

工程建设地下水控制技术规范

山东省工程建设标准



DB37/T 5059—2016

J13468—2016

工程建设地下水控制技术规范

Technical code for groundwater control of engineering buildings

ISBN 978-7-5578-0677-4



9 787557 806774 >
定 价：36.00 元

吉林科学技术出版社

2016—05—26发布

2016—08—01实施

山东省住房和城乡建设厅 联合发布
山东省质量技术监督局

山东省工程建设标准

工程建设地下水控制技术规范

Technical code for groundwater control of engineering buildings

DB37/T 5059-2016

住房和城乡建设部备案号：J13468-2016

主编单位：山东设协勘察设计审查咨询中心

批准部门：山东省住房和城乡建设厅

山东省质量技术监督局

施行日期：2016年8月1日

吉林科学技术出版社

2016 吉 林

前 言

根据2013年山东省工程建设标准制订、修订计划的安排，山东设协勘察设计的审查咨询中心会同有关单位共同编写了山东省工程建设标准《工程建设地下水控制技术规范》DB37/T 5059-2016。规范编制组经广泛调查、完成研究课题，在认真总结山东地区的工程经验，参考有关国家标准、行业标准，广泛征求意见的基础上，编制了本规范，并经审查最终定稿。

本规范共9章8个附录，主要技术内容包括：总则、术语和符号、基本规定、水文地质勘察、截水帷幕、降（排）水、地下水回灌与利用、地下水控制工程监测、技术文件等。

本规范由山东省住房和城乡建设厅负责管理，由山东设协勘察设计审查咨询中心负责具体技术内容的解释。本规范在执行过程中如有意见和建议，请反馈到山东设协勘察设计审查咨询中心规范编制组（地址：济南市经五小纬四路46-1号，邮编：250001，电话及传真：0531-87087235，电子信箱：sdskczzjz@163.com，网址：<http://www.sdsxks.com>），以便今后进一步修改、完善。

本规范主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人如下：

主 编 单 位：山东设协勘察设计审查咨询中心

参 编 单 位：山东正元建设工程有限责任公司

山东大学

山东建筑大学

山东省水利勘测设计院

山东省地矿工程勘察院

山东省鲁南地质工程勘察院

济南市勘察测绘研究院

青岛市勘察测绘研究院

东营市勘察测绘院

主要起草人：乔 社 王龙军 李连祥 孙剑平 张洪岗
安英杰 郭庆华

（以下按姓氏笔画排序）

王 春 史晨晓 付英浩 李 栋 李常锁
成志刚 江 海 罗学俊 陈圣仟 陆秋生
陆晓燕 胡道传 曹存先

主要审查人：顾宝和 严伯铎 武 威 孙保卫 马连仲
贾瑞宝 徐军祥 刘长余 刘俊岩

目 次

1 总 则	1
2 术语和符号	2
2.1 术语	2
2.2 主要符号	4
3 基本规定	6
4 水文地质勘察	9
4.1 一般规定	9
4.2 水文地质测绘	10
4.3 水文地质物探	11
4.4 水文地质钻探	12
4.5 水文地质试验	14
4.6 水文地质勘察文件	15
5 截水帷幕	16
5.1 一般规定	16
5.2 帷幕工法选择	17
5.3 帷幕设计	18
5.4 帷幕施工及检测	22
5.5 帷幕验收与维护	28
5.6 帷幕工程风险管理	29
6 降（排）水	30
6.1 一般规定	30
6.2 降（排）水设计	30
6.3 降（排）水施工与检测	42
6.4 降水工程验收与维护	46
6.5 降水对环境的影响与预测	47

7	地下水回灌与利用	50
7.1	一般规定	50
7.2	回灌系统设计	50
7.3	回灌井施工与检测	54
7.4	回灌运行与维护	55
7.5	回灌工程风险管理	55
7.6	地下水利用	56
8	地下水控制工程监测	57
8.1	一般规定	57
8.2	水质监测	57
8.3	水量及含砂量监测	58
8.4	水位监测	59
8.5	地面沉降监测	60
9	技术文件	61
9.1	一般规定	61
9.2	工程竣工报告	61
附录A	水文地质钻探与成井技术要点	63
附录B	水文地质现场试验技术要点	65
B.1	抽水试验	65
B.2	注水试验	67
B.3	压水试验	69
附录C	水文地质参数计算	74
C.1	抽水试验水文地质参数计算	74
C.2	注水试验水文地质参数计算	76
C.3	压水试验水文地质参数计算	78
附录D	基坑涌水量计算	79
附录E	降水井单井出水量计算	81
附录F	过滤器类型	84
附录G	系数 r' 值	85
附录H	隧道涌水量预测方法	87

本规范用词说明	89
引用标准名录	90
附：条文说明	91

1 总 则

1.0.1 为了在工程建设地下水控制过程中全面贯彻执行国家和山东省的技术经济政策，保护环境和地下水资源，做到安全可靠、技术先进、经济合理，确保工程质量，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于山东省内工程项目建设过程中地下水控制工程的勘察、设计、施工、检测、监测及验收。

1.0.3 地下水控制工程应综合考虑场地的工程地质、水文地质条件和环境保护要求，以及地区工程经验，正确处理工程建设与保护周边环境和地下水资源的关系，合理选择地下水控制方案，做到精心勘察、精心设计、精心施工、精心监测。

1.0.4 地下水控制工程除应符合本规范外，尚应符合国家及行业现行有关规范标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 地下水控制工程 engineering for groundwater control

为保证工程建设项目地下工程的正常施工，严格控制对周边环境的不利影响，合理保护和综合有效利用水资源而采取的降低地下水位或水头压力、截水、地下水回灌等一系列技术措施的总称。

2.1.2 降水工程 dewatering engineering

指应用水文地质学原理，通过降水设计和降水施工，排除地表水体和降低地层中地下水的水位或水头压力，满足建设工程的正常施工并对环境无危害性影响的工程措施总称。

2.1.3 降水深度 ground water level after lowering

自地下稳定水位面算起至设计要求水位的深度差。

2.1.4 总出水量 yield water during lowering

指从含水层中抽（排）出的总水量。

2.1.5 真空井点 vacuum point well

由真空泵、射流泵、往复泵运行时抽吸地下水形成真空的井。可分单级井点（垂直、水平、倾斜）、多级井点、接力井点三种。

2.1.6 多级井点 multi/stage point well

为增加降水深度，在不同高程平台上分别设置构成多级降水的井点系统。

2.1.7 接力井点 relay point well

当单级降水达不到降水深度时，除用真空泵外，可结合使用

喷射泵、射流泵，在井下段采用喷射井点设备，将地下水抽到井的上段，然后在井口段用射流泵将地下水送入循环水箱，以保证连续工作。

2.1.8 喷射井点 ejector point well

通过井点管内外管间隙把高压水输送到井底后，由射流喷嘴高速上喷，造成负压，抽吸地下水与空气，并与工作水混合形成具有上涌势能的汽水溶液排至地表，达到降低地下水位的目的。

2.1.9 工程周边环境 engineering environment

地下水控制工程影响范围内所有基础设施，包括既有建（构）筑物、道路、地下设施、地下管线等的统称。

2.1.10 截水帷幕 waterproof curtain

用于阻截或减少工程周边地下水流入施工区域，减少地下水位下降而采取连续隔水结构。

2.1.11 多轴水泥土搅拌桩墙 multiaxial cement-soil mixing wall

以水泥作为固化剂的主要材料，通过三轴或三轴以上的深层搅拌机械，将固化剂和岩土体强制搅拌形成竖向连续桩墙体。

2.1.12 渠式切割水泥土连续墙 trench cutting re-mixing deep wall method

应用特殊设备在地面上垂直插入链锯型刀钻，通过刀钻的上下运动和主机沿造墙方向的水平移动，切割出沟渠并注入固化液使之与原位土混合而构筑成等厚度水泥土地下连续墙的一种施工方法。

2.1.13 铣槽深搅水泥土连续墙 cutter soil mixing method

应用液压双轮铣槽机设备结合深层搅拌技术，通过下钻成槽和上提成墙两个过程，在槽内将土体和注入的水泥浆液混合，构成水泥土地下连续墙墙体的一种施工方法。

2.1.14 回灌 artificial recharge

借助于工程措施，将水注入地下含水层。

2.2 主要符号

A	试坑底面积
A_0	内环渗水面积
a	导压系数
B	基坑宽度
b	帷幕厚度
E_{si}	第 i 层土的压缩模量
H	潜水含水层厚度
H_w	井深度
h_w	承压含水层顶板的水头高度
h_d	截水帷幕嵌入深度
Δh	基坑内外水头差值
K	安全系数
K_h	抗突涌稳定安全系数
k	渗透系数
M	承压含水层厚度
n	井点数量
P	试验压力
Q	水量
q	单井出水能力
R	影响半径
R'	回灌影响半径
r_i	第 i 个抽水井至观测孔或计算点的距离
r_0	基坑等效半径
s	降水引起的建筑物或地面的固结沉降量
s_w	水位降深

T ——导水系数

t ——时间

v ——地下水流速

γ ——土的天然重度

γ_w ——水的重度

Ψ_{wi} ——沉降计算经验系数

3 基本规定

3.0.1 地下水控制工程应满足下列要求：

- 1 保护周边环境的安全和正常使用；
- 2 满足工程建设项目地下工程的施工条件；
- 3 最大限度地减少地下水抽排，防止地下水污染。

3.0.2 地下水控制方法主要包括帷幕截水、井点降水、集水明排以及地下水回灌等，应根据工程实际情况综合确定。

3.0.3 地下水控制工程包括前期准备、勘察、设计、施工、检测与监测、运营维护等阶段。

3.0.4 地下水控制工程前期准备阶段应搜集下列资料：

- 1 地下水控制范围、深度、起止时间及工程环境保护要求；
- 2 工程周围影响范围内地上及地下的建（构）筑物的平面位置、层数、高度、结构形式、地基基础形式、埋深及变形观测资料，地下管线的种类、材质、平面位置、埋设方式、深度以及使用 and 保养条件等；

3 新建工程基础设计图纸，地下工程及地下管线分布图，场地地面高程与设计基础底面高程，基坑（槽）、地下工程开挖支护设计方案；

4 场地及邻近区域的气候、水文、水文地质、工程地质勘察资料，以及地下水控制工程的地区经验；

5 地下水控制工程施工的供水、供电、道路、排水及有无障碍物等现场施工条件。

3.0.5 地下水控制工程设计应具备必要的水文地质勘察资料。当已有水文地质勘察资料不能满足设计要求时，应进行补充勘察；当水文地质条件复杂时，应进行专门水文地质勘察。

- 3.0.6 地下水控制工程设计时，应进行方案和技术经济比选。
- 3.0.7 对重要建（构）筑物和地下管线、市政道路、轨道交通等公共设施，应根据现行规范和相关规定的要求确定其报警指标，并在地下水控制工程施工和运营过程中予以监测。
- 3.0.8 地下水控制工程施工前，施工单位应编制施工组织设计及应急预案。应实地核实工程周边环境条件，特别是周围重要的建（构）筑物、地下管线的分布状况，其核实结果应经相关方签字确认。
- 3.0.9 地下水控制工程应采用动态设计、信息化施工。
- 3.0.10 地下水控制工程应根据季节性施工特点，采取必要的防护措施。
- 3.0.11 地下水控制工程等级应根据场地水文工程地质条件的复杂程度、对水资源的影响程度以及控制失效破坏后果的严重程度等因素按表3.0.11划分为一级、二级和三级。

表3.0.11 地下水控制工程等级

工程等级	破坏后果的严重程度	对水资源影响程度		水文工程地质条件	地下水位下降幅度(m)
		地下水环境	总出水量(m ³ /d)		
一级	很严重	属污染场地，含水层含有对人体健康和环境有危害或潜在危害的有毒有害物质	≥10000	1) 场地水文地质条件复杂，存在三层及以上含水层，且相互间水力联系密切； 2) 黄河冲积平原区：含水层单层厚度≥10m，或者承压水头高度≥10m； 3) 沿海地区：淤泥、淤泥质土层厚度≥3m；饱和粉细砂厚度≥5m； 4) 泉域保护敏感区； 5) 岩溶水较发育，易引发突水或地面塌陷等不良现象。	≥12

续 表 3.0.11

工程等级	破坏后果的严重程度	对水资源影响程度		水文工程地质条件	地下水位下降幅度 (m)
		地下水环境	总出水量 (m ³ /d)		
二级	严重	各含水层水质差异较大, 存在Ⅲ类或以下的地下水	3000~10000	介于一级和三级之间的	6~12
三级	不严重	水质均优于Ⅲ类, 无不良影响	≤3000	场地水文地质条件简单, 为单一含水层	≤6

注: 1 有特殊要求的, 可直接确定为一级;
 2 从一级开始, 符合其中一项的即可定为该级;
 3 地下水水质分类应符合现行国家标准《地下水环境质量标准》GB/T 14848的规定。

3.0.12 存在下列情况之一的地下水控制工程应进行专门研究:

- 1 存在富水且强透水的断裂破碎带场地;
- 2 富含岩溶水的岩溶发育场地;
- 3 采用暗挖法施工的市政工程;
- 4 位于地表水体下的地下空间工程;
- 5 降水幅度超过30m的大型工程;
- 6 对水资源及环境保护有特殊要求的工程。

4 水文地质勘察

4.1 一般规定

4.1.1 一级及有特殊要求的地下水控制工程应进行专门水文地质勘察，编制水文地质勘察报告，其它工程可结合岩土工程勘察进行，其内容应包含在岩土工程勘察报告的水文地质章节中。

4.1.2 水文地质勘察，应根据工程特点和具体水文地质环境，采取水文地质测绘、钻探、水文地质试验、工程物探、室内试验等多种手段，查明水文地质条件，满足地下水控制工程设计和施工要求。

4.1.3 水文地质勘察工作开始前，应明确勘察任务和要求，搜集分析已有资料，进行现场踏勘，编写勘察纲要，经审核批准后方可实施。

4.1.4 水文地质勘察的内容和工作量，应根据地下水控制工程等级确定，宜包括以下内容：

- 1 查明地下水的类型和赋存状态；
- 2 查明主要含水层和隔水层的埋藏条件和分布规律；对裂隙水应查明裂隙性质、空间分布特征、连通情况等，确定富水带；
- 3 量测地下水的水位，取水样进行水化学分析。当存在多层对工程有影响的地下水时，应分层量测水位，分层取样，并查明各含水层之间、地下水与地表水之间的水力联系和补排关系；
- 4 调查地下水位的季节变化和多年变化；
- 5 调查有无对地下水和地表水的污染源及其污染程度；
- 6 测定岩土的水文地质参数。

4.1.5 水文地质勘察范围应根据场地范围并结合工程影响范围综合确定。

4.1.6 在膨胀岩土、湿陷性土等特殊岩土地区，应根据工程需要和具体地质情况，查明地下水对特殊岩土的影响；在岩溶、土洞、塌陷、滑坡、地面沉降等不良地质作用和地质灾害发育地区，应根据工程需要和具体地质情况，查明地下水对其的影响。

4.2 水文地质测绘

4.2.1 水文地质测绘应在搜集和研究已有工程地质、水文地质资料基础上与工程地质测绘一并或单独进行。

4.2.2 水文地质测绘的范围应根据工程特点和水文地质条件确定，宜涵盖与工程项目有关的一个或多个完整的水文地质单元。

4.2.3 水文地质测绘的观测路线，宜按下列要求布置：

- 1 垂直地层走向和主要构造线走向；
- 2 沿地貌变化显著的方向，垂直和平行河谷的方向；
- 3 沿地下水露头多的地带穿越；
- 4 含水层埋藏条件复杂时可沿含水层（带）走向。

4.2.4 水文地质观测点，宜布置在水点、构造和岩溶发育带、含水层与隔水层接触带、不同地貌单元分界处。观测点宜一点多用。

4.2.5 水文地质测绘的内容和方法，应根据任务要求、工程建设特点和水文地质条件确定。宜包括搜集资料、水点调查等。

4.2.6 水文地质测绘时应搜集下列资料：

- 1 气温、降水量、蒸发量及其季节性变化和多年变化；
- 2 工程建设场地及邻近河流、湖泊、海洋的有关水文资料；
- 3 地下水的类型和赋存状态；
- 4 地下水的补给、径流、排泄条件，地表水与地下水的补排

关系；

- 5 地下水位及其季节变化和多年变化；
- 6 地下水的水质及其受污染状况；
- 7 地下水与区域地质、地质构造、地貌和人类活动的关系。

4.2.7 水点的调查应包括下列主要内容：

- 1 水点的类型、位置和高程；
- 2 水位、出水量、水质及动态变化；
- 3 出水处的层位；
- 4 水点的利用情况和存在的问题；
- 5 必要时选择有代表性的水点，进行取样分析和简易抽水试验。

4.3 水文地质物探

4.3.1 水文地质物探采用的方法，应根据勘察阶段、勘察区的水文地质条件、探测目的、被探测对象的物理特征等确定，并宜采用多种方法进行综合物探。

4.3.2 物探应用的基本条件应符合下列要求：

- 1 探测对象与周围介质应存在明显的物性差异；
- 2 探测对象的厚度、宽度或直径，相对于埋藏深度应具有一定的规模；
- 3 探测对象的物性差异能在干扰背景中清晰可辨；
- 4 地形影响不应妨碍野外作业和资料解释，或对其影响能用现有手段进行地形改正。

4.3.3 采用物探方法可探测下列主要内容：

- 1 覆盖层厚度；
- 2 隐伏的地貌和岩性分界线；
- 3 主要含水层埋藏深度和厚度；

- 4 岩溶发育情况及岩溶发育带、地下暗河的分布；
 - 5 断层破碎带和充水裂隙带的位置与宽度；
 - 6 划分不同程度的富水带及贫水区；
 - 7 古河道及掩埋冲洪积扇的位置；
 - 8 滨海区咸淡水分界线。
- 4.3.4 对工程物探成果应采取钻探等手段进行必要的验证，并结合地质、水文地质条件及钻探资料进行综合分析，提出具有相应水文地质解释的物探成果。

4.4 水文地质钻探

4.4.1 水文地质勘探钻孔应在场地及周边工程影响范围内布置，并应符合下列规定：

- 1 当工程建设场地位于山间河谷、冲积阶地和冲洪积平原地区时，勘探线应垂直地下水流向或地貌单元布置；
- 2 在冲洪积扇地区，勘探线应沿扇轴和垂直扇轴（或地下水流向）布置，当水力坡度较大时，应适当加密；
- 3 滨海沉积区，勘探线应垂直海岸线或垂直地下水流向布置，查明咸水与淡水的分界面及其交替变化情况；
- 4 场地跨越不同水文地质单元时，每个单元均应布置勘探孔；
- 5 当场地存在有影响的构造破碎带时，应在构造破碎带的两侧布置勘探孔；
- 6 场地存在多个含水层时，应分层布置勘探孔和观测孔，每个含水层勘探孔、抽（注）水试验井、观测孔均不宜少于1个；
- 7 观测孔宜与抽（注）水试验井垂直地下水流向布置，当需查明地下水各向异性特征时，宜在试验井地下水流向上游一侧

布置观测孔；

8 距抽（注）水试验井最近的观测孔应避开三维流的影响，其距离不宜小于含水层的厚度；最远的观测孔应保证在试验过程中有一定的水位降深。

4.4.2 勘探孔深度应根据场区水文地质条件和地下水控制工程的需要确定，并应符合下列规定：

1 勘探孔应控制工程地下空间揭露的含水层及其隔水底板，进入其基底或含水层底板厚度不小于降水幅度的1倍；当含水层底板下存在承压含水层厚度较小时，宜揭穿整个承压含水层；

2 当主要含水层为基岩裂隙含水层时，勘探孔应揭露基岩的中风化带；

3 抽（注）水试验井宜为完整井，且宜进入隔水底板不小于2m；

4 观测孔深度宜与抽水试验井一致。

4.4.3 勘探孔径不宜小于75mm；抽水试验井应满足成井和抽水设备安装要求，井管直径在松散层中不宜小于200mm，在基岩中不宜小于150mm；水位观测孔应满足止水和水位观测的要求，井管直径不宜小于50mm。

4.4.4 在地下水位以上进行钻进时，应采用干钻，对孔壁易坍塌的钻孔应采用套管护壁；在地下水位以下进行钻进时，宜以清水作为循环液，当必须采用泥浆钻进时，应采取有效措施，保证水位及时恢复和水质不受影响。

4.4.5 地下水水位观测应符合下列要求：

1 应量测对工程有影响的各含水层的初见水位；

2 初见水位和稳定水位可在钻孔、探井或测压管内直接量测，稳定水位的间隔时间按地层的渗透性确定，对砂土和碎石土不得少于0.5h，对粉土和粘性土不得少于8h，并宜在勘察结束后

统一量测稳定水位。量测读数至厘米，精度不得低于 $\pm 2\text{cm}$ 。稳定水位的量测应满足表4.4.5规定：

表4.4.5 稳定水位的量测要求

地 区	量测频率	稳定水位判定标准
一般地区	每小时测定一次	3次所测数值相同或4h内水位变化不超过2cm，即为稳定水位
潮汐影响区	需测出两个潮汐日周期（不少25h）的最高、最低和平均水位资料	如高低水位变幅小于0.5m时，取高低水位平均值为稳定水位

3 测量水位时应同时记录天气情况。当水位变化异常时，应加密观测并分析原因；

4 当存在对工程有影响的多层地下水时，应分层量测地下水位，并采取止水措施，将被测含水层与其他含水层隔开；

5 当地下水与地表水存在水力联系时，应同时观测地下水位和地表水位；

6 潮汐影响区的水位观测应同步记录潮汐水位。

4.5 水文地质试验

4.5.1 水文地质试验包括室内渗透试验、抽水试验、注水试验、压水试验等。具体试验项目应根据工程建设需要和勘察区的水文地质条件、试验目的等因素综合确定。

4.5.2 室内渗透试验按现行国家标准《土工试验方法标准》GB 50123有关规定执行；水文地质现场试验应根据附录B的有关规定进行，水文地质参数计算应符合附录C的相关规定。

4.6 水文地质勘察文件

4.6.1 除一级及有特殊要求的地下水控制工程应编写专门水文地质勘察文件外，其它工程可包含在岩土工程勘察报告的水文地质章节中，应包括下列内容：

- 1 根据工程需要叙述气象和水文情况；
- 2 勘察时的地下水位、类型及其动态变化幅度；
- 3 地下水的补给、径流和排泄条件，地表水与地下水的补排关系，是否存在对地下水和地表水的污染源及其污染程度；
- 4 必要的水文地质试验成果和水文地质参数；
- 5 对多层地下水应分层描述，并描述含水层之间是否存在水力联系；
- 6 对工程有影响的地表水情况等。

4.6.2 专门水文地质勘察文件应包括下列内容：

- 1 工程概况；
- 2 勘察目的、任务要求和依据的技术标准；
- 3 勘察方法和勘察工作布置；
- 4 自然地理及地质概况；
- 5 场地水文地质条件；
- 6 地下水控制设计需要的水文地质参数；
- 7 水文地质勘察评价；
- 8 结论与建议；
- 9 相关图件、计算书及试验成果曲线等。

4.6.3 勘察资料整理时，应根据资料类别和用途，合理选用数理统计方法。当水文地质条件不同时，宜分区进行统计。

5 截水帷幕

5.1 一般规定

5.1.1 符合下列条件之一者应设置截水帷幕：

- 1 按照现行有关法律、法规规定，不符合降水条件的；
- 2 降水导致地面附加沉降过大或对周边环境的影响严重的；
- 3 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；
- 4 有海水入侵或污染淡水资源的。

5.1.2 应根据场区的地层结构、岩性分布特点及水文地质特征等，结合工程实际要求，合理确定截水帷幕构筑工法和布置形式。

5.1.3 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。

5.1.4 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。

5.1.5 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。

5.1.6 竖向截水帷幕宜采用落底式。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。工程需要时，可采用水平向截水帷幕或控制性降压等工程措施。

5.1.7 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。

5.1.8 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。严禁使用有毒性的化学浆液材料或在地层中分（降）解后可能产生有毒物质的浆液材料。

5.1.9 截水帷幕墙体的渗透系数不应大于 $1 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ ，单轴饱和抗压强度不应小于1.0MPa。

5.1.10 截水帷幕工程宜在现场进行施工工艺性试验，以确定施工控制参数，保证工程隔水效果；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。

5.1.11 城市轨道交通、市政管廊等地下工程采用暗挖法施工时，可根据水文地质条件、结合工程经验采用超前小导管法或其它压力灌浆法构筑截水帷幕。其综合渗透系数应满足设计要求。

5.2 帷幕工法选择

5.2.1 帷幕工法应根据场地水文、工程地质条件及工程实际需要，结合地区工程经验综合确定。也可参照表5.2.1选择。

表5.2.1 帷幕工法选型表

适用条件 帷幕工法		施工及场地条件	地层条件	帷幕深度（m）
多轴水泥土 搅拌桩墙		距离周边建（构）筑物等比较近、周边环境变形要求比较严格	可塑～流塑的黏性土，中密～松散的粉土、砂土等	根据工程需要及设备性能确定，不宜超过30m
高压喷射 桩板墙		距离周边建（构）筑物等比较近、周边环境变形要求比较严格	硬塑～流塑的黏性土、粉土、砂土、砾石、黄土等	根据工程需要及设备性能确定，不宜超过30m
等厚水泥土连续墙	渠式切割水泥土连续墙	周边建（构）筑物密集、施工空间狭小、周边环境变形要求严格且对帷幕的止水效果和垂直度均有较高要求	不含块石、漂石的第四系土层以及极破碎软岩等	根据工程需要及设备性能确定，不宜超过60m，帷幕线宜较长且比较平直

续 表 5.2.1

适用条件 帷幕工法		施工及场地条件	地层条件	帷幕深度 (m)
等厚水泥土连续墙	铣槽深搅水泥土连续墙	周边建(构)筑物密集、施工空间狭小、周边环境变形要求严格且对帷幕的止水效果和垂直度均有较高要求	复杂岩土条件以及硬质岩石地层	根据工程需要及设备性能确定,不宜超过60m
压力灌浆法		多用于地下隧道工程、帷幕的嵌缝堵漏等辅助处理以及杂填土、空洞、岩体裂隙的处理等;对截水效果要求不甚严格	各种岩土条件	根据工程需要
钻孔咬合桩法		周边建(构)筑物密集、施工空间小、周边环境变形要求严格;存在地下障碍物	各种岩土条件	根据工程需要及设备性能确定

5.2.2 同一工程的不同部位可分别选用不同的截水帷幕工法,不同工法之间的连接部位应采取必要的加强措施。

5.2.3 采用桩板式搭接法构筑截水帷幕时,其搭接长度应符合现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120的有关规定。

5.3 帷幕设计

5.3.1 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。

5.3.2 截水帷幕设计应包括以下内容:选择帷幕结构布置形式及构筑工法、确定帷幕深度、厚度、帷幕线位置、设计计算等,明确检测和监测的内容、项目、方法和精度要求等。

5.3.3 截水帷幕的设计计算应符合下列要求:

1 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；

2 当存在多层地下水时，应分别采用各层的水头，验算地下水的渗流稳定性；

3 当周边有重要的建（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；

4 悬挂式帷幕的深度宜结合流网法分析计算确定；

5 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；

6 与围护结构联成一体的截水帷幕，除应满足截水防渗要求外，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。

5.3.4 落底式截水帷幕进入隔水层或相对隔水层的深度应符合下式要求，且不宜小于1.5m。

$$l \geq 0.2 \Delta h - 0.5b \quad (5.3.4)$$

式中：

l ——帷幕进入隔水层的深度（m）；

Δh ——基坑内外的水头差值（m）；

b ——帷幕的厚度（m）。

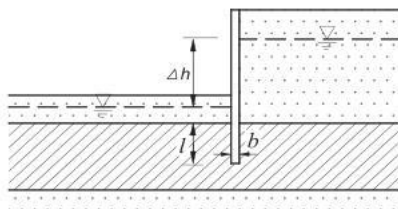


图5.3.4 落底式帷幕

5.3.5 对于基坑工程，应按下式评价坑底土抗突涌稳定性。当不满足要求时，应对承压含水层采取隔水、减压等措施。

$$\frac{D\gamma}{h_w\gamma_w} \geq K_h \quad (5.3.5)$$

式中：

K_h ——抗突涌稳定安全系数，相应于地下水控制工程等级一、二、三级的安全系数分别不应小于1.2、1.15、1.1；

D ——坑底至承压含水层顶板的距离（m）；

γ ——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（ kN/m^3 ）；

h_w ——承压含水层顶板的水头高度（m）；

γ_w ——水的重度（ kN/m^3 ），取 10kN/m^3 。

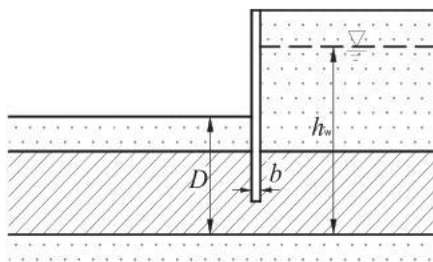


图5.3.5 抗突涌稳定性验算

5.3.6 悬挂式截水帷幕的嵌入深度除应满足抗渗流稳定要求外，尚应满足下式的要求。

$$h_d \geq \eta \Delta h \quad (5.3.6)$$

式中：

h_d ——截水帷幕嵌入深度（m）；

Δh ——基坑内外的水头差值 (m)；

η ——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。

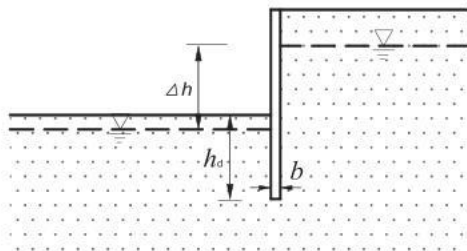


图5.3.6 悬挂式帷幕

5.3.7 采用悬挂式截水帷幕时应分析评价对周边环境的影响。必要时，应采取回灌等工程措施。

5.3.8 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200mm。必要时，应根据抗渗透坡降计算结果确定。

5.3.9 场地条件允许时，竖向截水帷幕可布置在支护结构体范围之外，以尽量减少截水帷幕渗漏的可能性。

5.3.10 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。

5.3.11 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。厚度应满足下式的要求：

$$d \geq K_h \gamma_w h / \gamma_s \quad (5.3.11)$$

式中：

h ——水平向截水帷幕体承压水头高度 (m) ;
 γ_s ——水平向截水帷幕体和上覆土层平均重度 (kN/m^3) ;
 γ_w ——水的重度 (kN/m^3) , 取 $10\text{kN}/\text{m}^3$;
 K_h ——抗突涌稳定安全系数。

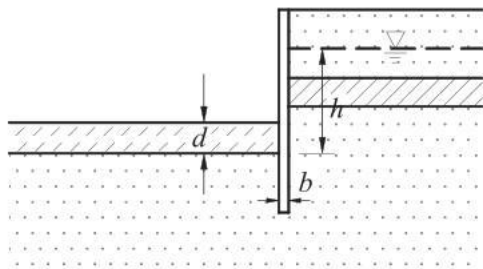


图5.3.11 水平向截水帷幕

当水平向截水帷幕厚度不能满足要求时,可适当布置降压井或采取其它工程措施。

5.3.12 帷幕桩的搭接宽度不宜小于表5.3.12中的规定:

表5.3.12 帷幕桩的搭接宽度

帷幕桩 型式	帷幕桩深度							
	$\leq 10\text{m}$		$10\text{m} \sim 15\text{m}$		$15\text{m} \sim 20\text{m}$		$> 20\text{m}$	
	单排	双排	单排	双排	单排	双排	单排	双排
搅拌桩	150mm	100mm	200mm	150mm	250mm	200mm	—	—
旋喷桩	150mm	100mm	250mm	200mm	300mm	250mm	350mm	300mm
注浆桩	150mm	100mm	200mm	150mm	—	—	—	—

5.4 帷幕施工及检测

5.4.1 多轴水泥土搅拌桩帷幕施工应符合下列规定:

- 1 施工前,应平整场地,清除地上和地下的障碍物;
- 2 正式施工前应根据设计进行工艺性试桩,数量不得少于3

组，以确定施工参数；

3 多轴水泥土搅拌桩应采用“套接一孔法”施工。浆液的水灰比宜取1.0~2.0，水泥掺入比取18%~22%，注浆压力不低于2MPa。钻头下沉速度宜为1m/min，提升速度宜为（1.0~1.5）m/min，并应做到匀速下钻、匀速提升；

4 搅拌桩施工时，停浆面应高于桩顶设计标高500mm。

5.4.2 多轴水泥土搅拌桩施工偏差应符合表5.4.2规定：

表5.4.2 多轴水泥土搅拌桩帷幕允许偏差

序 号	检查项目	允许偏差 或允许值	检查频率		检查方法
			范 围	点 数	
1	桩底标高（mm）	+50	每 根	1	测钻杆长度
2	桩位偏差（mm）	30	每 根	1	用钢尺量
3	桩径（mm）	+10	每 根	1	用钢尺量
4	桩体垂直度	≤1/200	每 根	全过程	经纬仪测量

5.4.3 高压喷射注浆帷幕施工应符合下列规定：

1 施工前应复核设计孔位、现场环境、地下障碍物位置等；

2 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；

3 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，三重管法高压水压力应大于30MPa，气压应大于0.7MPa，浆压应大于2MPa，提升速度宜为（0.1~0.2）m/min，水泥浆液喷射过程不得随意停喷或中断。用浆量和提升速度应采用自动记录装置监控；

4 水泥浆液的水灰比宜为0.8~1.5，水泥掺入比宜为25%~40%；可根据需要参加外加剂，外加剂的应用应符合有关规范要求或通过试验确定；

5 喷射孔与高压注浆泵的距离不宜大于50m；孔位允许偏差不大于30mm，垂直度允许偏差不大于0.5%；

6 当与支护桩结合时，应先施工支护桩，并在支护桩混凝土强度达到设计强度的70%后开始旋喷桩施工；

7 工程需要时，可采用复喷措施或采用双高压喷射法；

8 在高压喷射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；

9 施工中产生的废浆应及时处理、清运；

10 施工过程中应做好各项施工记录。

5.4.4 高压喷射注浆施工质量检测应符合下列规定：

1 高压喷射施工前应对所使用原材料的品种、型号、质量以及浆液配比等进行检查，应重点检查有关的出厂证明、合格证及试验报告等；

2 高压喷射注浆施工完成后可根据工程要求和当地经验进行质量检验。帷幕墙体的深度、加固直径、整体性、均匀性、桩体强度等物理力学性能指标应符合设计要求；

3 检测点宜选在下列部位：

1) 有代表性的；

2) 施工过程中出现异常情况的；

3) 地质情况变化较大，可能对施工质量产生影响的。

4 成桩质量检测点的数量不少于施工孔数的2%，并应不少于6点；

5 成品质量检验宜在高压喷射注浆结束28d后进行。

5.4.5 渠式切割水泥土连续墙施工应符合下列规定：

1 施工前应进行场地平整，根据定位控制线开挖导向沟槽。导槽宽度宜为1.0m~1.5m，深度宜为1m；

2 施工前应结合土质条件和机械性能进行试成墙试验，以确定各项施工技术参数，选择刀具和施工方法等。对土性差异大

的地层，应分别确定施工技术参数；

3 宜连续施工。停机后再次启动时，应先在原位切割刀具边缘的土体，然后回行切割已施工的墙体不小于0.5m后再继续施工，以保证墙体的完整性；

4 固化浆液的水泥掺入比应根据土质条件及设计要求的水泥土强度确定，且不宜小于20%，水灰比宜取1.0~2.0，注浆压力不小于2.5MPa；

5 需要长时间停止施工或成墙搅拌结束后，应对设备管路进行清洗。

5.4.6 渠式切割水泥土连续墙施工允许偏差应符合表5.4.6的规定：

表5.4.6 渠式切割水泥土连续墙施工允许偏差

序 号	检查项目	允许偏差或允许值	检查数量	检查方法
1	墙底标高（mm）	+30	每切割幅	测切割链长度
2	墙中心线偏差（mm）	25	每切割幅	用钢尺量
3	墙宽（mm）	+30	每切割幅	用钢尺量
4	墙垂直度	≤1/250	每切割幅	测斜仪测量

5.4.7 铣槽深搅水泥土连续墙施工应符合下列规定：

1 施工前，应先放样出水泥土连续墙中心线，开掘工作沟槽，沟槽宽度宜为1.0m~1.5m，深度宜为0.6m~1.0m；

2 沿开挖好的工作沟槽准确标识每一幅设备定位标记并用短钢筋打入土中定位；

3 宜采用“硬铣工法”及双注浆模式施工工艺，套铣长度不宜小于200mm。铣头下钻速度宜为（0.8~1.2）m/min，提升速度宜为（1.0~1.5）m/min，并应做到匀速下钻、匀速提升；

4 注浆用水泥浆的水灰比宜为1.0~1.5，水泥掺入比为15%~20%，注浆压力不低于2MPa。

5.4.8 铣槽深搅水泥土连续墙施工允许偏差应符合表5.4.8的规

定:

表5.4.8 铣槽深搅水泥土连续墙允许偏差

序 号	检查项目	允许偏差或允许值	检查数量	检查方法
1	墙底标高 (mm)	+30	每幅	测钻杆长度
2	墙中心线偏差 (mm)	25	每幅	用钢尺量
3	墙宽 (mm)	+30	每幅	用钢尺量
4	墙体垂直度	$\leq 1/250$	每幅	测斜仪测量

5.4.9 压力灌浆法截水帷幕的施工应符合下列规定:

1 灌浆施工前应通过室内试验或现场试验, 检验灌浆工法的适宜性, 确定灌浆材料、灌浆序次、灌浆压力、灌浆量、分段长度等灌浆技术参数, 现场试验应选择在具有代表性的地段进行;

2 灌浆材料应符合设计要求和有关规范规定; 浆液配比误差范围: 水泥、水玻璃、水为 $\pm 5\%$, 外加剂为 $\pm 1\%$;

3 钻孔注浆顺序应采取分序跳双孔或多孔注浆施工;

4 在注浆施工中, 若存在着较大的水流时, 宜先对下游进行注浆截水, 形成挡墙, 后对流水上游范围注浆, 以防止浆液的不断流失;

5 先对外圈孔进行注浆, 然后逐步注内圈孔;

6 注浆隔水时应采取定量、定压相结合注浆, 在跳孔分序注浆施工中, 对先序孔宜采取定量注浆, 对后序孔采取定压注浆;

7 双液注浆时, 必须使用带单向阀的浆液混合器, 严禁用三通等替代;

8 双液注浆过程中压力突然升高, 应及时查找原因, 进行处理, 确因浆液凝胶时间过短, 则应停水玻璃泵, 只注水泥浆, 待泵压恢复正常后再进行双液注浆;

9 双液浆注浆结束后或注浆确实需要停较长的时间时, 则先停水玻璃泵, 后停水泥浆泵, 并用清水清洗管路, 以防堵管;

10 严格按照前进式 (后退式) 注浆设计的段长进行分段注

浆，不得任意延长分段长度，必要时可进行重复注浆，以确保注浆质量。

5.4.10 压力灌浆法帷幕的检测可采用取芯法、观察法、渗透系数测试法等，检测结果应满足设计要求。

5.4.11 钻孔咬合桩法帷幕的施工应符合下列规定：

1 钻孔咬合桩帷幕施工前先放样桩位中心线，构筑混凝土导墙。导墙上应预留定位孔，其直径应大于钻机套管外壁直径20mm~40mm。导墙应有足够的强度、刚度及稳定性；

2 所有钻孔咬合桩均应编号并标识清楚，区别标示素混凝土桩及钢筋混凝土桩；

3 应首先施工素混凝土桩，素混凝土桩宜采用超缓凝混凝土。钢筋混凝土咬合桩应在素混凝土桩达到初凝状态前施工；

4 应确保钻机水平并使套管中心、摇管装置中心与桩中心保持在同一轴线上；

5 成孔取土过程中，应始终保持套管超前于取土面2m以上，防止管涌现象的发生。遇卵石或孤石等硬质地层时，可采用十字冲击锤冲击或冲击抓斗超前挖掘，或采用人工爆破处理；

6 套管钻机成孔完成后，应采取可靠方法清底、及时浇灌混凝土。

5.4.12 钻孔咬合桩法帷幕的检测应符合下列规定：

1 桩位和导墙允许偏差应符合表5.4.12-1的要求：

表5.4.12-1 桩位和导墙允许偏差

序 号	项 目	允许偏差	检测方法
1	孔径（设计孔径+20mm~30mm）	+10mm	钢尺量
2	桩位	50mm	钢尺量
3	墙面平整度	+5mm	钢尺量
4	导墙平面位置	+10mm	钢尺量
5	导墙顶面标高	+20mm	水准仪

2 成孔允许偏差应符合表5.4.12-2的规定；

表5.4.12-2 成孔允许偏差及检测方法

序号	项目	允许偏差	检测方法	检测频度
1	孔径	+30mm	检查套管直径	100%
2	垂直度	1/300	用测斜仪或超声波测井仪	100%
3	孔深	+300mm	核定钻头和钻杆高度或用测绳	100%

3 成桩质量应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定。

5.5 帷幕验收与维护

5.5.1 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：

- 1 截水帷幕施工图设计资料；
- 2 施工记录、原材料进场检测资料和施工过程中的抽检、复检资料；
- 3 设计变更资料；
- 4 检验、监测资料。

5.5.2 应根据设计要求采用开挖检查、钻芯法、声波透射法、抽水试验法等进行隔水效果检查。

5.5.3 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。

5.5.4 截水帷幕经检查验收后方可交付使用。运行过程中应加强维护及保养工作，不得随意碰撞、破坏。发现帷幕出现渗漏现象时，应查明原因，并及时采取相应的补救措施。

5.6 帷幕工程风险管理

5.6.1 应建立帷幕工程风险管理安全体系，明确风险源，正确识别安全隐患，制定风险应急预案和抢险加固措施等。

5.6.2 应遵循动态设计原则，根据监测资料随时进行分析，正确辨识危险源，加强设计风险控制。应明确风险控制指标和工程等级，确保各种工况下的安全稳定性。必要时，应进行三维数值分析。

5.6.3 应遵循信息化施工原则，加强施工过程风险控制。应对施工过程中的风险源进行识别，制定应急预案及风险处置方案。现场应储备足够的抢险物资，发生异常情况时，及时采取措施妥善处理。

5.6.4 应对运行过程进行全面监控，确保监测系统的有效运行。应对重点危险部位加强巡查和监测。发现异常情况，应加强监测频率，及时处理。

6 降（排）水

6.1 一般规定

6.1.1 降（排）水方案应根据工程要求和水文地质条件等因素综合确定。

6.1.2 降（排）水深度应满足工程施工要求，地下水位应降至开挖面以下不小于1.0m。

6.1.3 施工降（排）水涉及多个含水层，且各含水层水质存在明显差异时，应分层设置降水井，并采取封井措施隔断各含水层之间的水力联系。

6.1.4 对降（排）水影响范围内的建（构）筑物、地下管线、工程设施等应进行降水沉降影响分析和计算，确保其安全。

6.2 降（排）水设计

6.2.1 降（排）水方法应根据地质条件、降（排）水目的、降（排）水技术要求、降（排）水工程可能涉及的环境保护范围等因素，参照表6.2.1单独或组合选用。

表6.2.1 工程降（排）水方法及适用条件

适用条件 控制方法		土质类别	渗透系数 (m/d)	降水深度 (m)
集水明排		填土、粘性土、粉土	<3.0	<2
井点降水	真空井点	粘性土、粉土、砂土	0.01~20.0	单级<6 多级<20
	喷射井点	粘性土、粉土、砂土	0.01~20.0	<20

续 表 6.2.1

适用条件 控制方法		土质类别	渗透系数 (m/d)	降水深度 (m)
井 点 降 水	管 井	粉土、砂土、碎石土、岩石	>1.0	不 限
	渗 井	粉土、砂土、碎石土	0.1~20.0	由下伏含水层的埋藏和水头条件确定
	辐射井	粘性土、粉土、砂土、碎石土	0.1~20.0	<20

注：当采用渗井作为降水方法时，需要考虑上部含水层的水质是否存在污染和引渗井点的降水能力随时间不断衰减以及混合水位变化。

6.2.2 对滨海地区的降（排）水工程，应制定针对性措施，防止海水入侵和淡水资源污染。

6.2.3 设置截水帷幕的降（排）水设计应符合下列要求：

1 落底式截水帷幕内降（排）水，应采用帷幕内疏干降（排）水方法，疏干井底隔水层的厚度应满足抗渗流稳定性要求；

2 悬挂式截水帷幕内降（排）水，应对涌水量、帷幕内外水位降深、周边环境变形进行分析、预测。当地下水控制等级为一级时，应采用地下水三维渗流数值方法进行模拟分析。

6.2.4 集水明排设计应符合下列要求：

1 排水沟、集水井的截面应根据设计流量确定，设计流量应符合下式的规定：

$$V \geq 1.5Q \quad (6.2.4)$$

式中：

V ——排水沟、集水井的总排水量（ m^3/d ）；

Q ——涌水量（ m^3/d ），根据附录D确定。

2 排水沟和集水井宜布置在地下结构基础边净距400mm外，且其边缘距坡脚不小于300mm；必要时，可在场地中间布置排水

盲沟；

3 排水沟沟底宽不宜小于300mm，坡度宜为0.1%~0.5%；采用明沟排水时，沟底及沟壁应采取防渗措施。采用盲沟排水时，其构造、填充料及其密实度应满足地基要求；

4 集水井直径（宽度）不宜小于600mm，其底面应比排水沟沟底深，且不宜小于0.5m，间距宜20m~50m；

5 集水总管的直径应根据排水量确定，坡度不宜小于0.5%，材料可选用钢管、PVC管等。

6.2.5 井点系统布设应符合下列要求：

1 真空井点系统的布设要求：

- 1) 地下水位埋藏小于6m，宜用单级真空井点；当大于6m时，场地条件允许可用多级真空井点；
- 2) 真空井点管排距不宜大于15m，真空井点沿场地周围井点间距宜为0.8m~2.0m，距边坡线至少1m；采用多级真空井点降水时，井点平台高差宜为4m~5m。

2 喷射井点系统的布设要求：

- 1) 喷射井点间距宜为1.5m~3.0m；
- 2) 喷射井点管排距不宜大于40m，井点深度与井点管排距有关，应比设计开挖深度大3m~5m。

3 管井系统的布设要求：

- 1) 降水井宜布置在降水范围边线1m以外；圆状或方形场地降水井宜在外缘呈封闭状布置；条状场地宜采用单排或双排降水井，布置在外缘的一侧或两侧，在场地端部，降水井外延长度按水位降深综合确定；
- 2) 降水场地范围较大时可以在内部增设降水管井（疏干井）和观测孔。内部井、孔应避开工程桩、立柱等设施位置。

4 渗井系统的布设要求：

- 1) 渗井可在降水场地内外布置，井间距根据引渗试验确定，井距宜为2m~10m；
 - 2) 渗井深度宜揭穿被渗层；当厚度大时，揭穿厚度不宜小于3m。
- 5 辐射井系统的布设要求：
- 1) 辐射井的布置应使其辐射管最大限度的控制降水范围；
 - 2) 当含水层较薄时，宜单层对应均匀设置辐射管。辐射管的根数，宜每层采用6~8根；含水层较厚或多层时，宜设多层辐射管或倾斜辐射管；
 - 3) 最下层辐射管距井底应大于1m；
 - 4) 辐射管直径宜为50mm~150mm。

6.2.6 按地下水稳定渗流计算井距、井的水位降深和单井流量时，影响半径宜通过试验确定。缺少试验时，可按附录C计算。

6.2.7 降水井点的数量可根据降水场地涌水量和设计单井出水量按下式计算。

$$n=1.1 Q/q \quad (6.2.7)$$

式中：

n ——井点数量；

Q ——降水场地涌水量（ m^3/d ），根据附录D计算。当设置截水帷幕时，应考虑帷幕存在对涌水量的影响；

q ——设计单井出水量（ m^3/d ），根据附录E计算。

6.2.8 当降水工程涉及承压水降水时，应增加承压水降压备用井，增加的数量宜为设计降水井数量的20%。

6.2.9 降水井点的深度可根据降水深度、含水层的埋藏分布、地下水类型、降水井的设备条件以及降水期间的地下水位动态等因素按下式确定。

$$H_w = H_{w1} + H_{w2} + H_{w3} + H_{w4} + H_{w5} \quad (6.2.9)$$

式中：

- H_w ——降水井点深度（m）；
- H_{w1} ——开挖深度（m）；
- H_{w2} ——降水水位距离开挖底部要求的深度（m），宜为0.5m
~1.0m；
- 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（m）；
- H_{w4} ——降水井过滤器工作长度（m）；
- H_{w5} ——沉砂管长度（m），宜为1m~2m。

6.2.10 过滤器类型可根据工程条件按附录F选择。过滤器长度的确定应符合下列要求：

- 1 对于真空井点和喷射井点，过滤器的长度不宜小于含水层厚度的1/3；
- 2 管井过滤器长度宜与含水层厚度一致；
- 3 当含水层较厚时，过滤器的长度可按下式计算：

$$l = \frac{q}{d \cdot n_e \cdot v} \quad (6.2.10)$$

式中：

- l ——过滤器的长度（m）；
- q ——单井出水量（m³/d）；
- n_e ——过滤器的孔隙率（%），一般可按过滤器进水表面孔隙率50%考虑；
- d ——过滤器的外径（m）；
- v ——地下水流速（m/d），可由经验公式 $v = \sqrt{k}/15$ 求得。

6.2.11 工程降水应预测计算地下水位。存在截水帷幕时，地下水位预测应考虑帷幕影响。预测地下水位应包括以下内容：

1 预测计算降水区内的任意点地下水位，均应满足降水工程的要求；

2 预测降水区外地下水位曲线；

3 需要进行专门研究的重大降水工程宜采用数值法或物理模拟试验进行降水水位预测计算。

6.2.12 无截水帷幕，含水层为粉土、砂土或碎石土时，潜水完整井的地下水位降深可按下式计算（图6.2.12-1、图6.2.12-2）：

$$s_0 = H - \sqrt{H^2 - \sum_{j=1}^n \frac{q_j}{\pi k} \ln \frac{R}{r_{ij}}} \quad (6.2.12-1)$$

式中：

s_0 ——地下水位降深（m）；计算地下水位降深时，对沿周边闭合降水井群， s_0 应取各点的最小降深；当相邻降水井的降深相同时， s_0 可取相邻降水井连线中点的降深；

H ——潜水含水层厚度（m）；

q_j ——按干扰井群计算的第 j 口降水井的单井流量（ m^3/d ）；

k ——含水层的渗透系数（ m/d ）；

R ——影响半径（m），应按现场抽水试验确定；缺少试验时，也可按本规程附录C计算确定；

r_{ij} ——第 j 口井中心至 i 点的距离（m），此处， i 点为降深计算点；当 $r_{ij} > R$ 时，取 $r_{ij} = R$ ；

n ——降水井数量。

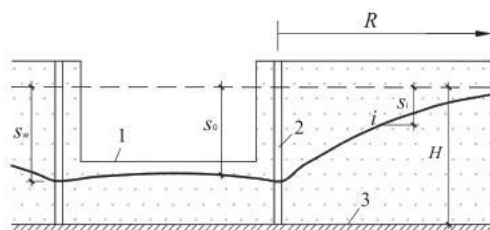


图6.2.12-1 均质含水层潜水完整井地下水位降深计算
1—开挖面；2—降水井；3—潜水含水层底板

按干扰井群计算的第\$j\$个降水井的单井流量(\$q_j\$)可通过下式求解\$n\$维线性方程组计算:

$$s_{wk} = H - \sqrt{H^2 - \sum_{j=1}^n \frac{q_j}{\pi k} \ln \frac{R}{r_{kj}}} \quad (k=1, \dots, n) \quad (6.2.12-2)$$

式中:

s_{wk} ——第\$k\$口井的井水位设计降深(m);

r_{kj} ——第\$j\$口井中心至第\$k\$口井中心的距离(m);当\$j=k\$时,取降水井半径\$r_w\$;当\$r_{kj} > R\$时,取\$r_{kj}=R\$。

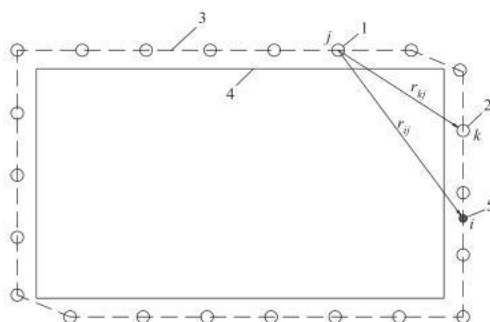


图6.2.12-2 计算点与降水井的关系

1—第\$j\$口井；2—第\$k\$口井；3—降水井所围面积的边线；4—场地边线；5—计算点

6.2.13 无截水帷幕,含水层为粉土、砂土或碎石土时,承压完整井的地下水位降深可按下式计算(图6.2.13):

$$s_0 = \sum_{j=1}^n \frac{q_j}{2\pi Mk} \ln \frac{R}{r_{ij}} \quad (6.2.13-1)$$

式中：

s_0 ——地下水位降深（m）；计算地下水位降深时，对沿周边闭合降水井群， s_0 应取相邻降水井连线上各点的最小降深；当相邻降水井的降深相同时， s_0 可取相邻降水井连线中点的降深；

M ——承压含水层厚度（m）。

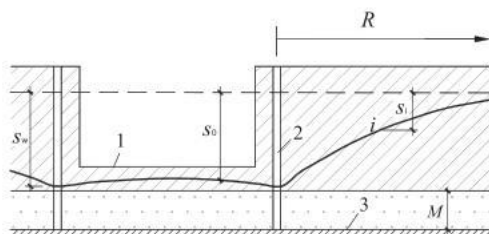


图6.2.13 均质含水层承压水完整井地下水位降深计算
1—开挖面；2—降水井；3—承压含水层底板

按干扰井群计算的第 j 个降水井的单井流量可通过下式求解 n 维线性方程组计算：

$$s_{wk} = \sum_{j=1}^n \frac{q_j}{2\pi Mk} \ln \frac{R}{r_{kj}} \quad (k=1, \dots, n) \quad (6.2.13-2)$$

6.2.14 当地下水控制工程存在隔水帷幕或降水影响范围内存在隔水边界、地表水体时，可根据具体情况，考虑隔水帷幕对涌水量、帷幕内外水位降深的影响。

1 存在直线补给与隔水边界时，宜采用构造虚井方法，与实井叠加，计算水位降深。

1) 存在直线补给边界（图6.2.14(a)）

抽水井的水位降深：

$$s_w = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{2b}{r_w} \quad (6.2.14-1)$$

任意点的水位降深:

$$s = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (6.2.14-2)$$

式中:

r_1 ——实井到任意点的距离 (m);

r_2 ——虚井到任意点的距离 (m);

b ——实井到补给边界的距离 (m);

r_w ——实井的直径 (m);

Q ——实井或虚井的涌水量 (m^3/d);

T ——导水系数 (m^2/d)。

2) 存在直线隔水边界 (图6.2.14(b))

抽水井的水位降深:

$$s_w = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{2.25at}{2r_w \cdot b} \quad (6.2.14-3)$$

任意点的水位降深:

$$s = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{2.25at}{r_1 \cdot r_2} \quad (6.2.14-4)$$

式中:

b ——实井到隔水边界的距离 (m);

a ——导压系数 (m^2/d)。

2 带有隔水帷幕的基坑围护结构深入到降水目的含水层底板以下, 含水层的底板不透水时, 多边形的隔水边界可按面积相

等概化为一个圆形的隔水边界，其坑内任意点的水位降深，可按下式计算：

承压水：

$$s_M = \frac{Q_c}{\pi k M} \frac{at}{R_K^2} + \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{2\pi k M} \ln \frac{R_K}{r_i^*}$$

$$\left(t \leq (0.1 \sim 0.2) \frac{R_K^2}{a} \right) \quad (6.2.14-5)$$

潜水：

$$s_M = H - \sqrt{H^2 - \frac{Q_c}{\pi k M} \frac{at}{R_K^2} - \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{\pi k} \ln \frac{R_K}{r_i^*}}$$

$$\left(t \leq (0.1 \sim 0.2) \frac{R_K^2}{a} \right) \quad (6.2.14-6)$$

$$r' = \sqrt{1 - \bar{r}_M^2 (1 - \bar{\rho}^2) - \bar{\rho}^2 + \bar{r}^2 \exp \left[3/4 - \frac{1}{2} (\bar{r}_M^2 + \bar{\rho}^2) \right]}$$

$$(6.2.14-7)$$

$$\bar{r}_M = \frac{r_M}{R_K}, \quad \bar{\rho} = \frac{\rho}{R_K}, \quad \bar{r} = \frac{r}{R_K} \quad (6.2.14-8)$$

式中：

Q_c ——群井总出水量 (m^3/d)；

Q_i ——第*i*井出水量 (m^3/d)；

R_K ——圆形隔水边界的半径 (m)；

r_i^* —— $r' \cdot r_i$ 各降水井到任意点的距离 (m)； r' 可按式

(6.2.14—7) 计算，也可查附录G确定。

- t ——抽水开始后的时间 (d) ;
- r_M ——圆形隔水边界中心到任意点的距离 (m) ;
- r ——降水井到任意点的距离 (m) ;
- ρ ——圆形隔水边界的中心到降水井的距离 (m) ;
- φ —— r_M 与 ρ 线之间的夹角;
- H ——任意点处隔水底板到降水前静止水位的高度 (m) 。

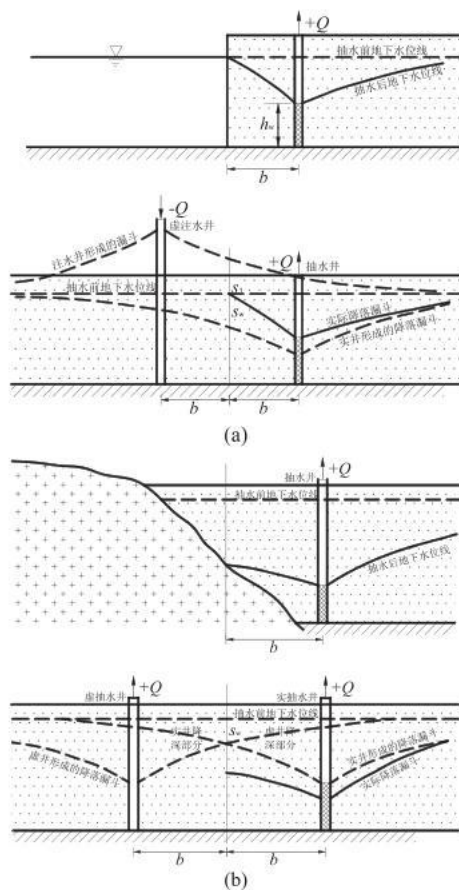


图6.2.14 均质含水层承压水完整井地下水位降深计算
(a) 存在直线补给边界；(b) 存在直线隔水边界

6.2.15 隧道等地下空间采用暗挖法施工时降排水设计应满足工程需要，涌水量预测可采用附录H方法。

6.2.16 真空井点的构造应符合下列要求：

1 井管宜采用金属管，其直径宜为42mm~55mm；管壁上渗水孔宜按梅花状布置，中心距宜为30mm~40mm，渗水孔直径宜取10mm~15mm，渗水孔的孔隙率应大于15%，渗水段长度应大于1m；过滤器顶端宜位于坑底以下1m，管壁外应根据土层的粒径设置滤网；

2 成孔直径宜取73mm~110mm，且不宜大于300mm，井管内真空度不应小于65kPa；

3 孔壁与井管之间的滤料宜采用中粗砂，滤料上方应使用黏土封堵，封堵厚度应大于1m。

6.2.17 喷射井点的构造应符合下列要求：

1 井点外管直径宜为73mm~108mm，内管直径宜为50mm~73mm，过滤器直径宜为89mm~127mm，过滤器壁上渗水孔宜按梅花状布置，渗水孔直径宜取10mm~15mm，渗水孔的孔隙率应大于15%，渗水段长度应大于1m；管壁外应根据土层的粒径设置滤网；喷射器混合室直径可取14mm，喷嘴直径可取6.5mm；

2 成孔直径宜取400mm~600mm，井孔应比滤管底部深1.0m以上；

3 孔壁与井管之间的滤料宜采用中粗砂，滤料上方应使用黏土封堵，封堵厚度应大于1m。

6.2.18 管井的构造应符合下列要求：

1 滤管可采用无砂混凝土滤管、开孔金属管；

2 滤管内径宜大于水泵外径50mm，外径不宜小于200mm，滤水管与管井井壁之间充填滤料，滤料厚度宜为75mm~150mm；

3 孔壁与井管之间的滤料规格宜满足下列公式要求：

1) 粉土、砂土含水层

$$D_{50} = (6 \sim 8) d_{50} \quad (6.2.18-1)$$

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（mm）；

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

2) d_{20} 小于2mm的碎石土含水层

$$D_{50} = (6 \sim 8) d_{20} \quad (6.2.18-2)$$

式中：

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（mm）。

3) 对 d_{20} 不小于2mm的碎石土含水层，宜充填粒径为10mm～20mm滤料；

4) 滤料的不均匀系数应小于2。

4 采用深井泵或深井潜水泵抽水时，水泵的出水量应根据单井出水能力确定，并应大于单井出水能力的1.2倍；

5 井管的底部应设置沉砂段。

6.3 降（排）水施工与检测

6.3.1 降水施工前应编制降水施工方案，其内容应包括：施工部署、施工进度计划、材料计划、主要施工设备配备计划、降水井施工方法及技术措施、降水运行方案、施工质量检验标准、降水对环境的控制措施、季节性施工措施、风险控制和应急预案等。

6.3.2 降水施工应符合下列规定：

1 施工现场应落实通水、通电、通路和场地平整，应满足设备、设施就位和进出场地条件；

2 成井施工完成后应及时洗井。每个井点降水及排水设施安装后，均应单独进行调试、验收；

3 降水结束后应进行封井。

6.3.3 施工过程中如发现工程地质、水文地质条件与设计不符时，应及时调整设计。

6.3.4 集水明排施工应满足下列要求：

1 排水沟、集水井施工应满足土方开挖要求；

2 开挖侧壁出现分层渗水时，可按不同高程设置导水管、砖砌沟或草袋墙等工程辅助措施；

3 排水设施与市政管网连接口之间应设置沉淀池。明（盲）沟、集水井（坑）、沉淀池使用时应排水通畅并应随时清理淤积物；

4 排水管可采用混凝土管、PVC管或钢管，排水管可暗埋地下或在地面架设。地面架设时，每隔5m~8m设砖砌托台，托台高度应根据排水管坡度确定。

6.3.5 真空和喷射井点降水施工应符合下列要求：

1 成孔工艺可选用清水或泥浆钻进、高压水套管冲击工艺。清水或稀泥浆钻进，泵压不应低于2MPa，流量不得小于20 m³/d；对不易产生塌孔缩孔的土层，可采用长螺旋钻机施工成孔；成孔深度宜大于降水井设计深度0.5m~1.0m；

2 井管上口宜采用法兰密封，地下水位以上井段应下井壁管，用黏土封填；

3 上法兰盲板应设置电缆线孔、水位观测孔、抽水泵管孔、抽真空泵孔和真空表孔，并用密封胶严格密封；

4 井点泵应用密封胶管连接各井，每个井点泵带动30~50个真空井点；

5 成孔深度达到设计深度后，应注水冲洗钻孔、稀释泥浆；滤料充填应密实均匀；

6 过滤器顶端宜位于坑底以下1m。

6.3.6 管井施工应符合下列规定：

1 管井成孔直径宜为400mm~800mm，管径宜为250mm~500mm；当含水层为卵石、漂石地层或裂隙基岩，采用潜孔锤冲击成孔工艺时，管井成孔直径可小于400mm，可不充填滤料或少充填滤料；

2 管井的成孔施工工艺根据地层条件选用。对不易塌孔、缩径的地层宜采用清水水压泵吸反循环钻进；对易塌孔、缩径的地层应采用泥浆护壁钻进，泥浆应根据地层的稳定情况、含水层的富水程度以及水头高低、井深等因素确定；

3 采用泥浆护壁时，应在钻到孔底后清除孔底沉渣，进行破壁洗井，注入清水替换孔内泥浆，直至泥浆比重不大于1.05（粘度为18s~20s）；

4 钻孔深度宜大于降水井设计深度0.5m~1.0m；

5 做好钻井施工描述记录。

6.3.7 管井安装应符合下列规定：

1 管井过滤器可根据地层情况选用；

2 吊装井管时应平稳、垂直，严禁猛墩，并保持井管在井口中心，井身顶角偏斜不超过1°；井管宜高出地面不小于200mm。遇塌孔时不得置入井管；

3 井管下入后应立即回填滤料，应使用铁锹沿井壁四周均匀连续填入，不得用装载机或手推车直接倒入，应随填随测滤料高度，滤料填充体积不少于计算量的95%。井口外围应封闭，封闭位置应在井口以下不小于2m深度。相邻含水层之间井管外围应封闭；

4 充填滤料后应及时进行洗井，直至过滤器及滤料滤水畅

通。洗井应在下填滤料后8h内进行，一般可采用空压机洗井。当空压机洗井效果不好时，若井管强度允许，可采用拉活塞与空压机联合洗井；若井管强度不允许，宜结合采用化学洗井。洗井应自上而下分段进行，若沉没比不够，应注入清水。洗井过程中应观察出水情况，直至水清沙净；

5 完成管井施工及洗井后，应及时进行试抽水，检验井深、单井涌水量、出水含砂量等情况是否符合设计要求。

6.3.8 渗井施工与安装应符合下列规定：

1 渗井施工宜采用螺旋钻、工程钻成孔、对易缩易塌地层可用套管法成孔，钻进中自造泥浆；

2 裸井：成孔直径宜为200mm~500mm，直接填入洗净的砂、砾或砂砾混合滤料，含泥量应小于0.5%；

3 管井：成孔后置入无砂混凝土滤水管、钢筋笼、铁滤水管，井周根据情况确定滤料。

6.3.9 辐射井施工与安装应符合下列规定：

1 辐射井的集水井施工宜采用沉井法或反循环钻机钻进，应预留辐射井位置并对应相应含水层；

2 辐射管施工宜采用顶管机、水平钻机；

3 辐射井直径应大于2m，应满足井内辐射管施工要求；

4 集水井结构应在不同高程设置辐射管部位，增设施工辐射管用的钢筋混凝土圈梁。辐射管规格可参照相关手册选取；

5 辐射井宜封底防止进水，且可随钻进抽排水。

6.3.10 分层止水及井孔回填应符合下列要求：

1 实施分层降水时，降水井外侧对应隔水层位置应采用黏土封隔；

2 降水结束后降水井内应用黏土回填至井口下1m，地表下1m的范围内应按原地表的使用条件进行恢复。渗井应采用高压泥浆回填。

- 6.3.11 降水系统的使用期应满足主体结构施工的要求。
- 6.3.12 降水过程抽排水的含砂量应小于1/50000。
- 6.3.13 降水工程实施前，应制定降水风险应急预案。应急预案应包括以下主要内容：
- 1 危险源辨识及其针对性处理措施；
 - 2 应急预案的实施主体及应急响应的指挥网络、决策、报告流程；
 - 3 应急岗位的设定及岗位职责；各岗位的人员名单及通讯联系方式。
- 6.3.14 降水施工、运行维护过程中，应根据监测资料，判断工程环境影响程度，适时启动应急预案。

6.4 降水工程验收与维护

- 6.4.1 降水工程应对井点施工质量和降水目标水位进行验收。
- 6.4.2 井点验收应包括以下内容：
- 1 井的施工记录是否齐全；所用材料的规格、型号是否和设计要求一致；
 - 2 井的深度、井径是否和设计一致；管井沉砂厚度是否符合要求；各个井点的水泵和井点管与排水总管是否已安装调试完毕；排水管道是否满足排水量的要求；
 - 3 井的出水量是否满足设计要求；
 - 4 全部降水运行时，抽排水的含砂量是否符合6.3.12条的规定；
 - 5 降水井的平面位置和数量是否和设计一致；
 - 6 降水技术、安全交底和各种施工记录是否齐全、完整、准确，所有资料是否有相关人员签字；
 - 7 供电线路和电箱的布置是否满足降水要求，备用电源及

备用水泵等有关设备及材料是否符合要求。

6.4.3 降水过程中，场地中心、最远边侧、井间分水岭处等部位，实际降水深度不应小于设计预测的降水深度。

6.4.4 降水维护应符合下列规定：

1 降水期间应对抽水设备和运行状况进行维护检查，每天检查不应少于3次，并应记录井点、水泵、电流、电压、出水等情况，使降（排）水系统始终处于正常运行状态，不得随意停止抽水。当监测出现异常应及时反馈，并查明原因；

2 所有井点应设置明显的安全保护标识。降水管井井口应采取防护措施。降水井影响路面交通时，应砌制检查井室，并盖上承重井盖，与路面平齐；降水井不影响路面交通时，井口宜砌筑高出地面不小于200mm的井台，并加设盖板；

3 定期检查排水管、沟，以及开挖工作面，防止渗漏。发现出水、涌砂现象，应立即查明原因，组织处理；

4 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，应测量井深，保证降水连续；

5 现场应配置双路电源，或按一定降水用电额度配备发电机，并保证两路电源能及时切换；

6 开挖过程应做好降水井点保护，避免井点破坏；

7 应遵守“按需减压”的原则制定减压降水运行方案，避免过度减压或减压不足；当开挖工况发生变化时，应及时调整降水运行方案；

8 冬季施工应对抽排水系统采取防冻措施。

6.5 降水对环境的影响与预测

6.5.1 降水对环境影响的预测项目应包括下列内容：

- 1 地面沉降；
- 2 水质恶化；
- 3 道路交通和居民生活环境影响。

6.5.2 降水引起的地基变形不得影响既有建（构）筑物、地下管线、道路等的正常使用，其变形量不得超过现行国家标准的有关规定。

6.5.3 降水引起的地面沉降量可根据相关规范采用分层总和法计算，或采用数值模拟分析并结合当地经验确定。

当按分层总和法计算时，可按下式计算：

$$s = \sum_{i=1}^n \Psi_{wi} \frac{\Delta \sigma'_{zi} \Delta h_i}{E_{si}} \quad (6.5.3)$$

式中：

s ——降水引起的建筑物基础或地面的固结沉降量（m）；

Ψ_{wi} ——沉降计算经验系数，一般沉积土层可根据表6.5.3取值，新近堆积土层可取 $\Psi_w=1$ ；

$\Delta \sigma'_{zi}$ ——降水引起的地面下第*i*层土的中点处的有效应力增量（kPa）；对粘性土，应取降水结束时土的固结度下的有效应力增量；

Δh_i ——第*i*层土的厚度（m）；

E_{si} ——第*i*层土的压缩模量（kPa）；应取土的自重应力至自重应力与有效应力增量之和的压力段的压缩模量值。对粘性土、粉土取压缩模量，对砂土取弹性模量。

表6.5.3 沉降计算经验系数

含水层岩性	碎（卵）石、砾石	中粗砂	粉细砂	粉土	粘性土
Ψ_w	0.6~0.8	0.5~0.7	0.4~0.6	0.3~0.5	0.2~0.4

6.5.4 污染场地的施工降水应采取相应措施，对地下水水质的

影响应进行专门研究。

6.5.5 当出现下列情况之一时，应采取辅助工程措施：

1 降水影响范围内存在易燃、易爆、易漏的地下管线，预测降水引起的累计沉降值大于该管线的沉降允许值；

2 降水影响范围内有建（构）筑物，预测降水引起的累计沉降值大于10mm或大于该建（构）筑物的沉降允许值，或倾斜值大于0.2%或大于该建（构）筑物的倾斜允许值；

3 降水影响范围内，浅层含水层已被严重污染，预计降水会引起深层含水层污染或污染范围进一步扩大；

4 降水对周边交通环境、居住环境等影响较大。

6.5.6 应根据降水对周边环境的影响预测，判断对周边环境的影响程度，并采取相应的措施以进行风险控制。

7 地下水回灌与利用

7.1 一般规定

7.1.1 地下水控制工程应坚持保护地下水资源的原则，重视抽排地下水的综合利用，减少外排水量。

7.1.2 工程建设过程中抽取的地下水宜回灌至地下含水层，并按工程实际要求进行回灌设计。

7.1.3 回灌方案设计时，应收集地质及工程周边环境条件等有关资料。回灌方案确定后，应结合工程实际情况通过现场试验确定施工参数及工艺。

7.1.4 宜采用同层回灌。异层回灌时应考虑可能引起的地下水水质的变化。

7.1.5 回灌用水水质不得低于回灌含水层中的地下水水质，异层回灌时不得低于现行国家标准《地下水环境质量标准》GB/T 14848中Ⅲ类标准。

7.2 回灌系统设计

7.2.1 回灌系统由回灌井（或砂沟）、回灌水箱、闸筏和水表、地下水位观测井等组成。

7.2.2 回灌井可分为自然回灌井与加压回灌井。自然回灌井的回灌压力与回灌水源的压力相同。加压回灌井的回灌压力宜根据回灌量的要求通过现场试验确定，回灌压力不宜超过过滤器顶端以上的覆土重量。

7.2.3 当建（构）筑物离工程场地较远且为均匀透水层、中间

无隔水层的浅层潜水可采用砂沟回灌；当建（构）筑物离工程场地较近且浅部有弱透水层或者隔水层的深层潜水、微承压水与承压水，应采用管井回灌。

7.2.4 回灌井与降水井的距离应根据渗流计算确定，且不宜小于6m；当不能满足要求时，可设置截水帷幕以阻断其水力联系。

7.2.5 回灌井的间距和数量应根据计算结果并结合工程实际综合分析确定。

7.2.6 地下水回灌水文地质参数计算应符合下列规定：

1 回灌影响半径可采取下式计算：

$$R' = 2\alpha s_w \sqrt{kH_0} \quad (7.2.6-1)$$

式中：

R' ——回灌影响半径（m）；

s_w ——回灌井水位升幅（m）；

k ——含水层的渗透系数（m/d）；

H_0 ——含水层厚度（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 $\alpha=0.15\sim0.3$ 。

2 回灌水量 $Q_{\text{灌}}$ 可按下式计算：

$$Q_{\text{灌}} = \pi \beta k \frac{h^2 - H^2}{\ln R' - \ln r} \quad (7.2.6-2)$$

式中：

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 $\beta=0.2\sim0.3$ ；

h ——要求回灌后达到的动水位（m）；

H ——回灌前静水位（m）；

r ——回灌井点计算半径（m）。

7.2.7 回灌井宜选择进入渗透性较好的土层。回灌井的设计深度应根据场区降水漏斗的形状和降深确定；同层回灌时，宜与降水井深度相同。当采用坑内减压降水时，坑外回灌井深度不宜超过承压含水层中截水帷幕的深度。

7.2.8 回灌水量应根据观测孔中水位变化进行控制和调节。当降水回灌时，回灌后的地下水位不宜超过降水前的水位。采用回灌水箱时，其距地面的水头高度应根据回灌水量的要求确定，回灌水箱水位应保证出水量大于回灌水量。深层回灌井回灌可在较高压力条件下进行。

7.2.9 回灌井井管的选择应符合下列规定：

- 1 自然回灌井可采用与降水井相同的滤水管；
- 2 压力回灌井滤水管宜采用铸铁或无缝钢管加工而成；
- 3 沉淀管宜与井管同质同径。

7.2.10 自然回灌井结构应符合下列规定：

- 1 回灌井可与抽水井结构相同；
- 2 成井直径宜为600mm~800mm；大口径回灌井的成井直径可为1m~2m；
- 3 单根滤水管长度不宜超过6m；
- 4 滤水管外侧应填筑级配砂砾石滤层；
- 5 回灌井砂砾石滤层顶部应采取封井措施。

7.2.11 压力回灌系统应符合下列规定：

- 1 压力回灌井管井的滤管宜采用钢管，钢滤管长度不宜小于4.5m；
- 2 钢滤管可采用桥式、圆孔式和缠丝式等形式，孔隙率不宜小于15%；
- 3 滤管外宜缠细钢丝或土工布，可采用单层40目钢丝网或40目尼龙网；
- 4 井管顶部应设置止水封闭层，止水封闭层宜采用优质黏

土球封堵；止水封闭层顶至地面之间宜用素混凝土充填，并振密压实（图7.2.11）；

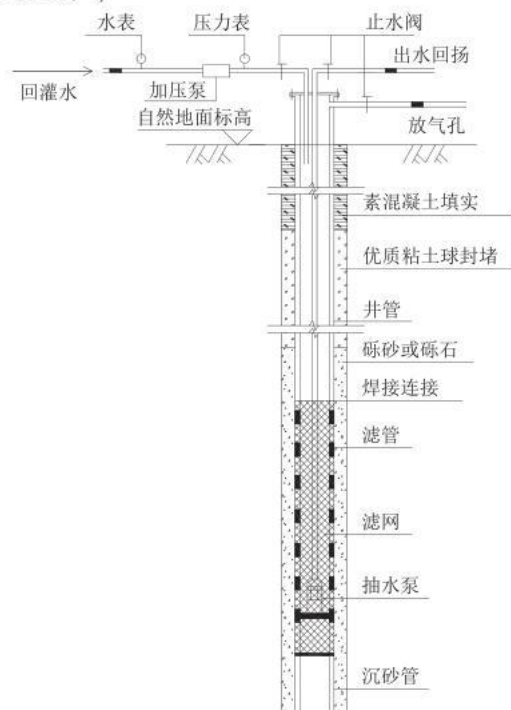


图7.2.11 压力回灌井管井构造示意图

5 回灌井井口应设置放气孔和出水回扬，同时应连接加压设备和流量、压力量测设备；

6 压力回灌的加压设备宜采用稳压控制系统，保证回灌过程中压力恒定。

7.2.12 回灌井地表设施应由地表管路系统、控制系统、仪表系统、水源输送系统等组成。压力回灌井设施还应有压力泵、泵管等装置。

7.2.13 管井回灌应符合下列规定：

1 回灌井平面位置应在降水井与被保护建（构）筑物之

间，并与被保护建（构）筑物保持一定距离；

2 回灌井与降水井应协调控制，不宜超排超灌；

3 基于水资源控制的回灌井在回灌水水质满足回灌要求时即可进行回灌，应将原外排地下水回灌至原地层中，同时确保工程场地内水位控制在安全水位内。基于保护周边环境的回灌井抽灌应同步进行，其抽水流量及回灌流量的确定应通过计算分析后确定。

7.2.14 砂沟回灌应符合下列规定：

1 砂沟宜采用梯形断面，沟底应位于透水性较好的土层中，沟底宽度宜大于0.8m，沟深宜大于1.2m；

2 砂沟底部宜设置厚300mm~500mm的反滤层，反滤层填料宜采用含泥量不大于3%、不均匀系数在3~5之间的纯净中粗砂。

7.3 回灌井施工与检测

7.3.1 回灌井的施工应符合下列要求：

1 回灌井的成孔施工工艺应适合地层特点，宜采用清水钻进。成井深度宜大于设计深度0.3m~0.5m；

2 当采用泥浆护壁时，应在钻进到设计深度后破壁、清除孔底沉渣、置入井管、注入清水，当泥浆比重不大于1.05时，方可投入滤料；滤料填充体积不应小于计算量的95%；

3 滤水管外回填级配砂砾石作过滤层，要求与降水井相同；

4 填充滤料后，应及时洗井，确保过滤器及滤料滤水畅通；

5 回灌层以上井壁应密封以保证回灌水直接从含水层回灌；

6 回灌井施工结束至开始回灌，应至少有2周的时间间隔，

以保证井管周围止水封闭层充分密实，防止或避免回灌水沿井管周围向上反渗。井管外侧止水封闭层顶至地面之间，宜用素混凝土充填密实。

7.3.2 回灌井的质量检测应符合下列规定：

- 1 实测井管的倾斜度应小于1%；
- 2 井管内沉淀物的高度应小于井深的0.5%。

7.4 回灌运行与维护

7.4.1 回灌井加压回灌时，回灌量与回灌压力应由小到大，逐步调节到适宜压力；回灌井口应密封，确保回灌时不漏水，同时回灌压力不宜过大，以免回灌管井周围产生突涌，破坏回灌井结构。

7.4.2 回灌设施应经常检查，防止堵塞；不得随意停灌；井口应采取保护措施防止杂物掉入井内。

7.4.3 当回灌井中水位或水压力超过设计限值时，应及时洗井或采取其他措施，保证回灌管井的正常运行。

7.4.4 回灌设施周围应严格限制车辆、设备荷载。

7.5 回灌工程风险管理

7.5.1 应验算回灌引起的水位变化对工程的影响。

7.5.2 应避免回灌引起的水位升高对环境安全产生不利影响，保证周边环境的安全。

7.5.3 回灌工程施工前，应详细了解该区域含水层的水质情况。

7.5.4 回灌过程中，应做好回灌水水质监测与处理，应防止对地下水造成污染。

7.6 地下水利用

7.6.1 应编制抽排地下水综合利用方案，方案应切实可行、经济合理。根据水质情况可将地下水用于以下方面：

- 1 根据工程需要，进行地下水回灌；
- 2 具备施工用水条件时，宜优先用于工地施工用水；
- 3 对利用后的剩余部分，可用于车辆的洗刷、降尘、浇灌、环境卫生等。

8 地下水控制工程监测

8.1 一般规定

8.1.1 应对地下水控制效果及其对周边环境的影响进行现场监测，监测内容应包括水质、水量、含砂量、水位、沉降变形等方面，监测资料应及时整理。

8.1.2 地下水控制监测实施前应根据工程的具体情况和实际需要，编制监测方案。监测方案应包括工程概况、监测依据、监测目的、监测项目、监测报警值、监测方法及精度要求、监测点的布置、监测周期、工序管理和记录制度、信息反馈系统等。

8.1.3 监测应在工程降水或回灌前开始，终止时间应根据工程需要确定。监测频率应根据施工进度确定。当监测数据达到报警值时应加密监测次数，同时应及时分析原因，并采取切实可行的补救、预防措施，确保工程和环境安全。

8.1.4 监测测量仪器设备的精度应满足相关规范要求，并应定期进行计量检定。

8.2 水质监测

8.2.1 地下水已遭受污染或邻近污染源且具有潜在污染危险的应进行地下水水质监测。

8.2.2 水质监测分析项目可根据工程场区环境条件、污染源特征综合确定。

8.2.3 监测取样应符合下列规定：

- 1 取样点宜均匀分布；

- 2 严重污染地段或临近污染源方向应加密取样点；
 - 3 不同类型的地下水宜分别取样。
- 8.2.4 取样频次、方法及检验应按现行行业标准《地下水环境监测技术规范》HJ/T 164的相关要求执行。
- 8.2.5 当水质监测过程中发现水质变化等异常情况时，应及时反馈。
- 8.2.6 应定期采取回灌水水样进行水质分析。回灌水质不符合设计要求和国家有关规定时，应及时采取控制措施。

8.3 水量及含砂量监测

- 8.3.1 水量监测应符合下列要求：
- 1 出水量监测应监测每个降水井的出水量；回灌量监测包括回灌井的回灌量和渗水池的入渗量；
 - 2 水量监测设备应满足相应精度要求，宜采用自动流量监测仪，其监测精度不应低于 0.1m^3 ，累计统计值应精确至 1m^3 ；
 - 3 监测过程中发现流量表数据异常时应及时采取处理措施。
- 8.3.2 对施工降水水量及回灌井或渗水池水量的监测，应每天一次。
- 8.3.3 水量监测过程中应对出水量监测数据和降水运行情况进行专项记录，及时绘制地下水水位降深曲线、出水量曲线，分析地下水位变化与出水量的关系；应在保证地下水位控制要求的前提下，及时对抽水量进行调整，以减少对地下水的抽取。
- 8.3.4 对回灌工程实施监测时，应同步测量回灌井与监测井井内水位和回灌水量。
- 8.3.5 回灌水量可通过安装在回灌井上的回灌水计量装置进行监测。

8.3.6 在降水工程运行时，应对抽取的地下水的含砂量进行监测。

8.3.7 降水工程运行期间应根据工程条件、含水层的特征及工程周边环境综合确定含砂量的监测频率。

8.3.8 监测过程中出水量、含砂量发生突然变化或含砂量超过本规范第6.3.12条的规定时，应及时反馈。

8.4 水位监测

8.4.1 水位监测范围应根据对周边环境影响评价结果确定。

8.4.2 水位监测点布置应符合下列要求：

1 应反映场区地下水位的实际状态和地下水控制工程对环境的影响；

2 宜沿与地下水流向平行及垂直方向布置监测断面，每断面监测点数量不少于3个；

3 应布置在被保护对象周边，且应离开被保护对象一定距离，间距宜为15m~30m；

4 有地表水源时，可根据地表水与地下水的连通程度加密监测点；

5 有多层地下水时，应分层布置监测点。

8.4.3 设置截水帷幕的，应同步观测帷幕内外水位变化。

8.4.4 实施回灌的地下水控制工程，当采用管井回灌时，监测井应布置在回灌井中间或回灌井与被保护对象之间；监测井与回灌井的距离宜大于6m，且与被保护对象保持一定距离。

8.4.5 地下水位监测点成井后宜进行透水灵敏度试验。

8.4.6 地下水位监测应符合下列要求：

1 监测井口应设置观测位置固定标志，并测量其高程；

2 可采用电测水位计或自动测试水位计等进行量测，监测

精度为 $\pm 10\text{mm}$;

3 水位观测应在降水或回灌前一周开始,逐日连续观测水位,取至少3天稳定值的平均值作为初始值;

4 降水(回灌)开始后,在水位未达到设计控制水位前,对观测点应每天观测一次,达到设计控制水位后可每2d~5d观测1次,直至变形影响稳定或降水(回灌)结束为止。

8.4.7 降水工程的降水井兼作监测井时,应对降水井的水位、水量、含砂量等进行同步监测。

8.4.8 在地下水控制期间应对降水井、回灌井、水位监测井、帷幕等的运行状态及工程周边环境进行巡视检查。

8.4.9 当监测数据超过预警值时,应及时报警。

8.5 地面沉降监测

8.5.1 监测基准点应设置在地下水控制工程影响范围之外,且不应少于3个。监测点应设立在能反映监测体变形特征的位置或监测断面上。

8.5.2 基准点、工作基点和变形监测点的布设应满足现行国家和行业标准的有关规定。监测点应妥善保管,当监测点失效或被破坏时,应及时补充。

8.5.3 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。

8.5.4 沉降监测应在降水前测得初值,并按现行国家和行业标准确定等级、精度、监测周期和频率。

8.5.5 沉降监测数据应及时检查整理分析。当沉降或变形达到报警值时应及时报警,并加密监测频次。

9 技术文件

9.1 一般规定

9.1.1 地下水控制工程应在相关阶段性工作结束后，根据实际需要提交相应的技术文件。包括文字报告并附有关图表。

9.1.2 根据工程复杂程度以及当地技术资料归档要求，可分别提交相应的工程水文地质勘察资料、现场水文地质试验资料、地下水控制工程设计文件、地下水控制工程施工方案、地下水控制工程监测总结等。

9.1.3 地下水控制工程技术文件资料应做到内容全面、完整，数据准确、可靠，文字简明扼要，图表清晰、美观，术语标准、规范，符合法定计量单位。

9.2 工程竣工报告

9.2.1 地下水控制工程竣工后，应编写《地下水控制工程竣工报告》。工程竣工报告应包括检测、监测及验收资料。

9.2.2 竣工报告文字部分内容应符合下列要求：

1 前言应包括场地位置、工程规模、技术要求、研究程度、地下水控制规模、地下水控制方案简介、人力设备和工期；

2 场地施工条件应阐述场地与邻地关系、地下设施情况、给水、排水、电力及交通条件等；

3 水文、工程地质条件应包括：水文气象、地形地貌、地质构造、地层岩性，含水层、隔水层分布；地下水类型、地表水分布特征；地下水的水位变幅、补给、径流、排泄关系等；

4 抽、注水试验应包括试验设计和试验成果；

5 地下水控制方案应包括水文地质参数与工程参数，设计方案（包括周边条件和地方法规的限制规定，地下水控制布置与工程量），降水措施（包括预测计算总抽水量和抽水引起的附加沉降影响），主要计算过程、实测数据统计资料；

6 地下水控制施工应包括施工组织、施工方法及完成情况、工程措施、存在问题；

7 地下水控制监测与维护情况；

8 工程环境保护评价；

9 结论与建议。

9.2.3 工程竣工报告应附下列图表：

1 地下水控制工程竣工图；

2 综合与典型地质剖面图；

3 施工前后的地下水水位等值线图；

4 工程量统计表；

5 降水工程水位水量统计表；

6 监测总结；

7 工程需要的其它图表。

附录A 水文地质钻探与成井技术要点

A.0.1 水文地质钻孔施工宜采用清水或易于洗孔的泥浆作为冲洗液钻进。

A.0.2 钻探应取芯钻进，岩芯采取率应逐回次计算，并应符合表A.0.2的规定。

表A.0.2 岩芯采取率

岩土层		岩芯采取率(%)	备 注
粘土层		≥90	对于需要重点研究的破碎带等，应根据工程技术要求适当提高取芯率，并宜定向连续取芯
粉土、砂土层	地下水位以上	≥80	
	地下水位以下	≥70	
碎石土层		≥50	
完整岩层		≥80	
破碎岩层		≥65	

A.0.3 岩芯编录应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021的有关规定。

A.0.4 钻进过程中应观测和记录涌（漏）水、掉块、塌孔、缩（扩）径、涌砂、掉钻等现象发生的层位和深度，测量涌（漏）水量和冲洗液消耗量。

A.0.5 对于初见水位和稳定水位，可在钻孔内直接量测；对工程有影响的多层含水层的水位测量，应采取分层隔水措施，将被测含水层与其他含水层隔离。

A.0.6 垂直钻孔的垂直度应每50m量测一次，每100m的允许偏差为±1°。

A.0.7 勘探孔成井前应对孔深、孔径进行测量校正；采用泥浆护壁的钻孔（井），成井前应进行有效地破壁换浆处理。

A.0.8 成井过滤器应符合下列规定：

- 1 试验井过滤器长度宜与揭露的含水层厚度一致；
- 2 观测孔过滤器长度不宜小于揭露含水层的1/3；
- 3 过滤器孔隙率应根据含水层颗粒级配确定；
- 4 过滤器下入钻孔时应对准含水层位置；
- 5 过滤器的下端应设置管底封闭的沉淀管，其长度不宜小于1m。

A.0.9 分层抽（注）水试验井和分层水位观测孔，必须严格止水，并检查止水效果。

A.0.10 试验井和观测孔成井后应及时进行洗井，洗井方法可根据钻进工艺、含水层岩性确定。

A.0.11 勘探孔除留作地下水控制的降水井或观测孔外，均应进行封孔，封孔方法宜结合水文地质条件和可能的地下水控制方式确定。

附录B 水文地质现场试验技术要点

B.1 抽水试验

B.1.1 抽水试验适用于确定场地岩土含水层的渗透性能。通过试验数据分析计算地下水参数。

B.1.2 试验井钻探应符合附录A有关规定；试验井构造及施工应符合本规范6.2.18、6.3.6、6.3.7款的要求。

B.1.3 抽水试验方法应符合下列要求：

- 1 抽水试验应在洗井结束且洗井质量已达规定要求后进行；
- 2 抽水试验方法应根据工程需要按表B.1.3选用：

表B.1.3 抽水试验方法和应用范围

试验方法	应用范围
简易抽水	粗略估算弱透水层的渗透系数
不带观测孔抽水	初步测定含水层的渗透性参数
带观测孔抽水	较准确测定含水层的各种参数
群孔抽水	较准确测定各含水层的各种参数，取得在相互影响条件下群孔的总涌水量和井群降落漏斗中水位降深值的资料以及对周边环境的影响监测和评价等

3 场地存在两个或两个以上含水层需分别进行水文地质评价时，应进行分层抽水试验；

4 对中等或复杂场地宜采用完整井抽水试验，简单场地或当含水层厚度较大且为均质地层时，可进行非完整井抽水试验；

5 抽水试验宜进行三次降深，其中最大降水深度应接近工程设计所需的地下水位降深；

6 应同时观测抽水孔的出水量和动水水位以及观测孔中水位，抽水试验的动水位观测应采用同一方法和工具，观测时间应符合下列规定：

- 1) 稳定流抽水，宜在开抽后第5min、10min、15min、20min、25min、30min、60min各测一次，以后每隔30或60min测一次，直至结束；
- 2) 非稳定流抽水，动水位观测宜在1min、2min、3min、4min、6min、8min、10min、15min、20min、25min、30min、40min、50min、60min、80min、100min、120min各测一次，以后每隔30min测一次，直至结束。

7 抽水试验结束后应观测抽水孔、观测孔的恢复水位。水位观测宜在停抽后第1min、3min、5min、10min、15min、30min、60min各测一次，以后每60min测一次，直至连续3次观测数据一致时，可停止观测；受潮汐影响和区域自然水位变化影响的水位观测，计算水位时应消除影响值。

B.1.4 抽水试验的稳定标准：

1 抽水试验的稳定延续时间卵石、圆砾和粗砂含水层为8h，中砂、细砂和粉砂含水层为16h，基岩含水层（带）为24h。

2 在抽水稳定延续时间内，当抽水孔涌水量和动水位与时间关系曲线只在一定范围内波动，而没有持续上升或下降的趋势；

3 在抽水稳定延续时间内，抽水孔水位波动值不超过水位降低值的1%；当降深小于10m时，水位波动不应超过50mm（用空压机抽水时，水位波动不超过100mm~150mm）；观测孔水位波动值不应超过20mm~30mm；

4 涌水量波动值不超过正常流量的5%；当涌水量很小时，可适当放宽；

5 当抽水孔和观测孔的水位与区域地下水变化趋势及幅度

基本一致时, 可视为稳定;

6 滨海地区受潮汐影响的抽水孔, 孔内动水位与潮汐变化一致时, 可视为稳定;

7 多孔抽水时, 以最远观测孔的水位达到稳定为标准。

B.1.5 试验时, 应采取措施防止抽出的水回渗到抽水影响范围内的含水层中, 同时应进行监测, 避免抽水产生的环境问题。

B.1.6 试验结束后, 应检查原始记录, 并按下列要求绘制有关曲线:

1 对稳定流抽水试验, 应绘制 $s-t$ 、 $Q-t$ 和 $Q-s$ 或 $Q-\Delta h^2$ 关系曲线;

2 对非稳定流抽水试验, 应绘制 $s-\ln t$ 或 $\ln s-\ln t$ 关系曲线; 若为多孔抽水, 还应绘制 $s-\ln r$ 或 $s-\ln \frac{t}{r^2}$ 关系曲线;

3 有观测孔时, 应绘制主孔与观测孔水位下降历时曲线。

B.2 注水试验

B.2.1 注水试验适用于测定包气带非饱和岩土层的渗透性, 当地下水埋藏较深, 不便进行抽水试验或不能进行压水试验的风化破碎岩体断层破碎带等透水性较强的岩体时, 可采用注水试验测定其渗透性。包括试坑注水试验和钻孔注水试验。

B.2.2 试坑注水试验方法应符合下列要求:

1 在选定的位置试验时, 应确保试验土层的结构不被扰动;

2 单环法注水试验应将铁环压入坑底深度 150mm~200mm。双环法注水试验应确保双环同心, 并压入坑底深度 50mm~80mm, 在内环及内、外环之间铺厚度 20mm~30mm、粒径为 5mm~10mm 的砾石或碎石作为缓冲层;

3 双环注水试验开始前应在距试坑3m~5m处钻孔，并每隔200mm取样测其天然含水量，钻孔深度应大于注水试验时水的渗入深度；待试验结束后，应立即排出环内积水，在试坑中心钻一个同样深度的钻孔，每隔200mm取样测定其含水量，与试验前资料对比，以确定注水试验的渗入深度；

4 试验过程中，应分别向内环和内、外环之间注水，水深应达到10cm高度；试验时应保持100mm水头，其波动幅度不应大于5mm；

5 试验量测开始5次时间间隔宜为5min，以后每隔30min量测一次并至少量测6次，每次量测精度应达到0.1L；

6 当每隔30min量测一次的流量与最后2h内平均流量之差不大于10%时，可视为流量稳定，试验即可结束。

B.2.3 钻孔注水试验应符合下列规定：

1 成孔除应符合附录A有关规定外，试验段不应使用泥浆钻进；孔底沉淀物厚度不应大于100mm；应防止试验段岩土层被扰动；

2 注水试验前，应量测钻孔内的静止地下水位；

3 试验段止水可采用栓塞或套管脚粘土等止水方法，应保证止水可靠。对孔壁稳定性差的试验段宜采用花管护壁；同一试验段不宜跨越透水性相差悬殊的两种岩土层。对于均一岩土层，试验段长度不宜大于5m；

4 试验时，应向孔内注入清水，使套管中水位高出地下水位一定高度；

5 常水头注水试验应维持孔内水位保持不变，用流量计或者量筒量测注入水量；开始时每分钟量测一次；5min后，按5min间隔量测至30min；以后每隔30min量测一次，直至与最后2h平均流量之差不大于10%时，视为流量稳定，试验即可结束；

6 降水头注水试验停止注水后，宜按30s间隔观测孔内水位

至5min，再按1min间隔观测10min；以后可按（5~10）min间隔进行观测。注水水位完全消失后终止试验。

B.2.4 试验结束后，应检查原始记录，并绘制 $Q-t$ 曲线。钻孔降水头注水试验应绘制水位比 H_t/H_0 与时间 t 的关系图。

B.3 压水试验

B.3.1 压水试验适用于测定岩体的透水率。

B.3.2 钻孔压水试验宜随钻孔的加深，自上而下用单栓塞分段隔离进行。岩石完整、孔壁稳定的孔段，或者有必要单独进行试验的孔段，可采用双栓塞分段进行。

B.3.3 试段长度宜为5m。同一试段不宜跨越渗透性相差悬殊的岩层。相邻试段之间应互相衔接，不应漏段。当栓塞止水无效时，可将栓塞向上移动，但不宜超过上一试验段栓塞的位置。

B.3.4 试验钻孔应符合下列要求：

- 1 试验钻孔宜采用金刚石或硬质合金钻头清水回转钻进；
- 2 在距离压水试验钻孔10m以内布置有其他地质目的的钻孔时，应先完成压水试验钻孔；
- 3 钻至完整基岩后应下套管隔离覆盖层，套管接头不得漏水，管脚处应采取有效止水措施；
- 4 预定安置栓塞部位的孔壁应保证平直完整。

B.3.5 试验宜按三级压力、五个阶段（ $P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3 \rightarrow P_4 (=P_2) \rightarrow P_5 (=P_1)$ ， $P_1 < P_2 < P_3$ ）进行， P_1 、 P_2 、 P_3 三级压力宜分别为0.3MPa、0.6MPa和1.0MPa。

B.3.6 当试验段位于基岩面以下较浅或岩体较弱时，应适当降低压水试验压力。

B.3.7 试验压力宜按以下两种情况计算：

- 1 当用安设在与试段连通的测压管上的压力表测压时，试

验压力按下式计算：

$$P=P_p+P_z \quad (\text{B. 3. 7-1})$$

式中：

P ——试验压力 (MPa)；

P_p ——压力表指示压力 (MPa)；

P_z ——压力表中心至压力计算零线的水柱压力 (MPa)。

2 当用安设在进水管上的压力表测压时，试验压力按下式计算：

$$P=P_p+P_z-P_s \quad (\text{B. 3. 7-2})$$

式中：

P_s ——管路压力损失 (MPa)。

B.3.8 压力计算零线的确定应符合下列规定：

1 当地下水位在试段以下时，压力计算零线为通过试段中点的水平线；

2 当地下水位在试段之内时，压力计算零线为通过地下水位以上试段中点的水平线；

3 当地下水位在试段以上时，压力计算零线为地下水位线。

B.3.9 倾斜钻孔的水柱压力可采用下式计算：

$$P_z=P_z' \cdot \sin\alpha \quad (\text{B. 3. 9})$$

式中：

P_z' ——压力表中心至压力计算零线与钻孔中心线交点的倾斜水柱压力 (MPa)；

α ——钻孔倾角。

B.3.10 使用单管栓塞压水时，应扣除工作管路的压力损失。管

路压力损失可按以下两种情况确定:

1 当工作管内径一致, 且内壁粗糙度变化不大时, 管路压力损失可按式计算:

$$P_s = \lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (\text{B. 3. 10-1})$$

式中:

L ——管长 (m);

d ——管径 (内径) (m);

v ——水在管中的流速 (m/s);

g ——重力加速度 (m/s^2);

λ ——粗糙系数, 水在铁管中流动时 $\lambda = 2 \times 10^{-4} \sim 4 \times 10^{-4}$
在管中的流速 (MPa/m)。

2 当工作管内径不一致时, 管路压力损失应根据实测资料确定, 实测工作应符合下列规定:

- 1) 测试管路应为两套。两套管路的管径和钻杆总长度应相同, 但接头数应相差3副以上。每套管路的总长度不得小于40m;
- 2) 实测流量范围 (10~100) L/min, 测点应不少于15个, 分布均匀, 同时用流量表和水箱测定流量, 实测工作应重复1~2次, 以其平均值为计算值;
- 3) 在同一坐标纸上绘制两套管路的压力损失与流量关系曲线, 从图上量取各流量值相应的压力损失差 ΔP_s ;
- 4) 各种流量下每副接头的压力损失应按式计算

$$P_{sj} = \frac{\Delta P_s}{n} \quad (\text{B. 3. 10-2})$$

式中:

P_{sj} ——某流量下每副接头的压力损失 (MPa) ;

ΔP_s ——该流量下两套管路的压力损失之差 (MPa) ;

n ——两套管路接头数之差。

5) 从各种流量下管路总压力损失中减去接头的压力损失, 计算各种流量下每米钻杆的压力损失值;

6) 编制各种流量下每米钻杆及每副接头的压力损失图表。

B.3.11 压水试验方法应符合下列要求:

1 试验前应洗孔、观测水位, 正确安装栓塞、水泵和量测仪表;

2 准备工作完成后, 应先进行不少于20min的试压水, 其压力值应与正式压水时一致;

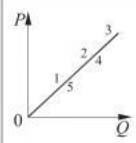
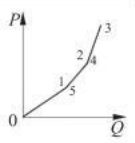
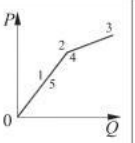
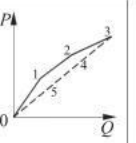
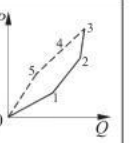
3 压水试验时, 试验压力应达到预定压力并保持稳定。每隔5min或10min观测一次压入流量。当压入流量无持续增大趋势, 且5次流量读数中最大与最小值之差小于最终值的10%, 或最大与最小值之差小于1.0L/min时, 本阶段试验即可结束, 最终流量读数作为计算流量。将试验压力调整到新的预定值, 重复上述试验过程, 直到完成该试段的试验;

4 在降压阶段, 如出现水由岩体向孔内回流的现象, 应记录回流情况, 待回流停止, 流量达到上述规定的要求后方可结束本阶段试验;

5 试验过程中, 应同时观测管外水位, 以判断栓塞的止水效果。还应对附近受影响的孔、井、泉等进行观测和记录。

B.3.12 试验结束后, 应检查原始记录, 绘制 $P-Q$ 曲线。并根据升压阶段 $P-Q$ 曲线的形状以及其与降压阶段 $P-Q$ 曲线之间的关系确定 $P-Q$ 曲线类型。

表 B.3.12 $P-Q$ 曲线类型及曲线特点

类型名称	A (层流) 型	B (紊流) 型	C (扩张) 型	D (冲蚀) 型	E (填充) 型
$P-Q$ 曲线					
曲线特点	升压曲线为通过原点的直线, 降压曲线与升压曲线基本重合	升压曲线凸向Q轴, 降压曲线与升压曲线基本重合	升压曲线凸向P轴, 降压曲线与升压曲线基本重合	升压曲线凸向P轴, 降压曲线与升压曲线不重合, 呈顺时针环状	升压曲线凸向Q轴, 降压曲线与升压曲线不重合, 呈逆时针环状

附录C 水文地质参数计算

C.1 抽水试验水文地质参数计算

C.1.1 稳定流完整井抽水试验可采用下列公式计算渗透系数:

1 承压完整井可按下列公式计算:

单孔抽水无观测孔:

$$k = \frac{Q}{2\pi Ms} \ln \frac{R}{r} \quad (\text{C. 1. 1-1})$$

有一个观测孔:

$$k = \frac{Q}{2\pi M (s - s_1)} \ln \frac{r_1}{r} \quad (\text{C. 1. 1-2})$$

有两个观测孔:

$$k = \frac{Q}{2\pi M (s_1 - s_2)} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (\text{C. 1. 1-3})$$

2 潜水完整井可按下列公式计算:

单孔抽水无观测孔:

$$k = \frac{Q}{\pi (2H - s) s} \ln \frac{R}{r} \quad (\text{C. 1. 1-4})$$

有一个观测孔:

$$k = \frac{Q}{\pi (2H - s - s_1) (s - s_1)} \ln \frac{r_1}{r} \quad (\text{C. 1. 1-5})$$

有两个观测孔：

$$k = \frac{Q}{\pi (2H - s_1 - s_2) (s_1 - s_2)} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (\text{C. 1. 1-6})$$

式中：

Q ——出水量 (m^3/d)；

s ——水位下降值 (m)；

R ——影响半径 (m)，宜通过试验确定，缺少试验时可按 C. 1. 2 计算；

r ——抽水孔半径 (m)；

M ——承压含水层厚度 (m)；

H ——潜水含水层厚度 (m)；

r_1 、 r_2 ——抽水孔至观测孔距离 (m)；

s_1 、 s_2 ——观测孔水位下降值 (m)。

C. 1. 2 抽水试验影响半径可按下列公式计算：

1 单孔抽水，无观测孔时可按下列公式计算：

潜水：

$$\ln R = \frac{\pi k (2H - s) s}{Q} + \ln r \quad (\text{C. 1. 2-1})$$

$$R = 2s\sqrt{Hk} \quad (\text{C. 1. 2-2})$$

承压水：

$$\ln R = \frac{2\pi k \cdot M \cdot s}{Q} + \ln r \quad (\text{C. 1. 2-3})$$

$$R = 10s\sqrt{k} \quad (\text{C. 1. 2-4})$$

2 单孔抽水，有一个观测孔时可按下列公式计算：

潜水：

$$\ln R = \frac{s(2H-s) \ln r_1 - s_1(2H-s_1) \ln r}{(s-s_1)(2H-s-s_1)} \quad (\text{C. 1. 2-5})$$

承压水：

$$\ln R = \frac{s \ln r_1 - s_1 \ln r}{s - s_1} \quad (\text{C. 1. 2-6})$$

3 单孔抽水，有两个观测孔时可按下列公式计算：

潜水：

$$\ln R = \frac{s_1(2H-s_1) \ln r_2 - s_2(2H-s_2) \ln r_1}{(s_1-s_2)(2H-s_1-s_2)} \quad (\text{C. 1. 2-7})$$

承压水：

$$\ln R = \frac{s_1 \ln r_2 - s_2 \ln r_1}{s_1 - s_2} \quad (\text{C. 1. 2-8})$$

式中符号意义同C. 1. 1。

C.2 注水试验水文地质参数计算

C.2.1 试坑注水试验可按下式计算渗透系数：

1 单环法：

$$k = \frac{Q}{A} \quad (\text{C. 2. 1-1})$$

式中：

k ——渗透系数 (m/d)；

Q ——稳定流量 (m^3/d) ;

A ——铁环底面积 (m^2) 。

2 双环法:

$$k = \frac{QS}{A_0 (Z + S + H_s)} \quad (\text{C. 2. 1-2})$$

式中:

A_0 ——内环渗水面积 (m^2) ;

Z ——内环中水头高度 (m) ;

H_s ——试验土层毛细压力值 (m) ;

S ——试验结束时水的渗入深度 (m) 。

表 C. 2. 1 试验土层毛细压力值 H_s

土层名称	H_s (m)	土层名称	H_s (m)
黏土	1. 0	细砂	0. 2
粉质黏土	0. 8	中砂	0. 1
粉土	0. 4~0. 6	粗砂	0. 05
粉砂	0. 3		

C.2.2 钻孔常水头注水试验可按下列公式计算渗透系数:

$$k = \frac{Q}{FH} \quad (\text{C. 2. 2})$$

式中:

k ——渗透系数 (cm/min) ;

Q ——稳定注水量 (cm^3/min) ;

H ——试验水头 (cm) ;

F ——形状系数, 可查相关手册取值。

C.2.3 钻孔降水头注水试验可按下列方法计算渗透系数:

$$k = \frac{\pi r^2}{F} \cdot \frac{\ln \frac{H_1}{H_2}}{t_1 - t_2} \quad (\text{C. 2. 3})$$

式中:

k ——渗透系数 (cm/min) ;

r ——工作管内径 (cm) ;

F ——形状系数, 可查相关手册取值;

H_1 、 H_2 ——观测时间 t_1 、 t_2 时的试验水头 (cm) 。

C.3 压水试验水文地质参数计算

C.3.1 试验段透水率计算可按下列公式计算:

$$q = \frac{Q_3}{L \cdot P_3} \quad (\text{C.3.1})$$

式中:

q ——试验段的透水率 (Lu) ;

Q_3 ——第三阶段的压入流量 (L/min) ;

P_3 ——第三阶段的试验压力 (MPa) ;

L ——试验段长度 (m) 。

C.3.2 当试验段位于地下水以下, 透水性较小 ($q < 10\text{Lu}$) ,
 P — Q 曲线为A (层流) 型时, 可按下列公式计算岩体渗透系数:

$$k = \frac{Q}{2\pi H L} \ln \frac{L}{r_0} \quad (\text{C.3.2})$$

式中:

k ——岩体渗透系数 (m/d) ;

Q ——压入流量 (m^3/d) ;

H ——试验水头 (m) ;

r_0 ——钻孔半径 (m) ;

L ——试验段长度 (m) 。

附录D 基坑涌水量计算

D.0.1 基坑涌水量计算应根据地下水类型、补给条件、降水井的完整性、以及布井方式等因素，合理选择计算公式。

D.0.2 圆形或长宽比小于20的矩形基坑，可按等效大井计算涌水量；基坑长宽比为20~50之间时，可按条形基坑计算涌水量公式；基坑长宽比大于50时，可按线状基坑计算涌水量。

D.0.3 等效大井的涌水量可按表D.0.3中的公式计算。

表D.0.3 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	$Q = \frac{\pi k (2H - s) s}{\ln \left(\frac{R}{r_0} + 1 \right)}$	Q ——基坑计算涌水量 (m^3/d)； k ——含水层的渗透系数 (m/d)； H ——潜水含水层厚度 (m)；
承压水完整井	$Q = \frac{2\pi k M s}{\ln \left(\frac{R}{r_0} + 1 \right)}$	H_0 ——承压含水层的初始水头； M ——承压水含水层厚度 (m)； s ——设计降水深度 (m)；
承压转无压完整井	$Q = \pi k \frac{2H_0 M - M^2 - h^2}{\ln \left(\frac{R}{r_0} + 1 \right)}$	R ——影响半径 (m)； h ——基坑动水位至含水层底板的距离 (m)；
潜水非完整井	$Q = \frac{\pi k (H^2 - \bar{h}^2)}{\ln \left(\frac{R}{r_0} + 1 \right) + \frac{\bar{h} - l}{l} \ln (1 + 0.2 \bar{h} / r_0)}$	$\bar{h}$ ——平均动水位 (m)，； $\bar{h} = (H + h) / 2$ l ——滤管有效工作部分长度 (m)； r_0 ——等效大井半径 (m)，可按 $r_0 = 0.565 \sqrt{F}$ ， F 为井点系统的围和面积 (m^2)。
承压非完整井	$Q = \frac{2\pi k M s}{\ln \left(\frac{R}{r_0} + 1 \right) + \frac{M - l}{l} \ln (1 + 0.2 \frac{M}{r_0})}$	

D.0.4 条形基坑涌水量按表D. 0. 4中的公式计算。

表D. 0. 4 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 完整井	$Q = \frac{Lk(2H-s)s}{R} + \frac{\pi k(2H-s)s}{\ln R - \ln \frac{B}{2}}$	L ——基坑长度 (m) B ——条形基坑宽度 (m) 其它符号见表D. 0. 3
承压水 完整井	$Q = \frac{2kMLs}{R} + \frac{2\pi kMs}{\ln R - \ln \frac{B}{2}}$	

D.0.5 线状基坑涌水量可按表D. 0. 5中的公式计算。

表D. 0. 5 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 完整井	$Q = \frac{kL(H^2 - h^2)}{R}$	见表D. 0. 3和表D. 0. 4
承压水 完整井	$Q = \frac{2kLMs}{R}$	

附录E 降水井单井出水量计算

E.0.1 真空井点的出水量可按 $(1.5 \sim 2.5) \text{ m}^3/\text{h}$ 选用。

E.0.2 喷射井点的出水量可按表E.0.2选用。

表E.0.2 喷射井点设计出水量

型 号	外管 直径 (mm)	岩土层		工作水 压力 (MPa)	工作水 流量 (m^3/d)	设计单 井出水 流量 (m^3/d)	适用含 水层渗 透系数 (m/d)
		喷嘴 直径(mm)	混合室 直径(mm)				
1.5型并列式	38	7	14	0.6~0.8	112.8 ~163.2	100.8 ~138.2	0.1~5.0
2.5型圆心式	68	7	14	0.6~0.8	110.4 ~148.8	103.2 ~138.2	0.1~5.0
5.0型圆心式	100	10	20	0.6~0.8	230.4	259.2 ~388.8	5.0 ~10.0
6.0型圆心式	162	19	40	0.6~0.8	720	600 ~720	10.0 ~20.0

E.0.3 管井的出水量可按下列方法确定。

1 不是圆周等距布置的一般工程的降水井，各单井的出水量计算公式为：

承压井：

$$q = \frac{2\pi kMs}{\ln \frac{R^n}{r_1 \cdot r_2 \cdots r_n}} \quad (\text{E.0.3-1})$$

潜水井：

$$q = \frac{\pi k (H_0^2 - h^2)}{\ln \frac{R^n}{r_1 \cdot r_2 \cdots r_n}} \quad (\text{E.0.3-2})$$

- 2 按圆周等距布置的降水井系统的单井出水量公式为：
承压井：

$$q = \frac{2\pi kMs}{\ln \frac{R^n}{n \cdot r_w \cdot r^{n-1}}} \quad (\text{E. 0. 3-3})$$

潜水井：

$$q = \frac{\pi k (H_0^2 - h^2)}{\ln \frac{R^n}{n \cdot r_w \cdot r^{n-1}}} \quad (\text{E. 0. 3-4})$$

式中：

q ——单井出水量 (m^3/d) ；

k ——含水层的渗透系数 (m/d) ；

r_w ——各降水井半径 (m) ；

s ——抽水井的计算降深值 (m) ；

n ——降水井点数；

$r_1, r_2, \dots, r_n$ ——各井点至基坑中心的距离 (m) 。

- 3 辐射井的出水量可按下列公式计算：

承压井：

$$q = \frac{2\pi kMs}{\ln \frac{R}{r_0}} \quad (\text{E. 0. 3-5})$$

潜水井：

$$q = \pi k \frac{H^2 - h_w^2}{\ln \frac{R}{r_0}} \quad (\text{E. 0. 3-6})$$

式中：

k ——含水层的渗透系数 (m/d) ；

s ——设计降水深度 (m) ；

M ——承压水含水层的厚度 (m) ;

H ——潜水含水层的厚度 (m) ;

h_w ——井中动水位 (m) ;

R ——影响半径 (m) ;

r_0 ——引用半径 (m) ; $r_0 = 0.25^{\frac{1}{n}} L$ 或 $r_0 = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$

n ——辐射管根数;

A ——辐射管控制面积 (m^2) 。

E.0.4 降水管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,按下式确定:

$$q' = 120\pi r l \sqrt[3]{k} \quad (E.0.4)$$

式中:

q' ——单井出水能力 (m^3/d) ;

r ——过滤器半径 (m) ;

l ——过滤器进水部分长度 (m) ;

k ——含水层渗透系数 (m/d) 。

附录F 过滤器类型

表F 过滤器类型

含水层性质		过滤器类型
基岩	岩层稳定	可不安装过滤器
	岩层稳定性差	钢管穿孔过滤器或钢筋骨架（缠丝）过滤器
	裂隙、溶洞有充填	穿孔（或骨架）过滤器、填砾过滤器
	裂隙、溶洞无充填	穿孔（或骨架）过滤器、不安装过滤器
碎石土类	$d_{20} < 2mm$	填砾过滤器、缠丝过滤器
	$d_{20} \geq 2mm$	钢筋骨架（缠丝）过滤器
砂土类	粗砂、中砂	填砾过滤器、缠丝过滤器
	细砂、粉砂	双层填砾过滤器、缠丝过滤器

附录G 系数 r' 值

表G 系数 r' 值

$\overline{r_M}$	$\overline{\rho}$	$\varphi=0$		$\varphi=\frac{\pi}{6}$		$\varphi=\frac{\pi}{4}$		$\varphi=\frac{\pi}{3}$		$\varphi=\frac{\pi}{2}$		$\varphi=\frac{2\pi}{3}$		$\varphi=\frac{3\pi}{4}$		$\varphi=\pi$	
		$\overline{r}$	r'	$\overline{r}$	r'	$\overline{r}$	r'	$\overline{r}$	r'	$\overline{r}$	r'	$\overline{r}$	r'	$\overline{r}$	r'	$\overline{r}$	r'
0.1	0.1	0.0	2.07	0.05	2.08	0.08	2.08	0.10	2.08	0.14	2.09	1.17	2.11	0.18	2.11	0.20	2.12
	0.3	0.2	1.95	0.21	1.96	0.24	1.97	0.26	1.98	0.31	2.01	0.36	2.04	0.38	2.06	0.40	2.07
	0.5	0.4	1.76	0.42	1.78	0.43	1.79	0.46	1.81	0.51	1.86	0.56	1.91	0.57	1.92	0.60	1.95
	0.7	0.6	1.53	0.61	1.55	0.63	1.56	0.66	1.59	0.71	1.65	0.75	1.71	0.77	1.73	0.80	1.76
	0.9	0.8	1.28	0.80	1.29	0.83	1.32	0.85	1.35	0.90	1.42	0.90	1.47	0.97	1.50	1.00	1.53
0.3	0.1	0.2	1.95	0.21	1.96	0.24	1.97	0.38	1.98	0.31	2.01	0.35	2.04	0.38	2.06	0.40	2.07
	0.3	0.0	1.76	0.15	1.79	0.23	1.81	0.30	1.85	0.42	1.95	0.52	2.03	0.55	2.06	0.60	2.11
	0.5	0.2	1.52	0.28	1.56	0.36	1.61	0.44	1.67	0.58	1.80	0.70	1.93	0.74	1.98	0.80	2.05
	0.7	0.4	1.25	0.46	1.31	0.53	1.37	0.61	1.45	0.76	1.62	0.89	1.77	0.94	1.83	1.00	1.92
	0.9	0.6	0.98	0.66	1.05	0.72	1.12	0.79	1.21	0.96	1.40	1.08	1.56	1.13	1.13	1.20	1.71
0.5	0.1	0.4	1.76	0.42	1.78	0.43	1.79	0.46	1.81	0.51	1.86	0.56	1.91	0.57	1.92	0.60	1.95
	0.3	0.2	1.52	0.28	1.56	0.36	1.61	0.44	1.67	0.58	1.80	0.70	1.93	0.74	1.98	0.80	2.05
	0.5	0.0	1.24	0.26	1.31	0.38	1.39	0.50	1.49	0.71	1.70	0.87	1.89	0.92	1.96	1.00	2.06
	0.7	0.2	0.95	0.37	1.05	0.49	1.16	0.62	1.28	0.86	1.55	1.04	1.77	1.10	1.86	1.20	1.97
	0.9	0.4	0.68	0.53	0.81	0.65	0.94	0.78	1.08	1.03	1.37	1.23	1.60	1.30	1.69	1.40	1.81
0.7	0.1	0.6	1.53	0.61	1.55	0.63	1.57	0.66	1.59	0.71	1.65	0.75	1.71	0.77	1.73	0.80	1.76
	0.3	0.4	1.25	0.46	1.31	0.53	1.37	0.61	1.45	0.76	1.62	0.89	1.77	0.94	1.83	1.00	1.92
	0.5	0.2	0.95	0.37	1.05	0.49	1.16	0.62	1.28	0.86	1.55	1.04	1.77	1.10	1.86	1.20	1.97
	0.7	0.0	0.66	0.36	0.81	0.54	0.97	0.70	1.23	0.99	1.44	1.21	1.70	1.29	1.80	1.40	1.93
	0.9	0.2	0.41	0.45	0.61	0.64	0.79	0.82	0.97	1.14	1.31	1.39	1.57	1.48	1.67	1.60	1.80

续 表 表G

$\overline{r_M}$	$\overline{\rho}$	$\varphi=0$		$\varphi=\frac{\pi}{6}$		$\varphi=\frac{\pi}{4}$		$\varphi=\frac{\pi}{3}$		$\varphi=\frac{\pi}{2}$		$\varphi=\frac{2\pi}{3}$		$\varphi=\frac{3\pi}{4}$		$\varphi=\pi$	
		$\overline{r}$	r'	$\overline{r}$	r'	$\overline{r}$	r'	$\overline{r}$	r'	$\overline{r}$	r'	$\overline{r}$	r'	$\overline{r}$	r'	$\overline{r}$	r'
0.9	0.1	0.8	1.28	0.81	1.29	0.83	1.32	0.85	1.35	0.90	1.42	0.90	1.47	0.97	1.50	1.00	1.53
	0.3	0.6	0.98	0.66	1.05	0.72	1.12	0.79	1.21	0.95	1.40	1.08	1.56	1.13	1.63	1.20	1.71
	0.5	0.4	0.68	0.53	0.81	0.65	0.94	0.78	1.08	1.03	1.37	1.23	1.60	1.30	1.69	1.40	1.81
	0.7	0.2	0.41	0.45	0.61	0.64	0.79	0.82	0.97	1.14	1.31	1.39	1.57	1.48	1.67	1.60	1.80
	0.9	0.0	0.18	0.47	0.47	0.69	0.66	0.90	0.87	1.27	1.21	1.58	1.48	1.66	1.58	1.80	1.70

附录H 隧道涌水量预测方法

H.0.1 当隧道通过潜水含水水体时,可用下列公式预测隧道最大涌水量。

1 古德曼经验式:

$$Q_0 = L \frac{2\pi \cdot k \cdot H}{\ln \frac{4H}{d}} \quad (\text{H. 0. 1-1})$$

式中:

Q_0 ——隧道通过含水水体地段的最大涌水量 (m^3/d);

k ——含水水体渗透系数 (m/d);

H ——静止水位至洞身横断面等价圆中心的距离 (m);

d ——洞身横断面等价圆直径 (m);

L ——隧道通过含水水体的长度 (m)。

2 佐藤邦明非稳定流式:

$$q_0 = \frac{2\pi \cdot m \cdot k \cdot h_2}{\ln \left[\tan \frac{\pi (2h_2 - r_0)}{4h_c} \cot \frac{\pi \cdot r_0}{4h_c} \right]} \quad (\text{H. 0. 1-2})$$

式中:

q_0 ——隧道通过含水水体地段的单位长度最大涌水量
[$\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$];

k ——含水水体渗透系数 (m/s);

m ——换算系数,一般取0.86;

h_2 ——静止水位至洞身横断面等价圆中心的距离 (m);

r_0 ——洞身横断面等价圆直径 (m);

h_c ——含水水体厚度 (m)。

H.0.2 当隧道通过潜水含水层时，可采用下列公式预测隧道正常涌水量。

1 裘布依理论公式：

$$Q_s = L \cdot k \frac{H^2 - h^2}{R_y - r} \quad (\text{H. 0. 2-1})$$

式中：

Q_s ——隧道正常涌水量 (m^3/d)；

k ——含水层渗透系数 (m/d)；

H ——洞底以上潜水含水层厚度 (m)；

h ——洞内排水沟假设水深（一般考虑水跃值） (m)；

R_y ——隧道涌水地段的引用补给半径 (m)；

L ——隧道通过含水层的长度 (m)。

2 佐藤邦明经验式：

$$q_s = q_0 - 0.584 \bar{\varepsilon} \cdot k \cdot r_0 \quad (\text{H. 0. 2-2})$$

式中：

q_s ——隧道单位长度正常涌水量 [$\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$]；

$\bar{\varepsilon}$ ——试验系数，一般取12.8；

r_0 ——洞底横断面的等价圆半径 (m)；

其他符号意义同式 (H. 0. 1-2)。

本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待，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”；

2) 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”；

3) 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”；表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 规范中指定应按其他有关标准、规范执行时，写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《岩土工程勘察规范》GB 50021
- 2 《供水水文地质勘察规范》GB 50027
- 3 《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497
- 4 《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202
- 5 《冶金工业岩土勘察原位测试规范》GB/T 50480
- 6 《地下水环境质量标准》GB/T 14848
- 7 《建筑地基处理技术规范》JGJ 79
- 8 《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120
- 9 《工程建设水文地质勘察标准》CECS 241
- 10 《建筑工程地质勘探与取样技术规程》JGJ/T 87
- 11 《渠式切割水泥土连续墙技术规程》JGJ/T 303
- 12 《地下水环境监测技术规范》HJ/T 164

山东省工程建设标准

工程建设地下水控制技术规范

DB37/T 5059—2016

条文说明

目 次

1 总 则	94
3 基本规定	95
4 水文地质勘察	97
4.1 一般规定	97
4.2 水文地质测绘	98
4.3 水文地质物探	99
4.4 水文地质钻探	99
4.5 水文地质试验	100
5 截水帷幕	102
5.1 一般规定	102
5.2 帷幕工法选择	103
5.3 帷幕设计	104
5.4 帷幕施工及检测	104
5.5 帷幕验收与维护	107
6 降（排）水	108
6.1 一般规定	108
6.2 降（排）水设计	108
6.3 降（排）水施工与检测	108
6.5 降水对环境的影响与预测	109
7 地下水回灌与利用	110
7.1 一般规定	110
7.2 回灌系统设计	112
7.3 回灌井施工与检测	115
7.4 回灌运行与维护	115
7.5 回灌工程风险管理	115

8 地下水控制工程监测..... 116

8.1 一般规定 116

8.2 水质监测 116

8.3 水量及含砂量监测 118

8.4 水位监测 119

8.5 地面沉降监测 122

1 总 则

1.0.1 山东省是农业、经济大省，也是水资源极度匮乏的省份之一。水资源紧缺已经成为制约山东省社会经济发展的瓶颈之一。保护水资源、保护环境是山东省“十三五”乃至今后相当长的时期内的重要任务之一。在工程项目建设施工过程中，常常会涉及到地下水问题，有的工程建设项目抽排大量的地下水，白白浪费了宝贵的水资源，殊为可惜。制订本规范的目的是要在确保工程建设顺利进行以及周边环境安全正常运行的前提下，最大限度地减小地下水水资源的浪费，保护地质环境，保护好水资源，以实际行动贯彻落实科学发展观。

1.0.2 水利、交通、铁路工程等尚应符合本行业相关技术规范标准。

1.0.3 工程建设项目中涉及到的地下水控制工程，首先要确保工程建设项目施工的顺利进行，同时要确保工程建设场地周边环境的安全可靠及正常运行。在此基础上，兼顾保护地下水资源和环境。为此，需要综合考虑各方面的因素，因地制宜，优化选择相应的技术方案和工程措施。

3 基本规定

3.0.1 工程建设项目中涉及到地下水问题时，不可避免地需要进行降排水工作，以便于工程建设项目施工的顺利进行。在这一过程中，除必须保护好周边环境以外，尚应保证不得污染地下水，并最大限度地减少地下水的抽排量。对于抽出的地下水，则应尽量加以综合利用或采取适当措施，回灌补充到原地下含水层，不得浪费、随意排放。

3.0.2 地下水控制工程是一项系统性工程，随着工程规模的不断加大，许多情况下单靠一种方法已经难以满足地下水控制要求，常常需要几种控制方法综合应用，以保证工程效果，达到地下水控制的目的。

3.0.3 对于比较简单的地下水控制工程，可以适当简化。

3.0.4、3.0.5 做好前期资料的调查和搜集工作是做好地下水控制工程的重要前提，必须认真重视。摸不清情况，找不到重点，犹如盲人瞎马，应当防止出现这种现象。

3.0.7 地下水对于工程建设的影响是综合性的，以基坑工程为例，维持坑外较高的地下水位会造成较高的水土压力，这对于基坑的安全稳定性是不利的；但反过来，降低坑外地下水位除抽排大量地下水外，也会引起坑外地面下沉问题及带来一系列不利影响。

为保护地下水资源和环境，本规范不提倡采用无帷幕状况下的直接降水方式。

地下水位变动不可避免地会对周围环境带来一定的影响，场地周边环境里的建构筑物、地下管线等对于地下水位变动的适应能力也不尽相同，设计者应根据实际情况依据相关规范或由权

威部门确定破坏及报警控制指标。

3.0.8 地下水控制工程属于隐蔽工程，地下情况变化较大，难免会有一些预料不到的情况，故应当制定详细的施工组织方案、应急预案等，以策安全。

在城市中，一些地下管线、地下设施等因年代久远，资料不一定保存完整，施工单位在开工前进行仔细的实地核验是必要的，有利于摸清情况，厘清责任。

3.0.11 地下水控制工程等级划分主要是考虑了破坏后果的严重性、对水资源的影响程度、地下水位的变化幅度以及场地的水文工程地质条件四个方面，四者之间既有联系，也互相影响，应注意综合考虑。有的地市限制工程建设项目的排水量，故列入了参考指标。地下水位变动幅度越大，影响范围越广，产生的问题越多，所以，将地下水位变动幅度列为考虑因素之一。

3.0.12 本规范对于地下水控制工程等级采用传统的三级划分，本条所列的六种情况均属于特殊条件下的工程建设问题，情况比较复杂且很难采用简单方式统一处理，需要专门研究，有针对性地采取不同的措施分别对待。故要求专门研究，按一级要求严格控制。

泉域保护敏感区、城市水源地附近、对变形敏感的重要建（构）筑物及地铁附近区域等均属于对水资源及环境保护有特殊要求的工程。

4 水文地质勘察

4.1 一般规定

4.1.1 水文地质条件和存在的水文地质问题是影响和决定工程安危和造价的重要因素，因此它是岩土工程问题评价的重要组成部分。对于小型的或水文地质条件简单的建设工程，水文地质勘察可在进行岩土工程勘察时一并进行，目前多数工程建设项目都是如此，水文地质勘察成果在岩土工程勘察报告中单列一章。对于大型的建设项目、水文地质条件复杂的建设项目或者有特殊要求的建设项目，应该根据需要，针对工程项目特点，进行专门的水文地质勘察。各阶段的勘察工作结束后，应将各项勘察资料及时整理，编制水文地质勘察报告或成果说明。

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

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

鼓励采用有成熟经验和科学依据的新技术、新工艺和新方

法，以不断提高勘察效率和水平。

4.1.3 工程建设水文地质勘察与工程地质勘察一样，都具有继承性，因此要搜集分析已有资料的同时，考虑到勘察是一种探索性工作，编制勘察纲要，进行现场踏勘，是非常必要的。

4.1.4 由于地下水对不同行业的工程建设的作用和影响程度不同，因此造成不同的工程建设对水文地质勘察的要求和侧重点不同，水文地质勘察应根据具体情况，合理确定具体的勘察内容和采取的勘察、测试手段。

4.1.5 地下水控制工程可能对地下水的补径排条件产生影响，甚至改变地下水的补径排条件，或对周边建筑物、区域的环境地质条件及环境产生影响，因此在地下水控制工程勘察前应了解在拟建工程中可能采用的地下水控制措施，并根据采用的地下水控制措施对环境可能产生的影响确定勘察范围。

4.2 水文地质测绘

4.2.1 水文地质测绘应根据工程建设规模和水文地质条件复杂程度决定是否单独进行，各阶段水文地质勘察宜在测绘后进行勘探。经过水文地质测绘，可以了解基本的地质情况和问题，以指导勘察工作的布置和水文试验位置的确定，从而提高水文地质工作的针对性。

4.2.2 为了查明工程区的水文地质条件，往往需要查清地下水的补给、径流、排泄条件，而工程建设用地范围内的测绘又往往解决不了这一问题，因此研究范围扩大至与项目相关的一个或多个完整的水文地质单元是必要的。

4.2.4 水文地质观测点可以与工程地质观测点合用，做到一点多用。观测点数和路线长度，应根据工程建设规模、水文地质条件复杂程度、重点研究问题和已有资料情况综合确定。

4.2.5—4.2.7 不同水文地质环境区域以及不同类型的工程建设场地，其水文地质测绘的内容与方法有所不同，测绘时应根据具体条件和工程要求因地制宜进行。其中水点调查是水文地质测绘的重要内容之一，水点包括人工水点和天然水点，人工水点如井、钻孔、矿坑（井）等，天然水点如泉、岩溶水点（暗河出入口、落水洞等）。通过水点调查可以较深入了解测绘范围内的水文地质条件和特征，对区域水文地质条件作出初步判断。

4.3 水文地质物探

4.3.1 水文地质物探是水文地质勘察的重要手段，是一种地面探测工作。通过物探可以定性或半定量反映地质、水文地质情况。与钻探结合，可以由点到面帮助我们全面分析场地的水文地质条件，同时也是指导钻探点布置的重要基础性工作。物探工作方法很多，有电法、磁法、重力法、超声波法、地质雷达等。

4.3.2 规定了物探方法应用的基本条件，主要是考虑自然条件对探测效果的影响。

4.3.3 物探方法不是万能的，这里规定了它可以探测的主要内容，实际工作中应根据具体工程要求和具体条件选用。

4.3.4 物探在地下水控制工程勘察中的运用，应根据勘察的目的（查赋水性、岩溶发育、覆盖层厚度，还是含水层的分布等）选用。物探手段在地下水控制工程中的运用应遵循物探指导，钻探验证的原则。

4.4 水文地质钻探

4.4.1 水文地质钻探应在调查、测绘和物探工作的基础上有针对性的进行，以尽量减少钻探工作量，提高工作效率。建设项目

类型和水文地质条件复杂程度的不同，导致勘探孔的布置差异很大，因此勘探孔的布置应以能查明勘探区的地质和水文地质条件，取得有关水文地质参数和地下水评价所需的资料为准。

勘探孔的布置应根据地下水控制工程等级确定，勘探孔数量也可按表1确定：

表1 地下水控制工程勘探孔数量表

地下水控制工程等级	勘探孔	抽(注)水试验井	观测孔
一级	>3	>3	>4
二级	2~3	2~3	2~4
三级	1	1	—

注：1 勘探孔可以利用符合要求的已有井、孔；

2 工程揭露含水层为岩溶含水层或构造破碎带时应取大值。

4.4.3 勘探孔孔径宜根据钻孔性质确定。

4.4.4 水文地质钻探主要是为了解岩土的水理特性，因此一般应采用套管护壁、以清水作为循环液的钻进方式，保证钻进过程中能分层量测地下水位和分层测定水文地质参数。

4.5 水文地质试验

4.5.1 水文地质试验是取得水文地质参数的主要手段，根据不同的试验目的和试验方法，本规范列出了部分常用方法，具体应用时可根据工程建设的具体要求选择。

抽水试验可以确定较准确的水文地质参数，是常用和主要的水文地质试验方法之一。当进行抽水试验有困难或对参数精度要求不高时，可采用钻孔注水试验，近似测定岩石的渗透系数。压水试验用于测定岩石的透水率。当需要测定特别岩石、致密岩石或埋藏很深处岩石的透水率时，应进行高压压水试验。

4.5.2 本规范中提供的试验方法及参数计算公式能基本满足常

见的水文地质试验要求，在本规范中没有涉及较复杂的试验方法，如弥散试验、连通试验等，如在特殊情况下需要进行此类水文地质试验可按其它相关规范或者工具书要求选用合适的试验方法。

水文地质试验与参数求取公式不限于本规范所列，鼓励采用新的水文地质试验方法与参数求取公式，但应根据方法的成熟度及地区适应性合理选用。

5 截水帷幕

5.1 一般规定

5.1.3 截水帷幕的分类方法较多，也可按构筑工法分类，划分为混凝土地下连续墙、钻孔咬合桩墙，多轴水泥土搅拌桩墙、等厚度水泥土连续墙以及高压喷射注浆法、压力灌浆法、冷冻法等截水帷幕。

5.1.4 由于种种原因而未完全闭合的截水帷幕可以通过增加回灌等辅助措施来保证其工程效果。

5.1.5 截水帷幕的深度和厚度应根据渗流分析计算结果确定，也可以根据当地工程经验确定，但均应确保地下水控制工程的安全可靠性。

5.1.6 对于面积较小的基坑工程，可以采用水平向截水帷幕进行封底处理；但当基坑面积较大时，水平封底可能就不够经济，需要考虑采取深井降压等其它辅助措施。

专门研究论证一般是由政府主管部门或其委托部门组织的专家评审。

5.1.7 承压水往往对工程影响较大，应认真对待。尤其是当承压水头较高时，应进行必要的稳定性验算。

5.1.10 截水帷幕的渗漏常导致灾难性后果，不合格的截水帷幕有时反不如没有帷幕，故规定应对帷幕截水效果进行检测验证。

5.1.11 城市地铁隧道等采用暗挖法施工的地下工程，通常可沿施工界限设置截水帷幕，采用超前小导管注浆法、长管棚等方法进行支护和堵水处理，也可采用水泥搅拌桩法、高压喷射注浆法、压力灌浆法等构筑截水帷幕。当采用压力灌浆法工艺构筑截

水帷幕时，由于相互搭接不明晰，其所构筑的截水帷幕实际渗透系数往往是不均匀的，分析计算时可采用综合渗透系数来表征。

5.2 帷幕工法选择

5.2.1 随着工程建设规模的不断增大，对于截水帷幕的技术要求也在不断提高。科学技术的不断进步，催生了许多新的工艺工法及专用设备，不可避免地也有一些工艺工法逐步被淘汰。在早期的工程实践中，我们经常用到粉喷桩、单轴深层搅拌桩、双轴深层搅拌桩工法来构筑截水帷幕，近年来的工程实践证明，其适用范围有限，截水帷幕效果较差，质量难以保障，已经逐步被市场所淘汰，故本规范不再列入。我省的工程实践经验表明：三轴深层搅拌桩法成墙质量比较可靠，实际效果较好，一些单位还进一步发展出多轴深层搅拌桩工法。故本规范保留多轴（含三轴）深层搅拌桩截水帷幕工法。

同时，地下水控制工程的难度越来越大，要求越来越高，原有的传统工艺工法已不能完全满足工程的新要求，市场的需求决定了必须开发引进新的工艺工法。一些新兴的截水帷幕施工工法，如渠式切割水泥土连续墙、铣槽深搅水泥土连续墙等，由于其具有良好可靠的隔水效果，同时其施工过程以自动化控制为主，人为因素影响较小，质量控制更加简易可靠，虽然尚未在山东省得到广泛应用，但国内已有较为充分的成功工程经验，为积极推广应用新技术，提高行业工程技术水平，保证工程质量，本规范加以提倡、推荐使用。

高压喷射注浆有单管法、双重管法、三重管法及多重管法之分，现在又有单高压与双高压法之别。用于构筑截水帷幕时多数采用三重管法。既可以选择旋喷法，也可以选择定喷或摆喷法。既可以单独设置，也可以与支护桩搭接联合布置。有经验时也可

以选择双高压法施工。该工法质量控制与地基岩土质条件和施工队伍的技术熟练程度密切相关，应注意其使用范围及可行性。在山东省以往一些较深的基坑工程实践中，教训颇多。故对于超深基坑，应慎重采用。

关于地下连续墙，我省已有少数工程采用。主要地是用于基坑支护，兼作截水帷幕。工程需要时，可参照现行规范执行。

5.2.2、5.2.3 表5.2.1所列之工法，除等厚水泥土连续墙工法之外，其余均为桩板搭接而成的帷幕墙体，由于先天的原因，容易形成冷缝或分叉，施工时必须保证一定的搭接长度以确保帷幕墙体止水防渗效果。有关规定可参见现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120及现行有关国家和行业技术标准的相关内容。这里不再重复。

多轴式水泥土深层搅拌桩的搭接长度一般是由设备本身决定的；工程需要时，可采用双排帷幕交错布置。

5.3 帷幕设计

以往的截水帷幕设计多数是依据工程经验而定，也取得了良好的效果。经验法存在一定的局限性，本节重点强调了理论计算分析的重要性，强调应在理论分析计算的基础上进行截水帷幕的设计，以体现理论对于实践的指导作用。

5.4 帷幕施工及检测

5.4.1 用于截水帷幕的多轴水泥土搅拌桩施工时，应采用“套接一孔法”施工工艺，以保证搭接效果。具体施工时，多数采用“两喷两搅”，也有的采用“两喷四搅”法，目的是为了确保帷幕的均匀完整性，保证隔水效果。

5.4.2 多轴水泥土搅拌桩是按幅施工的，桩间搭接长度由设备立轴间距决定，而设备的立轴间距是固定的，一般为200mm~250mm。垂直度误差控制在1/200以内基本可以保证不会出现分叉现象。

对于比较坚硬、密实的地基土层，可以采取预钻孔方法辅助施工。

多轴搅拌桩机设备的桩架重心较高，容易失稳翻倒，施工前须认真平整、夯实场地。

5.4.3 高喷施工应注意其连续性。因故停喷后，可在重新恢复施工前将喷头下放300mm~500mm，采取重叠搭接喷射处理后再继续向上提升及喷射灌浆，并应记录中断时间和深度。停机超过3h的，应对泵体输浆管路进行清洗后再继续施工。

5.4.4 检验方法可综合采用开挖检查、取芯（常规取芯或软取芯）、标准贯入试验、动力触探试验（触探击数N₁₀）等，具体由设计者确定。

施工过程中亦可采取冒浆体试块进行试验，以检测冒浆体试块的物理性能，作为判断强度参数的参考，冒浆体应选取喷射后期的（即水泥与土混合状态较接近地下实际混合状态的冒浆）。

5.4.5 渠式切割水泥土连续墙需采用专用设备施工，机械化、自动化程度均较高，帷幕深度大，成墙质量可靠性好，重要工程宜优先采用。也可以在帷幕墙体中插入型钢，构成基坑支护结构。由于墙体厚度均匀，型钢间距可任意调整，以满足支护要求。

渠式切割水泥土连续墙施工前需调平，机架垂直度应控制在1/300以内。因种种原因，无法连续施工时，应预留刀具养护空间，养护段长度不宜小于3m，刀具端部与原状土体边缘的距离不应小于500mm。养护段应保证切割液液面高度，但不得注入固化液。需要长时间养护时，尚应在切割液中添加外加剂或采取其它

技术措施，防止刀具无法再次启动。

渠式切割水泥土连续墙施工时，应在现场配置备用发电机组。

施工过程中应随时检查刀具的工作状态及刀头的磨损程度，及时维修、更换，并调整施工工艺参数。

有关规定可参见现行行业标准《渠式切割水泥土连续墙技术规程》JGJ/T 303及现行有关国家和行业技术标准的相关内容。

5.4.7 采用“硬铣工法”，有利于保证墙体质量。该工法的造价相对较高，主要用于帷幕墙深度比较大的情况，尤其是需要帷幕进入硬岩地层的条件下。结合我省的地质情况，建议采用双注浆模式施工工艺，目的是为了确保帷幕的均匀完整性，从而保证帷幕隔水效果。

5.4.9 灌浆工程的主要材料宜选取经常使用的灌浆材料，如：普通硅酸盐水泥，可以根据工程需要加入工业水玻璃（改性）、膨润土等外加剂；特殊情况下，也可选择超细水泥、TGRM特种水泥等材料，浆液使用前一般应对浆材的重点性能进行实验室试验与检测。

水玻璃单液浆和水泥-水玻璃双液浆均属于临时注浆堵水材料，不宜在永久性止水工程中使用。

超细水泥的比表面积应不小于 $8000\text{cm}^2/\text{g}$ 。

所有的灌浆孔均应按照序列编号，钻孔灌浆顺序应根据地质条件和设计要求确定，并采取分序跳双孔或多孔灌浆施工。

浆液配比应符合相关规范和设计要求。

采用双液灌浆时，必须使用带单向阀的浆液混合器，严禁用三通或者其他东西替代。

5.4.11 施工过程中，应确保钻机水平并使套管中心、摇管装置中心与桩中心保持在同一轴线上，应在相互垂直的方向上布置两台经纬仪检查复核垂直度，发现偏差及时纠正。

5.4.12 我省的地质条件比较复杂，钻孔咬合桩法可以代替地下连续墙且具有较高的性价比，可以进入比较坚硬的地层，有一定的优越性，关键是如何保证成桩的垂直度。为此，建议采用全套管回转钻进咬合施工法。

5.5 帷幕验收与维护

5.5.4 加强对截水帷幕在运行使用期间的维护是极为重要的，应予以重视。一旦出现帷幕渗漏现象，应及时按照规范规定处理，防止人为扩大事故影响，造成严重后果。

6 降（排）水

6.1 一般规定

6.1 降水工程要求包括降水范围、降水深度、降水时间、工程环境影响等；拟建工程周边环境资料包括相邻建（构）筑物平面位置及基础型式、地下管线及其它地下设施的分布位置、降水可能影响的范围及其需要保护的对象等。

6.2 降（排）水设计

6.2.5 井点管的最终位置包括井数、井深、井距，应根据降水场地的水位预测计算与降水方案优化确定。

6.2.10 目前过滤器类型较多，有骨架过滤器、填砾过滤器、缠丝过滤器或包网过滤器等。骨架过滤器可适用于不稳定岩层和 $d_{20} \geq 2\text{mm}$ 的卵砾石地层中；缠丝过滤器可用于不稳定岩层、碎（卵）石、砾石及中粗砂地层；填砾过滤器适用于有充填的岩溶破碎带、 $d_{20} < 2\text{mm}$ 的碎石类土及中粗砂地层；当含水层为稳定岩层时可不安过滤器。

6.3 降（排）水施工与检测

6.3.5 成孔钻进施工工艺有钻孔法、冲孔法或射水法等。合金钻头钻孔法适合于黏性土类和岩层；翼片钻头钻孔法适合于第四系地层和软岩；牙轮钻头钻孔法适合于岩层；冲击钻进适合于第四系地层。

6.5 降水对环境的影响与预测

6.5.6 根据降水对周边环境的影响程度，可采用以下措施进行风险控制：

- 1 采取分层、分片降水方案；
- 2 采取隔水和降水相结合的降水方案；
- 3 减少被保护对象的地下水位变化幅度；
- 4 降水井远离被保护对象；
- 5 采用合理施工方法避免或减少对被保护对象的危害；
- 6 在临近被保护对象一侧设置地下水回灌系统；
- 7 在厚度较大的粉细砂含水层中钻井施工，应采取护壁措施。

7 地下水回灌与利用

7.1 一般规定

7.1.1 降水不可避免地要造成周围地下水位的下降，造成地面沉降和周边建（构）筑物、地下结构因不均匀沉降而受到不同程度的损伤。为减少这类不利影响，可对保护区内采取回灌措施。

从保护地下水资源角度考虑，可以用回灌方法把抽取的地下水回灌至同层或异层含水层中。

无论从保护周边环境还是从节约水资源角度，地下水回灌都具有重要意义。

7.1.3 因地质条件复杂，并非所有的地层都适合回灌，影响施工降水回灌的条件有场地的水文地质条件、回灌水源的水质和水量、回灌方案的经济可行性等因素。

影响回灌的场地条件主要包括地表状况、地下水类型、土（岩）透水性能、地下水位和含水层厚度，这些因素在回灌工程时应重点考虑。

1 开展工程降水人工回灌，必须有合适的场地用于收集和处理用于回灌的水，还需要有一定的场地进行地下水回灌。主要考虑周围建（构）筑物的密度，工程场地与周围建（构）筑物间的距离及回灌工程和降水工程间的距离。场地选择合适与否，是决定地下水回灌工程成败的基础条件，只有获取完整的场地调查资料才能保证场地的正确选择和回灌工艺设计的合理性。

2 潜水和承压水在埋藏条件上的不同决定了其在接受补给时反应机理的本质性差异。前者表现为含水层孔隙的填充，后者则表现为含水层体积的膨胀，因而潜水较承压水易于回灌。高水

位的承压含水层更适用压力回灌。

3 砂、砾石、砂砾和碎石等，具有良好的渗透能力，含水层埋深适当的情况下，可以采用地面入渗法进行回灌，而地表下有不透水或微透水的沉积层，则需采取管井地下灌注工程。

4 由于补给水丘的存在，地下水位埋深对回灌入渗速率具有显著的影响，特别是对于工程降水中回灌工程而言，地下水位容易形成高水丘，减小地下水位与回灌水位的水头差，导致回灌工程往往达不到预期的效果。一般来说，地下水位与回灌水位之间的水头差越大，对于回灌越有利，但这种比例并不是线性关系：当水位较浅时，埋深变化对入渗速率的影响十分显著，水位较深时则不显著。

5 含水层是回灌的目标层，储水空间体积和水力传导能力都是影响回灌入渗速率的重要因素，回灌工程应选择具有足够储水空间和较好水力传导能力的目标层。足够的储水空间以保证回灌水源完全入渗为目标，含水层渗透性好能保证回灌水的迅速、有效扩散。

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

7.1.5 地下水回灌工作必须与环境保护工作密切相结合，在选择回灌水源时必须慎重考虑水源的水质。回灌水源一般是洁净的自来水或利用同一含水层中的地下水。

工程降水本身是从地下抽出，其水质相对较好，抽出的水经沉淀处理后方可用于回灌，避免堵塞回灌系统，降低回灌效率，甚至破坏回灌系统。

7.2 回灌系统设计

7.2.3 采用砂沟回灌时，地表土层应具有一定的渗透性，如砂土、碎石土、裂隙发育层等，并且应具有一定厚度。

管井优点是不受地形条件、地表弱透水层分布、地下水埋深等条件限制，并且占地少、水量浪费少。缺点是井管和含水层易被堵塞，对水质要求高，需专门的水处理设备、输配水系统和加压系统，工程投资和运转时管理费用较高。

对地下水位较高和透水性较差的含水层，采用压力回灌的效果较好。

7.2.4 管井回灌是工程中常用的回灌方法。回灌井与抽水井之间应保持一定距离，当距离过小时水流彼此干扰，透水通道易贯通，很难使水位恢复到天然水位附近；根据工程经验，当两者距离大于等于6m时，可保证良好的回灌效果。对于渗透性较强的粗砂、砾砂和碎石层，与降水井的距离应适当增加。

7.2.5 保护已有建（构）筑物和地下管线设置回灌井，主要是确保在被保护物周围地下水位没有大的变化，这就要求合理设置回灌井的位置和井的间距。一般而言，回灌井平面布置主要根据降水井和被保护物的位置确定，回灌井的数量应根据抽水井数量、降低地下水位影响范围和程度、回灌井的效用等综合确定。

7.2.6 降水井和回灌井作用的方向正好相反，在进行回灌水文地质计算时，所引用的计算公式与降水计算基本相同。但由于补充条件的不同，导致相同条件的降水井和回灌井的抽水量与回灌量有很大的不同。本规范依据回灌试验数据及收集的降水与回灌资料，总结后对场地水文地质参数进行修正，以使计算符合工程实际。

7.2.7 基坑降排水采取井点回灌措施时，回灌井的埋设深度应根据含水层深度和降水曲面的深度确定。

7.2.8 为保护已有建（构）筑物和地下管线进行的回灌，回灌水量应根据实际的地下水位的变化及时调节，既要防止回灌水量过大而渗入本工程场地影响施工，又要防止回灌水量过小，使地下水位失控影响回灌效果，因此，要求在工程场地附近设置一定数量的观测孔，定时进行观测和分析，以便及时调整回灌水量。

有时回灌后引起的地下水位升高可能造成如原地下水位以上土层湿陷或软化、已有地下室漏水等不良现象，为避免不必要的灾害产生，回灌后引起的水位不宜超过原水位标高。

对浅层承压水因其水头高且其含水层顶板埋深浅，其回灌压力的设置应受到严格的限制。

7.2.9 回灌井井管选择：

1 回灌井井管主要由井管（实管）、滤水管（花管）、沉淀管等组成；

2 井管材料有铸铁管、钢管、水泥管、塑料管等；

3 回灌井井管直径应根据回灌方式确定，宜为 $\phi 250\text{mm}\sim 325\text{mm}$ ；

4 压力回灌井滤水管，管外用 $\phi 6\text{mm}$ 钢筋焊作垫筋，然后用金属缠丝均匀缠在垫筋上，缠丝间隙在 $0.75\text{mm}\sim 1.0\text{mm}$ 之间；

7.2.10 自然回灌井结构

1 回灌井主要有单层滤水管和双层笼状滤水管2种结构，由井管（实管）、滤水管、沉淀管、填砂层和止水层等组成（图1）。

2 回灌井滤水管长度应根据场地的水文地质条件及回灌量的要求综合确定，有回灌试验资料的按实际取得的参数确定。

3 回灌井封井回填材料，应选用优质黏土做成球（块）状，大小宜为 $20\text{mm}\sim 30\text{mm}$ ，并应在半干（硬塑或可塑）状态下缓慢填入。回灌井回填后，应灌水检查封井效果。

7.2.11 压力回灌系统

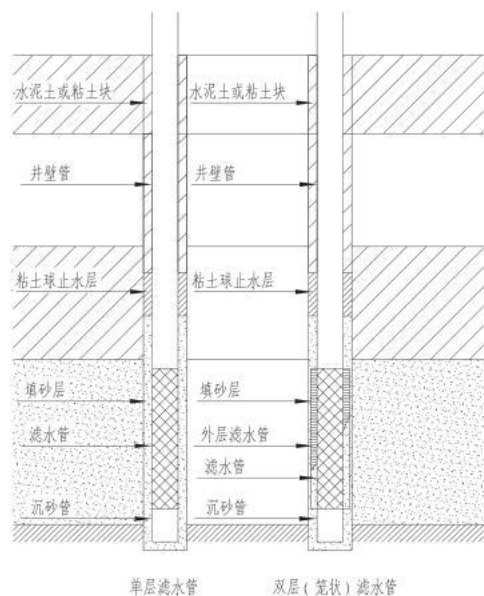


图1 压力回灌井管井构造示意图

1 压力回灌井的滤管因承受较大的回灌压力，滤管宜采用无缝钢管，钢管壁厚可根据回灌压力计算确定；

2 为保证压力回灌过程中管井的密闭性压力回灌井顶部的止水封闭层上部的封堵材料可根据当地经验确定，封井厚度可根据回灌压力计算确定；

3 加压回灌井井管施工结束至开始回灌，应至少有（2~3）周的时间间隔，以保证井管周围止水封闭层充分密实，防止回灌水沿井管周围向上反渗。

4 回灌过程中管井的密闭性对回灌效果有较大影响，在确保封井效果的同时，加压设备应具有稳压调节控制的功能。

7.2.14 在工程场地外边缘至被保护区之间采取砂沟回灌，是一种简易而有效的回灌措施。砂沟底应坐落在透水性较好的土层中，砂沟内填入纯净中粗砂。沿地沟可按一定间距布设回灌砂

井，与砂沟联合回灌。将回灌水适时适量地注入地沟内，渗入地下，从而保证保护区地下水位基本稳定。

7.3 回灌井施工与检测

7.3.1 回灌井滤料不均匀系数和含泥量均应保证回灌井有良好的透水性，使注入的水尽快向四周渗透。

回灌井常要穿透含水层，是地表或浅层劣质水进入含水层的直接通道，造成上部污水沿井管与孔壁间隙流入含水层。

7.4 回灌运行与维护

7.4.3 由于回灌设施的效率是回灌措施成败的关键，因此对回灌井的日常维护是施工过程中的重要工作。一方面，回灌用水要保持清洁，以防止堵塞，另一方面，应定期对回灌井进行回扬，清洗透水通道，保证回灌井的效率。

7.5 回灌工程风险管理

7.5.2 有时回灌后引起的地下水位升高可能造成不良现象，为避免不必要的灾害产生，回灌后引起的水位不宜超过原水位标高，因此，应在回灌井和被保护物之间设置一定数量的观测井，定时进行观测和分析，以便及时调整回灌水量。

8 地下水控制工程监测

8.1 一般规定

8.1.1 本条明确了地下水控制工程监测项目；一般项目是水质、水量、水位、变形，降水工程影响范围内没有地下管线及重要建（构）筑物时不需要进行地下管线及重要建（构）筑物的沉降和变形监测。

8.1.4 本条规定是监测工作能否正常开展的保证，也是计量法规的要求。根据监测仪器的自身特点、使用环境和使用频率等情况，在相对固定的周期内进行维护保养，有助于监测仪器状态完好，监测数据准确可靠。根据《中华人民共和国计量法》第二十二条的规定：“为社会提供公证数据的产品质量检验机构，必须经省级以上人民政府计量行政部门对其计量检定、测试的能力和可靠性考核合格”。

8.2 水质监测

8.2.1 地下水是一种有用的天然资源，是环境的重要组成部分。因此，环境的变化（如基坑降水等）会造成地下水状态、水质和水量的变化；相应地，地下水平衡的变化也会造成环境的变化。2015-01-01实施的《中华人民共和国环境保护法》第四条保护环境是国家的基本国策，规定“国家采取有利于节约和循环利用资源、保护和改善环境、促进人与自然和谐的经济、技术政策和措施，使经济社会发展与环境保护相协调”。因此保护地下水以防污染就显得非常重要，在地下水控制工程中进行地下水水质监

测是必须的。

8.2.2 水质分析项目较多，根据现行国家标准《地下水质量标准》GB/T 14848规定，地下水水质监测项目包括监测项目为：pH、氨氮、硝酸盐、亚硝酸盐、挥发性酚类、氰化物、砷、汞、铬（六价）、总硬度、铅、氟、镉、铁、锰、溶解性总固体、高锰酸盐指数、硫酸盐、氯化物、大肠菌群，以及反映本地区主要水质问题的其它项目。现行行业标准《地下水环境监测技术规范》HJ/T164把地下水常规监测项目分为必测项目和选测项目，必测项目包括pH值、总硬度、溶解性总固体、氨氮、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮、挥发性酚、总氰化物、高锰酸盐指数、氟化物、砷、汞、镉、六价铬、铁、锰、大肠菌群；选测项目包括色、嗅和味、浑浊度、氯化物、硫酸盐、碳酸氢盐、石油类、细菌总数、硒、铍、钡、镍、六六六、滴滴涕、总 α 放射性、总 β 放射性、铅、铜、锌、阴离子表面活性剂。

为此，确定水质分析项目时，可根据工程场区环境条件、污染源特征选取分析项目，做到既起到监测作用，又节约了经费。一般的说，第一次监测时，监测项目应全面一些，根据分析结果和工程场区环境条件、污染源特征选择出对环境水或地下水有影响的项目作为特殊项目，在后续的监测过程中，可采用必测项目+特殊项目的方式进行。

如存在海水入侵的工程可以通过氯离子等含量变化确定是否存在海水入侵的情况。

再如，济南源浩置业有限公司北大时代D—5地块建设项目位于济南市天桥区小清河以北、新黄路以南、顺河高架路以东，项目西侧距离济南裕兴化工有限责任公司原厂区较近，最近处约370m。因我国早期整体生产工艺简单且环保意识相对薄弱，裕兴化工厂（原厂区）内长达半个世纪的铬盐生产、铬渣堆放、产品原料运输等行为，使得厂区内及周边的土壤及地下水受到了较

为严重的铬污染。依据《济南裕兴化工有限责任公司原厂区场地环境风险评估报告》，场内地下水中六价铬检出率为65%，最大污染浓度为3704.72mg/L，远高出国家标准《地下水环境质量标准》GB/T14848中Ⅲ类标准的要求（0.05mg/L）。D—5地块建设项目施工期间基坑降水过程会造成局部地下水位下降，导致局部地下水流场发生变化，有可能使西侧裕兴化工原厂区所在地已受污染的地下水向本项目方向扩散，引起二次污染：（1）导致本项目基坑降水有可能超标，超标的废水如排入小清河后导致小清河水体超标；（2）有可能会引起项目区内土壤污染，被污染的土壤在施工期间挖出后，如果不能合理处置，将会引起新的污染。为此确定该项目监测重点为特殊项目，既监测水样中总铬、六价铬的含量。

8.2.3 应区分地下水类型，水质可能受影响的不同类型地下水应分别取样。

8.2.4 取样频次应考虑地层的渗透性能、水力梯度、地下水承载能力等因素综合确定，渗透性能差、水力梯度小、地下水承载能力较强的可以频次少些，反之应多一些。

取样要求主要是确保获取的水样具有代表性，且水质基本不发生变化，不影响监测效果。当取水样点为长期不用水井时，取水前应进行洗井，抽出的水量应大于孔内存水量的2.0倍以上；当含水层渗透性很强时，可直接从井孔中采取水样。

8.3 水量及含砂量监测

8.3.1 分别监测地下水的出水量和回灌量可以更好地分析地层的渗透性、降水和回灌对周边环境的影响，为地下水控制积累丰富的资料。监测设备可以根据水量大小和水流特点选取。

利用降水井进行水量观测时，每眼井均应装有流量计或自动

流量监测仪；通过汇水总管进行水量观测时，每个总管均应在出口段安装流量表或自动流量监测仪；对地下水回灌点均应安装流量表，记录回灌量；对渗水池入渗量观测，宜以水池中水位标尺读数近似计算或在进水管安装流量表进行观测；

当使用堰测法或板孔流量计进行水量观测时，固定标尺读数应精确到毫米，其换算单位流量值（L/S）应计算至小数点后两位。

8.3.3 地下水控制过程中，及时分析地下水位变化与出水量的关系，动态调节降水量，即达到降水目的，又减少水量开采，节约资源。

8.4 水位监测

8.4.1 地下水控制工程的水位主要指降水工程和回灌工程的水位监测。降水工程的监测范围一般不应小于降水影响半径，降水影响半径可以根据经验确定，也可以按照有关水文公式计算确定。但当降水影响半径较大时，监测范围较大，工作量较大，可适当缩小监测范围；监测范围应满足本规范第6.5条“地下水控制工程对环境的影响与预测”有关规定。工程经验和理论计算也可以看出，因降水对环境的影响或产生的工程问题一般都发生在降水曲线的陡降段，在其后的缓降段，因降深幅度小，且降深变化较小，产生的沉降较小或基本均匀，一般不易察觉或不对环境造成明显危害，因此适当缩小监测范围是可行的。

8.4.2 本条明确工程场地水位监测点的布置方式，用于监测分析工程场地外地下水位降落漏斗扩展范围及对环境影响的范围；沿着地下水流向和垂直流向的两个方向布置地下水位观测孔，有利于将同一时间的地下水位观测资料绘制成工程场地降水过程地下水水位下降漏斗的各种分析图件（如地下水等水位图、地下水降

深等值线图等)。由于场地条件的不同,监测点的数量可以有较大差别,但工程场地每侧壁布置一个是必须的,加之工程场地内水位监测点,一条测线要求布置不少于3个水位监测点是可行的,有条件或进行专题研究时可根据情况适当增加。

有多层地下水的场地,应根据基坑工程降水影响到哪一层,就观测哪一层的原则进行,如果承压水对基坑有影响,应观测减压效果。

8.4.3 有截水帷幕的,宜在帷幕两侧对称布置水位监测井,同步观测可以直观判断帷幕的效果。

8.4.4 在软土地区或湿陷性黄土地区,当监测井距离被保护建筑较近时,软土中成井也可能造成对邻近建筑的沉降;特别是水位变幅过大,监测井兼做回灌井时,回灌水位的上升可能造成湿陷性黄土的性质发生改变,从而对邻近建筑产生不良影响。

8.4.5 监测井透水灵敏度是监测成功的因素之一,在成井过程中因地层、成井工艺等因素可能造成监测井对地层水位变化不敏感,而起不到作用,因此进行透水灵敏度试验时必要的。现行行业标准《土石坝安全监测技术规范》SL 551中灵敏度试验:“试验前先测定管中水位,然后向管内注清水。若进水段周围为砂砾料,注水量相当于每米测压管容积的(5~10)倍。注水后不断观测水位,直到恢复或接近注水前的水位。对于粘性土,注入水位在五昼夜内降至原水位为灵敏度合格;对于砂砾土,(1~2)h降至原来水位或注水后水位升高不到3m~5m为合格”。

工程场地内应根据场地地质条件及水文地质条件制定符合工程的透水灵敏度值。可采用以下方法确定:利用经过充分洗井的降水井,特别是经过一段时间抽水的降水井,向井内注入灌水段1m井管容积的水,观测其水位复原时间,得到的时间可以作为判断水位监测孔的透水灵敏度标准值。

8.4.6 地下水位监测可采用人工法和自动化监测等方法进行量

测；现在可以实现远程时时监测，可进行水位、地下水水位监测的无线传输数据，在线查看、分析、处理数据。但哪种监测，均需定时连续进行观测，在由于机械故障或其他原因造成停泵、停工时，地下水位观测仍需要进行，并注明原因。

在降水井内实施地下水位监测时，为了防止降水井因侧壁渗水影响传感器而导致测量水位的错误，宜通过孔内设置水位管进行，静水位的观测井可不设置水位管。

8.4.7 地下水抽降期间，对降水井的水位、水量、含砂量等进行同步监测，可以判定降水井的工作状态是否正常，场区地下水的状态是否发生了改变。一般的说水位变高、出水量增加，说明地下水给水能力增强，应分析原因采取措施；如果降水井的出水浑浊度发生变化，出水由清变混或含砂量明显较多时，井壁土可能产生了渗透破坏，长时间运行，会造成塌陷或地面沉陷等灾害。

8.4.8 巡视检查的内容主要包括：

- 1 应指派专人对降水井、监测井的设施及井口固定点标志等进行经常性巡查和维护，设施一经损坏，必须及时修复。

- 2 定期测量降水井、监测井井深，当井内淤积物淤没滤水管或影响监测效果时，应及时清淤或换井。

- 3 巡查对象还包括地表与周边建（构）筑物、道路的裂缝及异常水渗漏等内容。

8.4.9 预警值按照地下水控制工程设定的数值控制。现行国家标准《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497规定了地下水位变化累计值为1000mm或变化速率为500mm/d即报警。回灌工程中，当回灌满足地下水控制要求时应通知相关人员停止回灌。

8.5 地面沉降监测

8.5.1、8.5.2 基准点不应受降水、开挖、工程施工、周边环境变化的影响，应设置于位移和变形影响范围以外、位置稳定、易于保存的地方，并应定期复测，以保证基准点的可靠性。