



T/CECS ×××—202×

中国工程建设标准化协会标准

型钢可控低强度材料灌注桩技术规程

Technical specification for section steel controlled low strength material
cast-in-place pile

（征求意见稿）

中国计划出版社

中国工程建设标准化协会标准

型钢可控低强度材料灌注桩技术规程

Technical specification for section steel controlled low strength material
cast-in-place pile

T/CECS ×××—202X

主编单位：南京东大岩土工程勘察设计院有限公司

江苏东岩科技发展有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：202×年××月 1 日

中国计划出版社

20×× 北 京

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2024 年第一批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字[2024]15 号）的要求，标准编制组经过深入调查研究，认真总结科研成果和实践经验，参考有关国内标准和国外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本技术规程。

本技术规程共分为 8 章和 4 个附录，主要技术内容包括：1 总则；2 术语与符号；3 基本规定；4 可控低强度材料；5 设计；6 施工；7 质量检查与验收；8 环境保护等。

请注意本技术规程的某些内容可能直接或间接涉及专利，本技术规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本技术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，由南京东大岩土工程勘察设计研究院有限公司负责具体技术内容的解释。本技术规程在使用过程中如有需要修改或补充之处，请将有关资料和建议寄送解释单位（地址：南京市玄武区四牌楼 61 号，邮政编码：210018，电子邮箱：418527390@qq.com）以供修订时参考。

主编单位：南京东大岩土工程勘察设计研究院有限公司
江苏东岩科技发展有限公司

参编单位：

主要起草人：

主要审查人：

目 次

1 总则	1
2 术语与符号	2
2.1 术语	2
2.2 符号	3
3 基本规定	4
4 可控低强度材料	5
4.1 一般规定	5
4.2 材料要求	5
4.3 配合比设计	6
5 设计	9
5.1 一般规定	9
5.2 设计计算	10
5.3 构造	13
6 施工	16
6.1 一般规定	16
6.2 成孔施工	17
6.3 材料生产	18
6.4 材料灌注	19
6.5 咬合施工	20
6.6 承载构件安装	20
7 质量检查与验收	22
7.1 一般规定	22
7.2 检查与验收	22
8 环境保护	25
附录 A 流动值试验方法	26
附录 B 可控低强度材料指标记录表	28
附录 C 型钢检查记录表	29
附录 D 可控低强度材料灌注桩验收记录表	30
本标准用词说明	31
引用标准名录	32
条文说明	33

Contents

1 General provisions	错误！未定义书签。
2 Terms and Symbols	错误！未定义书签。
2.1 Terms	错误！未定义书签。
2.2 Symbols	错误！未定义书签。
3 Basic Requirements	错误！未定义书签。
4 Controlled Low Strength Material	错误！未定义书签。
4.1 General Requirements	错误！未定义书签。
4.2 Material Requirement	错误！未定义书签。
4.3 Mix Proportion	错误！未定义书签。
5 Design	错误！未定义书签。
5.1 General Requirements	错误！未定义书签。
5.2 Design Calculation	错误！未定义书签。
5.3 Structure	错误！未定义书签。
6 Construction	错误！未定义书签。
6.1 General Requirements	错误！未定义书签。
6.2 Perforation Construction	错误！未定义书签。
6.3 Material Production	错误！未定义书签。
6.4 Material Perfusion	错误！未定义书签。
6.5 Occlusal Construction	20
6.6 Installation of Bearing Carrier	21
7 Quality Inspection and Acceptance	错误！未定义书签。
7.1 General Requirements	错误！未定义书签。
7.2 Inspection and Acceptance	错误！未定义书签。
8 Environment Protection	错误！未定义书签。6
Appendix A Controlled Low Strength Material Index Record Form	错误！未定义书签。
Appendix B Controlled Low Strength Material Index Record Form	错误！未定义书签。
Appendix C Section Steel Inspection Record Form	错误！未定义书签。
Appendix D Controlled Low Strength Material Cast-in-place Acceptance Record Form	30
Explanation of Wording in in This Standard	31
List of Quoted Standards	32
Addition: Explanation of Provisions	33

1 总则

1.0.1 为了规范可控低强度材料灌注桩在基坑支护工程中的应用,做到技术先进、经济合理、环境友好,保证工程质量,制定本规程。

1.0.2 本规程适用于各类地层的建(构)筑物和市政工程等各类基坑支护中可控低强度材料灌注桩的材料、设计、施工和质量检查与验收。

1.0.3 可控低强度材料灌注桩的材料选用、设计与施工应综合考虑工程地质与水文地质、周边环境条件与要求。

1.0.4 可控低强度材料灌注桩的材料选用、设计、施工及质量检查与验收除应符合本规程外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语与符号

2.1 术语

2.1.1 可控低强度材料 controlled low strength material

简称 CLSM，是一种以土或工矿业废弃物细颗粒为主料，加入固化剂、外加剂和水，经特定工艺制备成料，经养护后，达到目标强度和使用性能要求的绿色低碳新型工程材料，灌注后在自重作用下密实，28 天抗压强度不超过 8.0MPa。

2.1.2 可控低强度材料灌注桩 low carbon pile

通过机械在地层中预成孔，灌注可控低强度材料，根据工程需求植入承载构件，经养护凝固后形成的桩体，又称为生态工法桩。

2.1.3 承载构件 Bearing Carrier

可控低强度材料灌注桩体中的主要承受荷载的构件，一般采用型钢、预制混凝土结构、组合钢结构等。

2.1.4 可控低强度材料灌注工法墙 low carbon wall

可控低强度材料灌注桩通过咬合搭接形成的具有挡土、止水、防污隔渗等作用的地下连续桩墙。

2.1.5 一体化制备 CLSM 设备机 Integrated equipment for CLSM

集成基料加工、浆液制备、搅拌成料、动态检测、智能控制等多系统于一体的可控低强度材料移动制备机。

2.1.6 主料 Main base material

主料是主要基料简称，指制备 CLSM 的主要原材料。

2.1.7 承载桩 Enhanced CLSM pile

内置承载构件可以承受载荷的可控低强度材料灌注桩。

2.1.8 素桩 CLSM pile

仅灌注可控低强度材料，没有内置承载构件的桩。

2.2 符号

2.2.1 作用和作用效应

- M_k —— 作用于可控低强度材料灌注桩（墙）的弯矩标准值；
 q_k —— 作用于可控低强度材料灌注桩（墙）计算截面处的侧压力强度标准值；
 V_k —— 作用于可控低强度材料灌注桩（墙）的剪力标准值；
 V_{1k} —— 作用于承载构件与可控低强度材料之间单位深度范围内的错动剪力标准值；
 V_{2k} —— 作用于可控低强度材料灌注工法墙最薄弱截面处单位深度范围内的错动剪力标准值；

2.2.2 抗力和材料性能

- f —— 型钢的抗弯强度设计值；
 f_v —— 型钢的抗剪强度设计值；
 m_c —— 可控低强度材料中掺入固化剂的质量；
 m_d —— 可控低强度材料中主料的干质量；
 α —— 可控低强度材料中固化剂掺量；
 τ —— 可控低强度材料抗剪强度设计值；

2.2.3 几何参数

- d_1 —— 型钢翼缘处可控低强度材料桩的有效厚度；
 d_2 —— 可控低强度材料灌注桩最薄弱截面厚度；
 I —— 型钢沿弯矩作用方向的截面惯性矩；
 L_1 —— 相邻型钢翼缘之间的净距；
 L_2 —— 相邻型钢翼缘之间的净距；
 S —— 型钢计算剪应力处以上截面对中和轴的面积矩；
 t_w —— 型钢腹板厚度；
 W —— 型钢沿弯矩作用方向的截面模量；

2.2.4 计算系数

- γ_0 —— 支护结构重要性系数；

3 基本规定

3.0.1 可控低强度材料灌注桩的选用和设计应因地制宜，并与地基加固、基坑降水和土方开挖等相结合，合理选择承载构件与可控低强度材料的工艺参数；强化施工质量控制与管理，确保基坑和主体结构施工的安全，并满足周边环境保护的要求。在地下水具有腐蚀性或无工程经验的地区，须通过现场试验确定其适用性。

3.0.2 可控低强度材料灌注桩作为挡土结构、止水帷幕时，其设计原则、勘察要求、荷载作用、承载力与变形计算和稳定性验算等应符合现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的有关规定；作为立柱桩时，应满足承载力要求。

3.0.3 可控低强度材料的主料应优先选用项目产生的工程弃土或当地的其他弃土、建筑垃圾、工矿业固废等固体废弃物。

3.0.4 可控低强度材料灌注桩（墙）施工前，必须掌握施工区域的地质资料，查明周边环境、不良地质现象及地下障碍物，并应编制施工调查报告。

3.0.5 可控低强度材料灌注桩（墙）应分阶段进行质量检验，检验程序和组织应符合现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 的有关规定；质量检验标准除应符合本规程有关规定外，尚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。

3.0.6 在可控低强度材料灌注桩（墙）基坑支护工程施工期间，包括承载构件的回收时，应对支护结构和周边环境进行监测。监测要求应符合现行国家标准《建筑基坑工程监测技术标准》GB50497 的有关规定。

4 可控低强度材料

4.1 一般规定

4.1.1 用于桩（墙）体的可控低强度材料应进行专项设计，通过试验来确定材料的配合比和性能指标。

4.1.2 可控低强度材料应以立方体抗压强度与渗透系数为主要控制指标，并根据工程需求明确养护龄期要求，无特殊要求时，养护龄期应不少于28天。材料制备与灌注施工过程中宜以密度、流动值、泌水率作为一般性控制指标。

4.1.3 可控低强度材料配合比设计前，应深入调研项目场地或周边的原材料供应条件；可控低强度材料的制备应优先选用项目场地内的工程弃土、工程废渣或可利用固废作为主料。

4.1.4 固化剂宜采用以硅酸钙、铝酸钙等水硬性材料为主的固化材料，固化剂的材料指标应符合现行行业标准《土壤固化剂应用技术标准》CJJ/T 286和《软土固化剂》 CJ/T 526的有关规定。条件允许时，优先采用降碳固化材料。

4.1.5 可控低强度材料的生产、运输和施工过程应具有完整的记录和检测报告。

4.2 材料要求

4.2.1 可控低强度材料的无侧限抗压强度应满足设计要求，用于桩体（或墙体）时，28d龄期的无侧限抗压强度应不小于0.6MPa；当考虑桩体内的承载构件回收时，可控低强度材料28d龄期的无侧限抗压强度应不大于8.0MPa。

4.2.2 有防渗和阻隔要求时，可控低强度材料的渗透系数应满足设计要求，并应小于 $1 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 。

4.2.3 可控低强度材料的主料应符合下列要求：

1 材料遇水后不得出现膨胀反应或产生其他可能导致膨胀的聚集物或混合物；

2 材料不得具有污染性；

3 采用建筑垃圾、工矿业固废等时，应进行筛分处理，去除粒径大于 20mm 的杂质和硬质物，如破布、木屑、植物根茎、纤维绳布以及金属、塑料等；

4 采用工程原位地层（包括各类黏性土、粉质土、砂性土、风化岩等）取土作为主料时，应对土石料进行破碎处理后筛分，去除粒径大于 20mm 的土石块；

5 采用工程泥浆、淤泥质土、沼泽土、泥炭土、盐渍土作为主料时，应通过

试验验证。

4.2.4 硬质垃圾再生的粗、细骨料用作辅料时，各项材料指标应符合现行国家与行业标准《混凝土和砂浆用再生细骨料》GB/T 25176、《混凝土用再生粗骨料》GB/T 25177的有关规定。

4.2.5 固化剂成品性能满足下列规定：

1 物理指标应满足表.4.2.5-1 规定

表.4.2.5-1 固化剂物理指标

序号	项目	技术要求	测试方法
1	细度（80μm方孔筛余量）	≦10%	现行行业标准《软土固化剂》 CJ/T 526
2	含水量	≦1%	
3	外观	色值均匀	目 测

2 工艺指标应满足表.4.2.5-2 规定

表.4.2.5-2 固化剂工艺指标

序号	项目		技术要求	测试方法
1	净浆流动值	初始	≧100mm	现行行业标准《软土固化剂》 CJ/T 526
		30min	≧90mm	
		60min	≧80mm	
2	初凝时间		≧45min	现行国家标准GB/T 50080 《普通混凝土拌合物性能 试验方法标准》
3	终凝时间		≦720min	

注：1 从搅拌到填筑不超过 1h，净浆流动值可不作要求。

2 固化剂应能满足可控低强度材料设计要求的相关性能。

4.2.6 调整可控低强度材料的凝固时间、流动性、强度等性能参数时，应使用满足环保要求的外加剂。所使用的商品外加剂应符合现行国家标准《混凝土外加剂》GB 8076的有关规定。

4.2.7 材料制备与养护用水应符合行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63 中关于混凝土拌合用水的质量要求。

4.3 配合比设计

4.3.1 可控低强度材料灌注桩的设计和施工要求中，应明确规定所需可控低强度材料的抗压强度、渗透系数、密度和流动值等性能指标。

4.3.2 配合比设计试验的可控低强度材料抗压强度目标值应不低于设计要求强度值的1.2倍，渗透系数应满足设计要求，宜比工程场地内天然土壤的渗透系数低2~3个数量级，且应小于 $1 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ 。

4.3.3 可控低强度材料的流动值应满足施工要求，宜为 140mm~210mm。若采用机械辅助填筑，流动值可适当降低。

4.3.4 可控低强度材料的配合比设计应采用工程实际使用的原材料，并应满足国家、行业现行有关标准的要求；主料的用量、固化剂的类型及其掺量、外加剂的类型及其掺量、用水量等参数应通过试验确定，配合比成果应提供制备 1m³ 可控低强度材料所需的各种材料质量。

4.3.5 固化剂的类型和掺量应根据土质、可控低强度材料性能要求等因素综合确定，掺量宜为 5%~20%，设计强度低时取小值，设计强度高时取大值。固化剂掺量应以主料干质量的百分比表示，并按式 (4.3.5) 计算：

$$\alpha = \frac{m_c}{m_d} \quad (4.3.5)$$

式中：α——固化剂掺量，应根据试验结果确定；

m_c ——掺入固化剂的质量（kg）；

m_d ——所用主料的干质量（kg）。

4.3.6 外加剂的种类和用量应符合下列规定：

- 1 外加剂的种类和用量应通过试验确定；
- 2 可控低强度材料的密度可通过添加泡沫剂、钢渣、砂石等材料进行调节；
- 3 当有低吸水率或憎水等特殊要求时，宜掺入防水剂；
- 4 需进行长距离运输或承载构件植入施工时间较长时，应采取缓凝措施。

4.3.7 可控低强度材料试配时，宜先确定主料和水的用量，并至少采用 3 个配合比，其中一组配合比的固化剂掺量应为基准值，其余配合比的固化剂掺量宜在基准值的基础上，按 3%~4% 的间隔增加或减少。外加剂的用量应以固化剂的掺量为基准，进行试验确定。

4.3.8 试配过程中可控低强度材料的流动值应按照本规程附录 A 执行，密度、凝结时间、泌水率宜符合现行国家标准《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T 50080 的相关要求，无侧限抗压强度、抗渗性能测试应符合现行行业标准《水泥土配合比试验规程》JGJ/T 233 的相关规定。

4.3.9 可控低强度材料应保持匀质性，不得出现离析和泌水现象。用水量和外加剂的用量应充分考虑混凝土输送过程中的流动值损失以及凝结时间的变化。从加

工完成至灌注时间不应超过 4h，若间隔时间超过 4h，应适当添加缓凝剂。

4.3.10 设计配合比应根据试配结果选择能满足要求的配合比，同时应兼顾经济性，若出现以下情况，应重新设计配合比：

- 1 试配的配合比均不能满足要求；
- 2 主料来源或性质发生显著变化；
- 3 更换固化材料或辅料。

。

5 设计

5.1 一般规定

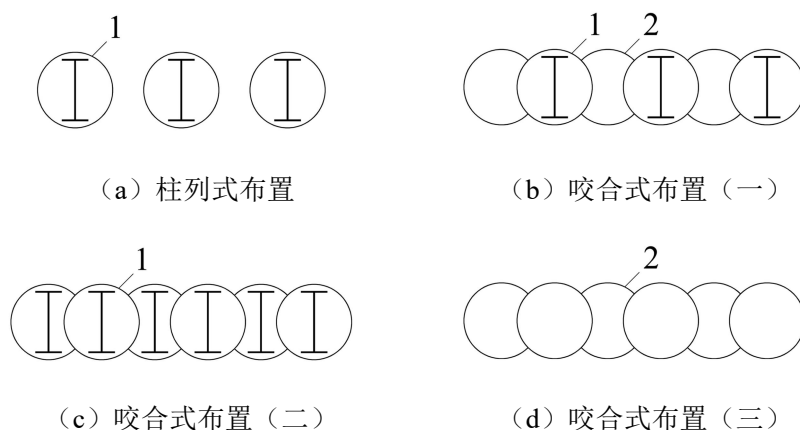
5.1.1 可控低强度材料灌注桩按下列规定分类：

1 素桩：仅由可控低强度材料灌注形成，桩内无承载构件，用作截水、隔渗、构造挡土等。

2 承载桩：内置承载构件的可控低强度材料灌注桩，可以承载水平向和竖向荷载，用作基坑支护桩，立柱桩等。

5.1.2 可控低强度材料灌注桩的布置形式应符合下列规定：

1 布置形式可采用柱列式与咬合式：



1-承载桩；2-素桩

图5.1.1.2 可控低强度材料灌注桩（墙）平面布置形式

2 布置形式和承载构件间距应根据使用功能计算确定；

3 仅作为挡土结构时，宜采用柱列式布置；挡土结构兼作止水帷幕时，应采用咬合式布置（一）或咬合式布置（二）；仅作为止水帷幕或阻隔屏障时，宜采用咬合式布置（三）；

4 采用咬合式布置时，桩径不应小于600mm，咬合搭接宽度不应小于150mm，作为止水帷幕或阻隔屏障时，咬合搭接宽度不应小于200mm。

5.1.3 可控低强度材料灌注桩（墙）的选型应根据基坑开挖深度、周边环境条件、场地工程地质和水文地质条件、基坑形状与规模、支撑或锚杆体系的设置等因素综合确定。

5.1.4 可控低强度材料灌注桩（墙）应根据支护结构的特性、基坑的使用要求、周边环境条件、施工条件以及地基土的物理力学性质、地下水条件等因素进行设

计计算。设计计算还应分别符合基坑分层开挖、设置支撑或锚杆、地下主体结构分层施工与换撑等施工期的各种工况。

5.1.5 可控低强度材料灌注桩（墙）的计算变形容许值应根据周边环境条件和基坑开挖深度综合确定。

5.1.6 承载构件的选用应符合下列规定：

1 承载构件宜采用便于回收的型钢，如 H 型钢、工字钢或组合钢结构；当使用周期较长时，宜采用预制混凝土结构，如预应力混凝土方桩、管桩、板桩等；

2 承载构件的净尺寸应小于桩孔直径，孔壁与承载构件之间最小净距应不小于 30mm；

3 使用咬合式布置时，承载构件边缘与咬合边线部分最小净距不应小于 50mm。

5.1.7 承载构件采用的钢材宜采用 Q235B 级钢和 Q355B 级钢。采用型钢时，规格、型号及有关要求宜按国家现行标准《热轧 H 型钢和部分 T 型钢》GB/T 11263 和《焊接 H 型钢》YB 3301 选用。采用非标准钢构件时，其设计与加工应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的相关规定执行。

5.1.8 承载构件采用预制混凝土结构时，宜优先选用预应力混凝土管桩和预应力混凝土矩形桩等抗弯、剪能力满足设计要求的桩型，其规格、型号应符合国家和行业现行标准《先张法预应力混凝土管桩》GB/T 13476、《预应力混凝土管桩技术标准》JGJ/T 406 的相关规定。

5.2 设计计算

5.2.1 可控低强度材料灌注桩（墙）作为基坑支护结构与隔渗帷幕，其计算与验算应包括以下内容：

表.5.2.1 可控低强度材料灌注桩（墙）计算内容

工况	计算内容
基坑支护	桩体的内力和变形计算； 整体稳定性验算； 抗倾覆稳定性验算； 坑内抗隆起稳定性验算； 坑外地层变形估算。
隔渗帷幕	抗渗流稳定性验算。
立柱桩	竖向承载力验算；

5.2.2 可控低强度材料灌注桩（墙）的计算抗弯能力，应只计算内置承载构件的

抗弯能力。在进行支护结构内力和变形计算以及基坑抗隆起、抗倾覆、整体稳定性等各项稳定性分析时，支护结构的深度应取承载构件的插入深度，不应计入承载构件端部以下灌注工法桩的作用。

5.2.3 用作隔渗帷幕时，可控低强度材料灌注桩（墙）的入土深度除应满足内置承载构件的植入深度要求之外，尚应满足基坑抗渗流稳定性的要求。

5.2.4 可控低强度材料灌注桩（墙）内置型钢截面承载力应按下列规定验算：

1 作用于可控低强度材料灌注桩（墙）的弯矩全部由型钢承担，并应符合下式规定：

$$\frac{1.25\gamma_0 M_k}{W} \leq f \quad (5.2.4-1)$$

式中： γ_0 ——支护结构重要性系数，按照现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 取值；

M_k ——作用于可控低强度材料灌注桩（墙）的弯矩标准值(N·mm)；

W ——型钢沿弯矩作用方向的截面模量 (mm³)；

f ——型钢的抗弯强度设计值(N/mm²)。

2 作用于可控低强度材料灌注桩（墙）的剪力全部由型钢承担，并应符合下式规定：

$$\frac{1.25\gamma_0 V_k S}{I t_w} \leq f_v \quad (5.2.4-2)$$

式中： V_k ——作用于可控低强度材料灌注桩（墙）的剪力标准值(N)；

S ——承载构件计算剪应力处以上截面对中和轴的面积矩(mm³)；

I ——型钢沿弯矩作用方向的截面惯性矩 (mm⁴)；

t_w ——型钢腹板厚度 (mm)；

f_v ——型钢的抗剪强度设计值 (N/mm²)。

5.2.5 可控低强度材料灌注桩（墙）内置预制混凝土结构的截面承载力应按下列规定验算：

1 作用于可控低强度材料灌注桩（墙）的弯矩全部由预制混凝土结构承担，并应符合下式规定：

$$1.25\gamma_0 M_k = M_0 \quad (5.2.5-1)$$

式中: M_0 ——预制混凝土结构抗弯能力设计值(kN·m);

2 作用于可控低强度材料灌注桩(墙)的剪力全部由预制混凝土结构承担,并应符合下式规定:

$$1.25\gamma_0 V_k = V_0 \quad (5.2.5-2)$$

式中: V_0 ——预制混凝土结构的抗剪能力设计值(kN);

5.2.6 可控低强度材料灌注桩(墙)内置非标准钢构件时,作用于可控低强度材料灌注桩(墙)的弯矩全部由钢结构承担。钢结构的受弯、受剪承载力应按现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017 的有关规定进行计算。

5.2.7 可控低强度材料灌注桩(墙)身应进行局部受剪承载力验算。局部受剪承载力应包括型钢与可控低强度材料之间的错动受剪承载力和可控低强度材料最薄弱截面处的局部受剪承载力,并应按以下规定进行验算:

1 型钢与可控低强度材料之间的错动受剪承载力 [图.5.2.7 (a)]应按下列公式进行计算:

$$\frac{1.25\gamma_0 V_{1k}}{d_1} \leq \tau \quad (5.2.7-1)$$

$$V_{1k} = q_k L_1 / 2 \quad (5.2.7-2)$$

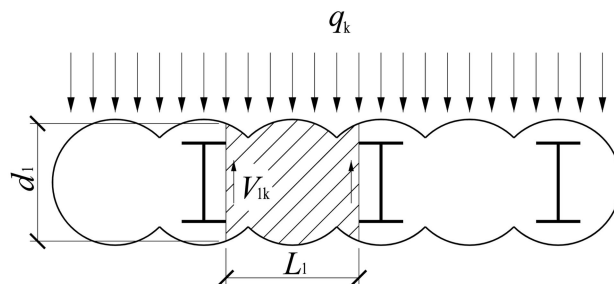
式中: V_{1k} ——作用于型钢与可控低强度材料之间单位深度范围内的错动剪力标准值 (N/mm);

q_k ——作用于可控低强度材料灌注桩(墙)计算截面处的侧压力强度标准值(N/mm²);

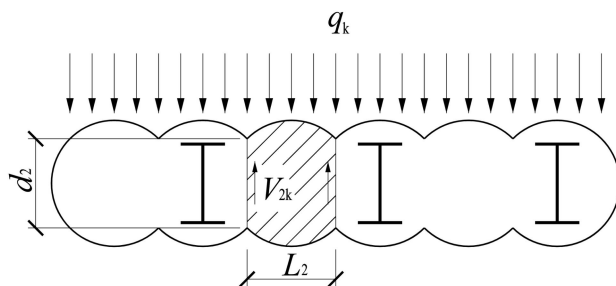
L_1 ——相邻型钢翼缘之间的净距 (mm);

d_1 ——型钢翼缘处可控低强度材料桩体的有效厚度 (mm);

τ ——可控低强度材料抗剪强度设计值 (N/mm²), 取 28d 龄期无侧限抗压强度的 1/5, 或通过试验确定;



(a) 型钢与可控低强度材料间错动受剪承载力验算图



(b) 可控低强度材料最薄弱截面受剪承载力验算图

图.5.2.7 可控低强度材料灌注桩（墙）局部受剪承载力计算示意

2 素桩与承载桩搭接处，可控低强度材料最薄弱截面的局部受剪承载力 [图.5.2.7(b)] 应按下列公式进行计算：

$$\frac{1.25\gamma_0 V_{2k}}{d_2} \leq \tau \quad (5.2.7-3)$$

$$V_{2k} = q_k L_2 / 2 \quad (5.2.7-4)$$

式中： V_{2k} ——作用于型钢与可控低强度材料之间单位深度范围内的错动剪力标准值 (N/mm)；

L_2 ——相邻型钢翼缘之间的净距 (mm)；

d_2 ——可控低强度材料最薄弱截面厚度 (mm)。

5.2.8 可控低强度材料灌注桩作为基坑支撑体系的立柱桩时，其承载力计算应符合现行国家标准《建筑桩基基础规范》JGJ 94 的相关规定。在软土层中，极限桩侧阻力标准值宜考虑可控低强度材料的有利作用。

5.3 构造

5.3.1 在可控低强度材料灌注桩（墙）中，灌注桩应符合以下规定：

- 1 当灌注的可控低强度材料强度达到设计要求后，方可进行基坑开挖；
- 2 桩底深度应超过承载构件的插入深度 0.5m~1.0m；桩底沉渣厚度不应大于 400mm；
- 3 采用咬合式布置的桩体，其桩孔垂直度允许偏差不应大于 1/200，承载桩与承载桩咬合时，其桩孔垂直度允许偏差不应大于 1/300；当桩长大于 30m，宜增加咬合搭接宽度。

5.3.2 可控低强度材料灌注桩（墙）中内置承载构件应符合以下规定：

1 先批次施工的承载桩应为后续咬合作业预留空间，承载构件植入应采用导向架进行安装辅助，安装垂直度偏差不应大于 1/200；

2 承载构件宜采用整材；当承载构件为型钢，需采用分段焊接时，应采用坡口焊等强焊接，焊缝质量等级不应低于二级；当采用螺栓连接时，应采用翼缘拼接板及腹板拼接板，宜采用高强螺栓连接，且应满足《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82 的要求；当承载构件为预制混凝土结构，需要接桩时，应符合现行国家和行业标准《先张法预应力混凝土管桩》GB/T 13476、《预应力混凝土管桩技术标准》JGJ/T 406 的相关要求。

3 单根承载构件接头不宜超过 2 个，接头的位置应避免设在支撑位置或开挖面附近等受力较大处；相邻承载构件的接头竖向位置宜相互错开，错开距离不宜小于 1m，接头位置距离基坑底面不宜小于 2m；

4 有回收要求的内置承载构件，应预先评估回收措施，并采取减摩措施。当可控低强度材料强度高于 2.3MPa 时，应制定专项回收方案；

5 基坑转角部位宜增加承载构件。

5.3.3 可控低强度材料灌注桩（墙）的顶部应设置封闭的压顶梁，其设计应符合下列规定：

1 压顶梁的强度应通过设计计算确定，并应考虑后期回收拔除荷载的作用；

2 压顶梁宜与第一层支撑的腰梁合二为一，并与支撑形成合理的传力体系。若支撑杆件对压顶梁具有向上作用时，应在承载构件与冠梁之间设置竖向抗剪构件；

3 型钢顶部高出压顶梁顶面的高度不应小于 500mm，作为回收拔除的受力部位；当采用钢筋混凝土压顶梁时，型钢与冠梁间的隔离材料应采用不易压缩的材料。计算时应考虑型钢对冠梁截面强度的削弱影响，冠梁主筋应避开型钢设置。

4 预制桩顶部锚入压顶梁底面高度不应小于 300mm，预制桩与压顶梁连接分为两种方式。空心预制桩与压顶梁连接时，通过设置托板及钢骨架，后进行填芯完成，填芯高度不应小于 2 倍桩径，填芯混凝土等级不得低于冠梁混凝土强度等级，选用托板厚度不小于 5mm，钢骨架钢筋可参照对应预制桩型的规范和图集选用。实心预制桩与压顶梁连接时，须在预制桩端板预留钢筋孔，连接钢筋与端板机械连接，做法可参照对应预制桩型的图集。

5 冠梁截面高度不应小于 600mm，截面宽度宜超出承载构件抗弯方向长度至少 350mm。

6 在冠梁与支撑交点位置，箍筋宜适当加密。由于内置型钢而未能设置封闭箍筋的部位，应在型钢翼缘外侧设置封闭箍筋予以加强；

5.3.4 在可控低强度材料灌注桩（墙）支护体系中，腰梁应符合以下要求：

1 可采用型钢（或组合型钢）腰梁或钢筋混凝土腰梁，同时应结合钢管支撑、型钢（或组合型钢）支撑、钢筋混凝土支撑等内支撑体系或锚杆体系进行设置。腰梁宜完整、封闭，并与支撑体系形成整体受力。

2 钢筋混凝土腰梁在转角处应按刚节点进行处理，并采取构造措施确保腰梁体系连接的整体性。

3 钢腰梁或钢筋混凝土腰梁应采用托架（或牛腿）和吊筋与内置承载构件进行连接。可控低强度材料灌注桩、承载构件与钢腰梁之间的空隙应进行填实。

5.3.5 当采用竖向斜撑并需作用在冠梁上时，应在承载构件与冠梁之间设置竖向抗剪构件。

5.3.6 可控低强度材料灌注桩（墙）与其他形式支护结构连接处，应采取有效措施确保基坑的截水效果。

6 施工

6.1 一般规定

6.1.1 施工前应掌握工程的性质与用途、规模、工期、安全与环境保护要求等情况，并编制相应的施工专项方案。

6.1.2 可控低强度材料灌注桩（墙）实施前，应具备以下必要文件和资料：

- 1 场地工程地质和水文地质资料、国土及规划部门的放线测量记录；
- 2 经审查批准的施工图设计文件及图纸会审记录；
- 3 建设项目取得有关主管部门颁发的施工许可；
- 4 经过审查批准的施工专项方案；
- 5 成孔机械、一体化制备 CLSM 设备机与配套设备的性能资料；
- 6 可控低强度材料的材料配合比试验成果。

6.1.3 在进行可控低强度材料灌注桩（墙）施工前，应按照桩位布置图进行测量放样并复验验收。

6.1.4 可控低强度材料灌注桩（墙）施工前，应完成以下准备工作：

- 1 对施工场地及周围环境进行调查，包括机械设备和材料的运输路线、施工场地、作业空间、高架线路、地下障碍物的状况等；
- 2 对施工产生的弃土等固废的数量和物理力学性质进行调查。
- 3 合理布设一体化可控低强度材料制备机械作业位置，现场取料位置，水、固化剂与辅料的供应方式，以及成品材料输送方式等；
- 4 对可能受施工影响的建（构）筑物进行检测及监测，并做好记录；
- 5 清除施工场地内影响成孔施工的上空及地下障碍物；
- 6 平整及处理施工场地，做到地面平整、排水通畅，满足成孔机械和材料运输车辆行走的要求。对于不满足机械设备正常运行的松软地表土应采取加固或硬化措施，使场地表层的地基承载力能满足机械设备正常运行的要求；
- 7 在不受施工影响的地方设置基桩轴线控制点和高程水准基点，标记明显并做好保护；
- 8 供电、供水、道路、排水、照明、临设房屋等设施能满足安全生产文明施工要求；

9 选择合适的成孔机械、一体化制备 CLSM 设备机，机械设备进场安装就位，试运行正常，不得使用不合格机械；

10 根据施工作业计划的要求，合理配备人员，持证上岗，并在施工前向施工人员进行质量、技术、安全交底。

6.1.5 施工前应进行试成桩，试成桩应符合下列规定：

1 试成桩位置的工程地质条件与后期应用工况应具有代表性；

2 试成桩数量应根据工程规模和施工场地地层特点确定，不应少于 1 组，每组不应少于 3 根；

3 试成桩应能确定施工设备选型与性能要求、成孔工艺与成孔时间、可控低强度材料灌注方式与凝固时间、桩体施工顺序与咬合搭接参数、桩体强度与渗透系数、承载构件安装与回收工艺措施。

4 试成桩应同时进行成孔机械与一体化制备 CLSM 设备机的调试运行，确定材料的供应计划、灌注方式和承载构件的安装时序。

6.2 成孔施工

6.2.1 成孔工艺与机械的选用应符合以下规定：

1 应综合考虑成桩深度、桩径、土层情况、周边环境、钻渣与钻液排放等因素；

2 宜采用旋挖成孔作业方式。当使用螺旋钻或冲击成孔工艺时，应评估施工振动对周边环境的影响；

3 对于其他成孔作业方式，可通过试成桩确定或参照《建筑桩基技术规范》JGJ 94 进行机械选型。

6.2.2 成孔设备就位后，应保持平整和稳固，钻孔时应遵循以下规定：

1 在成孔钻具上应设置控制深度的标尺，并在施工过程中进行检查。

2 钻杆应保持垂直稳固，位置准确，以防止因钻杆晃动导致孔径出现误差。

3 在钻孔过程中，应定期检查钻杆在两个互相垂直方向的垂直度，以确保钻杆的垂直度满足要求。

4 遇到倾斜岩面时，应采取适当的措施进行处理后再进行钻进作业，并应控制钻进速度及转速。

5 宜采用具有钻杆自动纠偏装置的钻机。

6.2.3 成孔施工的允许偏差应满足以下要求:

表.6.2.3 可控低强度材料灌注桩成孔施工允许偏差

成孔方法		桩径偏差 (mm)	垂直度允许偏差 (%)	桩位允许偏差 (mm)
泥浆护壁钻、挖、冲孔 成桩	d≤1000mm	-50	1	d/4
	d>1000mm	-50	1	150
旋挖、螺旋干作业成孔		-30	1	150
长钢套管护壁		±30	1	150

注：1.桩径允许负值，是指个别断面不允许小于设计值；

2.d 为设计桩径;

6.2.4 在易坍孔地层施工时，应采取埋设护筒、泥浆等护壁措施，其执行要求应符合《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的规定。

6.3 材料生产

6.3.1 可控低强度材料应集中生产，宜优先选用一体化制备 CLSM 设备机进行现场原位生产，消纳利用工程产生的渣土与固废，不得采用人工路拌的方式加工。

6.3.2 一体化制备 CLSM 设备机应符合以下规定:

- 1 设备应集成主料筛分与破碎系统、浆液制储系统、搅拌与输送系统、辅料添加和智能控制系统于一体；
- 2 动力部分应具备工作电流智能控制与显示功能；
- 3 水、固化剂、辅料、浆液的重量与流量控制系统均需具备智能控制和实时记录功能；
- 4 应具备成品材料实时流动值、密度和出料量的控制与记录功能；
- 5 制备工艺不得排放废液、废渣等，制备工艺流程要求如下：

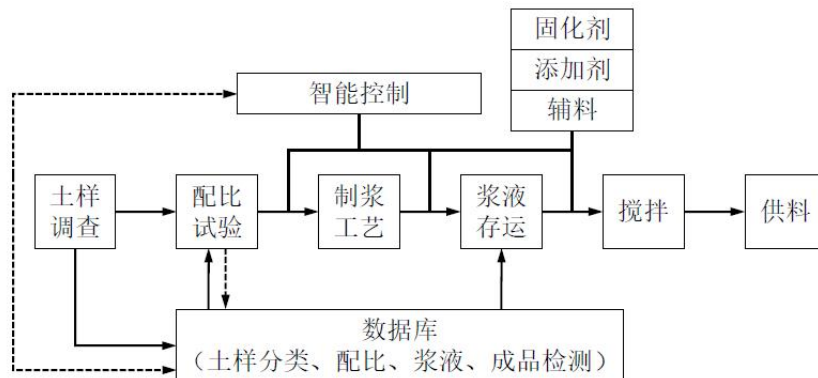


图.6.3.2 一体化制备 CLSM 设备机制备可控低强度材料工艺流程

6.3.3 可控低强度材料的生产应结合桩体的灌注需求，合理安排生产计划，并做好记录，材料生产记录可按本技术规程附录 B 填写。可控低强度材料的生产应符合以下规定：

1 主料制浆应测定并记录浆液重度，浆液采用搅拌存储，存储时间不宜超过 24h；

2 成品材料从设备端加工完成至灌注时间不应超过 4h，若间隔时间超过 4h，应添加缓凝剂；

3 用于水下灌注的可控低强度材料，成品材料的密度应满足施工要求，可通过添加密度较大的材料作为辅料进行调节。

6.4 材料灌注

6.4.1 材料运输过程中应保证均匀不离析，运输过程中及灌注前不得添加水或其他外加剂。在灌注前，应检测材料流动性，确认满足灌注要求。

6.4.2 材料灌注前，应检查孔位、孔径、垂直度、孔深、沉渣厚度等项目，合格后应立即开始灌注，成孔后至灌注材料的间隔时间不应超过 12h。

6.4.3 灌注可采用导管、溜槽、溜管、泵送管道等形式，浇筑口底部位置应控制在灌注面上 1.0m 以内。

6.4.4 水下灌注应符合下列规定：

1 水下灌注时应采用导管作业；

2 水下灌注的可控低强度材料必须具备良好的流动性，流动值宜为 120~200mm；

3 当渗水量大于 6mm/min 或桩孔中存水高度超过 2m 影响灌注成形时，水下灌注必须采用导管作业，导管构造与作业工艺应符合《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的相关规定；

4 水下灌注宜掺外加剂来降低遇水分散影响，同时，必须提高可控低强度材料的密度以达到预期的灌注效果，密度不小于 1550kg/m³，泌水率≤1%。

6.4.5 可控低强度材料灌注桩的充盈系数宜为 1.1~1.3。桩顶超灌高度不宜小于 1 倍桩径，且不应小于 0.8m；水下灌注时，桩顶超灌高度不宜小于 1.5 倍桩径，且不应小于 1.2m。

6.4.6 灌注施工时应考虑当地气候条件，采取相应的防水、防冻、防裂措施。

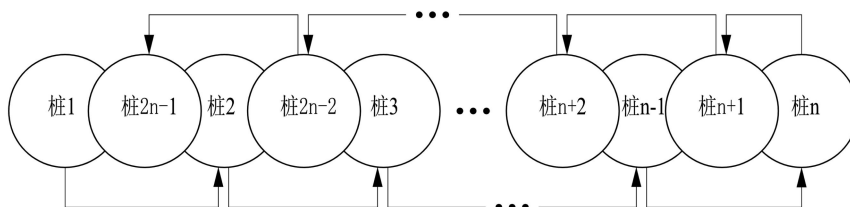
6.5 咬合施工

6.5.1 可控低强度材料灌注桩咬合切割宜选用旋挖钻机；成桩施工定位和垂直度要求严格的，宜采用全套管钻机。

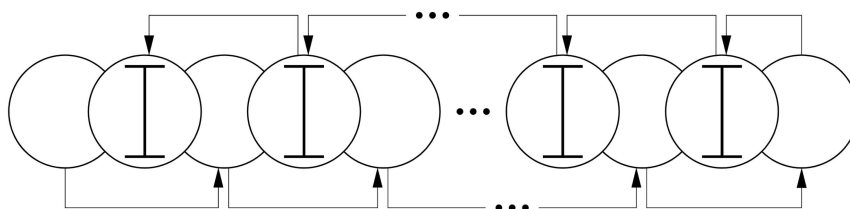
6.5.2 钻机旋转中心与设计桩径中心偏差不得大于 10mm，成孔垂直度不应大于 1/200，咬合搭接的承载桩垂直度不应大于 1/300。

6.5.3 咬合施工应符合下列规定：

- 1 桩径宜大于 600mm；
- 2 承载桩中的承载构件应设置于单桩中心位置，咬合作业应避免损伤已施工的承载构件；
- 3 咬合桩应采用跳桩施工，当采用承载桩与素桩咬合搭接时，应先施工素桩；



(a) 一般工况



(a) 承载桩与素桩咬合

图.6.5.3 咬合作业施工顺序

4 应等待已灌注的可控低强度材料初凝之后实施咬合切割，相邻两根桩的施工间隔宜大于 24h。

5 在地下水丰富或含有承压水地层中进行咬合作业时，应确保孔内外水位平衡，才能进行咬合施工。

6.6 承载构件安装

6.6.1 承载构件安装前，应符合以下规定：

- 1 应按照设计要求检查构件的型号、质量，检查接头连接可靠度，并确保接头避开承受弯矩、剪力最大位置；

2 拟回收的钢制承载构件应清除表面的污垢、铁锈、泥渍等附着物，并在表面干燥后均匀涂刷减摩材料，厚度不小于 1.5mm；一旦发现减摩材料开裂、剥落，应重新涂刷减摩材料；

3 预制混凝土结构达到设计强度的 100%方可出厂，并提供产品合格证或质保资料。其吊装与运输应满足预制混凝土结构的相关规范要求。

6.6.2 当承载构件安装先于灌注施工时，应根据桩位的轴线开挖导向沟，并严格控制承载构件的垂直度，在孔口必须采用牢固的定位措施，灌注施工对承载构件产生的冲击移位不得大于 $\pm 10.0\text{mm}$ 。

6.6.3 当在可控低强度材料灌注完成后插入承载构件时，应符合下列规定：

1 应在灌注的材料初凝前完成插入安装作业；

2 在插入过程中，应采用牢固的定位导向架并采取措施保证构件的垂直度，保证吊车钩头中心、承载构件中心线、桩孔定位装置的中心在同一垂线上；

3 插入到位后，应制作相应的防止构件超沉的限定装置，确保桩顶标高满足设计要求。

4 承载构件宜依靠自重插入，若遇困难，可采用辅助措施使其下沉。严禁采用松钩快速下落的插入方法。

6.6.4 对于结构底板、中板需要换撑到支护桩边，与承载构件的接触处，需设置隔离材料，便于承载构件回收。在拆除支撑、腰梁和肥槽回填前，应将残留在回收构件的表面的焊接或螺栓连接构件清除平整，以尽量降低拔除阻力。

6.6.5 在承载构件拔除前，应确保可控低强度材料灌注桩（墙）与主体结构之间的肥槽回填密实。

6.6.6 回收作业应采用专用的液压起拔机，并优先利用冠梁作为反力措施。若冠梁强度不足以提供所需反力时，应制定专项回收方案。

6.6.7 承载构件回收时，应做好周边重要建构筑物监测，根据监测数据，及时调整回收方案。拔出后留下的空隙应及时注浆充填，浆液的材料配比、性能指标、灌注工艺应通过试验确定。

7 质量检查与验收

7.1 一般规定

7.1.1 可控低强度材料灌注桩（墙）的质量检查与验收分为材料加工控制、施工过程控制、成桩（墙）质量验收和基坑开挖期检查四个阶段。

7.1.2 可控低强度材料灌注桩（墙）材料加工控制的内容包含：主料选用、配合比试验、一体化制备 CLSM 设备机性能、材料密度、流动值、材料输送等；

7.1.3 可控低强度材料灌注桩（墙）施工过程控制的内容包含：成孔（槽）设备机械性能，可控低强度材料灌注方式，桩体施工顺序，成孔直径、深度、孔底沉渣厚度，咬合搭接宽度，承载构件的规格与质量，承载构件的定位、长度、标高、安装垂直度，拼接焊缝与连接质量等。

7.1.4 可控低强度材料灌注桩（墙）成墙质量验收的内容包含：桩体的强度、连续性、搭接状况、承载构件的位置偏差等。

7.1.5 开挖期间应检查开挖面墙体的质量，腰梁和承载构件的密贴状况以及渗漏水情况等。

7.1.6 采用可控低强度材料灌注桩（墙）作为支护结构的基坑工程，其支撑(或锚杆)系统、土方开挖等分项工程的质量验收应按国家现行标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202 和《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 等有关规定执行。

7.2 检查与验收

7.2.1 可控低强度材料选择的固化剂、外加剂等原材料的检验项目与技术标准应符合设计要求与国家现行有关标准的规定。

1 检查数量：按批次检查；

2 检验方法：查产品合格证书与复试报告。

7.2.2 可控低强度材料流动值与密度的检测应符合以下规定。

1 每生产 100m^3 可控低强度材料检测 1 次，单批次生产低于 100m^3 时，应检测 1 次。

2 水下灌注的可控低强度材料，应在灌注前检测 1 次。

7.2.3 对于可控低强度材料试件的制作、养护和试验，应遵循以下规定：

1 每灌注 100m^3 的可控低强度材料，应制作 1 组试件；若灌注量小于 100m^3 ，

则应每 5 根桩制作 1 组试件，每组试件应至少包含 3 个试块。

2 试件取样应从实际灌注的可控低强度材料中提取；对于同组试件，应取自同一车或同一批次一体化制备 CLSM 设备机生产的可控低强度材料。检测内容应根据设计要求，进行强度、抗渗性能等检测。

7.2.4 可控低强度材料灌注前，应对桩孔的中心位置、孔深、孔径、垂直度、施工间隔和搭接宽度进行检验，以确保桩体的施工质量。成孔质量应符合表.7.2.4 的规定。

表.7.2.4 成孔施工允许偏差与检测方法

序号	项目	允许偏差	检测方法	检测范围
1	孔径	见表.6.3.3	检查成孔直径	全数检查
2	垂直度	见表.6.3.3	用测斜仪或超声波测井仪	
3	孔深		核定钻头和钻杆高度或用测绳	
4	桩位	见表.6.3.3	对照轴线用钢尺检测	
5	搭接宽度	±20mm	对照轴线用钢尺检测	
6	搭接施工间隔		≥ 24h，且先批次桩初凝	

7.2.5 承载构件安装前，应检查其平整度与和接头焊缝质量，其规格、型号及有关要求应遵循以下规定：

1 型钢应依据现行国家和行业标准《热轧 H 型钢和部分 T 型钢》GB/T-11263 和《焊接 H 型钢》YB-3301 选用。型钢的允许偏差应符合表 7.2.5 的规定，检查记录时可采用本规程附录 C 的样式进行填写；

表.7.2.5 型钢允许偏差

序号	检查项目	允许偏差（mm）	检查数量	检查方法
1	截面高度	±5.0	每根	钢尺量取
2	截面宽度	±3.0	每根	钢尺量取
3	腹板厚度	-1.0	每根	游标卡尺量取
4	翼缘板厚度	-1.0	每根	游标卡尺量取
5	型钢长度	±50	每根	钢尺量取
6	型钢挠度	1/30	每根	钢尺量取

2 预制混凝土结构采用管桩时，应依据《先张法预应力混凝土管桩》GB/T 13476 中相关要求检验。采用其他预制桩型时，参照对应的技术标准执行，检查时应提供出厂合格证。

7.2.6 承载构件插入允许偏差应符合表.7.2.6 的规定，检查记录可按本规程附录 D 的样式进行填写。

表.7.2.6 承载构件安装允许偏差

序号	检查项目	允许偏差	检查数量	检查方法
1	顶标高	$\pm 40\text{mm}$	每根	水准仪
2	平面位置	40mm（平行于冠梁）	每根	钢尺量取
		10mm（垂直于冠梁）	每根	钢尺量取
3	形心转角	$\leq 4.0^\circ$	每根	量角器量取

7.2.7 在进行基坑开挖前，应检验可控低强度材料灌注桩（墙）的桩身强度、完整性，确保其符合设计要求。为了准确测定桩身强度，检测方法应符合下列规定：

1 可控低强度材料灌注桩采用钻取桩芯强度试验的方法，钻取施工后 28d 龄期的桩体材料芯样，钻取的芯样应立即密封并及时进行无侧限抗压强度试验。抽检数量不应少于总桩数的 2%，且不得少于 3 根。每根桩的取芯数量不宜少于 5 组，每组不宜少于 3 件试块。芯样应在全桩长范围内连续钻取的桩芯上选取，取样点应取沿桩长不同深度处的 5 点。钻取桩芯得到的试块强度，宜根据钻取桩芯过程中芯样的情况，乘以 1.3 的系数。钻孔取芯完成后的空隙须注浆或灌注可控低强度材料填充。

2 桩径较小无法全桩长钻芯时，应在灌注时留取可控低强度材料浆液并制做试块，按现场同等条件养护后进行无侧限抗压强度试验。

3 承载构件采用预制混凝土结构时，检测方法可采用可靠的动测法；检测数量应符合现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的有关规定。

4 当能够建立静力触探、标准贯入或动力触探等原位测试结果与浆液试块强度试验或钻取桩芯强度试验结果的对应关系时，也可采用原位测试检验桩身强度。

7.2.8 有抗渗、阻隔要求的可控低强度材料灌注桩（墙），宜采用留样试块、桩体钻孔芯取样进行渗透试验检测抗渗性，试验方法应符合现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123 的有关规定。

8 环境保护

8.0.1 可控低强度材料灌注桩（墙）涉及的材料加工与桩基施工，均应遵循节能、环保的原则。施工过程中，环境保护应符合国家现行标准《建筑工程绿色施工评价标准》GB/T 50640 和《建设工程施工现场环境与卫生标准》JGJ 146 的有关规定。

8.0.2 在现场产生的钻液、废渣应尽量利用一体机设备进行加工，将其转化为可控低强度材料，这些材料可以用于回填或作为场地临时道路的路基等用途。

8.0.3 在施工前，应对周边的建筑物和管线进行调查，并遵守以下规定：

1 应绘制施工区域内、外的建筑物和地下管线的分布示意图，并对需要重点保护的建筑物和管线进行安全状态评估。

2 应根据基坑安全等级制定保护建筑物和地下管线安全的措施，并委托监测单位进行监测。根据监测结果，调整施工顺序和速度，以减少对环境的影响。

8.0.4 可控低强度材料灌注桩（墙）施工设备应符合现行国家标准《建筑施工场界环境噪声排放标准》GB 12523 的有关规定，并应采取以下措施控制噪声污染：

1 应使用智能化程度高且低噪声的机械设备，固定式机械应配备隔声装置。

2 应定期对机械设备进行维修保养和精度校核，确保设备处于正常工作状态。

8.0.5 施工现场出入口处必须配备冲洗设施，并由专人负责进出车辆的清洗和保洁工作。

8.0.6 在夜间进行施工时，必须按规定办理相关手续，并采取有效措施以减少对周边环境产生的声、光和振动等不利影响。

附录 A 流动值试验方法

A.0.1 本法适用于最大粒径不超过 20mm 的可控低强度材料流动值的测定。

A.0.2 仪器设备应包括：

- 1 内壁光滑，上下贯通的有机玻璃圆筒 1 个，内径为 80mm，高度为 80mm，壁厚 5~10mm；
- 2 表面光滑的方形有机玻璃板 1 块，边长不小于 35cm；
- 3 秒表 1 块；
- 4 钢尺 1 把，量程不小于 30cm，分度值 1mm。

A.0.3 试验过程应按下列步骤进行：

- 1 将有机玻璃板水平放置，有机玻璃圆筒垂直置于有机玻璃板中心（图 A.0.3-1）。

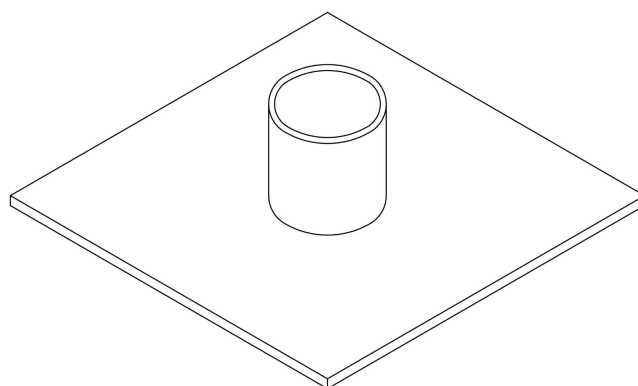
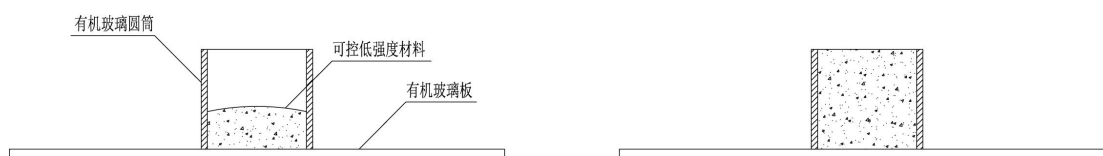


图 A.0.3-1 试验装置放置示意图

- 2 将试验材料缓缓填入圆筒内，沿上部端口刮去多余材料，擦净圆筒外表面及有机玻璃板上的多余材料。

- 3 装样完成后，尽快将有机玻璃圆筒垂直向上轻轻提起，提起时间应小于 7s，整个测试过程要在 1 分钟内完成。

- 4 圆筒提起 30s 后，测量试验材料摊开后最大直径和最小直径，取二者平均值为流动值。



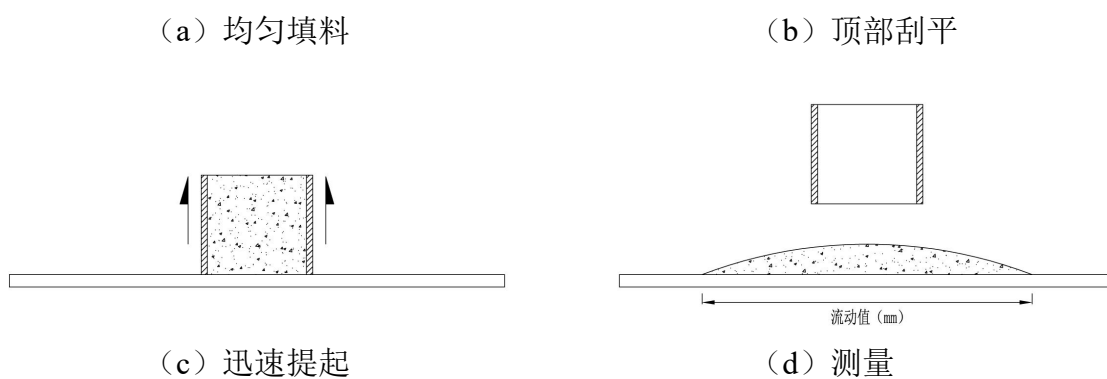


图 A.0.3-2 试验流程示意图

5 每组需进行 3 次平行试验，以平均值作为最终流动值。

附录 B 可控低强度材料指标记录表

编号：

工程名称							
分项工程							
施工单位					施工单位负责人		
分包单位					分包单位负责人		
材料生产方式		工厂加工			移动设备		
		生产厂家			设备编号		
		生产负责人			生产负责人		
生产批次				数量 (m³)			
原料土种类				固化剂类型			
质量控制项目			要求值		实测值		监理（建设）单位 验收记录
材料配比	原料土						
	固化剂						
	水						
	外加剂						
性能指标	半成品浆液重度						
	密度						
	流动值						
	无侧限抗压强度	7d					
		28d					
	渗透系数						

记录：

日期：

附录 C 型钢检查记录表

施工单位：

编号：

质检员：

监理工程师：

年 月 日

序号	型钢 编号	长度 偏差 (mm)	对接焊 缝质量	型钢 挠度	截面 高度 (mm)	截面 宽度 (mm)	腹板 厚度 (mm)	翼缘板 厚度 (mm)	备注
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									

附录 D 可控低强度材料灌注桩验收记录表

编号：

工程名称		施工单位	
桩号		验收日期	
桩顶标高		桩身材料强度 (MPa)	
设计桩径 (mm)		成桩直径 (mm)	
设计桩长 (m)		实际桩长 (m)	
设计灌注方量 (m³)		实际灌注方量 (m³)	
出现的问题及 处理方法			
型钢规格 (mm)		型钢插入底标高 (m)	
型钢对接焊缝质量		型钢平面位置偏差 (mm)	
检 查 意 见			
验 收 意 见			
施 工 单 位	专职质检员： 技术负责人： 年 月 日	监 理 单 位	监理工程师： 年 月 日

本标准用词说明

1 为了便于执行本标准，对于条文中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“禁止”。

2) 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”。

3) 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”。

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准、规范执行时，写法为：“应按……执行”或“应符合……要求（或规定）”。

引用标准名录

- 《钢结构设计标准》GB 50017
- 《土工试验方法标准》GB/T 50123
- 《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202
- 《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300
- 《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497
- 《建筑工程绿色施工评价标准》GB/T 50640
- 《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》GB/T 1346
- 《混凝土外加剂》GB 8076
- 《混凝土外加剂匀质性试验方法》GB/T 8077
- 《热轧 H 型钢和部分 T 型钢》GB/T 11263
- 《建筑施工场界环境噪声排放标准》GB 12523
- 《先张法预应力混凝土管桩》GB/T 13476
- 《混凝土和砂浆用再生细骨料》GB/T 25176
- 《混凝土用再生粗骨料》GB/T 25177
- 《软土固化剂》CJ/T 526
- 《混凝土用水标准》JGJ 63
- 《建筑钢结构焊接技术规程》JGJ 81
- 《钢结构高强度螺栓连接技术规程》JGJ 82
- 《建筑桩基技术规范》JGJ 94
- 《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106
- 《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120
- 《建设工程施工现场环境与卫生标准》JGJ 146
- 《咬合式排桩技术标准》JGJ/T 396
- 《预应力混凝土管桩技术标准》JGJ/T 406
- 《焊接 H 型钢》YB 3301

中国工程建设标准化协会标准

型钢可控低强度材料灌注桩技术规程

T/CECS ×××—202×

条 文 说 明

制定说明

《型钢可控低强度材料灌注桩技术规程》制定过程中，编制组进行了可控低强度材料灌注桩的材料选用、设计、施工、质量检验与工程验收的调查研究，总结了我国可控低强度材料灌注桩的实践经验，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可控低强度材料灌注桩的材料、设计、施工、质量检验与工程验收技术参数。

可控低强度材料灌注桩具有适用地层范围广、施工设备灵活、施工质量可靠、施工工效高、施工成本低和低碳环保等优点，是一种承载性能好、隔渗性能好、材料利用率高的桩型，符合资源节约型的社会建设需要，在各类基坑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、各种不同地层的可控低强度材料灌注桩的材料选用、设计、施工、检测与监测。

为便于广大技术和管理人员在使用《型钢可控低强度材料灌注桩技术规程》时能正确理解和执行条款规定，编制组按章、节、条顺序编制了条文说明，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标准正文及附录同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目 次

1 总则	36
3 基本规定	39
4 可控低强度材料	41
4.1 一般规定	41
4.2 材料要求	43
4.3 配合比设计	44
5 设计	47
5.1 一般规定	47
5.2 设计计算	53
5.3 构造	55
6 施工	60
6.1 一般规定	60
6.2 成孔施工	60
6.3 材料加工	62
6.4 材料灌注	63
6.5 咬合施工	64
6.6 承载构件安装	66
7 质量检查与验收	67
7.1 一般规定	67
7.2 检查与验收	67

1 总则

1.0.1 在国家“双碳”战略下，针对目前建筑、工业的废弃物排放日益增加，不仅占用大量的土地资源，造成诸多的二次污染问题，且与环境保护要求愈发不协调，固体废弃物的有效再利用已成为研究与应用热点。

最早的可控低强度材料(CLSM, controlled low strength material), 兴起于 20 世纪 70 年代, 由美国混凝土协会提出, 主要为消纳工业产生巨量的粉煤灰等细骨料固废, 掺入适当的胶凝材料与水, 具有一定流动值, 无需振捣便可密实凝固, 28 天抗压强度不大于 8.0MPa 的材料, 可以用作回填或小空间充填等低要求应用场景。CLSM 在对原材料的技术要求方面, 没有混凝土的要求严格。由于 CLSM 是一种新型材料体系, 还缺乏系统的认识和深入的理解; 另外, 由于 CLSM 利用的工业与建筑生产过程中产生的废弃物或建筑垃圾, 这些废弃物对 CLSM 的性能影响规律还缺乏系统的研究。所以国内外还没有专门针对 CLSM 技术体系要求的规范或标准。

南京东大岩土工程勘察设计研究院团队于 2010 年开始着力研发可用于岩土与地下工程的 CLSM 体系, 对城市建设与发展中常见的固废进行了梳理与分类(渣土分类、建筑垃圾分类、市政固废与工业固废), 并以常见固废作为基材, 研发配套的多种类型固化剂与改良工艺, 于 2016 年成功研发了一整套可用于岩土与地下工程的 CLSM 材料体系, 如: 回填型 CLSM (侧壁、顶板)、地基处理型 CLSM, 灌注工法桩型 CLSM 和阻隔帷幕型 CLSM 等。

用于灌注型 CLSM, 与承载构件联合作用, 命名为可控低强度材料灌注桩, 其成功地建立起固废资源化再利用与基坑支护工程联系。于 2016 年首次应用于南京仙林某基坑工程, 随后陆续在南京、镇江、常州、宿迁等大量地项目中得到应用, 并且辐射到北方、西北、新疆等地。本规程编制过程中对在江苏(南京、镇江、淮安、徐州)、河南、甘肃、陕西等地的 120 多个项目案例进行分析与统计。从大量的案例反应情况来看, 可控低强度材料灌注桩(墙)在我国多个地区得到应用, 尤其在江苏、山东、河南等地得到了大量应用, 适用于多种常见类型地层。

随着我国“双碳”战略的深入实施, 建筑行业作为国民经济的重要组成部分, 其绿色低碳转型显得尤为迫切。可控低强度材料灌注桩(墙)技术的应用, 不仅

有助于实现建筑废弃物的资源化利用，减少环境污染，而且在降低工程成本、提高施工效率方面展现出巨大潜力。然而，由于该技术尚处于发展阶段，相关技术标准和规范尚不完善，导致在实际工程应用中存在一定的技术风险和不确定性。

为了规范可控低强度材料灌注桩（墙）的设计、施工和验收，确保工程质量和安全，编制一套科学、合理、可操作的技术规程显得尤为必要。本规程旨在为工程设计人员、施工人员和监理人员提供明确的技术指导，确保可控低强度材料灌注桩（墙）技术在不同工程条件下的可靠应用。

规程编制过程中，我们广泛收集了国内外相关技术资料，结合我国工程实践，对现有技术进行了系统总结和提炼。规程内容涵盖了材料选择、配合比设计、施工工艺、质量检验、安全监测等多个方面，力求做到全面、细致、实用。

规程的编制得到了业内专家的大力支持和参与，经过多轮专家评审和修改，最终形成了本规程的征求意见稿。我们诚挚地希望业内同行、相关单位和专家提出宝贵意见和建议，共同推动我国建筑废弃物资源化再利用技术的发展，为实现“双碳”目标贡献力量。

1.0.2 本条规定明确了可控低强度材料灌注桩（墙）的适用范围，适用于可机械成孔（或成槽）的各类型地层；当地下水具有腐蚀性或流动性时，需确认地下水对可控低强度材料的影响可控后，方可按本规程的相关内容实施。

根据已有工程实践经验，可控低强度材料灌注桩适用于杂填土、素填土、淤泥、淤泥质土、软黏土等软弱土层，以及硬黏土（ $I_L > 0.5$ ）、砂类土、风化岩、卵石等硬质地层。

在湿陷性黄土、膨胀土、红黏土、冻土、盐渍岩土等特殊性地地区应用可控低强度材料灌注桩（墙）时，应持更为谨慎的态度，充分进行前期的地质勘察与试验验证，通过先批次试验桩评价作为设计与施工依据。

1.0.3 本规程强调了原材料选择与质量控制的重要性。由于可控低强度材料（CLSM）的性能受固废种类、固化剂品质、外加剂种类及掺量等多种因素影响，因此必须建立严格的材料检验与验收制度。可控低强度材料灌注桩（墙）仅为基坑工程中的一个分项，其材料、设计、施工和质量检查与验收应纳入整个基坑工程的范畴中，必须与基坑工程的其他分项(包括地基加固、基坑降水、支护体系和土方开挖等)相结合，并结合工程地方经验，综合考虑工程地质条件、水文地质

条件、主体结构与基坑情况、周边环境条件与要求、工程造价等因素，切实做到精心设计、精心施工，确保基坑工程和主体结构的施工安全，满足周边环境保护的要求。

3 基本规定

3.0.1 可控低强度材料灌注桩（墙）是由机械成孔（或槽）后，植入承载构件与灌注填充材料形成的具有承载、截水与防渗功能的复合结构。承载构件包含各类型材、钢结构、预制混凝土结构等高强度材料加工而成的结构构件，可控低强度材料作为灌注填充材料。

灌注的可控低强度材料经养护凝固后，形成具有一定强度和抗渗性能的桩体，通过植入承载构件改善桩体的承载性能，在基坑支护工程中可以作为挡土结构、止水帷幕、立柱桩等功能构件。

可控低强度材料灌注桩（墙）作为基坑挡土结构时，应遵照现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 中规定，采用弹性支点法进行支护结构受力与变形计算，并进行稳定性计算。

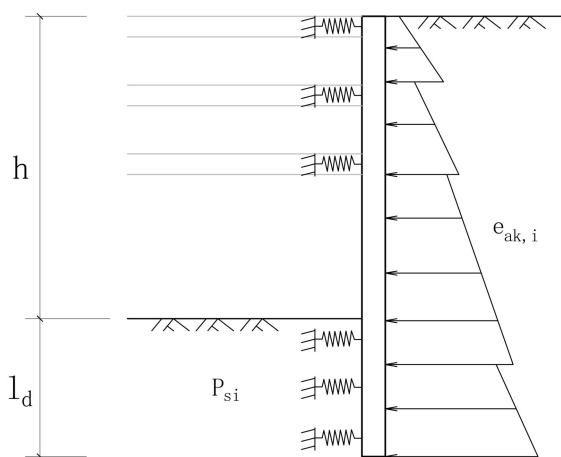


图 1 弹性支点法计算示意图

可控低强度材料灌注桩（墙）作为基坑止水帷幕时，应遵照现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 中的规定进行渗透稳定性验算，以确定止水帷幕长度。

可控低强度材料灌注桩作为立柱时，立柱的受压承载力、构造应满足行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 中规定。内插钢结构时，承载力按照国标《钢结构设计规范》GB50017 的计算方法进行；内插其余预制构件，则须满足相应的规范和图集要求。

立柱的基础，即立柱桩，应满足抗压和抗拔的要求。其单桩竖向抗压承载力应满足《建筑桩基技术规范》JGJ94 中的要求。

3.0.4 施工组织设计是保证可控低强度材料灌注桩（墙）正确使用的重要措施，编制时应在勘察报告、设计文件等资料的基础上，对建设场地和工程建设内容进行详细调查与分析，包括施工作业场所、材料制备工艺选型、施工机械、成孔工艺选用、可控低强度材料供材方式、承载构件的安装与回收措施等，对于危险性较大的深基坑工程，施工单位应当编制专项施工方案并组织召开专家论证会进行论证。

3.0.5 可控低强度材料灌注桩（墙）是基坑开挖过程中的关键结构，必须分阶段进行质量检验。施工过程中的检验环节包括可控低强度材料与承载构件的进场检验、成孔质量与精度检验、灌注材料留样检验、承载构件安装精度检验等；桩体养护完成后，在开挖前进行钻芯取样检验。加强施工过程中的质量控制以及开挖前的质量检验与验收工作，尽可能避免在材料生产、施工作业与基坑开挖过程中出现的质量问题，对确保工程安全是十分必要的。

3.0.6 基坑工程应进行全过程监测，可控低强度材料灌注桩（墙）与其他类型支护结构的监测要求基本相同，不同点在于当承载构件回收时，支护结构和周边环境的监测工作应一直持续到承载构件回收且拔除空隙处理完成。

4 可控低强度材料

4.1 一般规定

4.1.2 可控低强度材料的养护龄期可以根据工程需要提出，一般的基坑工程为 28d，对于有早强要求的可定为 7d 或 14d；用于污染物地下防渗阻隔工程时，材料性能指标检测龄期可设置为 56d、90d、120d、180d 等长龄期。

可控低强度材料的立方体抗压强度试块规格宜采用边长为 100mm 的立方体试块，当主料为粒径小于 5mm 的细粒土时，也可采用边长为 70.7mm 的立方体试块。

4.1.3 建筑固废是建筑工程在建造、修缮、拆除过程中产生的各类固体废弃物的总称，其中工程渣土占比最大，且目前资源化率较低，是利用潜力和价值最大的部分，因此本规程中建筑固废主要指工程渣土。

表 1 统计了南京市近年来的建筑固废产量。开发城市地下空间是解决城市发展面临的资源紧张问题的重要途径，也是工程渣土的主要来源，此外场地平整、航道修筑、河湖疏浚等也会产生大量的工程渣土，这导致了工程渣土存在增速快、存量高、来源广、成分杂、地域差异大的特征。其中增量高、存量高与资源化率低的矛盾显著，即工程渣土在短时间内大量产生，但是处置技术单一，处置能力弱，无法在短期内规模化消纳。

表 1 南京市建筑固废产量（单位：万吨）

固废类型	2020 年	2021 年	2022 年	2023 年
工程渣土	5651	7786.8	2926.74*	6450.2
工程泥浆	59	11.8	0.71	15.8
拆建垃圾	106	280	273	185.0
装修垃圾	/	/	18.6	17.5

*该数据为处置利用数量

固废是放错位置的资源，可控低强度材料可以利用工程渣土等建筑固废，资源化利用场地内待开挖的土体或消纳项目附近的一般固废，实现了变废为宝的高效技术路径。因而，优先消纳项目场地的土料或周边的工程弃土、一般固废，对城市建设与发展有着积极的意义。

表 2 列举了常见固废的特点，可供资源化利用参考。

表 2 常见固废特征

固废来源	固废种类	产生方式	主要成分	性质特点	处置利用方式
工程建设	工程渣土	基础施工、基坑开挖	填土、淤泥质土、黏性土、砂性土、卵砾石、风化岩等	基本与天然土一致	工程填筑、填埋
	建筑垃圾	工程建设、修缮、拆除	混凝土块、碎石块、砖瓦碎块、沥青块、废塑料、废金属、废竹木	材料组成、理化性质、粒径尺寸差异大，不均匀性大	填埋、再生混凝土骨料
	盾构渣土	盾构隧道施工	土、泡沫剂、分散剂、膨润土、絮凝剂等	含多种改良剂，流塑性、强度、黏附性、压缩性等与原土差异显著，不易排水固结	脱水堆放
	工程泥浆	桩基、地下连续墙等施工	水、天然土、膨润土	含水率高，颗粒细小、级配差，稳定性较好，难以自然沉淀分离	脱水堆放
	疏浚泥	河道、湖泊疏浚	水、黏性土、砂性土	含水率高，部分有机质含量高	脱水堆放
冶金行业	矿渣	高炉炼铁过程中的副产品	主要为氧化钙、二氧化硅、氧化铝、氧化镁，少量的氧化铁、氧化锰和二氧化钛等	质地疏松、多孔，比表面积一般为 $400\text{m}^2/\text{kg}$ ，多呈玻璃体结构，经碱激发后具有水硬性	制备水泥
	钢渣	高炉炼钢过程中的副产品	硅酸三钙、硅酸二钙、钙镁橄榄石、钙镁蔷薇辉石、铁酸钙、RO 相、铁酸盐矿物、游离的氧化镁和氧化钙等	比重大、吸水性低、磨损率低、硬度大、内摩擦角大	制备水泥、筑路材料
	赤泥	制铝工业提取氧化铝时排出的废弃物	文石、方解石、蛋白石、三水铝石、针铁矿，少量钛矿石、菱铁矿、天然碱、水玻璃、铝酸钠和火碱	pH 在 11~13 之间，呈强碱性，颗粒粒径一般为 $0.05\text{mm}\sim 0.075\text{mm}$ ，粒径分散均匀，具有多孔结构，含水率高、持水性好	堆存、制备砖与陶瓷
制造业	粉煤灰	燃煤电厂发电副产品	主要为二氧化硅、氧化铝，含少量的氧化钙、氧化铁、氧化镁和未燃烧的碳等	呈多孔型蜂窝状组织，比表面积较大，具有较高的吸附活性，颗粒的粒径范围为 $0.5\sim 300\mu\text{m}$ ，吸水性较强，具有水硬性	制备水泥、混凝土
	脱硫石膏	冶金、化工行业烟气脱硫产生	主要成分为硫酸钙，含有少量碳酸钙、亚硫酸钙、二氧化硅、金属化合物等杂质	粒径较小，一般在 $30\sim 60\mu\text{m}$ ，外观为松散的湿粉类固体，易结团乃至大块固体	水泥、建材生产
	电石渣	化工行业乙炔生产的副产品	主要为氢氧化钙，含有少量的硅酸盐杂质	颗粒粒径较细，具有一定的孔隙结构，整体外观呈厚浆状，碱性高	水泥、建材生产
	木质纤维类	生物能源生产、造纸业的副产品	复杂有机高分子聚合物	相对分子质量在 $2800\sim 17800$ 之间，相对密度约为 $1.35\sim 1.50$ ，通常呈灰黄色或黄褐色	焚烧、提取木质素
采矿业	煤矸石	采煤过程和洗煤过程	主要为石英、黏土类矿物、铝土矿、碳酸盐类矿物、长石、黄铁矿和有机残煤等	密度在 $1.5\sim 1.8\text{g}/\text{cm}^3$ ，硬度较低，易磨损，颗粒形态不均匀性极大，不易成块堆积	回收煤、铁矿，发电，建材
	尾矿	选矿	低品位矿石	密度在 $1.5\sim 3.5\text{g}/\text{cm}^3$ ，颗粒粒径差异较大，棱角分明，形态不规则	水泥、建材生产

原材料调研除基本性质、数量、运输距离等内容外，还应对目标固废的污染性进行判别，分析有害物质的种类和含量，并需要关注浸出物危害性，判定为一般固废方可作为主材使用。固废的污染性判别可按《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》GB36600 表 1 45 项指标进行检测，并参考 GB36600 中第二类用地筛选值的控制要求或其他环保规范指标作为污染土的界定指标。

4.1.4 利用当地的粉煤灰、钢渣、废石膏等作为固化剂的补充原材料，固化剂应尽量利用当地的工矿废弃物，做到绿色、低碳、环保。采用新型固化剂时，可参照《土壤固化剂应用技术标准》CJJ/T 286、《软土固化剂》CJ/T 526 等规范对固化剂进行检测。

吸碳气硬性固化材料主要指活性氧化镁，这类固化剂的技术原理是活性氧化镁与土体中的水发生水化反应生成氢氧化镁后，进一步与空气中的二氧化碳发生反应生成碳酸镁，包裹土颗粒形成紧密的网状结构，达到降低土体含水率、减小土体孔隙率和提高土体强度的目的。已有研究表明，活性氧化镁固化土的强度形成与固化剂掺量、原料土的含水率、二氧化碳浓度、空气温湿度等密切相关，对施工工艺要求较高。但与水泥基固化材料相比，活性氧化镁应用碳排放量低，且强度增长过程中可持续吸收空气中的二氧化碳，能获得较好的环境效益，因此在条件允许的情况下可以用于可控低强度材料的固化剂。

4.2 材料要求

4.2.1 从承载受力角度，可控低强度材料的强度须考虑承载构件与可控低强度材料桩体间的错动受剪，以及承载构件间隔设置时，可控低强度材料成桩（或墙）最薄弱截面的局部受剪承载力。并且可控低强度材料灌注桩作为挡土和止水复合支护结构时，基坑开挖过程中如发生较大侧向变形，可能会导致可控低强度材料桩体开裂，不仅影响其截水效果，甚至会削弱可控低强度材料的抗剪能力，给基坑工程带来隐患。

从加工生产角度，可控低强度材料的强度受主料配比影响，28 天抗压强度 $\leq 8.0\text{MPa}$ ，按工程需求调配，灵活可控。为何定在 0.8MPa ：根据本规程编制过程中收集到的工程实例计算，得到了可控低强度材料的受剪承载力要求；再根据可控低强度材料抗压强度和抗剪强度的换算关系，可以得到可控低强度材料的最

小抗压强度指标，得出可控低强度材料应用于桩体（墙体）的强度不应小于0.8MPa。

强度与承载构件回收的关系：对于承载构件可回收的应用场景，通常在承载构件插入以前通过对表面处理并涂刷减摩材料，降低承载构件与可控低强度材料的粘结力，若可控低强度材料强度过高，将影响承载构件的拔出回收。

4.2.2 可控低强度材料灌注桩可用于截水帷幕、地下隔污屏障墙等，按照《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 一般桩体相互搭接、桩长连续、桩身渗透系数小于 $1\times10^{-6}\text{cm/s}$ 即可起到截水的效果，参照《可控低强度材料搅拌墙技术规程》JGJ/T 199 要求，一般情况下渗透系数宜达到 $1\times10^{-7}\text{cm/s}$ 。对于有防止重金属、有机污染物等迁移需求的地下屏障墙，可控低强度材料的渗透系数应满足相应的功能需求。

4.2.3 工程弃土、建筑垃圾再生料、尾矿、石屑是制备可控低强度材料较为优质的土料，杂填土、壤土、工程泥浆往往需要加强预处理或采用针对性的材料方案。铬铁渣、钛矿渣等冶炼渣需要进行必要的试验验证。安定性和吸水膨胀率不合格的钢渣原则上不得用作可控低强度材料的原材料，对于安定性和吸水膨胀率等合格的细钢渣颗粒，也应进行充分的试验研究，确保不影响流态固化土的长期性能方可使用。工矿业废渣替代土料时，还应关注其重金属浸出毒性。

工程泥浆含水率高，且可能含有分散剂、保水剂等外加剂，这些对可控低强度材料的性能均有影响，在处理工程泥浆时，应充分考虑这些物质的影响，并采取针对性措施。

4.3 配合比设计

4.3.1 可控低强度材料配合比设计需要考虑不同应用阶段对材料性能的需求，因此需要采用不同的控制性指标对材料质量进行控制，具体的控制指标可参照下表：

表 3 可控低强度材料控制指标表

控制阶段	关键性能指标	测试方法	参照规范
材料制备	原料干密度	环刀法或蜡封法	GB/T 50123 《土工试验方法标准》
	原料含水率	烘干法	
材料运输	凝结时间	贯入阻力法	GB/T 50080 《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》
一般灌注	流动值	圆筒法	
	抗离析性能	过筛法	GB/T 50080 《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》

	体积稳定性	非接触法/接触法	GB/T 50082《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》
水下灌注	密度	直接法	GB/T 50080《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》
作为基坑支护桩	抗压强度	立方体试块无侧限抗压强度试验法	JGJ 233《水泥土配合比设计规程》
作为止水帷幕	渗透系数	变水头渗透试验	GB/T 50123《土工试验方法标准》
特殊工况	抗冻性能	慢冻法	GB/T 50082《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》

4.3.2 考虑到工程实际生产、施工、养护中各种的变异因素影响，进行配合比设计时应留有一定的富余度。

4.3.3 流动值是指高 80mm，内径 80mm 的模具内可控低强度材料在自重作用下扩展的直径，用于表征可控低强度材料的流动性能。流动值越小，表示材料的流动性能越差。流动值过小的材料在灌注过程中难以只依靠自重作用密实，易导致桩身缺陷；而流动值过大则表明材料含水率过高、粒料间粘结性能差，对材料凝固时间、强度形成等均会有不利影响，因此材料的流动值必须控制在合理范围内。

可控低强度材料根据运输、泵送、灌注工作时候的便捷性和可靠性来设置流动值，在设计成品材料流动性时，还应注意，流动值设计时应考虑运输时间对流动性的影响，通常应为施工灌注时的流动性。对强度、收缩、抗渗等性能有较高要求时，应在满足施工条件达到情况下，尽量降低流动值。

4.3.5 固化剂的掺量与主料性质和工程指标需求有关。通过项目应用经验，5%~20%掺量的固化剂制备出的可控低强度材料，其强度、抗渗性能等指标可满足各类回填、桩身灌注的需求。具体的固化剂掺量可在此区间范围内，对主料开展配比试验确定，当试验结果表明固化剂掺量需超过 20%才能达到满足工程需求的指标时，需综合经济性评价来判断可控低强度材料应用的可行性。

4.3.6 合理使用外加剂可以改善可控低强度材料的工作性能，更好地适应工程需求。由于可控低强度材料的固化剂多以水泥基材料为主，因此目前市面上常见的混凝土外加剂对于可控低强度材料仍有较好地适用性，常见的可控低强度材料外加剂见下表。

表 4 常用外加剂参照表

外加剂类型	型号	功能
早强剂	氯化物系（氯化钙、氯化钠）；硫酸盐系（硫酸钠、硫酸钙）；有机物系（三乙醇胺、三异丙醇胺）	缩短材料固化凝结时间，加速强度形成
缓凝剂	木质素类、糖类、磷酸盐、酒石酸盐、葡萄糖酸盐、柠檬酸及其盐类、纤维素及其衍生物等	降低材料凝结速度、延长凝结时间
减水剂	木质素类、糖蜜类、萘系、氨基酸磺盐、脂肪族、聚羧酸	不改变流动性的同时减少材料用水量
引气剂	松香树脂类；烷基苯磺酸盐类；脂肪醇磺酸盐类	改善耐久性与抗冻性
速凝剂	铝氧熟料	使材料迅速凝固
膨胀剂	硫酸铝钙类、氧化钙类、氧化镁类、复合纤维类	使材料具有微膨胀性，用于防水和抗裂

5 设计

5.1 一般规定

5.1.1 可控低强度材料灌注桩的承载桩与素桩，其使用功能具有较明显区别，素桩具有防水、隔渗以及改良原地层的功能，但抗弯性能较差，无法直接作为基坑支护桩承载土压力的作用；承载桩除具备素桩功能以外，植入了承载构件，极大地提升了挡土承受载荷的能力，二者的灵活组合使用，可以有效地解决基坑支护工程中挡土与止水问题。

承载桩的间距应结合计算确定，柱列式布置的承载桩可配合使用挂网喷浆或挡土板等措施进行桩间挡土，咬合式布置的承载桩应考虑灌注桩间搭接长度的要求。对于没有抵御土压力作用需求的地下隔渗墙等，可仅使用素桩咬合搭接。

素桩桩径可以根据成孔设备灵活调整，承载桩尺寸选择还需要考虑咬合作业、承载构件、协调变形等多种因素。经过大量工程实际验证，应用于基坑支护桩型多为直径 600mm~900mm 的普通型，直径小于 600mm 的微型桩多用于简单的坑槽开挖支护，直径大于 900mm 桩型应用于特殊需求的部位或者超深基坑支护。

5.1.2 可控低强度材料灌注桩除作为基坑挡土结构或者截水帷幕外，也可以单独用作与其他支护结构结合的截水帷幕、水利工程中永久性截水帷幕以及地基加固等，其设计要求应分别遵照相应规范的规定，一般情况下渗透系数宜达到 $1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ 。一般情况下基坑工程中不进行截水帷幕渗透系数的专项检测。对于重大工程和永久性截水帷幕，应根据设计要求进行渗透性试验，确定截水效果。

采用咬合式布置时，承载构件的布置形式和间距应根据实际受力计算确定。

5.1.3 可控低强度材料灌注桩（墙）的适用开挖深度与支护结构变形控制要求、场地土质条件、桩体直径、桩间距、承载构件刚度、以及可控低强度材料强度等因素有关。增加桩径、提高承载构件抗弯能力、加密桩间距和提高可控低强度材料的强度，可以提高型钢可控低强度材料灌注桩（墙）的适用开挖深度，可控低强度材料灌注桩（墙）的设计在满足安全的前提下，应充分考虑经济性和施工便捷性，以获得最大的效益。

在同一个基坑工程中，可以选用多种直径的桩体和多种类型的承载构件组合使用。当支护桩自身承载能力不足时，可通过增强承载构件刚度、设置支锚结构或其他措施对支护桩的承载能力进行调节。

咬合式布置的可控低强度材料灌注桩（墙）是挡土和截水复合支护结构。基坑开挖过程中如发生较大侧向变形，可能会导致可控低强度材料的开裂，不仅影响其截水效果，甚至会削弱材料的抗剪能力，给基坑工程带来安全隐患。出于基坑工程的质量和安全性的考虑可控低强度材料灌注桩（墙）的适用深度宜结合支护结构的稳定性、承载能力和变形控制要求综合确定。

根据近几年完成的众多工程实例，在建筑基坑常规支撑设置下，直径为 600~800mm 的可控低强度材料灌注桩（墙）适用于开挖深度不大于 8.0m 的基坑；直径 800~900mm 的可控低强度材料灌注桩（墙）适用于开挖深度不大于 13.0m 的基坑；直径大于 1000mm 的型可控低强度材料灌注桩（墙）适用于开挖深度不大于 18.0m 的基坑。在硬质地层场地中桩径选取较小值，在软土地层中桩径选取较大值。也有通过增加支撑（或锚杆）道数，而加大开挖深度的例子。设计人员在相关的构造和适用性方面应注重地方经验的积累，综合比较后采用。

5.1.4 可控低强度材料灌注桩（墙）具有挡土、截水或者同时具有挡土与截水的作用，在设计计算时参照《建筑基坑支护技术规程》JGJ120 执行或者参照不同行业与地区相应的规范标准。可控低强度材料灌注桩（墙）施工设备选型灵活，适合各类型地层，内置的承载构件可以根据场地与项目要求进行选型与回收，在场地狭窄、地层复杂、环保要求高的工程项目中，经济与环境效益更加显著。

5.1.5 基坑支护结构都应根据基坑周围环境保护要求和基坑自身安全确定变形控制指标，可控低强度材料灌注桩（墙）的变形控制还应满足内置承载构件回收的要求。基坑开挖过程中应避免发生较大变形造成可控低强度材料开裂，影响其截水效果以及对可控低强度材料抗剪能力的削弱，过大的变形也会导致型钢拔除困难。

计算变形容许值的取值可依据《建筑基坑支护技术规程》JGJ120、《建筑地基基础设计规范》GB50007 和《建筑基坑工程监测技术标准》GB 50497 中的相关要求确定，有可靠的当地工程经验和地方标准要求时，也可参照确定。

表 5 支护结构的安全等级及容许变形值

安全等级	基坑开挖深度及破坏后果	容许变形值（mm）
一级	≥12m，支护结构失效、土体过大变形对基坑周边环境或主体结构施工安全的影响很严重。	20~30
二级	除一级和三级以外的基坑，支护结构失效、土体过大变形对基坑周边环境或主体结构施工安全的影响严重。	30~40

三级	<7m，支护结构失效、土体过大变形对基坑周边环境或主体结构施工安全的影响不严重。	40~60
----	--	-------

5.1.6 内置承载构件选型时，需要考虑施工产生的垂直偏差以及咬合施工对已植入的承载构件的影响，因此规定承载构件的外缘与孔壁、咬合边界保持一定的距离，可按图 2 和图 3 确定控制净距。

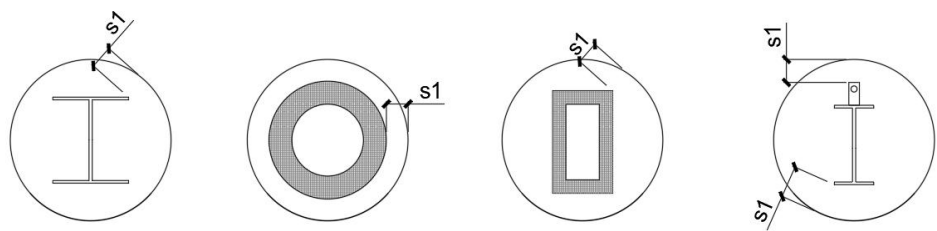


图 2 承载构件与孔壁净距示意

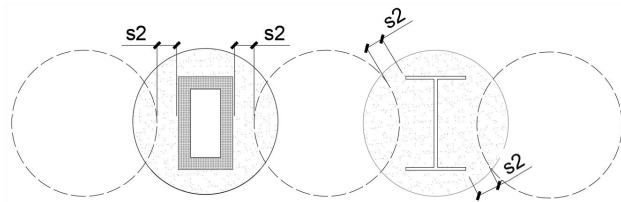


图 3 承载构件与咬合边界净距示意

5.1.7~5.1.9 承载构件是可控低强度材料灌注桩（墙）的主要受力构件，直接影响了桩体的承载性能与工程安全，因此承载构件的合理选用对可控低强度材料灌注桩（墙）的质量和经济性有重要意义。

1 承载构件的选型可参照下表：

表 5 承载构件选型参照表

类型	选型参照指标
型钢	租赁便捷性，抗弯、剪能力强，方便安装与回收； 首选 H 型钢或工字钢
预制混凝土结构	购买便捷性，抗弯、剪能力强，方便运输与安装； 首选采用先张法预应力高强管桩/方桩
组合钢构	租赁便捷性，抗弯、剪能力强，方便安装与回收； 首选型钢预应力组合钢构

我国幅员辽阔，各地工程产业链差异较大，因此承载构件的选择需要充分结合当地供材情况，以实现最佳收益。承载构件选型时，优先选用 H 型钢，若采

用预制混凝土结构或者组合钢结构，须同时考虑安装的便捷性、市场供给经济性和回收的可行性。

(1) 型钢

型钢是目前基坑中最常用的竖向围护桩之一，成熟度高，市场供应充裕。型钢应根据桩径选用，如普通型桩宜采用 H488×300×11×18、H500×200×10×16、H700×300×13×24 的 H 型钢；微型桩宜采用合适型号的钢管、槽钢或工字钢；大直径型桩宜采用 H800×300×14×26、H850×300×16×24 的 H 型钢，其他非标准型钢经计算后也可采用。

现行国家标准《热轧 H 型钢和部分 T 型钢》GB/T 11263 规定了热轧 H 型钢的尺寸、外形、重量及允许偏差、技术要求、试验方法、检验规则、包装、标志及质量证明书。内插 H 型钢可按现行国家标准《热轧 H 型钢和部分 T 型钢》GB/T 11263 取用热轧型钢。

当采用焊接型钢时，其尺寸、外形及允许偏差、所用钢材、焊接材料、焊接工艺、检验规则、包装、标志及质量证明书可按现行国家标准《焊接 H 型钢》GB/T33814 选用。

(2) 预制混凝土桩

可控低强度材料灌注桩（墙）内置承载构件为预制混凝土桩时，结合材料受力性能，通常采用预制管桩或预制矩形桩。预制管桩可按现行国家标准《先张法预应力混凝土管桩》GB/T 13476、国家标准图集《预应力混凝土管桩》10G409、行业标准《预应力混凝土管桩技术标准》JGJ/T 406 选取。预制矩形桩可参照地方标准《先张法预应力混凝土支护桩》苏 G/T20、地方标准《预应力高强混凝土矩形支护桩》苏 G/T21、企业标准《DP 先张法预应力混凝土矩形实心支护桩》Q/320705 选取。

预制混凝土结构，工厂化制作，承载力能力大、施工速度快，无现场污染。在地下工程施工周期较长时，对比 H 型钢及组合钢构，有经济优势。以下为常见预制混凝土结构支护桩常见规格及抗弯、抗剪性能。

表 6 预应力高强混凝土矩形支护桩（SPR）

宽度 B (mm)	高度 H (mm)	内径 D (mm)	混凝土强度等级	设计弯矩 (kN·m)	设计剪力 (kN)
375	500	200	C80	360	291

450	600	250	C80	514	379
525	700	300	C80	796	542
600	800	400	C80	1137	611

表 7 预应力混凝土管桩（PHC）

外径 D (mm)	壁厚 t (mm)	型号	混凝土强度等级	桩身受弯承载力 设计值 (kN·m)	桩身受剪承载力 设计值 (kN)
500	125	B	C80	245	308
600	130	B	C80	407	396
700	130	B	C80	578	467
800	130	B	C80	827	553

表 8 预应力混凝土矩形实心支护桩（SPR）

截面尺寸 (mm×mm)	支护桩 型号	混凝土强 度等级	受力 方向	设计弯矩值 (kN·m)	设计剪力值 (kN)
350×500	B	C60	强轴	284	371
400×600	F	C60	强轴	495	508
450×650	K	C60	强轴	729	629
500×700	L	C60	强轴	992	798

（3）预应力型钢支护桩

预应力型钢支护桩是通过在型钢等钢制支护桩上增加构件或以多种钢制支护桩组合使用，以改善钢制支护桩的受力性能，其中预应力型钢是基坑工程中比较典型的组合钢结构。

预应力型钢支护桩的技术原理是以施加预应力的方式对型钢预加弯矩，该弯矩方向与基坑开挖时桩后土压力作用产生的弯矩相反，以此来减小型钢支护桩工作状态下的桩身弯矩，可改善挡土结构工作状态下的内力分布，减小挡土结构构造尺寸，达到控制桩身变形，减小桩顶位移的目的。

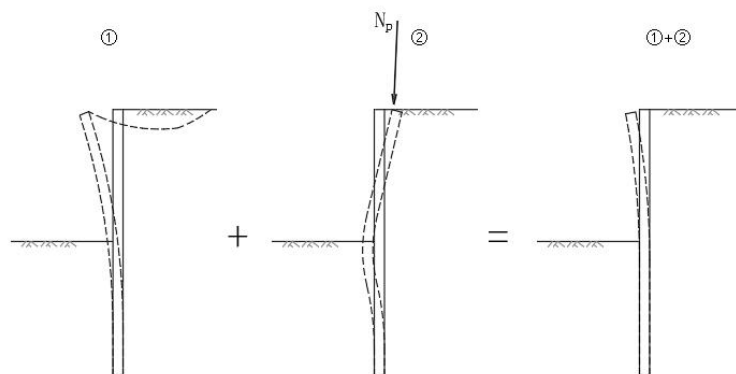


图 4 预应力型钢桩原理示意

预应力型钢支护桩是南京东大岩土工程勘察设计院团队于近年所研发的一种新型型钢支护桩，由型钢和预应力系统组成，其中预应力系统包括预应力筋材，底部固定端，顶部锚固端等构件。工程应用中，通过液压千斤顶等设备对预应力筋材进行张拉并锚固，从而在型钢内产生预加弯矩。

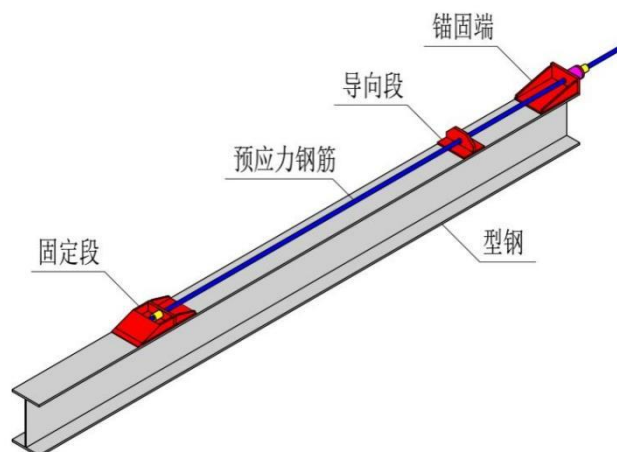


图 5 预应力型钢桩结构组成

预应力型钢支护桩可通过在已有的型钢支护桩上安装预应力系统实现，最大限度地降低经济成本。通过施加不同的预应力，可以调节型钢支护桩在荷载作用下的变形，改善传统型钢支护桩刚度单一的缺陷，以适应不同地层、挖深导致的土压力荷载变化。由于预应力型钢支护桩可以主动减少基坑侧壁在荷载作用下的变形，因此可以减少或取消支锚结构的使用，节约建造的经济成本，也避免了支撑设置过多导致的基坑施工作业空间被挤占、切割的问题。

预应力系统可根据工程需要设置在不同的位置，如设置在单支撑体系基坑的外侧，可以减少支撑间距或取消支撑将支护体系变为悬臂式；如设置在多道支撑体

系基坑的内侧，可以取消支撑拆除过程中的换撑。

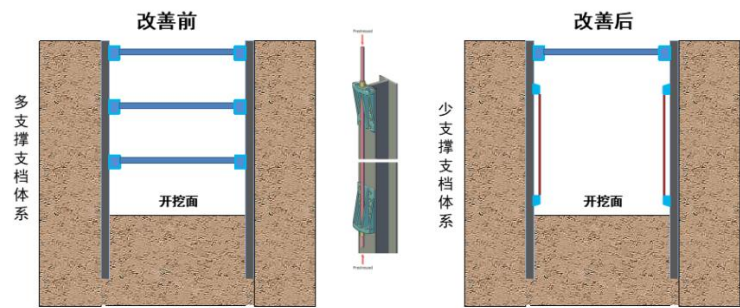


图 6 内侧布置预应力型钢桩要优化支撑示意

5.2 设计计算

5.2.1 可控低强度材料灌注桩（墙）用作基坑支护结构与隔渗帷幕时，其荷载作用、内力与变形计算、抗渗流与抗突涌、稳定性验算等应符合现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ120 的有关规定。有条件时，土体变形估算也可采用数值模拟方法进行。

5.2.2 由可控低强度材料和内置承载构件复合的可控低强度材料灌注桩（墙），具有挡土和截水的双重功效，可控低强度材料和内置承载构件的相互作用是个值得探讨的问题。承载构件采用型钢（或组合钢结构）可以做到回收重复利用，大大降低了工程造价。但需要回收的型钢表面要涂上减摩材料以降低型钢（或组合钢结构）与可控低强度材料间的粘结力，这直接影响了二者之间的相互作用。

针对型钢（或组合钢结构）与可控低强度材料组合刚度问题，编制组采用不同截面形式型钢和不同强度的可控低强度材料组合成梁进行了室内模型试验，试验中采用不同的加载方式对涂减摩材料和不涂减摩材料的组合梁分别进行了试验，通过量测挠度的方式，得出组合梁的刚度，并与单独型钢的刚度进行对比分析。主要试验研究成果如下：

1 在正常工作条件下，当组合梁变形较小时，可控低强度材料可以显著提高组合梁的刚度。按照不考虑可控低强度材料刚度提高作用求得的梁体变形值可以包络实际可能发生的变形量。

2 组合梁变形较大时，在弯曲破坏发生处，型钢与可控低强度材料的粘结会完全破坏，此时，型钢单独受力，当在型钢上涂刷减摩材料时，型钢与可控低强度材料的粘结破坏现象更为明显。故验算承载能力极限状态下可控低强度材料搅拌墙的受弯承载力时，不应考虑可控低强度材料的贡献。

3 不同截面形式的型钢形成的组合梁, H 型与可控低强度材料组合梁整体性明显优于钢管, 在加载初期钢管组合梁的可控低强度材料便开始脱落, 其形成的复合整体性明显低于 H 型钢。

根据本次试验工作和国内外研究成果, 从基坑工程安全角度出发, 采用承载能力极限状态进行可控低强度材料灌注桩的受力计算中不考虑可控低强度材料的作用。

5.2.3 可控低强度材料灌注桩(墙)是复合挡土截水结构, 可控低强度材料作为截水体系应深入到基底以下一定深度。当基坑工程遇到承压水问题时, 可控低强度材料灌注桩(墙)除应满足基坑开挖到底时基坑抗渗流稳定性外, 还应结合基坑工程总体设计满足承压水处理的要求, 截断或部分截断承压含水层。当穿越承压含水层时, 需要考虑地下水的流动性对可控低强度材料的影响; 当桩长大于 30 米时, 需考虑施工设备垂直度带来的不利影响, 宜适当增加咬合搭接的宽度。

5.2.4~5.2.5 可控低强度材料灌注桩(墙)作为支护结构, 其内力与变形设计应遵照现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ120 中的有关规定, M_k 、 V_k 分别是采用弹性支点法进行计算得到的作用于支护结构上的弯矩和剪力。进行承载力计算时, 可根据包络图取最大值, 作用内力应分别乘以支护结构重要性系数(γ_0)和设计分项系数(1.25)

5.2.7 外侧水和土形成的侧向压力作用下, 与承载桩搭接的素桩可控低强度材料需要承担局部剪应力, 为防止素桩与承载桩搭接面发生破坏, 应进行承载构件边缘之间可控低强度材料段的错动受剪承载力和受剪截面面积最小的最薄弱面受剪承载力验算。根据承载桩与素桩的破坏模式, 最大剪应力出现在外侧水土压力最大的区域, 即位于开挖面位置。选取承载桩与素桩咬合搭接最薄弱面进行受剪承载力验算作为校核, 一般选取两桩交界面。

对材料抗剪强度标准值 τ_c 可选择可控低强度材料室内剪切试验强度结果或者取 28d 无侧限抗压强度 q_u 换算关系, 抗剪强度 τ_c 一般取为 $q_u/3$ 。与行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ120 中对于支护结构的设计安全水准的相关规定相统一, 在确保总安全系数为 2 的前提下, 进行可控低强度材料的抗剪计算时考虑 1.6 的材料抗力分项系数以及 1.25 的荷载分项系数。

采用 H 型钢以外的承载构件时, 也需要对局部受剪承载力进行验算。当承

载构件为混凝土管桩、钢管等圆形构件时，需验算可控低强度材料灌注桩搭接处的最薄弱截面的局部受剪承载力；当承载构件为预制方桩等矩形截面构件时，还应验算沿受力方向，承载构件与可控低强度材料交界面处截面的局部受剪承载力。

5.2.8 由于承载构件与可控低强度材料强度差异性较大，作为端承桩工作状态时，载荷完全通过刚度大的承载构件传递，无需考虑可控低强度材料的承载能力。在软弱土层中，依靠侧面摩阻提供立柱桩承载力时，可控低强度材料利用自身与承载构件一体性，直接增加了桩周接触面积，在计算此类桩型时，可以考虑可控低强度材料的有利作用，但必须对承载构件与可控强度材料之间后握裹强度进行复核验算，验算方法可按《建筑桩基技术规范》JGJ94 中的相关要求。

5.3 构造

5.3.1 在工期紧迫情况下，可通过提高可控低强度材料设计强度或者加入早强剂等措施来提前达到设计要求的强度。

随着桩长增加，机械钻进的垂直度控制对咬合搭接质量的影响更为显著，增大了咬合作业施工难度。根据经验，桩长超过 30m 时，宜增大咬合搭接宽度或加强垂直度控制要求，保证咬合密闭性；而承载桩与承载桩进行咬合作业时，则不宜盲目增大搭接宽度，应加强成孔垂直度控制，并通过定位导向架进行承载构件安装辅助，确保承载构件植入的垂直度满足要求，避免冲突。

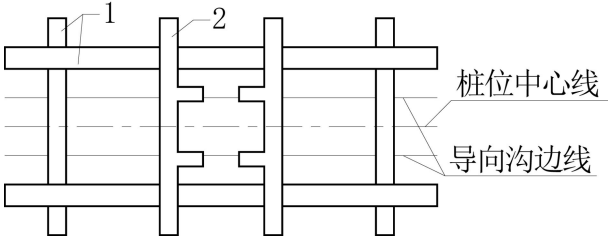


图 7 定位导向架参考图（1-定位型钢 2-导向卡扣）

5.3.2 承载构件直接决定了桩的承载能力，通过构造要求控制承载构件的质量，有助于确保工程安全。

2 型钢焊接的强接头原则即焊接接头的强度应大于母材，对于需要焊接的型钢，对接焊缝的坡口形式和要求应符合现行行业标准《建筑钢结构焊接技术规程》JGJ 81 的有关规定；采用预制桩的连接接头须满足选取相应预制桩的图集和规范要求，可根据国家规范和地方标准的要求进行调整。

现行国家标准《热轧 H 型钢和部分 T 型钢》GB/T11263 规定了热轧 H 型钢

的尺寸、外形、重量及允许偏差、技术要求、试验方法、检验规则、包装、标志及质量证明书。本规程的内插型钢可按现行国家标准《热轧 H 型钢和部分丁型钢》GB/T 11263 取用热轧型钢。

行业标准《焊接 H 型钢》YB 3301 规定了焊接 H 型钢梁的型号、尺寸、外形、重量及允许偏差、技术要求、焊接工艺方法等。标准还对焊接 H 型钢梁的焊缝作了明确的要求，即钢板对接焊缝及 H 型钢的角焊缝的质量检查，可参照现行国家标准《钢焊缝手工超声波探伤方法和探伤结果分级》GB/T11345。行业标准《焊接 H 型钢》YB3301 未规定事宜，应按行业标准《建筑钢结构焊接技术规程》JGJ81 有关规定执行。不同开挖深度的基坑，设计对型钢规格和长度要求不尽相同。一般情况下，内插型钢宜采用整材，当特定条件下型钢需采用分段焊接时，为达到分段型钢焊接质量的可控性以及施工的规范化，确保支护结构的安全，本规程规定分段型钢焊接应采用坡口焊接，焊接等级不低于二级。考虑到型钢现场焊接以及二级焊缝抽检率仅为 20%的因素。

3 本条文另外对型钢焊接作了具体要求。单根承载构件的接头数量、焊接位置，以及相邻承载构件的接头竖向位置错开等要求由设计人员根据工程实际情况确定，焊接接头的位置应避免在受力较大处(如支撑位置或开挖面附近)设置。

4 造成型钢回收困难的主要原因包括型钢与桩身材料间的摩阻力和型钢受荷产生的塑性变形，前者可以通过在型钢表面涂刷减摩材料降低摩阻力，后者则可依靠增大机械起拔力，使型钢周围的桩身材料破坏降低阻力。当可控低强度材料强度超过 2.3MPa 时，机械破除会存在一定的困难，型钢回收对机械起拔力要求会更高，起拔过程对周边环境的影响也会更大，因此必须明确型钢专项回收方案，选用合适的机械与辅助措施，尽可能提升回收成功率，降低影响。

5.3.3 压顶梁即为冠梁，使用压顶梁将支护桩连为整体，有助于提高围护体系的整体性，并使围护桩与支撑结构形成稳定的受力体系。

目前型钢回收主要采用拔桩机支撑于压顶梁上，通过液压千斤顶产生反力拔出型钢，起拔过程会对压顶梁产生较大的荷载作用，因此压顶梁的规格尺寸必须满足拔桩机的放置需求，并且可以抵御拔桩过程中产生反力。由于型钢整个截面锚入压顶梁，为便于后续拔除，压顶梁和型钢之间采用一定的材料隔离，因此计算过程中型钢对压顶梁截面的削弱是不能忽略的。

压顶梁与型钢的接触处的隔离材料。若在围护受力后产生较大的压缩变形，对控制基坑总的变形量是不利的。因此一般采用不易压缩的材料，如油毡等。

冠梁的箍筋直径和间距由计算确定，一般采用四股箍。对于因内插型钢导致箍筋不能封闭的部位，宜在型钢翼缘部位外侧设置小封闭箍筋构成小边梁予以加强。

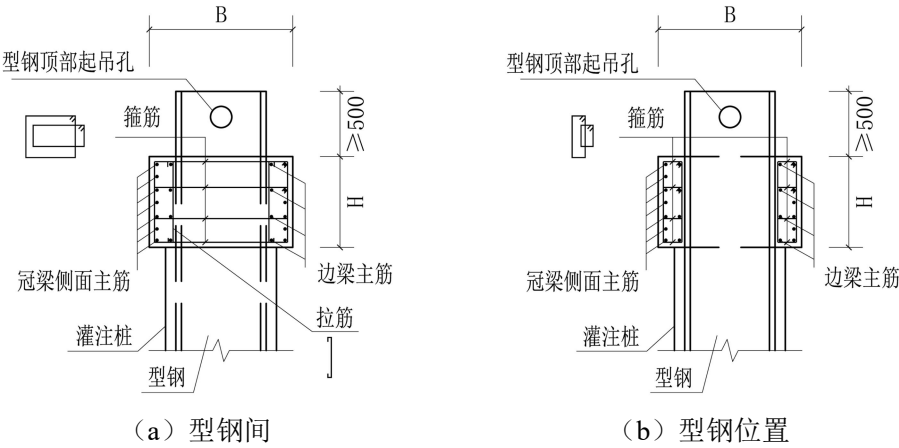


图 8 型钢与压顶梁连接示意

3 预制桩与压顶梁的连接，通常采用填芯的方式，如空心矩形支护桩、管桩。为确保桩顶与冠梁的连接牢靠，桩顶需锚入冠梁一定长度，不小于 100mm；同时，空心预制桩顶部设置端板和钢筋笼，并用混凝土填充，填芯长度不小于 1m（管桩为不小于 2 倍直径）。对于实心矩形桩，通常在桩端板预设钢筋孔，通过插筋方式将矩形桩与压顶梁连接，桩锚入压顶梁高度不小于 100mm。

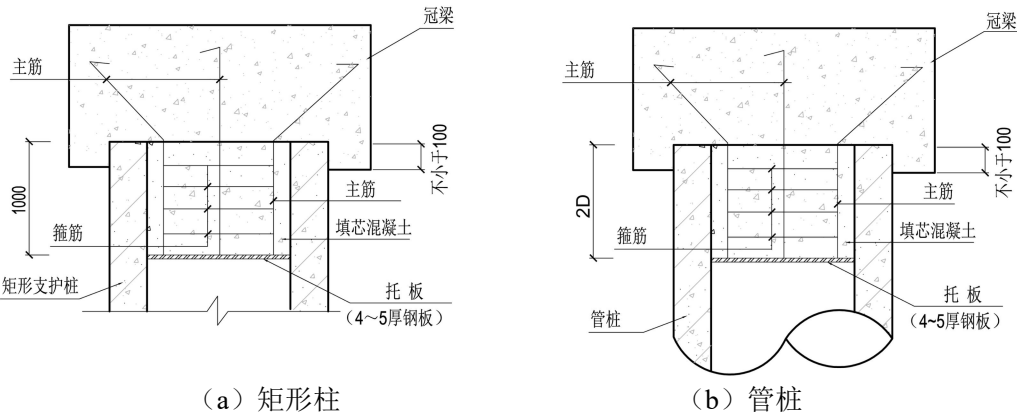


图 9 空心桩与压顶梁连接示意

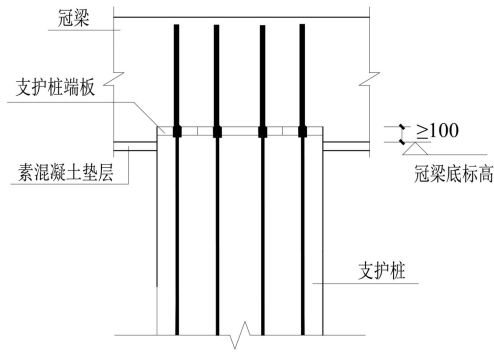


图 10 实心桩与压顶梁连接示意

4 组合钢构与压顶梁的连接与型钢类似，但需要注意的是，若采用预应力型钢，应在压顶梁中为预应力钢筋预留活动通道。

5.3.4 钢筋混凝土腰梁的构造可以参照图 11 进行设置。

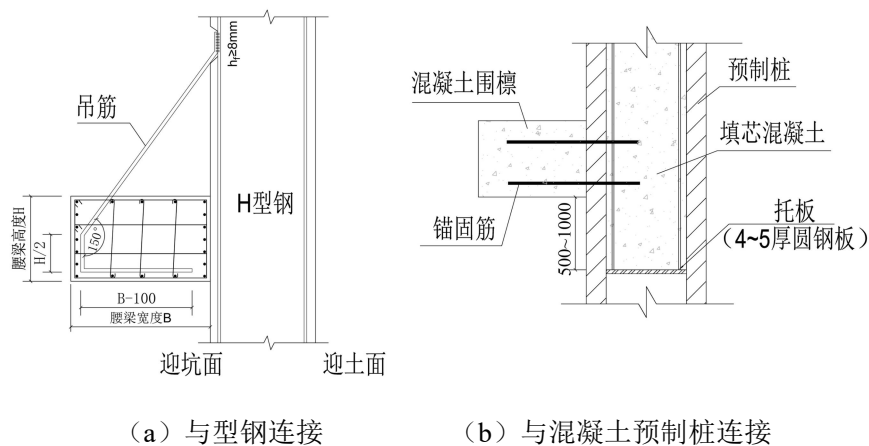


图 11 钢筋混凝土腰梁与支护桩连接示意

钢腰梁的使用，可节省工期，提高施工工效。施工过程中，由于内置承载构件存在定位和垂直度偏差，承载构件与钢腰梁间往往存在间隙，因此需要采用可靠的材料，如细石混凝土进行填实，具体做法可参照下图。

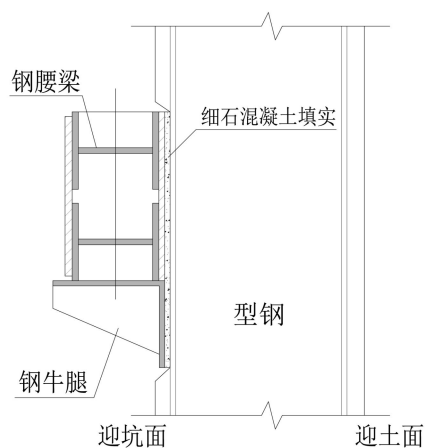


图 12 钢腰梁与支护桩连接示意

5.3.5 当基坑内支撑体系中采用斜撑时，需考虑支撑竖向分力产生的冠梁沿承载构件向上的剪力，并在型钢与冠梁之间设置抗剪构件(如抗剪牛腿、栓钉等)。

5.3.6 可控低强度材料灌注桩（墙）与其他支护结构(如地下连续墙等)共同作为支护结构时，在两种支护结构连接处应采取高压喷射注浆等措施进行衔接确保截水可靠。

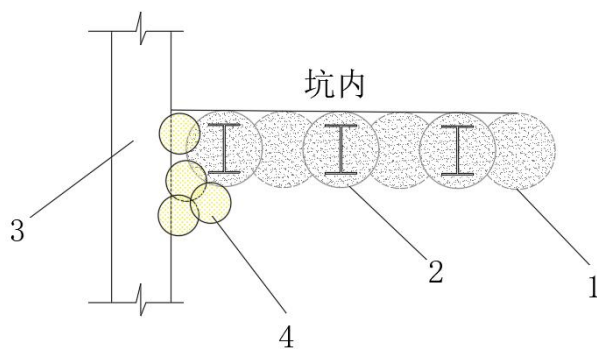


图 13 可控强度材料灌注桩与其他支护结构连接示意

1-素桩；2-承载桩；3-其他支护结构；4-高压旋喷桩

6 施工

6.1 一般规定

6.1.5 由于不同地区的地质条件、原材料、施工机械设备等差异性较大，因此规定施工前必须进行试成桩，验证材料配合比、成孔机械与工艺的适用性，成桩质量与经济性等参数。

试桩灌注过程中应观察桩孔孔口与侧壁的稳定性和材料灌注的连续性，并计算灌注桩的充盈系数，对成孔与灌注工艺进行综合评判。

试桩后应通过钻芯、应变法等手段检测成桩的均匀性与完整性，当检测结果表明桩身存在缺陷时，应查明原因，并相应采取调整材料配比、优化灌注工艺、增加振动密实等措施。

6.1.6 成孔施工过程中的振动过大，会使邻桩出现孔壁塌陷、缩径等问题，影响最终的成桩质量，因此设置间隔成桩的施工措施以及至少 24 小时的施工间隔要求，保证桩身灌注材料终凝完成，避免桩孔掘进过程中对邻桩侧壁和桩动。施工前及施工过程中应加强对邻桩的观察，如出现桩身未凝固，孔口塌陷等情况，应暂缓施工，查明原因并采取相应的措施。对于高渗透性地层，成孔与灌注作业的相互扰动会加强，还需要结合实际情况进行试桩来确定施工间隔。

6.2 成孔施工

6.2.1 成孔工艺直接影响了可控低强度材料灌注桩的经济成本、工期和后期成桩质量，必须结合工程实际需求和场地地层条件综合选用成孔工艺与机械。

1 在进行成孔机械选型时，可参照下表进行调查与确认：

表 9 机械选型调查内容

调查项目	调查项目	调查确认内容
周边环境	通行道路	道路宽度、高度、坡度限制；
	运输出入口	出入口宽、高、坡度，可否满足机械旋转；
	近邻协议	协议内容(作业日，时间、振动、噪声限制)；
	相邻建（构）筑物	相邻建（构）筑物，邻近设施，到作业场所的距离，设备作业空间；
	水电供应	工程供水类型、水质，供电方式；
	其他	有无对振动敏感的设备
场地状况	场地布置	场地状况，机械设备的组装、解体场所，机械设备作业场所，材料堆场，材料运输通路，弃

		土堆场，地基承载力(必要时地基加固)，平整度，降雨时的状况；
	地下障碍物及埋设物、地上障碍物	有无地下埋设水管和今后的管线规划，有无旧水井、防空洞、旧构筑物的残余，有无架空线；
	其他	有无树木等突出物
地质条件	地层条件	地质钻孔位置，各种土层物理力学指标(无侧限抗压强度等、含水量、渗透系数等)，颗粒分析，有无有机质土等特殊土；
	地下水	地下水位，水位的变化，有无承压水和承压水的水头大小，有无地下水流、地下暗河及状况
其他	废弃物排放	施工钻渣、钻液等排放；
	施工困难之处	施工有困难的部位，施工管理困难问题，施工作业失败先兆，临近作业有失败先例等。

2 旋挖成孔作业由于工艺成熟，适用地层和工况范围较广，因此被优先推荐选用。成孔工艺的选用，可参照下表进行调查与确认：

表 10 成孔工艺选型表

成孔工艺	适合地层	注意事项
旋挖钻进	适用于各类型的粘性土、粉土、砂土、填土、碎石土及风化岩层等各类型地层	松软地层成孔容易孔壁坍塌，需要采用护壁措施
回旋钻进	适用于地下水位较高的软、硬土层，如淤泥、黏性土、砂土、软质岩层等	需要做好孔壁清洗工作
全套管钻进	适用于各类型的粘性土、粉土、砂土、填土、碎石土及风化岩层等各类型地层	优势明显，但施工造价高，成桩速率低
螺旋钻进	适用于地下水位以上的黏性土、粉土、填土、中等密实以上的砂土	施工振动明显，扰动较大
潜水钻进	适用于地下水位较高的软硬土层，如淤泥、淤泥质土、砂夹卵石	成桩直径小，施工精度低
冲击钻进	适用于黄土、黏性土或粉质粘土和入工杂填土层中应用	垂直度与成孔直径难保证
振动/锤击沉管	适用于在一般粘性土、淤泥、淤泥质土、粉土及回填土中使用	施工精度差，对地层扰动与先施工桩型扰动大
入工挖孔	适用于无地下水或地下水较少的黏土、粉质粘土、含少量的砂、砂卵石、姜结石的黏土层采用	施工风险高

6.2.4 在易坍孔地层施工时，应采取泥浆护壁、埋设护筒等措施，其执行要求应参照《建筑桩基技术规范》JGJ94 的规定。

泥浆护壁、护筒护壁等措施可以防止钻进过程中发生塌孔、缩径等问题，影响成桩质量。具体采用哪种措施，应根据地层条件、周边环境、经济性等综合确定，并且对可控低强度材料的性能参数进行调整。

泥浆护壁适用于高地下水位地层。所用护壁泥浆的配比与参数同一般钻孔灌注桩的要求，宜采用膨润土泥浆，相对密度为 1.1~1.2，含砂率不超过 15%。当采用泥浆护壁成孔，灌注的可控低强度材料应按照水下灌注的要求进行制备，即密度不小于 1550kg/m³，流动值控制在 120mm~200mm。

泥浆护壁无法满足施工要求的地层可采用护筒护壁。护筒内径宜比桩径大 20~40cm，在钻进的同时压入护筒，直到护筒进入稳定地层。可控低强度材料的灌注宜采用导管法，在灌注过程中逐渐提升护筒，直至拔出。

6.3 材料加工

6.3.1 工程建设中难免产生大量的渣土、建筑垃圾等固体废弃物，采用外运堆放的手段进行处理，不仅处置成本高，也会影响城市环境，占用大量的土地资源。利用一体化制备 CLSM 设备机直接消纳现场施工产生的工程渣土、建筑垃圾等，减少外运处置量，可以降低项目建设的成本，减轻城市建设与管理压力。原位生产的可控低强度材料的不仅可以应用于桩基，还可以用于工程回填、临时道路、地表硬化、管道包封、构造填充墙、表面防护等场景。

相比于一般的回填工程，应用于基坑支护桩的可控低强度材料，对强度、渗透系数等性能指标的要求更为严格，采用入工路拌等粗犷式加工方式所得的材料质量离散性较大，易带来安全隐患，因此可控低强度材料的生产必须采用机械化集中生产的形式，以确保材料的质量稳定性。

目前国内可控低强度材料生产供应模式主要为在城市中建立固定搅拌站进行集中生产，通过搅拌罐车运输至工程现场。由于材料流动性和初凝时间的要求，可控低强度材料的供应范围受到运距限制，也间接增加了材料的使用成本。同时，施工过程中产生的各类渣土、建筑垃圾等固废仍需运输至搅拌站进行集中加工，对固废处置效率的提升并不明显。

基于上述背景，南京东大岩土工程勘察设计院有限公司提出一体化制备 CLSM 设备机的构想并研制成功实机，打破了传统搅拌站供材的运距限制，并以该机械为核心，建立工程建设中“渣土/固废收集→可控低强度材料加工→现场

再利用”流水化施工工艺，减少工程外运处置的运输成本与弃土场地占用，实现工程固废原位资源化消纳。

一体化制备 CLSM 设备机将可控低强度材料的现场生产制备工艺简化为主料处理→浆液配置→固化剂与外加剂添加→强制搅拌→成品检测。并通过设备改造与结构优化缩小了整套设备的体积，使设备可以通过货车运输至工程施工现场，避免了因为运距限制导致可控低强度材料无法使用的情况。通过引入智能化方法对材料的称量与制备过程进行控制，保证材料配比正确，搅拌混合充分，有助于提升生产效率，稳定产品质量。目前成熟的一体化制备 CLSM 设备机单台产能约为 500~800m³/d，可以满足大部分工程施工需求。

配合比试验得到的配比数据还需通过一体化制备 CLSM 设备机批量生产的验证，主料的破碎和筛分、制浆效率，固化材料、辅料的搅拌控制，出料速度与凝结速率协调等均与配合比有关。通过小批次 10~20m³ 的试生产运行，可以直接检验配合比的工艺协调性。

成孔作业与可控低强度材料的供应直接关系施工进度。根据施工进度需求，安排成孔设备数量，计算出可控低强度材料桩体需求量，从而安排一体化制备 CLSM 设备机的产能和生产计划。

6.3.2 黏土、粉土等细粒土易粘结成块，若不处理直接加入固化剂进行搅拌，会导致土颗粒与固化剂接触不充分，影响固化粘结效果，大粒径的土块混在可控低强度材料成品中时，也会降低材料的均匀性与强度。因此使用黏土、粉土等细粒土制备可控低强度材料时，应先加水进行充分搅拌，形成均匀泥浆后再加入固化剂等。对于砂土、石渣等难以结块的松散粗粒料，可跳过制浆步骤，直接加入固化剂进行搅拌。

6.4 材料灌注

6.4.3 材料的灌注方式与材料的流动值、桩孔深度、成孔工艺、地下水条件等有关，试桩可按照下列经验制定初步灌注工艺：采用干作业成孔工艺，当可控低强度材料流动值在 120mm 至 180mm 之间时，可采用导管或溜槽灌注，灌注后材料一般可自密实；流动值小于 120mm 的可控低强度材料不宜用于桩身灌注，如条件限制必须采用，则应辅以振动密实措施；当桩孔深度超过 12m 时，溜槽灌注可能导致材料在下落过程中发生离析，应采用导管灌注。采用湿作业成孔工艺或高地下水位地区，应采用导管并按水下灌注工艺进行灌注。当材料流动值超过 160mm 时，可采用泵送工艺进行灌注。

6.4.4 水下灌注可控低强度材料主要采用导管法，其原理是将密封连接的钢管(或强度较高的硬质非金属管)作为材料的灌注通道，其底部以适当的深度埋在灌入的可控低强度材料内，在一定的落差压力作用下，形成连续密实的桩身。

可控低强度材料的水下灌注通过充分利用材料自重孔底成形，将桩孔内的护壁泥浆、地下水等向上挤出，用于水下灌注的可控低强度材料需进行专门的配合比设计，增大密度，确保灌注过程中不会出现遇水离析漂浮的现象，同时需要控制材料的流动值在合理范围内，既要避免因流动值不足而导致材料在导管内淤堵，也要避免流动值过大导致材料在灌注过程中被护壁泥浆或地下水冲散。

可控低强度材料水下灌注的工艺如图所示，主要工序为①在桩孔内插入导管，导管应位于桩孔中心位置，导管底口距孔底 0.3~0.5m；②在料斗下口装入封堵塞；③在料斗中灌入首批材料；④移除封堵塞，使材料由导管灌入桩孔中，首批灌入的材料应使得导管底口埋入材料中不小于 1.0m；⑤通过导管连续灌入材料，灌注过程中应注意导管提升，确保导管底口埋入材料深度不小于 1.0m，也不大于一节导管的长度；⑥成桩。

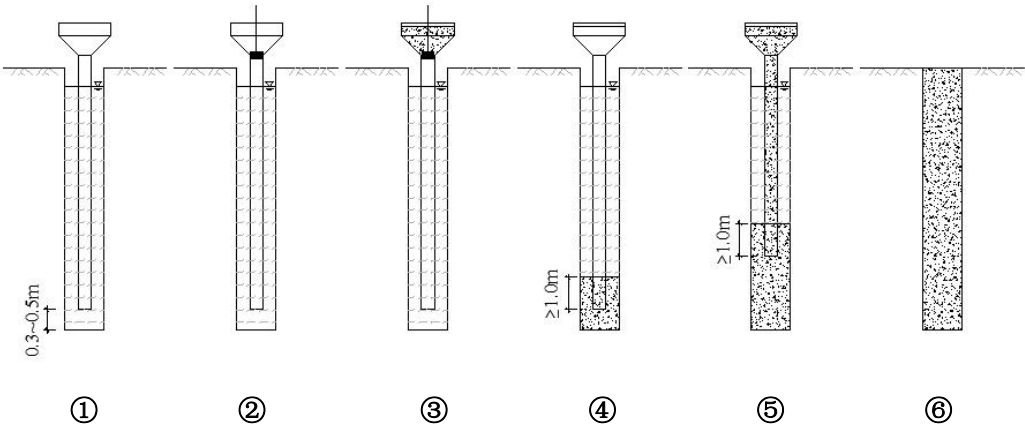


图 13 可控低强度材料水下灌注工艺示意图

6.5 咬合施工

6.5.1 旋挖钻机是工程中常见的成孔作业的施工机械。旋挖钻机的额定功率一般为 125~450kW，动力输出扭矩为 120~400kN·m，最大成孔直径可达 1.5~4m，最大成孔深度为 60~90m，可以满足各类大型基础施工的要求。该类钻机一般采用液压履带式伸缩底盘、自行起落可折叠钻桅、伸缩式钻杆、带有垂直度自动检测调整、孔深数码显示等，整机操纵一般采用液压先导控制、负荷传感，具有操作轻便、舒适等特点。旋挖钻机根据其主要工作参数:扭矩、发动机功率、钻孔直径、钻孔深度及钻机整机质量可以分为三种类型:

(1) 小型机, 扭矩 $100\text{kN}\cdot\text{m}$, 发动机功率 170kW , 钻孔直径 $0.5\sim 1\text{m}$, 钻孔深度 40m 左右, 钻机整机质量 40t 左右;

(2) 中型机, 扭矩 $180\text{kN}\cdot\text{m}$, 发动机功率 200kW , 钻孔直径 $0.8\sim 1.8\text{m}$, 钻孔深度 60m 左右, 钻机整机质量 65t 左右;

(3) 大型机, 扭矩 $240\text{kN}\cdot\text{m}$, 发动机功率 300kW , 钻孔直径 $1\sim 2.5\text{m}$, 钻孔深度 80m 。钻机整机质量 100t 以上。

全套管钻进施工法是指利用全回转钻机或搓管机对孔内套管施加扭矩, 使套管进行小角度或 360° 回转, 同时对套管向下加压, 将荷载传递到套管靴上, 使套管在地层中不断向下钻进。于此同时利用冲抓斗或旋挖钻机挖掘套管内的岩土, 减小套管内的土塞对套管内壁的摩阻力。钻进过程中需要连接套管, 套管接头采用锥销连接, 然后再在套管内挖掘岩土, 如此重复, 直至钻进到的预期深度。

全套管钻孔工艺是由法国贝诺特公司于上世纪 50 年代开发的一种新型的灌注桩钻进工艺, 所以又叫贝诺特(Benoto)灌注桩, 日本称之为“SUPER TOP 工法”。全套管施工法是利用套管钻机(全回转钻机或搓管机)的摇动对孔内套管施加扭矩, 使钢套管与土层间的摩阻力大大减小, 同时压入套管, 使套管在地层中钻进, 然后利用重锤式冲抓斗在钢套管中挖掘取土或砂石, 直至钢套管下沉到桩端持力层为止。该方法适用的土层比较多, 几乎可以应用于除岩层之外的所有地层, 尤其对于在施工中用普通钻进方法较难钻进的黏土层、卵砾石层、含漂石的地层等。

到了 20 世纪 90 年代, 日本等国又相继研制出了全回转套管钻机, 与搓管机的最明显的区别是可以单方向连续 360° 回转。全回转钻机与搓管机相比, 施工效率高, 灵活性更好, 能钻进的地层更多, 尤其对于硬岩层更适用, 代表着套管钻机的发展方向。唯一的缺点就是其成本较高。全回转套管钻机的应用领域更广如城市改建中在旧址上清除原有地下的混凝土桩预制桩、灌注桩等地下障碍物, 在硬岩中钻进, 在含漂石、卵砾石等较难钻进的地层中钻进, 在含水量较丰富的地层中实现干孔钻进等。全回转套管钻机的钻进直径已增大到了 $\Phi 1000\sim\Phi 3000$;

上世纪 90 年代我国开始。从日本引进的全回转套管钻机在青藏铁路、北京外环高架桥和地铁的施工中都取得了成功, 而且施工效果很好。2004 年上海隧道公司引进了两台日本车辆生产的全回转套管钻机, 用于地铁 4 号线的坍塌事故

的工程修复并取得了良好的效果，是国内应用全回转钻机处理事故的范例。2010 年勘探所承担了科技部专项项目《全套管钻机、器具及施工工艺》研究项目，研制出的直径为 $\Phi 1200\text{mm}$ 套管和冲抓斗已在国内工程中试验应用；2013 年底研制成 $\Phi 2000\text{mm}$ 全回转套管钻机和 $\Phi 1500\text{mm}$ 套管钻具的样机。2012 年江苏景泰重工公司引进日本车辆的制造技术推出了 $\Phi 1500\text{mm}$ 全回转套管钻机，现在正以商业运营的模式向市场销售钻机产品。全回转钻机的驱动套管方式和套管钻进能力方面比搓管钻机都有所进步和发展

全套管施工法有很多优点，如噪声低，振动小，对周边地基无扰动，不需要泥浆护壁，成孔效率高，可用于除岩石层外的任何地层等，因此目前全套管灌注桩(贝诺特桩)已成为国际上最流行的钻孔灌注，也是目前世界上最为先进的钻孔灌注桩。实际应用证明，成桩质量也远远高于现行施工验收规范标准。

6.5.3 用于基坑支护桩的可控低强度材料的强度一般在 $0.8\sim 2.0\text{MPa}$ 之间，因此可控低强度材料灌注桩（墙）的咬合桩施工较钢筋混凝土灌注桩更为容易，但需要注意的是，由于可控低强度材料的高流动性，在材料凝固形成强度前进行咬合搭接施工易导致已灌注的材料流入相邻桩孔中，因此咬合施工前必须确认已灌注的材料完成初凝，必要时可跳隔多于一根的桩位进行成桩施工，此时应严格放线并核对桩位，避免出现搭接长度不够等质量问题。

6.6 承载构件安装

6.6.3 如材料流动性控制适当，依靠自重承载构件一般都能顺利插入。松钩快速下落易导致承载构件安装位置、垂直度等出现严重偏差，因此严禁采用。当可控低强度材料的流动性较低或已经发生凝固形成强度时，可采用静力在导向机构的辅助下将承载构件压至设计深度。

6.6.5 对于采用可控低强度材料灌注桩（墙）的基坑工程，肥槽回填可优先采用可控低强度材料，填筑材料与工艺要求可参考相关标准。

7 质量检查与验收

7.1 一般规定

7.1.1 质量检查是保证可控低强度材料灌注桩（墙）安全应用的重要手段，因此必须严格落实。可控低强度材料灌注桩（墙）检查与验收的四个阶段能全面控制和反映可控低强度材料灌注桩（墙）的施工质量。第一阶段材料加工控制，是确定可控低强材料的主材选用和配套加工工艺的关键，应依照配合比控制主材、固化剂、水等计量与加工流程，实施记录加工过程中各项关键参数指标；第二阶段施工过程的质量控制，是确保成桩（墙）质量的基础，应把好每道工序关，严格按操作规程及相应标准检查，随时纠正不符要求的操作；

第三阶段采取抽查，按本规程的相应要求实施，如有不符合要求的，应与设计配合，采取补救措施后，方能进行下阶段工作；第四阶段开挖时的检查，主要是墙体渗漏、承载构件偏位等，如严重或偏位过多，也应采取措施及时处置。

7.1.6 为与现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB50300 衔接，可控低强度材料灌注桩（墙）基坑支护工程可划分为支护桩、降水工程、土方开挖、支撑系统四个分项工程。具体操作时把可控低强度材料灌注桩（墙）、降水工程、土方开挖、支撑系统归入基坑工程子分部工程中参与验收。

7.2 检查与验收

7.2.2 可控低强度材料的流动值与比重，是工艺加工、材料运输、灌注过程中的关键指标。流动值可以评估可控低强度材料的均匀性和流动性，发现配合比不合理等问题；通过控材料的流动值，可以使施工过程更加顺畅，机械设备更容易输送。

7.2.5 一般情况下，可控低强度材料灌注桩（墙）围护结构的组合刚度不计可控低强度材料的刚度，即仅计入承载构件的刚度，因此，承载构件本身的型材质量和接头质量都极其关键。采用型钢作为承载构件时，接头对接焊缝高于二级焊缝质量等级时，除焊缝外观质量应满足有关规定外，现场还须抽取一定量的对接焊缝作超声波探伤检查。

7.2.7 因地下环境的复杂性，可控低强度材料凝固期间可能会受到地层施工振动、地下水流动等因素的影响。在可控低强度材料灌注桩（墙）达到设计要求凝期（一般为 28d）进行桩体连续性、完整性、材料强度或其他功能要求的检测非常必要。

1 钻取桩芯强度试验为在搅拌桩达到一定龄期后，通过取芯钻机，连续钻取全桩桩芯，并等距选取 5 点进行无侧限抗压强度试验，以反映桩深不同处的可控低强度材料强度，在基坑坑底附近应设取样点。

钻取桩芯宜采用直径不小于 $\Phi 110$ 的钻头，试块宜直接采用圆柱体，直径即为所取的桩芯芯样直径，宜采用 1:1 的高径比。一般认为钻取桩芯强度试验是一种比较可靠的桩身强度检验方法，但该方法缺点也较明显，主要是由于钻取桩芯过程和试验中总会在一定程度上损伤灌注桩；取芯过程中一般采用水冲法成孔，由于桩的不均匀性，可控低强度材料易产生损伤破碎；钻孔取芯完成后，对芯样的处置方式也会对试验结果产生影响，如芯样暴露在空气中会导致水分的流失，取芯后制作试块的过程中会产生较大扰动等。

由于以上原因导致钻取桩芯强度试验得到的桩体材料强度值一般偏低，考虑工程实际情况，建议将取芯试验检测值乘以 1.3 的系数。钻取桩芯强度试验宜采用扰动较小的取土设备来获取芯样，如采用双管单动取样器等，且实际作业宜聘请有经验的专业取芯队伍，严格按照操作规定取样，钻取芯样应立即密封并及时进行强度试验。

2 动测法是一种利用动力学的原理和技术来检测桩基承载力和桩身质量的方法。它通过对桩土体系进行适当的简化处理，建立起数学-力学模型，利用现代电子技术与量测设备来采集桩-土体系在给定的动荷载作用下所产生的振动参数。动测法作为一种动力无损检测法，相比传统的静载试验，具有试验仪器轻便、检测快速、成本低等优点，特别适用于大规模的普查和频繁的检测需求。承载构件采用预制桩，动测法可以用于检查桩身的完整性和接头可靠度，如检查桩身长度、有无断桩、缩颈等问题，这对于保证工程质量至关重要。

3 可控低强度材料和承载构件复合一体，与周围的地层形成相互作用结构。采用原位测试方法主要包括静力触探试验、标准贯入试验、动力触探试验等几种方法。可控低强度材料成桩后一定龄期内进行现场原位测试，是一种较方便和直观的检测方法，能够更直接地反映可控低强度材料的强度性能，但目前该方法工程应用经验还较少，需要进一步积累资料，工程实践中宜结合浆液试块或钻取桩芯强度试验综合检验可控低强度材料灌注桩强度。

静力触探试验轻便、快捷，能较好地检测可控低强度材料强度沿深度的变化，

但静力触探试验最大的问题是当探杆的垂直度很难保证，容易偏出桩体以外，建议试验时采用杆径较大的探杆，试验过程中也可采用测斜探头来控制探杆的垂直度。

标准贯入试验和动力触探试验在试验仪器、工作原理方面相似，都是以锤击数作为可控低强度材料强度的评判标准。标准贯入试验除了能较好地检测桩身强度外，尚能取出灌注桩芯样，直观地鉴别可控低强度材料桩身的均匀性。

可控低强度材料灌注桩是国内首创的新技术，并无国内外的经验与数据供参考，因此在本技术规程的编制过程中，编制组在多地结合工程项目进行了试验，包括对不同养护龄期下的桩体进行钻芯测试和多种现场原位试验，对可控低强度材料灌注桩的测试方法和桩体性能进行了深入研究。

(1) 试块强度试验

在南京汇通路片区小学建设项目中开展试验，在灌注前对可控低强度材料进行留样制作试块，养护至指定龄期后测定抗压强度，并与同样养护龄期的灌注桩钻取的芯样进行比较，结果如下表：

表 11 可控低强度材料留样试块与取芯单轴抗压强度对比

养护龄期 (d)	留样试块强度平均值 (MPa)	取芯强度平均值 (MPa)	留样试块强度/ 取芯强度平均值
7	1.17	0.83	1.40
14	1.73	1.25	1.38
28	2.31	1.74	1.33

由试验结果可知，养护 28d 后，可控低强度材料留样试块的强度平均为 2.31MPa，而取芯强度平均值为 1.74MPa。不同养护龄期下，留样试块与取芯的强度比值约在 1.3~1.4 之间。可控低强度材料灌注桩的真承载桩身强度应与留样试块接近，考虑到取芯过程中会对芯样产生损伤导致强度降低，因此由取芯测得的桩身强度宜乘以 1.3 的系数。

(2) 钻芯强度试验

对多个可控低强度材料灌注桩工程项目进行钻芯强度试验，结果如下表：

表 12 可控低强度材料留样试块与取芯单轴抗压强度对比

工程名称	主要地层	取芯试块抗压强度平均值 (MPa)		
		7d	14d	28d
南京江亚数码科技研发中心项目一期工程	粉质黏土、淤泥质粉质黏土	0.80	1.16	1.45
南京地铁收储地块汇通路片区小学建设项目	粉质黏土、风化闪长岩	0.83	1.25	1.74
南京东地中心项目	黏土、风化安山岩	0.74	1.07	1.34
南京鲸安网络信息安全产业基地项目	黏土、卵石、风化泥质砂岩	0.62	0.90	1.12
宿迁大道快速化改造工程	黏土、中砂、风化泥质砂岩	0.68	0.99	1.24

由结果可知，可控低强度材料灌注桩的桩身强度形成较快，在养护 7d 后，桩身强度一般可以达到 0.6MPa 以上，养护 28d 的桩身强度一般在 1.5~2.0MPa 之间，高于一般水泥搅拌桩的强度要求，可以对型钢等承载构件起到支撑与保护的作用。由于可控低强度材料采用灌注工艺，桩身强度与周边地层性质无明显的关联性，体现了广泛的适用性。

(3) 原位测试

对部分工程开展了原位测试，测试内容包括静力触探、标准贯入和动力触探，结果如下表所示：

表 13 可控低强度材料灌注桩静力触探比贯入阻力

工程名称	静力触探比贯入阻力平均值 (MPa)		
	7d	14d	28d
南京江亚数码科技研发中心项目一期工程	4.45	6.72	9.21
南京地铁收储地块汇通路片区小学建设项目	3.37	6.41	8.56
南京东地中心项目	3.49	6.07	8.12
南京麒麟科技创新园 4 号地块配套学校项目	4.00	5.93	9.47

表 14 可控低强度材料灌注桩标准贯入击数

工程名称	标准贯入击数平均值 (击)		
	7d	14d	28d
南京江亚数码科技研发中心项目一期工程	15.1	25.7	39.0
南京地铁收储地块汇通路片区小学建设项目	16.3	24.5	34.2

南京东地中心项目	13.4	20.2	29.5
南京麒麟科技创新园 4 号地块配套学校项目	16.1	20.8	36.3
宿迁大道快速化改造工程	16.7	27.4	37.7

表 15 可控低强度材料灌注桩动力触探击数

工程名称	动力触探击数平均值(击)		
	7d	14d	28d
南京江亚数码科技研发中心项目一期工程	6.2	10.5	15.7
南京地铁收储地块汇通路片区小学建设项目	6.7	10.1	13.4
南京东地中心项目	5.5	8.6	11.6
南京麒麟科技创新园 4 号地块配套学校项目	6.4	8.5	14.9
宿迁大道快速化改造工程	6.7	11.3	16.4

静力触探试验轻便、快捷，能较直观地反映可控低强度材料灌注桩桩体的成桩质量和强度特性。标准贯入试验和重型动力触探试验在试验仪器、工作原理方面相似，都是以锤击数作为水泥土搅拌桩强度的评判标准。静力触探、标准贯入和重型动力触探三种原位试验都能较直观地反应搅拌桩的成桩质量和强度特性。

随着搅养护龄期的增加，静力触探比贯入阻力、标准贯入试验和重型动力触探试验的锤击数都相应增加，规律性较好，这三种方法都可以作为桩身强度检测的辅助方法。