**陕西省工程建设标准**

**城市轨道交通工程地下水控制技术规程**

Technical regulations for groundwater control in urban rail transit engineering

**（征求意见稿）**

**《城市轨道交通工程地下水控制技术规程》**

**编制组**

**2025年3月**

**前 言**

根据陕西省住房和城乡建设厅、陕西省市场监督管理局《关于下达2023年度工程建设标准立项的通知》（陕建发〔2023〕1050号）的要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考国内外先进标准，立足陕西实际，在广泛征求意见的基础上，编制了本规程。

本规程共分7章和3个附录。主要技术内容是：1.总则；2.术语与符号；3.地下水控制原则；4.勘察；5.降水设计与施工；6.止水设计与施工；7.监测；附录A、B、C。

本规程由陕西省住房和城乡建设厅负责归口管理，陕西省建设标准设计站负责日常管理，由西安市轨道交通集团有限公司和广州地铁设计研究院股份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，请反馈至西安市轨道交通集团有限公司（地址：西安市凤城八路126号，邮编：710018，电话：029-89615668，电子信箱：jszxbzbz@126.com）

本规程主编单位：西安市轨道交通集团有限公司

广州地铁设计研究院股份有限公司

本规程参编单位：陕西工程勘察研究院有限公司

机械工业勘察设计研究院有限公司

广州轨道交通建设监理有限公司

信电综合勘察设计研究院有限公司

 西安黄土地下工程技术咨询有限公司

中铁十八局集团第三工程有限公司

中国建筑第二工程局有限公司

中铁第一勘察设计院集团有限公司

中铁一局集团城市轨道交通工程有限公司

本规程主要起草人员：康 佐 于文龙 杨丽娜 张世杰 周晓燕

高虎艳 邓国华 王 勃 余 海 谭永庆

张继文 王晓飞 权宗国 王 婷 王勇华

高 强 梁西军 杨智国 杨 喜 夏 冬

马明波 魏 琪 程 林 陈能远 张立泉

张逸飞 严周欣荣

本规程主要审查人员：

**目 次**

**[1 总 则](#_Toc183283666)** [1](#_Toc183283666)

**[2 术语及符号](#_Toc183283667)** [2](#_Toc183283667)

[2.1 术语 2](#_Toc183283668)

[2.2 符号 3](#_Toc183283669)

**[3 地下水控制原则](#_Toc183283670)** [5](#_Toc183283670)

[3.1 一般规定 5](#_Toc183283671)

[3.2 地下水控制标准 6](#_Toc183283672)

[3.3 降水影响评估 7](#_Toc183283673)

[3.4 降水周边环境风险评价 9](#_Toc183283674)

**[4 勘察](#_Toc183283675)** [13](#_Toc183283675)

**[5 降水设计与施工](#_Toc183283676)** [17](#_Toc183283676)

[5.1 一般规定 17](#_Toc183283677)

[5.2 降水设计 17](#_Toc183283678)

[5.3 降水施工 24](#_Toc183283679)

[5.4 运行维护 27](#_Toc183283680)

**[6止水设计与施工](#_Toc183283681)** [30](#_Toc183283681)

[6.1一般规定 30](#_Toc183283682)

[6.2止水设计 30](#_Toc183283683)

[6.3 止水施工 37](#_Toc183283684)

[6.4 运行维护 47](#_Toc183283685)

**[7 施工监测](#_Toc183283686)** [49](#_Toc183283686)

[7.1 监测内容 49](#_Toc183283687)

[7.2 监测频率 50](#_Toc183283688)

[7.3 监测预警及应急处置 51](#_Toc183283689)

**[附录A 西安地区各地貌单元渗透系数和影响半径经验值](#_Toc183283690)** [53](#_Toc183283690)

**[附录B 涌水量计算](#_Toc183283691)** [54](#_Toc183283691)

**[附录C  过滤器类型及适用范围](#_Toc183283692)** [60](#_Toc183283692)

**[本标准用词说明](#_Toc183283693)** [61](#_Toc183283693)

**[引用标准名录](#_Toc183283694)** [62](#_Toc183283694)

**Contents**

**1 General provision 1**

**2 Terminology and symbols 2**

2.1 Terminology 2

2.2 Symbol 2

**3 Principles of groundwater control 5**

3.1 General provisions 5

3.2 Groundwater control standards 7

3.3 Precipitation impact assessment 8

3.4 Risk assessment of precipitation surrounding environment 9

**4 Investigation 13**

**5 Dewatering peoject design and construction 17**

5.1 General provisions 17

5.2 Dewatering peoject design 17

5.3 Dewatering peoject construction 27

5.4 Acceptance and operation maintenance 30

**6 Waterproofing peoject design and construction 33**

6.1 General provisions 33

6.2 Waterproofing peoject design 33

6.3 Waterproofing peoject construction and acceptance 41

6.4 Acceptance and operation maintenance 51

**7 Monitoring 53**

7.1 Monitoring content 53

7.2 Monitoring frequency 55

7.3 Monitoring, early warning and emergency response 55

Appendix A Empirical values of permeability coefficients and impact radius for various landform units in Xi'an area 57

Appendix B Calculation of water inflow 58

Appendix C Filter types and scope of application 64

Explanation of wording in this specification 65

List of quoted standards 66

**1 总 则**

**1.0.1** 为在城市轨道交通工程建设工作中贯彻执行国家技术经济政策，做到技术先进、经济合理、保护环境、安全适用，制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用于西安及周边地区城市轨道交通工程建设过程中的地下水控制工程。

**1.0.3** 城市轨道交通工程地下水控制应结合建设场地的岩土工程条件、地下水环境、周边环境条件，在降水影响和风险评价的基础上，确定合理的地下水控制方案，精心组织施工和监测，保障工程和周边环境安全。

**1.0.4** 城市轨道交通工程地下水控制除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

**2 术语及符号**

**2.1 术语**

**2.1.1** 地下水控制 groundwater control

为保证地下工程或基础工程正常施工，控制和减少对工程环境影响而采取的排水、降水、止水和回灌等工程措施的统称。

**2.1.2** 饱和软黄土 saturated soft loess

湿陷性黄土浸水饱和后，大孔隙结构未彻底破坏，形成具有孔隙比大、含水率高、压缩性高、强度低，呈软塑或流塑状态的饱和黄土。本规程饱和软黄土未单独说明时，统一指饱和Q3软黄土和饱和Q2软塑黄土。

【条文说明】

此定义从饱和软黄土的形成机理、工程性质、土的状态及工程实践出发，首次将饱和Q2软塑黄土也归类到饱和软黄土，有助于提升地下工程风险防控水平。大量实践已经表明Q2黄土在无水条件下可以表现出湿陷性，在饱水条件下，可以呈软塑状态。同时在黄土地层中，西安轨道交通绝大多数隧道开挖范围在饱和Q2黄土层中，很少在饱和Q3黄土中；部分饱和Q2黄土具有软塑性质，对工程影响大。两个沉积年代的饱和软黄土性质有不同之处，但都表现出了软弱状态，为此统称为饱和软黄土。

**2.1.3** 降水影响评估 engineering dewater impact assessment

采用定性和定量的方法对降水引起的区域地质环境和周边环境的影响进行评价。

**2.1.4** 工程环境 engineering environment

地下水控制工程影响范围内的既有建构筑物、道路、地下设施、地下管线等基础设施、岩土体及地下水体等的统称。

**2.1.5** 降水周边环境风险 environmental risk around dewater engineering

因采用降水活动引起的自然环境污染、周边区域场地及邻近建（构）筑物的破坏等不利事件或事故发生的概率（频率）及其损失的组合。

**2.1.6** 降水 engineering dewater

排除地表水和降低地下水水位或水头压力，满足建设工程的降水深度和时间要求的工程措施。

**2.1.7** 集水明排 water collection and open drainage measures

用排水沟、集水井、泄水管、输水管等组成的排水系统将地表水、地下水排除的方法。

**2.1.8** 止水帷幕 water-sealing curtain

用以阻隔或减少地下水通过基坑侧壁与坑底流入基坑和控制基坑外地下水位下降的幕墙状竖向截水体，或通过控制隧道周边和掌子面流入隧道范围的截水体。

**2.2 符号**

**2.2.1** 几何参数

A——降水面积；

B——条形降水区域的宽度；

D——降水井与建构筑物的最近距离；

d——滤水管外径；

H——潜水含水层厚度；

h——动水位至含水层底板的距离；

L——条形降水区域的长度；

$l$——过滤器进水部分长度；

R——降水影响半径；

r0——降水工程等效半径；

rs——过滤器半径；

r1，r2，……，rn——各井距降水区域中心或各井中心处的距离；

S——设计水位降深；

M——承压含水层厚度；

Hw——降水井的深度；

$∆ℎ\_{i}$——第 i 层土的厚度。

**2.2.2** 设计参数和计算系数

$a\_{0}$——第i层土中点至初始地下水位的垂直距离(m)；

$E\_{si}$——按实际应力段确定的第i层土的压缩模量(kPa)；

e——土的孔隙比；

*IL*——土的液性指数；

$k$——含水层渗透系数(m/d)；

$n\_{e}$——滤水管的有效孔隙率；

*Q*——降水工程涌水量(m3/d)；

*q*——单井出水量(m3/d)；

$q\_{max}$——真空井管最大允许出水量(m3/d)；

$q\_{0}$——管井单井出水能力(m3/d)；

$V$——排水沟的排水能力(m3/d)；

$v$——滤水管进水流速(m/s)；

$γ\_{w}$——水的重度(kN/m3)；

$∆σ\_{zi}$——降水引起的地面第i土层中心点处的有效应力增量(kPa)；

λ——调整系数；

$ψ\_{w}$——沉降计算经验系数。

**3 地下水控制原则**

**3.1 一般规定**

**3.1.1** 城市轨道交通工程地下水控制应因地制宜，选择合理的方法，有效控制工程和周边环境安全，减少地下水的抽排量，不应破坏地下水环境或对地下水水质造成影响。地下水控制方法应符合国家和地方法规对地下水资源、区域环境的保护要求。

**3.1.2** 城市轨道交通工程地下水控制方法应结合场地的工程地质和水文地质条件、工程特征及周边环境等，在降水影响评估和周边环境风险评价的基础上综合确定。可采用单一的方式，也可采用降、排、堵等多种地下水控制方法。

【条文说明】

降水影响评估针对区域地质环境、地下水环境、周边环境从宏观上进行分析，为地下水控制方式的选择和制定提供宏观依据，指导轨道交通工程的地下水控制设计和施工。周边环境风险评价针对周边的重要建筑物、管线、道路等进行风险等级划分，为选择地下水控制方法提供依据。降水影响评估和周边环境风险评价宜在初步设计阶段开展。

**3.1.3** 城市轨道交通工程降水宜分片、分时段进行。

【条文说明】

为防止水位大面积下降对地下水环境和周边环境造成影响，城市轨道交通工程降水在平面内要分片区、分批次进行。同一片区、同一批次的降水工程要分阶段进行，各降水工点影响半径不要重叠。

**3.1.4** 下列情况不宜采取降水方式控制地下水：

**1** 地下水管理和保护有明确规定的地段；

**2** 周边环境有特殊限制的；

**3** 厚层饱和软黄土，且周边环境复杂的；

**4** 与周边大型地表水体存在水力联系的；

**5** 大厚度砂层、砂卵石含水层且降深较大的。

【条文说明】

厚层饱和软黄土一般指厚度大于10m的区段，经验表明，厚层饱和软黄土降水引起地面沉降较大，邻近建构筑物安全风险大；大厚度砂层、砂卵石地层一般指厚度大于15m的区域段。砂层或砂卵石层降水深度大于15m，需从投资、安全等方面综合比选地下水控制措施。

**3.1.5** 地裂缝场地地下水控制时，应核查地裂缝两侧水位高差和地层差异，有针对性地制定地下水控制措施。

【条文说明】

地裂缝错断原始地层，地下水渗流路径可能发生突变。勘察表明：部分地裂缝上、下盘水位和土性存在较大的差异。为此，本条特别强调了地裂缝场地地下水控制时，要防控因地下水渗流路径变化而引起的涌水、塌方或地面塌陷等工程风险。

**3.1.6** 降水时局部无法彻底疏干的渗出面流水，可采取局部降水、有组织排水或注浆止水、深浅井结合等辅助措施控制地下水，应避免关键受力部位浸泡和土颗粒流失，保证作业面稳定。

【条文说明】

降水时无法彻底疏干的渗出面流水，多存在于填土与原状土界面、砂土界面及古土壤的钙质结核层底界，需要增加辅助措施控制地下水。对于无法疏干的部分，开挖土体液性指数不宜大于0.5，且不能出现土颗粒流失。

**3.1.7** 抽排出的地下水经处理后宜综合利用；地下水排放应符合城市地表水排放标准，可排入城市雨水管网或河湖，不应排入城市污水管道。

【条文说明】

工程实施中，抽取的地下水可用于施工期间的消防、降尘、车辆冲洗、施工区域绿化、路面、厕所冲洗、结构施工中的混凝土养护等，节约了水资源，同时降低了施工成本。

**3.1.8** 采用止水方式控制地下水时，止水材料应采用低污染，无毒性的材料，优先选用无机材料。

**3.2 地下水控制标准**

**3.2.1** 地下水控制应满足工程施工和周边环境安全的要求。

**3.2.2** 当采用降水时，地下水位应降至基底或作业面以下，对于粘性土不宜小于1.0m，砂类土、碎石土不宜小于0.5m；对于黏性土，开挖前疏干时间不宜少于7天～20天。

【条文说明】

渗透系数小的土体，提前降水时间需要延长。疏干时间从降水达到设计要求起算，对于可塑状态的土，不少于7天；对于软塑土或有渗出面的地层，不少于20天。

**3.2.3** 止水控制标准应符合下列规定：

**1** 宜与支护结构综合考虑，满足安全性和适用性要求；满足开挖面渗流稳定性要求和止水帷幕的自防渗要求，且止水系统应封闭；

**2** 满足基坑作业面无水条件；

**3** 加固体应连续、均匀，渗透系数不大于1.0×10-6cm/s。

**3.2.4** 周边环境控制标准应符合下列规定：

**1** 地下管线、道路沉降及差异沉降可按《城市轨道交通工程监测技术规范》GB50911相关要求执行。产权部门有特殊要求的应通过安全评估确定。

**2** 建构筑物沉降及差异沉降值可按《建筑地基基础设计规范》GB50007相关要求执行。

**3.3 降水影响评估**

**3.3.1** 城市轨道交通工程降水影响评估前应搜集以下资料：

**1** 气象、区域地质构造、地面沉降、地裂缝活动等资料；

**2** 城市供水方式、水源地开采情况、地表水体及其与地下水的水力联系等；

**3** 工程概况及工程地质和水文地质资料；

**4** 周边环境资料；

**5** 邻近同类地质条件下轨道交通工程的地下水控制经验或场地周边的其他地下水控制经验。

【条文说明】

连续InSAR的影像可研判区域地面沉降的变化趋势，时间跨度越长，趋势分析越明朗，但考虑到收集资料的难度，建议资料时长5年至10年；长期水准测量成果是对区域地面沉降的进一步印证，但考虑到收集资料的难度，建议2年以上。

工程概况包括线路的总体布局、初步设计概况、工程筹划、工点概况等。工点概况主要包括车站基坑开挖及支护方案、基础埋深、地面高程；暗挖段支护方式及长度；各工点地下水控制深度、初步勘察资料等。

周边环境主要指降水影响范围内的环境因素。搜集资料内容包括重要建（构）筑物、重要管线、道路等，建构筑物的结构型式、建筑高度、基础埋深、地基处理方式等，地下管线的分布、埋深、埋设方式、使用状态等。地下水控制经验包括降水井的布置、降水深度、降水时间、降水效果、水位恢复时间、地面沉降等。

**3.3.2** 降水影响评估应对轨道线路工点降水方式进行分析研究，预估全线涌水量，预测和评价对区域地质环境和周边环境的影响程度。

**3.3.3** 全线涌水量估算应在各辅助工程、车站、区间及附属工程等工点涌水量估算的基础上，根据工程筹划估算最大涌水量和日常涌水量，并提出地下水控制措施和综合利用的建议。

【条文说明】

全线涌水量估算时应结合全线工程总体筹划，预测在施工高峰期全线多数工点同时降水，按照最不利状态估算的最大涌水量和日常涌水量，并提供全线涌水量自开工之日起随时间变化的直方图。

**3.3.4** 区域地质环境影响评估宜采用定性评估的方法，应分析工程降水可能对区域地面沉降、地裂缝、地下水环境等产生的影响，提出控制措施和建议。

1 地面沉降影响评估应通过地下水开采情况和地面沉降的综合分析，结合区域水文地质单元特征、全线涌水量等对沿线可能产生的地面沉降进行评估。

2 地裂缝影响评估应在调查地裂缝活动特征的基础上，预测工程沿线降水对地裂缝活动性的可能性。

3 地下水环境影响评估应通过模型计算预估沿线工程降水影响范围，结合工程类比评估水位恢复程度，预测工程降水对潜水循环系统的影响。

【条文说明】

研究表明：在过量开采承压水的情况下，含水砂层被挤压，孔隙度减少，排出含水层中的部分水量而产生压密；同时，承压水位的大幅度下降，也使砂层和黏性土层原有的水力平衡被破坏，黏性土层中的孔隙水压力逐渐降低，随着孔隙水的排出，一部分原来由孔隙水承担的上覆荷载转移到黏土颗粒的骨架上，黏土骨架承受的有效应力增加，使土层原有的结构被破坏，并重新组合排列造成土层压密，这种黏性土层的释水压密特征与含水砂层不同，是不可逆变形，是产生地面沉降的最主要原因。

西安地面沉降速率加快与自备井的迅速增加承压水位大幅度下降在时间上是一致的。1970年以前西安市自备井很少，承压水位基本稳定，地面沉降的速率一般小于3mm/y，主要受区域地质构造控制。而长期以来潜水位比较稳定，主要呈大气降水型动态。1970年以后自备井数量迅速增加。随着承压水位下降速率不断加快，地面沉降速率也相应加大，地面沉降的幅度总趋势与承压水位下降速率有密切关系。从2021年承压水位动态趋势来看，西安大部分地区水位回升，因此在大部分地区地面沉降速率明显减缓，但局部由于人为或工程因素仍然在发展，当轨道交通工程跨越地面沉降稳定区域进行工程降水时造成的风险相对较小，跨越地面沉降不稳定区域时造成的风险较大，因此应对其影响程度做出分析和预判。**3.3.5** 周边环境影响评估宜采用定性和定量相结合的方法，分析工程降水对影响范围内建（构）筑物、市政道路、管线等产生的影响，提出控制措施和建议。分析方法宜采用理论计算、数值分析及工程类比等。

**3.4 降水周边环境风险评价**

**3.4.1** 工程降水周边环境风险评价，应根据含水层特征、降水深度、与周边环境的接近关系，按表3.4.1-1～3.4.1-5确定风险等级。

**1** 含水层特征分类按表3.4.1-1确定。

表3.4.1-1 含水层特征分类

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 地层 | 降水及环境特征 | 类别 |
| 饱和软黄土 | 降水沉降大，环境风险高 | A |
| 饱和黄土 | 降水沉降较大，环境风险较高 | B |
| 粉质粘土或砂卵石层 | 降水沉降一般，环境风险一般 | C |

【条文说明】

在西安地区不同地质条件下的降水工程实践表明，沉降风险具有相对显著差异。饱和软黄土层的大孔隙和软弱性使得其成为西安地区降水沉降最大的地层，其压缩模量3.8MPa～5.0MPa，降水实施过程中有效应力作用下可产生较大的沉降变形量，统计饱和软黄土区域降水沉降，根据降水深度的不同，其地表沉降值可达50mm～300mm；而饱和黄土和古土壤层作为高阶地、黄土梁洼区和黄土塬区的典型地层，较饱和软黄土层相比，已经历了相对彻底的压密过程，压缩模量多在5MPa～10MPa左右，根据降水深度的不同，降水沉降多处于在10mm～50mm；粉质粘土和砂卵石地层的压缩模量多在10MPa以上，较为稳定，降水沉降可控制在20mm以内。依据工程降水实施经验和土层压缩变形特征指标，本规程将西安地区含水层地层特征划分为A、B、C三类。根据实践经验，将饱和软黄土单独划为A类，符合当前绝大多数降水风险事故均发生在该地层中的客观事实。将饱和黄土与古土壤层、粉质黏土及砂卵石层划分为B、C类，但需强调的是，砂层中降水必须防止细颗粒被抽出。

**2** 降水深度分级应按表3.4.1-2确定。

表3.4.1-2 降水深度分级

|  |  |
| --- | --- |
| 降水深度S(m) | 等级 |
| S≥15 | 一级 |
| 5≤S＜15 | 二级 |
| S＜5 | 三级 |

【条文说明】

降水深度是决定降水沉降的另一个关键因素，水位降深越大，影响半径越大，沉降越大。根据西安地铁工程特点，一般的降水深度多在5m～25m。为此，将降水深度分为三个等级。

**3** 降水影响程度应按表3.4.1-3确定。

表3.4.1-3 降水影响程度

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 降水深度分级含水层类别 | 一级 | 二级 | 三级 |
| A | 强烈影响 | 强烈影响 | 显著影响 |
| B | 强烈影响 | 显著影响 | 一般影响 |
| C | 显著影响 | 一般影响 | 一般影响 |

【条文说明】

降水对周边环境的影响等级主要取决于地层特征和降水深度。地层失水沉降越大，降水深度越大，则降水对周边环境的影响越强烈。地层失水沉降越小，降水深度越小，则降水对周边环境的影响越弱。结合工程实践将降水对周边环境的影响分为三个等级，依次为强烈影响、显著影响、一般影响。

**4** 降水周边环境接近程度应按表3.4.1-4确定。

表3.4.1-4 周边环境接近程度判定

|  |  |
| --- | --- |
| 周边环境与降深之间的关系 | 类别 |
| D≤2.5S | 接近 |
| 2.5S＜D≤5S | 较接近 |
| D＞5S | 不接近 |

【条文说明】

建（构）筑物和管线的破坏主要受沉降或差异沉降控制，其与降水点的接近程度密切相关。建（构）筑物和管线距降水点越远，降水影响越小；距离降水点越近则影响越大，这与降水影响半径密切相关。降水影响半径与降深和地层特征有密切关系。降深越大，渗透性越强，降水影响半径越大；降深越小，渗透性越差，降水影响半径越小。从地层角度出发，砂卵石降水影响半径大，但沉降小，且其降水漏斗曲线相对平缓，造成周边环境差异沉降较小；而黄土层，降水影响半径小，但其降水漏斗曲线变化大，产生的差异沉降大，对周边环境不利。在降水影响接近程度判断中，为了便于使用，本条主要依据黄土地层降水的规律来进行分级。实践表明：当建（构）筑物的平面距离小于2.5倍降深时，影响较大；当大于5倍降深时，影响较小。据此，将周边环境的接近程度分为三个等级。

**5** 降水周边环境风险等级应按表3.4.1-5确定。

表3.4.1-5 降水引起周边环境风险评定表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 接近程度影响分区 | 接近 | 较接近 | 不接近 |
| 强烈影响 | I | Ⅱ | Ⅲ |
| 显著影响 | Ⅱ | Ⅲ | Ⅳ |
| 一般影响 | Ⅲ | Ⅳ | Ⅳ |

【条文说明】

参考《城市轨道交通地下工程建设风险管理规范》GB50652的风险评定方法，降水所引起的环境风险可根据影响等级和接近程度两大因素进行综合判定，分为四个级别，风险由高至低依次为I、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级，当降水属于强烈影响，且建（构）筑物距离降水点接近时，风险最高。当降水自身属于一般影响，且建（构）筑物与降水点不接近时，风险最低。

**3.4.2** 降水周边环境风险评定后，应结合周边建构筑物基础型式、地基处理、结构类型及使用现状，对风险等级进行修正。沉降不敏感或降水影响范围内的一般设施，可降级处理。

**3.4.3** 降水风险处置措施应按表3.4.3确定。

表3.4.3 降水周边环境风险处置措施

|  |  |
| --- | --- |
| 风险等级 | 处置措施 |
| I | 降水造成周边环境风险高，应采取其他地下水控制措施 |
| Ⅱ | 降水造成周边环境风险较高，宜优化地下水控制措施或做好防控措施 |
| Ⅲ | 降水造成周边环境风险可控，需开展监测工作 |
| Ⅳ | 降水造成周边环境风险小，需开展日常巡查工作 |

【条文说明】

降水风险评价是手段，工程中采取何种地下水控制措施是关键。参考《城市轨道交通地下工程建设风险管理规范》GB50652的风险接受和处置原则，制定风险接受准则与处置措施。风险接受准则与处置措施是工程设计的直接依据。本规程在评价体系建立中重点考虑降水带来的风险，当降水风险为I级时，需改变地下水控制方式，采用止水方案；当风险为Ⅲ、Ⅳ时，可以采取降水方式，但仍要根据不同情况开展监测或巡查工作；当降水等级为Ⅱ级时，要根据具体情况具体分析。

**4 勘察**

**4.0.1** 地下水控制勘察宜与岩土工程勘察同期进行。对于特殊场地或复杂工程，宜进行专项地下水控制勘察。地下水控制勘察应结合工程特征、工程和水文地质条件选择代表性地段和场地进行水文地质试验。

【条文说明】

地貌单元变化地段、地层岩性差异较大地段、地裂缝强烈活动地段、特殊工法地段需要开展专项地下水控制勘察。地裂缝地段需查明地裂缝带的岩土特性，开展水文地质试验，重点观测地裂缝上、下盘的水位变化和连通性等。特殊工法段需要进行相应的水文地质参数测定，不限于室内渗透试验、流速、流向等。

**4.0.2** 地下水控制勘察应包括下列主要工作：

**1** 搜集场地及周边的工程地质、水文地质资料；已有建筑物、管线、地下构筑物的分布和埋设资料；拟建工程概况；

**2** 搜集气象资料；

**3** 查明含水层和隔水层的埋藏条件，主要含水层的分布规律、岩性特征、地下水类型、流向、水位、水质及其变化幅度，当场地内有多层对工程有影响的地下水时，分层量测地下水位，并查明各含水层之间的补排关系；

**4** 查明地下水的补给、径流、排泄条件、地表水体（河、湖、渠等）的分布及其与地下水的水力联系；

**5** 确定各含水层的渗透系数、流速等水文地质参数；

**6** 开展地下水位长期观测；

**7** 提出地下水控制方法的建议。

【条文说明】

根据西安地区的地下水长期动态资料分析，潜水的年内和年际变化规律与降水（降雨）有极大的相关性，降水丰富的年份，地下水位的上升幅度较大，降水稀少的年份，地下水位的上升幅度较小；降雨对地下水位的影响有一定的滞后性。渗透系数是水文地质的必测项目，流速、流向可以根据工法要求进行量测。一般情况下，勘察至施工存在1年～3年的间隔，为避免施工期间出现与勘察阶段较大的水位差异而引起的事故，建议勘察后选择代表性点设置长期观测孔，至地下水控制结束。

**4.0.3** 冻结法勘察尚应符合下列规定：

**1** 查明场地附近人为开采地下水的分布及地下水的动态变化；

**2** 查明需冻结土层的分布及物理力学性质，提供土层含盐量、结冰温度、热物理指标和物理力学指标；

**3** 查明地下水含水层的渗透性、地下水位、流速与流向、氯离子含量；

**4** 提供冻土的抗压强度、冻胀率、融沉系数等指标；

**5** 提出冻结法施工引起结构本身变形及周边环境监测的建议。

**4.0.4** 抽水试验工作布置应符合下列规定：

**1** 应满足地下水控制设计要求；

**2** 抽水试验孔应充分考虑地下水类型和含水层的富（透）水性，并结合地下水控制工程的需要确定；

**3** 观测孔的布置与抽水试验孔的距离宜为降水深度1倍～2倍，宜垂直地下水流向布置；

**4** 抽水试验孔与观测孔应同井径、同结构、同深度；抽水试验孔、观测孔的数量宜根据地下水控制工程复杂程度确定。

**5** 对工程影响范围内多层含水层，宜分层进行水文地质参数测试。

【条文说明】

观测孔与抽水试验井之间应有一定的间距，主要是尽量避免抽水井周围三维流和紊流的影响。依据西安地区经验，第1观测孔距抽水孔8m～10m，第2、3观测孔宜为降深的2倍～4倍或最远端观测孔距抽水孔至少30m，也可根据现场实际情况适当调整。观测孔的平面布置一般沿一条观测线垂直地下水流向布置。在布置两条观测线时，其中一条要求平行于地下水流向布置，主要是为了测定含水厚不同方向的非均质性或确定不同方向的影响半径。

**4.0.5** 抽水试验孔应符合下列规定：

**1** 深度应能控制对工程有影响的含水层；

**2** 井管直径不应小于400mm；

**3** 滤水管的孔隙率不应小于10%；

**4** 沉砂管长度宜为1m～2m；

**5** 水泵置入设计降水深度以下不应少于2m。

**4.0.6** 稳定流抽水试验应符合下列规定：

**1** 抽水试验应进行3次降深，每次降水深度宜为最大降水深度的1/3；最大降深应接近工程降水深度；

**2** 稳定延续时间宜为8h～24h；

**3** 动水位和出水量观测，宜在抽水开始后第1、3、5、10、15、20、25、30min各测一次，其后宜每隔30min或60min测一次；水温、气温宜每隔2h～4h同步量测一次；

**4** 抽水停止后应进行恢复水位观测，观测时间间隔同动水位观测时间。

【条文说明】

抽水试验的稳定标准，是指在一定时间段内，抽水量的波动值不超过正常流量的5%，抽水孔水位波动值不超过水位降低值的1%，观测孔水位波动值不超过2cm～3cm。稳定延续时间是指某一降深下，相应的流量和动水位趋于稳定后的延续时间。抽水试验的稳定时间各标准差异较大，一般情况建议渗透性小的地层取大值，渗透性大的地层取取小值，根据西安地区抽水试验，建议砂、卵石的抽水稳定时间8h，一般粘性土的抽水稳定时间16h～20h，饱和软土的抽水稳定时间24h。

**4.0.7** 非稳定流抽水试验应符合下列规定：

**1** 采用定流量时，流量变化幅度不宜大于3%；采用定降深抽水时，水位变化幅度不宜超过1%；

**2** 抽水试验的延续时间可根据含水层的导水性、储水能力、观测孔的数量及距抽水孔（井）的距离，结合所采用的非稳定流计算方法和实际需要确定，并符合下列规定：

1）承压水应根据水位下降值与时间对数[*s*-lg*t*］关系曲线确定，潜水应根据含水层变化平方差与时间对数[△*h*²—lg*t*]关系曲线确定；

2）当曲线呈直线状，延续时间在lg*t*的投影数值不应少于两个对数周期；

3）当曲线有拐点时，宜延续时间至拐点后出现水平线的最初时刻。

**3** 试验时应观测出水量和动水位，观测时间宜在抽水开始后的第1、2、3、4、6、10、15、20、25、30、40、50、60、80、100、120min各观测一次，以后每隔30min观测一次，直至结束；水温、气温宜每隔2h～4h同步量测一次；

**4** 抽水停止后应进行恢复水位观测，观测时间间隔同抽水试验间隔。

**4.0.8** 注水试验应符合现行《建筑与市政工程地下水控制技术规范》JGJ111的有关规定执行。注水试验可根据不同试验方法的适用条件按表4.0.8选择。

表4.0.8 注水试验方法的适用条件

|  |  |
| --- | --- |
| 注水试验方法 | 适用岩土层 |
| 钻孔常水头注水试验 | 砂、砾石、卵石等强透水地层 |
| 钻孔降水头注水试验 | 粉砂、粉土、黏性土等弱透水地层 |
| 试坑注水试验 | 包气带非饱和岩土层 |

**4.0.9** 地下水流向可采用几何法，量测点不应少于呈锐角三角形分布的3个观测孔（井）；当工程对地下水流速精度要求不高时可采用水力梯度法计算。

**4.0.10** 地下水流速的测定可采用指示剂法或充电法。指示剂法测定地下水流速的试验孔与观测孔的间距由含水层条件确定，粗砾砂宜为2m～5m，粉细砂宜为5m～15m，黄土或粉质黏土宜为15m～30m。指示剂可采用各种盐类或环保材料，其用量取决于地层的渗透性和渗透距离。

**4.0.11** 水文地质参数计算的应符合下列规定：

**1** 采用与场地水文地质条件相适应的计算公式；对于黄土地层，宜按照完整井进行水文地质参数计算；

**2** 采用与地下水控制设计水位降深相近的水位变化值。

**4.0.12** 抽水试验的渗透系数可根据现行国家标准《供水水文地质勘察规范》GB50027进行计算；注水试验的参数可根据现行国家标准《建筑与市政工程地下水控制技术规范》JGJ111进行计算。

**4.0.13** 影响半径的确定应符合下列规定：

**1** 当采用有观测孔的抽水试验资料时，可按现行国家标准《供水水文地质勘察规范》GB50027的规定计算；

**2** 当无抽水试验资料时，可按当地类似的水文地质条件下其他地段的参数值或当地经验值采用工程类比法确定。

**4.0.14** 西安地区水文地质参数经验值见附录A。

**5 降水设计与施工**

**5.1 一般规定**

**5.1.1** 降水工程应根据场地及周边地质条件、水文地质特征、环境条件，结合本工程特征、支护结构、加固情况和开挖方案等综合分析确定，按需降水，并应符合国家和地方法规对地下水资源、区域环境的保护要求。

**5.1.2** 降水设计应符合工程周边环境沉降控制的要求，对地下水位变化和周边环境进行监测，并根据监测数据进行动态设计。

**5.1.3** 降水施工前应根据拟建场地的工程地质、水文地质、周边环境条件和降水设计等资料，结合类似工程经验，编制专项施工方案，并制定雨季降水工程的防排水措施和超强暴雨条件下的应急处置措施。

**5.1.4** 降水运行时间应满足地下结构施工要求及抗浮要求。

**5.1.5** 降水运行过程中不应中断降水，并应监测和记录地下水位、抽水量和含砂率、沉降值等参数。确需中断降水的，应采取措施确保工程安全。

**5.1.6** 降水工程完成后应及时回填封井。

**5.2 降水设计**

(Ι) 降水方法的分类和选择

**5.2.1** 降水方法应根据场地地质条件，降水深度、含水层的渗透性，工程类型、规模，环境条件等因素按表5.2.1选用。

表5.2.1工程降水方法及适用条件

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 名称 | 适用地层 | 渗透系数*k*(m/d) | 水位降深(m) |
| 集水坑明排 | 填土、黄土、黏性土 | － | － |
| 管井 | 黄土、黏性土、粉土、砂土、碎石土 | 0.1～200.0 | 不限 |
| 真空井点 | 黄土、黏性土、粉土、砂土 | 0.01～20.0 | 单级＜6，多级＜20 |

【条文说明】

城市轨道交通工程降水多采用管井降水，管井降水若是没有施工条件，且降水深度和施工条件满足真空井点降水要求时，可以在局部或者洞内采用真空井点降水。集水明排方式降水适用条件：不易产生流砂、流土、管涌、淘空、塌陷等现象的填土、黄土和黏性土地层，可与井点降水、截水帷幕配合使用。集水明排一般不单独作为一种降水手段，多同管井降水、真空井点或其他降水方式联合使用，主要为降水的辅助措施，比如当在砂土分界面、古土壤底钙质结核层以上或坑底出现滞水不能通过管井降水疏干时，可采用集水明排以达到土层疏干效果。

**5.2.2** 降水时，应采取有效措施拦截、排除地表、坑底和坡面积水。

(Ⅱ) 降水设计计算

**5.2.3** 降水设计应包含下列内容：

**1** 应明确设计任务及依据；

**2** 调查、复核降水工程周边市政管线现状及渗漏情况，邻近建（构）筑物基础形式、埋深、结构类型、使用状况；相邻区域内各类岩土工程活动等；

**3** 依据工程水位降深要求计算涌水量、确定降水井的结构设计参数及平面布置；

**4** 明确排水系统布置方案；

**5** 应提出对周边工程环境监测要求，明确预警值、控制值和控制措施。

**5.2.4** 降水设计应符合下列规定：

**1** 降深应满足工程施工要求。当结构有电梯井、集水井、废水泵房等时，基底应按其底面考虑或对其另行采取局部地下水控制措施；当采用截水结合坑外减压降水的地下水控制方法时，尚应明确降水井的最大降深值和最小降深值；

**2** 控制坑外地面沉降量及沉降差，保证邻近建（构）筑物及地下管线的正常使用；

**3** 提出控制土颗粒流失的措施；

**4** 提出降水运行维护的要求；

**5** 明确降水施工工艺要求及质量要求，明确质量控制指标；

**6** 预测降水对周边环境造成的影响，并提出相应的控制措施。

**5.2.5** 涌水量应根据地下水类型、补给条件、降水井的完整性，以及布井方式等因素，按本规范附录B计算确定。

【条文说明】

涌水量是根据水文地质条件、降水区域的形状、面积、支护设计对降水的要求按本规程附录B计算，该计算公式用于稳定流工况涌水量的计算，和基坑降水时的实际工况有所差异，因此实际涌水量可对计算值进行调整，一般放大系数为1.2～1.5，砂层取大值。

对于地铁车站和区间的涌水量计算，需要根据施工进度进行，选择与实际工程施工相符合的计算公式，当车站基坑长宽比超过10或地铁区间施工降水时，除了可按附录B中B.0.6计算涌水量外，也可以可根据工程进度分段计算，采用等效大井法计算涌水量。

**5.2.6** 渗透系数宜通过现场水文地质试验确定。当无条件进行水文地质试验时，可根据地区经验确定。

【条文说明】

本条规定了含水层渗透系数的确定，实际工程中当无条件进行水文地质试验时，可参考本规范附录A取值，也可根据周围含水层结构基本相同的同一地貌单元的水文地质试验资料综合确定。

**5.2.7** 降水井的深度可按《建筑与市政工程地下水控制技术规范》JGJ 111的有关规定确定。

【条文说明】

真空井点管的长度需考虑地面以上井点管的长度，一般取0.2m～0.3m；当单排布井时，水力坡度可取1/4；当采用其他布井方式时，水力坡度可取1/10。管井沉砂管长度不宜小于0.5m。

**5.2.8** 降水井的数量(n)可按《建筑与市政工程地下水控制技术规范》（JGJ111-2016）采用下式计算：

$n=λ\frac{Q}{q}$ (5.2.8)

式中：Q——涌水量(m3/d)，可按本规程附录B计算；

*q*——单井出水量(m3/d)；

*λ*——调整系数，一般取1.1，也可根据工程场地条件进行调整。

**5.2.9** 在降水设计中，各单井出水量应小于单井出水能力。各类井的单井出水能力应根据实测数据进行取值，缺少工程经验时也可按照《建筑基坑支护技术规程》（JGJ120-2012）的相关规定取值和计算。

【条文说明】

降水设计时管井的单井出水能力可按式$q\_{0}=120πr\_{s}l\sqrt[3]{k}$计算；真空井点每根井管的最大允许出水量*qmax*可采用式$q\_{max}=120r\_{s}l\sqrt[3]{k}$进行估算，降水过程中应根据实际单井出水量进行动态化设计。

**5.2.10** 过滤器类型及孔隙率可根据工程条件按本规范附录C选择；其他要求可按《建筑与市政工程地下水控制技术规范》JGJ 111的有关规定执行。

**5.2.11** 降水工程中心点水位降深计算参考《建筑基坑支护技术规程》JGJ120确定。

（Ⅲ）降水引起的地层变形计算

**5.2.12** 降水引起的地层变形量可参考《建筑基坑支护技术规程》JGJ120按下式计算：

$s=ψ\_{w}\sum\_{i=1}^{n}\frac{∆σ\_{zi}^{'}∆ℎ\_{i}}{E\_{si}}$  (5.2.12)

式中：$s$——降水引起的地层变形量(mm)；

$ψ\_{w}$——沉降计算经验系数，应根据地区工程经验取值；无经验时，对土层，可按经验公式$ψ\_{w}=e\_{i}×Ι\_{L}\_{i}$确定，对砂层可取0.1～0.2；

*ei* ——降水影响范围内第i层土的孔隙比；

*ILi*——降水影响范围内第i层土的液性指数；

$∆σ\_{zi}^{'}$——降水引起的地面下第i层土中点处的附加有效应力(kPa)；对粘性土，应取降水结束时土的固结度下的附加有效应力；

$∆ℎ\_{i}$——第i层土的厚度(m)；

$E\_{si}$——第i层土的压缩模量(MPa)，应取土的自重应力至自重应力与附加有效应力之和的压力段的压缩模量值。

【条文说明】

在西安地区，近二十年的地铁施工，积累了大量的降水工程的实测数据，为降水沉降计算进一步深化，提供了良好的基础。本公式在《建筑基坑支护技术规程》JGJ120的基础上经过对大量的实测数据统计后，对于土层或者含薄砂层的降水工程，沉降经验系数可以采用$ψ\_{w}=e\_{i}×Ι\_{L}\_{i}$进行计算。将影响降水沉降最关键的孔隙比*e*和液性指数*IL*引入了计算公式，避免了工程师根据经验确定*ψw*的随意性，此方法简单易行，物理意义明确，一般的岩土工程勘察报告均可提供，便于工程应用。统计分析西安地区21个场地降水范围内各特征土层的孔隙比*e*和液性指数*IL*变化发现，对于饱和黄土，孔隙比*e*和液性指数*IL*的指标变化主要受控于沉积年代、压密状态和颗粒组成等主要因素；孔隙比*e*变化范围在0.68～1.10之间，液性指数*IL*的变化范围在0.15～1.20之间，*e*×*IL*指标变化范围为0.16～1.32之间，当土越密实（孔隙比越小）、越硬时（液性指数越小），降水沉降值也将越小；当土越松散、越软时，降水沉降值也将越大。孔隙比*e*反映了降水过程中可变空间的大小，液性指数*IL*反映了可变能力的强弱。该公式选用参数变化敏感，与现阶段黄土地区常用的经验系数(0.1～1.5)及现行《建筑深基坑工程施工安全技术规范》JGJ311-2013中所给出的降水沉降经验系数*ψw*取值(0.2～1.2)具有较高的吻合度，经过西安地铁大量降水工程的计算，与最终实测地面沉降高度吻合。计算值与实测结果较为吻合，预测精度可达到89%，充分说明了该方法计算的可靠性。

**5.2.13** 对于具有微承压性的含水层，降水引起的地层变形量应根据工程类比法综合确定。

【条文说明】

根据已有工程经验，在地裂缝两侧，由于地层错断，可能形成局部的微承压环境，从而在降水期间引起较大沉降和水位恢复后引起结构抬升，工程建设过程中应采取防范措施。

**5.2.14** 降水工程外土中各点降水引起的附加有效应力宜采用地下水渗流分析方法按稳定渗流计算；当符合非稳定渗流条件时，可按地下水非稳定渗流计算。

**5.2.15** 当降水可能对区域周边建（构）筑物、地下管线、道路等市政设施造成危害或对环境造成长期不利影响时，可采用截水、回灌等方法控制地下水。

【条文说明】

西安轨道交通工程处于湿陷性黄土地区，由于回灌可能带来其他不良影响，需慎重采用。如采用回灌措施，需全面分析地层的适应性、周边环境的安全性等因素。

**5.2.16** 减少降水工程对周边环境影响的措施应符合下列规定：

**1** 降深较大时，宜采用分段、分层降水；

**2** 滤水管外填砾料应保证设计厚度和质量，抽水含砂量应符合有关规范要求；

**3** 调整降水井数量、间距、水泵设置深度及动态水位自动控制，保证地下水位降深、减少抽水量、控制降水影响范围；

**4** 砂类含水层的降水井采用无砂滤水管时，单井出水量不宜大于40m3/h；

**5** 水泵启动时间应根据与保护对象的距离按先远后近的原则间隔进行；结束降水时关闭水泵，应按先近后远的原则间隔进行。

（Ⅳ）降水系统布设

**5.2.17** 降水系统平面布置应根据工程的平面形状、场地条件及施工条件确定，并应符合下列规定：

**1** 面状降水工程降水井点宜沿周边呈封闭状均匀布置，距开挖上口边线不宜小于2m；

**2** 线状、条状降水工程降水井宜采用单排或双排布置，两端应外延条状或线状降水井点围合区域宽度的1倍～2倍布置降水井；

**3** 降水井点围合区域宽度大于单井降水影响半径或采用隔水帷幕的工程，应在围合区域内增设降水井或疏干井；围合区域内降水井和观测井宜布置在基础或者底板的后浇带、以及不影响基础施工的位置；

**4** 降水井布置应考虑运土通道的影响，有条件时，运土通道两侧应布置降水井；

**5** 暗挖隧道降水井的布置应考虑注浆和锁脚锚管（杆）施工影响，降水井距结构边线不宜小于2.0m；

**6** 暗挖隧道结构范围内不宜布置降水井；

**7** 当降水区域远离补给边界，地下水流速较小时，降水井点宜等间距布置，当邻近补给边界，地下水流速较大时，在地下水补给方向降水井点间距可适当减小；

**8** 降水井布置应避开结构、加固区、地下管线、地下建构筑物、坑内布设的监测点和架空电缆；

**9** 降水井点、排水系统布设应考虑与场地工程施工的相互影响。

【条文说明】

降水系统平面布置应根据控制工程的平面形状及场地条件等灵活掌握，本条给出了一些原则要求。

1 条状降水区域采用单排或双排降水井是基于降水井数量计算要求;

2 对大面积或有帷幕的降水区域，通过在坑内抽水，可以加速疏干坑内地下水；

3 为避免运土通道遇水“弹软”，所以需要在其周边适当布设降水井。若运土通道设在水位附近，且未有降水措施的工程，应在运土通道两侧布设降水井；若运土通道在降水范围内，降水设计时应总体考虑。

**5.2.18** 管井的构造和设备应符合下列规定：

**1** 管井的井管可采用无砂混凝土滤管、钢筋笼、钢管或铸铁管，滤水管过滤器的孔隙率不宜小于15％；

**2** 管井井管直径应根据含水层的富水性、单井设计出水量及水泵性能选取，井管外径不宜小于200mm，井管内径应大于水泵外径50mm；管井成孔直径宜为400mm～800mm，成孔直径应满足填充滤料的要求；

**3** 井管的底部应设置管底封闭沉淀管，其长度宜为3.0m～5.0m，砂层宜取大值；

**4** 井管外滤料宜选用磨圆度较好的硬质岩石，不宜采用棱角状的碎石、风化料或其他黏土质岩石成分的砾石，滤料厚度不小于100mm，滤料规格宜按照《建筑基坑支护技术规程》JGJ120相关要求确定

**5** 抽水设备的出水量、功率及扬程应满足单井设计出水量、开挖深度及现场排水要求。

**5.2.19** 真空井点的布设和构造尚应符合《建筑与市政工程地下水控制技术规范》JGJ 111的有关规定。

【条文说明】

真空井点降水的关键是真空抽水能力和真空有效性，施工时应采取措施使各项损失最小，并应作好砂填滤层、封土、防漏气等措施。井管内真空度不宜小于0.065MPa，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，保证降水效果。

真空井点布设时注意事项：

**1** 井点系统集水总管的高程，宜布设在接近地下水位附近，或略高于地下水位以上20cm左右；

**2** 井点泵（离心泵）轴心高度应尽可能与集水总管在同一高程上，要防止地面雨水径流，降水区域四周围堰阻水;

**3** 在同一井点系统中，无论何种布置形式，各根井管长度须相同，各井管下滤水管顶部宜在同高程上，最大相差一般不大于10cm，以防高差过大，影响降水效果；

**4** 井点泵系统、集水总管应设置在比较可靠的地点、平台上。

**5** 一套抽水设备的总管长度一般不大于100～120m，宜控制在60m。并点系统可以分段，各段长度应大致相等，宜在拐角处分段，以减少弯头数量，提高抽吸能力，分段宜设阀门，以免管内水流素乱，影响降水效果。

**5.2.20** 集水明排的布设、构造和计算应符合《建筑与市政工程地下水控制技术规范》JGJ 111和《建筑基坑支护技术规程》JGJ120的有关规定。

**5.2.21** 排水系统应结合现场实际条件布设，确定排水的市政管网接纳口并对接纳管线的能力进行分析；排水设施与市政管网连接口之间应设沉淀池，明沟、集水井、沉淀池使用时应排水畅通并应及时清理淤积物。

**5.3 降水施工**

**5.3.1** 降水施工准备阶段应符合下列规定：

**1** 降水施工前应依据降水设计内容，收集相关的岩土工程及水文地质勘察报告、工程概况、周边环境等资料；

**2** 应按降水设计要求组织施工队伍、筹措成井设备及材料，设备选择应与降水井的出水能力相匹配。开工前施工场地应通水、通电、通路和平整场地，并应满足设备就位和进出场地条件；

**3** 应根据专项施工方案对所有参加人员进行技术交底和安全交底；

**4** 应进行工程环境监测的布设和初始数据的采集；

**5** 当发现降水设计与现场情况不符时，应及时反馈情况。

**5.3.2** 管井施工应符合下列规定：

**1** 管井施工可根据地层条件选用锅锥、反循环、螺旋钻、回转钻或冲击钻等方法钻进成孔，施工过程中应做好成孔施工记录；

**2** 降水井平面布置可根据现场实际进行微调；开孔前，应进行地下障碍探查。井口宜安设护口管，井孔开孔段应保持圆整、垂直及稳固；成井垂直度不应大于孔深的1%；

**3** 成孔宜采用清水钻进；若采用泥浆护壁时，造浆材料宜选择黏土，不应使用化学泥浆；成孔过程中，孔内泥浆比重不宜大于1.10，当采用泥浆钻进工艺时，井管下放后应充分洗井，保持过滤器的畅通；

**4** 管井过滤器、滤料、滤水管根据设计要求选择。各节无砂混凝土井管之间应使用竹片等均匀绑扎固定；钢质井管可采用焊接或丝扣连接等方法；

**5** 位于砂层的井管外应包裹滤网，滤网宜设置2层，井管安装过程中不应损坏滤网；井管均应封底；滤料宽度宜为120mm～150mm；

**6** 吊放井管时应平稳、垂直，并保持井管在井孔中心，不应猛礅，井管宜高出地表200mm以上；井管垂直度应满足设计要求；

**7** 滤料投放除符合设计要求外，尚需符合下列规定：

1）投放滤料前，需进行清孔；投放时孔内泥浆比重不应大于1.05；

2）滤料顶面标高与设计值误差不应大于100mm；

3）在达到设计顶面标高时，滤料实际方量不应少于理论方量；

4）滤料投放时应配合抽取井内泥浆。

**8** 滤料投放完成后应及时进行洗井；洗井宜采用水泵抽水的方式进行，洗井至水清砂净后方可终止，且洗井时间不宜小于24h；洗井结束后及时补填滤料，并按设计要求进行井口处理；

**9** 井口处理完成后应安装水泵进行单井试抽；抽水时应做好水位、抽水量、含砂率的记录，当单井出水量及水位降深与设计不符时，应及时向降水设计单位反馈；

**10** 单井试抽合格后安装电力线路和排水管路，并进行联网试运行，降水系统试运行合格后方可投入正式运行。

【条文说明】

轨道交通工程的管井降水现场条件复杂多变，需根据现场实际条件探查地下障碍，通常探查方案有探槽、探孔，探查深度根据管线等地下障碍确定，一般探查深度宜为8m，其中人工挖孔探查不宜小于2m；应选择合适的成井工艺，控制好施工过程，确保降水施工质量：

1 关于成井工艺的选择：黄土地层和薄砂层可选用锅锥、螺旋钻、回转钻成孔；砂层、圆砾层可采用反循环钻机成孔；对于卵石、块石、漂石可采用冲击钻成孔。施工单位可在保证施工质量的前提下，合理选择；受管线等地下障碍影响，为了保证管线安全和成井顺利，需在现场调整降水井井位，井位调整应与降水设计单位进行沟通；

2 采用化学泥浆对单井出水量影响极大，因此本规程规定不应使用化学泥浆护壁；

3 洗井质量对降水工程非常重要，洗井方法不正确、搁置时间过长，全部成井完成后集中洗井，都可能导致抽水能力降低和失效，影响整个降水系统的运行，因此本规程洗井采用双控标准，即同时满足水清砂净和洗井时间不宜小于24h的要求。洗井完成后若滤料填充顶面低于设计填充顶面时应及时补填，上部2m范围内使用黏土夯填密实，同时按设计要求施做井口。

4 联网运行前的试抽是检验成井质量和验证降水设计的关键，同时也是检验电力线路、控制系统、排水系统必要流程。单井实际出水量不应小于设计出水量，如不满足要求需调整水泵选型、重新检查成井质量，采取必要措施满足单井出水量。

**5.3.4** 真空井点降水施工应符合下列规定：

**1** 垂直井点：对易产生塌孔、缩孔的松软地层，成孔施工宜采用泥浆钻进、高压水套管冲击钻进；对于不易产生塌孔缩孔的地层，可采用长螺旋钻进、清水或稀泥浆钻进；

**2** 水平井点：钻探成孔后，将滤水管水平顶入，通过射流喷砂器将滤砂送至滤管周围；对容易塌孔地层可采用套管钻进；

**3** 倾斜井点：宜按水平井点施工要求进行，并应根据设计条件调整角度，穿过多层含水层时，井管应倾向结构外侧；

**4** 达到设计孔深后，应加大泵量、冲洗钻孔、稀释泥浆，返清水3min～5min后，方可向孔内安放井点管；

**5** 井点管安装到位后，应向孔内投放滤料，滤料粒径宜为0.4mm～0.6mm。孔内投入的滤料数量，宜大于计算值5%～15%，滤料填至孔口以下1m～2m后应用黏土填满压实；

**6** 井点管、集水总管应与水泵连接安装，抽水系统不应漏水、漏气；

**7** 形成完整的真空井点抽水系统后，应进行试运行。试运行合格后方可投入正式降水运行。

【条文说明】

目前处理上层滞水和局部渗水地层时，使用真空降水效果较好。现场可根据渗水点实际布置垂直、水平或倾斜井点，选择合适的真空泵类型降低地下水。其他轻型井点在本规程适用范围内少有使用，故未纳入本规程中，现场实际条件采用其他井点降水符合安全适用、技术可行、经济合理原则时可参考《建筑与市政工程地下水控制技术规范》JGJ111相关条款。

**5.3.5** 集水明排施工应符合下列规定：

**1** 按设计要求布置集水井，设计要求未明确集水井位置时，其实际布置间距宜为30m～50m，集水井及排水管沟布置不应影响地下工程施工；

**2** 水泵的选型可根据排水量大小及工程特点确定；

**3** 排水管道上宜设置清淤孔，清淤孔的间距不宜大于10m；

**4** 明沟、集水井、排水管、沉淀池使用时应及时清理淤积物，保持排水通畅。

【条文说明】

集水明排一般分为明沟和盲沟两种类型，根据场地条件合理布置。坡面渗水点宜采用导流的方式将明水引入排水沟；根据开挖需要可设置临时性明沟和集水井。

**5.4 运行维护**

**5.4.1** 降水工程成井验收应符合下列规定：

**1** 单井的平面位置、成孔直径、深度、垂直度应符合设计要求；

**2** 井内沉淀厚度不应大于成井深度的5‰；

**3** 洗井应符合设计要求；

**4** 成井材料和施工过程应符合设计要求。

**5.4.2** 降水系统验收应符合下列规定：

**1** 水泵选型应满足出水量、扬程及降深需要；

**2** 电力系统布置应满足《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ46的相关规定；

**3** 排水管线和沉淀池的设置应符合设计要求。

**5.4.3** 降水工程验收时，应提交以下资料：

**1** 成井施工记录表；

**2** 试抽水记录表；

**3** 设计图纸和变更洽商处理意见；

**4** 其他相关资料。

【条文说明】

5.4.1～5.4.3工程降水属于地基与基础工程地下水控制子分部的分项工程，按分项工程要求组织验收。降水验收包括降水工作质量验收和降水效果验收。单井验收合格是达到降水要求的基本保障。正式运行前的联网运行抽水试验是对降水系统的整体检验和调试，必要时调整设计。正式降水前应通过对观测孔相邻降水井的试抽，对观测孔内水位变化的灵敏性。上述基本条件满足要求后方可组织最终验收，降水工程验收检验批的划分和质量标准应符合《地下铁道工程施工质量验收标准》GB/T50299的规定。

**5.4.4** 降水工程运行应符合下列规定：

**1** 应保持场区排水管网畅通，排水管道应满足排水量的要求，沉淀池、水量计量、水位测量仪等设施应符合设计要求；

**2** 降水井管与排水总管应安装调试完毕且密封良好；

**3** 供电线路和配电箱的布设应满足降水要求，并应配备备用电源、水泵和有关设备及材料；

**4** 正式运行前应统一量测初始水位；运行过程中应进行水位、水量、含砂量等监测；

**5** 当降水深度大于设计要求的深度时，可适当调整降水井的数量或单井抽水量；当降水深度小于设计要求或不能满足土方开挖时，应分析查找原因，并采取分批开启全部降水井、增大单井抽水量或增加降水井等措施；

**6** 管井抽水半小时内含砂量应符合下列规定：粗砂应小于1/50000，中砂应小于1/20000，细砂应小于1/10000；正常运行时含砂量应小于1/50000；

**7** 土方开挖过程中，应确保降水井的安全及正常使用；

**8** 降水井运行过程中宜注重智能化绿色运行管理的应用，可采用水位自动监测系统、水位自动控制系统等措施，做到按需降水，减少地下水的抽采量；

**9** 降水运行结束后应进行封井，降水井宜采用中粗砂、砾石或混凝土等进行回填，井口处理应符合城市市政、绿化要求，位于结构内的降水井封井后应满足防渗要求。

【条文说明】

为了保证降水井运行正常，应有可靠的供电系统，因此要求实际降水运行中应采用双电源供电系统，必须配备备用发电机，且应保证发电机系统的正常运行，异常停电时应立即启动备用电源供电。

在降水运行过程中还需注重智能化建造技术的应用及施工精细化管控，切实做到按需降水，减少地下水的抽采量，自动水位控制系统应根据地层条件合理控制水位变幅。一般在饱和软黄土和粉细砂层应谨慎选择自动水位控制系统。

本规程第7章对地下水控制监测做了具体规定，降水工程中的各项监测指标和要求详见第7章。降水工程重点在于过程控制，强调信息化施工、动态设计；交叉工序施工时应注意对降水井的保护，降水井运行过程中出现降水井单井出水量突减、水位异常上升、水位长时间不能达到设计水位、周边环境监测变形异常等应及时查明原因，必要时报告设计单位调整降水方案。

对降水工程运行中排水的含砂量进行控制，对保护工程周边环境安全非常重要；降水施工诱发的地面塌陷很多是因为降水井反滤层设计不当或失效，在抽水过程中引发土体流失而导致的；而抽排水中的含砂量是这种潜在风险的重要表征，在降水过程中对含砂量进行监测，可以及时发现和规避相关风险。

**6止水设计与施工**

**6.1一般规定**

**6.1.1** 止水设计应结合周边环境、地质条件及结构型式，可采取地下连续墙、咬合式排桩、钢板桩、水泥土搅拌桩、高压喷射注浆、压力注浆、沉井（沉箱）、冻结等止水措施。

**6.1.2** 止水措施应结合基坑支护结构和地下隧道工程的支护结构共同设计。

**6.1.3** 止水设计有成熟的经验时，可采用工程类比法。

**6.1.4** 止水方案应在对适用范围、预期效果、施工设备、工期要求和对环境的影响等方面进行技术经济分析比较后确定。

**6.1.5** 采用水泥土搅拌法、高压喷射注浆法、压力注浆法和冻结法等方法止水时，应进行现场工艺性试验，确定参数和工艺。

**6.1.6** 采用止水措施的基坑工程，应采用坑内降水和集水明排等辅助措施；地下隧道工程，可采取集水明排等辅助措施。

【条文说明】

基坑工程采用悬挂式止水帷幕时，坑内需要采取降水辅助措施；采用落地式止水帷幕，当坑内外水头差较大时，止水帷幕和围护结构的水压力较大，不能完全阻断水的渗流通道，为了保证工程的顺利进行，需要在坑内设置疏干井，通过绕流减小基坑进水量，在基本不改变基坑外水位的情况下，控制基坑内的水位。暗挖隧道，当存在少量渗水且隧道稳定的情况下，采取辅助的排水措施可正常施工。采取辅助降排水措施时，应考虑正确的施工顺序。

**6.1.7** 截水帷幕在平面布置上应沿基坑周边闭合。当采用沿基坑周边非闭合的平面布置形式时，应对地下水沿帷幕两端绕流引起的渗流破坏和地下水位下降进行分析。

**6.2止水设计**

**6.2.1** 止水设计应因地制宜，综合考虑以下因素合理选择止水方法。止水方法可按表6.2.1选用。

**1** 工程地质、水文地质条件；

**2** 城市轨道交通工程施工工法；

**3** 工程自身风险和周边环境风险；

**4** 止水规模；

**5** 施工场地条件；

**6** 经济指标、环保性能和施工工期；

**7** 既有工程经验。

表6.2.1 工程止水方法及适用条件

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 止水方法 | 适用条件 | 注意事项与说明 |
| 地下连续墙 | 适用于各类岩土的明挖基坑 | 施工技术环节要求高，造价高，泥浆易造成现场污染、泥泞，墙体刚度大，整体性好，安全稳定 |
| 钢板桩 | 适用于标准贯入试验锤击数小于25的黏性土、粉土、黄土、粉细砂、中粗砂等地层的明挖基坑、基槽 | 采用振动法打拔钢板桩会有地面振动影响 |
| 咬合式排桩 | 适用于黏性土、粉土、填土、黄土、砂、卵石等地层的明挖基坑 | 对施工精度、工艺和混凝土配合比均有严格要求 |
| 水泥土搅拌法 | 适用于素填土、黏性土、粉土、粉细砂、中粗砂、饱和黄土等地层的明挖基坑、暗挖隧道、盾构隧道端头加固止水、联络通道加固止水等 | 不适用于含大孤石或障碍物较多且不易清除的杂填土，欠固结的淤泥、淤泥质土，硬塑、坚硬的黏性土，密实砂土以及地下水渗流影响成桩质量的地层 |
| 高压喷射注浆法 | 适用于素填土、新黄土、古土壤、老黄土、粉质粘土、粉细砂、细砂等地层的明挖基坑、暗挖隧道、盾构隧道端头加固止水、联络通道加固止水等 | 坚硬黏性土、土层中含有较多的大粒径块石或有机质，地下水流速较大时，高压喷射注浆效果较差 |
| 压力注浆法 | 适用于填土、新黄土、古土壤、老黄土、粉质粘土、砂层、卵石等地层的明挖基坑、暗挖隧道、盾构隧道端头加固止水、联络通道加固止水等 | 多用于水平止水帷幕 |
| 冻结法 | 适用于周边环境不允许降水的各类含水软土、砂土等地层的暗挖隧道联络通道及泵房加固及止水 | 对地下水流速有一定要求，同时冻融对周边环境有一定影响 |
| 沉井法（沉箱法） | 适用于填土、新黄土、古土壤、老黄土、粉质粘土、砂层、卵石等地层，尤其适用于软土地层的小型明挖基坑 | 沉井或沉箱开挖及其影响范围内不应有重要建构筑物及地下管线 |

注：当采用其他止水方法时，应结合止水方案、工程地质和水文地质条件、施工条件、周边环境等因素进行针对性设计。

【条文说明】

各种止水方法均有其适用条件，设计时需根据项目情况合理选择，也可以多种方法联合使用。

**6.2.2** 止水设计应包括下列内容:

**1** 确定止水帷幕的平面布置、竖向布置、结构形式；

**2** 止水帷幕的结构设计和构造要求；

**3** 确定施工工艺和技术参数，提出施工质量要求和控制指标；

**4** 提出对支护结构及周边环境监测要求；

**5** 进行风险工程设计。

**6.2.3** 止水帷幕在平面布置上宜沿地下水控制区域闭合，在设计深度范围内应连续。

**6.2.4** 当基底以下存在连续分布、埋深较浅的相对不透水层时，应采用落底式止水帷幕，止水帷幕应进入相对不透水层的深度不小于帷幕厚度，并不应小于1.5m；当基底以下含水层厚度较大，隔水层不连续或埋深较深时，可采用悬挂式止水帷幕，同时止水帷幕内侧应采取降水措施，止水帷幕深度应满足《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120附录C的渗流稳定性要求，且基坑底面以下的帷幕高度应大于基坑内外水位差的1/2，并不小于4m；止水帷幕内侧采用管井降水时，止水帷幕深度应不小于管井深度。暗挖隧道工程可采用水平向或斜向止水帷幕。

**6.2.5** 当支护结构为排桩时，可采用旋喷桩或水泥土搅拌桩与排桩独立或咬合的止水帷幕。

**6.2.6** 地下连续墙止水设计应符合下列规定：

**1** 地下连续墙墙体深度和厚度的确定应综合考虑工程地质与水文地质条件、基坑深度、墙体受力性能、变形控制、成槽施工、防渗、止水要求等因素。

**2** 地下连续墙的混凝土设计强度宜取C30～C40，抗渗等级不宜小于P6。

**3** 地下连续墙相邻墙幅之间的接头可采用钢板橡胶接头、十字钢板接头、工字型钢接头和套铣接头等形式，接头选择应综合考虑墙体深度、受力性能、变形和防水要求等因素。

**6.2.7** 咬合式排桩止水设计应符合下列规定：

**1** 咬合式排桩有效止水深度不宜大于25m；

**2** 咬合式排桩布置型式宜采用有筋桩和无筋桩搭配。有筋桩混凝土强度等级不应低于C25，无筋桩混凝土强度等级宜与有筋桩相同，且不低于C20，宜采用抗渗混凝土；

(a)有筋桩和无筋桩搭配的咬合式排桩 (b)有筋桩和有筋桩搭配的咬合式排桩

1——钢筋圆形配置的有筋桩；2——无筋桩；3——钢筋矩形配置的有筋桩

图6.2.7 咬合式排桩示意图

**3** 咬合式排桩的桩径宜采用800mm、1000mm、1200mm三种规格。有筋桩与无筋桩搭配的咬合式排桩，桩径宜相同。

**4** 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。

**6.2.8** 钢板桩止水设计应符合下列规定：

**1** 钢板桩兼做支护结构的基坑深度不宜超过9m；钢板桩仅作为止水帷幕的基坑深度由支护结构形式确定；

【条文说明】

钢板桩仅作为止水帷幕时，钢板桩应在支护结构外侧或者中间设置，宜先于支护结构施工。

**2** 基坑止水可采用钢板桩止水帷幕与水平封底联合的止水方法，也可采用钢板桩止水帷幕与坑内井点降水相结合的方法；

**3** 钢板桩断面形式宜采用U形、Z形。钢板桩的锁口形状应保证沉桩时容易相互咬合，拔桩时容易脱离。

**6.2.9** 水泥搅拌桩止水设计应符合下列规定：

**1** 水泥土搅拌法适用于处理有机质含量较高或PH值小于4的酸性土、塑性指数大于25的粘土，在腐蚀性环境中时，应通过现场和室内试验确定其适用性；

**2** 水泥土搅拌桩明挖基坑止水帷幕应在排桩外侧相互咬合布置。帷幕在平面布置上应闭合；条件限制时，可采用高压喷射注浆进行辅助闭合；



1. 双轴水泥土搅拌桩止水帷幕 (b)三轴水泥土搅拌桩止水帷幕

 1——置于外侧的水泥土搅拌桩；2——置于内侧的排桩 单位：mm

图 6.2.9水泥土搅拌桩示意图

**3** 水泥土搅拌法构筑隧道止水帷幕，帷幕在平面布置上宜沿隧道开挖范围周边闭合。止水帷幕厚度不宜小于1.5m，兼顾加固地层时不宜小于隧道开挖轮廓外侧3m；

**4** 水泥土搅拌桩桩径应不小于500mm，咬合宽度应不小于150mm。

**6.2.10** 高压喷射注浆止水设计应符合下列规定：

**1** 高压喷射注浆构筑明挖基坑止水帷幕，可与支护结构相互咬合形成组合帷幕或在支护结构外侧形成独立帷幕，帷幕在平面布置上应闭合。咬合宽度不应小于150mm；



(a)桩外连续型高压喷射注浆止水帷幕 (b)桩间分离式高压喷射注浆止水帷幕 1——高压喷射注浆体；2——置于内侧的排桩 单位：mm

图6.2.10 高压喷射注浆示意图

**2** 高压喷射注浆构筑隧道止水帷幕，帷幕宜沿隧道开挖轮廓周边闭合。止水帷幕厚度不宜小于2m，兼顾加固地层时不宜小于隧道开挖轮廓外侧3m；

【条文说明】

具体加固范围、技术方案应根据工程地质、水文地质条件、暗挖隧道覆土深度及盾构机类型等因素综合确定。根据西安地区经验，一般情况下盾构始发井和接收井加固范围为始发井、接收井洞口外侧纵向不小于8m，盾构隧道断面外不小于3m。对于地下水位较低，地层条件较好，但周边环境复杂，采用旋喷加固时，纵向加固范围可适当减小。

采用超高压旋喷止水帷幕，帷幕宽度不应小于2m，搭接不应小于桩径的1/4，且不小于0.6m。止水帷幕深度不宜大于35m。

根据施工场地条件，隧道加固及止水可分别采用洞内旋喷和地面旋喷，对地面位于城市快速路、主干道、地下存在大直径管线、管线密集等实施条件受限或加固深度大于25m（砂层20m）的情况，宜采用洞内加固方式。

**3** 高压喷射注浆成桩直径不宜小于800mm，桩间距不宜大于600mm，宜采用双重管、三重管旋喷工艺。

**6.2.11** 压力注浆法设计应符合下列规定：

**1** 采用压力注浆法构筑隧道止水帷幕，注浆范围不宜小于隧道开挖轮廓外侧2m；

**2** 压力注浆法止水帷幕可根据地下水位埋深情况选用不同的注浆工艺和浆液类型；

**3** 注浆压力应考虑覆土厚度、浆液种类、地层条件、周边环境等因素，宜根据现场情况进行调整。

【条文说明】

注浆法加固深度大于25m（砂层20m）时，可采用洞内注浆。注浆止水帷幕的厚度不小于2m，且不小于0.3倍的水头高度，单次施工深度不小于10m，不大于25m，止浆盘厚度不小于帷幕厚度。

洞内注浆止水时，外圈注浆孔间距一般为500mm～1000mm，内圈注浆孔间距一般为800mm～1500mm，施工现场可结合试验动态调整。

**6.2.12 冻结法止水设计应符合下列规定：**

**1** 地层冻结应在设计时间内保证隧道施工的安全，应充分考虑冻结加固与边界条件的相互影响，减小冻胀与融沉对周围环境的不利影响；

【条文说明】

冻结壁设计交圈时间不小于30d，且不大于60d。

**2** 冻结壁应满足承载、变形及封堵止水要求；

【条文说明】

单层冻结孔不能满足冻结壁厚度要求时，应多排布孔。

**3** 在地层冻结区域内有以下情况时，冻结设计应进行深入分析并采取针对性措施：

1）地下水流速大于5m/d，有集中水流或地下水水位有明显（大于2m/d）波动；

2）土层结冰温度低于-2℃或有地下热源可能影响土体冻结；

3）用其他施工方法扰动过的地层；

4）有其他可能影响地层冻结或地层冻结可能严重影响周围环境的情况；

**4** 当冻结壁表面直接与大气接触，或通过导热物体与大气产生热交换时，应在冻结壁或导热物体表面采取保温措施。

**5** 在冻结壁形成期间，冻结壁外200m区域内的透水砂层中不宜采取降水措施。必须降水施工时，冻结设计应充分考虑降水产生的不利影响；

**6** 冻结法设计内容应符合下列规定：

1）冻结壁结构方案比较与选择；

2）冻结壁的承载力和变形验算，应明确冻结壁的设计厚度、范围和平均温度；

3）冻结孔、测温孔、泄压孔、水文观测孔布置；

4）冻结壁的形成验算；

5）冻结制冷系统设计；

6）对冻结壁监测与保护要求；

7）可能对周围环境、地下管线和建（构）筑物等可能产生影响的分析；

8）对周围环境、地下管线和建（构）筑物等影响监测与保护要求。

【条文说明】

1～4项内容包含在冻结墙结构设计中，5～8项内容包含在施工方案设计中，冻结墙结构设计可对5～8项内容提出要求。

**7** 冻结法设计应符合下列规定：

1）建立冻土结构受力模型；

2）全面考量全过程可能影响冻土强度的因素，以及冻土结构本身可能影响周边环境可能性；

3）进行对应的冻土力学性能试验获得必要的计算参数，并对冻土结构的冻胀融沉进行量化。

【条文说明】

地面超载、主动土压力等冻结壁荷载可参考《建筑基坑支护技术规程》JGJ120计算。

**8** 冻结壁厚度设计与强度检验：

1）冻结壁应按承载力要求设计冻结壁厚度；

2）冻结壁的力学计算模型可按均质线弹性体简化，其力学特性参数宜取设计冻结壁平均温度下的冻土力学特性指标，并对冻土结构的冻胀融沉进行量化。

**6.2.13** 沉井（沉箱）设计应符合下列规定：

**1** 沉井（沉箱）结构应满足自身结构和周边环境保护要求，兼做止水帷幕；

**2** 沉井（沉箱）水下封底混凝土达到设计强度后或经验算后，方可抽排沉井内的水；

**3** 沉井（沉箱）应验算封底后沉井封底结构承载力和抗浮安全性；

**4** 水平和竖向施工缝应留置在底板结构或井壁结构薄弱部位200mm以外的结构上。

**6.3 止水施工**

**6.3.1** 施工前应对现场环境及地下建（构）筑物的埋设情况进行调查，复核设计孔位或加固位置，清除地下、地上障碍物；施工场地应平整坚实；采用大型施工设备时，应对地基承载力进行验算。

**6.3.2** 止水帷幕施工应与支护结构施工相协调，应符合下列规定：

**1** 独立的、连续性基坑止水帷幕，宜先施工帷幕，后施工支护结构；

**2** 对嵌入式止水帷幕，当采用搅拌工艺成桩时，可先施工帷幕桩，后施工支护结构；当采用高压喷射注浆工艺成桩，或可对支护结构形成包覆时，可先施工支护结构，后施工帷幕；

**3** 当采用咬合式排桩止水帷幕时，宜先施工非加筋桩，后施工加筋桩；

**4** 当采取嵌入式止水帷幕或咬合支护结构时，应控制其养护强度，同时满足相邻支护结构施工时的自身稳定性要求和相邻支护结构施工要求；

**5** 地下连续墙采用接头部位土体止水措施时，应在地下连续墙实施后施工；

**6** 地下隧道止水帷幕应超前施工，并保留足够厚度的止浆墙。

（Ⅰ）地下连续墙

**6.3.3** 地下连续墙式帷幕施工应符合下列规定：

**1** 成槽设备应适应地质和场地条件；

**2** 槽段之间的接头应满足防渗止水要求；

**3** 在吊放钢筋笼前，应对槽段接头和相邻墙段的槽壁混凝土面用刷槽器等方法进行清刷，清刷后的接头和混凝土面不应夹泥；对设置防渗构件的接头，应将防渗构件装配到位；

**4** 混凝土浇筑前应进行二次泥浆置换，置换后泥浆比重不宜大于1.15；

**5** 混凝土浇筑应采用双导管，初次导管埋深不应小于1.0m，浇筑过程中导管埋深不应小于2m且不宜大于6m，混凝土槽段浇筑应连续，中断不应大于1h，否则应采用缓凝混凝土；

**6** 墙体后土体注浆，应在墙体达到设计强度或设计要求后进行；

（Ⅱ）咬合式排桩

**6.3.4** 咬合式排桩帷幕施工应符合下列规定：

**1** 素桩可根据地层条件选用旋挖、全护筒等工法，素桩宜采用超缓凝混凝土。钢筋混凝土桩宜采用有混凝土切割功能的套管和全回转钻机配合施工，在素桩初凝前，通过切割部分素桩混凝土桩身与素桩的互相咬合；应避免过早切割素桩；

**2** 素桩和套管的垂直度应控制在0.3%内，液压套管应正反转加压扭动下切或全回转正反转下切，抓斗在套筒内取土时，套管底部应始终处于抓土面以下不小于1m；

**3** 钢筋混凝土桩宜采用干钻，浇筑水下混凝土前应注入清水，当采用泥浆钻进时应充分进行泥浆置换，泥浆比重不宜大于1.10，混凝土浇筑面应高于套管底部不小于1.0m，且不大于6m。套管提升时应垂直提升并旋转套管缓慢提升；

**4** 当采用软切割工艺施工时，加筋基桩应在非加筋基桩初凝前进行施工，并应确保相互咬合；

**5** 咬合排桩基桩垂直度偏差不应大于0.3%，桩位允许偏差应为50mm，预埋件位置的允许偏差应为20mm；成孔过程中如发现垂直度偏差过大，必须及时进行纠偏调整；

**6** 因混凝土出现早凝现象或机械设备故障等原因，造成咬合排桩的施工未能按正常要求进行而形成事故桩，必须采取止水补救措施；

**7** 根据施工现场地下水位情况，宜预留桩间补充注浆的条件，必要时进行桩间注浆。

【条文说明】

咬合桩具有和地连墙类似的支护和止水效果，但造价相对较低。采用素桩超缓凝混凝土，并利用套管切割、抓斗或旋挖钻机配合的方法，在大部分地层是适用的，但应注意控制素桩和钢筋混凝土桩的垂直度，保证能起到咬合的作用，钻进中套管超前和混凝土浇筑中套管滞后，有利于防止塌孔、夹泥，提高咬合处的抗渗能力。全回转钻机具有垂直度高，切削和上拔力大等优点，应优先选用；采用摆动式护筒钻进，成本较低，在小桩径、短桩长地段也能达到较好的效果。

（Ⅲ）钢板桩

**6.3.5** 钢板桩式止水帷幕施工应符合下列规定：

**1** 钢板桩式止水帷幕应采用锁口式构造；

**2** 钢板桩应进行检查和验收，不应有弯折、翘曲和破损，锁口应平直通顺，互相咬合，使用前应通过套锁检查。钢板桩不受力状态下的挠曲不大于1%；

**3** 钢板桩施工垂直度偏差不大于1%，对基坑拐角处应采用异型钢板桩，保证止水效果；

**4** 沉桩前应在锁口内嵌填黄油、沥青或其他密封止水材料；

**5** 宜采用振动沉桩，周边环境要求较高时可采用静压沉桩，沉桩困难时可引孔后沉桩；

**6** 应采取可靠的施工措施保证钢板桩能按照要求闭合；

**7** 钢板桩拔出后应立即采用水泥砂浆或水泥浆等材料灌注密实。

【条文说明】

钢板桩止水帷幕不能有效闭合时，可采取注浆、旋喷等措施进行补充止水，并在开挖过程中对接头部位采取连接和止水措施，避免造成大量水涌入基坑。

（Ⅳ）水泥土搅拌法

**6.3.6** 水泥土搅拌法帷幕施工应符合下列规定：

**1** 水泥土搅拌桩应采用湿法工艺，施工配备注浆泵的额定压力不宜小于5.0MPa；

**2** 水泥土搅拌桩施工前，应根据设计进行工艺性试桩，数量不应少于3根，多轴搅拌施工不应少于3组，且应对工艺试桩的质量进行检验，确定施工参数；

**3** 孔位偏差不应超过50mm，垂直度偏差不应超过1%，成桩直径和桩长不应小于设计值；

**4** 施工过程中，如因故停浆，应将搅拌头下沉至停浆点以下0.5m处，待恢复供浆时，再喷浆搅拌提升，继续搅拌时应与停止搅拌前的固结体搭接，其搭接长度不应小于1.0m；

**5** 喷浆搅拌下沉、提升速度和重复次数应符合设计和工艺要求，并有施工过程记录。

**6.3.7** 水泥土搅拌固结体搭接宽度应符合下列规定：

**1** 对单排施工，当水泥土搅拌孔深度小于10m时，搭接宽度不应小于150mm；当水泥土搅拌孔深度为10m～15m时，搭接宽度不应小于200mm；当水泥土搅拌孔深度大于或等于15m时，搭接宽度不应小于250mm；

**2** 对双排施工，当水泥土搅拌孔深度小于或等于10m时，搭接宽度不应小于100mm；当水泥土搅拌孔深度为10m～15m时，搭接宽度不应小于150mm；当水泥土搅拌孔深度大于或等于15m时，搭接宽度不应小于200mm；

**3** 多轴搅拌工艺宜采用套接-孔法施工。

（Ⅴ）高压喷射注浆法

**6.3.8** 高压喷射注浆法帷幕施工应符合下列规定：

**1** 高压喷射注浆应按设计的有效半径和土的类别确定喷射方式、喷射压力、注浆流量、提升速度、旋转速度等工艺参数。

**2** 喷射孔与高压注浆泵的距离不宜大于50m。钻孔位置的允许偏差应为±50mm。垂直度允许偏差为1%；

**3** 应采用隔孔（顺孔）作业的施工顺序，相邻孔喷射注浆的间隔时间不宜小于24h；

**4** 高压喷射注浆时应由下而上均匀喷射，停止喷射的位置宜高于帷幕设计顶面1m；

**5** 当高压喷射注浆因故中途停喷后，继续注浆时应与停喷前的注浆体搭接，其搭接长度不应小于0.5m；

**6** 在旋喷注浆过程中出现压力骤然下降、上升或冒浆异常时，应查明原因并及时采取措施；

**7** 旋喷注浆完毕，应迅速拔出喷射管。为防止浆液凝固收缩影响桩顶高程，可在原孔位采用冒浆回灌或二次注浆等措施；

**8** 摆喷注浆的喷射方向与摆喷点连线的夹角宜取10°～25°，摆动角度宜取20°～30°。

【条文说明】

对硬塑状态的黏性土、密实的砂土和碎石土宜采用较小的提升速度和较大的喷射压力。旋喷桩的施工工艺及参数应根据土质条件，通过工艺性试验或根据工程经验确定。单管法、双管法高压水泥浆和三管法高压水的压力应不小于20MPa，流量应大于30L/min，气流压力宜大于0.7MPa，提升速度宜为0.1m/min～0.2m/min。

**6.3.9** 高压喷射注浆水泥土固结体搭接宽度应符合下列规定：

**1** 当注浆孔深度*L*<10m时，搭接宽度不应小于200mm；

**2** 当注浆孔深度为10m≤ *L*<20m时，搭接宽度不应小于250mm；

**3** 当注浆孔深度20m≤*L*<30mm时，搭接宽度不应小于350mm。

**6.3.10** 水平旋喷止水帷幕，施工应符合下列规定：

**1** 应选择适合地下空间作业的机械设备，旋喷钻杆直径不宜小于70mm，在设计深度钻杆的自由挠曲不应大于30cm；

**2** 水平旋喷宜采用钻进切割-后退喷浆-前进复喷-后退喷射的方法；

**3** 应采取可靠的措施防止浆液外流，单孔施工完成后应采取临时封堵措施；

**4** 水平旋喷施工的外插角不宜大于3°；

**5** 孔口定位偏差不宜大于5cm；

**6** 采用取芯的方式进行检验时，取芯应至少达到旋喷止水帷幕厚度的1/2，单孔出水量不应大于设计要求，取芯后应对取芯或检验孔注浆封堵。

（Ⅵ）压力注浆法

**6.3.11** 压力注浆法帷幕施工应符合下列规定：

**1** 施工设计应明确注浆孔布置、注浆压力、浆液类型、注浆顺序等参数，并通过试验确定；

**2** 注浆孔间距应通过试验和经验确定。采用劈裂注浆，注浆孔间距宜取0.8m～2.0m，采用渗透和充填注浆，注浆孔间距宜取0.8m～1.2m。注浆孔应按序列编号，注浆宜按隔一孔或多孔的顺序进行，当地下水流速较大时，应从水头高的一端开始注浆；

**3** 注浆顺序须考虑地层情况和周边环境，对互层土层，应先对渗透系数或孔隙率大的地层进行注浆；周边有敏感建筑物时，宜先周边后中间。对地层渗透系数或孔隙率大，注浆容易跑浆时，可先在需要注浆的周边，利用快速凝固的浆液形成一道止浆墙后再进行注浆；

**4** 浆液根据地层选用合适的浆液，对黏土地层宜采用水泥浆，对砂层宜采用双液浆，对砂砾石、卵石、杂填土地层可采用水泥浆或水泥砂浆。需要快速凝固的止浆墙，可采用改性水玻璃等浆液。注浆用水pH值不应小于4，水泥宜采用普通硅酸盐水泥，有条件时宜采用超细水泥，水玻璃应采用模数2.5以上的水玻璃并进行稀释，粉煤灰应采用磨细粉煤灰；

**5** 宜采用定量、定压相结合注浆，对先序注浆孔采取定量注浆，对后续注浆孔采取定压注浆；采用劈裂注浆时，压力宜采用0.2MPa～0.5MPa；采用渗透注浆，压力宜采用0.2MPa～1.0MPa；采用充填注浆，压力宜采用0.1MPa～0.3MPa。终孔注浆压力取低值，周边有敏感建筑物时，压力取低值；

**6** 注浆设备应采用有自动压力控制功能的设备，双液注浆时应使用单向阀的浆液混合器；

**6.3.12** 地面垂直斜帷幕注浆施工，应符合下列规定：

**1** 注浆孔位偏差不应大于0.1m，孔末端偏差不应大于注浆孔间距的1/4且不大于0.3m；

**2** 宜采用孔底向孔口的后退式注浆；

**3** 出现注浆压力异常、返浆异常时应查明原因，采取措施；

**4** 杂填土、粗砂等地层，可采用导管跟进的方式成孔，随着注浆逐步拔除导管；

**5** 周边有敏感建构筑物和管线时，应采用低压多次注浆。

**6.3.13** 洞内水平和倾斜帷幕注浆施工，应符合下列规定：

**1** 注浆前应封闭掌子面，可采用钢筋混凝土、喷射混凝土封闭；

**2** 宜采用后退式注浆；当地层渗透系数大，宜在孔口附近先注浆形成补充止浆墙后再采取前进或后退式注浆。倾斜帷幕注浆，宜自上而下施工；

**3** 钻孔孔口应采用快硬水泥砂浆进行封堵；

**4** 注浆应按照先外圈后中间的方式，并严格控制中间孔的注浆压力；

**5** 分部开挖的隧道，宜将掌子面赶齐后注浆，采用分部注浆分部开挖时，应确保每个分部注浆帷幕密闭；

**6** 锚杆和锚管施工时，不应打穿注浆体。

【条文说明】

采用注浆止水，尤其是附近有敏感建筑物、构筑物，如果压力控制不当，会造成周边建构筑物的位移、变形甚至破坏，某条线路在既有线下施工，采取注浆止水，当注浆压力达到0.8MPa时，既有线发生了约17mm的隆起，站台板瓷砖开裂，站台板墙开裂；某外部工程在地铁U型槽下进行暗挖隧道施工，对管幕外土体注浆过程中，导致U型槽局部隆起47mm且部分结构开裂，工程停工超过2年。通过分析施工数据发现，注浆压力较大，尤其是终止注浆压力较大，导致了既有结构物的隆起。在注浆的初期，土体尚不够密实，通过自身的压缩，可以抵消注浆造成的周边环境的变化，当土体已经比较密实，注浆压力会通过传递、移动土体等方式向外释放注浆产生的变形从而导致周边建构筑物的变形。因此在对沉降和隆起敏感的地段注浆，注浆压力控制、监测配合非常必要。采用智能注浆系统，能精确控制注浆压力的波动，减少和避免工程事故的发生。

（Ⅶ）冻结法

**6.3.14** 冻结法帷幕施工应符合下列规定：

**1** 应在冻结区域和其外一定范围设置保温措施，保温应进行设计计算；

**2** 制冷能力应通过计算确定，冻结介质宜采用氯化钙水溶液；

**3** 冻结的供电应进行设计并符合施工现场临时用电规范的要求，应采取可靠的双电源措施，或配备足够能力的备用发电机；

**4** 应进行制冷站的通风降温计算，制冷站通风后温度不宜大于28℃；

**5** 冻结孔开孔偏差应小于5cm。钻孔最大偏差不宜大于冻结孔搭接深度的1/3，且不大于15cm。对深度较大的孔，宜设置0.5℃～1℃的上倾角，钻孔过程中应及时测斜。冻结孔施工过程应采取措施减小倾斜，并采取针对性的防偏措施确保质量，成孔后应根据测斜数据绘制冻结孔成孔偏斜图；

**6** 在承压水或高水头地段开孔，应采取可靠的防止喷涌的措施；

**7** 冻结的管路连接应可靠，密封件应满足低温耐久性的要求。正式运转前应进行试运转，检验系统应达到设计要求；

**8** 开挖前应对冻结壁进行检测，开挖过程中应对冻结壁的位移和温度进行监测，应维持地层的温度稳温；

**9** 应布置泄压孔，泄压孔数量不应少于2个。泄压孔应保持通畅；

**10** 冻结法施工中应对冻结效果进行巡查，并做好土体内部、冻结介质的测温，冻结介质温差不宜大于2℃；

**11** 运转过程中应有日志记录，并应采取措施保证冻结站的冷却效率；

**12** 应做好冻结法施工的安全保障措施，制定专项应急预案。

**6.3.15** 维护冻结应符合下列规定：

**1** 维护冻结应符合设计制冷参数，确保开挖期间冻结壁的功能和围护结构的安全，不应停止或减少供冷；

**2** 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；

**3** 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；

**4** 维护冻结的盐水温度不应高于-25℃，单个冻结器盐水流量不应小于3m3/h；

**5** 基坑竖向冻结时，土方开挖和结构施工过程中应采取措施保护冻结器，避免冻结器被损坏；冻结器影响到基坑内支撑安装或结构施工时，可根据需要进行管路改移；管路改移后应进行流量和温度的监测，以确保冻结器设计的供冷量不受影响；

**6** 横向冻结时，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；冻土需要机械开挖时，不应削弱有效冻结壁；

**7** 局部冻结时，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；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；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；

**8** 分段冻结时，基坑内分段的竖向冻结壁外露部分应采取保温措施；若侧壁为竖向冻结壁，基底为局部冻结时，土方开挖和结构施工应符合竖向冻结和局部冻结的规定；

**9** 盾构始发与接收端维护冻结时，盾构掘进应在施工组织设计规定的时长内完成；盾构始发或接收过程中若发生盾构机停机时，应维持维护冻结；

**10** 应定期检查冻结设备。

【条文说明】

冷冻法施工主要应用于联络通道等较小范围的施工，施工的要求可参照北京市地方标准《城市轨道交通工程冷冻法施工技术规范》DB11/T1972。冷冻法施工的核心是冻结的有效性，重点是施工过程中的维护和管理。

（Ⅷ）沉井（沉箱）式帷幕

**6.3.16** 沉井（沉箱）式帷幕施工应符合下列规定：

**1** 沉井混凝土强度达到设计强度的70％及以上时方可拆除垫木，并应制定合理的拆除顺序；

**2** 水位以下的挖土，应采用水下开挖、水力开挖等方式，使沉箱内外水头保持平衡，避免流土破坏。开挖应对称均匀，避免沉偏；

**3** 沉井下沉时应保持对称、均匀，并应制定预防突沉、沉偏、难沉的应急措施；

**4** 当第一节沉井下沉至设计深度时，方可接筑第二节沉井，每次接筑最大高度不宜超过5m，接筑工作缝应采取可靠的止水措施；

**5** 沉井达到设计深度后应进行封井，封井应采用水下混凝土，多导管封井，导管间距不宜大于4m。封井混凝土达到设计要求强度后，方能进行井内排水作业；

**6** 采用钢沉箱时，应核算下沉力是否满足下沉的要求，并采取压重等辅助下沉措施。

（Ⅸ）其他工法

**6.3.17** 采用TRD工法（水泥加固土地下连续墙）、SMW、CSM（双轮铣）等工法施工水泥搅拌土地下连续止水帷幕应符合下列规定：

**1** 施工场地应平整坚实，并采用垫木、轨道等方式保持施工过程中设备的稳定；

**2** 施工前应进行工艺试验，确定水泥掺量、水灰比、搅拌和提升速度、搅拌次数、水泥土抗渗指标等施工参数；

**3** 当施工深度超过30m时，应严格控制垂直度，垂直偏差不应大于300mm，且不大于1/3搅拌水泥土厚度；

**4** 施工应连续进行，当中途停止施工超过24h，应在恢复施工时采取可靠措施保证搭接部位的完整性；

**5** 预搅时，土体应完全搅拌切碎，以利于与水泥浆的均匀搅拌。

【条文说明】

TRD 工法，SMW工法，CSM工法是近年来上海等地从国外引进的一些新的工法，具有设备先进、适应范围广、施工质量可靠等优点，但因为设备的普及率低，现阶段的工程造价较高。随着设备的普及，造价会逐渐降低，能更好的应用于工程实际。几种工法的主要特点及施工要点简述如下：

1 TRD工法（Trench cutting re-mixing deep wall method )，是将满足设计深度的附有切割链条以及刀头的切割箱插入地下，在进行纵向切割横向推进成槽的同时，向地基内部注入水泥浆以达到与原状地基的充分混合搅拌在地下形成等厚度连续墙的一种施工工艺。

2 SMW工法 是利用专门的多轴搅拌就地钻进切削土体，同时在钻头端部将水泥浆液注入土体，经充分搅拌混合后，在各施工单位之间采取重叠搭接施工，在水泥土混合体未结硬前将H型钢或其他型材插入搅拌桩体内，形成具有一定强度和刚度的、连续完整的、无接缝的地下连续墙体，该墙体可作为地下开挖基坑的挡土和止水结构，最常用的是三轴型钻掘搅拌机，其主要特点是构造简单，止水性能好，工期短，造价低，环境污染小，特别适合城市中的[深基坑](https://baike.so.com/doc/6779519-6995624.html%22%20%5Ct%20%22https%3A//baike.so.com/doc/_blank)工程。

3 CSM工法（等厚度水泥土搅拌墙）是Cutter soil mixing的缩写，是一种新型、高效、环保的等厚度水泥土搅拌墙施工技术，又称双轮铣深层搅拌技术。该技术从地下连续墙液压铣槽机的施工原理发展而来，其主要原理是通过钻杆下端的一对液压铣轮，对原地层进行铣、销、搅拌，同时掺入水泥浆固化液，与被打碎的原地基土充分搅拌混合后，形成具有一定强度和良好止水性能的水泥土连续墙， 成墙厚度有0.8m、1.0m、1.2m三种规格，可以插入大型号型钢形成有一定刚度的复合式地下连续墙。

**6.3.18** 采用MJS（全方位高压旋喷注浆）、RJP（超高压旋喷注浆）工法施工尚应符合下列规定：

**1** 施工前应进行工艺试验，确定施工参数；

**2** 施工前宜进行引孔；

**3** 注浆喷射压力不宜小于40MPa；

**4** 桩体搭接不应小于不小于桩体长度的1%，且不小于500mm。

【条文说明】

全方位高压旋喷注浆MJS工法(Metro Jet System)是在原来高压喷射注浆法的基础上，采用独特的多孔管和前端强制吸浆装置，实现了孔内强制排浆和地内压力监测，并通过调整强制排浆量来控制地内压力，使深处排泥和地内压力得到合理控制，使地内压力稳定，降低了在施工中出现地表变形的可能性，大幅度减少对环境的影响，而地内压力的降低也进一步保证了成桩直径。和传统旋喷工艺相比，MJS工法减小了施工对周边环境的影响。在施工过程中，当压力传感器测得的孔内压力较高时，可以通过油压接头来控制吸浆孔的开启大小，从而调节泥浆排出量使其达到控制土体内压力值范围。大幅度减小对环境的影响，避免出现挤土效应，也就大大减少了施工中出现地表变形、建筑物开裂、构筑物位移等情况发生。

RJP工法全称为 Rodin jet pile，是在三管工法基础上开发出来的。它仍使用三管，分别输送水、气、浆，与原三管工法不同的地方是，水泥浆用高压喷射，并在其外围环绕空气流，进行第二次冲击切削土体。RJP工法固结体直径大于三管工法。在深度不超过40m时可达2.5m～3.0m，RJP工法加固深度深，在采取了泥浆回流措施后可达到105m。在国内上海等地已经广泛应用，在陕西地区也有使用。

**6.4运行维护**

**6.4.1** 帷幕的施工质量验收尚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》GB50202和《地下防水工程施工质量验收规范》GB50208的相关规定。

**6.4.2** 对封闭式止水帷幕，宜通过坑内抽水试验，观测抽水量变化、坑内外水位变化等检验其可靠性。

**6.4.3** 对设置在支护结构外侧的独立式止水帷幕，可通过开挖后的止水效果判定其可靠性。

**6.4.4** 对嵌入式止水帷幕，应在开挖过程中检查固结体的尺寸、搭接宽度，检查点应随机选取，对施工中出现异常和漏水部位应检查并采取封堵、加固措施。

**6.4.5** 对注浆、喷射、搅拌的止水帷幕，应采取取芯法进行连续性和渗透性试验，取样位置应符合相关规范要求，取样数量不应少于6点，芯样采样率不小于80%且不应有明显的未加固土层，芯样渗透系数应小于设计要求，当设计无要求时不应大于6cm/s ~10cm/s，取芯后的钻孔应采用水泥浆灌注密实。

**6.4.6** 地下隧道的水平止水帷幕，隧道开挖前应进行取芯试验和探孔检查，每循环注浆探孔不应少于3处，探孔深度不应小于帷幕设计厚度的1/2，芯样渗透系数不应大于设计要求，探孔渗流量应符合设计要求。探孔应进行注浆封堵。

**6.4.7** 止水帷幕的运行维护应符合下列规定：

**1** 进行监测和日常巡视；

**2** 发现异常及时反馈，并采取必要的处理措施；

**3** 基坑和隧道施工过程中不应损伤止水帷幕；当土钉、锚杆穿过止水帷幕时采取可靠措施防止止水帷幕失效并采用快硬水泥砂浆封堵锚孔，修复止水帷幕；

**4** 应急排水措施需满足正常施工要求。

【条文说明】

工程施工的止水措施，目的是为了保证施工的正常进行，很难也没有必要做到滴水不漏，施工环境和渗流稳定性能接受的情况下，采取排水的辅助措施是必要的，足够的排水能力是在特殊情况下避免重大事故的发生。在施工过程中，巡视检查可以发现止水措施失效或出现问题的征兆，及早处理可以避免涌水涌沙甚至坍塌等事故。

**7 施工监测**

**7.1 监测内容**

**7.1.1** 采取地下水控制措施的工程应进行地下水位、出水量、含砂量监测，宜对地下水水质进行监测，并对影响范围内的地层、地表、建构筑物、管线等进行变形监测。

**7.1.2** 地下水控制期间，工程结构自身及周边环境的监测项目应符合《城市轨道交通工程监测技术规范》GB50911及《建筑基坑工程监测技术标准》GB50497等的相关规定。

**7.1.3** 地下水位监测宜设置水位观测井或水位观测孔，采用水位计量测，孔径应满足观测要求且方便操作。

**7.1.4** 地下水位监测点的布置应符合下列规定：

**1** 每个测区的水位观测点应不少于3个，需观测地下水与地表水的联系时，应布置垂直等高线的观测断面，并同时观测地表水的水位变化；

**2** 当采用管井降水时，基坑内地下水位监测点宜布置在基坑中央和两相邻降水井的中间部位，当采用轻型井点、喷射井点降水时，水位监测点宜布置在基坑中央和周边拐角处，监测点间距不宜大于50m；

**3** 基坑外地下水位监测点应沿基坑、被保护对象的周边或在基坑与被保护对象之间布置，监测点间距宜为20m～50m，相邻建筑、重要的管线或管线密集处应布置水位监测点，当有止水帷幕时，帷幕内外应分别布置水位监测点；

**4** 水位观测管的管底埋置深度应在最低设计水位或最低允许地下水位之下3m～5m，承压水水位监测管的滤管应埋置在所测的承压含水层中；

**5** 在降水深度内存在2个以上（含2个）含水层时，宜分层布设地下水位观测孔。

【条文说明】

地下水位测量主要是通过地下水位监测点进行。地下水位监测点的作用一是检验降水井的降水效果，二是观测降水对周边环境的影响。应根据水文地质条件的复杂程度、降水深度、降水的影响范围和周边环境保护要求，在降水区域及影响范围内分别布设水位观测点。不宜使用降水井做水位观测点。观测点数量应满足掌控降水区域和影响范围内地下水动态的要求。

**7.1.5** 水位观测孔（井）应在工程开始降水前1周埋设，并测得稳定的初始水位值。

**7.1.6** 降水工程遇有下列情况时应进行水质监测：

**1** 控制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** 地下水已受污染的区域。

**7.1.8** 在地下水控制施工、运行、维护阶段应对工程设施、设备、地下水控制的本体、监测设施、周边环境进行现场巡视检查。巡查内容宜包括地表与周边建（构）筑物、道路的裂缝及异常渗漏、控制效果、排水等。

**7.1.9** 巡视检查应固定专人、定期进行。检查方式以目测为主，可辅以锤、钎、量尺、摄像、摄影等工具进行。

**7.1.10** 含砂地层降水运行时，含砂量监测可采取试验室检测和常规现场量测的方法。

**7.1.11** 冻结法施工应增加下列监测内容：

**1** 冻结壁变形监测；

**2** 冻胀与融沉监测；

**3** 冻结影响范围的隧道变形监测。

**7.1.12** 横向冻结法盾构区间联络通道内监测点布置应符合设计文件要求，设计无要求时应符合下列规定：

**1** 隧道衬砌结构（管片）监测范围，洞口两侧各不应小于50m；

**2** 隧道内变形监测断面布置，应与联络通道轴线对应的衬砌结构（管片）布置第一个监测断面，两侧10环内每2环应布置一个监测断面，10环外每4环应布置一个监测断面。每一监测断面布设4个监测点，隧道底、拱顶、腰中应各一个测点。

【条文说明】

冷冻法施工在西安城市轨道交通中主要应用在联络通道施工中，处于起步阶段，本条结合实践情况，初步明确了变形监测内容和范围。冷冻法施工监测可参考《隧道联络通道冻结法施工和验收规范》NB/T1022及有关地方或团体标准。

**7.2 监测频率**

**7.2.1** 地下水位监测频率应根据施工工法、施工进度等情况，结合监测对象的特点、工程地质水文地质条件和当地工程经验等综合确定，宜为1次/(1～2)d。

**7.2.2** 地下水控制过程中出水量监测频率应与水位观测频率一致，并应记录水量、水流特征。

**7.2.3** 含砂地层抽降期间应定期对抽出地下水的含砂量进行监测。正常降水期间，含砂量监测每周不少于2次。当观察水质混浊、降水周边沉降较大、井内降深调整时，需加密监测频率，分析原因并采取措施。

**7.2.4** 水质监测在地下水控制施工前、维护期前后应至少各采取一次水样作水质分析。

**7.2.5** 施工降水对周边环境产生影响时，应根据环境的重要性和预测的影响程度调整监测频率。

**7.2.6** 地下水控制运行期间，每天巡视检查不应少于2次。

**7.2.7** 冷冻法变形监测频率宜按表7.2.1确定。

表7.2.1 冷冻法监测频率

|  |  |
| --- | --- |
| 监测内容 | 监测频率 |
| 钻孔期间 | 冻结期间 | 开挖期间 | 融沉注浆 |
| 自然解冻 | 强制解冻 |
| 隧道垂直位移监测 | 1次/天 | 1次/2天 | 1次/天 | 前3个月：1次/（2～5）天；第4、5个月:1次/（5～10）天 | 第1个月:1次/1天；第2个月以后:1次/（10 ～15）天 |
| 隧道收敛监测 | 1次/2天 | 1次/2天 | 1次/天 |

**7.3 监测预警及应急处置**

**7.3.1** 地下水位监测预警指标应包括累计变化预警值和变化速率预警值，累计变化预警值为1000mm，变化速率预警值为500mm/d。

**7.3.2** 地下水控制运行稳定后，监测过程中出现下列情况之一时应立即进行预警，并应加密监测频率。

**1** 当地下水位上升达到预警值时；

**2** 地下水位上升速率加大且持续上升；

**3** 止水工程渗漏较严重或背水面水位突变；

**4** 当降水过程中抽取地下水的含砂量超过规范要求时；

**5** 降水工程地下水出水量与正常时相比发生较大变化；

**6** 地下水控制工程范围含水层水质发生恶化；

**7** 建（构）筑物、道路、地下管线等工程环境发生较大沉降、倾斜、裂缝，达到设计预警值；

**8** 根据工程经验判断，出现其它需进行预警的情况。

**7.3.3** 当发生突发风险事件时，应及时启动应急预案。

【条文说明】

当遇下列情况时，在开展风险评估工作的基础上建立相应应急预案：

1 场地内存在对工程有影响的多层地下水；

2 场地内承压水头较大，影响基坑和隧道的稳定性；

3 场地内地下水位于强富水地层；

4 周边建（构）筑物、地下管线、道路等周边环境对变形较敏感。

**7.3.4** 冻结法监测控制值应符合设计文件要求，设计无要求时应符合下列规定：

**1** 冻结壁变形控制值不应大于30mm，预警值不应大于21mm；

**2** 冻胀与融沉值宜与其他变形值叠加为总变形控制值；

**3** 横向冻结法区间隧道收敛控制值不应大于15mm。

**附录A 西安地区各地貌单元渗透系数和影响半径经验值**

**A.01** 西安地铁勘察期间，每条线路选取各代表性地貌单元进行了多组抽水试验，试验期间主井与观测孔采用同样的施工方法，同结构、同深度，进行了三个落程的降深试验，水位观测至远端观测孔恢复至拐点。渗透系数和影响半径的计算均采用多种方法对比确定。

**A.02** 西安地铁在莲湖路场地进行大型群井干扰抽水、不同井径对比试验、不同井管材质对比试验、不同孔隙率的对比试验。现场抽水试验期间对两个垂直方向的观测孔进行了同步观测。

**A.03** 渗透系数和影响半径经验值，是根据西安轨道交通各地貌单元抽水试验稳定时的计算值、莲湖路大型抽水试验、工程降水期间的实测值、当地工程经验等综合提出。

**A.04** 基坑降水设计时建议采用最大涌水量进行影响半径修正。

表A 西安地区渗透系数和影响半径的经验值

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 地貌单元 | 渗透系数（m/d） | 影响半径（m） | 观测孔水位恢复至拐点的时间（月） | 全线水位恢复时间（月） |
| 黄土塬 | 3～5 | 50～180 | 2～3 | 8～10 |
| 黄土梁洼 | 5～10 | 45～100 | 2～3饱和软土3～4 | 6～8饱和软土10～18 |
| 渭河高阶地 | 5～15 | 55～120 | 1～2 | 6～8 |
| 渭河低阶地及漫滩 | 15～30 | 210～260 | 1～2 | 3～6 |
| 皂河阶地 | 15～20 | 80～120 | 1～3 | 6～8 |
| 浐灞河高阶地 | 5～15 | 55～100 | 3～4 | 8～10局部12～14 |
| 浐灞低阶地及漫滩 | 20～50 | 200～260 | 1～2 | 3～6 |
| 潏河阶地及漫滩 | 15～25 | 120～150 | 1～3 | 3～8 |

**附录B 涌水量计算**

**B.0.1**群井按大井简化时，均质含水层潜水完整井涌水量可按下列规定计算（见图B.0.1）：



 （a）降水区域远离边界； （c）降水区域位于两地表水体间；

（b）岸边降水； （d）降水区域靠近隔水边界

图B.0.1 均质含水层潜水完整井涌水量计算简图

**1**当降水区域远离边界时，涌水量可按下式计算：

 (B.0.1-1)

式中：Q——降水区域涌水量(m3/d)；

      k——含水层的渗透系数(m/d)；

      H——潜水含水层厚度(m)；

       S——设计水位降深(m)；

      R——降水影响半径(m)；

      $r\_{0}$——降水区域等效半径(m)，按$r\_{0}=\sqrt{A/π}$，计算；

      A——为降水区域面积（m2）。

**2**当岸边降水时，涌水量可按下式计算：

 (B.0.1-2)

**3**当降水区域位于两个地表水体之间或位于补给区与排泄区之间时，涌水量可按下式计算：

 (B.0.1-3)

**4**当降水区域靠近隔水边界时，涌水量可按下式计算：

 (B.0.1-4)

**B.0.2**群井按大井简化时，均质含水层潜水非完整井涌水量可按下列规定计算（见图B.0.2）：



（a）降水区域远离边界；（b）近河降水含水层厚度不大；

（c）近河降水含水层厚度很大

图B.0.2 均质含水层潜水非完整井涌水量计算简图

**1**当降水区域远离边界时，涌水量可按下式计算：

 (B.0.2-1)

 (B.0.2-2)

 式中：h——降水区域动水位至含水层底板的距离(m)；

$l$——过滤器有效工作部分长度(m)。

**2**当近河降水，含水层厚度不大时，涌水量可按下式计算：

 (B.0.2-3)

式中：M——由含水层底板到过滤器有效工作部分中点的长度(m)。

**3**当近河降水，含水层厚度很大时，涌水量可按下列公式计算：

 (B.0.2-4)

 (B.0.2-5)

**B.0.3**群井按大井简化时，均质含水层承压水完整井涌水量可按下列规定计算（见图B.0.3）：



（a）降水区域远离边界； （b）岸边降水；



（c）降水区域位于两地表水体间

图B.0.3 均质含水层承压水完整井涌水量计算简图

**1**当降水区域远离边界时，涌水量可按下式计算：

 (B.0.3-1)

 式中： M——承压含水层厚度(m)。

**2**当降水位于河岸边时，涌水量可按下式计算：

 (B.0.3-2)

3 当降水区域位于两个地表水体之间或位于补给区与排泄区之间时，涌水量可按下式计算：

 (B.0.3-3)

**B.0.4**群井按大井简化时，均质含水层承压水非完整井涌水量可按下式计算（见图B.0.4）：



图B.0.4 均质含水层承压水非完整井涌水量计算简图

 (B.0.4)

式中： M——承压含水层厚度(m)。

**B.0.5**群井按大井简化时，均质含水层承压水-潜水完整井涌水量可按下式计算（见图B.0.5）：



图B.0.5 均质含水层承压-潜水完整井涌水量计算简图

 (B.0.5)

**B.0.6**圆形或长宽比小于10的矩形降水区域，可按等效大井计算涌水量；降水区域长宽比为10～50之间时，可按表B.0.6.1计算涌水量公式；降水区域长宽比大于50时，可按表B.0.6.2计算涌水量。

表B.0.6.1 条形降水区域涌水量计算公式

|  |  |
| --- | --- |
| 地下水类型 | 公式 |
| 潜水 |  |
| 承压水 |  |
| 式中 | L——降水区域长度(m)；B——条形降水区域宽度(m)。 |

表B.0.6.2  线状降水区域涌水量计算公式

|  |  |
| --- | --- |
| 地下水类型 | 公式 |
| 潜水 |  |
| 承压水 |  |

**B.0.7** 降水影响半径(R)宜通过试验确定。缺少试验时，可按下列公式计算并结合当地经验取值：

1 潜水含水层

$R=2S\sqrt{kH}$ （B.0.7-1）

2 承压含水层

 $R=10S\sqrt{k}$ (B.0.7-2)

【条文说明】本附录涌水量计算公式主要来源于《建筑基坑支护技术规程》（JGJ120-2012）、《湿陷性黄土地区建筑基坑工程技术规范》（JGJ167-2009）和《建筑与市政工程地下水控制技术规范》（JGJ111-2016），并根据城市轨道交通工程地下水特点做了一定的整合，更有利于应用；并对部分内容做了补充和修正，比如关于降水区域的长宽比由原来的20调整为10，更贴合工程实际。

本附录所计算R为降水稳定流期间的影响半径，降水初期的影响半径R可按照工程经验或者附录A相关取值，估算降水区域初期涌水量。

**附录C  过滤器类型及适用范围**

表C 过滤器类型及适用范围

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 过滤器种类 | 骨架材料 | 孔隙率（%） | 适用范围 |
| 圆孔过滤器 | 钢管 | 30～35 | 不稳定裂隙岩层，松散碎石，卵石层 |
| 铸铁管 | 20～25 |
| 条形过滤器 | 钢管、塑料管 | 10～30 | 中粗砂砾石层 |
| 缠丝过滤器 | 钢筋骨架过滤器 | 圆钢 | 50～70 | 中粗砂砾石层 |
| 钢制过滤器 | 钢圆孔管 | 35 |
| 铸铁过滤器 | 铸铁圆孔管 | 25 |
| 钢筋混凝土过滤器 | 钢筋混凝土穿孔管 | 15～20 |
| 包网过滤器 | 网孔条孔过滤器 | 10～35 | 中细砂层 |
| 填砾过滤器 | 缠丝包网过滤器 | 10～75 | 细中粗砂和砾石层 |
| 砾石水泥过滤器 | 无砂混凝土管 | 10～15 | 同上 |
| 无缠丝过滤器 | 金属管 | 20～25 | 粉、细、中、粗砂，砾石，卵石层 |
| 水泥管 | 16～20 |
| 贴砾过滤器 | 钢管外加铁丝罩网 | 20 | 同上 |
| 聚丙烯过滤器 | 聚丙烯管 | —— | 同上 |
| 模压孔过滤器 | 钢板冲压后卷焊 | 桥形孔10mm～30mm帽檐孔8mm～19mm | 同上 |

**本标准用词说明**

**1** 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词，说明如下：

1. 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

1. 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

1. 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

1. 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

**2** 条文中指定应按其它有关标准、规范执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”；非必须按所指定的标准、规范执行时，写法为：“可参照……”。

**引用标准名录**

1. 《供水水文地质勘察规范》GB50027
2. 《建筑地基基础设计规范》GB50007
3. 《城市轨道交通工程监测技术规范》GB50911
4. 《建筑基坑工程监测技术标准》GB50497
5. 《地下铁道工程施工质量验收标准》GB/T50299
6. 《建筑地基基础工程施工质量验收规范》 GB50202
7. 《地下防水工程施工质量验收规范》 GB50208
8. 《建筑与市政工程地下水控制技术规范》JGJ111
9. 《建筑基坑支护技术规程》JGJ120
10. 《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ46