



T/CECS1XXX—

中国工程建设标准化协会标准

建设工程地下水防治技术规程

Technical specification for prevention and treatment of groundwater
in construction engineering

（征求意见稿）

中国 XX 出版社

中国工程建设标准化协会标准

建设工程地下水防治技术规程

Technical specification for prevention and treatment of
groundwater in construction engineering

T/CECS1XXX—202X

主编单位：上海市基础工程集团有限公司

上海渊水环境科技有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：202X 年 XX 月 XX 日

中国 XX 出版社

202X 北京

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2022 年第二批协会标准制订、修订计划〉的通知》（建标协字[2022]77 号）的要求，编制组经深入调查研究，认真总结实践经验，参考国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程共分 10 章，主要内容包括：总则、术语和符号、基本规定、勘察、帷幕水、降水与回灌、污染场地地下水防控、综合利用、监测和风险处置等。

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

本规程由中国工程建设标准化协会地基基础专业委员会归口管理，由上海市基础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，请反馈给上海市基础工程集团有限公司（地址：上海市杨浦区民星路 231 号，邮编：200433，邮箱：digua1984@126.com）。

主编单位：上海市基础工程集团有限公司

上海渊水环境科技有限公司

参编单位：

主要起草人：

主要审查人：

目 次

1 总则	1
2 术语和符号	2
2.1 术语	2
2.2 符号	3
3 基本规定	4
4 勘察	5
4.1 一般规定	5
4.2 岩土工程勘察	5
4.3 专项水文地质勘察	6
4.4 污染场地勘察	7
5 帷幕	9
5.1 一般规定	9
5.2 设计	10
5.3 施工与检测	15
6 降水与回灌	20
6.1 一般规定	20
6.2 设计	20
6.3 施工与运行	24
7 污染场地地下水防控	27
7.1 一般规定	27
7.2 设计	27
7.3 施工与检测	31
8 综合利用	34
9 监测	35

9.1 一般规定.....	35
9.2 地下水监测.....	35
9.3 周边环境监测.....	37
9.4 自动化监测.....	38
10 风险处置.....	39
本规程用词说明.....	42
引用标准名录.....	43
条文说明.....	45

Contents

1	General provisions	1
2	Terms and symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	3
3	Basic requirements	4
4	Geotechnical investigation	5
4.1	General	5
4.2	Geotechnical investigation	5
4.3	Hydrogeological investigation	6
4.4	Contaminated site investigations	7
5	Groundwater curtain	9
5.1	General	9
5.2	Design	10
5.3	Construction and testing	14
6	Dewatering and recharge	20
6.1	General	20
6.2	Design	20
6.3	Construction and operation	24
7	Groundwater control at contaminated sites	27
7.1	General	27
7.2	Design	27
7.3	Construction and testing	32
8	Comprehensive utilization	34
9	Monitoring	35
9.1	General	35
9.2	Groundwater monitoring	35
9.3	Surrounding monitoring	37

9.4 Automated monitoring	38
10 Risk management.....	39
Explanation of wording.....	42
List of quoted standards.....	43
Addition : Explanation of provisions.....	45

1 总则

1.0.1 为在建设工程地下水防治过程中贯彻执行国家技术经济政策,保护环境和
水资源,做到安全可靠、经济合理、技术先进、确保质量,制定本规程。

1.0.2 本规程适用于建设工程地下水防治的勘察、设计、施工、监测与检测。

1.0.3 建设工程地下水防治应综合考虑工程特性及规模、场地的工程地质和水文
地质条件、地区工程经验、环境和水资源保护要求等因素,合理选择地下水防治
方法。

1.0.4 建设工程地下水防治除应符合本规程外,尚应符合国家现行有关标准和现
行中国工程建设标准化协会标准的有关规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 地下水防治 preventive and control measures of groundwater

为减少或隔断地下水运移,防止或降低对周边环境的影响,阻隔污染物迁移,合理保护和综合利用水资源而采取的帷幕水、降水、回灌等治理方法。

2.1.2 帷幕水 groundwater curtain

采用混凝土墙、防渗膜墙、水泥土等形成的连续体,减少或隔断地下水及污染物迁移的方法。

2.1.3 竖向帷幕 vertical waterproof curtain

用于减少或隔断地下水侧向运移而设置的竖向截水体,分为悬挂式竖向帷幕、落底式竖向帷幕。

2.1.4 水平帷幕 horizontal waterproof curtain

用于减少或隔断地下水垂向运移而设置的水平向截水体。

2.1.5 高防渗复合幕墙(UAC工法) ultra anti-seepage curtain wall (UAC construction method)

采用配置数字化施工控制系统的专用设备在预先形成的渠段内竖向铺设柔性高分子膜,并在渠段内压注韧性胶凝材料形成的连续防渗体。

2.1.6 数字化超深喷射注浆法(U-Jet工法) digital ultra-deep jet grouting method (U-Jet construction method)

采用配置数字化施工控制系统的专用设备,通过前端多个喷嘴喷射出包裹着主动空气的超高压浆液切削土体,同土体均匀混合形成加固体。

2.1.7 回灌 groundwater recharge

将符合水质要求的水引渗至含水层,抬升并稳定地下水水位的治理措施。

2.1.8 地下水污染羽 groundwater contaminant plume

进入含水层的污染物从污染源向周边迁移、扩散所形成的污染区域。

2.1.9 抽提 groundwater pumping

根据地下水污染范围,在特定位置布设抽水井,通过抽水设施将污染的地下水从含水层中抽取到地面的措施。

2.2 符号

2.2.1 几何参数:

B ——含水层厚度, 单位为米;

H ——高于承压含水层顶面的承压水头高度;

h_i ——承压含水层顶面至基础基底面间各分层土层的厚度。

2.2.2 计算系数及其他:

F_s ——抗承压水突涌安全系数;

i ——水力梯度;

k ——渗透系数;

p_s ——承压含水层顶面至建设工程结构底面之间的上覆土压力;

p_w ——初始状态下(未减压降水时)承压水的顶托力;

Q ——抽水量;

u ——渗透流速;

γ_{si} ——承压含水层顶面至结构底面间各分层土层的重度;

γ_w ——水的重度。

3 基本规定

3.0.1 建设工程地下水防治应根据工程地质和水文地质条件及防治目的,选用帷幕水、降水、抽提、回灌等综合防治措施。

3.0.2 建设工程地下水防治设计与施工前应查明场地地形地貌、地层结构和分布规律、地下水及工程周边环境等,提供满足地下水防治设计、施工所需的岩土工程参数。

3.0.3 地下水防治设计应明确防治目的和技术措施,环境保护要求较高时,应综合采用帷幕水、降水、回灌等一体化设计方法。

3.0.4 污染场地地下水防治应根据地块水文地质条件和地下水污染特征,选用竖向隔离屏障、抽提-处理技术等治理方式,工作程序应满足现行行业标准《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》HJ 25.6 的有关规定。

3.0.5 地下水防治施工应符合下列规定:

- 1 应通过现场试验确定施工工艺和施工参数。
- 2 宜采用配置数字化施工控制系统的施工装备。
- 3 宜构建地下水防治施工信息化平台,平台应具备数据集中管理、实时共享和远程监控的功能。
- 4 应进行风险辨识,并制定风险处置措施。

3.0.6 地下水防治中抽排的地下水宜综合利用,防治过程中产生的废弃泥浆、置换土、污染土(水)等应经无害化处理后综合利用。

3.0.7 地下水防治中应对使用的原材料及帷幕体质量等进行检验,质量检验除应符合本规程外,尚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、《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202 和《土工合成材料 聚乙烯膜体》GB/T 17643 等标准的有关规定。

4 勘察

4.1 一般规定

4.1.1 地下水防治工程设计、施工前应掌握工程场区的岩土工程勘察成果，查明工程场区的不良地质作用。当既有岩土工程勘察成果不能满足工程要求时，应根据需要进行岩土工程补充勘察、专项水文地质勘察或污染场地勘察。

4.1.2 符合下列情况之一时，应进行专项水文地质勘察：

- 1 岩土工程勘察难以完全查明地下水赋存条件时；
- 2 地下水作用对工程建设存在重大影响时；
- 3 悬挂式帷幕降水影响范围内存在重要保护对象时；
- 4 悬挂式帷幕降水可能对地下水资源造成重大影响时。

4.1.3 经判定场地可能存在污染时，应进行污染场地勘察。

4.1.4 勘察完成后，勘探孔、采样点及不再利用的试验孔等应进行封闭。

4.2 岩土工程勘察

4.2.1 建设工程的岩土工程勘察应包含地下水防治的相关勘察内容。

4.2.2 勘探孔的布置应符合下列规定：

- 1 勘探孔宜沿工程周边或帷幕周边布置，主要的转角处宜布置勘探孔；
- 2 勘探孔间距不宜大于 35.0m，最小间距不宜小于 10.0m；
- 3 勘探孔深度应能涵盖对工程有影响的含水层，并满足地下水防治设计和

施工的要求。

4.2.3 岩土工程勘察成果应包括以下内容：

- 1 对地下水防治可能涉及的岩土层分布规律和岩土工程特性进行综合分析、评价；
- 2 分析填土、特殊土、地下障碍物、裂隙、岩溶等对地下水防治的影响；
- 3 阐明场地地下水类型、水位变幅、地下水与地表水间的联系、土层的渗流条件，分析评价潜在的地下水作用、地下水的腐蚀性等；
- 4 提出地下水防治应注意的岩土问题；
- 5 岩土物理、力学试验指标统计值；

- 6 岩土工程勘探点平面布置图；
- 7 钻孔柱状图；
- 8 工程地质剖面图；
- 9 室内土（水）试验成果图表；
- 10 原位测试成果图表；
- 11 其他所需的成果图表，如地下障碍物分布图等。

4.2.4 岩土工程勘察尚应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的有关规定。

4.3 专项水文地质勘察

4.3.1 专项水文地质勘察宜基于岩土工程勘察成果。

4.3.2 专项水文地质勘察应符合下列规定：

- 1 进一步查明场地地下水赋存条件；
- 2 场地存在有多层对工程有影响的地下水时，查明相互之间的水力联系；
- 3 提供满足地下水防治设计所需的水文地质参数；
- 4 存在周边环境或地下水资源保护要求的，提出地下水位变化引起的土体变形规律和地下水资源变化规律；
- 5 提出地下水防治建议方案。

4.3.3 专项水文地质勘察可根据项目特点以及工程地质条件选用水文地质调查与测绘、水文地质物探、水文地质钻探及水文地质试验等。

4.3.4 当需分析评估地下水控制对周边环境影响时，应在抽水试验和回灌试验期间同步开展环境监测，监测内容可参照表 4.3.4 选用。

表 4.3.4 抽水试验配套常用环境变形监测手段

监测手段	适用范围	主要用途
地面沉降监测	配套抽水试验或回灌试验开展，有变形控制需求	评估抽水或回灌过程中地面沉降规律
周边保护对象变形监测	配套抽水试验或回灌试验开展，有变形控制需求且针对特定被保护对象	评估抽水或回灌过程中特定被保护对象变形规律
土体分层竖向位移	配套抽水试验或回灌试验开展，降水目标含水层与其它土层可能存在水力联系，或存在深埋被保护对象需评估抽水产生的	评估抽水或回灌过程中土体分层竖向位移变化规律

	影响	
孔隙水压力监测	配套抽水试验或回灌试验开展，降水目标含水层与其它土层可能存在水力联系	评估抽水或回灌过程中土层孔隙水压力变化规律

4.3.5 专项水文地质勘察成果宜包括以下内容：

- 1 阐明场地含水层的分布规律和水文地质特征，分析和评价其对主体工程及地下水防治的影响；
- 2 抽水试验或回灌试验期间水位、沉降变化规律，沉降计算参数；
- 3 按需提出帷水、降水、回灌等地下水防治措施设计参数和建议方案；
- 4 按需评估降水、回灌对周边环境和区域地下水资源的影响；
- 5 水文地质勘探点平面布置图、剖面构造图；
- 6 水文地质物探、钻探成果图；
- 7 水文地质试验成果图。

4.3.6 专项水文地质勘察尚应符合现行国家标准《供水水文地质勘察规范》GB 50027、行业标准《建筑与市政工程地下水控制技术规范》JGJ 111 的有关规定。

4.4 污染场地勘察

4.4.1 污染场地勘察可结合岩土工程勘察、专项水文地质勘察实施，宜分阶段采用调查、采样与分析、水文地质试验等手段进行。

4.4.2 污染场地勘察应符合下列规定：

- 1 查明场地污染物及其在地下水中分布规律，判别污染羽扩散方向；
- 2 提供满足污染地下水防治设计所需的水文地质参数；
- 3 评价污染物对建筑材料的腐蚀性；
- 4 提出污染场地地下水防治建议方案。

4.4.3 污染场地勘察应采取防护措施防止勘察过程中产生二次污染。

4.4.4 污染场地勘察成果应包括以下内容：

- 1 调查成果及其附图、附表等；
- 2 采样点布点平面图、土壤采样点剖面结构图、地下水采样点剖面结构图；
- 3 土样、水样中污染物分析成果报告；
- 4 污染土和水对建筑材料的腐蚀性评价；

5 污染羽空间分布图；

6 污染土处置和污染地下水防治建议。

4.4.5 污染场地勘察应符合现行国家标准《场地环境调查技术导则》HJ 25.1的有关规定。

5 帷水

5.1 一般规定

5.1.1 帷水适用于建设工程中的止水、防渗、污染场地阻隔等。

5.1.2 帷水措施可分为竖向帷幕、水平帷幕等，竖向帷幕可分为落底式帷幕和悬挂式帷幕。

5.1.3 帷水措施的选型应根据工程地质条件、水文地质条件、场地条件、工程条件、环境保护要求等因素综合确定，竖向帷幕和水平帷幕工艺可按表 5.1.3-1、5.1.3-2 选用。

表 5.1.3-1 竖向帷幕工艺选型表

帷水工艺	帷水类别	适用深度 (m)	渗透系数 (cm/s)
地下连续墙 (混凝土防渗墙)	混凝土	150	$\leq 1 \times 10^{-7}$
咬合桩		50	$\leq 1 \times 10^{-6}$
高防渗复合幕墙 (UAC 工法)	高分子材料 韧性胶凝材料	50	$\leq 1 \times 10^{-8}$
渠式切割水泥土搅拌墙 (TRD 工法)	水泥土 (固化土)	60	$\leq 1 \times 10^{-6}$
铣削深搅水泥土搅拌墙 (CSM 工法)		60	$\leq 1 \times 10^{-6}$
数字化微扰动搅拌桩 (DMP 工法)		50	$\leq 1 \times 10^{-6}$
钢板桩	其他	30	-
冻结法		60	-

表 5.1.3-2 水平帷幕工艺选型表

帷幕工艺	帷幕材料类别	适用深度 (m)	防渗效果 (cm/s)
高压喷射注浆法 (MJS 型/RJP 型)	水泥石 (固化土)	70	$\leq 1 \times 10^{-6}$
数字化超深喷射注浆法 (U-Jet 工法)		100	$\leq 1 \times 10^{-6}$

5.1.4 帷幕可采用单种措施或联合采用多种措施,在平面及深度范围内应保证连续。永久帷幕宜采用地下连续墙、高防渗复合幕墙,并根据使用要求进行全工况条件下的内力、变形和耐久性验算。

5.1.5 当基底下存在连续分布的隔水层且埋深较浅时,宜采用落底式帷幕。当基底以下的含水层厚度较大时,可采用悬挂式帷幕与降水相结合的形式。帷幕的深度和厚度应满足抗渗流稳定性和环境保护的要求。

5.1.6 城市轨道交通、市政管廊等地下工程采用暗挖法施工时,可根据水文地质条件、结合工程经验采用超前小导管法、无收缩双液注浆或其它压力灌浆法构筑截水帷幕。

5.1.7 帷幕施工前应通过现场工艺性试验确定施工工艺及控制参数。

5.2 设计

5.2.1 帷幕设计应包括下列内容:

- 1 选择帷幕措施及施工工艺;
- 2 确定帷幕平面布置、竖向布置;
- 3 进行帷幕设计计算;
- 4 明确帷幕结构设计、构造要求;
- 5 提出技术参数、试验、检测和监测等要求。

5.2.2 帷幕设计计算应符合下列规定:

- 1 应根据工程地质、水文地质条件,选择适宜的理论分析模型和计算方法,进行渗流稳定性分析;
- 2 当存在多层地下水时,应分别采用各层的水头,验算地下水的渗流稳定性;

3 当周边存在重要建（构）筑物或地质条件复杂时，宜采用数值分析方法进行渗流稳定性和沉降计算分析。

5.2.3 悬挂式帷幕的嵌入深度，应满足地下水从帷幕底绕流的渗流稳定性要求，可按现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的方法进行验算，并应对帷幕外地下水位下降引起的周边建（构）筑物、地下管线沉降进行分析。

5.2.4 对于基坑工程，当坑底以下有水头高于坑底的承压含水层时，应进行坑底突涌稳定性验算。抗承压水突涌稳定性可按式 5.2.4 验算；多层承压含水层应分层验算。当不满足突涌稳定性要求时，应对该承压含水层采取帷幕、减压等措施。

$$\frac{P_s}{P_w} = \frac{\sum h_i \times \gamma_{si}}{H \times \gamma_w} \geq F_s \quad (5.2.4)$$

式中： p_s ——承压含水层顶面至建设工程结构底面之间的上覆土压力，(kPa)；

p_w ——初始状态下（未减压降水时）承压水的顶托力（kPa）；

h_i ——承压含水层顶面至基础基底面间各分层土层的厚度（m）；

γ_{si} ——承压含水层顶面至结构底面间各分层土层的重度（kN/m³）；

H ——高于承压含水层顶面的承压水头高度（m）；

γ_w ——水的重度，工程上一般取10kN/m³；

F_s ——抗承压水突涌安全系数，不宜小于1.05。

5.2.5 竖向帷幕不足以隔断承压含水层时，宜采用水平帷幕，厚度不宜小于 4m，封底底面同竖向帷幕底端间距不宜小于 1m（图 5.2.5）。

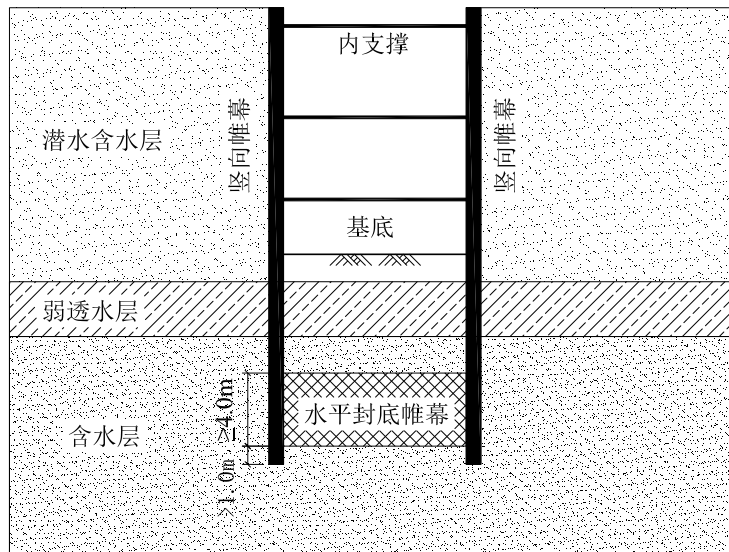


图 5.2.5 水平封底帷幕示意图

5.2.6 水平帷幕的深度与厚度应根据工程地质、水文地质条件，经渗流分析计算确定。

5.2.7 水平帷幕宜与竖向帷幕有效连接，桩体与竖向帷幕的交接尺寸不应小于 500mm。

5.2.8 地下连续墙除应符合现行中国工程建设标准化协会标准《地下连续墙技术规程》T/CECS 1287 的有关规定，尚应符合下列规定：

- 1 地下连续墙墙体和槽段施工接头应满足防渗设计要求；
- 2 位于承压含水层中或基坑内需要减压降水的地下连续墙，宜在墙体外侧接缝处设置帷水防渗构造措施；
- 3 当浅层存在不良土层或环境保护要求较高时，宜进行地下连续墙的槽壁加固，槽壁加固宜选用数字化微扰动搅拌桩等加固措施。

5.2.9 咬合式排桩设计除应符合现行行业标准《咬合式排桩技术标准》JGJ/T 396 的有关规定，尚应符合下列规定：

- 1 咬合式排桩设计前应根据地质、水文条件地下障碍物情况及周边环境特点，选用硬切割或软切割工艺；
- 2 软切割施工先序桩应采用超缓凝混凝土；
- 3 咬合式排桩桩间设计咬合宽度不宜小于 200mm，考虑施工偏差后的桩底最小咬合宽度不应小于 50mm。

5.2.10 高防渗复合幕墙（UAC工法）设计应符合下列规定：

- 1 单幅防渗膜渠段宽度宜为 4m~8m;
- 2 渠段垂直度不应大于 1/300;
- 3 膜体材料宜选用高密度聚乙烯防渗膜体 (HDPE) 或线性低密度聚乙烯膜 (LLDPE), 相关技术要求应符合现行国家标准《土工合成材料 聚乙烯膜体》GB/T17643 的有关规定;
- 4 膜体渗透系数不应大于 $1.0 \times 10^{-11} \text{cm/s}$, 厚度不应小于 1.0mm;
- 5 膜间连接宜采用锁扣结合膨胀止水条的连接措施;
- 6 渠段回填宜采用具有抗裂功能的韧性凝胶材料。

5.2.11 渠式切割水泥土搅拌墙 (TRD工法) 和铣削深搅水泥土搅拌墙 (CSM工法) 设计应符合下列规定:

- 1 渠式切割水泥土搅拌墙的设计施工应符合现行行业标准《渠式切割水泥土连续墙技术规程》JGJ/T 303 的有关规定;
- 2 墙体厚度不宜小于 600mm;
- 3 垂直度偏差不应超过 1/250;
- 4 水泥掺量和水灰比宜根据工程经验或现场试验确定, 且水泥掺量不宜小于 20%, 水灰比宜为 0.8~2.0;
- 5 墙体与其他工艺水泥土搅拌桩水平搭接长度不应小于 500mm, 转角部位两边外伸长度不宜小于 500mm。

5.2.12 数字化微扰动搅拌桩 (DMP工法) 设计应符合下列规定:

- 1 用作竖向帷幕时, 宜选用 DMP- I 型, 直径宜为 850mm、900mm;
- 2 成桩深度不宜大于 50m, 桩身垂直度偏差不应大于 1/250;
- 3 水泥用量和水胶比应根据地层条件、桩身强度要求以及施工工艺确定, 并宜符合现行中国工程建设标准化协会标准《数字化微扰动搅拌桩 (DMP 工法) 技术规程》T/CECS 1533 的有关规定;
- 4 用作水平帷幕时, 相邻幅搭接不宜小于 200mm; 用作竖向帷幕时, 相邻幅应采用套接一孔法施工。

5.2.13 钢板桩设计除应符合现行中国工程建设标准化协会标准《钢板桩支护技术规范》T/CECS 720 的有关规定, 尚应符合下列规定:

1 钢板桩设计应分析锤击或振动成桩对周围环境的不利影响，以及施工结束后钢板桩拔除对周围环境的不利影响，并提出相应的措施；

2 永久性结构中截水钢板桩与永久结构连接节点应满足止水要求；

3 钢板桩墙的平面布置宜平直整齐，宜避免不规则的转角。转角处可采用特制的转角钢板桩或通过切割、焊接等方法加工钢板桩成异形钢板桩进行转角连接，转角桩或定位桩可比其他板桩长 2.0m。

5.2.14 冻结法设计应符合下列规定：

1 冻结法设计应包含冻结壁结构、制冷系统与冻结工艺、冻结孔布置、测温孔布置等内容；

2 竖向冻结的帷幕冻结壁结构与功能设计应与竖井、基坑等围护结构设计相协调，宜布置在竖井或基坑围护结构的外侧，帷幕冻结壁上部起始位置一般应高于静止水位 2m；

3 冻结孔的布置应满足设计冻结壁的厚度和冻结平均温度要求，布置参数应包括冻结孔开孔孔位、开孔间距、顶(倾)角、方位角、孔深、成孔偏斜度等；

4 测温孔应布置在冻结孔间距最大的冻结壁界面处或预计冻结薄弱处，管材宜采用钢管，测温管规格应方便安装测点。

5.2.15 RJP型高压喷射注浆工法和MJS型高压喷射注浆工法设计应符合下列规定：

1 桩身截面可为圆形、半圆形及扇形，当采用扇形截面时其圆心角宜为 $90^{\circ} \sim 270^{\circ}$ ；

2 成桩半径宜为 0.8m~1.5m，且应通过成桩试验确定；

3 孔位偏差不应超过 20mm，垂直度偏差不应超过 1/300；

4 水泥掺量应根据工程水文地质条件及设计要求的桩体强度确定，且不宜小于 40%，水胶比宜为 1.0~1.3。

5.2.16 数字化超深喷射注浆法（U-Jet工法）设计应符合下列规定：

1 桩身截面可为圆形或扇形，最大成桩直径宜根据地质条件和成桩深度综合确定；

2 孔位偏差不应超过 20mm，垂直度偏差不应超过 1/800；

3 水泥掺量应根据工程水文地质条件及设计要求的桩体强度确定，成桩深度不大于 30m 时，水泥掺量不宜低于 35%；成桩深度 30m-50m 时，水泥掺量不宜低于 40%；成桩深度大于 50m 时，水泥掺量不宜低于 50%；水胶比宜为 1.0~1.3；

4 用于水平帷幕时，宜采用梅花型布置，桩身宜采用圆形截面，相邻桩搭接厚度根据成桩深度确定，且不应小于 500mm。

5.2.17 当帷幕作为隧道洞门地层加固时，应满足加固体抗弯、抗剪、抗冲切等强度要求及整体稳定性要求。

5.3 施工与检测

5.3.1 地下连续墙施工应符合下列规定：

1 成槽设备应根据地下连续墙的度、深度和地质条件等因素选择，相邻槽段施工时间间隔不宜小于 24h；

2 成槽前应构筑导墙，宜采用现浇混凝土结构，混凝土强度等级不应低于 C20，厚度不应小于 200mm；

3 现场应设置泥浆池或者泥浆箱，采用液压抓斗成槽机时泥浆的储备应大于每日计划最大成槽方量的 2 倍，采用铣槽机成槽时泥浆的储备量应大于每日计划最大成槽方量的 3 倍；

4 单元槽段长度应根据设计要求综合考虑地质条件、周围环境、机械设备、施工条件等因素进行划分，单元槽段长度宜为 4m~6m。

5.3.2 咬合式排桩施工应符合下列规定：

1 硬切割应采用全套管全回转钻机施工，软切割宜采用全套管钻机施工；

2 咬合式排桩施工前，应在桩顶上部沿咬合式排桩两侧先作钢筋混凝土导墙，导墙应采用现浇钢筋混凝土结构，混凝土强度不应低于 C20；

3 成孔工艺应根据工程特点和地质条件合理选用。成孔应连续施工，成孔完成至浇筑混凝土的间隔时间不宜大于 12h；

4 软切割超缓凝混凝土缓凝时间不应小于 60h；超缓凝混凝土干孔灌注时的坍落度不宜大于 140mm，水下灌注时的坍落度不宜大于 180mm；

5 单桩混凝土灌注应连续施工，混凝土灌注的充盈系数不得小于 1.0。

5.3.3 高防渗复合幕墙（UAC 工法）施工应符合下列规定：

1 导渠开挖深度不宜小于 0.5m，厚度不宜大于 0.8m；

2 成渠设备应根据地层情况、幕墙结构形式及设备性能进行选择成槽机或成槽植膜一体机；

3 植膜接头器应满足下放防渗膜时的强度、刚度和垂直度要求，转角幅应采用角度定位装置，植膜接头器应具有保护膜接头的功能；

4 施工前应进行膜体完整性检测，膜体同接头连接宜采用热熔焊接，每条焊缝应进行气压检测，合格率应为 100%，检测方法应符合现行国家标准《生活垃圾卫生填埋场防渗系统工程技术标准》GB/T51403 的相关规定；

5 膜体植入过程中应预留膜体松弛量，并不应产生褶皱，下膜速度宜控制在 0.5m/min~2.0m/min；

6 植膜设备应具有自动调节下膜速度、测定植膜深度和垂直度、记录及上传施工数据等功能；

7 回填料的拌合可采用现场拌合，也可在拌合站集中拌合，现场拌合设备应具有自动投料、计量重量、按照设计参数供料、记录相关数据等功能；

8 防渗膜两侧宜采用同步压灌法进行固化；

9 渠段内固化用韧性凝胶材料养护时间不宜小于 24h 且填充料不产生塌陷后，方可拔除植膜接头器。

5.3.4 渠式切割水泥土搅拌墙（TRD 工法）施工应符合下列规定：

1 正式施工前，应通过试成墙试验确定不同地层条件下等厚度水泥土搅拌墙设备施工能力、成墙工艺、浆液水胶比、挖掘及成墙推进速度等工艺参数，试成墙长度不宜小于 6m；

2 成墙的施工方法可采用一步施工法、两步施工法和三步施工法，施工方法的选用应综合考虑土质条件、墙体性能、墙体深度和环境保护要求等因素；

3 设备的主机就位应对中并严格按照定位控制线进行施工，平面偏差不应超过 $\pm 20\text{mm}$ ，导杆的垂直度偏差不应大于 1/300；

4 先行挖掘及回撤挖掘过程中稳定液水胶比宜控制在 10~20，切割箱养生过程中稳定液水胶比宜控制在 5~10；

5 施工中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~280mm 之间。混合泥浆流动度在黏性土中施工时应取大值，在砂性土中应取小值；

6 主机需要停机处理时,应将切割箱停放在临时停放区内或将切割箱全部拔出。

5.3.5 铣削深搅水泥土搅拌墙 (CSM 工法) 施工应符合下列规定:

1 正式施工前,应通过试成墙试验确定不同地层条件下等厚度水泥土搅拌墙设备施工能力、成墙工艺、浆液水胶比、挖掘及墙推进速度等工艺参数,试成墙不应少于 3 幅;

2 导杆式钻具桩机的钻杆及桩架桅杆垂直度偏差均不应大 $1/300$;

3 当墙体深度不大于 30m,且无深厚砂层等复杂地层存在时,墙体施工可采用单浆液模式;当墙体深度大于 30m,或进入密实砂层成墙时,应采用双浆液模式;

4 铣轮应匀速钻进,下沉速度不宜大于 600mm/min ,上提速度不宜大于 500mm/min ;

5 墙体的垂直度不应大于 $1/250$,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。

5.3.6 数字化微扰动搅拌桩 (DMP 工法) 施工应符合下列规定:

1 成桩施工时应将参数输入数字化施工控制系统,进行自动化成桩施工;

2 成桩施工时应采用数字化施工控制系统对制浆与供浆、供气、搅拌等进行自动化控制。当数字化施工控制系统出现异常情况报警时,应进行人工辅助处理,待异常情况解除后方可继续进行自动化成桩施工;

3 成桩下沉搅拌时应同时开启喷气口和下喷浆口,至桩底标高时,应采用上下转换喷浆工艺在桩底标高以上 4m 范围内重复搅拌 1 次。重复搅拌完成后从桩底标高开始搅拌提升时,应关闭下喷浆口,并开启上喷浆口。

5.3.7 钢板桩施工应符合下列规定:

1 应符合降低噪声、振动等有关规定,宜采用免共振振动锤沉桩或静压沉桩;

2 当土层松软或桩长较短时,可采用逐根沉桩方法;对于坚硬黏土层、密实砂层和桩长较长的情况,应通过试桩确定逐根沉桩的适用性;

3 组合式钢板桩应采用先沉主桩、后沉辅桩的间隔沉桩法;钢板桩最后闭合处宜采用屏风式沉桩法;

4 钢板桩需要接长时，接头不得多于一个。沿钢板墙轴线方向，各钢板桩接长焊缝位置应交错设置，错开的距离不宜小于 500mm。

5.3.8 冻结法施工应符合下列规定：

1 地层中含有两层及以上地下水，且采用局部冻结法施工时，应按设计要求确定局部冻结的目标地层部位；

2 钻孔施工宜事先配管，多节钻杆之间应保持同心度，钻进过程应复核钻孔偏斜。

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

4 每个冻结孔施工完成后应及时进行测斜。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；

5 每根冻结器安装完成后应进行复压试验。

5.3.9 RJP 型高压喷射注浆工法和 MJS 型高压喷射注浆施工应符合下列规定：

1 排浆沟槽尺寸应根据地质条件、成桩直径和现场情况等确定，沟槽宽度不宜小于 1.0m，深度不宜小于 0.8m；

2 高压泵输出压力不小于 40MPa，流量不小于 90L/min，变动幅度不得大于 5%；

3 钻杆应分节拼装、匀速下放，喷浆管对接时，应检查密封圈是否缺损，每节钻杆连接钻进前应再次校正导向架的垂直度与桩机底盘的平整度；

4 施工宜采用跳桩方式，跳桩间隔宜为 2~3 倍有效桩径，相邻桩施工间隔时间不应小于 24h；无条件跳桩施工时，相邻桩体同一截面施工间隔时间不应小于 24h，水平方向群桩施工时宜由下往上依次进行。

5.3.10 数字化超深喷射注浆法（U-Jet 工法）施工应符合下列规定：

1 设备应具备成桩深度、步进距离、浆液和空气的流量及压力、垂直度等数据的自动采集功能，并能测试成桩直径；

2 高压浆泵的压力不应小于 45MPa，流量不应小于 250L/min，高压水泵的压力不应小于 40MPa，流量不应小于 90L/min，空气压缩机压力不应小于 0.7MPa。

3 预成孔直径不宜小于 220mm，成孔垂直度不大于 1/800。

4 喷射时步进距离宜为 25mm~50mm，每步进距离内旋转次数不应少于 3 次。

5 在卵石层中喷射注浆成桩施工时，当卵石粒径大于 50mm 时，喷嘴宜采用双切削水嘴的布置方式，应根据卵石或漂石粒径大小及成桩直径要求选择喷射角度，在卵石层中桩底位置原位预切削时间不宜少于 5min。

6 对所有的桩体应进行数据采集，并同步传输。

5.3.11 帷幕的施工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》GB 50202 的有关规定，水泥土桩（墙）完整性和强度应采用钻孔取芯结合无侧限抗压强度试验进行检验，宜在成桩 28d 后进行，取芯应按表 5.3.11 的要求确定数量。

表 5.3.11 取芯检验要求

施工工艺	抽检频率
数字化微扰动搅拌桩 (DMP 工法)	抽检数量不应少于总桩数的 2%，且不得少于 3 幅
渠式切割水泥土搅拌墙 (TRD 工法)	每 50 延米取 1 个点，且不应少于 3 个检测点
铣削深搅水泥土搅拌墙 (CSM 工法)	抽检数量不应少于总幅数的 2%，且不得少于 3 幅
高压喷射注浆法（RJP 型、MJS 型、 U-Jet 工法）	竖向帷幕抽检数量不应少于总桩数的 2%，且不得少于 3 幅； 水平帷幕抽检数量不应少于总桩数的 1%，且不得少于 3 幅

6 降水与回灌

6.1 一般规定

6.1.1 建设工程降水应根据工程特点、水文地质条件，选用轻型井点、喷射井点、管井、引渗井和辐射井等方法。

6.1.2 降水影响范围内有重要的建构筑物、管线时，应进行降水沉降影响分析，可采用回灌或帷水措施。

6.1.3 降水与回灌方案应根据场地水文地质条件、施工条件、环境条件和降水需求制定，宜采用数字化和抽灌一体化技术，并应减小对周边环境的不利影响。

6.1.4 降水井、回灌与观测井的设计应符合下列规定：

1 降水与回灌井的数量、平面布置和构造可按现行行业标准《建筑与市政工程地下水控制技术规范》JGJ 111 的有关规定进行计算；

2 疏干井和减压井宜分别设置；

3 隔水层相间或上下渗透性差异明显的多层承压含水层，降水井宜分层设置；

4 降水井、回灌井与观测井宜避开桩、柱、梁、独立基础、地基加固体、周边地下构筑物、地下管线、地下障碍物等；

5 宜采用数值法计算水位，可按分层总和法估算降水引起的环境变形；

6 经抽水试验确定降水参数。

6.1.5 降水井和回灌井的施工应根据场地条件确定成井工艺和施工参数。

6.1.6 降水和回灌，应根据施工需求及监测结果采用动态化管控方法，按需降水、按需回灌。

6.1.7 滨海地区建设工程降水或回灌应防控海水入侵。

6.1.8 降水与回灌的质量验收，应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202 的有关规定。

6.2 设计

6.2.1 降水与回灌设计应包括下列内容：

1 降水与回灌需求分析；

- 2 降水与回灌工艺选型；
- 3 降水与回灌井布置；
- 4 降水与回灌井构造；
- 5 降水与回灌对周边环境的变形影响评估。

6.2.2 降水需求分析应包括下列内容：

- 1 应根据工程特点与水文地质条件等，确定潜在的地下水风险和相应的降水目标含水层；
- 2 应根据潜在的地下水风险提出相应的降水措施及满足工程需求的降水目标；
- 3 应按本规程第 5.2.4 条进行抗承压水突涌稳定性验算，不满足要求时应进行减压降水；
- 4 可根据周边环境保护要求，提出受保护对象处的地下水位降深控制值。

6.2.3 回灌需求应根据工程水文地质条件、目的含水层、保护目标以及环境保护要求等综合确定。

6.2.4 降水工艺应根据工程地质和水文地质条件、降水目的、降水目标以及周边环境条件，参照表 6.2.4 单独或组合选用。上层滞水、潜水含水层中降深小于 2.0m 且出水不连续时，也可采用集水明排。

表 6.2.4 降水工艺选型表

适用条件 降水工艺	渗透系数 (cm/s)	水位降深 (m)	岩土层
轻型井点	$1 \times 10^{-7} \sim 1 \times 10^{-2}$	单级 ≤ 6 多级 ≤ 12	黏性土、粉土、砂土
喷射井点	$1 \times 10^{-7} \sim 1 \times 10^{-2}$	8~20	黏性土、粉土、砂土
管井	$> 10^{-6}$	不限	黏性土、粉土、砂土、碎石土、岩石
引渗井	$> 10^{-4}$	由上下含水层水头确定	粉土、砂土、碎石土
辐射井	$> 10^{-4}$	< 20	黏性土、粉土、砂土

6.2.5 回灌工艺应根据工程地质和水文地质条件、环境条件、回灌需求范围、含水层渗透性和目标含水层埋深，参照表 6.2.5 单独或组合选用。

表 6.2.5 回灌工艺选型表

适用条件 回灌工艺	渗透系数 (cm/s)	目标含水层埋深 (m)	岩土层
回灌砂沟、砂井、砂坑	$> 10^{-4}$	≤ 5	粉土、砂土

管井	$> 10^{-4}$	不限	粉土、砂土、碎石土
----	-------------	----	-----------

6.2.6 疏干管井的布置及构造应符合下列规定：

1 建设工程设置帷幕时，可按帷幕围成的疏干范围除以单井疏干有效面积计算疏干管井数量；根据疏干的主要岩土层性质，单井疏干有效面积宜取 $100\text{m}^2 \sim 300\text{m}^2$ ；疏干范围呈狭长形时，也可按间距 $8.0\text{m} \sim 20.0\text{m}$ 确定疏干管井数量；

2 疏干管井井位宜均匀、交错布设；采用负压-气举疏干降水工艺时，井位宜布置在便于持续抽水的位置；

3 疏干管井深度宜大于疏干目标水位值不小于 5.0m ；

4 疏干井滤管宜分段设置，粉土、砂层中应设置滤管；采用负压-气举疏干降水工艺时，单段滤管长度不宜大于 1.0m ；

5 疏干管井滤料超填高度不宜小于 2.0m ；滤料顶面宜设置密闭层，厚度不宜小于 2.0m ；

6 疏干管井设计管径不宜小于 200mm ，设计孔径应大于管径不少于 300mm ；管材为钢管时，壁厚不应小于 3.0mm 。

6.2.7 疏干观测管井的布置及构造应符合下列规定：

1 疏干地层中应布置观测井；含连续厚度不小于 4.0m 的粉土、砂土层中，观测管井宜单独布置；

2 疏干范围内疏干水位观测管井数量不宜少于疏干管井数量的 10% 且不应少于 1 口，其位置宜设置于疏干管井群中心；

3 疏干范围外可沿工程结构边线或帷幕周边、受保护对象周边或在两者之间布置疏干水位观测管井，间距不宜大于 30m ；宜设置于工程结构边线或帷幕外侧、受保护对象外侧 2.0m 处；

4 疏干水位观测管井构造宜同疏干管井；仅在粉土、砂层中设置滤管时，其滤管长度不宜小于 3.0m 。

6.2.8 减压管井的布置及构造应符合下列规定：

1 建设工程未设置帷幕或帷幕未进入降水目标含水层时，可参照现行行业标准《建筑与市政工程地下水控制技术规范》JGJ 111 的有关规定计算减压管井数量；

2 建设工程采用悬挂式帷幕且未设置水平帷幕时，宜采用数值法计算减压管井数量；

3 建设工程采用落底式帷幕或悬挂式帷幕联合水平帷幕时，可按帷幕围成的减压范围除以单井减压有效面积计算减压管井数量；根据帷幕的工艺以及减压的主要岩土层性质，单井减压有效面积宜取 $300\text{m}^2\sim 1000\text{m}^2$ ；减压范围呈狭长形时，也可按间距 $20.0\text{m}\sim 35.0\text{m}$ 确定减压管井数量；

4 备用减压管井数量不应少于同层减压管井开启最高数量的 20%且不应少于 1 口，井构造应同减压管井一致；

5 减压管井井位应根据建设工程不同部位、不同层位的减压降水目标值布置，且应布置在便于持续抽水的位置；

6 减压管井滤管应布置在减压目标含水层中，滤管长度应满足设计流量及降水深度的要求；

7 建设工程采用悬挂式帷幕时，减压管井深度不宜大于悬挂式帷幕深度；

8 减压管井滤料超填高度不应少于 2.0m ；工程结构边线范围内的减压管井滤料顶面强止水层厚度不应小于 3.0m ；

9 减压管井宜采用黏土球封闭止水，必要时采用井壁注浆止水；

10 减压管井设计管径不宜小于 273mm ，设计流量大于 $100\text{m}^3/\text{h}$ 时管径不宜小于 325mm ，设计孔径应大于管径不少于 350mm ；

11 减压管井管材为钢管时，壁厚不应小于 4.0mm 。

6.2.9 减压观测管井的布置及构造应符合下列规定：

1 帷幕内减压观测管井数量不宜少于同层减压管井开启最高数量的 20%且不应少于 1 口，其位置宜设置于代表性处；

2 帷幕外减压观测管井可沿工程结构边线或帷幕周边、受保护对象周边或在两者之间布置减压水位观测管井，间距宜为 $15\text{m}\sim 50\text{m}$ ，宜设置于工程结构边线或帷幕外侧、受保护对象外侧 2.0m 处；

3 滤管宜布置在减压目标含水层上、中部，长度不宜小于 3.0m ；减压水位观测管井与备用减压管井共用时，减压水位观测管井构造应同备用减压管井；

4 减压观测管井设计管径不宜小于 108mm ，设计孔径应大于管径不少于 200mm ；管材为钢管时，壁厚不应小于 4.0mm 。

6.2.10 建设工程中基坑开挖深度接近或大于承压含水层顶时，宜在基坑帷幕外侧布设应急减压管井，井间距宜不大于 30.0m ，井构造宜与同层减压管井相同。

6.2.11 回灌管井布置应符合下列规定：

1 回灌管井数量应根据回灌目标水位值、单井回灌效果、场地条件等综合确定，备用回灌管井不宜少于同层回灌管井启用数量的 20%且不应少于 1 口；

2 回灌管井应布置于工程结构边线范围外，且宜布设于受保护对象周边，与工程结构边线、受保护对象距离不应小于 2.0m；

3 回灌管井应远离降水井，与降水井最小间距不宜小于 10.0m；

4 回灌管井可按直线或折线形闭合布置，间距应根据回灌试验或采用数值法计算确定，初步设计时可取 8.0m~20.0m。

6.2.12 回灌管井的构造应符合下列规定：

1 回灌管井的滤管宜布置于含水层上中部，长度应根据回灌试验或计算分析确定，无帷幕时不宜短于同层降水井滤管长度；

2 采用悬挂式帷幕且在帷幕内降水时，回灌管井深度不宜超过帷幕深度；

3 回灌管井滤料超填高度不应少于 3.0m；滤料顶面强止水层厚度不应小于 5.0m，加压回灌时强止水层宜设置至孔口；

4 回灌管井管材宜采用钢管，壁厚不应小于 4.0mm，管径不应小于 200mm，孔径不宜小于 650mm；具备条件时，滤管宜采用双层过滤器。

6.2.13 回灌水位观测管井的布置应符合本规程 6.2.9 条的有关规定且与回灌管井距离不应小于 6.0m；回灌水位观测管井与减压水位观测管井或备用回灌管井共用时，其井结构应与减压水位观测管井或备用回灌管井相同。

6.2.14 降水-回灌耦合作用下的水位降深宜采用数值法计算，并应根据计算结果调整降水、回灌的运行方案。应根据选定的降水-回灌运行工况按分层总和法估算环境变形。

6.3 施工与运行

6.3.1 降水井和回灌井的施工应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工规范》GB 51004、《管井技术规范》GB 50296、现行行业标准《建筑与市政工程地下水控制技术规范》JGJ 111 的有关规定。回灌管井的强止水层施工完成后休止期不宜少于 15d。

6.3.2 降水井、回灌井和观测井宜搭设辅助操作安全平台。

6.3.3 降水管井宜采用活塞和空气压缩机交替洗井。

6.3.4 真空降水管井施工应符合下列规定：

- 1 宜采用真空泵抽气集水，深井泵或潜水泵排水，井管应严密封闭，并与真空泵吸气管相连；
- 2 单井出水口与排水总管的连接管路中应设置单向阀；
- 3 对于分段设置过滤器的真空降水管井，应对开挖后暴露的井管、过滤器填砾层等采取有效的封闭措施；
- 4 井管内真空度不宜小于 65kPa，宜在井管与真空泵吸气管的连接位置处安装高灵敏度的真空压力表监测真空度。

6.3.5 降水井施工完成后应进行降水验证试验，降水验证试验应符合下列规定：

- 1 验证目标宜包括：降水井出水量、水位降深、侧壁止水效果等；
- 2 疏干降水验证试验宜结合疏干预降水开展，验证试验时间不宜少于 7d；
- 3 减压降水验证宜结合减压降水工况分阶段开展单井、群井减压试验，每个阶段验证试验时间应满足观测井水位达到稳定的要求；
- 4 降水预期效果应满足设计降水目标要求；无法满足时可采取延长预降水时间、增大降水井流量、增加开启井的数量或增加设计降水井数量等措施。

6.3.6 降水井的运行应符合下列要求：

- 1 根据施工工况的要求按需降水；
- 2 场地最大排水量应大于降水井的抽水量；
- 3 应配置应急电源、备用抽水设备等应急物资。

6.3.7 回灌管井应进行验证试验，并应符合下列规定：

- 1 验证目标包括回灌管井回灌量、回灌水位等；
- 2 验证试验宜先进行降水井降水，后进行回灌井回灌；
- 3 回灌验证试验宜分阶段开展单井、群井回灌试验，每个阶段验证试验时间应满足观测井水位达到稳定的要求；
- 4 具备条件时，应验证不同回灌压力下回灌管井的流量及降水-回灌作用下的观测井水位降深；
- 5 回灌试验应满足设计回灌目标要求；无法满足时可采取增大回灌压力和流量、增加开启回灌管井的数量或增加设计回灌管井数量等措施。

6.3.8 降水运行过程中应对排水系统进行检查和维护，保持排水畅通。

6.3.9 降水运行管理应符合下列规定：

- 1 应采取措施保护降水井、观测井；
- 2 运行过程中应对降水井的流量、水色以及观测井的水位等进行动态监控，发现异常应处理；
- 3 采用负压-气举疏干降水工艺时，应对暴露的滤管进行封闭；
- 4 对于减压降水，宜配置地下水位自动化监测、水位异常自动报警、用电异常自动报警、备用电源自动切换以及备用管井自动运行等数字化装备；
- 5 降水运行应分次终止，剩余运行的降水井应能满足后续施工及结构抗浮稳定的需求。

6.3.10 回灌运行管理应符合下列规定：

- 1 应采取措施保护回灌管井、回灌管路、回灌水质处理装置等；
- 2 回灌水质应满足现行国家标准《地下水质量标准》GB/T 14848 要求，不满足时，经处理满足要求后进行回灌；
- 3 回灌管井距离工程结构边线或帷幕、受保护对象小于 6.0m 时，宜采用自然回灌；具备加压回灌条件时，回灌压力宜为 0.05MPa~0.20MPa；
- 4 回灌过程中应对回灌压力、回灌流量以及地面孔壁渗水情况等进行动态监控，发现异常应及时调整回灌压力或进行回扬；
- 5 回灌过程中应定期进行回扬，回扬时应控制回扬抽水时间和流量，并应启动备用回灌管井；
- 6 降水-回灌宜同步运行，按需回灌，回灌工况与降水工况匹配；宜采用降水-回灌一体化装置和智慧化控制系统。

6.3.11 降水井封井应符合下列规定：

- 1 降水井封井可在降水完成后并满足施工期主体结构抗浮要求后分步实施；
- 2 降水井封井方式应根据降水井类型、流量大小和降水目标含水层性质等综合确定，宜采用灌注混凝土或注入水泥浆封井；
- 3 封井完成后应进行质量检验。

6.3.12 回灌管井封井宜在回灌结束后进行，宜分次灌注混凝土或注入水泥浆封闭，封井完成后应进行质量检验。

7 污染场地地下水防控

7.1 一般规定

7.1.1 竖向隔离屏障可使用开槽-回填法（原位土-水泥-膨润土、水泥-膨润土、原位土-膨润土、地聚物、混凝土、塑性混凝土等）、防渗膜（高防渗复合幕墙、钠基膨润土防水毯等）、搅拌墙（搅拌桩、渠式切割水泥土搅拌墙、铣削深搅水泥土搅拌墙等）等技术。

7.1.2 抽提出的污染水应分类收集、分别处理。设置污染水分级回用目标，实现污水循环利用，减少污水排放量。

7.1.3 污水处理工艺的设计和运行应符合现行国家标准《污水排入城镇下水道水质标准》GB/T 31962 以及国家和地方有关环保法规的有关规定。

7.2 设计

7.2.1 污染场地地下水防控应采用竖向隔离屏障为主，抽提-处理技术为辅的方法。

7.2.2 竖向隔离屏障设计应根据场地勘察与污染状况调查成果、风险管控目标、目标污染物风险控制值、设计使用年限要求、施工条件与场地修复方案等因素综合确定。

7.2.3 竖向隔离屏障设计应包含隔离屏障的平面布置、屏障厚度和入土深度，以及隔离屏障选用的材料和施工工艺。

7.2.4 当目标污染物迁移性强、污染浓度高，或地质条件有利于污染物迁移，以及环境保护要求高时，应提高隔离屏障的设计要求。

7.2.5 隔离屏障的有效厚度应不小于设计厚度。对于开槽-回填法形成的竖向隔离屏障，取隔离屏障最窄处的宽度作为有效厚度；对于深层搅拌法形成的竖向阻隔屏障，取搭接处宽度作为有效厚度。

7.2.6 竖向隔离屏障的布置应符合下列规定：

- 1 屏障可采用单种或多种方法，平面范围内应保证连续；

2 屏障入土深度应根据隔水层分布情况设计并大于最大污染深度，当浅部有良好隔水层分布时，竖向隔离屏障应嵌入渗透系数小于 $1 \times 10^{-6} \text{ m/s}$ 的隔水层不小于1m；

3 当浅部不具备良好的隔水层或隔水层厚度小于2m，可采用悬挂式隔离屏障，屏障深度应根据服役期内污染物迁移至屏障底部的浓度不大于预设击穿标准确定；

4 当遇目标污染物为轻质非水相液体（LNAPLs）时，竖向隔离屏障可优先选用悬挂式屏障；当遇目标污染物为重质非水相液体（DNAPLs）时，竖向隔离屏障宜优先选用封闭式屏障；

5 水动力弥散系数、弥散度和阻滞因子等参数宜通过试验手段获得；

6 屏障渗透系数应不大于 $1 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ 。

7.2.7 隔离屏障材料应对场地污染物具有防腐蚀性能，并应根据现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计标准》GB 50046的腐蚀性等级进行选用，污染物对防渗截污材料的腐蚀性等级不应高于中等。

7.2.8 当竖向隔离屏障采用膨润土材料时，应符合下列规定：

1 膨润土颗粒粒径应小于0.075mm，且颗粒粒径小于0.002mm的质量百分比宜大于等于35%；

2 污染物作用下膨润土的膨胀指数宜大于等于12mL/2g；

3 污染物作用下膨润土的液限宜大于等于200%；

4 优先选用具有良好膨胀性能的钠基膨润土；

5 如选用钙基膨润土，应添加改性剂提高钙基膨润土性能以满足隔离屏障防渗性能需求，改性剂掺量宜为2%~8%；

6 用于沟槽护壁的膨润土泥浆液，马氏黏度宜为38s~45s，滤失量宜小于25mL，密度宜为 $1.01 \text{ g/cm}^3 \sim 1.10 \text{ g/cm}^3$ ，pH值宜为6.5~10；

7 污染物作用下膨润土回填料的渗透系数宜小于等于 $1 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$ ；

8 污染物作用下膨润土回填料不满足防渗需求时，宜对有机污染物添加活性炭、零价铁等材料；对无机污染物添加沸石、聚丙烯酸钠等材料。

7.2.9 竖向隔离屏障材料为地聚物系时，应符合下列规定：

1 地聚物前驱体可采用工业固废高炉矿渣、煤矸石、粉煤灰等，其硅铝氧化

物成分含量宜大于等于 80%;

2 地聚物活性激发剂可选用硅酸钠、氢氧化钠、石灰等, pH 值宜 ≥ 10 ;

3 污染物作用下地聚物回填料的渗透系数宜小于等于 1×10^{-8} cm/s;

4 污染场地地下水位波动较大时, 宜添加膨润土、纳米二氧化硅、氧化镁等进一步提高隔离屏障耐久性能。

7.2.10 当竖向隔离屏障采用膜体材料时, 宜与黏土或膨润土、韧性胶凝材料等组合使用, 并符合下列规定:

1 防渗膜体宜选用具有良好抗拉强度和韧性的高密度聚乙烯防渗膜体(HDPE)或线性低密度聚乙烯膜(LLDPE);

2 相邻两幅膜体之间搭接长度应不小于屏障有效厚度的 1/2, 且不小于 100mm;

3 膜体渗透系数不应大于 1×10^{-11} cm/s。

7.2.11 污染地下水抽提的设计内容应包括抽提井类型、抽提井结构、材料、抽提井布设、抽提设备选型、试验及运行维护要求等。

7.2.12 当采用抽提辅助隔离屏障进行设计时, 抽提井布设应符合下列规定:

1 抽提井的类型和深度应根据场地地质与水文地质条件、修复深度要求、土层渗透系数、污染物种类等因素选择, 具体选择依据可参考本规程第 6 章的相关规定;

2 根据污染场地勘察获得的污染物超标最大深度为污染深度, 修复深度应大于污染深度 1m 以上;

3 抽提井位置的布设应根据地块用电、用水、交通等施工条件确定;

4 抽提井的井位可根据场地的实际情况进行调整, 当井位移动较大时, 应重新进行数值模拟检验, 不能满足要求时, 应调整布置, 直至符合要求;

5 抽提井井群设计时, 应设置备用抽提井。备用抽提井的数量宜按设计总出水量的 10%~20%确定, 且应至少设置一口备用抽提井;

6 系统运行稳定后, 可根据地下水流场和监测的结果来调整抽提井的抽水量, 增加或减少抽提井的数量, 或优化抽提井的位置。

7.2.13 宜根据污染地块的污染羽范围、地下水流速和方向、含水层的厚度、各向异性, 及抽提井布设的数量和位置, 计算抽提捕获区。

1 单井抽提设计时, 假设含水层为等厚、均质、各向同性的稳定流系统, 将抽水井设置在:x-y 坐标系原点 (图 7.2.13), 划分抽水井捕获区与含水层其他区域界限的流线方程式(7.2.13):

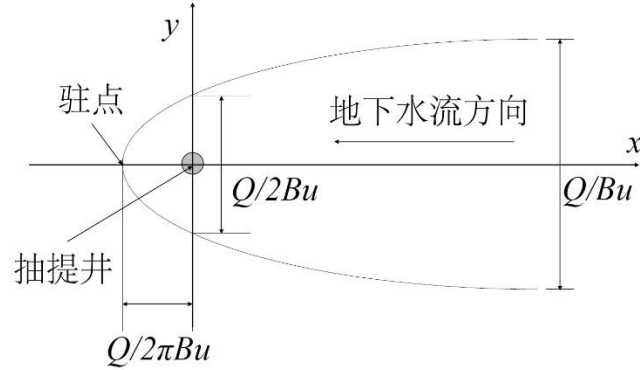


图 7.2.13 单井抽提地下水的捕获区

$$y = \pm \frac{Q}{2Bu} - \frac{Q}{2Bu} \arctan \frac{y}{x} \quad (7.2.13)$$

式中: B ——含水层厚度, 单位为米(m);

Q ——抽水量, 单位为立方米每秒(m^3/s);

u ——渗透流速, $u=Ki$, 单位为米每秒(m/s);

k ——渗透系数, 单位为米每秒(m/s);

i ——水力梯度, 无量纲。

根据流线方程, 确定捕获区的三组 x, y 特征值:

$$\text{驻点 } (x_0, 0) \text{ 坐标: } x_0 = \frac{-Q}{2\pi Bu} = \frac{-Q}{2\pi KBi}$$

$$x=0 \text{ 时, 抽提井两侧流线与抽提井间距离坐标 } (0, y): y = \pm \frac{Q}{4Bu} = \pm \frac{Q}{4KBi}$$

$$x=\infty \text{ 时, } y = \pm \frac{Q}{2Bu} = \pm \frac{Q}{2KBi}$$

$$\text{使用 } x=0 \text{ 时 } y \text{ 值的 } 10 \text{ 倍代表 } x=\infty, \text{ 即 } x = \frac{5Q}{2Bu}$$

可以根据这三组数据共 5 个点来确定捕获区曲线。捕获区示意图见图 7.2.13。

2 群井抽提时, 对于多个抽提井垂直于地下水流向布置时, 所有抽提井应在 y 轴上排成一线且以原点对称分布, 当 n 为奇数时最中心的一眼井应布置在原点上, 群井抽水时捕获区的特征距离见表 7.2.13。

表 7.2.13 群井抽提捕获区的特征距离

抽提井数量	最优井距	井排直线上流线间距	远离抽提井上游的流线间距
1	-	0.5Q/Bu	Q/Bu
2	0.32Q/Bu	Q/Bu	2Q/Bu
3	0.40Q/Bu	1.5Q/Bu	3Q/Bu
4	0.38Q/Bu	2Q/Bu	4Q/Bu

7.2.14 抽提井的数量和间距根据地下水污染场地的污染羽范围、地下水的流速和方向已经确定时，宜按以下步骤确定：

- 1 利用现场抽水试验或根据含水层性质计算来确定地下水抽水量；
- 2 绘制单井抽提捕获区；
- 3 将捕获区曲线与污染羽图件叠加，捕获区曲线地下水流方向与污染羽图中的地下水流方向一致；
- 4 当捕获区能够完全覆盖污染羽范围时，则设置一口抽提井即可，并将捕获区曲线中抽水井位置复制到污染羽图件中；
- 5 当单井抽水捕获区不能够完全覆盖污染羽范围时，则需要两个或多个抽提井，直到捕获区能够完整覆盖地下水污染羽；
- 6 对于复杂工程计算可以采用相应的地下水模型软件，通过计算机模拟分析不同的设计方案，经技术经济比较后确定最佳的抽提井布设位置、数量和抽水量等。

7.2.15 抽提井井管及管路材料应根据污染物种类确定，材质宜为聚乙烯、硬聚乙烯或不锈钢；若场地污染物具有腐蚀性，井管材料应具备抗腐蚀能力或预先进行防腐处理。

7.2.16 抽提井的滤料应符合下列规定：

- 1 抽提井过滤器开孔率不宜小于 20%；
- 2 滤料应选择质地坚硬、密度大、浑圆度好的硅质砾石，不宜选用易溶于盐酸和含铁、锰的砾石以及片状或多棱角碎石；
- 3 滤料应严格筛选，不合格的颗粒含量不应超过 15%；滤料应干净，含泥土、杂质的滤料需用水冲洗干净后方能使用。

7.3 施工与检测

7.3.1 竖向隔离屏障的施工方案应根据设计要求、工程地质与水文地质条件、屏

障材料类别、施工作业条件等因素综合确定。

7.3.2 竖向隔离屏障施工前，应选取具有代表性的场地进行工艺性试验，确定施工工艺参数。

7.3.3 开槽-回填法采用成槽机施工沟槽时，应符合本规程第 5.3 节有关规定，浇筑混凝土、塑性混凝土的施工应符合现行行业标准《现浇塑性混凝土防渗芯墙施工技术规程》JGJ/T 291 的有关规定。

7.3.4 防渗膜及搅拌墙的施工要求，应符合本规程第 5.3 节的有关规定。

7.3.5 抽提系统施工包括抽提井建造、抽提井清洗、抽水试验、地面设备安装与调试。抽提井类型主要包括轻型井点、管径（真空管井）等，抽提井的构造、施工等要求应符合本规程第 6 章的相关要求。

7.3.6 抽提井清洗可选用气提或抽水方法，不得采用化学洗井法。抽水泵主要根据地下水位埋深和出水量等条件进行选择。

7.3.7 抽水试验应符合下列规定：

- 1 根据含水层性质和污染物性质、浓度等设计合适的抽水量。
- 2 根据设计抽水量、稳定水位、降深等因素，选择合适的水泵类型、规格、

放置方式。

7.3.8 设备的安装与调试应严格按照设计要求和抽水试验结果进行，应包括水泵、输水管道、流量计、自动化控制设备等方面。

7.3.9 抽提井抽出废水应根据污染物类型采用颗粒活性炭法、聚合树脂法、生物法、高级氧化法、过滤法、沉淀法、离子交换法等常规水体处理技术进行处理，达到《地下水质量标准》GB/T 14848、《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》HJ 25.6、《污水排入城镇下水道水质标准》GB/T 31962 等的要求后，方可排放到污水厂或者回灌地下等。

7.3.10 抽提结束前，应根据水用途或设计要求采集水样进行检验，并应符合下列规定：

- 1 容器应选用硬质玻璃或聚乙烯瓶；
- 2 容器应洗净，采样时，应用采样水冲洗三次；
- 3 水样应在抽水设备的出水管口处采集，采集数量宜为 2L~3L；污染场地

水样采集量与采集方法应符合污染物检测方法的有关规定；

4 卫生细菌检查用水的水样容器应进行灭菌处理，并应保证水样的采集、运送保存过程不受污染。

7.3.11 隔离屏障运行期间需要定期开展地下水监测，追踪目标污染物浓度变化。监测因子包括地下水水质、水头、水压测试、物理取样和分析、地表水水质、沉降与土应力监测、测斜仪和阻隔墙的移动等，如发现异常，应确认出现异常的原因，并及时对其进行维护。

8 综合利用

8.0.1 地下水防治过程中产生的地下水经处置后可在帷幕、降水和回灌等施工各阶段综合利用；帷幕及降水井施工所产生的废浆和置换土经处置后再利用。

8.0.2 地下水防治的设计和施工应包含地下降排水、废浆和置换土的综合利用内容。

8.0.3 地下降排水综合利用方案的编制应根据场地周边环境条件、工程地质和水文地质条件、施工工艺等因素综合确定。

8.0.4 抽出的地下水用于回灌时，水质应满足现行国家标准《地下水质量标准》GB/T 14848 的有关规定。回灌施工应符合本规程第 6 章的有关规定。

8.0.5 地下降排水综合利用采用过滤方式处理水质时，应符合现行国家标准《污水过滤处理工程技术规范》HJ 2008 的有关规定。

8.0.6 地下降排水可用于工地车辆保洁、除尘降霾、绿化浇灌、环境卫生等。经过净化处理后的地下水可用于工程泥浆拌制、混凝土的养护等。

8.0.7 施工产生的泥浆的处置除应符合现行中国工程标准化协会标准《地下工程施工泥浆技术标准》T/CECS 1384 的有关规定，尚应符合下列规定：

- 1 施工所产生的泥浆宜采取减量化处理；
- 2 对泥浆进行净化处理，提高泥浆循环次数，减少泥浆污染和浪费；
- 3 场地条件差，周边环境要求高的区域，宜配置泥浆固化设备。

8.0.8 施工产生的废浆和置换土，可拌制成流态固化土再利用。

9 监测

9.1 一般规定

9.1.1 建设工程地下水防治监测的内容应包括水位、出水量、含砂量、水质和周边环境等。

9.1.2 监测方案应根据地下水防治工程的设计方案、施工方案、场地工程地质条件及水文地质条件、周边环境条件等综合确定，监测方案应包括以下内容：

- 1 工程概况；
- 2 建设场地地质条件、周边环境条件及工程自身特点；
- 3 监测目的和依据；
- 4 监测对象和项目；
- 5 监测点布置图；
- 6 监测方法及精度要求；
- 7 监测周期及频率；
- 8 监测预警值及预警时处理措施；
- 9 监测信息的采集、处理、反馈等要求。

9.1.3 监测工作应覆盖地下水防治全过程，当监测点失效或被破坏时，应及时补充。当突发风险事件时，应在原有监测工作基础上有针对性的加密加测点、提高监测频率或增加监测项目。

9.1.4 监测信息应及时处理、分析和反馈，当监测数据达到预警值时应加密监测频率，并分析原因，为信息化施工提供依据。

9.1.5 针对监测频次高或需要连续实时监测的项目、环境条件限制无法进行人工监测的项目，宜采用自动化监测。自动化监测仪器设备的精度和量程应满足工程要求。

9.2 地下水监测

9.2.1 地下水监测应包括水位、出水量、回灌压力、含砂量、水质等内容。

9.2.2 水位监测点布置应符合下列规定：

1 水位监测点布置范围应根据地下水防治工程的效果和影响进行综合确定，地下水防治区域内外均应布设水位监测点。

2 当存在对工程有影响的多层潜水、承压水时，应分层布置监测点，且各含水层监测点数量不宜小于 3 个；水位观测孔的滤管及其长度应满足被测含水层的要求，被测含水层与其他含水层之间应采取有效的隔水措施；

3 水位监测点间距宜为 20m~30m，当地下水防治工程对周边环境影响较大时，应在相邻建筑、重要地下管线或管线密集处布置监测点；当采用竖向帷幕进行地下水防治时，监测点应布置在竖向帷幕外侧约 2m 处，竖向帷幕接缝处及缺陷位置应布置监测点；地下水防治区域内的水位监测点宜布置在区域中部和周边拐角等位置；

4 回灌工程水位监测点应布置在回灌井中间或回灌井与被保护对象之间；

5 污染场地水位监测点的布置及要求应符合现行国家标准《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》HJ 25.6、《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》HJ 25.2 的相关规定；

6 水位监测点深度应低于最低设计水位，对于需要降低承压水水头的工程，水位监测点深度应根据设计需要确定。

9.2.3 水位监测宜通过钻孔设置水位观测孔，采用测绳或水位计等方法进行量测，弱透水层中宜采用孔隙水压力计进行监测。

9.2.4 水位监测应符合下列规定：

1 水位监测点应做好保护措施，并设置醒目标识；

2 抽水前静水位观测宜每天一次；

3 抽水初期应对水位监测点进行每天 2 次观测，并应监测降水井内水位；

4 水位达到设计要求且趋于稳定后，可每天观测 1 次；

5 当出现停电、水泵损坏等情况，造成地下水位变化异常，应加密监测频率，预测可能出现的工程问题，并采取有效措施，避免造成工程事故；

6 监测过程中应绘制水位降深曲线，及时分析水位变化的合理性。

9.2.5 出水量可采用流量表、流量槽等方法进行监测，回灌量可采用流量表等方法进行监测。回灌压力可通过安装在回灌井上的回灌压力表进行监测。含砂量监测可采用体积测量法或重量测量法。

9.2.6 符合下列情况之一时，应对地下水水质进行监测：

- 1 地下水防治措施可能对地下水水质产生影响；
- 2 地下水水质对工程建设的材料有不利影响；
- 3 地下水已受污染或邻近污染源且具有潜在污染危险；
- 4 临海降水可能引起海水入侵的工程。

9.2.7 地下水水质监测点布置应符合下列要求：

- 1 水质监测点应与降水井、水位监测点结合使用；
- 2 每个含水层水质监测点的数量应不少于 2 个；
- 3 污染场地地下水水质监测应符合《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》HJ 25.6、《建设场地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》HJ 25.2 的相关规定。

9.2.8 水源区域的水质监测应符合现行国家标准《生活饮用水标准检验方法》GB/T 5750 的相关要求；其他建设场地地下水水质监测项目可按现行国家标准《地下水质量标准》GB/T 14848 执行。

9.2.9 污染场地地下水水质监测项目可根据污染源特征和环境条件综合确定。

9.2.10 地下水回灌可能对地下水水质产生影响时，应对回灌水水质进行监测，监测应符合现行国家标准《地下水质量标准》GB/T 14848 的有关规定。

9.3 周边环境监测

9.3.1 地下水防治工程应对影响范围内的建（构）筑物、地下管线、道路等进行变形监测。

9.3.2 地下水防治工程影响范围之外应布设一等、二等水准控制网，水准控制网由基准点组成，且基准点不宜少于 3 个。基准点应选择稳定、易于保存的位置，并定期复测，确保基准点的可靠性。

9.3.3 沉降监测点间距宜从沉降中心向外由密至疏布设，水位变化较大的地段应加密；当需要评价各土层的沉降变化情况时，应进行土体分层沉降监测。

9.3.4 周边环境变形的监测频率应符合下列要求：

- 1 监测频率应与水位监测和出水量监测协调一致；
- 2 监测项目的累计变化量超过预警值时，应加密监测，并分析原因。

9.3.5 周边环境变形监测数据应及时整理、分析，当出现变形过大、速率过快等异常情况时，应及时反馈，并采取应急措施。

9.3.6 周边环境变形监测尚应符合国家现行标准《建筑基坑工程监测技术标准》GB 50497、《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911 和《建筑变形测量规范》JGJ 8 的相关规定。

9.4 自动化监测

9.4.1 建设工程地下水防治期间，地下水监测符合下列情况之一时，宜采用自动化监测方法：

- 1 监测频率较高或需要连续实时监测的项目；
- 2 人工监测难以实施的项目；
- 3 周边环境风险等级较高的项目；
- 4 其他有特殊要求的项目。

9.4.2 自动化监测方案除符合本规程第 9.1.2 条规定外，尚应明确自动化监测仪器的配备和人工对比测量的方法，人工对比测量频率不宜低于 1 次/月。

9.4.3 自动化监测系统应包括监测设备、数据自动采集系统、数据通信设备、传输网络及软件平台。自动化监测系统应能进行数据异常情况下的自动预警或故障显示。

9.4.4 实施自动化监测的项目宜建立远程视频监控系统，系统可结合地下水防治现场智慧化工地同步建设。远程视频监控相关技术要求应符合现行国家标准《公共安全视频监控联网系统信息传输、交换、控制技术要求》GB/T 28181 的有关规定。

10 风险处置

10.0.1 建设工程地下水防治施工过程中应识别临时性帷幕渗漏水、承压水突涌、进出洞涌水、地面沉降、地下水体污染等风险类型。

10.0.2 地下水防治应根据工程特点、周边环境、地质条件、施工工艺设备、施工经验等因素进行风险评估，选择相应的安全控制、监测预警、应急处理技术，制定专项应急预案并确定应急响应措施。

10.0.3 应建立地下水防治风险管理安全体系，明确风险源，正确识别安全隐患，制定风险应急预案和风险处置方案等。

10.0.4 地下水防治过程中应进行全面监控，确保监测系统的有效运行，并对重点危险部位加强巡查和监测，发现异常情况，应提高监测频率，及时处理。

10.0.5 应遵循动态设计原则，根据监测资料及时进行分析，动态调整参数。

10.0.6 应编制专项应急预案，专项应急预案应包括下列内容：

- 1 工程概况，包含工程所处位置、规模、安全等级及现场勘查及环境调查结果、工程结构形式及相应附图；
- 2 工程地质与水文地质条件，包含地下水对工程施工安全的不利因素分析；
- 3 安全影响性分析，包括地下水对工程本体安全、周边环境安全、施工设备及人员生命财产安全的影响分析；
- 4 各施工阶段与危险源控制相对应的安全技术措施；
- 5 信息施工法实施细则，包含对施工监测成果信息的发布、分析，决策与指挥系统；
- 6 安全控制技术措施、处理预案；
- 7 安全管理措施，包含安全管理组织及人员教育培训等措施；
- 8 对突发事件的应急响应机制，包含信息报告、先期处理、应急启动和应急终止。

10.0.7 施工前应通过组织演练检验和评价应急预案的适用性和可操作性。

10.0.8 应急响应前的抢险准备，应包括下列内容：

- 1 应急响应需要的人员、设备、抢险物资准备；
- 2 增加地下水位监测手段与频次的措施；
- 3 储备截水堵漏的必要器材；

4 清理应急通道。

10.0.9 工程施工中，应针对下列情况启动安全应急响应：

- 1 施工过程出现大量涌水、涌砂时；
- 2 施工过程遭遇大雨或暴雨天气，出现大量积水时；
- 3 降水设备发生突发性停电或设备损坏造成地下水位升高时；
- 4 其他有特殊情况可能影响工程安全的事宜。

10.0.10 工程渗漏水量、地下水位变化超过报警值，或出现基坑、周边建(构)筑、管线失稳破坏征兆时，应立即停止施工作业，撤离人员，待险情排除后方可恢复施工。

10.0.11 基坑外地下水位下降速率过快引起周边建筑物与地下管线沉降速率超过警戒值，可采取下列应急措施：

- 1 调整基坑内抽水速度；
- 2 基坑外采取回灌措施；
- 3 提高周边建筑物与地下管线的监测频率，必要时根据监测结果和保护要求对建筑物及地下管线采取注浆等加固措施。

10.0.12 围护结构渗漏水，可采取下列应急措施：

- 1 采用注浆封堵的方式进行堵漏；
- 2 可在基坑外设置应急降水井；
- 3 渗漏水情况严重时应及时采用先回填或回灌的堵漏处理方式。

10.0.13 建设工程出现流砂、管涌、突涌时，可停止挖土施工，根据情况采取回填、降水法降低水头差、注浆等方式进行处理。

10.0.14 采用降水法处置险情时，宜采取快速成井工艺并应符合下列规定：

- 1 宜采用小型化、自动化装备成井，设备接地比压不应超过发生险情位置地基承载能力；
- 2 宜优先选用回转钻进、跟管钻进等不宜坍孔的成孔工艺；
- 3 宜采用包含滤料及滤网结构的成套装配式井管，具有下放井管即可抽水的功能；
- 4 宜配置扬程匹配的小直径潜水泵。

10.0.15 污染场地地下水防治过程中产生的废弃物应进行检测，经无害化处理，并应符合现行行业标准《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》HJ 25.6 的有关规定。

本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”；

反面词采用“严禁”。

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

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”；

反面词用采用“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

本规程引用下列标准。其中，注明日期的，仅对该日期对应的版本使用本规程；不注明日期的，其最新版适用于本规程。

- 《岩土工程勘察规范》GB 50021
- 《供水水文地质勘察规范》GB 50027
- 《工业建筑防腐蚀设计标准》GB 50046
- 《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202
- 《管井技术规范》GB 50296
- 《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标准》GB 50497
- 《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911
- 《建筑地基基础工程施工规范》GB 51004
- 《生活垃圾卫生填埋场防渗系统工程技术标准》GB/T 51403
- 《生活饮用水标准检验方法》GB/T 5750
- 《地下水质量标准》GB/T 14848
- 《土工合成材料 聚乙烯膜体》GB/T 17643
- 《城市污水再生利用地下水回灌水质》GB/T 19772
- 《公共安全视频监控联网系统信息传输、交换、控制技术要求》GB/T 28181
- 《污水排入城镇下水道水质标准》GB/T 31962
- 《供水水文地质钻探与管井施工操作规程》CJJ/T 13
- 《生活垃圾卫生填埋场岩土工程技术规范》CJJ 176
- 《土壤固化外加剂》CJ/T 486
- 《场地环境调查技术导则》HJ 25.1
- 《建设用土壤污染风险管控和修复监测技术导则》HJ 25.2
- 《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》HJ 25.6
- 《污水过滤处理工程技术规范》HJ 2008
- 《建筑变形测量规范》JGJ 8
- 《建筑与市政工程地下水控制技术规范》JGJ 111
- 《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120

《渠式切割混凝土连续墙技术规程》 JGJ/T 303
《咬合式排桩技术标准》 JGJ/T 396
《钢板桩支护技术规范》 T/CECS 720
《预拌流态固化土填筑技术标准》 T/CECS 1037
《地下连续墙技术规程》 T/CECS 1287
《地下工程施工泥浆技术标准》 T/CECS 1384
《数字化微扰动搅拌桩（DMP 工法）技术规程》 T/CECS 1533

中国工程建设标准化协会标准

建设工程地下水防治技术规程

T/CECS

条文说明

制定说明

《建设工程地下水防治技术规程》制定过程中，编制组对国内外地下水防治相关的帷幕水、降水、抽提和回灌技术进行了调查研究，总结了我国工程建设地下水防治方面的实践经验，同时参考了国外先进技术法规、技术标准，通过试验取得了地下水防治的设计、施工、监测与检测技术参数。

随我国基础设施建设的规模化发展，项目数量激增、体量扩大，涉及地基基础、深基坑等诸多领域的地下水防治需求日益凸显。新型的地下水防治技术，以“帷幕水”为主，降水为辅，全过程信息化监控，通过竖向隔水帷幕、水平向减渗帷幕的综合应用，将地下水控制在有限的建设工程空间范围内，以形成外围阻隔，内部减渗，同时少量降水的立体帷幕体系。规程适用于各类建设工程的地下水防治的设计、施工、监测与检测。

为便于广大技术和管理人员在使用《建设工程地下水防治技术规程》时能正确理解和执行条款规定，《建设工程地下水防治技术规程》编制组按章、节、条顺序编制了《建设工程地下水防治技术规程》的条文说明，对条款规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项等进行了说明。本条文说明不具备与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	49
2 术语和符号	51
2.1 术语	51
3 基本规定	53
4 勘察	54
4.1 一般规定	54
4.2 岩土工程勘察	54
4.3 专项水文地质勘察	55
4.4 污染物场地勘察	56
5 帷幕水	58
5.1 一般规定	58
5.2 设计	61
5.3 施工与检测	66
6 降水与回灌	68
6.1 一般规定	68
6.2 设计	68
6.3 施工与运行	70
7 污染场地地下水防控	71
7.1 一般规定	71
7.2 设计	71
7.3 施工与检测	72
8 综合利用	73
9 监测	75

9.1 一般规定.....	75
9.2 地下水监测.....	75
9.3 周边环境监测.....	76
9.4 自动化监测.....	76
10 风险处置.....	79

1 总则

1.0.1 地下水防治是建设工程的关键施工环节。伴随我国基础设施建设的规模化发展，项目数量激增、体量扩大，涉及地基基础、深基坑等诸多领域的地下水防治需求日益凸显。地下水防治不当常引发工程事故；大量抽排地下水不仅浪费水资源，且因水质问题难以达标排放，易造成水污染；传统的围护结构、降水、回灌一体化设计虽在浅层项目中效果良好，但随着地下工程向超深发展，其帷幕工艺面临施工难度剧增、质量管控困难、回灌易致地下水串层污染等挑战。同时，《地下水管理条例》（国务院令 第 748 号）自 2021 年 12 月 1 日施行，明确规定国家实行地下水取水总量控制制度，传统以降水为主、回灌为辅的方式已难以满足法规要求。

新型地下水防治技术以“帷水”为核心，降水为辅，结合全过程信息化监控，通过竖向帷幕与水平帷幕的综合应用，构建外围阻隔、内部减渗、辅以少量降水的立体帷幕体系，将地下水活动有效控制在工程空间范围内。信息化监控的深度应用，推动了地下水控制由粗放型向精细化管理转变，契合国家地下水保护战略。

地下水防治技术主要有以下优势：

（1）帷水技术高效、低碳。竖向帷幕工艺中，数字化微扰动搅拌桩（DMP 工法）凭借其先进的数字化施工控制系统，显著提升了施工工效，降低了固化剂用量，桩体质量也得到了可靠保障；竖向铺设的高防渗复合幕墙（UAC 工法），通过结合高分子膜与韧性凝胶材料，不仅大幅降低帷幕宽度，还显著提升了抗渗性，同时使施工深度得以大幅加深，塑性凝胶材料有效减少了水泥用量，实现了低碳绿色施工。

（2）水平防渗帷幕大幅降低地下水抽取量。通过布置水平防渗帷幕，大幅度降低承压含水层渗透性，由此形成相对隔水层，改变原有地下水渗透路径，显著降低工程地下水抽取总量。数字化超深喷射注浆（U-Jet 工法）施工深度可达 100m，显著拓展了超深止水的应用场景。

（3）信息化程度高。传统降水、回灌等工艺都属于粗放型管理，投入大量人工完成现场施工、过程运维。不利于地下水精细化控制要求。通过采用地下水防治全过程信息化监控管理系统，不仅对整体地下水防治过程有详细监控，而且响应国家数字化发展政策。

（4）水资源综合利用。地下水是重要的自然资源，通过地下水综合防治技术，完善地下水抽水的速率、方式及处理手段，将抽取的地下水可以综合利用，主要可用于施工期间除饮用水以外的消防用水、降尘、车辆冲洗、厂区绿化、厕所冲洗、结构施工中的混凝土养护、装饰装修施工用水等，不仅可以节约水资源，同时可以降低施工成本。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.5 高防渗复合幕墙（UAC 工法）是采用专用的成渠设备（如 UAC 工法植膜一体机、成槽机）成渠，在渠段内植入高分子聚合物防渗膜（HDPE 膜），并采用具有抗裂功能的韧性凝胶材料（预拌流态固化土结合抗裂纤维）固化渠段，形成的复合墙体。UAC 工法施工组成如图 1 所示。

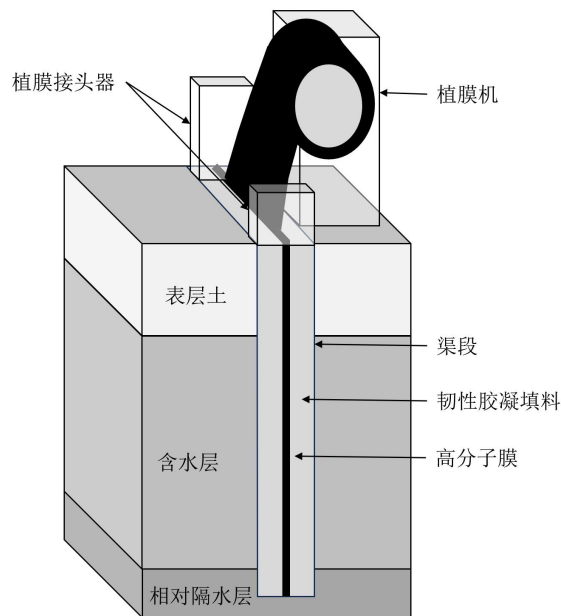


图 1 UAC 工法施工示意图

UAC 工法主要具有以下特点：

（1）抗渗性能优异。UAC 工法形成的复合墙体，中间采用了高分子膜，外侧为韧性凝胶材料，高分子膜的渗透系数远低于常规工艺，能够显著降低复合墙体的渗透性。

（2）抗变形能力强。所形成的复合墙体的核心抗渗部件为柔性材料，能够抵抗较大变形，不会因为变形开裂而发生渗漏。

（3）耐久性高。水泥土形成的帷幕结构，耐久性受到固化材料及土层性质影响较大，而采用高分子材料，能够形成具有较长时间耐久性的帷幕。

（4）数字化程度高。采用数字化施工控制系统能够实现自动化植膜施工，施工过程自动记录施工参数并对关键参数进行监控和报警。

UAC 工法可以广泛应用于水利工程的大坝防渗墙和芯墙、环境工程的竖向隔离屏障、水运工程的港口防渗墙以及基坑工程的截水帷幕。

2.1.6 数字化超深喷射注浆法（U-jet 工法），是采用具有多孔管和前端造成装置专用设备，以同轴高压气体包裹高压水射流预切割土体，以高压泥浆射流二次切割土体，高压空气与硬化材料高度搅拌混合形成加固体的方法，具有数字化施工控制系统，不仅能够采集和展示施工参数，同时还能够实时显示钻头垂直度。此外，创新的桩径检测系统，解决了喷射注浆工艺直径不明的问题。成桩深度可以达到 100m。

U-Jet 工法主机具备在施工过程中测量成桩直径的功能。具体是通过在钻杆前端更换专用的测径装置，然后将钻杆和测径装置下放，到达需要测量直径的标高后，测径探针伸出钻杆，探针头部安装有压力和温度传感器，能够准确分辨浆土混合物和原状土界面，从而得出成桩直径，如图 2 所示。相较于传统的取芯检测，此方法的检测效率和准确性极大提高。在试成桩阶段通过检测桩径，判断试成桩参数的合理性，从而指导后续设计和施工。

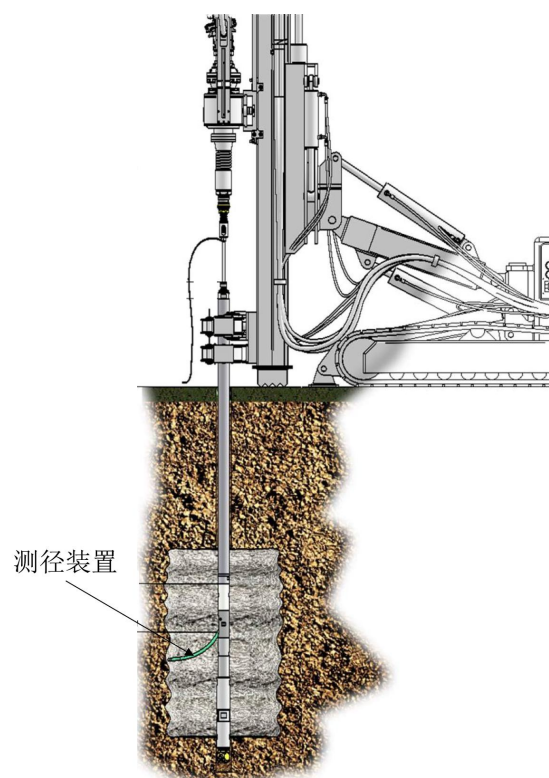


图 2 测径装置示意图

3 基本规定

3.0.1 人类活动特别是工业活动对地下水造成了很大影响，地表水、地下水体受到了污染，已经严重影响人们的饮水安全。地下水防治过程中如果控制不好，会进一步恶化地下水环境，而且地下水的污染几乎是不可逆的，很难修复。因此，地下水防治不应劣化地表及地下水水质。

3.0.2 查明和获取场地及其周围的水文地质条件和水文地质参数等是地下水防治方案合理选择的重要依据。工程建设进行岩土工程勘察成果，有时不能满足地下水防治设计施工要求，尚需要进行补充勘察。

3.0.3 帷幕水、降水、回灌、污染地下水抽提等一体化设计方法指将地下水防治作为一个整体系统进行设计，采用三维数值法进行多类型方案的比选。

3.0.4 规定了污染场地地下水防治必须符合国家行业标准《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》HJ 25.6 的要求。该标准为地下水污染治理提供了详细的技术规范和指导，确保治理过程的科学性、合理性和合规性。

4 勘察

4.1 一般规定

4.1.1 地下水防治工程一般是建设工程中的某一项或几项分项工程，本条与4.2.1条协同强调应当在建设工程岩土工程勘察时同步按本标准4.2节的有关规定进行勘察以满足地下水防治工程设计、施工需求。考虑到实际工作中地下水防治设计、施工也可能会因施工工艺或装备、作业条件或环境条件等进行调整或深化设计，当既有岩土工程勘察成果不能满足地下水防治工程需求时，应当根据需要进行岩土工程补充勘察、专项水文地质勘察或污染场地勘察。

4.1.2 当岩土工程勘察报告能够满足地下水防治方案设计时，特别是水文地质条件简单的工程，可以直接作为设计依据。当水文地质条件复杂、地下水防治对周边环境对象或水资源可能有较大影响，或由于岩土工程勘察阶段工程情况、地质条件和环境条件等还有一些不确定因素时，需要通过专项水文地质勘察来获取更为详细或准确的水文地质条件、分析地下水防治对相关对象的影响。本条明确了需开展专项水文地质勘察的情况。

4.1.3 对潜在污染场地进行调查和风险评估后，确认污染危害超过人体健康或生态环境可接受风险水平的场地称为污染场地，在污染场地进行工程作业前，应开展污染场地勘察，查明并分析场地的工程地质与水文地质条件、场地污染特征，为场地风险评价、风险管控、修复工作提供依据。本标准中的污染场地勘察侧重于查明场地污染物及其在地下水中分布规律，判别污染羽扩散方向，提供满足污染地下水防治设计所需的水文地质参数，评价污染物对建筑材料的腐蚀性，为污染场地地下水防治方案的确定提供依据。

4.1.4 为保证拟建场地内勘探孔和试验孔等不对后期工程建设产生不利影响，现场试验结束后应对勘探孔和不再利用的试验孔进行封孔处理，对于工程主体范围以外的不再利用的试验孔也应进行封孔处理，封闭方法宜为水泥浆填充。对于可利用作为降水井或观测井的试验孔，应做好交接和保护工作。污染场地勘察时，进行及时回填也是为了防止对周围环境造成影响、破坏以及二次污染等问题。

4.2 岩土工程勘察

4.2.2 本条对岩土工程勘察的勘探孔布置提出具体要求。

1 地下水防治设计时首先要根据建设工程的性质确定地下水防治的范围，并根据可能采用的地下水防治措施来布置勘探孔以获得可靠的岩土工程勘察成果。一般来说，设置有帷幕时勘探孔宜布置在帷幕周边、特别是帷幕效果相对薄弱的帷幕转角处布置，可以更为精确地探明帷幕周边的工程地质和水文地质条件，指导帷幕的设计和施工；没有帷幕或帷幕平面范围与工程平面高度重叠时，勘探孔也可以布置在工程周边，探明地下水防治范围边界的工程地质和水文地质条件；采用降水或回灌时，如主体工程的勘探孔布置不足以满足降水或回灌的需求时，也可以在工程平面范围内或回灌涉及的范围内增设一些勘探孔。

2 考虑到建设工程中的基坑工程涉及地下水防治较多，在参考了一些行业和地方标准中安全等级为一级、二级的基坑工程详勘阶段勘探孔间距的基础上，将地下水防治勘探孔间距建议为不宜大于 35.0m，在加密勘探时最小间距建议为不宜小于 10.0m，这样既考虑了一般场地布孔的经济性，也兼顾了一些复杂地质条件下场地精细化勘察的需求。

4.3 专项水文地质勘察

4.3.1 专项水文地质勘察可在进行岩土工程勘察时一并进行，专项水文地质勘察成果在岩土工程勘察报告中单列一章；对于一些特殊的水文地质问题或重要工程也可在岩土工程勘察后，基于岩土工程勘察成果进行专项的水文地质勘察。不管是与岩土工程勘察同步进行或是在岩土工程勘察之后进行，专项水文地质勘察均应充分利用岩土工程勘察资料，避免重复工作。

4.3.2 本条明确了地下水防治专项水文地质勘察应满足的基本要求，同时也是专项水文地质勘察的主要工作目标，即在查明地下水的埋藏条件及补给、径流、排泄条件、水力联系和动态特征等基础上，提供地下水防治设计所需的水文地质参数，以及地下水防治引起地下水位变化时土体变形和地下水资源变化规律，并基于分析提出地下水防治建议。本条也强调勘察工作应从工程需求出发，勘察成果应切实为工程设计和施工服务。

4.3.3 建设工程大多位于城区或城市周边，气候、水文及区域水文地质资料相对较为全面，但对于位于新城或新开发区，以及位于岩溶等水文地质条件复杂区域的工程，可能存在区域资料相对较少，或无法满足新建工程区域复杂水文地质条

件下地下水防治要求的情况。完整水文地质单元的区域相对于工程建设场地来说一般要大很多，当缺乏地区性水文地质资料时，只在工程建设拟建场地范围内进行勘察工作是不够的，但大范围的勘察对于工程建设来讲亦不现实，因此在工程建设场区内进行详细的勘察，而在拟建场区外采取必要的地质测绘、遥感、物探等手段是可行的。

水文地质物探和水文地质钻探是水文地质勘察工作的重要手段，特别是对于较大范围的水文地质勘察，采用物探手段既快速又经济，而对于一些特殊条件，如岩溶地区，物探方法有其不可替代的作用。但由于其应用受场地地形和岩土物性条件等的限制，探测成果往往具有多解性，有时较难得出明确地结论。因此实际应用中一是要采用有效的方法进行综合探测，二是探测成果要与钻探成果互相验证，以期获得最佳效果。

4.3.4 地下水防治开展现场抽水和回灌试验时对环境进行监测的目的主要是用以了解和分析地下水防治对环境的影响或地下水回灌对环境保护的可行性。监测内容一般包括地面沉降、地层变形以及周边建（构）筑物、管线的变形，也可以在地层中布置孔隙水压力计，以了解地层中水位（水头）变化及相互之间有无水力联系。

4.4 污染物场地勘察

4.4.1 污染场地勘察与岩土工程勘察可根据工程建设需要以及场地污染特点有机结合，当明确场地存在污染且污染程度不高时，宜在岩土工程勘察前进行，也可以与岩土工程勘察同时进行。当岩土工程勘察或专项水文地质勘察实施期间发现场地存在污染物时，则可在岩土工程勘察或专项水文地质勘察工作完成后补充进行污染场地专项勘察；若污染程度较为严重时，则应暂停岩土工程勘察或专项水文地质勘察，先行污染场地勘察。

污染场地岩土工程勘察宜分初步勘察与详细勘察两个阶段进行。当已经判定场地存在污染且污染种类明确时，可合并勘察阶段，直接进行详细勘察。初步勘察应包括：进行现场调查，包括场地地质条件、气象及环境资料，分析场地污染的可能性；进行工程地质与水文地质的调查与测绘；初步查明地层结构，地下水类型与动态特征等；初步查明场地污染特征与分布，场地岩土体中污染物种类、浓度，初步判断场地污染途径及污染区域。

详细勘察应包括：查明场地地层结构、地下水类型、补给与排泄条件、流场特征；查明场地污染源特征与分布；查明场地岩土体中污染物类型和浓度，分析污染物运移途径，确定污染范围；确定场地水文地质参数、岩土工程参数及污染物运移参数；分析污染场地治理及土地开发建设相关环境岩土问题,提出风险管控与修复与处理方案的建议。

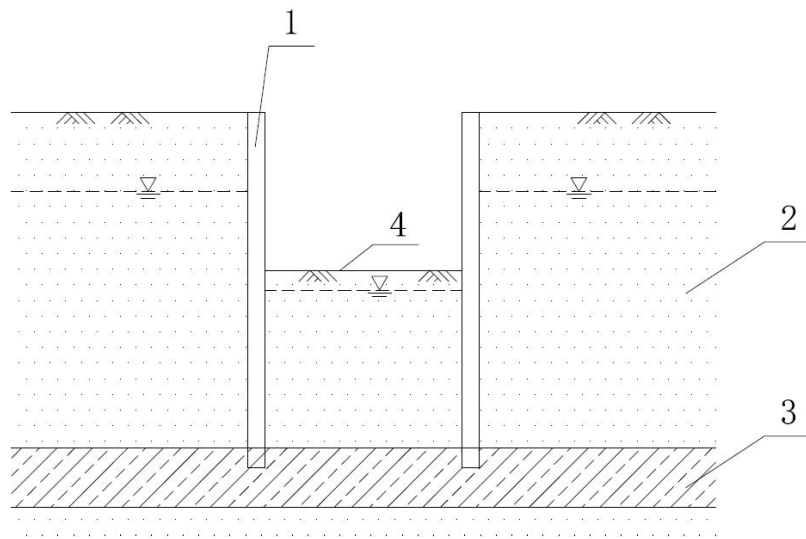
4.4.3 污染场地勘察与常规勘察不同，需要高度重视职业健康安全。进入现场前应先根据收集的环境资料，预判污染场地的污染物种类和污染程度，制定针对性防护措施和应急预案。如对于污染不明的场地应配备基本的安全帽、安全鞋及橡胶手套等个人劳动保护用品；对于有明显异味或刺激性气味的场地，应在配置基本劳保用品的基础上，增加呼吸系统防护、眼睛防护、皮肤防护等措施；对于有强腐蚀性或高毒性污染物的场地应提高防护等级，配置全身性防护服、防化靴等，以确保现场作业人员的人身安全。

污染场地的地下管线、地下储罐等可能存在大量的污染物质，如果不慎破损造成污染物质飞溅与泄漏等，将会造成环境污染事件，并对作业人员的安全与健康造成极大的危害。现场测试前，应查明各类地下管线、地下构筑物的分布及使用情况，防止地下管道及储罐等破损造成环境污染和安全事故发生。进行抽水试验、回灌试验时，也应注意防止污染物扩散。

5 帷水

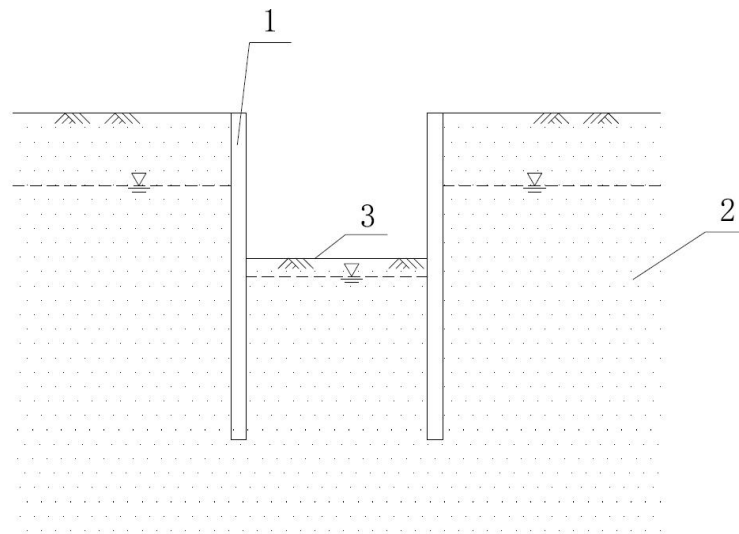
5.1 一般规定

5.1.2 竖向帷幕一般分为落底式帷幕和悬挂式帷幕。落底式帷幕是指帷幕底端穿透含水层并进入下部不透水层一定深度的隔水帷幕，一般用于坑底以下存在连续分布、埋深较浅隔水层的情况，如图 3 所示。悬挂式帷幕是指底端未穿透含水层的隔水帷幕，一般用于坑底以下含水层厚度较大、隔水层不连续或埋深较深的情况，如图 4 所示。



1—竖向帷幕；2—潜水含水层；3—弱透水层（半隔水层）；4—基坑底面

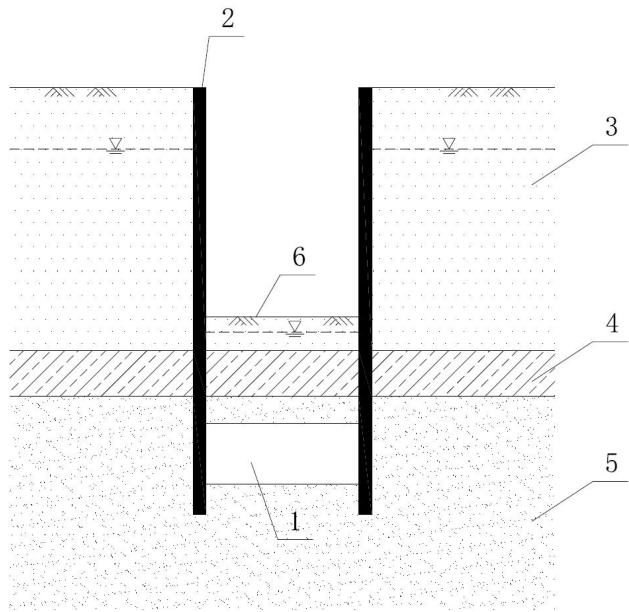
图 3 落底式帷幕示意图



1—竖向帷幕；2—潜水含水层；3—基坑底面

图 4 悬挂式帷幕示意图

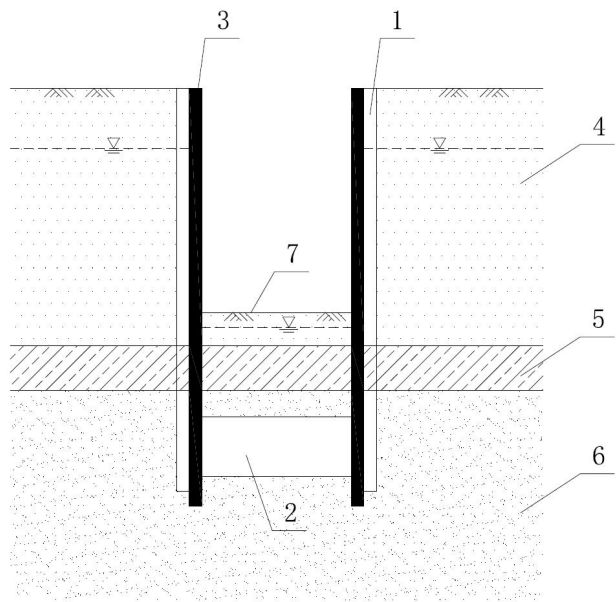
水平帷幕是指基坑底部用作封底处理的水平向帷幕，一般用于基坑底部承压水水头较高的情况，如图 5 所示。



1—水平帷幕；2—围护结构；3—潜水含水层；4—弱透土层（半隔水层）；5—承压含水层；6—基坑底面

图 5 水平帷幕示意图

立体帷幕是指竖向帷幕与水平帷幕相结合的方式，一般用于水头较高，水量充分的情况，如图 6。



1—竖向帷幕；2—水平帷幕；3—围护结构；4—潜水含水层；5—弱透土层（半隔水层）；6—承压含水层；7—基坑底面

图 6 立体帷幕示意图

5.1.3 帷水工艺种类繁多，选型时既要考虑帷水效果，又要因地制宜、就地取材。随着建设工程地下水防治难度日益增大，原有的传统工艺已经无法完全满足建设工程的需求，一些新型的帷水工艺应运而生，如高防渗复合幕墙（UAC 工法）、数字化微扰动搅拌桩（DMP 工法）、数字化超深喷射注浆法（U-Jet 工法）等。上述新型帷水工法已取得了较为充分的成功工程经验，提高了行业的技术水平，为层出不穷的工程难题提供了更多有效的技术手段。

DMP 工法搅拌桩是一种自动化程度高的数字化微扰动搅拌桩工艺，可施工单轴或多轴搅拌桩。施工设备配备大功率变频电机，大大增强了搅拌成桩的能力。设置了多通道异形钻杆，搅拌过程中每根钻杆均能喷射水泥浆液和空气。一方面，气体的介入可以有效减小土体搅拌时的阻力，在多层搅拌叶片的辅助下，可以充分提高土体和水泥浆液的搅拌均匀性。同时，压缩空气可以一定程度上加快水泥土碳酸化反应的进程，加速水泥土强度的增长速度，提高桩身的早期强度。解决了水泥土搅拌桩施工过程中由于浆液分布不均匀以及搅拌不充分而导致的桩身强度存在差异以及强度增长较慢等问题。通过单次下沉和提升即可完成搅拌桩施工，大大缩短了施工周期并节约了成本。

5.1.6 采用矿山法施工时，当围岩自稳能力差或位于富水地层时，通常会辅以注浆加固措施。注浆加固方法可结合水文地质条件，采用超前局部注浆、超前周边注浆、全断面预注浆、开挖后径向注浆等，在开挖工作面前方或开挖轮廓四周形成截水帷幕。

超前小导管注浆一般用于加固工作面前上方的地层，以一定外插角向前打设超前小导管，其详图如图 7 所示。小导管纵向搭接不小于 1m，与钢架配合使用共同形成超前预支护系统，如图 8、图 9 所示。超前小导管采用直径 42mm~50mm 的无缝钢管制作，壁上交错设直径 6mm~8mm 注浆孔，孔间距 20cm~30cm，前端制成锥形，尾部预留不小于 1m 的无孔止浆段。

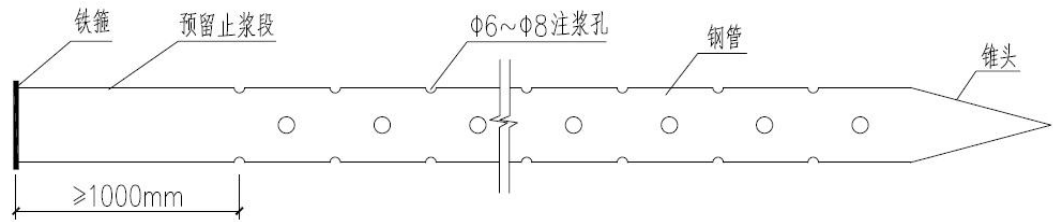


图 7 超前小导管构造图

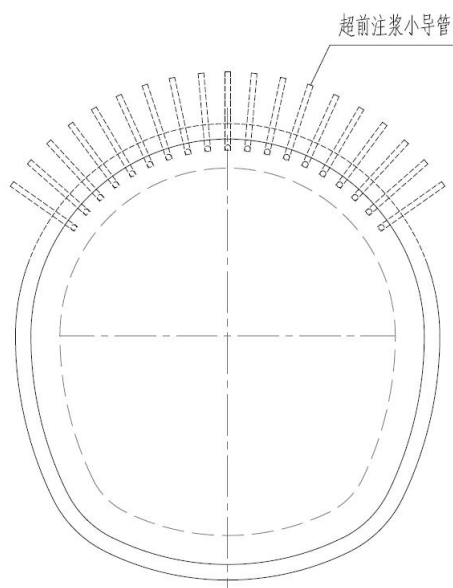


图 8 超前小导管立面布置图

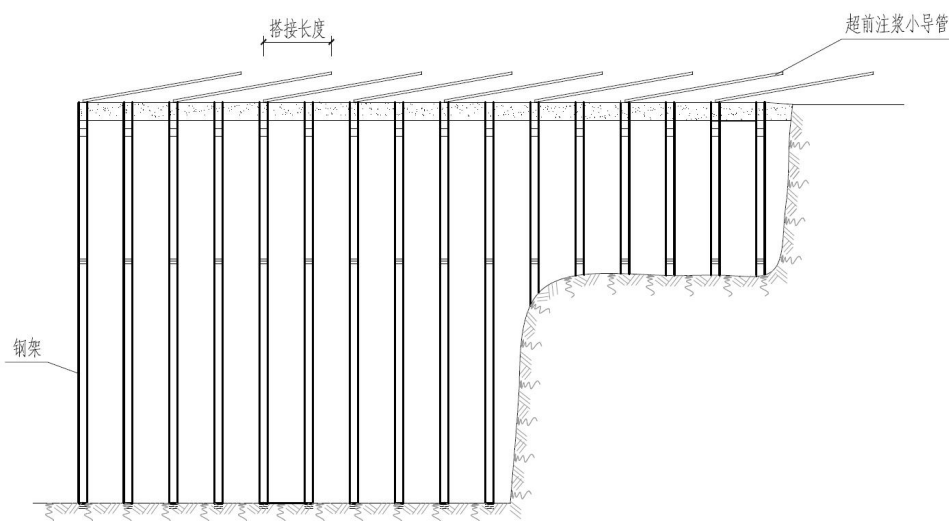


图 9 超前小导管纵向布置图

5.2 设计

5.2.3 悬挂式帷幕在坑底以下的插入深度应满足地下水从帷幕底绕流的渗流稳定性验算的要求，行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 给出了渗流稳定性验算方法，对于非均值含水层宜采用数值方法进行渗流稳定性分析；对于均质含水层，可按式验算：

$$\frac{(2l_d + 0.8D_1)\gamma'}{\Delta h\gamma_w} \geq K \quad (\text{式 1})$$

式中： K 一流土稳定性安全系数；安全等级为一、二、三级的地下水防治工程，应分别不小于 1.6、1.5、1.4；

l_d —帷幕在坑底以下的插入深度(m)；

D_1 —潜水面或承压水含水层顶面至基坑底面的土层厚度（m）；

Δh —帷幕内外的水头差（m）；

γ' —土的浮重度（kN/m³）；

γ_w —水的重度（kN/m³）。

5.2.6 水平帷幕形成封底后，可将封底底面作为承压含水层顶，计算抗突涌稳定性，稳定性不足时，布置降水井降低坑内承压水水位。水平帷幕将大幅度减少坑内降水对周边环境的影响。

5.2.7 采用数字化超深喷射注浆法（U-Jet 工法）等施工工法作为水平帷幕时，桩体与竖向帷幕应有效搭接，如图 10 所示。

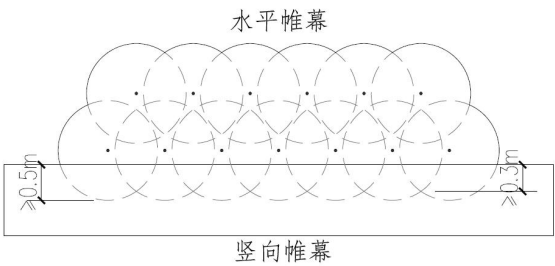


图 10 水平帷幕桩同竖向帷幕搭接示意图

5.2.10 UAC 工法单幅防渗膜渠段长度如图 11 所示。

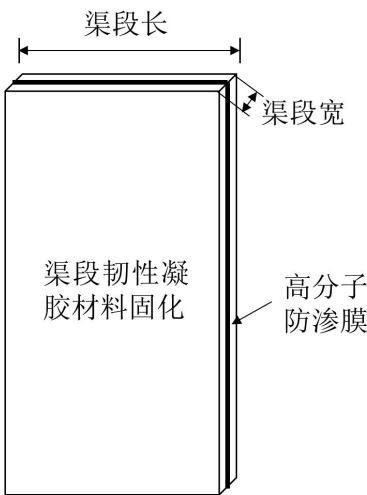


图 11 UAC 工法单幅断面示意图

5.2.16 U-Jet 工法成桩直径宜通过试成桩确定，初步设计时，最大成桩直径可根据地质条件，参考表 1。

表 1 最大成桩直径建议值

土层		最大成桩直径（m）
砂土	黏性土	
$N \leq 15$	$c \leq 15$	8.0
$15 \leq N < 30$	$15 \leq c < 30$	6.0
$30 \leq N < 50$	$30 \leq c < 40$	4.0
$50 \leq N < 70$	$40 \leq c < 50$	3.0

注：1 N 为标准贯入击数（击）， c 为黏聚力（kPa）；

2 本表是基于 30m 成桩深度的经验值，大成桩深度大于 30m 时，宜根据地质条件和成桩深度进行折减。

5.2.17 当洞口段土体不能满足盾构始发和接收对防水、防坍等安全要求时，应采取加固措施。洞口加固厚度应满足抗弯强度计算和防渗漏的要求，并应进行弯曲应力、剪应力和整体稳定性验算。

1) 根据洞口加固区弯曲应力及剪应力验算洞口加固区厚度，如图 12 所示，将加固体视为由工作井壁支撑的厚度为 t 的圆板，板面作用主动土压力，按弹性力学原理验算。

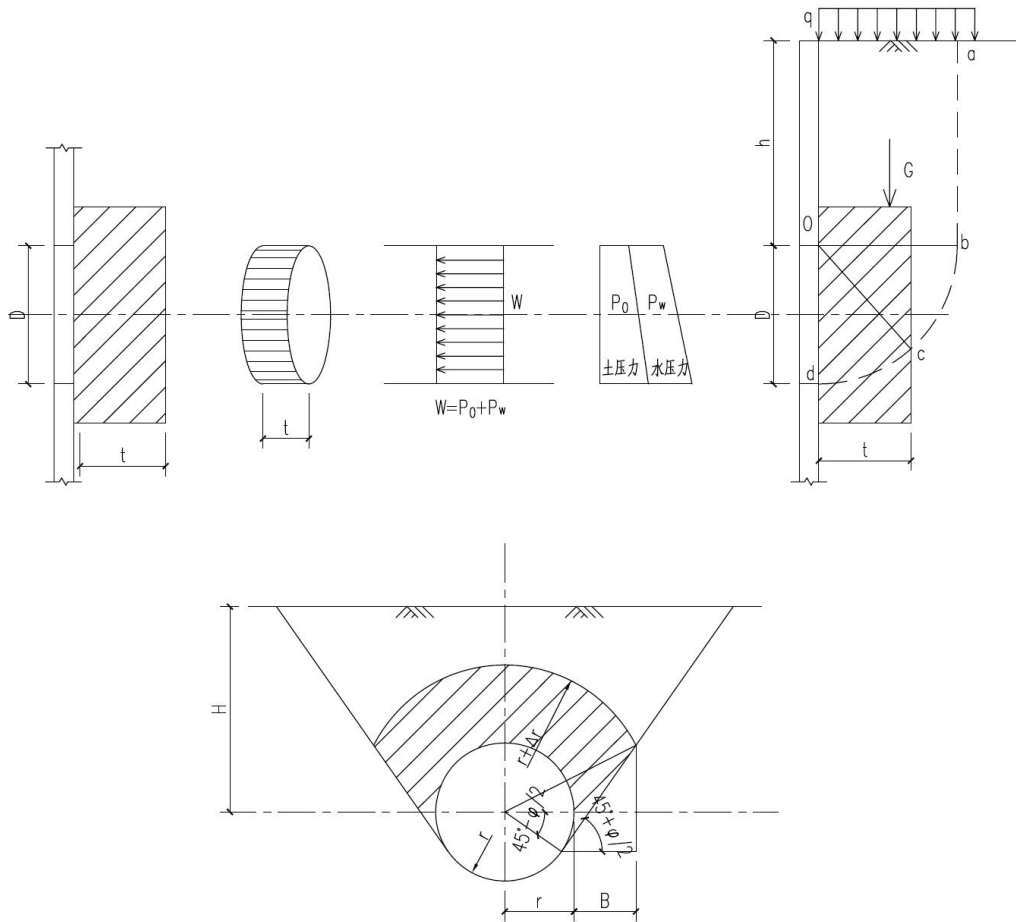


图 12 洞门加固计算简图

(1) 抗弯强度验算

$$\sigma_{\max} = \pm \beta \frac{W \times r^2}{t^2} \leq \frac{\sigma_t}{K_1}, \quad \beta = \frac{3}{8}(3 + \mu) \quad (\text{式 3})$$

式中 r —洞口半径 (m), $r=D/2$;

t —加固土体厚度 (m);

σ_t —加固土体的极限抗拉强度 (kPa), 一般可取其极限抗压强度的 1/10;

K_1 —安全系数, 通常取 1.5;

W —作用于洞中心处的侧向水土压力 (kPa);

μ —加固后土体的泊松比, 通常取 0.2;

$\sigma_{\max}$ —洞中心最大弯曲应力 (kPa)。

(2) 剪力验算公式

$$\tau_{\max} = \frac{3W \times r}{4t} \leq \frac{\tau_c}{K_2} \quad (\text{式 4})$$

式中 K_2 —抗剪安全系数, 通常取 1.5;

τ_c —加固土体的极限抗剪强度 (kPa), 一般可取其极限抗压强度的 1/6;

τ_{max} —洞周处最大剪力 (kPa)。

2) 根据洞口外土体抗滑移整体稳定验算加固区厚度, 进行整体稳定验算公式:

$$K = \frac{\bar{M}}{M} \geq 1.5 \quad (\text{式 5})$$

式中: M —加固土体的下滑力矩, $M=M_1+M_2+M_3$;

$\bar{M}$ —加固土体的抵抗下滑力矩, $\bar{M} = \bar{M}_1 + \bar{M}_2 + \bar{M}_3$;

M_1 —地面堆载引起的下滑力矩, $M_1 = q \cdot D^2/2$;

M_2 —上覆土体自重引起的下滑力矩, $M_2 = \gamma_1 \cdot h \cdot D^2/2$;

M_3 —滑移圆弧线内土体的下滑力矩, $M_3 = \gamma_1 \cdot D^3/3$;

$\bar{M}_1$ —滑移圆弧线洞口上段的抗滑力矩, $\bar{M}_1 = c_u \cdot h \cdot D$;

$\bar{M}_2$ —滑移圆弧线洞口范围内未加固段的抗滑力矩, $\bar{M}_2 = c_u \cdot D^2 \cdot \theta \cdot \pi/2$;

$\bar{M}_3$ —滑移圆弧线洞口范围内加固段的抗滑力矩, $\bar{M}_3 = c_{ut} \cdot \theta \cdot D^2$;

γ_1 —加固后土体的重度 (kN/m³) ;

c_u —加固前土体的内聚力 (kPa) ;

c_{ut} —加固后土体的内聚力 (kPa) ;

θ — $\theta = \sin^{-1}(t/D)$ 。

3) 根据洞口松动塑性圈理论计算顶部及侧向加固区厚度:

$$\ln(r + \Delta r) + \frac{(r + \Delta r)\gamma}{2c} = \frac{H\gamma}{2c} + \ln r \quad (\text{式 6})$$

上部加固高: $H1 = K \times \Delta r$ (式 7)

两侧加固宽: $B = K[(r + \Delta r) \cos \alpha - r]$, $\alpha = \arccos\left(\frac{r}{r + \Delta r}\right) - \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}$ (式 8)

底部加固高: $H2 = B$ (式 9)

式中 H —盾构中心处埋深 (m) ;

Δr —顶部加固体宽度 (m) ;

c —加固土体内聚力 (kPa) ;

φ —加固土体摩擦角 (°) ;

r —土体重度 (kN/m³) ;

K —安全系数, 通常取 1.5。

5.3 施工与检测

5.3.3 高防渗复合幕墙（UAC 工法）的施工流程如图 13 所示。

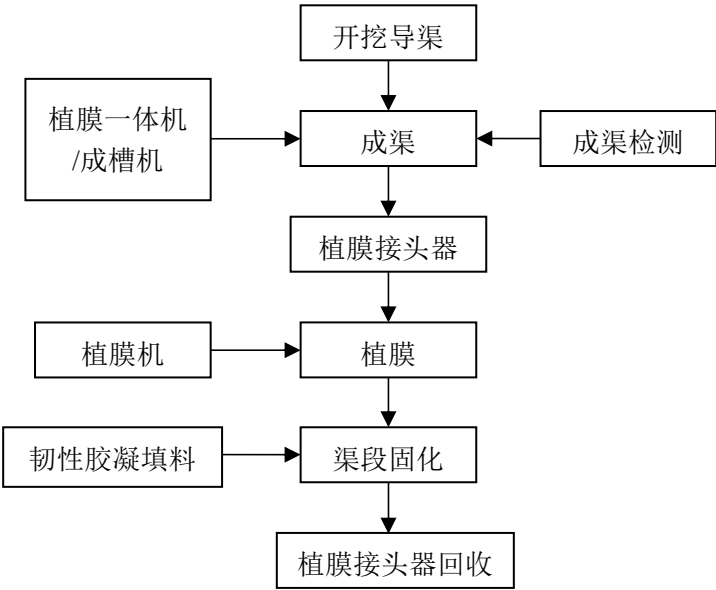


图 13 UAC 工法施工流程

5.3.10 数字化超深喷射注浆（U-Jet 工法）主机应根据成桩直径、方向、施工条件等因素按表 2 选用，低净空主机按表 3 选用。

表 2 数字化超深喷射注浆（U-Jet 工法）钻机设备选型表

额定功率 (kW)	适应方向	长×宽×高 (m×m×m)	设备高度 (m)	适应深度 (m)
119kw	垂直、倾斜	10×2.3×2.7	18	≤150
126kw	垂直、倾斜	10×2.5×3.2	24	≤150

表 3 数字化超深喷射注浆（U-Jet 工法）低净空钻机设备选型表

额定功率 (kW)	适应方向	长×宽×高 (m×m×m)	设备高度 (m)	适应深度 (m)
50	垂直、倾斜	3.00×2.01×2.65	2.65	≤100
110	垂直、倾斜	8.80×2.49×3.45	3.45	≤120

注：垂直施工最小净空由主机高度和钻杆单节长度等因素决定，采用单节长度 1500mm 的钻杆时最小净空为 3.8m，采用单节长度 500mm 的钻杆时最小净空 2.8m。

数字化超深喷射注浆（U-Jet 工法）采用的高压泵，应根据施工参数、施工条件等因素按表 4 选用。

表 4 数字化超深喷射注浆（U-Jet 工法）电动高压泵设备选型表

额定功率(kW)	长×宽×高(m×m×m)	额定压力(MPa)	额定流量(L/min)
320	4.6×2.3×2.3	45	420
400	5.1×2.7×2.4	56	388
460	6.0×2.4×2.6	46	500
580	6.4×2.4×2.6	46	650

数字化超深喷射注浆（U-Jet 工法）采用的辅助高压泵，并应根据施工参数、施工条件等因素按表 5 选用。

表 5 辅助高压泵设备选型表

额定功率(kW)	长×宽×高(m×m×m)	额定压力(MPa)	额定流量(L/min)
320	4.6×2.3×2.3	45	420
373	6.0×2.4×2.6	55	350
400	5.1×2.7×2.4	56	388
440	6.0×2.4×2.6	59	380

钻杆、前端切削装置应根据施工深度、施工条件等因素按表 6 选用。

表 6 钻杆、前端切削装置选型

名称	型号	长度(mm)	直径(mm)
钻杆	I	1000~3000	114
	II	1000~3000	142
前端切削装置	I	3000	114
	II	1500/3000	142

6 降水与回灌

6.1 一般规定

6.1.1 建设工程降水应依据工程特点和水文地质条件, 同时应参考当地技术经济发展水平以及经验选择降水方法。当建设工程规模较大, 在平面上可能跨越不同的水文地质单元时, 宜根据降水或回灌目标含水层、上覆下伏地层组合以及边界条件等进行降水分区。在不同的降水分区采用适宜的方法, 合理控制地下水位以及环境影响。

6.1.2 按照帷幕水条件, 基坑降水可能因为帷幕未隔断降水目标含水层、帷幕透水以及侧壁渗漏等, 在坑外产生水位降深, 导致地层固结, 引发地面沉降、不均匀沉降等, 进而影响到周边的建构筑物, 产生环境影响。在降水设计中应进行降水沉降的分析和计算。在运行中, 应监测降水对坑外水位及周边沉降的影响。回灌是控制基坑降水引发坑外沉降的有效手段之一, 属于以水治水。回灌宜在基坑降水沉降之前应用, 避免产生较大沉降后回灌引发的二次扰动。

6.1.3 回灌宜与降水方案配合使用。回灌时不应影响基坑降水, 基坑降水要尽量减少坑外降深, 配合回灌工作。在具备条件情况下, 宜配合采用数字化监测和抽灌一体化技术, 将坑内抽出的水量, 基于监测回灌到坑外同层地层中。在应用抽灌一体化技术时, 应注意回灌不应劣化原含水层水质, 以避免对地质环境的影响。

6.1.5 优选成井工艺是确保成井质量的基础, 成井工艺应依据相关技术规定, 依据场地工程、水文地质条件, 结合现场调研, 参考当地经验确定。

6.1.6 动态化管控方法宜按照监测反馈数据动态控制抽灌水量, 按照当前开挖工况和降水需求, 按照最小降深动态调控水位, 以减小抽水量, 降低对地下水环境的影响, 同时也实现节能低碳。

6.1.7 在存在海水入侵风险场地, 应计算和分析基坑降水产生水位降深对咸淡水界面移动的影响, 同时针对性制定对策, 防止海水入侵对于淡水体水质的影响。

6.2 设计

6.2.2 降水的需求分析是通过分析地下水的风险类型和目标含水层,来提出受保护对象处的地下水位降深控制值的过程。

1 潜在的地下水风险主要包括基坑疏干不利导致土方含水量高、开挖放坡土方失稳、基坑坑底突涌、基坑侧壁突涌、周边地面沉降、建构筑物变形开裂、管线折断、地面塌陷,以至于通过灾害链演化为城市地质灾害等。降水目标含水层主要指基坑施工中,地下水影响基坑施工及安全,需要通过针对性开挖集水沟槽、集水井、打井、帷幕隔断以及冻结处理的含水层或相对含水层。

2 基坑周边保护对象包括地下管线、各种建构筑物等,在基坑降水实施过程中,各管线及建构筑物的沉降和变形保护校准可按相关规范及主管部门的需求确定,进而可以根据保护标准,反算保护对象处的地下水位降深控制值。需要注意的是,在确定周边环境保护要求时,需要同时考虑基坑开挖和降水的双重影响,避免单纯考虑降水而因基坑开挖影响导致沉降或变形超标。

6.2.2 存在多层承压水时,应按式 5.2.4 分层验算抗承压水突涌稳定性。抗承压水突涌安全系数,可按地方经验取 1.05~1.30。具备足够经验地区,可按 1.05 取值;一般地区,可按 1.10 取值;对于降水经验不足以、工程具有高风险及周边环境有特殊控制要求的,可以按需取值。

6.2.4 在应用井点降水的同时,在土方开挖时,一般配合使用集水井和集水沟辅助排除未彻底疏干的明水。

6.2.6 疏干井是设置于含水层中的一种降水井,其主要工作是让重力水自由排出,将潜水或承压含水层中的重力水疏干。在含水层侧向被完全隔断,可按照疏干面积计算疏干井数。在地层出现含水层和隔水层较薄的互层,或含水层隔水层位置起伏较大时,疏干井滤管可连续设置,保证含水层部分都有滤管。

6.2.7 疏干井效果应用疏干观测井检验。疏干观测井宜采用与疏井相同的结构,必要时,也可作为疏干井投入运行。

6.2.8 采用落底式帷幕时,布设于帷幕内的减压管井仅疏干帷幕隔断范围内的承压水,此时需要按需降水,不宜超降或导致地层完全疏干。

6.2.9 减压水位观测井宜采用小孔径和短滤管,滤管应布设在靠近开挖面的含水层顶部。如不能独立设置减压水位观测井,则可采用减压管井备用井代替,但此时应充分考虑长滤管和三维流效应。

6.2.14 采用数值法进行水位降深预测时,应结合现场试验反演地下水渗流参数,修正计算模型,方可进行地下水位的预测。由于现有沉降计算理论在实际应用时可能存在较大误差,所以,沉降计算结果需要结合场地条件以及相关经验,进行修正计算,使之符合现场实际。

6.3 施工与运行

6.3.7 回灌验证试验可单独开展,也可与降水验证试验联合实施。单独开展时,应明确没有水位降深时水位的抬升效果和有水位降深时水位抬升的效果。

6.3.10 回灌过程中,具备条件时可采用原水回灌,但应保证回灌原水水质不劣于含水层地下水。如果原水水质不符合要求,需要对地下水进行处理,达到要求后,方可用于回灌用水。

7 污染场地地下水防控

7.1 一般规定

7.1.1 竖向隔离屏障属于污染场地的风险管控技术,通常与污染场地修复技术联合使用。竖向隔离屏障实施的各个阶段应充分考虑修复工程进展。抽提-处理技术与竖向隔离屏障联合应用时,应考虑地下水位变化对竖向阻隔屏障的潜在影响。

7.1.2 在地下水污染防控中,抽提-处理技术是一种重要的手段,通常通过抽取含有污染物的地下水并对其进行处理,以去除或降解其中的污染物,从而防止其进一步扩散污染。当场地污染条件复杂时,结合其他技术(如生物修复、化学氧化、渗透反应墙等)可以显著提升防控效果。

7.2 设计

7.2.4 竖向隔离屏障的深度规定参考了行业标准《生活垃圾卫生填埋场岩土工程技术规范》CJ176-2012 中的规定。竖向隔离屏障的渗透系数规定参考了《现浇塑性混凝土防渗芯墙施工技术规范》JGJ/T 291-2012 中的规定。

7.2.7 对于竖向隔离屏障材料选用的防腐蚀性能做原则性规定。污染场地中腐蚀性介质长期作用下对建筑材料造成不同程度的劣化,可包括外观变化、重量变化、强度损失、防渗失效等。国家标准《工业建筑防腐蚀设计标准》GB 50046-2018 中就液态介质对钢筋混凝土、水泥砂浆、混凝土及普通碳钢的腐蚀性等级进行了规定,涉及的腐蚀性介质包括无机酸、有机酸、碱、盐等,同时就固态介质对建筑材料的腐蚀性等级进行了规定。

7.2.6 规定了膨润土作为竖向隔离屏障材料时应满足的物理性质指标。膨润土颗粒粒径直接影响施工过程中膨润土泥浆的分散性以及防渗性能。污染物作用下膨润土的膨胀指数与液限是表征污染物作用下防渗性能的重要物理性质指标。膨胀指数/液限越高,则渗透系数相对越低。

7.2.8 规定了地聚物作为竖向隔离屏障材料时应满足的物理性质指标。前驱体的硅铝氧化物含量以及活性激发剂碱性直接影响地聚物防渗性能。

7.2.10 竖向隔离屏障采用膜体材料的相关规定宜符合现行国家标准《土工合成材料聚乙烯膜体》GB/T 17643 和《土工合成材料应用技术规范》GB/T50290-2014 的相关规定。

7.2.13 规定了抽提井捕获区的计算方法。如果抽提范围内地下水的水位水平没有流动,单口抽提井的捕获区为沿中心向外延伸的一个中心对称区域。当地下水水位存在一定的水力梯度,抽提井的捕获区呈现不对称,往上游无限延伸,随着地下水流速的增加,对于给定抽提速率的抽提井,其捕获区宽度将会减小。

7.2.14 在污染场地地下水防控过程中,合理确定抽提井的数量和布设间距是保障抽提-处理技术有效性的关键。因此在确定抽提井布设方案时,需要综合考虑现场条件,确保抽提井的捕获范围能够完全覆盖污染区域,从而实现有效的污染控制和清除。

7.2.15 抽提井井管和管路材料防腐性要求宜参考《化工设备、管道防腐蚀工程施工及验收规范》HG/T 20229-2017 的相关要求。

7.2.16 规定了抽提井滤料的要求。滤料选择和井管切缝宽度宜考虑污染场地含水层土壤的粒径级配,过滤材料的不均匀系数宜在 1.5~2.0 之间。

7.3 施工与检测

7.3.9 污水排放进入城镇地下水道时应达到现行国家标准《污水排入城镇下水道水质标准》GB/T 31962 中 B 级标准的要求。

7.3.10 规定了抽提水样检验的常规要求,污染场地水样检测应根据具体污染物类别参考与之对应的检测方法标准的要求。

7.3.11 污染场地采用竖向隔离屏障防控地下水时,应长期监测污染场地内土壤、地下水环境质量情况。在所有监测指标中,地下水位是判断竖向隔离屏障防控效果的重要指标之一。

8 综合利用

8.0.1 地下水防治工程更重视在保证工程正常实施的情况下,尽量少地开采地下水量,并尽可能对开采的地下水资源进行综合利用,减少补充性水资源的使用。

8.0.4 地下水串层污染的发生,一般是由于工程施工过程中或施工后对施工钻孔封孔不严或人为沟通了不同含水层而不采取封堵措施造成的,当不同含水层水质存在较大差异时,回灌时应当采取有效防护措施,防止人为导致的上下含水层之间产生直接或间接的水力联系。

2 利用不同含水层中的地下水作为回灌水源时,由于不同含水层中的地下水化学成分不同,易导致回灌井的化学堵塞;并且上层水质一般差于下层水质,抽出的水必须经处理后方可回灌至下层。

4 水质分析项目较多,确定水质分析项目时,可根据工程场区环境条件、污染源特征选取分析项目。一般的地下水防治工程可以选简分析+特殊项目分析,有特殊要求的项目可以根据要求增加全分析中的相关分析内容。

水质分析可分为简分析、全分析和特殊项目分析:

1) 简分析项目包括:钙离子、镁离子、氯离子、硫酸根、重碳酸根、PH 值、游离 CO_2 、总硬度及固形物。

2) 全分析项目包括:色度、气味、透明度、浑浊度、钾离子、钠离子、钙离子、镁离子、三价铁、二价铁、铝离子、氨离子、氯离子、硫酸根离子、重碳酸根、碳酸根、硝酸根、亚硝酸根、氟离子、可溶性 SiO_2 、耗氧量、总硬度、暂时硬度、永久硬度、负硬度、总碱度、酸度、游离 CO_2 、 H_2S 、PH 值、灼烧残渣、灼烧减量及固形物等。

3) 特殊项目分析包括:铅、锌、锰、铜、六价铬、汞、银、镉、钴、砷、硒、氰化物、酚等。

如存在海水入侵的工程可以做简分析,通过氯离子等含量变化确定是否存在海水入侵的情况。

污染场地地下水处理方法分为:物理修复法技术、化学修复法技术、生物修复法技术和复合修复技术方法。物理修复法技术指以物理规律起主导作用的技术,主要包括水动力控制法、流线控制法、屏蔽法、抽取法等。化学修复法技术指使用化学原理来处理地下水污染的技术,主要有有机粘土法和电化学动力修复技术。

生物修复法技术是指利用天然存在的或特别培养的生物（植物、微生物和原生动物）在可调控环境条件下将有毒污染物转化为无毒物质的处理技术，包括天然生物修复技术、原位生物修复技术和抽提地下水系统和回注系统相结合法。复合法修复技术是同时使用了物理法、化学法和生物法中的两种或全部。如渗透性反应屏（Permeable Reactive Barrier）修复技术同时利用了物理吸附、氧化-还原反应、生物降解等几种技术，抽出处理（Pump and Treat）修复技术在处理抽出水时同时使用了物理法、化学法和生物法。

9 监测

9.1 一般规定

9.1.1 凡涉及地下水防治的建设工程均应进行地下水相关监测，监测项目及内容应符合现行行业标准《建筑与市政工程地下水控制技术规范》（JGJ 111-2016）的有关规定。

9.1.2 为正确评价地下水防治效果及影响，提高监测工作的质量，应尽可能详细地了解和搜集有关资料，必要时应进行现场踏勘。

9.1.4 监测信息应确保及时性和准确性。监测单位应建立有效的信息处理和反馈系统，并将监测成果准确、及时地反馈给建设、监理、设计、施工等相关单位。当监测数据达到报警值时，监测单位必须增加观测次数并立即通报建设方及相关单位，建设及相关单位应认真对待监测单位的报警，及时分析原因并采取措施，以避免事故的发生。

9.1.5 自动化监测能够显著提升监测精度、监测频次、监测时效性，并降低监测施工难度，宜优先选用自动化监测。

9.2 地下水监测

9.2.2 降水工程的监测范围一般不小于降水影响半径，当降水影响半径较大、监测工作量较大时，可适当缩小监测范围，但应满足周边环境影响评价的要求。

9.2.3 孔隙水压力计多用于渗透性较差的地层，渗透性较好的地层与水位观测孔效果相同。水位监测有人工监测和自动化监测，自动化监测方便、准确、效率高，应尽可能采用自动化监测方法。

9.2.5 回灌水量和回灌压力异常时，应及时查明原因，并采取有效的处理措施方可继续回灌。

9.2.7 水质监测点应与降水井、水位监测点结合使用，应注意对水质监测点、降水井及水位监测点的保护，防止污染物由降水井和水位监测点处污染地下水。监测点的布设，应考虑污染源的分布和污染物在地下水中的扩散形式，采取点面结合的方法，监测污染物质及其运移规律。监测点的布置应重点考虑易污染的浅层地下水和供水水源地保护区。同时，监测点应沿不同深度多级布置。

9.2.9 地下水水质监测项目应根据场地环境条件、污染源特征及主要水质问题等因素确定：

1 工业污染源：挥发酚、氰化物、六价铬、总铬、砷、汞及其他有毒有害物质；

2 生活污染源：硝酸盐、亚硝酸盐、氨氮、生化需氧量、化学耗氧量、阴离子合成洗涤剂、细菌总数、总大肠菌群及其他有毒有害物质；

3 农业污染源：有机氯、有机磷等，并根据当地施用的其他农药和化肥成分，确定测定项目；

4 热污染源：对来自地下热水的污染，可测定与热水有关的有害微量元素；对来自人为排放热量的热污染，可测定溶解氧，并测量水温；

5 放射性污染源：应测定总 α 放射性及总 β 放射性；

6 对于存在有机物污染的地下水，尚应增加烷烃类、取代苯类、多环芳烃类等有机污染物的监测；

7 污染场地地下水水质监测应符合《污染地块地下水修复和风险管控技术导则》HJ 25.6、《建设用地土壤污染风险管控和修复监测技术导则》HJ 25.2 的相关规定。

9.2.10 地下水回灌时，容易对场地地下水产生污染，应重视回灌过程中的回灌水水质监测。

9.3 周边环境监测

9.3.1 周边环境变形监测的范围应能覆盖地下水防治工程的影响范围，可用于评价地下水防治工作对周边环境的影响。

9.3.5 监测过程中应及时绘制各测点变形监测曲线，分析各测点变形的变化趋势和对周边环境的影响，变形过大、速率过快时应及时报警，并采取应急措施。

9.4 自动化监测

9.4.1 地下水防治工程实施期间，为做好周边环境风险的监控，实时掌握周边岩土体及建（构）筑物的变形数据，对地下水位、建筑物沉降及倾斜等可采用自动化监测方法。

9.4.2 对于止水帷幕未隔断含水层且涌水量大，地下水水位恢复迅速的降水工程，宜采用信息化控制系统，如图 14 所示。以减小人为巡查效率低、涌水隐患事故难以第一时间发现的问题。

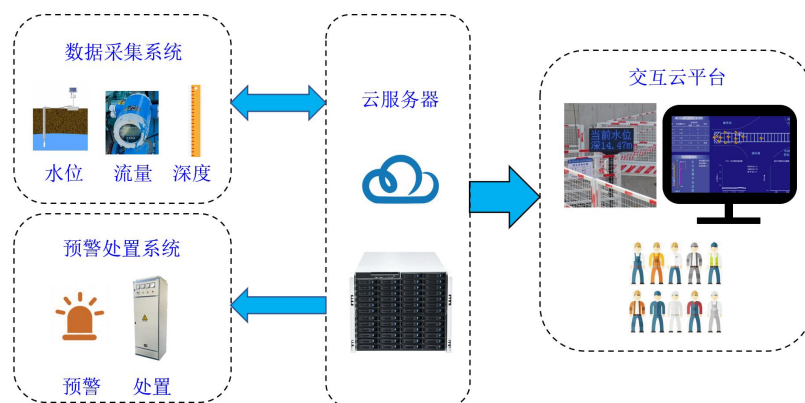


图 14 降水信息化控制系统组成示意图

降水信息化控制系统应包含如下六个子系统：

（1）自动化水位监测监控：应用水位自动化采集传感器在指定的时间间隔内采集各观测井中的水位。

（2）自动化流量监测：应用流量传感器在指定的时间间隔内采集抽水井水流量以及回灌井回灌水量。

（3）水泵自动控制：水泵自动控制系统通过对汇总的水位和流量数据自动计算分析，结合变流量抽水控制装置实现精确“按需降水”运行控制，同时进行备用井启闭管理。

（4）回灌自动控制：结合水泵自动控制系统，当观测井目标水位异常，自动增减回灌幅度。

（5）自动化报警系统：在施工现场声光警示，并通过数据平台远程传输至项目管理人员。

交互云平台如图 15 所示，所有数据可实时更新和同步展示，各个观测井都进行抗突涌稳定性自动计算，列于页面左上角，方便建设方、监理方等参建人员随时随地关注施工进度及降水安全系数变化。

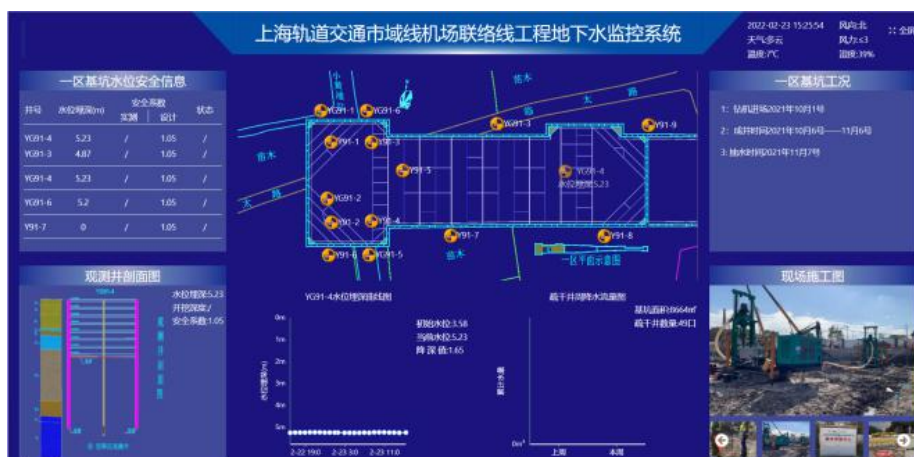


图 15 交互云平台展示页面

9.4.3 自动化监测应由具备相应资质的单位实施，实施前应编制自动化监测专项方案，监测方案除常规监测要求外还应明确传感器的监测原理、自动化监测系统设计、自动化监测数据的发布及预警等内容。

10 风险处置

10.0.5 地下水防治是一个动态管理的过程，应强化动态可控性，根据巡查和监测情况进行动态调整，及时采取防治措施，适时启动应急预案。

10.0.7 本条强调应急演练的重要性，应重点包括水位异常预警演练、断电应急演练、换泵应急演练、备用抽水井启动应急演练等。

10.0.13 当基坑局部出现突涌现象时，应对破坏部位临时回填或用袋装土进行反压，增加上覆荷载，阻止土颗粒随涌水留出，并将减压井和备用减压井全部开启，减压井尚有多余抽水能力时，可通过出水调节阀或调换大流量出水泵增大减压井的抽水量，降低承压水水头。