

DB 37

山 东 省 地 方 标 准

DBXX/T XXXX—XXXX

城市轨道交通工程建设地下水保护技术规范

Technical specifications for groundwater protection in urban rail transit engineering

(报批稿)

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

山东省市场监督管理局 发 布

目 次

前 言 I

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 总体要求 2

5 设计 2

 5.1 截水帷幕设计 2

 5.2 降（排）水设计 5

 5.3 回灌设计 8

 5.4 地下水导流设计 9

 5.5 突涌水防治设计 11

6 施工 12

 6.1 截水帷幕施工 12

 6.2 降（排）水施工 16

 6.3 回灌施工 17

 6.4 地下水导流施工 19

 6.5 基坑突涌水防治工程施工 22

7 监测及维护 22

 7.1 监测 22

 7.2 维护 24

附 录 A （规范性） 基坑涌水量计算..... 26

附 录 B （资料性） 基坑降水一回灌共同作用时的地下水水位计算..... 28

附 录 C （资料性） 导流设计参数计算..... 30

附 录 D （规范性） 质量检验标准表..... 34

参 考 文 献 40

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由山东省交通运输厅提出。

本文件由山东省交通运输标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：济南轨道交通集团有限公司、山东省地矿工程勘察院（山东省地质矿产勘查开发局八〇一水文地质工程地质大队）、济南市城乡水务局、济南市技师学院、山东轨道交通工程咨询有限公司、山东轨道交通研究院有限公司、济南黄河路桥建设集团有限公司、山东省水工环地质工程有限公司、山东大学。

本文件主要起草人：李虎、门燕青、高瑞兰、潘炳江、徐勤伟、李利平、胡韬、黄永亮、苏逢彬、曹建新、王斌、王宗月、杨跃宗、李臣、高扬、张恩重、王帅、孙会超、王晓晖、李勤兴、代方园、杜晓峰、李岩、孙连勇、张振杰、王永亮、程冰川、吴沙沙、许宝源、丁奕钧、孙培鑫、宫亮、杨侠、王鑫、胡爽。

城市轨道交通工程建设地下水保护技术规范

1 范围

本文件规定了城市轨道交通工程建设地下水保护设计、施工及地下水环境监测的通用技术要求，描述了对应的证实方法，涵盖截水帷幕、降排水、回灌、地下水导流、突涌水防治的计算、水位水质监测预警等全套技术管控内容。

本文件适用于各类新建、改建和扩建的城市轨道交通工程地下水保护工作。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 14848-2017 地下水质量标准
GB 50007-2011 建筑地基基础设计规范
GB 50021-2001 岩土工程勘察规范
GB/T 50027 供水水文地质勘察标准
GB 50202 建筑地基基础工程施工质量验收标准
GB 50208 地下防水工程质量验收规范
GB 50296 管井技术规范
GB 50497 建筑基坑工程监测技术标准
GB 51040 地下水监测工程技术标准
HJ 164 地下水环境监测技术规范
JGJ 79-2002 建筑地基处理技术规范
JGJ/T 111 建筑与市政工程地下水控制技术规范
JGJ 120-2012 建筑基坑支护技术规程
DB 37/T 5059-2025 工程建设地下水控制技术标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

基坑突涌水 **basal water intrush**

基坑开挖后，由于承压水头压力超过上部隔水层土体自重，导致坑底发生隆起、顶裂甚至涌水涌土的现象。

3.2

抗突涌安全系数 **factor of safety against basal intrush**

表征基坑底板抵抗承压水突涌稳定性的系数，为坑底至承压含水层顶板间土体的自重压力与承压水头顶托压力的比值。

3.3

地下水导流系统 groundwater diversion and drainage system

为引导、疏排水头高于工程结构上的地下水，减小水压力而设置的永久性或临时性设施。通常包括水平导流系统、汇排水系统、连接通道等组成部分。

3.4

水平导流通道 horizontal diversion channel

地下水导流系统核心构件，采用卵砾石换填、透水管涵形式，连通车站迎、背水侧，消除水位壅高。

3.5

反滤层 inverted filter

铺设于导流层、井体外的土工布/级配砂石，阻止土颗粒流失，防止导流通道淤堵。

3.6

汇排水井 collecting-diversion well

导流系统配套竖井，分为汇水井、排水井，收集疏导阻隔的地下水，维持原始径流流量。

4 总体要求

4.1 城市轨道交通工程建设对地下水的保护应遵循保护优先、预防为主、综合治理的原则，采取有效措施减少对地下水环境的影响。

4.2 地下水保护应贯穿于城市轨道交通工程建设的全过程，包括规划、勘察、设计、施工、监测和运营维护等阶段。

4.3 城市轨道交通工程建设规划、勘察阶段的地下水保护应根据 DB37/T 5059 要求实施

5 设计

5.1 截水帷幕设计

5.1.1 一般要求

5.1.1.1 符合下列条件之一者应设置截水帷幕控制地下水：

- a) 按照现行有关法律法规规定以及地方性管控要求，不符合开放式降水条件的；
- b) 降水导致地面附近沉降过大或对周边环境的影响严重的；
- c) 地下水含有影响人体健康和危害环境（或具有潜在危害风险）的有害物质的；
- d) 当存在海水入侵或污染淡水资源风险的。

5.1.1.2 截水帷幕可分为竖向落底式截水帷幕、竖向悬挂式截水帷幕及水平向截水帷幕等。常用截水帷幕形式有：地下连续墙、钻孔咬合桩、三轴水泥土搅拌桩、等厚度水泥土搅拌墙（CSM）、高压旋喷桩、渠式切割水泥土连续墙（Trench-Cutting & Re-mixing Deep Wall Method，简称 TRD）、板桩、冻结法帷幕、沉箱式帷幕、压力灌浆法等。应根据场区的地层结构、岩性分布特点及水文地质特征等，结合工程实际状况，合理确定截水帷幕构筑工法和布置形式。

5.1.1.3 采用悬挂式帷幕时，应进行坑内降水引起的坑外地下水水位下降预测计算，预测周边地面沉降量，并评估对周边环境的影响。

5.1.1.4 当工程采用暗挖法施工时，根据水文地质条件，宜采用超前小导管法或其他压力灌浆法构筑截水帷幕。

5.1.1.5 当轨道交通工程位于地下水重要补给或径流区时，应就帷幕隔水对区域地下水渗流场的阻隔作用及其次生地下水环境问题等进行论证。当对地下水渗流场有不利的永久性影响时，应有在轨道交通工程施工完成后拆除帷幕或恢复地下水连通的设计措施，如采用冻结法帷幕等。

5.1.1.6 帷幕设计施工前应进行地下水和土对帷幕建筑材料腐蚀性评价，土取样检测、腐蚀等级判别、综合评定执行 GB 50021 第 12 章 12.1 取样测试、12.2 腐蚀性评价全部条文，根据腐蚀性评价结果确定耐腐蚀性的帷幕施工材料。

5.1.1.7 截水帷幕所用材料应根据场地地质条件选择，并符合有关标准的要求。

5.1.2 设计参数确定

5.1.2.1 帷幕类型选择依据：

- a) 地下连续墙、钻孔咬合桩：适用于深度较大（通常大于 15 m）、环境保护要求高的基坑，其刚度大、截水可靠性高；
- b) 三轴水泥土搅拌桩、渠式切割水泥土连续墙（TRD）：适用于深度中等（通常 10 m~25 m）的软土、砂土层基坑，成墙连续性好；
- c) 高压旋喷桩：可作为主体截水帷幕（适用于深度小于 20 m），或用于加固既有帷幕、处理接头缺陷、形成封闭底帷幕等；
- d) 板桩：适用于深度较浅的基坑，多用于临时性工程；
- e) 等厚度水泥土搅拌墙（CSM）：适用于深度中等、地层复杂（如夹砂层、卵石层）的基坑，其成墙厚度均匀、连续性好、截水可靠性高；
- f) 冻结法帷幕：适用于地下水丰富、环境保护要求极高或开挖形状不规则的极特殊基坑，通过人工冻结土体形成高强度、高止水性的临时帷幕；
- g) 沉箱式帷幕：适用于需在水下或极软弱地层中施工的深大基坑，作为永久结构一部分，其结构刚度极大、整体性好，可同时作为支护与止水结构。

5.1.2.2 潜水含水层分布区，且周边存在需保护的生态敏感目标时，宜优先采用落底式全封闭截水帷幕，严格限制潜水疏干降水。在承压含水层分布区，应首先论证落底式帷幕的技术经济可行性。若采用悬挂式帷幕结合降压降水方案，必须计算并严格控制降水影响范围，确保其不对保护区、水源地、重点建筑物等敏感目标产生显著影响。

5.1.2.3 截水帷幕的相关设计参数应满足下列要求：

- a) 截水帷幕的渗透系数应小于 10^{-6} cm/s，单轴饱和抗压强度不应小于 1.0 MPa；
- b) 截水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；
- c) 截水帷幕墙体的计算厚度应根据当地工程经验、所选择工法的施工机械、成桩直径和桩排列方式等决定，其最小截面厚度不应小于 200 mm。必要时，应根据抗渗透坡降计算结果确定；
- d) 悬挂式帷幕的深度宜结合流网法分析计算确定；
- e) 帷幕桩的搭接宽度不宜小于表 1 的规定：

表1 帷幕桩的搭接宽度

帷幕桩型式	帷幕桩深度							
	≤10 m		10 m～15 m		15 m～20 m		>20 m	
	单排	双排	单排	双排	单排	双排	单排	双排
搅拌桩	150 mm	100 mm	200 mm	150 mm	250 mm	200 mm	—	—
旋喷桩	150 mm	100 mm	250 mm	200 mm	300 mm	250 mm	350 mm	300 mm

- f) 应根据场地的工程地质和水文地质条件、地下水控制工程等级等，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；
- g) 当存在影响工程稳定的承压水时，应进行抗突涌稳定性和抗渗透稳定性验算；存在多层地下水时，应分别采用各层的水头验算稳定性；坑底以下为级配不连续的砂土、碎石土含水层时，应进行土的管涌可能性判别；
- h) 当周边有重要的建（构）筑物或地质条件复杂时，宜采用数值分析方法进行渗流和沉降计算分析；
- i) 采用多轴水泥土搅拌桩法、高压喷射注浆法、压力灌浆法、钻孔咬合桩法等形成的柱列式截水帷幕，其综合渗透系数可根据工程经验选取。必要时，应核算截水帷幕体自身的渗透坡降。

5.1.3 构造要求

- 5.1.3.1 当地下存在可靠的连续隔水层时，应优先采用落底式截水帷幕。当采用悬挂式截水帷幕时应进行安全、技术、经济对比分析，并通过专门研究论证后实施。
- 5.1.3.2 截水帷幕宜沿工程周边形成相对连续的闭合体。对于未闭合的截水帷幕应采取相应的工程措施，确保满足地下水控制工程设计要求。
- 5.1.3.3 应对槽段或桩体之间的接头、与主体结构连接处、阴阳角等薄弱环节进行加强设计，如采用高压旋喷桩进行补强。
- 5.1.3.4 水平向截水帷幕宜与竖向截水帷幕联合设置。水平向截水帷幕宜采用高压喷射注浆法、多轴水泥土搅拌桩法、袖阀管压力灌浆法等施工工法。
- 5.1.3.5 当水平向截水帷幕厚度不能满足稳定性验算要求时，可通过计算设计布置减压井或采取其他工程措施。
- 5.1.3.6 与围护结构连成一体的截水帷幕，除应满足隔水防渗要求外，尚应满足变形、支护结构强度及稳定等要求，并应考虑支护结构与截水帷幕体渗透特性和变形特性的差异以及连续性的不利影响。

5.1.4 计算与验算

- 5.1.4.1 截水帷幕的设计应根据工程要求及场地水文地质条件，通过理论分析计算，并结合当地工程经验进行。
- 5.1.4.2 落底式截水帷幕进入隔水层或相对隔水层的深度应符合式（1）要求，且不宜小于 1.5 m。

$$l_g \geq 0.2 \Delta h - 0.5b \dots\dots\dots (1)$$

式中：
 l_g ——帷幕进入隔水层的深度，单位为米（m）；
 Δh ——基坑内外的水头差值，单位为米（m）；
 b ——帷幕厚度，单位为米（m）。

- 5.1.4.3 悬挂式截水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。对非均质含水层宜采用数值方法进行渗流稳定性分析；对均质含水层，应按式（2）验算：

$$K = \frac{(2l_d + 0.8D_1)\gamma'}{\Delta h_1 \gamma_w} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- K ——流土稳定性安全系数；安全等级为一、二、三级的地下水控制工程应分别不小于1.6、1.5、1.4；
- l_d ——悬挂式截水帷幕在基坑底面以下的插入深度，单位为米（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，单位为米（m）；
- Δh_1 ——帷幕内外的水头差，单位为米（m）；
- γ' ——土的浮重度，单位为千牛每立方米（kN/m³）；
- γ_w ——水的重度，单位为千牛每立方米（kN/m³），取10 kN/m³。

5.1.4.4 悬挂式截水帷幕的嵌入深度除应满足抗渗流稳定要求外，尚应满足式（3）的要求。

$$h_d \geq \eta \Delta h \dots\dots\dots (3)$$

式中：

- h_d ——截水帷幕嵌入深度，单位为米（m）；
- η ——调整系数，应根据透水层岩性取值。对于中砂、粗砂、砾砂和级配良好的砂砾石，可取0.75～1.2；对于级配不良的砾石和粉细砂、粉土，可取2.0～4.5；
- Δh ——基坑内外的水头差值，单位为米（m）。

5.1.4.5 水平向截水帷幕的平面布置宜采用三角形，各桩柱相交处应不留空隙。帷幕的深度与厚度应根据场地地质条件经渗流分析计算确定，厚度应满足式（4）的要求。

$$d \geq K_h \gamma_w h / \gamma_s \dots\dots\dots (4)$$

式中：

- d ——帷幕的厚度，单位为米（m）；
- K_h ——抗突涌稳定安全系数；
- γ_w ——水的重度，单位为千牛每立方米（kN/m³），取10 kN/m³；
- h ——水平向截水帷幕体承压水头高度，单位为米（m）；
- γ_s ——水平向截水帷幕体和上覆土层平均重度，单位为千牛每立方米（kN/m³）。

5.2 降（排）水设计

5.2.1 一般要求

5.2.1.1 降（排）水设计实施前，宜通过抽水试验获取含水层渗透系数、影响半径、单井出水量等关键水文地质参数，试验成果应作为降水设计的依据。

5.2.1.2 降（排）水设计前，应收集下列资料：

- a) 场地工程地质、水文地质勘察报告；
- b) 施工组织设计；
- c) 基坑支护、周边建（构）筑物及地下管线资料；
- d) 区域地下水保护规划及环境敏感点分布；
- e) 类似工程降水经验。

5.2.1.3 降（排）水深度应满足施工工况要求，应使地下水位稳定低于基坑开挖面以下不小于0.5 m。

5.2.1.4 当坑底以下存在承压含水层，且承压水头可能顶破上覆相对隔水层时，应按 GB 50007 第 9.4.7 条及附录 W 开展抗突涌稳定性验算，必要时可采取降水减压措施或水平封底措施。

5.2.1.5 当场地存在多个水质差异显著的含水层时，应分层布置降水井，并在井管外围设置分层止水，隔断层间水力联系。

5.2.1.6 应对降水影响范围内的建（构）筑物、地下管线等设施进行沉降分析与计算，保障其安全。

5.2.1.7 降（排）水方法应综合考量地质条件、工程目的、技术要求及环境保护范围等因素，按 DB 37/T 5059—2025 表 5.2.2 中控制方法单独或组合使用。

5.2.1.8 基坑降水方式应根据地层条件确定：当降深不超过 2 m 或开挖深度范围内以不透水岩层为主时，可采用集水明排；其他情况下，宜采用管井降水或井点降水。

5.2.1.9 滨海地区的降（排）水工程，应制定防止海水入侵和淡水资源污染的技术措施。

5.2.2 降水设计参数确定

5.2.2.1 降水井布置

降水井平面位置、布设间距、井深应结合基坑尺寸、含水层分布、周边保护对象综合计算确定，布置应满足基坑整体降水均匀、无降水盲区、避开主体结构构件的要求，具体规定如下：

- a) 平面布置应均匀，优先采用单排或双排形式，井位应避开工程桩、立柱、横撑等结构；
- b) 井距应通过计算并结合施工经验确定，可根据地质条件调整，宜为 6 m～20 m；
- c) 井深应按本文件式（9）计算，并进入坑底以下不宜小于 6 m。

5.2.2.2 降水管井结构设计

5.2.2.2.1 管井成孔直径宜为 400 mm～800 mm；井管可采用无砂混凝土管、桥式滤水管或开孔钢管，滤水管内径宜大于水泵外径 50 mm，外径不宜小于 250 mm。

5.2.2.2.2 孔壁与井管之间的滤料规格宜满足式（5）要求：

- a) 粉土、砂土含水层：

$$D_{50}=(6\sim 8)d_{50}\cdots\cdots\cdots (5)$$

式中：

D_{50} ——小于该粒径的填料质量占总质量50%所对应的填料粒径，单位为毫米（mm）；

d_{50} ——含水层中小于该粒径的土颗粒质量占总土颗粒质量50%所对应的土颗粒粒径，单位为毫米（mm）；

- b) d_{20} 小于 2 mm 的碎石土含水层：

$$D_{50}=(6\sim 8)d_{20}\cdots\cdots\cdots (6)$$

式中：

D_{50} ——小于该粒径的填料质量占总质量50%所对应的填料粒径，单位为毫米（mm）；

d_{20} ——含水层中小于该粒径的土颗粒质量占总土颗粒质量20%所对应的土颗粒粒径，单位为毫米（mm）；

- c) 对 d_{20} 不小于 2 mm 的碎石土含水层，宜充填粒径为 10 mm～20 mm 滤料；
- d) 滤料的不均匀系数应小于 2；
- e) 滤料的厚度宜为 75 mm～150 mm。

5.2.3 降水井构造要求

5.2.3.1 井底应设 1 m～2 m 沉砂段，井口应设置保护帽。

5.2.3.2 滤水器应包裹 1 层～2 层 60 目～80 目尼龙网或不锈钢纱网，滤网底端应封闭严密，顶端应高出含水层顶板不少于 0.5 m 并固定。

5.2.3.3 水泵选型应满足设计出水量不少于 1.2 倍单井最大出水量，扬程应满足降水深度要求，并应考虑排水管道扬程损失，需回灌时考虑至回灌水箱的扬程需求。

5.2.4 降水井计算与验算

5.2.4.1 基坑涌水量计算应根据地下水类型、补给条件、井的完整性及布井方式，合理选择计算公式，详见附录 A。

5.2.4.2 降水井的单井出水能力应选择群井抽水中水位干扰影响最大的井，按式（7）确定：

$$q=120\pi r l^3 \sqrt{k} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

q ——单井出水能力，单位为立方米每日（ m^3/d ）；

r ——过滤器半径，单位为米（ m ）；

l ——过滤器进水部分长度，单位为米（ m ）；

k ——含水层渗透系数，单位为米每日（ m/d ）。

5.2.4.3 降水井数量按式（8）确定，并按最不利工况复核

$$n=1.1Q/q \dots\dots\dots (8)$$

式中：

n ——降水井点数量；

Q ——基坑涌水量，单位为立方米每日（ m^3/d ），按附录A计算确定；

q ——单井出水能力，单位为立方米每日（ m^3/d ）。

5.2.4.4 降水井深度按式（9）计算

$$H_w=H_{w1}+H_{w2}+H_{w3}+H_{w4}+H_{w5} \dots\dots\dots (9)$$

式中：

H_w ——降水井点深度，单位为米（ m ）；

H_{w1} ——开挖深度，单位为米（ m ）；

H_{w2} ——降水水位距离开挖底部要求的深度，单位为米（ m ），宜为0.5 m～1.0 m；

H_{w3} ——取 $H_{w3}=i \cdot r_0$ ； i 为水力坡度，在降水井分布范围内，宜为1/10～1/15； r_0 为降水井分布范围的等效半径或降水井排间距的1/2，单位为米（ m ）；

H_{w4} ——降水井过滤器工作长度，单位为米（ m ）；

H_{w5} ——沉砂管长度，单位为米（ m ），宜为1 m～2 m。

5.2.5 集水明排设计

5.2.5.1 排水沟、集水井的断面尺寸应根据设计流量确定，设计流量应按式（10）计算：

$$V \geq 1.5Q \dots\dots\dots (10)$$

式中：

V ——排水沟、集水井的设计排水能力，单位为立方米每日（ m^3/d ）；

Q ——基坑涌水量，单位为立方米每日（ m^3/d ），按附录A计算确定。

5.2.5.2 排水沟和集水井宜布置于地下结构基础边线外侧，净距不小于 400 mm，且排水沟、集水井边缘距坡脚不小于 300 mm；必要时，可在基坑中部设置排水盲沟。

5.2.5.3 排水沟底宽不宜小于 300 mm，沟底坡度宜为 0.1%～0.5%；明沟排水时，沟底及沟壁应采取防渗措施；盲沟排水时，其构造、填充料及密实度应满足地基设计要求。

5.2.5.4 集水井直径或宽度不宜小于 600 mm，井底宜低于排水沟沟底不小于 0.5 m；集水井间距宜为 20 m～50 m。

5.2.5.5 集水总管直径应根据设计流量确定，坡度不宜小于 0.5%，可采用钢管、PVC 管等材料。

5.3 回灌设计

5.3.1 一般要求

- 5.3.1.1 应坚持地下水保护优先原则，对抽出的地下水实施回灌利用，最大限度减少外排。
- 5.3.1.2 工程建设期间抽取的地下水应进行同层回灌。
- 5.3.1.3 回灌方案确定后，应通过现场回灌试验核定回灌量、回灌压力、影响半径等施工参数，并据此优化布井方式与施工工艺。
- 5.3.1.4 人工回灌补给地下水的水质应同时满足下列要求：
- 不应低于回灌目标含水层现状地下水水质类别；
 - 不应低于 GB/T 14848 规定的 III 类标准；
 - 若回灌仅用于地面沉降防治、基坑降水回灌等工程目的，且经论证回灌层与饮用含水层无水力联系，可豁免本条第 b 项要求，但不应劣于回灌层现状水质。
- 5.3.1.5 回灌方法应根据回灌水位升幅、含水层渗透性、变形控制要求及场地条件，经技术经济比选后选用重力回灌、压力回灌或重力—压力联合回灌。

5.3.2 设计参数确定

- 5.3.2.1 回灌井宜布设于基坑外侧地下水下游方向，其平面位置及数量应综合回灌场地布置、回灌影响半径、含水层水文地质参数及环境保护要求经计算确定；回灌井与围护结构净距不宜小于 2 m，与降水井净距不宜小于 6 m，当条件受限时，可设置截水帷幕切断水力联系。
- 5.3.2.2 同层回灌时，回灌井深度不宜大于降水井深度；当回灌井深度大于降水井深度时，基坑开挖深度范围内的回灌井滤管应封堵，滤管底端进入回灌目标层顶板以下不宜小于 3 m，并应验算回灌对基坑突涌的影响。
- 5.3.2.3 每口回灌井应独立设置，并符合“一井一灌”原则。

5.3.3 构造要求

- 5.3.3.1 回灌井构造要求：
- 成孔直径宜 300 mm～800 mm，井管采用铸铁或无缝钢管，滤水管宜选用桥式或缠丝滤水管，直径宜为 150 mm～500 mm，具体按设计回灌量、含水层厚度和钻孔孔径匹配选用，过滤器长度应大于被回灌含水层厚度；
 - 滤料与降水井一致，顶部采用黏土球封井，封层厚度不小于 2 m，其上部用水泥砂浆或素混凝土回填密实；
 - 井口设置放气阀、回扬阀、压力表、流量计，并连接稳压回灌装置。
- 5.3.3.2 压力回灌滤管应采用桥式、圆孔式或缠丝式钢管，外缠 1 层～2 层 40 目～80 目尼龙滤网或不锈钢滤网；回灌系统应配置稳压控制柜，压力波动不大于 0.01 MPa。

5.3.4 计算与验算

- 5.3.4.1 地下水回灌水文地质参数计算应符合下列规定：

- 回灌影响半径可采取式 (11) 计算：

$$R' = 2\alpha s_w \sqrt{kH_1} \dots\dots\dots (11)$$

式中：

- R' ——回灌影响半径，单位为米 (m)；
- α ——回灌影响半径修正系数，应根据回灌试验或经验选取，若无经验，可取 $\alpha = 0.15 \sim 0.3$ ；
- s_w ——回灌井水位升幅，单位为米 (m)；

k ——含水层渗透系数，单位为米每日（m/d）；

H_1 ——含水层厚度，单位为米（m）。

b) 单井回灌水量 q' 可按式（12）计算：

$$q' = \pi \beta k \frac{h^2 - H^2}{\ln R' - \ln r'} \quad (12)$$

式中：

q' ——单井回灌水量，单位为立方米每日（m³/d）；

β ——回灌修正系数，应根据回灌试验或当地经验选取，若无经验，可取 $\beta = 0.2 \sim 0.3$ ；

k ——含水层渗透系数，单位为米每日（m/d）；

h' ——要求回灌后达到的动水位，单位为米（m）；

H' ——回灌前静水位，单位为米（m）；

R' ——回灌影响半径，单位为米（m）；

r' ——回灌井点计算半径，单位为米（m）。

c) 回灌井数量可按式（13）计算：

$$n' = \gamma Q / q' \quad (13)$$

式中：

n' ——回灌井点数量；

γ ——安全储备系数，按1.2考虑；

Q ——基坑涌水量，单位为立方米每日（m³/d），按附录A计算确定；

q' ——单井回灌水量，单位为立方米每日（m³/d）。

5.3.4.2 回灌压力应根据回灌量的要求通过现场试验确定，回灌压力应小于引起井外壁与土体接触发生井壁处水力劈裂破坏的压力，并按式（14）计算：

$$p_w = K_0 \frac{\sigma'}{F} \quad (14)$$

式中：

K_0 ——回灌含水层上覆隔水层静止侧压力系数，取值0.7～1.0；

σ' ——回灌含水层上覆隔水层底面处有效竖向压力，单位为千帕斯卡（kPa）；

F ——井壁抗劈裂安全系数，可取1.5。

5.3.4.3 考虑回灌影响时，基坑降水引起的地面沉降量可按照式（15）计算：

$$s_d = \psi \sum_{i=1}^n \frac{\Delta \sigma'_{zi} \Delta h_i}{E_{si}} \quad (15)$$

式中：

s_d ——降水与回灌作用下土体固结沉降量，单位为毫米（mm）；

ψ ——沉降计算经验系数，应根据地区工程经验取值；

$\Delta \sigma'_{si}$ ——降水与回灌引起的地面下第*i*层土中点处有效应力增量，单位为千帕斯卡（kPa）；对黏性土，应取降水及回灌结束时土固结度下有效应力增量；

Δh_i ——第*i*层土的厚度，单位为米（m）；

E_{si} ——第*i*层土的压缩模量，单位为兆帕斯卡（MPa）。

5.3.4.4 回灌设计时，应计算水位上升对支护结构及周边环境的影响，基坑降水——回灌共同作用时的地下水水位宜通过数值模拟手段确定，初步设计时，可参照附录B中式（B.1）～（B.3）计算。

5.4 地下水导流设计

5.4.1 一般要求

5.4.1.1 新建、改建、扩建的地铁车站、地下综合体等可能阻隔地下水径流或对周边地下水流场有较大不利影响的地下工程，应进行地下水导流设计。

5.4.1.2 城市轨道交通工程如需降低地下水位壅高、保护地下水径流通道及维持周边地下水流场稳定时，宜采取地下水导流系统措施。

5.4.1.3 导流设计时应加强防淤堵设计，可通过预留设计流量安全度、多种导流方法结合、在汇水井及排水井（或碎石桩）底部设置沉淀段及反滤层、抽灌结合清洗运维措施、采用无泥浆钻孔工艺、孔底沉渣控制措施、确保基坑周边面状汇水及排水、严格控制基坑截水帷幕注浆影响范围等措施防止导流通道堵塞，保证导流通道运营期间导水效果。

5.4.2 设计参数确定

5.4.2.1 工程勘察期间，应重点查明含水层厚度及空间连续性、渗透性、水头高度及季节性变化、历史最高水位、水力梯度、影响半径、建设前流场等参数，并评价工程建设对地下水流场及水位的影响。

5.4.2.2 工程勘察期间应预估工程运营期间可能发生的极端降雨条件下的水力梯度和最高水位。

5.4.2.3 导流设计时，首先应确定垂直于流向的结构阻水面积，并根据勘察提供场地渗透系数和水力梯度指标计算被阻隔地下水流量。

5.4.2.4 以降低地下水壅高为目的的导流措施，设计导水流量应不低于被阻隔地下水流量的 20%。

5.4.2.5 以泉脉保护为目的的导流措施，设计导水流量不宜低于丰水期被阻隔地下水流量。

5.4.2.6 水平导流通道间距与数量应通过计算确定，确保总过水面积满足设计导水流量的要求。

5.4.2.7 考虑后期淤堵及极端降雨条件，导流设计流量宜取不小于 1.5 倍安全系数。

5.4.2.8 汇水系统与排水系统宜对称设置，并宜布设于含水层厚度较大或裂隙发育处。

5.4.2.9 当汇排水系统采用碎石桩时，碎石桩水下最大断面面积不宜小于车站或截水帷幕水下断面面积的 20%，并宜乘以不小于 1.5 倍安全系数；碎石桩填料的渗透系数应大于原地层的渗透系数。

5.4.3 构造要求

5.4.3.1 地下水导流系统应由水平导流通道系统、汇排水系统及连接通道共同构成完整的地下水径流网络。

5.4.3.2 水平导流通道系统可采用管涵、卵砾石换填等多种导水形式，通道间距与数量应通过计算确定，确保总过水面积满足设计导水流量的要求。

5.4.3.3 水平导流通道系统宜沿地下水流方向布置，并宜在溶洞发育处加密，其平面布置应能有效连接工程迎水侧与背水侧的水力联系。

5.4.3.4 当地下水水位低于车站结构顶板时，水平导流通道系统宜布设于结构槽内或底板以下；当地下水水位高于车站结构顶板时，可布设于结构顶部。

5.4.3.5 当水平导流通道系统布设于结构槽内或底板以下时，应避让结构基础；当无法避让时，应确保满足承载力要求。

5.4.3.6 汇排水系统可由汇排水井、碎石桩等多种方法构成，其数量应由计算确定，确保汇排水能力满足设计导水流量要求。

5.4.3.7 连接通道用于连接水平导流系统和汇排水系统，连接通道应确保与汇排水系统及水平导流通道系统的可靠连通，其开挖施工不应影响基坑支护结构的安全。

5.4.4 计算与验算

5.4.4.1 导流设计时，宜通过数值模拟手段评价地铁车站对地下水流场的阻隔效应，初步设计时，可参照附录 C.1 中式 (C.1) 计算地下水位壅高进行评价。

- 5.4.4.2 岩溶含水层宜采用等效渗透系数指标，工程影响范围内的等效渗透系数为不同岩溶发育程度断面渗透系数的加权平均，可参照 C.2 中式 (C.2) 计算。
- 5.4.4.3 在实际工程中，获取不同岩溶发育程度的截面积较为困难时，可参照附录 C.3 中式 (C.3) 采用线岩溶率指标进行简化。
- 5.4.4.4 导流设计前，应计算结构阻隔地下水截面的原始地下水流量，可参照附录 C.4 中式 (C.4)、附录 C.5 中式 (C.5)、附录 C.6 中式 (C.6) 计算。
- 5.4.4.5 采用卵砾石换填导流方法时，可参照附录 C.7 中式 (C.7) 计算卵砾石换填面积，可参照附录 C.7 中式 (C.8) 计算需布设的通道数量。
- 5.4.4.6 卵砾石换填层的渗透系数及级配应通过试验确定，初步设计时，可参照附录 C.8 中式 (C.9) 确定。
- 5.4.4.7 当采用管涵导流方法时，应计算管涵中水流流速和所需管涵数量，可参照附录 C.9 中式 (C.11) 计算管涵中水流流速，可参照附录 C.9 中式 (C.10) 计算所需管涵数量。
- 5.4.4.8 当汇排水系统采用汇排水井时，可参照附录 C.10 中式 (C.12)～(C.13) 确定汇排水井间距、数量等参数。
- 5.4.4.9 导流效果评价宜采用壅高、流量、流场等指标进行综合定性及定量评价，当采用壅高进行导流效果评价时，可参照附录 C.11 中式 (C.14) 计算。

5.5 突涌水防治设计

5.5.1 一般要求

- 5.5.1.1 基坑突涌水防治设计旨在防止基坑底板因承压水头压力过大而发生顶裂、涌水、涌土等破坏性事故。
- 5.5.1.2 设计应采用“以堵为主，疏堵结合”的原则。优先考虑采用落底式截水帷幕完全隔离承压含水层。当隔断技术难度过大或不经济时，可采用减压降水结合部分截水的方式，但必须进行严格的风险控制和环境影响评估。
- 5.5.1.3 采用减压井、泄水孔等工程措施进行防治时，应评估长期排水对地下水资源的影响，必要时采取坑外回灌的措施回补地下水资源，注意回灌井位要远离基坑，距离不宜小于 20 米。
- 5.5.1.4 基坑应设置自动水位监测装置，全天实时记录监测井内水位，监测井位置应能准确反映基坑底承压水位，并应远离减压井与泄水孔。应根据监测数据和设计要求，动态控制减压井内抽水设备的运行数量和工作频率，将承压水头严格控制在安全水位以下。

5.5.2 设计参数确定

- 5.5.2.1 抗突涌稳定安全系数 K_{bs} 相应于地下水控制工程等级一、二、三级分别不应小于 1.20、1.15、1.10，根据基坑支护结构的安全等级和地质条件的复杂性向上浮动取值，重要工程或地质条件复杂时取较大值。
- 5.5.2.2 基坑抗突涌稳定系数不低于设计抗突涌安全系数的，基坑抗突涌稳定，无需设置专项突涌水防治措施，但应完善排水系统并制定应急预案；基坑抗突涌稳定系数小于设计抗突涌安全系数且不小于 1.0、以及基坑抗突涌稳定系数不足 1.0 两种情形，基坑分别为欠稳定、不稳定状态，均应采取突涌水防治措施。

5.5.3 构造要求

为了有效防治基坑突涌水，可采用如下工程措施，也可多种措施联合使用：

- a) 布设减压井，将基坑底承压水头降低至安全水位以下。设计内容应包括井位布置、井径、井深、过滤器设计，应安装抽水设备，并综合考虑使用周期及监测要求；
- b) 在基坑底部或侧壁设置泄水孔，应钻透隔水层至承压含水层中，以释放承压水压力，应配套设计水砂分离和排水系统；
- c) 在坑外设置截水帷幕，降低基坑内承压水头。

5.5.4 计算与验算

对于基坑工程，应按式（16）计算坑底土抗突涌稳定系数。

$$K_h = \frac{D\gamma_1}{h_w\gamma_w} \dots\dots\dots (16)$$

式中：

- K_h ——抗突涌稳定系数；
- D ——坑底至承压含水层顶板的距离，单位为米（m）；
- γ_1 ——承压含水层顶板至坑底土层的天然重度。对多层土，取按土层厚度加权的平均天然重度，单位为千牛每立方米（kN/m³）；
- h_w ——承压含水层顶板的水头高度，单位为米（m）；
- γ_w ——水的重度，单位为千牛每立方米（kN/m³），取10 kN/m³。

6 施工

6.1 截水帷幕施工

6.1.1 一般要求

- 6.1.1.1 施工应采用信息化动态施工方法，对关键工序和参数进行全过程记录与监控，并及时反馈，动态调整施工工艺方法及控制参数。
- 6.1.1.2 选用机械设备时，应考虑机械设备是否适应截水帷幕的设计尺寸和保证帷幕隔水效果。
- 6.1.1.3 截水帷幕的施工应与支护结构施工相协调，施工顺序应符合下列规定：
 - a) 独立的、连续性截水帷幕，宜先施工帷幕，后施工支护结构；
 - b) 悬挂式截水帷幕，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，或对支护结构形成包覆时，应先施工支护结构，后施工帷幕；
 - c) 当采用钻孔咬合桩排桩帷幕时，宜先施工非加筋桩，后施工加筋桩；
 - d) 当采取悬挂式截水帷幕或咬合支护结构时，应控制其养护强度，应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。

6.1.2 施工准备

- 6.1.2.1 施工前应进行详细的现场调查，核实地场条件、地下管线及构（建）筑物的分布情况，采取相应的保护措施。
- 6.1.2.2 施工前应根据现场环境及地下建（构）筑物的埋设情况复核帷幕设计位置，平整场地，清除地下、地上障碍物。
- 6.1.2.3 根据设计图纸精确测量测放（点）线，标定帷幕轴线或桩位，并设立清晰的标志和保护措施。
- 6.1.2.4 水泥、外加剂等主要材料应有产品合格证和质量检验报告，并按规定进行原材料检验，合格后方可使用。
- 6.1.2.5 水泥浆液、混凝土的配合比应在施工前根据工地供应材料进行试验配比确定。

6.1.2.6 现场配电设施应有明显的安全保护标识。

6.1.3 工艺性试验

6.1.3.1 正式施工前应在现场选择有代表性的区段进行工艺性试验，以选择合适的施工机具设备，确定施工参数，验证设计参数并检验施工方法适宜性。工艺性试验数量应根据设计要求确定，对成桩工程不少于3组（根）。

6.1.3.2 水泥浆液的水灰比和水泥掺量应通过试验确定。搅拌桩水泥浆液的水灰比宜取0.6~0.8，水泥掺量宜取土的天然质量的15%~20%；高压喷射注浆水泥浆液的水灰比宜取0.9~1.1，水泥掺量宜取土的天然质量的25%~40%。

6.1.3.3 高压喷射注浆应按水泥土固结体的设计有效半径与土的性状确定喷射压力、注浆流量、提升速度、旋转速度等工艺参数，对较硬的黏性土、密实的砂土和碎石土宜取较小提升速度、较大喷射压力。当缺少类似土层条件下的施工经验时，应通过现场试验确定施工工艺参数。

6.1.3.4 对工艺性试验形成的墙体或桩体应进行开挖检查、钻孔取芯或强度试验，验证其成品质量、连续性、强度及隔水效果是否满足设计要求，根据试验结果最终确定施工参数。

6.1.4 施工过程控制

6.1.4.1 施工前应复核设计孔位、现场环境、地下障碍物位置等。

6.1.4.2 截水帷幕施工过程中应及时进行检测和监测；施工完成后，应经试验检测验证确认达到设计截水效果后方可交付使用。

6.1.4.3 浆液应严格按配合比拌制，搅拌时间应充足，确保均匀。浆液应随配随用，搁置时间不应超过初凝时间。注浆过程中，流量、压力应保持稳定，严禁中途断浆，因故停歇时间超过浆液初凝时间时，应采取补桩或按搭接技术处理。

6.1.4.4 对于硬土层、砂卵石层、岩溶发育区等特殊地质条件，应制定针对性的施工技术措施，如采用多级成孔、预引孔、调整钻具、掺入外加剂等，确保成桩（槽）质量和截水效果。

6.1.4.5 施工产生的废弃泥浆、钻渣等，应进行分类收集和无害化处理，不应随意排放或就地掩埋，防止污染土壤和地下水。

6.1.4.6 高压喷射注浆法帷幕施工应符合下列规定：

- a) 高压喷射注浆帷幕宜采用三重管法施工。与支护排桩联合设置时，宜采用旋喷法；单独设置时，可采用摆喷、定喷等形式；
- b) 高压喷射注浆施工工艺参数应根据现场试验结合地区工程经验确定，高压水压力应大于30 MPa，气压应大于0.7 MPa，浆压应大于2 MPa，提升速度宜为0.1 m/min~0.2 m/min，水泥浆液喷射过程不应随意停喷或中断；
- c) 应采用隔孔作业的施工顺序，相邻孔喷射注浆的间隔时间不宜小于24 h；
- d) 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1 m；
- e) 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0.5 m；
- f) 孔位允许偏差应为50 mm，注浆孔的垂直度偏差不应超过1%；
- g) 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°；
- h) 施工中遇地下障碍物、洞穴、涌水、漏水及与工程地质报告不符等情况，应采取相应的措施。

6.1.4.7 压力注浆法帷幕施工应符合下列规定：

- a) 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；

- b) 对渗透系数变化较小的地层，应先注浆封顶，后自下而上进行注浆，防止浆液上冒；对渗透系数随深度而增大的地层，则应自下而上注浆；对互层土层，应先对渗透系数或孔隙率大的地层进行注浆；
 - c) 浆液宜采用普通硅酸盐水泥，可掺入速凝剂、防析水剂、水玻璃等进行多液注浆；
 - d) 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；
 - e) 双液注浆时应使用单向阀的浆液混合器，严禁采用三通阀门；注浆结束时应先停水玻璃浆液泵，后停水泥浆液泵；
 - f) 注浆工作应连续进行，每班组结束注浆后应及时清洗注浆设备。
- 6.1.4.8 水泥土搅拌法帷幕施工应符合下列规定：
- a) 可采用单轴、双轴、多轴搅拌工艺施工，施工工艺参数应通过试验确定；
 - b) 孔位允许偏差应为 50 mm，垂直度偏差不应超过 1%；
 - c) 停止搅拌的位置宜高于帷幕设计顶面 0.5 m，当水泥土搅拌因故中途停止，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 1.0 mm；
 - d) 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。
- 6.1.4.9 冻结法帷幕施工应符合下列规定：
- a) 冻结孔的开孔位置、偏斜率、成孔间距和深度应符合设计要求；
 - b) 冻结孔施工过程中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；
 - c) 正式运转前应进行试运转，检验系统应达到设计要求；
 - d) 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定；
 - e) 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。
- 6.1.4.10 地下连续墙式帷幕施工应符合下列规定：
- a) 应根据地质条件、场地条件等因素选择成槽设备；
 - b) 当采用地下连续墙兼作截水帷幕时，槽段之间的接头应满足防渗隔水的要求，墙体混凝土抗渗等级不宜小于 P6；
 - c) 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。
- 6.1.4.11 钻孔咬合桩排桩帷幕施工应符合下列规定：
- a) 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，并确保相互咬合；
 - b) 咬合排桩基桩垂直度偏差不应大于 3%，桩位允许偏差应为 50 mm，预埋件位置的允许偏差应为 20 mm；
 - c) 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，应采取隔水补救措施。
- 6.1.4.12 板桩式截水帷幕施工应符合下列规定：
- a) 板桩式截水帷幕应为锁口式构造；
 - b) 沉桩前应在锁口内嵌填黄油、沥青或其他密封止水材料；
 - c) 板桩锁口应平直通顺，互相咬合，使用前应通过套锁检查。
- 6.1.4.13 沉箱式帷幕施工应符合下列规定：
- a) 沉井混凝土强度达到设计强度的 70% 以上时方可拆除垫木，并应制定合理的拆除顺序；
 - b) 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；
 - c) 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 5 m；
 - d) 沉井达到设计深度后应按设计要求进行封井。

6.1.4.14 等厚度水泥土搅拌墙（CSM）帷幕施工应符合下列规定：

- a) 施工前应通过工艺性试成墙确定掘进速度、切割箱转速、浆液配比、喷浆压力与流量等关键参数；
- b) 主机设备就位应准确、平稳，导向架垂直度偏差不应大于 1/500；
- c) 切割箱应匀速、连续地下放至设计深度，在下放和搅拌提升过程中，应通过浆液管道同步喷射水泥浆液与原位土体进行搅拌；
- d) 单幅墙体施工应连续进行，因故停等时间超过水泥初凝时间时，应按照冷缝处理，采取补桩或注浆等加强措施；
- e) 相邻幅墙体的施工间隔不宜超过 24 h，搭接施工时切割箱应切入相邻已成墙体不少于 50 cm；
- f) 墙体深度、宽度、水泥掺量及 28 d 无侧限抗压强度应满足设计要求。

6.1.4.15 渠式切割水泥土连续墙（TRD）帷幕施工应符合下列规定：

- a) 施工前应通过试验段确定链锯式切割箱的掘进速度、刀架横移速度、浆液配比与注入量等参数；
- b) 切割箱应分段组装、逐节下放至设计深度，并进行试运转，确认刀架链条运行正常；
- c) 应采用“先行切割”“回撤切割”与“成墙搅拌”三段式工艺，确保将切割土体与固化浆液充分混合搅拌；
- d) 在成墙搅拌阶段，应严格控制切割箱横移速度，确保水泥土搅拌均匀、连续，墙体垂直度偏差不应大于 1/300；
- e) 施工中应对浆液比重、注入量及墙体标高进行全过程记录与控制；
- f) 相邻槽段搭接施工时，切割箱应切割进入已成型墙体不少于 30 cm；
- g) 施工中如遇地下障碍物导致切割箱掘进困难或偏斜，应立即停机，查明情况并采取措施后方可继续施工。

6.1.4.16 截水帷幕施工应符合 JGJ 79 第 7 章水泥土搅拌、高压喷射注浆相关条款、JGJ 120 第 7.2 节截水帷幕全部条文及 DB37/T 5059 第 6 章截水帷幕设计、施工、检测与验收规定的要求。

6.1.5 质量验收

6.1.5.1 截水帷幕施工完成后应及时进行检查验收。检查验收时应提供以下资料：

- a) 设计资料、技术要求，经审批的施工组织设计、施工方案以及设计变更资料；
- b) 测量放线成果和复核签证单；
- c) 原材料质量合格和质量鉴定书，半成品产品的质量合格证书，施工过程中的抽检、复检、检验资料；
- d) 施工过程中水泥浆液用量和提升速度的自动记录资料；
- e) 施工记录和隐蔽工程的验收文件，检测试验及见证取样文件；
- f) 监测、巡视检查记录；
- g) 截水帷幕的运行维护记录；
- h) 对周边工程环境的影响记录，包括基坑支护结构、周边地面、邻近工程和地下设施的变形记录。

6.1.5.2 帷幕的施工质量验收应符合 GB 50202 第七章截水帷幕验收条款、GB 50208 地下连续墙防渗验收条款、DB37/T 5059 第 6.5 节相关规定。

6.1.5.3 对落底式截水帷幕，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。

6.1.5.4 对设置在支护结构外侧的独立式截水帷幕，可通过开挖后验证隔水效果判定其可靠性。

6.1.5.5 对悬挂式截水帷幕，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，对施工过程中出现异常和漏水部位应检查并采取封堵、加固措施。

6.1.5.6 与排桩咬合的高压喷射注浆、水泥土搅拌桩等帷幕，与土钉墙面层贴合的水泥土搅拌桩帷幕，应在基坑开挖前或开挖时，检测水泥土固结体的尺寸、搭接宽度。

6.1.5.7 应根据设计及验收要求采用开挖检查、钻芯法、声波透射法等进行均匀性、密实度、强度检查验收，隔水效果应采用抽（注、压）水试验法、室内试验等方法进行检查验收。

6.1.5.8 检测点应按随机方法选取，除正常抽检的检测点外，尚应包括下列部位的检测点：

- a) 施工过程中出现异常或开挖中出现漏水的部位；
- b) 地质情况变化较大，可能对施工质量产生影响。

6.1.5.9 应根据检验、监测等资料，结合现场观察，综合分析评价帷幕的质量和效果。

6.2 降（排）水施工

6.2.1 一般要求

6.2.1.1 降（排）水施工前应编制专项方案，其内容应包括：工程概况、编制依据、施工计划、施工工艺技术、施工安全保证措施、施工管理及作业人员配备和分工、施工质量检验标准及要求、对环境的影响及控制措施、季节性施工措施、风险控制和应急预案、计算书及相关图纸等。

6.2.1.2 降水施工应符合下列规定：

- a) 降水井成孔直径宜为 400 mm～800 mm，井管外径宜为 250 mm～500 mm；当含水层为卵石、漂石地层或裂隙基岩且采用潜孔锤冲击成孔工艺时，成孔直径可小于 400 mm，并可填充或不填充滤料；
- b) 成井施工结束后应立即洗井；每处井点降水及排水设施安装完毕后，应逐台（点）调试并经验收合格；
- c) 降水终止后，应按设计要求进行封井，并经验收合格。

6.2.1.3 集水明排施工应符合下列规定：

- a) 排水沟、集水井的施工应符合基坑土方开挖的相关要求；
- b) 侧壁出现分层渗水时，可在不同高程设置导水管、砖砌沟或草袋墙等辅助措施；
- c) 排水设施与市政管网连接前，应设置沉淀池；明沟、盲沟、集水井（坑）、沉淀池使用期间应保持排水通畅，并应及时清理淤积物；
- d) 排水管可采用混凝土管、PVC 管或钢管，可暗埋敷设或地面架设；地面架设时，应沿管线每隔 5 m～8 m 设置砖砌托台，托台高度应根据排水管坡度确定。

6.2.1.4 施工过程中发现工程地质或水文地质条件与设计不符时，应按规定程序及时变更设计。

6.2.2 施工准备

施工现场应完成供水、供电、道路接通及场地平整，满足设备、设施进场就位及后续进出场作业的需要。

6.2.3 工艺性试验

6.2.3.1 管井成孔工艺应依据地层条件确定：不易塌孔、缩径地层，宜采用清水水压泵吸反循环钻进；易塌孔、缩径地层，应采用泥浆护壁钻进，泥浆性能应综合地层稳定性、含水层富水性、水头高度及井深等因素经试验确定。

6.2.3.2 洗井合格后应进行抽水试验，以验证降水设计能否满足施工要求；若验证结果不符，应按规定程序调整设计。

6.2.4 施工过程控制

6.2.4.1 采用泥浆护壁成孔时，应钻至设计孔底后清除沉渣，进行破壁洗井，并用清水置换孔内泥浆，直至泥浆比重不大于 1.05、粘度为 18 s~20 s。

6.2.4.2 钻孔深度宜较管井设计深度加深 0.5 m~1.0 m，并应完整记录钻井施工过程。

6.2.4.3 管井安装应符合下列规定：

- a) 过滤器应根据地层条件选型；
- b) 吊装井管须平稳、垂直，严禁猛墩，井管应居中，井身顶角偏斜不应大于 1°；
- c) 井管顶端应高出地面不小于 200 mm；塌孔地段不应置入井管；
- d) 井管下入后须立即回填滤料，滤料应沿井壁四周均匀连续填入，严禁装载机或手推车直接倾倒，并应随填随测，实际填充量不应少于计算体积的 95%。井口外围应在井口以下不小于 2 m 处封闭；不同含水层之间的井管外围应分层封闭；
- e) 滤料回填后须在 8 h 内洗井，直至过滤器及滤料层过水畅通；宜优先采用空压机洗井。空压机洗井效果达不到要求且井管强度允许时，可采用拉活塞与空压机联合洗井；井管强度不足时，可辅以化学洗井；
- f) 洗井应自上而下分段进行；沉没比不足时应补充清水。洗井过程中应观测出水状况，直至水质清澈、含砂量符合要求；
- g) 洗井结束后应立即进行试抽水，检验井深、单井涌水量及出水含砂量等指标是否满足设计要求。

6.2.4.4 管路铺设应符合下列规定：

- a) 主排水管宜沿基坑外侧布置，有回灌时应接入回灌水箱并设置流量计；
- b) 应尽量缩短降水井与排水设施之间的距离，减少沿程水头损失，降低抽水设备的扬程消耗。

6.2.5 质量验收

6.2.5.1 降水工程应对井点施工质量和降水设计控制水位进行验收，质量验收表格见表 D.1 和表 D.2。

6.2.5.2 井点验收主要包括以下内容：

- a) 成井施工记录应完整齐全；所用材料规格、型号是否和设计要求一致；
- b) 井深、井径是否和设计一致；管井沉砂厚度是否符合要求；
- c) 各井点水泵、井点支管及排水总管应安装完毕且调试合格，排水管道过水能力应满足设计排水量要求；
- d) 单井出水量是否满足设计要求；
- e) 当全部降水井运行时，抽排水的含砂量体积比应满足以下规定：
 - 含砂量应小于 1/20000；
 - 含砂量应在抽水初期（如半小时内）和正常运行阶段分别进行检测；通常每 3 个月取样检验一次，确保长期运行中的水质控制；
- f) 降水井平面位置及数量是否和设计一致；
- g) 降水技术交底、安全交底及全部施工记录须齐全、完整、准确，并应由相关人员签字确认；
- h) 供电线路及配电箱布置应满足降水负荷要求，备用电源、备用水泵及相关设备、材料应配备到位并经验收合格；

6.2.5.3 降水运行期间，场地中心、最远边缘及井间分水岭等关键部位实测水位降深不应小于设计控制值。

6.3 回灌施工

6.3.1 一般要求

6.3.1.1 回灌施工前应编制专项方案，其内容参照 6.2.1.1 执行。

6.3.1.2 回灌施工应符合下列规定：

- a) 回灌井成孔直径宜为 300 mm~800 mm；滤水管宜选用桥式、圆孔或缠丝滤水管，外径宜为 150 mm~500 mm，具体按设计回灌量、含水层厚度和钻孔孔径匹配选用，过滤器长度应大于被回灌含水层厚度；当含水层为卵石、漂石地层或裂隙基岩且采用潜孔锤冲击成孔工艺时，成孔直径可小于 400 mm，滤料厚度不宜少于 75 mm；
- b) 成井施工结束后应立即洗井；回灌终止后，应按设计要求进行封井。

6.3.1.3 正式回灌前应进行回灌试验，验证回灌井的结构、数量是否满足要求，若不能满足，应按程序及时变更设计并调整施工方案。

6.3.2 施工准备

6.3.2.1 回灌施工前，应完成回灌专项设计文件和施工方案的编制与审批，并应进行技术交底。

6.3.2.2 应对回灌水源及回灌目标层的水质进行监测，回灌水源的水质不应低于回灌目标层的水质。

6.3.3 工艺性试验

6.3.3.1 回灌施工前应按设计要求进行工艺性试验，试验井数量不应少于回灌井总数的 5%且不少于 3 眼。

6.3.3.2 工艺性试验应包括下列内容：

- a) 单井回灌能力试验：在设计回灌压力下连续回灌且稳定时间不应少于 8 h，取最后 2 h 平均回灌量作为该井设计回灌量依据；
- b) 回灌压力—流量关系试验：逐级升压至设计压力的 1.2 倍，每级稳压 30 min，记录对应流量并绘制 P—Q 曲线，确定临界回灌压力；
- c) 水位抬升试验：同步观测回灌井及影响半径内观测孔水位，确定有效影响半径和滞后时间，验证设计井距；
- d) 抽灌平衡试验：降水井与回灌井同时运行 24 h，回灌率不应小于 80%。

6.3.3.3 试验全过程应记录回灌流量、压力、水温、浊度、电导率、水位、累计回灌量、出砂量及地面沉降数据。

6.3.3.4 工艺性试验结束后应提交试验报告，内容包括试验概况、回灌能力、P—Q 曲线、有效影响半径、回灌率、推荐运行参数及异常处理措施，并经总监理工程师批准后实施。

6.3.4 施工过程控制

6.3.4.1 回灌井施工应符合下列规定：

- a) 回灌井滤料同降水井，含泥量应小于 1%，滤料顶面以上应设不小于 2 m 厚的球状粘土封隔层，封隔层上方再用粘土球或混凝土或水泥浆封闭至地面；
- b) 回灌井管口应设置密封井盖，井盖应高出地面不小于 200 mm，并应设排气阀、压力表及计量装置，井口结构应满足防渗、防污、防盗及耐久要求；
- c) 回灌结束后应对回灌井进行封井，封井应采用水泥浆或粘土球全孔段回填，封孔水泥浆水灰比宜为 0.5:1~0.6:1，井口上部 1 m 范围内宜采用微膨胀混凝土封填。

6.3.4.2 回灌管路铺设应符合下列规定：

- a) 回灌管路应选用耐腐蚀、无毒、公称压力不小于 1.6 MPa 的管材；主排水管将地下水引入回灌水箱及回灌设备后，通过回灌井回灌至地下含水层；

- b) 应尽量缩短回灌井与回灌设备之间的距离，减少沿程水头损失。

6.3.5 质量验收

6.3.5.1 回灌工程应对回灌井点施工质量和回灌效果进行验收，质量验收表格见表 D.3 和表 D.4。

6.3.5.2 回灌井的质量验收应符合下列规定：

- a) 井身顶角偏斜不大于 1%；
- b) 井内沉淀物高度不应大于井深的 0.5%。

6.3.5.3 回灌工程效果验收应包括下列内容：

- a) 井结构完好，封井质量符合要求；
- b) 回灌率不小于 80%；
- c) 回灌水质检测合格。

6.4 地下水导流施工

6.4.1 一般要求

6.4.1.1 地下水导流系统施工前，应根据专项设计图纸、场地工程地质与水文地质条件、周边环境状况编制专项施工方案，并经审批后实施。

6.4.1.2 导流工程施工应遵循“动态设计、信息化施工”的原则。施工过程中应对地质条件、水文参数、施工效果进行实时监测与反馈，若实际情况与设计假定存在显著差异，应及时通知设计单位进行复核与动态调整。

6.4.1.3 施工过程中，应制定详细的应急预案，明确应急组织体系、信息报告程序、分级响应机制及具体处置措施等；应按预案配备足够的应急物资、设备，并指定经过培训的应急人员，确保在发生突涌、渗漏等险情时能迅速响应。

6.4.1.4 地下水导流系统施工不应损害基坑支护结构、永久结构及地下管线的安全。在汇排水系统、连接通道等开挖前，应核查作业区域与基坑支护体系（如锚索、支撑）的相对位置，采取有效措施予以避让或保护。

6.4.2 施工准备

6.4.2.1 技术准备：

- a) 图纸会审与设计交底：施工前，建设单位应组织设计、监理、施工等相关单位进行设计交底和图纸会审。施工单位应全面熟悉施工图纸，掌握设计意图、技术标准和质量要求，特别是导流系统的平面布置、高程、坡度、材料规格及与其他结构的衔接关系；
- b) 专项施工方案编制与审批：施工单位应依据设计文件、工程地质水文地质条件、相关标准规范及现场实际情况，编制具有针对性和可操作性的专项施工方案。方案内容应涵盖工程概况、施工部署、施工方法与工艺、施工进度计划、质量安全保证措施、应急预案及施工监测方案等。方案应按规定程序进行审批，超过一定规模的危险性较大的分部分项工程应组织专家论证；
- c) 技术交底：施工前，施工技术负责人应向施工管理人员、作业班组长进行详细的技术交底，明确施工工艺、质量标准、安全注意事项和环保要求，并形成交底记录。

6.4.2.2 现场准备：

- a) 应合理规划施工场地，明确材料堆放区、加工区、施工通道等，确保施工有序进行。场地应平整、坚实，并设置完善的排水系统，防止积水和泥浆污染；

- b) 确保施工所需的水、电、临时道路畅通。为地下作业点提供必要的通风、照明和安全防护条件。

6.4.2.3 材料与设备准备:

- a) 材料准备与管理: 所有进场材料, 如卵砾石、无砂混凝土管、土工布、导水管、水泥等, 其规格、型号及技术性能必须符合设计要求, 并具备出厂合格证、质量检验报告。主要材料进场后应按规定进行抽样复试, 合格后方可使用。卵砾石滤料的颗粒级配、含泥量(宜不大于3%)、渗透系数等指标应重点控制。材料应分类堆放, 标识清晰, 并采取适当的防雨、防潮、防污染措施;
- b) 施工机具与监测仪器准备: 根据施工方案, 配备数量充足、性能良好的施工设备, 如成井钻机、开挖设备、碾压机械、抽排水设备等, 并提前进行检修、调试, 确保其处于良好工作状态。

6.4.2.4 人员与安全准备:

- a) 项目管理及作业人员应配置齐全, 特种作业人员应持证上岗;
- b) 应在施工区域设置明显的安全警示标志, 临边、洞口等危险部位应设置可靠的防护设施。

6.4.3 工艺性试验

6.4.3.1 在大面积施工前, 应选择地质条件具有代表性、施工环境相对独立的区段进行工艺性试验。

6.4.3.2 验证设计参数和施工工艺的合理性, 确定各项施工关键技术参数(如成井工艺、卵砾石层的最佳铺填厚度与碾压参数、连接通道的开挖支护方式等), 为大面积施工提供依据。

6.4.3.3 工艺性试验应针对导流工程的核心工序和关键环节进行, 主要包括:

- a) 成井工艺试验: 验证钻孔工艺(如泥浆配比、钻进速度)、井管连接、滤料填充速度与方法、洗井工艺(如活塞、空压机联合洗井)的效果, 检验成井质量(出水量、含砂量);
- b) 卵砾石导流层铺筑试验: 确定达到设计压实度和渗透系数所需的分层虚铺厚度、碾压机械型号、碾压遍数、碾压速度及最优含水率等参数;
- c) 管涵安装与连接试验: 验证管道接口处理方式、安装精度控制方法、回填材料与工艺的有效性;
- d) 连接通道开挖试验: 在特定地质和支护条件下, 验证开挖深度、孔径、开挖方式等的可行性与安全性。

6.4.3.4 宜根据工艺性试验成果, 完善和优化专项施工方案, 用以指导后续大规模施工。

6.4.4 施工过程控制

6.4.4.1 地下水导流系统施工宜遵循“先支护降水, 后开槽施工; 先深后浅, 先主后次; 分层分段, 及时防护”的总体顺序。

6.4.4.2 施工工艺流程优先为: 施工准备→汇排水井施工→降水至作业面以下→导流通道基槽开挖→反滤层及垫层施工→导流管涵/卵砾石层铺设→系统连接与集成→保护层施工→回填→系统调试与验收; 施工顺序宜根据现场实际情况进行调整, 确保施工安全和质量。

6.4.4.3 应根据设计图纸和测量控制网点, 采用全站仪、水准仪等精密仪器, 精确测放出导流通道、汇排水系统、连接通道等关键部位的平面位置、标高及坡度控制线。测量成果应复核无误, 并设置易于保护的控制桩。

6.4.4.4 汇排水井成井工艺(钻孔、下管、填砾、洗井)应严格执行 GB 50296, 井管垂直度偏差应小于 1%; 滤水管安装位置应与目标导流含水层对应, 滤料填充应均匀、到位。成井后应进行充分洗井, 直至出水清澈, 含砂量体积比应小于 1/100000。

- 6.4.4.5 碎石桩施工宜采用无泥浆钻进工艺，并严格控制孔底沉渣；碎石料应洁净、级配良好，含泥量不应大于 3%。填料应分层进行，每层填料后应用振捣器振密，确保桩身密实度和透水性。
- 6.4.4.6 沟槽开挖应根据土质条件进行放坡或支护，确保槽壁稳定。沟底应平整、连续，不应有尖硬凸起物；沟槽验收合格后，应铺设设计要求的砂石垫层，并控制好标高和平整度。
- 6.4.4.7 当设计有反滤层（土工布或级配砂石）时，应严格按设计层次和厚度施工。土工布铺设应平整、松紧适度，搭接宽度不宜小于 300 mm，破损处应及时修补或更换。
- 6.4.4.8 导流管涵安装应顺直，坡度符合设计要求；当为透水管时宜用透水土工布完整包裹，防止淤堵；接口应连接紧密、牢固。
- 6.4.4.9 卵砾石换填层应采用洁净、级配良好的卵砾石材料，含泥量应不大于 3%；采用分层摊铺、分层碾压的施工方法，每层虚铺厚度不宜大于 300 mm；碾压机械和遍数应通过试验确定，以达到设计要求的压实度和渗透系数；施工中应避免机械在已铺好的导流层上反复行走，造成骨料破碎或淤堵。
- 6.4.4.10 水平导流通道系统、汇排水系统及连接通道之间应可靠连接，确保形成完整、有效的导流网络；连接通道宜采用专用连接件，并做好防护，防止施工期泥水灌入造成淤堵；连接部位是防渗关键点，应采用柔性、防渗的专用接头或现浇混凝土等方式进行密封处理，防止形成短路或渗漏。
- 6.4.4.11 导流系统施工验收合格后，应及时在其上方铺设设计要求的保护层（如土工布、混凝土垫层），防止在后续结构施工中被破坏或淤堵。
- 6.4.4.12 回填应采用符合设计要求的分层回填材料，碾压密实，其压实度应满足设计要求，并避免损伤已安装的导流设施。
- 6.4.4.13 系统安装完成后，宜进行通水试验，检查地下水导流系统的水力连通性、水平管的过流能力及系统的自流或强排效果是否达到设计预期。
- 6.4.4.14 施工过程中应详细记录各工序的施工参数、材料用量、异常情况处理等，形成完整的施工记录。

6.4.5 质量验收

- 6.4.5.1 地下水导流系统作为隐蔽工程，在覆埋前应报请监理单位进行验收，验收合格后方可进行下一道工序，导流管涵质量检验标准表见表 D.5，连接通道质量验收记录表见表 D.6，汇排水井的参照降水井验收标准表执行。
- 6.4.5.2 以下关键隐蔽工序在工程隐蔽前，必须进行过程验收，并形成影像及文字记录：
- 基槽与基坑验收：导流通道、汇排水井、连接通道等基槽开挖完成后，验收其平面位置、标高、坡度、基底平整度及支护安全性；
 - 反滤层验收：反滤层（土工布或级配砂石）铺设完成后，验收其材料、铺设层次、厚度、搭接宽度及保护措施；
 - 管道安装验收：导流管涵安装、连接、包裹完成后，验收其管材、安装顺直度、坡度、接口质量及外围滤料填充情况；
 - 导流层铺填验收：卵砾石导流层每层铺填碾压后，验收其厚度、压实度及材料级配；
 - 汇排水系统成井验收：井管下放、滤料回填、洗井完成后，验收其井深、井径、垂直度、滤水管位置、孔底沉渣出水量及含砂量；
 - 连接通道验收：连接通道长度、孔径、与水平导流系统及汇排水系统的连通性、回填后的密封性等。
- 6.4.5.3 导流系统全部施工完成，应进行竣工验收。竣工验收时宜包含以下主控项目：
- 导流效果验收：系统通水调试期间，其导水能力应达到设计流量或水位壅高控制的要求；
 - 系统连通性验收：导流系统应水力连通顺畅，无阻塞、无渗漏。可采用示踪法或通过对比系统两端水位变化进行检验；

- c) 材料质量验收:所有进场原材料、预制构配件的质量合格证明文件、复试报告齐全,其规格、性能指标应符合设计及相关标准要求。

6.4.5.4 竣工验收时宜核查材料合格证、竣工图、试验报告、施工记录、隐蔽工程验收记录及必要的监测及检测报告。

6.5 基坑突涌水防治工程施工

6.5.1 一般要求参考

6.5.1.1 减压井成井工艺(钻井方法、井管材质、滤料规格、填料方法等)应符合设计要求,确保成井质量,防止抽水时流土进一步产生突涌。

6.5.1.2 截水帷幕施工要求参照 6.1.1 执行。

6.5.2 施工准备

6.5.2.1 减压井施工井位放样应准确,并避开主体结构梁、柱、墙等重要部位。井管连接应严密,过滤器安装位置应与承压含水层对应。成井后应及时进行洗井,直至水清砂净,出水含砂量应小于 1/100000(体积比)。洗井合格后,应进行单井抽水试验,确定设计降深工况下的出水量。

6.5.2.2 泄水孔宜在基坑底部按方格网布置,施工钻至预计深度后立即安装包有土工布的护壁管,并在孔内下入反滤层粒料及压重粒料,防止土颗粒流失,管壁外间隙用黏土球或水泥浆液充填密实。

6.5.2.3 截水帷幕施工准备内容参照 6.1.2 执行。

6.5.3 工艺性试验

减压井、泄水孔、截水帷幕均应通过现场工艺性试验确定施工参数,验证施工方法的适宜性。试验方法与要求参照 6.1.3、6.2.3 执行。

6.5.4 施工过程控制

6.5.4.1 施工过程中,应对原材料进行抽查检验,对施工过程全程控制检查。

6.5.4.2 主体结构施工完成,经设计方验算自重足以抵抗承压水头后可进行封井。封井采用“管内注浆+机械密封”的复合方法。应先向井管内填入砾石,再注入微膨胀水泥浆液,浆液应从井底向上返浆,确保将过滤器及井周环隙完全封闭。待井管内浆液凝固后,切割井管,焊接闷板,完成井口处的防水处理后再进行主体结构施工。

6.5.4.3 其他施工过程控制内容参照 6.1.4、6.2.4 执行。

6.5.5 质量验收

6.5.5.1 应通过抽水试验测定减压井出水量和单位降深出水量,评价降水效果。通过观测出水含砂量评价滤层设计和成井质量。

6.5.5.2 基坑突涌水防治工程完成后,应提交完整的施工记录、质量检验报告及竣工图,由建设单位组织设计、施工、监理、勘察等单位进行验收,验收合格后方可进入下一道工序施工。

6.5.5.3 其他质量验收内容参照 6.1.5、6.2.5 执行。

7 监测及维护

7.1 监测

7.1.1 水位监测

7.1.1.1 一般要求

开展地下水水位监测工作，全过程应遵循现行相关标准规定，监测数据应保证真实、完整、准确，具体要求如下：

- a) 监测工作应符合 GB 50296 第 4.1.11、7.6、7.7、8 章，GB 50497 第 4.1、5.2、7、8 章及 GB/T 51040 第 5、7、8 章相关规定，确保数据真实、准确、完整；
- b) 应结合工程地质、水文地质条件及周边敏感目标分布，科学制定监测方案，明确监测范围、点位、频率、方法及预警阈值，方案经审批后严格执行；
- c) 监测过程中应加强现场巡查与设备维护，及时处理异常情况，保障监测系统稳定运行；
- d) 对于存在突涌风险的，应建立完善的地下水监测系统，包括承压水水位监测井、孔隙水压力计等。

7.1.1.2 水位监测范围

应根据轨道交通建设规模、水文地质条件、周边环境等综合确定，宜遵循轨道交通线网区域控制、车站加密的原则。

7.1.1.3 水位监测点布设

结合场地水文地质条件、线路及车站布局统筹布设水位监测点位，布设规则如下：

- a) 宜沿地下水水流方向布设；
- b) 区域监测点数量应根据轨道交通线网规模、水文地质条件等综合确定，轨道交通车站范围岩溶水监测点不宜少于 2 个，基岩裂隙水及孔隙水监测点不宜少于 1 个；
- c) 对地下水径流环境可能有较大影响的重点车站，监测孔宜在车站迎水侧及背水侧对称布置，并不宜少于 6 个；
- d) 区域监测点应保留至工程竣工后不少于 5 年，车站范围监测点应布设于车站周边，应做好井口保护；
- e) 工程场地存在多层含水层时应分层监测；
- f) 监测井的施工、成井应按 GB 50296 第 5 章管井结构设计、第 7 章管井施工全部条款执行；
- g) 监测点宜在基坑降水前至少 1 周埋设。

7.1.1.4 监测方法

7.1.1.4.1 监测方法应根据设计要求、车站规模、场地条件、精度要求、水文地质及工程地质条件等综合确定，并应合理易行。

7.1.1.4.2 监测可分为人工监测和在线监测，优先采用在线监测，区域存在地下泉水等敏感对象时，应采用在线监测方式。

7.1.1.5 监测频率

监测频次应结合工程阶段、水文工况差异化设置，具体要求如下：

- a) 工程建设期间人工监测频率应按照 GB 50497 第 7 章监测频率全部条款执行；
- b) 运营期间人工监测频率宜不低于 1 次/季度，自动化监测频率宜不低于 1 次/天，特殊车站加密监测；
- c) 汛期、异常工况及水位突变时应加密监测。

7.1.2 水质监测

7.1.2.1 一般要求

地下水水质监测应结合施工污染源、区域水质背景开展常态化管控，相关要求如下：

- a) 水质监测指标以 GB/T 14848 常规指标为基础，结合施工注浆、油污污染源增设石油类、重金属、外加剂特征指标；
- b) 应在施工前开展监测确定水质背景值，建设及运营期间按规定频率监测，重点关注降水井、回灌井及敏感水体周边水质变化；
- c) 监测数据应及时分析研判，发现异常立即启动应急处置流程，排查污染源头并采取管控措施。

7.1.2.2 水质监测范围

水质监测点位需覆盖地下水径流关键断面与各类抽排水设施，具体布设范围要求如下：

- a) 宜结合水位监测点，工程场地地下水水流方向上游和下游水质监测点不少于 2 个；
- b) 应定期对降水井、回灌井水质进行监测；
- c) 工程场地存在多种类型地下水宜分别监测；
- d) 工程场地周边有重要水体等应进行监测。

7.1.2.3 水质监测指标、监测频率及方法

指标选取、采样频次与检测操作依据的具体规定如下：

- a) 监测指标以 GB/T 14848 中常规指标为主，不同地区可在常规指标的基础上，根据工程场地环境条件、污染源特征等补充选定非常规指标；
- b) 水质监测频率、采样检测方法及实验室质量检验执行 HJ/T 164 第 3 章采样、第 5 章监测项目与分析方法、第 6 章实验室分析相关条款，关键施工工序、水质突变工况下应加密监测。

7.1.3 预警及应急处理

7.1.3.1 预警

地下水监测预警判定指标、阈值要求如下：

- a) 水位预警值参照 GB 50497 第 8.0.1、8.0.3 条要求，地下水位变化累计值为 1000 mm 或变化速率为 500 mm/d 即报警；
- b) 地下水水质指标超出对应地下水功能区标准限值及背景值即启动预警监测。

7.1.3.2 应急处理

监测触发预警后，应急处置要求规定如下：

- a) 预警发布后立即加密监测、增设监测断面追踪水动力与污染羽变化；
- b) 水位异常通过抽灌联动、帷幕注浆堵漏控制沉降与突涌；
- c) 水质异常遵循源头封堵→水力截污→原位/异位净化流程；
- d) 橙色、红色预警应在 2 h 内组织水文、环境专业人员到场研判，同步按属地主管部门要求上报；
- e) 预警解除条件
 - 水位：连续7天稳定回归正常区间，恢复常规监测频次；
 - 水质：连续7次采样恢复背景值，恢复常规监测频次；
- f) 险情处置完成后归档监测、处置影像与文字台账。

7.2 维护

7.2.1 导流维护

7.2.1.1 运营阶段，宜对车站周边地下水位、流速、流向、流场等进行长期监测，若地下水位高于抗浮设防水位，应立即进行坑外抽水，以确保工程安全。

7.2.1.2 运营阶段，若出现水位壅高现象，应采用抽灌结合等方式，对导流通道进行冲洗，确保工程安全及周边地下水流场稳定。

7.2.2 监测维护

7.2.2.1 一般要求

监测设备日常运维通用要求如下：

- a) 所有水位、水质计量传感器每年送具备资质机构检定，检定不合格设备不应用于监测与预警判定；
- b) 传感器清洁仅使用纯水、中性无磷清洗剂与软毛刷，禁止硬质刮擦、强酸强碱浸泡，避免地下水二次污染；
- c) 监测井、压力探头、多参数电极、RTU、光伏、防雷系统按周期除垢、校准、线路绝缘检测；水位设备每季度人工钢尺比对校核，误差超出 $\pm 2\text{cm}$ 重新标定零点；
- d) 触发四级预警、暴雨、注浆污染后立即开展专项设备排查，区分设备漂移失真与真实地下水异常，故障期间同步人工加密监测补充数据。

7.2.2.2 分级管控

结合监测设备损耗速率、场地水文地质污染条件，建立分周期、分场景的设备运维管控机制，分级管控如下：

- a) 监测设备实行日常巡检、季度保养校准、年度计量检定、故障专项检修五级管控；
- b) 高污染、强透水地层校准、清洁周期缩短 50%。

7.2.2.3 封存与报废

针对短期停用、长期闲置及失效监测设备，相关封存与报废要求如下：

- a) 短期封存（不超过 6 个月）：水质电极浸泡专用保存液，井口全密封，每月启封巡检；
- b) 长期封存/报废：设备拆解入库，永久失效、修复成本超新机 50%统一合规报废，废液、电极按危废处置。

7.2.2.4 档案管理

档案管理规定如下：

- a) 建立一井一档、一机一档台账，记录安装、巡检、校准、维修、配件更换；
- b) 监理每月抽查不少于 30%监测点位运维记录；
- c) 工程全周期监测数据有效率不低于 95%，运维档案竣工后留存不少于 5 年。

7.2.3 地下水环境影响后评价

轨道交通工程完工后，应系统性复盘工程建设对区域地下水系统的长期影响，验证地下水保护措施实施成效，后评价核心内容如下：

- a) 复核工程建设区域内地下水环境变化情况；
- b) 复核工程建设地下水保护措施落实情况，是否符合前期环评工作判断是否符合常规要求；
- c) 前期环评工作报告中表明有风险的工程要关注对地下水环境的影响及采取的相关措施有效性。

附 录 A
(规范性)
基坑涌水量计算

A.1 圆形基坑或长宽比小于 20 的矩形基坑涌水量计算见表 A.1。

表A.1 涌水量计算公式

(适用于圆形基坑或长宽比小于20的矩形基坑)

降水井类别	公式	式中符号意义
潜水完整井	$Q = \pi k \frac{(2H - s_0)s_0}{\ln(1 + \frac{R}{r_0})}$	k—含水层渗透系数，单位为米每日 (m/d)； H—潜水含水层厚度，单位为米 (m)； S ₀ —设计降水深度，单位为米 (m)； R—影响半径，单位为米 (m)； r ₀ —等效大井半径，单位为米 (m)，可按 $r_0 = 0.565\sqrt{F}$ ，F 为井点系统的围和面积，单位为平方米 (m ²)； M—承压水含水层厚度，单位为米 (m)； H ₀ —承压含水层的初始水头，单位为米 (m)； h—基坑动水位至含水层底板的距离，单位为米 (m)； h _m —平均动水位，单位为米 (m)； $h_m = (H + h) / 2$
承压水完整井	$Q = 2\pi k \frac{Ms_0}{\ln(1 + \frac{R}{r_0})}$	
承压转无压完整井	$Q = \pi k \frac{(2H_0 - M)M - h^2}{\ln(1 + \frac{R}{r_0})}$	
潜水非完整井	$Q = \pi k \frac{H_0^2 - h_m^2}{\ln(1 + \frac{R}{r_0}) + \frac{h_m - l}{l} \ln(1 + 0.2 \frac{h_m}{r_0})}$	
承压非完整井	$Q = 2\pi k \frac{Ms_0}{\ln(1 + \frac{R}{r_0}) + \frac{M - l}{l} \ln(1 + 0.2 \frac{M}{r_0})}$	

A.2 条形基坑（基坑长宽比为 20~50 之间）涌水量计算见表 A.2。

表A.2 条形基坑涌水量计算公式

(适用于长宽比为20~50之间的条形基坑)

地下水类型	公式	式中符号意义
潜水	$Q = \frac{Lk(2H - s)s}{R} + \frac{1.366k(2H - s)s}{\lg R - \lg \frac{B}{2}}$	L—基坑长度，单位为米 (m) B—条形基坑宽度，单位为米 (m) 其符号见表A.1
承压水	$Q = \frac{2kMLs}{R} + \frac{2.73kMs}{\lg R - \lg \frac{B}{2}}$	

A.3 线状基坑（基坑长宽比大于 50）涌水量计算见表 A.3。

表A.3 线状基坑涌水量计算公式

（适用于长宽比大于50的线状基坑）

地下水类型	公式	式中符号意义
潜水	$Q = \frac{kL(H^2 - h^2)}{R}$	见表 A. 1 和表 A. 2
承压水	$Q = \frac{2kLMs}{R}$	

附录 B

(资料性)

基坑降水—回灌共同作用时的地下水水位计算

基坑降水—回灌共同作用时的基坑外地下水水位应通过数值模拟手段确定,初步设计时,按式(B.1)~(B.3)计算:

a) 无截水帷幕工况潜水完整井群:

$$h_c^2 = H_1^2 - \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{\pi k} \ln \frac{R_i}{r_i} + \sum_{i=1}^{n'} \frac{Q'_i}{\pi k} \ln \frac{R'_i}{r'_i} \quad (\text{B.1})$$

式中:

- h_c ——降水—回灌共同作用下的水头,单位为米(m);
- H_1 ——潜水含水层初始水位,取含水层底板至水头距离,单位为米(m);
- Q_i ——第*i*个降水井的单井涌水量,单位为立方米每日(m^3/d);
- R_i ——第*i*个降水井的影响半径,单位为米(m);
- k ——含水层渗透系数,单位为米每日(m/d);
- r_i ——计算点至第*i*个降水井的距离,单位为米(m);
- Q'_i ——第*i*个回灌井的单井回灌量,单位为立方米每日(m^3/d);
- R'_i ——第*i*个回灌井的影响半径,单位为米(m);
- r'_i ——计算点至第*i*个回灌井的距离,单位为米(m)。

b) 无截水帷幕工况承压完整井群:

$$h_c = H_0 - \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{2\pi kM} \ln \frac{R_i}{r_i} + \sum_{i=1}^{n'} \frac{Q'_i}{2\pi kM} \ln \frac{R'_i}{r'_i} \quad (\text{B.2})$$

式中:

- h_c ——降水—回灌共同作用下的水头,单位为米(m);
- H_0 ——承压含水层的初始水头,单位为米(m);
- Q_i ——第*i*个降水井的单井涌水量,单位为立方米每日(m^3/d);
- R_i ——第*i*个降水井的影响半径,单位为米(m);
- k ——含水层渗透系数,单位为米每日(m/d);
- r_i ——计算点至第*i*个降水井的距离,单位为米(m);
- M ——承压水含水层厚度,单位为米(m);
- Q'_i ——第*i*个回灌井的单井回灌量,单位为立方米每日(m^3/d);
- R'_i ——第*i*个回灌井的影响半径,单位为米(m);
- r'_i ——计算点至第*i*个回灌井的距离,单位为米(m)。

c) 有截水帷幕工况:

$$h_c = H_0 - \sum_{j=1}^{m'} \frac{Q_j}{4\pi k_z} \left(\frac{1}{r_j} - \frac{1}{R} \right) + \sum_{i=1}^{n'} \frac{Q'_i}{2\pi k_z M} \ln \frac{R^2}{r'_{i1} r'_{i2}} \quad (\text{B.3})$$

式中:

- h_c ——降水—回灌共同作用下的水头,单位为米(m);
- H_0 ——承压含水层的初始水头,单位为米(m);
- m' ——汇点数量,对圆形基坑可取基坑中心点,对矩形基坑宜沿基坑中心线取多个汇点;
- Q_j ——第*j*个汇点处的基坑涌水量,单位为立方米每日(m^3/d);
- k_z ——含水层的综合渗透系数,单位为米每日(m/d);
- r_j ——计算点至基坑内第*j*个汇点的距离,单位为米(m);

R ——影响半径，单位为米（m）；

Q'_i ——第 i 个回灌井的单井回灌量，单位为立方米每日（m³/d）；

M ——承压水含水层厚度，单位为米（m）；

r'_{i1} ——计算点至第 i 个回灌井的距离，单位为米（m）；

r'_{i2} ——计算点至与第 i 个回灌井沿截水帷幕对称的基坑内虚井的距离，单位为米（m）。

附录 C

(资料性)

导流设计参数计算

C.1 初步评价时，地下水位壅高可按公式 (C.1) 计算：

$$\Delta h_y = N_{SF} J R = N_{SF} \frac{h_1 - h_2}{L_0} R_c \cos \alpha \quad \text{.....} \quad (\text{C.1})$$

式中：

- Δh_y ——受地下结构阻隔作用的地下水位壅高值，单位为米 (m)；
- N_{SF} ——暴雨影响安全系数，取 1.5~2；
- J ——水力梯度；
- h_1 、 h_2 ——勘察期间水流方向上的任意两勘察孔内的地下水位，单位为米 (m)；
- L_0 ——两勘察孔的距离，单位为米 (m)；
- R_c ——受车站结构扰动的含水层影响半径；
- α ——两勘察孔连线与水流方向的夹角。

C.2 岩溶含水层等效渗透系数可按公式 (C.2) 计算：

$$k_d = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} k_i A_i}{A_0} \quad \text{.....} \quad (\text{C.2})$$

式中：

- k_d ——等效渗透系数，单位为米每日 (m/d)；
- k_i (i=1, 2...n) ——不同岩溶发育程度断面的渗透系数，单位为米每日 (m/d)；
- A_i (i=1, 2...n) ——对应不同岩溶发育程度的截面积，单位为平方米 (m²)；
- A_0 ——车站建设前某截面的总面积，单位为平方米 (m²)。

C.3 采用线岩溶率指标求岩溶含水层等效渗透系数时，可按公式 (C.3) 计算：

$$k_d = k_1 K_L + k_2 (1 - K_L) \quad \text{.....} \quad (\text{C.3})$$

式中：

- k_d ——等效渗透系数，单位为米每日 (m/d)；
- k_1 ——岩溶发育区渗透系数，单位为米每日 (m/d)；
- k_2 ——岩石较完整区域渗透系数，单位为米每日 (m/d)；
- K_L ——线岩溶率%。

C.4 当计算承压含水层中的稳定流量，且地下水径流条件满足达西定律时，可按公式 (C.4) 求得原始地下水流量：

$$Q_0 = v_0 A_0 = k_d A_0 J_0 \quad \text{.....} \quad (\text{C.4})$$

式中：

- Q_0 ——原始地下水流量，单位为立方米每日 (m³/d)；
- v_0 ——原始工况地下水流速，单位为米每日 (m/d)；
- A_0 ——车站建设前某截面的总面积，单位为平方米 (m²)；
- k_d ——等效渗透系数，单位为米每日 (m/d)；
- J_0 ——原始工况水力梯度。

C.5 当实测地下水雷诺数大于 1 或岩溶发育区具有明显紊流特征时，可按公式 (C.5) 求得原始地下水流量：

$$Q_0 = v_0 A_0 = k_d A_0 J_0^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (C.5)$$

式中:

Q_0 ——原始地下水流量, 单位为立方米每日 (m^3/d);
 v_0 ——原始工况地下水流速, 单位为米每日 (m/d);
 A_0 ——车站建设前某截面的总面积, 单位为平方米 (m^2);
 k_d ——等效渗透系数, 单位为米每日 (m/d);
 J_0 ——原始工况水力梯度。

C.6 当计算潜水含水层中的稳定流量且含水层底板水平时, 可按公式 (C.6) 求得原始地下水流量:

$$Q_0 = q_0 B_1 = k_u \frac{h_{y1}^2 - h_{y2}^2}{2L_1} B_1 \dots\dots\dots (C.6)$$

式中:

Q_0 ——原始地下水流量, 单位为立方米每日 (m^3/d);
 q_0 ——拟建车站位置处的地层单宽流量, 单位为立方米每日每米 ($\text{m}^3/\text{d}/\text{m}$);
 B_1 ——车站总长度, 单位为米 (m);
 k_u ——潜水含水层渗透系数, 单位为米每日 (m/d);
 h_{y1} ——沿地下水流方向上游的勘察孔处的水位, 单位为米 (m);
 h_{y2} ——沿地下水流方向下游的勘察孔处的水位, 单位为米 (m);
 L_1 ——沿地下水流方向两勘察孔距离, 单位为米 (m)。

C.7 采用卵砾石换填导流方法时, 换填面积可按公式 (C.7) 计算:

$$A_s \geq F_s m \frac{k_d}{k_s} A_0 \dots\dots\dots (C.7)$$

式中:

A_s ——导流措施的设计截面积, 单位为平方米 (m^2);
 F_s ——安全系数, 可取 1.5~2.0;
 m ——优化系数, 不宜小于 0.2;
 k_s ——导流措施的设计渗透系数, 单位为米每日 (m/d);
 A_0 ——车站建设前某截面的总面积, 单位为平方米 (m^2)。

需布置的通道数量可按公式 (C.8) 计算:

$$n_s = \frac{A_s}{A_s'} \dots\dots\dots (C.8)$$

式中:

n_s ——需布置的通道数量, 单位为个;
 A_s ——导流措施的设计截面积, 单位为平方米 (m^2);
 A_s' ——单道卵砾石换填导流通道的设计面积, 单位为平方米 (m^2)。

C.8 粗粒土颗粒级配可参照经验公式 (C.9) 确定:

$$k_{20} = 2 \frac{d_{60}}{d_{30}} d_{10}^2 e^2 \dots\dots\dots (C.9)$$

式中:

k_{20} ——粗粒土在 20°C 时的渗透系数, 单位为厘米每秒 (cm/s);
 d_{60} ——粗粒土的控制粒径, 小于某粒径质量累积百分含量达 60% 所对应的颗粒直径, 单位为厘米 (cm);

d_{30} ——粗粒土的限制粒径，小于某粒径质量累积百分含量达30%所对应的颗粒直径，单位为厘米（cm）；

d_{10} ——粗粒土的有效粒径，小于某粒径质量累积百分含量达10%所对应的颗粒直径，单位为厘米（cm）；

e ——试样的孔隙比。

C.9 当采用管涵导流方法时，需要的管涵数量可按公式（C.10）计算：

$$n_{sg} \geq F_s \frac{mQ_0}{A_{sg}v_{sg}} \dots\dots\dots (C.10)$$

式中：

n_{sg} ——管涵设计数量，个；

F_s ——安全系数，可取 1.5~2.0；

m ——优化系数，不宜小于 0.2；

Q_0 ——原始地下水流量，单位为立方米每日（m³/d）；

A_{sg} ——单根管涵有效面积，单位为平方米（m²）；

v_{sg} ——管涵内水流设计流速，单位为米每秒（m/s），因后期管涵可能发生淤堵导致流速下降，不宜超过0.1 m/s。

管涵中水流的流速可按公式（C.11）计算：

$$v_{sg} = \frac{1}{n_0} R_s^{\frac{2}{3}} J_s^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (C.11)$$

式中：

v_{sg} ——管涵内水流设计流速，单位为米每秒（m/s），因后期管涵可能发生淤堵导致流速下降，不宜超过0.1 m/s；

n_0 ——粗糙系数；

R_s ——管涵水力半径，单位为米（m），取管涵过水断面面积与湿周之比；

J_s ——设计水力梯度。

C.10 可按公式（C.12）及（C.13）确定汇排水井间距、数量等参数：

$$n_j = 1.1Q_0/q' \dots\dots\dots (C.12)$$

$$q' = F_{rd} 1.366 k_u \frac{H_i^2 - h_i^2}{\lg(R/r_w)} \dots\dots\dots (C.13)$$

式中：

n_j ——井数量（口）；

Q_0 ——原始地下水流量，单位为立方米每日（m³/d）；

q' ——单井汇水量，单位为立方米每日（m³/d）；

F_{rd} ——折减系数，当汇排水靠近基坑时，可根据经验取 0.3~0.6。

k_u ——潜水含水层渗透系数，单位为米每日（m/d）；

H_i ——当计算汇水井流量时， H_i 可取车站迎水侧可能发生的最高水位；当计算排水井流量时， H_i 可取车站迎水侧与背水侧可能发生的最高水位的平均值；

h_i ——当计算汇水井流量时， h_i 可取车站迎水侧与背水侧可能发生的最高水位的平均值；当计算排水井流量时， h_i 可取车站背水侧可能发生的最高水位，单位为米（m）；

R ——影响半径，单位为米（m）；

r_w ——井滤管半径，单位为米（m）。

C.11 当采用壅高进行导流效果评价时，可采用式（C.14）进行计算：

$$N(X,Y)=1-\frac{1}{\sqrt{n_d}}\left(\sum_{i=1}^n\left(X(x_i)-Y(y_i)\right)^2\right)^{\frac{1}{2}}\dots\dots\dots$$

(C. 14)

- 式中：
- $N(X,Y)$ ——工程建设前后地下水位监测数据的贴合度；
 - n_d ——参与统计的监测孔数量；
 - X ——工程建设前监测孔内的水位监测数据；
 - x_i ——工程建设前第 i 个监测孔内的水位数据；
 - Y ——工程建成后监测孔内的水位监测数据；
 - y_i ——工程建成后第 i 个监测孔内的水位数据。

附 录 D
(规范性)
质量检验标准表

表D.1 降水施工材料质量检验标准

项	序	检查项目	允许值或允许偏差		检查方法
			单位	数值	
主控项目	1	井、滤管材质	设计要求		查产品合格证书或按设计要求 求参数现场检测
	2	滤管孔隙率	设计值		测算单位长度滤管孔隙面积 或与等长标准滤管渗透对比法
	3	滤料粒径	$(6\sim 12)d_{50}$		筛析法
	4	滤料不均匀系数	≤ 3		筛析法
一般项目	1	沉淀管长度	mm	±50 0	用钢尺量
	2	封孔回填土质量	设计要求		现场搓条法检验土性
	3	挡砂网	设计要求		查产品合格证书或现场量测 目数
注： d_{50} 为土颗粒的平均粒径。					

表D.2 管井施工质量检验标准

项	序	检查项目		允许值或允许偏差		检查方法
				单位	数值	
主控项目	1	泥浆比重		1.05~1.10		比重计
	2	滤料回填高度		+10% 0		现场搓条法检验土性、测算封填粘土体积、孔口浸水检验密封性
	3	封孔		设计要求		现场检验
	4	出水量		不小于设计值		查看流量表
一般项目	1	成孔孔径		mm	±50	用钢尺量
	2	成孔深度		mm	±20	测绳测量
	3	扶中器		设计要求		测量扶中器高度或厚度、间距，检查数量
	4	活塞洗井	次数	次	≥20	检查施工记录
			时间	h	≥2	检查施工记录
	5	沉淀物高度		≤5%井深		测锤测量
	6	含砂量（体积比）		≤1/20000		现场目测或用含砂量计测量

表D.3 管井封井质量检验标准

项	序	检查项目	允许值或允许偏差		检查方法
			单位	数值	
主控项目	1	注浆量	+10% 0		测算注浆量
	2	混凝土强度	不小于设计值		28d试块强度
	3	内止水钢板焊接质量	满焊，无缝隙		焊缝外观检测、渗水检验
一般项目	1	外止水钢板宽度、厚度，位置	设计要求		现场量测
	2	细石子粒径	mm	5~10	筛析法或目测
	3	细石子回填量	+10% 0		测算滤料用量且测绳测量回填高度
	4	混凝土灌注量	+10% 0		测算混凝土用量
	5	24h残存水高度	mm	5~10	量测水位
	6	砂浆封孔	设计要求		外观检验

表D.4 回灌管井运行质量检验标准

项	序	检查项目	允许值或允许偏差		检查方法
			单位	数值	
主控项目	1	观测井水位	设计值		量测水位
	2	回灌水质	不低于回灌目的层水质		试验室化学分析
一般项目	1	回灌量	+10% 0		查看流量表
	2	回灌压力	+5% 0		检查压力表读数
	3	回扬	设计要求		检查施工记录

表D.5 导流管涵质量检验标准

项	序	检查项目		允许值或允许偏差		检查方法
				单位	数值	
主控项目	1	管涵位置	设计深度（标高）	mm	±10	水准仪或经纬仪
			轴线位置	mm	±10	水准仪或经纬仪
	2	管涵安装	承插口连接牢固、严密，无渗漏	符合设计要求		外观检验
	3	垫层	平整度	mm	±10	水准仪、靠尺
			宽度、厚度	mm	±10	尺量
			级配	符合设计要求		颗粒分析
	4	管材、管件、橡胶圈等材料的规格型号、材质、管径、配筋等		符合设计要求		合格证及检验报告
	5	与连接通道连接、固定		符合设计要求		外观检验
一般项目	6	肥槽、远期线底部回填		mm	±10	水准仪、靠尺
	1	沟槽基底平整、无积水、无扰动原状土		符合设计要求		外观检验、水准仪
	2	管涵坡度符合设计要求，无倒坡		符合设计要求		水准仪
	3	监测通道砌筑砂浆饱满，流槽平顺，井盖安装平稳		符合设计要求		外观检验

表D.6 导流连接通道质量检验标准

项	序	检查项目		允许值或允许偏差		检查方法
				单位	数值	
主控项目	1	管道位置	以深度控制的	mm	±10	水准仪或经纬仪
			以管涵标高控制的	mm	±10	水准仪或经纬仪
	2	长度	钢管长度	mm	±10	尺量
			掏挖长度	mm	±100	尺量
	3	桩间掏挖加固		符合设计要求		外观检验
	4	与汇排水井连接、固定		符合设计要求		外观检验
	5	与管涵连接、固定		符合设计要求		外观检验
一般项目	1	规格型号、管径、壁厚等		符合设计要求		合格证及检验报告
	2	水平度		符合设计要求		靠尺
	3	铁丝网		符合设计要求		外观检验、尺量

参 考 文 献

- [1] GB/T 1.1—2020, 标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则[S].
 - [2] GB/T 50299—2018, 地下铁道工程施工质量验收标准 [S].
 - [3] HJ 589—2010, 突发环境事件应急监测技术规范 [S].
 - [4] 朱崇辉, 刘俊民, 王增红. 粗粒土的颗粒级配对渗透系数的影响规律研究[J]. 人民黄河, 2005, 27 (12) :79—81.
 - [5] 黄永亮, 李虎, 胡韬, 等. 岩溶区地铁车站地下水导流设计参数探讨[J]. 都市轨道交通, 2026 (1) :87—95.
 - [6] 宿庆伟, 邢立亭, 宫亮, 等. 地铁建设对岩溶水渗流场影响的修复效果模拟[J]. 水资源与水工程学报, 2023, 34 (1) :199—206.
-