

**T/CECSхххх-20хх**

**中国工程建设标准化协会标准**

**双向变截面搅拌桩技术规程**

**Technical specification fordouble mixing column with the variable Diameter**

**（征求意见稿）**

**【红色字表示需要进一步确认】**

**2020年02月26日**

前言

根据中国工程建设标准化协会（建标协字【2018】030号)文的要求，规程编制组经过广泛调查研究，认真总结国内外搅拌桩地基处理的实践经验和科研成果，并在广泛征求意见的基础上，对具体内容进行了反复讨论和修改，最后经审核制定完成。

本规程的主要技术内容是：总则、术语和符号、基本规定、设计、施工、检验与验收以及有关附录。

本规程由中国工程建设标准化协会标准地基基础专业委员会负责管理，由东南大学负责具体技术内容的解释。执行过程中如有修改意见或建议，请寄送东南大学岩土工程研究所（地址：南京市江宁区东南大学路2号东南大学岩土工程研究所；邮政编码：211189；电子邮箱：）。

**本规程主编单位**：东南大学

南京路鼎搅拌桩特种技术有限公司

**本规程参编单位**：中铁第五勘察设计院集团有限公司

同济大学

中交第四航务工程勘察设计院有限公司

广东省交通规划设计研究院股份有限公司

安徽省交通规划设计研究总院股份有限公司

安徽建筑大学

武汉市政工程设计研究院有限责任公司

中设设计集团股份有限公司

苏交科集团股份有限公司

江苏兆信工程项目管理有限公司

中交四航局第二工程有限公司

浙江广川工程咨询有限公司水利工程设计二院

**本规程主要起草人员：**刘松玉 储海岩 朱志铎 毛忠良 章定文 刘吉福

高广运 张 胜 刘传新 林佑高 杜广印 冯锦林

和礼红 刘锦平 孙海军 杨 宁 宫能和 席培胜

李汉渤 朱长歧 温广军 王晓波 邹红霞

**本规程主要审查人员：**

目次

[1 总则 1](#_Toc33262934)

[2 术语与符号 2](#_Toc33262935)

[2.1 术语 2](#_Toc33262936)

[2.2 符号 3](#_Toc33262937)

[3 基本规定 6](#_Toc33262938)

[4 设计 8](#_Toc33262939)

[4.1 材料 8](#_Toc33262940)

[4.2 设计计算 8](#_Toc33262941)

[5 施工 16](#_Toc33262942)

[5.1 施工准备 16](#_Toc33262943)

[5.2 施工工艺 19](#_Toc33262944)

[5.3 施工质量控制 21](#_Toc33262945)

[6 检验与验收 22](#_Toc33262946)

[6.1 检验 22](#_Toc33262947)

[6.2 检验标准 22](#_Toc33262948)

[6.3 验收 23](#_Toc33262949)

[附录A 双向变截面搅拌桩施工设备选用 25](#_Toc33262950)

[附录B 双向变截面搅拌桩自动监控施工成桩报表 27](#_Toc33262951)

[附录C 双向变截面搅拌桩现场开挖记录表 28](#_Toc33262952)

[附录D 钻孔取芯与标准贯入试验评价方法 29](#_Toc33262953)

[本规程用词说明 33](#_Toc33262954)

[引用标准目录 34](#_Toc33262955)

附：[条文说明 35](#_Toc33262956)

Content

[1 General Provisions 1](#_Toc33262934)

[2 Terms and Symbols 2](#_Toc33262935)

[2.1 Terms 2](#_Toc33262936)

[2.2 Symbols 3](#_Toc33262937)

[3 Basic Requirement 6](#_Toc33262938)

[4 Design 8](#_Toc33262939)

[4.1 Materials 8](#_Toc33262940)

[4.2 Design Calculation 8](#_Toc33262941)

[5 Construction 16](#_Toc33262942)

[5.1 Construction Preparation 16](#_Toc33262943)

[5.2 Construction Technologies 19](#_Toc33262944)

[5.3 Construction Quality Control 21](#_Toc33262945)

[6 Inspection and Acceptance 22](#_Toc33262946)

[6.1 Inspection 22](#_Toc33262947)

[6.2 Inspection Standards 22](#_Toc33262948)

[6.3 Acceptance 23](#_Toc33262949)

[Appendix A Driver Selection of Double Deep Mixing Column with Variable Section 25](#_Toc33262950)

[Appendix B Report Forms ofConstruction with Automatic Monitoring ofDouble Deep Mixing Column with Variable Sectio 27](#_Toc33262951)

[Appendix C Log Sheet of Excavation in Construction Site of Double Deep Mixing Column with Variable Section 28](#_Toc33262952)

[Appendix D Evaluation Methods of Core Drilling and Standard Petetration Test 29](#_Toc33262953)

[Explanation of Wording in This Specification 33](#_Toc33262954)

[List of Quoted Standards 34](#_Toc33262955)

Addition: Explanation of provisions [35](#_Toc33262956)

1 总则

**1.0.1** 为使双向变截面搅拌桩技术设计和施工中做到保证质量、技术先进、安全适用、经济合理、保护环境，特制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用于工程建设中双向变截面搅拌桩复合地基的设计、施工和质量检验。

**1.0.3** 双向变截面搅拌桩复合地基设计应综合考虑场地工程地质条件、上部结构类型、荷载、变形控制要求等因素，遵循因地制宜、节约资源的原则。

**1.0.4** 采用双向变截面搅拌桩技术除执行本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语与符号

## **2.1 术语**

**2.1.1**双向搅拌double mixing technology

采用同心双轴钻杆，在内钻杆设置正向旋转叶片并设置喷浆口，在外钻杆安装反向旋转叶片，内外钻杆分别设置驱动，通过正反向同时旋转叶片进行搅拌的搅拌桩施工方法。

**2.1.2**双向搅拌桩double deep mixing column

采用双向搅拌工艺形成的水泥土搅拌桩。

**2.1.3**双向变截面搅拌桩 double deep mixing column with the enlarged section

采用双向搅拌工艺，通过自扩式钻头在不同深度处使搅拌叶片自动伸缩，形成截面积变化的搅拌桩。

**2.1.4** 扩大桩体 enlarged deep mixing column section

双向水泥土变截面搅拌桩的截面积扩大部分的桩体。

**2.1.5**钉形搅拌桩 T-shape deep mixing column

桩身上部一定深度截面积扩大的双向变截面搅拌桩。

**2.1.6**含水比ratio of natural water content over the liquid limit water content

软土天然含水量与液限之比。

**2.1.7**变径比 ratio of enlarged column diameter over the normal

变截面搅拌桩扩大桩体直径与原直径之比。

**2.1.8** 成层复合地基layered composite foundation

由变截面搅拌桩不同面积置换率组成的增强体与天然土体组成的共同承担荷载的二层或多层人工地基。

**2.1.9**面积置换率 area replacement ratio

复合地基中桩体顶面的横截面积与该桩体所承担的复合地基面积的比值。

**2.1.10**体积置换率volume replacement ratio

变截面搅拌桩单桩体积与其承担的加固范围体积的比值。

**2.1.11** 桩土应力比 stress ratio of pile to soil

复合地基中桩体顶面上的平均竖向应力和桩间土上的平均应力之比。

## **2.2 符号**

**2.2.1 作用和作用效应**

****——桩体单位截面积承载力特征值；

****——桩间土承载力特征值；

****——与搅拌桩桩身加固土配比相同的室内加固土试块（边长70.7mm的立方体）的90天龄期的无侧限抗压强度平均值；

****——复合地基承载力特征值；

****——钉形搅拌桩单桩竖向承载力特征值；

****——中部扩径桩单桩竖向承载力特征值；

****——相应于荷载标准效应组合时，桩顶处的平均压力值；

****——桩端地基土承载力特征值；

****——变截面处地基土承载力特征值；

****——第i层桩周土的摩擦力特征值。

**2.2.2 几何参数（参见图2.2.2）**

****——变截面搅拌桩扩大桩体截面积；

****——变截面搅拌桩未扩大桩体截面积；

****——变截面搅拌桩扩大桩体直径；

****——变截面搅拌桩未扩大桩体直径；

****——变截面搅拌桩扩大桩体高度；

****——桩长；

****——钉形桩复合地基桩间距；

****——钉形搅拌桩扩大桩体部分面积置换率；

****——钉形搅拌桩未扩大桩体部分面积置换率；

****——体积置换率；

****——变径比；

****——变截面搅拌桩扩大桩体截面周长；

****——变截面搅拌桩未扩大桩体截面周长；

****——变截面搅拌桩扩大桩体深度范围内土体分层数；

****——变截面搅拌桩未扩大桩体深度范围内土体分层数。

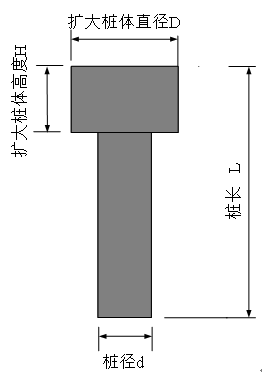


图2.2.2 变截面搅拌桩几何构造图

**2.2.3 土性参数**

****——土的压缩模量；

****——含水比。

**2.2.4 水泥土性参数**

****——水泥土压缩模量；

****——水泥土的粘聚力（kPa）；

****——水泥土的内摩擦角（****）。

**2.2.5 计算系数**

****——变截面搅拌桩扩大桩体“翼缘”下地基承载力修正系数；

****——桩端地基承载力修正系数；

****——变截面搅拌桩扩大桩体强度折减系数；

****——变截面搅拌桩未扩大桩体强度折减系数；

****——桩间土承载力折减系数；

****——变形计算经验系数；

****——桩周土体竖向应力（kPa）；

****——静止土压力系数。

3 基本规定

**3.1.1**双向变截面搅拌桩复合地基可用于加固淤泥、淤泥质土、粉土、松散砂土含水量较高的地基。

**3.1.2**双向变截面搅拌桩复合地基设计前，应具有岩土工程勘察、上部结构及基础设计、场地环境、地区经验等有关资料。

**3.1.3** 采用双向变截面搅拌桩复合地基的场地岩土工程勘察应符合《复合地基技术规范》GB/T 50783-2012 相关规定，并应具备静力触探(CPT/CPTU)原位测试成果。

**3.1.4**双向变截面搅拌桩变截面位置应根据上部结构对地基处理的要求、工程地质和水文地质条件、软土层分布确定，可设置在桩体顶部、中部或下部（图3.1.4）。



(a)钉形搅拌桩 (b) 中部扩径桩 （c）底部扩径桩

图3.1.4 双向变截面搅拌桩类型示意图

**3.1.5**双向变截面搅拌桩变径比与体积置换率应根据土层条件、施工机械能力和设计要求确定。

**3.1.6**双向变截面搅拌桩复合地基设计应进行承载力和沉降计算，其中用于填土路堤和柔性面层堆场等工程的复合地基还应进行稳定分析；对位于坡地、岸边的复合地基均应进行稳定分析；当处理范围以下有软弱下卧层时应进行下卧层地基承载力验算。

**3.1.7** 双向变截面搅拌桩复合地基设计应根据各类复合地基的荷载传递特性，保证复合地基中桩体和桩间土在荷载作用下能够共同承担荷载。

**3.1. 8**双向变截面搅拌桩复合地基应按上部结构、基础和复合地基共同作用原理进行设计。

**3.1.9**设计前应进行拟处理土的室内配比试验。针对现场拟处理软土的性质，选择合适的固化剂、外掺剂及其掺量，为设计提供不同龄期、不同配比的强度参数。对竖向承载的水泥土强度宜取 90d 龄期的立方体试块抗压强度平均值，对承受水平荷载的水泥土强度宜取28d 龄期试块的立方体抗压强度平均值。

**3.1.10**双向变截面搅拌桩复合地基宜根据变截面位置选择设置垫层。垫层设置范围、厚度和垫层材料可综合考虑复合地基型式、桩土相对刚度和工程地质条件等因素确定。

**3.1.11双向变截面搅拌桩施工工艺宜根据含水比和土层工程性质选择喷浆搅拌法(浆喷法)和喷粉搅拌法(粉喷法)**。

**3.1.12**双向变截面搅拌桩复合地基加固深度宜根据设计要求和施工机械能力确定，浆喷法加固深度不宜大于30m，粉喷法加固深度不宜大于20m。

**3.1.13**双向变截面搅拌桩施工应保证施工质量，宜采用自动监控的搅拌桩施工系统。

**3.1.14**双向变截面搅拌桩复合地基宜在代表性场地进行现场试验施工，检验设计参数和处理效果，通过分析优化设计方案。

**3.1.15**双向变截面搅拌桩正式施工前应进行工艺试验，确定合适施工参数。

**3.1.16** 双向变截面搅拌桩施工过程中应对场地地质条件进行核查，发现实际地质状况与勘察报告不符，影响继续施工时应进行施工地质补充勘察。

**3.1.17**施工过程中应加强监测、保证安全、控制环境污染、实现信息化施工。

**3.1.18**双向变截面搅拌桩复合地基质量验收应符合现行相关国家标准的规定。

4 设计

## **4.1 材料**

**4.1.1**固化剂宜选用强度等级为32.5级及以上的水泥或其他类型的固化剂，可根据工程需要和土质条件选用相应的早强、缓凝、减水等外掺剂。

**4.1.2**水泥固化剂掺量应根据不同土质条件和工程设计要求，通过室内配合比试验确定。作为复合地基增强体时水泥掺量不应小于12%。

**4.1.3** 浆喷法的水泥浆水灰比应根据施工可喷性和施工机械特点合理选用，宜采用0.5～0.6。

## **4.2 设计计算**

**4.2.1**双向变截面搅拌桩平面布置可根据上部结构特点及对地基承载力和变形的要求，采用正方形、等边三角形等布桩型式。

**4.2.2** 浆喷法和粉喷法的选择宜根据土性条件采用下列方法：

**1**含水比****<0.9时，选用浆喷法；

**2**含水比****>1.0时，选用粉喷法；

**3**含水比0.9≤****≤1.0时，二者均可。

**4.2.3** 双向变截面搅拌桩的变截面高度不应小于1.5m，钉形搅拌桩扩大桩体长度不宜大于桩长的1/3。

**4.2.4** 双向变截面搅拌桩的非扩大桩体直径不宜小于500mm，变径比宜为1.5～2.5。

**4.2.5**钉形搅拌桩的变径比****也可按下式确定：

 (4.2.5-1)

扩大头高度：****

对称边载效应系数：

 (4.2.5-2)

式中：****——桩周土体竖向应力（kPa）；

****——静止土压力系数；

****——水泥土的粘聚力（kPa）；

****——水泥土的内摩擦角（****）。

**4.2.6**双向变截面搅拌桩复合地基的桩间距应根据复合地基的承载力、建（构）筑物允许变形、稳定性验算、土性、施工工艺等确定，宜取1.6m～2.5m。

**4.2.7**钉形搅拌桩复合地基在路堤下可不设置褥垫层，在刚性基础下应设置褥垫层，褥垫层厚度宜取200～300mm。褥垫层宜选用中砂、粗砂、级配砂石或碎石等，碎石最大粒径不宜大于20mm。

**4.2.8**双向变截面搅拌桩复合地基承载力特征值，应通过现场复合地基载荷试验确定。

**4.2.9**钉形搅拌桩复合地基初步设计时也可按下式估算复合地基承载力特征值：

 (4.2.9)

式中：****——复合地基承载力特征值（kPa）；

****——处理后桩间土承载力特征值（kPa），宜按当地经验取值，如无经验时可取天然地基承载力特征值；

****——桩间土承载力折减系数，宜按当地经验取值，如无经验时可取0.5～0.9；

****——扩大桩体面积置换率，****；

****——扩大桩体直径（m）；

****——单根桩分担的处理地基面积的等效直径（m），等边三角形布置时，****；正方形布置时，****；矩形布置，****；****、****和****分别为桩间距、纵向间距和横向间距；

****——扩大桩体部分截面积（m2）；

****——单桩承载力特征值（kN）。

**4.2.10**钉形搅拌桩单桩承载力特征值****取值应通过现场竖向抗压载荷试验确定。

**4.2.11**当无单桩竖向载荷试验资料时，初步设计时钉形搅拌桩单桩竖向承载力特征值****可按下式进行估算：

当单桩破坏模式为刺入破坏时:



(4.2.11-1)

当单桩破坏模式为扩大头翼缘下部桩体屈服破坏模时:

 (4.2.11-2)

当单桩破坏模式为桩顶屈服破坏时:

 (4.2.11-3)

**如不能确定单桩破坏模式时，分别按照（4.2.11-1）、（4.2.11-2）和（4.2.11-3）计算单桩竖向承载力，取三者的最小值为单桩竖向承载力特征值：**

**** (4.2.11-4)

式中：——单桩竖向承载力特征值（kN）；

——与搅拌桩桩身加固土配比相同的室内加固土试块（边长70.7mm的立方体，也可采用边长为50mm立方体）的90天龄期的无侧限抗压强度平均值（kPa）；

*η*——桩身强度折减系数，可根据地区经验取值，没有相关资料时可取0.3~0.4；

——变截面处地基土承载力特征值（kPa）；

——桩端地基土承载力特征值（kPa）；

——扩大桩体深度范围内第i层桩周土的摩阻力特征值（kPa）；

——非扩大桩体范围内第j层桩周土的摩阻力特征值（kPa）；

 ——扩大桩体部分桩体周长（m）；

 ——非扩大桩体周长（m）；

——扩大桩体横截面积（m2）；

——非扩大桩体横截面积（m2）；

——扩大桩体深度范围内第i层桩周土厚度（m）；

——非扩大桩体范围内第j层桩周土厚度（m）；

、——分别为扩大桩体和非扩大桩体深度范围内桩周土体的分层数；

——变截面处天然地基土承载力折减系数，可取0.7～0.9；

——桩端天然地基土承载力折减系数，可取0.4～0.6。

**4.2.12** 当无单桩竖向载荷试验资料时，初步设计时中部扩径桩单桩竖向承载力特征值可按下式进行估算：

当桩身破坏发生在上部小直径桩体范围时:

 (4.2.12-1)

当桩身破坏发生在中部大直径桩体范围时:

 (4.2.12-2)

当桩身破坏发生在下部小直径桩体范围时:



(4.2.12-3)

如不能确定单桩破坏模式时，分别按照（4.2.12-1）、（4.2.12-2）和（4.2.12-3）计算单桩竖向承载力，取三者的最小值为单桩竖向承载力特征值：

**** (4.2.12-4)

式中：，——分别为变截面搅拌桩的小直径桩体和大直径桩体直径（m）；

——上部小直径桩体范围内第i层土层的桩侧摩阻力特征值（kPa）；

——中部大直径桩体范围内第j层土层的桩侧摩阻力特征值（kPa）；

——下部小直径桩体范围内第k层土层的桩侧摩阻力特征值（kPa）；

——上部小直径桩体范围内第i层土层的厚度（m）；

——中部大直径桩体范围内第j层土层的厚度（m）；

——下部小直径桩体范围内第k层土层的厚度（m）；

——扩大部位翼缘下部的承载力折减系数，可取0.7～0.9；

——大直径桩体翼缘下部的地基土承载力特征值（kPa）；

、和——分别为上部小直径桩体、中间大直径桩体和下部小直径桩体范围内的土层数；

——上部小直径桩体或中间大直径桩体或下部小直径桩体范围内第k层土与现场搅拌桩水泥掺量、含水量相同的室内配合比试样90天龄期的无侧限抗压强度，kPa；

——桩身强度折减系数，可根据地区经验取值，没有相关资料时可取0.3~0.4。

**4.2.13**当双向变截面搅拌桩处理范围以下存在软弱下卧层时，应按照《建筑地基基础设计规范》GB 50007的规定进行下卧层承载力验算。

**4.2.14**双向变截面搅拌桩复合地基的沉降由加固区成层复合土层压缩变形量（）和加固区下卧土层压缩变形量（）组成（见图4.2.14）。

 (4.2.14)

式中：——双向变截面搅拌桩复合地基加固区复合土层压缩变形量（mm）,

*S*1=*S*11+*S*12+*S*13；

——加固区下卧土层压缩变形量（mm），可按照《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2011)规定计算。



图4.2.14 变截面搅拌桩复合地基沉降计算示意图

**4.2.15**双向变截面搅拌桩复合地基变形具体计算方法可按照《建筑地基基础设计规范》GB50007的相关规定（第5.3条）计算。地基变形计算深度应大于复合地基的处理深度，并应符合《建筑地基基础设计规范》GB50007中地基变形计算深度的有关规定。

**4.2.16**成层复合地基的复合压缩模量等于各层天然地基压缩模量与桩体压缩模量按照面积置换率加权平均，其分层界面可按变截面并结合土层界面：

**** (4.2.16)

式中：****——第i层土体深度范围内，复合地基压缩模量（MPa）；

****——桩体压缩模量（MPa），**应根据现场水泥土取芯试样测定，初步设计时可取=(80~100)，qu为现场水泥土取芯样无侧限抗压强（MPa），对于粘土取低值，粉土、砂土取高值；**

****——第i层土体深度范围内，桩体面积置换率；

****——第i层土体深度范围内，地基土压缩模量（MPa）。

**4.2.17** 双向变截面搅拌桩复合地基的固结计算可等效为成层地基计算：

**1**对于软土层为多层的成层复合地基加固区的等效固结系数可按下式计算：

**** (4.2.17-1)

式中：****——加固区第i层等效固结系数；

****——加固区第i土层内桩体的面积置换率；

****——加固区第i层桩间土层的固结系数，可取第i层天然地基固结系数。

**2**对软土层单一的变截面搅拌桩复合地基，其等效固结系数也可按下式计算：

**** (4.2.17-2)

式中：——加固区复合地基等效固结系数；

——加固区变截面桩体的体积置换率；

——加固区桩间土层的固结系数，可取土层天然地基固结系数。

**4.2.18** 双向变截面搅拌桩复合地基加固路堤的稳定性可采用简化Bishop法圆弧滑动法计算，如图4.2.18所示。复合地基内滑动面上的抗剪强度可采用复合抗剪强度，其值按下式计算：

**** (4.2.18-1)

式中：——加固区第i层复合抗剪强度；

——加固区第i层搅拌桩的面积置换率；

——搅拌桩桩体的抗剪强度；

——桩间土的不排水抗剪强度。

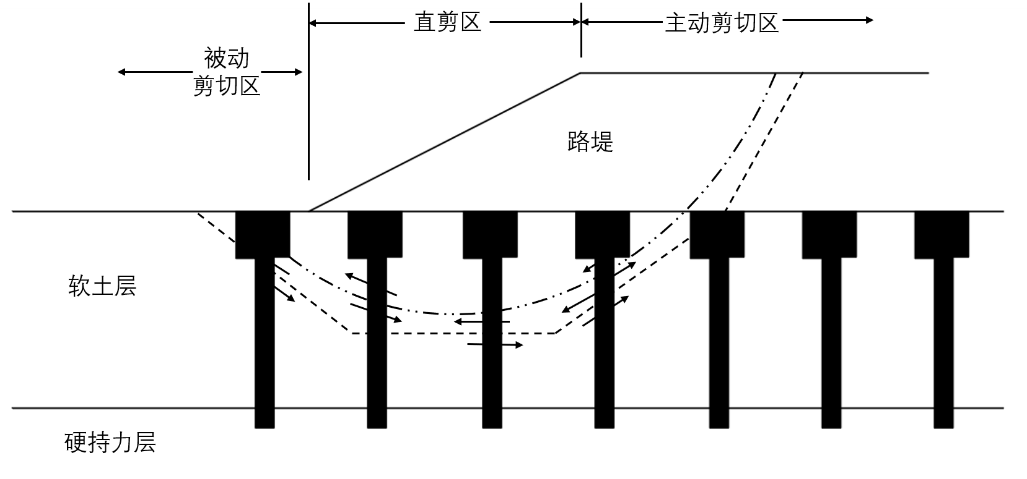


图4.2.18 双向变截面搅拌桩复合地基稳定性破坏模式

**1**搅拌桩桩体的抗剪强度取不排水抗剪强度和排水抗剪强度两者的较小值用于稳定性计算。

**2**搅拌桩桩体的不排水抗剪强度取值如下：

主动剪切区：=min[0.4，200kPa]；

直剪区：=min[0.4，100kPa]；

被动剪切区：=0。

**3**搅拌桩桩体的排水抗剪强度可按下式计算：

**** (4.2.18-2)

**** (4.2.18-3)

**** (4.2.18-4)

式中：𝛼——粘聚力折减系数，应根据桩体在路堤荷载下的位置确定，主动剪切区𝛼＝0.3，直剪区𝛼＝0.1，被动剪切区𝛼＝0；

****——水泥土的粘聚力；

****——水泥土的内摩擦角。

5 施工

## **5.1 施工准备**

**5.1.1双向变截面搅拌桩施工前应具备下列技术资料：**

**1**岩土工程勘察报告；

**2**工程施工图、设计文件；

**3**施工现场地理位置图；

**4**相邻建筑、道路、管线、高压输电线、构筑物、边坡等资料；

**5**施工组织设计并经审核确认；

**6**施工组织设计要求的施工技术和安全保障细则。

**5.1.2双向变截面搅拌桩施工场地应具备条件：**

**1**施工用水、用电、施工道路畅通；

**2**施工场地平整，地基承载力满足桩机施工要求；

**3** 保护场地邻近建筑、道路、管线、高压输电线、构筑物、边坡、环境的措施。

**5.1.3双向变截面搅拌桩工程的施工组织设计应包括下列内容：**

**1** 工程概况；

**2** 场地岩土特性及成桩条件分析；

**3** 施工总体部署及桩机的选择；

**4** 施工工艺操作要点；

**5** 施工质量、安全、环境保护的保证控制措施；

**6** 季节性及雨季施工相应措施；

**7** 桩机安装、拆卸技术要求及安全措施；

**8** 应急预案。

**5.1.4 施工放样应符合下列规定：**

**1**根据设计文件绘制桩位平面布置图；

**2**复核导线点、水准点，采用全站仪或经纬仪放出施工区域轴线和边线；

**3**采用钢尺对桩位逐点放样，并用竹签或白石灰标出；桩位偏差不得大于±50mm。

**5.1.5双向变截面搅拌桩机施工参数应根据现场试验施工和工艺试验结果确定【参见附录A】，**并应满足下列要求：

**1**搅拌头翼片的枚数、宽度、与搅拌轴的垂直夹角、搅拌头的回转数、提升速度应相互匹配，以确保加固深度范围内土体任何一点均能经过20次以上的搅拌；

**2**浆喷法配备的注浆泵额定压力不宜小于5.0MPa；

**3**粉喷法的最大送粉压力不应小于0.5MPa；

**4**变截面扩展叶片能自由扩展，扩展直径满足设计要求。

**5.1.6自动监控的双向变截面搅拌桩施工系统应满足下列要求：**

**1**自动监控施工系统应包括施工参数监控传感装置**、自动制浆站（自动送粉及加压装置）、**监控主机，传输系统和管理终端等部分组成；

**2**监控指标包括水泥用量、下沉和提升速度、内钻杆转速、外钻杆转速、内钻杆电流、外钻杆电流、桩身垂直度、桩长、单桩施工时间等；

**3**施工参数监控传感装置应安装已率定的深度传感器、流量计（重量传感器）、电流传感器、测斜仪等；

**4** 自动制浆站应配置高速搅拌机、拌浆桶、储浆桶、水箱、水泵、螺旋输送机、空压机、称重传感器、电子配料控制主机等设备，应能连续制浆；

**5**监控装置与传输系统适应于施工现场环境；

**6**监控主机具有施工参数设置、实时显示、记录、储存与输出功能；

**7**管理终端应具备实时显示、储存与输出功能，并能满足相关管理部门需要。

**5.1.7**应核实场地地基承载力是否满足选定施工机械的要求，如不满足应预先采取加固处理措施。

**5.1.8** 材料准备应符合下列要求：

**1** 水泥材料应具有产品标签、生产厂家、产品批号、[生产日期](https://www.baidu.com/s?wd=%E7%94%9F%E4%BA%A7%E6%97%A5%E6%9C%9F&tn=SE_PcZhidaonwhc_ngpagmjz&rsv_dl=gh_pc_zhidao)等；

**2** 按批量、批号取样送检，待强度和安定性试验合格后方可使用；

**3** 宜用散装水泥，采用袋装水泥时，应码放整齐，做好防护措施，结块水泥不得使用；

**4** 根据设计要求选用相应的早强、缓凝、减水等外掺剂；

**5** 浆喷桩宜采用饮用水源，如采用其它水源时，应经有机质含量、pH值等性能检验合格后方可使用。

**5.1.9** 浆喷法制浆宜采用全自动制浆机并采用变频喷浆泵，根据桩长及设计参数、流量、土层条件选择喷浆泵压力，喷浆管长度不宜大于100米。

**5.1.10**粉喷法宜采用全自动送粉及加压装置，并应满足下列要求：

**1**采用满足压力和气量要求的螺杆式空压机；

**2**送粉管路长度不宜大于100m；

**3**配置有满足环保要求的防尘设施。

**5.1.11**双向变截面搅拌桩施工前应按照设计在代表性场地进行**现场试验施工，并应满足下列要求：**

**1** 确定喷浆搅拌桩或喷粉搅拌法的适应性；

**2** 确定合适的固化剂掺入比、水灰比和添加剂；

**3** 评价成桩质量和搅拌均匀性；

**4**设计龄期的桩身芯样无侧限抗压强度；

**5** 必要时检验单桩承载力和复合地基承载力。

**5.1.12双向变截面搅拌桩施工前应按设计参数进行工艺试验，并满足下列要求：**

**1** 确定单桩设计喷浆(粉)量的施工技术参数；

**2** 确定合适的搅拌头形式、搅拌叶片的宽度和倾角；

**3**确定合适的电机功率；

**4** 确定变截面时电流变化范围。

**5.1.13**施工安全生产应符合国家现行有关安全生产标准的规定，并应符合下列规定：

**1** 机械设备安装、拆除应由专业人员担任，持证上岗；

**2** 成桩施工中应防止桩机倾斜；

**3** 桩机在移位行走时，非操作人员不得靠近；

**4** 雨季及冬季施工应采取相应的施工安全措施；

**5** 台风天气应停止施工，并应将钻杆钻入地下或把机架放倒；

**6**临近边坡侧或边坡上施工应采取可靠的稳定措施，确保边坡稳定和施工安全。

## **5.2 施工工艺**

**5.2.1** 应根据施工工艺试验确定的施工参数在自动监控主机设置施工参数：

**5.2.2** 施工顺序应符合下列规定：

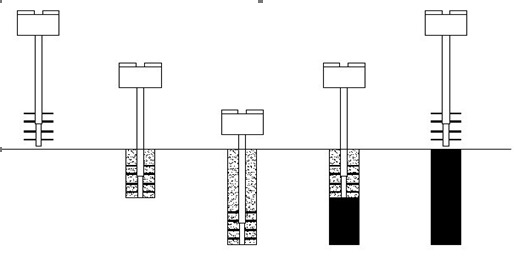
**1**一般场地条件下可按场地便利情况顺序施工；

**2**当施工场地临近建(构)筑物，应从建(构)筑物侧由近向远施工；

**3**当施工场地临近边坡，应从边坡侧由近向远施工；

**4**对有地下水径流及潮汐影响的场地，先施工地下水流动方向的上游侧。

**5.2.3** 双向搅拌桩宜采用二搅一喷工艺，施工工艺流程可按图5.2.3。



**1 2 3 4 5**

图5.2.3 双向搅喷桩二搅一喷施工工艺流程图

**1** 双向搅拌桩机定位：搅拌桩机移动定位至桩位处，在监控主机设置经过工艺试验确定的施工参数；

**2**搅拌下沉：启动双向搅拌桩机，使双向搅拌桩机钻杆沿导向架向下切土，开启送浆泵，向土体喷水泥浆，双向搅拌桩机钻杆上分别正、反向旋转的叶片同时旋转搅拌水泥土；

**3**双向搅拌桩机钻杆持续下沉并搅拌水泥土，直到设计深度；

**4**搅拌提升的同时，双向搅拌桩机钻杆上正反向旋转的叶片继续搅拌水泥土；

**5**提升、搅拌到地表上或设计标高以上50cm，完成双向水泥土搅拌桩的施工，**存储该桩施工记录。**

**5.2.4**钉型搅拌桩施工工艺流程可按图5.2.4，扩大桩体部分宜采用重复搅拌工艺：

|  |
| --- |
| **1 2 3 4 5 6 7 8** |

图 5.2.4 钉形搅拌桩施工工艺流程图

**1** 搅拌机就位：搅拌桩机移动定位至桩位处，在监控主机设置经过工艺试验确定的施工参数；

**2** 喷浆下沉：启动搅拌机，使搅拌机沿导向架向下切土，同时开启送浆泵向土体喷水泥浆，两组叶片同时正、反向旋转(外钻杆逆时针旋转，内钻杆顺时针旋转)切割、搅拌土体，搅拌机持续下沉，直到扩大头设计深度；

**3** 施工下部桩体：改变内、外钻杆的旋转方向，将搅拌叶片收缩到下部桩体直径；喷浆切土下沉：两组叶片同时正、反向旋转切割、搅拌土体，搅拌机持续下沉，直到设计深度,在桩端应就地持续喷浆搅拌10秒以上；

**4** 提升搅拌：搅拌机提升、关闭送浆泵，两组叶片同时正反向旋转搅拌水泥土，直至扩大头底面标高；

**5** 伸展叶片：改变内外钻杆的旋转方向，将搅拌叶片伸展至扩大头径；提升搅拌：提升钻杆，两组叶片同时正反向旋转搅拌水泥土，直到地表或设计桩顶标高以上50cm；

**6** 切土下沉：搅拌机沿导向架向下切土，同时开启送浆泵，向土体喷水泥浆，两组叶片同时正、反向旋转切割、搅拌土体，搅拌机持续下沉，直到扩大头设计深度；

**7** 提升搅拌：关闭送浆泵，两组叶片同时正反向旋转搅拌水泥土，直到地表或设计桩顶标高以上50cm；

**8** 完成单桩施工，**存储该桩施工记录。**

**5.2.5 中部扩径桩和底部扩径桩施工工艺流程可参照钉形搅拌桩，施工参数应采用工艺试验确定的参数。**

**5.2.6** 每根变截面搅拌桩施工前应在地面检查扩径叶片扩展情况，确保自由扩展。

5.2.7 双向变截面搅拌桩施工停浆（灰）面宜高于桩顶设计标300mm~500mm。

5.2.8 施工过程中应实时监控并及时储存施工记录，记录格式**如附录B。**

**5.2.9 应按施工时间或批次及时打印施工记录并整理。**

## **5.3 施工质量控制**

**5.3.1**双向变截面搅拌桩质量检查应贯穿施工全过程，宜实行全程施工监理与自动监控。

**5.3.2**施工前应检查水泥及外掺剂等原材料的质量、标定或校准各种计量设备、搅拌叶片的伸展直径和搅拌机械工作性能等。

**5.3.3**浆喷法施工中宜实时监控检查机架的垂直度、机架底盘的水平度、水泥浆比重、水泥浆注入量，下沉和提升速度、电机电流、桩长、单桩施工时间并上传至指定管理终端。

**5.3.4** 浆喷桩施工时宜使注浆泵出口压力保持在0.4MPa~0.6MPa，并应使搅拌下沉、提升速度与输浆速度同步。

**5.3.5**浆喷法的水泥浆不得离析，在储浆罐内的储存时间不得超过2h,在水泥浆中加入缓凝剂并在储浆罐内缓慢搅拌的情况下，储存时间不得超过3小时。

**5.3.6**粉喷法施工中应实时监控检查机架的垂直度、机架底盘的水平度、喷粉量、喷粉压力，下沉和提升速度、电机电流、桩长、单桩施工时间并上传至指定管理终端。

**5.3.7** 双向变截面搅拌桩施工过程中应及时检查电流指标监控变化情况，确认叶片扩展与收缩状态。

**5.3.8** 每根桩施工结束后，应根据施工自动监控记录对桩长、单桩水泥用量、单桩施工时间、电流进行检查。检查无误后方可移位进行下一根桩施工。

**5.3.9** 施工与监控过程中出现异常情况应及时停工并分析原因，采取有效措施保证正常施工，并做好记录。

**5.3.10** 施工完毕后宜分批次对所有成桩记录进行质量分析并给出初步评价。

6 检验与验收

## **6.1 检验**

**6.1.1** 双向变截面搅拌桩桩身质量检验宜在自动监控施工质量统计的基础上选择有代表性的桩进行。

**6.1.2**桩身质量检验应按照下列规定进行：

**1** 双向变截面搅拌桩成桩7天后宜采用浅部开挖观察桩体成形情况、搅拌均匀程度和桩身直径，及时记录（附录C);检查频率应符合设计要求；

**2** 双向变截面搅拌桩成桩28天后应采用双管单动取样器取芯并进行标准贯入试验，并取代表性取芯样进行室内无侧限抗压强度试验，钻孔取芯直径应不小于89mm。检验数量应符合设计要求，取芯与标准贯入试验评价方法宜按照附录D执行；

**3** 对扩大桩体部分宜在扩桩部分钻孔取芯并进行标准贯入试验，进行扩大桩体长度、强度、均匀性评价。检验数量应符合设计要求。

**6.1.3** 承载力检验应符合下列要求：

**1** 双向变截面搅拌桩复合地基承载力检验应采用竖向抗压载荷试验，试验要点可参照《复合地基技术规范》GB/T 50783-2012 附录A 要求；

**2** 双向变截面搅拌桩竖向抗压载荷试验承载板面积宜按桩顶面积加固范围确定；

**3** 双向变截面搅拌桩竖向抗压载荷试验宜在成桩28天后进行。检验数量应符合设计要求。

**6.1.4**当基槽开挖后，应检验桩位、数量与桩顶质量，不符合设计要求时，应采取有效补强措施。

## **6.2 检验标准**

**6.2.1**双向变截面搅拌桩质量检验标准应符合表6.2.1规定。

**表6.2.1 双向变截面搅拌桩质量检验标准**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目 | 序  号 | 检查项目 | 容许偏差值 | | 检查方法 |
| 单位 | 偏差值 |
| 主控项目 | 1 | 桩径 | 不小于设计值 | | 钢卷尺量测 |
| 2 | 桩长 | 不小于设计值或电流、钻进速度控制值 | | 钻芯取样结合监控施工记录 |
| 3 | 扩大桩体高度 | 不小于设计值 | | 钻芯取样结合施工记录 |
| 4 | 水泥用量 | 不小于设计值 | | 查看监控流量、施工记录表 |
| 5 | 桩身强度 | 不小于设计值 | | 标准贯入试验和强度试验 |
| 6 | 承载力 | 不小于设计值 | | 载荷试验 |
| 7 | 水泥质量 | 符合国家标准 | | 送检 |
| 一般项目 | 1 | 提升和  下沉速度 | m/s | ±0.05 | 测单桩下沉和提升时间 |
| 2 | 水灰比 | g/cm3 | ±0.05 | 实际用水量与水泥胶凝材料的重量比 |
| 3 | 外加剂 | ±1% | | 按水泥重量比计量 |
| 4 | 喷浆量 | ±1% | | 标定 |
| 5 | 桩位 | mm | ±50 | 全站仪或钢尺量测 |
| 6 | 垂直度 | 1% | | 监控量测或经纬仪测量 |
| 7 | 桩顶标高 | mm | +30,-50 | 水准测量 |

## **6.3 验收**

**6.3.1**双向变截面搅拌桩作为分项工程验收，其验收批次宜按相同施工机械、相同桩型设置、相近工程地质单元，分段分批次进行验收。

**6.3.2**双向变截面搅拌桩工程验收应按有关管理规定的部门和人员组织进行

**6.3.3**双向变截面搅拌桩工程验收宜在施工单位自检合格，且资料齐全后由施工单位提出验收申请。

**6.3.4**施工单位应提交下列验收资料：

**1** 设计文件、岩土工程勘察报告、施工组织设计、桩基施工平面图、图纸会审及技术交底记录、设计变更通知书等；

**2** 原材料质量合格证、检测报告和复检报告；

**3** 桩位测量放线图、桩位监理复核记录；

**4** 自动监测施工记录；

**5** 监理记录及抽检资料；

**6** 桩身质量检验报告；

**7** 承载力检验报告；

**8** 工程竣工图；

**9** 施工质量事故与处理资料；

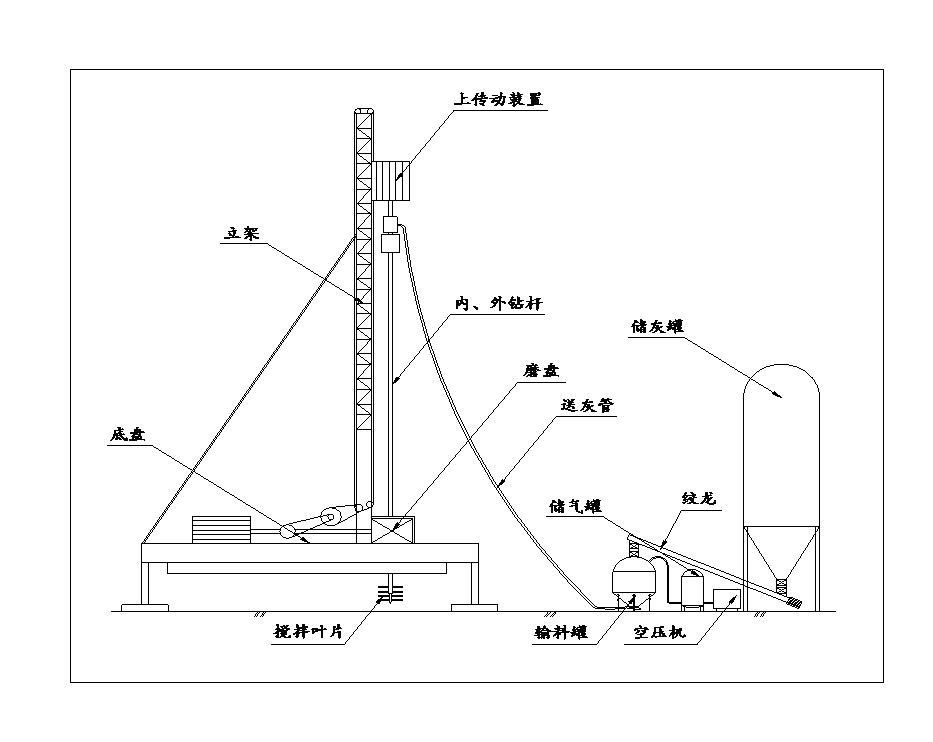
**10**工程质量验收报告。

**附录A双向变截面搅拌桩施工设备选用**

**A.0.1**双向变截面搅拌桩机设备主要有底盘、支架、双动力箱体、同心双轴钻杆、自动伸缩搅拌钻头,以及后台送浆(粉)装置等组成，双向变截面搅拌桩机(浆喷法)示意图如图A.0.1; 双向变截面搅拌桩机(粉喷法)示意图见附图A.0.2；双向变截面搅拌钻头示意图见图A.0.3。

****

图A.0.1 双向搅拌浆喷法桩机示意图

****

图A.0.2 双向搅拌粉喷法桩机示意图



图A.0.3双向变截面搅拌桩搅拌叶片示意图

A.0.2 双向变截面搅拌(浆喷法)设备规格选用可参考表A.0.1，双向变截面搅拌(粉喷法）设备规格选用可参考表A.0.2-1；A.0.2-2

**表A.0.1双向变截面搅拌桩机(浆喷法)设备规格选用参考表**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 机械型号 | 内钻杆直径  （mm） | 外钻杆直径  （mm） | 钻杆壁厚度（mm） | 电动机功率  （kW） | 机架高度  （m） | 成桩深度  （m） | 成桩直径  （mm） |
| DM-1 | 89 | 127 | 8 | 2×37 | 18 | 12 | 500~1000 |
| DM-2 | 89 | 127 | 8 | 1×37、1\*45 | 24 | 17 | 500~1000 |
| DM-3 | 89 | 127 | 10 | 1×45、1\*55 | 30 | 25 | 500~1600 |
| DM-4 | 89 | 127 | 10 | 2×55 | 33 | 30 | 500~1600 |

**表A.0.2-1 双向变截面搅拌桩机(粉喷法)规格选用参考表**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 机械型号 | 内钻杆直径  （mm） | 外钻杆直径  （mm） | 钻杆壁厚度（mm） | 电动机功率  （kw） | 机架高度  （m） | 成桩深度  （m） | 成桩直径  （mm） |
| SXJB-A | 89 | 127 | 10 | 内30、外37 | 14 | 10 | 500~800 |
| SXJB-B | 89 | 127 | 10 | 内30、外45 | 18 | 15 | 500~900 |
| SCJB-C | 89 | 127 | 12 | 内30、外55 | 22 | 18 | 500~1000 |
| SXJB-D | 89 | 127 | 12 | 内30、外55 | 28 | 24 | 500~1000 |

**附录A.0.2-2双向变截面搅拌桩机(粉喷法)送粉设备规格选用表**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 机械型号 | 空压机（kw） | 储气罐  （m3） | 冷干机（m3） | 储灰罐  （t） | 绞龙  （kw） | 输料罐  （m3） | 送灰管  （m） |
| SXJB-A | 15 | 0.6 | 3.5 | ≥30 | ≥5.5 | 1.0 | ≤100 |
| SXJB-B | 18.5 | 0.8 | 4.5 | ≥30 | ≥5.5 | 1.2 | ≤100 |
| SCJB-C | 22 | 1.0 | 5.5 | ≥30 | ≥5.5 | 1.4 | ≤100 |
| SXJB-D | 22 | 1.2 | 6.5 | ≥30 | ≥5.5 | 1.6 | ≤100 |

**附录B 双向变截面搅拌桩自动监控施工成桩报表**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **工程名称：施工单位：监理单位：\_\_\_\_\_\_\_\_\_** | | | | | | | | | | | | |  |
| **桩机编号：机械类型：设计桩长：桩径:设计桩距：水灰比：\_\_\_\_\_\_\_\_** | | | | | | | | | | | | | |
| **施工日期：** | | | | | | | | | | | | |  |
| 序号 | | | |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 桩排号 | 成桩时间 | | 施工桩长(m) | 下钻速度(m/min) | 提钻速度(m/min) | 总喷浆量（L） | 总灰量（Kg） | 喷浆时间（s） | 最大内电流（A） | 最大外电流(A) | 垂直度(％) | 桩机编号 |
| 开始时间 | 结束时间 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 记录：施工技术员：监理：日期： |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | | | | | | | | | | | |  |  |

# 附录C 双向变截面搅拌桩现场开挖记录表

工程名称：施工单位：

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 桩编号 | 施工日期 | 开挖日期 | 成桩龄期 | 开挖深度 | 实测桩径 | 实测桩距 | 桩体成型 | 搅拌均匀性 | 备注 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

检查人:

记录人:

监理工程师:

# 附录D 钻孔取芯与标准贯入试验评价方法

**D.0.1**本方法根据《江苏省高速公路水泥土搅拌桩检测工作实施细则》（苏高技(2003)147号）和《公路工程水泥搅拌桩成桩质量检测规程》DB32/T 2283-2012，并总结相关研究成果编制而成。

**D.0.2** 检验应在成桩28d后进行，取芯和标准贯入试验检验孔位应布置在水泥土搅拌桩桩头偏离中心100mm左右位置；用双管单动取样器进行取芯连续取芯；并每隔1.5m在取芯后进行标准贯入试验；

**D.0.3** 标准贯入试验方法按《岩土工程勘察规范》（GB50021）执行；水泥土抗压强度试验按《工程岩体试验方法标准》（GB/T 50266-1999）执行。

**D.0.4** 现场对芯样进行观察描述，判断其搅拌均匀性，并采取代表性芯样用于无侧限抗压强度试验；对标贯器中水泥土搅拌的均匀程度、成桩状态以及端承条件进行观察描述；按附录表D.0.4-1对水泥土芯样进行描述、并评价其均匀性，按附表D.0.4判断水泥土状态。

**表D.0.4-1 现场芯样描述与均匀性评判标准表**

|  |  |
| --- | --- |
| 搅拌均匀性 | 现场取芯情况 |
| 搅拌均匀 | 水泥土搅拌纹理清晰，无水泥粒块 |
| 搅拌不够均匀(搅拌基本均匀) | 水泥土搅拌纹理不连续，含水泥粒块且颗粒直径<2cm |
| 搅拌不均匀 | 水泥土无搅拌纹理，夹水泥块或较多水泥富集块，且水泥颗粒直径>2cm |

**表D.0.4-2 水泥土芯样状态现场鉴别表**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **状态** | **软塑** | **可塑** | **硬塑** | **稍硬** | **坚硬** |
| 现场鉴别 | 1、手捏很软，易变形；  2、用力不大就能按成坑。 | 手按有指印，但手捏不易变形。 | 1、手按无指印；  2、用力掰能裂开或成块。 | 手捏较硬，用小刀能划刻。 | 干而坚硬，很难掰成块 |

**D.0.5** 测取搅拌桩取芯率*Pq*：根据现场取芯样，用直尺量取其芯样长度大于7cm的长度，并按顺序记录，按下式计算取芯率:

**** (D.0.5)

式中：*Pq*——水泥搅拌桩桩体取芯率（%）；

****——回次进尺（m）；

****——该回次进尺中，长度大于或等于7cm芯样段的长度（m）。

**D.0.6**通过现场描述、取芯率、标准贯入试验和无侧限抗压强度指标综合判断水泥土桩身质量、强度及其连续性，并按下列方法进行桩身质量评分：

**1**分桩身上部和下部标准进行评价，0～5m范围按上部标准评判，5m以下部分按下部标准评判；

2根据长径比修正后的无侧限抗压强度和杆长修正后的标准贯入试验锤击数，并对其进行28d龄期修正，按折减后的28d强度和折减后的28 d锤击数进行质量评判；

桩体龄期在7~90 d内的按照下式进行龄期修正，超过90d的，按龄期90d进行修正：

**, ,** (D.0.6)

**式中：**——某龄期（*t*）经杆长修正后的标准贯入试验锤击数（击）；

——修正到28d龄期的标准贯入试验锤击数（击）;

——某龄期（*t*）经长径比修正后的无侧限抗压强度（MPa）；

——28d龄期的无侧限抗压强度（MPa）。

**3**根据芯样状态、桩体取芯率、修正后标准贯入击数和修正后无侧限抗压强度，按附录D.0.6-1、D.0.6-2分别进行桩身质量评分。

**表D.0.6-1 桩身质量评分表（上部）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 硬度或状态 | | 标准贯入试验 | | 无侧限抗压强度 | | 桩体质量指标 | |
| 硬度 | 记分 | 击数  （击） | 记分 | 强度  (MPa) | 记分 | Pq(%) | 记分 |
| 坚硬 | 100 | ≥25 | 100 | ≥0.8 | 100 | ≥60 | 100 |
| 稍硬 | 75 | 25-15 | 100-75 | 0.80-0.60 | 100-75 | 60-40 | 100-75 |
| 硬塑 | 50 | 15-10 | 75-50 | 0.60-0.40 | 75-50 | 40-20 | 75-50 |
| 可塑 | 25 | 10-5 | 50-25 | 0.40-0.20 | 50-25 | 20-10 | 50-25 |
| 软塑 | 0 | ＜5 | 0 | ＜0.20 | 0 | ＜10 | 0 |

**表D.0..6-2 桩身质量评分表（下部）**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 硬度或状态 | | 标准贯入试验 | | 无侧限抗压强度 | | 桩体质量指标 | |
| 硬度 | 记分 | 击数  （击） | 记分 | 强度  (MPa) | 记分 | Pq(%) | 记分 |
| 坚硬 | 100 | ≥20 | 100 | ≥0.6 | 100 | ≥50 | 100 |
| 稍硬 | 75 | 20-15 | 100-75 | 0.60-0.40 | 100-75 | 50-40 | 75 |
| 硬塑 | 50 | 15-10 | 75-50 | 0.40-0.20 | 75-50 | 40-30 | 50 |
| 可塑 | 25 | 10-5 | 50-25 | 0.20-0.10 | 50-25 | 30-20 | 25 |
| 软塑 | 0 | <5 | 0 | <0.10 | 0 | ＜10 | 0 |

**注：**①取芯率、标贯击数、无侧限抗压强度得分可按照线性内插；

②当硬度或状态描述为两种状态之间时，取中值。

**4 综合得分Q值计算方法：**

**1）**计算各层得分时，标贯击数按70%权重计算，无侧限抗压强度按15%计，硬度或状态描述按10%计，桩体质量指标按5%计；

**2）**当某层缺无侧限抗压强度的检测数据时，则不计该检测项目，按标贯击数80%、硬度或状态描述10%计算该层分数，桩体质量指标按10%计；

**3）**根据各层得分,按层厚加权平均分别得上部得分值Q1和下部得分值Q2；

**4）**单桩综合评定得分值:Q=(Q1+Q2)/2。

**E.0.7 桩身质量评价标准：**

**1合格标准：**上部**Q1**>75;下部Q2>60；否则判为不合格桩。

**2**桩身质量按综合得分分为四级，即：

优：**Q=**100-90；良：**Q=**89-80；合格：Q=79-67.5；不合格：Q<67.5。

**E.0.8 现场取芯与标准贯入试验记录可按表D.0.8**

**表D.0.8 双向变截面搅拌桩现场检测记录表**

**工程名称：检测位置：桩排号：检测孔编号：**

**施工单位：施工桩长：实际水泥量（kg/m）：**

**施工日期：检测日期：龄期（天）：**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 层号 | 层底深度(m) | 层厚(m) | 芯样名称 | 桩芯描述 | 状态 | 芯样长度  (cm) | 深度(m) | 实测标贯击数*Nt* | 芯样抗压强度(MPa) | 桩体取芯率  *Pq*(%) | 备注 |
|  |  |  |  |  |  |  | 0 |  |  |  |  |
| 1 |
| 2 |
| 3 |
| 4 |
| 5 |
| 6 |
| 。 |
| 。 |

实测桩长为：

评分的分层建议：\_\_\_m；\_\_\_m；\_\_\_m；\_\_\_m；\_\_\_m；\_\_\_m；\_\_\_m

现场检测人员签字：机长现场记录人员：技术负责：

**得分**：上部Q1： 下部Q2：

综合得分Q与结论： 审定：

# 本规程用词说明

**1** 为便于执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

**1)** 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”；

反面词采用“严禁”。

1. 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”；

反面词采用“不应”或“不得”。

1. 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”；

反面词采用“不宜”。

1. 表示有选择，在一定条件下可以这样做的：

正面词采用“可”；

反面词采用“不可”。

2 条文中指定应按其他有关标准执行时，写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。非必须按所指定的标准执行时，写法为“可参照……”。

# 引用标准目录

1. 《复合地基技术规范》 GB/T 50783
2. 《建筑地基基础设计规范》GB 50007
3. 《钉形水泥土双向搅拌桩复合地基技术规程》苏JG/T024
4. 《岩土工程勘察规程》 GB50021
5. 《建筑地基处理技术规范》 JGJ79
6. 《土工试验方法标准》 GB/T50123
7. 《公路工程土工试验规程》 JTG E40
8. 《公路工程质量检验评定标准》 JTG F80-1
9. 《铁路工程地基处理技术规范》 TB10106-2010
10. 《建筑地基基础工程施工质量验收规范》 GB20202
11. 《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》 JTG/T D31－02
12. 《公路工程地质勘察规范》JTJ064-98
13. [《软土地基深层搅拌加固法技术规程](https://www.so.com/link?m=aaYh%2BNyFXyb1m5nTLTPzsD4qje2cE9nNxbGn6fBDVSNXgvpa9ly1DfGYkbRbRY%2BzHPJvc9p1rIywNr1qc1KjNq7KF2p%2FKcOLgVDnGMA1L3maXnHvdmD%2BHPWdvbZkTNVs%2BU5jgcFO6IxZifjmNfb7mz1ADie7TMaOWIqNagpgr86UXzwCxWPKXhskd6RxG2MVh99cAxqM5ZO94nQuSXyM%2FfUpStKJUPWwZVBZYXFXry%2F8nukiMp9iu1QaX1W7oYowOEsquEoq2fyFI0I%2FbCu52TJEweIKF7VKTmJCk%2BA%3D%3D)》YBJ225-91
14. 《粉体喷搅法加固软弱土层技术规范》TB10113-96
15. 《江苏省高速公路水泥土搅拌桩检测工作实施细则》苏高技(2003)147号
16. 《公路工程水泥搅拌桩成桩质量检测规程》DB32/T 2283-2012

**中国工程建设标准化协会**

**双向变截面搅拌桩技术规程**

**（征求意见稿）**

**条文说明**

**目次**

[1 总则 38](#_Toc32996292)

[3 基本规定 40](#_Toc32996293)

[4 设计 44](#_Toc32996294)

[4.1 材料 44](#_Toc32996295)

[4.2 设计计算 44](#_Toc32996296)

[5 施工 57](#_Toc32996297)

[5.1 施工准备 57](#_Toc32996298)

[5.2 施工工艺 58](#_Toc32996299)

[5.3 施工质量控制 59](#_Toc32996300)

[6 检验与验收 61](#_Toc32996301)

[6.1 检验 61](#_Toc32996302)

**Contents**

[1 General Provisions 38](#_Toc32996752)

[3 Basic Requirement 40](#_Toc32996753)

[4 Design 44](#_Toc32996754)

[4.1 Materials 44](#_Toc32996755)

[4.2 Design Calculation 44](#_Toc32996756)

[5 Construction 57](#_Toc32996757)

[5.1 Construction Preparation 57](#_Toc32996758)

[5.2 Construction Technologies 58](#_Toc32996759)

[5.3 Construction Quality Control 59](#_Toc32996760)

[6 Inspection and Acceptance 61](#_Toc32996761)

[6.1 Inspection 61](#_Toc32996762)

1 总 则

**1.0.1**  双向变截面搅拌桩是东南大学岩土工程研究所针对传统单向搅拌桩技术施工效率低、成桩质量差、有效处理深度浅、桩土共同作用效率低、工效低等问题于2005年研发出的新型搅拌桩技术。所谓双向搅拌桩是指在水泥土搅拌桩成桩过程中，由动力系统带动分别安装在内、外同心钻杆上的两组搅拌叶片同时正、反向旋转搅拌水泥土而形成的水泥土搅拌桩。该技术对常规水泥土搅拌桩成桩机械的动力传动系统、钻杆以及钻头进行了改进，采用内、外嵌套同心双重钻杆，在内钻杆上设置正向旋转搅拌叶片并设置喷浆口，在外钻杆上安装反向旋转搅拌叶片，通过外钻杆上叶片反向旋转的压浆作用和正、反向旋转叶片同时双向搅拌水泥土，阻断水泥浆上冒途径，把水泥浆控制在两组叶片之间，保证水泥浆在桩体中均匀分布和搅拌均匀，确保成桩质量。双向变截面搅拌桩则是在双向搅拌桩的基础上，采用自动伸缩搅拌叶片通过变换旋转方向实现变直径搅拌桩施工，以满足成层地层按需加固的需要。

该技术自研发以来，已经在我国主要软弱土分布区的各类土木工程地基加固处理中得到了大量推广应用，在江苏、安徽等省区已经取代了传统单向搅拌桩，取得了重大经济与社会效益。2013年编制颁布了江苏省工程建设推荐技术规程《钉形水泥土双向搅拌桩复合地基技术规程》（苏JG/T024-2013)，为该技术的推广应用提供了设计和施工依据。

为使全国范围内双向变截面搅拌桩技术具有可靠的设计、施工、监理、检验及验收依据，总结多年依据和工程实践成果，编制本规程。

**1.0.2** 本条规定了本规程的应用范围，即适用于公路、铁路、机场、港口、建筑、市政等工程领域，采用双向变截面搅拌桩作为复合地基加固软弱土的工程。

**1.0.3** 双向变截面搅拌桩复合地基是隐蔽工程，本条规定了设计原则。

**1.0.4** 尚应符合的国家有关标准如下：

《岩土工程勘察规程》GB50021

《建筑地基基础设计规范》GB50007

《建筑地基处理技术规范》JGJ79

《土工试验方法标准》GB/T50123

《公路工程土工试验规程》JTG E40

《公路工程质量检验评定标准》JTG F80-1

《铁路工程地基处理技术规范》TB10106

《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB20202

《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》JTG/T D31-02

《复合地基技术规程》GB/T 50783

3 基 本 规 定

**3.1.1** 适合双向变截面水泥土搅拌桩加固的土类与传统搅拌桩一样，即处理淤泥质土、有机质土、粉土、松散砂土等。对于PH值小于4的酸性土，或在腐蚀性环境中以及无工程经验的地区使用时，必须通过现场和室内试验确定其适用性后，方可采用。

**3.1.2** 双向变截面搅拌桩复合地基的设计应重视资料的收集，具体包括以下基本资料：

**1** 岩土工程勘察资料

应按照现行国家标准《岩土工程勘察规程》GB50021-2001或现行行业标准《公路工程地质勘察规范》JTJ064-98进行岩土工程勘察并提供勘察报告，内容包括：

**1）**场地工程钻孔位置图、钻孔柱状图、工程地质剖面图；

**2）**场地各土层物理力学指标、承载力特征值,地基土层的PH值、有机质含量和～曲线；

**3）**标准贯入试验、静力触探试验和十字板试验等原位测试资料；

**4）**根据相关试验分析提供土层桩侧阻力特征值和不排水抗剪强度特征值；

**5）**水文地质资料，包括地下水类型、地下水位及其运动规律，地下水对水泥土腐蚀性评价等；

**6）**场地的抗震设计条件，包括场地土的类型、场地类别、地基土的液化判别。

**2** 工程场地和环境条件的有关资料

**1）**工程场地总平面图，包括交通设施、高压架空线、地下管线和地下构筑物分布等；

**2）**相邻建（构）筑物安全等级、基础型式及埋设深度；

**3）**水、电及材料供应条件等。

**3** 建（构）筑物的有关资料

**1）**建（构）筑物的总平面布置图；

**2）**建（构）筑物基础平面图和剖面图；

**3）**设计要求的承载力和变形控制值；

**4）**对应于荷载效应标准组合时的基底压力和对应于荷载效应准永久组合时的基底压力。

**4** 施工条件的有关资料

**1）**施工机械的设备条件、动力条件；

**2）**施工机械的进出场及现场运行条件。

**5** 地区经验有关资料

**1）**搅拌桩施工工艺经验；

**2）**搅拌桩加固效果资料。

**3.1.3** 双向变截面搅拌桩复合地基是复合地基的一种，《复合地基技术规范》GB/T 50783-2012第4章规定了复合地基勘察要点，也是本规程需要遵守的。静力触探技术（CPT）特别是孔压静力触探（CPTU）技术具有精度高、测试连续、分层可靠、经济快速等优点，尤其适用于软弱土判别。另一方面，本规程双向变截面搅拌桩技术施工已经实现了自动监控，本规程3.1.13条也规定了双向变截面搅拌桩施工宜采用自动监控的搅拌桩施工系统，对于需要重点加固的软土层，根据CPT/CPTU曲线可以在施工监控主机中事先进行设定，以保证变截面加固的可靠性。同时，对于施工过程中发现地层异常需要补充勘察时，CPT/CPTU是快速有效的方法。因此，本规程要求采用该技术的工程场地应进行CPT/CPTU测试，提供测试成果。

**3.1.4** 双向变截面搅拌桩由于其独特的施工工艺，可以通过改变搅拌轴旋转方向实现搅拌叶片的自动伸缩，形成变截面搅拌桩。根据土层情况和工程实际需要，一般有三种变截面位置即：顶部、中部和底部。其中，最常用的是顶部扩大的变截面搅拌桩，由于其形状像钉形，故名为钉形搅拌桩；又形似英文字母“T”，在英文中称之为T-shape deep mixing column。

**3.1.5** 变径比和体积置换率是变截面搅拌桩设计的两个关键参数，也是与常规等截面搅拌桩设计不一样的方面，本条规定了该两个参数设计确定的原则。

**3.1.6～3.1.8** 双向变截面搅拌桩复合地基是复合地基的一种，本条按照《复合地基技术规程》GB/T 50783的规定执行。

**3.1.9** 本条仍按照《复合地基技术规程》GB/T 50783的规定执行。实际工程中也有按照现场试验工程桩体取芯强度****进行设计，但由于现有现场试验工程和取芯方法与时间不统一，取芯强度往往离散性很大，而室内配合比试验标准统一，故仍以此作为强度设计的依据。

**3.1.10** 复合地基中桩和桩间土共同直接承担荷载是形成复合地基的必要条件。复合地基是通过一定的沉降量来达到桩和土共同承担荷载，为满足该条件，需要通过垫层进行过渡并调整荷载分布，实现桩体和地基土体共同承担上部荷载。

**3.1.11** 搅拌桩施工工艺分为浆喷搅拌法和粉喷搅拌法**。**粉喷桩与浆喷桩尽管存在很多方面的相似性，但在强度增长规律等方面存在较大差异，目前在工程应用中还存在很大的盲目性，特别是高含水量的软土，粉喷桩和浆喷桩的效果差别很大。东南大学岩土工程研究所通过对江苏省多条高速公路中粉喷桩和浆喷桩处理效果进行总结分析，发现粉喷桩和浆喷桩的强度与含水比（含水量与液限的比值）存在很强的相关性，可以根据软土天然含水量与其液限之比即含水比*λw*进行确定。具体确定方法见条文**4.2.2。**

**3.1.12** 我国传统水泥土搅拌桩的成桩机械采用单向搅拌工艺，经常出现下列问题：水泥土搅拌桩桩体水泥掺入量达不到设计要求；水泥浆纵向和平面搅拌不均匀；地面出现大量冒浆；粉喷桩对周围土体扰动大，引起地面开裂、边坡失稳、突然下沉等。这些问题是传统单向搅拌的固有缺陷。因此现有《复合地基技术规范》GB/T 50783和《建筑地基处理技术规范》JGJ79均规定浆喷法的加固深度不宜大于20m，粉喷法的深度不宜大于15m。

双向变截面搅拌桩技术采用双向搅拌工艺，具有下列优点：

**1** 双向搅拌工艺中内杆喷浆(粉)、外杆叶片具有压浆作用，阻断了水泥浆液上冒途经，保证了深部水泥掺入比和纵向均匀性；

**2** 双向搅拌工艺提高了水平向搅拌均匀性，确保了成桩质量；

**3** 双向搅拌工艺受力对称，对土体扰动影响小，避免了土体孔隙水压力螺旋式上升，提高了喷浆(粉)顺畅性，保证了深部成桩质量；

**4** 双向搅拌工艺受力对称，提高了机架稳定性。

正是由于这些优点，双向搅拌桩可以加大有效加固深度。已有工程实践中，浆喷法最大加固深度已达32m，粉喷桩最大加固深度达23m。故此，本条规定的加固深度扩大现有规范取值，即浆喷法加固深度不宜大于30m，粉喷法加固深度不宜大于20m。

**3.1.13** 经过十几年的发展，现有双向变截面搅拌桩施工已经能够实现自动监控施工，在国内工程中得到了推广应用，为进一步推动搅拌桩施工技术水平，促进智能施工技术的发展，本规程施工控制推荐采用自动监控施工系统，具体要求可参见第5章。

**3.1.14** 双向变截面搅拌桩属于隐蔽工程，地质条件千变万化，土体工程性质变异性大，同一施工技术在不同的地区可能会产生不同的效果；因此，本条规定设计方案初步确定后应在工程现场选择代表性场地进行现场试验施工，目的是验证设计参数是否满足要求，主要包括桩身质量和复合地基承载力。试验工程量可根据工程规模和地质条件在设计文件中明确，同一设计参数的试验工程桩数应不少于6根；其中，用于桩身质量取芯检验的桩数不少于3根，用于承载力检验的桩数不少于3组，当需要确定多桩复合地基承载力时，试验施工桩数应相应增加。

试验工程结束后，根据桩身质量和承载力检验结果，对设计参数进行优化调整，提出正式施工参数。

**3.1.15** 为满足设计要求，本条规定正式施工前应进行工艺试验，根据试验得出满足设计要求的施工工艺，主要是施工系统配置和施工质量控制要点，包括：喷浆压力、搅拌次数、钻杆下沉和提升速度、转速、进入持力层电流等。具体要求列于5.1.12条。

**3.1.16** 地质条件和土层工程性质空间变异性大，特别是对于公路、铁路这样大规模线性工程，工程勘察时勘察孔位间距加大，往往出现地质条件与勘察报告不符合情况。因此在搅拌桩施工过程中，应根据施工参数监控的变化分析核查地质条件。一旦发现明显异常如下沉速度、电流异常等，应暂停施工，采用CPT/CPTU进行快速补充勘察测试，核对地质条件。当地质条件与勘察报告有明显变化时，应调整设计和施工参数，经论证后方可继续施工。

**3.1.17** 双向变截面搅拌桩复合地基是复合地基的一种，应按照《复合地基技术规范》GB/T 50783的要求在施工过程中进行相应的监测。并结合施工自动监控情况及时反馈，实现信息化施工。施工过程中应加强环境保护，浆喷法应及时处理废弃浆液不得污染农田等周边环境。粉喷法应配置有满足环保要求的防尘设施，不得污染空气和周边环境。

4 设 计

## **4.1 材 料**

**4.1.1** 外掺剂可根据设计要求和土质条件选用具有早强、缓凝、减水以及节省水泥等作用的材料，且应避免污染环境。常用的早强（速凝）剂有：三乙醇胺、氯化钠、碳酸钠、水玻璃。掺入量宜分别取水泥重量的0.05％、2.00％、0.50％、2.00％。缓凝剂有：石膏、磷石膏。石膏兼有缓凝和早强作用，其掺入量宜取水泥重量的2.00％。磷石膏掺入量宜取水泥重量的5.00％。减水剂有：木质素磺酸钙，其掺入量宜取水泥重量的0.20％，其对水泥土强度的增长影响不大。可节省水泥的掺料有：粉煤灰、高炉矿渣。当掺入与水泥等量的粉煤灰后，水泥土强度可提高10％左右，故在加固软土时掺粉煤灰不仅可消耗工业废料，还可对水泥土强度有所提高。

## **4.2 设 计 计 算**

**4.2.2** 浆喷法和粉喷法是水泥土搅拌桩的两种主要施工工艺，两者虽然存在很多方面的相似性，但是它们在不同地区的适用性、施工扰动性、桩体以及整个复合地基的强度增长规律特性等方面还存在较大的差异。长期以来，由于对这些差异以及机理研究不够，导致工程应用的盲目性，具体设计与计算时往往采用经验方法或工程类比的方法。东南大学岩土工程研究所对该问题进行了系统研究，在其著作《粉喷桩复合地基理论与工程应用》（中国建筑工业出版社，2006）第三章中进行了详细分析。

室内外试验研究表明，粉喷法和浆喷法的应用效果与土层含水比有密切关系。图1是江苏省多条高速公路工程中粉湿喷桩软基处理的强度对比。



（a）30天龄期 （b）50天龄期

图1 强度与含水比之间的关系

水泥土强度与含水比有很大的关系，在含水比小于0.9时，湿喷桩处理的效果比粉喷桩处理效果好；当含水比为0.9~1.0时，两者加固效果相当，而当含水比大于1.0时，用粉喷桩处理更佳.因此，本条据此提出了选用原则。

实际工程中，瑞典针对粉湿喷桩的适用性问题，提出了修正粉喷桩法(MDM)，该法在粉喷桩钻机喷粉口边上增加几个喷水口，在发挥粉喷桩传统优势的同时，也有效控制了水灰比问题，改善了粉喷法的效果，扩大了粉喷法的应用范围。

**4.2.3** 考虑到双向变截面搅拌桩搅拌头特点和扩大桩径部分抗冲剪破坏的需要，扩大桩桩体部分高度不宜小于1.5m.钉形搅拌桩是变截面搅拌桩最常用的形式，根据已有工程实践，从技术经济二方面综合考虑，扩大桩体部分高度不宜大于桩长的1/3。

**4.2.4** 双向变截面搅拌桩是在双向搅拌桩的基础上经过变截面而成，我国绝大部分等截面搅拌桩直径为500mm,因此本条规定搅拌桩的非扩大桩体直径不宜小于500mm。根据已有工程实践和机械能力，一般变径比在为1.5～2.5，最常用的是2，对于深度不大，浅层缺少硬壳层的场地，变径比可取大值。

**4.2.5 本条给出了钉形搅拌桩变径比理论计算公式。其推导过程如下：**

在上部荷载作用下，复合地基搅拌桩处于三向受力状态，按照摩尔-库伦破坏准则，其极限承载力与围压大小有关：

 (1)

式中：——水泥土搅拌桩桩身极限承载力（kPa）；

——桩周土体对桩身的侧向应力（kPa）；

——桩身水泥土的粘聚力（kPa）；

——为桩身水泥土的内摩擦角（°）。

结合桩身荷载传递函数可得到桩周土体竖向平均应力为：

 （正三角形布置桩） (2)

 （矩形布置桩） (3)

——桩顶处桩间土承担的平均应力（kPa）；

——z深度以上地基土平均容重，地下水位以上取天然容重（kN/m3）；

——桩顶承担荷载（kN）；

——z深度处桩身轴力（kN）；

——正三角形布置桩位桩间距（m）；

,——矩形布置桩位纵横向桩间距（m）；

*r*——桩体半径（m）。

由于，在围压作用下，桩体极限竖向承载力为：

 (4)

室内水泥土无侧限抗压强度试验条件下：=0，则：

 (5)

采用“边载效应”系数表示围压条件下对桩身极限强度的影响，即：

 (6)

即：

 (7)

式中：——静止土压力系数；

——桩体半径/m（扩大头深度范围内，为扩大头半径；扩大头深度以下用下部桩体半径）；

假设桩体沿桩身强度均匀一致，桩顶和扩大头下部桩体同时破坏，则桩顶承载力极限值为，即：

 (8)

因此，扩大头下部桩体承载力极限值为：

 (9)

即：

 (10)

由上式得：

 (11)

联立（1）、（2）式得：

 (12)

 (13)

则上下桩径比即变径比为：

 (14)

采用搅拌桩单桩承载力特征值和土体承载力特征值(安全系数相同)表示时，则对应正文公式：

 (15)

式中：——搅拌桩竖向承载力极限值；

——钉形桩上部大直径桩体截面；

——钉形桩上部大直径桩体截面；

——变截面处天然地基土承载力折减系数，可取0.7～0.9；

*Qsi*——第i层桩周土的摩擦力极限值；

——变截面处地基土承载力极限值（kPa）；

——与搅拌桩桩身加固土配比相同的室内加固土试块（边长70.7mm的立方体，也可采用边长为50mm立方体）的90天龄期的无侧限抗压强度平均值（kPa）。

**4.2.6** 双向变截面搅拌桩设计桩间距确定方法与普通复合地基桩间距确定方法基本一致，但由于双向搅拌技术提高了桩身强度、减小了桩周土的扰动，故可适当加大桩间距，特别是钉形搅拌桩能够有效减小复合地基变形，当以变形控制设计时可以大大提高桩间距，已有工程实践中钉形搅拌桩最大桩中心距达到了2.6m，运营多年证明了有效性。故此，本规范推荐双向变截面搅拌桩桩间距可为1.6m~2.5m。

**4.2.7** 根据复合地基桩土共同作用协调变形的要求，《复合地基技术规程》GB/T 50783中规定复合地基顶部应设置垫层，并给出了垫层材料和厚度的取值。本条刚性基础下垫层设置按照该规范执行。

钉形搅拌桩复合地基由于扩大头锚固作用，保证了桩土协调变形的效果，已有工程实践表明在路堤荷载下可不设置褥垫层，江苏省沪苏浙高速公路、连临高速公路等多条高速公路工程中也得到了实践验证。

**4.2.9** 钉形搅拌桩是最常用的变截面搅拌桩形式，本规程按照《复合地基技术规程》GB/T 50783给出了钉形搅拌桩复合地基承载力计算公式，中部和底部扩径搅拌桩复合地基承载力计算公式研究深度尚不够，本规范中没有给出，可以参考钉形搅拌桩计算。

该公式中的桩间土承载力折减系数与现有《建筑地基处理技术规范》JGJ79和《复合地基技术规程》GB/T 50783有一定提高。《建筑地基处理技术规范》JGJ79中，当加固土层为淤泥、淤泥质土和流塑状软土时，桩间土难以发挥承载作用，取0.1～0.4，固结度程度好或设置褥垫层时可取高值；其他土层可取0.4～0.8；加固土层强度高或设置褥垫层时取高值，桩端持力层土层强度高时取低值；确定值时还应考虑建筑物对沉降的要求，当建筑物对沉降要求严时，应取低值。《复合地基技术规范》GB/T 50783和《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》JTG/T D31－02规定：当桩端土未经修正的承载力特征值大于桩周土地基承载力特征值的平均值时，可取0.1～0.4，差值大时应取低值；当桩端土未经修正的承载力特征值小于或等于桩周土地基承载力特征值的平均值时，可取0.50～0.95，差值大时应取高值。

钉形搅拌桩采用双向搅拌技术，现场测试表明该技术对桩周土扰动小，且桩顶锚固协调作用，其桩土共同作用效果优于常规搅拌桩，故可适当提高值，推荐取0.5～0.9，当加固土层为淤泥、淤泥质土和流塑状软土时，取低值。

**4.2.11** 本条给出了钉形搅拌桩单桩承载力计算方法。根据多年的现场载荷试验和理论研究，钉形搅拌桩单桩破坏模式主要有三种形式即刺入、扩大桩体翼缘底部桩体和桩顶屈服。本条分别给出了这三种破坏模式的单桩承载力特征值计算公式。当不能判断破坏模式时取三者最小值，以保证安全。

其中，桩身强度折减系数比《建筑地基处理技术规范》JGJ79和《复合地基技术规范》GB/T 50783等有所提高，《建筑地基处理技术规范》JGJ79中粉喷法可取0.2～0.25，浆喷法法可取0.25；《复合地基技术规范》GB/T 50783和《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》JTG/T D31－023规定：粉喷法可取0.20～0.30，浆喷法可取0.25～0.33；由于双向搅拌工艺能显著提高搅拌均匀性和桩身强度，现场取芯试验也表明，双向搅拌桩取芯强度可达室内试块强度的0.6～0.8，故适当提高取值为0.3～0.4。

、桩周土的摩阻力特征值。根据《建筑地基处理技术规范》JGJ79，对淤泥可取4～7kPa；对淤泥可取6～12kPa；对软塑状态的粘性土可取10～15kPa；对可塑状态的粘性土，可取12～18kPa；对稍密砂类土可取15～20kPa；对中密砂类土，可取20～25 kPa。

变截面处天然地基土承载力折减系数；桩端天然地基土承载力折减系数。由于搅拌桩为一种半刚性半柔性桩，极限荷载作用下，桩端土的承载力难以充分发挥，根据《建筑地基处理技术规范》JGJ79-2012，桩端天然地基土承载力折减系数可取0.4～0.6，由于钉形搅拌桩扩大头高度一般较短，其下部的天然地基土承载力更容易发挥，故折减系数变截面处天然地基土承载力折减系数可取高值，可取0.7～0.9。

**4.2.12** 本条给出了中部扩径桩的单桩承载力计算公式。根据室内模型试验和现场载荷试验成果总结，对于中部扩径桩体的变截面搅拌桩，其单桩受力图见下图。可以看出，在单桩荷载作用下，其承载力主要由桩侧摩阻力（小直径桩体和大直径桩体桩侧）、桩端阻力和大直径桩体下部阻力（类似于桩端阻力）组成。另外，大直径桩体上部土体对大直径桩体的上部有一定的拉力，由于土体的抗拉强度很小，在单桩承载力计算时忽略其贡献。

其单桩破坏模式分为三类，即上部小直径范围、中部扩径范围和下部小直径范围（图2），本条文分别给出了相应的计算公式。其中桩周土和桩身强度折减系数同钉形搅拌桩。



图2 中部扩径搅拌桩单桩受力图（a）及不同破坏位置（b~d）

**4.2.14** 本条按照《复合地基技术规范》GB/T 50783关于复合地基沉降计算方法，给出了变截面搅拌桩复合地基沉降按照成层复合地基的沉降计算方法。

双向变截面搅拌桩复合地基沉降计算也有采用广义桩体法。该方法将变截面搅拌桩桩体为实体桩体和广义桩体（图3）（具体可见论文“路堤下钉形搅拌桩复合地基沉降计算方法-广义桩体法”，岩土工程学报，2009, Vol.39, No.8)。

扩大桩体部分为实体桩体，翼缘下未扩大桩体部分假定其桩土变形完全协调并等效为与扩大桩体直径相等而模量不等的常规等截面桩，其模量按面积置换率取桩、土复合模量，并采用差分法计算加固区的沉降。



图3 广义桩体法沉降计算模式

加固区下卧层沉降计算，考虑到广义桩体的存在，假定加固区下卧层顶面的附加应力分布形式与地表路堤荷载分布形式一样为梯形，但附加应力值小于地表，推导给出了下卧层沉降计算方法。

对于未打穿软土层的悬浮型搅拌桩复合地基，其沉降可采用下列方法计算：

 (16)

 (17)

 (18)

 (19)

式中：——采用复合模量法计算得到的加固层压缩量；

——下卧层压缩量；

——修正后的加固层压缩量；

——桩顶荷载与软土不排水抗剪强度的比值；

*β*——桩长置换率(加固桩长度与软土层厚度之比）；

*K*——桩土模量比；

——考虑和*β*对加固层压缩量的修正系数；

——考虑桩土模量比*K*对加固层压缩量的修正系数。

**4.2.16 本条规定双向变截面搅拌桩复合地基变形计算按**《建筑地基基础设计规范》GB50007的相关规定计算时复合模量计算方法。

其中，桩体压缩模量应根据现场水泥土取芯试样测定，初步设计时可取，为现场水泥土桩芯样无侧限抗压强度，对于粘土取低值，粉土、砂土取高值。现有《复合地基技术规范》GB/T 50783建议可取；《建筑地基处理技术规范》JGJ79-2002，取，为90d龄期的水泥土立方体试块抗压强度平均值；《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》JTG/T D31-02规定取。[《软土地基深层搅拌加固法技术规程](https://www.so.com/link?m=aaYh%2BNyFXyb1m5nTLTPzsD4qje2cE9nNxbGn6fBDVSNXgvpa9ly1DfGYkbRbRY%2BzHPJvc9p1rIywNr1qc1KjNq7KF2p%2FKcOLgVDnGMA1L3maXnHvdmD%2BHPWdvbZkTNVs%2BU5jgcFO6IxZifjmNfb7mz1ADie7TMaOWIqNagpgr86UXzwCxWPKXhskd6RxG2MVh99cAxqM5ZO94nQuSXyM%2FfUpStKJUPWwZVBZYXFXry%2F8nukiMp9iu1QaX1W7oYowOEsquEoq2fyFI0I%2FbCu52TJEweIKF7VKTmJCk%2BA%3D%3D)》（YBJ225-91）第3.0.5条规定取；《粉体喷搅法加固软弱土层技术规范》（TB10113-96）3.1.2条建议变形模量。

根据双向搅拌桩多年的检验和工程实践验证，桩身压缩模量与现场取芯样强度有很好的线性关系。考虑到双向搅拌桩的现场取芯强度较高，推荐。

**4.2.17** 本条采用成层复合地基固结理论计算双向变截面搅拌桩复合地基固结度，给出了双向变截面搅拌桩复合地基固结计算方法。

结合双向变截面搅拌桩复合地基按照变截面位置和土层情况分层，采用均一化计算复合地基等效固结系数，对于土层单一情况，采用体积置换率进行等效，对于土层分层时采用面积置换率进行等效，然后采用成层地基固结理论计算固结度。

研究表明：成层复合地基的等效固结系数主要与置换率和桩、土模量有关，如图4所示。增大桩身模量和桩体置换率，可以有效的提高复合地基固结速率。

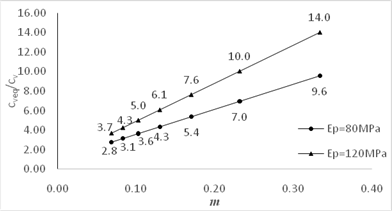


图4 搅拌桩复合地基置换率及桩身模量对等效固结系数的影响

**计算算例**

工程概况：某公路位于软土地区，路堤顶面宽度15m，路堤填土高度8m，坡比1:1.8，路堤底面宽度43.8m，如图5所示。土层分布及其主要物理力学指标见表1，地下水位与地表平行。

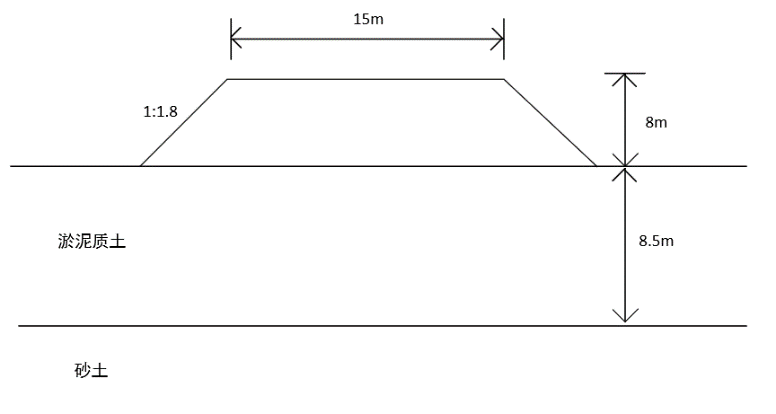


图5 某高速公路几何示意图

**表1 土层分布及物理力学指标**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 土层 | 层厚  m | 压缩模量(*E*s)  MPa | 泊松比() | 渗透系数(*k*)  m/d | 孔隙比(*e*) | 压缩系数(*a*)  MPa-1 |
| 淤泥质黏土层 | 8.5 | 3.0 | 0.45 | 2.668×10-4 | 1.53 | 1.93 |

**（1）天然地基淤泥质黏土层平均固结度计算**

天然地基淤泥质黏土层固结系数为：

 (20)

式中：——软土渗透系数；

——软土天然孔隙比；

——软土压缩系数；

——水的重度，常温常压取10kN/m3。

以第100天时地基平均固结度为例，根据太沙基固结方程，计算第100天时天然地基淤泥质黏土层竖向平均固结度为：

 (21)

其中，*H*为排水距离，下卧层为透水性良好的砂土，黏土层采用双面排水，排水距离取黏土层厚度的一半，即4.25m进行计算。

**（2）钉形搅拌桩复合地基固结度计算**

该工程地基处理采用钉型搅拌桩加固，设计桩长8.5m，搅拌桩扩大头部分高度*H*1=2m，扩大桩体直径=1m，未扩大头部分高度*H*2=6.5m，桩径=0.5m，桩间距1.6m，三角形布桩。下面对比计算第100天时地基平均固结度。

**1）钉型搅拌桩复合地基平均固结度计算（按体积置换率等效）**

天然地基淤泥质黏土层固结系数m2/d。

体积置换率（=0.149）计算加固区等效固结系数：

 (22)

第100天时，按体积置换率计算复合地基加固区竖向平均固结度为：

 (23)

加固区为双面排水，排水距离*H*取加固区高度的一半为4.25m。

**2）钉型搅拌桩复合地基平均固结度计算（按面积置换率等效）**

根据面积置换率进行分层计算，扩大桩体复合土层=0.354，未扩大桩体复合土层=0.086，两复合土层等效固结系数和分别为：

 (24)

 (25)

采用Zhu和Yin提出的成层地基固结度计算方法（详见文献Zhu G, Yin J H. Consolidation of double soil layers under depth-dependent ramp load. Geotechnique, 1999, 49(3): 415-421），计算复合地基加固区竖向平均固结度为0.829，这比按体积置换率计算得到的复合地基加固区竖向平均固结度小。

另外，分别按照Zhu和Yin方法和太沙基方法，计算两种等截面桩（桩径为1.0m和0.5m）复合土层竖向平均固结度，两种方法计算结果相等，复合土层竖向平均固结度分别为0.993和0.824，值介于两值之间。天然地基和变截面搅拌桩复合地基计算固结度曲线对比如图6所示。



图6 钉型搅拌桩固结度历时曲线比较

**4.2.18** 本条给出了双向变截面搅拌桩加固软土路堤稳定性计算分析方法，推荐采用Bishop圆弧滑动法计算。复合地基内滑动面上的抗剪强度可采用复合体不排水抗剪强度。

搅拌桩桩体的抗剪强度取值方法有不排水抗剪强度法和排水抗剪强度法两种，设计计算年中应取两者的较小值用于稳定性计算。

采用不排水抗剪强度计算时，因当搅拌桩加固地基发生滑移破坏时，桩身往往已发生较大变形，故宜采用残余强度。设计计算中水泥土的残余强度可取峰值强度的80%。又因水泥土的峰值不排水抗剪强度可取无侧限抗压强度的一半，因此，搅拌桩桩体的不排水抗剪强度一般可取现场原状芯样无侧限抗压强度的0.4倍。当无现场原状水泥土试样时，可采用室内配合比试验试样测试结果。由于室内芯样较现场更为均匀，其无侧限抗压强度约为现场芯样强度的60%~80%（前文承载力确定时桩身强度折减系数η取0.3~0.4），故现场水泥土不排水抗剪强度可取室内配合比试验试样无侧限抗压强度的0.24~0.32倍。

根据EuroSoilStab（2002）、Filz和东南大学岩土学科等单位和学者研究成果，为考虑路堤荷载下搅拌桩加固桩体的不同破坏模式（剪切破坏、弯曲破坏、倾斜破坏等），稳定计算中搅拌桩桩体的不排水抗剪强度根据加固位置（主动剪切区、直剪区、被动剪切区）差异设定不同上限值，因此本规范中规定主动剪切区取min[0.4，200kPa]，直剪区值min[0.4，100kPa]，被动剪切区取0。

研究表明，水泥土排水抗剪强度主要与粘聚力分量有关，且随无侧限抗压强度的增加而增大，为此搅拌桩桩体的排水抗剪强度指标内摩擦角取定值30º，通过水泥土的粘聚力的变化反映桩体强度的变化。另一方面，为了反映路堤下不同部位处搅拌桩的不同破坏模式（剪切破坏、弯曲破坏、倾斜破坏等），对不同位置处（主动剪切区、直剪区、被动剪切区）的水泥土粘聚力进行折减，主动剪切区取折减系数𝛼＝0.3，直剪区𝛼＝0.1，被动剪切区𝛼＝0。

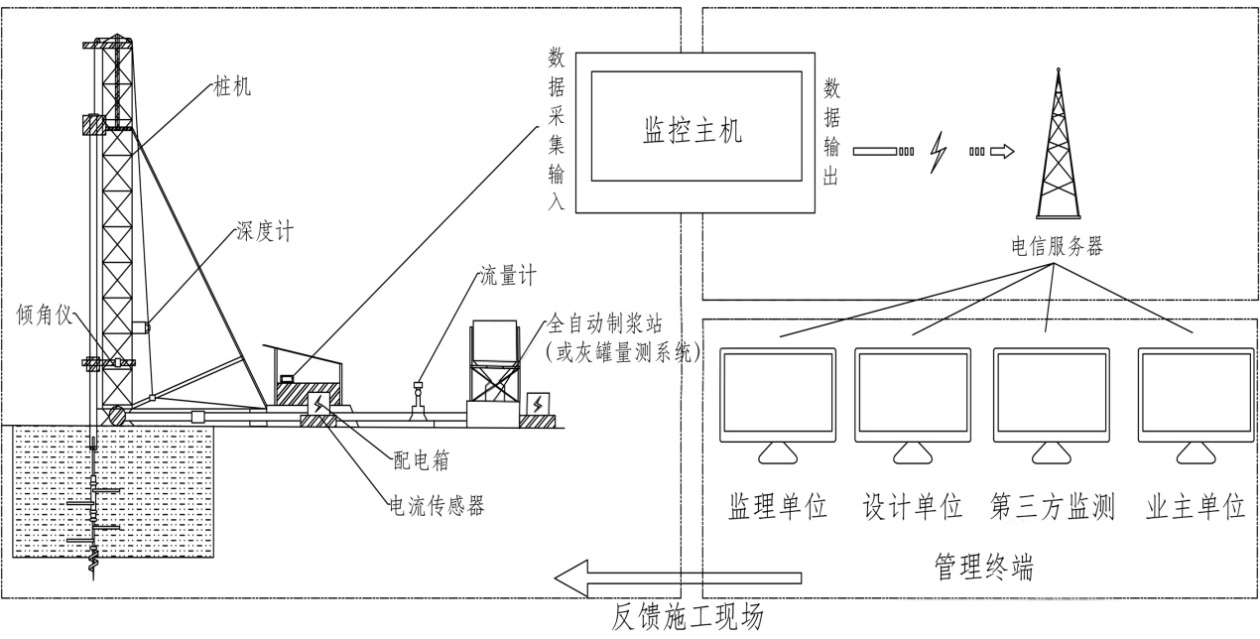
5 施 工

## **5.1 施 工 准 备**

**5.1.2** 施工场地整平过程中，对场地存在的块径大于100mm的石块、建筑垃圾、树根和生活垃圾等应予以挖除后再填素土；遇有明浜、池塘及洼地等也可先填素土后再进行施工，这样可以大大提高施工效率。

**5.1.5** 搅拌桩施工时，搅拌次数越多则越均匀，水泥土强度也越高，但施工效率就降低。试验证明，当加固范围内土体任一点的水泥土每遍经过20次的拌合，其强度即可达到较高值。

**5.1.6** 传统单向搅拌桩施工质量控制方式均为现场人力监督、工后抽查验证，这类被动的质量控制方式效率低且难以保证成桩质量。近年来，水泥土搅拌桩施工自动监控系统已经不断成熟，在工程中得到了推广应用，其组成原理如图7所示。本条规定了其设备配置的要求。

****图7 双向变截面搅拌桩自动监控施工系统组成示意图

自动监控施工系统在搅拌桩机上安装深度传感器、流量计、电流传感器、测斜仪和监控主机，四种传感器对成桩深度、喷浆量、内、外钻杆电流和桩机机架垂直度进行实时监测，实时采集的数据有线传输至监控主机，供监控主机完成分析与控制工作。

监控主机根据内、外钻杆电流值判别土层，并据此实时调节智能浆泵的喷浆速度，以达到不同土层区别喷浆的目的。同时，监控主机对传感器采集的施工数据进行分析，与设定的报警限值进行对比，如超出报警限值则响起警报，督促现场操作人员及时检查纠正。

在线式自动制浆站自动制浆站设置于施工场地外围并应进行地面硬化处理，自动制浆站制浆根据设定的水灰比等参数，可实现自动批量制浆，并将用水量、水泥用量等制浆数据实时上传至监控主机。

信息传输系统原理如图8。搅拌桩实时施工数据由监控主机通过电信网络或有线传输至现场监控中心，现场监控中心再通过电信网络上传至互联网服务器，管理终端可通过手机、计算机等网络通讯设备登录互联网服务器实时监控或查询。

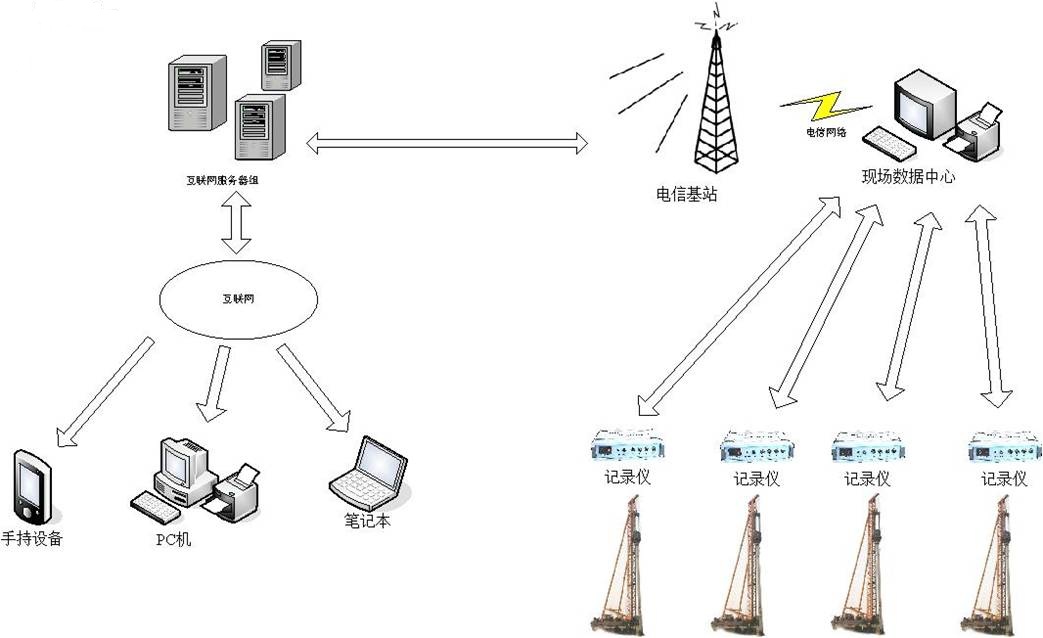


图8 双向变截面搅拌桩自动监控施工信息传输系统示意图

## **5.2 施 工 工 艺**

**5.2.2** 搅拌桩属于非挤土桩，一般情况下对周围土体扰动影响小，双向搅拌桩施工扰动更小，因此对于大多数工程场地，可以按照施工场地进退场便利条件进行顺序施工。当周边有建(构)筑物或边坡时，为确保安全，应从建(构)筑物或边坡一侧开始施工。当存在地下水径流时或临近海边受潮汐影响导致地下水位频繁变化时，为避免水泥浆(粉）被地下水带走，应采取必要的措施，并在施工顺序上从径流的上游开始施工，可以局部切断地下水的流动路径，保证后续搅拌桩的施工质量。

**5.2.3** 双向搅拌桩由于采用了双向搅拌工艺，两搅一喷就能保证搅拌次数和均匀性，已有工程实践也证明了二搅一喷工艺的有效性。因此，本规程推荐二搅一喷工艺。

**5.2.4** 双向变截面搅拌桩施工工艺在扩大桩体部位，由于喷浆(粉)量是正常桩径处的4倍，为满足掺灰量设计要求，在调整下沉和提升速度的同时需要进行复喷与复搅，以保证成桩质量。

**5.2.6** 双向变截面搅拌桩变截面工艺是通过改变搅拌轴旋转方向实现的，并在监控过程中通过监控电流增大与否进行判断确定。为确保变截面施工顺利实施，本条要求在每次搅拌头提升至地面后进行下一根桩施工前，采用人工方法检查叶片自由伸展情况并进行必要的清理。

**5.2.7** 本条按照《复合地基技术规程》GB/T 50783执行，主要是考虑到搅拌桩顶部由于侧向压力小，成桩质量受影响，故超打一定高度，在进行基槽开挖或地基整平是挖除。但在公路、铁路工程中往往不严格要求挖除，而是通过整平作为基地垫层，对于双向搅拌桩，其地表不存在冒浆现象，桩头质量与桩身质量差别不大，因此不强制要求挖除。

**5.2.9** 采用自动监控施工系统的双向变截面搅拌桩，一般情况下不再需要进行监理旁站，但也要及时整理施工记录以便及时发现问题，确保施工质量。

## **5.3 施工质量控制**

**5.3.3** 实际质量检测时，单桩施工质量以桩身强度和承载力为评判依据。影响水泥土搅拌桩桩身强度的主要因素为施工过程中搅拌均匀性和水泥掺入量，搅拌均匀性主要受下钻、提钻速度和电机转速影响，水泥掺入量则主要受水灰比、喷浆量影响，而喷浆量又与下钻、提钻速度和喷浆速度有关；影响承载力的主要因素为桩长、桩径、垂直度和桩身强度。在实际施工过程中，成桩直径由搅拌叶片的直径决定，与电机转速一样，一般设定不变。扩大桩径则通过监控电流可以确定。因此，双向变截面搅拌桩施工质量的关键控制参数为下钻与提钻速度、喷浆量、水灰比、垂直度、桩长和电流。考虑监控设备测试精度、耐久性、价格及维护等方面要求，确定双向变截面搅拌桩施工质量自动监控关键参数采集传感器、频率与标准如表2所示。

**表2 双向变截面搅拌桩自动监控施工参数与其控制标准**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 施工参数 | 传感器类型 | 采集频率 | 标准值 | 报警值 |
| 1 | 下钻与提钻速度 | 深度传感器 | 实时采集 | ＜2m/min | ≥2m/min |
| 2 | 喷浆量 | 电磁流量计 | 实时采集 | 100%设计值 | ＜80%设计值 |
| 3 | 水灰比 | 在线式自动制浆站 | 1次/盘？ | 100%设计值 | ≠设计值 |
| 4 | 垂直度 | 测斜仪 | 实时采集 | 1% | ≥4% |
| 5 | 桩长 | 深度传感器 | 实时采集 | 100%设计值 | ≤98%设计值 |
| 6 | 扩大桩径 | 电流传感器 | 实时采集 |  |  |

**5.3.7** 双向变截面搅拌桩是通过改变搅拌轴旋转方向实现叶片伸展，根据工程实践，叶片伸展过程中，电机电流会明显增大，因此可以通过监控电流的变化确认叶片伸展与否。

**5.3.9** 搅拌桩施工过程中可能会出现一些异常情况如遇到孤石等障碍物、停电等，此时不得不中断施工，需经处理后方可继续施工。对于停电导致的停浆(粉)，应将搅拌头提升（下沉喷浆）至停浆点0.5m处，待恢复供浆(粉)时，再继续喷浆搅拌下沉；浆喷桩若停机超过3h，宜先拆卸输浆管路，并清洗后方可继续使用。

**5.3.10** 自动监控施工系统现以配有成桩质量统计程序，该程序根据第6章的施工质量检验标准，通过对施工监控参数的分析，可以对每个桩的成桩质量进行评价，并可按施工批次进行统计评价。因此施工完毕后宜分批次对所有成桩记录进行质量分析并给出初步评价。

6 检验与验收

## **6.1 检 验**

**6.1.1** 以往搅拌桩检验方法一般采用按百分比随机抽桩的方法进行。双向变截面搅拌桩自动监控施工系统具有成桩质量评价功能，根据施工监控参数将成桩质量分为优、良、合格与不合格四个等级，因此，施工完成后的桩身质量检验可以在成桩质量统计的基础上，重点选择不合格桩和合格桩进行进一步检验。优，良桩则仅进行少量验证，以提高检验效率。

**1** 本条属于自检范围，施工单位在分析自动监控质量统计的基础上，进行开挖检验桩头顶部，特别对钉形搅拌桩，通过开挖检验其扩径效果。检验频率应根据设计要求，《建筑地基处理技术规范》JGJ79和《复合地基技术规程》GB/T 50783均推荐检验频率为总桩数的5%，对于公路、铁路等线长量大工程，检验频率可为总桩数的1‰，且不少于3根。附录C给出了开挖检验记录表。

**2** 工程实践表明，采用钻孔取芯方法是检验搅拌桩搅拌均匀性评价其桩身强度的最直观有效的方法。但取芯工艺对取芯质量有较大影响，本条规定采用双管单动取样器进行取芯，并选取代表性芯样进行室内无侧限抗压强度试验确定其强度；关于钻孔直径，《复合地基技术规程》GB/T 50783中要求不宜小于108mm， 根据近年来的取芯实践，采用89mm的钻孔直径能更好地保证取芯质量，因此本规程推荐最小取芯直径为9mm。

检验桩的成桩龄期一般应达到28天，在特殊情况下，进行15天龄期的检测，水泥土15天龄期抗压强度与28天龄期抗压强度换算关系如下：

 (26)

式中：——龄期为的水泥土抗压强度；

——龄期为的水泥土抗压强度。

标准贯入试验用于检验搅拌桩成桩质量和强度，其贯入器中的芯样可以辅助评价搅拌均匀性，标贯击数主要取决于桩身强度，最早在江苏省高速公路工程中应用，积累了大量工程实践和资料，已经建立了相关关系，并已颁发了《江苏省高速公路水泥土搅拌桩检测工作实施细则》（苏高技(2003)147号）和江苏省地方规程《公路工程水泥搅拌桩成桩质量检测规程》DB32/T 2283-2012。近年来标准贯入试验检验搅拌桩质量和强度得到了推广应用。本规程推荐该方法。

检验数量应符合设计要求，《复合地基技术规程》GB/T 50783推荐检验频率为总桩数的1%～2%，《建筑地基处理技术规范》JGJ79推荐检验频率5‰且不少于6根；为对于公路、铁路等线长量大工程，检验频率可为总桩数的5‰，且不少于6根。

附录D规定了桩身质量取芯与标准贯入试验评价方法。

**3** 对于变截面搅拌桩扩大桩体部分的检验，本规程也推荐取芯和标准贯入试验的方法。钻孔取芯位置拟在扩径范围中心处，钻孔取芯和试验方法按照附录D。检验频率参考2。

**6.1.3** 双向变截面搅拌桩复合地基承载力的检验应进行单桩或多桩复合地基静载荷试验。检测分两个阶段，第一阶段为正式施工前的试验工程，目的是为检验优化设计提供依据，试验数量单项工程不少于3根；第二阶段为施工完成后验收检验，检验数量符合设计要求，《建筑地基处理技术规范》JGJ79和《复合地基技术规程》GB/T 50783推荐检验频率为总桩数的1%；对于公路、铁路等线长量大工程，检验频率可为总桩数的1‰~2‰，且不小于3根。

对重要工程和变形要求严格时宜进行多桩复合地基静载荷试验，对变截面搅拌桩复合地基载荷试验板尺寸，考虑搅拌桩复合地基承载机理和破坏模式，本规程要求按照桩顶尺寸确定。

**6.1.4** 对于建筑工程，往往需要进行基槽开挖，这时可以更加准确地确定桩位和桩顶质量，因此当有基槽开挖时应增加该条检验。