T/CECS ×××－202×

中国工程建设标准化协会标准

# 预制桩桩端后注浆技术规程

Technical specification for tip post grouting of prefabricated pile

（征求意见稿）

中国 XXXX 出版社

中国工程建设标准化协会标准

# 预制桩桩端后注浆技术规程

Technical specification for tip post grouting of prefabricated pile

T/CECS ×××－202×

主编单位：上海同人里岩土工程技术有限公司
上海市政工程设计研究总院（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：202×年×月×日

中国XXXX出版社

202×北京

# 前 言

《预制桩桩端后注浆技术规程》（以下简称规程）是根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2025 年第一批协会标准制订（修订）计划〉的通知》（建标协字〔2025〕22 号）的要求进行编制。规程编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国内外的先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程共分为 7 章和 2 个附录，主要技术内容包括：总则、术语和符号、基本规定、材料与设备、设计、施工、质量检验等。

本规程某些内容可能涉及“一种预应力管桩后注浆装置”（专利号：ZL202020997654.7）、“一种预制实心方桩后注浆装置”（专利号：ZL202120368646.0）、“一种空心预制桩的空腔后注浆装置”（专利号：ZL202120368920.4）和“桩端后注浆预制斜撑”（专利号：ZL202222163570.5）相关专利的使用。涉及专利的具体技术问题，使用者可直接与专利持有人（胡玉银、上海同人里岩土工程技术有限公司）协商处理。除上述专利外，本规程的某些内容仍可能涉及专利，本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会地基基础专业委员会归口管理，上海同人里岩土工程技术有限公司负责技术内容的解释。执行本规程过程中如有意见或建议，请反馈给上海同人里岩土工程技术有限公司［地址：上海市中国（上海）自由贸易试验区临港新片区丽正路 1628 号 4 幢 1-2 层，邮政编码：201304，电子邮箱：2143083834@qq.com］。

**主 编 单 位：** 上海同人里岩土工程技术有限公司

上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司

**参 编 单 位：**

**主要起草人：** 胡玉银　卢永成等

主 要 审 查 人：

# 目次


**1　总　则** ..... 1
**2　术语和符号** ..... 2
**2.1　术　语** ..... 2
**2.2　符　号** ..... 2
**3　基本规定** ..... 5
**4　材料与设备** ..... 6
**4.1　材　料** ..... 6
**4.2　设　备** ..... 6
**5　设　计** ..... 7
**5.1　一般规定** ..... 7
**5.2　基桩构造** ..... 9
**5.3　单桩抗压承载力** ..... 10
**5.4　单桩抗拔承载力** ..... 14
**5.5　沉降计算** ..... 14
**5.6　桩端后注浆技术参数** ..... 15
**6　施　工** ..... 16
**6.1　一般规定** ..... 16
**6.2　成桩施工** ..... 16
**6.3　桩端后注浆** ..... 20
**7　质量检验** ..... 23
**7.1　一般规定** ..... 23
**7.2　施工前检验** ..... 23
**7.3　施工中检验** ..... 23
**7.4　验收检验** ..... 24
**附录 A 桩端后注浆施工记录表** ..... 27
**附录 B 预制桩桩端后注浆检验批质量验收记录表** ..... 28
**用词说明** ..... 30
**引用标准名录** ..... 31
附：条文说明 ..... 31

# Contents

**1 General provisions** ..... (1)

**2 Terms and symbols** ..... (2)

**2.1 Terms** ..... (2)

**2.2 Symbols** ..... **(2)**

**3 Basic requirements** ..... **(5)**

**4** Materials and equipment ..... **(6)**

**4.1 Materials** ..... **(6)**

**4.2 Equipment** ..... **(6)**

**5 Design** ..... **(7)**

**5.1 General requirements** ..... **(7)**

**5.2 Structure of pile foundation** ..... **(9)**

**5.3 Capacity of compressive pile** ..... **(10)**

**5.4 Capacity of tensile pile** ..... **(14)**

**5.5 Settlement** ..... **(14)**

**5.6 Parameters for post grouting** ..... **(15)**

**6 Construction** ..... **(16)**

**6.1 General requirements** ..... **(16)**

**6.2 Pile construction** ..... (16)

**6.3 Tip post grouting** ..... **(20)**

**7** Inspection and acceptance ..... **(23)**

**7.1 General requirements** ..... **(23)**

**7.2 Inspection before construction** ..... **(23)**

**7.3 Inspection during construction** ..... **(2**3)

**7.4 Works acceptance** ..... **(24)**

**Appendix A** Table of construction record of tip post grouting ..... **(26)**

**Appendix B** Table of inspection and acceptance record of tip post grouting of prefabricated

pile ..... (27)

**Explanation of wording** ..... (29)

**List of quoted standards** ..... (30)

Addtion: Explanation of provisions ..... (31)

# 1　总　则

**1.0.1**　为规范预制桩桩端后注浆的工程应用，做到安全适用、技术先进、经济合理、质量可靠，制定本规程。

**1.0.2**　本规程适用于预制桩桩端后注浆的设计、施工及质量检验。

**1.0.3**　预制桩桩端后注浆的设计与施工，应综合考虑场地岩土工程条件、上部结构类型、材料性能、施工及环境条件等因素，精心设计，精细施工，强化质量管理。

**1.0.4**　预制桩桩端后注浆的工程应用除应符合本规程的规定外，尚应符合国家现行有关标准和现行中国工程建设标准化协会有关标准的规定。

# 2　术语和符号

## 2.1　术　语

**2.1.1**　桩端后注浆预制桩　tip post grouted prefabricated pile

桩端附近土层通过桩端后注浆得到加固的预制桩。

**2.1.2**　静压成桩　static pile driving

利用静力压桩机将预制桩沉至设计标高的施工工艺。

**2.1.3**　搅拌植入成桩　pre-soil-mixing aided pile driving

采用单轴搅拌桩机在桩位处施工水泥土搅拌桩，然后将预制桩植入搅拌桩中的施工工艺。

**2.1.4**　引孔植入成桩　pre-boring aided pile driving

采用钻机在桩位处钻孔，并用水泥浆置换孔中泥浆，然后将预制桩植入钻孔中的施工工艺。

**2.1.5**　开塞　grout injector opening

通过压注高压清水打通注浆通道的工艺。

**2.1.6**　注浆桩尖　grouting pile shoe

内置有注浆器的桩尖，具有桩端后注浆和穿越坚硬土层的功能。

**2.1.7**　注浆器　grouting injector

预置于注浆桩尖中的注浆器具，通过其对预制桩桩端附近土层注浆。

**2.1.8**　注浆管　grouting pipe

内置于预制桩桩身空腔内的管道，通过其向预制桩桩端的注浆器输送浆液。

## 2.2　符　号

**2.2.1**　作用和作用效应

$N$ —— 荷载效应基本组合下的桩顶轴向压力设计值；

$N_{\mathrm{k}}$ —— 荷载效应标准组合作用下基桩的竖向力；

$N_{\mathrm{Ek}}$ —— 地震作用效应和荷载效应标准组合下基桩的竖向力。

**2.2.2** 抗力和材料性能

$f_{\mathrm{c}}$ —— 桩身混凝土轴心抗压强度设计值；

$Q_{\mathrm{gpk}}$ —— 后注浆总极限端阻力标准值；

$Q_{\mathrm{gsk}}$ —— 后注浆竖向增强段的总极限侧阻力标准值；

$Q_{\mathrm{sk}}$ —— 非竖向增强段的总极限侧阻力标准值；

$Q_{\mathrm{uk}}$ —— 单桩竖向抗压极限承载力标准值；

$q_{si\mathrm{k}}$ —— 后注浆竖向增强段内第 $i$ 层土的初始极限侧阻力标准值；

$q_{sj\mathrm{k}}$ —— 非竖向增强段内第 $j$ 层土的初始极限侧阻力标准值；

$q_{\mathrm{pk}}$ —— 初始极限端阻力标准值；

$R_{\mathrm{a}}$ —— 单桩竖向抗压承载力特征值。

**2.2.3** 几何参数

$A_{\mathrm{p}}$ —— 预制桩桩端面积；

$A_{\mathrm{ps}}$ —— 混凝土预制桩桩身横截面面积；

$b$ —— 基桩设计边长；

$d$ —— 基桩设计直径

$l_j$ —— 非竖向增强段内第 $j$ 层土的厚度；

$l_{gi}$ —— 后注浆竖向增强段内第 $i$ 层土的厚度；

$u$ —— 桩身周长；

$u_{\mathrm{l}}$ —— 群桩外围周长。

**2.2.4** 计算系数

$G_{\mathrm{c}}$ —— 单桩桩端注浆量；

$K$ —— 安全系数；

$\alpha_{\mathrm{p}}$ —— 桩端注浆量经验系数；

$\beta_{si}$ —— 后注浆侧阻力增强系数；

$\beta_{\mathrm{p}}$ —— 后注浆端阻力增强系数；

$\gamma_{\mathrm{R}}$ —— 单桩竖向抗压承载力调整系数；

$\gamma_{RE}$ —— 单桩竖向抗压承载力抗震调整系数；

$\lambda_i$ —— 后注浆竖向增强段内桩周第 $i$ 层土的抗拔系数；

$\lambda_j$ —— 非竖向增强段内桩周第 $j$ 层土的抗拔系数；

$\phi_c$ —— 成桩工艺系数。

# 3　基本规定

**3.0.1**　桩端后注浆预制桩主要适用于抗压，也可用于抗拔，包括斜向抗压和抗拔。

**3.0.2**　桩端后注浆预制桩桩身应为预制混凝土空心桩。

**3.0.3**　持力层宜为低至中等压缩性黏性土层、粉性土层、砂土层、卵石层、全风化岩层、强风化岩层。

**3.0.4**　桩端后注浆预制桩成桩工艺主要包括静压、锤击、搅拌植入和引孔植入四种。

**3.0.5**　桩端后注浆预制桩应按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行设计，并应通过试桩确定其设计及施工参数。

**3.0.6**　桩端后注浆预制桩的设计等级、作用效应与抗力限值，桩基承载力和稳定性验算，桩基沉降计算，应符合国家现行有关标准的规定。

**3.0.7**　桩端后注浆预制桩的耐久性设计和施工应符合国家现行标准《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476、《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定。

**3.0.8**　桩端后注浆预制桩应根据场地岩土工程条件、荷载情况、拟建场地环境条件与施工条件、施工设备性能以及施工工艺和材料等，选择合理的设计计算参数，并应提出施工质量控制与质量检验要求。

**3.0.9**　桩端后注浆预制桩工程施工应采用经质量检验合格的材料、产品和设备，应根据设计要求和工程需要制定施工方案，并应按国家现行标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202、《公路工程基桩检测技术规程》JTG/T 3512、《铁路桥涵工程施工质量验收标准》TB 10415 的有关规定进行施工质量检验。

**3.0.10**　桩端后注浆预制桩应采取措施控制振动、噪声、扬尘、废水、废弃物以及有毒有害物质对工程场地、周边环境和人身健康造成危害。

# 4　材料与设备

## 4.1　材　料

**4.1.1**　桩身质量应符合现行国家、行业、地方标准和图集的规定。

**4.1.2**　桩端后注浆的浆液材料应为水泥浆，水泥宜采用普通硅酸盐水泥；有抗侵蚀性要求时，宜采用抗硫酸盐水泥；强度等级不低于 42.5 级；其水泥质量应分别符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 和《抗硫酸盐硅酸盐水泥》GB 748 的规定。

**4.1.3**　预置于注浆桩尖中的注浆器应为气门芯式，采用钢管和硬橡胶管制作，应能承受至少 1.0MPa 水压力，并应具有逆止功能。

**4.1.4**　除注浆器外，注浆桩尖其他部件均应采用普通碳素结构钢制作，钢材强度等级不应低于 Q235，其材料应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 的规定。

## 4.2　设　备

**4.2.1**　桩端后注浆预制桩采用的压浆设备应包括制浆机、注浆泵和智能压浆记录仪等。

**4.2.2**　制浆机应具有自动上料、自动计量、自动放浆等功能，且制浆机上应配有称重传感器。

**4.2.3**　注浆泵应采用高压泵，其额定工作压力不应小于 30.0MPa，最小流量不应大于 50L/min。

**4.2.4**　智能压浆记录仪应具有实时显示、自动计量和实时传输的功能，上传时间间隔不宜超过 2s。

**4.2.5**　压力传感器、流量传感器、称重传感器等测量设备，应经有资质单位进行检定或校准。压力传感器的量程应为额定泵压的 1.5～2.0 倍。

# 5　设　计

## 5.1　一般规定

**5.1.1**　桩端后注浆预制桩在建筑工程中桩基设计等级的划分应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94的有关规定。

**5.1.2**　桩端后注浆预制桩宜根据场地土层状况和周边环境保护要求选用成桩工艺，见表 5.1.2。

**表 5.1.2 各种成桩工艺的适用条件**

| 场地土层状况<br>周边环境保护要求 | 无难以穿越的粉土、砂土等 | 有难以穿越的粉土、砂土等 |
|---|---|---|
| 环境保护要求宽松 | 静压成桩/锤击成桩 | 锤击成桩 |
| 环境保护要求一般 | 搅拌植入成桩 | 搅拌植入成桩/引孔植入成桩 |
| 环境保护要求严格 | 引孔植入成桩 | 引孔植入成桩 |

**5.1.3**　桩端后注浆预制桩基础应根据具体条件进行下列计算或验算：

**1**　应根据桩基的使用功能和受力特征分别进行桩基的竖向抗压、抗拔承载力和水平承载力计算；

**2**　应进行桩身及承台结构承载力计算；

**3**　当桩端平面以下存在软弱下卧层时，应进行软弱下卧层承载力验算；

**4**　对于抗拔桩基，应进行基桩和群桩的抗拔承载力计算；

**5**　摩擦型桩基，对桩基沉降有控制要求的非嵌岩桩和非深厚坚硬持力层的桩基，对结构体形复杂、荷载分布不均匀或桩端平面以下存在软弱土层的桩基等，应进行沉降计算；

**6**　应进行抗震承载力验算；

**7**　位于坡地、岸边的桩基应进行整体稳定性验算。

**5.1.4** 桩端后注浆预制桩设计时，所采用的作用效应组合与相应的抗力应符合现行国家标准《建筑与市政地基基础通用规范》GB 55003 的有关规定。对于建筑工程尚应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定；对于市政、公路工程尚应符合现行行业标准《公路桥涵设计通用规范》JTG D60 和《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG 3363 的有关规定。

**5.1.5** 桩端后注浆预制桩基桩之间的中心距，对于建筑工程应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定；对于市政、公路工程应符合现行行业标准《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG 3363 中关于静压沉桩的有关规定，且不应小于桩径或边长的 3 倍。

**5.1.6** 桩端全断面进入持力层的深度，应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定。

**5.1.7** 桩端后注浆预制桩竖向极限抗压承载力的确定应符合下列规定：

**1** 单桩竖向极限抗压承载力标准值应通过静载荷试验确定；

**2** 同一条件下静载荷试验数量不宜少于总桩数的 1%，且不应少于 3 根；

**3** 静载荷试验应采用慢速维持荷载法。

**5.1.8** 桩端后注浆预制桩的抗拔承载力和水平承载力应按现行国家标准《建筑与市政地基基础通用规范》GB 55003 的有关规定确定。对于建筑工程尚应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定；对于市政、公路工程尚应符合现行行业标准《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG 3363 的有关规定。

**5.1.9** 桩端后注浆预制桩基础的沉降计算应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定。

**5.1.10** 桩端后注浆预制桩基础的抗震验算应符合现行国家标准《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002 的有关规定。对于建筑工程，尚应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定；对于城市桥梁，尚应符合现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 的有关规定；对于公路桥梁，尚应符合现行行业标准《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01 的有关规定。

**5.1.11** 桩端后注浆预制桩基础承台的截面承载力计算和构造要求，建筑工程应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 和行业标准《建筑桩基

技术规范》JGJ 94 的有关规定；市政、公路工程尚应符合现行行业标准《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG 3363 的有关规定。

**5.1.12** 桩端后注浆设计应明确注浆量、水泥浆液水胶比和注浆控制标准等技术参数，并通过试桩确定。

## 5.2 基桩构造

**5.2.1** 桩端后注浆预制桩的桩身应符合现行国家标准《先张法预应力混凝土管桩》GB 13476、现行行业标准《预应力混凝土管桩技术标准》JGJ/T 406 等有关标准的规定。

**5.2.2** 桩端后注浆预制桩接长时，其连接可采用端板焊接连接、法兰连接、机械啮合连接。接头应保证管桩内纵向钢筋与端板等效传力，接头连接强度不应小于预制桩桩身强度。每根桩的接头数量不宜超过 3 个。

**5.2.3** 当桩端后注浆预制桩穿越可液化土层、不排水抗剪强度小于 10kPa 的软弱土层，或采用高承台时，应考虑桩身压屈的影响。

**5.2.4** 搅拌植入的桩端后注浆预制桩，水泥土搅拌桩直径应大于预制桩桩身外径，两者相差宜 100mm；搅拌桩深度应根据环境保护要求等确定，搅拌桩桩底应高于预制桩桩端至少 3 倍桩径或边长；搅拌桩水泥掺量宜为 10%～20%，水胶比宜为 1.0～2.0。

**5.2.5** 当场地周边环境保护要求一般、需要穿越硬土层时，引孔植入的桩端后注浆预制桩，引孔直径宜与预制桩桩身外径相同；引孔深度应根据地质条件等确定，引孔孔底应高于预制桩桩端至少 1.5 倍桩径或边长；引孔后应用水泥浆置换孔中泥浆。

**5.2.6** 当场地周边环境保护要求严格时，引孔植入的桩端后注浆预制桩，引孔直径应不小于预制桩桩身外径；引孔孔底高于预制桩桩端不宜超过 1.0m；引孔后应用水泥浆置换孔中泥浆；此种情况的桩端后注浆预制桩可视为非挤土桩。

**5.2.7** 桩端后注浆预制桩的桩端应配置具有注浆功能的注浆桩尖。注浆桩尖必须具备逆止功能。注浆桩尖设计宜符合现行行业标准《预应力混凝土管桩技术标准》JGJ/T 406 的有关规定（图 5.2.6）。桩端后注浆预制桩的桩端构造示意图见图 5.2.6。

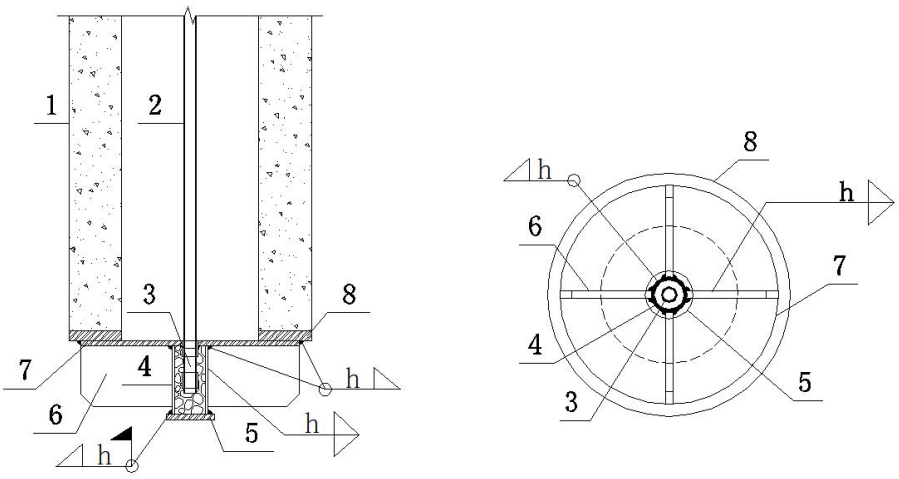



图 5.2.6　桩端后注浆预制桩桩端构造示意图

1—预制混凝土桩；2—注浆管；3—注浆器；4—保护钢管；5—保护钢管封头板；
6—十字形桩尖；7—桩尖底板；8—预制桩端板

## 5.3　单桩抗压承载力

**5.3.1**　荷载效应标准组合下，单桩竖向抗压承载力应符合下列规定：

$$N_{\mathrm{k}} \leq \gamma_{\mathrm{R}} R_{\mathrm{a}} \qquad (5.3.1)$$

式中：　$N_{\mathrm{k}}$ —— 荷载效应标准组合作用下基桩的竖向力(kN)；

$\gamma_{\mathrm{R}}$ —— 单桩竖向抗压承载力调整系数（表 5.3.1）；

$R_{\mathrm{a}}$ —— 桩端后注浆预制桩单桩竖向抗压承载力特征值（kN）。当为市政及公路桥梁时，桩身自重与置换土重（当自重计入浮力时，置换土重也计入浮力）的差值计入作用效应。

**表 5.3.1 单桩竖向抗压承载力调整系数$\gamma_{\mathrm{R}}$**

| 工程类型 | 作用工况 | $\gamma_{\mathrm{R}}$ |
|---|---|---|
| 建筑工程 | 轴心竖向力作用下 | 1.0 |
| | 偏心竖向力作用下 | 1.2 |

| | | |
|---|---|---|
| 市政<br>及公路工程 | 仅计结构重力、预应力、土的重力、土侧压力和汽车荷载、人群荷载 | 1.0 |
| | 永久作用与可变作用组合 | 1.25 |

**5.3.2** 地震作用效应和荷载效应标准组合下，单桩竖向抗压承载力应符合下列规定：

$$N_{\mathrm{Ek}} \leq \gamma_{\mathrm{RE}} R_{\mathrm{a}} \tag{5.3.2}$$

式中：$\gamma_{\mathrm{RE}}$ —— 单桩竖向抗压承载力抗震调整系数（表 5.3.2）；

$N_{\mathrm{Ek}}$ —— 地震作用效应和荷载效应标准组合下基桩的竖向力(kN)。

**表 5.3.2 单桩竖向抗压承载力抗震调整系数$\gamma_{\mathrm{RE}}$**

| 工程类型 | 作用工况 | $\gamma_{\mathrm{RE}}$ |
|---|---|---|
| 建筑工程 | 轴心竖向力作用下 | 1.25 |
| | 偏心竖向力作用下 | 1.5 |
| 市政<br>及公路工程 | E1 地震作用下（非液化土） | 1.25 |
| | E2 地震作用下（非液化土） | 2.0 |

**5.3.3** 桩端后注浆预制桩单桩竖向抗压承载力特征值$R_{\mathrm{a}}$应按下式确定：

$$R_{\mathrm{a}} = \frac{1}{K} Q_{\mathrm{uk}} \tag{5.3.3}$$

式中：$Q_{\mathrm{uk}}$ —— 单桩竖向抗压极限承载力标准值(kN)；

$K$ —— 安全系数，$K$=2.0。

**5.3.4** 桩端后注浆预制桩单桩竖向抗压极限承载力标准值应通过单桩竖向抗压静载荷试验确定（图 5.3.4），初步设计阶段可按下式估算：

$$\begin{aligned} Q_{\mathrm{uk}} &= Q_{\mathrm{sk}} + Q_{\mathrm{gsk}} + Q_{\mathrm{gpk}} \\ &= u \sum q_{sjk} l_j + u \sum \beta_{si} q_{sik} l_{gi} + \beta_{\mathrm{p}} q_{\mathrm{pk}} A_{\mathrm{p}} \end{aligned} \tag{5.3.4}$$

式中：$Q_{sk}$ —— 非竖向增强段的总极限侧阻力标准值(kN)；

$Q_{gsk}$ —— 后注浆竖向增强段的总极限侧阻力标准值(kN)；

$Q_{gpk}$ —— 后注浆总极限端阻力标准值(kN)；

$Q_{uk}$ —— 单桩竖向抗压极限承载力标准值(kN)；

$u$ —— 桩身周长(m)；

$l_j$ —— 非竖向增强段内第 $j$ 层土的厚度(m)；

$l_{gi}$ —— 后注浆竖向增强段内第 $i$ 层土的厚度(m)；竖向增强段为桩端以上 10m～12m；

$q_{sik}$、$q_{sjk}$、$q_{pk}$ —— 分别为后注浆竖向增强段内第 $i$ 层土的初始极限侧阻力标准值（kPa）、非竖向增强段内第 $j$ 层土的初始极限侧阻力标准值（kPa）、初始极限端阻力标准值（kPa）；按地勘资料中的预制桩参数取用；当采用引孔植入工艺时，引孔深度范围内土层的初始极限侧阻力标准值，按灌注桩参数取用；

$\beta_{si}$、$\beta_p$ —— 分别为后注浆侧阻力、端阻力增强系数，无当地经验时，可按表 5.3.4 取值；

$A_p$ —— 预制桩桩端面积（$m^2$）。

**表 5.3.4 后注浆侧阻力增强系数$\beta_{si}$、端阻力增强系数$\beta_p$**

| 土层名称 | 黏性土 | 粉土 | 粉砂 | 细砂 | 中砂 | 粗砂 | 角砾 | 碎石 | 全风化岩 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 粉质粘土 | | | | | 砾砂 | 圆砾 | 卵石 | 强风化岩 |
| $\beta_{si}$ | 1.3～1.4 | 1.4～1.5 | 1.5～1.6 | 1.6～1.7 | 1.7～1.9 | 1.8～2.0 | 1.6～1.8 | 1.8～2.0 | 1.2～1.4 |
| $\beta_p$ | 1.6～1.8 | 1.8～2.1 | 1.9～2.2 | 2.0～2.3 | 2.0～2.3 | 2.2～2.4 | 2.2～2.5 | 2.3～2.5 | 1.3～1.6 |

注：表中给出的数值参照《公路桥涵地基与基础设计规范》JGJ 3363 中表 6.3.4 后压浆侧阻力增强系数$\beta_{si}$、端阻力增强系数$\beta_p$取值。侧阻力增强系数$\beta_{si}$和端阻力增强系数$\beta_p$细粒土取低值，粗粒土取高值；经验不足时取低值。端阻力增强系数$\beta_p$对于长桩取高值，对于短桩取低值。

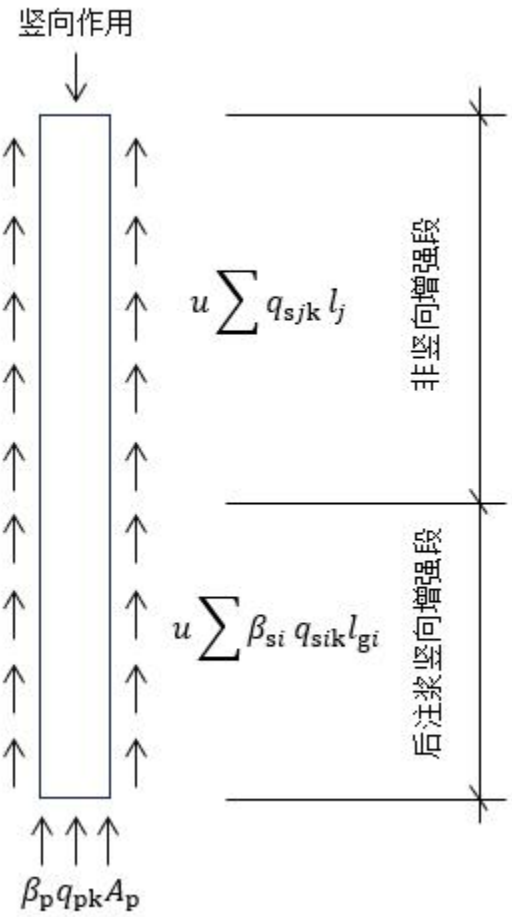



图 5.3.4　桩端后注浆预制桩受压时单桩承载力示意图

**5.3.5**　桩端后注浆预制桩抗压时，应对桩身截面强度进行验算。对于轴向受压的混凝土预制桩基础，不考虑压屈影响时，桩身混凝土强度应符合下式规定：

$$N \le \phi_c f_c A_{ps} \qquad (5.3.5)$$

式中：　$N$ —— 荷载效应基本组合下的桩顶轴向压力设计值(kN)；

$\phi_c$ —— 成桩工艺系数，可根据成桩工艺等情况在 0.75～0.85 范围内取值；

$f_c$ —— 桩身混凝土轴心抗压强度设计值(kN/mm$^2$)；

$A_{ps}$ —— 混凝土预制桩桩身横截面面积(mm$^2$)。

## 5.4 单桩抗拔承载力

**5.4.1** 桩端后注浆预制桩单桩抗拔承载力应通过单桩竖向抗拔静载荷试验确定外，初步设计阶段可按下式估算：

**1** 对单桩或群桩呈非整体破坏时，单桩的抗拔极限承载力标准值可按下式估算：

$$T_{\mathrm{uk}} = u\sum \lambda_j q_{sjk} l_j + u\sum \lambda_i \beta_{si} q_{sik} l_{gi} \qquad (5.4.1\text{-}1)$$

**2** 对群桩呈整体破坏时，单桩的抗拔极限承载力标准值可按下式估算：

$$T_{\mathrm{gk}} = \frac{1}{n} u_{\mathrm{l}} \sum \lambda_j \, q_{sjk} l_j + \frac{1}{n} u_{\mathrm{l}} \sum \lambda_i \, q_{sik} l_{gi} \qquad (5.4.1\text{-}2)$$

式中：$T_{\mathrm{uk}}$ —— 群桩呈非整体破坏时基桩的抗拔极限承载力标准值(kN)；

$T_{\mathrm{gk}}$ —— 群桩呈整体破坏时基桩的抗拔极限承载力标准值(kN)；

$\lambda_j$ —— 非竖向增强段内桩周第 *j* 层土的抗拔系数；当无地区地经验时，可按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定取值；

$\lambda_i$ —— 后注浆竖向增强段内桩周第 *i* 层土的抗拔系数；当无地区地经验时，可按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定取值；

n —— 群桩中的桩数；

$u_{\mathrm{l}}$ —— 群桩外围周长(m)。

**5.4.2** 桩端后注浆预制桩承受竖向上拔力作用时，应进行桩身承载力、接桩连接强度、桩顶填芯混凝土与承台连接处的强度验算。

## 5.5 沉降计算

**5.5.1** 采用桩端后注浆预制桩的桩基础最终沉降计算，宜按《建筑桩基技术规范》JGJ 94 进行。

**5.5.2** 采用桩端后注浆预制桩的桩基础最终沉降计算中，桩基沉降计算经验系数可根据桩端持力土层类别，乘以 0.7（砂、砾、卵石）～0.8（黏性土、粉土）折

减系数。

## 5.6 桩端后注浆技术参数

**5.6.1** 单桩桩端后注浆水泥用量应通过试桩确定，可根据桩径、桩长、桩端持力层渗透性以及单桩承载力增幅需求等，按下式估算：

$$G_c = \alpha_p d \tag{5.6.1}$$

式中：$G_c$ —— 单桩桩端注浆量，以水泥质量计（t）；

$\alpha_p$ —— 桩端注浆量经验系数（t/m），$\alpha_p$=2.5～3.5，对于长桩、承载力增幅要求高的桩、渗透系数不小于 $10^{-4}$cm/s 的桩端持力层及附近土层取较高值；

$d$ —— 基桩设计直径（m），对于预制方桩，则为基桩设计边长 b（m）。

**5.6.2** 水泥浆液的水胶比应根据桩端持力层及附近土层的渗透性选择，宜为 0.45～0.80，对于渗透系数不小于 $10^{-4}$cm/s 的土层宜取低值，其余土层宜取高值。

**5.6.3** 桩端后注浆以注浆量控制为主、压力控制为辅，完成设计注浆量可终止注浆；若注浆量达设计注浆量的 80%以上，且注浆压力值不小于 2.5MPa，并保持不少于 3min，可终止注浆。注浆过程中如果地面冒浆，应暂停注浆约 30min，然后降低注浆流量注浆，直至完成设计的注浆量。

# 6　施　工

## 6.1　一般规定

**6.1.1**　桩端后注浆预制桩施工前，应编制专项施工方案，专项施工方案应包括下列内容：

**1**　岩土工程勘察资料与设计要求；

**2**　工程场地及周边环境条件；

**3**　桩的场地布置、施工工艺及施工技术参数；

**4**　施工设备要求；

**5**　试成桩方案；

**6**　注浆要求；

**7**　施工质量检验要求；

**8**　工程监测要求；

**9**　应急预案等。

**6.1.2**　原材料、产品和设备进场时，应对其规格、型号、外观和质量证明文件进行检查。进场后，宜按国家有关标准的规定进行进场质量检验。

**6.1.3**　施工设备进场组装后应进行调试，并经检验合格方可允许使用。

**6.1.4**　注浆施工宜采用智能化机械设备，施工中应对水泥浆相对密度、注浆压力、注浆流量和注浆量等注浆技术参数进行全程监控；注浆施工技术参数应与试桩和设计要求一致。注浆施工宜按本规程附录 A 进行记录。

**6.1.5**　桩端后注浆预制桩施工前，应复核测量基准线、基准点，并应妥善保护。

**6.1.6**　正式施工前，应进行试成桩，试成桩数量不应少于 3 根。

**6.1.7**　桩端后注浆预制桩各工序的施工，应在前一道工序质量检查合格后进行。

## 6.2　成桩施工

**6.2.1** 静压成桩应按其工艺流程（图 6.2.1）进行。

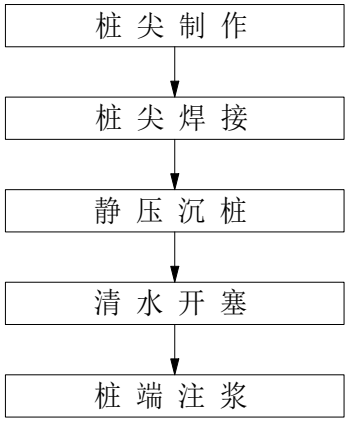



图 6.2.1 静压成桩施工工艺流程

**6.2.2** 静压成桩应符合下列规定：

**1** 压桩机的类型与配重选择应根据地质条件、桩间距、单桩竖向承载力及现场施工条件综合确定，设备最大压桩能力不宜小于设计的单桩竖向极限承载力标准值；

**2** 预制桩的起吊、搬运、堆放、压桩、接桩及截桩应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定；

**3** 首节预制桩起吊前，应将注浆管与桩尖可靠连接，并将桩尖与桩底端板焊接固定；桩顶应设置注浆管的固定支架，注浆管为钢丝编制胶管时，其顶端不得露出桩顶，注浆管为钢管时，其顶端宜露出桩顶不小于 100mm；

**4** 非首节预制桩起吊前，桩顶应设置注浆管的固定支架和防脱落装置，注浆管底端不得露出桩底；

**5** 焊接接桩的焊接质量和电焊结束后的自然冷却时间，应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202 的有关规定；

**6** 采用机械接头连接时，应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工规范》GB 51004 的有关规定；

**7** 压桩机应配备专用送桩器，送桩器横截面外形轮廓宜与所压预制桩一致；

**8** 压桩完成后，注浆管应延伸出地面，并采取措施保护注浆管及其接头。

**6.2.3** 锤击成桩应按其工艺流程（图 6.2.3）进行。

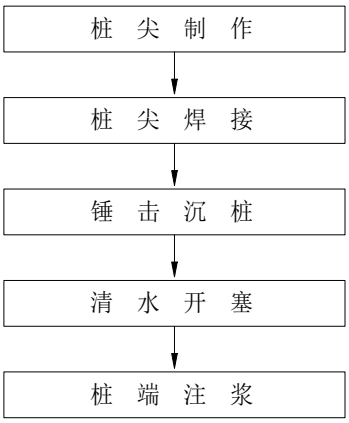



图 6.2.3 锤击成桩施工工艺流程

**6.2.4** 锤击成桩应符合下列规定：

**1** 打桩机的类型与桩锤的选择应根据地质条件、桩型、桩间距、单桩竖向承载力及现场施工条件综合确定；

**2** 预制桩的起吊、搬运、堆放、压桩、接桩及截桩应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定；

**3** 首节预制桩起吊前，应将注浆管与桩尖可靠连接，并将桩尖与桩底端板焊接固定；桩顶应设置注浆管的固定支架，注浆管应为钢丝编制胶管，其顶端不得露出桩顶；

**4** 首节预制桩插桩时，桩顶应设置防倒桩装置；

**5** 非首节预制桩起吊前，桩顶应设置注浆管的固定支架和防脱落装置，注浆管顶端不得露出桩顶，其底端不得露出桩底；

**6** 送桩器应与预制桩匹配，宜采用中空式套筒送桩器，套筒送桩器下端的套筒深度宜取 250 mm～350mm，套筒的内径宜比预制桩的外径大 20 mm～30mm；

**7** 送桩完成后，注浆管应延伸出地面，并采取措施保护注浆管及其接头；

**8** 施工现场应配备桩身垂直度观测仪器和观测人员，随时量测并校正桩身垂直度。

**6.2.5** 搅拌植入成桩应按其工艺流程（图 6.2.5）进行。

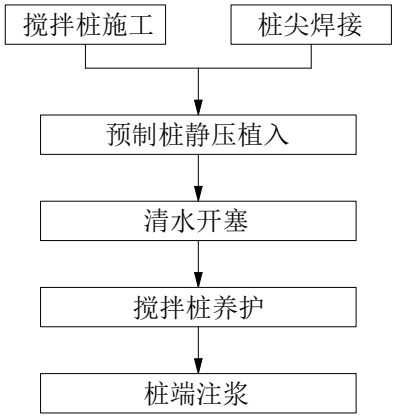



图 6.2.5 搅拌植入成桩施工工艺流程

**6.2.6** 搅拌植入成桩应符合下列规定：

**1** 应按照设计要求先进行水泥土搅拌桩施工，然后植入预制桩至设计桩端标高；

**2** 搅拌桩桩位偏差不得大于 100mm，垂直度偏差不得大于 1%，桩径不得有负偏差；

**3** 搅拌桩施工结束后宜在 6h 内植入预制桩，静压植入施工应符合本规程第 6.2.2 条的规定。

**6.2.7** 引孔植入成桩应按其工艺流程（图 6.2.7）进行。

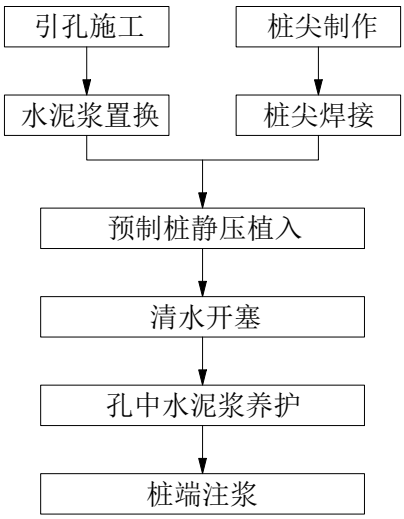



图 6.2.7 引孔植入成桩施工工艺流程

**6.2.8** 引孔植入成桩应符合下列规定：

**1** 引孔植入施工应按照设计要求采用钻机成孔，然后注入水泥浆，最后植入预制桩至设计桩端标高；

**2** 引孔可采用回转钻机、长螺旋钻机、旋挖钻机等施工设备，引孔机具及施工工艺的选择应根据地质条件、引孔直径、引孔深度及试成孔情况等因素综合确定；

**3** 当场地周边环境保护要求严格、引孔植入的桩端后注浆预制桩作为非挤土桩时，引孔钻机的钻头直径应不小于预制桩的桩身外径。

**4** 引孔孔位偏差不得大于 100mm，垂直度偏差不得大于 1%，孔径不得有负偏差；

**5** 引孔完成后应尽快将注浆管插入桩孔底部进行注浆，水泥浆的水胶比宜为 0.5～0.7，水泥浆用量不应少于有效桩长范围引孔体积的 20%；

**6** 宜在水泥浆注入结束后 6h 内植入预制桩，静压植入施工应符合本规程第 6.2.2 条的规定。

## 6.3 桩端后注浆

**6.3.1** 注浆桩尖的加工制作应符合下列规定：

**1** 注浆桩尖构宜采用定制化产品，应具有可靠的注浆、逆止功能及设计要求的强度；

**2** 注浆桩尖宜采用十字型钢桩尖；

**3** 注浆器宜为定制化产品，应有单向注浆阀结构，内置于保护钢管内，注浆器与保护钢管之间的空腔应填充松散碎石，碎石填充量宜为空腔体积的 4/5；

**4** 保护钢管周侧四面应对称开设出浆孔，总数不应少于 16 个，出浆孔直径宜为 8mm；

**5** 注浆器应穿过注浆桩尖的底板并与其焊接；

**6** 注浆桩尖制作的焊接质量应符合现行行业标准《钢结构焊接规范》GB 50661 的有关规定。

**6.3.2** 注浆桩尖的安装应符合下列规定：

**1** 注浆桩尖宜在预制桩吊装前与预制桩的端板焊接完成；

**2** 注浆桩尖安装前应通清水检验；

**3** 桩尖安装顺序：桩尖与首节预制桩的注浆管连接→桩尖与预制桩的端板中心对齐并点焊固定→桩尖与预制桩的端板满焊。

**6.3.3** 注浆管的安装应符合下列规定：

**1** 注浆管宜采用钢丝编织胶管，额定工作压不小于 10.0MPa；也可选用普通焊接钢管，内径 25mm，壁厚不应小于 3.2mm；但送桩段范围内的注浆管宜选用钢丝编织胶管；采用锤击成桩时，注浆管应选用钢丝编织胶管；

**2** 注浆管为钢丝编织胶管时，应使用专用 C 型接头连接；注浆管为钢管时，宜采用直螺纹钢套筒连接，钢套筒长度不应小于 40mm，连接前钢管丝扣应缠绕生胶带，连接时钢管丝扣拧入钢套筒每端的长度为 20mm；

**3** 注浆管应根据每节预制桩的长度进行配置；采用钢丝编织胶管时，首节桩和中间节桩的注浆管长度，均为相应的桩长＋500m；采用钢管时，首节桩的注浆管长度，为相应的桩长＋至少 100m，中间节桩的注浆管长度，宜与相应的桩长相等；若设计桩顶标高高于地面，则末节桩的注浆管长度，宜与相应的桩长相等；若设计桩顶标高位于地面以下，则末节桩的注浆管应配至地面以上；

**4** 预制桩起吊前应将注浆管提前布置于预制桩空腔内，并应在预制桩上口设置注浆管固定支架，注浆管底端不得露出预制桩底面；

**5** 接桩时先连接注浆管，然后接桩。

**6.3.4** 开塞应符合下列规定：

**1** 预制桩沉桩到位后 24h 内应完成开塞；

**2** 开塞宜选用清水；

**3** 开塞应采用高压力、大流量，流量不宜小于 100L/min；

**4** 开塞成功后，应立即停止注水；

**5** 开塞压力应填入施工记录表。

**6.3.5** 浆液制备应符合下列规定：

**1** 浆液制备应采用专用装置，且浆液的各组分原材料应精确计量；

**2** 浆液应充分搅拌，吸浆龙头应加装 30 目过滤网。

**6.3.6** 注浆应符合下列规定：

**1** 采用静压成桩工艺时，可在开塞后立即注浆；

**2** 采用搅拌植入或引孔植入工艺时，应在成桩 3d～7d 后进行注浆；

**3** 每根桩的注浆量等参数应独立计量；

**4** 注浆应以注浆量控制为主、注浆压力控制为辅；

**5** 注浆应采用低压、小流量压注，注浆压力不应超过 5.0MPa，流量不宜大于 50L/min；如注浆压力小于 0.5MPa，应调低水胶比；

**6** 地面出现冒浆时，应暂停注浆约 30min，然后调低注浆流量后继续注浆，直至完成设计的注浆量；

**7** 注浆过程中的注浆压力、注浆量及异常情况应记录并填入施工记录表。

# 7　质量检验

## 7.1　一般规定

**7.1.1**　桩端后注浆预制桩工程质量检验应包括施工前检验、施工中检验和验收检验。

**7.1.2**　桩端后注浆预制桩施工前，应对注浆桩尖、注浆管、水泥、预制桩等原材料、成品、半成品和施工设备进行质量检验。

**7.1.3**　桩端后注浆预制桩施工中，应对桩位、桩长、桩垂直度、预制桩连接、注浆管连接、水泥浆的水胶比、注浆量等进行质量检验。

**7.1.4**　桩端后注浆预制桩检验批质量验收检验，宜按本规程附录 B 进行记录。

## 7.2　施工前检验

**7.2.1**　桩端后注浆预制桩施工前，应对桩位进行检验。

**7.2.2**　注浆桩尖进场除应对其质量证明文件进行检查外，尚应对其外观质量、尺寸及构造进行检验，桩尖应按不低于总量的 1%且不少于 3 个进行通水检验。

**7.2.3**　水泥进场应检查其质量证明文件，并宜对其进行进场质量复检。

**7.2.4**　预应力混凝土管桩进场除应对其质量证明文件进行检查外，尚应对桩的外观质量、尺寸等进行检查。

**7.2.5**　应对焊条、注浆管、注浆管接头、压力表等材料和仪表进行检查或校准。

## 7.3　施工中检验

**7.3.1**　施工过程中应检查下列内容：

**1**　注浆管最底部与注浆桩尖的连接质量、注浆管各节之间的连接质量、以及注浆管最顶部的接头质量；

**2**　注浆桩尖与预制桩端板的焊接质量；

**3**　接桩质量、接桩后间歇时间及桩身完整状况；

**4** 成桩深度、静压终止压力值及桩身（架）垂直度；

**5** 水泥土搅拌桩的桩位、桩径、垂直度、深度、水泥土试块强度；

**6** 引孔的孔位、孔径、垂直度、深度、置换用水泥土试块强度；

**7** 开塞压力、注浆量、注浆压力及水胶比。

**7.3.2** 施工过程中应进行桩顶和地面土体的竖向和水平位移观测，若发现异常，应调整沉桩速率或采取复压等措施。

## 7.4 验收检验

**7.4.1** 工程桩施工完成后，应对其成桩桩位和桩顶标高偏差进行检测。

**7.4.2** 工程桩应进行承载力和桩身完整性检验，并应符合国家现行标准《建筑地基基础工程质量验收标准》GB 50202、《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106、《公路工程基桩检测技术规程》JTG/T 3512、《铁路工程基桩检测技术规程》TB 10218的有关规定。

**7.4.3** 工程桩承载力检验宜在注浆完成28d后进行。

**7.4.4** 桩端后注浆预制桩的质量验收检验标准，除应符合现行国家和行业的有关标准外，其注浆质量验收检验标准应符合表7.4.4的规定。

**表7.4.4 桩端后注浆质量验收检验标准**

| 项 | 序 | 检查项目 | | 允许值或允许偏差 | | 检查方法 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 单位 | 数值 | |
| 一般项目 | 1 | 注浆桩尖完整性 | | 外观完好 | | |
| | 2 | 注浆桩尖与预制桩端板焊接 | 上、下端部错口 | mm | ≤3 | 用钢尺量 |
| | | | 焊缝咬边深度 | mm | ≤0.5 | 焊缝检查仪 |
| | | | 焊缝加强层高度 | mm | ≤2 | 焊缝检查仪 |
| | | | 焊缝加强层宽度 | mm | ≤3 | 焊缝检查仪 |
| | | | 外观质量 | 无气泡、无焊瘤、无裂缝 | | |
| | 3 | 注浆管最底部与注浆桩尖的连接质量、注浆管各节之间的连接质量、以及注浆管最顶部的接头完整性 | | 外观完好 | | 观察 |
| | 4 | 注浆终止条件 | | 注浆量不少于设计要求 | | 查看流量表 |
| | | | | 注浆量不少于设计要求的80%，且注浆压力不小于2.5MPa，并保持不少于3min | | 查看流量表，检查压力表读数，查看秒表 |
| | 5 | 水泥浆水胶比 | | 设计要求 | | 实际用水量与水泥的重量比 |
| | 6 | 水泥浆试块强度 | | ≥20MPa | | 28d试块强度 |

# 附录 A 桩端后注浆施工记录表

**表 A 桩端后注浆施工记录表**

工程名称：_____ 施工单位：_____ 建设单位：_____ 总包单位：_____ 第　　页

建设单位代表：　　监理：　　施工方工程负责人：　　施工方技术负责人：　　记录员：　　年　月　日

| 桩号 | 桩型 | 实际桩长（m） | 设计注浆量（t） | 开塞压力（MPa） | 注浆压力（MPa） | 实际注浆量（t） | 注浆耗时（min） | 有无异常 | 备注 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

# 附录 B 预制桩桩端后注浆检验批质量验收记录表

**表 B 预制桩桩端后注浆检验批质量验收记录表**

<table>
<tr><td colspan="3">单位工程名称</td><td></td><td colspan="2">分部工程名称</td><td></td><td colspan="2">分项工程名称</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="3">施工单位</td><td></td><td colspan="2">项目负责人</td><td></td><td colspan="2">检验批容量</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="3">分包单位</td><td></td><td colspan="2">分包单位<br>项目负责人</td><td></td><td colspan="2">检验批部位</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="3">施工依据</td><td colspan="3"></td><td colspan="2">验收依据</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="4" rowspan="2">验收项目</td><td colspan="3">设计要求及规范规定</td><td rowspan="2">最小/实际抽检数量</td><td rowspan="2">检查记录</td><td rowspan="2">检查结果</td></tr>
<tr><td>单位</td><td>数值</td></tr>
<tr><td rowspan="13">主控项目</td><td rowspan="3">1</td><td rowspan="3">原材料</td><td>注浆桩尖</td><td colspan="2" rowspan="3">合格</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>注浆管</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>水泥</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>2</td><td colspan="3">桩身完整性</td><td colspan="2">按基桩检测技术规范</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>3</td><td colspan="3">桩位偏差</td><td>mm</td><td>符合有关标准要求</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>4</td><td colspan="3">承载力</td><td colspan="2">按基桩检测技术规范</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="13">一般项目</td><td rowspan="4">1</td><td rowspan="4">水泥土搅拌桩</td><td>水泥土试块强度</td><td>MPa</td><td>≥0.8</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>桩位偏差</td><td>mm</td><td>≤100</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>桩径偏差</td><td colspan="2">≥0</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>垂直度偏差</td><td colspan="2">≤1%</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="4">2</td><td rowspan="4">引孔</td><td>置换用水泥浆试块强度</td><td>MPa</td><td>≥20</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>桩位偏差</td><td>mm</td><td>≤100</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>桩径偏差</td><td colspan="2">≥0</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>垂直度偏差</td><td colspan="2">≤1%</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>3</td><td colspan="3">预制桩外观质量、尺寸偏差</td><td colspan="2">符合相关标准要求</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>4</td><td colspan="3">终压标准</td><td>设计要求</td><td>现场记录或查施工记录</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>5</td><td colspan="3">桩顶标高</td><td>mm</td><td>±50</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>6</td><td colspan="3">注浆桩尖外观质量</td><td>设计要求</td><td>现场记录或查施工记录</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">7</td><td rowspan="2">接桩</td><td>上、下端部错口（桩外径≥700mm）</td><td>mm</td><td>≤3</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>上、下端部错口（桩外径<700mm）</td><td>mm</td><td>≤2</td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

**续表 B**

| 验收项目 | | | | 设计要求及规范规定 | | 最小/实际抽检数量 | 检查记录 | 检查结果 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 节点弯曲矢高 | mm | 同桩体弯曲要求 | | | |
| | | | 焊缝咬边深度 | mm | ≤0.5 | | | |
| | | | 焊缝加强层高度 | mm | ≤2 | | | |
| | | | 焊缝加强层宽度 | mm | ≤3 | | | |
| | | | 外观质量 | 无气泡、无焊瘤、无裂缝 | | | | |
| | | | 焊接后停歇时间 | min | 6（3*） | | | |
| | | 机械连接 | 连接外观质量 | 符合有关标准要求 | | | | |
| | | | 其他技术要求 | | | | | |
| | 8 | 桩垂直度偏差 | | ＜1% | | | | |
| | 9 | 桩顶标高 | | mm | ±50 | | | |
| | 10 | 注浆终止条件 | | 注浆量不少于设计要求 | | | | |
| | | | | 注浆量不少于设计要求的 80%，且注浆压力不小于 2.5MPa，并保持不少于 3min | | | | |
| | 11 | 水泥浆水胶比 | | 符合设计要求 | | | | |
| | 12 | 水泥浆试块强度 | | ≥20MPa | | | | |
| 施工单位检查结果 | | | | 项目专业<br>质量检查员：　　（技术）负责人：<br>年　月　日 | | | | |
| 监理单位验收结论 | | | | 专业监理工程师：<br>年　月　日 | | | | |

# 用词说明

为便于在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”；

2　表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”；反面词采用“不应”或“不得”；

3　表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”或“可”；反面词采用“不宜”；

4　表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

# 引用标准名录

本规程引用下列标准。其中，注日期的，仅对该日期对应的版本适用本规程；不注日期的，其最新版本适用本规程。

《建筑地基基础设计规范》GB 50007
《建筑抗震设计规范》（2024 年版）GB 50011
《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202
《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300
《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476
《钢结构焊接规范》GB 50661
《建筑地基基础工程施工规范》GB 51004
《建筑与市政工程抗震通用规范》GB 55002
《建筑与市政地基基础通用规范》GB 55003
《通用硅酸盐水泥》GB 175
《碳素结构钢》GB/T 700
《抗硫酸盐硅酸盐水泥》GB 748
《先张法预应力混凝土管桩》GB 13476
《城市桥梁工程施工与质量验收规范》CJJ 2
《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166
《建筑地基处理技术规范》JGJ 79
《建筑桩基技术规范》JGJ 94
《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106
《型钢水泥搅拌墙技术规程》JGJ/T 199
《静压桩施工技术规程》JGJ／T 394
《预应力混凝土异型预制桩技术规程》JGJ/T 405
《预应力混凝土管桩技术标准》JGJ/T 406
《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG 3363-2019
《公路桥梁设计通用规范》JTG D60
《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01
《公路工程基桩检测技术规程》JTG/T 3512
《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650

中国工程建设标准化协会标准

# 预制桩桩端后注浆技术规程

T/CECS ×××－202×

条　文　说　明

# 制定说明

《预制桩桩端后注浆技术规程》制定过程中，编制组进行了桩基注浆设计、施工、检测与监测的调查研究，总结了我国桩基注浆的实践经验，同时参考了国内外先进技术法规、技术标准，通过大量工程实践取得了预制桩桩端后注浆的设计、施工和检测成果。

采用桩端后注浆的预制桩具有施工工艺简单、施工设备简易、土层适应性强、施工质量可靠、施工工效高和施工成本低等优点，是一种承载性能好、材料利用率高的桩型，符合资源节约型的社会建设需要，在基础工程和地下工程中具有良好的应用前景。规程适用于各类建设工程、各种不同地层的预制桩桩端后注浆的设计、施工、检验与验收。

为便于广大技术和管理人员在使用本规程时能正确理解和实施条款规定，《预制桩桩端后注浆技术规程》编制组按章、节、条顺序编制了《预制桩桩端后注浆技术规程》的条文说明，对条款规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项等进行了说明。本条文说明不具备与规程正文及附录同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规程规定的参考。

# 目　次

2　术语和符号.....34
2.1　术　语.....34
3　基本规定.....35
4　材料与设备.....36
4.1　材　料.....36
4.2　设　备.....36
5　设　计.....37
5.1　一般规定.....37
5.2　基桩构造.....37
5.3　单桩抗压承载力.....38
5.4　单桩抗拔承载力.....40
5.5　沉降计算.....40
5.6　桩端后注浆技术参数.....40
6　施　工.....42
6.1　一般规定.....42
6.2　成桩施工.....42
6.3　桩端后注浆.....45
7　质量检验.....50
7.2　施工前检验.....50
7.3　施工中检验.....50

# 2 术语和符号

## 2.1 术　语

**2.1.1**　本条所述桩端后注浆预制桩为采用预置注浆桩尖于预制桩桩端，加固桩端附近土层而成的预制桩。目前，有同行正在研究通过引孔后置或静压后置注浆装置于预制桩桩端，以加固预制桩桩端附近土层，形成桩端后注浆预制桩，但是研究成果还不多，工程应用比较少，因此未将后置注浆装置技术纳入本规程。待后置注浆装置技术成熟后，其设计、施工、检验和验收可参照本规程。

**2.1.3、2.1.4**　这两条所述的植入均包括采用静压植入。

# 3 基本规定

**3.0.1** 桩端后注浆预制桩主要适用于抗压，此时注浆的作用，即对桩端阻力的提高和对桩侧阻力的提高，均得到利用。桩端后注浆预制桩也可用于抗拔，此时注浆作用的一部分，即对桩侧阻力的提高，得到利用。斜向抗压和抗拔的承载力计算可参考有关标准的规定。根据技术特点和工程经验，桩端后注浆预制桩目前适用于建筑与市政、公路、铁路、机场、港口、水利、电力、石化工程，其他行业也可参考使用，但尚应符合现行国家、行业和地方有关标准的规定。

**3.0.3** 粉性土或砂土层力学性质好、渗透性强、注浆加固效果好，因此桩端后注浆预制桩特别适用于粉性土层或砂土层作持力层的场地。

# 4 材料与设备

## 4.1 材　料

**4.1.3** 注浆器的逆止功能，是指水或水泥浆仅能从注浆器向外流，不能倒流。

## 4.2 设　备

**4.2.3** 注浆泵市场上有很多，一般的高压注浆泵均可使用。本工艺中清水开塞时压力相对较大，正常注浆时压力相对较小。根据目前多个试桩和工程应用项目经验，开塞压力大部分为 6.0MPa～9.0MPa，注浆压力一般为 1.0MPa～3.0MPa，因此注浆泵应选择高压泵，工作压力不应小于 30.0MPa。为了实现更好的注浆效果，注浆时应采用低压力、小流量，从而切实实现渗透性注浆。注浆流量应控制在 50L/min 以下，因此注浆泵最小流量不应大于 50L/min。

# 5 设　计

## 5.1 一般规定

**5.1.5**　桩端后注浆预制桩基桩之间的中心距，可参考现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94或《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG 3363静压沉桩预制桩的有关规定，其中的桩径或边长是指预制桩的桩身直径或边长。

**5.1.8**　桩端后注浆有利于提高基桩的水平承载力。因有关研究尚不充分，本规程不考虑后注浆对基桩水平承载力的有利影响。

**5.1.9**　桩端后注浆有利于减小基桩的沉降，因为通过桩端注浆可以消除浮桩间隙、加固桩端附近土层。

## 5.2 基桩构造

**5.2.1**　桩端后注浆预制桩的桩身常采用预应力混凝土管桩、预应力混凝土异型管桩，也可采用预制混凝土方桩和钢管桩等。桩身质量需要满足有关标准的规定。

**5.2.2**　接头质量受现场施工环境、施工工人技术等影响较大。接头数量较多时，施工质量更不易控制；且接头超过 3 个时，通常桩长超过 60m，沉桩过程中桩的垂直度控制更难，接桩的施工误差可能会造成桩身在竖向力作用下偏心受压或弯曲破坏。因此，规定一根桩的接头数量不宜超过 3 个。

**5.2.4**　采用搅拌植入，目的是控制压桩时产生的挤土效应。水泥土搅拌桩的直径稍大于预制桩桩身外径即可，不需要靠扩大的水泥土搅拌桩直径提高桩的承载力。搅拌桩桩底应高于预制桩桩端至少 3 倍桩径或边长，即桩端应进入原状土 3 倍以上桩径或边长，一是避免持力层被扰动，保障持力层的承载力；二是避免注浆桩尖处于水泥土中，避免其出浆孔被水泥土堵塞；三是确保注浆时水泥浆受到原状土约束而渗入桩端附近土层，从而确保注浆加固效果。搅拌桩的水泥掺量和水胶比，可根据预制桩埋深情况分段设置，浅部水泥掺量宜取低值，

水胶比取高值；深部水泥掺量可取高值，水胶比取低值。

**5.2.5** 当场地周边环境保护要求一般、碰到硬土层需要引孔时，引孔直径小的话，可能会出现沉桩困难、甚至吊脚桩情况。引孔直径与预制桩桩身外径相同时，就不会出现沉桩困难；由于后续用水泥浆置换孔中泥浆、沉桩后注浆，不会造成承载力降低。引孔孔底应高于预制桩桩端至少 1.5 倍桩径或边长，即桩端应进入原状土 1.5 倍以上桩径或边长，一是避免持力层被扰动，保障持力层的承载力；二是避免注浆桩尖处于水泥浆中，避免其出浆孔被水泥浆堵塞；三是确保注浆时所注的水泥浆受到原状土约束而渗入桩端附近土层，从而确保注浆加固效果。

**5.2.6** 当场地周边环境保护要求严格时，引孔是为了控制施工过程中的挤土效应，所以引孔的直径尽量大、引孔的深度尽量接近桩端；但同时为了保障承载力，规定引孔孔底高于预制桩桩端（参见 5.2.5 条文说明）。

**5.2.7** 桩端后注浆成败关键在于具有注浆功能的注浆桩尖。注浆桩尖必须具备可靠的逆止功能，防止返浆和出浆孔被堵塞；必须具备很强的穿透能力，能够穿越坚硬土层；必须具有一定的强度，防止注浆器被土体损坏，因此采用钢管保护注浆器。

## 5.3 单桩抗压承载力

**5.3.1、5.3.2** 对于建筑工程，单桩竖向承载力调整系数$\gamma_{\mathrm{R}}$和单桩竖向承载力抗震调整系数$\gamma_{\mathrm{RE}}$，与《建筑桩基技术规范》JGJ 94 相应系数保持一致；对于市政及公路桥梁，$\gamma_{\mathrm{R}}$和$\gamma_{\mathrm{RE}}$参照现行行业标准《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG 3363、《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 和《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231-01 执行。当地基内有液化土层时，抗震验算时液化土层的承载力应按照相应规范进行折减。

**5.3.3** 桩端后注浆预制桩作为新技术，目前工程经验较少，根据目前静载荷试验结果，偏于安全考虑，安全系数 $K$ 取 2.0。

**5.3.4** 尽管成桩工艺有四种，但承载力的保障都是靠静压和桩端后注浆，与水泥土搅拌桩或引孔关系不大，所以承载力的计算均按本条要求进行。

桩端后注浆预制桩单桩竖向极限承载力计算公式，参照了现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 中后注浆灌注桩的单桩竖向极限承载力计算公式。

桩端后注浆浆液通过渗透（粗粒土）和劈裂（细粒土）形式，在桩端附近一定范围土体中扩散，从而起到加固作用。试验表明，浆液循桩侧向上扩散10m～12m 的高度，对桩侧阻力起增强作用。这说明桩端注浆既增强端阻力，又增强桩端以上一定范围的侧阻力。该现象均已通过开挖观察和桩身轴力测试得到证实。

本规程编制过程中，收集上海、肇庆、珠海、昆山、无锡、杭州、太原等城市桩端后注浆预制桩静载荷试桩资料 46 份。根据本规程第 5.3.4 条的计算公式求得$Q_{\mathrm{uk}}$，其中$q_{\mathrm{sk}}$、$q_{\mathrm{pk}}$取勘察报告提供的经验值；增强系数$\beta_{si}$、$\beta_{\mathrm{p}}$取本规范表 5.3.4 所列平均值，实测值$R_{\mathrm{a}\,实}$与计算值$R_{\mathrm{a}\,计}$散点图如图 1 所示。由图 1 可知，实测值基本位于 45°线及 45°线以上，即均高于或接近于计算值，表明桩端后注浆预制桩单桩竖向抗压极限承载力标准值，按本规程第 5.3.4 条计算的可靠性较高；个别实测值低于计算值，是因为静载检测时未加载至破坏。由于试桩试验样本数量较少，单桩竖向抗压极限承载力标准值应通过单桩静载荷试验确定。

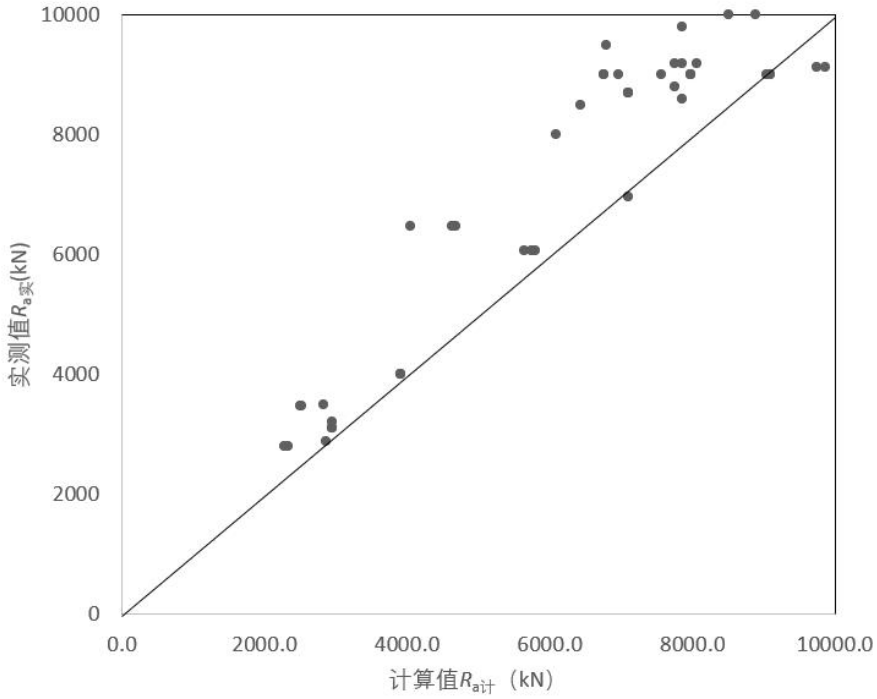



图 1 桩端后注浆预制桩单桩竖向抗压极限承载力实测值$R_{a\,实}$与计算值$R_{a\,计}$关系

**5.3.5** 桩端后注浆预制桩桩身受压强度验算时，需要对桩身强度进行成桩工艺系数修正。桩身混凝土强度验算参照现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94。

## 5.4 单桩抗拔承载力

**5.4.1** 群桩呈整体破坏时，单桩的抗拔承载力估算不考虑后注浆的增强效果。

## 5.5 沉降计算

**5.5.2** 预制桩桩端后注浆技术改善了桩端土的力学性质，有利于桩基沉降控制。在上海徐汇区黄浦江南延伸段 WS3 单元 xh130F 街坊项目中，采用预制桩桩端后注浆工艺的两栋单体，F03 塔楼计算沉降最大值 47.6mm，实测沉降最大值 18.5mm；F06 塔楼计算沉降 41mm，实测沉降 20.3mm；实测值约为计算值得 0.39～0.50 倍。考虑到预制桩桩端后注浆工艺沉降实测案例较少，本条桩基沉降计算经验系数参照《建筑桩基技术规范》中第 5.5.11 条采用后注浆施工工

艺的灌注桩进行取值。

## 5.6 桩端后注浆技术参数

**5.6.1** 单桩桩端后注浆量与桩长、桩径、桩端持力层渗透性和承载力增幅需求密切相关，可按公式（5.6.1）估算。桩长和桩径大、桩端附近土层渗透性强和承载力增幅需求高时，注浆量宜取高值。

**5.6.2** 渗透注浆是加固土层最有效的方法，因此桩端后注浆时应通过选择合适的水泥浆液水胶比，实现桩端渗透注浆。渗透系数不小于 $10^{-4}$cm/s 土层为渗透性中等和强的土层，水泥浆液水胶比过大，水泥浆扩散范围太大，影响注浆效果；对于其他土层，水泥浆液水胶比过小，难以实现渗透注浆。因此应根据桩端持力层及附近土层的渗透性选择合适的水泥浆液水胶比，可根据注浆影响深度范围内的不同土层渗透性，插值取水泥浆液水胶比。

**5.6.3** 注浆量是保证注浆加固效果的重要指标，桩端后注浆一定要保证设计注浆量；考虑土层的复杂性，当注浆量难以达到设计注浆量时，提出注浆量和压力控制值。注浆过程中如果地面冒浆，应暂停注浆约 30min，待水泥浆消散再注浆，同时控制注浆压力和注浆流量，直至完成设计的注浆量。

# 6 施　工

## 6.1 一般规定

**6.1.1**　应采取措施控制振动、噪声、扬尘、废水、废弃物以及有毒有害物质对工程场地、周边环境和人身健康的危害。静压成桩或锤击成桩过程可能会产生挤土效应，应根据地质情况、周边环境情况、成桩工艺等综合判断，必要时采取缓解挤土效应的措施，并对周边环境进行监测。

**6.1.4**　宜采用数字化、可视化、自动化机械设备对重要的施工过程进行实时监控，监控数据不可篡改、多方共享、可追溯，以便达到更好施工质量。

**6.1.6**　试成桩数量视地质情况复杂程度宜为 1 根～3 根。试成桩时重点关注注浆过程，提前检验整个注浆通道中接头的密封性。

## 6.2 成桩施工

**6.2.2**　首节桩桩顶设置注浆管固定支架（如图 6），是为了防止注浆管在吊运过程中滑落，或晃动过大造成注浆管与桩尖连接部位断裂。

（a）固定方式

之一

（b）固定方式之二

（c）固定方式之三

图 6 在首节桩桩顶设置注浆管固定支架

非首节桩桩顶设置注浆固定支架（如图 7），可以防止预制桩起吊后注浆管滑落。

图 7 在非首节桩桩顶设置注浆管固定支架

注浆管不露出预制桩底端（如图 8），是为了避免注浆管弯折破损（如图 9）。

图 8 注浆管不露出预制桩底端

图 9 注浆管外露时易弯折破损

送桩器宜做成中空式，便于注浆管穿越并延伸至地面。

**6.2.6** 水泥土搅拌桩施工是为了降低预制桩沉桩的挤土效应，其桩径略大于预制桩的桩径即可，避免影响桩的承载力。

搅拌桩的垂直度会影响预制桩植入及其承载力，应严格控制。

**6.2.8** 当引孔植入的桩端后注浆预制桩作为非挤土桩时，引孔钻机的钻头直径应不小于预制桩的桩身外径，是为了确保所形成的孔径不小于预制桩的桩身外径。

引孔的垂直度会影响预制桩植入及其承载力，应严格控制。

注浆管插入孔底置换，是为了确保孔底泥浆置换充分。

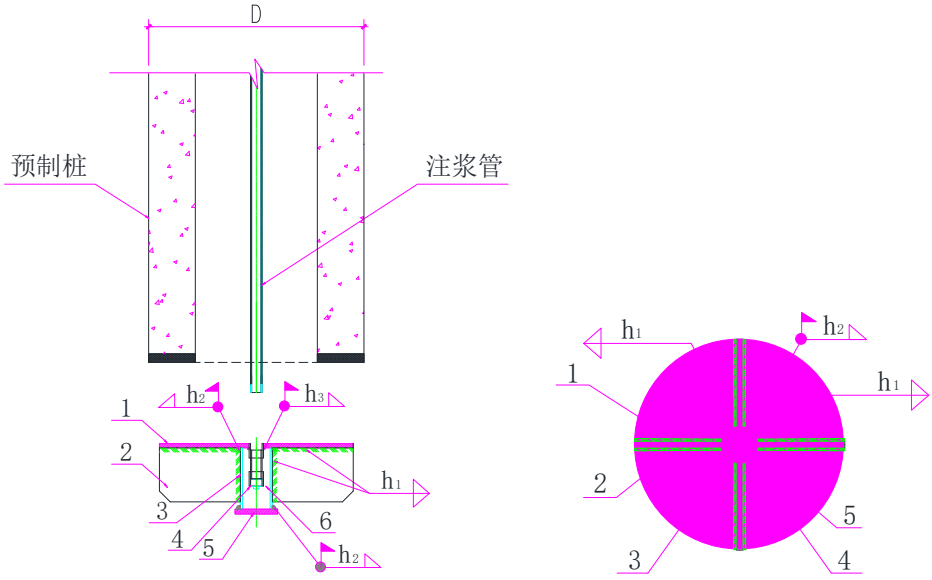
## 6.3 桩端后注浆

**6.3.1** 注浆桩尖加工制作要点如下：

**1** 注浆桩尖为一种定制化产品，已获国家专利授权。

**2** 注浆桩尖为十字型钢桩尖，但在其基础上增加了注浆器、保护钢管及保护钢管封头板，从而集穿越土层、注浆、逆止等多种功能于一体。注浆桩尖结构巧

妙、操作方便、成本低廉，使得预制桩桩端后注浆应用成为可能。注浆桩尖构造示意图详见图 10。




（a）注浆桩尖侧视图　　（b）注浆桩尖底视图

图 10 注浆桩尖构造示意图

1—桩尖底板；2—桩尖筋板；3—保护钢管（开出浆孔）；4—注浆器；5—保护钢管封头板；6—填充碎石

**3** 注浆器是一种气门芯式的定制化产品。注浆器本体由普通焊接钢管（俗称黑铁管）制成，上下端均连接一个直螺纹钢套筒；中段呈梅花状开设直径 8mm 的出浆孔，外包硬橡胶管；下端的直螺纹套筒拧入一个封堵头。注浆器构造示意图详见图 11。

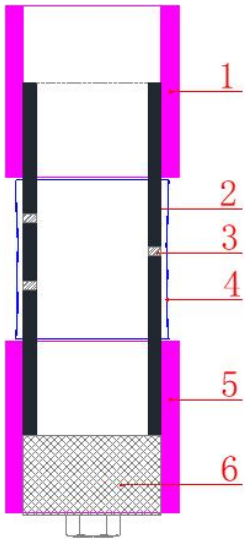



图 11 注浆器构造示意图

1—上端直螺纹钢套筒；2—注浆器本体钢管；3—本体钢管上开设的出浆孔；4—中段硬橡胶管；5—下端直螺纹钢套管；6—注浆器下端堵头

出浆孔的面积总和不应小于注浆器本体钢管的截面积。硬橡胶管可以承受1.0MPa水压力。注浆时，在注浆压力作用下，橡胶管被撑开，浆液流出。注浆停止后，橡胶管在自身弹性和外围水土压力作用下，收缩紧贴在注浆器本体钢管表面，从而阻止了浆液倒流。

**4** 保护钢管内置注浆器，保护钢管外侧与桩尖筋板焊接，顶端与桩尖底板焊接；保护钢管被筋板分隔为4个侧面，每个侧面开设1列不少于4个出浆孔，孔径宜为8mm，出浆孔中心间距约为30mm。

**5** 注浆桩尖的组装流程如下：

1) 注浆器上端的直螺纹套筒装入桩尖底板的中心孔中，先点焊固定直螺纹套筒，然后取下注浆器的其余部分，最后将直螺纹套筒与桩尖底板焊接连接；
2) 保护钢管与桩尖底板焊接连接；
3) 筋板与保护钢管、桩尖底板焊接；
4) 注浆器的其余部分装入保护钢管，拧入已与桩尖底板焊接的直螺纹套筒内；
5) 在保护钢管内填充碎石，约占注浆器与保护钢管之间空腔体积的4/5，碎石粒径不小于出浆孔直径；
6) 焊接保护钢管的封头板，至此注浆桩尖组装完成。

**6.3.2** 注浆桩尖安装要点如下：

**1** 工程桩大面积施工时，注浆桩尖宜在预制桩吊装就位前与桩端板焊接完成，这样桩尖安装就不占用预制桩沉桩的绝对工期，利于穿插提效。

**2** 注浆桩尖安装前，应先进行通清水检验，主要目的是检验注浆管、注浆器、出浆孔等是否畅通。

**3** 在预制桩平躺在地面的情况下，将注浆管穿入预制桩空腔内，与桩尖相连接，连接时丝牙应缠生胶带，确保接头处不漏浆。

注浆桩尖与预制桩端板的焊接应满焊，确保不漏水、不漏浆。注浆时浆液压力较大，若不满焊、存在渗漏问题，则浆液可能溢流到预制桩空腔内，影响注浆

加固效果。

**6.3.3** 注浆管安装要点如下：

**1** 沉桩结束后，泥土会流入送桩段；同时地面也会有车辆等行走；若送桩段范围内的注浆管为钢管，则很容易损坏，所以送桩段范围内的注浆管宜选用钢丝编织胶管。采用锤击成桩时，注浆管随桩身振动比较频繁，所以应选用钢丝编织胶管，相对于钢管更容易吸收振动能量，不易破损。

**2** 钢丝编织胶管使用专用 C 型接头连接，目的是现场连接操作简单，接头密封效果好。钢管宜通过直螺纹钢套筒连接，钢套筒长度不小于 40mm，连接时钢管丝扣拧入钢套筒每端的长度为 20mm，目的是确保连接的可靠性。钢套筒禁用生铁管箍，其材料脆性大、易断裂。

注浆管最底部与注浆桩尖连接的接头，以及其最顶部的接头，均应采用丝扣形式。

**3** 注浆管一般应提前放入预制桩空腔内，随每节预制桩同步吊装、就位、连接，因此注浆管需根据每节预制桩的长度进行配置。

钢丝编织胶管和钢管配置的长度有所不同，这种配置的目的，是各节注浆管连接时操作方便，并避免注浆管损坏。

若桩顶设计标高位于地面以下，为方便注浆，则末节桩注浆管应配至地面。

**6.3.4** 开塞要点如下：

沉桩到位后桩端土体被挤压密实，同时注浆桩尖也受土体挤压，开塞是指此时通过压注清水打通注浆通道。

**1** 开塞应在沉桩到位后 24h 内完成，目的是避免开塞过晚时，土体挤压堵塞注浆桩尖的出浆孔，特别是采用搅拌植入或引孔植入成桩工艺时。

**2** 开塞宜选用清水，目的是避免土中有杂质堵塞注浆通道。

**3** 根据目前十余个试桩和工程应用项目经验，清水开塞的压力比正式注浆时的压力大，大部分情况下为 6.0MPa～9.0MPa。为方便注浆通道打通，建议采用大压力、大流量进行开塞。

**4** 根据目前项目经验，整个开塞过程中，开塞压力随着压注水量的增加持续升高到某一峰值，一旦注浆通道打通，压力立即下降到 1.0MPa～2.0MPa，说明此时已开塞成功，此时可立即停止注水。

**6.3.5** 浆液制备要点如下：

水泥浆浆液的质量关系着桩基的施工质量和承载能力，因此应重点关注：

**1** 专用的制备装置有利于确保浆液的配置质量，比如浆液的水胶比、搅拌充分程度、泵吸效率等。配置好的浆液仍需持续搅拌。严禁在地面挖坑作为容器盛放浆液，否则随着水的渗透流失，浆液的水胶比难以控制。

**2** 浆液设计有明确的水胶比，浆液所需原材料均应精确计量，才能确保水胶比准确。尽量采用智能计量系统，规避人为操作的误差、失误带来的质量风险。

**3** 浆液在拌合的过程中，若搅拌不充分，水泥很容易结团；而注浆器和保护钢管的出浆孔直径均只有 8mm，若不采取过滤措施，则很容易造成堵塞，甚至导致注浆失败。

**4** 若遇到流动地下水情况，水泥浆液应适当浓一些。

**6.3.5** 注浆要点如下：

**1** 采用静压成桩工艺时，因桩端和桩侧均处于被挤密的原状土中，土体与预制桩紧密相接，故开塞后可立即注浆。

**2** 当采用搅拌植入或引孔植入工艺时，桩侧大部分为受到搅拌或置换的非挤密的原状土，相当于存在软弱界面/土层。在注浆压力作用下，该软弱界面/土层很容易被击穿，出现跑浆问题，影响注浆效果，故一般选择在成桩 3d～7d 后，即待软弱界面/土层硬化一定程度后进行注浆。

**3** 因为注浆量直接影响桩的承载能力，所以每根桩的注浆量等参数应独立计量。

**4** 桩端后注浆以注浆量控制为主、压力控制为辅。特定土层的加固程度主要取决于注浆量的多少，因此一定要保证注浆量满足设计要求。

**5** 为达到渗透为主、劈裂为辅的注浆特点和效果，要求注浆时采用低压、小流量。压力和流量过大很容易导致劈裂注浆、浆液扩散得太远，影响加固效果；若压力过小，说明此时浆液在地层中渗透过快，此时应调整浆液配比，减少浆液的水胶比，降低浆液的扩散速度，确保注浆效果。

**6** 地面冒浆时，暂停注浆约 30min，让桩端土层的水泥浆渗透、扩散。再次注浆时采用低流量注浆，有利于保证注浆效果。

**7** 若遇到流动地下水情况，注浆时应采用慢速、间歇方式。

# 7 质量检验

## 7.2 施工前检验

**7.2.2** 注浆桩尖对注浆质量至关重要，其与工艺的适配性应有一定的试验基础，不得现场制作。注浆桩尖构造是保证注浆开塞、防止堵管的关键，现场应按图纸要求进行检查。注浆器作为关键部件整合在注浆桩尖中，需在使用前按要求进行通水检验，以确保注浆效果。

**7.2.5** 注浆管及其接头，对注浆通道的密封性和牢固性有重要影响，使用前应对其外观和完整性进行检查。

## 7.3 施工中检验

**7.3.1** 开塞压力是判断注浆通道是否打通的重要依据，注浆量及注浆压力是保证注浆质量、判断注浆程度的关键指标，施工过程中应予以控制。