距不宜小于120mm，且不应小于80mm；《公路桥涵地基和基础设计规范》JTG3363-2019规定净距不应小于80mm且不应大于350mm；《港口工程桩基规范》JTS167-4-2012要求不应小于80mm。结合各行业标准要求及工程实践，本规程要求纵向钢筋净距不应小于80mm。

4 《建筑桩基技术规范》JGJ94-2008要求箍筋直径不应小于6mm，间距宜为200mm～300mm，《铁路桥涵地基和基础设计规范》TB10093-2017规定箍筋直径可采用8mm，其间距可采用200mm，《港口工程桩基规范》JTS167-4-2012要求箍筋直径不宜小于8mm，间距宜200mm~300mm；《公路桥涵地基和基础设计规范》JTG3363-2019规定闭合式箍筋或螺旋式直径不应小于主筋直径的1/4，且不应小于8mm，其中距不应大于主筋直径的15倍，且不应大于300mm；《大直径扩底灌注桩技术规程》JGJ/T225-2010要求箍筋直径不应小于8mm，间距宜200mm~300mm，对于承受较大水平荷载或处于抗震设防烈度大于等于8度地区的桩，箍筋直径不应小于10mm，桩顶部3倍至5倍桩径范围内(桩径小取大值，桩径大取小值)箍筋间距应加密至100mm。结合各行业标准要求及工程实践，本规程要求箍筋直径不应小于8mm，间距宜为200mm~300mm。

**4.2.4** 根据《混凝土结构设计规范》GB50010，四类、五类环境分别为海水环境和受人为或自然的侵蚀性物质影响的环境，《建筑桩基技术规范》JGJ94-2008规定“四类、五类环境中桩身混凝土保护层厚度应符合国家现行行业标准《港口工程混凝土结构设计规范》JGJ267、《工业建筑防腐蚀设计规范》GB50046的相关规定”，《港口工程混凝土结构设计规范》JGJ267-98在编制《水运工程混凝土结构设计规范》JTS151-2011后废止。

**4.2.5** 《铁路桥涵地基和基础设计规范》TB10093-2017和《公路桥涵地基和基础设计规范》JTG3363-2019均规定对直径不大于1000mm的桩，不宜小于0.5d且不应小于250mm；对直径大于1000mm的桩，不宜小于0.3d且不应小于500mm。《港口工程桩基规范》JTS167-4-2012规定对直径不大于1000mm的桩，不宜小于0.5d且不应小于300mm；对直径大于1000mm的桩，不宜小于0.4d且不应小于500mm，本规程按较为严格的规定执行。

4.3 计算

**4.3.2** 考虑到桩身自重与置换土重之差会引起沉降，为保证安全，将桩身自重与置换土重之差作为超载考虑。《公路桥涵地基与基础设计规范》（JTG3363-2019）、《铁路桥涵地基和基础设计规范》（TB10093-2017）、日本规范《道路橋示方書》和英国规范Code of practice for foundations（BS8004）也将桩入土部分由置换土体而增加的重力作为超载处理。《港口工程桩基规范》JTS167-4-2012规定“灌注桩单桩轴向力设计值由计算确定时，桩身自重与置换土重的差值应作为荷载考虑，由试桩确定可不计入桩身自重与置换土重的差值”

《港口工程桩基规范》JTS167-4-2012考虑港口工程灌注桩静载荷试验较少，在确定承载力时经验不多，取较打入桩大的分项系数，静载试验法取值1.50~1.60，经验参数法取值1.55~1.65，若荷载分项系数按1.30考虑，相当于安全系数法设计时取安全系数为1.95~2.08（静载试验法），2.02~2.15（经验参数法），抗拔与抗压取相同分项系数。

**4.3.3** 单桩竖向受压承载力计算方法很多，原理基本统一，关键在于岩土参数取值。计算过程中，考虑到旋挖扩孔灌注桩的施工工艺特点，在利用经验参数法计算承载力时，所选用的参数比较接近推荐值的上限。

不同规范对扩孔桩侧阻力折减规定有所不同，具体规定如表4.3.3-1所示。计算中均按“对于扩孔桩斜面及变截面以上2d长度范围不计侧阻力”考虑。

分别采用《建筑桩基技术规范》JGJ94-2008、原位试验静力触探单桥法或者《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ72-2017，《铁路桥涵地基和基础设计规范》TB10093-2017、《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG3363-2019（以下分别简称为桩基规范（08）、静探试验（08）、标贯试验（17）、铁路规范（17）、公路规范（19））中关于桩基极限承载力的计算方法，对工程试桩的极限承载力进行计算，并与现场静荷载试验确定的极限承载力进行对比分析。而《港口工程桩基规范》JTS167-2012根据条文说明，其承载力计算方法参考了《建筑桩基技术规范》（JGJ94-2008）和《公路桥涵地基与基础设计规范》（JTGD63-2007），并根据港口工程经验，略作调整。采用推荐的计算方法和参数时，计算结果较《建筑桩基技术规范》（JGJ94-2008）略小，与《公路桥涵地基与基础设计规范》（JTGD63-2007）相比，对于桩径1.0m左右的桩基，软黏土厚度较大时略小，较硬的黏土或较密的砂土厚度较大时略大；桩径较大时，计算结果略小。

表4.3.3-1 不同规范对扩孔桩侧阻力折减规定

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 规范 | 版本 | 扩孔桩侧阻力折减条文规定 |
| 《建筑桩基技术规范》 | JGJ94-1994 | 5.2.9对于扩孔桩变截面以下不计侧阻力 |
| JGJ94-2008 | 5.3.6对于扩孔桩斜面及变截面以上2d长度范围不计侧阻力 |
| 《公路桥涵地基与基础设计规范》 | JTJ024-1985 | 未规定 |
| JTG D63-2007 | 5.3.3 扩孔部分不计 |
| JTG3363-2019 | 6.3.3扩孔部分及变截面以上2d长度范围内不计摩阻力 |
| 《铁路桥涵地基和基础设计规范》 | TB10002.5-2005 | 未规定 |
| TB10093-2017 | 未规定 |
| 《港口工程桩基规范》 | JTS167-4-2012 | 未规定 |
| 《高层建筑岩土工程勘察规程》 | JGJ72-2004 | 表8.3.12注对于扩孔桩，扩大头斜面及斜面以上直桩部分1-2m不计侧阻力（扩径直径大者取大值，反之取小值） |
| JGJ/T72-2017 |

以上海塔奇实业有限公司生产用房试桩为背景，工程试桩资料见表4.3.3-2，工程试桩的桩位处土层性质见表4.3.3-3。

表4.3.3-2 工程试桩资料

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 桩长(m) | 桩型及规格 | 扩径直径(mm) | 极限承载力(kN) |
| 37.74 | 旋挖扩孔桩φ1000 | 1600 | 8060 |

表4.3.3-3 桩位处的地质勘察报告

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 层序 | 土名 | 深度（m） | 层底标高（m） | 比贯入阻力 *p*s(MPa) | CPT |  含水量*W*（%） | 孔隙比*e* | 天然重度 *γ*0(kN/m3) | 压缩模量 *E*s0.1~0.2(MPa) |
| ①1 | 杂填土 | 1.40 | 1.79 | 1.09 |  |  |  |  |  |
| ②1 | 粉质黏土 | 2.00 | 1.19 | 0.89 |  | 31.80 | 0.95 | 18.50 | 3.84 |
| ②2 | 黏土 | 4.00 | -0.81 | 0.76 |  | 32.20 | 0.92 | 18.60 | 3.51 |
| ③ | 淤泥质粉质黏土 | 9.40 | -6.21 | 0.60 |  | 37.70 | 1.05 | 17.90 | 2.94 |
| ⑤1-1 | 黏土 | 21.00 | -17.81 | 0.72 |  | 40.90 | 1.16 | 18.00 | 2.91 |
| ⑤1-2 | 粉质黏土 | 23.80 | -20.61 | 1.00 |  | 35.90 | 1.01 | 18.10 | 4.60 |
| ⑥ | 黏土 | 26.60 | -23.41 | 2.58 | 25.50 | 0.72 | 19.60 | 6.95 |
| ⑦1 | 砂质粉土 | 34.20 | -31.01 | 8.00 | 27.70 | 0.77 | 19.10 | 12.30 |
| ⑦2 | 粉砂 | 40.00 | -36.81 | 10.75 | 25.90 | 0.72 | 19.30 | 15.65 |

各种规范计算桩基承载力的结果（均考虑大尺寸效应系数）见表4.3.3-3。

表4.3.3-3 承载力计算结果对比

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 计算方法 | 极限承载力*Q*u（kN） | 端阻力 *Q*p（kN） | 端阻力所占比例 | 侧摩阻力所占比例 |
| 静载荷试验 | 8060  | 1280  | 16% | 84% |
| 桩基规范（08） | 6621  | 1914  | 29% | 71% |
| 静探试验（08） | 7339  | 2412  | 33% | 67% |
| 铁路规范（17） | 7957  | 3416  | 43% | 57% |
| 公路规范（19） | 6048  | 804  | 13% | 87% |

根据计算结果，本算例按照规范计算出来的极限承载力均比静载荷试验的值偏小。同时，各种规范计算结果中，桩端阻力占极限承载力的比例都偏大。可见规范给出的侧摩阻力参考值偏小，而实际工况下，旋挖扩孔灌注桩的桩身质量好，泥皮效应小，桩的侧摩阻力值比较大。

采用以上方法对上海塔奇实业公司生产用房工程、上海轨道交通一号线富锦路停车场工程、武汉公铁两用天兴洲长江大桥、天津小白楼音乐广场及地下开发工程等工程试桩资料整理分析，选择了9根旋挖扩孔灌注桩（待增加），利用不同桩基规范进行了承载力计算（仅“桩基规范尺寸效应（08）”按照《建筑桩基技术规范》，考虑大直径桩尺寸效应），计算结果见表4.3.3-4。

表4.3.3-4 极限承载力计算结果统计 单位：kN

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 工 程 名 称 | 静荷载 试验 | 桩基规范尺寸效应（08） | 桩基规范（08） | 静探试验（08） | 标贯试验（17） | 铁路规范（17） | 公路规范（19） |
| 塔奇5# | 8060 | 6621 | 7339 | 7957 | — | 6048 | 7734 |
| 富锦路PY114-4# | 10000 | 8199 | 8474 | 9971 | — | 7489 | 8761 |
| 天兴洲35号墩S1、S3 | S1>15200S3>15200 | 10355 | 11937 | — | 14493 | 8157 | 12408 |
| 天兴洲46号墩S1、S2 | S1>9600S2>10200 | 8168 | 9323 | — | 9794 | 6648 | 9371 |
| 小白楼1# 2# 3#（扩径2次） | 1#:180002#:195003#:21000 | 15310 | 18687 | — | 18957 | 14096 | 20190 |

通过对承载力计算结果的分析（计算结果误差见表4.3.3-5），根据统计结果，绘制了各种规范计算结果的误差分布区间直方图，见图4.3.3-1：

1. 根据原位测试估算的承载力与静载荷试验较为接近。
2. 铁路规范端阻力计算结果较建筑、公路规范端阻力计算结果小，计算承载力偏小。
3. 通过小白楼项目（扩径2次）计算，多个扩大头按式4.3.3计算，与实测结果偏差不大。

表4.3.3-5 计算结果误差统计

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 工 程 名 称 | 静荷载试验（均值） | 桩基规范尺寸效应（08） | 桩基规范（08） | 静探试验（08） | 标贯试验（17） | 铁路规范（17） | 公路规范（19） |
| 上海塔奇5# | 8060 | -17.9  | -8.9  | -1.3  | — | -25.0  | -4.0  |
| 上海富锦路PY114-4# | 10000 | -18.0  | -15.3  | -0.3  | — | -25.1  | -12.4  |
| 武汉天兴洲大桥35号墩S1、S3 | 15200 | -31.9  | -21.5  | — | -4.7  | -46.3  | -18.4  |
| 武汉天兴洲大桥46号墩S1、S2 | 9900 | -17.5  | -5.8  | — | -1.1  | -32.8  | -5.3  |
| 天津小白楼1# 2# 3# | 19500 | -21.5  | -4.2  | — | -2.8  | -27.7  | 3.5  |



（1）桩基规范（08）尺寸效应 （2）桩基规范（08）



（3）静探试验（08） （4）标贯试验（17）



（5）铁路规范（17） （6）公路规范（19）

图4.3.3-1 计算结果误差分布

结合工程资料，整理分析了按照规范计算承载力时侧摩阻力和端阻力的经验参数取值，并给出了经验参数法计算承载力时侧摩阻力和端阻力的推荐取值，分析过程如下表4.3.3-6～表4.3.3-9，侧摩阻力和端阻力的经验参数推荐取值见表4.3.3-10，原位测试是静探试验和标贯试验的统称。

表4.3.3-6 黏性土侧摩阻力取值

| 工程名 | 孔隙比*e* | 液性指数*I*L | 土的状态 | 比贯入阻力*p*s（MPa） | 标贯击数*N* | 侧摩阻力取值*f*s（kPa） |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 桩基规范（08）尺寸效应 | 桩基规范（08） | 原位测试 | 铁路规范（17） | 公路规范（19） | 实测值 | 推荐取值 |
| 上海塔奇5# | 1.05  | 1.07  | 流塑 | 0.60  | — | 24  | 25  | 25  | 20  | 30  | 12  | 20~30 |
| 上海富锦路PY114-4# | 1.38  | 1.20  | 0.72  | — | 25  | 25  | 25  | 30  | 25  | 56  |
| 上海富锦路PY114-4# | 1.30  | 1.15  | 0.80  | — | 30  | 30  | 30  | 35  | 30  | 66  |
| 上海塔奇5# | 1.16  | 0.99  | 软塑 | 0.72  | — | 38  | 40  | 30  | 50  | 40  | 12  | 35~45 |
| 上海塔奇5# | 1.01  | 0.88  | 1.00  | — | 43  | 45  | 40  | 55  | 50  | 12  |
| 上海富锦路PY114-4# | 1.02  | 0.95  | 1.52  | — | 49  | 50  | 50  | 55  | 50  | 59  |
| 上海塔奇5# | 0.95  | 0.67  | 可塑 | 0.89  | — | 53  | 55  | 12  | 55  | 50  | 12  | 50~65 |
| 上海塔奇5# | 0.92  | 0.59  | 0.76  | — | 53  | 55  | 12  | 55  | 50  | 12  |
| 上海塔奇5# | 0.72  | 0.28  | 2.58  | — | 62  | 65  | 70  | 75  | 70  | 44  |
| 上海富锦路PY114-4# | 0.87  | 0.56  | 1.51  | — | 54  | 55  | 12  | 55  | 50  | 29  |
| 上海富锦路PY114-4# | 0.73  | 0.37  | 2.59  | — | 59  | 60  | 70  | 65  | 60  | 47  |
| 武汉天兴洲大桥46号墩S1、S2 | — | — | — | 5.0  | 53  | 55  | 45  | 50  | 50  | S1:36S2:33 |
| 武汉天兴洲大桥46号墩S1、S2 | — | — | 可塑 | — | 6.0  | 57  | 60  | 50  | 55  | 55  | S1:53S2:52 | 50~65 |
| 天津小白楼1# 2# 3# | — | — | — | 6.8  | 49  | 55  | 55  | 55  | 55  | — |
| 天津小白楼1# 2# 3# | — | — | — | 6.2  | 49  | 55  | 55  | 55  | 55  | — |
| 天津小白楼1# 2# 3# | — | — | — | 7.3  | 53  | 60  | 55  | 55  | 55  | — |
| 武汉天兴洲大桥35号墩S1 S3 | — | — | 硬塑 | — | 18.0  | 77  | 80  | 75  | 75  | 80  | S1：90S3：92 | 55~75 |
| 武汉天兴洲大桥35号墩S1 S3 | — | — | — | 18.0  | 81  | 85  | 75  | 75  | 80  | S1：75S3：75 |
| 天津小白楼1# 2# 3# | — | — | — | 10.1  | 71  | 80  | 65  | 70  | 75  | — |
| 天津小白楼1# 2# 3# | — | — | — | 17.4  | 75  | 85  | 80  | 75  | 80  | — |
| 天津小白楼1# 2# 3# | — | — | — | 17.9  | 75  | 85  | 80  | 75  | 80  | — |
| 武汉天兴洲大桥46号墩S1、S2 | — | — | 坚硬 | — | 38.0  | 96  | 100  | 90  | 100  | 100  | — | 70~100 |

表4.3.3-7 粉性土侧摩阻力取值

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 工程名 | 孔隙比*e* | 液性指数*I*L | 土的状态 | 比贯入阻力*p*s（MPa） | 标贯击数*N* | 侧摩阻力取值*f*s（kPa） |
| 桩基规范（08）尺寸效应 | 桩基规范（08） | 原位测试 | 铁路规范（17） | 公路规范（19） | 实测值 | 推荐取值 |
| 上海富锦路PY114-4# | 1.19  | 1.24  | 稍密 | 3.46  | — | 40  | 40  | 12  | 35  | 30  | 37  | 45~65 |
| 上海富锦路PY114-4# | 1.14  | 0.87  | 4.91  | — | 54  | 55  | 70  | 55  | 50  | — |
| 天津小白楼1# 2# 3# | — | — | — | 10.8  | 40  | 45  | 50  | 50  | 50  | — |
| 上海塔奇5# | 0.77  | — | 中密 | 8.00  | — | 57  | 60  | 75  | 55  | 55  | 175  | 50~70 |
| 上海富锦路PY114-4# | 0.93  | — | 6.19  | — | 64  | 65  | 75  | 55  | 55  | 62  |
| 天津小白楼1# 2# 3# | — | — | 密实 | — | 54.7  | 71  | 80  | 75  | 70  | 80  | — | 70~100 |
| 天津小白楼1# 2# 3# | — | — | — | 53.1  | 71  | 80  | 75  | 70  | 80  | — |
| 天津小白楼1# 2# 3# | — | — | — | 50.3  | 71  | 80  | 75  | 70  | 80  | — |
| 上海塔奇5# | 0.72  | — | 10.75  | — | 74  | 80  | 80  | 55  | 70  | 169  |
| 上海富锦路PY114-4# | 0.90  | 0.71  | 9.77  | — | 78  | 80  | 75  | 70  | 70  | 50  |

表4.3.3-8 粗砂侧摩阻力取值

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 工程名 | 孔隙比*e* | 液性指数*I*L | 土的状态 | 比贯入阻力*p*s（MPa） | 标贯击数*N* | 侧摩阻力取值*f*s（kPa） |
| 桩基规范（08）尺寸效应 | 桩基规范（08） | 原位测试 | 铁路规范（17） | 公路规范（19） | 实测值 | 推荐取值 |
| 武汉天兴洲大桥35号墩S1 S3 | — | — | 密实 | — | 59.0  | 93  | 100  | 100  | 75  | 140  | S1：164S3：158 | 90~120 |
| 武汉天兴洲大桥46号墩S1、S2 | — | — | — | 43.0  | 88  | 95  | 75  | 120  | 120  | S1:114S2:130 |

表4.3.3-9 端阻力取值

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 土名 | 工程名 | 孔隙比*e* | 液性指数*I*L | 土的状态 | 比贯入阻力*p*s（MPa） | 标贯击数*N* | 端阻力取值*f*p（kPa） |
| 桩基规范（08）尺寸效应 | 桩基规范（08） | 原位测试 | 铁路规范（17） | 公路规范（19） | 实测值 | 推荐取值 |
| 黏性土 | 武汉天兴洲大桥46号墩S1、S2 | — | — | 坚硬 | — | 38.0  | 1400  | 1800  | 2400  | 700  | 1900  | S1：1708S3：1678 | 1500~2500 |
| 粉土粉砂 | 天津小白楼1# 2# 3# | — | — | 密实 | — | 54.7  | 903  | 1200  | 1300  | 700  | 1400  | — | 2000~3000 |
| 天津小白楼1# 2# 3# | — | — | — | 50.3  | 903  | 1200  | 1300  | 700  | 1400  | — |
| 上海塔奇5# | 0.72 | — | 10.75  | — | 952  | 1200  | 1700  | 400  | 1400  | 636  |
| 上海富锦路PY114-4# | 0.90  | 0.71  | 9.77  | — | 1048  | 1200  | 2000  | 300  | 2000  | 1390  |
| 粗砂 | 武汉天兴洲大桥35号墩S1 S3 | — | — | 密实 | — | 59.0  | 2022  | 2600  | 4000  | 1100  | 2900  | S1：3180S3：3537 | 3000~4000 |

表4.3.3-10 经验参数推荐取值

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 土名 | 状态 | 侧摩阻力*qsik*（kPa） | 端阻力*qp*(kPa) |
| 杂填土 | — | 10～20 | — |
| 淤泥 | — | 10～20 | — |
| 黏土 | 流塑 | 20～30 | — |
| 软塑 | 35～45 | — |
| 可塑 | 50～65 | — |
| 硬塑 | 55～75 | — |
| 坚硬 | 70～100 | 1500～2500 |
| 粉性土 | 稍密 | 45～65 | — |
| 中密 | 50～70 | — |
| 密实 | 70～100 | 2000～3000 |
| 粗砂 | 密实 | 90～120 | 3000～4000 |

影响桩基的竖向承载力的因素包含三个方面，一是基桩的承载力，二是桩土相互作用对于桩侧阻力和端阻力的影响，即侧阻和端阻的群桩效应，三是承台底土抗力分担荷载效应。基于《建筑桩基技术规范》JGJ94-2008的研究，桩距*s*a≥3d时不考虑群桩效应，本规程将第二部分和第三部分留给工程作为安全储备。

**4.3.4** *q*rk的上限值不是由公式计算得出的最大值，而是基于大量实测资料得到的。

当桩端持力层为黏性土时，未限制*q*rk的上限，因为从实测数据来看，部分试桩的测试结果要大于由公式计算得到的可能最大值。

当桩端持力层为砂土时，按照粉砂2000kPa，细砂2300kPa，中砂、粗砂、砾砂2900kPa三个类别规定了*q*rk的上限。

当桩端持力层为碎石土时，取5500kPa为*q*rk的上限。

当有可靠的试验结果表明*q*rk超过上述规定值时，可按实测结果采用。

在表4.2.4-1及其注释中，调整*t*0/*d*的比值和按桩径大小限制桩端沉淀土厚度，是考虑到施工水平提高的缘故。

**4.3.5** 《铁路桥涵地基和基础设计规范》TB10093-2017根据91根试桩，用地基土基本承载力*σ*0计算出桩底支承力Pb，分别按好土、较差土和差土建立m' 0—*h*/*d*的近似关系，结合试桩的入土深度、土质的好坏、清孔情况及桩底沉淤厚度，综合分析，验算修正而得m' 0的数值表。

对于承载力特征值的深度修正系数*k*2值，《铁路桥涵地基和基础设计规范》TB10093-2017中的“*Q*4的冲、洪积土”和“Q3及其以前的冲、洪积土”，即《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG3363-2019中的“一般黏性土”和“老黏性土”，并根据《铁路桥涵地基和基础设计规范》TB10093-2017补充残积土和黄土的*k*2取值。

**4.3.8** 根据《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG3363-2019，对于黏性土和粉土，拔桩时土的摩阻力等于桩受轴向压力时摩阻力的0.6~0.8倍；对于砂土，拔桩时土的摩阻力等于桩受轴向压力时摩阻力的0.5~0.7倍。安全起见，统一取0.6倍。

对上海世博会地区B02、B03地块规划一路规划二路道路及公共绿地地下空间工程、长春火车站综合交通换乘中心南广场工程、北京城市副中心综合交通枢纽工程、天津市小白楼音乐厅及地下开发工程、武林广场站5号出入口工程中的工程试桩资料整理分析，选择了22根AM工法旋挖液压扩底桩进行了承载力计算，扩底段（包括中间扩大头）及自扩底段的起始位置往上取8*D*范围内破坏面周长以πD计算，D为扩底段直径，计算结果见表4.2.6。上海世博会地区B02、B03地块规划一路规划二路道路及公共绿地地下空间工程桩长普遍约40m，Φ850mm扩底至Φ1500mm，长春火车站综合交通换乘中心南广场工程桩长为19m~23m，Φ2200mm扩底至Φ3900mm或Φ1800mm扩底至Φ3000mm；北京城市副中心综合交通枢纽工程桩长71.6m，Φ1000mm扩底至Φ1600mm，天津市小白楼音乐厅及地下开发工程桩长43m，Φ1500mm扩底至Φ2500mm，武林广场站5号出入口工程桩长55.6m，Φ1600mm扩底至Φ2600mm。当长径比较大时，采用8D计算极限抗拔承载力可能偏于保守。

表4.2.6 极限承载力计算结果统计 单位：kN

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **工程试桩** | **计算值（8D）** | **实测值** |
| 世博会1 | 4878  | ≥5600 |
| 世博会4 | 6333  | ≥5600 |
| 世博会8 | 6407  | ≥5600 |
| 世博会11 | 8599  | ≥5650 |
| 世博会14 | 6392  | ≥5650 |
| 世博会17 | 6587  | ≥5600 |
| 世博会26 | 4825  | ≥6200 |
| 世博会29 | 4670  | ≥6200 |
| 世博会32 | 6499  | ≥6200 |
| 世博会35 | 6296  | ≥6300 |
| 世博会38 | 6713  | ≥6300 |
| 长春火车站Z1-3# | 18019  | ≥15240 |
| 长春火车站Z2-4# | 22942  | ≥16900 |
| 长春火车站Z6-1# | 26925  | ≥16500 |
| 长春火车站Z4-1# | 16103  | ≥13740 |
| 北京副中心SZ5 | 11366 | 12900  |
| 11610  |
| 天津小白楼1# | 13496 | 10800  |
| 天津小白楼2# | 13200  |
| 天津小白楼3# | 13200  |
| 武林广场5#口TP4~TP6 | 18683 | ≥12000 |

对于扩底抗拔灌注桩，采用预估方法得到的极限承载力与桩的实际极限承载力相比可能存在一定误差，因此工程设计时，必须强调静载荷试验的重要性，不宜直接以预估方法得到的结果作为最终设计依据。并且，扩底抗拔灌注桩应加强对桩径检测，特别是扩大头部分桩径的检测，只有扩孔的形状能达到设计的要求，其承载力才有保证。

**4.3.13** 通过ABAQUS有限元数值模拟计算发现，桩端应力分布规律都是桩底中间部位的应力较小，边缘出现应力集中。扩孔桩的桩端应力分布变化比常径桩小，由于扩径的存在，使得桩端应力减小。在图4.3.13-1算例中，扩孔桩在极限承载力Qu=11200kN作用下，与常规桩在极限承载力Qu=8200kN作用下，桩端应力大小基本接近。因此，利用扩孔桩可以有效减小桩底应力，这样，在相同的荷载作用时，扩孔桩比常规桩的沉降量要小。从桩端土体塑性区云图4.3.13-2可以看出，扩孔桩在极限承载力Qu=11200kN作用下，与常规桩在极限承载力Qu=8200kN作用下，两者的桩端土体塑性区范围的大小比较接近。也就是，在同样的荷载作用下，扩孔桩比常规桩的塑性区范围小，因此，扩孔桩在荷载作用下，进入塑性区的时间要晚，扩孔桩的极限承载力比同直径的常规桩要大。

 

（a）扩孔桩扩大头部位 （b）常规桩桩端部位

图4.3.13-1 极限承载力条件下的竖向应力云图

 

（a）扩孔桩扩大头部位 （b）常规桩桩端部位

图4.3.13-2 极限承载力下的桩端土塑性区云图

# 5 施工

5.1一般规定

**5.1.2**  试成孔的目的是核验工程地质资料、检验工艺适用性、机具设备使用是否正常，同时根据试成孔结果掌握施工数据，及时调整施工、设计参数，如孔径、垂直度、孔壁稳定和沉淤等检测指标不能符合设计要求，应拟定补救技术措施，或重新确定工艺参数，因此对于重要工程、地质、水文条件复杂情况，或周边未有过类似工艺施工经验的，一般应进行试成孔。

5.2材料与设备

**5.2.4** 常用旋挖扩底钻机设备型号见下表5.2.4。

表 5.2.4 常用旋挖扩底钻机设备型号

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 设备型号 | 功率（kW） | 最大扩底直径（mm） | 最大深度（m） |
| 1 | LS-120RH-5 | 185 | 3900 | 60 |
| 2 | SD515 | 191 | 4100 | 60 |
| 3 | HE6010B | 200 | 4100 | 65 |
| 4 | ED6200H  | 184 | 4100 | 70 |
| 5 | SD610 | 200 | 4200 | 65 |
| 6 | MX8628 | 250 | 4200 | 86 |
| 7 | MX6515B  | 221 | 4500 | 70 |
| 8 | MX9628 | 250 | 4500 | 96 |
| 9 | MX9830 | 298 | 5000 | 98 |
| 10 | MX12042 | 398 | 5000 | 120 |

**5.2.5** 钻斗是指等径部成孔使用的桶式取土钻头，铲斗是指扩底水平切屑土体的钻头，均采用销子连接。

**5.2.9** 全液压可视可控旋挖扩底设备为旋转切削原始土挖掘，铲斗需容纳切削的渣土，铲斗内需安装传感器、液压油缸等装置，并需有足够的刚度，因此设计的铲斗最小直径850mm；目前国内钻孔灌注桩一般在3000mm以内，并且扩底桩提供承载力显著，根据目前国内市场仅开发常径部直径3000mm扩5000mm扩底铲斗；

5.3 施工准备

**5.3.4** 设置排水孔、排水沟等排水措施。

5.4 成孔

**5.4.1**  垂直度要求是根据房建、市政道路桥梁等相关施工验收规范要求确定，根据以往工程经验，一般成桩深度在70m左右，按规定桩间净距和1%垂直度控制要求，无法满足相邻扩大端不相碰要求，同时根据施工设备能力，对成孔垂直度提出1/200的要求。

**5.4.2** 全液压可视旋挖扩底钻机为原始土挖掘，铲斗频繁上提，极易碰撞护筒照成孔口塌方，本条规定了旋挖钻机成孔埋深的护筒不宜小于设计直径加200mm，埋入原始土层不宜小于0.5m，对特殊易塌孔的地层需埋深长护筒；

**5.4.3** 全液压可视可控旋挖扩底灌注桩孔内稳定液为非循环状态，成孔过程会随着深度增加液位降低，会造成浅部塌孔，成孔过程中需及时补浆，根据较多工程应用证明，最低液位控制在地下水位0.5m以上，可保证孔壁的稳定性；

**5.4.4~5.4.6**  稳定液是成孔关键因素，传统原土造浆往往受地方土质影响，质量难以控制，尤其在砂土丰富的地区，泥浆中含砂量高，造浆性能差，会严重影响成孔质量。所以本条文强调了对各土层稳定液人工造浆的要求。稳定液应具有以下主要作用：

1 防止地基土坍塌；

2 抑止地基土层中的地下水压力；

3 支撑土压力，对于有流动性的地基土层，用稳定液能抑止其流动；

4 使孔壁表面在钻完孔到开始灌注混凝土能保持较长时间的稳定；

5 稳定液渗入地基土层中，能增加地基土的强度，防止地下水流入钻孔内；

6 在砂土中钻进时，稳定液可使其碎屑沉降缓慢，清孔容易；

7 稳定液具有与混凝土不相混合的特性，利用其亲液胶体性质，能被混凝土代替而排出。

**5.4.10** 扩底施工是AM工法关键环节之一。扩底施工强调实时监测、实时操纵，及时调整，对施工程序要求严格执行。通过电脑管理映像跟踪方法挖掘出直桩，然后采用全液压扩底技术，将设计数据输入电脑管理装置（施工前输入常径段直径、回转斗径、扩底直径、预设打桩深度），核对无误后调节扩底铲斗的灵敏度、检测扩大部分直径尺寸，发现实际打开尺寸与输入设计尺寸不符时及时纠正，反复检测，直至合格后锁定电脑管理装置进行扩底作业，扩底过程中操作员可通过传感器将实际施工扩底直径、深度、斗内土方量、斗的开关状态、斗的实时大小显示在电脑管理映像追踪显示装置的操作屏上，通过回转扩底钻头来控制扩孔量和铲斗的容积，使扩底作业过程中尽量减少沉碴。AM旋挖扩底灌注桩通过全电脑控制液压扩底，使扩底施工整个过程得到有效控制，扩底质量得到明显提升，桩体承载力的可靠度和经济性得到有效提高，且兼有受压和抗拔承载能力。

**1** 本款规定了成桩成孔的连续性。实践经验证明，成孔时间过长，成孔后停歇时间过长往往是承载力偏低的原因，一方面是孔壁稳定性受到影响，另一方面是土体应力释放，孔壁、端部承载力难以发挥。一般而言，扩底后8h内完成混凝土灌注的时间是充裕的，当间隔时间超过8h，应进行孔壁静态稳定测试，并根据测试结果，调整时间间隔。

**5.4.11** 钻斗门是指钻头底部可开启部位，闭合状态具有切屑土体，容纳土体性能，打开后连接销子旋转卸土。

5.5清孔

**5.5.1** 本条文明确规定二次清孔，尽管采用稳定液，成孔后稳定液呈静止状态，直至灌注混凝土前尚有下钢筋笼、安放导管等工序，时间一般超过2h甚至更长，这过程中稳定液中悬浮的粗颗粒首先开始沉积，且在钢筋笼、导管下放过程中不可避免擦碰孔壁形成新的沉碴，因此要求在灌注混凝土前进行二次清孔。

**5.5.2** 全液压可视可控旋挖扩底灌注桩一次清孔采用带挡板桶式铲斗，目的主要初步清除孔底大部分粗颗粒沉碴；当下放钢筋笼后采用标准测锤检测沉渣满足设计要求时，为确保孔内稳定液比重均衡，灌注时排浆顺畅，需采用正循环方式调配孔内稳定液指标，直至混凝土到达现场后停止泥浆循环；

**5.5.3**全液压可视可控旋挖扩底灌注桩当下放钢筋笼后采用标准测锤检测沉渣超过设计或本规程要求时，由于扩底后端部尺寸较大，对清渣泵要求较常规要高。工程实践证明，对于不同地质条件，清渣工艺不同（泵吸量、悬泵高度、泵吸时间等）造成的承载力差异明显，因此强调因地制宜。

清孔时送入孔内的稳定液不宜小于排出量，其目的是使清渣过程中补液充足，保持稳定液在孔内的水头高位，保证孔壁稳定。

泵吸清渣应注意施工步骤，悬泵高度由高向低，逐步清渣。

**5.5.4**  全液压可视可控旋挖扩底灌注桩当下放钢筋笼后采用标准测锤检测沉渣超过设计或本规程要求时，二次清孔可采用气举反循环，气举反循环的工艺要求高，气水混合器的位置、出浆口距离淤面的高度、对空压机排气量开启方式等作了相关规定，确保气举反循环清渣的效果；清孔时送入孔内的稳定液不宜小于排出量，其目的是使清渣过程中补液充足，保持稳定液在孔内的水头高位，保证孔壁稳定。气举反循环清渣应注意施工步骤，出浆口高度由高向低，逐步清渣。

**5.5.7~5.5.8** 清孔停止后若不及时浇注混凝土，仍会重新沉积沉碴，因此规定清孔后30min内灌注混凝土，若超过则必须重新测定孔底沉碴，并按检测结果确定重新清孔指标。

5.7水下混凝土灌注

**5.7.1** 混凝土应具有良好的和易性，小直径桩坍落度宜为200mm～220mm。

**5.7.2**  本条是对灌注混凝土所用导管的规定，导管直径应与灌注桩直径相匹配，过小导管灌注时间过长，影响灌注质量，过大混凝土流量大，容易造成钢筋笼上抬。壁厚要求是为了防止导管变形堵塞。

**5.7.3** 目前隔水板使用不规范现象非常明显，往往容易造成桩身质量隐患，因此对隔水板要求进行规定。

**5.7.4** 导管离孔底距离直接影响灌注桩孔底混凝土质量的关键，本条规定了混凝土灌注桩前离孔底的距离为300~500mm；导管埋入混凝土内的深度对混凝土灌注质量至关重要，过浅容易发生混凝土离析，或新浇混凝土冲翻混凝土面，造成夹泥或断桩；过深则由于挤出压力过大，混凝土流动性变差，灌注不通畅，或形成局部涡流造成夹泥。另外导管的埋置深度尚需考虑施工操作方便。实际施工时应根据桩径及深度调整，对于φ800～φ1000桩，埋置深度3m～8m为宜，大于φ1000桩，埋置深度3m～6m为宜。对灌注桩桩长过长，混凝土灌注量较大时，宜造成桩顶浮浆过多，在开挖桩顶时极易出现混凝土歉灌现象，本条规定了混凝土超灌量不小于1m，且最小超出高度不宜小于桩长的3%的规定。

**5.7.5** 本条是对全液压可视可控旋挖扩底灌注桩初灌量的规定。初灌混凝土是水下混凝土施工的重要环节，而初灌量计算则是灌注桩的基本要求，是确保扩底部分混凝土连续性的要求。初灌混凝土作用是推开导管内泥浆，以下落时的势能转化为作用于钻孔孔壁压力，阻止钻孔泥浆侵入混凝土内，是确保后续混凝土灌注质量的重要环节。

# 6 质量检验与验收

6.1 一般规定

**6.1.1~6.1.3** 现行国家标准《建筑地基基础工程施I质量验收规范》GB 50202和行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106以强制性条文规定必须对基桩承载力和桩身完整性进行检验。桩身质量与基桩承载力密切相关，桩身质量有时会严重影响基柱承载力，桩身质量检测抽样率较高，费用较低，通过检测可减少桩基安全隐患，并可为判定基桩承载力提供参考。

**6.1.4** 与常规灌注桩质量检验项目相比，增加了扩底直径项目要求。孔径测量时孔径仪测量范围应不低于扩底直径。

6.3 施工过程质量检验

**6.3.2** 全液压可视可控旋挖扩底灌注桩的扩底直径不允许出现负误差。

6.4 质量验收

**6.2.1 ~6.4.7** 对于具体的检测项目，应根据检测目的、内容和要求，结合各检测方法的适用范围和检测能力，考虑工程重要性、设计要求、地质条件、施工因素等情况选择检测方法和检测数量。影响桩基承载力和桩身质量的因素存在于桩基施I的全过程中，仅有施工后的试验和施I后的验收是不全面、不完整的。桩基施工过程中出现的局部地质条件与勘察报告不符、工程桩施I参数与施I前的试验参数不同、原材料发生变化、设计变更、施工单位变更等情况，都可能产生质量隐患，因此，加强施I过程中的检验是有必要的。不同阶段的检验要求可参照现行《建筑地基基础工程施I质量验收规范》GB 50202和现行《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106执行。

**6.4.3** 高应变动测已在承载力检验中积累了不少经验，然而由于扩底桩在高应变时程反应与其他缺陷形成相似曲线，用于承载力及桩身质量判别质量工程经验尚较为缺乏，因此目前阶段应慎用高应变作为承载力检测手段。