

ICS

中国建筑业协会团体标准 团体标准

P

T/CCIAT xxxx—20xx

地下工程止水帷幕施工技术规范

Technical specification for construction of Waterproof
curtain for underground engineering

(征求意见稿)

20xx—xx—xx 发布

20xx—xx—xx 实施

中国建筑业协会 发布

中国建筑业协会团体标准

地下工程止水帷幕施工技术规范

Technical specification for construction of Waterproof
curtain for underground engineering

T/CCIAT xxxx— 20xx

批准部门：中国建筑业协会

施行日期：20xx年xx月xx日

中国建筑工业出版社

20xx 北京

前 言

根据 2019 年 8 月 7 日中国建筑业协会建协函[2019]49 号文件《关于开展第三批团体标准编制工作的通知》，由中国建筑业协会深基础与地下空间工程分会推荐的协会标准《地下工程止水帷幕施工技术规范》已获得批准。由北京城建集团有限责任公司、北京城建中南土木工程集团有限公司共同主编，其它单位参编，共同制定本规程。

本规程共分 8 章，主要内容包括总则、术语符号、基本规定、工程勘察与环境调查、施工、试验及检测、工程监测、工程质量验收。

本规程由中国建筑业协会管理，由北京城建集团有限责任公司和北京城建中南土木工程集团有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送北京城建集团有限责任公司（地址：北京市海淀区北太平庄路 18 号，邮政编码：100088）或北京城建中南土木工程集团有限公司（地址：北京市朝阳区化工路 59 号院焦奥中心 B 座 10 层，邮政编码：100102）。

本规范主编单位：

本规范参编单位：

目次

前 言	I
1 总则	1
2 术语	2
3 基本规定.....	4
3.1 一般规定.....	4
3.2 止水帷幕分类.....	4
4 周边环境核查.....	6
4.1 一般规定.....	6
4.2 环境核查.....	6
5 施工	7
5.1 一般规定.....	7
5.2 地下连续墙止水帷幕施工.....	7
5.3 水泥土搅拌桩止水帷幕施工.....	12
5.4 等厚度水泥土搅拌墙止水帷幕施工.....	13
5.5 高压旋喷（摆喷）注浆帷幕施工.....	17
5.6 咬合桩止水帷幕施工.....	21
5.7 钢板（管）桩止水帷幕施工.....	22
5.8 注浆止水帷幕施工.....	24
5.9 冻结法止水帷幕施工.....	25
6 检测	36
6.1 一般规定.....	36
6.2 检测.....	36
7 工程监测.....	40
7.1 一般规定.....	40
7.2 帷幕监测.....	40
8 工程质量验收.....	41
8.1 一般规定	41
8.2 地下连续墙止水帷幕.....	41
8.3 水泥土搅拌桩止水帷幕.....	46
8.4 等厚水泥土搅拌墙止水帷幕.....	47
8.5 高压旋喷（摆喷）注浆止水帷幕.....	48
8.6 咬合桩止水帷幕.....	50
8.7 钢板（管）桩止水帷幕.....	52
8.8 注浆止水帷幕.....	53
8.9 冷冻法止水帷幕.....	53
附录 A 水泥土搅拌桩止水帷幕施工记录表	57
附录 B 钢板（管）桩沉桩方法对地层的适用性	58
附录 C 高压旋喷（摆喷）注浆止水帷幕施工记录表格及质量评定表格	61
附录 D 质量评定表格	65
本规程用词说明.....	68
引用标准名录.....	69

1 总则

1.0.1 为规范地下工程止水帷幕的施工，做到安全适用、技术先进、经济合理、质量可靠、保护环境，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于各类地下工程止水帷幕的施工、试验、检测、监测与验收。

1.0.3 地下工程止水帷幕的施工应考虑场地周边环境、工程地质和水文地质条件、工程特点、施工条件、材料性能、工期和造价等因素。

1.0.4 地下工程止水帷幕的施工、试验、检测、监测与验收除满足本规程外，尚应符合国家现行有关施工规范、标准的规定。

2 术语

2.0.1 地下连续墙 Diaphragm Wall

采用专用的成槽机械，沿深基坑或地下构筑物周边开挖具有一定宽度和深度的沟槽，并灌注钢筋混凝土或插入钢筋混凝土预制构件，形成具有防渗、挡土或承重功能的连续地下墙体。

2.0.2 水泥土搅拌桩 Soil Cement mixing pile

以水泥作为固化主剂，通过水泥土搅拌桩机将固化剂和地基土进行强制搅拌，使地基土硬化形成具有一定强度和抗渗性的连续桩体，分为单轴搅拌桩、双轴搅拌桩、三轴搅拌桩。

2.0.3 等厚水泥土搅拌墙 constant thickness Cement-soil wall

通过对地基土的切割与搅拌，并与注入的水泥浆液混合固化形成的等厚水泥土墙体，分为渠式切割水泥土搅拌墙和铣削深搅水泥土搅拌墙。

2.0.4 高压旋喷（摆喷）注浆 rotating (pendulum) jet grouting （高压喷射灌浆）

采用高压水或高压浆液形成高速喷射流束，冲击、切割、破碎地层土体，并以水泥基质浆液充填、掺混其中，形成桩柱或板墙状的固结体。

2.0.5 咬合桩 secant pile in wall

混凝土灌注桩互相咬合搭接形成的具有挡土和止水作业连续桩墙。

2.0.6 钢板桩 Steel sheet pile

通过两侧锁口或连接件交互联接的具有挡土、止水功能的型钢桩体，分为Z形、U形、直线形、H形或其他形状。

2.0.7 注浆 grouting

将水泥浆或其它化学浆液注入地基土层中，增强土颗粒间的联结，使土体强度提高、渗透性降低的加固方法。

2.0.8 冻结法 ground Freezing method

在施工地下构筑物之前，用人工制冷的方法将构筑物周围含水地层进行冻结，形成具有临时承载和隔水作用并满足施工安全需要的冻结壁，然后在冻结壁的保护下进行构筑物作业的一种施工方法。

2.0.9 钢板桩帷幕

使用钢板桩逐根（组）插打，钢板桩之间相互咬接形成墙体，阻挡外侧水土，连续咬接的钢板桩形成钢板桩帷幕。

2.0.10 钢管桩帷幕

使用钢管逐根插打，钢管两侧事先连接咬合构件，相临钢管桩通过咬合构件咬接在一起形成墙体，具备挡水功能，形成钢管桩帷幕。

2.0.11 组合式钢板（管）桩帷幕

通过钢板、钢管、型钢或其他加强桩逐根插打，相互之间咬接，具备挡水功能，同时提高组合体抗弯强度，形成组合式钢板（管）桩帷幕。

2.0.12 高压旋喷（摆喷）注浆止水帷幕 high pressure rotating (pendulum) jet grouting cutoff wall

高压旋喷（摆喷）注浆止水帷幕，是由旋喷柱形桩和摆喷扇形断面桩中的一种或两种彼此组合搭接起来，形成的地下止水帷幕。

2.0.13 旋喷 rotating injection

使用喷射管做旋转、提升运动，在地层中形成圆柱形桩体的高喷灌浆施工方法。

2.0.14 摆喷 pendulum injection

使用喷射管做一定角度的摆动和提升运动，在地层中形成扇形断面的桩柱体的高喷灌浆施工方法。

2.0.15 全方位高压喷射注浆 omnibearing high pressure jet grouting

利用可多方位施工的高压喷射注浆设备和具有强制排浆、可调控地内压力功能的钻具，通过喷射流切割土体并与土体拌和形成水泥土加固体的地基处理方法，具有对周边环境影响小的特点。多用于地基处理，也可用于防渗帷幕。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 施工前，应具备施工所需的设计文件，由施工单位组织图纸会审，建设单位组织设计交底。

3.1.2 开工前，施工单位应编制施工方案。施工方案应按规定程序审批后执行，变更时应办理变更手续。

3.1.3 施工前应进行下列资料的核查、收集：

- 1 施工现场的地形、地质、气象和水文资料；
- 2 施工影响范围内地下管线、地面和地下建（构）筑物等相关资料，并进行现场踏勘、核实；
- 3 工程用地、建筑红线、交通运输情况等；
- 4 给水、排水、通信、供电、动力等条件；
- 5 工程材料、施工机械、主要设备和特种物资准备情况；
- 6 测量基线和水准点资料；
- 7 相邻工程的相关情况。

3.1.4 止水帷幕的施工方法、施工参数、工艺和机具的选择应根据场地工程地质、水文地质及施工条件等综合确定。

3.1.5 工程主要原材料、半成品、构（配）件等产品，进入施工现场必须进行检验，检查质量证明文件、性能检验报告、使用说明书等，并按现行国家标准，地方标准的有关规定进行复验，合格后方可使用。

3.1.6 各分项工程应按照施工技术标准进行质量控制，各工序施工完成后应进行检验，所有隐蔽工程应进行隐蔽验收，未经检验或验收不合格不得进行下道工序施工。

3.1.7 施工前，施工单位应确定工程质量控制的分部分项工程和检验批。

3.1.8 施工过程中应做好施工记录。

3.2 止水帷幕分类

3.2.1 按布置方式，可分为悬挂式竖向止水帷幕、落底式竖向止水帷幕和水平向止水帷幕。

3.2.2 按结构形式，可分为独立式止水帷幕、嵌入式止水帷幕和支护结构自抗渗式止水帷幕。

3.2.3 按施工方法，可分为地下连续墙止水帷幕、水泥土搅拌桩止水帷幕、等厚水泥土搅拌

墙止水帷幕、高压旋喷（摆喷）注浆止水帷幕、咬合桩止水帷幕、钢板（管）桩止水帷、注浆止水帷幕、冻结法止水帷幕。

4 周边环境核查

4.1 一般规定

4.1.1 当工程采用止水帷幕方案时，应充分考虑建设场地的水文地质条件及周边环境影响，止水帷幕设计前应进行必要的岩土工程勘察及周边环境调查等调查研究工作。

4.2 环境核查

4.2.1 止水帷幕工程施工前应核查工程地形、地貌以及周围土地利用和规划情况、施工条件、环境条件（建构筑物、管线、道路、气象等）、基坑周边地表水系（含人工沟渠、排水管道等）的分布以及与地层的水力联系，明确其是否与地下水有明显的补给关系。如有变化应及时反馈给设计单位。

5 施工

5.1 一般规定

- 5.1.1 止水帷幕施工前宜通过现场试验复核施工工艺参数。
- 5.1.2 施工前，应清除地面障碍物，对场地进行平整，遇塘低洼等不良地质条件时，应抽排水、清淤回填夯实。场地承载力应满足设备主机、起重机等重型机械平稳行走移动。
- 5.1.3 依据设计进行测量放线，应做好复核工作，并经监理人员验收。
- 5.1.4 根据施工组织设计的施工顺序，结合现场实际情况，确定合理的配套机械、材料的场地布置。
- 5.1.5 施工设备应在现场组装、调试，在试运行正常后方可开始施工。
- 5.1.6 施工机械、临时用电设施等部位应设置明显的安全警示标志，且符合国家现行有关标准的规定。
- 5.1.7 安全文明施工、临时用电及施工机械的使用应符合现行行业标准《建筑工程现场环境与卫生标准》JGJ146，《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ46、《建筑机械使用安全技术规程》JGJ33的有关规定。
- 5.1.8 施工材料试验应符合现行相关国家及行业标准。
- 5.1.9 当止水帷幕兼做围护结构时，应通过设计计算确定相关结构参数。

5.2 地下连续墙止水帷幕施工

5.2.1 导墙

1 导墙应设置在密实的原状土层中，遇到软土、填土、空洞等特殊地层时，应进行地基处理，导墙外侧土应夯填密实。

2 导墙顶面宜高出现状地面 100mm，导墙内墙面应垂直，内墙面净距大于地下连续墙设计厚度 40mm~60mm。

3 导墙应按地下连续墙设计轴线位置放线开挖，开挖后基底宜铺筑 C10 混凝土垫层，厚度宜为 30mm~50mm，垫层表面应平整。

4 导墙分段施工时，施工缝的位置应与地下连续墙施工接头位置错开。

5 导墙混凝土应分层浇筑，拆模时应保证混凝土表面及棱角不受损伤。

6 预制钢筋混凝土、钢结构导墙的接缝应牢固、严密、不得漏浆。

7 现浇混凝土导墙拆模后或预制导墙安装后，应在导墙内部及时加设支撑。

5.2.2 泥浆

1 泥浆配制

- 1) 泥浆应根据地层条件、地下水状况、成槽工艺、技术指标等因素进行配制，选择适宜的浆液和材料；
- 2) 泥浆应具有良好的物理性能、流变性能、稳定性能和抗水泥污染性能，保证连续墙施工中槽壁的稳定；
- 3) 泥浆宜经成槽试验后确定适宜的配合比，泥浆性能应满足施工要求，并符合表 5.2.2-1 的规定。遇地层含盐或受化学污染时，应配制专用泥浆；

表 5.2.2-1 泥浆性能指标

泥浆性能	新配制		循环泥浆		检验方法
	黏性土	砂（卵石）性土	黏性土	砂（卵石）性土	
比重（g/cm ³ ）	1.03~1.10	1.03~1.10	1.05~1.25	1.05~1.25	泥浆比重秤
黏度（s）	19~25	30~35	19~30	25~40	漏斗法
含砂率（%）	/	/	<4	<7	洗砂瓶
pH 值	8~9	8~9	8~10	8~10	pH 试纸
胶体率	>98%				量筒法
失水率	<30ml/30min				失水量仪
泥皮厚度	<1mm		1mm~3mm		失水量仪

- 4) 泥浆的储存量不宜低于成槽开挖土方体积的 2 倍。在易发生渗漏的地层成槽时，宜增加泥浆的储存量、提高黏度；
- 5) 新配制泥浆静置时间宜大于 24h，保证泥浆中各材料充分水化后方可使用；
- 6) 槽孔达到设计深度，灌注混凝土前，应对槽段内泥浆进行置换和净化处理，对槽段泥浆进行检测，泥浆应符合表 5.2.2-2 的规定。检测取样点距离槽底宜为 0.5m~1.0m，每单元槽段检测不少于 2 处。

表 5.2.2-2 置换、净化后泥浆指标

项目	泥浆性能	检验方法
比重（g/cm ³ ）	黏性土	≤1.15
	砂（卵石）性土	≤1.20
黏度（s）	20~30	漏斗法
含砂率（%）	≤7	洗砂瓶

2 泥浆处理及循环使用

- 1) 施工泥浆可经分离、净化处理后回收循环使用，需循环使用的泥浆宜根据施工实际情况补充膨润土、黏性土或其他处理剂等材料进行调制，经试验合格后使用；
- 2) 废弃泥浆、渣土应进行集中存放，运输应采用密闭式罐装车，不得散落、溢出或泄露，不得污染环境，并应符合环保部门相关要求；
- 3) 施工现场应根据实际情况合理设置临时排水系统，定期维护，保证排水通畅；施工污水应采用沉淀、过滤等方法处理，保证排放达到标准的规定。

5.2.3 成槽

1 地下连续墙施工前宜先进行成槽试验，确定适宜的施工机械、泥浆配比和施工工艺等。

2 槽段划分及抓槽

- 1) 单元槽段应综合考虑地质条件、结构设计、周边环境、机械设备、施工工艺等因素进行划分；
- 2) 地下连续墙的转角处严禁设置槽段接头；
- 3) 成槽设备应根据地下连续墙的厚度、深度、单元槽段宽度和地质条件等因素选择；
- 4) 单元槽段宜进行间隔一个或多个槽段的跳幅施工；
- 5) 成槽机作业地面应平整、坚实。成槽宜采用液压抓斗式成槽机，进入密实砂卵石层或岩石层，可采用旋挖钻机配合或选用双轮铣成槽施工方法。成槽施工应采用具有自动纠偏功能的设备，成槽机应具备垂直度显示仪表和纠偏装置，成槽过程中应及时纠偏；
- 6) 成槽应采用泥浆护壁，泥浆面宜高于地下水位以上 1m 及导墙底面以上 0.5m；发现泥浆漏失应及时补浆，采取措施改善泥浆性能，控制泥浆漏失，保持泥浆液面高度；
- 7) 槽段开挖过程中应加强槽壁稳定性检查，如槽壁发生局部塌方时应及时回填处理并重新成槽；
- 8) 槽段开挖完成，应及时检查槽位、槽深、槽宽、槽壁垂直度等，并做好记录；验收合格后进行清槽换浆；
- 9) 位于需要加固的特殊地层的槽段或邻近建筑物保护要求较高时，应按设计要求事先对槽壁进行加固。

3 刷槽及清槽

- 1) 成槽完成后，应及时对相邻单元槽段接头进行刷槽，刷槽应刷至槽底，将接头混凝

土表面附着的泥砂等杂物清除干净；直至刷槽器表面无泥为止；

- 2) 清槽宜分阶段进行。第一次清槽应在槽段开挖完成后静置 30min~60min 后进行，宜采用成槽机清除槽底泥砂，清槽深度不小于成槽深度，并进行泥浆置换；第二次清槽在混凝土浇筑前进行，宜采取泵吸法或气举法；
- 3) 清槽完成后均应进行沉渣厚度检测。

5.2.4 接头

1 地下连续墙接头构造应符合设计要求，其设置应符合下列规定：

- 1) 连续墙接头构造应满足传力和防水要求；
- 2) 宜尽量减少地下连续墙接头数量；
- 3) 对于“Z”型、“T”型和“L”型幅段等特殊槽段，接头位置应考虑成槽设备尺寸、场地条件；
- 4) 便于制作与施工。

2 接头管（箱）施工应符合下列规定：

- 1) 接头管（箱）及连接件应具有足够的强度和刚度，以承受地下连续墙混凝土浇筑过程的侧向压力，并防止在吊装、混凝土浇筑、起拔等施工过程中产生过大变形；
- 2) 接头管（箱）进场后应检查节间的连接是否牢固，接头管（箱）形状与连续墙接头形式是否匹配，是否有防止混凝土绕流措施。首次使用接头管，应市先在地面进行试组装，检查组装是否符合设计要求；
- 3) 接头管（箱）宜高于导墙顶面 1.5m~2.0m；
- 4) 接头管（箱）的安装应垂直、缓慢进行，平面位置偏差不得大于 100mm，垂直度应控制在 1/300 以内；
- 5) 起拔接头管（箱）的时间需综合考虑地层条件、混凝土初凝时间、气候条件等因素的影响，应在地下连续墙和接头管（箱）底部混凝土初凝后开始小幅度提升，在混凝土终凝前全部拔出。接头管（箱）起拔应垂直、匀速、缓慢、连续进行，且不得损坏接头处的混凝土，起拔频率宜为 30min 一次，每次提升高度宜为 50cm~100cm；
- 6) 接头管（箱）起拔后，其空隙宜采用黏土或粉质粘土、砂石料等填实。

3 铣接头施工应符合下列规定：

- 1) 采用铣接头的单元槽段钢筋笼应设置限位块，限位块应设置在钢筋笼两侧，且宜采用 PVC 管，限位块长度宜为 300mm~500mm，竖向间距应为 3m~5m；
- 2) 导向插板应在混凝土浇筑前放置于预定位置，插板长度宜为 5m~6m；

- 3) 后续槽段开挖时，应将套铣部分混凝土铣削干净，套铣部分不宜小于 300mm。
- 4 型钢接头施工应符合下列规定：
- 1) 型钢接头可采用工字钢板、王字钢板、十字钢板、V 字钢板等形式；
 - 2) 接头刚度、强度应满足施工要求。工字钢加工应平整、直顺，焊缝质量应经检验合格，对接焊缝表面平整、位置适宜；
 - 3) 型钢接头应与钢筋笼焊接牢固，钢筋笼应设置加强钢筋，满足型钢接头的起吊要求。；
 - 4) 钢筋笼水平分布钢筋与型钢搭接长度不宜小于 100mm，水平分布钢筋与型钢宜采用双面满焊搭接，焊接长度不小于 5d（d 为焊接钢筋直径）；
 - 5) 型钢下端应插入槽底，上端至设计墙顶标高，并应采取措施防止地下连续墙混凝土泛浆溢出；
 - 6) 型钢接头翼缘板与连续墙槽壁间宜设置防绕流板。
- 5 预制混凝土接头施工应符合下列规定：
- 1) 预制接头吊点做法、位置和数量应经计算确定；
 - 2) 预制接头吊装应分节、按次序进行，吊装应按照接头设计迎土面、迎坑面的方向，不得反装；
 - 3) 预制接头运输、吊装时，接头混凝土强度应达到设计强度的 100%；
 - 4) 应先进行预制接头安装，固定后，进行钢筋笼吊装。
- 6 地下连续墙接头止水处理措施应符合设计要求。

5.2.5 混凝土

1 原材料性能要求

- 1) 地下连续墙混凝土抗压强度和抗渗等级等指标应符合设计要求；
- 2) 用于灌注地下连续墙的混凝土应具有良好的和易性、缓凝性，初凝时间应满足浇筑要求。混凝土坍落度宜为 180mm~220mm；
- 3) 预制混凝土地下连续墙构件施工质量应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204 和现行北京市地方标准《预制混凝土构件质量检验标准》DB11/T968 的规定。

2 混凝土浇筑

- 1) 地下连续墙应采用导管法浇筑混凝土。导管宜采用直径为 200mm~350mm 的钢管，导管内应放置隔水栓。管节拼接时，其接缝应密封、牢固，导管使用前应试拼装、试压，试水压力宜为 0.6MPa~1.0MPa；

- 2) 导管水平布置间距不宜大于 3m，距槽段两侧端部不宜大于 1.5m。导管下端距槽底宜为 300mm~500mm。每根导管分担的浇筑面积应基本均等；
- 3) 钢筋笼吊放就位后应及时灌注混凝土，间隔不宜超过 4h，混凝土浇筑应均匀连续，间隔时间不应超过混凝土初凝时间；
- 4) 槽内混凝土面上升速度宜控制在 3m/h~5m/h；导管埋入混凝土深度宜为 2.0m~6.0m；在混凝土灌注过程中应定时测量槽内混凝土面高度，及时调整不同导管间混凝土浇灌速度，保持槽内混凝土面高差小于 500mm；
- 5) 浇筑混凝土的充盈系数应为 1.0~1.2；
- 6) 地连墙混凝土灌注顶面宜高出设计墙顶标高至少 300mm~500mm，确保凿除浮浆层后的混凝土强度等级达到设计要求。

5.3 水泥石搅拌桩止水帷幕施工

5.3.1 水泥石搅拌桩止水帷幕施工应根据地质条件和周边环境条件、成桩深度、桩径等选用合适的搅拌机械，与其配套的桩架性能参数应与搅拌机械的成桩深度和提升力相匹配，钻杆及搅拌叶片应满足成桩过程中水泥与土充分搅拌的要求。

5.3.2 注浆泵的工作流量应可调节，其额定工作压力不宜小于 2.5MPa，并应配置计量装置。

5.3.3 施工前，应通过成桩试验确定搅拌下沉和提升速度、水泥浆液水灰比等工艺参数及成桩工艺，测定水泥浆从输送管到达搅拌机喷浆口的时间。当地下水有侵蚀性时，宜通过试验选用合适的水泥。

5.3.4 水泥石搅拌桩机施工时，桩机就位须对中，平面允许偏差为-20mm~20mm，立柱导向架垂直度偏差应不大于 1/250。

5.3.5 水泥浆液应按设计配比和搅拌机操作规定拌制，并应通过滤网倒入具有搅拌装置的储浆桶或储浆池，采取防止浆液离析的措施。在水泥浆液的配比中，可根据实际情况加入相应的外加剂，各种外加剂的用量均宜通过配比试验及成桩试验确定。

5.3.6 水泥石搅拌桩施工过程中，应严格控制水泥用量，应采用流量计进行计量。

5.3.7 因搁置时间过长产生初凝的浆液，应作为废浆处理，严禁使用。

5.3.8 水泥石搅拌桩机钻进搅拌速度宜控制在 0.5m/min~1m/min，提升速度宜控制在 1m/min~1.5m/min，并保持匀速钻进或提升。提升速度应根据土层性质、成桩工艺、水泥浆液配比、注浆泵的工作流量等综合确定。提升时，不应使孔内产生负压，对周边土体造成过大扰动，搅拌次数和搅拌时间应能保证水泥石搅拌桩的成桩质量。

- 5.3.9 浆液泵送量应与搅拌钻进或提升速度相匹配，保证搅拌桩中水泥掺量的均匀性。
- 5.3.10 水泥土搅拌桩机头在正常情况下应上下对土体进行喷浆搅拌各一次，对含砂量大的土层，宜在搅拌桩底部 2m~3m 上下重复喷浆搅拌一次。
- 5.3.11 施工中因故停浆，应在恢复压浆前将水泥土搅拌桩机头钻进 0.5m~1m 后再提升喷浆搅拌施工，保证搅拌桩的连续性。
- 5.3.12 水泥土搅拌桩搭接施工的间隔时间不宜大于 16 小时，当超过 16 小时搭接施工时，应放慢搅拌速度。若无法搭接或搭接不良，应作为冷缝记录在案，并采取补救措施。
- 5.3.13 若长时间停止施工，应对压浆管道及设备进行清洗。
- 5.3.14 水泥土搅拌桩机头的直径不应小于搅拌桩的设计直径，施工过程中，应检查搅拌头的磨损量，其值不应大于 10mm。
- 5.3.15 遇硬质土层成桩有困难时，可采用预先松动土层的先行钻孔套打方式施工。
- 5.3.16 在黏土地层中施工时，应采取在螺旋叶片上开孔、添加外加剂或其他辅助措施，避免黏土附着在钻杆和叶片上。必要时，应在清除钻杆和叶片的表面黏土后，重新喷浆搅拌一遍。
- 5.3.17 在水泥土搅拌桩止水帷幕施工过程中，应按本规程附录 A 填与每组班的成班记录表及相应的报表。

5.4 等厚度水泥土搅拌墙止水帷幕施工

5.4.1 等厚度水泥土搅拌墙施工

1 等厚水泥土搅拌墙施工前应对地基进行加固处理，根据地质条件、周边环境条件及设计参数等选择适宜的施工设备。

2 等厚度水泥土搅拌墙应进行试成墙，确定相应的施工技术参数，试成墙应符合下列要求：

- 1) 采用锯链式设备施工时，试成墙长度不应少于 6 延米；
- 2) 采用铣削式设备施工时，试成墙长度不应少于 3 幅。

3 等厚度水泥土搅拌墙施工导墙应采用现浇式钢筋混凝土或钢板式，在导墙上应设置定位标志。

5.4.2 锯链式等厚度水泥土搅拌墙施工

1 锯链式水泥土搅拌墙施工方法应根据土质条件、墙体性能、墙体深度和环境保护要求等因素，选用一循环方法或三循环方法。

2 一循环施工工序：切割箱自行沉入、先行切割、成墙搅拌。三循环施工工序：切割箱自行沉入、先行切割、回撤切割、搅拌成墙等。

3 采用一循环方法时应符合下列要求：

- 1) 墙体深度不应大于 25m；
- 2) 推进速度不应小于 2.0m/h，且不宜大于 6.0m/h。

4 采用三循环方法时应符合下列要求：

- 1) 先行切割推进速度宜控制在 0.2m/h~2.0m/h；
- 2) 回撤切割推进速度宜控制在 5m/h~10m/h；
- 3) 成墙搅拌推进速度宜控制在 1.0m/h~3.0m/h。

5 施工时，设备主机应对中就位，严格按照定位控制线进行施工，平面偏差不应超过 -20mm~+20mm，导杆的垂直度偏差不应大于 1/300。

6 切割箱应根据设计墙深进行组合拼装，通过自重自行打入，自行打入过程中应采用经纬仪实时校正导杆的垂直度，速度宜控制在 40mm/min~70mm/min。

7 墙体施工时应通过安装在切割箱内部的测斜仪进行动态监控，墙体垂直度偏差不应大于 1/250。

8 等厚度水泥土搅拌墙切割箱自行沉入、先行切割、回撤切割与切割箱临时停放等过程中稳定液膨润土掺量、水胶比、比重等参数应符合表 5.4.2 规定：

表 5.4.2 锯链式成墙稳定液配比表

序号	施工步序	膨润土掺量	稳定液水胶比
1	自行打入	$\geq 50\text{kg}/\text{m}^3$	5~10
2	先行切割	粘性土层 $\geq 30\text{kg}/\text{m}^3$	10~20
3		砂性土层 $\geq 50\text{kg}/\text{m}^3$	—
4	回撤切割	$0\sim 20\text{kg}/\text{m}^3$	10~20
5	临时停放	$\geq 50\text{kg}/\text{m}^3$	5~10

9 稳定液混合泥浆流动度应控制在 135mm~240mm 之间，水泥浆液混合泥浆流动度应控制在 150mm~290mm 之间，混合泥浆流动度在粘性土中施工时应取大值，在砂性土中应取小值。

10 搅拌墙成墙时，浆液流量应根据设计墙深、墙宽、水泥掺量进行计算，并与搅拌推进速度相匹配。

11 锯链式水泥土搅拌墙应连续施工，新成型墙体与已成型墙体搭接不应小于 500mm，转角部位两边延伸长度不宜小于 1000mm。

12 邻近保护对象时，开放长度不宜超过 10 延米，并应严格垂直度、推进速度。

13 锯链式设备的主机需要停机处理时，必须将切割箱停放在临时停放区或将切割箱全部拔出。

14 锯链式设备主机停放时，应符合下列要求：

- 1) 临时停放区长度不宜小于 5m；
- 2) 切割箱停放位置距离喷浆段边缘不宜小于 2.5m，距离原状土边缘不宜小于 0.5m；
- 3) 稳定液混合泥浆流动度不宜大于 200mm；
- 4) 每个 2h~4h 应启动一次设备，低速运转 10min~30min。

15 锯链式设备的切割箱拔出方式有内拔和外拔两种，宜优先选择外拔，拔出应符合下列规定：

- 1) 采用内拔时，应在完成墙体后，回撤至设计墙体端部 2m 处拔出切割箱；
- 2) 采用外拔时应沿设计墙体向外延伸切割 3m~4m，并在距离设计墙体端部 1m~2m 处拔出切割箱；
- 3) 拔出切割箱时应分段、匀速拔出，同时注入水泥浆液进行填充，拔出时间宜控制在 4h 内。

5.4.3 铣削式水泥土搅拌墙施工

1 铣削式设备施工时，施工工序根据墙深、地质条件可采用顺槽式或跳槽式施工。

2 当墙体深度不大于 20m，地质条件较简单时可采用顺槽式施工；施工时相邻两幅间隔时间不宜过长，二期墙体施工应在一期墙体终凝前完成。对墙体的垂直度应严格控制，保证搭接长度满足要求。

3 当墙体深度大于 20m 时，或存在深厚砂土、填土、碎石土等地层时，应采用跳槽式施工。跳槽方式根据成墙深度、地质条件、周边环境复杂程度进行调整。

4 导杆式设备机架桅杆、导杆垂直度均不应大于 1/500，超过 60m 时垂直度不应大于 1/800。

5 墙体深度不大于 30m，以软粘土为主的地层中施工，可采用单浆液方式，设备下沉注入水泥浆液的量宜为设计掺量的 70%~85%。提升搅拌注入水泥浆液的量宜为设计掺量的 15%~30%。

6 墙体深度大于 30m，或进入坚硬粘土、密实粉土、砂土、碎石土、岩层等坚硬地层

时，应采用双浆液方式，并应符合下列规定：

- 1) 对于粘性土层，切削下沉时注入浆液可采用清水或膨润土浆液，并应控制浆液的注入量；
 - 2) 对于粉土、砂土、碎石土等松散土层，下沉注入浆液应选择膨润土泥浆。
- 7 提升成墙搅拌时，水泥浆液流量宜控制在 250L/min~400L/min，提升速度应与流量相匹配。

8 施工时铣轮应符合下列规定：

- 1) 铣轮就位应对中，铣轮平面允许偏差应为-20mm~20mm；
- 2) 施工前铣轮的倾角传感器角度与深度位置均应归零；
- 3) 铣轮厚度不应小于设计墙厚；
- 4) 施工过程中铣轮磨损量不应大于 10mm。

9 施工时铣轮应匀速钻进，单浆液施工时，设备下沉搅拌速度不宜大于 800mm/min，提升速度不宜大于 500mm/min。双浆液施工时，设备下沉搅拌速度不宜大于 800mm/min，提升速度宜为 200mm/min~500mm/min。

10 采用泵吸置换泥浆时，水泥浆液混合泥浆比重不应大于 1.5。

11 铣削深搅水泥石搅拌墙墙体的垂直度满足设计要求，施工时应通过铣轮内部的测斜仪，对墙体的垂直度进行实时控制。

12 铣削式水泥石搅拌墙应连续施工，转角搭接施工或与其他工艺水泥石桩的搭接应符合下列规定：

- 1) 相邻墙体搭接长度不应小于墙体厚度，且超出两侧墙体范围不少于 300mm；
- 2) 阳角部位受作业面限制，最窄处的搭接长度不应小于 300mm；
- 3) 两幅墙体搭接施工间隔不宜大于 48h。

15 搅拌下沉或提升时如因故浆液中断或停止施工，恢复施工后，应将铣轮重新切削下沉或提升至上次停工标高面以下或以上至少 0.5m，再次喷浆搅拌下沉或提升，长时间停止施工时，应对压浆管道及设备进行清洗。

16 施工过程中，应将溢出的置换土浆液导流进入未施工墙体或其他临时沟槽内，不应在施工中的墙体或已完成的墙体上方清浆。

17 铣削水泥石搅拌墙施工过程中可按本规程附录 B 进行成墙记录。

5.5 高压旋喷（摆喷）注浆帷幕施工

5.5.1 钻孔

1 钻孔可根据地层条件采用回转钻进、冲击跟管钻进、振动钻进和射水钻进等方法。当地层较软时，也可采用钻喷一体化机具成孔。钻孔出现塌孔时，可采用泥浆护壁或跟管护壁。

2 钻孔孔位与设计孔位偏差应不大于 50mm，孔斜应不超过 1%，孔径应大于喷射管外径 20mm 以上，孔深宜超过设计帷幕底深度 0.5m。根据设计要求，可选取部分钻孔作为先导孔，先导孔间距宜为 15m~30m，深度一般应比其他注浆孔稍深。

3 钻进时应详细记录孔位、孔深、地层变化和漏浆、掉钻、卡钻、塌孔等特殊情况及其处理措施。钻孔完成后，孔口应采取保护措施。钻孔记录表形式参见本标准附录 A 表 A.0.2。

4 钻孔质量经检验合格后方可进行高压旋喷（摆喷）注浆施工。钻孔质量检验表形式参见本标准附录 B 表 B.0.1。

5.5.2 制浆

1 注浆的主要材料为水泥。其品种和强度等级，应根据工程需要和设计要求确定。宜采用普通硅酸盐水泥，其强度等级可为 42.5 级以上。不得使用过期或受潮结块的水泥，宜用散装水泥。

2 浆液水灰比可为 0.6:1~1.2:1，有特殊要求时，可根据需要加入适量的外加剂和掺合料。外加剂和掺合料的用量应在施工前通过室内试验和现场试验确定。当高压旋喷（摆喷）止水帷幕邻近既有建筑物时，宜采用速凝浆液。

3 制浆材料的称量误差应不大于 5%。

4 搅拌机的性能应与所用浆液类型和需浆量相适应，宜选用高速搅拌机。浆液拌制过程中，应先放水，再放水泥。浆液的搅拌时间，使用高速搅拌机应不少于 30s；使用普通搅拌机应不少于 90s。

5 浆液在储浆桶中应进行二次搅拌，防止沉淀内应安设有低速搅拌装置，防止浆液沉淀，容积应能满足连续供给高压旋喷（摆喷）注浆浆液的需要。

6 水泥浆的使用时间宜根据浆液的性能试验确定，且自制备至用完的时间且不应超过 4h。

7 浆液应在过筛后使用，并定时检测其密度。

8 低温季节施工应做好机房和输浆管路的防寒保温工作，高温季节施工应采取防晒和

降温措施。浆液温度应保持在 5℃~40℃之间。

9 施工时应做好制浆所用材料、配合比、浆液密度、搅拌时间等记录。记录表形式参见本标准附录 A 表 A.0.1。

5.5.3 注浆

1 高压旋喷（摆喷）注浆施工机具及设备的性能应根据设计要求、工程地质情况和现场作业条件选择。还应配备检测施工参数的仪器、仪表。施工机具和设备应符合下列要求：

- 1) 台车的旋转、提升和摆动机构的性能应满足设计要求。宜采用步履或履带式、高塔架和钻喷一体化台车；
- 2) 喷射管、喷头和送液器，应密封可靠、装卸简便。喷射管体应具有足够的刚度且连接顺直。喷嘴定向应准确；
- 3) 喷嘴的出口直径应与设计压力和流量相适应。应采用耐磨材料制造。结构尺寸和加工精度应能满足高速射流的要求；
- 4) 注浆泵的性能应与所注浆液的类型、密度相适应。高压注浆泵和高压水泵的压力、流量应满足施工要求，其额定压力应不小于设计规定压力的 1.2 倍；
- 5) 空气压缩机的供气量和额定压力应不小于设计规定值。供气管路上宜设有测量气量的仪表；
- 6) 在各类泵或输送管路上安装的压力表，使用压力宜为压力表最大标值的 1/3~2/3，压力表应定期进行检定；
- 7) 管路应能承受 1.2 倍的最大喷射压力，管路联接应牢固可靠。每条高压管路的总长度不宜大于 50m；
- 8) 采用钻喷一体化施工时，相关设备的性能可参照上述要求选择。

2 高压旋喷（摆喷）注浆应根据固结体的设计参数和地层条件，通过现场试验确定喷射压力、注浆流量、提升速度、旋转（摆动）速度等工艺参数。地层条件简单、帷幕深度较浅、经验较成熟的地区，也可以通过工程类比确定。常用施工参数可参照表 5.5.3-1 选择。

表 5.5.3-1 高压旋喷（摆喷）注浆常用施工参数表

旋喷方法		单管法	双管法	三管法	
				普通三管法	双高压三管法
水	压力 (MPa)	—	—	25~40	25~40
	流量 (L/min)	—	—	80~120	80~120

续表 5.5.3-1 高压旋喷（摆喷）注浆常用施工参数表

旋喷方法		单管法	双管法	三管法	
				普通三管法	双高压三管法
水	喷嘴孔径 (mm)	—	—	2.0~3.0	2.0~3.0
气	压力 (MPa)	—	0.5~0.8	0.6~0.8	0.6~0.8
	风量 (m ³ /min)	—	1~2	1~2	1~2
	喷嘴环状间隙 (mm)	—	1.0~2.0	1.0~2.0	1.0~2.0
浆	压力 (MPa)	25~40	25~40	0.3~1.0	25~40
	流量 (L/min)	65~120	80~120	80~150	80~150
	喷嘴孔径 (mm)	2.0~2.5	2.0~3.0	10~14	2.0~3.0
	密度 (g/cm ³)	1.4~1.5	1.4~1.5	1.5~1.7	1.4~1.5
	返浆密度 (g/cm ³)	≥1.3	≥1.3	≥1.2	≥1.2
提升速度 (cm/min)	粉土层	8~20			
	砂土层	10~25			
	砾石层	8~15			
	卵（碎）石层	5~10			
旋喷	转速 (r/min)	为提升速度的 0.8~1.0 倍			
摆喷	摆速 (次/min)	为提升速度的 0.8~1.0 倍，单程为一次			
	摆角 (°)	粉土层、砂土层	20° ~30°		
		砾石层、卵（碎）石层	30° ~90°		

3 采用与排桩咬合的高压旋喷（摆喷）注浆止水帷幕时，应先进行排桩施工，后进行高压旋喷（摆喷）施工。

4 多排孔高压旋喷（摆喷）注浆止水帷幕，应先施工背水面排，再施工迎水面排，后施工中间。

5 高压旋喷（摆喷）注浆作业应符合下列规定：

- 1) 一般情况下，同一排内的高压喷射注浆孔宜分两序施工。相邻孔喷射注浆的时间间隔不宜小于 24h。采用钻喷一体化施工时，可不分序连续进行；
- 2) 下喷射管前，应检查注浆设备和管路系统，并进行地面试喷，检查机械及管路运行情况，并调准喷射方向和摆动角度；
- 3) 下入或拆卸喷射管时，应采取措防止喷嘴堵塞。当采用带浆或带水插管时，浆或水的压力不宜超过 1MPa；

- 4) 当喷头下至设计深度，应先按规定参数进行原位喷射，待浆液返出孔口、情况正常后方可开始提升喷射，停止喷射的位置宜高于帷幕设计顶面 1m；
 - 5) 应全孔自下而上连续、均匀喷射。需中途拆卸喷射管，继续注浆时，应与上一段的注浆体进行搭接，搭接长度不应小于 0.2m；
 - 6) 因故中途停喷且短时间不能继续喷浆的，应拔出注浆管，并清洗设备和管路。恢复施工时，应与停喷前的注浆体进行搭接，搭接长度不应小于 0.5m；
 - 7) 注浆结束后，应迅速拔出注浆管，立即清洗设备和管路。并应利用返浆或水泥浆及时回灌，直至孔口浆面不下降为止。
- 6 高压喷射注浆过程中，应注意孔口返浆情况：**
- 1) 返浆量小于注浆量的 20%时可视为正常现象；
 - 2) 若返浆量大于 20%，可采用降低气压或进浆量、提高喷射压力、增大提升速度等措施；
 - 3) 若在进浆正常的情况下，孔口返浆密度变小，可采用增大进浆浆液密度或进浆量等措施；
 - 4) 宜用标准试模采集返浆试样，并测定其初凝、终凝时间及简单的力学性能。试样数量可视工程要求确定，一般每个主要土层段不宜少于 6 组。
- 7 高喷注浆过程中，若孔内发生严重漏浆，可采取以下措施处理：**
- 1) 孔口不返浆时，应立即停止提升；孔口少量返浆时，应降低提升速度；
 - 2) 降低喷射压力、流量，进行原位灌浆；
 - 3) 在浆液中加入速凝剂；
 - 4) 加大浆液密度或灌注水泥砂浆、水泥黏土浆等；
 - 5) 向孔内填入砂、土等堵漏材料。
- 8 高喷注浆过程中，出现压力突降或骤增、孔口返浆密度或返浆量异常等情况时，必须查明原因，及时处理。**
- 9 高喷注浆过程中发生串浆时，应填堵被串孔，待注浆孔高喷注浆结束，尽快进行被串孔的扫孔、高喷注浆。**
- 10 高喷注浆过程中应采取必要的措施保证孔内浆液上返畅通，避免造成地面劈裂和地面抬动。**
- 11 在较为坚硬的黏性土或较为密实砂土中，可采用复喷工艺增大固结体半径，提高固结体强度。**

12 在含黏粒较少的地层中进行高喷灌浆，孔口返浆应经处理后方可利用；在软塑至流塑状的黏性土或淤泥质土层中，其孔口返浆不宜回收利用。

13 施工中应严格按照施工参数和材料用量施工，并应如实记录各项施工参数、浆液用量、异常现象及处理情况等。施工参数的记录宜采用自动记录仪。记录和成果表形式参见本标准附录 C 表 C.0.3、表 C.0.4。

5.6 咬合桩止水帷幕施工

5.6.1 钻孔咬合桩是采用钢筋混凝土桩与混凝土桩之间咬合搭接而形成的支护体，除了形成止水帷幕作用外，还承受基坑水平方向水土压力的结构受力体。

5.6.2 咬合体的形成由钢筋混凝土桩（俗称荤桩）与素混凝土桩（俗称素桩）咬合而成，咬合搭接一般为 20cm~30cm。

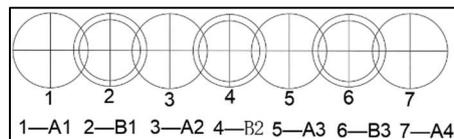
5.6.3 咬合桩的施工应按先施工素混凝土桩再施工钢筋混凝土桩顺序进行，素混凝土桩材采用超缓凝砼材料浇筑，也可采用低标砼材料浇筑，钢筋砼桩采用普通砼材料浇筑。

5.6.4 咬合桩止水帷幕施工机械一般采用全套管全回转钻钻孔机械及旋挖钻机、全套管钻机，钻孔机械选定应考虑合适的桩机型号与桩机功能。

5.6.5 为了保证钻孔咬合桩定位的精确且便于快捷就位，在咬合桩施工前首先在桩顶部两侧施作混凝土导样或钢筋混凝土导样、导样厚度根据土质及选定机械重量确定，一般厚度为 200mm~300mm。导样上的定位孔直径应大于套管直径，（或不加套管钻头直径）20mm~30mm。

5.6.6 咬合桩施工垂直度偏差不应超过 0.3%，放线桩位偏差不应大于 20mm。

5.6.7 咬合桩应按以下流程施工，A1 桩-A2 桩-B1 桩-A3 桩-B2 桩-A4 桩-B3 桩。（A 型为素桩，B 型为荤桩），流程图示：



5.6.8 咬合桩浇筑桩体混凝土前沉渣控制厚度应不大于 200mm，对于有竖向承载要求的咬合桩，应满足设计要求。

5.6.9 对于采用钻头直接切割素桩的施工方法，对钻头直径每施工 30 根桩量测一次。

5.6.10 咬合桩止水帷幕施工工艺流程步骤如下：



- 5.6.11 咬合桩止水帷幕施工完成后，对素桩、荤桩应进行小应变检测桩身完整性，抽检数：素桩按素桩总数 10%，荤桩按荤桩总数 10%，根数每种桩不少于 5 根。
- 5.6.12 形成咬合桩止水帷幕后，对止水效果应做相应检测检查。
- 5.6.13 用于 I 级基坑中的咬合桩止水帷幕工程宜先打试验桩取得合适的施工参数。
- 5.6.14 咬合桩止水帷幕施工前宜做好施工技术方案。
- 5.6.15 桩成孔完成后，应进行孔径、垂直度、孔深、沉渣厚度、搭接尺寸等的检验。
- 5.6.16 咬合桩止水帷幕中的素桩长度应穿过含水土层进入不透水层 1.5m 以上，便于形成较好的止水封闭层。
- 5.6.17 基坑形成全周长封闭的咬合桩止水帷幕工程，对首开素桩与闭合荤桩应有相应搭接止水的有效措施。
- 5.6.18 采用导管法灌注混凝土浇筑时，应使用丝口式接头的导管，导埋应始终埋入混凝土中 2m 以上，导管法灌注混凝土坍落度应达到 18cm~20cm，当孔内无水时可采用干孔灌注混凝土方法施工，干孔灌注坍落度可适当减低，须采用震动等方法密实已浇筑的混凝土。
- 5.6.19 咬合桩混凝土灌注的充盈系数不得小于 1。
- 5.6.20 咬合止水桩的试块试件应取自实际浇筑的砼，试块试件数量：每灌注 50³ 留有一组试件，或每个工作台班一组试件，每组试件为 3 个试件。

5.7 钢板（管）桩止水帷幕施工

- 5.7.1 钢板（管）桩帷幕适用于需要快速施工、可重复利用的临时性止水结构，其适用深度应根据设计要求、地质条件、场地条件、周边环境要求、施工设备能力、钢板（管）桩类型等因素综合确定；当无工程经验时，应进行沉桩、拔桩试验确定其适用性。沉桩方法对地层的适用性可参考附录 B。
- 5.7.2 当采用振动法沉桩时，对于振动敏感场地、低噪声环境、临近重要建（构）筑物和地下管线的场地，以及其他对振动和噪声有限制的区域，应优先选用液压高频免共振振动锤，可参考附录 C 选用。
- 5.7.3 当采用锤击法成桩时，桩机机座和桩架的型号，应与锤型相匹配；在硬粘土中沉桩时，宜采用重锤低击方式；在密实的砂性土中沉桩时，宜采用小锤快打方式；
- 5.7.4 当在硬塑和坚硬的黏性土，标贯大于 30 击的砂土、砾石、杂填土地层中，无法直接沉桩时，应采取高压射水、机械引孔等辅助措施；引孔的直径及垂直度应满足相应的设计要

求。

5.7.5 当采用静压法成桩时，宜将桩一次性连续压到设计标高，合理控制压桩速率；

5.7.6 为防止渗漏，每组钢板（管）桩接缝位置的处理，应满足下列要求：

1 在平面转角处宜根据平面布置采用定制转角桩，转角桩宜在沉桩前与其中一侧标准钢板桩预先连接；

2 沉桩前，应对各锁扣进行清理并增加锁扣密封剂。沥青类密封剂、水溶性膨胀型密封剂宜根据材料特性，于钢板桩沉桩前在室内填充涂抹；施工类硅烷改性聚合物止水密封剂，可在现场安装；

3 对于 CT 型钢管桩，沉桩完成后宜利用高压水管冲洗 C 型槽内泥土，并利用可固化的低强度液态填充料填充封堵密实。

5.7.7 钢板（管）桩的拔除，应符合下列要求：

1 是否需要拔除及拔除时间，应根据设计要求及现场条件确定；

2 拔除设备应根据现场条件、场地情况和工程经验进行选择，正式施工前应进行拔除试验，以确定设备能力、辅助措施及相应安全措施；

3 拔桩的顺序宜与沉桩顺序相反，宜采用分次、分段、间隔拔桩的方式，不宜采用一次性连续拔桩的方法；

4 拔除钢板（管）桩后，应按设计要求对桩孔进行填充处理。填充材料可采用砂土，也可采用水泥或水泥砂浆，填充方法可采用振动法、挤密法或注入法等。

5.7.8 钢板桩打入与拔除时应对周边环境进行监测；对振动和噪声影响敏感的场地，应限制使用振动法和锤击法施工；在紧邻建（构）筑物或地下管线、铁路、地铁周边、海上、河道内、抢险救灾场所、其他对振动和噪声影响敏感的场地进行钢板（管）桩施工时，应优先选用静压法沉桩。

5.7.9 开挖后接缝位置漏水，采取如下处理措施：

1 当开挖后发现锁口止水破坏，可根据原止水材料类型、位置、锁口实际缝隙尺寸、漏水程度以及操作性，选用锁口补焊缝法、锁口补焊角钢或钢板法、锁口塞条或遇水膨胀橡胶条法等止水修复方法；

2 坑底以下接缝位置漏水，当水压力较小时，可在坑内锁扣处进行深层注浆；当水压力较大时，应在坑外紧邻接缝位置进行深层注浆，并适当扩大注浆范围；在不影响周边环境条件下，可在桩外侧设置降水井，进行降水。

5.8 注浆止水帷幕施工

5.8.1 注浆止水帷幕孔距和排距应结合工程重要性、帷幕厚度、允许渗透比降、防渗标准等要求，结合现场注浆试验成果及类似工程经验综合确定。

5.8.2 注浆止水帷幕施工时应按分序加密的原则进行，并应符合下列规定：

1 由两排孔组成的止水帷幕宜先灌注外排孔，后灌注内排孔，每排孔可分为两序或三序；

2 由三排孔组成的止水帷幕，应先灌注外排孔，再灌注内排孔，最后灌注中间排孔，每排孔可分为两序；

3 由多排孔组成的止水帷幕宜按排间分序、排内加密原则施工。

5.8.3 注浆施工可采用套阀管注浆法、孔口封闭注浆法或孔内卡塞注浆法，应采用自上而下或自下而上分段注浆，段长宜为 2m~5m。

5.8.4 帷幕注浆孔底部宜伸入基岩 1m 或相对不透水层 2m。相对不透水层较深时，可根据渗流分析成果设置为悬挂式帷幕。

5.8.5 注浆钻孔可采用冲击回转跟管钻进或泥浆护壁回转钻进。

5.8.6 注浆浆液可采用水泥浆、水泥黏土（膨润土）浆、砂浆、膏浆等颗粒型注浆材料。颗粒型注浆材料不能满足止水帷幕要求时，可选用化学注浆材料。各种注浆材料配比应通过浆液试验确定，并符合下列规定：

1 水泥浆宜采用 2:1、1:1 和 0.5:1 三个比级；

2 水泥黏土浆宜采用水泥：黏土=1：1~1：4（质量比），水：干料（水固比）=3：1~1：1；

3 砂浆中砂的掺量宜小于水泥质量的 2 倍；

4 膏浆可采用原材料现场拌制，也可采用膏浆外加剂直接添加到水泥浆中配制成膏浆；

5 化学浆液宜采用水玻璃浆液、丙烯酸盐浆液、硅溶胶浆液或磷酸-水玻璃等双液浆，并满足《建设工程化学注浆材料应用技术标准》GB/T51320-2018 要求。

5.8.7 止水帷幕注浆水泥~水玻璃双液注浆施工应符合下列规定：

1 浆液的扩散半径应考虑地层的渗透性，并应通过注浆试验确定，对于卵石层扩散半径可取 1.0m~3.0m，对于砂层扩散半径可取 0.5m~1.0m。

2 应根据工程施工状况选择注浆孔的布置方式、孔距和排距。渗透注浆时，根据被注土体的深度及要求达到的标准，孔距宜为 1.0m~2.5m。

3 注浆压力宜通过现场试验确定。对松散地层注浆压力为 0.3MPa~1.0MPa；对于淤泥

质土和粉质黏土，注浆压力宜为 0.2MPa~1.5MPa；对于中细砂层，注浆压力宜为 0.6MPa~3.0MPa。

4 水泥浆与水玻璃浆液的体积比应根据室内试验确定，可取为 1:0.1~1:1。

5.8.8 注浆压力应根据工程地质条件和类似工程经验，并通过现场注浆试验确定。注浆压力应满足周边建（构）筑物允许变形要求。

5.8.9 注浆浆液宜按下列原则逐级变换：

1 当注浆压力保持不变，注入率持续减少时，或注入率不变而压力持续升高时，不应改变浆液比级；

2 当某级浆液注入量达到 1m^3 ，或注入时间达 30min，而注浆压力和注入率改变不明显时，应变浓一级；

3 当注入率大于 30L/min 时，可变浓一级。

5.8.10 注浆作业应连续进行，如因故中断，应尽快恢复注浆。

5.8.11 当注浆段达到设计压力，注入率不大于 2L/min 时，继续灌注 20min 即可结束该段注浆。

5.8.12 封孔宜采用导管注浆法，封孔浆液为最浓一级水泥浆或砂浆。

5.8.13 注浆时宜在注浆区域设置监测点，进行变形监测。

5.8.14 注浆工程的质量检查应以检查孔注水试验成果为主，结合注浆成果资料及其他检验检测资料的分析，进行综合评定。注水试验宜在注浆结束 14d 后进行，检查孔数量应不少于注浆总孔数的 5%。

5.8.15 注浆施工记录应及时、详细、真实，宜采用灌浆记录仪自动记录。施工记录可按本标准附录 A 的规定执行。

5.9 冻结法止水帷幕施工

5.9.1 竖向冻结孔施工

1 竖向冻结孔钻孔施工方法应根据地层条件和环境条件，优先选用泥浆护壁钻孔或套管跟进法钻孔。

2 冻结孔钻场的基础应牢固平整，钻孔施工时每台钻机应配备独立的泥浆循环系统，泥浆性能参数应根据不同的地层及时调整。

3 冻结孔开孔位置不得大于设计冻结孔允许最大偏斜值，且不宜大于 100mm；冻结孔开孔间距误差不得大于 150mm；角度误差不大于 0.3° 。

4 按设计要求应安装孔口管时，工具式孔口管安装应符合下列规定：

- 1) 应根据设计的数量、安装位置，在钻孔点预埋工具式孔口管；
- 2) 竖向工具式孔口管安装时，孔口板应保持水平，孔口管应垂直，安装应牢固；
- 3) 斜孔空口管安装应符合设计和施工要求；
- 4) 安装完冻结管后，应及时拔除工具式孔口管，并进行清理、防腐处理。

5 冻结孔施工完毕后应及时进行测斜工作。冻结孔全部施工完成后，根据测斜数据计算冻结孔偏斜值，绘制成孔偏斜图，根据成孔偏斜图量出相邻冻结孔间距，冻结孔间距不满足设计要求时应在两孔之间增设补孔。

6 竖向冻结孔钻孔直径和施工工艺应满足冻结器下放安装要求。冻结孔钻孔直径应考虑冻结器绝热层增加的厚度。

5.9.2 横向冻结孔施工

1 冻结孔钻孔方法宜选用跟管钻进法、夯管法、泥浆护壁循环钻进法等施工方法。

2 隧道衬砌结构（管片）上施工冻结孔时，应安装孔口管且确保牢固，孔口管与衬砌结构（管片）之间不得渗漏。孔口管宜采用低碳钢无缝钢管，孔口管内径宜比冻结器外径大 10mm~20mm，管壁厚度宜为 4.5mm~7mm。混凝土衬砌结构（管片）上的孔口管前端鱼鳞扣缠上麻丝长度不应小于 150mm。

3 用钻进法施工冻结孔时，在粘土等不透水地层中可采用清水钻进；在其他地层中钻进，应采用泥浆护壁，并根据地层情况调整泥浆成分、配比，防止钻孔塌孔。

4 冻结孔施工，当排出的土体体积大于冻结孔体积时，应立即用水泥浆或水泥—水玻璃双液浆进行注浆补偿，注入量不应小于流出量的 1.5 倍。

5 冻结孔的开孔位置、偏斜值、钻孔间距及深度应符合设计要求，冻结孔开孔间距误差不得大于 150mm；钻孔应避免隧道衬砌结构（管片）主筋、管片缝、接缝、螺栓孔、吊装孔等。

6 施工对穿冻结孔（透孔），当钻孔穿越对侧隧道衬砌结构（管片）时，应有可靠的防涌水措施。应先施工穿透联络通道两端隧道的透孔，验证隧道衬砌结构（管片）上预留洞门的位置，当两预留洞门位置偏差大于 100mm 时，应修正冻结孔设计角度。

7 在隧道衬砌结构或管片结构上安装孔口管和防喷装置时，开孔不应钻透衬砌或管片结构。孔口管和防喷装置安装后，宜用钻机钻透衬砌或管片结构。

8 采用冻结管跟进钻孔时，冻结管宜采用螺纹接头，并进行焊接补强，密封接头缝；先配管确认冻结管连接顺直后再用于施工。

9 冻结孔施工过程中及完成后应及时测斜。对于深度小于 20m 的冻结孔，可在钻孔后采用经纬仪或全站仪灯光测斜；对于深度大于 20m 的冻结孔，应每隔 10m~15m 采用水平陀螺测斜仪等方法测斜一次。

10 冻结孔深度大于 20m 时，应根据钻孔偏斜量预增设 $0.5^{\circ} \sim 1^{\circ}$ 的仰（俯）角。

11 冻结孔施工结束后应用密封材料封堵冻结管与衬砌或管片结构之间的缝隙。

5.9.3 冻结器安装

1 冻结管材料应符合现行国家标准《输送流体用无缝钢管》GB/T 8163 的规定，并应符合下列规定：

- 1) 冻结管宜采用低碳无缝钢管，不得采用焊缝钢管；
- 2) 采用跟管钻进时，冻结管管壁厚度不宜小于 8mm；采用夯管施工，冻结管管壁厚度不宜小于 6mm；采用非跟管钻进时，冻结管管壁厚度不小于 5mm；
- 3) 供回液管可采用聚乙烯增强塑料管或钢管。

2 冻结管、供回液管材质应符合设计规定，管材进场验收应符合下列规定：

- 1) 严格按照进场验收的要求分批次进行复检，合格后方可使用；
- 2) 管材不满足工作环境温度要求时，应增加其在低温冻结环境下得力学、抗冲击性、韧性试验。

3 冻结管连接应符合下列规定：

- 1) 冻结管连接方式可采用螺纹连接、内衬管连接、外接箍连接或坡口对接焊；
- 2) 跟管跟进时冻结管宜采用螺纹连接或带丝扣的内管箍连接，并应用焊接补强、密封坡口接头缝；非跟管跟进时，宜采用内衬箍连接、外接箍连接或坡口对焊接；采用夯管法时冻结管宜采用不带丝扣的内管箍对接接头；
- 3) 冻结管采用管箍焊接连接时，管箍的材质应与管材一致。内衬箍壁厚度宜为 2mm~3mm，外接箍壁厚不应小于冻结管壁厚，外接箍两端应用坡口，连接焊缝应饱满；
- 4) 焊条应与管材材质相比配，焊缝应饱满且与管壁齐平。焊接结束后焊缝应冷却时间 5min~10min 后方可将冻结管下入地层；
- 5) 采用螺纹管连接时，应进行地面渗漏试验和连接强度试验，合格后方可使用；
- 6) 冻结管底锥应采用与冻结管材质一致的钢板焊接制作，底锥与冻结管底部应采用焊接连接。

4 供回液管连接与安装应符合下列规定：

- 1) 供回液管宜采用聚乙烯增强塑料管或无缝钢管。需要分段连接时，无缝钢管采用

焊接；聚乙烯增强塑料管在冻结器头部位置应与内径匹配的供液钢管绑扎牢固；

- 2) 供回液管与冻结器头部的羊角鱼鳞丝扣连接应牢固、严密；
- 3) 供回液管下放到冻结管内时，应下放到距离冻结管管底 100mm 处。供回液管管端应留有断面面积不小于供回液管断面面积的回水通道。

5 竖向冻结管安装应符合下列规定：

- 1) 冻结管下放深度不应小于设计冻结深度，深度误差超过设计允许值时，应拔出冻结管，重新钻孔扫孔或应增补钻孔；每根冻结管应有编号，冻结管内不应有任何杂物，安装时应将冻结管管口临时封堵；
- 2) 冻结管下放到设计深度后应及时进行测深和打压试验。打压试验压力应为冻结盐水泵工作压力的 1.5 倍，且不宜低于 0.70MPa，并应保持 30min 压力下降不超过 0.05MPa，再延续 15min，压力不变时为合格；
- 3) 冻结管外露在作业面长度不宜小于 100mm，以满足焊接冻结器头部的作业要求；
- 4) 应采取措施保护冻结管外侧的绝缘保温层不受到破损，临近保温层部位焊接时，应采取措施避免烧损绝热保温层，焊接完成后待温度将至环境温度后恢复保温层。

6 横向冻结管安装除应符合本规范 5.9.3 条规定外，还应符合下列规定：

- 1) 冻结管安装后应注水泥浆填充冻结管与隧道衬砌或管片结构之间的缝隙，并应根据钻孔过程中孔口流出的泥沙量对底层进行相应的补偿注浆；
- 2) 打压试验压力应为冻结盐水泵工作压力的 1.5~2.0 宜低于 0.70MPa，并应保持 30min 压力下降不超过 0.05MPa，再延续 15min，压力不变时为合格；
- 3) 冻结管安装试验压力合格后，应用粘土或砂浆密封冻结孔口与冻结管之间的孔隙，防止冻结孔口在冻结过程中涌水涌沙。

7 冻结器头部连接与安装应符合下列规定：

- 1) 冻结器头部宜在工厂内加工制作，羊角的供液管两端接口应加工成鱼鳞扣。冻结器头部各处、供液管与羊角鱼鳞丝扣连接处应严密，焊缝不渗不漏；
- 2) 冻结器头部与插入冻结孔内的冻结管连接应采用焊接；
- 3) 每根冻结器安装完成后应及时进行复压试验。冻结器应先清洗干净后进行，复压试验压力不应小于盐水泵工作压力的 1.2 倍。

8 配集液圈（管）应按设计分组，宜在工厂加工制作，材质、规格符合设计要求。配集液圈（管）的安装应符合下列规定：

- 1) 配集液圈（管）应按设计的冻结器分组安装，以保证冻结器按分组积极冻结、维护冻结以及分组停冻和拆除；
- 2) 冻结器与配集液圈（管）连接可采用串联或并联方式进行分组，每组长度应符合设计文件要求；
- 3) 配集液圈（管）进、出液口均应安装控制阀门；
- 4) 冻结器的羊角与配集液圈（管）间宜采用软管连接，连接应牢固；软管在冻结运行温度下得耐压力不应小于 1MPa；
- 5) 每个冻结器上均应设置温度检测点，监测供、回液温度。

5.9.4 测温孔施工与装置安装

1 测温孔施工应符合下列规定：

- 1) 测温孔宜在冻结孔施工结束后进行，测温孔的位置应根据冻结孔的实际测斜成果及各种因素综合确定，深度不应小于设计测温孔深度；
- 2) 竖向测温孔应符合本规范 5.3.9 条规定，横向测温孔应符合本规范 5.3.9 条规定。

2 测温孔测温装置安装应符合下列规定：

- 1) 竖向测温管管口宜高出地面 500mm，横向测温管管口宜突出结构面不宜小于 200mm；
- 2) 测温管宜采用具有良好导热性的钢管，且不得渗漏；规格应便于安装测点；
- 3) 测温管内测点布置应满足冻结、开挖及融沉注浆施工的要求，测定冻结壁与隧道衬砌或管片结构界面温度时，测点距离界面不大于 50mm；
- 4) 测温管内安装测温电缆和测温元件后，管口应进行密封和保护，防止测温元件及电缆被移位、损坏；
- 5) 测温元件和仪器应经过标定，温度测量精度应达到 $0.5^{\circ}\text{C} \sim -0.5^{\circ}\text{C}$ 。

5.9.5 水文观测孔、泄压孔施工与装置安装

1 水文观测孔、泄压孔施工宜在冻结孔施工完成后进行。

2 水文观测孔、泄压孔水文观测装置安装应符合下列规定：

- 1) 水文观测孔、泄压孔孔管应有锥型封底，水文观测管连接处应焊接牢固，保证同心度且不渗漏；
- 2) 竖向水文观测管应设置滤水层，滤水段应设置在含水层中；
- 3) 滤水层花管孔孔距和排距宜为 33mm，梅花状布置；滤水孔直径宜为 15mm，孔隙率位宜为 20%；滤水层材料宜为铁纱布或棕榈皮外包，纱网规格根据含水地层颗粒

粒径分布来确定，防止细颗粒土层流失；

- 4) 承压含水层安装水文观测管时，上、下隔水层位置应进行止水层密封，保证与含水层畅通，且水头位置与实际水位相符；
- 5) 水文管安装后应用清水洗孔，应以孔口持续溢出清水为准，以确保与含水层的畅通；
- 6) 竖向水文观察管口应高出地面 500mm；横向水文观测孔、泄压孔管口突出结构面不宜小于 200mm；
- 7) 水文观测孔（泄压孔）孔径不宜小于 38mm，并在外露管上安装压力表和泄压阀门；压力表的精度应达到 $\pm 0.02\text{MPa}$ ；
- 8) 制冷站运转前应测量竖向水文孔及冻结区外的水位，存在水位标高差应查明原因并采取相应措施；横向冻结的泄压孔在冻结前应记录初始水压。

5.9.6 制冷系统安装与运转

1 制冷站设置应符合下列规定：

- 1) 地面制冷站位置应根据地形、地貌、气候、供水、供电及排水条件等因素综合确定，且不应影响现场其他施工；制冷站厂房宜建在冻结负荷中心附近，地面高程应满足当地防洪要求；
- 2) 地面制冷站厂房建设应符合国家现行标准《建筑设计防火规范》GB 50016 的规定，应使用防火材料，宜采用轻钢屋架建造；冷冻站设在地面时，宜搭设厂房，避免阳光直射；
- 3) 地面制冷站顶部和侧墙应设置通风装置，室内空气中制冷剂浓度不应超过 $30\text{mg}/\text{m}^3$ ；
- 4) 制冷站自然通风条件不能满足设备降温需求时应安装轴流风机强制通风；
- 5) 制冷站设在地铁车站或隧道内时，配电系统应保证连续正常供电，设置供、排水管路，应有良好的通风系统，不宜布置在未贯通的区间隧道内。

2 制冷站安装应符合下列规定：

- 1) 制冷站制冷设备、盐水泵、清水泵及管路系统的安装，应符合现行国家标准《制冷设备、空气分离设备安装工程施工及验收规范》GB 50274、《机械设备安装工程施工及验收通用规范》GB 50231 及《工业金属管道工程施工及验收规范》GB 50235 的规定。配电系统安装及调试应符合现行国家标准《电气装置安装工程盘柜及二次回路接线施工验收规范》GB 50171 的规定；
- 2) 冻结器与集、配液管（圈）之间宜用高压软管连接，软管在冻结环境温度下耐压

不应低于 1.00MPa。在冻结器与集、配液圈之间的连接管路上应安装控制阀门、温度测点和盐水流量测点；

- 3) 盐水循环系统最高部位应设置排气阀，盐水箱应安设盐水液位监测及预警系统；
- 4) 盐水干管及冷却水管路上应布设温度、压力及流量测点，温度测点应布置在管道截面中心位置。

3 制冷站制冷剂循环系统、盐水干管和集、配液圈应进行密封性试验，并应符合下列规定：

- 1) 浮球阀、液面指示器、安全阀等安装前应进行灵敏性检测；
- 2) 盐水管路系统应进行压力试验，试验压力不应小于冻结工作面盐水压力的 1.5 倍，且不宜低于 0.70MPa，并应保持 30min 压力下降不超过 0.05MPa，再延续 15min，压力不变时为合格，以确保盐水不向外渗漏；
- 3) 冷冻机充制冷剂前，制冷系统各部位应进行试漏检验，试漏压力值应符合表 5.9.6 的规定及设备说明书的要求。

表 5.9.6 制冷系统试漏压力值

部位	高压系统	低压系统
试压表压力(MPa)	1.6~1.8	1.2

4 制冷站运转前调试应符合下列规定：

- 1) 冷却水系统的水源供水量、水质及水温应符合设计要求，冷却水循环系统运转应正常；
- 2) 盐水系统的盐水浓度及总流量应符合设计要求，各冻结器盐水流量应基本均匀，应无杂物堵塞，盐水循环系统应运转正常；盐水浓度及总流量应符合设计规定，盐水循环系统应正常运转；
- 3) 冷却水、盐水系统试运转正常后，制冷系统抽真空后应对系统进行检漏，无漏点后方可正式充制冷剂；
- 4) 充盐水过程中，制冷压缩、盐水、冷却水三大循环系统运转应正常，盐水温度应逐渐下降；
- 5) 设备易损件和制冷剂应有一定的备用量；
- 6) 充制冷剂过程中，制冷剂、盐水、冷却水系统运转应正常，盐水温度应逐渐下降；

7) 配电系统应能连续正常供电；制冷站内灭火器材、防雷装置、电器接地等安全设施应齐全。

5 制冷站运转应符合下列规定：

- 1) 制冷剂、盐水、冷却水循环系统应正常运转，盐水温度循环过程应符合设计要求，各冻结孔分组流量、温度应均匀，冻结器端部及胶管结霜不应有明显差异；
- 2) 制冷剂冷凝压力和蒸发压力应与冷却水温度、盐水温度相对应；
- 3) 冷媒温度应符合规范的规定；
- 4) 冷凝器进出水温差应符合设计规定；
- 5) 地面制冷站应采取消声器、隔声罩等降噪措施，厂界噪声排放应符合国家现行标准《工业企业厂界环境噪声排放标准》GB 12348 的规定。

6 制冷站运转记录应包括下列内容：

- 1) 制冷机及其辅助设备的温度、压力、流量、液位、电流、电压等参数，制冷剂加注量及润滑油加注量；
- 2) 盐水系统压力、盐水箱液位、盐水比重、盐水进水和回水温度、冻结器头部温度；
- 3) 冷却水系统压力、冷却水进水和回水温度、流量，补充水的流量及水温。

5.9.7 积极冻结与维护冻结

1 冻结开始前，冻结器安装应全部验收合格；制冷站系统调试各项技术指标应符合设计规定。

2 积极冻结应符合下列规定：

- 1) 设计规定时间内，制冷站制冷量、盐水循环流量应达到设计要求；
- 2) 在规定的时间内，盐水循环温度应达到最低设计温度，最终去、回路温差不宜高于 2℃；
- 3) 积极冻结应确保冻结壁能达到设计厚度和最低平均温度要求；
- 4) 积极冻结应按设计指标进行运行，并进行监控、检验，达不到设计要求时应及时进行调整。

3 维护冻结施工应符合下列要求：

- 1) 冻结壁各项指标达到设计值后，或由于各种原因暂时无法开挖时，可进入维护冻结；维护冻结的盐水温度不应高于-25℃，单个冻结孔盐水流量不应小于 3m³/h；

- 2) 维护冻结应按照设计制冷参数运行，确保开挖期间周边冻结壁围护结构的功能和安全，不得擅自停止或减少供冷；
- 3) 当施工需要停止个别或单组冻结孔供冷时，应分析对冻结壁整体稳定性的影响，并应制定相应的技术措施，确保开挖和结构施工安全；
- 4 横向冻结时维护冻结除应符合本规范第 3 款规定外，尚应符合下列规定：
 - 1) 土方掘进和初支施工应在施工组织设计规定的时长内封闭；
 - 2) 冻土需要机械开挖时，不应削弱有效冻结壁。
- 5 局部冻结时维护冻结除应符合本规范第 3 款规定外，尚应符合下列规定：
 - 1) 因开挖土方需临时切除部分冻结器时，未切除的冻结器应继续维护冻结；
 - 2) 割除后需要恢复运转的冻结器，应进行试压，合格后方可恢复供冷继续冻结；
 - 3) 根据冻结壁检测判定，确定恢复冻结器后的制冷量的负荷配置。

5.9.8 停冻

1 在开挖期间不应停止冻结器供冷，需临时停止个别冻结器供冷时，应分析停冻对冻结壁整体稳定性的影响；并应采取相应的措施保证施工安全。

2 施工停冻应符合下列规定：

1) 基坑竖向冻结不分段施工时，停冻应在主体结构完成到静水位 500mm 以上，且结构混凝土强度符合设计规定后方可停冻；

2) 基坑分段冻结，停冻除分段交接处冻结壁仍应保持维护冻结外，先施工段的停冻应符合本款第 1) 项规定；

3) 隧道横向冻结，停冻应根据冻结壁的功能确定，仅作为加固土体作用时可在初支完成后停冻；既加固土体又有止水作用时应在二衬结构施工完成后停冻。超过一定长度且采用分段冻结的先施工段与后施工段衔接处冻结壁的停冻应符合本款第 2) 项的规定；

3 盾构始发和接收端停冻应符合下列规定：

1) 盾构始发端应在盾尾脱出冻结区，且洞门与正环管片间隙封堵完成后方可停冻；

2) 盾构接收端应在最后一环管片拼装完成，且洞门与管片间的间隙封堵完成后方可停冻。

4 强制解冻前应符合下列规定：

1) 填充和融沉注浆已做好施工准备；

2) 制冷剂和盐水回收方案已完成；

3) 监控量测数据稳定，符合规范要求；

4) 宜先采用热盐水循环加热土体，加热土体至可扭动冻结管即可停止，热盐水最高温度不宜大于 70° C。

5.9.9 竖向冻结拔管与冻结孔充填

1 停冻后可进行冻结器拆除，可根据施工需求确定是否需要拔管拆除，冻结孔和未拔除的冻结管孔内均应进行充填；

2 拔管应在解冻后进行，拔除前应编制专项安全技术措施方案；

3 冻结器解冻前，需拔除冻结管时，宜先采用热盐水循环加热土体；

4 冻结孔宜用水泥浆或水泥土充填，冻结管内宜采用水泥浆、水泥砂浆或混凝土充填，充填水泥砂浆强度等级不应小于 M10、混凝土强度等级不应小于 C15、水泥浆的水灰比不应大于 0.8、水泥土水泥含量不应小于 20%。

5.9.10 横向冻结管割除和充填

1 二衬结构或盾构管片结构体上冻结管割除的深度深入结构内不宜小于 60mm。

2 二衬或盾构管片结构割除冻结管的后凹槽应采用耐久、微膨胀、与结构等强度的材料修复。修复时应先在结构凹槽打膨胀螺栓、并应预埋注浆管，以加强修复与结构的连接和注浆充填空隙和堵漏。

3 盾构管片为钢管片时，冻结管应割除至格肋底面，按本规范规定封堵冻结管孔；钢管片格肋上应满焊钢板，钢板厚度不应小于 10mm，钢板外表面应进行防腐处理；格仓应清理干净，格仓灌注混凝土强度不应低于管片结构强度，灌注应密实。

5.9.11 制冷系统拆

1 制冷系统拆除时，应编制专项安全技术施工方案。

2 制冷站拆除时，盐水应回收，不应污染混凝土结构；

3 拆除设备、管路应有技术措施，设备、容器应清洗、防腐后存储。

5.9.12 充填注浆和融沉注浆

1 停止冻结并完成冻结孔封堵工序后应进行衬砌后充填注浆和地层融沉补偿注浆。

2 注浆管应在初期支护施工时预埋。注浆管预埋深度应穿透初期支护层，注浆管头部应用丝堵拧紧，布孔密度应为 2 m²/个~4 m²/个。可使用联络通道位置相关隧道管片预留注浆孔进行注浆。

3 衬砌后充填注浆应在停止冻结后一周内尽早实施。

4 衬砌后充填注浆应采用水灰比为 0.8:1~1:1 单液水泥浆。注浆应按由下而上的顺序进行，当上一层注浆孔连续返浆后即可停止该层注浆，直至拱顶充填满为止。

5 融沉补偿注浆应遵循少量、多次、多点、均匀的原则。

6 融沉补偿注浆浆液应以水泥-水玻璃双液浆为主，单液水泥浆为辅。水泥-水玻璃双液浆的配比应符合下列规定：

1) 水泥浆与水玻璃溶液体积比应为 1:1，其中水泥浆水灰比应为 0.8:1~1:1，水玻璃溶液可采用 B35~B40 水玻璃加 1 倍~2 倍体积的水稀释，波美度可根据设计浆液凝结时间进行调整；

2) 注浆压力不得大于 0.5MPa 或结构设计要求的允许值；

3) 注浆范围应为整个冻结区域。

7 注浆设备应采用双液注浆泵，注浆泵应配备压力表、流量计等量测仪表。

8 地层沉降大于 0.5mm/d 或累计地层沉降大于 3mm 时，应进行融沉补偿注浆。

9 冻结壁已全部融化，且实测地层相对周边非冻区沉降持续一个月，每半月不大于 0.5mm 时，可停止融沉补偿注浆。

10 融沉注浆结束后，应割除露出结构表面的注浆管，管内应注浆充填密实。

11 注浆过程中应填写各项注浆记录表与质量抽检报告，并作为注浆加固质量验收依据。

6 检测

6.1 一般规定

- 6.1.1 止水帷幕施工中及竣工后，应按设计要求和质量合格条件分步进行检测。
- 6.1.2 对检测出的止水帷幕薄弱点，应根据不同情况分别采取增补或修复的方式处治。
- 6.1.3 检测的抽检位置应按下列要求综合确定：
- 1 抽检点宜随机、均匀和有代表性分布；
 - 2 设计人员认为的重要部位；
 - 3 局部岩土特性复杂可能影响施工质量的部位；
 - 4 施工出现异常情况的部位。

6.2 检测

6.2.1 地下连续墙止水帷幕质量检测

1 成槽质量检测

- 1) 地下连续墙作为永久结构使用时，应全部进行成槽质量检测；地下连续墙作为临时结构使用时，成槽检测数量可抽检总槽段数的 20%。检测内容应包括连续墙槽壁垂直度、槽宽、槽深、泥浆、沉渣厚度。
- 2) 地下连续墙成槽质量宜采用超声波反射法进行检测，检测内容应包括连续墙槽壁垂直度、槽宽、槽深。超声波仪器探头宜对准导墙中心轴线，探头超声波发射面应与导墙平行，每幅连续墙测点数一般应不少于 3 处，测点需沿连续墙轴线均匀布置。
- 3) 地下连续墙成槽质量检测应在第一次清槽、相邻槽段接头清理完成，且槽内泥浆气泡基本消散后进行。
- 4) 槽底沉渣厚度检测应在地下连续墙第二次清槽完成、混凝土灌注施工前进行。沉渣厚度检测宜采用测锤法。每个单元槽段沉渣厚度检测应不少于 3 次，检测点位应根据槽段长度均匀布置，3 次检测结果的平均值作为最终检测结果。

2 地下连续墙混凝土质量检测

- 1) 地下连续墙混凝土达到 100%强度后，宜采用声波透射法对墙身混凝土质量进行检测，判定墙身缺陷的位置、范围和程度，并应符合下列规定：
实施声波透射法检测墙段数量不宜小于同等条件下总墙段数量的 20%，且不得少于 3 幅；对作为永久结构地连墙，应 100%进行声波透射法对墙身混凝土质量进行检测；

每个检测墙段预埋的声测管数量不应少于 4 根，且宜布置在墙身断面的四边中点处。

2) 声测管设置应符合下列规定：

声测管应沿地下连续墙墙身通长设置，并在混凝土浇筑前将声测管有效固定；

声测管应有足够的径向刚度，声测管材料的温度系数应与混凝土接近；

声测管应下端封闭、上端加盖、管内无异物；声测管连接处应平顺过渡，管口应高出混凝土顶面 100mm 以上。

3) 当声波透射法判定的墙身质量不合格时，应采用钻芯法进行验证；

4) 地下连续墙作为地下主体结构时，其质量检测尚应符合相关标准的要求。

6.2.2 水泥土止水帷幕质量检测应符合下列规定：

1 水泥土止水帷幕施工过程中应进行成桩质量检测，检测内容包括水泥用量、桩底标高、桩位、桩径（墙厚）和桩（墙）体垂直度。

2 土方开挖前，应检测水泥土止水帷幕的桩身（墙体）强度和抗渗性能，宜采用浆液试块强度试验的方法确定，也可以采用钻取桩芯强度试验的方法确定。桩身（墙体）强度和抗渗性能检测方法应符合下列规定：

1) 浆液试块强度和抗渗性能试验应取刚搅拌完成而尚未凝固的水泥土浆液制作试块，每台班应抽检 1 根桩，渠式切割水泥土连续墙每台班抽查 1 延米墙身，每桩（墙）不应少于 2 个取样点，每个取样点应制作 3 件试块。试块应及时密封水下养护 28d 后进行无侧限抗压强度试验和抗渗性能试验；

2) 钻取桩芯强度和抗渗性能试验应采用地质钻机并选择可靠的取芯钻具，钻取水泥土止水帷幕施工后 28d 龄期的水泥土芯样，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；渠式切割水泥土连续墙抽检数量每 50 延米不应少于 1 个取芯点，且不得少于 3 个。每根桩（墙）的取芯数量不宜少于 5 组，每组不宜少于 3 件试块。钻孔取芯完成后的空隙应注浆填充；

3) 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，也可采用原位试验检验桩身强度。

6.2.3 咬合桩帷幕质量检测应符合下列规定：

1 咬合桩应进行桩位、桩长、桩径、垂直度和桩身质量的检测。

2 咬合桩 I 序桩切割成孔前，应对相邻工序桩桩身混凝土强度进行检测，硬切割咬合桩

I 序桩混凝土应具有—定强度, 并应满足设计要求; 软切割咬合桩 I 序桩混凝土应尚未初凝。

3 混凝土初凝及终凝可采用压力环式贯入阻力仪测定。

4 咬合桩的质量检测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》GB50202 和行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ106 的有关规定。

6.2.4 钢板桩帷幕质量检测应符合下列规定:

1 钢板桩施工过程中, 应对钢板桩的桩长、桩顶标高、桩位偏差、沉桩垂直度等项目进行检测;

2 土方开挖过程中, 应根据分区、分层开挖情况, 及时对土方开挖面的钢板桩桩身弯曲度、桩身垂直度、锁口咬合程度、渗漏水情况等项目进行检测;

3 钢板桩施工完毕、土方开挖至设计标高后, 应对钢板桩桩身弯曲度、桩身垂直度、锁口咬合程度、板桩墙平直度、支护结构变形、板桩墙渗漏等项目进行检测。

6.2.5 注浆止水帷幕检测应符合下列规定:

1 注浆止水帷幕水泥~水玻璃双液注浆检查孔的压力试验或注水试验, 应在注浆结束 14d 后进行;

2 注浆止水帷幕水泥~水玻璃双液注浆检验点, 应布置在不同水文地质特征地段的钻孔轴线上, 其数量不应小于注浆孔数的 3%~5%, 每段内不应少于 1 个;

3 注浆止水帷幕水泥~水玻璃双液注浆检查孔应进行取芯, 并应进行地质编录、照相, 岩心应妥善保管, 检查孔检查合格后, 应进行封孔处理;

4 注浆止水帷幕水泥~水玻璃双液注浆质量检查结果满足设计要求的单位吸水率或渗透系数的 95%以上, 注浆质量可认为合格。

6.2.6 冻结法帷幕质量检测应符合下列规定:

1 冷冻法钻孔施工过程中, 应对主冻结孔偏斜率和间距、冻结管和供液管的下管深度、等项目进行检测;

2 制冷冷冻过程中, 应对制冷系统和盐水系统压力、冻结帷幕形成期盐水温度、冻结帷幕厚度、冻结帷幕平均温度、冻结帷幕的交圈时间等项目进行检测;

3 冷冻法止水帷幕施工检测;

4 冻结壁形成的判断:

1) 观测孔内的承压水, 水位应有规律地上升并溢出管口 7d; 当有多个水文孔(泄压孔) 或一个水文孔(泄压孔) 作多层报导时, 被观测的水位应全部溢出管口; 这表明各承压含水层冻结壁均已交圈;

2) 在一般施工工况下, 采用经验方法预测冻结壁形成是可行的, 但应分析散热边界条件和施工参数变化可能给冻结壁形成带来的不利影响。施工中应通过冻结壁温度实测判定冻结壁的形成状况, 特别是实测冻结壁与隧道管片交接面等复杂边界处和冻结壁扩展异常处的冻结壁形成状况。

7 工程监测

7.1 一般规定

- 7.1.1 止水帷幕工程施工前，应依据设计及相关规范要求编制监测方案。
- 7.1.2 止水帷幕工程中，兼做支挡作用的地下连续墙、咬合桩、钢板（管）桩等监测项目及采用的监测仪器的精度、分辨率及测量精度应能反映监测对象的实际状况，并应符合现行国家标准《建筑基坑工程监测技术规范》GB50497 的有关规定。
- 7.1.3 对基坑监测有特殊要求时，各监测项目的测点布置、量测精度、监测频率等应根据实际要求确定。
- 7.1.4 监测单位应严格实施监测方案。当工程设计或施工有重大变更时，监测单位应根据要求及时调整监测方案。
- 7.1.5 监测单位应及时处理、分析监测数据，并将监测结果和评价及时反馈建设方及相关单位，当监测数据达到监测报警值时必须立即通报建设方及相关单位。
- 7.1.6 止水帷幕工程的现场监测应采用仪器监测与巡视检查相结合的方法。

7.2 帷幕监测

- 7.2.1 止水帷幕工程施工过程中每天应有专人进行巡视检查，截水帷幕开裂、渗漏情况。
- 7.2.2 止水帷幕工程渗漏较严重或帷幕后水位突变，应立即进行预警，并应加密巡视频率。
- 7.2.3 钢板（管）桩止水帷幕打入与拔除时应对周边环境进行监测。
- 7.2.4 冻结法止水帷幕应根据设计要求对冻结壁温度和环境进行监测。

8 工程质量验收

8.1 一般规定

8.1.1 水泥为主剂的止水帷幕质量检验应符合下列规定：

- 1 检验应在施工结束 28 天之后进行；
- 2 测定土的强度和渗透性；
- 3 检测方法和检验点数应符合相关规定。

8.1.2 验收检验的抽检位置应按下列要求综合确定：

- 1 抽检点宜随机、均匀和有代表性分布；
- 2 设计人员认为重要的部位；
- 3 岩土特性复杂可能影响施工质量的部位；
- 4 施工过程中出现异常情况的部位。

8.2 地下连续墙止水帷幕

8.2.1 导墙检测

1 主控项目

- 1) 导墙的地基应坚实，其埋深应符合设计要求；预制导墙接头应连接牢固。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察。

- 2) 模板安装应稳定，支撑应牢固；模板及支架拆除时其混凝土强度应符合设计要求及现行国家标准《混凝土结构工程施工规范》GB50666 的规定。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，查施工记录。

- 3) 钢筋的品种、级别、规格、数量应符合设计要求。

检查数量：抽样方式及数量应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204 的规定。

检验方法：查产品出厂合格证、性能检验报告和进场复验报告。

- 4) 混凝土抗压强度应符合设计要求。

检查数量：取样与试件留置应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204 的规定。

检验方法：查混凝土抗压强度试验报告。

2 一般项目

1) 现浇混凝土导墙模板安装的几何尺寸应符合设计要求,其安装允许偏差应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204 的规定。

2) 导墙钢筋安装尺寸应符合设计要求,其安装允许偏差应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204 的规定。

3) 导墙外侧填土应夯实,导墙不得有位移和变形。

检查数量: 全数检查。

检验方法: 观察,查施工记录。

4) 导墙采用钢制结构时,验收应满足设计要求和现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB50205 的规定。

检查数量: 全数检查。

检验方法: 观察,查施工记录。

5) 导墙的平面位置、几何尺寸应符合设计要求,设计未要求时应符合表 8.2.1 导墙允许偏差的有关规定。

检查数量: 全数检查。

检验方法: 观察,查施工记录。

表 8.2.1 导墙允许偏差

序号	项目	允许偏差 (mm)	检验频率		检验方法
			范围	点数	
1	导墙平面位置	±10	每幅(地下连续墙)	2	用全站仪测量两端
2	顶面标高	±10		3	用水准仪测量两端和中心
3	墙体宽度	0, +40		3	钢尺量测两端和中心
4	垂直度	<1/300H		3	用铅锤和钢尺量测两端和中心
5	墙面平整度	≤5		5	用 2m 靠尺和楔形塞尺量测四角及中心
6	内墙面净距	±10		3	钢尺量测两端和中心

注: H 表示导墙的深度。

8.2.2 成槽检测

1 主控项目

1) 地下连续墙清槽后泥浆性能应符合设计要求和相关技术指标的要求。

检验数量：单元槽段泥浆置换结束 1h 后，于槽底以上 0.5m~1.0m 处取样，每幅不应少于 2 处，且每处不少于 3 次。

检验方法：采用比重计、漏斗计、洗砂瓶和电子 PH 值计现场检测泥浆的比重、黏度、含砂率和 PH 值等性能指标。

2) 槽壁垂直度应符合设计要求。设计无要求时，永久结构槽壁垂直度允许偏差为 1/300；临时结构槽壁垂直度允许偏差为 1/200。

检验数量：当地下连续墙作为临时结构时，槽壁垂直度检测数量不得小于同条件总槽段数的 20%，且不应少于 10 幅，每幅不少于 2 点；当地下连续墙作为主体结构时，应对每个槽段进行槽壁垂直度检测，每幅不少于 2 点。

检验方法：超声波反射法或成槽机的检测系统进行检测。

3) 槽底沉渣厚度，对于永久结构，不应大于 100mm；对于临时结构，不应大于 150mm。

检验数量：100%检验，每幅抽取 2 点。

检验方法：重锤检测或沉积物测定仪。

2 一般项目

地下连续墙成槽的允许偏差、检验频率及检验方法应符合表 8.2.2 的规定。

表 8.2.2 地下连续墙成槽允许偏差

序号	项目		允许偏差 (mm)	检验频率		检验方法
				范围	点数	
1	成槽深度	临时结构	不小于设计值	每幅（地下连续墙）	2	重锤检测
		永久结构	不小于设计值			
2	成槽宽度	临时结构	不小于设计值	按幅取 20%	2	超声波反射法
		永久结构	不小于设计值	每幅（100%）		

8.2.3 混凝土检测

1 主控项目

1) 预拌混凝土进场时，其质量应符合现行国家标准《预拌混凝土》GB/T14902 的规定。

其凝结时间、稠度等应满足施工要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：检查质量证明文件、现场检查。

2) 地下连续墙的混凝土中氯离子含量和碱总含量应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 的规定和设计要求。

检查数量：同一配合比的混凝土检查不应少于一次。

检验方法：检查原材料试验报告和氯离子、碱的总含量计算书。

3) 地下连续墙混凝土的抗压强度、抗渗等级等应符合设计要求。

检查数量：对同一配合比混凝土，取样与试件留置应符合标准规定。抗压强度试件每一槽段不应少于 1 组，且每 100m³ 混凝土不应少于 1 组；有抗渗要求时应留置抗渗试件，每 5 幅槽段应留置一组抗渗试件。

检验方法：检查施工记录，混凝土抗压强度、抗渗等试验报告。

4) 地下连续墙体应密实、均匀和完整。

检查数量：地下连续墙实施声波透射法检测墙段数量不宜小于同等条件下总墙段数量的 20%，且不得少于 3 幅。每个检测墙段的预埋超声波管数不应少于 4 个，且宜布置在墙身截面的四边中点处。检验方法：地下连续墙墙体混凝土质量应采用声波透射法。

2 一般项目

1) 地下连续墙墙面不得有混浆、夹泥、断墙、露筋、孔洞等现象。混凝土坍落度检验每幅槽段不应少于 3 次。

2) 永久性地下连续墙不应有渗漏、线流等现象，平均渗水量应小于 0.1L/m²/d。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察。

3) 地下连续墙现浇结构允许偏差应符合表 8.2.3-1 的规定。

表 8.2.3-1 地下连续墙现浇结构允许偏差值

序号	项目		允许偏差 (mm)	检验频率		检验方法
				范围	数量	
1	平面位置	永久结构	0, +30	每幅 (地下	2	用尺量或用经纬仪检查
		临时结构	±30		2	
2	裸露墙面	永久结构	<100	连续 墙)	2	用钢尺量，为均匀黏性土层，若为松散、及易坍塌土层由设计决定
	平整度	临时结构	<150			

续表 8.2.3-1 地下连续墙现浇结构允许偏差值

序号	项目		允许偏差 (mm)	检验频率		检验方法
				范围	数量	
3	垂直度	永久结构	1/300		2	查灌注前浇筑记录, 或 查超声波检查记录
		临时结构	1/200			
4	墙体厚度		不小于设计值		2	用钢尺量
5	墙体深度		不小于设计值		1	查灌注前记录
6	相邻槽段错位		<0.3%H		2	用钢尺量

注: H为地连墙深度(mm)。

4) 地下连续墙预制墙板应一次浇筑, 墙板的接头(凸榫)不得存在破损等缺陷。预制墙板允许偏差应符合表 8.2.3-2 规定。

表 8.2.3-2 地下连续墙预制墙板允许偏差

序号	项目		允许偏差 (mm)	检验频率		检验方法
				范围	数量	
1	长度		±50	每块预制 板	2	钢尺量, 每块预制板检 查上、下 2 处
2	横截面边长	宽度	±10			
		厚度	+10, -5			
3	榫槽中心对墙板轴线的位移		7		2	钢尺量, 任取一断面, 连续进测间距, 取平均值作为一点, 每块预制板上测 2 点
4	榫槽表面错牙		3			
5	表面平整度		10		20%	钢尺量
6	墙板侧向弯曲矢高		L/1000, 且不大于 20			
7	墙板顶外伸钢筋长度		±20		20%	钢尺量
8	吊点和预留孔的位置		±50			

注: L为墙板长度(mm)。

5) 地下连续墙预制墙板安装前置换的自凝泥浆强度应符合设计要求, 预制墙板安装应符合表 8.2.3-3 规定。

表 8.2.3-3 地下连续墙预制墙板安装允许偏差

序号	项目	允许偏差 (mm)	检验频率		检验方法
			范围	数量	
1	纵轴线位置	30	每块预 制板	2	钢尺量, 每块预制板沿轴 线检查 2 处
2	顶面高程	+50, 0		2	
3	墙板间缝隙宽度	±25		1	钢尺量
4	相邻板堆纵轴线 相对偏差	20		1	

8.3 水泥土搅拌桩止水帷幕

8.3.1 水泥土搅拌桩止水帷幕的质量检查与验收分为施工期间过程控制、成墙质量验收和基坑开挖期间检查三个阶段。

8.3.2 施工期间过程控制内容包括: 验证施工机械性能、材料质量, 检查搅拌桩的定位、长度、标高、垂直度, 搅拌桩的水灰比、水泥掺量, 搅拌下沉与提升速度、喷浆均匀度, 浆液的泵压、泵送量与喷浆均匀度, 水泥土试块的制作与测试, 外加剂掺量, 搅拌桩施工间歇时间等。

8.3.3 成墙质量验收应检查搅拌桩桩体的强度和搭接状况, 验收宜按施工段分批进行。

8.3.4 基坑开挖期间应检查开挖面墙体的质量以及渗漏水情况。

8.3.5 浆液拌制选用的水泥、外加剂等原材料的检验项目和技术指标应符合设计要求和国家现行有关标准的规定。

检查数量: 按批检查。

检验方法: 查产品合格证及复试报告。

8.3.6 浆液水灰比、水泥掺量应符合设计和施工工艺要求, 浆液不得离析。

检查数量: 按台班检查, 每台班不少于 3 次。

检验方法: 浆液水灰比用比重计抽查, 水泥掺量用计量装置检查。

8.3.7 水泥土搅拌桩施工前, 当缺少类似土性的水泥土强度数据或需要通过调节水泥用量、水灰比以及外加剂的种类和数量以满足水泥土强度设计要求时, 应进行水泥土强度室内配比试验, 测定水泥土 28 天无侧限抗压强度。试验土样应取自水泥土搅拌桩所在深度范围内的

土层。当土层分层特征明显、土性差异较大时，宜分别配置水泥石试样。

8.3.8 水泥石搅拌桩止水帷幕的质量检测应符合下列规定：

1 型钢水泥石搅拌墙、与排桩咬合的水泥石搅拌桩止水帷幕、与土钉墙面层贴合的水泥石搅拌桩止水帷幕，应在基坑开挖前或开挖时，检测水泥石固结体的尺寸、搭接宽度；检测点应按随机方法选取或选取施工过程中出现异常、开挖中出现漏水的部位；

2 对设置在支护结构外侧单独的止水帷幕，其质量可通过开挖后的止水效果判断；

3 对施工质量有怀疑时，可在止水帷幕固结后，采用钻芯法检测帷幕固结体的单轴抗压强度、连续性及深度；检测点的数量应不少于 3 处。

8.3.9 对复杂周边环境条件下的深基坑工程，止水帷幕的抗渗性能宜通过渗透试验确定。

8.3.10 水泥石搅拌桩允许偏差应符合表 8.3.10 的规定。

表 8.3.10 水泥石搅拌桩允许偏差

序号	检查项目	允许偏差或允许值	检查数量	检查方法
1	桩体搭接	设计要求	每根	用钢尺量
2	桩底标高	+50mm	每根	档测钻杆长度
3	桩位偏差	50mm	每根	用钢尺量
4	桩径	±10mm	每根	用钢尺量钻头
5	桩体垂直度	≤1/100	每根	经纬仪测量
6	施工间歇	≤16h	每根	查施工记录

8.4 等厚水泥石搅拌墙止水帷幕

8.4.1 质量检查

1 主控项目

- 1) 墙体深度应不小于设计值，锯链式施工采用测量切割链长度量测，每 10 米不少于 2 次；铣削式施工测钻杆长度，每幅均检查 1 次；
- 2) 墙体厚度允许偏差±10mm，锯链式施工采用钢尺量刀具，每 10 米不少于 2 次；铣削式施工用钢尺量铣轮，每幅均检查 1 次；
- 3) 墙体垂直度允许偏差不大于 1/250，锯链式施工采用多段式倾斜仪量测，每 10 米不少于 2 次；铣削式施工采用设备自带测斜仪量测或测导杆的垂直度，每幅均检查 1 次；
- 4) 水泥掺量、浆液水胶比应符合设计和施工工艺要求，浆液不得离析。每台班不得少

于 3 次，浆液水胶比用比重计检验，水泥掺量用计量装置检验。

2 一般项目

- 1) 墙体中心线位置允许偏差不大于 20mm，锯链式施工采用钢尺量测，每 10 米不少于 2 次；铣削式施工采用钢尺量测，每幅均检查 1 次；
- 2) 搭接长度应不小于设计值；
- 3) 稳定液的密度及流动性宜根据施工机械性能及切割地层地质情况确定；
- 4) 水泥浆液泵送量可采用泵送计量器及泵送压力对浆液泵送量进行监控检查。

8.4.2 质量验收

- 1 水泥石搅拌墙质量验收应检验墙体的完整性、强度、墙体抗渗性；
- 2 墙体的厚度和位置偏差可采用浅部开挖验证；
- 3 墙身强度应采用现场钻取岩芯样强度试验的方法确定，宜采用单动双管或三重管钻具钻取岩芯样，取芯钻孔深度应小于墙体深度，钻取岩芯样后孔洞应注浆填充。钻头直径不宜小于 110mm。岩芯样选取位置应结合加固土层特性的基础上，沿墙深度方向上按上、中、下分布的原则确定，每孔取芯数量不应少于 3 组，每组 3 件。用于抗压强度检测的水泥土墙龄期不宜少于 28d，取芯孔数量锯链式水泥石墙宜 50m 取一个点，铣削式水泥石墙不宜少于总幅数的 5%，且均不少于 3 个检测点；
- 4 用作止水帷幕的重要防渗工程，当设计有要求时，应采用岩芯样渗透试验确定墙体的抗渗性能，必要时可结合墙体注水试验综合确定墙体的抗渗性能。抗渗取芯数每组 6 个岩芯样，注水试验可利用满足垂直度要求的取芯孔进行，数量不宜少于 2 个。

8.5 高压旋喷（摆喷）注浆止水帷幕

8.5.1 质量检查

1 主控项目

- 1) 水泥及外加剂、掺加剂的品种、规格和质量等应符合设计要求和现行相关标准的规定。
检验数量：全数检验。
检验方法：查产品质量证明文件及抽样检验。
- 2) 浆液配合比及性能指标应符合设计要求；
检验数量：对同一批次材料、同一配合比的浆液检查不应少于 1 次。
检验方法：检查施工记录、浆液性能测试报告等。

3) 钻孔孔位与设计孔位的偏差、钻孔孔径、终孔深度和钻孔偏斜率应符合设计要求。设计无要求时，可按本标准 5.4.3 执行。

检验数量：数量不少于施工孔数的 2%，且帷幕的每条边不少于 2 点。

检验方法：全站仪检查孔位，钢尺或重锤量测孔径及孔深，经纬仪测钻杆或实测钻孔偏斜率

4) 高压旋喷（摆喷）注浆主控项目的允许偏差应符合设计要求。设计无要求时，应符合表 8.5.1-1 的规定。

表 8.5.1-1 高压旋喷（摆喷）注浆主控项目允许偏差

序号	项目	允许偏差	检验数量	检验方法
1	喷射管下入深度 (mm)	设计帷幕底深度 0~+100	检查孔数量不少于施工孔数的 2%，且帷幕的每条边不少于 2 点。每个检查孔均应进行表中所列项目的检查。	钢尺量测
2	喷射方向 (°)	±1		查仪表示数
3	摆动角度 (°)	±1		
4	水压	设定参数的±5%		
5	浆压	设定参数的±5%		
6	进浆密度 (g/cm ³)	±0.1		比重计量测
7	浆量 (L/min)	设定参数的±5%		查仪表示数
8	提升速度 (cm/min)	±1		秒表加钢尺量测 或查仪表示数

注：采用低压浆时，浆压为一般项目，应按表 8.5.1-1 执行。

5) 高压旋喷（摆喷）注浆固结体的几何尺寸、搭接宽度应符合设计要求。

2 一般项目

高压旋喷（摆喷）注浆一般项目的允许偏差应符合设计要求。设计无要求时，应符合表 8.5.1-2 的规定。

表 8.5.1-2 高压旋喷（摆喷）注浆一般项目允许偏差

序号	项目	允许偏差	检验数量	检验方法
1	水量 (L/min)	设定参数的±5%	检查孔数量不少于施工孔数的 2%，且帷幕的每条边不少于 2 点。每个检查孔均应进行表中所列项目的检查。	查仪表示数
2	气压 (MPa)	±0.1		
3	气量 (m ³ /min)	±0.1		
4	浆压 (MPa)	±0.05		

续表 8.5.1-2 高压旋喷（摆喷）注浆一般项目允许偏差

序号	项目	允许偏差	检验数量	检验方法
4	返浆密度 (g/cm ³)	±0.1	检查孔数量不少于施工孔数的 2%，且帷幕的每条边不少于 2 点。每个检查孔均应进行表中所列项目的检查。	比重计量测
5	旋转（摆动）速度 (r/min 或次/min)	±1		查仪表示数

8.5.2 质量检验与质量评定

1 高压旋喷（摆喷）注浆帷幕工程施工应及时进行单孔质量检验、单元工程质量评定。单孔质量检验表参见本标准附录 D 表 D.0.1，单元工程质量评定表参见本标准附录 D 表 D.0.2。

高压旋喷（摆喷）注浆帷幕工程完工后，施工单位应及时整编竣工资料和提出报告，申请验收。应提供以下文件和资料：

工程设计文件：设计说明书、图纸、施工技术要求以及设计修改通知单等；

竣工资料：施工原始记录、成果资料、检验测试资料、竣工验收报告等；

2 质量检查报告：质量检查记录、单元工程质量评定及说明、单元工程验收资料、工程质量缺陷记录、缺陷分析及处理结果等。

8.6 咬合桩止水帷幕

8.6.1 主控项目

1 素混凝土灌注桩

表 8.6.1-1 素混凝土灌注桩

序号	验收内容	允许偏差或允许值		验收方法
		数值	单位	
1	桩位	20	mm	开钻前量测导样定位中心
2	垂直度	0.3%	斜率	用孔内测斜仪检测，或用超声波探测
3	桩径	-20	mm	用井径仪检测，或用超声波探测
4	缓凝混凝土	设计与施工要求		商品混凝土厂家试验室确定初凝时间
5	桩身完整性	止水要求高的 I 级基坑为 I 类桩，其他级别基坑为 II 类桩。		同小应变检测桩身质量
6	孔深	+200	mm	只深不浅，用孔内测深仪或重锤法量测

2 荤混凝土灌注桩

表 8.6.1-2 荤混凝土灌注桩

序号	验收内容	允许偏差或允许值		验收方法
		数值	单位	
1	桩位	20	mm	开钻前量测导样定位中心
2	垂直度	0.3%	斜率	用孔内测斜仪检测，或用超声波探测
3	桩径	-20	mm	用井径仪检测，或用超声波探测
4	混凝土强度	按设计要求		试件报告或钻芯取样送检
5	桩身完整性	止水要求高的 I 级基坑为 I 类桩，其他级别基坑为 II 类桩。		同小应变检测桩身质量
6	承载力	按设计要求		取坑底以下桩长部位各土层磨阻系数计算确定
7	孔深	+200		只深不浅，用孔内测深仪或重锤法量测

8.6.2 一般项目

1 素混凝土灌注桩

表 8.6.2-1 素混凝土灌注桩

序号	验收内容	允许偏差或允许值		验收方法
		数值	单位	
1	泥浆比重（黏土或沙土中）	1.15~1.20		用比重计或比重仪检测
2	沉渣厚度	200	mm	用沉渣仪或吊绳重锤测量
3	混凝土坍落度： 水下施工 干施工	140-160 70-100	mm	坍落度仪
4	混凝土充盈系数	≥1		检查每根桩的实际灌注量
5	桩顶标高	+30 -50	mm	水准仪或水平仪量测（指的是到设计桩顶时的误差）

2 荤混凝土灌注桩

表 8.6.3-2 荤混凝土灌注桩

序号	验收内容	允许偏差或允许值		验收方法
		数值	单位	
1	泥浆比重（黏土或沙土中）	1.15~1.20		用比重计或比重仪检测

续表 8.6.3-2 葶混凝土灌注桩

序号	验收内容	允许偏差或允许值		验收方法
		数值	单位	
2	沉渣厚度：止水及水平力端承受力摩擦受力	≤200 ≤50 ≤100	mm	用沉渣仪或吊绳重锤测量
3	混凝土坍落度：水下干施工	180-200 70-100	mm	坍落度仪
4	混凝土充盈系数	≥1		检查每根桩的实际灌注量
5	桩顶标高	+30 -50	mm	水准仪或水平仪量测（指的是到设计桩顶时的误差）
6	钢筋笼安装	±100	mm	用钢尺量测

8.6.3 咬合桩止水帷幕止水效果的检验验收宜采用坑内降水后坑内水位与坑外水位监测孔水位是否同步下降的方法检验验收。

8.7 钢板（管）桩止水帷幕

8.7.1 主控项目

- 1 桩长，应不小于设计值，现场利用钢尺测量；
- 2 桩身弯曲度，应不大于 1%L（L 为设计桩长度），现场利用钢尺测量；
- 3 桩顶标高，不超过设计标高 100mm，现场利用水准仪测量；

8.7.2 一般项目

- 1 锁扣平直度及光滑度，应无点焊渣或毛刺，现场利用 2m 长的标准桩段做通过性试验；
- 2 桩位偏差，垂直于帷幕墙轴线，不超过设计值 50mm，沿帷幕墙轴线，不超过设计值 100mm，组合钢板桩主桩间距，不超过设计值 20mm，利用经纬仪或钢尺测量；
- 3 沉桩垂直度，垂直于帷幕墙轴线，不大于 1%L（L 为设计桩长度）且最大不超过 150mm，经纬仪或水平靠尺量测；
- 4 锁口咬合程度，应紧密，现场目测；
- 5 帷幕墙渗漏情况，应满足设计要求，现场目测。

表 8.7.2-1 钢板（管）桩止水帷幕允许偏差

序号	项目	要求	检查数量	检查方法
1	桩长	≥设计值	每根	用钢尺量
2	弯曲度	<1%	每根	用钢尺量

续表 8.7.2-1 钢板（管）桩止水帷幕允许偏差

序号	项目		要求	检查数量	检查方法
3	桩顶标高		满足设计要求	每根	水准仪测量
4	桩位偏差	垂直帷幕方向	<50mm	每根	测量仪或用钢尺量
		沿帷幕方向	<100mm	每根	测量仪或用钢尺量
5	垂直度		<1%	每根	经纬仪测量

8.8 注浆止水帷幕

8.8.1 注浆止水帷幕允许偏差应符合表 8.8.1 的规定

表 8.8.1 注浆止水帷幕允许偏差

序号	项目	要求	检查数量	检查方法
1	孔位偏差	<10cm	每根	用钢尺量
2	孔斜	<2%	每根	测钻杆垂直度
3	注浆压力	满足设计要求	每根	读取压力表
4	渗透系数	满足设计要求	每根	渗透系数检测
5	注入速率	10L/min~30L/min	每根	流量计
6	段长	2m~5m	每根	用钢尺量

8.9 冷冻法止水帷幕

8.9.1 冻结孔

1 主控项目

- 1) 冻结孔开孔位置是否满足设计要求；开孔位置误差不得大于 100mm，冻结孔开孔间距误差不得大于 150 毫米；
- 2) 冻结孔偏斜是否满足设计要求，设计无要求时，应满足下表 8.9.1 规定；

表 8.9.1 冻结法止水帷幕冻结孔允许偏差

冻结孔类型	水平或倾斜冻结管			竖直冻结孔	
	≤10	10~30	30~60	≤40	40~100
冻结孔深度（m）	≤10	10~30	30~60	≤40	40~100
冻结孔最大偏斜值（mm）	150	150~350	350~600	150~250	250~400

- 3) 冻结孔深度是否满足设计要求。

2 一般项目

- 1) 按设计要求安装孔口防喷装置；

- 2) 根据土体流失量进行补偿注浆，注浆量不应小于流出量的 1.5 倍；
- 3) 对于不满足事项，是否根据技术处理方案进行整改或者处理。

8.9.2 冻结管

1 主控项目

- 1) 所用冻结管型号、材质、规格是否符合相关规范及冻结设计要求；
- 2) 冻结管焊缝强度不宜小于母管的 60%；
- 3) 冻结管下放深度不得小于设计深度，不应大于设计深度 0.5m，冻结管管口漏出孔口管不应小于 100mm；
- 4) 冻结管内无杂物；
- 5) 冻结管打压是否合格；冻结管下入地层后必须进行试压。试验压力应为冻结工作面盐水压力的 1.5 倍~2 倍，且不应低于 0.70MPa。经试压 30min 压力下降不超过 0.05MPa，再延续 15min 压力保持不变为合格；
- 6) 对于不满足要求项，是否按照设计要求进行整改，整改后是否满足设计要求。

2 一般项目

- 1) 按照设计要求安装孔口防喷装置；
- 2) 根据土体流失量进行补偿注浆，注浆量不应小于流出量的 1.5 倍；
- 3) 冻结管冷却时间是否满足设计要求；
- 4) 对于不满足事项，是否根据技术处理方案进行整改或者处理。

8.9.3 开机前质量验收

1 主控项目

- 1) 所有用电设备均按规范及设计要求安设；
- 2) 按设计要求安装冻结器；
- 3) 盐水管路整体试压是否合格，盐水管路系统必须进行压力试验，试验压力不得小于冻结工作面盐水压力的 1.5 倍，并持续 1h 压力不下降为合格；
- 4) 单孔盐水流量是否满足设计要求，设计无要求时，应满足本规程 5.9.6 中单孔盐水流量设计参考值规定；
- 5) 盐水浓度是否符合设计要求，当无设计要求时，盐水比重在 1.260~1.265 范围内；
- 6) 按照设计要求安装测温孔；
- 7) 按照设计要求设置泄压孔。

2 一般项目

按照设计要求布设保温层。

8.9.4 制冷站运转记录应包括下列内容：

1 冷冻机及其辅助设备的温度、压力、流量、液位、电流、电压等参数，制冷剂加注量及润滑油加油量的记录；

2 盐水系统压力、冷却水系统压力、盐水箱液位、盐水比重、盐水进水和回水温度、冷却水进水和回水温度等数据；

3 集配液圈、冷媒温度、冻结器头部冷媒温度及冻结器头部胶管结霜情况的记录；

4 补充水及循环水水泵运转日志，补充水的流量及水温，冷凝器进、出水温度及流量的记录。

8.9.5 开挖前质量验收

1 主控项目

- 1) 冷冻壁达到设计要求的强度；
- 2) 冷冻设备运转正常，有足够备用设备，备用设备的配备符合设计要求；
- 3) 按设计文件要求安装隧道支撑及防护门；
- 4) 材料、物资准备到位；
- 5) 人员配备满足要求；
- 6) 应急材料、设备准备到位；
- 7) 通过条件验收。

2 一般项目

视频、通话系统完善。

8.9.6 开挖过程中质量验收

1 主控项目

- 1) 开挖横断面方向、尺寸应满足设计要求，通道开挖中心线偏差应不大于 20mm 且单侧超挖不得大于 30mm；
- 2) 开挖中线偏差应不大于 20mm；
- 3) 钢支架轴线度偏差应不大于 20mm；
- 4) 按设计要求连接钢支架；
- 5) 按设计要求安装木背板；
- 6) 木背板填充效果满足设计要求；

- 7) 喷射混凝土表面平整度满足设计及规范要求；
- 8) 喷射混凝土厚度满足设计及规范要求。

附录 A 水泥土搅拌桩止水帷幕施工记录表

A.0.1 略。

A.0.2 水泥土搅拌桩止水帷幕施工记录表见表 A.0.2。

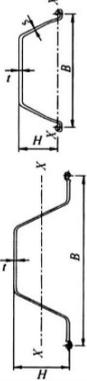
表 A.0.2 水泥土搅拌桩止水帷幕施工记录表

工程名称:						施工单位:				编号:								
水泥品种:		粉煤灰等级:		膨润土:		试块编号:		气温:										
设计桩长(m):		设计桩径(m):		桩底标高(m):		水灰比:		水泥掺量(%):										
序号	日期	桩编号	工作时间				钻进搅拌喷浆			提升搅拌喷浆			材料用量		实际桩底高程(m)	浆液比重	备注	
			起	复搅	止	计	时间(m in)	深度(m)	下沉速度(m/min)	时间(m in)	深度(m)	提升速度(m/min)	水泥	膨润土				
问题及处理:																		
记录人:				质检员:				技术负责人:										
				监理:				年 月 日										

附录 B 钢板（管）桩沉桩方法对地层的适用性

B.0.1 日本产 U 型、帽型热轧钢板桩特性参数见表 B.0.1

表 B.0.1 日本产 U 型、帽型热轧钢板桩特性参数

截面形状	型号	尺寸				每延米 截面 面积 S_a (cm^2/m)	重量 W		每延米 惯性矩 I_x (cm^4/m)	每延米 截面 模量 W_x (cm^3/m)
		公称 宽度 B (mm)	公称 高度 H (mm)	腹板 厚度 t_f (mm)	翼缘 厚度 s (mm)		单根桩 (kg/ m)	每平 方米 (kg/ m^2)		
	U 型钢板桩									
	NS-SP-II	400	100	10.5	—	153	48.0	120	8740	874
	NS-SP-III	400	125	13.0	—	191.0	60.0	150	16800	1340
	NS-SP-III A	400	150	13.1	—	186.0	58.4	146	22800	1520
	NS-SP-IV	400	170	15.5	—	242.5	76.1	190	38600	2270
	NS-SP-V _L	500	200	24.3	—	267.6	105	210	63000	3150
	NS-SP-V _L	500	225	27.6	—	306.0	120	240	86000	3820
	NS-SP-II _w	600	130	10.3	—	131.2	61.8	103	13000	1000
	NS-SP-III _w	600	180	13.4	—	173.2	81.6	136	32400	1800
	NS-SP-IV _w	600	210	18.0	—	225.5	106	177	56700	2700
	帽型钢板桩									
	NS-SP-10H	900	230	10.8	—	122.2	86.4	96	10500	902
	NS-SP-25H	900	300	13.2	—	160.4	113	126	24400	1610
	NS-SP-45H	900	368	15.0	—	207.8	147	163	45000	2450
NS-SP-50H	900	370	17.0	—	236.3	167	186	51100	2760	

注：日本钢板桩标准中未规定钢板桩翼缘厚度 s 。

B. 0. 2 沉桩方法对地层的适用性

表 B. 0. 2 沉桩方法对地层的适用性

地层		沉桩方法		
		振动沉桩法	锤击沉桩法	静压沉桩法 (辅助射水)
无黏性土或 无黏性土为 主的地层 (标准贯入 试验锤击 数)	0~10	非常容易	下沉失控, 振动锤夹住	稳定和反力不足
	11~20	容易	容易	合适
	21~30	合适	合适	合适
	31~40	较困难	合适	合适, 考虑预钻孔
	41~50	很困难	合适, 考虑高强度钢	预钻孔
	>50	不推荐	合适, 考虑高强度钢	很困难
黏性土为主 的地层(不 排水抗剪强 度, kPa)	0~15	容易	下沉失控, 振动锤夹住	稳定和反力不足
	16~25	合适	容易	容易
	26~50	合适, 且随深度 增加效果变差	合适	容易
	51~75	较困难	合适	合适
	76~100	很困难	合适	合适
	>100	不推荐	合适	困难

B.0.3 免共振液压振动锤型号及技术性能参数（ICE）

表 B.0.3 免共振液压振动锤型号及技术性能参数（ICE）

型号 参数	单位	12RF	20RF	28RF	40RF	50RF	70RF
偏心力矩	kg·m	0~12.0	0~19.0	0~28.0	0~40.0	0~50.0	0~70.0
最大转速	r/min	2300	2300	2300	2000	2300	2000
激振力	kN	0~700	0~1100	0~1600	0~1755	0~2900	0~3070
最大静拔桩力	kN	250	240	400	400	800	800
最大油流量	L/min	261	498	590	800	1380	1580
振动重量	kg	1450	2550	3900	4300	6600	6800
总重量	kg	2390	3650	5900	6760	10000	10200
最大振幅	mm	17.0	14.9	14.0	19.0	15.0	21.0
长×宽×高	mm	1559×673× 1595	1854×638× 2008	2332×785× 2402	2622×709× 2690	2883×985× 2835	2883×985× 2835
动力站		300series	500series	600series	800series	1400series	1600series
夹具		55TC	80TC	100TC	125TC	175TC	200TC

附录 C 高压旋喷（摆喷）注浆止水帷幕施工记录表格及质量评定表格

C.0.1 高压旋喷（摆喷）注浆止水帷幕的施工记录表格有高压旋喷（摆喷）施工制浆记录表，见表 C.0.1；

C.0.2 高压旋喷（摆喷）施工钻孔记录表，见表 C.0.2；

C.0.3 高压旋喷（摆喷）施工注浆记录表，见表 C.0.3；

C.0.4 高压旋喷（摆喷）施工注浆综合成果表，见表 C.0.4。

表 C.0.1 高压旋喷（摆喷）施工制浆记录表

工程名称：_____ 作业日期：_____年___月___日 ___时至___日___时

班组：_____

序号	搅拌时间 (时：分)			水灰比	浆液密度 (g/cm ³)	水泥用量 (kg)	外加剂用量 (kg)			掺加剂用量 (kg)		
	开始	结束	时长				外加剂 A	外加剂 B	...	掺加剂 A	掺加剂 B	...
1												
2												
3												
4												
5												
6												
本班材料消耗		水泥 (kg)					外加剂 (kg)			掺加剂 (kg)		
							外加剂 A	外加剂 B	...	掺加剂 A	掺加剂 B	...

记录员：_____ 班长：_____ 技术负责人：_____ 项目经理：_____ 监理：_____

表 C.0.2 高压旋喷（摆喷）施工钻孔记录表

工程名称：_____ 钻机型号：_____

钻孔编号（孔序）：_____ 班组：_____

孔位坐标（m） X：_____ Y：_____ 开孔高程（m）：_____

终孔高程（m）：_____ 孔径：_____

地下水位（m） 初见：_____ 静止：_____

作业日期：_____年_____月_____日_____时至_____日_____时

回次	进尺 (m)		地层名称	地层描述	土样			原位测试类型及成果	钻进情况	特殊情况处理措施
	自	至			编号	取样深度	取土器型号			

记录员：_____

机长：_____

技术负责人：_____

项目经理：_____

监理：_____

表 C.0.3 高压旋喷（摆喷）施工注浆记录表

钻孔编号（孔序）：_____ 设计深度（m）：_____

作业日期：_____年____月____日____时至____日____时

高喷方法：_____ 喷射方向：_____ 摆角（°）_____

本班施工深度自____m至____m，计____m

时间 (时: 分)			深度 (m)			喷射参数														
开 始	终 止	时 长	工 作 内 容	起 始	终 止	喷 射 长 度	提 升 速 度 (cm/min)	旋 转 速 度 (r/ min)	摆 动 速 度 (次 /min)	水		气		浆		浆液密度 (g/cm ³)				
										压 力 (MPa)	流 量 (L/ min)	压 力 (MPa)	流 量 (m ³ / min)	压 力 (MPa)	流 量 (L/ min)	进 浆	孔 口 返 浆			
特殊情况处理																				
喷射管			本班出勤情况				工时利用情况 共 () 小时				本班主要材料消耗									
喷嘴直径 (mm)			技工				高喷				机修				名称		规格		数量	
喷嘴个数			普通				辅助				停工									

班组：_____ 记录员：_____ 机长：_____ 班长：_____

附录 D 质量评定表格

D.0.1 高压旋喷（摆喷）注浆止水帷幕的质量评定表格有高压旋喷（摆喷）施工钻孔质量检验表，见表 D.0.1；

D.0.2 高压旋喷（摆喷）注浆止水帷幕单孔质量检验表，见表 D.0.2；

D.0.2 高压旋喷（摆喷）注浆止水帷幕单元工程质量检验表，见表 D.0.2。

表 D.0.1 高压旋喷（摆喷）施工钻孔质量检验表

工程名称：_____ 单元工程：_____

孔号：_____ 孔序：_____ 检查日期：_____年____月____日

检查项目	标准值	实际施工检查情况
孔位偏差 (cm)		
孔径 (mm)		
孔斜率 (%)		
终孔深度 (m)		
入岩深度 (m)		
特殊情况处理		
施工单位自检意见	签名/日期	
监理检验意见	签名/日期	

表 D.0.2 高压旋喷（摆喷）注浆止水帷幕单孔质量检验表

工程名称：_____ 单元工程：_____

孔号（孔序）：_____

喷射时间：_____年__月__日__时__分至__日__时__分

检查日期：_____年__月__日

检查项目		标准 值	实际施工 检查情况	检查项目		标准 值	实际施工 检查情况	
1	钻孔 参数	孔位偏差 (cm)		11	高喷 参数	摆动速度 (次/min)		
2		孔径 (mm)		12		摆动角度 (°)		
3		孔斜率 (%)		13		浆	压力 (MPa)	
4		终孔深度 (m)		14			流量 (L/min)	
5		入岩深度 (m)		15			进浆密度 (g/cm ³)	
6	高喷 参数	喷射管下入深度 (m)		16		回浆密度 (g/cm ³)		
7		喷射长度 (m)		17		气	压力 (MPa)	
8		喷射方向 (°)		18			流量 (m ³ /min)	
9		提升速度 (cm/min)		19		水	压力 (MPa)	
10		旋转速度 (cm/min)		20			流量 (L/min)	
特殊情况处理								
施工单位 检查意见		签名/日期						
监理单位 检查意见		签名/日期						

表 D.0.3 高压旋喷（摆喷）注浆止水帷幕单元工程质量检验表

单元工程（桩号）		工程量								
分部工程		施工单位								
单位工程		检验日期		年 月 日						
序号	检验项目	质量标准	各孔检验结果							
			1	2	3	4	5	6	7	...
1	钻孔	孔位偏差 (cm)								
2		孔径 (mm)								
3		孔斜率 (%)								
4		终孔深度 (m)								
5		入岩深度 (m)								
6	高喷注浆	喷射管下入深度 (m)								
7		喷射长度 (m)								
8		喷射方向 (°)								
9		提升速度 (cm/min)								
10		旋转速度 (cm/min)								
11		摆动速度 (次/min)								
12		摆动角度 (°)								
13		浆压 (MPa)								
14		浆量 (L/min)								
15		进浆密度 (g/cm ³)								
16		回浆密度 (g/cm ³)								
17		气压 (MPa)								
18		气量 (m ³ /min)								
19		水压 (MPa)								
20		水量 (L/min)								
21	施工记录									
各孔质量评定										
本单元共有			孔, 其中优良	孔, 优良率	%					
单元工程效果检查		围井注水试验, 渗透系数 K= cm/s; 或钻孔压水试验, 透水率 q= Lu								
		其他检验成果								
评定意见			单元工程质量等级							
施工单位			监理单位							

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”；

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执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

GB50202 建筑地基工程施工质量验收标准

GB175 硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥

SL/62 水工建筑物水泥灌浆施工技术规范

DL/T 5200 水电水利工程高压喷射灌浆技术规范

JGJ120 建筑基坑支护技术规程

JGJ 79 建筑地基处理技术规范

YS/T 5211 注浆技术规程

HG/T 20691 高压喷射注浆施工技术规范

条文说明

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……执行”。

制订说明

《地下工程止水帷幕施工技术规程》编制过程中，编制组总结现有的有关止水帷幕的有关管理规定及相关实践，借鉴现有研究成果和国内外工程实践经验，围绕地下工程中止水帷幕施工的整个过程编写，并与相关标准合理衔接，力争制定相对统一的地下工程止水帷幕的选型及施工的相关规定，同时参考了国内有关止水帷幕的施工标准，取得了重要技术参数。

为了便于广大施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规程时能正确理解和执行条文规定，《地下工程止水帷幕施工技术规程》编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中须注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与规程正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规程规定的参考。

目次

5 施工	73
5.1 一般规定	73
5.2 地下连续墙止水帷幕施工	73
5.3 水泥土搅拌桩止水帷幕施工	77
5.4 等厚度水泥土搅拌墙止水帷幕施工	78
5.5 高压旋喷（摆喷）注浆帷幕施工	80
5.6 咬合桩止水帷幕施工	87
5.7 钢板（管）桩止水帷幕施工	89
5.8 注浆止水帷幕施工	90
5.9 冷冻法止水帷幕施工	92
6 检测	95
6.1 一般规定	95
6.2 检测	95
8 工程质量验收	97
8.1 一般规定	97
8.2 地下连续墙止水帷幕	98
8.3 水泥土搅拌桩止水帷幕	99
8.4 等厚度水泥土搅拌墙止水帷幕	99
8.5 高压旋喷（摆喷）注浆质量验收	100
8.6 咬合桩止水帷幕	100
8.9 冷冻法止水帷幕施工	101

5 施工

5.1 一般规定

施工单位开工前应熟悉、研究设计图纸，根据工程特点、技术质量要求、设备状况，结合施工经验，对施工设计图纸进行深化，必要时对设计提出优化建议，以保证施工的顺利进行。

施工前应收集的资料，这些是施工必须考虑的因素，是制定合理、经济、安全施工方案的基础。

施工现场的地质和水文资料主要指工程地质报告，施工前，建设单位应向施工单位等提供岩土工程详细勘察报告、区域水文地质资料等文件，以利于施工方案的确定和机械设备的选择。对不良地质和碍物查明清楚，特别是表层填土中的块石、砖块、混凝土块等施工前必须清理干净。

对于地下管线，不仅要收集资料，还需要现场进行复核，制定有针对性的保证措施，以确保施工和管线安全。

工程主要原材料、半成品、构（配）件等产品是止水帷幕施工质量保证的基础和关键，应执行先检验、后使用的原则，并且进场检验记录、抽样试验记录和质量证明文件必须齐全、完整和有效。

开工前，施工单位应结合本规范，与监理单位共同确定质量检验验收的批次和单元，以方便过程质量控制和验收。

施工期间应科学的评价建筑施工安全生产情况，提高安全生产工作和文明施工的管理水平，预防伤亡事故的发生，确保职工的安全和健康。

施工现场由于用电设备种类较多、电容量大、工作环境不固定、露天作业临时使用的特点，在电气线路的敷设，电器元器件、电缆的选配及电路的设置等方面容易存在不规范行为，引发触电伤亡事故。因此按规范使用施工临时用电十分重要。

机械设备应按时保养，当发现有漏保失修或超载带病情况时，应立即停止使用，并向机电技术人员反映情况，机电技术人员应立即组织维修，确保机械使用安全。

5.2 地下连续墙止水帷幕施工

5.2.1 导墙施工

导墙的垂直度是地下连续墙能否保持垂直的首要条件，因此规定导墙拆模后，应立即在导墙间加支撑（支撑水平距离宜为直至槽段开挖时拆除），以防止导墙受周边土体及荷载影

响发生变形。

5.2.2 泥浆

1 泥浆配制

施工前,应根据地层条件、机械设备等条件选择适宜的泥浆。膨润土泥浆性能优于粘土泥浆,如采用循环出渣、重复利用的工艺,其耗费量和成本将大幅度下降,对环境污染较小,因此宜优先选用膨润土制备泥浆。

高分子聚合物泥浆,也称为化学泥浆、无土泥浆,目前在北京地区的混凝土灌注桩施工中已有应用,但尚未有地下连续墙应用案例。其配比通过试验确定,保证护壁效果。

也可考虑使用粘土和膨润土两种土料的混合料制备泥浆,其配比通过试验确定。

泥浆良好的物理性能,如较小的失水率,形成稳定致密的泥皮;适当的比重,起到支撑槽壁、稳定地层的作用。

泥浆具有良好的流变性能,有利于稳定地层;适当的动切力和塑性粘度之比(动塑比),有利于悬浮和携带渣土颗粒,提高成槽效率;可减少成槽时槽内泥浆的压力波动,以防止泥浆的漏失和塌孔。

泥浆的稳定性是指在正常成槽时,泥浆中的分散粗颗粒不易下沉和不易聚结变大而沉降的性质。

“水泥污染”是指灌注混凝土时泥浆和混凝土表面接触所造成的泥浆性能下降的结果。水泥污染是钙污染,当钙离子含量达到0.1%时泥浆失去胶体性质,泥浆失水量增大,泥皮增厚且松散,粘度、动切力增加,pH值升高,形成所谓的“絮凝”。为提高泥浆的抗水泥污染能力和处理轻度污染的泥浆,可在泥浆中加入纯碱、复合磷酸盐等分散剂。

本条列出各阶段对不同类型泥浆的检测项目,以利于泥浆质量的控制,施工中根据设计要求和现场要求进行试验。

依据近年来国内应用泥浆的工程实践,参考有关文献给出了一个常用的泥浆性能控制指标。卵砾石地层参考砂性土参数,具体使用时,应根据地层情况予以修正。

在易产生泥浆渗漏的地层中施工时,提高泥浆黏度能增强槽壁稳定性,减少渗漏。为了防止出现因泥浆的突然流失而导致泥浆面下降,应增加泥浆储备量,及时向槽内补充泥浆并在严重渗漏地层中采取堵漏措施。

膨润土与水混合后经过24h方可达到完全的溶胀,因此泥浆搅拌后应存放24h并加入适量的分散剂,使之充分水化。如用高速搅拌机制备膨润土泥浆,新制备的泥浆溶胀时间可减至4h。

灌注混凝土前，进行泥浆置换和净化，关键是控制泥浆的比重、黏度和含砂率等指标，以保证混凝土施工质量，同时对取样点做出明确规定，以保证检测的代表性。

2 泥浆处理及循环使用

通过循环或混凝土置换而排出的泥浆由于膨润土等主要成分的消耗及土渣和电解质离子的混入，其质量比原泥浆质量显著恶化。恶化程度因成槽方法、地质条件和混凝土灌注方法等施工条件而异。循环使用泥浆的净化效果将直接影响护壁泥浆重复使用的可能性，也影响到地下连续墙的施工成本和所需处理的废弃泥浆量。泥浆净化通常采用机械、重力沉降和化学处理的方法。

施工中循环泥浆应进行沉淀或除砂处理等再生处理手段，符合要求后方可使用。

废弃泥浆的处理通常进行泥水分离予以处理，渣土可做填土，为减少对环境的污染，对于处理后的泥浆、渣土要求采用密闭罐车运输。

连续墙施工用水量较大，施工现场应设置排水系统和简易的污水处理系统，以保证污水达标排放，污水排入水系或排水管道前，应在现场进行处理合格，从而减少对环境的污染。

5.2.3 成槽

2 槽段划分及抓槽

单元槽段划分应综合考虑成槽机抓斗张开尺寸、地层条件、周边环境后，经地连墙成槽试验确定，划分长度宜 6m~8m，但当场地土层不稳定时，为防止槽壁倒塌，应缩短单元槽段长度，以缩短挖土时间和减少槽壁暴露时间；当地连墙附近有高大建（构）筑物或有较大地面荷载，亦应缩短单元槽段长度。

在成槽施工中，如遇砂土、卵石等易塌孔地层时，应加快成槽施工，连续作业，尽快完成钢筋笼吊放及混凝土灌注工作，减少成槽后空置时间，降低塌孔风险。

成槽机成槽时应加强槽壁观测，如槽壁出现偏斜时，早期发现可通过成槽机纠偏措施进行纠偏调整。如在成槽过程中出现泥浆大量流失及槽壁坍塌现象，应及时补浆，如槽壁坍塌严重则应先进行回填，分析原因并处理后再进行成槽施工。

3 刷槽及清槽

连续墙接头刷壁质量是连续墙施工控制的质量要点，关系到连续墙整体防水性能，因此需要引起高度重视。地连墙相邻槽段接头因先施工的槽段接头面上附有泥土和土渣，影响地连墙接头处的防渗性能，因此成槽后对先施工的墙体接头处进行刷槽，清除表面泥皮及土渣，清刷标准为清刷设备无泥、槽底沉渣不增加。

由于槽壁稳定性是借助泥浆与地下水位差的作用来抵抗槽壁外水土压力，从而维持槽壁

的稳定。成槽后，泥浆由于受到泥砂“污染”使比重增大，如果泥浆比重过大，不但影响混凝土的浇筑，同时由于泥浆的流动性差，会使泵送混凝土困难并且消耗输送设备的功率，同时，槽底存在沉渣，如果清理不彻底，会严重影响到地连墙承载能力、抗渗稳定性，所以成槽后应进行清槽，清槽后泥浆比重一般不应大于 1.15。

随着地连墙的功能的日趋多样，“两墙合一”的广泛应用、规范逐步完善以及造价因素，对地连墙的要求也越来越高，对沉渣的控制和水下混凝土质量控制比较严格，二清成为一道必须的检测工序。

5.2.4 接头

连续墙接头作为连接连续墙相邻槽段的重要结构，起到重要的防水、确保结构刚度等作用，需要结合水文地质条件、工程自身特点、设备情况等选择接头形式及布置方式，本条款给出接头施工的一般性要求。

在地下连续墙施工中，目前应用较多的接头型式有接头管、接头箱。施工过程中接头管接头直接与混凝土面接触，施工中难免有混凝土侧漏，使接头管与混凝土面接触产生很大的握裹力，起拔设备能力应满足破坏其握裹力的要求，顺利起拔接头管，否则产生接头管无法拔出，影响地下连续墙施工质量。接头管起拔的时间是决定起拔成败的关键，时间过长会引起接头管起拔困难，起拔过早则会引起混凝土流动而侵入相邻连续墙槽段，造成后续施工困难，因此应根据不同地质、混凝土强度、初凝时间、温度条件等结合现场时间确定接头管起拔时间。

连续墙铰接头形式一般应用于地下水压不大的软土地层中，较规则地铣除已经浇筑完成的相邻混凝土面并保证混凝土面沉积泥皮、夹渣等现象是铰接头施工的重难点，施工过程中需要对铰接头质量进行严格控制。

型钢接头因结构刚度大、止水性能好、便于加工等特点，得到普遍应用。工字钢接头加工过程中应确保工字钢整体性、平顺性，如需接长的工字钢宜采用对接焊，同时宜在工字钢焊接钢筋笼的一侧的接头处补焊钢板，确保工字钢焊接质量。同时因地下连续墙钢筋笼自身重量较大，且需有较好的整体性，因此钢筋笼与工字钢焊接质量关系重大，宜采取钢筋双面焊接方式。相邻两幅钢筋笼一般是通过钢筋笼伸入工字钢翼缘板范围方式进行搭接，此搭接长度不宜小于 100mm，防止水土压力作用于连续墙上后，接头位置混凝土无法承受相应水平力而出现接头位置混凝土断裂，出现渗漏水甚至涌水情况。

不同形式的连续墙接头具有不同的控制项目及控制方法，总体而言是以确保连续墙钢筋笼起吊安全、接头连接质量、接头整体刚度、接头平顺性及接头止水效果为核心。

5.2.5 混凝土

在清槽后 4h 内浇筑混凝土，是为了避免槽底沉渣厚度超过规范要求，或者槽壁坍塌。对于因吊放钢筋笼等原因不能在 4h 内开始灌注混凝土的槽段，应重新检测槽底沉渣厚度和泥浆性能指标，如这些指标合格，则可灌注混凝土。如泥浆性能指标不合格，可通过换浆调整泥浆性能指标。如沉渣厚度不合格，可通过混凝土导管用高压泥浆把沉渣浮起来，再灌注混凝土。如果槽底沉渣严重超标，必须将导管和钢筋笼取出，重新清槽，清槽合格再灌注混凝土。

混凝土充盈系数计算内容应包括墙顶超灌高度在内。

5.3 水泥土搅拌桩止水帷幕施工

5.3.1 水泥土搅拌桩机有 1~6 轴等机型，应根据工程的技术参数、重要性、经济性、紧迫性要求，选用合适的机型。

5.3.2 注浆泵应保证其实际流量与搅拌机的喷浆钻进或喷浆提升速度相匹配，使掺入的水泥在桩中均匀分配。喷浆压力的大小取决于土质条件，一般在 1.5~2.0MPa。

5.3.3 每一个水泥土搅拌桩的施工现场，由于土质有差异、水泥的品种和标号不同、因而搅拌加固质量有较大的差别。所以在正式搅拌桩施工前，均应按施工组织设计确定的搅拌施工工艺制数根试桩，再最后确定水泥浆的水灰比、泵送时间、搅拌机提升速度和复搅深度等参数。

5.3.4 桩架垂直度的控制主要是为了保证搅拌桩的垂直度。搅拌桩垂直度直接影响帷幕搭接质量，进而影响止水效果。

5.3.5 水泥浆液应通过滤网倒入具有搅拌装置的储浆桶或储浆池，采取措施防止浆液离析。因搁置时间过长产生初凝的浆液，应作为废浆处理，严禁使用。对于地下水位高、地基土体渗透性能较强的地层，可增加浆液的膨润土掺量，保证桩体质量。常用的外加剂有膨润土、早强剂等。

5.3.7 泵送已出现初凝的浆液，堵管等故障发生的几率大大增加。

5.3.8 水泥土搅拌桩的水泥含量取决于搅拌轴的下降或提升速度和后台供浆流量，这是保证搅拌桩施工质量的重要条件，施工中不可随意更改。

5.3.9 水泥土搅拌桩施工时，应确保后台和桩机密切联系，保证工序的连续性和完整性。

5.3.12 一旦出现冷缝，一般采取在搅拌桩冷缝部位施工双管高压旋喷桩和压密注浆工艺进行处理，其能够有效地阻断渗流通道。对于渗透系数较小的土层，亦可采取在冷缝处围护桩

外侧补打一定数量的搅拌桩的方案，主要是增加冷接缝处的渗水路径，一定程度上减小渗水量。

5.3.13 停工后，应向储浆桶或储浆池中放入清水，开启注浆泵，清洗管路中残存的全部水泥浆液，若不及时清洗供浆系统管路，水泥浆液初凝后易堵塞管路，损坏供浆系统。

5.3.14 水泥土搅拌桩穿越强度较高的地层时，其搅拌桩机头磨损大，若不及时检查和修补搅拌桩机头，搅拌桩机头之间的净距逐渐加大，将导致土体搅拌不均匀，影响止水帷幕的质量。

5.3.16 在黏土特别是在老黏土中施工搅拌桩，黏土容易附着钻杆和叶片上造成“糊钻”现象，导致水泥浆在土中流动不畅、在钻杆周围聚集、搅拌混合效果差，最终导致搅拌桩桩身质量差。

5.4 等厚度水泥土搅拌墙止水帷幕施工

5.4.1 等厚度水泥土搅拌墙施工

等厚度水泥土搅拌墙施工过程中，会产生大量的泥浆，为防止污染环境，施工现场应做好防尘、泥浆、污水、废水的处理措施。

等厚度水泥土搅拌墙施工应根据地质条件和周边环境条件、成墙深度、厚度等选用合适的设备。锯链式设备适用于砂土、粉土、粘性土等土层；铣削式设备适用于碎石土、软岩等土层。

锯链式设备主要有 TRD-D、TRD-E、TRD-III、CMD850 等型号，各种型号设备的功率、动力源等如下表 1 所示。

表 1 不同型号设备参数表

序号	型号	功率	最大深度 (m)	最大宽度 (mm)	动力源	移动方式	导杆高度 (m)	标准切割箱 长度 (m)
1	TRD-D	380+90kw	60	850	柴电双动力	步履式	11.4m	3.66m
2	TRD-E	420kw	60	850	电动机	步履式	13.3m	4.88m
3	TRD-III	470kw	55	850	柴油机	履带式	10.1m	3.66m
4	CMD850	380kw	40	850	柴油机	履带式	10.1m	3.66m

铣削式设备分为导杆式和悬吊式设备。当成墙深度小于 60m 时，可选用导杆式设备或悬吊式设备；当成墙深度超过 60m 时，宜选用悬吊式设备。目前铣削式搅拌墙施工设备参数如下表 2 所示。

表 2 削式搅拌墙施工设备参数

设备类型	设备型号	工作高度 (mm)	整机重量 (t)	铣削深度 (m)	移动方式
导杆式设备	SC30	36240	110	30	履带式
	SC35	40745	133	35	履带式
	SC45	53170	150	45	履带式
	SC55	62090	190	55	步履式
	SC65	68990	192	65	步履式
悬吊式设备	MC64	6710	112	80	履带式

锯链式设备主机平均接地压力 166kPa，施工中前侧履带的最大接地压力可达 426kPa，因此在水泥土搅拌墙施工范围内，对地面应清除障碍，回填压实，铺设钢板或修筑钢筋混凝土地坪必要时需对地基进行加固。

等厚度水泥土搅拌墙施工宜采用现浇式钢筋混凝土或钢板式导墙，也可开挖导向沟槽后直接施工。施工前应根据地质条件和施工荷载等情况，预先制作导墙。采用现浇钢筋混凝土导墙时，导墙形式采用倒“L”型，并与场内行车道路连接成整体。导墙高度不应小于 1200mm，并应高出地面 100mm，导墙净距应比设计墙体厚度宽至少 40mm。导墙混凝土强度等级不应低于 C20，厚度不应小于 200mm。导墙应采用双向配筋，钢筋不应小于 $\phi 12$ ，间距不应大于 200mm。采用钢板式导墙时，钢板应进行有效连接。

5.4.2 锯链式等厚度水泥土搅拌墙施工

当土体强度低、墙体深度浅时宜采用一循环法；当土层较硬、墙体较深、防渗要求高时宜采用三循环法。

切割箱自行沉入时应控制稳定夜的注入量，稳定夜水胶比宜控制在 5-10，对于中密-密实砂质地层，水胶比不宜大于 6，膨润土用量不宜少于 $50\text{kg}/\text{m}^3$ 。

水泥土应连续施工，新成型墙体与已成型墙体搭接不应小于 500mm，转角部位两边延伸长度不宜小于 1000mm。水泥土搅拌墙已成型墙体与新成型墙体回撤搭接部分不应小于 50cm。

切割箱拔出方式有内拔和外拔两种，宜优先选择外拔。应根据墙体施工深度、起重机起吊能力以及操作空间，分段、匀速起拔切割箱。切割箱拔出时应不断注入水泥浆液填充拔出的位置，拔出时不应使孔内产生负压造成墙壁垮塌或周边地基沉降。

5.4.3 铣削式水泥土搅拌墙施工

铣削式水泥土搅拌墙施工时如两侧土体性质相差较大时，两侧铣轮铣削强度差异会较大，墙体越深造成垂直度偏差会越大。因此对墙体深度较深、地质条件复杂的情况，采用跳槽施工，可有效减小由于铣轮两侧铣削强度不同对垂直度的影响。

单浆液方式施工适用于土质较软及深度不大于 30m 的地层，施工速度较快。下沉以切削土体为主，喷浆较少，提升过程以搅拌和喷浆为主。

双浆液方法适用于坚硬粘土、密实粉土、砂土、碎石土、岩层等坚硬地层，施工速度较慢，通过在浆液中增加膨润土提高泥浆的护壁性能，增加槽壁的稳定性的。

随着墙体深度的增加，通过内部测斜仪对墙体垂直度应进行严格控制，防止因下部垂直度偏差过大造成墙体搭接处“开叉”“踢脚”等。

铣轮的旋转速度、切削下沉速度和提升搅拌速度等参数应结合地质剖面进行及时调整，特别是在土层性状突变位置及较硬地层中。参数及时调整有助于水泥浆液与土体充分混合拌合均匀，提高水泥土的强度，同时有效的控制铣削水泥土搅拌墙垂直度。

为提高搭接墙体施工垂直度和施工质量，搭接处两幅墙体的施工间隔不宜大于 48h。同时墙体闭合施工不要设置与转角处，以免影响墙体质量。

5.5 高压旋喷（摆喷）注浆帷幕施工

5.5.1 钻孔

钻孔机具应满足在施工地层中预钻孔或携带喷射管钻孔的要求。对于钻孔深度较小（例如不大于 30m）、标准贯入度（N）较低（例如 N 不大于 40）的砂类土和黏性土层，可使用振动法或冲击法直接沉入喷射管成孔；对于较密实、标准贯入度较大的地层和极松散的砾石地层、严重破碎掉块地层等复杂地层，不宜采用直接沉入喷射管成孔。

采用直接沉入喷射管成孔时，应保证浆、水、气喷嘴不被堵塞。三管法的喷射管结构较复杂，一般不宜直接沉入。

为确保帷幕的搭接效果，必须保证施工孔位的准确和钻孔的垂直度。《建筑基坑支护技术规程》（JGJ/T120）、《水电水利工程高压喷射灌浆技术规范》（DL/T5200）、《建筑地基处理技术规范》（JGJ79）、《注浆技术规程》YS/T5211 等规定高压旋喷（摆喷）注浆的钻孔孔位与设计孔位的偏差不得大于 50mm、垂直度偏差不得大于 1%~1.5%。本条从对工程严格要求而又兼顾国内钻进工艺具体情况出发，提出了较高钻孔精度的要求。有条件时，宜每 10m 左右进行一次孔斜量测。

一般来说，较大的孔径对保证高压旋喷（摆喷）注浆止水帷幕的质量较为有利，利于上返通道畅通。《水电水利工程高压喷射灌浆技术规范》（DL/T5200）、《注浆技术规程》YS/T5211 等规定钻孔孔径应大于喷射管外径 20mm 以上，《高压喷射注浆施工技术规范》（HG/T20691）规定钻孔孔径不应小于 75mm。考虑到不同工程的差异性，本标准不限定钻孔的最小孔径。

钻孔的有效深度较帷幕设计深度少量超深，是由于喷嘴距离喷管底端有一定距离，另外也考虑孔底会有少量沉淀。

由于设计阶段勘探孔数量有限，地质资料不可能十分详尽。选取一定数量的先导孔采取芯样并划分地层，是对勘察资料的补充和完善。标准贯入和动力触探是确定地层密实度和可喷性的有效方法，有条件时可以采用。

先导孔的间距和深度应视工程的具体情况，并根据已有勘察资料分析而定。当地层复杂、层位变化较大时，先导孔间距可小一些，反之宜大一些。先导孔的深度一般比其他注浆孔稍深，对于封闭式帷幕，先导孔深度可与其他注浆孔相同；对于悬挂式帷幕，先导孔深度可比其他注浆孔深 1~2m。

采用泥浆护壁钻进时，钻进过程中若出现泥浆严重漏失，孔口不返浆时，可采取加大泥浆浓度、泥浆中掺砂、向孔内填充堵漏材料或对漏失段先行灌浆等措施，直至孔口正常返浆后再继续钻进。

参考水电水利工程高压喷射灌浆技术规范（DL/T5200）条文说明 6.0.7，有一些工程采用下入特质的 PVC 管（或带有花眼）代替泥浆护壁取得了良好的效果。如二滩水电站上、下游围堰高喷板墙、浙江珊溪水利枢纽围堰高喷板墙等。采用此方法时，施工前应在做地面高压射流破坏 PVC 管试验，确认其合格后方可使用。一般情况下，射流压力在 2MPa~3MPa 时，PVC 管即破碎成碎块，即可认为合格。

对于施工地层中地下水流速过大的部位，应先进行堵水处理。当施工地层有承压水时，应掌握承压水压力大小。钻孔时宜使用水泥浆液，或掺入增大浆液相对密度的材料，以防止承压水从孔口冒出。

先导孔的钻孔施工时，应按表 A.0.2 的要求详细记录，地层描述应包括颜色、状态、湿度、成分等，必要时可绘制现场钻孔柱状图。其他注浆孔的钻孔施工记录可适当简化，但至少应包含表头部分、钻孔进尺、主要地层名称及简要描述和特殊情况及处理等内容。

钻孔过程中发生漏浆、掉钻、卡钻、塌孔的地段对钻进效率和质量有很大的影响。钻孔记录应及时、详细。以便在进行高压旋喷（摆喷）注浆时，根据地层条件和孔内情况，针对这些异常地段采取相应的技术措施。一旦发生质量问题时，便于分析原因和处理。

成孔后，应洗孔并尽早进行高压旋喷（摆喷）注浆作业。停待时间过长，造孔孔壁可能会发生缩径或坍塌，使注浆管难以插入至设计深度。当成孔后确实需要停待较长时间时，可向孔内灌入高比重、低失水量的泥浆，也可下入套管进行防护。

5.5.2 制浆

高压旋喷（摆喷）注浆通常采用普通硅酸盐水泥，也可采用火山灰质硅酸盐水泥。所用水泥质量应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB175 的规定。拌和水泥时所用的水应符合现行行业标准《混凝土拌和用水标准》JGJ63 的规定。

水泥浆液的水灰比越小，高压旋喷（摆喷）注浆止水帷幕的强度越高。在施工中因注浆设备的原因，水灰比太小时，喷射有困难，故水灰比通常取 0.8~1.2，实践中常用 1.0。

根据工程需要和地质条件，可以在水泥浆液中加入减水剂、速凝剂、早强剂等外加剂，也可掺入膨润土、粉煤灰和塑性指数不小于 14 的黏土等掺加剂。

外加剂的质量标准应符合现行国家标准《混凝土外加剂应用技术规范》GB50119 的规定。粉煤灰的质量标准应符合现行国家标准《粉煤灰混凝土应用技术规范》GB/T50146 的规定。膨润土的质量标准可参照石油天然气行业标准《钻井液用膨润土》SY/T5060，三个级别的合格膨润土均可使用。

不同外加剂和掺加剂对水泥的作用效果不同，为取得使用外加剂和掺加剂的最佳效果，使用前应进行必要的试验。常用外加剂或掺加剂浆液配方如表 3，供参考。

表 3 外加剂或掺加剂浆液配方表

序号	外加剂成分及加入量（水泥重量百分比）	浆液特征
1	氯化钙 2%~4%	促凝，早强，可喷性好
2	铝酸盐 2%	促凝、强度增加慢，稠度大
3	水玻璃 2%~4%	初凝快，终凝时间长
4	三乙醇胺 0.03%~0.05%，食盐 1%	有早强作用
5	三乙醇胺 0.03%~0.05%，食盐 1%，氯化钙 2%~3%	促凝，早强，可喷性好
6	氯化钙（或水玻璃）2%~4%，亚甲基二萘磺酸钠 0.05%	促凝，早强，强度高，稳定性好
7	氯化钙（或氯化钠）1%，亚硝酸钠 0.5%，三乙醇胺 0.03%~0.05%	防腐，早强，后期强度高，稳定性好
8	粉煤灰 10%~50%	调节强度
9	粉煤灰 25%，氯化钙 2%	促凝
10	粉煤灰 25%，氯酸钠 1%，三乙醇胺 0.03%	促凝，早强
11	膨润土 10%~50%，黏土 15%~30%	促凝，抗渗

使用搅拌转速大于 1200r/min 的高速搅拌机搅拌 30s，即可将水泥浆液搅拌均匀，普通

搅拌机则需要搅拌 90s 以上。

试验表明，水泥浆液制备超过 4 个小时，浆液开始逐渐凝结和硬化，继续使用会影响固结体强度。当气温较高时，宜缩短浆液自制备至用完的时间。

《高压喷射注浆施工技术规范》(HG/T20691)规定在未掺入缓凝剂的情况下，当气温在 10℃ 以下时，水泥浆自制备至用完的时间不宜超过 4 个小时；气温超过 10℃ 后，浆液自制备至用完的时间不宜超过 2.5 个小时；《水利水电工程高压喷射灌浆技术规范》(DL/T5200)规定水泥浆自制备至用完的时间不应超过 4 个小时；《水工建筑物水泥灌浆施工规范》(SL/T62)规定水泥浆自制备至用完的时间不宜大于 4h，水泥黏土浆不宜大于 6h，其他浆液的使用时间应根据浆液的性能试验确定。

为保证浆液质量，本标准建议对于高压旋喷（摆喷）注浆止水帷幕，施工时凡是制备后超过 4 个时时尚未注入的浆液，一般均应做废浆处理。

高压旋喷（摆喷）注浆止水帷幕的高压管和高压喷嘴一般直径较小，为避免浆液中混杂的砂粒堵塞喷嘴，影响高喷作业，应使用筛网过滤浆液。浆液的密度是影响固结体强度的重要指标，为加强浆液质量控制，浆液的密度应定时量测，一般情况下时间间隔可为 15min~30min，且每槽浆液应至少量测 1 次。

水泥浆温度越高，浆液水化作用越快，水泥浆初凝时间缩短，易堵塞注浆管路系统，影响注浆效果。为了克服浆液温度过高的问题，有的施工单位在实践时对搅拌机或储浆桶进行改进，加设了冷却装置，在内壁布置循环水管并填充冷水进行冷却，取得了良好的效果。

5.5.3 注浆

高压旋喷（摆喷）注浆施工机具及设备性能应根据设计要求、工程地质情况和现场作业条件综合比较后选择。采用步履或履带式台车移动便捷，提升和旋摆系统具有无极调速性能，可以方便地调整旋转角度、提升速度和旋摆速度；使用高塔架台车可以减少拆卸喷射管次数，提高施工效率；采用钻喷一体化台车，可以简化先钻孔再喷浆的工序，减少施工人员配置，缩短施工时间，并可有效解决厚砂层、厚杂填土层、卵（砾）层等复杂地层易塌孔和护壁困难问题。

参考《水电水利工程高压喷射灌浆技术规范》(DL/T5200)，采用图 1 所示的收敛圆锥形喷嘴（圆锥角 $\theta = 13^\circ \sim 14^\circ$ 、平直段长度 $L = 3D_0 \sim 4D_0$ 、粗糙度为 $1.6\mu\text{m}$ 、喷嘴长度 $L_1 = 15D_0 \sim 20D_0$ 、），可保持高速射流的状态并能提高动能的利用效率。

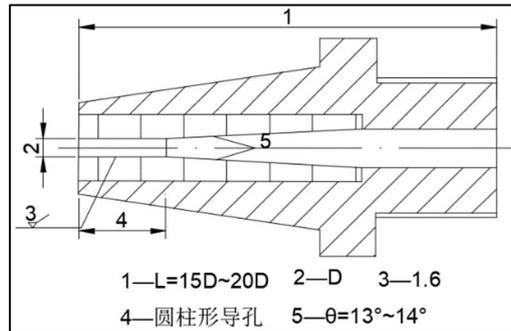


图 1 高压喷嘴结构图

高压喷射介质的压力巨大,输送介质的管路承受压力的能力是保证正常进行高压喷射作业和安全施工的前提。所以高压喷射介质应使用高压胶管并采用密封性可靠、承受压力高、拆卸方便的形式连接。

考虑到过长的高压胶管不仅容易出现安全隐患,而且将使高压喷射射流的沿程损失增大,造成实际喷射压力降低,因此,高压管路总长度不宜过长,在长距离帷幕施工时,应搬动高压泵以控制高压管路长度。

对于高压管路长度,国内现行相关规范中的规定并不统一,但是以不宜超过 50m 为主。如《建筑地基处理技术规范》(JGJ79)中规定喷射孔与高压注浆泵的距离不宜大于 50m,《建筑基坑支护技术规程》(JGJ120)高压旋喷(摆喷)注浆止水帷幕施工规定中也沿用此规定;《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》(SL/T62)灌浆泵至灌浆孔口的输浆管长度不宜大于 50m;《高压喷射注浆施工技术规范》(HG/T26091)中规定高压线路总长度不宜大于 80m。

每个工程的地层条件、帷幕结构形式和设计尺寸、施工工艺等情况不同,为保证止水效果,应在现场通过试验确定施工参数。

表 5.5.3 为经验数据。应用时,应根据工程要求、设备条件适当选取或调整。对于较硬的粘性土、密实的砂土和碎石土等宜取较小的提升速度、较大喷射压力。采用振孔高喷,可适当加快提升速度。

灌浆参数的选取合理与否,对高压旋喷(摆喷)的质量影响较大。若想取得较佳的喷射效果,应保证喷射介质的冲击力有效切削地层,高压喷射介质从喷嘴口喷出时应能保持一定的收束距离,切勿尽早分散和雾化。所以喷嘴的长度和直径比率、喷嘴的精密度、延长喷射距离和排除土砂颗粒和泥水的空气流显得尤为重要。一般情况下,喷射介质压力和流量参数由设计人员给定,喷嘴数量根据喷射形式、喷射工艺确定,喷嘴直径通过计算取得。

提升速度和旋转(摆动)速度应相互匹配。工程实践经验表明,当提升速度不变时,旋

转（摆动）速度过快或过慢，都会导致固结体的尺寸减小。合适的提升速度和旋转（摆动）速度与岩土类别和土的物理力学性质有关，很难在理论上统一表述，只能根据现场试验判断。

高压旋喷（摆喷）注浆止水帷幕，一般采用双喷嘴喷射注浆；与排桩咬合的止水帷幕，当采用半圆形、扇形摆喷时，一般采用单喷嘴。

喷嘴直径可按式（5.1）进行计算：

$$d_0 = 0.69 \sqrt{\frac{Q}{n\mu\phi\sqrt{\frac{P}{\rho}}}} \quad (5.1)$$

式中： d_0 ——喷嘴直径（mm）；

Q ——喷射流量（L/min）；

ϕ ——喷嘴流速系数，对于圆锥形喷嘴， $\phi \approx 0.97$ ；

μ ——流量系数，对于圆锥形喷嘴， $\mu \approx 0.95$ ；

P ——喷射入口压力（MPa）；

ρ ——喷射介质的密度（g/cm³）；

n ——喷嘴个数。

浆液量可采用体积法或喷量法分别按式（5.2）或（5.3）进行估算。

1) 体积法

$$Q = \frac{H}{v} q(1 + \beta) \quad (5.2)$$

2) 喷量法

$$Q = \frac{\pi}{4} D^2 \alpha_1 H(1 + \beta) + \frac{\pi}{4} d^2 \alpha_2 h \quad (5.3)$$

式中： Q ——浆液用量（m³）；

H ——喷射段长度（m）；

v ——提升速度（m/min）；

q ——单位时间喷射量（m³/min）；

D ——高压喷射固结体直径（m）；

d ——造孔直径 (m)；

β ——浆液损失系数，可取 0.1~0.2；

α_1 ——高压喷射段浆液充填系数，可取 0.75~0.90；

α_2 ——无需高压喷射段浆液充填系数，可取 0.50~0.75；

喷射方向与角度直接影响高压旋喷（摆喷）注浆止水帷幕的搭接质量，应采用可靠而准确的手段进行控制。常用的防止喷嘴堵塞措施，如在下喷射管时，将喷头的喷嘴部位用塑料胶带等物包封密实；拆卸喷管前，控制各喷射介质的停供的先后顺序，并将孔内注满浓浆，充填喷射管与孔壁间隙。

中途拆卸喷射管时的前后喷射段未搭接或搭接过少、摆喷注浆拆卸注浆管时前后喷射方向不一致等均会影响帷幕的整体性，因此高压旋喷（摆喷）固结体必须有一定厚度的相互搭接。目前，国内现行相关规范对中途拆卸喷射管，继续注浆时的搭接长度要求差别较大。如《建筑地基处理技术规范》（JGJ79）规定为不得小于 0.1m；《水电水利工程高压喷射灌浆技术规范》（DL/T5200）规定为不得小于 0.2m；《高压喷射注浆施工技术规范》（HG/T26091）规定为不应小于 0.3m；《注浆技术规程》（TS/T5211）规定为不应小于 0.5m。

除采用高塔架台车外，对于深度较大的高压旋喷（摆喷）注浆止水帷幕工程，注浆施工时可能需要频繁拆卸套管。搭接长度采用 0.5m 时，不仅浆液浪费多，而且降低工效；采用 0.1m 时，搭接长度较短，考虑到施工误差，帷幕的整体性难以保证。因此，本标准规定中途拆卸套管后继续喷射施工时的搭接长度采用 0.2m。

高压旋喷（摆喷）注浆施工时，可能由于各种各样的原因导致注浆中断。目前，前述国内现行相关规范中，对因故中途停喷后恢复施工时的搭接长度要求基本一致，均为 0.5m，但是有时因故中断的时间可能很短，统一采用 0.5m 也不完全合理。本标准建议当因故中途停喷时间小于 30min 时，可不拔出注浆管，并按搭接长度 0.2m 处理。

高压旋喷（摆喷）注浆结束后，留在喷射孔上部的浆液较稀，因孔内浆液发生离析、沉淀和凝固收缩，固结体顶部会产生凹穴。凹穴的深度随土质、浆液的析水性、固结体的大小等因素不同，一般深度为 0.5m~1m，漏浆较严重的地层会更大一些，需要用浆液及时回灌填补。回灌的浆液可用施工孔的孔口返浆，也可以单独拌制新浆。

孔内出现严重漏浆时，首先应采取第 1 款措施。其他措施可酌情采用，直至孔口返浆正常后，方可继续喷射施工。

管路或喷射装置的连接部位密封损坏、喷头上的喷嘴脱落，都会出现喷射压力突降；而喷嘴堵塞则会出现压力骤增。地质条件、地下水因素和施工参数等有可能影响孔口返浆或返浆量出现异常现象。因此，必须查明原因，及时处理后方可继续施工。

一般情况下，可封堵被串孔的孔口或向孔中回填砂及黏土。

在细颗粒地层中采用三管法施工时，有时会出现喷射管被埋住而孔口不能返浆，造成地面劈裂或地面抬动。喷射过程中，保持孔内浆液适当浓度和合理的供风参数，可较为有效地防止发生此类事故；若出现不返浆、喷射管旋摆或提升遇阻，采用大幅度降低水压、风量，注入浓水泥浆充满钻孔等措施，可较为有效缓解喷射管被卡埋问题。

根据工程经验，在标准贯入击数 $N > 12$ 的黏性土、标准贯入击数 $N > 20$ 的砂土中，建议采用复喷工艺，以增大固结体半径，提高固结体强度。

在非黏性或低黏性土层中，孔口返浆中的细颗粒可经过处理分离后得到含砂量、土量较少的水泥浆液，这种浆液可二次输送到搅拌机中再添加适量的水泥干料，经搅拌后又可制成能满足要求的高喷注浆浆液，孔口返浆的再利用可降低施工成本和减少废浆的排放。根据经验，所用返浆浆液的密度不应大于 $1.25\text{g}/\text{cm}^3$ ，以保证重新制浆时能够掺加必需的水泥干料量，以及保证防渗体的质量。

在黏性土地层中进行高喷注浆时，孔口返浆已混合了大量的黏性土颗粒，难以通过沉淀、过筛等处理方法从浆液中分离出去，在软塑~流塑状淤泥质土层中，其孔口返浆密度甚至可以超过进浆密度，这样的浆液不宜回收利用。

对于地下水流速过大的地层，在高压旋喷（摆喷）注浆前，增加控制性堵漏灌浆以改善地层，防止高喷注浆浆液在凝固前被水流冲走，是保证高喷注浆质量的必要条件。

自动记录仪在高压旋喷（摆喷）施工中的应用已取得进步。记录仪应记录提升速度、转（摆）速、水压、水量、气压、气量、浆压、浆量等过程参数，其仪器仪表应定期进行检定。

5.6 咬合桩止水帷幕施工

5.6.1 咬合桩止水帷幕中的钢筋混凝土桩是承受向水平方向水土压力的主要抗侧构件，设计中仅考虑桩对抗侧力的贡献，但素砼桩的存在其实也增大了整体的抗弯刚度，当有经验时，可将钢筋砼桩的刚度给予考虑乘以系数 $1.05 \sim 1.15$ 的增大。

5.6.2 咬合深度一般为 $20\text{cm} \sim 30\text{cm}$ ，是根据两个圆形体的直径尺寸大小来选定的，咬合体接触线越长对止水效果会越好，有特殊止水要求时，可再加咬合深度。

5.6.3 咬合桩止水帷幕软切割施工中素混凝土桩桩材料应选用超缓凝混凝土，缓凝时间应

根据荤桩、素桩搭接施工时间确定，原则上应在初凝前完成切割成孔，硬切割施工中素混凝土桩材料可选用较低标号的混凝土，便于减少切割中的施工难度。

5.6.4 全套管全回转施工机械适合在硬切割方法中应用，旋挖钻机、全套管钻机适合在软切割施工方法中应用。

5.6.5 一般情况下导样标高在原土地面上，所以在浇筑导样前应适当处理一下松软的表层土，并应达到一定的处理厚度，以满足能承受施工机械的施工。

5.6.6 咬合桩止水帷幕垂直度偏差 0.3%，是较高的标准，主要是考虑相交桩往不同方向产生倾斜偏差仍有一定搭接接触面，能确保止水帷幕的止水效果。

5.6.7 咬合桩止水帷幕流程施工原则是素桩施工在前，荤桩施工在后。

5.6.8 有竖向承载要求的咬合桩，应按设计中的考虑端阻与不考虑端阻来确定沉渣厚度，考虑端阻沉渣厚度不大于 5cm，不考虑端阻沉渣厚度不大于 10cm。

5.6.9 此条主要考虑钻头的磨损比在土层中钻孔大得多，如不检查，不弥补钻头的磨损，施工后的实际桩径会小，并造成钢筋笼安放困难及支护结构体桩侧能力减弱。

5.6.10 针对每一施工工艺流程，操作中应有相应做法要点。

5.6.11 咬合桩止水帷幕中，荤桩与素桩桩身完整性同等重要，一旦桩身出现严重的缺陷，止水效果会失效，所以对素桩与荤桩应分别按总桩数比例进行检测。

5.6.12 咬合桩止水帷幕止水效果的检查，实践中采用坑内降水，坑外水位是否同步降低的判别方法检查。

5.6.13 基坑等级确立了基坑的风险程度 I 级基坑是基坑风险程度的最高一级，所以宜在大规模施工前，先施工试验桩，通过试验桩积累合适合理的施工参数。

5.6.14 为了保证达到止水帷幕的止水效果，施工技术方案的工程系统性实施的指导书。

5.6.15 成孔后的过程检查是有必要的，应按总桩数 2%的比例抽查。

5.6.16 本条规定主要是要确保止水帷幕的止水效果，含水层下的隔水层进入深度浅，对隔水的封闭性会达不到效果，荤桩长度是以抗侧力结构上的满足为标准，素桩则是按止水的要求与效果来确定长度。

5.6.17 本条主要是针对基坑的周长方面的全封闭的要求，方法也有多种，可留砂桩或极低标号砼桩做过渡。

5.6.18 采用导管法水下灌注混凝土，导管用丝口管连接施工中不会扎钢筋笼。若采用干孔中灌注砼，坍落度可减低些，为了减短落距宜采用溜管灌注，并用长振捣器振捣密实。

5.6.19 充盈系数 1 是桩体混凝土量保证度的临界点。

5.6.20 本条中一个工作台班一组试验块，是为了减少不必要的试块量作出的要求。

5.7 钢板（管）桩止水帷幕施工

5.7.1 在不同的地层中，当成桩存在困难时，应采用不同的辅助工艺。在密实砂土、砾石地层中，可采用高压射水的水刀辅助法；在硬塑和坚硬的黏性土、杂填土中，可采用机械引孔方式辅助成桩。

引孔后钢板桩或钢管桩下沉到设计位置后，桩体与孔壁之间会存在空隙，为保证止水效果，或当帷幕墙兼做支护结构时，此部分空隙必须填充密实；常用的填充方法是在引孔完成后，在孔内注入液态固化剂，再下沉钢板桩或钢管桩。固化剂可采用在普通膨润土泥浆中添加水泥等胶凝材料，控制其凝固后 28 天强度为 3MPa~5MPa。为保证钢板桩或钢管桩后期能顺利起拔，下沉时应在其表面涂抹油脂等作为润滑剂。

5.7.2 本条规定指出了振动沉桩方法的适用条件及减少施工对周边环境影响的方法。

振动法既可以打桩又可以拔桩，是目前最常用的一种钢板桩打桩方法。常用的方式是借助吊车起吊振动锤施工，该方式适用于起吊电动或液压振动锤，施工大直径或较长的钢板桩或钢管桩；另一种方式是由挖掘机机臂前段加装液压机械手，这种方式施工灵活快捷，但其会受到施工桩长及地层条件的限制，施工长度一般不超过 15m。

免共振振动锤通过改变振动锤的频率和振幅，避免共振引起钢板桩、钢管桩周围土体的剧烈振动，适用于周边环境对振动较敏感的施工场地。

5.7.3 锤击法施工时常用的桩锤有落锤、柴油锤、蒸汽锤、液压锤。落锤的贯入能力小，生产效率低，对桩的损害较大；蒸汽锤能耗高，效率低；柴油锤不需要外接能源，使用方便，但噪声大，对空气污染较严重，效率比较低，在城区内已经限制使用；液压锤的效率比较高，可以达到 85%~95%。液压锤有变频功能，适用性更广，目前应用较为广泛。

5.7.5 静压法常采用静压植桩机施工。该工艺是静压机固定在已经打入的钢板桩上，通过已经施工的桩提供反力，植桩机抱住拟施工的桩，向下静压至地层中。该设备体型较小，施工时不需要起重机扶持，但吊运钢板需要单独的起重机；实施时无噪音、无振动；在狭小场地施工具有明显优势。

该工艺只能逐根式施工，一般不能改为屏风式沉桩法，无法纠正成桩过程中钢板桩成桩方向的倾斜问题。采用这种方法打设长桩时，宜每间隔 50m 采用楔形桩进行矫正。

对于软土、粘性土、粉土、松散砂土和素填土，可采用单独压入法；对于硬塑和坚硬的黏性土、标贯击数大于 25 的砂土、砾石，可采用高压射水的水刀辅助压入法或者螺旋钻铺

助压入法。

5.7.7 拔桩方法多采用振动法。振动拔桩法利用振动锤产生的振动，扰动并破坏钢板桩周围土体的摩阻力和吸附力，并使钢板桩锁口松动，依靠吊车或机械手施加提升力，边振边拔，直至拔桩完成。

当振动拔桩存在困难时，可以采用千斤顶辅助起拔，当桩出现松动时，再继续采用振动法起拔。

5.8 注浆止水帷幕施工

5.8.1 通过注浆试验可使注浆的设计与施工（包括灌浆孔布置、灌浆深度、灌浆施工工艺与要求等）更符合实际情况，更为经济合理，可指导工程注浆工程的设计和施工。

注浆试验虽工程量不大，但要试验的项目与内容多，对试验的项目、先后顺序、施工步骤、工序衔接、注浆设备和材料、以及试验中可能出现不同情况时的应对措施等均需做出细致安排。有时为了达到预期目的，需要根据试验过程中出现的新情况及时调整或补充部分试验项目或内容，因此要求试验方案完整、周密。

一般注浆试验技术要求比施工高，注浆试验时设计单位应全程参与，选择技术能力强的施工队伍进行现场注浆试验施工，或由技术能力强的单位进行现场技术指导。

5.8.2 注浆施工组织设计方案一般包括施工现场布置（三通一平要求）、施工进度计划、主要施工方法、物资设备供应等内容。

注浆专项安全方案一般包括机械设备安全、用电安全、高空作业安全、劳动保护安全等。

5.8.3 注浆工程经验是注浆工程设计和施工的重要依据，特别是对地勘孔数量少，且无注浆试验的工程，可根据类似工程经验进行初步注浆设计，再根据先导孔钻孔、注浆情况调整注浆参数。

5.8.4 注浆帷幕的厚度应根据地质条件，帷幕允许的水力坡降，防渗标准等综合确定，一般情况下，帷幕的允许比降可为7~10。

5.8.6 为解决特殊工程问题，化学浆材的发展提供了更加有效的手段。然而由于造价、毒性和环境等原因，高价的有机化学浆一般仅在特别重要的工程中和不能可靠的解决问题的特殊条件下才可使用。

双液止水帷幕灌浆配方：磷酸：水玻璃为3~10:100，然后用水配成等比例浆，用磷酸量调解化学浆液凝固时间，一般为1s~15s。

5.8.7 地下帷幕止水注浆工程为隐蔽工程，受前期勘探孔数量限制，所揭露的地质条件往往

不能代表全部地层情况，因此需要在先灌排的一序孔中布置先导孔，以进一步了解受灌地层情况。根据先导孔揭露的受灌地层情况，对注浆参数进行针对性调整和优化，可使注浆设计更符合实际。

5.8.9 膏浆初始塑性屈服强度大，具有水下不分散性和整体抗冲性，当地层中有动水时，可先灌注膏浆，将动水变为静水，再进行普通水泥浆防渗施工。

化学浆液可灌性好，但费用高，从工程造价考虑，水泥基灌浆材料费用低，且无毒性，对环境的影响较小，是优先选用的灌浆材料，当水泥基浆液不能满足防渗要求时，才进行化学注浆。采用化学注浆时浆材和凝胶体均应达到无毒级别，以免环境造成影响。

5.8.11 防渗帷幕注浆压力与覆盖层厚度、地层结构、密实程度以及上部建筑物的变形要求及注浆量有关，一般情况下应通过灌浆试验来确定。当缺乏试验资料时，可用经验公式计算或通过工程类比确定允许灌浆压力。用下式（5.4）进行估算。

$$P = \beta \gamma T + c \alpha \lambda h \quad (5.4)$$

式中：P——允许注浆压力，kPa；

β ——系数，在 1~3 范围内选择；

γ ——覆盖层重度，kN/m³

T——盖重层厚度，m；

C——与注浆次序有关的系数。I 序孔 $c=1$ ，II 序孔 $c=1.25$ ，III 序孔 $c=1.5$ ；

α ——与注浆方式有关的系数。自上而下注浆 $\alpha=0.8$ ，自下而上灌浆 $\alpha=0.6$ ；

λ ——注浆段以上覆盖层的平均重度，kN/m³；

h——盖重层底面至注浆段段顶的深度，m；无盖重层时，自覆盖层表面起算。

5.8.13 监测目的是避免灌浆压力或注入率过大引起地面抬动或对周围建筑物产生不利影响。变形测点的布置范围、数量可根据工程的具体情况确定，变形值通过注浆前及注浆过程中测量获得。

5.8.14 检查孔注水试验成果是评价帷幕灌浆工程质量的主要依据，但也应结合施工过程中的质量控制以及其他检查成果，进行综合分析评价。检查孔布置的部位选择在注浆工程质量容易发生问题的地方，一是该地方为薄弱部位，二是可以利用检查孔进行补充注浆。

5.8.15 如采用的注浆浆液中黏土、膨润土掺量较大，待凝时间应长一些，可为 14d。

5.8.18 现场施工记录是分析评价注浆工程质量的重要依据，因此要严格要求，认真记好。记录要在施工现场随着施工的进行及时填写，专人审核，不允许事后补记，更不得随意编造。有条件的工程应采用注浆记录仪。

5.9 冷冻法止水帷幕施工

5.9.1 竖向冻结孔施工

跟管钻进指用冻结管作钻杆钻进的施工方法，冻结管端部连接钻头和逆止阀，钻进到设计深度后用丝堵密封冻结管端头。

夯管法施工冻结孔有以下显著的优点：一是地层水土不会流失且有压密作用，有利于控制地层沉降；二是冻结管接头采用内衬管对焊接头，不易渗漏、断裂；三是管端无钻头，有利于提高冻结壁与对侧既有结构之间的冻结质量。但砂卵石地层夯管法施工困难。

为防止隧道既有结构上钻孔大量涌水冒泥，导致地层沉降，采取二次开孔工艺，先安装孔口管，在孔口管的保护下再钻透管片，配合孔口密封装置，可以有效控制地层漏失。

5.9.2 横向冻结孔施工

横向钻孔孔口管上安装孔口防喷装置是为防止钻孔过程中地下水喷涌。混凝土衬砌结构或管片上安装孔口管时，为防止隧道管片上钻孔涌水冒泥，采取二次开孔工艺，先安装孔口管，孔口管安装阀门、防喷装置，再钻透管片，配合孔口密封装置，可以有效控制地层漏失。

隧道衬砌或盾构管片上安装孔口管时，一般先用钻具一次开孔，先将孔口管、放喷装置安装好后，二次用钻机钻透衬砌，防止开孔发生喷涌现象。

冻结孔的间距是确定冻结效果的重要因素，因此规定在成孔后测量冻结孔最大钻孔间距，绘制冻结孔轨迹，若偏差超过设计要求，进行调整后施工的轨迹。

5.9.3 冻结器安装

冻结管管材及连接不得有肉眼可分辨的弯曲。

增加冻结管壁厚度有利于提高冻结管的接头质量和冻结管的刚度，从而有利于提高冻结孔的施工质量。

试验表明加内衬管对焊连接接头的抗拉和抗弯强度一般可以达到母管强度的 95%以上。螺纹连接的冻结管接头强度差别很大，现场应通过试验来确定。

向上倾斜的冻结管漏管不应采用下入小直径冻结管的方法处理。但若在向上倾斜的冻结管内下小直径的冻结管，必须采取措施将冻结管底部的空气排出。

横向冻结管容易发生喷涌，规定冻结管安装完成后孔口管与冻结管的间隙进行封堵，主要是确保不渗流、不喷涌，避免发生事故。

供回液管采用聚乙烯增强塑料管时，端部应开长 50mm 宽 10mm 的 2 条过水通道；供回液管采用钢管时，应在端头前焊接长约 100mm 直径 10mm 左右的钢棒。

为了减小冷量损失，冷冻站位置优先选择布置在工作面附近的隧道内，布置在地面的，盐水干管需做好保温工作。

供、回液连接管在与分组冻结器串并联时，支管路系统连接管宜与开挖面的横向水平支撑平行布置。满足土方开挖施工的要求。同时应考虑，对竖向冻结器采取相应的支护措施，防止冻结器的损坏。

5.9.4 测温孔施工与装置安装

测温孔既可以检测冻结壁的厚度、平均温度，同时也可以用于检测冻结壁与隧道既有结构的界面温度。施工中应根据冻结壁形成质量检验要求和冻结孔布置特征合理布置测温孔位置、方向和深度。

测温孔测温一般采用固定测点的测温系统。如采用移动测点的单点测温仪测温，必须待仪表温度读数稳定后才能移动测点。

测温管内安装测温电缆和测温元件后，管口应进行密封和保护，防止测温元件及电缆被移位、损坏。可以通过在预埋的注浆孔中下测温管检测冻结壁温度回升和解冻情况。

对冻结器供冷发生异常如盐水有漏失，或冻结效果难以确定的部位应打探孔检测冻结壁交圈情况。可以从隧道两侧开挖区域内打通长探孔检验冻结效果。

5.9.5 水文观测孔、泄压孔施工与装置安装

水文观测孔、泄压孔水文观测装置安装应符合下列规定：

- 1) 水文观测孔底封底是起到封闭泥沙不能进入管内的作用；
- 2) 竖向水文观测孔、泄压孔设置滤水层是防止泥沙等进入孔内淤积，影响观察结果；
- 5) 水文孔管安装后清洗是为了保证地下水能够顺畅的透过滤水层，进入孔管内，准确的反映地下水位的标高；

5.9.6 制冷系统安装与运转

冻结器一旦开始冻结，制冷系统的一些易损件会出现问题，为防止因制冷站停止运转时间过长，造成冻结壁失效发生安全问题，要求一些易损件需要有备品，便于及时更换。

5.9.7 积极冻结与维护冻结

轨道交通工程大部分在主城市区，冻结壁各项指标达到设计值后，气候、环境等等影响施工的因素造成暂时土体无法开挖的情况时有发生，为节约能源，制定本款。

竖向冻结壁在分段交接处外露冻结壁，因土方开挖和结构施工期相对较长，为防止

冷量扩散，制定本款；

开挖期间，冻结帷幕内部的加强孔可以停止冻结，但涉及冻结壁安全的满堂加固冻结管穿越开挖区时不得停止供冷或割除。如确因施工需要停止个别冻结孔供冷时，应分析对冻结壁整体稳定性的影响，并制定相应技术措施，确保开挖和结构施工安全。

5.9.8 停冻

需临时停止部分冻结器供冷时，需要分析停冻对冻结壁整体稳定性的影响，并采取相应的措施保证施工安全。

基坑在采用分段竖向冻结法施工时，分段处需有搭接的冻结壁，在拟停止冻结的一侧，保留原设计冻结壁厚度两倍长度，持续维护冻结，为保证搭接部位的冻结壁仍能够起到冻结效果。

一般竖向冻结、横向冻结是不影响后续施工，但局部冻结和盾构端头满堂冻结的冻结管影响后续施工。

5.9.9 竖向冻结拔管与冻结孔充填

竖向冻结、分段冻结在解冻后，有条件的尽量将冻结管拔除，以便重复利用。冻结管拔除后的冻结孔和未拔除的冻结管孔充填是为了保证后期的安全；局部冻结只能在结构底板施工完成后切割外露部分冻结管，横向冻结的冻结管不必拔除，但冻结管孔仍需要注浆充填。

5.9.10 横向冻结管割除和充填

横向冻结管一般不容易拔除，只将器头部割除、供液管拔除即可。

目前盾构区间联络通道部位的盾构管片为保证在开马头门时，区间隧道的稳定，采用钢管片的较多，制定本款。

5.9.11 制冷系统拆除

制冷站拆除包含使用气割、大件吊装、高空拆除等危险作业，为保证安全施工应编制专项安全技术措施，并贯彻执行。

系统中的盐水具有腐蚀性，随意排放会造成环境污染；制冷剂如氨、氟利昂等，高压气体，密闭空间操作易发生缺氧、中毒等事故，危险性较大；油脂遇明火易发生火灾。因此拆除前应首先将它们进行回收，防止发生事故。

鉴于盐水腐蚀性较大，入库前应对设备和容器进行清洗、检修。

5.9.12 充填注浆和融沉注浆

地层解冻造成融沉现象，需要对地层进行注浆减少地表沉陷发生，因此制定本条。

6 检测

6.1 一般规定

6.1.1 止水帷幕施工前现场试验主要目的是为设计提供相关依据，同时复核主要施工工艺参数能否达到要求。

6.1.2~6.1.3 主要对止水帷幕施工和使用阶段需分步进行检测，抽检选取位置应满足相关要求，同时对发现的薄弱环节应进行有效处治。

6.2 检测

6.2.1 因连续墙施工过程中检测内容较多，而成槽质量检测关系到连续墙槽壁稳定性、钢筋笼下放顺利与否、混凝土浇筑质量及后续连续墙整体质量，因此设计、施工过程中应明确对连续墙成槽过程中垂直度、槽宽、槽深的检测要求。

施工过程中常用超声波仪器检测连续墙成槽质量，一般连续墙宽度为 6m，布置 3 处检测断面便于判断成槽整体质量，中部宜为两个方向，端部宜为 3 个方向。检测过程中一般槽壁常为不规则曲线，成槽倾斜、地质软硬不均、连续墙成槽设备自身问题等都会引起上述问题，施工过程中一般采用连续墙底部轴线偏差值计算垂直度，如槽壁局部突出影响连续墙钢筋笼下放等，宜对该处进行重复检测并采取相应处理措施。

沉渣厚度关系到钢筋笼是否可以顺利下放、连续墙底部成墙质量、连续墙防水性能及整体结构承载能力，测锤法难以检测时可以采用其他方法检测，同时对连续墙底部阳角处应根据清槽情况进行检测，防止阳角处堆积渣土过多，影响连续墙钢筋笼下放及整体质量。

声波透射法使用的声测管需通长完好，并在安装前做好底部封堵，管体整体固定及管口封堵工作，防止施工过程中管道封堵、破损等情况导致无法检测。同时设计人员应明确声测管管理位置，防止不规则幅段、其他物体阻挡超声传递路径。

当声波透射法检测连续墙质量有异议，且可能的质量缺陷风险较大及其他需要钻取连续墙墙身混凝土芯样时，可以采用取芯法检测连续墙墙身质量。取芯前需提前确定连续墙钢筋笼整体分布情况，避免或减少钻具对连续墙钢筋的损坏。

6.2.2 水泥土止水帷幕应进行桩（墙）身强度检测。检测方法宜采用浆液试块强度试验，现场采取水泥土桩（墙）一定深度处的水泥土混合浆液，浆液应立即密封并进行水下养护，于 28d 龄期进行无侧限抗压强度试验。当进行浆液试块强度试验存在困难时，也可以在 28d 龄期时进行钻取桩（墙）芯强度试验，钻取的芯样应取自桩（墙）的不同深度，芯样应立即密封并及时进行无侧限抗压强度试验。

实际工程中,当能够建立原位试验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,也可采用浆液试块强度试验或钻取桩芯强度试验结合原位试验方法综合检验桩(墙)身强度,此时部分浆液试块强度试验或钻取桩芯强度试验可用原位试验代替。

目前工程中对水泥土桩(墙)强度的争议较大,而工程实践中通过钻取桩(墙)芯强度试验得到的强度值普遍较低。

国内尚无专门的水泥土桩(墙)检测技术规范,虽然相关规范对水泥土桩(墙)的强度及检测都有一些相应的要求,但这些要求并不统一、不系统且不全面。

在水泥土桩(墙)的强度试验中,几种方法都存在不同程度的缺陷,浆液试块强度试验不能真实地反映桩(墙)身全断面在场地内一定深度土层中的养护条件;钻孔取芯对芯样有一定破坏,检测出的无侧限抗压强度值离散性较大,且数值偏低;原位试验目前还缺乏大量的对比数据来建立搅拌桩强度与试验值之间的关系。

6.2.3 II序桩切割成孔的时机是决定咬合式排桩成桩质量的关键。硬切割咬合式排桩应根据施工机械设备的切割能力、试成桩工艺参数及设计要求确定最佳的切割成孔时机。软切割咬合式排桩应使相邻I序桩混凝土保持初凝前的状态。

对于具体的检测项目,应根据检测目的、内容和要求,结合各检测方法的适用范围和检测能力,考虑工程重要性、设计要求、地质条件、施工因素等情况选择检测方法和检测数量。

6.2.4 文中对钢板桩帷幕各阶段检测内容进行了有关规定。

6.2.6 冻结孔施工质量是关系到冻结工程成功与否的关键因素,应符合设计要求。

冻结站的设备型号、规格、数量和安装质量与冻结站的正常运行密切相关,应符合冻结设计的要求。

冻结壁交圈时间是确定冻结段开挖时间的重要依据,直接影响冻结段能否安全快速施工,应按照冻结设计规定加强观测和分析。

冻结壁有效厚度和平均温度是计算冻结壁强度和稳定性的主要参数,应按照冻结设计要求,加强对不同深度、不同土层冻结壁温度状况的检测和分析,为保证冻结段安全快速施工提供依据。

8 工程质量验收

8.1 一般规定

8.1.1 地下连续墙止水帷幕施工一般规定

本条是基本要求，地下连续墙可作为深基坑围护结构、止水帷幕结构、地下主体结构的墙体或基础使用，施工单位开工前应熟悉、研究设计图纸，根据工程特点、技术质量要求、设备状况，结合施工经验，对施工设计图纸进行深化，如连续墙分幅优化、导墙设计、接缝处理、钢筋笼吊点计算、钢筋接头和测管布置等内容，必要时对设计提出优化建议，以保证施工的顺利进行。

本条列出连续墙施工前应收集的资料，这些是施工必须考虑的因素，是制定合理、经济、安全施工方案的基础。

施工现场的地质和水文资料主要指工程地质报告，施工前，建设单位应向设计单位、施工单位等提供岩土工程详细勘察报告、区域水文地质资料等文件，以利于设计、施工方案的确定和机械设备的选择。

对于地下管线，不仅要收集资料，还需要现场进行复核，制定有针对性的保证措施，以确保施工和管线安全。

采用地连墙施工的区域，周边环境一般较为复杂，环境要求高，施工前，应对临近连续墙的现况建（构）筑物进行调查，在可能的情况下，对临近工程设计和施工情况进行了解，分析临近工程对连续墙施工的可能影响，包括地层扰动、变化等情况。

当地下连续墙规模较大或作为大型基础结构、防渗体，具有独立工程单元，可作为单位工程时，应制定施工组织设计，报企业技术负责人审批后执行；当作为围护结构，或规模较小时，则应作为分部分项工程，此时应制定施工方案（即分部分项工程专项施工方案）。

地下连续墙施工工艺与地层密切相关，必须因地制宜选择适宜的机械和方法。通过成槽试验可检验施工工艺、设备选择的可行性和经济性，为后续工作奠定良好的基础，也是连续墙施工质量的重要保证措施。

工程主要原材料、半成品、构（配）件等产品是地下连续墙施工质量保证的基础和关键，应执行先检验、后使用的原则，并且进场检验记录、抽样试验记录和质量证明文件必须齐全、完整和有效。

开工前，施工单位应结合本规范，与监理单位共同确定质量检验验收的批次和单元，以方便过程质量控制和验收。

本条对施工质量控制提出基本要求，防止不合格产品进入下道工序。

随着地下连续墙技术的发展，应用范围和领域不断扩大，必然会产生新的技术、工艺、材料和设备，这些对于推动该技术的发展有着重要的意义，为推广、开发“四新”技术，特制定本规定，以保证在应用、开拓新技术的同时，保证施工质量和安全。

地下连续墙单独作为水坝等防渗结构时，应为一个单位工程。

冠梁作为地下连续墙整体的一部分提出，由于冠梁为普通的简单混凝土结构，涉及到的钢筋、模板和混凝土质量检查验收按照现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204 执行，在本规范中不再列出。

8.2 地下连续墙止水帷幕

8.2.2 成槽检测

因连续墙施工过程中检测内容较多，而成槽质量检测关系到连续墙槽壁稳定性、钢筋笼下放顺利与否、混凝土浇筑质量及后续连续墙整体质量，因此设计、施工过程中应明确对连续墙成槽过程中垂直度、槽宽、槽深的检测要求。

施工过程中常用超声波仪器检测连续墙成槽质量，一般连续墙宽度为 6m，布置 3 处检测断面便于判断成槽整体质量，中部宜为两个方向，端部宜为 3 个方向。检测过程中一般槽壁常为不规则曲线，成槽倾斜、地质软硬不均、连续墙成槽设备自身问题等都会引起上述问题，施工过程中一般采用连续墙底部轴线偏差值计算垂直度，如槽壁局部突出影响连续墙钢筋笼下放等，宜对该处进行重复检测并采取相应处理措施。

沉渣厚度关系到钢筋笼是否可以顺利下放、连续墙底部成墙质量、连续墙防水性能及整体结构承载能力，测锤法难以检测时可以采用其他方法检测，同时对连续墙底部阳角处应根据清槽情况进行检测，防止阳角处堆积渣土过多，影响连续墙钢筋笼下放及整体质量。

8.2.3 混凝土检测

当地下连续墙采用预制墙板时，预制墙板一般一次浇筑预制而成，预制地下连续墙的导墙、护壁泥浆和成槽施工与现浇钢筋混凝土连续墙相同，成槽的宽度宜比墙板设计厚度富余 100mm~150mm。安装预制墙板前，槽段内的护壁泥浆应采用自凝泥浆进行置换，自凝泥浆终凝后的无侧限抗压强度应符合设计要求，一般不应低于地下连续墙处原状土的无侧限抗压强度。自凝泥浆主要用于支撑预制构件，其抗压性能，凝结时间对于工程施工影响较大。

声波透射法使用的声测管需通长完好，并在安装前做好底部封堵，管体整体固定及管口封堵工作，防止施工过程中管道封堵、破损等情况导致无法检测。同时设计人员应明确声测

管理设位置，防止不规则幅段、其他物体阻挡超声传递路径。

当声波透射法检测连续墙质量有异议，且可能的质量缺陷风险较大及其他需要钻取连续墙墙身混凝土芯样时，可以采用取芯法检测连续墙墙身质量。取芯前需提前确定连续墙钢筋笼整体分布情况，避免或减少钻具对连续墙钢筋的损坏。

8.3 水泥土搅拌桩止水帷幕

8.3.1 水泥土搅拌桩止水帷幕是近年来在各地逐步得到推广应用的工程技术，积累的经验有限，不同地区、不同队伍的施工水平差别也比较大。为确保基坑安全，同时保证该工法进一步的推广应用，施工全过程的质量控制、检查与验收非常重要。如果将施工全过程各环节的质量控制要点把握好，水泥土搅拌桩将具有非常广阔的应用前景和强大的生命力。

8.3.2 水泥搅拌桩施工质量较差、开挖过程中出现基坑变形过大、帷幕渗水等现象常常与成墙过程中施工参数控制不当或施工参数异常等情况相关。成墙过程中如能严格按照设计及规范要求施工，遇到问题及时妥善处理，则基坑开挖过程往往比较顺利；反之，如对成墙过程中出现的问题简单处理，质量控制意识不强，基坑开挖过程出现的问题就比较多，付出的经济和工期代价更大。

8.3.8 水泥土搅拌桩的桩身强度检验宜采用浆液试块法，该法对施工过程中的搅拌桩没有损伤，操作简便且试块质量好。

当搅拌桩已施工完成且达到一定龄期后，桩身强度检测常采用钻孔取芯法，在地下水位高、地基土体渗透性能强的地层，钻孔取芯法更多地用来检测桩身完整性和搭接效果，根据检测结果评价已施工水泥土搅拌桩的止水性能。但取芯过程易对搅拌桩产生损伤，芯样质量受人为因素影响较大，土层复杂时，这个问题更为突出。一些工程在通长取芯时发现芯样不完整、部分破碎，从而对搅拌桩质量总体评价较差，但开挖后暴露的搅拌桩性能良好且无渗漏现象。

8.4 等厚度水泥土搅拌墙止水帷幕

8.4.1 质量检查

成墙深度、厚度、垂直度及水泥掺量是水泥土搅拌墙墙身质量的主控项目，水泥土墙的强度除了与各土层性质有关外，还直接受水泥本身的型号、掺量及水胶比密切相关，因此对水泥掺量、水胶比的检查控制尤为重要。严禁用过期水泥、受潮水泥，对每批水泥应按规定进行复试，合格后方可使用。

水泥浆泵送量的监控实际上是对水泥掺量的监控，宜按独立延米墙深或独立墙幅为单位

确定所需泵送浆液总量。泵送总量需满足设计要求，且应均匀。

8.4.2 质量验收

通过地质钻机在搅拌墙达到一定龄期后钻取墙芯进行无侧限抗压强度试验。钻取过程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或三重管钻具钻取芯样，取出的芯样应立即密封并及时进行强度试验。水泥石芯样还可以反映水泥石墙沿取芯深度方向的墙身完整性。

水泥石墙身强度和完整性宜结合其他原位测试手段进行综合评价，原位测试主要包括静力触探、标准贯入试验、动力触探试验等，原位测试试验需要在搅拌墙施工完成后一定龄期内进行。

水泥石芯样渗透试验方法及墙体注水试验方法分为常水头法和变水头法，参照国家现行有关标准试验方法。

8.5 高压旋喷（摆喷）注浆质量验收

8.5.1 同一产地、品种、规格、批号的水泥、外加剂和掺加剂，可根据工程用量划分批次，如水泥每 500t 为一批、外加剂和掺加剂每 10 吨为 1 批，施工单位每批抽样检验 1 组。监理单位按施工单位抽样数量的 20% 平行检验。每个工程项目施工单位和监理应至少抽样检验 1 组。

保证高压旋喷（摆喷）注浆固结体的几何尺寸和搭接宽度是确保帷幕止水效果的基本要求。常用的检测手段包括开挖后用钢尺量测和钻孔取芯检测等。但是，对于许多地下工程，可能不具备采用上述检测手段的条件，只能通过主体工程施工时的截水效果判断。因此，本标准虽将固结体的几何尺寸和搭建宽度作为主控项目，但是不对检验数量和方法做具体要求。

8.5.2 对于高压旋喷（摆喷）注浆止水帷幕，查阅施工记录也是评价工程质量的一个重要手段。详实可靠的施工记录，可以确保对工程进行有效的追溯，一旦发生质量问题，也便于分析原因和处理。因此，本标准将施工记录情况作为单元工程质量评定的一个指标，其质量标准可根据各施工记录的及时性、完备性、详细性和准确性进行综合评判。

8.6 咬合桩止水帷幕

8.6.3 咬合桩止水帷幕作用就是要有可靠的止水效果，若坑内降水后水位下降此时坑外水位不下降说明止水效果是好的。

8.9 冷冻法止水帷幕施工

8.9.1 本规范主要应用于基坑或竖井围护结构、隧道联络通道或横通道、盾构始发或接收等工法，将冻结法工程划分为子分部工程，便于分项工程的划分，有利于现场检验批检验和施工记录的填写。

8.9.2 与冻结工序相关联的土方和结构等工序的施工质量验收要求，在《地下铁道工程施工质量验收标准》GB/T 50299 中都有具体的规定，本规范不再重复要求。

8.9.3 水文观测孔、泄压孔成孔施工方法基本与冻结孔相同，其工程质量验收标准按照冻结孔的标准执行即可。