CECS XXX ∶2018

中国工程建设标准化协会标准

**多节钻扩灌注桩技术规程**

Technical specification for multi section drilling and expansion pile

（征求意见稿）

2018 北 京

中国工程建设标准化协会标准

多节钻扩灌注桩技术规程

Technical specification for multi section drilling and expansion pile

**CECS XXX ∶2018**

主编单位：北京荣创岩土工程股份有限公司

中国铁路设计集团有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期： 2018年 月 日

2018 北 京

**前 言**

根据中国工程建设标准化协会建标协字[2017]014号文，《关于印发2017年第一批工程建设协会标准制订、修订计划》的要求，编制组经过深入调查研究，结合工程实践，认真总结经验，参考国内相关标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

多节钻扩灌注桩是由钻扩工法施工所形成的新型变径灌注桩桩基技术。本规程所涉及的各项发明专利及实用新型专利有ZL 2012 1 0012476.8；ZL 2012 1 0440350.0；ZL 2014 1 0170293.8；ZL 2014 1 0190028.6；ZL 2013 2 0337326.4；ZL 2014 2 0206410.7；ZL 2014 2 0206579.2；ZL 2014 2 0206496.3；ZL 2014 2 0230729.3；ZL 2015 2 0349347.7；ZL 2016 2 0227402.X等。使用者可按《中华人民共和国专利法》的有关规定与专利权人（北京荣创岩土工程股份有限公司，地址：北京市海淀区西三旗甲1号8号楼；邮编：100085；联系电话：010-62917177；电子邮箱：rcytgs@163.com）联系处理。本协会对于相关专利的真实性、有效性和范围无任何立场。

本规程共分7章，主要内容包括：1、总则，2、术语和符号，3、基本规定，4、构造，5、设计，6、施工，7、检查与验收。

本规程由中国工程建设标准化协会负责管理，北京荣创岩土工程股份有限公司负责条文解释。为进一步改进和完善本规程，请在执行过程中注意积累资料，总结经验，随时将有关意见和建议反馈给北京荣创岩土工程股份有限公司，以供修订时参考。

主编单位：北京荣创岩土工程股份有限公司

中国铁路设计集团有限公司

参编单位：中国建筑设计研究院

建研地基基础工程有限责任公司

清华大学

天津大学

北京城建勘测设计研究院有限公司

北京市轨道交通设计研究院有限公司

中交公路规划设计院有限公司

北京市建筑设计研究院有限公司

北京市市政工程设计研究总院有限公司

中国建筑股份有限公司技术中心

中兵勘察设计研究院

中国水利水电科学研究院

建设综合勘察研究设计院有限公司

吉林建筑大学

北京京岩工程有限公司

中国建材集团桂林地质工程勘察院

上海岩土工程勘察设计研究院有限公司

上海远方基础工程有限公司

北京波森特岩土工程有限公司

本规程主要起草人：

戴 斌 苏 伟 张 亮 张 微 张宝成 朱炳寅

刘金波 沈保汉 李广信 刘 畅 朱允伟 王俊杰

徐平伟 曹 巍 刘宏运 齐迎春 毛利勤 王伟锋

韩泽坤 张尧禹 盛 平 张宏远 张治晖 油新华

张 丹 傅志斌 钱永梅 贾志远 汤湘军 魏建华

郑伟锋 杨启安

**目 次**

[1 总 则 1](#_Toc30360)

[2 术语和符号 2](#_Toc13741)

[2.1 术 语](#_Toc13056) 2

[2.2 符 号 4](#_Toc28674)

[3 基本规定 7](#_Toc11257)

[4 构造 9](#_Toc10575)

[5 设计 11](#_Toc16143)

[5.1 单桩竖向抗压承载力确定 11](#_Toc12341)

[5.2 桩基竖向抗拔承载力验算 14](#_Toc29311)

[5.3 单桩水平承载力计算 17](#_Toc9116)

[5.4 桩身承载力验算 17](#_Toc15557)

[5.5 桩基沉降计算 18](#_Toc28281)

[6 施 工 21](#_Toc6598)

[6.1 一般规定 21](#_Toc28372)

[6.2 多节钻扩灌注桩施工 22](#_Toc25141)

[7 检查与检收 24](#_Toc2594)

[7.1 一般规定 24](#_Toc16155)

[7.2 成孔质量检验 24](#_Toc16673)

[7.3 桩身质量检验 25](#_Toc8878)

[附录A 钻扩清一体机规格、型号与主要技术参数 26](#_Toc10200)

[附录B 扩径体腔成型机理示意图 27](#_Toc14558)

附录C 孔径孔深检测仪 28

附录D 多节钻扩灌注桩构造示意图 29

[附录E 多节钻扩灌注桩主要设计参数表 30](#_Toc2672)

[附录F 桩的极限侧阻力标准值 32](#_Toc5437)

[附录G 桩的极限扩径体端阻力标准值、桩端阻力标准值 34](#_Toc3583)

[附录H 多节钻扩灌注桩施工工艺流程图 36](#_Toc20778)

附录I 多节钻扩灌注桩钻扩孔施工记录表 37

[附录J 多节钻扩灌注桩成孔检测记录表 38](#_Toc21630)

[本规程用词说明 39](#_Toc9330)

[引用标准名录](#_Toc9591) 40

[附：条文说明](#_Toc9591) 41

**Contents**

1 General Provisions [1](#_Toc30360)

[2 Terms and Symbols 2](#_Toc13741)

[2.1 Terms](#_Toc13056) 2

[2.2 Symbols 4](#_Toc28674)

[3 Basic Requirements 7](#_Toc11257)

[4 Structure 9](#_Toc10575)

[5 Design 11](#_Toc16143)

[5.1 Determination of Vertical Compression Bearing](#_Toc12341)

[Capacity of Single Pile 11](#_Toc12341)

[5.2 Checking Calculation of Vertical Uplift](#_Toc29311)

[Bearing Capacity of Pile Foundation 14](#_Toc29311)

[5.3 Calculation of Horizontal Bearing Capacity of](#_Toc9116)

[Single Pile 17](#_Toc9116)

[5.4 Checking Calculation of Bearing Capacity of](#_Toc15557)

[Pile Body 17](#_Toc15557)

[5.5 Settlement Calculation of Pile Foundation 18](#_Toc28281)

[6 Construction 21](#_Toc6598)

[6.1 General Requirements 21](#_Toc28372)

[6.2 Construction of Multi Section Drilling](#_Toc28372)

[And Expansion Pile 21](#_Toc28372)

[7 Inspection and Acceptance 24](#_Toc2594)

[7.1 General Requirements 24](#_Toc16155)

[7.2 Inspection of Pore Forming Quality 24](#_Toc16673)

[7.3 Quality Inspection of Pile Body 25](#_Toc8878)

Appendix[A Specifications, Models and Main Technical](#_Toc10200)

[Parameters of The Drilling And Reaming Machine 26](#_Toc10200)

[AppendixB A Schematic Diagram of The Forming Mechanism](#_Toc14558)

[of The Enlargement Body Cavity 27](#_Toc14558)

AppendixC The Aperture Depth Detector 28

AppendixD Construction Schematic Diagram of Multi Section

Drilling and Expansion Pile 29

[AppendixE Main Design Parameter Table for Multi Section](#_Toc2672)

[Drilling And Expansion Pile 30](#_Toc2672)

[AppendixF Standard Value of Ultimate Shaft Resistance](#_Toc5437)

[of Piles 32](#_Toc5437)

[AppendixG Standard Value of Tip Resistance of Expansion](#_Toc3583)

[Pile And Standard Value of Tip Resistance of Pile 34](#_Toc3583)

[AppendixH Construction Process Flow Chart of Multi](#_Toc20778)

[Section Drilling And Expansion Pile 36](#_Toc20778)

AppendixI Drilling Construction Record Table of Multi

Section Drilling And Expansion Pile 37

[AppendixJ Test Record Table for Multi Section Drilling](#_Toc21630)

[And Expansion Grouting Pile 38](#_Toc21630)

Explanation of Wording in This Code [39](#_Toc9330)

List of Quoted Standards [40](#_Toc9591)

Addition: Explanation of Provisions [41](#_Toc9330)

**1 总 则**

**1.0.1** 为使多节钻扩灌注桩技术，做到安全适用、经济合理、保证质量、保护环境，制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用于建筑（构）多节钻扩灌注桩的设计、施工、检测及验收。

**1.0.3** 多节钻扩灌注桩基础的设计与施工，应综合考虑工程地质与水文地质条件、上部结构类型、使用功能、荷载特征、施工条件、环境及地区经验等因素，选择相应的钻扩技术参数，综合确定扩径体的位置及数量，并在施工过程中强化施工质量控制与管理，做到节能减排，保护环境。

**1.0.4**  多节钻扩灌注桩的设计、施工及验收，除应符合本规程外，尚应符合现行国家有关标准的规定。

**2 术语和符号**

**2.1 术 语**

**2.1.1**  多节钻扩灌注桩 multi-section drilling expansion pile

采用钻扩工法施工而成，由桩身及在桩身设置的若干个扩径体组成，并由桩身侧摩阻、扩径体端阻和桩端阻共同承担桩顶荷载的钢筋混凝土变径灌注桩。

**2.1.2** 钻扩工法 drilling and expansion method

在泥浆泵吸反循环工艺下采用钻扩清一体机实施钻孔、扩径和清孔，下放钢筋笼、灌注混凝土，完成多节钻扩灌注桩施工的施工方法。

**2.1.3** 钻扩清一体机 drilling and clearing machine

集钻孔、多节扩径和清孔功能于一身的多节钻扩灌注桩成孔施工设备。

**2.1.4** 桩身 pile shaft

多节钻扩灌注桩的等直径部分（不含扩径体）。

**2.1.5**  扩径体 expander

多节钻扩灌注桩桩身扩径的部分（不含桩身）。

**2.1.6**  扩沿长度 extension length

扩径体半径与桩身半径之差。

**2.1.7** 桩根 root of pile

最下方扩径体以下的桩身部分。

**2.1.8** 孔径孔深检测仪 aperture depth detector

对成孔后的桩径、桩长、扩径体位置及其直径进行检测的专用仪器。

**2.2 符 号**

**2.2.1** 作用和作用效应

N——相应于荷载效应基本组合时的桩顶竖向荷载设计值；

Nk——按荷载效应标准组合计算的单桩拉拔力。

**2.2.2** 抗力和材料性能

ƒc——混凝土轴心抗压强度设计值；

Ggp——群桩基础及其所包围的桩间土总自重标准值除以总桩数；

Gp——基桩桩体及扩径体以上部分土体的自重标准值；

Quk——单桩竖向抗压极限承载力标准值；

Qsk——单桩各段极限侧阻力标准值之和；

QBk——单桩各个扩径体极限端阻力标准值之和；

Qpk——单桩极限桩端阻力标准值；

qsik——单桩第i 层土的极限侧阻力标准值；

qBjk——单桩第 j个扩径体的持力土层极限端阻力标准值；

qpk——单桩桩端持力土层极限端阻力标准值；

Ra——单桩竖向抗压承载力特征值；

RTa——单桩竖向抗拔承载力特征值；

Tgk——群桩基础呈整体破坏时，基桩抗拔极限承载力标准值；

Tuk——群桩基础呈非整体破坏时，基桩抗拔极限承载力标准值；

**2.2.3** 几何参数

Ap——桩身或桩端设计截面面积；

ApD——扩径体设计截面面积（不含桩身设计截面面积）；

d——桩身或桩端设计直径；

D——扩径体设计直径；

H——扩径体高度；

Z——扩径体外沿高度；

h——扩径体下部高度；

VD——扩径体体积（不含桩身部分）；

L——桩身长度；

LG——桩根长度；

u——桩身或桩根周长；

LD——扩径体竖向中心距；

Ls——扩径体净间距；

α——扩径体上部斜面与水平面间的夹角；

DR——扩沿长度。

**2.2.4** 计算系数

a——桩的水平变形系数；

at——荷载性质系数；

ξi**—**—等效抗拔长度系数；

λi——抗拔侧阻力折减系数；

ψc——工作条件系数；

ψD——多节钻扩灌注桩沉降修正系数。

**3 基 本 规 定**

**3.0.1** 多节钻扩灌注桩适用于黏性土、粉土、砂土、填土、碎石土及风化岩层。

**3.0.2** 扩径体宜设置在：可塑～坚硬状态黏性土；稍密～密实状态粉土和砂土；中密～密实状态的碎石土和残积土；全风化、强风化软质岩层。

**3.0.3** 扩径体中心及桩端以下持力层厚度宜符合下列规定：

**1** 扩径体中心以下持力层厚度不应小于3.0d；当有软弱下卧层时不应小于4.0d（d为桩径）；

**2** 抗压桩扩径体宜设置在持力层上部，且扩径体下端进入持力层深度不应小于0.5H（H为扩径体高度）；

**3** 抗拔桩扩径体宜设置在持力层下部，且扩径体上端在持力层底面以上不应小于0.7H ；

**4** 桩端全断面进入持力层深度：对于黏性土、粉土不宜小于2d；砂土不宜小于1.5d；碎石土、残积土和强风化岩体不宜小于1d；当存在软弱下卧层时，桩端以下硬持力层厚度不宜小于3d。

**3.0.4** 多节钻扩灌注桩中心距不宜小于1.5D（D为扩径）；当D≦2m时，相邻基桩间的扩径体水平净距不宜小于0.7m；当D>2m时，相邻基桩间的扩径体水平净距不宜小于1m。

**3.0.5** 同一工程地质分区上建筑物结构单元的多节钻扩灌注桩扩径体数量宜保持一致，桩端宜设置于同一持力层上；当跨越不同工程地质分区时，可采用不同的扩径体数量和桩长。

**3.0.6** 多节钻扩灌注桩基础勘察，除应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB20021-2001的有关规定外，尚应提供各层岩土桩的极限侧阻力标准值和极限端阻力标准值。

**3.0.7** 多节钻扩灌注桩施工设备规格、性能参见本规程附录A，扩径体腔成型机理参见本规程附录B。

**3.0.8** 多节钻扩灌注桩成孔后，宜采用本规程附录C所示的仪器，逐桩孔进行孔径、扩径、扩径位置、孔深及孔底沉渣厚度检测。

**4 构 造**

**4.0.1** 多节钻扩灌注桩构造参见本规程附录D；设计参数参见本规程附录E；桩身岩土侧阻力取值参见本规程附录F；扩径体端阻力、桩端阻力取值参见本规程附录G。

**4.0.2** 多节钻扩灌注桩的相邻扩径体竖向中心距LD：当持力层为砂土时，不应小于2.5D；当持力层为黏性土、粉土时，不应小于2D。

**4.0.3** 多节钻扩灌注桩的桩根长度LG：当D≦1.6m时，不应小于0.8m；当1.6m＜D≦2.2m时，不应小于1m；当2.2m＜D≦2.8m时，不应小于1.2m；当D＞2.8m时，不应小于1.4m。

**4.0.4** 多节钻扩灌注桩的扩沿长度DR：当d≦0.8m时，不应大于0.6m；当0.8m＜d≦1.4m时，不应大于0.75m；当1.4m＜d≦2m时，不应大于0.9m；当d＞2m时，不应大于1m。

**4.0.5** 扩径体上部斜面与水平面间的夹角α不应小于45°。

**4.0.6** 多节钻扩灌注桩的扩径体设置数量不应多于4个。

**4.0.7** 多节钻扩灌注桩桩身配筋应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008的规定。

**4.0.8** 多节钻扩灌注桩桩身混凝土强度、保护层厚度应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008的规定。四类、五类环境中桩身混凝土保护层厚度应符合现行行业标准《港口工程混凝土设计规范》JTJ 267 -98、《工业建筑防腐蚀设计规范》GB 50046 -95的相关规定。

**5 设 计**

**5.1 单桩竖向抗压承载力确定**

**5.1.1** 多节钻扩灌注桩单桩竖向抗压极限承载力标准值应通过单桩静载试验确定，并应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008及《建筑桩基检测技术规范》JGJ 106-2014的相关规定。

**5.1.2** 单桩竖向抗压承载力特征值*Ra*应按下式计算：

 （5.1.2）

式中 *K*——安全系数，可取 *K*＝2；

*Quk*——单桩竖向抗压极限承载力标准值（*kN*）。

**5.1.3** 当根据土的物理指标与承载力参数之间的经验关系确定单桩竖向抗压极限承载力标准值*Quk*时，可按下式估算：



（5.1.3-1）

 （5.1.3-2）

 （5.1.3-3）

式中 *Qsk*——单桩各段极限侧阻力标准值之和；

*QBk***——**单桩各个扩径体极限端阻力标准值之和；

*Qpk—*—单桩极限桩端阻力标准值；

*qsik*——单桩第*i*层土的极限侧阻力标准值，如无当地经验值时，可按本规程附录F取值；（计算时不含扩径体高度段侧阻力。）

*qBjk*——单桩第*j*个扩径体的持力土层极限端阻力标准值，如无当地经验值时，可按本规程附录G取值；

*qpk*——单桩桩端持力土层极限端阻力标准值，如无当地经验值时，可按本规程附录G取值；

*u*——桩身或桩根周长；

*li*——桩穿过第*i*层土的厚度；

*ηj*——单桩第*j*个扩径体端阻力折减系数，可按表5.1.3-1取值；

*η*——桩端阻力折减系数，可取最下方扩径体端阻力折减系数；

*ApD*——扩径体设计截面面积（不含桩身设计截面面积）；

*Ap*——桩端设计截面面积；

*D*——扩径体直径；

*d*——桩身或桩端直径。

**表5.1.3-1 扩径体端阻力折减系数（***ηj***）**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 扩径体名称 | 扩径体1 | 扩径体2 | 扩径体3 | 扩径体4 |
| *ηj* | 0.99 | 0.97 | 0.94 | 0.90 |

**5.2 桩基竖向抗拔承载力验算**

**5.2.1** 承受拉拔力的多节钻扩灌注桩基，应按下列公式同时验算群桩基础及其基桩的抗拔承载力，并应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010-2010的规定验算基桩材料的抗拉承载力。

 （5.2.1-1）

 （5.2.1-2）

式中：*Nk*——按荷载效应标准组合计算的基桩拉拔力（kN）；

*Tgk*——群桩基础呈整体破坏时，基桩的抗拔极限承载力标准值，应按本规程第5.2.2条确定；

*Tuk*——群桩基础呈非整体破坏时，基桩的抗拔极限承载力标准值，应按本规程第5.2.2条确定；

*Ggp*——群桩基础及其所包围的桩间土总自重标准值除以总桩

数，地下水位以下应扣除浮力，应按本规程5.2.2-1和5.2.2-2计算多节钻扩灌注桩和土体的尺寸及桩土自重标准值；

*Gp*——基桩桩体及扩径体以上部分土体的自重标准值，计算地下水位以下部分的基桩自重时，应扣除浮力；多节钻扩灌注桩及扩径体以上部分土体的直径和长度，应按本规程5.2.2-1和5.2.2-2确定。

**5.2.2** 多节钻扩灌注桩单桩竖向抗拔极限承载力标准值的确定应符合下列规定：

**1** 对于设计等级为甲级和乙级的桩基，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。

**2** 基桩竖向抗拔承载力特征值（）可按下式计算：

(5.2.2-1)

**1)** 当群桩基础呈现非整体破坏时，单桩抗拔极限承载力标准值*Tuk*可按下式估算：

 （5.2.2-2）

式中：*ui*——桩身周长，可按表5.2.2-1和表5.2.2-2取值；

*li*——桩的破坏表面穿过的第i层土的厚度；

*λi*——抗拔侧阻力折减系数，可按表5.2.2-3取值。

**表5.2.2-1 扩径体和桩身破坏表面周长()**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 自扩径体中心起算的长度 | ≤ D | ＞D |
|  |  |  |

注：表中ξi为等效抗拔长度系数，按表5.2.2-2取值。

**表5.2.2-2 等效抗拔长度系数()**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 扩径体以上土的类型 | 黏性土、粉土 | 砂 土 | | 角砾、圆砾、碎石、卵石 |
| 松散、稍密 | 中密、密实 |
|  | 2～4 | 4～5 | 5～8 | 7～10 |

注：1 当最上部扩径体距地面的距离，或者某个扩径体到上一个扩径体的间距小于表中的D时，按实际距离计算；

2 当扩径体以上的持力层厚度小于表中D时，可根据扩径体以上各层土的性质综合确定系数；

3 土的强度高时取大值，土层埋深小时取小值。

**表5.2.2-3 抗拔侧阻力折减系数()**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 土类 | 砂土 | 黏性土、粉土 |
|  | 0.50～0.70 | 0.70～0.80 |

注：当桩长与桩径之比小于20时，*λ*i取小值。

**2)** 当群桩基础呈整体破坏时，基桩抗拔极限承载力标准值*T*gk可按下式估算：

 （5.2.2-3）

式中：*Tgk*——基桩抗拔极限承载力标准值；

*ug*——桩群外围周长；

*n*——桩基中桩数。

**5.3 单桩水平承载力计算**

**5.3.1** 对于承受水平荷载较大、设计等级为甲级的多节钻扩灌注桩基础，其单桩水平承载力特征值应通过单桩水平静载试验确定。必要时可进行带承台或加竖向荷载的桩水平静载试验，试验宜采用慢速维持荷载法，应按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106-2014的规定进行。

**5.3.2** 多节钻扩灌注桩可按桩身设计直径为d的等截面灌注桩，根据现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008的规定进行水平承载力与位移计算。

**5.4 桩身承载力验算**

**5.4.1** 多节钻扩灌注桩桩身混凝土强度应满足桩的承载力设计要求。当轴心受压时，桩身强度应符合下式规定：

 （5.4.1）

式中：N——相应于荷载效应基本组合下的桩顶竖向压力设计值（kN）；

*ψc*——工作条件系数，取0.80；

*f*c——混凝土轴心抗压强度设计值（kPa），应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 -2010取值；

*A*p——桩身设计截面面积（m2）。

**5.4.2** 当多节钻扩灌注桩的桩身设计符合本规程4.0.1、4.0.2时，可不进行扩径体的抗剪和抗冲切验算。

**5.4.3** 对于抗拔桩的裂缝控制计算，应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008的规定。

**5.5 桩基沉降计算**

**5.5.1** 当多节钻扩灌注桩基需要进行沉降验算时，其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 94-2008的有关规定，其最终沉降量可按本规程第5.5.2条的规定计算。

**5.5.2** 多节钻扩灌注桩基最终沉降量应按下式计算：

 （5.5.2）

式中：*s*——多节钻扩灌注桩基的最终沉降量（mm）；

*ψD*——桩基沉降修正系数，根据地区沉降观测资料及经验确定，无地区经验时可取0.6～0.8；

*sz*——按等截面桩基计算的最终沉降，即将多节钻扩灌注桩的桩身直径d作为设计直径，最下方扩径体平面作为桩端平面，按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 -2008的有关规定计算最终沉降量，计算时尚应符合下列规定：

a 对于桩中心距小于或等于3D的桩基，*sz*可采用现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 -2008的等效作用分层总和法计算；

b 对于桩中心距大于3D的桩基，*sz*宜按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 -2008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本规程第5.5.3条确定。

**5.5.3** 多节钻扩灌注桩桩身压缩量可按下式简化计算：

 （5.5.3）

式中 *s*e——多节钻扩灌注桩身压缩量；

*Q*——相应于荷载准永久组合时的桩顶附加荷载；

*l*m——最上部扩径体中心以上的桩身长度；

*E*c——桩身混凝土的弹性模量；

*A*p——桩身设计横截面面积。

**5.5.4** 设计等级为甲级的多节钻扩灌注桩基础宜进行沉降观测。

**6 施 工**

**6.1 一般规定**

**6.1.1** 根据钻扩工法的特点应准备下列资料：

**1** 钻扩清一体机、孔径孔深检测仪及其配套设备的技术性能资料；

**2** 岩土工程勘察报告；

**3** 施工组织方案设计；

**4** 试成孔及相似工程的施工参考资料；

**5** 成孔施工、成孔检测及混凝土灌注记录表格资料。

**6.1.2** 多节钻扩灌注桩施工应采用钻扩工法，工艺流程参见本规程附录H。

**6.1.3** 钻扩清一体机选型应根据桩径、扩径、孔深及地层情况综合确定，钻扩臂最大扩张直径不应小于设计扩径体直径。

**6.1.4** 钻扩清一体机开工前，宜在施工场地内试成孔。

**6.1.5** 成孔施工过程中应经常核对泥浆管出渣成分，若与设计地层不符而需要调整扩径体或桩端位置时，应满足扩径体最小竖向中心距要求。

**6.1.6** 泥浆制备及处理应满足现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008中第6.3.1～6.3.3条的规定。

**6.2 多节钻扩灌注桩施工**

I 成 孔

**6.2.1** 开孔前，应先埋设护筒，护筒长度不宜小于1.8m，护筒埋设深度应确保孔内泥浆面高出地下水位不少于1m，且护筒外围应用黏性土填埋夯实。

**6.2.2** 开孔时，启动泥浆泵吸反循环系统，令钻杆顺时针转动并缓慢下放钻杆实施钻孔作业。其间控制钻具垂直度和钻进进尺，待更换第一节钻杆后再逐渐加大进尺。

**6.2.3** 扩径时，令钻杆逆时针转动并缓慢下放钻杆实施扩径作业。扩径达到设计尺寸时需持续运行约1min再停转结束扩径作业。

**6.2.4** 扩径作业结束后，可操控卷扬机缓慢上提钻杆，上提幅度应超过最大扩径行程200mm以上，再令钻杆顺时针转动并缓慢下放钻杆再次进入钻孔作业状态。

**6.2.5** 钻进至设计孔深时应维持空钻不少于3min，进行第一次孔底沉渣清理。

**6.2.6** 多节钻扩灌注桩成孔施工记录宜按本规程附录I填写，成孔检测记录宜按本规程附录J填写。

**6.2.7** 成孔后，应采用孔径孔深检测仪等仪器或方法，按表7.2.1所列项目进行检测。

**6.2.8** 应在成孔检测合格后吊装钢筋笼和安放灌注导管，再用泵吸反循环方式进行第二次孔底沉渣清理。确保孔底以上500mm以内的泥浆相对密度小于1.25、含砂率不大于8%、黏度不大于28s，且孔底沉渣厚度应满足现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008的相关要求。

**6.2.9** 泥浆池内的沉渣应及时挖出晾晒，或运离施工现场，应严格控制废弃泥浆的排放量，减小对环境污染。

II 水下混凝土灌注

**6.2.10** 第二次清孔后应立即灌注混凝土，其时间间隔不应超过30min。

**6.2.11** 初灌混凝土用漏斗容积的确定，应保证扩径体的混凝土用量，确保初灌量能够使导管埋入混凝土深度不少于0.8m。

**6.2.12** 混凝土灌注过程中更换和提拔导管时，应能准确判定扩径体的深度位置和混凝土灌注面的深度位置，避免将导管提出混凝土灌注面；正常灌注时导管埋入混凝土深度宜为2m～4m；混凝土灌注必须连续施工，中间不得停顿。

**7 检查与检收**

**7.1 一般规定**

**7.1.1** 成孔质量检验、桩身质量检验应满足本规程7.2、7.3节的规定。

**7.1.2** 孔径孔深检测仪及超声波孔壁检测仪应在标定后使用。

**7.1.3** 当采用高应变动力试桩法，检验多节钻扩灌注桩单桩竖向抗压极限承载力标准值时，应结合该桩的超声波孔壁反射波法成果，并应有动静对比试验，宜采用波动方程拟合法评价。

**7.2 成孔质量检验**

**7.2.1** 多节钻扩灌注桩成孔质量检验应包括桩径、扩径、扩径位置、孔深、垂直度及沉渣厚度的检验。并应符合表7.2.1的要求。

表7.2.1 多节钻扩灌注桩成孔质量检验表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 检查项目 | | 允许偏差 | | | | 检验方法 | 检验数量 | |
| 单位 | | 数值 | |
| 孔径d | | mm | | ±50 | | 孔径孔深检测仪法 | 总桩数的100% | |
| 扩径体深度位置 | | mm | | ±200 | | 孔径孔深检测仪法 | 总桩数的100% | |
| 续表7.2.1 多节钻扩灌注桩成孔质量检验表 | | | | | | | | |
| 扩径体直径D | | | mm | | ≧-50且≦100 | 孔径孔深检测仪法 | | 总桩数的100% |
| 必要时，用超声波孔壁检测仪抽检 | | 按设计要求的数量 |
| 钻孔深度 | | | mm | | 不小于设计值 | 测绳法 | | 总桩数的100% |
| 孔径孔深检测仪法 | | 总桩数的100% |
| 成孔垂直度 | | | % | | ＜1 | 测钻杆法 | | 总桩数的100% |
| 测斜仪法 | | 总桩数的100% |
| 必要时，用超声波孔壁检测仪抽检 | | 按设计要求的数量 |
| 沉渣厚度 | 端承型桩 | | mm | | ≦50 | 测绳法  孔径孔深检测仪法 | | 总桩数的100% |
| 摩擦型桩 | | ≦100 | 总桩数的100% |
| 抗拔型桩 | | ≦200 | 总桩数的100% |

**7.3 桩身质量检验**

**7.3.1** 多节钻扩灌注桩桩身质量可采用低应变反射波法、声波透射法或钻芯法检验。

**7.3.2** 桩身质量应以随机方式抽检，检验数量应符合现行行业标准《建筑桩基检测技术规范》JGJ 106 -2014中第3.3.3条的规定。

**附录A 钻扩清一体机规格、型号与主要技术参数**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 钻扩清一体机通用机型 | | RZK13-34 | | | |
| 外形：长x宽x高(mm) | | 7000x2200x9500 | | | |
| 钻机行走机构形式 | | 液压步履行走或履带行走 | | | |
| 钻杆长度(mm) | | 2000或2500 | | | |
| 钻杆直径（mm） | | 180 | 180 | 245 | 245 |
| 钻扩装置型号 | | ZK1600 | ZK2200 | ZK2800 | ZK3400 |
| 孔径范围(mm) | | 600--800 | 800--1200 | 1100--1600 | 1500--2400 |
| 扩径腔体直径范围(mm) | | 1300--1600 | 1700--2200 | 2200--2800 | 2800--3400 |
| 钻孔深度(m) | | 80 | 80 | 100 | 100 |
| 卷扬机提升(kN) | | 50x4 | 50x4 | 80x4 | 80x4 |
| 动力头、砂石泵组合机构 | | DB240 | DB240 | DB360 | DB360 |
| 主轴 | 转速(r/min) | 8-12 | 8-12 | 6-11 | 6-11 |
| 电机功率(kw) | 7.5x2 | 7.5x2 | 11x2 | 11x2 |
| 扭矩(kN.m) | 24 | 24 | 36 | 36 |
| 泵砂石 | 流量（m³/h） | 400 | 500 | 700 | 700 |
| 电动机 | 功率 (kw) | 30 | 30 | 45 | 45 |
| 整机配柴油机功率(kw) | | 70 | 70 | 100 | 100 |
| 泥浆循环方式 | | 泵 吸 反 循 环 | | | |

注：设备型号变动时，上表将作相应调整。

**附录B 扩径体腔成型机理示意图**



**附录C 孔径孔深检测仪**



**附录D 多节钻扩灌注桩构造示意图**



**附录E 多节钻扩灌注桩主要设计参数表**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 孔径  d  （mm） | 扩径  D  (mm) | 扩径体高H  (mm) | 扩径体下部高  h  (mm) | 扩径体边沿高Z  (mm) | 扩径体上部斜面角度  α  (°) | 扩径体体积  VD  (m3) | 孔径  d  （mm） | 扩径  D  (mm) | 扩径体高  H  (mm) | 扩径体下部高  h  (mm) | 扩径体边沿高Z  (mm) | 扩径体上部斜面角度  α  (°) | 扩径体体积  VD  (m3) |
| 600 | 1300 | 870 | 280 | 180 | 50 | 0.50 | 1300 | 2600 | 1380 | 470 | 220 | 47 | 2.93 |
| 600 | 1400 | 900 | 260 | 180 | 49 | 0.62 | 1400 | 2500 | 1270 | 450 | 220 | 47 | 2.34 |
| 650 | 1400 | 880 | 240 | 180 | 51 | 0.59 | 1400 | 2600 | 1310 | 430 | 220 | 48 | 2.68 |
| 650 | 1500 | 900 | 230 | 180 | 49 | 0.71 | 1400 | 2700 | 1350 | 400 | 220 | 48 | 3.04 |
| 700 | 1400 | 840 | 220 | 180 | 51 | 0.55 | 1500 | 2600 | 1230 | 380 | 220 | 50 | 2.35 |
| 700 | 1500 | 860 | 210 | 180 | 50 | 0.66 | 1500 | 2700 | 1260 | 360 | 220 | 49 | 2.73 |
| 750 | 1500 | 850 | 210 | 180 | 51 | 0.63 | 1500 | 2800 | 1300 | 330 | 220 | 49 | 3.10 |
| 800 | 1500 | 830 | 200 | 180 | 52 | 0.60 | 1500 | 2900 | 1540 | 600 | 240 | 48 | 4.05 |
| 800 | 1600 | 820 | 200 | 180 | 48 | 0.70 | 1600 | 2900 | 1510 | 580 | 240 | 47 | 3.74 |
| 800 | 1600 | 1320 | 520 | 200 | 56 | 1.05 | 1600 | 3000 | 1550 | 570 | 240 | 47 | 4.19 |
| 800 | 1700 | 1370 | 530 | 200 | 55 | 1.27 | 1600 | 3100 | 1580 | 560 | 240 | 47 | 4.68 |
| 800 | 1800 | 1410 | 540 | 200 | 54 | 1.51 | 1700 | 2900 | 1460 | 550 | 240 | 48 | 3.45 |
| 850 | 1700 | 1280 | 520 | 200 | 53 | 1.16 | 1700 | 3000 | 1510 | 550 | 240 | 48 | 3.92 |
| 850 | 1800 | 1310 | 500 | 200 | 52 | 1.36 | 1700 | 3100 | 1550 | 530 | 240 | 48 | 4.39 |
| 900 | 1700 | 1200 | 490 | 200 | 52 | 1.06 | 1700 | 3200 | 1570 | 510 | 240 | 47 | 4.9 |
| 900 | 1800 | 1230 | 480 | 200 | 51 | 1.26 | 1800 | 3000 | 1400 | 510 | 240 | 47 | 3.49 |
| 900 | 1900 | 1250 | 470 | 200 | 49 | 1.46 | 1800 | 3100 | 1420 | 490 | 240 | 47 | 3.89 |
| 续附录E 多节钻扩灌注桩主要设计参数表 | | | | | | | | | | | | | |
| 孔径  d  （mm） | 扩径  D  (mm) | 扩径体高H  (mm) | 扩径体下部高  h  (mm) | 扩径体边沿高Z  (mm) | 扩径体上部斜面角度  α  (°) | 扩径体体积  VD  (m3) | 孔径  d  （mm） | 扩径  D  (mm) | 扩径体高  H  (mm) | 扩径体下部高  h  (mm) | 扩径体边沿高Z  (mm) | 扩径体上部斜面角度  α  (°) | 扩径体体积  VD  (m3) |
| 900 | 2000 | 1270 | 460 | 200 | 49 | 1.69 | 1800 | 3200 | 1450 | 470 | 240 | 47 | 4.33 |
| 950 | 1800 | 1160 | 460 | 200 | 50 | 1.16 | 1800 | 3300 | 1480 | 450 | 240 | 47 | 4.82 |
| 950 | 1900 | 1180 | 450 | 200 | 48 | 1.35 | 1900 | 3100 | 1360 | 460 | 240 | 48 | 3.56 |
| 950 | 2000 | 1200 | 440 | 200 | 47 | 1.56 | 1900 | 3200 | 1380 | 450 | 240 | 47 | 3.96 |
| 1000 | 1900 | 1100 | 420 | 200 | 47 | 1.24 | 1900 | 3300 | 1420 | 440 | 240 | 47 | 4.44 |
| 1000 | 2000 | 1130 | 400 | 200 | 47 | 1.44 | 1900 | 3400 | 1450 | 430 | 240 | 47 | 4.98 |
| 1000 | 2100 | 1170 | 380 | 200 | 47 | 1.68 | 2000 | 3200 | 1310 | 430 | 240 | 47 | 3.60 |
| 1000 | 2200 | 1200 | 360 | 200 | 47 | 1.94 | 2000 | 3300 | 1340 | 410 | 240 | 47 | 4.03 |
| 1100 | 2100 | 1080 | 350 | 200 | 47 | 1.49 | 2000 | 3400 | 1380 | 400 | 240 | 47 | 4.52 |
| 1100 | 2200 | 1110 | 310 | 200 | 47 | 1.72 | 2100 | 3300 | 1280 | 390 | 240 | 47 | 3.67 |
| 1200 | 2200 | 1010 | 280 | 200 | 47 | 1.51 | 2100 | 3400 | 1310 | 380 | 240 | 47 | 4.11 |
| 1200 | 2300 | 1410 | 590 | 220 | 47 | 2.28 | 2200 | 3300 | 1220 | 370 | 240 | 48 | 3.31 |
| 1200 | 2400 | 1440 | 570 | 220 | 47 | 2.59 | 2200 | 3400 | 1240 | 350 | 240 | 47 | 3.72 |
| 1200 | 2500 | 1470 | 540 | 220 | 48 | 2.92 | 2300 | 3300 | 1120 | 330 | 240 | 48 | 2.87 |
| 1300 | 2400 | 1340 | 520 | 220 | 47 | 2.32 | 2300 | 3400 | 1150 | 310 | 240 | 47 | 3.28 |
| 1300 | 2500 | 1360 | 500 | 220 | 47 | 2.61 | 2400 | 3400 | 1090 | 290 | 240 | 48 | 2.92 |

备注：符号代表意义参见多节钻扩灌注桩构造图2.1.1；设备型号改变时将作相应调整。

**附录F 桩的极限侧阻力标准值qsik（kPa）**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 土的名称 | 土的状态 | | qsik（kPa） |
| 填土 |  | | 20～28 |
| 淤泥 |  | | 12～28 |
| 淤泥质土 |  | | 20～28 |
|  | 流塑 | IL＞1 | 21～38 |
|  | 软塑 | 0.75＜IL≤1 | 38～53 |
|  | 可塑 | 0.50＜IL≤0.75 | 53～68 |
| 黏性土 | 硬可塑 | 0.25＜IL≤0.50 | 68～84 |
|  | 硬塑 | 0＜IL≤0.25 | 84～96 |
|  | 坚硬 | IL≤0 | 96～102 |
| 红黏土 | 0.7＜aW≤1 | | 12～30 |
| 0.5＜aW≤0.7 | | 30～70 |
| 粉土 | 稍密 | e＞0.9 | 24～42 |
| 中密 | 0.75≤e≤0.9 | 42～62 |
| 密实 | e＜0.75 | 62～82 |
| 粉细砂 | 稍密 | 10＜N≤15 | 22～46 |
| 中密 | 15＜N≤30 | 46～64 |
| 密实 | N＞30 | 64～86 |
| 中砂 | 中密 | 15＜N≤30 | 53～72 |
| 密实 | N＞30 | 72～94 |
| 粗砂 | 中密 | 15＜N≤30 | 74～95 |
| 密实 | N＞30 | 95～116 |
|  | | | |
| 续附录F 桩的极限侧阻力标准值qsik（kPa） | | | |
| 土的名称 | 土的状态 | qsik（kPa） |  |
| 砾石 | 稍密 | 5＜N63.5≤15 | 50～90 |
| 中密（密实） | N63.5＞15 | 116～130 |
| 圆砾、角砾 | 中密、密实 | N63.5＞10 | 135～150 |
| 碎石、卵石 | 中密、密实 | N63.5＞10 | 140～170 |
| 全风化软质岩 |  | 30＜N≤50 | 80～100 |
| 全风化硬质岩 |  | 30＜N≤50 | 120～140 |
| 强风化软质岩 |  | N63.5＞10 | 140～200 |
| 强风化硬质岩 |  | N63.5＞10 | 160～240 |

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 *aw*为土的含水量，*aw*=*w/wl* ，*w*为土的天然含水量，*wl*为土的液限，*e*为孔隙比，*IL*为液性指数；

3 N为标准贯入击数；N63.5为重型圆锥动力触探击数；

4 全风化、强风化软质岩和全风化、强风化硬质岩系指其母岩分别为frk≤15MPa、frk﹥30MPa的岩石。

**附录G 桩的极限扩径体端阻力标准值qBjk（kPa）、桩端阻力标准值qpk（kPa）**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 土的  名称 | 土的状态 | | 桩入土深度L(m) | | | |
| 5≤L＜10 | 10≤L＜15 | 15≤L＜30 | 30≤L |
| 黏性土 | 软塑 | 0.75＜IL≤1 | 150～250 | 250～300 | 300～450 | 300～450 |
| 可塑 | 0.50＜IL≤0.75 | 350～450 | 450～600 | 600～750 | 750～800 |
| 硬可塑 | 0.25＜IL≤0.50 | 800～900 | 900～1000 | 1000～1200 | 1200～1400 |
| 硬塑 | 0＜IL≤0.25 | 1100～1200 | 1200～1400 | 1400～1600 | 1600～1800 |
| 粉土 | 中密 | 0.75≤e≤0.9 | 300～500 | 500～650 | 650～750 | 750～850 |
| 密实 | e＜0.75 | 650～900 | 750～950 | 900～1100 | 1100～1200 |
| 粉砂 | 稍密 | 10＜N≤15 | 350～500 | 450～600 | 600～700 | 650～750 |
| 中密、密实 | N＞15 | 600～750 | 750～900 | 900～1100 | 1100～1200 |
| 细砂 | 中密、  密实 | N＞15 | 650～850 | 900～1200 | 1200～1500 | 1500～1800 |
| 中砂 | 850～1050 | 1100～1500 | 1500～1900 | 1900～2100 |
| 粗砂 | 1500～1800 | 2100～2400 | 2400～2600 | 2600～2800 |
| 砾砂 | 中密、  密实 | N＞15 | 1400～2000 | | 2000～3200 | |
| 角砾、  圆砾 | N63.5＞10 | 1800～2200 | | 2200～3600 | |
| 碎石、  卵石 | N63.5＞10 | 2000～3000 | | 3000～4000 | |
| 全风化软质岩 |  | 30＜N≤50 | 1000～1600 | | | |
|  |  |  |  | | | |
| 续附录G 桩的极限扩径体端阻力标准值qBjk（kPa）、桩端阻力标准值qpk（kPa） | | | | | | |
| 土的  名称 | 土的状态 | | 桩入土深度L(m) | | | |
| 5≤L＜10 | 10≤L＜15 | 15≤L＜30 | 30≤L |
| 全风化硬质岩 |  | 30＜N≤50 | 1200～2000 | | | |
| 强风化软质岩 |  | N63.5＞10 | 1400～2200 | | | |
| 强风化硬质岩 |  | N63.5＞10 | 1800～2800 | | | |

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度与桩径之比愈大，土愈密实，取值愈高；

2 全风化、强风化软质岩和全风化、强风化硬质岩系指其母岩分别为frk≤15MPa、frk﹥30MPa的岩石。

**附录H 多节钻扩灌注桩施工工艺流程图**



**附录I 多节钻扩灌注桩钻扩孔施工记录表**

**附录J 多节钻扩灌注桩成孔检测记录表**



# **本规程用词说明**

**1** 为便于在执行本规程条文时区别对待，对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：

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：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

**3**）表示允许稍有选择，在条件允许时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

**2** 条文中指明应按其他有关规程、规范执行的写法为：“应按……执行”或“应符合……的规定（或要求）”

# **引用规程名录**

**1** 《混凝土结构设计规范》 GB 50010 -2010

**2** 《岩土工程勘察规范》 GB 50021-2001

**3** 《工业建筑防腐蚀设计规范》 GB 50046 -95

**4** 《建筑地基基础工程施工质量验收规范》 GB 50202 -2002

**5** 《建筑桩基技术规范》 JGJ 94 -2008

**6** 《建筑基桩检测技术规范》 JGJ 106 -2014

**7** 《港口工程混凝土结构设计规范》 JTJ 267 -98

**8** 《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG D63 -2007

**9** 《铁路桥涵地基和基础设计规范》TB 10093 -2017

**10** 《大直径扩底灌注桩技术规程》 JGJ/T255 -2010

**11** 《三岔双向挤扩灌注桩设计规程》 JGJ 171 -2009

**12** 《铁路工程旋挖挤扩灌注桩技术规程》Q/CR 9401 -2017

**13** 《桥梁挤扩支盘桩》 JT/T855 -2013

**14** 《挤扩支盘灌注桩技术规程》 CECS 192 :2005

中国工程建设标准化协会

**多节钻扩灌注桩技术规程**

CECS xxx 2017

条文说明

**目次**

[1 总 则 46](#_Toc7818)

[2 术语和符号 47](#_Toc26880)

[3 基 本 规 定 49](#_Toc30930)

[4 构 造 53](#_Toc23407)

[5 设 计 55](#_Toc7757)

[6 施 工 70](#_Toc29379)

[7 检查与验收 73](#_Toc18083)

**1 总 则**

多节钻扩灌注桩是在桩身不同部位设置一个或数个扩径体，形成由多个端承和多段侧摩阻共同作用的新型桩基础。桩孔（含扩径体腔）由专用设备钻扩清一体机施工而成，该机的钻扩臂在倒转并扩张的过程中切削孔壁土体制成扩径体腔，此间几乎不对扩径体腔上部产生扰动，使得扩径体腔成型标准、规整、圆滑；钻扩工法在提高施工效率和施工质量上优势极为突出；采用泥浆泵吸反循环工艺施工，确保扩径体腔和孔底无沉渣滞留；多节钻扩灌注桩单桩承载力高，尤其适合高大建筑（构）物的桩基础；与普通钻孔灌注桩相比，多节钻扩灌注桩单方混凝土所提供的承载力显著提高，桩基础稳定性增强，沉降变形减小，工程造价能够大幅度降低。

应完整地理解和掌握钻扩技术中施工机械、扩径体成型机理这两个要素，分清钻扩工法与现有变径灌注桩施工方法的不同之处，严格按本规程的有关规定执行，确保多节钻扩灌注桩的施工质量。

**2 术语和符号**

**2.1.1**  多节钻扩灌注桩属于变径灌注桩，采用由钻扩清一体机为核心的钻扩工法施工而成，该桩具有优异的抗压、抗拔和抗水平剪切的性能，成为高大建筑（构）物之适合的大承载力桩基础之一。

**2.1.2** 钻扩工法是多节钻扩灌注桩施工方法的简称，也是相关多节钻扩灌注桩的技术体系，又称钻扩技术，与现有变径灌注桩施工技术不同，是对变径灌注桩施工具有突出创新的技术，现已获得11项国家专利。

**2.1.3** 钻扩清一体机是钻扩工法的重要组成部分，是多节钻扩灌注桩成孔施工的专用设备，对保障多节钻扩灌注桩施工质量不可或缺。

**2.1.5** 钻扩清一体机作业时其钻扩臂切削孔壁土体形成扩径体腔，灌注混凝土成桩后桩身扩径的部分称为扩径体，是多节钻扩灌注桩单桩承载力的重要组成部分。

**2.1.6** 扩沿长度不仅关系到扩径体腔成型稳定性，也与扩径体自身的承载强度密切相关。如果将扩径大小与桩径大小设定为一个固定的倍数关系，从扩径体腔成型施工的基本要求及扩径体承担荷载的自身结构强度上看并不合理，尤其对大孔径多节钻扩灌注桩而言，将会出现因扩径体腔径向深度过大而失稳、塌孔风险急剧上升的不利状况，扩径体承担荷载的能力也将受到影响。引入扩沿长度能够将扩径体腔径向深度限定在一个经济、安全、合理的区间内，更符合多节钻扩灌注桩自身的承载功能和构造强度要求。

**2.1.8** 孔径孔深检测仪是为钻扩清一体机成孔施工配套研制的检测仪器，已经获得国家专利。它能够对桩径、扩径、扩径位置、桩长及孔底沉渣进行检测，该检测仪具有刻度盘直读和电子显示检测结果双功能，是多节钻扩灌注桩质量管理体系的重要组成部分。

**3 基 本 规 定**

**3.0.1** 从成桩工艺上看，多节钻扩灌注桩与泥浆护壁钻孔灌注桩极为相似，不同之处在于有无扩径体腔成型作业，但这并不影响二者具有相同或相近的地层适应范围。当然，对于桩身范围内易于塌孔或坚硬的地层应通过试成孔验证其适应性，必要时扩径体也可以错开上述地层设置。

**3.0.2** 本款规定了扩径体的设置原则，主要基于两点：一是选择设置扩径体的地层端阻力应相对较大，地层结构较稳定；二是选择设置扩径体的地层应适合扩径体腔成型作业，能扩得开且不塌孔。严格意义上讲，适合设计多节钻扩灌注桩的地层与适合设置扩径体的地层是两个概念，并非桩身范围内的所有地层都适合设置扩径体。因此，设计者给扩径体寻找地层结构稳定、层厚较大、压缩性较小、承载力较高的持力层至关重要。

**3.0.3** 本款所述“扩径体中心”是指扩径体边沿厚度一半处的水平部位（参见附录D所示），规定扩径体中心及桩端以下持力层厚度，将有利于发挥持力层的承载潜能。无论抗压桩还是抗拔桩，并不是将扩径体设置在持力层的中部最为合适，尤其对持力层厚度不大的地层而言更是如此，应当结合扩径体的受力特点和有限的持力层厚度，按照上述原则来设计扩径体或桩端位置。

**3.0.4** 多节钻扩灌注桩最小中心距的确定，主要考虑到群桩效应并参照现行行业标准《三岔双向挤扩灌注桩设计规程》JGJ 171-2009。

**3.0.5** 同一工程地质分区上建筑物结构单元的多节钻扩灌注桩，为满足不同的承载力要求，通常采取不同的扩径体数量和桩长的方法。从方便施工的角度看此法不需要另行更换设备或钻扩装置，简单易行。

**3.0.6** 就多节钻扩灌注桩而言，对基础勘察并无特殊要求，只是强调地勘报告应提供各地层端阻力值，这是因为计算扩径体承载力时要用得到。现实的情况是有些地勘报告只提供桩端持力土层的端阻值，桩身范围内其它地层的端阻值提供的较少，给多节钻扩灌注桩承载力计算带来不便，为此本规程特提出要求。

**3.0.7** 本款规定了多节钻扩灌注桩施工设备性能及扩径体成型机理。 就多节钻扩灌注桩的专用施工设备钻扩清一体机而言，附录A所标定的钻扩清一体机技术性能指标仅针对于现有型号的设备，但使用设备时有些技术指标不应当成一个定值看待。如钻孔深度一栏中的80m、100m，由于受各种施工条件的限制，哪怕是同一台设备其最大钻孔深度也会有所变化，只是施工效率不同罢了。 就扩径体成型机理而言与现有变径灌注桩不同，从扩径体腔成型机理示意图（附录B）可以看出：扩径时钻头停止转动成为扩径作业的稳定支撑；钻扩臂在逆时针转动并逐渐扩张的过程中切削孔壁土体形成扩径体腔；在泥浆泵吸反循环持续不断地运行中，孔径范围内泥浆始终自上向下流动至孔底的钻头处，扩径过程中所产生的沉渣被钻扩臂不断导流至孔径范围内，并也使沉渣顺流而下至孔底的钻头处，被钻杆强力吸入排放到地面的沉淀池，这种沉渣随产生随清理的方式完全能够将扩径体和孔底沉渣清理干净，是那种积渣成堆后由挖斗挖取沉渣，或再用泥浆循环的方式置换沉渣所难以比拟的；扩径体腔上长下短，孔壁与上腔壁呈现缓变状过度，且扩径体边沿厚度较大；扩径体腔的结构形状不仅有利于增强其稳定性而防止塌孔，而且灌注混凝土时靠自身的流动性就能够充分灌满整个扩径体腔，保障成桩后扩径体的密实度。参见下列扩径体成型过程分解图片：

** **

** **

从上图可以看出，上腔壁下方临空区的逐渐形成可有效隔阻钻扩臂对上腔壁的扰动，同时给泥浆及时、持续地护壁提供了必要条件，增强了扩径体腔的稳定性，即便在砂层中扩径也不易塌孔。

**3.0.8** 本款推荐使用的孔径孔深检测仪，操作简单、实用性强，为成孔质量检测的得力助手。检测时依靠检测头自重迫使检测臂在孔内径向扩张，而设置在检测臂端的孔壁触探轮则始终沿着孔壁转动，从而能够准确到达所要测定的孔壁或扩径体腔壁的部位；由主、副不锈钢绳及设置在孔口支架上的刻度盘制成的装置，能够使操作者直接读取孔径、扩径的尺寸，也可以由电子显示屏给出孔径、扩径等检测数据。

**4 构 造**

**4.0.1** 附录D是多节钻扩灌注桩构造示意图，形象直观，一目了然。附录E只是针对现有钻扩清一体机所列多节钻扩灌注桩设计参数，而并非全部参数。当出现钻扩设备型号变动或有其它要求时，也可以在遵循4.0.4等款的前提下突破附录E所列参数范围另行设计；附录F、附录G引自现行行业标准《三岔双向挤扩灌注桩设计规程》JGJ 171-2009。

**4.0.2** 多节钻扩灌注桩的相邻扩径体竖向中心距LD对于保障扩径体独立发挥承载作用极为重要，实际应用中扩径体竖向中心距LD宜大不宜小。应防止竖向中心距偏小导致相邻扩径体应力叠加，扩径体的承载力将大打折扣，单桩承载力也将难以达到设计要求，应当引起重视。

**4.0.3** 桩根长度LG与钻扩清一体机设备型号有关，不因扩径体个数、入孔深度及地层条件而增加或减少，因此多节钻扩灌注桩的桩根通常较短，这在扩径体适应地层厚度上拓宽了选择余地。本款只规定了桩根的最小长度，若有必要桩根是可以加长设计的，但无论扩径体数量多少或桩根长度大小均不影响成孔质量，这也是钻扩工法的突出特点之一。与挤扩桩、旋扩桩的桩根长度应随盘个数或入孔深度增加而增加截然不同。

**4.0.5** 根据混凝土结构冲切破坏特征，其破坏面为一椎体面，扩径体将沿45°锥体冲切破坏。而实际上钻扩清一体机施工成型的扩径体之上部斜面与水平面间夹角α均大于45°，因此无需再进行扩径体承载强度验算。

**4.0.6** 就实际工程应用而言，变径灌注桩的盘或扩径体个数均未超过4个，这主要是因为扩径体个数过多无论从技术层面还是从经济层面均不为优选方案，故本规程不建议多节钻扩灌注桩的扩径体数量超过4个。

**4.0.8** 按照现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010-2010的规定，本条中所述四类环境指海水环境，五类环境指受人为或自然的侵蚀性物资影响的环境。

**5 设 计**

**5.1.1** 多节钻扩灌注桩是近几年开发出来的，但其桩型和受力机理与三岔双向挤扩灌注桩极为相似，施工前进行单桩竖向抗压静载试验，为设计提供既可靠又准确的设计施工参数很有必要。试桩数量及要求与现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB5007-2011和现行行业标准《建筑桩基检测技术规范》JGJ 106-2014相一致。

**5.1.2** 单桩竖向抗压承载力特征值的计算公式与现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94第5.2.2条一致。

**5.1.3** 单桩竖向抗压极限承载力标准值*Quk*计算公式（5.1.3-1）：



式中包含3项：*Qsk*为单桩各段极限侧阻力标准值之和、*QBk*为单桩各个扩径体极限端阻力标准值之和、*Qpk*为单桩极限桩端阻力标准值。与现行行业标准《三岔双向挤扩灌注桩设计规程》JGJ 171-2009所列公式比较相近，但并不完全相同，差异之处在于给扩径体端阻力折减系数*j*及桩端阻力折减系数的取值方法及大小。本规程基于对多节钻扩灌注桩及挤扩灌注桩承载机理的研究，并结合多节钻扩灌注桩扩径体成型标准、规整、扩径体内无沉渣滞留，以及扩径体施工质量不因其个数多少、入孔位置深浅而降低等特点，在计算单桩竖向抗压极限承载力时对不同的扩径体端阻力及桩端阻力给予不同的折减系数，并且按自上而下的顺序让扩径体的折减系数逐渐减小，折减幅度逐渐加大，同时增加了桩端与最下方扩径体取相同的折减系数一项。按照这种方式给扩径体端阻及桩端阻加入折减系数，更能够与桩顶加载后各个扩径体的承载力自上而下依次发挥，位于桩身上部的扩径体先受力并率先达到更大或极限承载力，而以下各扩径体才逐渐发挥出更大或极限承载力的承载机理相吻合。

本规程中，多节钻扩灌注桩单桩竖向抗压极限承载力计算公式(5.1.3-1)及扩径体、桩端阻力折减系数：



注：扩径体端阻力折减系数*j*及桩端阻力折减系数取值： 扩径体1取0.99，扩径体2取0.97，扩径体3取0.94，扩径体4取0.90，桩端阻与最下方扩径体端阻取相同的折减系数。

现行行业标准《三岔双向挤扩灌注桩设计规程》JGJ 171-2009中，单桩竖向抗压极限承载力计算公式(5.1.3-1)及盘体、桩端阻力折减系数：

＝＋＋＝＋＋

注：承力盘端阻力折减系数取值：1个和2个承力盘时取1， 3个及3个以上承力盘时取0.93（即所有承力盘都乘以折减系数0.93），桩端不折减。

为进一步摸清本规程公式与现行行业标准《三岔双向挤扩灌注桩设计规程》JGJ 171-2009公式计算的单桩竖向抗压极限承载力存在怎样的关系，特按不同的工程项目、不同地质条件、不同桩径、不同扩径和不同扩径体数量，分三个组列表进行测算。

径测算得知，按本规程所列公式与按现行行业标准《三岔双向挤扩灌注桩设计规程》JGJ 171-2009所列公式计算的单桩竖向抗压极限承载力标准值中扩径体及桩端阻力值有如下结果：当设置一个扩径体时前者较后者偏小1.01%；当设置2个扩径体时前者较后者偏小2.26%；当设置3个扩径体时前者较后者偏大2.45%；当设置4个扩径体时前者较后者偏大0.71%；若将上述偏差再取平均值时则前者较后者偏小0.03%。由此看出，由两公式计算的多节钻扩灌注桩单桩竖向抗压极限承载力标准值中扩径体及桩端阻力值处于持平状态。由此表明，由两公式计算的多节钻扩灌注桩单桩竖向抗压极限承载力标准值亦处于持平状态。

综上所述认为：本规程所列多节钻扩灌注桩单桩竖向抗压极限承载力计算公式中，扩径体端阻力、桩端阻力折减系数取值是较为合理的，也是符合工程实际的。

详见如下单桩竖向抗压极限承载力中扩径体及桩端阻测算：

**1：**以郑州恒祥工程为例，单桩竖向抗压极限承载力中扩径体及桩端阻测算：

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 桩径600，扩径1400 | | | | | 按多节钻扩桩计算 | | | | | 按三岔挤扩桩计算 | | | | | 两式计算值对比 | | | |
| 极限端阻（kPa） | | 部位名称 | | | 折减系数 | | | 承载力（kN） | | 折减系数 | | | 承载力（kN） | | 差值（kN） | | 增减（%） | |
| 1100 | | 扩径体1 | | | 0.99 | | | 1368 | | 1.0 | | | 1382 | |  | |  | |
| 1200 | | 桩 端 | | | 0.99 | | | 335 | | 1.0 | | | 339 | |  | |  | |
| 合计 | |  | | |  | | | 1703 | |  | | | 1721 | | -18 | | -1.05 | |
| 桩径600，扩径1400 | | | | | 按多节钻扩桩计算 | | | | | | 按三岔挤扩桩计算 | | | | | 两式计算值对比 | | | |
| 极限端阻（kPa） | | 部位名称 | | 折减系数 | | | | 承载力（kN） | | 折减系数 | | | 承载力（kN） | | | 差值（kN） | | 增减（%） | |
| 1100 | | 扩径体1 | | 0.99 | | | | 1368 | | 1.0 | | | 1382 | | |  | |  | |
| 1200 | | 扩径体2 | | 0.97 | | | | 1462 | | 1.0 | | | 1507 | | |  | |  | |
| 1200 | | 桩 端 | | 0.97 | | | | 329 | | 1.0 | | | 339 | | |  | |  | |
| 合计 | |  | |  | | | | 3159 | |  | | | 3228 | | | -69 | | -2.14 | |
| 桩径600，扩径1400 | | | | | 按多节钻扩桩计算 | | | | | | 按三岔挤扩桩计算 | | | | | 两式计算值对比 | | | |
| 极限端阻（kPa） | | 部位名称 | | 折减系数 | | | | 承载力（kN） | | 折减系数 | | | 承载力（kN） | | | 差值（kN） | | 增减（%） | |
| 1100 | | 扩径体1 | | 0.99 | | | | 1368 | | 0.93 | | | 1285 | | |  | |  | |
| 1100 | | 扩径体2 | | 0.97 | | | | 896 | | 0.93 | | | 859 | | |  | |  | |
| 1200 | | 扩径体3 | | 0.94 | | | | 1417 | | 0.93 | | | 1402 | | |  | |  | |
| 1200 | | 桩 端 | | 0.94 | | | | 318 | | 1.0 | | | 339 | | |  | |  | |
| 合计 | |  | |  | | | | 3999 | |  | | | 3885 | | | 114 | | 2.93 | |
| 桩径600，扩径1400 | | | | | | 按多节钻扩桩计算 | | | | | 按三岔挤扩桩计算 | | | | | 两式计算值对比 | | |
| 极限端阻（kPa） | | 部位名称 | | | 折减系数 | | | 承载力（kN） | | 折减系数 | | | | 承载力（kN） | | 差值（kN） | | 增减（%） |
| 1100 | | 扩径体1 | | | 0.99 | | | 1368 | | 0.93 | | | | 1285 | |  | |  |
| 1100 | | 扩径体2 | | | 0.97 | | | 1340 | | 0.93 | | | | 1285 | |  | |  |
| 1100 | | 扩径体3 | | | 0.94 | | | 1299 | | 0.93 | | | | 1285 | |  | |  |
| 1200 | | 扩径体4 | | | 0.9 | | | 1359 | | 0.93 | | | | 1402 | |  | |  |
| 1200 | | 桩 端 | | | 0.9 | | | 305 | | 1.0 | | | | 339 | |  | |  |
| 合计 | |  | | |  | | | 5671 | |  | | | | 5596 | | 75 | | 1.34 |

**2：**以南京恒大工程为例，单桩竖向抗压极限承载力中扩径体及桩端阻测算：

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 桩径800，扩径1700 | | 按多节钻扩桩计算 | | | 按三岔挤扩桩计算 | | | | | 两式计算值对比 | | |
| 极限端阻（kPa） | 部位名称 | 折减系数 | 承载力（kN） | | 折减系数 | | | | 承载力（kN） | 差值（kN） | 增减（%） | |
| 1100 | 扩径体1 | 0.99 | 1923 | | 1.0 | | | | 1942 |  |  | |
| 2000 | 桩 端 | 0.99 | 994 | | 1.0 | | | | 1004 |  |  | |
| 合计 |  |  | 2917 | |  | | | | 2946 | -29 | -0.98 | |
| 桩径800，扩径1700桩 | | 按多节钻扩桩计算 | | | 按三岔挤扩桩计算 | | | | | 两式计算值对比 | | |
| 极限端阻（kPa） | 部位名称 | 折减系数 | 承载力（kN） | | 折减系数 | | | 承载力（kN） | | 差值（kN） | | 增减（%） |
| 700 | 扩径体1 | 0.99 | 1224 | | 1.0 | | | 1236 | |  | |  |
| 1100 | 扩径体2 | 0.97 | 1884 | | 1.0 | | | 1942 | |  | |  |
| 2000 | 桩 端 | 0.97 | 974 | | 1.0 | | | 1004 | |  | |  |
| 合计 |  |  | 4082 | |  | | | 4182 | | -100 | | -2.39 |
| 桩径800，扩径1700桩 | | 按多节钻扩桩计算 | | 按三岔挤扩桩计算 | | | | | | 两式计算值对比 | | |
| 极限端阻（kPa） | 部位名称 | 折减系数 | 承载力（kN） | 折减系数 | | | 承载力（kN） | | | 差值（kN） | | 增减（%） |
| 500 | 扩径体1 | 0.99 | 874 | 0.93 | | | 821 | | |  | |  |
| 700 | 扩径体2 | 0.97 | 1199 | 0.93 | | | 1149 | | |  | |  |
| 1100 | 扩径体3 | 0.94 | 1826 | 0.93 | | | 1806 | | |  | |  |
| 2000 | 桩 端 | 0.94 | 944 | 1.0 | | | 1004 | | |  | |  |
| 合计 |  |  | 4843 |  | | | 4780 | | | 63 | | 1.32 |
| 桩径800，扩径1700桩 | | 按多节钻扩桩计算 | | 按三岔挤扩桩计算 | | | | | | 两式计算值对比 | | |
| 极限端阻（kPa） | 部位名称 | 折减系数 | 承载力（kN） | 折减系数 | | 承载力（kN） | | | | 差值（kN） | 增减（%） | |
| 500 | 扩径体1 | 0.99 | 874 | 0.93 | | 821 | | | |  |  | |
| 700 | 扩径体2 | 0.97 | 1199 | 0.93 | | 1149 | | | |  |  | |
| 700 | 扩径体3 | 0.94 | 1162 | 0.93 | | 1149 | | | |  |  | |
| 1100 | 扩径体4 | 0.9 | 1748 | 0.93 | | 1806 | | | |  |  | |
| 2000 | 桩 端 | 0.9 | 904 | 1.0 | | 1004 | | | |  |  | |
| 合计 |  |  | 5887 |  | | 5929 | | | | -42 | -0.71 | |

**3：**以北京新机场工程为例，单桩竖向抗压极限承载力中扩径体及桩端阻测算：

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 桩径1000，扩径2000 | | | 按多节钻扩桩计算 | | | | 按三岔挤扩桩计算 | | | 两式计算值对比 | |
| 极限端阻（kPa） | 部位名称 | | 折减系数 | | 承载力（kN） | | 折减系数 | | 承载力（kN） | 差值（kN） | 增减（%） |
| 1000 | 扩径体1 | | 0.99 | | 2168 | | 1.0 | | 2190 |  |  |
| 900 | 桩 端 | | 0.99 | | 699 | | 1.0 | | 706 |  |  |
| 合计 |  | |  | | 2867 | |  | | 2896 | -29 | -1.00 |
| 桩径1000，扩径2000 | | | 按多节钻扩桩计算 | | | | 按三岔挤扩桩计算 | | | 两式计算值对比 | |
| 极限端阻（kPa） | 部位名称 | | 折减系数 | | 承载力（kN） | | 折减系数 | | 承载力（kN） | 差值（kN） | 增减（%） |
| 1000 | 扩径体1 | | 0.99 | | 2168 | | 1.0 | | 2190 |  |  |
| 1300 | 扩径体2 | | 0.97 | | 2761 | | 1.0 | | 2847 |  |  |
| 900 | 桩 端 | | 0.97 | | 685 | | 1.0 | | 706 |  |  |
| 合计 |  | |  | | 5614 | |  | | 5743 | -129 | -2.25 |
| 桩径1000，扩径2000 | | | 按多节钻扩桩计算 | | | | 按三岔挤扩桩计算 | | | 两式计算值对比 | |
| 极限端阻（kPa） | 部位名称 | | 折减系数 | | 承载力（kN） | | 折减系数 | | 承载力（kN） | 差值（kN） | 增减（%） |
| 1000 | 扩径体1 | | 0.99 | | 2168 | | 0.93 | | 2036 |  |  |
| 1300 | 扩径体2 | | 0.97 | | 2761 | | 0.93 | | 2647 |  |  |
| 900 | 扩径体3 | | 0.94 | | 1852 | | 0.93 | | 1833 |  |  |
| 900 | 桩 端 | | 0.94 | | 664 | | 1.0 | | 706 |  |  |
| 合计 |  | |  | | 7445 | |  | | 7222 | 223 | 3.09 |
| 桩径1000，扩径2000 | | | | 按多节钻扩桩计算 | | | 按三岔挤扩桩计算 | | | 两式计算值对比 | |
| 极限端阻（kPa） | | 部位名称 | | 折减系数 | | 承载力（kN） | 折减系数 | 承载力（kN） | | 差值（kN） | 增减（%） |
| 1000 | | 扩径体1 | | 0.99 | | 2168 | 0.93 | 2036 | |  |  |
| 1300 | | 扩径体2 | | 0.97 | | 2761 | 0.93 | 2647 | |  |  |
| 1000 | | 扩径体3 | | 0.94 | | 2058 | 0.93 | 2036 | |  |  |
| 900 | | 扩径体4 | | 0.9 | | 1774 | 0.93 | 1833 | |  |  |
| 900 | | 桩 端 | | 0.9 | | 635 | 1.0 | 706 | |  |  |
| 合计 | |  | |  | | 9396 |  | 9258 | | 138 | 1.49 |

多节钻扩灌注桩在河南、江苏、北京、山东等7处地点试桩18根，设计单桩竖向抗压极限承载力标准值与静载试验值对比如表5-1所示。可以看出，按照本规程所列公式计算的单桩竖向抗压极限承载力标准值比静载试验结果平均偏低约7.3%。分析认为设计值与静载值相差并不大，处在一个较为合理、安全的范围内

需要指出的是，上述静载试桩大都未加载至极限破坏状态，有的只加载至设计特征值的2倍即停止试验，故并未取得真正意义上的单桩竖向极限承载力标准值。不然，本规程所列公式计算的单桩竖向极限承载力标准值比静载试验结果会更小，其安全储备会更高。

表5-1 多节钻扩灌注桩单桩承载力计算值与静载试验成果对比表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 桩基地点 | 桩号 | 桩径（mm） | 桩长 （m） | 扩径（mm） | 扩径 个数 | 扩径体、桩端持力层及其它 | 单桩体积（m³） | 单桩极限承载力标准值 | | | 计算值与静载试验值差别（%） | 单方桩体积承载力（kN） |
| 计算值（kN） | 静载试验值（kN） | 桩顶沉降（mm） |
| 郑州市 | S4 | 600 | 43.5 | 1400 | 2 | 扩径体1在密实细砂，扩径体2及桩端在密实粉土中。 | 12.3 | 8100 | 9600 | 47.89 | -18.5 | 780 |
| S7 | 600 | 43.5 | 1400 | 2 | 12.3 | 8100 | 8800 | 44.08 | -8.6 | 715 |
| S12 | 600 | 43.5 | 1400 | 2 | 12.3 | 8100 | 9600 | 44.39 | -18.5 | 780 |
| 北京大兴 | ZK3 | 1000 | 36 | 2000 | 3 | 扩径体1在密实细砂、粉砂中，扩径体2在细砂、中砂，扩径体3及桩端在可塑-硬塑的粉质黏土中。桩端后注浆。 | 32.59 | 20000 | 22000 | 22.95 | -10.0 | 675 |
| 南京浦口 5号地块 | ZKSZ4 | 700 | 45 | 1500 | 2 | 扩径体1在可塑-软塑粉质黏土中，扩径体2及桩端在中粗砂混卵砾石中。扩径体后注浆。 | 18.54 | 9000 | 9200 | 29.65 | -2.2 | 496 |
| ZKSZ5 | 700 | 45 | 1500 | 2 | 18.54 | 9000 | 9600 | 46.47 | -6.7 | 518 |
| ZKSZ6 | 700 | 45 | 1500 | 2 | 18.54 | 9000 | 9200 | 43.12 | -2.2 | 496 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 续表5-1 多节钻扩灌注桩单桩承载力计算值与静载试验成果对比表 | | | | | | | | | | | | |
| 南京浦口  6号地块 | ZKSZ1 | 700 | 45 | 1500 | 2 | 扩径体1在可塑-软塑粉质黏土中，扩径体2及桩端在中粗砂混卵砾石中。扩径体后注浆。 | 18.54 | 9000 | 9600 | 47.27 | -6.7 | 518 |
| ZKSZ2 | 700 | 45 | 1500 | 2 | 18.54 | 9000 | 9200 | 30.55 | -2.2 | 496 |
| ZKSZ3 | 700 | 45 | 1500 | 2 | 18.54 | 9000 | 8800 | 28.04 | 2.2 | 475 |
| 南京鼓楼 | SZ1 | 800 | 60 | 1700 | 3 | 扩径体1在软塑粉质黏土中，扩径体2在软塑-可塑粉质黏土中，扩径体3及桩端在中密-密实中粗砂混卵砾石中。扩径体后注浆。 | 34 | 13100 | 13200 | 31.89 | -0.8 | 388 |
| SZ2 | 800 | 60 | 1700 | 3 | 34 | 13100 | 13200 | 32.25 | -0.8 | 388 |
| 北京通州 | ZK-Y1 | 700 | 14 | 1500 | 2 | 扩径体1在中密-密实的细砂中、中砂，扩径体2及桩端在中密-密实的细砂、中砂中。 | 6.61 | 5200 | 6240 | 22.06 | -20.0 | 944 |
| ZK-Y2 | 700 | 14 | 1500 | 2 | 6.61 | 5200 | 5200 | 22.7 | 中断加载 | 787 |
| ZK-Y3 | 700 | 14 | 1500 | 2 | 6.61 | 5200 | 5200 | 23.64 | 中断加载 | 787 |
| 济南三粮库 | 1 | 700 | 12 | 1500 | 2 | 扩径体1在硬塑-坚硬黏土中，扩径体2在全风化闪长岩（V级）中，桩端在全风化与强风化交互层中。 | 5.84 | 7000 | 7000 | 13.13 | 中断加载 | 1198 |
| 2 | 700 | 12 | 1500 | 2 | 5.84 | 7000 | 7000 | 10.97 | 中断加载 | 1198 |
| 3 | 700 | 12 | 1500 | 2 | 5.84 | 7000 | 7000 | 12.14 | 中断加载 | 1198 |

关于多节钻扩灌注桩承载力计算公式（5.1.3-1）中，桩侧摩阻力按桩身全长（扩径体高度范围内不计侧阻力）计算，主要参照了北京市建筑工程研究院沈保汉教授的研究成果、清华大学常冬冬（2001）硕士论文，以及现行北京市标准《北京地区大直径灌注桩技术规程》DBJ 01-502-99、现行行业标准《三岔双向挤扩灌注桩设计规程》JGJ 171-2009的相关规定。

在对各级桩顶荷载下的桩侧阻力的分布和发展情况的研究结果计算分析表明：

**1**  在扩径体位置附近的桩侧阻力发生突变，在扩径体上方（0~0.5m）范围内桩侧阻力急剧减小，甚至在靠近扩径体上部斜面处出现负摩阻力，而在扩径体下方（0.5~1.0m）范围内桩侧阻力有较大增加，这是因为桩身和扩径体的沉降使扩径体下方的土体被挤密并提高该处土体的约束应力所致；

**2**  扩径体对桩侧阻力的影响程度随桩顶荷载的增大而增大；

**3**  扩径体下方斜面一定范围内土体的密实度因挤压而增加，同时在受力时径向力增大，导致该区桩侧阻力增大；虽然，扩径体上部桩身与土体的相对位移使土体脱空，有时会使该区桩侧阻力减小，但其减小的幅度比扩径体下方区桩侧阻力增大的幅度要小得多；

**4**  综上所述，按本规程式（5.1.3-1）计算多节钻扩灌注桩的总桩侧阻力*Qsk*时， 既不考虑扩径体下方区桩侧阻力的增大，也不考虑扩径体上方区桩侧阻力的减小，即桩侧阻力*qsik*沿桩身全长是有效的（扩径体高度范围内不计侧阻力），是偏于安全的。

**5.2.1** 桩基可能呈现单桩拔出或者群桩整体拔出两种破坏模式，对这两种破坏模式的承载力应分别进行计算，桩基设计抗拔承载力取其中的小值。本规程式（5.2.1-1）和式（5.2.1-2）为根据现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008所列的两种破坏模式的验算公式。

**5.2.2** 关于群桩和单桩的抗拔承载力确定问题：

**1**  单桩抗拔承载力应通过单桩竖向抗拔静载试验确定；

**2**  关于抗拔测阻力折减系数，表5.2.2-3取自现行行业标准 《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008；

**3**  初步设计时，可用本规程建议的公式估算。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，其中带有扩径体的单桩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。

**5.3.1** 影响多节钻扩灌注桩水平承载力的因素除桩的抗弯强度、桩顶允许位移和地基土的物理力学性能外，还有桩顶嵌固情况、扩径体与桩端的约束情况、桩顶竖向荷载的大小以及承台的底面阻力和侧面抗力等。多节钻扩灌注桩是带有一个或多个扩径体的变截面桩，要按某一种分析计算方法较准确地确定其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多节钻扩灌注桩基，应按水平静载试验确定其单桩水平承载力特征值。

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

**5.4.1** 本条中式（5.4.1）的物理意义是，在考虑工作条件影响的情况时，荷载效应基本组合下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。轴向受压桩承载性状与上部结构柱相近，较柱的受力条件更为有利的是桩周土的约束，而且侧阻力使轴向荷载随深度递减，因此桩身受压承载力由桩顶下一定区段控制。桩身抗压能力，不仅局限于桩身混凝土材料本身，还包括纵向主筋和箍筋的贡献。此外，桩身混凝土强度和截面变异受成孔成桩工艺的影响。式中*ψc* 取0.8，主要是根据现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008相关规定，以及借鉴三岔双向挤扩灌注桩静载试验的研究成果确定的，且均未超出上述规定或研究成果确定的范围，是较为合理安全的取值。

**5.4.2** 关于多节钻扩灌注桩的扩径体抗剪和抗冲切验算：

**1** 抗剪切验算，可采用现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010-2002式（7.5.1-1）验算，即：V≦0.25*fcAv*

式中 V——扩径体承受的最大剪力设计值；

*fc*——混凝土轴心抗压强度设计值；

*Av*——扩径体剪切截面积。

**2** 抗冲切验算，参照吉林建筑大学钱永梅（2002）博士论文中相关双坡承力盘（扩径体）的冲切破坏机理，扩径体冲切破坏形态类似于斜拉破坏，是一种脆性破坏，其所形成的圆台斜裂面与水平面大致成45°倾角。

**3**  采用钻扩工法施工成型的扩径体，其上腔高度略微大于下腔高度，扩径体实际成型直径通常大于设计直径30mm ~80mm，因此，按设计直径处所形成的扩径体边沿厚度较大，完全能够达到本规程附录E所标定的扩径体边沿厚度。当然，如果需要的话扩径体边沿厚度还可以做得更大，只要让钻扩装置正转、反转交替作业即可形成任意边沿厚度的扩径体，从而进一步增大扩径体承担荷载的强度。理论分析和工程实践都表明，多节钻扩灌注桩的扩径体上腔斜面与水平面倾角均不小于47°，也就是说均大于圆台斜裂面与水平面所形成的脆性破坏倾角45°。因此，尽管扩径体内没有设置钢筋，仍然不需要进行扩径体的抗剪和抗冲切验算。

**5.5.2** 鉴于多节钻扩灌注桩这种变截面桩荷载传递和沉降机理的复杂性，目前还还不足以提出理论严密而又简便易行的沉降计算方法，只能采取以现行计算方法为基本依据，再根据工程实践经验加以修正的办法来确定其桩基的沉降量。式（5.5.2）桩基沉降修正*ψD*取值采用了三岔双向挤扩灌注桩的研究成果，三岔双向挤扩灌注桩基的沉降量较类似条件下相同桩身设计直径的等截面灌注桩基的沉降量小得多。

毫无疑问，多节钻扩灌注桩与挤扩灌注桩亦有类似的结论：

**1**  多节钻扩灌注桩的荷载大部分通过扩径体的底面传递给各持力土层，而这些持力土层的压缩性均很低；

**2**  钻扩工法决定了扩径体腔内无沉渣滞留，从而保证从受荷一开始扩径体的支撑刚度就能得以发挥，使桩基沉降变形减小；

**3**  由于扩径体底面呈向孔内倾斜的坡面，保证了扩径体混凝土处于受压状态，形成扩径体作用于土体压力的斜向扩散，由更大范围的土体分担荷载，使土的压缩变形减小，导致桩基沉降变形减小；

**4**  多节钻扩灌注桩的桩周应力和扩径体底面以下土中的应力收敛较快，桩间距较大又使得桩间土中的桩周应力互不重叠，桩基础底端土体中的附加应力也互不重叠，不易产生群桩效应。所以，与等截面灌注桩基础相比，多节钻扩灌注桩基础底端土体中的附加应力和压缩层厚度均大为减小，因此，沉降小且稳定快。

**5.5.3** 关于多节钻扩灌注桩的桩身压缩量计算，本规程采取了简化的做法，即仅计算最上部扩径体中心以上桩身的压缩量。基于如下考虑：

**1**  最上部扩径体中心以上桩身的应力较高，桩顶荷载经过最上部扩径体分担之后，最上部扩径体中心以下桩身的应力大大减小，因此，最上部扩径体中心以下桩身的压缩量较小；

**2**  最上部扩径体中心以下各段桩身的轴力和应力很难确定，因此难以准确计算它们的压缩量；

**3**  桩身的压缩是弹性变形，在结构封顶后即基本完成，对建筑物后期的沉降，特别是不均匀沉降不会产生明显影响。因此，即使忽略微量的桩身压缩变形，也不会影响建筑物的沉降分析结果。

**6 施 工**

**6.1.2** 多节钻扩灌注桩因钻扩工法而诞生，钻扩工法是保障多节钻扩灌注桩施工质量的必然选择，应当准确把握。从下面的工艺流程图中能够更直观地看出：钻扩工法工序流畅、简单易行、功效高、进度快、成孔成桩质量更为可靠。另外，作为钻扩清一体机重要组成部分的钻扩装置，能够与现有反循环钻机嫁接，组合成为具有钻扩清一体功能的多节钻扩灌注桩施工设备，将有利于钻扩工法推向更为广阔的市场。



**6.2.2 、6.2.3、6.2.4、6.2.5** 各款只是钻扩清一体机操作要点的一部分，更为详尽的操作步骤和方法应以设备操作手册为准。由于钻扩清一体机属于多功能钻机，与现有其它钻机相比结构相对复杂、零部件更为精密，特别是该机上的钻扩装置更是如此，再加之要在各种复杂地层及充满泥浆的恶劣工况下运行，给使用、维修和保养提出了更高的要求。为了让设备始终处于良好的运转状态，并有效延长其使用寿命，要求所有钻扩清一体机设备操作人员应当培训后上岗。

**6.2.6** 附录I、附录J只为成孔施工及检测时推荐使用，根据实际需要也可以另行采取其它记录方式。

**7 检查与验收**

**7.2.1** 从满足施工质量检测精度及节省施工成本出发，本款推荐了多节钻扩灌注桩成孔质量检测仪器和方法，当然，随着科技的不断发展将会有更多的检测仪器和方法可供选择。为了确保成孔施工质量万无一失，从本规程表171中可以看出，对成孔质量要进行100%检测，如此严格的规定在其它变径灌注桩施工中是罕见的，从另一角度表明本规程对钻扩工法的施工质量提出了更高要求。

下列照片是采用钻扩工法施工成型的桩孔和成桩。可以看出，施工成型的扩径体腔标准、圆滑、无沉渣；灌注混凝土成桩的多节钻扩灌注桩桩身完整，扩径体饱满、规整、密实；成孔、成桩质量可以信赖。

 

 