

CECS XXX ∶2016

**中国工程建设协会标准**

锤击振动双管复合扩底桩

技术规程

Technical specification for double tube vibration hammering complex and expanding bottom piles

(征求意见稿)

中国工程建设协会标准

锤击振动双管复合扩底桩

技术规程

Technical specification for double tube vibration hammering complex and expanding bottom piles

(征求意见稿)

CECS XXX ∶2016

主编单位：建基建设集团有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：

2016年 北 京

# 前 言

本规程是根据中国工程建设标准化协会《关于“<锤击振动双管复合扩底桩技术规程>立项申请书”的复函》（建标协函[2015]26号）的要求，由主编单位会同有关单位编制完成。

在编制过程中，编制组经广泛调查研究，结合我国实际情况，参考有关国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，对具体内容进行了反复讨论、协商和修改，最后经审查定稿。

本规程共分6章和3个附录，主要技术内容包括：总则、术语与符号、基本规定、构造、设计、施工与检验等。

本协会提请注意，声明使用本规程时，可能涉及与“强夯振动复合扩底桩及强夯振动复合扩底桩施工方法（专利号：ZL201310056968.1）”、“静压双管复合扩底桩及其静压双管复合扩底桩施工方法（专利申请号： CN201510331164.7）”相关的专利使用。本规范涉及的专利技术问题，应按国家有关规定与有效专利技术持有人协商解决。本协会对于该专利的真实性、有效性和范围无任何立场。

根据原国家计委计标〔1986〕1649号文《关于请中国工程建设标准化委员会负责组织推荐性工程建设标准试点工作的通知》的要求，现推荐给工程建设、设计、施工等使用单位和工程技术人员采用。

本规程由中国工程建设标准化协会负责管理，由建基集团有限公司负责条文的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送建基建设集团有限公司（地址：江苏省宜兴市东氿大厦9F，邮政编码：214200；电子邮箱：shenguoqin1@163.com）），以便今后修订时参考。

本规程主编单位：建基建设集团有限公司

本规程参编单位：郑州大学

 东南大学

浙江理工大学

中国建筑科学研究院

 中国西南勘察设计院

 南京金宸建筑设计有限公司

 江苏省建苑岩土工程勘测有限公司

 江西省建筑设计研究院

本规程主要起草人员：

本规程主要审查人员：

目 次

[1 总 则 3](#_Toc449418147)

[2 术语和符号 4](#_Toc449418148)

[2.1 术 语 4](#_Toc449418149)

[2.2 符 号 5](#_Toc449418150)

[3 基本规定 6](#_Toc449418151)

[4 构造 7](#_Toc449418152)

[5 设计 9](#_Toc449418153)

[5.1 一般规定 9](#_Toc449418154)

[5.2 桩基设计 10](#_Toc449418155)

[5.3 复合地基设计 14](#_Toc449418156)

[6 施工与检验 16](#_Toc449418157)

[6.1 一般规定 16](#_Toc449418158)

[6.2 锤击振动施工 17](#_Toc449418159)

[6.2 静压施工 18](#_Toc449418160)

[6.4 质量控制与检验 20](#_Toc449418161)

[附录A 双管复合扩底桩极限侧阻力 21](#_Toc449418162)

[附录B 双管复合扩底桩极限端阻力 22](#_Toc449418163)

[附录C 双管复合扩底桩施工质量病防治措施 23](#_Toc449418164)

[本规程用词说明 24](#_Toc449418165)

[引用标准名录 25](#_Toc449418166)

[条文说明 26](#_Toc449418167)

**Contents**

[1 General Provisions 3](#_Toc449418147)

[2 Terms and Symbols 4](#_Toc449418148)

[2.1 Terms 4](#_Toc449418149)

[2.2 Symbols 5](#_Toc449418150)

[3 Basic Requirements 6](#_Toc449418151)

[4 Structural Details 7](#_Toc449418152)

[5 Design 9](#_Toc449418153)

[5.1 General Requirements 9](#_Toc449418154)

[5.2 Design of Pile Foundation 10](#_Toc449418155)

[5.3 Design of Composite Foundation 14](#_Toc449418156)

[6 Construction of Inspection 16](#_Toc449418157)

[6.1 General Requirements 16](#_Toc449418158)

[6.2 Construction of Vibration Hammering Complex 17](#_Toc449418159)

[6.2 Static Pressure Construction 18](#_Toc449418160)

[6.4 Quality Control and Inspection 20](#_Toc449418161)

[Appendix A double-barreled complex and expanding bottom pile Ultimate Resistance 21](#_Toc449418162)

[Appendix B complex double-barreled belled pile ultimate tip resistance 22](#_Toc449418163)

[Appendix C double tube composite belled pile construction quality disease prevention and control measures 23](#_Toc449418164)

[Explanation of Wording in This Specification 24](#_Toc449418165)

[List of Quoted Standards 25](#_Toc449418166)

Addition: Explanation of Provisions.............................................................................................. 26

# 1 总 则

**1.0.1** 为了在双管复合扩底桩的设计及施工中做到安全适用、技术先进、经济合理、确保质量，特制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用于工业与民用建筑物（构筑物）双管复合扩底桩的设计、施工与质量验收。

**1.0.3**  双管复合扩底桩设计应因地制宜，综合考虑地质条件、环境条件、建筑物（构筑物）结构类型、荷载特征及施工设备等因素。

**1.0.4** 双管复合扩底桩设计及施工和质量验收，除应符合本规程规定外，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** 双管复合扩底桩 double tube complex and expanding bottom piles

采用双管施工方法形成，由钢筋混凝土桩身和夯扩头二部分组成的桩，要求钢筋混凝土桩身嵌入夯扩头内一定长度。

**2.1.2** 锤击振动双管复合扩底桩 double tube vibration hammering complex and expanding bottom piles

采用锤击与振动内外管、双锤连动扩底工艺施工形成的混凝土扩底桩。

**2.1.3** 静压双管复合扩底桩 Hydrostatic twin-tube composite and expanding bottom piles

采用静压内外管、挤压施工工艺方法形成的混凝土扩底桩。

**2.1.4** 夯扩头 Rammed head

将内、外管沉至设计标高，投入夯扩头填充材料，边投入边用锤击、静压设备强压内管扩底，在沉管底端设计桩底标高处形成的蘑菇形桩底扩大端。

**2.1.5** 夯扩头填充材料 Rammed head filler

为挤密桩端土体而夯填的材料，包括砖块、碎混凝土块、毛石、碎石、卵石及矿渣等。要求大粒填料直径在150mm~300mm，初填料宜以大粒填料为主。

**2.1.6** 挤密土体及影响土体 Compacted soil and affect soil

 夯实夯扩头填充材料时其周围被挤密的地基土体。影响土体位于被挤密土体外围。

**2.1.7** 夯扩头 Rammed head

其球状核心由干硬性混凝土、中间层为夯实填充材料、外围为挤密土体三部分构成的近似梨形的承载体。

**2.1.8** 双管复合扩底桩桩长 length of double tube complex and expanding bottom piles

双管复合扩底桩的桩长分为二部分，包括桩身长度和夯扩头高度。

**2.1.9** 被加固土层 Reinforced soil

夯扩头所在的土层。与持力层可以是不同的土层，也可以是同一土层。

**2.1.10** 双管复合扩底桩端持力层 Bearing stratum of double tube complex and expanding bottom piles

直接承受双管复合扩底桩所传递荷载，位于夯扩头下部的土层。

**2.1.11** 贯入度 Penetration

对锤击振动双管复合扩底桩，指以3.2t导杆锤、锤身跳高不小于2m，最后一阵击（10击）锤击累计下沉量。对于不同质量的锤型要求的贯入度可以等冲击能量代换。

**2.1.12** 终压值 Final pressure value

对静压双管复合扩底桩，指夯扩头填料完成后，将内管压到设计指定标高时，桩机压力表所指定的压力读数。

# 2.2 符 号

*A*t——夯扩头正投影计算面积；

*U*p——桩身表面积；

*A*p——桩身截面面积；

*D*——夯扩头直径；

*d*——混凝土桩身直径；

e——土的孔隙比；

*E*si——桩基沉降计算范围内第i层土的压缩模量；

*f*az——软弱下卧层顶面处经深度修正后地基承载力特征值；

*F*k——相应于承载能力极限状态时，荷载效应标准组合下，上部结构传到承台顶面的竖向力；

*F*——相应于正常使用极限状态时，荷载效应标准永久组合下，作用于承台顶面的竖向力；

*F*’——相应于正常使用极限状态时，荷载效应标准永久组合下，上部结构传递到承台梁上单位长度的竖向力；

*G*k——承台和承台上覆土自重标准值；

*I*L——土的液性指数；

*l*——桩身长度；

*l*i——混凝土桩身长范围内第i层土的土层厚度；

*N*——相应于承载能力极限状态时，荷载效应基本组合下，作用于双管复合扩底桩单桩上竖向力设计值；

*N*K——相应于承载能力极限状态时，荷载效应标准组合下，作用于任一根双管复合扩底桩桩顶的竖向力；

*N*EK——在地震作用效应和荷载效应标准组合下，每一根双管复合扩底桩的竖向承载力；

*Q*u——双管复合扩底桩单桩竖向极限承载力；

*p*O——相应于荷载效应准永久组合时压缩层顶部的附加压力；

*R*a——单桩竖向承载力特征值；

*s*——桩基最终沉降量；

i——双管复合扩底桩基础底面（或沉降计算面）计算点到第i层土底面深度范围内平均附加应力系数；

*σ*c——地基土自重应力；

*σ*z——地基土某点的附加应力。

# 3 基本规定

**3.0.1** 双管复合扩底桩适用于基底以下一定深度、具有较好持力层的桩基工程或复合地基工程。当持力层较深时应通过技术与经济比较确定其实用性。用于湿陷性黄土等特殊土时，应满足湿陷性黄土等特殊土地区建筑地基处理的要求。

**3.0.2** 桩端被加固土层宜为粉土、砂土、碎石土及可塑、硬塑状态的黏性土。素填土、杂填土有可靠沉降实测资料的成功工程经验时，也可作为被加固土层。对于一般灵敏度高的粘性土、粉土、淤泥质土、淤泥、松散砂土及人工填土等不宜作为桩端持力层。当试验性施工填料量大于设计值的1.5倍时，应查找原因，必要时应另选持力层。

**3.0.3** 双管复合扩底桩工艺选型与设计施工参数确定应符合下列规定：

**1** 城区内施工一般条件下宜采用静压施工工艺。

**2** 当采用静压方法受到限制或需要穿越较硬土层或需要进入持力层深度较大时，应选用锤击、或锤击振动双管复合扩底桩施工工艺。

**3** 下列条件应通过成桩工艺试验确定设计及施工参数：

**1）** 穿越厚度较大、含水量和灵敏度高的淤泥等软土层中使用可能形成缩颈、断桩、充盈系数过大等质量问题；

**2**） 无相近地质条件成桩资料。

**3.0.4** 双管复合扩底桩设计施工时应具备下列资料：

**1** 建设场地岩土工程勘察报告；

**2** 建筑上部结构荷载、桩基或复合地基设计选型等资料：

**3** 施工场地环境调查资料；

**4** 施工设备性能及已有类似工程经验等。

**3.0.5** 双管复合扩底桩施工期间应进行施工影响环境监测，并应根据环境变形监测结果决定是否调整施工组织和工艺。

**3.0.6** 双管复合扩底桩的设计施工应满足承载力、变形、稳定性和耐久性要求。

# 4 构造

**4.0.1** 双管复合扩底桩桩间距不宜小于3.5*d*，且夯扩头施工时不得影响到相邻桩的施工质量。当被加固土层为粉土、砂土或碎石土时，桩间距不宜小于3.5*d*；当被加固土层为含水量较高的黏性土时，桩间距不宜小于4.0*d*。桩端进入持力层厚度不少于3D，持力层上下3D~5D范围内不应存在软下卧层。

**4.0.2** 双管复合扩底桩由夯扩头和桩身构成，桩身材料及构造应符合下列规定：

**1** 双管复合扩底桩构造应符合图4.0.2的规定。

 图4.0.2 双管复合扩底桩构造

**2** 桩身混凝土强度等级不得低于C25。

**3** 主筋混凝土保护层厚度不应小于50mm。

**4** 双管复合扩底桩桩身正截面配筋率可取0.20%~0.65%（小直桩取大值，大直径桩取小值），桩顶（3~5）d范围内箍筋应适当加密；钢筋笼应通长配置；当钢筋笼的长度超过4 m时，应每隔2m设一道直径不小于14mm的焊接加劲箍筋。

**5** 抗压桩纵筋伸入承台的锚固长度不得小于30倍主筋直径；抗拔桩纵向主筋的锚固长度应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010-2011的规定执行。

**6** 桩身直径宜选用400mm、450mm、500mm、600mm，施工桩长宜小于25m。

**4.0.3** 受压双管复合扩底桩夯扩头构造应符合下列规定：

 **1** 桩身应插入夯扩头一定深度，插入深度不应小于600mm。

**2** 夯扩头应为内外三层包裹式结构，核心内层为干硬性混凝土，其体积不小于夯扩头体积的1/3；中间层由干硬性混凝土与大粒填充料构成；外围为挤密土体。

**3** 夯扩头底端底面应呈锅底形，*Hc/D*比例宜为2.0~3.0。

**4** 对于桩径为（300~500）mm的双管复合扩底桩，其填料量不宜小于1.0m3且不大于2.0m3。

**4.0.4** 抗拔双管复合扩底桩构造应符合下列规定：

 **1** 夯扩头为内外二层包裹式结构，核心内层为干硬性混凝土，其体积不小于夯扩头体积的2/3；中间层由干硬性混凝土(不含散体填充料）构成；外围为挤密土体。

 **2** 钢筋笼为全笼结构，主筋进入扩大头位置宜到达核心内层为干硬性混凝土底部。

 **3** 夯扩头底端底面呈锅底形，*H*c*/D*比例宜为1.5~2.5。

 **4** 施工时的填料量要求：对于桩径为（300~500）mm的双管复合扩底桩，其填料量不宜小于1.0m3且不大于2.0m3。

 **5** 双管复合扩底抗拨桩扩大端构造应符合图4.0.4的规定。



 图4.0.4 双管复合扩底抗拨桩桩端构造

# 5 设计

# 5.1 一般规定

**5.1.1** 验算竖向力作用下锤击振动双管复合扩底桩竖向承载力时，应符合下列规定：

**1** 荷载效应标准组合

轴竖向力作用下

 *N*k≤*R*a  (5.1.1-1)

偏心竖向力作用下，除应满足式（4.1.1-1）外，尚应满足下式要求：

 *N*kmax≤1.2*R*a (5.1.1-2)

式中 *N*k——相应于荷载效应标准组合时，作用于任一根锤击振动双管复合扩底桩桩顶的竖向力（kN）；

 *N*kmax——相应于荷载效应标准组合时，偏心竖向力使用于承台顶时锤击振动双管复合扩底桩桩顶所受的最大竖向力（kN）；

*R*a——单桩竖向承载力特征值（kN）

**2** 地震作用效应组合

轴心竖向力作用下

 *N*EK≤1.25Ra (5.1.1-3)

偏心竖向力作用下，除应满足上式外，尚应满足下式要求：

*N*EKmax≤1.5Ra (5.1.1-4)

式中， *N*Ek——地震作用效应和荷载效应标准组合下，每一根双管复合扩底桩的竖向力（kN）；

*N*EKmax——地震作用效应和荷载效应标准组合下双管复合扩底桩上的最大竖向力（kN）。

**5.1.2** 承受竖向荷载为主的低承台桩基，当地面下无液化土层且桩承台周围无淤泥、淤泥质土或地基土承载力特征值不小于100kPa的填土时，下列建筑可不进行桩基抗震承载力验算：

**1** 砌体结构建筑；

**2** 抗震设防烈度为7度和8度时，一般单层厂房、单层空旷房屋、不超过8层且高度在25m以内的一般民用框架房屋及与其基础荷载相当的多层框架厂房；

**3** 现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011规定可不进行上部结构抗震验算的建筑物。

**5.1.3** 桩水平承载力应符合下式要求：

  *H*ik ≤*R*H (5.1.3)

4

式中 *H*ik——相应于荷载效应标准组合时，作用于任一根双管复合扩底桩桩顶的水平力（kN）；

 *R*h——单桩水平承载力特征值（kN）

**5.1.4** 对于一般建筑物和受水平力较小的高大建筑物，桩径和桩长相同的双管复合扩底桩群桩基础，应按下列公式计算群桩中双管复合扩底桩的桩顶作用效应；

**1** 竖向力

承台上轴心竖向力作用下

   (5.1.4-1)

偏心竖向力作用下

 （5.1.4-2）

式中，*N*ik——相应于荷载效应标准组合时，偏心竖向力作用于承台顶时第i根双管复合扩底桩桩顶所受的竖向力（kN）；

 Fk——相应于荷载效应标准组合时，上部结构传到承台顶面的竖向力(kN)；

 Gk——双管复合扩底桩的承台和承台上土自重标准值，对于地下水以下部分应扣除水的浮力（kN）；

Mxk、Myk——相应于荷载效应标准组合时，对承台底面通过双管复合扩底桩群桩形心的x、y轴的距离（m）。

**2** 水平力作用下

  （5.1.4-3）

式中*H*k——相应于荷载效应标准组合时，作用于承台底面的水平力（kN）；

 n——桩基中双管复合扩底桩的数量。

**5.1.5** 双管复合扩底桩基或复合地基存在软下卧层时，应进行软下卧层承载力验算。

**5.1.6** 下列建筑采用双管复合扩底桩基或复合地基，应进行沉降计算：

**1** 桩基设计等级为甲级；

**2** 建（构）筑物结构复杂、荷载不均匀或桩端以下存在软弱下卧层且设计等级为乙级；

**3** 拟建场区地质条件复杂、建（构）筑物对沉降要求严格；

**4** 双管复合扩底桩基、复合地基沉降变形计算值不应大于建筑物桩基沉降变形允许值，建（构）筑物桩基沉降变形允许值应符合现行国家标准《地基基础设计规范》GB50007-2011的规定执行。

# 5.2 桩基设计

**5.2.1** 单桩竖向承载力特征值应通过竖向静载荷试验确定，在同一条件下，试桩数量不应少于3根。单桩竖向承载力特征值应按下式计算确定：

*R*a=*Q*u/K (5.2.1)

式中， *Q*u——试验得到的双管复合扩底桩单桩竖向极限荷载（kN）；

 K——安全系数，取K=2。

**5.2.2** 初步设计时，单桩竖向承载力特征值可采用下列经验公式估算：

*Q*u=*q*ps*A*t+*u*p∑*L*i*q*sis (5.2.2)

式中， *A*t——夯扩端投影计算面积（m2），宜按表5.2.2取值；

 *q*sis——极限侧阻力标准值，可按附录A规定取值；

*L*i——与*i*土层计算厚度对应的桩身长度；

 *q*ps——桩极限端阻力标准值，可按附录B规定取值。

表5.2.2 夯扩端投影计算面积*A*t (m2)

|  |  |
| --- | --- |
| 被加固土层岩性 | 贯入度（N）控制值 |
| 10cm<N<15cm | 15cm<N<30cm |
| 粘性土 | 0.85~1.10 | 0.65~0.85 |
| 粉土 | 0.95~1.15 | 0.70~0.95 |
| 砂性土 | 1.00~1.20 | 0.75~1.00 |
| 园砾、角砾、碎石、卵石 | 1.10~1.30 | 0.90~1.10 |
| 全风化软质岩 | 1.00~1.20 | 0.75~1.00 |

注：表中取值可以内插确定。

**5.2.3** 桩身混凝土强度应按下式验算：

 *N*≤ψc*f*c*A*p （5.2.3）

式中，*N*——相应于荷载效应基本组合时，作用于双管复合扩底桩单桩上竖向力设计值（kPa）；

  *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》GB50010-2011的规定取值；

 Ap——桩身强度计算面积（m2）；

ψc——成桩工艺系数，可取0.75~0.65。

**5.2.4** 双管复合扩底桩基础持力层下受力范围内存在软弱下卧层时，应进行软弱下卧层承载力验算。软弱下卧层承载力应按下式验算：

σz+γmz≤*f*az  (5.2.4-1)

  （5.2.4-2)

式中，*σ*z——相应于荷载效应标准组合时作用于软弱下卧层顶面的附加应力（kPa）；

 γ——承台底以上土的加权平均重度(kN/m3)；

 *z*——地面至软弱下卧层顶面的距离（m）；

 *d*h——承台埋深（m）；

 A0、 B0——桩群外缘矩形底面的长、短边边长；

γi——软弱层顶面以上各土层（地下水位以下取浮重度）的加权平均重度(kN/m3)；

*q*sik——第i层土极限侧阻力标准值，根据经验确定或按国家现行标准《建筑桩基技术规范》JGJ94-2008确定(kPa)；

*l*i——混凝土桩身长度范围内第i层土的土层厚度（m）；

 *t*——夯扩头底面计算位置至软弱层顶面的距离（m）；

*f*az——软弱下卧层顶面处经深度修正后地基承载力特征值(KPa)；

A0——承台下最外侧桩桩身沿竖向投影形成矩形的长边和短边的边长（m）；

*θ*——压力扩散角（°），可按表5.2.4取值。

表5.2.4 地基压力扩散角

|  |  |
| --- | --- |
| *E*s1/*E*s2 | 压力扩散角 |
| T=0.25B0 | t≥0.50B0 |
| 1 | 4° | 12° |
| 3 | 6° | 23° |
| 5 | 10° | 25° |
| 10 | 20° | 30° |

注： 1 *E*s1为上层地基土压缩模量；Es2为软弱下卧层地基土压缩模量；

2  *t*＜0.25A0扩散角取0；*t*＞0.5A0扩散角取0.5A0对应的扩散角。



图5.2.4 软弱下卧层承载力验算示意图

*l*——混凝土桩身长度；*L*Z——夯扩头高度

**5.2.5** 对于受水平荷载较大、建筑桩基设计等级为甲级的建筑物，双管复合扩底桩的水平承载力特征值应通过单桩载荷试验来确定，检测数量为总桩数的1%，且不应少于3根。

**5.2.6**  当桩身配筋率小于0.65%时，可取单桩水平静载荷试验的临界荷载为单桩水平承载力特征值；当配筋率不小于0.65%时，可按静载荷试验结果取基底标高处桩顶水平位移为10mm所对应的荷载为单桩水平承载力特征值。

**5.2.7**  设计等级为乙级、丙级时，双管复合扩底桩水平承载力估算可按国家现行标准《建筑桩基技术规范》JGJ94-2008执行。

**5.2.8** 双管复合扩底桩基沉降计算应符合下列规定：

**1** 应按等代实体基础采用单向压缩分层总和法进行计算，沉降计算位置从混凝土桩身下2.5m开始计算，计算深度应符合《建筑桩基技术规范》JGJ94-2008的规定；

**2** 等代实体面积为夯扩头外边缘投影面积，边长可近取承台下外围桩投影形成矩形的边长计算；

**3** 附加压力可近似取混凝土桩身下2.5m处的附加压力。

**5.2.9** 双管复合扩底桩基沉降计算，应按下式进行：

 S= (5.2.9.1)

对于独立承台基础：

 P0= (5.2.9.2)

对于墙下布桩条形承台梁基础：

 P0= (5.2.9.3)

式中，s——桩基最终沉降量（m）；

 ψp——沉降计算经验系数，根据地区沉降观测资料及经验确定；当无当地可靠经验时，桩基沉降计算经验系数ψ可按表5.2.9选用；

 *p*0——对应荷载效应准永久组合时压缩土层顶部的附加压力(kPa)；

*n*——桩基沉降计算范围内所划分的土层数；

*z*i、*z*i-1——双管复合扩底桩基沉降计算面至第i层土、第i-1层土底面的距离（m）；

*α*i、*α*i-1——双管复合扩底桩基础底面（或沉降计算面）计算点至第*i*层、第*i*-1层土底面深度范围内平均附加应力系数，可按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007-2011规定执行；

*E*si ——桩基沉降计算范围内第i层土的压缩模量，取土的自重压力至土的自重压力与附加压力之和的压力段计算(MPa)；

*q*sik——桩侧阻力特征值；

A——承台面积 （m2）；

*d*h——承台埋深（m）；

*F*——相应于正常使用极限状态时，荷载效应准永久组合下作用于承台顶的竖向力(kN)；

*F*’——相对于正常使用极限状态时，荷载效应准永久组合下上部结构传递到承台梁上单位长度的竖向力(kN/m)；

*Ｇ*ｋ——承台和承台上土的单位长度上自重标准值（kN/m）。



图5.2.9 桩沉降计算示意图

表5.2.9 桩基沉降计算经验系数ψ

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| s(MPa) | ≤10 | 15 | 20 | 35 | ≥50 |
| ψ | 1.2 | 0.9 | 0.65 | 0.50 | 0.40 |

注：1 为沉降计算深度范围内压缩模量的当量值，可按下式计算：s=∑Ai/∑ ,式中Ai为第i层土附加压力系数沿土层厚度的积分值，可近似按分块面积计；

2 ψ可根据s内插取值。

**5.2.10** 双管复合扩底桩用于抗拔桩时的单桩承载力特征值宜通过载荷试验确定。当采用经验公式估算时，应符合下式规定：

 （5.2.10）

式中，*T*uk——双管复合扩底桩单桩极限承载力；

λ——抗拔系数，砂性土取0.6~0.7，黏性土、粉土取0.6~0.8；

*q*sik 、*q*sjk——分别为等直径段、扩底段所在土层桩极限侧阻力标准值；可由岩土工程勘察报告或按《建筑桩基技术规范》JGJ94-2008中有关规定确定。

 *h*D——扩底段计算高度，应由试验结果计算确定，也可按经验取值，但不应大于*H*c。

**5.2.11** 单桩承载力的估算，也可不考虑扩大段承载力采用下式计算：

 （5.2.11）

式中，*β*——侧阻力增强系数，可取1.3~1.5，砂土取低值，黏性土、粉土取高值。

# 5.3 复合地基设计

**5.3.1** 双管复合扩底桩复合地基设计应符合下列规定：

**1** 单桩承载力特征值和复合地基承载力特征值的确定，对地基基础设计等级为甲级的应通过载荷试验确定；设计等级为乙级、丙级时，可采用经验公式估算。

**2** 当复合地基承载力原位试验无法进行时，可由现场单桩承载力特征值试验分析结果，按下式计算复合地基承载力特征值：

 **** （5.3.1）

式中，*f*sk——处理后的基底桩间土承载力特征值，可根据经验确定，也可取天然地基承载力特征值；

 m——复合地基面积置换率；

 *λ*——双管复合扩底桩承载力发挥系数，不应大于0.95；

 *β*——桩间土承载力发挥系数，可取1.0。

**3** 基础与桩顶间应设置褥垫层，褥垫层可采用碎石垫层或级配砂石，厚度应根据桩身直径、桩端土层情况确定，不应大于300mm。

4 应进行桩身承载力验算，验算方法可按现行国家行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ79-2012的规定进行。

5 复合地基软下卧层承载力验算，应符合本规范第5.2.4条的规定。

**5.3.2** 双管复合扩底桩复合地基沉降应为复合土层压缩变形与其下部土层沉降量之和，可按现行国家标准《复合地基技术规范》GB/T50783-2012的规定进行计算。

# 6 施工与检验

# 6.1 一般规定

**6.1.1** 双管复合扩底桩施工前应做好以下准备工作：

**1** 根据经审查合格的工程地质勘察报告和桩基设计文件，编制施工组织设计或施工方案。

**2** 查阅建筑场地和邻近区域内原有构筑物和地下管线分布等资料，对存在影响施工或施工可能对其使用安全产生影响时，要进行施工勘察，并应会同有关单位采取有效措施妥善处理。

**3** 完成施工图会审。

**4**应根据地质条件，桩径、桩长、桩距、单桩承载力及现场施工条件等因素，结合施工经验，综合考虑施工工艺和设备。

**5** 桩长超过一定长度时的桩架稳定性措施制定。

**6** 主要施工机械及其配套设备的性能检查。`

**7** 对拟用于本工程的水泥、砂石、预拌砼、钢筋等原材料均应提前做好材料检验试验工作。

**6.1.2** 工艺性试验施工应符合下列规定：

**1** 应根据设计要求编制工艺性试验施工组织设计文件，核对地质资料，检验打桩设备及技术要求适宜性。

**2** 试成桩位置应根据设计要求选择在有代表性的位置。

**3** 试成桩时应详细记录相关施工参数、各次锤击夯扩的填料灌入量、桩管提升高度，双管共同下沉深度及最后十击贯入度。

**4** 对试成桩应通过桩身完整性检验、静载荷试验结果，确定本工程桩基施工工艺和控制参数。

**6.1.3** 工程桩打桩顺序安排应符合下列规定：

**1** 挤土扩底桩打桩顺序应遵循由里而外，由近及远，先深后浅，先长后短，先大后小的原则。对于密集型桩宜采用跳打、间隔时间等措施，有利于保护已成桩。

**2** 非挤土扩底扩桩，打桩顺序应遵循先深后浅的原则，对于密集型桩宜采用跳打间隔时间等措施，通常采用退打或横移等顺序。

**6.1.4** 在桩基础施工时，应采取相应措施控制相邻桩的上浮量。对于桩身混凝土已达到终凝的相邻桩，其上浮量不宜大于30mm；对于桩身混凝土处于初凝状态的相邻桩，其上浮量不宜大于60mm。 当桩身进入承压水土层时，应采取有效措施，防止发生突涌。

**6.1.5** 挤土桩施工配备和工艺，应符合下列规定：

**1** 锤击振动双管复合扩底桩机可在原有走管式、步履式打桩机的基础上增加双套管结构，包括套装在一起的内管和外管，柴油锤及中孔振动锤；

**2** 外管和内管顶端均应设置法兰盘，内管可完全从外管内拔出，外管上设置有加料口；

**3** 柴油锤由锤杆和锤头构成，锤头设置于内管顶端的法兰盘上，并套在外管法兰盘顶端的上面，可对内管和外管同时施加锤击力作用，进行锤击达到设计标高；

**4** 应进行多次辅料灌注夯击形成扩大头，同时在外管上套装一个中孔振动锤用于拔管，以提高混凝土密实度。

**6.1.6** 非挤土桩施工配备与工艺除需满足6.1.5条要求外，尚需满足下列要求：

**1** 内管下部设置有可卸除的活瓣开口取土装置，活瓣开口取土装置包括安装于内管内的内管取土封头钢板，内管取土封头钢板上端面和内管之间设置有取土器导向轮，内管取土封头钢板下端面中间位置固定连接有一个卸土传力杆，卸土传力杆的底端铰接有取土活瓣，卸土传力杆和取土活瓣铰接位置设置有限位装置，使得取土活瓣只能向上并拢而不能向下打开。

**2** 卸除活瓣开口取土装置后，内管下端部焊接有直径小于外管30mm~50mm的厚钢板，套装在内管上作为强夯板。

**3** 内管外径宜小于外径内径30mm~50mm。

**6.1.7** 施工时的填料控制，应符合下列规定：

**1** 受压桩：锤击法应以贯入度控制为主、填料量控制为辅；静压法宜以压力值控制为主，填料量控制为辅。

**2** 抗拔桩：锤击法应以填料量控制为主、贯入度控制为辅；静压法宜以填料量控制为主，设计压力值控制为辅。

#  6.2 锤击振动施工

**6.2.1** 挤土桩施工流程、工艺方法等，应符合下列规定：

**1** 桩机的现场组装：把内管下端部焊接直径小于外管30mm~50mm的厚钢板，作为强夯板，将内、外管叠加套在一起；将内管用柴油锤与外管同步击打至设计标高；锤击成孔时，双套管下沉，初始时宜控制锤击高度轻锤轻击，控制好沉管垂直度。

**2** 填充夯扩辅料进行端部夯击扩底：拔出内管，检查外管内桩底土体的渗水情况，根据需要在外管内注入适量干性混凝土，内夯止水，然后在外管内注入一定高度的夯击辅料。

将外管上拔一定高度（1.0m~1.5m）后，用柴油锤夯击内管扩底至钢筋笼设计底标高；重复加料夯击，夯扩头辅料夯击一般（3~5）次，达到设计要求的贯入度后，填料改为干硬性砼，分（2~3）次夯击到钢筋笼设计标高，收锤。

**3** 钢筋笼制作：应预先按设计要求制作成型，钢筋笼上要加焊多道三角形保护筋。分段制作钢筋笼时，接头应按现行国家标准《钢筋机械连接通用技术规程》、《钢筋焊接及验收规程》、《混凝土结构工程质量验收规范》的规定执行。

**4** 拔出内管放置钢筋笼：拔出内管，安置钢筋笼，在钢筋笼上端焊接吊筋，用钢丝绳与内管及钢筋笼连接，确保钢筋笼在外管内垂直悬挂对中，同时应保证钢筋笼底部在扩大头内的插入深度要求。

**5** 灌注混凝土拔出外管：安放好钢筋笼后立即灌注混凝土，混凝土坍落度宜控制在80mm~100mm之间，灌满混凝土后开启振动锤，边振动边拔管，直至外管拔出地面150mm~250mm，剪断钢筋笼吊筋完成扩底桩施工后，根据不同地质情况和桩长（有效桩长在15m以内的短桩）可采用内管及柴油锤自重压在外管内混凝土上面，确保桩身混凝土密实度。

**6** 锤击贯入度控制：应根据工程经验和设计要求并参照试桩结果确定。

**7** 桩身混凝土灌注充盈系数应大于1.05。

**8** 及时制作混凝土试块，制作要求应按《建筑桩基技术规范》JGJ94-2008第6.2.7条规定执行。

**6.2.2** 非挤土复合扩底桩的施工除满足第6.2.1条的要求外，应符合下列规定：

1 应在实施挤土桩施工方法步骤之前增加干取土步骤，实施双管干取土。

2 施工过程中应检查外管内桩底渗水情况，并应根据需要在外管内注入适量干性混凝土内夯止水。

# 6.3 静压施工

**6.3.1** 静压双管复合扩底桩的施工设备采用改装过的全液压步履式静压桩机（专利技术），改造后的桩机需达到如下功能：

**1** 成桩设备应为双套管结构，包括套装在一起的内管和外管，内管可完全从外管内拔出。

**2** 外管上设置有加料口，动力设置于内管顶端的法兰盘上，并套在外管顶端的上面。

**3** 内管下端部焊接有直径小于外管30mm~50mm厚钢板，套装在内管上作为强夯板，内管外径小于外管内径50mm。

**4** 沉桩时，桩机动力系统对内管和外管应能同时施加压力作用，满足设计标高的动力要求。

**5** 外管上部位置套装的振动锤，功能应能起到振动密实桩身混凝土和辅助拨管作用。

**6.3.2** 静压双管复合扩底桩施工流程、工艺要求，应符合下列规定：

**1** 工艺流程：

桩机就位、校正

材料、设备就位

场地平整、测量定位

混凝土辅料

沉管至设计标高后抽出内管

灌注扩大头填料、置入内管同时上提外管一定高度

静压内管形成扩大头

向上拔出。

内外管下沉至设计深度

钢筋笼制作

抽出内管置入钢筋笼

混凝土准备

灌注混凝土

拔管成桩

移动机位

图6.3.2 静压法施工流程

**2** 扩大头施工：

**1**） 静压双管复合扩底桩机的现场组装完成后，将内、外管叠加套在一起，通过夹持系统、将内、外桩管同步压至设计标高。

**2**） 拔出内管，在外管内灌入（0.1~0.2）m3的干硬性混凝土进行止水封填。封填后拔出内管，在外管内灌入（0.25~0.30）m³的强压辅料。

**3**） 根据设计及试桩结果在桩底强压辅料的数量，将内管用改制增设副吊与外管同步压至设计标高，外管上拔一定高度（1.0m~1.5m），强压内管中的辅料扩底至设计桩底标高, 静压控制值大于设计值的1.2倍，如静压控制值最终达不到，必须再次加入适量辅料强夯扩底至上述值为止。

**4**） 经上述静压辅料后，桩端阻力达到设计要求，随之拔出内管，加入（0.20~0.25）m3，坍落度为（30~80）mm的C30混凝土，外管上拔一定高度（1.0m~1.5m）后静压扩底。最终满足静压控制值大于设计值的1.3倍的主控要求。

**5**） 静压双管复合扩底桩总的投料量应该控制在（1.0~2.0）m3之间，在此范围内，辅料的投料量与干硬性混凝土的量应该基本相同；当总投料量在大于2.0m3时，最终扩底静压控制值达不到设计要求的1.3倍，必须重新选择合适的持力层设计施工。

**3** 混凝土桩身施工：

**1**）拔出内管，安置钢筋笼，在钢筋笼上端焊接吊筋，用钢丝绳与内管及钢筋笼连接，确保钢筋笼在外管内垂直悬挂管中间，同时确保钢筋笼底部在扩大头内(0.6~1.0)m且不小于（1/3）D。

**2**）安放好钢筋笼后立即灌注混凝土，其坍落度控制在（80~100）mm之间，灌满混凝土后开启振动锤振动拔管，边振动边拔管，拔管速度在一般土层中以（1.0~1.2）m/min为宜，在软土层中应控制在0.8m/min以内。在拔管过程中，桩管内应至少保持2m以上高度的混凝土，以确认设计充盈系数。

# 6.4 质量控制与检验

**6.4.1** 双管复合扩底桩施工质量控制应符合下列规定：

**1** 施工过程质量检查应符合下列规定：

**1**） 应检查水泥、钢筋、砂、石、预拌混凝土等主要材料出厂质量合格资料，检验复试资料，对不符合工程要求的应清理出施工现场并立即更换。

**2**） 应派专人进行桩位测放、打桩施工顺序的检查。

**3**） 应检查钢筋笼制作及安放质量是否符合设计及工艺要求。

4） 应对各班组施工过程中的施工参数是否符合施工工艺及设计要求，施工记录真实性进行检查。

**2** 施工过程应制作预留混凝土试块，单桩混凝土量不超过25m3的桩，每个灌注台班不得少于1 组；每组试件应留3 件。

**3** 夯扩头质量检查应包含下列项目：

1）填料量；

2）夯填混凝土量；

3）每击贯入度；

4）最终贯入度。

**4** 施工中出现的常见病防治，应符合附录C的规定。

**5** 现场开挖后，应对成桩桩位，桩顶混凝土及标高，钢筋笼标高桩数等进行检查并做好记录。

**6.4.2** 试桩、工程桩应进行成桩质量的检查、桩身完整性及承载力的检测。检查、检测数量应符合下列规定：

**1** 竖向承载力检测的方法应采用静载荷试验，为设计提供设计参数的静载荷试验应采用慢速维持荷载法，对工程桩，在有成熟经验的地区可采用快速维持荷载法。

**2** 为设计提供设计参数的试桩检测量应根据设计要求确定；单位工程的工程桩检测数量不应少于同条件下总桩数的1%，且不应少于3根，当总桩数小于50根时，检测数量不应少于2根。

**3** 桩身完整性检测，可采用低应变动测法检测。工程桩检测数量不应少于总桩数的20%，且不应少于10根，条件允许可适当增加；承台下为3根桩或少于3根时，应全部检测。

**4** 在桩身混凝土强度达到设计要求的前提下，从成桩到开始检测的间歇时间，对于砂类土不应小于15d；对于粉土和黏性土不应小于20d；对于淤泥或淤泥质土不应小于28d。

**6.4.3** 双管复合扩底施工质量验收应符合《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB50202-2016的规定，验收应包括下列资料：

**1** 岩土工程勘察报告、桩基施工图、图纸会审纪要、设计变更单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单；

**3** 桩位测量放线图，包括工程桩位线复核签证单；

**4** 原材料的质量合格和质量鉴定书；

**5** 夯扩头施工填料记录表；

**6** 施工记录及隐蔽工程验收文件；

**7** 成桩质量检查报告；

**8** 单桩承载力检测报告；

**9** 基坑挖至设计标高的基桩竣工平面图及桩顶标高图；

**10** 其他必须提供的文件和记录。

# 附录A 双管复合扩底桩极限侧阻力

A.0.1 采用标贯试验成果确定双管复合扩底桩极限侧阻力标准值应符合表A.0.1的规定。

A.0.1 极限侧阻力标准值qsis（kPa）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 土的类别 | 土（岩）层平均标准贯入实测击数 | 极限侧阻力标准值 |
|  淤泥 | <1~3 |  10~16 |
|  淤泥质土 | 3~5 |  18~26 |
|  粘性土 | 5~10 |  20~30 |
| 10~15 |  30~50 |
| 15~30 |  50~80 |
| 30~50 |  80~100 |
| 粉土 | 5~10 |  20~40 |
| 10~15 |  40~60 |
| 15~30 |  60~80 |
| 30~50 |  80~100 |
|  粉细砂 | 5~10 |  20~40 |
| 10~15 |  40~60 |
| 15~30 |  60~90 |
| 30~50 |  90~110 |
|  中砂 | 10~15 |  40~60 |
| 15~30 |  60~90 |
| 30~50 |  90~110 |
|  粗砂 | 15~30 |  70~90 |
| 30~50 |  90~120 |
| 砾砂（卵石、碎石土） | >30 |  110~140 |
|  全风化岩 | 40~70 |  100~160 |

注：1 表中数值对无经验地区应先用试桩资料进行验证。

 2 取土型双管复合扩底桩；相应取值为表中数值的0.8~0.9。

# 附录B 双管复合扩底桩极限端阻力

B.0.1 采用土的状态确定双管复合扩底桩极限侧阻力标准值，应符合表B.0.1的规定。

.B.0.1 粘性土及粉土的极限端阻力标准值qps（kPa）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 土名称 | 持力层的埋深土的状态 | 双管复合扩底桩持力层埋深l(m) |
| 6＜l≤10 | 10＜l≤15 | 15＜l≤20 |
| 黏性土 | 可塑 | 0. 50＜IL≤0.75 | 900～1500 | 1300～1900 | 1800～2600 |
| 硬可塑 | 0.25＜IL≤0.50 | 1400～2200 | 2100～3000 | 2600～3300 |
| 硬塑 | 0＜IL≤0.25 | 2300～3300 | 3200～4800 | 4800～5800 |
| 粉土 | 中密 | 0.75＜e≤0.9 | 1000～1900 | 1500～2200 | 2000～3000 |
| 密实 | e＜0.75 | 1500～2300 | 2200～3000 | 2500～3300 |

注：1 表中数值可根据相关指标及桩长内插确定。

2 表中数值对无经验地区可取低值。

B.0.2 采用标贯试验成果确定双管复合扩底桩极限侧阻力标准值应符合表B.0.2的规定。

B.0.2 砂土的极限端阻力标准值qps（kPa）

|  |  |
| --- | --- |
| 持力层埋深(m) | 标准贯入实测击数 |
| 70 | 50 | 40 | 30 | 20 | 10 |
| 6 | 4000 | 3600 | 3200 | 2800 | 2400 | 1400 |
| 10 | 6800 | 6100 | 5300 | 4800 | 3400 | 1600 |
| 15 | 9000 | 8200 | 7800 | 6000 | 4000 | 1800 |
| 20 | 11000 | 8600 | 8200 | 6600 | 4400 | 2000 |
| 25 | 11000 | 9000 | 8600 | 7000 | 4800 | 2200 |

注：1 表中数值可以内插。

 2 对无经验地区宜适当降低。

# 附录C 双管复合扩底桩施工质量病防治措施

C.0.1 施工中常见病防治应符合下列规定：

表C.0.1 双管复合扩底桩施工中常见病防治措施

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 常见问题 | 发生原因 | 处理方法 |
| 1、管内进水止淤失效 | 1、止淤于混凝土量不足2、内管底板直径偏小与处管内径的间隙过大 | 1、添足止淤于混凝土量2、加大内管底板直径3、将成孔回填后重新沉管施工。 |
| 2、地面隆起 | 1、桩间距过小2、桩长过短3、地基中孔隙压力不易消散 | 1、调整桩间距，减少桩数2、调整设计桩长3、采取塑料板或砂井等排水方法以降低孔隙水压力 |
| 3、钢筋笼下沉和笼顶低于设计标高 | 1、钢筋笼顶留长度不够2、混凝土超灌量不够3、桩身混凝土坍落度过大 | 1、积累施工经验，做好试成桩工作，以较准确地掌握混凝土超灌量和钢筋笼高度2、掌握好混凝土坍落度 |
| 4、钢筋笼上浮 | 1、混凝土中粗骨料粒径过大2、钢筋笼箍筋间距过密3、钢筋笼制作质量不好 | 1、控制好粗骨料粒径不大于40mm2、对钢筋笼调整箍筋间距，控制好制作质量。 |
| 5、桩身缩劲 | 1、拔管过快或内夯管未压在混凝土上2、桩间距过小3、混凝土坍落度不好 | 1、控制好拔管速成度、内夯管匀速下压2、调整桩间距或跳打3、控制好混凝土坍落度 |
| 6、断桩 | 1、桩间距过小2、砼初凝后，在桩附近堆放重物或车辆行走3、砼坍落度过小，形成脱空 | 1、跳打，跳打时须等相邻桩达到设计强度的70%以上再进行2、注意现场保护3、增大混凝土坍落度 |
| 7、夯扩困难 | 1、进入持力层过深2、投料高度过大，拔管高度过小 | 1、调整进入持力层的深度2、减少投料高度或增大拔管高度或增加夯扩次数 |

# 本规程用词说明

**1** 为了便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

**1）**表示很严格，非这样做不可的用词：

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”；反面词采用“不宜”。

**4）**表示有选择，在一定条件下可以这么做的，采用“可”。

**2** 条文中指明应按其他有关标准、规范执行时的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

# 引用标准名录

**1** 《建筑地基基础设计规范》GB50007

2 《混凝土结构设计规范》GB50010

**3** 《建筑抗震设计规范》GB50011

4 《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB50202

**5** 《复合地基技术规范》GB/T50783

**6** 《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ72

7 《建筑地基处理技术规范》JGJ79

8 《建筑桩基技术规范》JGJ 94

中国工程建设协会标准

锤击振动双管复合扩底桩

技术规程

Technical specification for double tube vibration hammering complex and expanding bottom piles

（条文说明）

**编制说明**

双管复合扩底桩分为：锤击振动复合扩底桩及强夯振动复合扩底桩施工方法、静压双管复合扩底桩及其静压双管复合扩底桩施工方法，前者采用锤击与振动相结合的成桩方式，后者采用静压双管连动的施工方式，是在原夯扩桩施工工法的基础上的优化升级，其成品过程控制，成桩桩身质量，单桩承载力，开挖后夯扩头外形及技术指标，均优于原夯扩桩。

双管复合扩底桩施工工期短，用材少且利于建筑废料再利用，可大幅度降低基础工程造价，达到节能减排及优化社会资源的目的。

该技术已获得两项国家发明专利。2015年江苏省建设厅对该技术在江苏省的应用举行了专题论证并出具了科技成果鉴定证书（苏建科鉴字【2013】第060号论证纪要，同意在江苏省内进行工程试点。近年来，该技术在江苏省内近70万平方米建筑工程中得到了成功应用。

为了全面推广双管复合扩底桩技术成果，规范该技术的设计、施工、检测及验收，确保工程质量与安全，特制定本规程。

3 基本规定

**3.0.1** 填土作为复合扩底桩持力层的可行性应特别谨慎，工程实践中施工单位往往特别重视扩底桩的承载力的试验和评价，往往忽略建筑地基的沉降问题。研究和工程实测表明，由于夯扩桩桩端阻力特征值较高，桩底土层附加应力较大，素填土或杂填土在长期荷载作用下或在受到浸水作用时，对建筑物的后期沉降影响较大，从而增加了发生工程事故的概率。因此，对于填土或深厚杂填土地基，采用双管复合扩底桩方案时必须具备使用多年、相似条件下的建筑物沉降观测资料和可借鉴的工程经验。

**3.0.2** 灵敏度高的粘性土、粉土、淤泥质土、淤泥、松散砂土在进行锤击、振动施工时，易发生液化现象，特别是对于已经施工形成的扩大端，相邻桩的施工可能造成承载体变形、沉降等，形成质量施工。因此，在试验性施工填料量大于设计值的1.5倍时，应查找原因，必要时应另选持力层。

**3.0.3、3.0.5** 非挤土桩施工可减少对周边环境的挤土影响，对上表为粘性土的场地条件时更明显。挤土桩产生环境问题的主要作用机理一般为振动、挤土等导致黏性土中的孔隙水压力上升、传递、消散，在这一过程中引起土体强度指标的变化，往往导致砂性土沉降、黏性土上升。当场地周边建筑物距离较近时，能产生较大的不均匀沉降。对黏性土地基，有时这种沉降变化可能持续较长的时间。

 综上，在选择挤土方法施工前，试验性施工不仅对承载力检验和成桩工艺具有重要性，而且是评估打桩影响周边环境程度的必要环节。

1. 构造

**4.0.1** 关于双管复合扩底桩桩端上、下一定深度范围内不应具有软下卧层的规定，主要基于以下考虑：

**1** 扩大端底部形状为球台形，主要影响深度范围大于圆形基础。

**2** 扩大端上部土体的强度除影响扩大端的成形质量、稳定性外，一般土层中对扩大端桩端阻力的影响很大。对于砂性土，本规程建议的桩端阻力相对较大，基本采用《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ72-2004附录D的规定，该规定按标贯击数查表确定的桩端阻力一般大于按《建筑桩基技术规范》JGJ94-2008表5.3.5中的规定值。

**4.0.2** 钢筋笼进入扩大头一定深度要求规定，体现了双管复合扩底桩的核心技术要求。对于抗压桩可基本解决相邻桩施工时对已施工桩的上浮影响问题；对于抗拔在钢筋笼进入扩大头深度要求是抗拔桩利用扩大端承载力的必要条件。

关于限制双管复合扩底桩设计桩长的规定，主要基于以下考虑：

**1** 双管复合扩底桩利用了基底以下较浅层的持力层才有可能获得及时与经济优势，因此设计桩长不宜太长。

**2** 夯扩桩施工设备受到夯击工艺的限制。

**4.0.4** 抗拔双管复合扩底桩构造与受压桩有所不同，主要表现在：

 **1** 由于不小于考虑桩端阻力的提高，抗拔扩底桩的夯扩头为内外二层包裹式结构，核心内层为干硬性混凝土，中间层由干硬性混凝土(不含散体填充料）构成；外围为挤密土体。夯扩头*H*c*/D*比例为1.5~2.5略小于受压桩。

 **2** 钢筋笼为全笼结构，主筋进入扩大头位置宜到达核心内层为干硬性混凝土底部。

 图4.0.4 双管复合扩底抗拨桩桩端构造

5 设计

**5.1 一般规定**

**5.1.2** 夯扩端投影计算面积为一假定模型下的理论值，可根据工程情况，在积累资料的基础上进行适当调整。

**5.2 桩基**

**5.2.2** 计算双管复合扩底桩的承载力采用的侧阻力、桩端阻力取值，在归纳、总结大量工程实测资料的基础上，参考了工程经验和各编制单位的研究成果。与《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ72-2004相比，在黏性土、粉土的桩端阻力方面有所调低，在砂性土方面，基本持平。

**5.2.10~5.2.11** 双管复合扩底桩用于抗拔桩时，单桩承载力特征值宜通过载荷试验确定。当采用经验公式估算时，可将抗拔承载力分为两部分计算，上部等直径段按《建筑桩基技术规范》JGJ94-2008中有关抗拔桩的规定执行，其中的抗拔系数可根据土层取上限值。下部扩大段的抗拔承载力计算较为复杂，可根据经验将扩大头简化为等高度的圆柱体，计算其侧阻力。

 此外，考虑另一种理论方法：即忽略扩底段抗拔力，但考虑其对上部桩身变形的控制作用使得上部桩身与土体间侧阻力无产生软化的可能，借鉴扩大段抗浮锚杆的计算理论，对上部等直径段桩侧阻力乘以1.3~1.5的系数来计算单桩抗拔承载力。

**5.3 复合地基**

**5.3.1** 双管复合扩底桩复合地基设计应符合下列规定：

**1** 原则上单桩承载力特征值和复合地基承载力特征值的确定应通过载荷试验确定，考虑到实施时可能碰到的困难，有时可以通过经验公式计算确定。当受到前期开挖的限制，复合地基承载力原位试验无法进行时，通过非原位测试方法采用扣除法、桩身应力测试法等可以得到单桩承载力特征值的近似值，再由下式计算复合地基承载力特征值：

 **** （5.3.1）

式中，*f*sk——处理后的基底桩间土承载力特征值，该值需要采用载荷试验才能确定，考虑到工程实际情况，一般可根据经验确定或取天然地基承载力特征值；

 *λ*——双管复合扩底桩承载力发挥系数，考虑到该桩为端承型，桩土共同工作需要褥垫层的调节，因此其取值不应大于0.95；

 *β*——桩间土承载力发挥系数，对于厚度大于桩身直径50%且不小于300mm时，可取1.0。

**5** 复合地基软下卧层承载力验算的难点在于软下卧层顶面的附加应力计算。可以在桩基下卧层承载力验算模型基础上增加桩间土应力产生的附件荷载作为附件应力的一部分，按本规范第5.2.4条的规定进行。

**5.3.2** 双管复合扩底桩复合地基沉降计算时，应将复合土层压缩变形与其下部土层沉降量分别计算后相加得到。

现行国家行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ79-2012将复合土层作为天然地基的一部分，以复合地基各土层复合模量代替天然地基土层压缩模量，采用分层总和法计算复合地基沉降变形。现行国家标准《复合地基技术规范》GB/T50783-2012规定的计算方法与之不同，采用复合土层与下卧土层变形分别计算的方法。考虑到夯扩工艺对复合土层及下卧土层模量的影响，双管复合扩底桩复合地基的沉降计算更加复杂，采用现行国家行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ79-2012方法的条件相差较大，本规程推荐采用《复合地基技术规范》GB/T50783-2012的方法。

6 施工与检验

**6.1.1~ 6.1.2** 双管复合扩底桩施工前应认真核查岩土工程勘察报告和桩基设计文件。如施工距周边民居（建筑物）较近时，应首选静压法施工，次选取土法施工。成桩设备的选取应结合施工图桩的设计参数，并考虑施工场区表层土的承载力情况综合选取合适的施工机型及夯锤型号。

工艺性试验桩施工应合理散布并在场区中具有代表性，施工前应认真核对试桩位置附近的地质钻孔，确定持力层深度并检验打桩设备参数及设计技术参数的适宜性。试桩施工中应详细记录相关施工参数、各次锤击夯扩的填料灌入量、桩管提升高度，双管共同下沉深度及最后十击贯入度或终止静压值。以确定本工程桩基施工工艺和控制参数。

试桩贯入度指标不同锤型可等冲击能量代换，采用静压法施工时，其油压值应换算为压力值。

**6.1.4** 控制相邻桩的上浮量，是为确保已施工成品桩的质量，并避免过大的地面隆起对周围环境的影响。其控制的关键是施工填料量不可超量，如单桩填料量异常时，应核对勘察报告查找原因,必要时可另选持力层施工。

 当桩身进入承压水土层时，为防止发生突涌影响桩身质量，一般采用干水泥包封堵的方式。

**6.1.5** 振动锤的配置一则用于锤击法的拔管，更重要的是提高桩身混凝土密实度，其选型配备应首先满足振动法拨管要求，一般桩身越长，砂性土越密实时，对振动锤的激振能量要求越高。

**6.1.6** 内外管的配置参数及结合方式来自于长期的施工实践，内外管的外径设置一则有利于施工中内外管的连动，也能发挥内管的压密效果，在以后的施工实践中将不断总结完善。

#  6.2 锤击振动施工

**6.2.1** 锤击振动双管复合扩底桩施工要点：

**1** 施工扩大头到设计要求的贯入度后，填料改为干硬性砼，夯击到钢筋笼底部设计标高，是确保钢筋笼安置的保证。成品桩均将钢筋笼设置于进入夯扩头不小于1/3的连接方式，使桩身与夯扩头融为一体，改善了桩身与扩大端的连接效果，提高了施工过程中扩底桩抵抗桩体上浮的能力，并使其用于抗浮构件成为可能。

**2** 夯扩头填料在传统的夯扩桩的基础上优化改良，采用了填干硬性砼与填大粒骨料（大于150mm）相结合的方式，能有效的挤密桩端被加固土体，达到改善其力学性能的目的。夯击辅料，按桩径400 mm考虑为2.0m~2.5m约（0.20~0.30）m3，辅料粒径一般选用150mm~300mm的石块、砖块、混凝土块。

**3** 对400mm直径桩，外管上拔高度一般为（1.0m~1.5m），夯扩头辅料夯击次数一般为（3~5）次，加料量可按贯入度的不同选用（1.0~1.4）m3。为确保桩身混凝土充盈系数，施工中应合理使用振动锤。

**6.2.2** 非挤土桩的施工与挤土桩施工的不同之处就是增加了双管取土步骤，取土装置和方法可按以下要求进行：

**1** 在内管下部设置活瓣开口取土装置，将内、外管叠加套在一起，用柴油锤将内管与外管同步击打入土，由于活瓣开口取土装置的取土活瓣只能向上并拢而不能向下打开，在入土过程中，外部的土将取土活瓣向上挤开，土不断地进入内管内；内管和外管每入土4m~6m拔出内管取土一次，在拔出内管的过程中，取土活瓣将内管内的土封住；内管完全拔离外管后，向下打击内管取土封头钢板，带动取土活瓣向下，使得取土活瓣脱离内管底部，内管内的土自由散落。

**2** 根据桩长与地质情况随时调正内管拔出卸土次数，直至扩底端部取土完成、达到设计深度。

# 6.3 静压施工

**6.3.1~6.3.2**静压双管复合扩底桩是在锤击振动强夯双管复合扩底桩的基础上创新的又一种无噪音、无污染，又能基本上直观反映单桩承载力的施工新工法。利用内压内夯管与沉管的共同作用，在沉管达到设计持力层深度之后，采用双管干作业取土后实施扩底桩施工。

静压双管复合扩底桩的施工设备和施工工艺经历了几百次的试验与技术改造，总结了夯扩桩的挤土及扩底等方面的施工工艺缺陷后形成。用静压设备强压内管扩底至设计桩底标高时，可根据静压值的读数量化夯扩体承载力。

静压双管扩底桩施工要点如下：

**1** 静压双管复合扩底桩辅料扩底完成后， 静压控制值大于设计值的1.2倍,同时辅料投料应不大于总投料量的2/3。

**2** 干硬性砼投料完成时，最终静压控制值为不小于设计要求的1.3倍，此时内管的底标高应为钢筋笼的底标高。

**3** 混凝土桩身施工时应振动拔管，控制拔管主要为确保桩身质量，这点在软土层中施工更为关键。拔管过程中，桩管内应至少保持2m以上高度的混凝土，一则确保设计充盈系数，二则留置合适的余桩处理高度，保证桩头质量。

**4** 混凝土桩身施工时，应严格控制桩身混凝土坍落度，坍落度过大会造成桩头浮浆过多，影响桩头部质量。

# 6.4 质量控制与检验

**6.4.3** 双管复合扩底验收资料要求：与原夯扩桩相比，增加了夯扩头的各次填料量及最终控制值。夯扩头的填料量与扩大头正投影面积密切相关，而最终控制值是保证单桩承载力的关键，在施工中均应详细记录。