

DB37

山东省地方标准

DB 37/ XXXXX—XXXX

## 基坑一体化降水回灌技术规范

Technical specification for integrated dewatering and recharge of  
foundation pit

(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 ..... III

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 勘察 ..... 3

6 设计 ..... 3

    6.1 通则 ..... 3

    6.2 适宜性评价 ..... 4

    6.3 降水系统 ..... 4

    6.4 回灌系统 ..... 4

    6.5 综合处理系统 ..... 7

7 施工 ..... 8

    7.1 通则 ..... 8

    7.2 降水系统 ..... 8

    7.3 回灌系统 ..... 8

    7.4 综合处理系统 ..... 9

    7.5 调试与验收 ..... 9

8 运行与维护 ..... 9

    8.1 通则 ..... 9

    8.2 运行控制 ..... 10

    8.3 运行维护 ..... 10

    8.4 运行终止 ..... 10

9 监控量测 ..... 11

    9.1 通则 ..... 11

    9.2 地下水监测 ..... 11

    9.3 变形监测 ..... 11

    9.4 监测预警 ..... 11

附 录 A （资料性） 基坑降水回灌适宜性评价方法 ..... 13

附录 B（规范性）	基坑涌水量计算与数值模拟 .....	19
附录 C（资料性）	回灌试验 .....	22
附录 D（资料性）	基坑一体化降水回灌运行日报表 .....	24
附录 E（规范性）	监测频率要求 .....	25
附录 F（资料性）	现场巡查日报表 .....	26

## 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并组织实施。

本文件由山东省交通运输标准化技术委员会归口。

# 基坑一体化降水回灌技术规范

## 1 范围

本文件规定了基坑一体化降水回灌技术在勘察、设计、施工、运行维护、监控量测等方面的要求，描述了对应的证实方法。

本文件适用于交通、市政等建设项目的基坑降水回灌工程。

## 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。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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/T 50027—2024 供水水文地质勘察标准  
GB 50068—2018 建筑结构可靠性设计统一标准  
GB 50268—2008 给水排水管道工程施工及验收规范  
GB 50296—2014 管井技术规范  
GB 50497—2019 建筑基坑工程监测技术标准  
JGJ 111—2016 建筑与市政工程地下水控制技术规范  
JGJ 476—2019 建筑工程抗浮技术标准  
DB37/T 5059—2025 工程建设地下水控制技术规范

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**基坑一体化降水回灌** integrated dewatering and recharge for foundation pit

将基坑抽取的地下水同步回灌到地下含水层的成套技术。

注：基坑一体化降水回灌通常包括降水系统、回灌系统、综合处理系统。

### 3.2

**基坑降水回灌适宜性评价** suitability assessment of dewatering and recharge for foundation pit

根据工程地质、水文地质及周边环境等条件，分析基坑降水回灌对地下水资源、周边建（构）筑物的影响，明确基坑工程降水回灌的适宜性等级，提出地下水抽灌平衡控制策略。

### 3.3

**降水系统** dewatering system

按一定间距分布的、通过抽排地下水控制基坑内水位的降水井及其配套设施。

[来源：JGJ 111—2016，2.1.2，有修改]

### 3.4

**回灌系统** recharge system

按一定间距分布的、将基坑抽排水引流回地下含水层的回灌井及其配套设施。

[来源: DB37/T 5059—2025, 7.3.1, 有修改]

### 3.5

**综合处理系统** comprehensive treatment system

在降水系统与回灌系统之间设置的一系列用于过滤净化回灌水、调整回灌压力、控制回灌流量并对故障进行预警提示的装置。

### 3.6

**同层回灌** recharge of the aquifer same as dewatering

抽取的地下水经设备处理后回灌至同一含水层的回灌方式。

[来源: DB37/T 5059—2025, 7.1.4, 有修改]

### 3.7

**异层回灌** recharge of the aquifer different from dewatering

抽取的地下水经设备处理后回灌至不同含水层的回灌方式。

[来源: DB37/T 5059—2025, 7.1.4, 有修改]

### 3.8

**重力回灌** gravity recharge

通过回灌水自身重力回灌至地下含水层的技术方法。

[来源: JGJ 111—2016, 7.1.3, 有修改]

### 3.9

**压力回灌** pressure recharge

对回灌水加压后回灌至地下含水层的技术方法。

[来源: JGJ 111—2016, 7.1.3, 有修改]

### 3.10

**资源性地下水回灌** recharge for increasing the groundwater resources

为保护地下水资源、避免水资源浪费,以回补地下含水层含水量为主要目的,同时兼顾周边环境影响的地下水回灌工程。

[来源: T/UCST 009—2020, 2.1.2, 有修改]

### 3.11

**防沉降地下水回灌** recharge for preventing uneven settlement

为减小基坑降水对周边环境的变形影响,以稳定建(构)筑物周边地下水位、控制沉降变形为主要目的,同时兼顾保护地下水资源的地下水回灌工程。

[来源: T/UCST 009—2020, 2.1.3, 有修改]

### 3.12

**回扬** return pump

为消除或降低气泡、细颗粒等对回灌井回灌能力的影响而在回灌井中采取的定期抽排水措施。

[来源: T/UCST 009—2020, 2.1.8, 有修改]

## 4 总体要求

### 4.1 基坑一体化降水回灌工程应包含以下工作:

- a) 工程地质与水文地质勘察;
- b) 专项设计,基于现场验证试验结果,优化完善设计方案;
- c) 施工、调试验收;
- d) 运行维护;

- e) 监控量测。
- 4.2 基坑一体化降水回灌工程满足下列要求：
  - a) 回灌方式宜采取原位回灌；
  - b) 基坑抽取的地下水宜全部回灌，当不能全部回灌时，应控制地下水位保持在降水前常年水位的自然变幅范围；
  - c) 回灌用水水质不低于回灌含水层中的地下水水质，异层回灌时不低于GB/T 14848—2017中Ⅲ类标准；
  - d) 满足基坑抗渗流稳定性和坑底抗突涌稳定性要求；
  - e) 保证基坑周边建筑物、道路及地下设施等的安全和正常使用。
- 4.3 基坑一体化降水回灌工程现场验证试验包括基坑抽水试验、回灌试验。
- 4.4 按照JGJ 111—2016中规定的方法进行基坑抗渗流稳定性和坑底抗突涌稳定性验算。

## 5 勘察

- 5.1 勘察应包含以下工作：
  - a) 查明降水回灌场地的含水层及隔水层埋藏条件；
  - b) 查明地下水补给、径流、排泄条件；
  - c) 分析含水层间、地下水与地表水间的水力联系；
  - d) 查明含水层水文地质参数及水质等级；
  - e) 提出地下水控制相关建议。
- 5.2 在抽水试验基础上进行回灌试验，获得单井的回灌压力、回灌量、回灌影响范围等回灌相关设计参数，并对回灌设计和施工提出建议。
- 5.3 按照DB37/T 5059—2025第3章中规定的地下水控制工程等级为一级时，宜采取群井抽水试验，获取含水层的渗透系数、影响半径等水文地质参数，取得在相互干扰条件下群井的总涌水量和井群降落漏斗中心水位降深，并对周边环境影响进行监测和评价。
- 5.4 存在断裂、岩溶、采空区等复杂地质条件场地，应查明复杂地质构造的区域水力联系，区域地下水补给、径流、排泄条件，不良地质发育程度等情况。
- 5.5 滨海沉积区应查明咸水与淡水的分界面及其交替变化情况。
- 5.6 按照JGJ 111—2016第4章规定的勘察方法开展基坑降水回灌勘察工作。

## 6 设计

### 6.1 通则

- 6.1.1 基坑一体化降水回灌设计前应完成以下准备工作：
  - a) 掌握场区工程地质条件、水文地质条件、围护结构设计、周围环境资料、相关法律法规及技术标准等；
  - b) 开展基坑降水回灌适宜性评价，明确工程场地降水回灌的适宜性等级；
  - c) 当进行防沉降回灌时，受保护建（构）筑物结构形式与基础类型及沉降控制要求；
  - d) 当进行资源性回灌时，根据场地条件及地质条件确定回灌目的层和回灌场地位置。
- 6.1.2 基坑一体化降水回灌设计应包含适宜性评价、降水系统设计、回灌系统设计、综合处理系统设计内容。

6.1.3 按照DB37/T 5059—2025第3章中规定的地下水控制工程等级为一级或二级的基坑降水回灌工程，宜按照附录B.2进行数值模拟，对比分析不同降水回灌方案的效果和影响，确定基坑一体化降水回灌设计方案。

6.2 适宜性评价

6.2.1 依据工程地质、水文地质及周边环境调查报告等资料，宜选取回灌水质、建（构）筑物距离基坑远近、风险损失等级、含水层透水性、基坑降水量与含水层可储水量之比等指标评价基坑降水回灌适宜性等级。

6.2.2 基坑降水回灌适宜性等级的划分应遵循保护水质及周边建（构）筑物、地质适宜、易于管理、方便实施的原则。根据回灌水质等级、地下水回灌地质条件适宜性等级、周边建（构）筑物保护等级，宜将基坑降水回灌适宜性划分为3个等级：Ⅰ级为非常适宜，Ⅱ级为较适宜，Ⅲ级为不适宜。

6.2.3 根据基坑降水回灌适宜性等级确定回灌方式，符合表1的规定。

表 1 回灌方式

基坑降水回灌适宜性等级	适宜性	回灌方式
Ⅰ级	非常适宜	宜采用管井、渗坑，常水头回灌为主。
Ⅱ级	较适宜	宜采用管井，压力回灌为主，必要时可适当增大回灌井径、加深井深、增加回灌井数量，提高回灌效果。
Ⅲ级	不适宜	应严格采取地下水控制措施，符合 JGJ 111—2016 和 DB37/T 5059—2025 有关规定，并减小基坑降水对地下水环境的影响。

6.2.4 按照附录A计算基坑降水回灌适宜性评价等级，其中地下水回灌地质条件适宜性等级由含水层透水性 and 回灌补源必要性指标确定，周边建（构）筑物保护等级由风险损失和保护建（构）筑物必要性指标确定。

6.3 降水系统

6.3.1 降水井结构应根据地质条件和水文条件综合确定，滤管段应布置在降水目标含水层，避免多层含水层混层干扰，并开展降水试验，根据试验结果优化降水井结构及布置。

6.3.2 同层回灌时回灌区与降水区直线距离宜大于回灌影响半径与降水影响半径之和，当不满足时，宜增加应急降水井或采取其他措施减弱回灌对降水的干扰。

6.3.3 按照 DB37/T 5059—2025 附录 C 计算降水影响半径，按照 DB37/T 5059—2025 第 7.2.4 条计算回灌影响半径，按照现场试验或数值模拟计算群井影响半径，有地方经验的可参照经验参数修正。按照附录 B 的方法计算基坑涌水量。

6.3.4 按照 GB/T 50027—2024 第 7 章的规定进行抽水试验，试验记录内容至少包括：每口井的出水量、抽水井内稳定水位埋深、水位观测井的水位变化状况等，停抽后测量抽水井内恢复水位及水位观测井的恢复水位。

6.4 回灌系统

6.4.1 回灌方法应根据场地条件、场地地质条件、回灌目的等因素确定。

- a) 防沉降回灌宜采用定水头同层回灌，每口回灌井单独控制；
- b) 资源性回灌时，渗透系数大于等于 1m/d 的地层宜采用大口井或管井重力回灌方法同层回灌；渗透系数小于 1m/d 地层宜采用压力回灌方法同层回灌。

6.4.2 根据回灌保护区域范围、工程地质水文地质条件、回灌影响半径，结合场地条件宜单排布设回



灌管井，应将回灌井布设在基坑沿地下水下游区域；同层回灌时应根据基坑降水影响半径确定回灌井布置并预留备用井，数量不宜少于回灌井总数的 10%。

6.4.3 管井回灌井间距应根据基坑位置、降水量、回灌量及工程地质水文地质条件，并结合工程场地及周边建（构）筑物情况综合确定，并满足以下要求：

- a) 管井回灌井宜等间距布设；
- b) 回灌井间距不宜大于20m，对基坑降水回灌适宜性等级为Ⅱ级的场地，宜适当减小回灌井间距并增加回灌井数量；
- c) 大口径回灌井可根据场地条件来布置，间距不宜小于15m。

6.4.4 防沉降回灌井应布设在基坑工程与需控制沉降的建（构）筑物之间，回灌井布设范围应大于建（构）筑物与基坑工程相邻侧的边长，回灌井间距宜满足需保护区域水位控制要求。

6.4.5 回灌井结构参数应根据场地水文地质条件、成井工艺、回灌方式确定，并符合表 2 的规定。

表 2 回灌井结构参数

井结构参数	通用要求	特殊要求	
		同层回灌	异层回灌
井深	应根据回灌目标含水层埋深、回灌水量、地下水位控制要求等因素综合确定。	应根据回灌目标含水层厚度来确定，宜为该含水层的完整井深度。	异层回灌时，应根据场地水文地质条件、回灌量、回灌井施工难度、以及工程造价等综合因素来确定。
成孔直径	宜大于或等于降水井的井径，且不宜小于 600mm。	在条件允许的情况下，综合场地占用、回灌量、回灌过程管理等因素，优先使用大口井。	
井壁管	宜选用无缝钢管，回灌时间较短的可采用水泥砂管。滤水管、沉淀管直径不宜低于 273mm。	/	
滤水管	回灌井滤水管应结合含水层类型及厚度确定，潜水含水层中滤水管宜比常年地下水位高 0.5m，承压含水层中滤水管宜与承压含水层厚度一致。	滤水管孔隙率应大于降水井的孔隙率同时不小于 15%，可选用缠丝式、桥式或圆孔式等形式。	
沉淀管	应大于抽水管的沉淀管长度，长度 1m～2m。	大口井沉淀（管）池段长（深）度应满足抽水疏干回灌井的下泵深度，以便对回灌井随时清理。	
填砾层	应与场地水文地质条件相匹配，滤料层高度大于滤水管长度。	宜取抽水井滤料规格的上限。	

6.4.6 当含水层厚度较大时，回灌井滤水管长度按公式（1）计算确定。

$$L = \frac{Q_i}{\pi \cdot d \cdot n_e \cdot v_0} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$L$  ——回灌井滤水管长度，单位为米（m）；

$Q_i$  ——单井回灌量，单位为立方米每天（m³/d）；

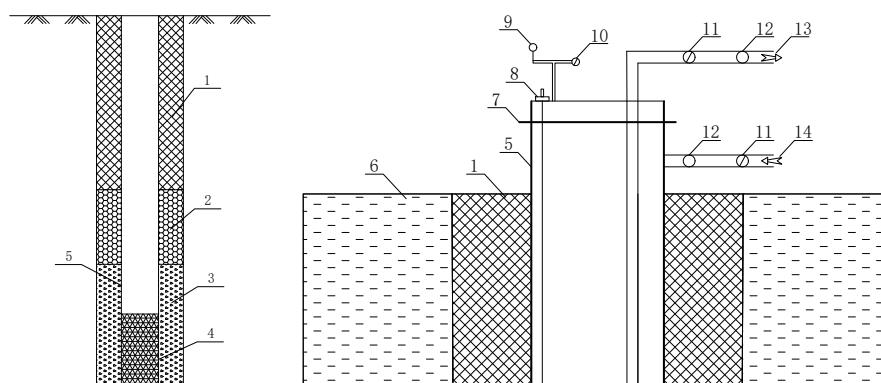
$d$  ——滤水管的外径，单位为米（m）；

$n_e$  ——滤水管的有效孔隙率，可按滤水管出水表面孔隙率的 50%计算；

$v_0$  ——滤水管出水流速，单位为米每天（m/d），可由经验公式  $v_0 = \sqrt{k}/15$  求得， $k$  为土的渗透系数，单位为米每天（m/d）。

6.4.7 压力回灌井结构应与图 1 相符合，图 1 包含分图 a）、b），压力回灌井应设置封闭系统，并配

置有回灌进水阀门、放气阀门、回灌出水阀门、水量计量表、回灌井压力表、潜水泵电缆线孔、回扬出水管路系统预留接口等装置。回灌井封闭后应检查效果，当达不到要求时，应重新进行封闭。



a) 压力回灌井井结构示意图

b) 压力回灌井井帽系统示意图

标引序号说明：

- 1——注浆或素混凝土；
- 2——黏土球；
- 3——填砾；
- 4——滤水管；
- 5——井壁管；
- 6——地层；
- 7——法兰盘；

- 8——潜水泵电缆线；
- 9——压力表；
- 10——放气阀门；
- 11——管路阀门；
- 12——水量计量表；
- 13——回扬出水管路；
- 14——回灌进水管路。

图 1 压力回灌井示意图

6.4.8 单井回灌量宜通过理论公式计算，有地方经验的可按经验数据修正计算结果；群井回灌量宜通过数值模拟计算；单井及群井最终回灌量经现场试验验证后确定。具体理论公式如下：

- a) 重力回灌条件下，潜水含水层单井最大回灌量按公式（2）计算，承压含水层单井最大回灌量按公式（3）计算：

$$Q_{np} = 1.366k \frac{h_w^2 - H_0^2}{\lg R / r_w} \dots\dots\dots (2)$$

$$Q_{np} = 2.732kM \frac{h_w - H_0}{\lg R / r_w} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

- $Q_{np}$  ——重力回灌单井回灌量，单位为立方米每天（ $m^3/d$ ）；
- $h_w$  ——回灌后井内水位至含水层底板高度，单位为米（ $m$ ）；
- $H_0$  ——回灌前井内含水层静止水位至含水层底板高度，单位为米（ $m$ ）；
- $r_w$  ——回灌井半径，单位为米（ $m$ ）；
- $M$  ——承压含水层厚度，单位为米（ $m$ ）；
- $K$  ——含水层渗透系数，单位为米每天（ $m/d$ ）；
- $R$  ——回灌影响半径，单位为米（ $m$ ）。

- b) 压力回灌条件下，单井最大回灌量根据回灌井单位回灌量按公式（4）计算，当无单位回灌量时根据降水井单位涌水量按公式（5）计算：

$$Q_p = q_h (H_{saf} - h_0) \dots\dots\dots (4)$$

$$Q_p = \eta q_c (H_{saf} - h_0) \dots\dots\dots (5)$$

式中：

$Q_p$  ——压力回灌单井设计最大可回灌量，单位为立方米每天（ $\text{m}^3/\text{d}$ ）；  
 $q_h$  ——单位回灌量，单位为立方米每天（ $\text{m}^3/\text{d}$ ），回灌井内水位抬升 1m 时回灌流量值；  
 $H_{saf}$  ——设计最大回灌压力水头，为回灌井内水位高于地面的距离，单位为米（m），计算公式见公式（7）；

$h_0$  ——无回灌条件下基坑降水稳定后地下水水位埋深值，单位为米（m）；

$q_c$  ——单位涌水量，单位为立方米每天（ $\text{m}^3/\text{d}$ ）；

$\eta$  ——回灌阻力系数比，与渗透系数正相关，取值范围 0.3~0.5。

6.4.9 压力回灌时，单井最大回灌压力按公式（6）、公式（7）计算并结合现场试验确定，有地方经验的可参照经验参数修正：

$$P = \rho g H_{saf} \dots\dots\dots (6)$$

$$H_{saf} = \left( \frac{K_0 r_s}{F_l \gamma_w} - 1 \right) \cdot h \dots\dots\dots (7)$$

式中：

$P$  ——设计最大回灌压力，单位为兆帕（MPa），不宜大于 0.2MPa；

$\rho$  ——水的密度，单位为千克每立方米（ $\text{kg}/\text{m}^3$ ），一般取  $1000\text{kg}/\text{m}^3$ ；

$g$  ——重力加速度，单位为牛顿每千克（N/kg），一般取  $10\text{N}/\text{kg}$ ；

$K_0$  ——静止土压力系数；

$r_s$  ——黏土球分隔层底部至地面间各分隔层的加权平均重度，单位为千牛每立方米（ $\text{kN}/\text{m}^3$ ）；

$F_l$  ——回灌设计安全系数，取值范围 1.0~1.2；

$\gamma_w$  ——水的重度，单位为千牛每立方米（ $\text{kN}/\text{m}^3$ ），一般取  $10\text{kN}/\text{m}^3$ ；

$h$  ——黏土球分隔层底至地面间分隔层的厚度，单位为米（m）。

6.4.10 回灌井数量按公式（8）修正并结合现场试验确定，同时防沉降回灌井数量还应结合水位控制范围、水位抬升要求等因素综合确定：

$$N = K_\alpha n \dots\dots\dots (8)$$

式中：

$N$  ——设计回灌井数量；

$n$  ——回灌井理论计算数量， $n$  等于需回灌水总量与单井回灌量比值；

$K_\alpha$  ——回灌井调增系数，根据当地经验确定，一般不小于 1.3。

6.4.11 按照附录 C 进行回灌试验，根据试验结果优化回灌系统。

6.4.12 按照 JGJ 111—2016 附录 E 规定的计算方法预测回灌后地下水位。

## 6.5 综合处理系统

6.5.1 综合处理系统宜包括水质处理装置、压力控制装置、回灌分流装置、自动监测装置、智能电控装置，根据地方政策及工程项目要求可灵活调整系统装置。

6.5.2 回灌水经水质处理装置处理后，水质应满足 GB/T 14848—2017 中的Ⅲ类水水质标准，且不低于目的含水层水质标准。

6.5.3 增压水泵选型由基坑涌水量、回灌压力及回灌量等技术要求确定。

6.5.4 回灌分流装置根据回灌井水位、水量、水压监测数据动态调整分流器流量，并将回灌水分流到回灌井内。

6.5.5 自动监测装置实现对工程监测数据、设备运行状态数据的监测、收集和传输。工程监测数据包括回灌井水位、回灌量、回灌压力等数据，设备运行状态数据包括机电设备电流、电压、温度等数据。

6.5.6 智能电控装置实现智能分析处理工程监测数据和设备运行状态数据。

6.5.7 按照附录 C 进行回灌试验，检验水质处理装置、压力控制装置、回灌分流装置、自动监测装置和智能电控装置功能。

6.5.8 按照 GB/T 14848—2017 附录 B 中的规定进行水质检测。

6.5.9 输水主管道容量应大于各支管流量之和，输水管道的流量按公式（9）、公式（10）计算：

$$Q_g = Av \cdots \cdots \cdots (9)$$

$$v = \frac{1}{f} \left( \frac{A}{\chi} \right)^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \cdots \cdots \cdots (10)$$

式中：

- $Q_g$  ——通过某一断面的流量，单位为立方米每秒（m³/s）；
- $A$  ——过水断面面积，单位为平方米（m²），压力回灌管道按满流计算，重力回灌管道按非满流计算。充满度指水流在管渠中的充满程度，管道以水深与管径之比值表示，渠道以水深与渠高之比值表示，可按表 3 的规定取值；
- $v$  ——流速，单位为米每秒（m/s）；
- $\chi$  ——湿周，单位为米（m）；
- $I$  ——水力坡度；
- $f$  ——粗糙系数。

表 3 最大设计充满度

管径或渠高 (mm)	最大设计充满度
200~300	0.55
350~450	0.65
500~900	0.70
1000	0.75

7 施工

7.1 通则

- 7.1.1 降水井、回灌井应结合地层确定成孔工艺，钻孔深度宜大于设计井深。
- 7.1.2 基坑一体化降水回灌宜采用信息化施工，高效组织降水、回灌施工及运行。

7.2 降水系统

- 7.2.1 相同地层特征和相同结构的降水井最小单井出水量宜不小于最大单井出水量的 70%，未满足要求的应分析原因并采取补救措施。
- 7.2.2 降水井水泵选型应根据单井涌水量、扬程等技术要求确定。
- 7.2.3 降水井成井后应设置封闭防护装置，无法设置封闭防护装置时应做好防护措施。
- 7.2.4 降水井成井质量及洗井质量符合 GB 50296—2014 第 7 章和第 8 章的规定，并做好现场记录。

7.3 回灌系统

- 7.3.1 无砂混凝土管回灌井止水段宜充填黏土球至井口，无压回灌时钢管井止水段宜充填黏土球至井口，压力回灌时钢管井止水段宜采用黏土球与注浆组合充填或素混凝土充填的方式。
- 7.3.2 黏土球止水段长度宜结合地层及回灌压力确定，止水段以上应注浆封堵至井口，形成注浆封填段，井壁上宜预埋注浆管，注浆施工宜在黏土球完全发挥作用，止水段彻底稳定后进行。
- 7.3.3 当止水层采用注浆封填时，注浆施工宜在回灌井成井施工结束 7d 后进行。
- 7.3.4 采用降水井相同结构的回灌井回灌量应不小于抽水量的 30%，对相同结构回灌井的最小单井回

灌量应不小于最大单井回灌量的 70%，未满足要求的应分析原因并采取补救措施。

7.3.5 回灌井内回扬水泵的配置应和单井抽水量相匹配，且扬程应不小于井深。当单井出水量小于  $50\text{m}^3/\text{h}$  时，回扬潜水泵流量宜大于 80% 单井出水量；当单井出水量大于  $50\text{m}^3/\text{h}$  时，回扬潜水泵流量宜大于 50% 单井出水量。

7.3.6 回灌井成井后宜结合回灌方式设置封闭防护装置。

7.3.7 回灌井成井质量及洗井质量符合 GB 50296—2014 第 7 章和第 8 章的规定，并做好现场记录。

## 7.4 综合处理系统

7.4.1 集水沉淀箱在施工现场宜设置在可移动平板或平台上，便于移动处理。

7.4.2 净化过滤装置宜结合项目实际优化初级过滤装置、深层净化装置组成，提高装置适用性、经济性，并确保处理后水质满足 6.5.2 相关要求。

7.4.3 压力回灌时宜根据监测数据，通过 PLC 控制器进行定流量或定压力回灌。压力回灌试验时，初始回灌压力宜为  $0.02\text{MPa}$ ，加压梯度间隔宜为  $0.01\text{MPa}$ ，加压时间间隔宜为 12h，最大压力不应大于设计值，并及时观测回灌压力、流量、水位及回灌井四周地面的变化。

7.4.4 在不影响交通、城市管理要求或其他工程施工的情况下，输水管道宜布设在地面，冬季施工及运行应采取相应防冻措施；特殊路段采用埋地式时，应做好回填保护。

7.4.5 管道宜自下游开始分节安装，管道承口宜朝向施工前进的方向。管节下入沟槽时，不得与槽下管道相互碰撞，不得抛、摔、拖管，防止损伤管节。

7.4.6 管道应内外防腐，管道接口部位宜采取防止变形措施。管道连通后宜进行闭水试验，试验压力不宜小于  $0.2\text{MPa}$ 。

7.4.7 集水沉淀箱和管道按照 GB 50268—2008 第 9 章中的规定进行严密性试验，净化过滤装置按照 GB/T 14848—2017 附录 B 中的规定进行水质检测试验，压力回灌按照 GB 50235—2008 第 9.2 条中的规定进行压力管道水压试验。

## 7.5 调试与验收

7.5.1 基坑一体化降水回灌工程施工完成后，应先进行调试，编制调试方案。调试内容至少包括：测验水泵、变频增压泵等重点设备性能，验证输水管道规格和流量匹配性，评估水质处理装置处理能力，检测各装置设备运行状态，测试抽灌一体化过程的协同性。

7.5.2 调试期间按附录 D 记录各装置（含备用）运行状态、降水井出水量、水位观测井水位、受保护建（构）筑物区域观测井水位、回灌井回灌量、回灌压力及其他异常情况。调试结束后编制报告，按设计文件中的要求进行基坑一体化降水回灌工程验收。

## 8 运行与维护

### 8.1 通则

8.1.1 基坑一体化降水回灌工程运行控制应遵循下列原则：

- a) 基坑内地下水位降深满足设计降深要求；
- b) 基坑周边地下水位降深及降水引起的地面沉降不超过控制值；
- c) 受保护建（构）筑物区域的回灌后地下水位不超过降水前常年水位的自然变幅范围。

8.1.2 井点、管路、系统等宜设置安全保护标识。

8.1.3 运行与维护专项方案中明确运行控制、维护、终止内容，制定巡检计划，定期巡视井点、管路及系统设备；并明确应急预案，列举备用物资名称及数量，明确专人定期检查、维修、保养、登记，确保备用物资有效。

## 8.2 运行控制

- 8.2.1 降水运行控制宜采用变频抽水设备或回流装置控制降水井的出水量及水位降深。
- 8.2.2 回灌运行控制宜设置回灌量调节装置控制回灌井的回灌量，回灌量应根据施工工况确定的目标含水层地下水位控制要求而调整，回灌区的水位不宜超过自然地下水位。
- 8.2.3 水位、水质、抽水井流量、回灌井流量、回灌水压监测宜采用实时监测系统，并用人工监测数据校核。
- 8.2.4 根据附录 D，施工单位填制基坑开挖、结构回筑等各工况下设计降深、坑外降深控制标准、设计回灌量等数值，并根据附录 E 规定的频次记录运行控制期间水位、水量、水质、水压等数据。

## 8.3 运行维护

### 8.3.1 降水维护应符合下列规定：

- a) 降水期间对抽水设备和运行状况进行维护检查，每天检查不少于 2 次，定期检查排水管、沟，以及开挖工作面，防止渗漏，监测出现异常应及时反馈并查明原因，当发现涌水、涌砂现象，立即查明原因，组织处理；
- b) 根据工程开挖深度和施工进度，按计划分期、分批开启降水井，对抽排水量和地下水位进行动态控制。更换水泵时，测量井深，保证降水连续。

### 8.3.2 回灌运行维护应符合下列规定：

- a) 回灌期间对回灌设备和运行状况进行维护检查，每天检查不少于 2 次；
- b) 根据设计要求对水位、回灌量、回灌压力、周边环境等进行监测，发现异常及时反馈并查明原因；
- c) 回灌过程中保持回灌流量、回灌压力的稳定，回灌水水质符合要求，并根据施工工况确定的地下水水位控制要求进行调整；
- d) 压力回灌应符合下列规定：
  - 1) 回灌前排出管路和泵管内的空气，回灌量和压力由小到大逐步调节；
  - 2) 当回灌量低于设计回灌量 50%时，或定流量回灌压力增量超过 20%时，并及时进行回扬。
- e) 重力回灌应符合下列规定：
  - 1) 抽水井和回灌井之间宜采用封闭管路，以避免过多的空气进入回灌井造成气堵；
  - 2) 及时观测回灌井水位，保持回灌井内水位在一定高度，避免回灌井水位溢出，当因回灌能力降低而导致井内水位升高至设计动水位后，应进行回扬处理。

8.3.3 回扬时应采取措施降低回扬引起的沉降，可采用开启备用回灌井或间隔回扬等方式。单次回扬时间宜控制在 10min~30min，相邻两次回扬间隔时间不宜小于 20min，直到抽出的地下水清澈时，方可停止回扬。

8.3.4 当水质处理器水处理能力降低超过 20%时，应采用反冲洗法对水质处理器进行维护，当反冲洗法无效果时，应更换水处理介质。

8.3.5 按照附录 D，施工单位记录每日巡检井点、管路、水质处理设备、回灌井回扬等维护情况，及时清理仪表泥沙，定期清理水质处理设备，检查回灌井密封及压力状况。

## 8.4 运行终止

8.4.1 满足施工及抗浮要求时宜停止降水回灌工程。

8.4.2 抽水井、降压井、回灌井及观测井应在停止使用后按要求进行封井；封井宜采用素混凝土封填、压密注浆封填等方法封闭。

8.4.3 按照 JGJ 476—2019 第 6 章中的规定进行抗浮计算，封井按隐蔽工程组织验收。

## 9 监控量测

### 9.1 通则

9.1.1 基坑一体化降水回灌施工监测项目应包括地下水的水位、水质，降水井的抽水量、含砂量，回灌井的水量、水压、水质和周边地表及邻近建（构）筑物变形等。

9.1.2 降水井、回灌井施工、运行、维护阶段宜对降水回灌设备、周边环境及监测设施进行现场巡视检查。

9.1.3 监测方案包括监测依据、监测内容、监测方法、监测频次、预警标准及监测成果报送等内容，宜按照附录 E 明确各监测项目监测频率。

9.1.4 施工单位宜按照附录 F 做好巡查记录，并以拍照或摄像方式对巡查情况留档记录，发现异常应及时上报。

### 9.2 地下水监测

9.2.1 观测井间距宜根据降水影响半径、回灌影响半径及重点保护对象位置等确定，宜为 20m~50m。

- a) 资源性回灌，观测井宜布置在回灌井（群）周边；
- b) 防沉降回灌，观测井宜布置在回灌井点与被保护对象之间；
- c) 观测井深度、过滤器位置宜分别与降水井、回灌井保持一致；
- d) 观测井深度宜进入最大井深水位以下 3m，井径宜为 100mm~275mm，沉砂管宜设置约 500mm~600mm。

9.2.2 对回灌涉及的地下水水质定期进行检测，不同含水层的应分层取水样，各层水样不少于 2 件。

- a) 地下水出现明显的水质变化如浑浊、异味等及时停止回灌，进行水质检测并查明水质变化原因；
- b) 水源地区域宜加密监测频率，监测范围及水质要求应符合水源地相关规定的要求。

9.2.3 地下水位监测过程中出现水位较大波动时，应及时加密监测频率。

9.2.4 降水井抽出地下水的含砂量应在降水井出水口或汇水口处取水；回灌水的含砂量测定应在沉淀池出口处取水。

9.2.5 按照 GB/T14848—2017 附录 B 中的规定进行回灌水质检测，按照 JGJ 111—2016 中第 5 章的规定进行回灌水含砂量测定。

9.2.6 监测方案提供观测井结构及平面布置图，监测报告记录每口井的抽水量、抽水井内稳定水位埋深、水位观测井的水位、每口井的回灌量、回灌井内稳定水位埋深、回灌压力。

### 9.3 变形监测

9.3.1 周边地表及邻近建（构）筑物变形的基准点应设置在基坑降水回灌工程影响范围之外，每个测区不少于 3 个。

9.3.2 地面沉降监测点的布置宜从沉降中心向外布设，点间距由密到疏；当需要评价各土层的沉降变化时，宜在地面沉降影响范围内进行土体分层沉降监测。

9.3.3 按照 GB 50497—2019 第 5 章规定的方法进行地表及邻近建（构）筑物变形监测。基准点设置符合 GB 50497—2019 第 4 章的规定。

### 9.4 监测预警

9.4.1 根据地质条件、建（构）筑物、设计要求确定基坑一体化降水回灌工程各监测项目预警值。

9.4.2 监测数据达到监测预警值时，应立即预警，通知有关各方及时分析原因并采取相应措施。

9.4.3 监测过程中出现下列情况之一时应立即进行预警：

- a) 基坑出现流砂、管涌、隆起、陷落；

- b) 基坑周边建（构）筑物的结构部分出现危害结构的变形裂缝基坑周边地面出现较严重的突发裂缝或地下空洞、地面下陷或隆起；
  - c) 基坑周边管线变形突然明显增长或出现裂缝、泄漏等；
  - d) 根据工程经验判断降水系统、回灌系统出现其它异常。
- 9.4.4 各监测项目预警值符合 GB50497—2019 第 8 章规定的数值。



附 录 A  
(资料性)  
基坑降水回灌适宜性评价方法

### A.1 回灌水质等级

回灌水质等级按照表 A.1~表 A.4 确定。根据表 A.1~表 A.3 进行单项指标评价计算,最终评分值按照公式(A.1)、公式(A.2)计算,根据表 A.4 确定回灌水质等级。

$$F = \sqrt{\frac{\bar{F}^2 + F_{\max}^2}{2}} \dots\dots\dots (A.1)$$

$$\bar{F} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_i \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

$\bar{F}$  ——为各单项指标评分值  $F_i$  的平均值;

$F_{\max}$  ——为各单项指标评价分值  $F_i$  中的最大值;

$n$  ——项数;

$F$  ——最终评分值。

表 A.1 地下水质量分类

类别	I 类	II 类	III类	IV类	V 类
水质特点	地下水化学组分含量低,适用于各种用途	地下水化学组分含量较低,适用于各种用途	地下水化学组分含量中等,主要适用于集中式生活饮用水水源及工农业用水	地下水化学组分含量较高,以农业和工业用水质量要求以及一定水平的人体健康风险为依据,适用于农业和部分工业用水,适当处理后可作生活饮用水。	地下水化学组分含量高,不宜作为生活饮用水水源,其他用水可根据使用目的选用。

表 A.2 地下水质量指标及限值

序号	标准值项目	I 类	II 类	III类	IV类	V 类
1	色(度)	≤5	≤5	≤15	≤25	>25
2	嗅和味	无	无	无	无	有
3	浑浊度(度)	≤3	≤3	≤3	≤10	>10
4	肉眼可见物	无	无	无	无	有
5	pH	6.5~8.5			5.5~6.5, 8.5~9	<5.5, >9
6	总硬度(以 CaCO <sub>3</sub> 计)(mg/L)	≤150	≤300	≤450	≤650	>650
7	溶解性总固体(mg/L)	≤300	≤500	≤1000	≤2000	>2000
8	硫酸盐(mg/L)	≤50	≤150	≤250	≤350	>350
9	氯化物(mg/L)	≤50	≤150	≤250	≤350	>350
10	铁(Fe)(mg/L)	≤0.1	≤0.2	≤0.3	≤2.0	>2.0
11	锰(Mn)(mg/L)	≤0.05	≤0.05	≤0.1	≤1.5	>1.5

表 A.2 地下水质量指标及限值 (续)

序号	标准值项目	I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类
12	铜 (Cu) (mg/L)	$\leq 0.01$	$\leq 0.05$	$\leq 1.0$	$\leq 1.5$	$> 1.5$
13	锌 (Zn) (mg/L)	$\leq 0.05$	$\leq 0.5$	$\leq 1.0$	$\leq 5.0$	$> 5.0$
14	铝 (Al) (mg/L)	$\leq 0.01$	$\leq 0.05$	$\leq 0.2$	$\leq 0.5$	$> 0.5$
15	挥发性酚类 (以苯酚计) (mg/L)	$\leq 0.001$	$\leq 0.001$	$\leq 0.002$	$\leq 0.01$	$> 0.01$
16	阴离子表面活性剂 (mg/L)	不得检出	$\leq 0.1$	$\leq 0.3$	$\leq 0.3$	$> 0.3$
17	耗氧量 (COD <sub>mn</sub> , 以 O <sub>2</sub> 计) (mg/L)	$\leq 1.0$	$\leq 2.0$	$\leq 3.0$	$\leq 10$	$> 10$
18	氨氮 (以 N 计) (mg/L)	$\leq 0.02$	$\leq 0.1$	$\leq 0.5$	$\leq 1.5$	$> 1.5$
19	硫化物 (mg/L)	$\leq 0.005$	$\leq 0.01$	$\leq 0.02$	$\leq 0.1$	$> 0.1$
20	钠 (mg/L)	$\leq 100$	$\leq 150$	$\leq 200$	$\leq 400$	$> 400$
21	总大肠菌群 / (MPN <sup>+</sup> /100mL 或 CFU <sup>c</sup> /100mL)	$\leq 3.0$	$\leq 3.0$	$\leq 3.0$	$\leq 100$	$> 100$
22	细菌总数 (CFU/mL)	$\leq 100$	$\leq 100$	$\leq 100$	$\leq 1000$	$> 1000$
23	亚硝酸盐 (以 N 计) (mg/L)	$\leq 0.01$	$\leq 0.1$	$\leq 1.0$	$\leq 4.8$	$> 4.8$
24	硝酸盐 (以 N 计) (mg/L)	$\leq 2.0$	$\leq 5.0$	$\leq 20$	$\leq 30$	$> 30$
25	氰化物 (mg/L)	$\leq 0.001$	$\leq 0.01$	$\leq 0.05$	$\leq 0.1$	$> 0.1$
26	氟化物 (mg/L)	$\leq 1.0$	$\leq 1.0$	$\leq 1.0$	$\leq 2.0$	$> 2.0$
27	碘化物 (mg/L)	$\leq 0.04$	$\leq 0.04$	$\leq 0.08$	$\leq 0.5$	$> 0.5$
28	汞 (Hg) (mg/L)	$\leq 0.0001$	$\leq 0.0001$	$\leq 0.001$	$\leq 0.002$	$> 0.002$
29	砷 (As) (mg/L)	$\leq 0.001$	$\leq 0.001$	$\leq 0.01$	$\leq 0.05$	$> 0.05$
30	硒 (Se) (mg/L)	$\leq 0.01$	$\leq 0.01$	$\leq 0.01$	$\leq 0.1$	$> 0.1$
31	镉 (Cd) (mg/L)	$\leq 0.0001$	$\leq 0.001$	$\leq 0.005$	$\leq 0.01$	$> 0.01$
32	铬 (六价) (Cr <sup>6+</sup> ) (mg/L)	$\leq 0.005$	$\leq 0.01$	$\leq 0.05$	$\leq 0.1$	$> 0.1$
33	铅 (Pb) (mg/L)	$\leq 0.005$	$\leq 0.005$	$\leq 0.01$	$\leq 0.1$	$> 0.1$
34	三氯甲烷 (μg/L)	$\leq 0.5$	$\leq 6$	$\leq 60$	$\leq 300$	$> 300$
35	四氯化碳 (μg/L)	$\leq 0.5$	$\leq 0.5$	$\leq 2$	$\leq 50$	$> 50$
36	苯 (μg/L)	$\leq 0.5$	$\leq 1.0$	$\leq 10$	$\leq 120$	$> 120$
37	甲苯 (μg/L)	$\leq 0.5$	$\leq 140$	$\leq 700$	$\leq 1400$	$> 1400$
38	总 α 放射性 (Bq/L)	$\leq 0.1$	$\leq 0.1$	$\leq 0.5$	$> 0.5$	$> 0.5$
39	总 β 放射性 (Bq/L)	$\leq 0.1$	$\leq 1$	$\leq 1$	$> 1$	$> 1$

表 A.3 单项指标评价分值

类别	I 类	II 类	III 类	IV 类	V 类
$F_i$	0	1	3	6	10

表 A.4 回灌水质等级

级别	一级	二级	三级	四级	五级
	优良	良好	较好	较差	极差
$F$	$<0.80$	$0.80\sim<2.50$	$2.50\sim<4.25$	$4.25\sim<7.20$	$>7.20$

## A.2 回灌保护建（构）筑物必要性

建（构）筑物距离基坑远近指标按照表 A.5 确定。

表 A.5 回灌保护建（构）筑物必要性划分类别

类别	A 类	B 类	C 类	D 类	E 类
	非常必要	必要	较为必要	可选择	不必要
软弱地层	$a\leq H$	$H<a\leq 2H$	$2H<a\leq 3H$	$3H<a\leq 4H$	$a>4H$
一般地层	$a\leq 0.5H$	$0.5H<a\leq 1H$	$1H<a\leq 1.5H$	$1.5H<a\leq 2H$	$a>2H$
结构安全等级	一级	一级	二级	二级	三级
注 1： $a$ 为建筑物距离基坑的远近； $H$ 为基坑的开挖深度。					
注 2：结构安全等级按照 GB 50068—2018。					

## A.3 风险损失等级

风险损失等级按照表 A.6～表 A.11 确定，以最不利指标作为最终判定结果。

表 A.6 风险损失等级标准

类别	A 类	B 类	C 类	D 类	E 类
严重程度	灾难性	非常严重	严重	需考虑	可忽略

表 A.7 工程建设人员和第三方伤亡等级标准

类别		A 类	B 类	C 类	D 类	E 类
伤亡等级	建设人员	死亡（含失踪）10 人以上	死亡（含失踪）3 人～9 人，或重伤 10 人以上	死亡（含失踪）1 人～2 人，或重伤 2 人～9 人	重伤 1 人，或轻伤 2 人～10 人	轻伤 1 人
	第三方	死亡（含失踪）1 人以上	重伤 2 人～9 人	重伤 1 人	轻伤 2 人～10 人	轻伤 1 人

表 A.8 环境影响等级标准

类别	A 类	B 类	C 类	D 类	E 类
影响范围及程度	涉及范围非常大, 周边生态环境发生严重污染或破坏	涉及范围很大, 周边生态环境发生较重污染或破坏	涉及范围大, 区域内生态环境发生污染或破坏	涉及范围较小, 邻近区生态环境发生轻度污染或破坏	涉及范围很小, 施工区生态环境发生少量污染或破坏

表 A.9 工程本身和第三方直接经济损失等级标准

类别	A 类	B 类	C 类	D 类	E 类
损失等级	工程本身 损失 1000 万元以上	损失 500 万元~1000 万元	损失 100 万元~500 万元	损失 50 万元~100 万元	损失 50 万元以下
	第三方 损失 200 万元以上	损失 100 万元~200 万元	损失 50 万元~100 万元	损失 10 万元~50 万元	损失 10 万元以下

表 A.10 工期延误等级标准

类别	A 类	B 类	C 类	D 类	E 类
工期延误	长期工程 延误 9 个月以上	延误 6 个月~9 个月	延误 3 个月~6 个月	延误 1 个月~3 个月	延误 少于 1 个月
	短期工程 延误 90 天以上	延误 60 天~90 天	延误 30 天~60 天	延误 10 天~30 天	延误 少于 10 天

表 A.11 社会影响等级标准

类别	A 类	B 类	C 类	D 类	E 类
社会影响程度	恶劣的, 或需紧急转移安置 1000 人以上	严重的, 或需紧急转移安置 500 人~1000 人	较严重的, 或需紧急转移安置 100 人~500 人	需考虑的, 或需紧急转移安置 50 人~100 人	可忽略的, 或需紧急转移安置小于 50 人

#### A.4 含水层透水性

含水层透水性指标按照表 A.12 确定。

表 A.12 含水层透水性

类别	A 类	B 类	C 类	D 类	E 类
	特强透水	强透水	中等透水	弱透水	微或不透水
$K$	$K > 200\text{m/d}$	$10\text{m/d} < K \leq 200\text{m/d}$	$1\text{m/d} < K \leq 10\text{m/d}$	$0.01\text{m/d} < K \leq 1\text{m/d}$	$K \leq 0.01\text{m/d}$
注: $K$ 为含水层的渗透系数。					

#### A.5 基坑降水量与含水层可储水量之比

基坑降水量与含水层的可储水量是影响基坑回灌补源区位选择的重要因素。基坑降水量远大于附近

地层的可储水量，宜选择其他地区作为回灌补源区；基坑附近含水层的可储水量远大于其降水量，则宜在基坑附近进行回灌。

基坑降水量与含水层可储水量之比指标按照表 A. 13 确定，基坑开挖降水量的计算可参考 JGJ/T 111—2016 中相关规定，而含水层可储水量按公式（A. 3）计算。

$$V=S \cdot A \cdot \Delta H\cdots\cdots\cdots(A. 3)$$

- 式中：
- $V$  ——所需计算的含水层可储水量，单位为立方米（ $m^3$ ）；
  - $S$  ——对于潜水含水层为含水层的给水度，对于承压含水层为含水层的释水系数；
  - $A$  ——含水层储水空间透水面积，单位为平方米（ $m^2$ ）；
  - $\Delta H$  ——含水层储水空间可储水层厚度，单位为米（ $m$ ）。

表 A. 13 回灌补源必要性划分类别

类别	A 类	B 类	C 类	D 类	E 类
	非常必要	必要	较为必要	可选择	不必要
$n$	$n\leqslant 0.2$	$0.2<n\leqslant 0.5$	$0.5<n\leqslant 2$	$2<n\leqslant 5$	$n>5$
注：n 为基坑降水量与含水层可储水量之比。					

### A. 6 基坑降水回灌适宜性等级

基坑降水回灌适宜性等级划分按照表 A. 14～表 A. 16 确定。

表 A. 14 地下水人工回灌地质条件适宜性划分等级

回灌补源必要性		透水性				
		A 类	B 类	C 类	D 类	E 类
		特强透水	强透水	中等透水	弱透水	微或不透水
A 类	非常必要	一级	一级	一级	二级	三级
B 类	必要	一级	一级	二级	三级	三级
C 类	较为必要	一级	二级	三级	三级	四级
D 类	可选择	二级	三级	三级	四级	四级
E 类	不必要	三级	三级	四级	四级	四级

表 A. 15 地下水人工回灌周边建（构）筑物保护划分等级

保护建（构）筑物必要性		风险损失				
		A 类	B 类	C 类	D 类	E 类
		灾难性	非常严重	严重	需考虑	可忽略
A 类	非常必要	一级	一级	一级	二级	三级
B 类	必要	一级	一级	二级	三级	三级
C 类	较为必要	一级	二级	三级	三级	四级
D 类	可选择	二级	三级	三级	四级	四级
E 类	不必要	三级	三级	四级	四级	四级

表 A. 16 基坑回灌适宜性等级划分表

适宜性等级	判定标准
I 级	回灌水质等级为一至四级，地质条件适宜性等级为一至三级，建（构）筑物保护等级为一至三级的基坑工程。
II 级	除一级、三级之外的基坑工程。
III 级	回灌水质、地质、建筑物保护等三维指标中有两个维度指标为最差等级的基坑工程，具体的： 1. 回灌水质等级为五级、地质条件适宜性等级为四级、建（构）筑物保护等级为四级； 2. 回灌水质等级为五级、地质条件适宜性等级为三级、建（构）筑物保护等级为四级； 2. 回灌水质等级为五级、地质条件适宜性等级为四级、建（构）筑物保护等级为三级； 3. 回灌水质等级为四级、地质条件适宜性等级为四级、建（构）筑物保护等级为四级。

附 录 B  
(规范性)  
基坑涌水量计算与数值模拟

B.1 基坑涌水量计算

B.1.1 圆形或长宽比小于 20 的矩形基坑, 按等效大井计算涌水量, 计算公式见表 B.1。

表 B.1 等效大井涌水量计算公式

等效大井类别	公 式	式中符号意义
潜水完整井	$Q = \frac{1.366k(2H-s)s}{\lg \left[ \frac{R+r_0}{r_0} \right]}$	$Q$ ——基坑计算涌水量, 单位为立方米每天 ( $\text{m}^3/\text{d}$ ); $k$ ——含水层的渗透系数, 单位为米每天 ( $\text{m}/\text{d}$ ); $H$ ——潜水含水层厚度, 单位为米 ( $\text{m}$ ); $M$ ——承压水含水层厚度, 单位为米 ( $\text{m}$ ); $s$ ——设计降水深度, 单位为米 ( $\text{m}$ ); $R$ ——引用影响半径, 单位为米 ( $\text{m}$ ); $h$ ——基坑动水位至含水层底板的距离, 单位为米 ( $\text{m}$ ); $\bar{h}$ ——平均动水位, 单位为米 ( $\text{m}$ ), $\bar{h} = (H+h)/2$ ; $l$ ——滤管有效工作部分长度, 单位为米 ( $\text{m}$ ); $r_0$ ——等效大井半径 ( $\text{m}$ ), 单位为米, 可按 $r_0 = 0.565\sqrt{F}$ 计算, $F$ 为井点系统的围合面积, 单位为平方米 ( $\text{m}^2$ )
承压水完整井	$Q = \frac{2.73kMs}{\lg \left[ \frac{R+r_0}{r_0} \right]}$	
承压转无压完整井	$Q = 1.366k \frac{2HM - M^2 - h^2}{\lg \left[ \frac{R+r_0}{r_0} \right]}$	
潜水非完整井	$Q = \frac{1.366k(H^2 - h^2)}{\lg \left[ \frac{R+r_0}{r_0} \right] + \frac{\bar{h}-l}{l} \lg (1 + 0.2\bar{h}/r_0)}$	
承压非完整井	$Q = \frac{2.73kMs}{\lg \left[ \frac{R+r_0}{r_0} \right] + \frac{M-l}{l} \lg (1 + 0.2M/r_0)}$	

B.1.2 基坑长宽比为 20~50 之间时, 按条形基坑计算涌水量, 计算公式见表 B.2。

表 B.2 条形基坑涌水量计算公式

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

B.1.3 基坑长宽比大于 50 时, 按线状基坑计算涌水量, 计算公式见表 B.3。

表 B.3 线状基坑涌水量计算公式

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 B.1 和表 B.2
承压水	$Q = \frac{2kLMs}{R}$	

B.1.4 有回灌影响的涌水量按公式 (B.1) 计算。

$$Q' = \lambda_h Q \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

$Q'$  ——有回灌影响的涌水量，单位为立方米（ $m^3$ ）；

$\lambda_h$  ——回灌影响系数，根据当地经验确定，无经验时按照附录 B.2 数值模拟确定。

## B.2 数值模拟

### B.2.1 数值模拟应遵循下列步骤：

- 将研究区域按一定规则进行剖分，将研究区域划分为若干个子区域单元。剖分的原则和剖分后形成的子区域形状取决于所采用的数值方法。对于非稳定流问题，尚需将计算时间进行离散化，即将计算时间离散为若干个时段；
- 将每个小单元作为地下水的小均衡域，并定义特征点上的各种物理量；
- 建立某一个时段内结点之间制约各种物理量的关系式，关系式一般表达为代数方程；
- 利用初始条件和边界条件，建立在某一个划分时段内边界结点与内部结点的关系式；
- 求解上述 c、d 列项所构成的代数方程组，可求得某一计算时刻研究区域上各离散点的水位  $H$  值，其集合  $\{H\}$  即是渗流区域上某一时刻地下水水位  $H$  的近似解，单元剖分的越小， $\{H\}$  的仿真度就越高；
- 重复 c、d、e 列项，计算下一时刻的水位  $\{H\}$  集合值。

### B.2.2 地下水在孔隙介质中的三维空间中流动应采用下列偏微分方程表示：

- 控制方程按公式 (B.2) 计算。

$$\mu_s \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( k_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) + W \dots \dots \dots (B.2)$$

式中：

$\mu_s$  ——贮水率，单位为 1 每米（1/m）；

$h$  ——水位，单位为米（m）；

$k_{xx}$  ——为  $x$  方向上的渗透系数，单位为米每天（m/d）；

$k_{yy}$  ——为  $y$  方向上的渗透系数，单位为米每天（m/d）；

$k_{zz}$  ——为  $z$  方向上的渗透系数，单位为米每天（m/d）；

$t$  ——时间，单位为天（d）；

$W$  ——源汇项，单位为 1 每天（1/d）。

- 初始条件按公式 (B.3) 计算。

$$\begin{cases} h(x, y, z, t) = h_0(x, y, z) \\ (x, y, z) \in \Omega \\ t = 0 \end{cases} \dots \dots \dots (B.3)$$

式中：

$h_0(x, y, z)$  ——初始水位分布；

$\Omega$  ——模型模拟区域。

- 边界条件

- 1) 第一类边界按公式 (B.4) 计算。

$$\begin{cases} h(x, y, z, t)|_{\Gamma_1} = h(x, y, z, t) \\ (x, y, z) \in \Gamma_1 \\ t \geq 0 \end{cases} \dots \dots \dots (B.4)$$

式中：

$h(x, y, z, t)$  ——一类边界上的已知水位函数；

$\Gamma_1$  ——一类边界。

- 2) 第二类边界按公式 (B.5) 计算。



$$\begin{cases} k \frac{\partial h}{\partial \vec{n}}|_{\Gamma_2} = q(x, y, z, t) \\ (x, y, z) \in \Gamma_2 \\ t > 0 \end{cases} \dots\dots\dots (\text{B. 5})$$

式中:

$k$  ——三维空间上的渗透系数张量;

$q(x, y, z, t)$  ——二类边界上已知的流量函数;

$\vec{n}$  ——边界 $\Gamma_2$ 的外法线方向;

$\Gamma_2$  ——二类边界。

3) 第三类边界按公式 (B. 6) 计算。

$$\left( k(h - z) \frac{\partial h}{\partial \vec{n}} + \alpha h \right) |_{\Gamma_3} = q(x, y, z, t) \dots\dots\dots (\text{B. 6})$$

式中:

$\alpha$  ——已知函数;

$\vec{n}$  ——边界 $\Gamma_3$ 的外法线方向;

$\Gamma_3$  ——三类边界;

$q(x, y, z, t)$  ——三类边界上已知的流量函数。

附 录 C  
(资料性)  
回灌试验

C.1 试验准备

C.1.1 根据工程资料编制回灌试验方案,方案内容包括试验目的、试验方法、试验内容、降水井布置、回灌井布置、观测井布置、设备选型、施工工艺、数据采集、数据处理、试验结论。

C.1.2 根据回灌试验方案排产井管管材、管道及集水箱等建材,采购变频调压泵、潜水泵、电磁阀、压力计、水位计、水表等设备,定制综合处理系统设备。

C.1.3 按“三通一平”准备场地,施工现场达到水通、电通、道路通和场地平整等条件。

C.2 施工与安装

C.2.1 按照回灌试验方案,施工回灌井和观测井,成井后立即选用活塞、空压机、水泵等任一合适方法洗井,至井出水清澈,并记录洗井方法、时间、出水及含砂量情况。

C.2.2 符合 GB 50296—2014 第 7 章中洗井规定时,终止洗井。

C.2.3 对综合处理系统设备进行检查与安装:

- a) 检查水质处理装置、压力控制装置、回灌分流装置、自动监测装置、智能电控装置合格证书、说明书等质检文件,对电控设备通电检验,若存在电信号异常则及时维修或更换;
- b) 通过回灌输水管道,将回灌系统与综合处理系统设备连接,确保管路连接牢固、密封良好;
- c) 安装完成后,将观测井水位监测设备与数据采集系统连接,然后启动控制柜,对综合处理系统各子系统进行功能调试,确保设备运行正常,数据采集准确可靠。

C.3 试验过程

C.3.1 启动降水系统潜水泵抽水,打开输水管道阀门及综合处理系统装置各阀门,直至回灌井有回灌水流入,按照试验内容进行回灌试验。

C.3.2 做好如下初始状态记录:

- a) 测量并记录试验井及所有观测井的初始稳定地下水位;
- b) 采集并保存水样(抽出的地下水、处理后回灌水、试验井附近地下水),按照 GB/T 14848—2017 附录 B 中的规定进行水质检测;
- c) 记录输水主管道、分管道及回灌井水表数值;
- d) 记录环境参数(如气温、水温)。

C.3.3 按照以下步骤进行定水头回灌试验:

- a) 操控压力控制装置将回灌水头稳定在第一个目标水头(高于初始静水位),等待流量、压力波动减小并趋于稳定后,进入稳定观测期,观测时间不少于 2h;
- b) 按附录 E 规定的频率,记录回灌水量、回灌压力、观测井地下水位、水表数值、各装置运行状态;
- c) 完成该水头试验后,按试验方案内容,进行下一个目标水头回灌试验,重复上述步骤,直至完成所有试验。

C.3.4 按照以下步骤进行定流量回灌试验:

- a) 操控压力控制装置及回灌分流装置,将回灌流量稳定在第一个目标流量,等待压力、水位波动减小并趋于稳定后,进入稳定观测期,观测时间不少于 2h;
- b) 按附录 E 规定的频率,记录回灌水量、回灌压力、观测井地下水位、水表数值、各装置运行状态;
- c) 完成该流量试验后,按试验方案内容,进行下一个目标流量回灌试验,重复上述步骤,直至完

成所有试验。

C.3.5 试验过程中做好异常监测，如遇设备故障、井管堵塞、井口冒水、水表读数异常、回灌水浑浊等现象，操作人员立即暂停试验，查明原因并及时处理，恢复正常后再进行试验。

C.3.6 完成所有试验内容后，从降水系统向回灌系统按次序关闭各设备，并停止回灌。

C.3.7 停止回灌后，操作人员继续观测并记录试验井及各观测井的水位恢复过程（水位随时间下降情况），直至试验井及观测井水位基本恢复至接近初始静水位。

#### C.4 试验数据采集与处理

C.4.1 整理成井、洗井、设备运行等过程记录。

C.4.2 通过数据采集仪导出自动化监测数据，并与现场记录表进行比对，对不一致的数据，分析原因，修正错误，并在试验报告中分析记录。

C.4.3 按照以下步骤绘制试验结果曲线图：

- a) 根据测得的回灌井回灌量，绘制回灌量与时间关系曲线、回灌量与回灌压力关系曲线；
- b) 根据测得的回灌井、观测井水位，绘制水位与时间关系曲线；
- c) 根据测得的回灌井回灌量和水头，分别绘制定水头法试验的回灌量和水头关系曲线，绘制定流量法试验的回灌量和水头关系曲线。

C.4.4 根据试验结果，分析试验结论：

- a) 根据单井回灌量数据，分析回灌井结构、布置、地质等各因素的影响关系；
- b) 根据水质检测数据分析水质处理效果，根据回灌压力及反馈时间评估压力控制精度，根据回灌量数据评估回灌分流控制精度，根据异常监测情况评估自动化监测数据可靠性；
- c) 根据各曲线图分析降水量、回灌量、回灌压力及水位的变化规律。

#### C.5 试验报告

C.5.1 完成试验后第一时间编制试验报告，报告内容构成与试验方案保持一致。

C.5.2 试验报告详细记录试验过程，包括施工及安装详细记录井施工工艺参数，系统设备安装参数，试验过程操作及数据异常情况等，并根据试验结果，提出试验井的回灌能力（最大稳定回灌量）、优化改进回灌系统及综合处理系统的措施建议。

### 基坑一体化降水回灌工程运行日报表

表 D.1 基坑一体化降水回灌工程运行日报表

井点维护记录:

运行管路维护记录:

水质处理器维护记录:

回灌井回扬记录:

附 录 E  
(资料性)  
监测频率

各监测项目的监测频率应符合表 E.1 的规定。

表 E.1 监测频率

监测项目	监测阶段	监测频率
地下水水位	回灌前	1 次/1d
	回灌试验及回灌期	2 次/1d
	回灌后	1 次/1d
水量/水压	回灌试验	2 次/1d
	回灌期	1 次/1d
含砂量	回灌前	1 次
	回灌试验	1 次
	回灌期	1~2 次/月
井深	回灌前	1 次
	回灌期	2 次~3 次
回灌水质	回灌前	1 次
	回灌试验	1 次
	回灌期	1~2 次/月
地下水水质	回灌前	1 次
	回灌试验	1 次
	回灌期	1~2 次/月
	回灌后 15 天内	1 次
变形	水位稳定前	1 次/1d
	水位稳定后	1 次/7d
	回灌后 15 天内	≥3 次

附 录 F  
(资料性)  
现场巡查日报表

现场巡查日报表见表 F.1。

表 F.1 现场巡查日报表

第 页共 页

第 次

工程名称：

报表编号：

天气：

观测者：

观测日期： 年 月 日 时

分类	巡查内容	巡查结果	备注
基坑一体化降水回灌工程	管路（接头、阀门渗漏）		
	井口地面开裂、渗漏		
	设备运行状况		
	其他		
周边环境	周边建（构）筑物裂缝		
	周边地面变形		
	邻近施工情况		
	其他		
监测设施	监测仪表状况		
	基准点、测点状况		
	观测工作条件		

工程负责人：

监测单位：

## 参 考 文 献

- [1] T/UCST 009—2020 城市建设工程地下水回灌技术标准
-