

北京市地方标准

DB

编号: DB11/ 1115-2014

备案号:

城市建设工程地下水控制技术规范

Technical Code for Groundwater Control

in Urban Construction Projects

2014-08-13 发布

2015-03-01 实施

北京市规划委员会

北京市质量技术监督局

联合发布

前 言

根据北京市规划委员会《北京市“十二五”时期城乡规划标准化工作规划》和北京市质量技术监督局《关于印发2013年北京市地方标准制修订项目计划的通知》（京质监标发〔2013〕136号）的要求，北京市勘察设计研究院有限公司、北京城建科技促进会会同相关单位经广泛调查研究，认真总结近年来北京市城市建设工程的实践经验，参考有关国内外相关标准和应用研究，在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

本规范共分10章和10个附录，主要技术内容包括：1.总则；2.术语与主要符号；3.基本规定；4.水文地质勘察；5.帷幕隔水；6.降水；7.污染场地地下水控制；8.既有建筑地下水控制；9.地下水回灌与抽排水综合利用；10.地下水控制工程监测。

本规范中第3.2.2条、第4.3.2条、第6.1.2条、第6.3.12条、第7.4.2条、第9.1.2条以黑体字标志的条文为强制性条文，必须严格执行。

本规范由北京市规划委员会归口管理，北京市勘察设计研究院有限公司负责具体技术内容解释工作。标准日常管理机构为北京市城乡规划标准化办公室。

本规范在执行过程中，请各单位结合工程实践，认真总结经验，如发现需要修改和补充之处，请将意见和建议寄至北京市勘察设计研究院有限公司（地址：北京市海淀区羊坊店路15号，邮政编码：100038，Email：bgi_geoenv@sina.com）。

北京市城乡规划标准化办公室电话：68017520，邮箱：bjbb3000@163.com。

本规范主编单位：北京市勘察设计研究院有限公司

北京城建科技促进会

本规范参编单位：北京市地质工程勘察院

北京地矿工程建设有限责任公司

北京禹冰水利勘测规划设计有限公司

北京建材地质工程公司

北京中铁瑞威基础工程有限公司

北京城建勘测设计研究院有限责任公司

中兵勘察设计研究院

北京市水利规划设计研究院

北京市公联公路联络线有限责任公司

本规范主要起草人：沈小克 孙保卫 周与诚 化建新 方继红 王 伟 王 坚

王军辉 丛蔼森 叶 锋 石维新 任汉锋 何世鸣 张 勇

张志林 张明中 张德萍 杨素春 沈来新 金 淮 赵 强

赵杰伟 唐建华 郭跃龙 黄溯航 彭 峰 谢达文 德 尚

本规范主要审查人：李广信 顾宝和 叶 超 孔 恒 丁爱中 闫德刚 周载阳

张钦喜 马永琪

目 次

1 总 则	1
2 术语与符号	2
2.1 术语	2
2.2 符号	4
3 基本规定	5
3.1 一般规定	5
3.2 地下水控制方法选择	7
3.3 地下水控制设计	8
4 水文地质勘察	10
4.1 一般规定	10
4.2 勘察方案设计	10
4.3 勘探、监测与试验	12
4.4 水文地质勘察评价与建议	16
5 帷幕隔水	18
5.1 一般规定	18
5.2 隔水帷幕设计	18
5.3 地下连续墙	21
5.4 桩间、桩后帷幕	22
5.5 注浆隔水	25
6 降水	28
6.1 一般规定	28
6.2 降水设计	28
6.3 降水施工	34
6.4 工程环境影响预测与风险控制	39
7 污染场地地下水控制	42

7.1	一般规定	42
7.2	污染场地地下水控制设计	42
7.3	污染场地地下水控制施工	43
7.4	污染场地地下水排放	43
8	既有建筑地下水控制	44
8.1	一般规定	44
8.2	既有建筑抗浮稳定性评价	44
8.3	帷幕隔水	45
8.4	排水减压	45
9	地下水回灌与抽排水综合利用	47
9.1	一般规定	47
9.2	防沉降地下水回灌	47
9.3	资源性地下水回灌	48
9.4	抽排水的综合利用	51
10	地下水控制工程监测	52
10.1	一般规定	52
10.2	水位监测	52
10.3	出水量、含砂量监测	53
10.4	水质监测	54
10.5	地面沉降监测	55
10.6	监测预警	55
10.7	监测成果	56
附录 A	水文地质参数计算方法	57
附录 B	基坑涌水量计算与数值模拟	60
附录 C	基坑隔水帷幕方法选择	68
附录 D	降水施工质量检验标准	70
附录 E	常用地下水预测模型	73

附录 F 水泥土试块渗透系数测试	79
附录 G 施工降水限量分区图	82
附录 H 建设工程地下水监测报表样表	84
附录 J 建设工程水量监测报表样表（水表法）	85
附录 K 建设工程地面沉降监测报表样表	86
本规范用词说明	87
引用标准名录	88
附：条文说明	89

Contents

1 General Provisions	1
2 Terms and Basic Symbols	2
2.1 Terms	2
2.2 Symbols	4
3 Basic Requirements	5
3.1 General Requirements	5
3.2 Selections of Groundwater Control Methods	7
3.2 Principles of Groundwater Control	8
4 Hydrogeological Investigation	10
4.1 General Requirements	10
4.2 Scheme Planning	10
4.3 Exploration, Monitoring and Test	12
4.4 Hydrogeological Evaluation and Proposals	16
5 Cut-off Walls	18
5.1 General Requirements	18
5.2 Design of Cut-off Walls	18
5.3 Underground Diaphragm Wall	21
5.4 Cut-off Wall Inbetween and Behind Soldier Piles	22
5.5 Grouting	25
6 Dewatering	28
6.1 General Requirements	28
6.2 Scheme Planning	28
6.3 Implementation of Planned Scheme	34

6.4	Prediction of Engineering Impacts on Environment and Risk Control	39
7	Groundwater Control of Contaminated Sites	42
7.1	General Requirements	42
7.2	Scheme Planning	42
7.3	Implementation of Planned Scheme	43
7.4	Discharge of Groundwater for Contaminated Sites	43
8	Groundwater Control of Existing Buildings	44
8.1	General Requirements	44
8.2	Evaluation of the Stability	44
8.3	Utilizing Cut-off Walls	45
8.4	Lowering Water Pressure through Drainage	45
9	Recharge and Comprehensive Utilization of Groundwater	47
9.1	General Requirements	47
9.2	Groundwater Recharge for Preventing Ground Subsidence	47
9.3	Groundwater Recharge for Water Resource Protection	48
9.4	Comprehensive Utilization of the Eextracted Groundwater	51
10	Monitoring in Groundwater Control	52
10.1	General Requirements	52
10.2	Monitoring of Groundwater Level	52
10.3	Monitoring of Water Flow and Sand Content	53
10.4	Monitoring of Water Quality	54
10.5	Monitoring of Ground Subsidence	55
10.6	Precautions Upon Monitoring	55
10.7	Monitoring Results	56
Appendix A	Calculation of Hydrogeological Parameters	57
Appendix B	Computation and Numerical Simulations of Pit Discharge	60
AppendixC	Selection of Cut-off Walls Engineering	68

Appendix D	Criteria of Quality Evaluation in Dewatering Construction	70
Appendix E	Commonly Used Models for Groundwater Prediction	73
Appendix F	Seepage Test of Cement-soil Sample Blocks	79
Appendix G	Zoning Map of the Limits to Engineering Dewatering Methods	82
Appendix H	Sample of the Report Form for Groundwater Monitoring	84
Appendix J	Sample of the Report Form for Flow Quantity Monitoring	
	(using water gauge)	85
Appendix K	Sample of the Report Form for Ground Subsidence Monitoring	86
	Explanation of Wordings in This Code	87
	Lists of Quoted Standards	88
	Addition: Explanation of Provisions	89

1 总则

1.0.1 为了在城市建设工程地下水控制中贯彻执行国家技术经济政策，保护地下水资源、保护环境，做到安全适用、技术先进、确保质量、经济合理，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于新建、改建、扩建的城市建设工程地下水控制的勘察、设计、施工、监测和既有建筑的抗浮。

1.0.3 城市建设工程应正确处理工程施工与保护环境和水资源的关系，选择合理的地下水控制方案，在保证建设工程安全的前提下减少或限制施工降水。确需进行施工降水的，尚应符合有关法规要求。

1.0.4 城市建设工程地下水控制除应符合本规范外，尚应符合国家现行有关标准和北京市地方标准的相关规定。

2 术语与符号

2.1 术语

2.1.1 地下水控制 groundwater control

为保证地下工程、基础工程的正常施工，减少对周边环境影响，保护地下水资源而采取的帷幕隔水、降水和地下水回灌等工程技术措施。

2.1.2 隔水帷幕 deaden water purdah

用以阻截或减少地下水流入施工区域内和控制施工区域外水环境状态的幕墙状的防渗墙或防渗体。

2.1.3 降水 dewatering

应用水文地质学原理，通过凿井、抽排水等工程措施，降低影响基坑工程施工的上层滞水、潜水、承压水含水层的地下水水位，满足建设工程的降水深度和时间要求，并对工程环境无危害性影响。

2.1.4 水文地质勘察 hydrogeological investigation

以开发控制地下水为目的而进行的水文地质测绘、地下水勘察、地下水动态观测、地下水资源评价及为合理开采和管理地下水而进行的试验、监测与分析研究等工作，运用各种勘探手段而进行的野外和室内水文地质工作。包括水文地质测绘、勘探、试验、地下水监测等工作。

2.1.5 单孔抽水试验 single well pumping test

不带观测孔，只在一个抽水孔中抽水并测量出水量与降深值的抽水试验。

2.1.6 多孔抽水试验 pumping test with multiple observation wells

除在一个钻孔中抽水和测量出水量与降深外，还在布置的观测孔中观测动水位的抽水试验。

2.1.7 群孔抽水试验 pumping test of well group

两个或两个以上的抽水孔同时抽水，各孔的水位及水量有明显相互影响的抽水试验。也称为干扰孔抽水试验。

2.1.8 长螺旋喷搅拌帷幕桩 long spiral jet mixing curtain pile

利用长螺旋钻机引孔至设计深度，反转上提或提钻后回填至设计标高，以专用钻头钻具一边搅拌一边喷射水泥浆等浆液至设计标高，相互咬合而形成的帷幕桩。

2.1.9 潜孔冲击旋喷桩 DTH percussion jet mixing pile

利用潜孔锤钻具冲击成孔和喷射浆液及气体切削、搅拌原状土而形成的柱状固结体。

2.1.10 注浆桩 grouting pile

采用注浆方法，使浆液由钻孔向周围原状土渗透而形成的柱状固结体。

2.1.11 注浆 grouting

利用配套的机具设备，采取合理的工艺，将浆液材料注入预先设计的工程对象，以实现止水的工程措施。

2.1.12 止浆墙 wall for grouting

在需要注浆的地段，预先构筑的能够承受最大注浆压力并防止向隧道中漏浆、跑浆的混凝土构筑物。

2.1.13 真空管井 vacuum tube well

由抽水和抽真空两套系统组成的密封的管井。

2.1.14 工程环境 engineering environment

地下水控制工程影响范围内既有建（构）筑物、基础设施（包括道路、地下设施、地下管线）、岩土体及地下水体等的统称。

2.1.15 地下水回灌 groundwater recharge

借助于工程措施，将水从外部注入地下含水层的过程。

2.1.16 污染场地 contaminated site

因堆积、储存、处理、处置或其他方式（如迁移）承载了有害物质的，对人体健康和环境产生危害或具有潜在风险的场地

2.2 符号

A ——降水井围成的面积；

A_r ——水平井控制面积；

a ——压力传导系数或井点间距；

B ——降水井围成的矩形宽度或渠道中水面宽度；

b ——帷幕的厚度；

E_s ——土的压缩模量；

H ——潜水含水层厚度或承压水头；

H_0 ——水面至渠底深度；

h_p ——坑底至承压含水层顶板的距离；

Δh ——基坑内外的水头差值；

Δh_i ——第 i 层土的厚度；

$[i]$ ——允许水力坡降；

k ——渗透系数；

K ——安全系数；

L ——降水井围成的矩形长度；

l ——帷幕进入隔水层的深度或水平井长度；

M ——承压水含水层的厚度；

n ——水平井根数或降水井数量；

Δp ——附加荷载；

Q ——注浆量或基坑涌水量；

q ——单井出水量或单个水平井出水量或渠道单位长度渗漏量；

R ——影响半径；

r_0 ——基坑等效半径；

S ——承压含水层的弹性释水系数；

s ——设计水位降深或计算点的总沉降量；

s_w ——抽水井（孔）的降深值；

T ——承压含水层导水系数；

t ——时间；

g ——土的重度；

g_w ——水的重度；

m ——潜水含水层的给水度；

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 地下水控制工程包括水文地质勘察、地下水控制设计、工程施工、工程监测与维护、验收等工作内容。

3.1.2 地下水控制应满足下列要求：

- 1 基坑支护、土方开挖、地下结构正常施工；
- 2 基坑或地下工程周边环境不受损害；
- 3 符合地下水资源保护法规规定。

3.1.3 根据地下水控制难度、对水资源影响程度和需要保护建（构）筑物等离基坑边的距离，按表 3.1.3 将地下水控制工程分为三个等级。

表 3.1.3 地下水控制工程等级划分

条件 等级	地下水控制难度		对地下水资源影响程度		需保护的 相邻建 (构)筑物 等位置
	水文地质条件	水头控制高度 (m)	基坑涌水量 (m³/d)	地下水环境	
一级	符合下列四种情形之一： 1.三层及以上含水层 2.含水层单层厚度>10m 3.含水层岩性为碎石土且厚度>5m 4.岩溶裂隙水	≥12	≥10000	污染场地中含水层含有对人体健康和环境有危害或潜在风险的有害物质	0~0.5 倍基坑深度范围
二级	符合下列两种情形之一： 1.双层含水层，且含水层岩性为砂土、单层厚度≤10m 2.含水层岩性为碎石土、厚度≤5m	6-12	3000-10000	各含水层水质差异大，且存在地下水质量差于 III 类的含水层	0.5~1 倍基坑深度范围
三级	单一含水层，且含水层岩性为粉土、粉砂	≤6	≤3000	—	大于 1 倍基坑深度

注：1 从一级开始，有五项中的一项（含一项）条件最先符合该级标准者，即可划分为该等级；

- 2 含水层层数指影响建设工程施工的所有含水层。
- 3 水头控制高度对于降水工程是指水位降低值，对于帷幕隔水是指帷幕内外水头差。
- 4 基坑涌水量指稳定流公式计算出的最大基坑涌水量。
- 5 地下水质量分类依据现行国家标准《地下水环境质量标准》GB/T 14848 分类标准确定。
- 6 需保护的相邻建（构）筑物等位置是指基坑周边需保护的相邻建（构）筑物或设施的平面投影离基坑开挖上口线的距离。
- 7 隧道工程可以根据需保护的相邻建（构）筑物等位置的规定条件。

3.1.4 水文地质勘察的内容和深度应根据地下水控制工程等级按表 3.1.4 确定。

表 3.1.4 水文地质勘察内容和工作深度

地下水控制工程等级	水文地质勘察内容和工作深度
一级	1.调查场地周边环境条件，确定工程环境限制要求；调查场地范围内上下水管线的漏水情况，并评价其对施工的可能影响； 2.查清场地含水层的分布规律及岩性、颗粒级配； 3.量测各层地下水的水位； 4.分析各层地下水的水质； 5.通过抽（注）水试验，计算各含水层的水文地质参数，评价场地周边含水层的情况和各含水层之间的水力联系，分析隔水层分布的连续性； 6.预测施工期间场地地下水位变化情况； 7.预测施工降水对地下水资源和水环境影响程度； 8.预测施工降水对周边环境的影响程度及应对措施； 9.建议地下水控制方案。
二级	1.调查场地周边环境条件，调查场地范围内上下水管线的漏水情况，并评价其对施工的可能影响。 2.查清场地含水层、隔水层的分布及岩性、颗粒级配； 3.量测各层地下水的水位； 4.分析各层地下水的水质； 5.通过抽（注）水试验确定各含水层的水文地质参数； 6.预测施工降水对地下水资源和水环境的影响； 7.预测施工降水对周边环境的影响程度； 8.建议地下水控制方案。
三级	1.调查场地范围内上下水管线的漏水情况。 2.了解场地含水层和隔水层的分布； 3.确定含水地层的地下水位； 4.根据经验和附近资料确定含水层的渗透系数，必要时可采用抽（注）水试验方法确定含水层的渗透系数； 5.预测施工降水对周边环境的影响； 6.建议地下水控制方案。

3.1.5 地下水控制设计应与基坑支护、地下工程开挖支护设计相结合后综合考虑。地下水控制设计和计算应满足下列要求：

- 1** 应根据场地条件、含水层岩性和地层组合关系等进行设计。
- 2** 通过各种技术措施减少地下水的抽取量，达到节水的目的。
- 3** 存在双层或多层地下水时，采用的地下水控制方法在工程施工期间和工程投入使用后不致引起地下水环境恶化。
- 4** 应满足支护结构设计要求。
- 5** 地下水控制方法不应造成区域地下水流场的长期改变。
- 6** 应保证降水影响范围内周边环境的安全。
- 7** 隔水帷幕不应因渗漏而引起土体流失；
- 8** 当场地周围有地表水径流、排泄或地下管涵渗漏时，应有采取截水、封堵、导流等措施

保证基坑工程安全。

9 满足基坑或地下工程施工的要求。

3.1.6 地下水控制工程实施前应编制施工方案、安全技术措施及应急预案。

3.1.7 地下水控制工程应采用信息化施工，定期观测和监测，及时反馈，必要时调整施工方案或采取其它工程措施。

3.1.8 降水井或回灌井、隔水帷幕施工完成后，应经过验收，满足地下水控制设计要求后方可进入运行与维护阶段。

3.2 地下水控制方法选择

3.2.1 地下水控制方法可选择帷幕隔水方法、降水方法和帷幕隔水与降水结合方法。明排、回灌、渗井不宜作为独立的地下水控制方法选用。地下水控制应优先选择帷幕隔水方法。

3.2.2 当采用降水方法时，应通过帷幕隔水方法不可行的论证。

3.2.3 选择地下水控制方法应考虑下列因素：

- 1 工程地质与水文地质条件；
- 2 基坑或地下工程支护方案；
- 3 基坑或地下工程周边环境条件；
- 4 施工条件；
- 5 市政排水条件；

3.2.4 符合下列条件之一时应选择帷幕隔水方法：

- 1 降水所产生的附加沉降或造成的细颗粒流失可能导致周边环境损害的；
- 2 潜水或承压水含水层底板位于基底标高之上的；
- 3 潜水或承压水水位高于基底标高，含水层底板位于基底标高之下深度不大于规定深度的；
- 4 潜水或承压水水位高于基底标高，且含水层底板位于基底标高之下深度大于规定深度，但可以通过工程手段在合理的造价和工期内实现帷幕隔水的；
- 5 地下工程位于含水层中，可以通过工程手段在合理的造价和工期内实现帷幕隔水的；
- 6 地下水含有对人体健康和环境危害或具有潜在风险的有害物质，且无配套水处理措施的；
- 7 按照现行法规规定，不符合降水条件的。

3.2.5 符合下列条件之一时可选择降水方法：

- 1 按照现行法规规定，符合降水条件的；
- 2 长度和直径比大于 100 且埋深不大于 10m 的市政管线基坑工程的；
- 3 隔水帷幕可能导致区域地下水流场的长期改变。

3.2.6 符合下列条件之一时可选择帷幕隔水与降水结合方法:

- 1 实施悬挂式帷幕的;
- 2 实施落底式帷幕,而基底可能发生突涌的。

3.2.7 当存在含水层水量较少且排水不影响侧壁稳定的条件,也可将明排作为一种独立的地下水控制措施设计使用。

3.2.8 对于采用降水方法或帷幕隔水与降水结合方法进行地下水控制的工程,当地面可能出现过大沉降或存在资源性地下水回灌条件时,应设置回灌系统。

3.2.9 渗井应与降水井联合布设,不应单独使用。降水结束后,应对渗井进行分层或全井注浆封填。

3.3 地下水控制设计

3.3.1 地下水控制设计应具备下列资料:

- 1 场地及其邻近区域的水文地质勘察资料;
- 2 基坑或地下工程支护方案;
- 3 基坑或地下工程周边建(构)筑物、地下管线分布及其变形控制要求等资料;
- 4 基坑或地下工程的工期安排;
- 5 有关水资源和环境保护的法规文件。

3.3.2 帷幕隔水设计内容包括:

- 1 设计依据;
- 2 隔水帷幕形式的技术比较与选择;
- 3 帷幕进入下卧隔水层深度和坑底抗突涌稳定性计算;
- 4 帷幕施工质量检验要求;
- 5 地下水位监测要求;
- 6 帷幕结构渗漏修复预案;
- 7 施工图。

3.3.3 降水设计内容包括:

- 1 设计依据;
- 2 降水型式的比较与选择;
- 3 水位降深计算、井数、井身结构设计和抽水设备能力的选择、抽水延续时间的估计;
- 4 降水井施工质量检验及井孔回填要求;
- 5 降水影响范围建(构)筑物及地面沉降、地下水位等监测要求;
- 6 环境影响评估;
- 7 论证帷幕隔水方法不可行;

8 水资源计量及综合利用措施；

9 应急预案；

10 施工图。

3.3.4 帷幕隔水与降水结合设计内容包括：

1 设计依据；

2 隔水帷幕、降水形式的技术比较与选择；

3 隔水帷幕入土深度和土层渗流稳定性计算、水位降深计算及井数、井身结构设计、抽水设备能力的选择、抽水延续时间的估计；

4 帷幕、降水井施工质量检验及井孔回填要求；

5 降水影响范围建（构）筑物及地面沉降、地下水位等监测要求；

6 环境影响评估；

7 论证帷幕隔水方法不可行；

8 水资源计量及综合利用措施；

9 应急预案；

10 施工图。

4 水文地质勘察

4.1 一般规定

4.1.1 水文地质勘察工作开始前，应明确勘察任务和要求，搜集分析现有资料，进行现场踏勘，编写勘察纲要。水文地质勘察结束后，对于地下水控制工程等级为一级或二级的水文地质勘察应编写水文地质勘察报告，对于地下水控制工程等级为三级的水文地质勘察可包含在岩土工程勘察报告的水文地质部分中。

4.1.2 城市建设工程场地水文地质勘察的内容和工作量应根据场地的岩土工程条件、降水设计和施工的技术要求确定，并符合本规范 3.1.4 条的要求。

4.2 勘察方案设计

4.2.1 水文地质勘察方案设计应在收集已有的水文气象、区域地质、水文地质、工程地质、环境地质、工程环境等资料基础上进行。

4.2.2 水文地质勘察方案设计应包括水文地质勘察孔、地下水观测孔和现场试验工作的布置原则、布置数量、深度，以及观测孔和抽水孔的过滤器结构、砾料规格和砾料厚度等。

4.2.3 水文地质勘察孔的设计应符合下列要求：

1 水文地质勘察孔应在充分分析可用岩土工程勘察资料的基础上进行布置，满足查明地下水控制范围内地层的平面分布和基础以下主要含水层埋藏深度的要求；

2 水文地质勘察孔的数量宜根据地下水控制工程等级和已有资料的丰富程度按表 4.2.3 确定。一个工程场地具体的水文地质勘察孔数量可在此基础上根据场地面积适当调整，但最少不应少于表 4.2.3 规定数量的 1/3；

表 4.2.3 水文地质勘察孔的数量表

地下水控制工程等级	已有资料丰富程度		
	丰富	一般	不丰富
三级	0	2	4
二级	2	4	6
一级	4	6	8

3 线状工程的水文地质勘察孔的数量宜在可用的岩土工程勘察钻孔的基础上满足每 500m 不少于 1 个孔；

4 水文地质勘察孔的深度宜大于 2 倍基坑深度，且满足穿过所揭露的含水层底板；

5 场地邻近地表水体时，应布置适量勘察孔确定地表水体与地下水的关系。

4.2.4 地下水观测孔的设计应符合下列要求：

1 地下水观测孔应主要设置于对基坑开挖有影响的含水层中；

2 地下水观测孔应分层设置，地下水观测孔的深度宜深入含水层中；

3 每个含水层的地下水观测孔数量宜按表 4.2.4 布置。一个工程场地具体的地下水观测孔

数量可在此基础上根据场地面积适当增减，但最少不应少于 1/3；

表 4.2.4 地下水观测孔的数量表

地下水控制工程等级	已有资料丰富程度		
	丰富	一般	不丰富
三级	0	1	2
二级	1	2	3
一级	3	4	5

4 线状工程的地下水位观测孔的数量宜为每 1000m 一组，且可与水文地质勘察孔结合；

5 在已确定地表水体与地下水存在关系时，应布置适量地下水观测孔监测地下水位随地表水体的变化关系；

6 地下水观测孔可利用抽水孔、抽水试验观测孔或专门设置，观测孔的结构应满足观测目的和要求；

7 观测孔的填砾规格和填砾厚度，宜根据含水层颗粒筛分数据确定，可按本规范第 6.3.5 条选用。

4.2.5 抽（注）水试验的设计应符合下列要求：

1 抽（注）水试验应针对地下水控制工程的需要布置。对于工程场地存在多个影响基坑工程的含水层，应分层进行抽水试验；

2 每个含水层的抽水试验数量宜通过综合分析判断后按表 4.2.5-1 确定。一个工程场地具体的抽水试验数量可在此基础上根据场地面积适当增减，但最少不应少于表 4.2.5-1 规定数量的 1/2；

表 4.2.5-1 抽水试验的数量表

地下水控制工程等级	周边 100m 范围内抽水试验资料	
	有	无
三级	0	1
二级	1	1~2
一级	1~2	2

3 跨越不同水文地质单元的线状工程，应在不同水文地质单元上进行抽水试验，每 1000m 宜进行一组抽水试验；

4 抽水试验方法可按表 4.2.5-2 确定。当含水层岩性为细砂、粉砂、粉土、粘性土，且含水层厚度不大，单孔或多孔抽水试验不可行时，可采用常水头注水试验或降水头注水试验。当含水层岩性为细砂及其以上，且含水层有一定厚度时可进行管井抽水试验；

表 4.2.5-2 抽水试验方法和应用范围

试验方法	应用范围
钻孔或探井简易抽（注）水试验	粗略估算弱透水层的渗透系数
单孔抽水试验	初步测定含水层的渗透性参数
多孔抽水试验	较准确测定含水层的各种参数
群孔抽水试验	较准确测定含水层的各种参数、取得在相互干扰条件下群孔

	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
--	---------------------------------------

5 进行管井抽水试验时，抽水孔的直径应不小于 200mm，抽水孔管材可为钢板卷管、无砂水泥管等，以满足对抽水孔洗井的要求；

6 应进行不少于 1 个水位降深的抽水试验，当含水层厚度较大或承压水头较高时，可进行 3 个不同水位降深的抽水试验；

7 抽水孔宜为完整井，当含水层厚度大于 15m 时，可以采用非完整井。

4.2.6 抽水试验观测孔的布置，应根据试验目的和计算公式的要求确定，并符合下列规定：

1 以抽水孔为原点，布置 1~2 条观测线，每条观测线上的观测孔一般为 3 个；

2 当布置 1 条观测线时，宜垂直地下水流向；布置 2 条观测线时，另一条宜平行地下水流向，且宜布置在抽水孔的上游一侧；

3 距抽水孔最近的第一个观测孔，一般应避开三维流的影响，其距离不宜小于含水层的厚度；最远的观测孔距第一个观测孔的距离不宜太远，并应保证在试验过程中各观测孔有一定的水位降深值；

4 各观测孔的过滤器长度和深度都应和抽水孔过滤器的长度和深度相同。

4.2.7 每个含水层的地下水试样的采取和试验数量应根据地下水控制工程等级、地下水控制方法按表 4.2.7 确定。

表 4.2.7 地下水试样采取和试验数量

地下水控制工程等级	地下水控制方法		
	隔水帷幕	隔水帷幕与降水结合	降水
三级	0	0~1	1
二级	0~1	1~2	1~2
一级	1~2	2	2~3

4.3 勘探、监测与试验

4.3.1 水文地质勘察孔的钻进宜采用跟管钻进或清水钻进，钻进过程中应对地层岩性和地层含水情况进行详细记录，对每一含水层进行地下水位量测。

4.3.2 水文地质勘察孔钻进时地下水位的量测应符合下列规定：

1 遇地下水时应量测初见水位和稳定水位；

2 对工程有影响的多层含水层应进行分层水位量测。

4.3.3 水文地质勘察孔钻进过程中采取的土样、岩样应符合下列规定：

1 取出的土样宜能正确反映原有地层的颗粒组成；

2 用于鉴别地层的土样，非含水层宜每 3~5m 取 1 个；含水层宜每 2~3m 取 1 个，变层时，应加取 1 个；

3 颗粒分析用的土样，当含水层厚度小于 4m 时，应采取 1 个；当含水层厚度大于 4m 时，

宜每 4~6m 采取 1 个；每件土样的取样质量不宜少于表 4.3.3 的规定。

表 4.3.3 每件土样的取样质量

土样名称	质量 (kg)
砂土	1
圆砾 (角砾)	3
卵石 (碎石)	5

注：颗粒分析试验需要提供的是含水层颗粒分布累积曲线上，过筛重量累积百分比为 10%、20%、50%、60%时的颗粒直径 d_{10} 、 d_{20} 、 d_{50} 、 d_{60} 。

4.3.4 水文地质勘察孔钻进中尚应符合下列要求：

- 1 钻探过程中应分层采取土样和水样；
- 2 钻进结束时，应对所揭露的地层进行准确分层，水文地质勘察的地层划分宜与岩土工程勘察的地层划分一致，便于进行地层对比使用；
- 3 钻探完成后，应进行回填。当钻孔穿越多个含水层，回填要保证上下层水不会连通。回填材料应保证没有污染。

4.3.5 地下水观测孔的钻探要求除满足水文地质勘察孔的钻探要求外，尚应满足下列要求。

- 1 观测孔结构宜根据地层分布和观测层位综合确定，每个观测孔宜观测一层地下水的水位。过滤器放置在观测层位含水层中，其长度不小于观测层位含水层厚度的 2/3；
- 2 洗井可根据含水层类型、观测孔结构、成井工艺等选用水泵、空压机等洗井方法；
- 3 观测孔成孔后应及时洗孔，确保观测孔过滤器与含水层的连通。

4.3.6 地下水位的观测应符合下列要求：

- 1 现场勘察结束后宜统一量测地下水位观测孔的稳定水位。在现场工作期间，对观测孔进行每天 1 次的观测；在提交报告前，对观测孔宜进行每周 1~2 次的观测；
- 2 与地下水有水力联系的地表水体的水位观测，应与地下水水位观测同步进行；
- 3 同一水文地质单元的水位观测日期及时间宜尽可能一致；
- 4 水位观测可采用测绳、电测水位仪、自动水位计或地下水多参数自动检测仪等水位监测工具，水位监测工具应经常检查、校准。水位观测数值应以米为单位，并应测计至小数点后三位；
- 5 人工观测水位时，同一测次应量测两次，间隔时间不应少于 1min，并应取两次水位的平均值作为观测结果，两次测量的允许偏差应小于 10mm；
- 6 测量水位时，应记录当天的天气情况，遇有水位变化异常的观测孔，应加密监测，并分析原因；
- 7 当需要进行地下水动态监测时，应根据工程需要确定观测频率和延续时间。

4.3.7 水样的采取应符合下列要求：

- 1 应从地下水观测孔中分层取地下水样。取样前应重新洗井；
- 2 取水试样过程中，应尽量减少水试样的暴露时间，及时封口；对需测定不稳定成分的水样，应及时加入稳定剂；
- 3 水样的采取数量应按水质分析的类别确定；

4 水样采取后应及时送验，放置时间应符合试验项目的相关要求；

5 水质分析的项目，可根据监测目的和工程分析需要进行选择。

4.3.8 地下水流向和流速的测定应符合下列要求：

1 地下水流向可利用不在一条直线上三点的地下水位绘制等水位线图（或等水压线图）确定；

2 地下水实际流速可采用化学法、比色法等指示剂法测试；

3 抽水孔内的实际流速可采用钻孔流速仪测量。

4.3.9 抽水孔施工应根据井孔结构、设计井深、井径，结合地层情况选择钻进设备和工艺。在钻进过程中，应进行地层描述，必要时分层取土样。

4.3.10 抽水孔成孔过程中应确保井孔垂直度小于 1%。成孔后应及时对钻孔孔壁、孔径、孔深进行校核，并根据地层实际情况调整抽水孔结构，下管前应稀释孔内泥浆。按照抽水孔结构，回填砾料和止水材料。

4.3.11 抽水孔完成后应及时洗井，根据成孔工艺和含水层岩性，可选择空压机、活塞、水泵或化学洗井液等方法或几种方法的联合洗井工艺。抽水孔应洗至水清砂净，符合出水含砂量要求，并宜符合两次相同最大水位降深的出水量相差小于 5%。

4.3.12 抽水试验应符合下列要求：

1 在正式抽水前数日对所有的抽水孔和观测孔及其附近有关水点进行水位统测，编制抽水试验前初始水位等水位线图，如果地下水位日变化很大时，还应取得典型地段抽水前的日水位动态曲线；

2 正式抽水试验前应进行试抽水，检查抽水设备运行是否正常，检查各观测孔水位反应是否灵敏，确定稳定流抽水的最大降深、非稳定流抽水的稳定出水量等抽水试验参数。试验抽水后应及时测量孔深，如发现孔内沉淀较多时，应查找原因并加以处理；

3 在试验各次降深中，抽水吸水管口均应放在同一深度；

4 抽水孔和观测孔中的水位和出水量均应同步进行观测；

5 抽水试验的动水位观测应采用同一方法和工具，抽水孔的动水位应读数到厘米，观测孔的动水位应读数到毫米；

6 抽水试验出水量的测量，当采用堰箱或孔板流量计时，水位或水柱应读数到毫米；当采用容积法时，量筒充满水的时间不宜少于 15s，读数准确到 0.1s；当采用水表时，读数准确到 0.1m³；

7 试验时，应采取防止抽出的水在抽水影响范围内回渗到含水层中的措施，同时应避免抽出的水可能产生的环境问题；

8 停泵后应立即观测恢复水位，观测时间间隔与抽水试验要求基本相同。若连续 3h 水位不变，或水位呈单向变化，连续 4h 内每小时水位变化不超过 1cm，或者水位升降与自然水位变化相一致时，即可停止观测；

9 试验结束后应测量孔深,确定过滤器掩埋部分长度。淤砂部位应在过滤器有效长度以下,否则,应对抽水孔进行清淤,重新进行试验;

10 抽水试验期间应记录天气情况。

4.3.13 稳定流抽水试验应符合下列要求:

1 稳定流抽水试验的水位降深顺序宜按先小后大逐次进行;

2 在稳定延续时间内,涌水量和动水位与时间关系曲线在一定范围内波动,而且没有持续上升或下降的趋势。当水位降深小于 10m,用空压机抽水时,抽水孔水位波动值不得超过 10cm~20cm;用潜水泵等抽水时,水位波动值不超过 5cm。水位波动值一般不应超过平均水位降深值的 1%,涌水量波动值不能超过平均流量的 3%;

3 观测频率及精度要求:

1) 水位观测时间一般在抽水开始后第 1、3、5、10、20、30、45、60、75、90min 进行观测,以后每隔 30min 观测一次;

2) 涌水量观测应与水位观测同步进行,应主要采用误差不超过 3%的数字显示流量计;当采用堰箱或孔板流量计时,读数应准确到毫米。

3) 水温、气温的观测时间,宜每隔 2h~4h 同步测量一次。

4 抽水试验的稳定延续时间,宜符合下列要求,并可根据含水层的类型、补给条件、水位变化和试验的目的等因素适当调整:

1) 卵石、圆砾和粗砂含水层为 8h。

2) 中砂、细砂和粉砂含水层为 16h。

3) 当有观测孔时,稳定时段应以最远观测孔的动水位判定,且应考虑自然水位的影响。

4.3.14 非稳定流抽水试验应符合下列要求:

1 抽水孔的涌水量应保持常量,其变化幅度应不大于 3%;

2 抽水试验延续时间,应按水位下降与时间关系曲线(s (或 Δh^2)- $\lg t$)来确定;

1) 当 s (或 Δh^2)- $\lg t$ 曲线至拐点后出现平缓段,并可以推求出最大水位降深时,抽水方可结束;

2) 当 s (或 Δh^2)- $\lg t$ 曲线没有拐点,则延续时间宜根据试验的目的确定,并至少有两个对数周期;

3) 在承压含水层中抽水时,采用 s - $\lg t$ 曲线;在潜水含水层中抽水时,采用 Δh^2 - $\lg t$ 曲线。

3 观测频率及精度应符合下列要求:

1) 水位观测宜按抽水开始后的第 1、2、3、4、5、6、8、10、15、20、25、30、40、50、60、75、90、105、120min 进行观测,以后每隔 30min 观测一次,其余观测项目及精度要求可参照稳定流抽水试验要求进行;

2) 抽水孔与观测孔水位必须同步观测;

3) 抽水结束后,或试验期间因故中断抽水时,应观测恢复水位,观测频率应与抽水时一致,水位应恢复到接近抽水前的稳定水位。

4.3.15 群孔抽水试验应符合下列要求:

- 1 当一个抽水孔抽水时，对另一个最近的抽水孔产生的水位下降值，不宜小于 20cm；
- 2 抽水孔的水位下降次数应根据试验目的而定；
- 3 当抽水孔附近有地表水或地下水露头时，应同步观测其水位和水温。
- 4 应进行地面沉降的同步观测。

4.3.16 降水头注水试验应符合下列要求：

- 1 降水头注水试验可在钻进过程中或利用分层观测的观测孔进行。对于孔底水头不会造成孔底涌砂扰动的地层，宜采用套管护壁止水的孔底进水条件进行试验；对于孔壁稳定性差的地层，宜采用滤水管护壁的观测孔中孔壁进水条件进行试验；
- 2 注水试验前，应进行静止地下水位的观测；
- 3 注水可以采用向孔内注入清水或放入浸没在静止水位以下的金属块，使管中水位高出地下水位一定高度或至套管顶部作为初始水头，停止供水并开始记录管内水位随时间的变化情况；
- 4 管内水位观测开始间隔为 1min，连续观测 5 次，然后间隔为 10min 观测 3 次，后期观测间隔时间应根据水位下降速度确定，可按间隔 30min~60min 进行观测；
- 5 在试验现场，应采用半对数坐标纸绘制水头比与时间关系 ($\ln(H_t/H_0) \sim t$) 图(H_t 为试验时间 t 测得的水头， H_0 为试验初始水头)，当水头比与时间关系不呈直线时，应进行检查并重新试验；
- 6 当试验水头下降到初始试验水头的 0.3 倍或在半对数坐标纸上连续 10 个以上观测点水头比与时间关系呈直线时，可结束试验。

4.4 水文地质勘察评价与建议

4.4.1 水文地质勘察评价应在工程地质勘探、水文地质勘探、抽（注）水试验和搜集已有资料的基础上，结合工程特点和要求进行。

4.4.2 水文地质勘察评价与建议应包括下列内容：

- 1 根据勘探孔和水位观测孔，明确场地内含水层的岩性、厚度、埋藏深度、类型、数量及分布范围，确定地下水的水位、水质、流向、水力坡降；
- 2 结合抽水试验和区域水文地质条件，分析含水层间的水力联系，分析地下水和地表水体的水力联系，分析地下水的补给、径流、排泄条件和地下水水位动态特征；
- 3 当坑底以下存在有水头高于坑底的承压水时，应进行承压水头作用下的坑底抗突涌稳定性评价；
- 4 提供基坑工程设计需要的水文地质参数；
- 5 提出降水、帷幕隔水及其它地下水控制方案的降水方案建议。降水方案应估算基坑涌水量；
- 6 评估采用施工降水时抽水对周边环境的影响程度，并提出措施意见；
- 7 评估施工降水对地下水资源和水环境影响程度。

4.4.3 承压水头作用下的坑底抗突涌稳定性评价，应按照本规范第 5.2.5 条的规定进行。当不

满足坑底抗突涌稳定要求时，应建议采取降低承压水头等措施。

4.4.4 建设工程水文地质勘察应提供渗透系数、给水度或弹性释水系数和影响半径等水文地质参数。水文地质参数的计算，应在分析工程地区水文地质条件的基础上，结合抽水孔结构和试验方法，按本规范附录 A 合理地选用公式。

4.4.5 建议地下水控制方案的原则，应按本规范第 3.2 节的要求进行。

4.4.6 基坑涌水量应根据场地水文地质条件和基坑深度选择本规范附录 B 中的相关公式计算。

4.4.7 施工降水时抽水对周边环境的影响，应按本规范第 6.4 节的要求进行评价。

4.4.8 污染场地地下水的评价、建筑抗浮地下水的评价应进行专项水文地质勘察。

5 帷幕隔水

5.1 一般规定

5.1.1 隔水帷幕设计前应根据场地及邻近场地的地层结构、水文地质特征分析地下水渗流规律，选择适当的隔水帷幕形式，并应在施工现场进行工艺性试验。

5.1.2 隔水帷幕形式可按以下方法进行分类：

1 按布置方式分类可分为悬挂式竖向隔水帷幕、落底式竖向隔水帷幕、水平向隔水帷幕；

2 按施工方法分类可分为地下连续墙、搅拌桩、旋喷桩、长螺旋旋喷搅拌桩、潜孔冲击旋喷桩、咬合桩、注浆法、冻结法等隔水帷幕。

5.1.3 当基底下存在连续分布的隔水层且埋深较浅时，宜采用落底式隔水帷幕。当基底以下的含水层厚度较大时，可采用悬挂式隔水帷幕与降水相结合的形式。

5.1.4 隔水帷幕应沿基坑周边形成连续的闭合体。同一基坑内有几个不同开挖深度或有几种支护结构时，应保持基底部的隔水帷幕轮廓线的连续性。

5.1.5 隔水帷幕结构的最小入土深度应大于由基坑渗流计算得到的入土深度，并应满足基坑稳定性、支护结构的经济性和周边环境安全性要求。

5.1.6 隔水帷幕的厚度应满足材料的允许渗透坡降的要求，并应满足支护结构的强度和变形的要求。

5.1.7 当基坑底下存在承压水时，应进行坑底抗突涌稳定性验算。当不满足抗突涌稳定性要求时，可在承压水含水层内设置减压井等措施，并按需减压；也可采用增加隔水帷幕深度等方法。

5.1.8 基坑开挖前应进行坑内抽水试验，并通过坑内外地下水位和出水量变化，验证帷幕的隔水效果。

5.1.9 隔水帷幕工程应在设计方案中提出检测、监测要求。

5.1.10 隔水帷幕施工方案应根据帷幕设计、设备条件等分析可能发生的帷幕结构缺陷，编制修复预案，并在施工过程中严格执行。

5.1.11 用于地铁、地下公路隧道、热力、电力及人行过街地道等隧道工程的水平向隔水帷幕可采用注浆隔水、水平旋喷桩等施工方法。

5.1.12 隔水帷幕或注浆严禁使用有毒性的化学浆液材料或在地层中分解后可能产生有毒物质的浆液材料。

5.2 隔水帷幕设计

5.2.1 隔水帷幕设计的主要内容应包括帷幕结构形式、深度、厚度、帷幕轴线位置和长度等。隧道隔水注浆设计应包括注浆范围、注浆材料及配比、注浆压力、设计总注浆量和总钻孔量等。

5.2.2 隔水帷幕结构形式与布置应根据工程地质条件、水文地质条件、周边环境条件和基坑开挖深度、施工工艺等综合确定，并按本规范附录 C 选择。同一工程可采用多种帷幕形式，并应

与基坑支护结构形式相协调。

5.2.3 隔水帷幕深度应采用渗流分析方法确定，并应遵循以下原则：

1 应根据工程所在地工程地质和水文地质条件、工程的重要性和周边环境条件等，选择合适的渗流计算方法；

2 在地基中有多层地下水时，应分别核算土层的渗透稳定。

3 对于高压喷射灌浆或水泥灌浆防渗帷幕等，应进行帷幕体本身的渗透水力坡降核算；

5.2.4 落底式隔水帷幕（图 5.2.4）进入下卧隔水层的深度应满足式（5.2.4）要求，且不宜小于 1.5m。当帷幕进入下卧隔水层较深，隔水层之下承压水头较高时，应验算帷幕底以下薄层隔水层 t_r 的渗透稳定。

$$l \geq 0.2\Delta h - 0.5b \quad (5.2.4)$$

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）。

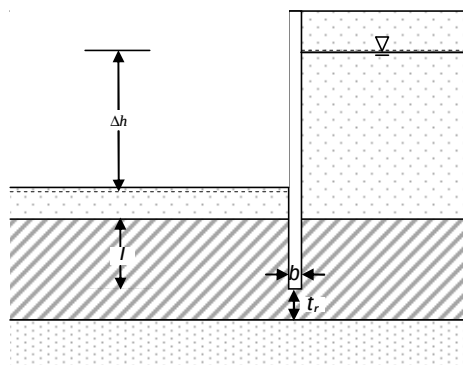


图 5.2.4 落底式帷幕

5.2.5 当坑底之下存在承压水含水层，且承压水头高于坑底时（图 5.2.5），应评价承压水作用下坑底突涌的可能性。基坑开挖后承压水上覆地层厚度应满足式（5.2.5）式要求。当不能满足式（5.2.5）要求时，应采取封底隔渗或减压井抽水措施保证坑底土层稳定。

$$h_p \geq K \frac{g_w}{g} H \quad (5.2.5)$$

式中： h_p ——坑底至承压含水层顶板的距离（m）；

H ——承压水头（m）；

g_w ——水的重度（ kN/m^3 ）；

g ——坑底至承压含水层顶板之间各层土的加权平均天然重度（ kN/m^3 ）；

K ——安全系数，相应于一、二、三级地下水控制等级的安全系数分别为 1.2、1.15、1.1。

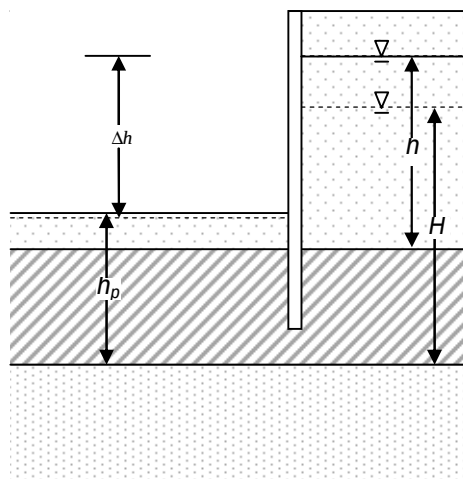


图 5.2.5 抗突涌稳定性验算

5.2.6 当基底以下的含水层厚度大，对于潜水条件下的均匀砂砾地基，需要采用悬挂式帷幕（图 5.2.6）时，应根据式（5.2.6）核算帷幕体的入土深度 h_d ：

$$h_d \geq h \Delta h \quad (5.2.6)$$

式中： η —悬挂式帷幕入土深度系数，应根据含水层岩性取值。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，可取 2~4.5。

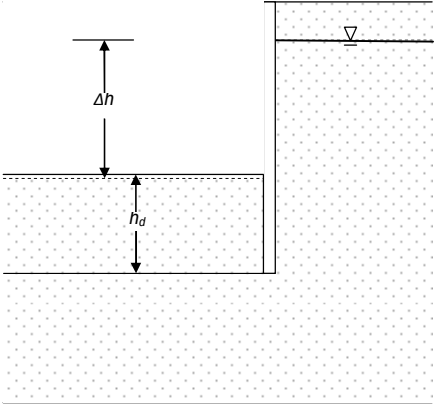


图 5.2.6 悬挂式帷幕

5.2.7 周边有重要建（构）筑物或地质条件复杂的隔水帷幕设计，宜采用空间有限元法或有限差分法进行渗流和沉降等计算。

5.2.8 桩间搭接的帷幕桩直径应根据桩间距、搭接宽度、桩位偏差、桩身垂直度综合确定。

5.2.9 隧道注浆止水应根据地层性质、地下水压、浆液材料、注浆压力等因素，确定设计浆液扩散半径。设计浆液扩散半径可按表 5.2.9 取值。

表 5.2.9 北京地区隧道注浆止水浆液扩散半径经验取值范围

地层	粘性土、粉土	粉细砂、中砂	粗砂	卵砾石	破碎岩层
扩散半径（m）	0.2~0.4	0.25~0.5	0.3~0.6	0.6~1	0.8~1.5
取值方法	1 地层空隙越大，浆液扩散半径宜取高值。 2 地层水压越高，浆液扩散半径宜取低值。 3 注浆压力越高，浆液扩散半径宜取高值。 4 浆液颗粒越细，浆液扩散半径宜取高值。 5 在不同地层界面处，浆液扩散半径宜取低值。				

5.2.10 注浆孔总钻孔量应根据工程重要性、周边环境和设计注浆扩散半径等确定。注浆孔位布置应以注浆隔水及加固范围为标准，满足各相邻终孔的扩散半径有重叠区，以覆盖整个注浆区域。

5.2.11 注浆压力应根据理论计算或现场、室内试验确定，一般情况下应符合下列规定：

- 1 注浆压力可取 0.5MPa~1.5MPa；
- 2 注浆压力应大于孔隙水压力的 2 倍~3 倍；
- 3 应验算注浆压力对邻近既有建（构）筑物及地表的影响。

5.2.12 浆液设计用量可按式计算：

$$Q = V n \alpha \beta \quad (5.2.12)$$

式中： Q —注浆量（ m^3 ）；

V —工程对象的土体体积（ m^3 ）；

n —地层孔隙率；冲积中、粗、砾砂层 33%~46%，粉砂、粘性土层 33%~49%、砂卵石层 50%~60%；

α —地层填充系数，一般取 0.8；

β —浆液消耗系数，一般取 1.1~1.2。

5.3 地下连续墙

5.3.1 槽孔建造设备和方法，可根据地层情况、墙体结构形式及设备性能进行选择，必要时可选用多种设备组合施工。

5.3.2 在建（构）筑物附近建造地下连续墙时，应查清原有建（构）筑物的结构和基础情况。当影响建（构）筑物的安全时，应制定处理措施。

5.3.3 重要的或地质条件复杂的工程，应在建设场地或地质条件类似的地点进行施工试验，以取得槽孔建造、固壁泥浆、混凝土浇筑等有关资料。

5.3.4 地下连续墙墙体厚度按承受的荷载和成槽机的规格宜选取 400mm~1200mm。薄壁防渗墙墙体厚度宜选取 200mm~600mm。

5.3.5 兼做支护结构的地下连续墙的混凝土设计强度等级宜取 C30~C40。地下连续墙用于临时防渗隔水时，墙体混凝土抗渗等级不宜小于 P6，槽段接头应满足防渗隔水要求。当地下连续墙同时作为主体地下结构构件时，墙体混凝土抗渗等级应满足相关规范的要求。

5.3.6 钢筋笼端部与槽段接头之间、钢筋笼端部与相邻墙段混凝土面之间的间隙应不大于 150mm—200mm。

5.3.7 地下连续墙可采用圆形锁口管接头、工字形钢接头或混凝土预制接头等；当地下连续墙作为主体地下结构外墙，且需要形成整体墙体时，宜采用刚性较大的接头。

5.3.8 当基坑上部采用地下连续墙下部采用灌注帷幕时，两种结构的搭接长度应不小于 2m。

5.3.9 地下连续墙作为防渗墙时，可根据工程规模和地质条件，采用普通混凝土、粘土混凝土、塑性混凝土、固化灰浆、自凝灰浆等墙体材料，形成薄壁防渗墙、塑性混凝土防渗墙、自硬泥浆防渗墙和固化灰浆防渗墙。

5.3.10 地下连续墙施工要点

1 成槽施工前，应根据现场情况，对施工平台进行必要的加固处理；应沿地下连续墙两侧设置导墙，高度不宜小于 1.5m，混凝土的强度等级不宜低于 C20，导墙顶面应高出地下水位 1.5m；导墙底面不宜设置在新近填土上，必要时可对导墙深部地基进行加固；

2 建议成槽施工使用膨润土泥浆，泥浆的性能应符合相关技术规范的要求。成槽过程护壁泥浆液面应不低于导墙顶面以下 300mm；

3 挖槽可采用间隔一个或多个槽段挖槽，也可采用连续挖槽（按槽段编号次序）；在同一个槽段内，除采用两钻一抓工法外，应避免设置偶数段的挖槽单元；

4 槽段接头应满足强度和刚度以及密封隔水的要求。安放槽段接头时，应垂直缓慢沉放至

槽底并定位。遇到阻碍时应先予清除，然后再入槽。混凝土浇灌前和过程中应采取防止混凝土产生上浮和绕流的措施；

5 钢筋笼就位后应及时浇注混凝土。槽段长度不大于 6m 时，槽段混凝土宜采用二根导管同时浇注；槽段长度大于 6m 时，槽段混凝土宜采用三根导管同时浇注。

5.3.11 质量检测和控制在

1 应进行槽壁垂直度检测，检测数量不得小于同条件下总槽段数的 20%，且不少于 10 幅；当地下连续墙作为主体地下结构构件时，应对每个槽段进行槽壁垂直度检测；必要时应采用超声波测斜仪进行检测；

2 应进行槽底沉渣厚度检测；当地下连续墙作为主体地下结构构件时，应对每个槽段进行槽底沉渣厚度检测；沉渣厚度不得大于 100mm；泥浆漏斗粘度小于 30s-35s，比重小于 1.15，含砂量小于 8%；

3 应采用声波透射法对墙体混凝土质量进行检测，检测墙段数量不宜少于同条件下总墙段数的 20%，且不得少于 3 幅墙段，每个检测墙段的预埋超声波管数不应少于 4 个，且宜布置在墙身截面的四边中点处；

4 当根据声波透射法判定的墙身质量不合格时，应采用钻芯法进行验证；

5 地下连续墙作为主体地下结构构件时，其质量检测应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB50202 的要求。

5.4 桩间、桩后帷幕

5.4.1 桩间、桩后帷幕可采用搅拌桩、旋喷桩、长螺旋旋喷搅拌桩、潜孔冲击旋喷桩、注浆桩等，其 28d 试块抗压强度不小于 0.8MPa，隔水帷幕渗透系数不宜大于 $1.0 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ ，测试方法见本规范附录 F。

5.4.2 桩间、桩后帷幕应根据施工条件和地层条件选择适宜的桩型和施工工艺。

1 搅拌桩适用于填土、粘性土及粉土等地层，宜用于护坡桩后独立咬合布置；当布置于护坡桩之间时，宜采用先施工搅拌桩后施工护坡桩的施工顺序；

2 定喷、摆喷或旋喷桩适用于填土、粘性土、粉土、砂土和砂卵石地层，可用于护坡桩间或桩后咬合布置，桩长不宜超过 10m；

3 长螺旋旋喷搅拌桩适用于填土、粘性土、粉土、砂土和卵石地层，宜布置于护坡桩之间，并采用先施工搅拌桩后施工护坡桩的施工顺序；

4 潜孔冲击旋喷桩适用于填土、粘性土、粉土、砂土、碎石土地层，宜布置于护坡桩之间；

5 注浆桩适用于填土、粘性土、粉土、砂土、碎石土、基岩地层，宜布置于护坡桩之间，当基坑开挖至目标含水层相应设计标高时于基坑内施作。

5.4.3 采用搅拌桩、旋喷桩、长螺旋旋喷搅拌桩、潜孔冲击旋喷桩帷幕时，桩直径宜取 600mm～

1000mm。注浆桩桩直径宜取 800mm~2000mm。

5.4.4 采用高压旋喷、摆喷、定喷注浆帷幕时，注浆固结体的有效半径宜通过试验确定。摆喷注浆的喷射方向与摆喷点连线的夹角宜取 10°~25°，摆动角度宜取 20°~30°。

5.4.5 帷幕桩的搭接宽度不宜小于下表的规定：

表 5.4.5 帷幕桩搭接宽度

深度 帷幕型式	帷幕桩深度			
	≤10m	10m~15m	15m~20m	>20m
搅拌桩	150mm	200mm	250mm	-
旋喷桩	150mm	250mm	300mm	350mm
长螺旋旋喷搅拌桩	150mm	200mm	250mm	300mm
潜孔冲击旋喷桩	150mm	200mm	250mm	300mm
注浆桩	150mm	200mm	-	-

注：对地下水位较高、渗透性较强的地层，宜采用双排隔水帷幕，其搭接宽度可减少 50mm。

5.4.6 帷幕桩水泥浆液的水灰比及水泥掺量宜取下表数值：

表 5.4.6 帷幕桩水灰比及水泥掺量

桩型	水灰比	水泥掺量
搅拌桩	0.6~0.8	15%~20%
旋喷桩	0.9~1.1	25%~40%
长螺旋旋喷搅拌桩	1.0~1.3	15%~30%
潜孔冲击旋喷桩	0.8~1.1	20%~30%
注浆桩	0.8~1.0	15%~25%

注：水泥掺量为水泥与土天然质量之比。

5.4.7 帷幕桩施工的允许偏差如表 5.4.7 的要求。

表 5.4.7 帷幕桩施工允许偏差值

项目	允许偏差	检查方法
桩径	不小于设计桩径	钢尺量
桩长	+200mm	测钻杆
桩顶标高	+300mm, -200mm	水准仪测量
垂直度	≤1%	经纬仪测量
桩位	50mm	钢尺量

5.4.8 搅拌桩施工应符合下列要求：

1 正式施工前应在现场进行 2 根桩的工艺性试验，钻进至设计深度后第一次喷浆搅拌时间不少于 30s，在水泥浆与桩端土搅拌后，再开始提升搅拌头；

2 搅拌机头下沉与提升速度宜控制在一定范围内,并保持匀速下沉或提升。浆液泵送量应与搅拌机头的下沉或提升速度相匹配,保证搅拌桩中水泥掺量的均匀性。下沉或提升速度在 0.5m/min~1.0m/min 时,喷浆量可控制在 20 l/min~40l/min;

3 停浆面控制在设计桩顶标高以上 0.5m;

5.4.9 旋喷桩施工应符合下列要求:

1 根据土层条件、设计要求通过试验或根据工程经验确定旋喷桩施工参数,单管法、双管法的高压水泥浆压力应大于 20MPa 和三管法高压水的压力应大于 30MPa;

2 旋喷桩主要材料为水泥,宜采用强度等级为 PO42.5 及其以上的普通硅酸盐水泥,外加剂和掺合料用量应通过试验确定;

3 喷嘴达到设计标高时,即分别按旋喷、定喷或摆喷工艺要求,提升喷射管,由下向上喷射注浆,喷射管分段提升,搭结长度不得小于 100mm。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,及时采取措施;

4 高压喷射注浆完毕,应迅速拔出喷射管。为防止浆液凝固收缩,影响桩顶高程,必要时可在原孔位采取冒浆回灌或二次注浆等措施;

5.4.10 长螺旋旋喷搅拌桩施工应符合下列要求:

1 长螺旋搅拌旋喷钻具下沉同时开动注浆泵,泵送高压水泥浆,边旋喷边搅拌,钻进至设计标高,按设计提升速度(用变频器控制)提升钻具,同时旋喷搅拌,至设计标高时停止泵送水泥浆和搅拌。必要时重复旋喷搅拌或定喷,提升钻具至下一个桩位;

2 注浆泵泵送压力不小于 20MPa,不大于 40MPa;

3 施工过程中,如遇孔口返浆,应采取措施,保证作业面干净,便于准确定位。

5.4.11 潜孔冲击旋喷桩施工应符合下列要求:

1 正式施工前应根据土层条件、设计要求利用工艺试桩或已有工程经验确定潜孔冲击旋喷桩施工工艺参数;

2 潜孔冲击旋喷桩主材为水泥和粉煤灰,其中水泥宜采用强度等级为 PO42.5 及其以上的普通硅酸盐水泥,粉煤灰宜选用 I 级或 II 级粉煤灰,细度(45 μ m 方孔筛)分别不大于 12%和 25%,外加剂和掺合料用量应通过试桩及经验确定;

3 施工钻机应设有导向环等导正装置。施工中严格控制钻进速度,钻进速度根据试桩及经验确定;钻头达到设计深度后,边注浆边提升钻具,提升速度不宜大于 1.2m/min,并保持匀速提升。注浆泵泵送压力不小于 24MPa,不大于 30MPa,浆液泵送量应与钻头的提升速度相匹配,保证桩中水泥掺量的均匀性;

4 钻进过程中,如出现卡钻、偏斜等情况,应立即停钻。查明原因,采取相应措施后,可继续施工,必要时可在原孔位重复旋喷或定喷。

5.4.12 注浆桩施工应符合下列要求:

- 1 注浆桩宜在基坑内施作，设计桩长不宜超过 15 米；
- 2 正式施工前应在现场进行 2 根桩以上的工艺性试验，根据试验结果，验证和修改设计参数；
- 3 停浆面控制在丰水期地下水位线顶标高以上 1.0m；
- 4 注浆材料原则上采用快凝、早强型止水浆液。

5.4.13 帷幕桩质量控制与验收应符合下列要求：

- 1 水灰比、泵压、提下钻速度、上下遍数及钻杆垂直度应按设计要求及工艺性试验确定的参数进行控制，并在施工过程中经常检查；
- 2 当先施工护坡桩时，护坡桩施工应采用避免塌孔的施工工艺，桩位偏差不大于 20mm，垂直度偏差不大于 1%；
- 3 土方开挖时，如发现隔水帷幕漏水严重时，应立即停止开挖，并做好必要的回填，待采取堵漏措施后方可继续开挖；
- 4 桩径、桩长、桩顶标高、垂直度、桩位偏差及桩间搭接长度应满足要求；
- 5 质量验收取样时，可利用钻机竖向钻取或开挖后水平取样，在对应含水层上部或其他有代表性地层部位取样，不可将帷幕钻穿，以免漏水；
- 6 质量验收取样应不少于每 100 根帷幕桩 1 组的数量，少于 100 根帷幕桩应按照 100 根计算。每组应取样 3 块，必要时应加取。

5.5 注浆隔水

5.5.1 注浆施工前应做室内试验及现场试验，以确定注浆材料、注浆参数及注浆效果检验方法等；现场试验应选择在具有代表性的地段进行。

5.5.2 注浆材料应符合以下规定：

- 1 注浆作业宜选取环保无害的普通水泥、工业水玻璃、超细水泥、膨润土、快凝早强型特种水泥等注浆材料，浆液使用前应进行浆材重点性能的实验室试验与检测；
- 2 水玻璃单液浆和水泥～水玻璃双液浆不宜在永久性止水工程中使用；
- 3 注浆材料的配比见表 5.5.2。

表 5.5.2 常用注浆材料配比参数表

序号	浆液名称	配比参数		
		水灰比	体积比 (水泥浆：水玻璃)	水玻璃浓度/ Be°
1	普通水泥单液浆	0.6~0.8		
2	改性工业水玻璃			35~40
3	超细水泥单液浆	0.6~0.8		

4	普通水泥-水玻璃双液浆	0.6~1	1:1~1:0.3	30~35
5	超细水泥-水玻璃双液浆	0.6~1	1:1~1:0.3	30~35

5.5.3 隧道内隔水注浆应做止浆墙，可采用喷射混凝土或模筑混凝土的方法施作，止浆墙最小厚度应不小于 50cm，注浆压力大于 2MPa 时，应验算止浆墙的抗剪强度。

5.5.4 隧道隔水每循环注浆段长不宜大于 20m，注浆完成后开挖预留长度 2m~5m 作为注浆循环搭接长度。

5.5.5 隧道注浆隔水加固圈厚度宜为轮廓线周边外不宜小于 2m，视地层及地下水情况确定。隧道开挖轮廓线内是否需要注浆由工程实际情况判断。

5.5.6 注浆隔水施工应遵循以下施工要点：

- 1 对所有的注浆孔按照序列编号，钻孔注浆顺序应采取分序跳双孔或多孔注浆施工；
- 2 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，以防止浆液的不不断流失；
- 3 先对外圈孔进行注浆，然后逐步注内圈孔；
- 4 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；
- 5 浆液配比应符合设计要求，配浆时误差范围：水泥、水玻璃、水为±5%，外加剂为±1%；
- 6 双液注浆时，必须使用带单向阀的浆液混合器，严禁用三通或者其它东西替代；
- 7 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；
- 8 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；
- 9 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。

5.5.7 注浆隔水效果评定

- 1 注浆结束后，必须对注浆效果进行检查，确认已达到注浆结束标准，方可结束注浆；
- 2 隧道隔水注浆工程可采用表 5.5.7 中 11 种方法中的 2 种~3 种有针对性的组合使用，评定注浆隔水效果；

表 5.5.7 注浆效果检查评定标准表

评定方法		评定标准
分析法	P-Q-t 曲线法	注浆施工中 P-t 曲线呈上升趋势，Q-t 曲线呈下降趋势，注浆结束时，注浆压力达到设计终压，注浆速度达到设计结束速度(常取 5~10L/min)。
	涌水量对比法	①随着注浆进行，钻孔涌水量不断减少。 ②注浆堵水率应达到 80%以上。

	浆液填充率反算法	当地层中含水量不大时，浆液填充率应达到 70%以上；当地层富含水时，浆液填充率应达到 80%以上。
检查孔法	检查孔取芯法	检查孔能取出带有浆液的芯样，岩芯强度应达到 0.2 MPa 以上。
	检查孔观察法	经过注浆后，检查孔应成孔完整，不得有涌砂、涌泥现象，流水量 $<0.2\text{ L/m}\cdot\text{min}$ 。检查孔放置 1h 后，也不得发生上述现象，否则，应进行补孔注浆或重新设计。
	检查孔渗透系数测试法	注浆后地层的渗透系数降低一个数量级，注浆隔水时地层的渗透系数且应 $<10^{-4}\text{ cm/s}$ 。
过程类	加固效果观察法	开挖面浆液填充饱满，能自稳，掌子面无水。
	注浆机理分析法	开挖观察注浆加固机理达到预期的设计目的，如劈裂、渗透等。
	监测数据判定法	在注浆结束后工程开挖过程中，帷幕注浆圈外水位应保持不变。 注浆过程中，被保护体单位时间的变形速度和全部时间的变形总量始终满足设计沉降允许要求。
物探类	雷达法	根据雷达探测成果的前后对比，判定注浆效果。
	电法	根据电法探测成果的前后对比，判定注浆效果。

6 降水

6.1 一般规定

6.1.1 降水深度应符合下列要求：

- 1 潜水位应降至槽底以下 0.5 m~1.0m，若开挖槽底位于潜水含水层（包括层间潜水）底板下的隔水层中，则降水深度等于潜水含水层厚度；
- 2 承压水压力水头降深应按本规范（5.2.5）确定。采取减压井降低基底承压水水头，减压井中水位应保持在基底面以下 1m~2m 并控制承压水含水层顶面任何点的水压力满足本规范式（5.2.5）的要求；
- 3 对于电梯井、集水井、泵房等局部加深情况，宜采取局部降水或帷幕隔水控制措施；
- 4 施工降水涉及多层含水层时，应根据各含水层的地下水位确定降水深度。

6.1.2 施工降水涉及多个含水层，当各含水层水质差异较小，降水井滤管应分层设置，并采取分层止水措施；当各含水层水质存在明显差异，上下含水层串通形成水力联系可能造成上部水质差的含水层污染下部含水层时，降水井应分层设置，并采取封井措施隔断各含水层间的水力联系，分层进行降水。

6.1.3 对降水影响范围内的危旧建筑、高层建筑、高耸建筑、古建筑、地下管线、重要工程设施等应进行降水沉降分析和计算。

6.1.4 降水施工方案应包括：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、降水对环境影响的控制措施、季节性施工措施、风险控制及应急预案等。

6.1.5 降水结束后，应对降水井进行封填处理，并符合地下水环境保护的要求。

6.2 降水设计

6.2.1 应根据基坑和地下工程的规模、槽深、环境条件、含水层渗透性和降水深度按表6.2.1的适用条件合理选择降水方法。

表 6.2.1 各种降水方法的适用条件

适用条件 降水方法	含水层岩性	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
轻型井点	粉质粘土、粉土、细砂、中细砂	0.1~20.0	单级<6 多级<12
喷射井点	粉土、砂土	0.1~20.0	<20

管井	粉质粘土、粉土、砂土、碎石土、岩石	>1	不限
真空管井	粉质粘土、粉土、细砂、中细砂	0.1~20.0	不限
辐射井	粉砂、细砂、中砂、粗砂、卵石和粘性土	>0.1	<30m

6.2.2 当基坑、地下工程处于不同的地质、水文地质单元，岩相变化较大时，可同时采用多种方法降水。当降水涉及多个含水层或降水要求疏干含水层时，会出现含水层底部界面水疏不干的问题，可辅以集水明排等措施进行处理。

6.2.3 当基坑开挖深度内有粉土或粉细砂存在、且在降水后存在疏不干的问题时，应评价流砂发生的可能性，并提出相应的措施和建议。

6.2.4 地下暗挖工程可采用洞内水平井点和倾斜井点进行降水，或作为辅助方法疏干地层残留水。

6.2.5 设置有隔水帷幕的降水设计应满足下列要求：

1 落底式隔水帷幕内降水，应采用基坑内疏干降水方法，涌水量为帷幕内含水层体积与给水度的乘积，疏干降水井深度不应穿透落底隔水层；

2 悬挂式隔水帷幕内降水，应符合下列要求：

1) 对于隔水层埋置较深且含水层较厚或存在巨厚含水层，采用落底式隔水帷幕技术难度大或不经济时，或减小基坑出水量时，或减小基坑降水对周边环境的影响时，可采用悬挂式隔水帷幕与基坑内降水相结合的地下水控制方法；

2) 悬挂式隔水帷幕插入深度应符合5.2.6的要求，且不小于降水目的含水层厚度的1/2，基坑内降水井滤水管底深度应小于隔水帷幕插入深度；

3) 应根据场地的水文地质条件、基坑深度和隔水帷幕结构特征，建立地下水三维非稳定渗流数值模型，对基坑涌水量和基坑内、外水位降深进行分析、预测。

6.2.6 减压降水应根据基坑开挖深度、承压含水层位置、厚度、周围环境对工程降水的限制条件、基坑支护结构特点、是否设置隔水帷幕和隔水帷幕插入深度等因素，选用合适的、对水资源和环境影响较小的减压降水方案。

6.2.7 降水井布置应符合下列要求：

1 线性基坑可通过计算和水文地质条件分析确定采用单排或双排降水井，降水井布置在基坑外缘的一侧或两侧，在基坑端部降水井外延长度应不小于基坑宽度的2倍；

2 面状基坑降水井宜在基坑外缘呈封闭状布置，距边坡线宜为1m~2m，大型基坑宜在基坑内设置降水井；

3 地下暗挖工程降水井布置应考虑注浆和锁脚锚杆施工的影响，降水井布置距结构边线不宜小于2m；

- 4 地下暗挖工程结构范围内不宜布置降水井；
- 5 在基坑运土通道出口两侧应适当增设降水井，其外延长度应不小于通道口宽度的2倍；
- 6 采用辐射井降水时，水平井的长度和分布应能有效地控制基坑范围；
- 7 当工程场地远离地表水体补给边界时，降水井宜等间距布置；当临近地表水体补给边界时，在补给边界一侧宜适当加密降水井布置；
- 8 降水井布置应避开地下管线、地下构筑物 and 架空电缆；
- 9 基坑内疏干降水井布置应避开框架梁柱、独立基础、格构柱、桩基及承台等建筑结构和基坑支护结构。

6.2.8 应设置地下水位观测孔对基坑内、外地下水位进行全程监控，观测孔设置要求和监测要求应符合本规范第10.2节的要求。

6.2.9 降水设计应考虑一定量的备用井，相应于一、二、三级地下水控制工程等级的降水井调增系数分别为1.2、1.1、1.0。

6.2.10 降水井深度应根据基坑开挖深度、降水深度、含水层的埋藏深度和降水井的出水能力等确定。

6.2.11 降水设计参数可按下列规定取值。

1 含水层厚度取值应符合下列规定：

- 1) 当含水层的顶底板标高相差不大，含水层厚度宜取场地范围内钻孔揭露的含水层厚度的平均值；
- 2) 当含水层顶底板标高差异较大时，含水层厚度宜取有代表性的钻孔揭露的含水层厚度的平均值。

2 基坑等效半径可按下列公式计算：

1) 对于不规则面状基坑

$$r_0 = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (6.2.11-1)$$

式中： r_0 ——基坑等效半径(m)；

A ——降水井围成的面积(m²)。

2) 对于矩形基坑

$$r_0 = \eta \frac{(L+B)}{4} \quad (6.2.11-2)$$

式中： L ——降水井围成的矩形长度(m)；

B ——降水井围成的矩形宽度(m)；

η ——概化系数，可按表 6.2.11-1 取值；

其它符号同前。

表 6.2.11-1 矩形基坑的等效半径概化系数

B/L	0.1~0.2	0.2~0.3	0.3~0.4	0.4~0.6	0.6~1.0
η	1.00	1.12	1.14	1.16	1.18

3 影响半径宜通过水文地质勘察试验确定，缺少试验时，可按下列公式计算：

1) 潜水含水层

$$R = 2s\sqrt{kH} \quad (6.2.11-3)$$

2) 承压含水层

$$R = 10s\sqrt{k} \quad (6.2.11-4)$$

式中 R——影响半径 (m)；

s——设计水位降深 (m)；

k——渗透系数 (m/d)；

H——潜水含水层厚度 (m)。

4 渗透系数

1) 地下水控制工程等级为一级、二级时，渗透系数应采用水文地质勘察实测值；
地下水控制工程等级为三级，无实测资料时，可按表6.2.11-2取值；

表6.2.11-2 北京地区渗透系数经验值

岩性	渗透系数 (m/d)	岩性	渗透系数 (m/d)
砂卵石	80~300	细砂	6-8
砾石	45-50	粉砂	2-3
粗砂	20-30	砂质粉土	0.2-1
中砂	15-20	粘质粉土	0.1
细中砂	12-17	粉质粘土	0.02

注：1 对于新近沉积的地层，其渗透系数取值宜取大值；

2 对于含有姜石、虫孔的粉质粘土，其渗透系数可参照粉砂的渗透系数；

3 对于杂填土，其渗透系数取值可参照细砂的渗透系数。

2) 对于非均质层状构造含水层的渗透系数应取土层厚度加权平均值。

5 第四系松散沉积物孔隙含水层给水度可按照表6.2.11-3取值。

表6.2.11-3 第四系松散沉积物孔隙含水层有效给水度经验值

含水层岩性	粉土	粉砂	细砂	中砂	粗砂	砾砂	卵砾
有效给水度%	7	8	21	26	27	25	34

6.2.12 基坑涌水量应根据工程场地水文地质条件和边界条件，按本规范附录B的规定进行计算。

6.2.13 降水井单井出水量可采用下列方法确定：

1 真空井点的出水量可按 $1.5\sim 2.5\text{m}^3/\text{h}$ 选用；

2 喷射井点的出水量可按表6.2.13取值；

表6.2.13 喷射井点设计出水量

外管 直径 (mm)	喷射管		工 作 水压力 (MPa)	工 作 水流量 (m ³ /d)	设计单井 出水量 (m ³ /d)	适用含水层 渗透系数 (m/d)	安装形式
	喷嘴 直径 (mm)	混合室 直径 (mm)					
38	7	14	0.6~0.8	112.8~163.2	100.8~138.2	0.1~5.0	并列式
68	7	14	0.6~0.8	110.4~148.8	103.2~138.2	0.1~5.0	同心式
100	10	20	0.6~0.8	230.4	259.2~388.8	5.0~10.0	同心式
162	19	40	0.6~0.8	720	600~720	10.0~20.0	同心式

3 干扰井群公式计算管井出水量

当各降水井的出水量相等，影响半径一致，干扰井群情况下的单井出水量可按下列公式。

1) 承压水完整井

$$q = \frac{2pkMs_0}{\ln \frac{R^n}{r_1 \cdot r_2 \cdots r_n}} \quad (6.2.13-1)$$

2) 潜水完整井

$$q = \frac{pk(2H - s_0)s_0}{\ln \frac{R^n}{r_1 \cdot r_2 \cdots r_n}} \quad (6.2.13-2)$$

式中： q ——单井出水量 (m³/d)；

r_i ——第 i 降水井至基坑中心点的距离 (m)；

M ——承压水含水层的厚度 (m)；

H ——潜水含水层的厚度 (m)；

s_0 ——基坑中心点的水位降深值 (m)；

n ——降水井数量。

4 辐射井出水量

1) 承压水

$$q = \frac{2pkMs_w}{\ln \frac{R}{r_0}} \quad (6.2.13-3)$$

2) 潜水

$$q = pk \frac{(2H - s_w)s_w}{\ln \frac{R}{r_0}} \quad (6.2.13-4)$$

式中: r_0 ——引用半径 (m), $r_0 = 0.25^{1/n}l$ 或 $r_0 = \sqrt{\frac{A_r}{p}}$;

l ——水平井长度 (m);

n ——水平井根数;

A_r ——水平井控制面积 (m^2)。

5 单个水平井出水量可按下式估算, 计算简图见图6.2.13;

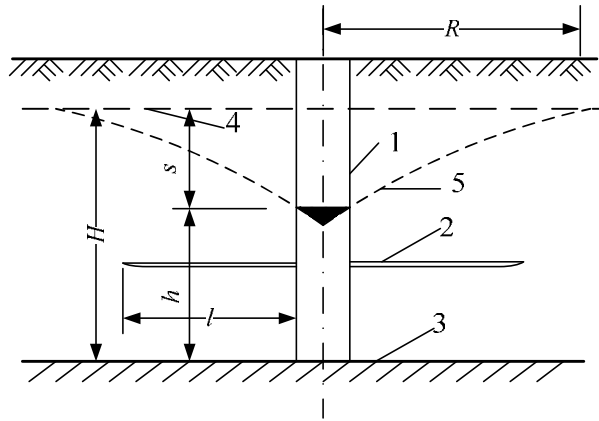


图 6.2.13 辐射井单个水平井出水量计算简图

1—集水井; 2—水平井; 3—隔水底板; 4—初始地下水位; 5—降水后水位

$$q = \xi 1.366k \frac{(2H - s_w)s_w}{\lg \frac{R}{0.75l}} \quad (6.2.13-5)$$

式中: q ——单个水平井出水量 (m^3/d);

R ——影响半径(m), 一般取 $R = l + 10$;

ξ ——折减系数, 根据含水层底板起伏情况确定, 当水平井位于含水层底部时, 含水层底板起伏变化很小, 取0.8~0.9; 含水层底板起伏变化较小, 取0.6~0.8; 含水层底板起伏变化较大, 取0.4~0.7; 含水层底板起伏变化很大, 取0.2~0.4; 当水平井位于含水层中部时, 取1.0。

6.2.14 降水井数量与间距可按下列公式计算:

1 降水井数量

$$n = m \frac{Q}{q} \quad (6.2.14-1)$$

2 降水井间距

$$\text{面状基坑: } a = \frac{L}{n} \quad (6.2.14-2)$$

$$\text{线形基坑: } a = \frac{L}{n-1} \quad (6.2.14-3)$$

式中: Q ——基坑涌水量 (m^3/d);

n ——井点个数 (个);

a ——井点间距 (m);

L ——降水井布置总长度 (m);

m ——降水井调增系数, 根据本规范第 6.2.9 条的规定取值。

6.2.15 应进行水位降深预测计算, 并符合下列要求:

1 当布井形式初步确定后应进行水位降深预测计算, 检验基坑降水不利部位的水位降深值是否满足设计要求, 当不能满足设计要求时, 应重新调整井数、井间距及布井形式。当降水涉及多个含水层时应分别验算各含水层的水位降深值。当需疏干含水层时, 可结合工程经验确定降水井间距和布置形式;

2 应按本规范附录第 E.1 节的规定进行水位降深预测计算;

3 对地下水控制工程等级为一级的降水工程, 还应按本规范附录 B.4 节的内容采用数值法分析, 模拟、预测地下水位变化, 并调整、优化降水方案。

6.3 降水施工

6.3.1 集水明排降水应符合下列要求:

1 坡面渗水宜采用插导水管方式引排, 导水管的布置、材质、直径及长度应根据渗水量及渗水土层的岩性确定;

2 土方开挖阶段应根据基坑、地下工程的特点在合适位置设置临时排水沟和集水井, 并随土方开挖进程适时调整; 排水沟底面应比挖土面低 $0.3\text{m} \sim 0.4\text{m}$, 集水井底面应比沟底面低 0.5m ;

3 土方开挖至坑底后, 坑内设置的排水沟、集水井与边坡坡脚距离不宜小于 0.3m , 盲沟、盲井与边坡坡脚距离不宜小于 0.1m ;

4 沿排水沟宜每隔 $30\text{m} \sim 40\text{m}$ 设置一口集水井, 集水井可采用水泥砾石滤水管或钢筋笼外填级配石滤料的构造形式;

5 明沟和盲沟坡度不宜小于 0.3% , 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; 盲沟内设有盲管时, 降水结束后应作回填注浆处理。

6.3.2 轻型井点构造及施工应符合下列要求:

1 井点管宜采用金属管或 UPVC 管, 长度一般为 $6\text{m} \sim 10\text{m}$, 直径宜为 $\Phi 42\text{mm} \sim 55\text{mm}$, 底部应设置沉淀管, 沉淀管长度不宜小于 0.5m , 沉淀管之上设置长度大于 1.0m 的滤水管, 滤水管进水孔宜按梅花状布置, 中心距 $30\text{mm} \sim 40\text{mm}$, 孔径宜为 $\Phi 10\text{mm} \sim 15\text{mm}$, 滤水管孔隙率应大

于15%，管壁外包裹滤网；

2 井点水平间距宜为1m~2m，成孔孔径不宜大于Φ300mm；

3 滤料宜采用中粗砂，回填应密实均匀，井点上部滤料顶面至地面之间须采用粘土封填密实，粘土封填厚度应大于1m；

4 轻型井点成孔可选用钻孔法和水冲法成孔，对不易塌孔、缩径的地层也可选用长螺旋钻机成孔，成孔深度宜大于井点设计深度0.5m~1.0m；

5 钻进到设计深度后，应注水冲洗钻孔、稀释孔内泥浆；

6 集水总管一般采用Φ89~Φ104mm钢管，一台机组携带的集水总管最大长度应根据所用设备能力确定；

7 成井后应及时注水反冲洗井，每组井点设置完毕后，应进行试抽，检查井点系统各连接部位的密封质量，降水时真空度应保持在60kPa 以上。

6.3.3 地下暗挖工程可根据降水需要设置水平井点和倾斜井点，其构造和施工应符合下列要求：

1 水平井点管和倾斜井点管一般采用Φ42mm钢管和Φ32mm~Φ50mmUPVC管，对应含水层部位设置为滤水管，并包缠滤网；

2 倾斜井点长度应根据降水层位和降深大小确定，一般为4m~6m，最长为10m，随掌子面向前开挖而逐步打设，应向隧道外侧倾斜，外插角度宜为10°~30°；

3 倾斜井点宜沿开挖隧道两边墙内侧分别设置。井点纵向间距宜为1.0m~1.5m；

4 水平井点可沿隧道周边环向布置，或沿含水层底界面布置，水平井点降水循环长度一般为10m~15m，降水与隧道开挖交替进行，2个循环的搭接长度不应小于2m；

5 水平井点环向间距1.0m~2.0m，外插角度宜为5°~20°，隧道上半断面水平井点宜上仰角度5°~10°，下半断面水平井点宜下俯角度5°~20°；

6 水平井点和倾斜井点成孔可采用高压风吹成孔和水冲成孔，用吹管和冲管携带井点管进行埋设；当孔壁坍塌成孔困难时，应采用钻机套管护壁成孔，孔径不宜大于Φ90mm，孔口下1 m应使用C15混凝土封填；

7 在初衬完成后施工水平井点和倾斜井点时，应预先埋设好钢质孔口管；

8 井点系统抽水和维护应符合本规范第6.3.2条第6款、7款的规定；

9 降水结束后应利用井点管对井点进行注浆充填处理。

6.3.4 喷射井点的构造及施工应符合下列要求：

1 同心式井点的外管直径宜为Φ68mm~162mm，内管直径为Φ38mm~100mm，混合室直径为Φ14mm~40mm，井孔直径不宜大于Φ500mm，孔深应比滤管底深1m以上。过滤器的结构与轻型井点相同。喷嘴直径Φ7 mm~19mm；

2 工作水泵可采用多级泵，水压宜大于0.75 kPa，工作水箱不应小于10m³；

3 滤料回填及井点上部粘土封填应符合本规范第6.3.2条第3款的规定；

- 4 井点成孔应符合本规范第6.3.2条第4款的规定；
- 5 每组喷射井点的井点数不宜超过30根，总管直径不宜小于 $\Phi 150\text{mm}$ ，总长不宜超过60m；
- 6 每根喷射井点沉设完毕后，应及时进行单井试抽，排出的浑浊水不得回流循环管路系统，试抽时间持续到水清砂净为止；
- 7 每组喷射井点系统安装完毕，需进行试抽，不应有漏气或翻砂冒水现象；工作水应保持清洁，降水过程中应视其浑浊程度及时更换，降水时真空度应保持在93kPa以上。

6.3.5 管井的构造和施工应符合下列要求：

- 1 管井的滤水管宜下入与含水层对应的位置，滤水管可采用无砂混凝土滤管、UPVC管、钢筋骨架管、钢管或土工合成材料管，滤水管孔隙率应大于15%，井管的底部应设置沉淀管，沉淀管长度不宜小于1m；
- 2 滤水管直径应满足单井设计出水量要求，内径应大于水泵外径 $\Phi 50\text{mm}$ ，管井成孔直径应满足填充滤料的要求，一般不小于 $\Phi 500\text{mm}$ ；
- 3 滤料宜选用磨圆度好的硬质岩石的天然砂砾或土工合成材料颗粒，滤料厚度宜为75mm~150mm，砂土含水层滤料厚度应取大值，砾石、卵石含水层滤料厚度可适当减小。一般情况下，滤料规格宜满足表6.3.5的要求；

表6.3.5 滤料规格选择

含水层类型	砂土含水层	碎石土含水层	
	$\eta_1 < 10$	$d_{20} < 2\text{mm}$	$d_{20} \geq 2\text{mm}$
粒径(D)的尺寸	$D_{50} = (6 \sim 8) d_{50}\text{mm}$	$D_{50} = (6 \sim 8) d_{20}\text{mm}$	$D = 10 \sim 20\text{mm}$
砾料的 η_2 要求	$\eta_2 < 10$		

注：1 表中 η_1 为含水层的颗粒不均匀系数、 η_2 为砾料的不均匀系数，即： $\eta_1 = d_{60}/d_{10}$ ； $\eta_2 = D_{60}/D_{10}$ ；

2 d_{10} 、 d_{20} 、 d_{50} 、 d_{60} 和 D_{10} 、 D_{50} 、 D_{60} 分别为含水层试样和砾料试样，各在筛分中能通过筛眼的颗粒，其累计重量占筛样全重分别为10%、20%、50%、60%时的筛眼直径。

4 根据地层条件可选用冲击钻、回转钻或潜孔锤钻进成孔，对不易塌孔、缩径的地层宜采用清水水压泵吸反循环钻进，否则应采用泥浆护壁钻进，钻孔深度宜大于降水井设计深度0.5m~1.0m；

5 当含水层为卵石、漂石地层或裂隙基岩层，采用潜孔锤钻井工艺成孔时，管井成孔直径可以小于300mm，可以不填充滤料或少填充滤料，并可简化洗井程序；

6 采用泥浆护壁时，应在钻进到孔底后清除孔底沉渣，并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）为止；

7 吊放井管时应平稳、垂直，并保持井管在井孔中心，严禁猛墩；井管宜高出地面不小于200mm；

8 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，应随填随测滤料填入高度，滤料填入量不应小于计算量的95%；

9 井口外围应封闭，封闭位置应在孔口以下不小于2m深度。相邻含水层之间井管外围应封闭；

10 洗井应在下管填砾后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；洗井应由上而下分段进行，如沉没比不够，应注入清水；洗井过程中应观察出水情况，直至水清砂净；

11 水泵选用应根据单井出水能力和所需扬程确定；

12 应及时进行试抽水，检验井深、单井出水量、出水含砂量等情况是否符合设计要求。

6.3.6 辐射井的构造和施工应符合下列要求：

1 集水井井径应根据水平井施工工艺和施工设备尺寸确定，一般不小于2.6m，集水井底部应作封底处理；

2 集水井深度根据含水层位置及基坑深度综合确定，应符合下列要求：

1) 含水层底板位于槽底以下时，集水井应深于最底层水平井不小于2.0m；

2) 含水层底板位于槽底附近时，集水井应深于槽底不小于2.0m；

3) 含水层底板高于槽底时，集水井应深于含水层底板不小于2.0m。

3 集水井井筒，宜采用钢筋混凝土结构，壁厚和配筋应通过受力计算确定，采用沉井法和倒挂井壁逆作法施工时，壁厚宜为250mm～350mm；采用钻机成井、漂浮下管法施工时，壁厚可为150mm～200mm；每节井管的接头部位应作防水处理；

4 水平井结构应符合下列要求：

1) 粗砂、卵砾石含水层，水平井宜采用预打孔眼的钢质滤水管，外径 $\Phi 90\text{mm}$ ～150mm，长度10m～15m，开孔率3%～8%，孔眼直径 $\Phi 6\text{mm}$ ～8mm；

2) 粉、细、中砂含水层，水平井宜采用PVC波纹滤水管，外径 $\Phi 60\text{mm}$ ～70mm，长度30m～50m，开孔率1.4%～3.0%，波谷开孔处缠绕丙纶丝或外包40目～80目的尼龙网套。

5 集水井间距根据水平井辐射范围确定，一般为50m～100m；

6 水平井应呈扇形布置，水平井之间的夹角一般为 10° ～ 15° ；

7 水平井应分层布置，多层含水层降水时，含水层底板界面必须布设一层水平井；

8 水平井成孔工艺应根据地层特性确定，粘质粉土～砂土含水层宜采用回转钻进成孔，卵砾石含水层宜采用潜孔锤钻进成孔，水平井孔口段与孔壁之间的空隙必须封堵严实；

9 应根据辐射井出水量配置2台或2台以上潜水泵调节抽水，避免集水井里的水倒灌入下层水平井；集水井井口应采取可靠的安全防护措施。

6.3.7 真空管井的构造和施工应符合下列要求：

1 滤水管构造应符合本规范第6.3.4条第1款的规定，应在含水层部位下入滤水管；

2 井管上口宜采用法兰密封, 法兰密封套件由钢套桶、上法兰盲板、下法兰、密封橡胶圈和固定螺丝等组成, 钢套桶与井管的间隙宜用水泥砂浆充填;

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, 按这些孔洞组装管路时, 应用密封胶严格密封;

4 地下水位以上的井段应下入井壁管, 并用粘土封填;

5 一般可选用水环式真空泵抽真空, 潜水泵抽水, 真空泵的抽气速率不小于 $3\text{m}^3/\text{min}$ 。根据抽气速率的大小, 一台水环式真空泵可通过节门控制, 同时带 1 口或多口真空管井, 真空度宜控制在 $30\text{kPa}\sim 40\text{kPa}$ 之间;

6 真空管井成井施工应符合本规范第 6.3.5 条第 5、7、8、9、10 款的规定;

7 抽水前期真空泵与潜水泵应同时运行, 后期可采取间隔交替运行以节约用电。真空系统运行中, 应定期检查真空泵的运行情况, 关停真空泵之前应先关闭真空系统的进气阀。

6.3.8 分层止水及井孔回填应符合以下规定:

1 实施分层降水时, 降水井外侧对应隔水层位置应采用粘土封隔上下含水层。粘土宜搓成球状, 大小宜为 $\Phi 20\text{mm}\sim 30\text{mm}$, 在半干状态下缓慢填入。粘土填入部位的井管应为井壁管;

2 降水结束后, 降水井内应采用粘土回填至井口下 1m , 近地表的 1m 范围应按原地表的使用条件进行恢复。渗井应进行高压泥浆回填。

6.3.9 排水应符合以下规定:

1 除按本规范第 9 章的规定进行综合利用外, 降水抽出的地下水应有序排放, 排水系统应能满足周边降雨汇水和地下水的排放要求, 一般可采用明、暗沟排水和管道排水方式;

2 排水系统的排水沟、集水井和排水管应有可靠的防渗措施, 防止排水回渗;

3 排水沟截面和排水管直径应根据基坑涌水量和工程场地降雨汇水量确定, 排水管、沟的坡度不宜小于 0.5% ;

4 排水管可采用混凝土管、PVC 管或钢管, 排水管道可暗埋地下或在地面架设, 地面架设时, 每隔 $5\text{m}\sim 8\text{m}$ 设砖砌托台, 托台高度应根据排水坡度确定;

5 降水工程排水系统需与雨水管网连接时, 在接入之前应设置沉淀池, 沉淀池容积不宜小于 4m^3 ;

6 降水过程中应随时对排水系统进行检查和维护, 保持排水畅通。

6.3.10 降水运行控制应符合以下规定:

1 降水期间应对井水位和抽排水量同时进行监测, 当监测出现异常, 应及时反馈, 并查明原因;

2 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, 盖承重井盖, 并与路面平齐; 降水井不妨碍路面交通时, 井口宜砌筑高出地面不小于 0.2m 的井台, 并加设盖板防止物体坠入井内;

- 3 冬季负温环境下，应对地面抽排水系统采取防冻措施；
- 4 抽水设备应进行定期保养，降水期间不得随意停抽；
- 5 施工现场应配置双路电源或按一定降水用电额度配备发电机组，并保证两路电源能及时切换；
- 6 抽水系统的使用期应满足主体结构的施工要求，当主体结构有抗浮要求时，停止降水的时间应满足主体结构施工期的抗浮要求；
- 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；当基坑开挖工况发生变化时，应及时调整降水运行方案；
- 8 应根据土方开挖和地下结构施工的进度情况对抽排水量和地下水位进行动态控制。

6.3.11 当符合下列条件时可结束施工降水：

- 1 结构抗浮力（不包括室内装修荷载）大于停止抽水后的地下水浮力；
- 2 肥槽回填至停止抽水后的地下水位以上；
- 3 基础后浇带浇筑完成；
- 4 地下暗挖工程的二次衬砌施工完成。

6.3.12 降水过程中，抽排水的含砂量应符合下列规定：

- 1 开始抽水半小时内含砂量小于1/10000；
- 2 正常降水运行时含砂量小于1/50000；
- 3 辐射井抽水半小时内含砂量小于1/20000；
- 4 辐射井正常运行时含砂量小于1/200000。

6.3.13 降水施工质量检验标准应符合本规范附录D的规定。

6.4 工程环境影响预测与风险控制

6.4.1 当施工降水区邻近既有建(构)筑物、地下管线、既有地下水开采井、生态环境保护区等情况时，施工降水可能对周边环境产生影响，应对周边环境影晌程度进行预测。预测项目应包括下列内容：

- 1 地面沉降；
- 2 建(构)筑物、地下管线开裂、位移、沉降变形；
- 3 既有地下水开采井出水能力减少或枯竭；
- 4 地下水水质恶化；
- 5 生态环境恶化；
- 6 道路交通影响；
- 7 居民生活环境影响。

6.4.2 施工降水对周边环境影晌预测的方法主要有：

1 调查、收集资料，必要时可辅助勘察、物探、实验等手段，利用综合分析判断法对影响程度进行预测；

2 对施工机械、施工工艺、抽水设施敷设方式等进行分析判断，预测施工期间或抽水期间对周边环境的影响程度；

3 利用解析法或数值法预测施工降水期间地下水位动态变化情况，进而预测建(构)筑和地下管线的沉降变形、对既有地下水开采井的影响、生态环境的变化等情况；

4 利用解析法或数值法预测施工降水时的地下水水质变化情况。

6.4.3 降水引起的基坑周边地层沉降量可采用分层总和法按下式计算：

$$s = \sum_{i=1}^n y_i \frac{\Delta p_i \Delta h_i}{E_{si}} \quad (6.4.3)$$

式中：s——计算点的总沉降量（m）；

Δp_i ——计算点因水位变化施加于第*i*层土的均布附加应力（kPa）；

Δh_i ——计算点第*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附加应力之和的压力段的压缩模量值；

y_i ——沉降经验修正系数，一般第四纪沉积地层可按照表6.4.3取值，新近沉积地层取1。

表6.4.3 沉降经验修正系数

含水层岩性	卵砾石	中粗砂	粉细砂	粉土	粘性土
y_i	0.6-0.8	0.5-0.7	0.4-0.6	0.3-0.5	0.2-0.4

注：1 沉降经验修正系数取值可根据地层厚度选择，土层较厚时取小值，土层较薄时取大值；

2 抽水时间较长宜取大值，抽水时间较短可取小值。

6.4.4 基坑外地层中因降水引起的各层土附加应力可按本规范 6.2.15 条计算出的地下水位降深后确定。沉降应计算降水后发生孔隙水压力变化的每个地层的沉降值。施工降水中，粘土隔水层和基岩不进行沉降计算。

6.4.5 施工降水对既有地下水开采井影响预测应在调查收集施工降水影响范围内的既有开采井情况基础上，利用群井抽水条件下计算出既有开采井处地下水位的降深值，重新计算既有抽水井的单井出水量，通过降水前后的既有开采井单井出水量对比分析，评估基坑降水影响范围内既有地下水开采井的影响程度。

6.4.6 施工降水引起地下水水质变化的预测应对施工降水可能引发地下水水质变化的区域及受到施工降水影响的各含水层进行背景值确定，确定引发地下水水质变化的污染物指标和引发地下水水质变化的污染途径以及污染物扩散路径，计算污染物进入被污染含水层后的浓度值变化。

6.4.7 施工降水引起生态环境变化预测应在调查、勘察和收集已有资料基础上，分析降水前地

下水位与周边环境生态环境的水力联系，根据地下水位变化情况预测周边环境的变化。

6.4.8 在施工降水对周边环境预测中，应根据相关行业的标准判别施工降水对周边环境的影响程度。

- 1 对周边环境的影响程度小，可加强周边环境施工监测；
- 2 对周边环境的影响程度大，除加强周边环境施工监测外，应采取其它辅助工程措施予以保护。

6.4.9 施工降水对周边环境的影响，有下列情况之一时需要采取辅助工程措施。

- 1 施工降水影响范围内有易燃、易爆、易漏的地下管线，预测施工降水引起的累积沉降值大于10mm或该管线的允许沉降值；
- 2 施工降水影响范围内有建(构) 筑物，预测施工降水引起的累积沉降值大于10mm或该建筑物的允许沉降值，或倾斜值大于0.2%或该建筑的允许倾斜值，且无条件采用其它有效保护建(构) 筑物沉降措施；
- 3 施工降水影响范围内，浅层含水层已被严重污染，预测施工降水将引起深部含水层污染或污染范围进一步扩大；
- 4 施工降水影响范围内有重要水源井分布，预测施工降水将引起水源井开采能力下降，且无条件采用其它有效保护措施；
- 5 施工降水对周边交通环境、居住环境、生态环境影响较大，且无条件采取其它补救措施。

6.4.10 降水工程施工前或施工中，应根据降水对周边环境的影响预测以及施工监测资料，判断工程环境影响程度，并采取相应的风险控制措施。

- 1 根据周边环境条件和地质条件采取分层、分区降水方案；
- 2 根据周边环境条件和地质条件采取隔水和降水相结合的地下水控制方案；
- 3 降水系统的布置和施工应尽量减少保护对象的地下水位变化幅度；
- 4 降水井应尽量远离保护对象，相距较近时，应采取措施减小降水深度；
- 5 降水井施工时，应避免采用可能危害保护对象的施工方法；
- 6 在邻近保护对象一侧设置隔水帷幕或回灌水系统；
- 7 在厚度较大的粉细砂地层中钻井应做好护壁；
- 8 严格执行“按需降水”的原则，动态控制降水井的开启和关闭。

7 污染场地地下水控制

7.1 一般规定

7.1.1 污染场地水文地质勘察工作除应满足第 4 章要求外，尚应符合现行北京市地方标准《场地环境评价导则》DB11/T 656 的有关技术要求，并编制专门的水文地质勘察报告。

7.1.2 污染场地地下水控制采用的设计方案、施工方法和监测井施工不得增加对周边环境和本场地地层及地下水的污染。

7.1.3 污染场地地下水控制工程应采用帷幕隔水方案。当采用帷幕隔水方案技术不可行时，可采用降水方案。

7.1.4 污染场地地下水控制工程施工应加强管理、采取措施，确保人体健康和环境安全。

7.1.5 污染场地地下水控制工程运行期间应加强地下水水质监测，以确定地下水控制达到工程设计目标。

7.1.6 在污染场地地下水控制工程完成后，应根据地下水水质监测结果编制污染场地地下水控制专题报告。

7.2 污染场地地下水控制设计

7.2.1 进行污染场地地下水控制设计前应补充以下资料：

- 1 污染场地环境调查报告、污染场地风险评估报告、污染场地土壤修复可行性研究报告；
- 2 污染场地专门的水文地质勘察报告。

7.2.2 污染场地地下水控制设计应与基坑支护设计同时进行。设计时应考虑上层污染水对下层水的影响，防止造成新的污染。

7.2.3 污染地下水控制设计应根据建（构）筑物基础埋深、地下水类型、污染地下水分布范围选择多种地下水控制方案进行技术经济对比分析，选择技术可靠、经济合理、环境安全的污染场地地下水控制方案。

7.2.4 污染场地地下水控制宜优先选择落底式地下连续墙和坑内疏干相结合的方案。当含水层底板埋藏浅也可选择桩间、桩后帷幕和坑内疏干相结合的方案。

7.2.5 桩间、桩后帷幕深度不宜超过 20m，桩径应确保帷幕底部在最不利施工精度下的搭接宽度不小于 200mm。

7.2.6 地下连续墙和桩间、桩后帷幕的渗透系数应小于 10^{-6}cm/s 。

7.2.7 污染场地地下水控制应在施工方案中确定施工产生泥浆的二次污染控制措施、场地施工安全措施、人员健康保护措施和相应的应急预案等。

7.3 污染场地地下水控制施工

7.3.1 应根据污染场地污染物对人体健康危害程度，给施工人员配备必要的防护用品、并进行相应的安全卫生防护知识培训。

7.3.2 污染场地地下水控制施工形成的泥浆以及其它污染混合体，应进行环保处理，不得形成二次污染。

7.3.3 防渗墙施工应确保接缝质量，当施工中出现接缝不密实时应在接缝处采取补救措施。

7.3.4 疏干井深度应根据现场实际隔水层厚度和顶板起伏情况严格控制，不得穿透隔水层。

7.3.5 疏干井滤水管应考虑地下水污染情况，选择具有一定强度、不污染地下水、耐腐蚀的管材。

7.4 污染场地地下水排放

7.4.1 污染场地抽出的地下水可集中在具有防渗性能的集水池内，在现场进行污染水处理，如现场处理困难，应运送到指定场地进行环保处理。

7.4.2 污染场地抽出的受污染地下水，必须处理达标后排放或利用。未经处理的污染水不得进行回灌和综合利用，严禁地表排放，严禁排入城市雨污水管线、河道及地表水体。

8 既有建筑地下水控制

8.1 一般规定

8.1.1 当既有建筑结构自重不能满足抗浮稳定要求，在增加抗浮力措施不可行时，可采用地下水控制措施满足既有建筑的抗浮稳定性要求。

8.1.2 既有建筑地下水控制可以采用帷幕隔水和排水减压等方法。根据场地水文地质条件和结构设计条件，可采用多种方法相结合的组合式地下水控制措施。

8.1.3 既有建筑地下水控制设计方案可在一定水文地质条件和结构设计分析基础上，进行多种可行方案的技术经济比较，确定技术经济和资源环境友好的地下水控制方案。

8.1.4 既有建筑地下水控制方案设计前应在收集原有岩土工程勘察报告和水文地质资料的基础上进行专项水文地质勘察，查清场地地层分布和现状水文地质条件，确定抗浮地下水控制设计有关的技术参数。

8.1.5 根据抗浮水位、岩土工程条件、水文地质条件、既有建筑结构设计条件和周边环境条件，既有建筑地下水控制方法选择优先顺序为：帷幕隔水、排水减压。当选择排水减压时，尚应符合现行法规、规定。

8.1.6 既有建筑选择地下水控制方法应考虑下列因素：

- 1 既有建筑设计条件；
- 2 原基坑或地下工程支护方案；
- 3 既有建筑周边环境条件；
- 4 施工条件；
- 5 排水条件；
- 6 有关水资源和环境保护法规、规定。

8.2 既有建筑抗浮稳定性评价

8.2.1 既有建筑结构抗浮稳定性应符合下式要求：

$$\frac{R_k}{N_{wk}} \geq K_w \quad (8.2.1)$$

式中： R_k ——既有建筑的抗浮力标准值（kN）；

N_{wk} ——建筑物所受地下水浮力标准值（kN）；

K_w ——抗浮稳定安全系数，按 1.0~1.1 取值。

8.2.2 既有建筑的抗浮力可按下式计算：

$$R_k = G_k + T_k \quad (8.2.2)$$

式中： G_k ——既有建筑自重和压重之和(kN)。

T_k ——既有建筑的抗浮构件的抗力标准值(kN)。

8.2.3 既有建筑所受浮力应根据专项水文地质勘察报告提供的抗浮设防水位确定。

8.3 帷幕隔水

8.3.1 当基础以下存在可靠的连续隔水层时，可以采用帷幕隔水的措施进行抗浮，且应符合如下要求：

- 1 在帷幕类型上，应采用落底式隔水帷幕；
- 2 隔水帷幕体底部轮廓线应保证连续性；
- 3 隔水帷幕应选择防渗墙；
- 4 隔水帷幕内应采取排水辅助措施。

8.3.2 帷幕的相关设计参数应满足下列要求：

- 1 帷幕的渗透系数应小于 10^{-6} cm/s；
- 2 帷幕嵌入相对隔水层的深度可按本规范第 5 章相关条款确定。

8.3.3 帷幕设计施工前应进行地下水和土层对帷幕建筑材料腐蚀性评价，评价原则可按现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB50021 相关条文执行，根据腐蚀性评价结果确定耐腐蚀性的帷幕施工材料。

8.3.4 当既有建筑位于地下水重要补给区时，应就帷幕隔水对区域地下水渗流场阻隔作用及其次生环境工程问题等进行论证，当不符合当前政策要求时应采取必要的工程措施或直接采用其他地下水控制措施。

8.4 排水减压

8.4.1 排水减压可采用集水井、泄水孔和静水压力释放等方法，并宜按照表 8.4.1 综合确定合适的减压方法。

表 8.4.1 各类排水减压方法适用条件

方法	适用地层条件	适用地下水类型	对渗透系数要求(cm/s)	其它要求
集水井	粉土、砂土	潜水和承压水	$>10^{-3}$	无
泄水孔	粉土、粘性土和砂土	上层滞水和潜水	$10^{-5} \sim 2 \times 10^{-2}$	

静水压力释放技术	粉土和粘性土	上层滞水	$\leq 10^{-5}$	①基底下方粉土或粘性土层厚度在 2m 以上 ②渗流量不超过 $0.03\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$
----------	--------	------	----------------	---

8.4.2 集水井方法核心构造应包括集水井、排水系统、水压警示监测系统和潜水泵等。

1 集水井的平面布置与流量设计可按本规范第 6 章相关规定执行。对于地质及环境条件复杂情况下，宜根据既有建筑周边的建成环境条件、水文地质条件、水文地质参数和抗浮水位等资料，在数值模拟的基础上综合确定；

2 集水井的施工宜按现行国家标准《供水管井技术规范》（GB50296）的要求执行，且应满足工程正常使用年限的要求或便于后续的维护；

3 定期加强设备的检修和维护，寒冷季节应采取必要的防冻措施，保证整个系统能正常运行，必要时设置备用电源和设备。

8.4.3 在地下水补给量不大和地下结构允许的条件下，可采用泄水孔排水减压方法。泄水孔排水减压法的核心构造应包括泄水孔、排水沟和水压警示监测系统等。

1 在水文地质条件复杂情况下，泄水孔的设计应根据既有建筑周边的水文地质条件、水文地质参数和抗浮水位等资料，在一定数值模拟的基础上综合确定；

2 为防止泄水孔堵塞，一般需要在泄水孔中安装耐腐蚀性材料的桶和滤料组成的泄水装置，保证泄水的畅通，必要时需要设定封堵设备。

8.4.4 当基底附近地层岩性为粉土或粘性土，且抗浮水位较高时，在经过充分的技术经济论证条件下，可采用静水压力释放技术进行地下水位控制。

8.4.5 排水减压方法应设置排水系统，具体要求可按本规范的第 6 章相关规定执行。

8.4.6 当排水量较大或水压力降幅较大时，排水减压法在采用前应就其对周边环境的影响进行评价，技术要求可按本规范的第 6 章相关规定执行，不符合要求情况下应辅以有效的回灌措施或采用其他抗浮措施。

9 地下水回灌与抽排水综合利用

9.1 一般规定

- 9.1.1** 地下水回灌分为防沉降地下水回灌和资源性地下水回灌。两种地下水回灌水源应采用施工降水的抽排水。
- 9.1.2** 地下水回灌不得恶化地下水环境。
- 9.1.3** 抽排水综合利用应在工程场地内最大可能利用施工降水所抽排的地下水，减少利用自来水等其它水源。
- 9.1.4** 地下水控制工程设计和工程施工组织设计或施工方案都应包含抽排水的综合利用，尽量减少地下水资源浪费。
- 9.1.5** 编写抽排水综合利用方案时，应充分考虑到场地周边环境条件、水文地质工程地质条件、土建施工方法及工期、工程经济等方面的因素。
- 9.1.6** 抽排水综合利用的前提是保障基坑降水效果及基坑和周边环境安全，地下水环境不恶化，水文地质条件、工程地质条件基本不变，地下工程施工不受影响。
- 9.1.7** 抽排水综合利用的水质标准要满足使用对象所要求的水质标准。抽排水综合利用以外的剩余水应按北京市相关规定进行排放，并执行现行北京市地方标准《北京市水污染物排放标准》DB11/307 中的规定。

9.2 防沉降地下水回灌

- 9.2.1** 当通过工程环境预测，施工降水将对周边建(构)筑物或地下管线等产生沉降危害影响时，可采取地下水人工回灌措施防止地面沉降。
- 9.2.2** 防沉降地下水回灌场地应选择在基坑降水设施和需控制沉降的周边建(构)筑物或地下管线等之间，且回灌井的控制范围应大于周边建(构)筑物或地下管线等与基坑相邻侧的边长(见图 9.2.2-1、9.2.2-2)。

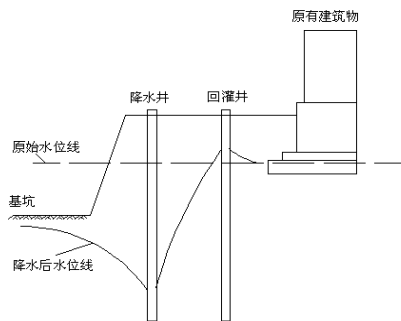


图 9.2.2-1 地下水回灌示意图

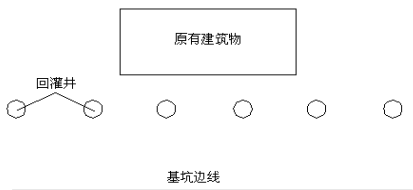


图 9.2.2-2 回灌井布置范围示意图

9.2.3 防沉降地下水回灌应以控制沉降区地下水位保持不变为目的，采用同层回灌并控制回灌井水头高度，以保持控制沉降区地层中孔隙水压力不发生变化。

9.3 资源性地下水回灌

9.3.1 地下水回灌应符合下列要求：

1 按本规范附录 G 施工降水限量分区图中，凡处于 I、II、III区的基坑工程，且施工降水排水量较大（每天抽排水量大于 $1 \times 10^4 \text{m}^3$ ）时，应考虑地下水人工回灌措施；

2 对人工回灌地下水要严格控制回灌水量和回灌水质量标准，避免引起次生地质、环境问题；

3 回灌水的水质标准应满足现行国家标准《地下水环境质量标准》GB/T 14848 中的III类水水质标准，或不低于消纳含水层的水质标准；

4 回灌水的物理堵塞指标主要考虑悬浮物浓度和含砂量，悬浮物浓度应控制在 20mg/L 以下，含砂量应小于 1/200000(体积比)。

9.3.2 地下水回灌分地表回渗和井灌。根据工程建设场地的水文地质条件，施工场地可回灌性分级见表9.3.2。

表9.3.2 施工场地可回灌性分级

水文地质条件	可回灌性				
	强	较强	中	较弱	弱
地下水类型	潜水（强）承压水(弱)				
含水层厚度（m）	>40	30-40	20-30	10-20	<10
含水层渗透系数(m/d)	>80	40-80	20-40	10-20	<10
含水层埋深(m)	<10	10-30	30-80	80-150	>150

9.3.3 地表回渗应符合下列要求：

- 1 地表具有透水性较好的土层，比如卵砾石、砂土、裂隙发育层等；
- 2 接受补给的地下含水层应具有较大的孔隙和孔隙度，分布面积较大，并有一定的厚度；
- 3 入渗补给区域与抽水区应有一定的距离。

9.3.4 井灌宜根据场地水文地质条件采用管井、大口井或辐射井。根据场地条件和降水目的层与人工回灌地下水消纳目的层之间关系可选择同层回灌或异层回灌。

- 1 为防止降水引起地面沉降危害发生，或降水造成生态环境恶化时，应选择同层回灌；
- 2 为保护地下水资源时，可采用前抽后灌或浅抽深灌；
- 3 根据场地水文地质条件，当浅部含水层采用帷幕隔水时可以采用深抽浅灌。

9.3.5 根据含水层和地下水位埋深情况，地下水回灌入渗方式可以选择真空回灌、压力回灌或

重力回灌。

- 1 真空回灌适用于地下水位埋藏较深，含水层渗透性能良好的地区；
- 2 压力回灌适用于地下水位高、透水性差的含水层；
- 3 重力回灌适用于地下水位较低，透水性较好，渗透系数较大的含水层。

9.3.6 地表回渗入渗量计算可采用渠道入渗量计算方法，其公式如下。

$$q = k(B + C_2 H_0) \quad (9.3.6-1)$$

式中： q ——渠道单位长度渗漏量(m^3/d)；

k ——地层渗透系数(m/d)；

B ——渠道中水面宽度(m)；

H_0 ——水面至渠底深度(m)；

T ——渠底至二个地层分界面的距离(m)；

C_2 ——与 B/H_0 、 T/H_0 有关的系数，可从图 (9.3.6-2) 查得。

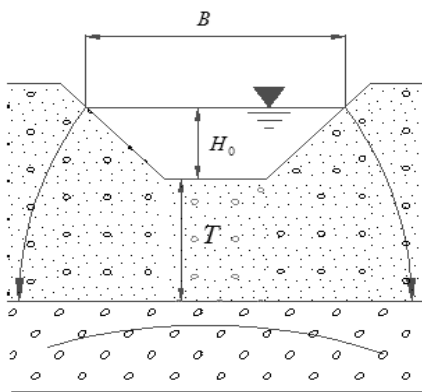


图 9.3.6-1 渠道入渗量计算示意图

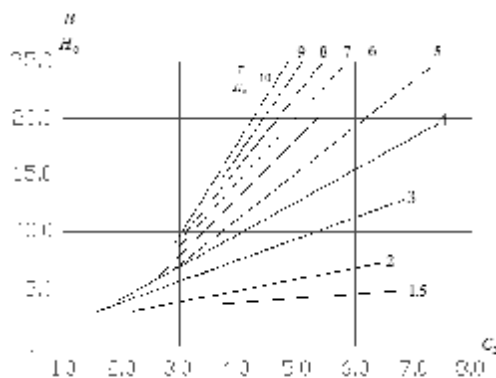


图9.3.6-2 B/H_0 、 T/H_0 关系曲线

9.3.7 采用重力回灌时，井灌入渗量可按公式(9.3.7-1)计算潜水含水层回灌水量，按公式(9.3.7-2)计算承压含水层回灌水量。计算简图见图9.3.7-1和图9.3.7-2。

$$Q = 1.366 K \frac{h_w^2 - H_0^2}{\lg R / r_w} \quad (9.3.7-1)$$

$$Q = 2.732 KM \frac{h_w - H_0}{\lg R / r_w} \quad (9.3.7-2)$$

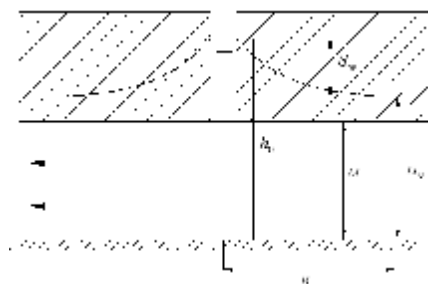
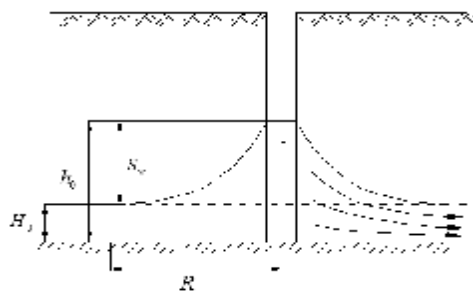


图9.3.7-1 潜水井回灌计算简图

9.3.7-2 承压水井回灌计算简图

9.3.8 回灌井结构设计应根据场地水文地质情况，成井工艺，回灌方式等条件来进行设计，并符合表9.3.8的要求。

表9.3.8 回灌井结构参数

井结构参数	一般要求	特殊要求	
		同层回灌	异层回灌
井深	深度一般应大于降水井的深度。当回灌场地有非饱和的砂卵石地层时，应充分利用，在增加回灌量的情况下可减少回灌井深度。	应根据回灌目的含水层厚度来确定，一般为该含水层的完整井深度为宜。	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。
井径	一般应大于等于抽水管井的井径，且不宜小于 $\phi 600\text{mm}$ 。	在条件允许的情况下，可施工大口井或辐射井，在场地占用、回灌量、回灌过程管理等方面均优于管井。	
过滤器	过滤器总长度应大于抽水井的过滤器总长度2倍以上。过滤器孔隙率也应大于抽水井的孔隙率。	过滤器长度根据回灌层的水文地质条件有所不同，在潜水含水层中过滤器长度应大于潜水含水层厚度；在承压含水层中，回灌井过滤器长度应与承压含水层厚度一致。	
沉淀管	应大于抽水管井的沉淀管长度。	大口井、辐射井的沉淀(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。	
滤料	应和场地水文地质条件相配，与抽水井滤料规格基本相同。	取抽水井滤料规格的上限。	

9.3.9 回灌井数量宜根据场地水文地质条件、场地施工条件、回灌水量要求、场地排水条件等综合确定。当设计回灌井和抽水井结构基本相同，水文地质条件基本相同时，在缺乏经验数据时，可按表9.3.9北京地区的单位回灌量经验灌采比来确定回灌井数量。

表9.3.9 单位可回灌量与开采量比值

含水层条件	卵砾石	粗砂	细砂
单位灌采比 (回灌量/开采量)	60%	30%-50%	10%-30%

9.3.10 回灌井布置应符合下列要求：

- 1 当采用同层回灌时，回灌井应布置在基坑降水影响范围之外，连接排水回灌的管(渠)应做好防渗漏保护；
- 2 当采用异层回灌时，回灌井应布置在基坑降水场地地下水下游方向，回灌井应做好对应抽水含水层的止水防护；
- 3 回灌井点间距应根据场地水文地质条件和回灌量来确定。
 - 1) 管井回灌宜采用等间距。对可灌性较强的场地，回灌井间距宜取15m-20m；
 - 2) 对可灌性较弱的场地，应适当控制回灌井间距，一般小于10m；
 - 3) 大口径回灌井可根据场地条件来布置，间距不宜小于15m。

9.3.11 回灌管路由沉淀池、输水管道、净水池、水表、阀门、注水管、回扬泵及泵管等组成。若采用压力回灌时还应配置加压水泵。

9.3.12 施工降水回灌过程中应加强技术管理，应按表9.3.12中的技术要求进行操作。

表9.3.12 井灌过程中技术要求

井灌方式	技术要求	备 注
真空回灌	1.真空回灌管路必须密封，用拉真空方法判断密封效果时，8小时内真空度应维持在700 mmHg -500mmHg; 2.回灌量控制应由小到大，保持最佳回灌量应为抽水量的1/2; 3.必须定期回扬冲洗。	1. 回扬频率： 松散、粗大颗粒地层每周1-2次；中细颗粒地层每天1-2次。
压力回灌	1.回灌前要排出管路和泵管内的空气； 2.回灌量和压力要由小到大逐步调节； 3.压力泵输水管可同时与多眼回灌井联通，以调节井堵时的压力； 4.要定期回扬，冲洗清除滤网附近的杂质。	2. 回灌过程中应做好回灌记录。 3、利用专门监测孔对回灌水位情况进行监测。
重力回灌	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.随时观测回灌井水位，避免回灌井水位溢出。	

9.3.13 资源性地下水回灌的效果，应通过对回灌量的监测统计以及对回灌含水层的水位监测来评估。对于较大量的地下水回灌，可以通过数值模型来评估场区地下水位变化情况。

9.4 抽排水的综合利用

9.4.1 在施工降水技术方案中应编制抽排地下水综合利用方案。

9.4.2 抽排地下水可优先满足场地内工程建设和环境对水的需要。在基坑施工降水过程中，应充分利用抽取的地下水，减少工程施工中使用其它水资源量。

- 1 利用施工降水进行工地车辆的洗刷、冲厕、降尘、钢筋混凝土的养护等；
- 2 在场地内对抽取地下水利用后有剩余部分的，可用于绿地、河湖、环境卫生等。

9.4.3 在场地的工程建设和环境中使用抽排的地下水，若有剩余，可排入雨水管道或河道，严禁把抽排的地下水排入污水管道。

9.4.4 工程应设置专门的沉砂池，在排水口处修建容积不小于4立方米的沉砂池，并定期清理沉砂，然后才允许排入雨水沟内。

10 地下水控制工程监测

10.1 一般规定

10.1.1 进行地下水控制时,应实施地下水监测工作。地下水监测应根据工程具体情况选择水位、出水量、含砂量、水质及周边地面沉降等方面进行监测,实施动态管理和信息化施工。

10.1.2 地下水控制工程监测应综合考虑地下水控制设计方案、建设场地的工程地质和水文地质条件、周边环境条件、施工方案等因素,制定合理的监测方案,精心组织和实施监测。

10.1.3 监测实施前应编制监测方案。监测方案应包括工程概况、监测依据、监控目的、监测项目、监测项目控制值、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以及信息反馈系统等。并应经建设、设计、监理等单位认可后实施。

10.1.4 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观测次数,同时应及时分析原因,并采取有效可行的预防措施。

10.1.5 应根据监测方案,及时分析、处理监测数据,并将监测结果和评价及时进行信息反馈。

10.1.6 当建设工程设计或施工有重大变更时,应及时调整监测方案。

10.1.7 工程监测不应影响监测对象的结构安全,不得妨碍其正常使用。

10.1.8 支护结构位移监测等执行现行国家标准《建筑基坑工程检测技术规范》GB50497 中相关规定。

10.2 水位监测

10.2.1 工程建设过程中,地下水水位可能对工程产生影响,需要进行地下水控制时,应进行地下水水位的监测。

10.2.2 地下水水位可通过敞口式地下水水位观测孔或孔隙水压力计进行监测。强透水层中的地下水水位宜采用敞口式地下水水位观测孔进行监测,弱透水层中的地下水宜采用孔隙水压力计进行监测。

10.2.3 采用降水方法进行地下水控制,地下水水位监测点的布置应满足下列要求:

1 水位监测点宜布置在监测范围中央和周边拐角处,监测点数量视具体情况确定,且每个含水层不宜少于3点;

2 水位监测点应位于最低设计水位之下。对于需要降低承压水水头的工程,水位监测点深度应根据设计需要确定;

3 基坑外地下水水位监测点应沿基坑周边、被保护对象周边或在两者之间布置,监测点间距宜为20m~50m,且不宜少于3点。

10.2.4 采用帷幕隔水方式进行地下水控制,地下水水位监测点应布置在截水帷幕外侧2m范围内,

截水帷幕外侧的观测孔间距宜为20m~30m，且不宜少于3点。

10.2.5 当地下水控制对环境影响较大时，应在相邻建（构）筑物、重要的地下管线或管线密集处布置水位监测点。当影响范围内存在需要进行保护的建筑物、地下管线和道路时，应在临近基坑方向的一侧布置地下水位监测点。

10.2.6 在完成降水井和地下水位监测井施工并进行洗井作业后应及时进行地下水位的监测。

10.2.7 地下水位监测可按本规范附录H的样表记录，监测频率应满足下列要求：

- 1 抽水前的静止水位观测频率宜每天1次；
- 2 抽水初期应对地下水监测点进行每天2次的观测，并对降水井水位进行监测；
- 3 当水位稳定后可每天对地下水位监测点观测1次，如出现水位波动较大，应加密监测；
- 4 水位监测频率可根据地下水动态类型与特征及监测工作研究程度等因素进行调整；
- 5 当出现停电、潜水泵损坏等情况，造成地下水位变化异常，应采用较高频率测量地下水位，预测可能出现的工程问题，并采取有效措施，避免造成工程事故。

位，预测可能出现的工程问题，并采取有效措施，避免造成工程事故。

10.2.8 水位管的管口应高出地表并做好防护墩台，加盖保护，管位处应有醒目标识。

10.2.9 应测量管口的绝对高程。

10.2.10 监测过程中应绘制地下水水位降深曲线，及时分析地下水位变化的合理性，并及时反馈。

10.3 出水量、含砂量监测

10.3.1 进行地下水控制过程中，出水量的变化可能对工程建设、周边环境、地下水资源等造成较大影响时，应进行出水量监测。

10.3.2 出水量监测可采用流量计、流量槽进行监测。根据流量大小不同可分别采用三角堰、梯形堰和矩形堰进行监测，排水孔出水量宜用流速仪进行监测。

10.3.3 出水量监测的同时，可采用水表、电磁流量计等监测方法，对总出水量进行监测。

10.3.4 出水量监测应符合下列要求：

1 出水量的监测宜与水位监测同步进行。以分析水位降低与出水量的变化关系，对水位变化进行预测；

2 根据地下水位和抽水量的情况，在保证地下水位控制要求的前提下，可停止某些降水井的抽水，减少对地下水的抽取量；

3 对出水量监测数据和降水运行情况应按本规范附录J进行专项记录。。

10.3.5 出水量监测过程中应及时绘制地下水水位降深曲线、抽水量曲线，分析地下水位变化与抽取水量的关系，及时对抽取水量做出调整，以减少对地下水的抽取。

10.3.6 进行地下水抽降作业时，应对抽取地下水的含砂量进行监测。

10.3.7 地下水抽降期间应根据含水层的特征、工程条件以及周边环境综合确定含砂量的监测频

率。

10.3.8 地下水抽降一段时间后，若抽排水始终浑浊或含砂量明显较多，应及时查清原因，必要时可废除降水井并在附近补打新的降水井。

10.3.9 监测过程中出水量、含砂量发生突然变化或含砂量超出本规范第6.3.12条的规定等情况时，应立即反馈。

10.4 水质监测

10.4.1 以下情况应对地下水水质进行监测：

1 当地下水控制过程中可能对地下水水质产生影响时，应对地下水水质进行监测。检验方法应按现行国家标准《生活饮用水标准检验方法》GB5750执行；

2 在地下水已受污染的区域进行地下水控制时，应对地下水水质进行监测。

10.4.2 水质监测应在不同质量类别的地下水区域设立监测点进行水质监测，监测频率根据具体工程的需要确定，对于污染场地应适当增加监测频率。

10.4.3 一般建设场地的地下水水质监测项目，应根据场地主要水质问题确定。

10.4.4 污染场地的地下水水质监测项目，应根据污染源不同，应进行以下项目监测：

1 工业污染源:挥发酚、氰化物、六价铬、总铬、砷、汞及其他有毒有害物质；

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

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

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

5 放射性污染源:应测定总 α 放射性及总 β 放射性。

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

10.4.5 地下水水质监测点的布置应符合下列要求：

1 监测点的布置，应考虑污染源的分布和污染物在地下水中的扩散形式，采取点面结合的方法，监测污染物质及其运移规律；

2 监测点的布置应重点考虑易污染的浅层地下水和供水水源地保护区；

3 监测点应沿不同深度多级布置。

10.4.6 水质监测样品的采取应根据工程条件、污染源种类、污染方式及污染途径的不同，确定采样次数和采样日期。样品应在排污前、后和雨季前、后采取。

10.4.7 地下水回灌等可能对地下水水质产生影响时，应定期对回灌水水质进行监测，监测执行

现行国家标准《城市污水再生利用地下水回灌水质》GB/T 19772中相关内容。

10.4.8 应根据国家相应的水质规范规程，设置各水质监测项目预警值。

10.4.9 监测过程中发生水质变化等异常情况时，应立即反馈。

10.5 地面沉降监测

10.5.1 当地下水控制可能对地面沉降及周边环境产生较大影响时，应对地面沉降进行监测。

10.5.2 地面沉降监测范围应依据地下水控制可能的影响范围、场地的工程地质水文地质条件、工程类型和特点及周边环境条件综合确定。

10.5.3 地面沉降监测区域外应布设一等、二等水准控制网，水准控制网由基准点组成，且基准点不宜少于3个。

10.5.4 地面沉降监测点的布置应符合下列要求：

- 1 地面沉降监测点应埋设至原状土，标头应低于地面20cm，应采用套管和井盖保护；
- 2 地面沉降监测应根据地下水控制影响范围布设监测剖面，剖面间距宜为50 m~100m；
- 3 剖面线上的地面沉降监测点宜从沉降中心向外布设，点间距宜由密至疏布设；
- 4 当需要评价各土层的沉降变化情况时，宜在地面沉降影响范围内进行土体分层沉降监测。

10.5.5 地面沉降监测点的监测频率应符合下列要求：

- 1 监测频率应与地下水水位监测、地下水抽取水量监测协调一致；
- 2 监测频率可根据地质条件、沉降量和建设工程具体情况适当调整；
- 3 监测项目的累计变化量超过预警值时，应适当加密监测，并分析原因；
- 4 建设工程地面沉降监测记录可按本规范附录K执行。

10.5.6 地面沉降监测信息的管理应符合下列要求：

- 1 监测过程中应绘制各测点地面沉降曲线，分析各测点地面沉降变化趋势和对基坑及周边环境的影响；
- 2 各测点地面沉降如发生突然变大情况，应及时分析原因，并确定其潜在风险；
- 3 当地面沉降或变形接近或超过预定的限值，应采取措施，防止突发事件或事故的发生；
- 4 监测过程中发生变形过大、速率过快等异常情况时，应立即反馈。

10.6 监测预警

10.6.1 地下水控制设计文件应明确各项地下水监测项目的预警值，当监测数据达到预警值时必须立即进行报警。

10.6.2 地下水控制监测预警值应符合工程设计的限值、结构设计要求以及监测对象的控制要求。

10.6.3 地下水控制监测预警值应根据监测项目的不同，分别以监测项目的累计变化量和变化速率值进行控制。

10.6.4 地下水监测过程中出现下列情况之一时，应立即进行预警：

- 1 地下水水位突然发生较大变化时；
- 2 降水过程中地下水水量突然发生较大变化时；
- 3 降水过程中抽取地下水含砂量突然增大时；
- 4 基坑开挖范围外下部含水层水质发生变化时；
- 5 建（构）筑物、桥梁、地面等周边环境出现较大沉降、倾斜、裂缝时；
- 6 根据工程经验判断，出现其他必须进行预警的情况。

10.6.5 地下水监测过程中，各项监测数据发生突然的较大变化时，或监测数据超过设计文件确定的预警值时，应及时反馈。

10.7 监测成果

10.7.1 地下水控制监测成果报告应资料完整、真实准确、数据无误、图表清晰

10.7.2 成果报告所依据的监测记录、计算资料及技术成果等均应标明工程名称、监测单位，并应有相关责任人签字。

10.7.3 根据监测委托方的要求，针对不同的监测对象，可按周期提供阶段性监测成果，阶段性成果一般应包含以下内容：

- 1 本次及前 1 次~2 次的监测结果；
- 2 本次监测结果与前一次监测结果的变化；
- 3 本次监测后，监测结果的累积变化；
- 4 对监测结果的简要说明及分析、建议。

10.7.4 地下水控制监测成果报告书内容应真实、完整，重点应突出，结构应清晰，文理应通顺，结论应明确。报告书内容应包括下列内容：

- 1 工程概况。应包括项目来源、监测目的和要求，测区地理位置及周边环境，项目完成的起止时间，实际布设和监测的基准点、监测点和监测次数等，项目监测单位、项目负责人等；
- 2 监测依据；
- 3 监测项目；
- 4 监测设备和监测方法；
- 5 监测频率；
- 6 各监测项目全过程的发展变化分析及整体评述；
- 7 监测工作结论与建议；
- 8 附图附表等。

附录 A 水文地质参数计算方法

A.0.1 水文地质参数计算方法的选用应根据现场试验方法确定。

A.0.2 降水头注水试验土层的渗透系数可按下式计算：

$$k = \frac{0.0523 \cdot r^2 \ln(H_1/H_2)}{A \cdot (t_2 - t_1)}$$

(A.0.2)

式中：k——渗透系数（cm/s）

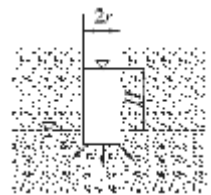
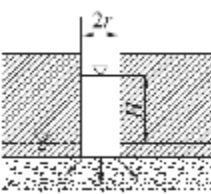
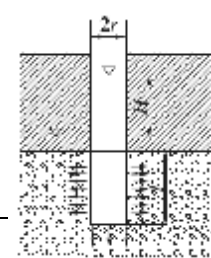
t₁、t₂——注水试验某一时刻的试验时间(min)；

H₁、H₂——试验时间t₁、t₂时的试验水头(cm)；

r——钻孔套管半径（cm）；

A——形状系数（cm），按表 A.0.2 选用。

表 A.0.2 注水试验的形状系数值

试验条件	简图	形状系数A	备注
试验段位于地下水位以下，钻孔套管下至井底，孔底进水。		5.5r	-
试验段位于地下水位以下，钻孔套管下至井底，孔底进水，试验土层顶板为不透水层。		4r	-
试验段位于地下水位以下，孔内不下套管或部分下套管，试验段裸露或下滤管，孔壁和孔底进水。		$\frac{2\pi l}{\ln \frac{m}{r}}$	$\frac{l}{r} > 8$ $m = \sqrt{k_h/k_v}$ 式中：k _h 、k _v 分别为试验土层的水平、垂直渗透系数，无资料时，m值可根据土层情况估计
试验段位于地下水位以下，孔内不下套管或部分下套管，试验段裸露或下滤管，孔壁和孔		$\frac{2\pi l}{\ln \frac{2m}{r}}$	$\frac{l}{r} > 8$ $m = \sqrt{k_h/k_v}$ 式中：k _h 、k _v 分别为试验土层的水平、垂直渗透系数无资料时，

底进水，试验土层顶板 为不透水层。			m值可根据土层情况估计
----------------------	--	--	-------------

A.0.3 稳定流计算公式

1 单孔稳定流抽水试验，当利用观测孔中的水位下降资料计算渗透系数时，若观测孔中的水位降深值 s （或 Δh^2 ）在 s （或 Δh^2 ）- $\lg r$ 关系曲线上能连成直线，可按下列公式计算：

承压水完整孔：

$$k = \frac{Q}{2pM(s_1 - s_2)} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (\text{A.0.3-1})$$

潜水完整孔：

$$k = \frac{Q}{p(\Delta h_1^2 - \Delta h_2^2)} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (\text{A.0.3-2})$$

式中： s_1 、 s_2 ——在 s - $\lg r$ 关系曲线的直线上任意两点的纵坐标值（m）；

Δh_1^2 、 Δh_2^2 ——在 Δh^2 - $\lg r$ 关系曲线的直线上任意两点的纵坐标值（ m^2 ）；

r_1 、 r_2 ——在 s （或 Δh^2 ）- $\lg r$ 关系曲线上纵坐标为 s_1 、 s_2 （或 Δh_1^2 、 Δh_2^2 ）的两点至水井的距离（m）。

s ——承压含水层观测孔中的水位下降值（m）；

Δh^2 ——潜水含水层在自然情况下的厚度 H 和观测孔动水位水柱高度 h 的平方差（ $\Delta h^2 = H^2 - h^2$ ）（ m^2 ）；

2 利用稳定流抽水试验观测孔中的水位下降资料计算影响半径时，可按下列公式计算：

承压水完整孔：

$$\lg R = \frac{s_1 \lg r_2 - s_2 \lg r_1}{s_1 - s_2} \quad (\text{A.0.3-3})$$

式中 R ——影响半径（m）

潜水完整孔：

$$\lg R = \frac{\Delta h_1^2 \lg r_2 - \Delta h_2^2 \lg r_1}{\Delta h_1^2 - \Delta h_2^2} \quad (\text{A.0.3-4})$$

A.0.4 非稳定流计算公式

利用抽水孔或观测孔的水位下降资料计算渗透系数时，可以采用配线法和直线法计算水文地质参数。

1 配线法计算公式：

承压水完整孔：

$$\left\{ \begin{array}{l} k = \frac{0.08Q}{Ms} W(u) \\ u = \frac{S}{4kM} \frac{r^2}{t} \end{array} \right. \quad (\text{A.0.3-5})$$

$$(\text{A.0.3-6})$$

潜水完整孔:

$$\begin{cases} k = \frac{0.159Q}{\Delta h^2} W(u) \\ u = \frac{m}{4kH} \frac{r^2}{t} \end{cases} \quad (\text{A.0.3-7})$$

$$\begin{cases} k = \frac{0.159Q}{\Delta h^2} W(u) \\ u = \frac{m}{4kH} \frac{r^2}{t} \end{cases} \quad (\text{A.0.3-8})$$

或

$$\begin{cases} k = \frac{0.08Q}{\bar{h} S} W(u) \\ u = \frac{m}{4kh} \frac{r^2}{t} \end{cases} \quad (\text{A.0.3-9})$$

$$\begin{cases} k = \frac{0.08Q}{\bar{h} S} W(u) \\ u = \frac{m}{4kh} \frac{r^2}{t} \end{cases} \quad (\text{A.0.3-10})$$

式中: $W(u)$ ——泰斯井函数;

S ——承压水含水层的弹性释水系数;

m ——潜水含水层的给水度;

$\bar{h}$ ——潜水含水层的平均厚度 $\bar{h} = \frac{H+h}{2}$, m。

2 直线法计算公式:

当 $\frac{S}{4kM} \frac{r^2}{t}$ (或 $\frac{m}{4kH} \frac{r^2}{t}$) < 0.01 时, 除可采用上式外, 可采用下列公式:

承压水完整孔:

$$k = \frac{Q}{4pM(s_2 - s_1)} \ln \frac{t_2}{t_1} \quad (\text{A.0.3-11})$$

$$S = \frac{2.25kMt_0}{r^2} \quad (\text{A.0.3-12})$$

潜水完整孔:

$$k = \frac{Q}{2p(\Delta h_2^2 - \Delta h_1^2)} \ln \frac{t_2}{t_1} \quad (\text{A.0.3-13})$$

$$m = \frac{2.25kHt_0}{r^2} \quad (\text{A.0.3-14})$$

式中: s_1 、 s_2 ——观测孔或抽水井在 s - $\lg t$ 关系曲线的直线段上任意两点的纵坐标值 (m);

Δh_1^2 、 Δh_2^2 ——观测孔或抽水井在 Δh^2 - $\lg t$ 关系曲线的直线段上任意两点的纵坐标值 (m²);

t_1 、 t_2 ——在 s (或 Δh^2) - $\lg t$ 关系曲线上纵坐标为 s_1 、 s_2 (或 Δh_1^2 、 Δh_2^2) 两点的相应时间 (mis);

t_0 ——与零降深轴相交处的时间 (mis)。

附录 B 基坑涌水量计算与数值模拟

B.1 一般规定

B.1.1 应根据工程场地地下含水层的埋藏形式、边界条件和井类型采用适当的方法进行基坑降水渗流计算。

B.1.2 基坑降水涉及多个含水层时,应根据每个含水层的性质分别采用相应的公式分层进行计算,位于槽底之上的含水层出水量按疏干考虑,即含水层水位降低至含水层底板。

B.1.3 地下水控制等级为二、三级的地下水控制工程,基坑涌水量可按大井简化的稳定流进行计算;地下水控制等级为一级的地下水控制工程,还应采用非稳定流和数值法进行计算、分析和模拟。

B.1.4 基坑长宽比小于等于20时,可采用圆形基坑大井公式计算基坑涌水量;基坑长宽比大于20小于等于50时,可采用条形基坑涌水量公式计算基坑涌水量;基坑长宽比大于50时,可采用线状基坑涌水量公式计算基坑涌水量。

B.2 稳定流计算

B.2.1 群井按大井简化的均质含水层潜水完整井的基坑涌水量可按下列公式计算(图B.2.1):

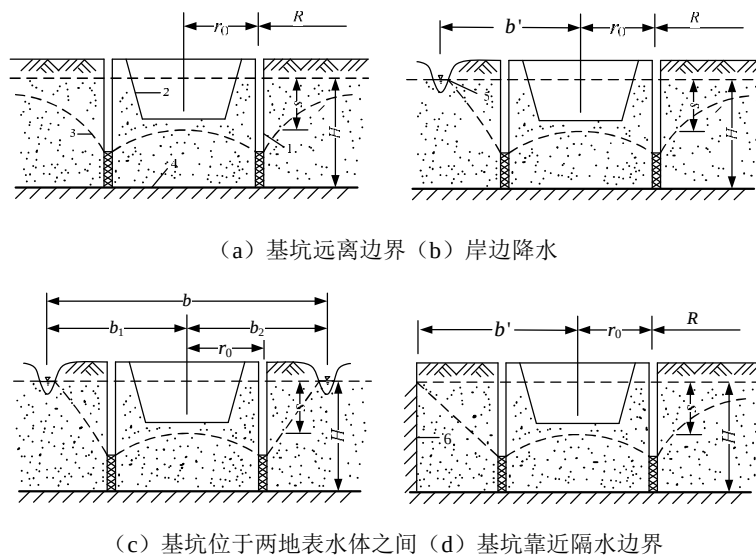


图 B.2.1 均质含水层潜水完整井基坑涌水量计算简图

1—降水井; 2—基坑; 3—降水后水位线; 4—含水层底板; 5—地表水体; 6—隔水边界

1 基坑远离边界时(图 B.2.1a),涌水量可按下式计算:

$$Q = \frac{1.366k(2H-s)s}{\lg[(R+r_0)/r_0]} \quad (\text{B.2.1-1})$$

2 岸边基坑降水时 (图 B.2.1b), 涌水量可按式计算:

$$Q = 1.366k \frac{(2H-s)s}{\lg \frac{2b'}{r_0}} \quad b' < 0.5R \quad (\text{B.2.1-2})$$

3 基坑位于两个地表水体之间降水时 (图 B.2.1c), 涌水量可按式计算:

$$Q = 1.366k \frac{(2H-s)s}{\lg \left[\frac{2(b_1+b_2)}{pr_0} \cos \frac{p(b_1-b_2)}{2(b_1+b_2)} \right]} \quad (\text{B.2.1-3})$$

4 基坑靠近隔水边界时 (图 B.2.1d), 涌水量可按式计算:

$$Q = 1.366k \frac{(2H-s)s}{2\lg(R+r_0) - \lg r_0(2b'+r_0)} \quad b' < 0.5R \quad (\text{B.2.1-4})$$

式中: Q ——基坑涌水量(m^3);

k ——渗透系数(m);

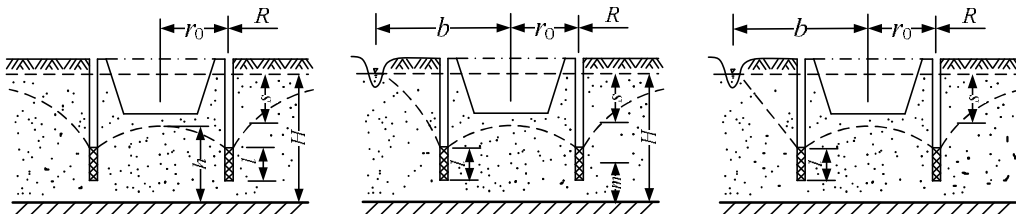
H ——潜水含水层初始厚度(m);

S ——基坑水位降深(m);

R ——降水影响半径(m);

r_0 ——基坑等效半径(m)。当基坑为圆形、不规则形状或长宽比小于等于 2.5 时, 基坑等效半径可采用 $r_0 = 0.565\sqrt{F}$ 公式计算; 当基坑为条形, 且长宽比小于等于 10 时, 基坑等效半径可采用长方形公式计算; 当基坑长宽比大于 10 时, 可按线状基坑等效半径公式计算。

B.2.2 群井按大井简化的均质含水层潜水非完整井的基坑涌水量可按下列公式计算 (图B.2.2):



(a) 基坑远离边界

(b) 近河基坑含水层厚度不大

(c) 近河基坑含水层厚度很大

图 B.2.2 均质含水层潜水非完整井基坑涌水量计算简图

1 当基坑远离边界时 (图 B.2.2a), 涌水量可按式计算:

$$Q = \frac{1.366k(H^2 - h^2)}{\lg[(R+r_0)/r_0] + \frac{h-l}{l} \lg(1-0.2h_m/r_0)} \quad (\text{B.2.2-1})$$

式中: $h_m = \frac{H+h}{2}$

l ——过滤管有效工作部分长度 (m)。

2 近河基坑降水，含水层厚度不大时 (图 B.2.2b)，涌水量可按式计算：

$$Q = 1.366Ks \left(\frac{l+S}{\lg \frac{2b}{r_0}} + \frac{l}{\lg \frac{0.66l}{r_0} + 0.25 \frac{l}{m} \lg \frac{b^2}{m^2 - 0.14l^2}} \right) \quad b > \frac{m}{2} \quad (\text{B.2.2-2})$$

式中： m ——由含水层底板到滤水管有效工作部分中点的长度(m)。

3 近河基坑降水，含水层厚度很大时 (图 B.2.2c)，涌水量可按式计算：

$$Q = 1.366Ks \left(\frac{l+s}{\lg \frac{2b}{r_0}} + \frac{l}{\lg \frac{0.66l}{r_0} - 0.22 \operatorname{arsh} \frac{0.44l}{b}} \right) \quad b \geq l \quad (\text{B.2.2-3})$$

$$Q = 1.366ks \left(\frac{l+s}{\lg \frac{2b}{r_0}} + \frac{l}{\lg \frac{0.66l}{r_0} - 0.11 \frac{l}{b}} \right) \quad b < l \quad (\text{B.2.2-4})$$

B.2.3 群井按大井简化的均质含水层承压水完整井的基坑涌水量可按下列公式计算 (图B.2.3)：

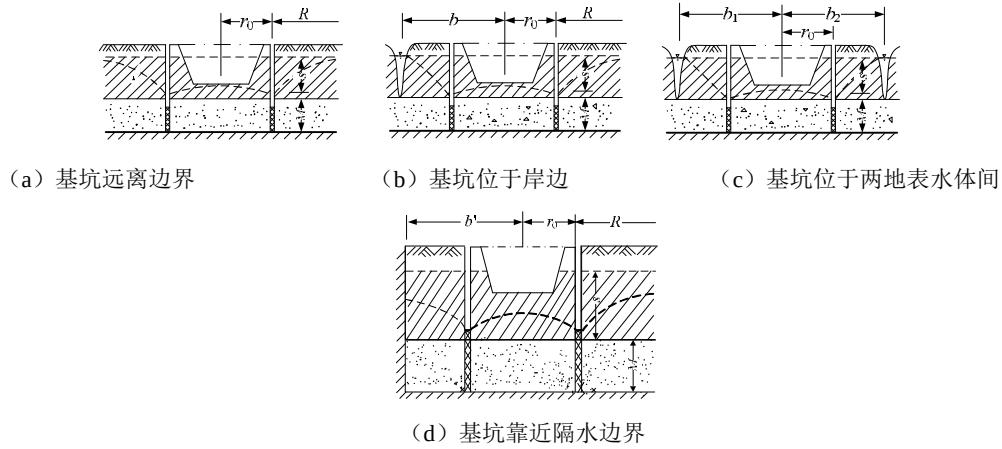


图 B.2.3 均质含水层承压水完整井基坑涌水量计算简图

1 当基坑远离边界时 (图 B.2.3a)，涌水量可按式计算：

$$Q = \frac{2.73kMs}{\lg[(R+r_0)/r_0]} \quad (\text{B.2.3-1})$$

式中： M ——承压水层厚度(m)。

2 当基坑位于河岸边时 (图 B.2.3b)，涌水量可按式计算：

$$Q = 2.73K \frac{Ms}{\lg \frac{2b}{r_0}} \quad b < 0.5R \quad (\text{B.2.3-2})$$

3 基坑位于两个地表水体之间时 (图 B.2.3c), 涌水量可按式计算:

$$Q = 2.73k \frac{Ms}{\lg \left[\frac{2(b_1 + b_2)}{p r_0} \cos \frac{p(b_1 - b_2)}{2(b_1 + b_2)} \right]} \quad (\text{B.2.3-3})$$

4 当基坑靠近隔水边界时 (图 B.2.3d), 涌水量可按式计算:

$$Q = 2.73k \frac{Ms}{\lg(R + r_0)^2 - \lg r_0(2b')} \quad (\text{B.2.3-4})$$

B.2.4 群井按大井简化的均质含水层承压水非完整井的基坑涌水量可按式计算 (图B.2.4):

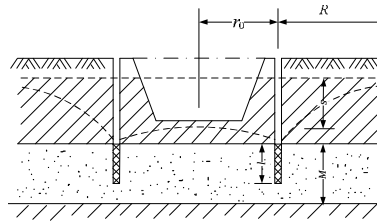


图 B.2.4 均质含水层承压水非完整井基坑涌水量计算简图

$$Q = \frac{2.73kMs}{\lg[(R + r_0)/r_0] + \frac{M-l}{l} \lg(1 + 0.2M/r_0)} \quad (\text{B.2.4})$$

B.2.5 群井按大井简化的均质含水层承压-潜水完整井的基坑涌水量可按式计算 (图B.2.5):

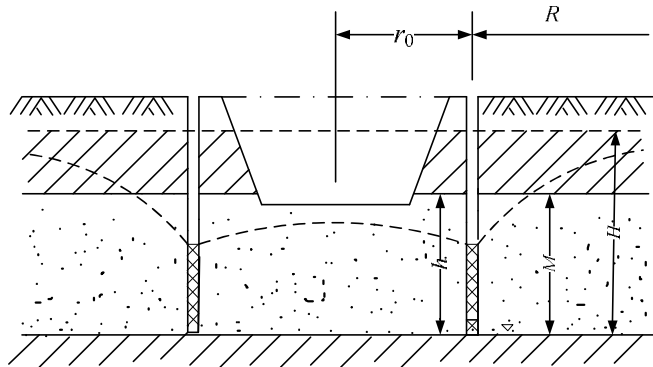


图 B.2.5 均质含水层承压水承压-潜水完整井基坑涌水量计算简图

$$Q = 1.366k \frac{2HM - M^2 - h^2}{\lg \frac{R + r_0}{r_0}} \quad (\text{B.2.5})$$

B.2.6 条形基坑涌水量可按下列式计算：

1 潜水完整井

$$Q = kL \frac{H^2 - h^2}{R} + 1.366k \frac{H^2 - h^2}{\lg R - \lg \frac{B}{2}} \quad (\text{B.2.6-1})$$

2 承压完整井

$$Q = \frac{2kMsL}{R} + \frac{2.73kMs}{\lg R - \lg \frac{B}{2}} \quad (\text{B.2.6-2})$$

式中 B ——降水宽度 (m)；

L ——降水长度 (m)；

其它符号同前。

B.2.7 线型基坑涌水量可按下列公式计算：

1 潜水完整井

$$Q = kL \frac{H^2 - h^2}{R} \quad (\text{B.2.7-1})$$

2 承压完整井

$$Q = \frac{2kMsL}{R} \quad (\text{B.2.7-2})$$

B.2.8 辐射井出水量可按下列式计算：

$$Q = qn\alpha$$

式中： q ——单个水平井出水量 (m³/d)；

n ——水平井数量；

α ——水平井干扰系数， $\alpha = 1.609/n^{0.6864}$ 。

B.2.9 当按大井简化的稳定流计算基坑涌水量时，降水周期内基坑总涌水量的确定可根据以下公式进行修正：

$$Q_z = \sum b Q_d \quad (\text{B.2.9})$$

式中： b ——经验折减系数，按表B.2.9取值；

α 在公式6.2.13-5中不应该有，
在总流量中可以有，并且
 $\alpha = 1.609/n^{0.6864}$

Q ——根据本节中计算公式计算的基坑涌水量 (m^3/d) ;

d ——总抽水天数;

Σ ——分时间段累计。

表B.2.9 基坑涌水量折减系数 β 取值表

降水井类别	$d < 30$ 天			$30 \text{天} \leq d \leq 100$ 天			$d > 100$ 天		
	$s/H < 1/3$	$s/H < 2/3$	$s/H > 2/3$	$s/H < 1/3$	$s/H < 2/3$	$s/H > 2/3$	$s/H < 1/3$	$s/H < 2/3$	$s/H > 2/3$
潜水	1	0.8	0.7	0.85	0.7	0.55	0.65	0.5	0.35
承压水	1	0.9	0.8	0.9	0.85	0.8	0.8	0.75	0.7

注: d ——抽水时间, 日; s ——水位降深, m; H ——含水层厚度 (潜水) 或承压水水头 (承压水), m。

B.3 非稳定流计算

B.3.1 承压含水层完整井流可按下列式计算:

$$Q = \frac{4pTs}{W(u)} \quad (\text{B.3.1-1})$$

其中

$$W(u) = -E_i(-u) = \int_u^\infty \frac{e^{-y}}{y} dy \quad (\text{B.3.1-2})$$

$$u = \frac{r^2}{4aT} = \frac{r^2 S}{4Tt} \quad (\text{B.3.1-3})$$

式中: s ——设计水位降深 (m);

Q ——抽水井的流量 (m^3/d);

T ——导水系数 (m^2/d);

t ——自抽水开始到计算时刻的时间 (d);

r ——计算点到抽水井的距离 (m);

a ——承压含水层的压力传导系数 (m^2/d) 。

S ——承压含水层弹性释水系数;

B.3.2 潜水含水层完整井流可按下列式计算:

$$Q = \frac{2pk(2H-s)s}{W(u)} \quad (\text{B.3.2-1})$$

$$u = \frac{r^2 m}{4Tt} \quad (\text{B.3.2-2})$$

$$T' = kH_m \quad (\text{B.3.2-3})$$

$$H_m = \frac{1}{2}(H + h) \quad (\text{B.3.2-4})$$

式中: h ——降水后剩余含水层厚度 (m);

H ——潜水含水层初始厚度 (m);

m ——给水度

B.4 数值模拟

B.4.1 数值模拟应遵循下列步骤:

1 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, 尚需将计算时间也进行离散化, 即将计算时间离散为若干个时段;

2 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;

3 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;

4 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;

5 求解上述3、4步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;

6 重复第3步~第5步, 计算下一时刻的水位 $\{H\}$ 集合值。

B.4.2 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:

1 控制方程

$$m_s \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) + W \quad (\text{B.4.2-1})$$

式中: m_s ——贮水率 ($1/d$);

h ——水位 (m);

K_x, K_y, K_z ——分别为 x, y, z 方向上的渗透系数 (m/d);

t ——时间 (d);

w ——源汇项 ($1/d$)。

2 初始条件

$$\begin{cases} h(x, y, z, t) = h_0(x, y, z) \\ (x, y, z) \in \Omega \\ t = 0 \end{cases} \quad (\text{B.4.2-2})$$

式中: $h_0(x, y, z)$ ——初始水位分布;

Ω —— 模型模拟区域。

3 边界条件

1) 第一类边界:

$$\left\{ \begin{array}{l} h(x, y, z, t)|_{\Gamma_1} = h(x, y, z, t) \\ (x, y, z) \in \Gamma_1 \\ t \geq 0 \end{array} \right. \quad (\text{B.4.2-3})$$

式中: $h(x, y, z, t)$ ——一类边界上的已知水位函数;

Γ_1 ——一类边界。

2) 第二类边界:

$$\left\{ \begin{array}{l} k \frac{\partial h}{\partial n} \Big|_{\Gamma_2} = q(x, y, z, t) \\ (x, y, z) \in \Gamma_2 \\ t > 0 \end{array} \right. \quad (\text{B.4.2-4})$$

式中: k ——三维空间上的渗透系数张量;

$q(x, y, z, t)$ ——二类边界上已知流量函数;

n ——边界 Γ_2 的外法线方向;

Γ_2 ——二类边界。

3) 第三类边界:

$$\left(k(h - z) \frac{\partial h}{\partial n} + ah \right) \Big|_{\Gamma_3} = q(x, y, z) \quad (\text{B.4.2-5})$$

式中: a ——已知函数;

Γ_3 ——三类边界;

k ——三维空间上的渗透系数张量;

n ——边界 Γ_3 的外法线方向;

$q(x, y, z)$ ——三类边界上已知的流量函数。

B.4.3 数值模拟计算可采用计算机数值模拟软件实现。

附录 C 基坑隔水帷幕方法选择

C.0.1 采用隔水帷幕必须查清场地及邻近场地的地层结构、水文地质特征，了解地下水渗流规律，基坑出水量、截水帷幕内外的水压力及坑底浮力，以此作为截水帷幕或封底底板厚度的设计依据。

C.0.2 同一工程可采用多种隔水帷幕方式，根据地层特点、支护型式、周边环境条件等不同要求，在不同的部位选用适合的隔水帷幕，隔水方法的选择及适用条件可按表C.0.2选用。

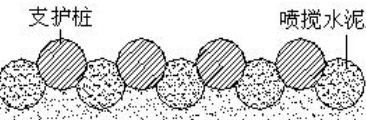
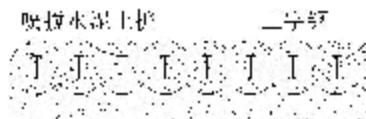
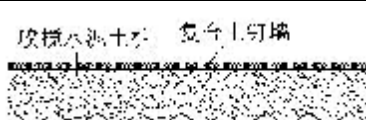
表 C.0.2 帷幕结构选型表

适用条件 帷幕结构类型	施工及场地条件	土层条件
地下连续墙	适用于含水层厚度大、周边环境条件对基坑变形要求严格，有适合连续墙设备作业场地条件	各种地层条件
旋喷桩	钻孔作业难度不大、垂直度有保证、有适合旋喷桩设备作业场地条件	除碎石土地层之外的各种土层条件
搅拌桩	有适合搅拌桩设备作业场地条件	粘性土、粉土、砂类地层条件
长螺旋旋喷搅拌桩	适用于“先软后硬”的护坡桩间做隔水帷幕	除碎石土地层之外的各种土层条件
潜孔冲击旋喷桩	适用于“先硬后软”的护坡桩间做隔水帷幕	各种地层条件
重力式挡墙	适用于地基土承载力不大于 150kPa，场地满足水泥土墙的施工宽度，周围变形要求不严格	淤泥、淤泥质土、粘性土、粉土
土钉墙+搅拌桩	基坑周围有放坡条件，临近基坑无对位移控制严格的建筑物和管线等	粘性土、粉土等非软土地，不宜用于砂、卵石等地层
钻孔咬合桩	适用于含水层厚度大、周边环境条件对基坑变形要求严格，有适合咬合桩设备作业场地条件	各种地层条件
TRD 墙	有适合 TRD 墙设备作业场地条件	各种地层条件
搅喷桩	具备旋挖钻机施工的场地条件	各种地层条件
冷冻墙	适用于地下工程水平隔水帷幕	粘性土、粉土、砂、卵石等各种地层，砾石层中效果不好
注浆	适用于地下工程水平隔水帷幕、深基坑坑内桩间隔水帷幕、基坑封底帷幕	各种地层条件

C.0.3 常用的帷幕桩与支护结构搭接型式见表 C.0.3。

表 C.0.3 常用帷幕桩与支护结构搭接型式

名称	水平断面简图	组成与特点
----	--------	-------

一字搭接		交叉成孔，先施工喷搅水泥土桩后施工支护桩，两者相互搭接形成帷幕
		
交错搭接		交叉成孔，先施工支护桩后施工喷搅水泥土桩，两者相互搭接形成帷幕，其刚度较一字排列的大
		
喷搅水泥土桩中 插型钢		在喷搅水泥土桩尚未凝固时插入承力工字钢，即可隔水又能挡土，限用于浅基坑
		
复合土钉墙		用插入一定深度的喷搅桩和复合土钉墙构成挡土截水墙
栅格		通过栅格桩布置喷搅水泥土桩，起到挡土截水的目的，限用于浅基坑
		

附录 D 降水施工质量检验标准

D.0.1 轻型井点、喷射井点施工质量检验标准应符合表D.0.1的规定。

表 D.0.1 轻型井点、喷射井点施工质量检验标准

序号	检查项目			允许值或允许偏差	检查方法
1	井深			不大于设计深度，且比井点管深500mm	测绳量测
2	滤料			含泥量小于 3%	抽样送检
3	井点真空度：轻型井点 喷射井点			≥60Kpa ≥93Kpa	真空度表量测
4	洗井			水清砂净	观察检查
5	井位	明挖	排桩、地下连续墙支护	降水井与支护结构外皮之间的净距离应大于等于 1.5m	钢尺量测
			土钉墙支护	降水井距槽边的距离槽边（壁）应大于等于 1.0m。	钢尺量测
		暗挖		降水井与暗挖结构边线的最小净距离应≥2.0m	钢尺量测
6	井径			±20mm	钢尺量测
7	垂直度			1%	下管时目测或垂球测量
8	填料量（与计算量相比）			≥95%	检查回填料用量
9	下管（与井轴相比）			居中	下管时目测或钢尺量测

D.0.2 管井、真空管井施工质量检验标准应符合表D.0.2的规定。

表 D.0.2 管井、真空管井施工质量检验标准

序号	检查项目			允许值或允许偏差	检查方法
1	井深	以深度控制的		-20cm, +100cm	测绳量测
		以井底地层控制的		符合设计要求	钻孔时捞样鉴定
2	滤料	含泥量		<3%	抽样送检
		级配		符合设计要求	抽样送检
3	井径			—20mm	钢尺量测
4	洗井			水清砂净、地下水位变化灵敏	观察检查
5	井位	明挖	排桩、地下连续墙支护	降水井与支护结构外皮之间的净距离应大于等于 1.5m	钢尺量测
			土钉墙支护	降水井距槽边的距离槽边（壁）应大于等于 1.0m。	钢尺量测
		暗挖		降水井与暗挖结构边线的最小净距离应大于等于 2.0m	钢尺量测
6	填料量（与计算量相比）			≥95%	检查回填料用量

7	垂直度		1 %	下管时目测或垂球测量
8	下管（与井轴相比）		居中	下管时目测或钢尺量测
9	滤水管空隙率	钢管	≥10%	检查出厂质量合格证
		无砂水泥管	≥15%	
10		封填深度	符合设计要求	钢尺量测
11		井口密封	符合设计要求	观察检查
12		真空度	≥30kPa	真空度表量测

注：10～12 项为真空管井增加的质量检测项目。

D.0.3 辐射井施工质量检验标准应符合表 D.0.3-1 和 D.0.3-2 的规定。

表 D.0.3-1 辐射井——集水井施工质量检验标准

序号	检查项目		允许值或允许偏差	检查方法
1	护壁	沉井	预制井管满足设计要求，下沉前必须达到70%设计强度。	检查混凝土强度试验报告
		漂浮法	预制井管满足设计要求	检查试验记录、抽样送检和钢尺测量
			每节井管之间防水层没有明显渗漏水	观察检查
		倒挂井壁逆作法	(1)喷护厚度符合设计要求； (2)分段挖土，分段高度控制在 1.0m 以内。	钢尺测量
2	井径		不小于设计值	钢尺测量
3	深度		不小于设计深度	钢尺测量
4	垂直度		1%	垂球测量
5	封底	混凝土强度	≥C25	检查强度试验报告和
6		厚度	≥200mm	钢尺测量
7		效果	(2)底后井底不出现冒水现象； (2)如需要特殊考虑抗浮作用，还应满足抗浮要求。	观察检查
8	砼井管	钢筋、对接预埋钢筋水泥、骨料等原材料	符合设计要求	检查产品出厂合格证、抽样送检
9		结构外观	无裂缝、蜂窝、空洞，不露钢筋	观察检查
10	封底混凝土塌落度		180mm～220mm	坍落度测定仪量测
11	封底后		应满足抗浮设计要求	作抗浮验算

表 D.0.3-2 辐射井——水平井施工质量检验标准应符合表

序号	检查项目	允许值或允许偏差	检查方法
1	井位	符合设计要求，并位于相应的含水层中	观察检查
2	孔径	不小于设计值	钢尺测量
3	深度	不小于设计值	检查施工记录
4	井数、层数	不少于设计量	观察检查、检查施工记录
5	洗井	水清砂净	观察检查

6	水平井孔方位角	不影响降水控制范围及结构施工	观察检查、检查施工记录
7	井管	(1)通长滤水管； (2)管材满足施工工艺要求。	检查产品出厂合格证

D.0.4 集水明排施工质量检验标准应符合表D.0.4的规定。

表 D.0.4 集水明排施工质量检验标准

序号	检查项目		允许值或允许偏差	检查方法
1	排水沟	位置	距坡脚大于等于 300mm	钢尺量测和观察检查
2		深度	300 mm~400mm	
3		坡度	有利于排水，不小于 3‰	
4	集水井	位置	距坡脚大于等于 400mm	钢尺量测
5		深度	≥500mm	
6	导流管	导管长度	50cm~100cm	钢尺量测
7		导管制作	滤管部分孔隙率≥10%，缠尼龙纱网 2 层	观察检查
8		位置	设置于含水层底部或坡面渗水处	观察检查

附录 E 常用地下水预测模型

E.1 地下水流解析法

E.1.1 应用解析法适用于含水层几何形状较规则, 边界条件较单一的情况, 可以计算出基坑降水影响范围内任何一点的水位值。

E.1.2 稳定流地下水位预测应根据含水层类型选择适宜公式计算。

1 潜水含水层无限边界群井抽水

$$H^2 - h_j^2 = \frac{1}{pk} \sum_{i=1}^n Q_i \ln \frac{R_i}{r_i} \quad (\text{E.1.2-1})$$

式中: H ——潜水含水层厚度(m);

h_j ——预测点 j 处水位降低后的含水层厚度(m);

k ——含水层渗透系数(m/d);

i ——降水井编号, $i = 1, 2, \dots, n$;

Q_i ——第 i 眼井的抽水量(m^3/d);

r_i ——预测点到抽水井 i 的距离(m);

R_i ——第 i 眼抽水井的影响半径(m)。

2 承压含水层无限边界群井抽水

$$s_j = \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{2pT} \cdot \ln \frac{R_i}{r_i} \quad (\text{E.1.2-2})$$

式中: s_j ——预测点 j 处水位降深(m);

T ——承压含水层导水系数(m^2/d);

其它符号同上。

E.1.3 非稳定流地下水位预测应根据含水层类型选择计算公式。

1 潜水含水层无限边界群井抽水

$$H^2 - h_j^2 = \frac{1}{2pk} \sum_{i=1}^n Q_i W(u_i) \quad (\text{E.1.3-1})$$

$$u_i = \frac{r_i^2 m}{4 k M t} \quad (\text{E.1.3-2})$$

式中: $W(u_i)$ ——井函数, 可通过查表方式获取值;

m ——给水度

t ——自抽水开始到计算刻的时间(d);

其它符号同上。

2 承压含水层无限边界群井抽水

$$s_j = \frac{1}{4pT} \sum_{i=1}^n Q_i W(u_i) \quad (\text{E.1.3-3})$$

$$u_i = \frac{Sr_i^2}{4Tt} \quad (\text{E.1.3-4})$$

式中: S ——含水层的弹性释水系数。

其它符号同上。

E.1.4 直线边界附近群井抽水地下水位预测。

1 直线补给边界

1) 潜水含水层中群井抽水情况

$$h_j = \sqrt{H^2 - \frac{1}{pk} \sum_{i=1}^n Q_i \ln \frac{r_{2,i}}{r_{1,i}}} \quad (\text{E.1.4-1})$$

式中: $r_{1,i}$ ——预测点 j 到第 i 个实井的距离(m);

$r_{2,i}$ ——预测点 j 到第 i 个虚井的距离(m);

n ——抽水井的总数。

其它符号同上。

2) 承压含水层中群井抽水情况

$$s_j = \frac{1}{2pT} \sum_{i=1}^n Q_i \ln \frac{r_{2,i}}{r_{1,i}} \quad (\text{E.1.4-2})$$

式中符号同前。

2 直线隔水边界

1) 潜水含水层中群井抽水情况

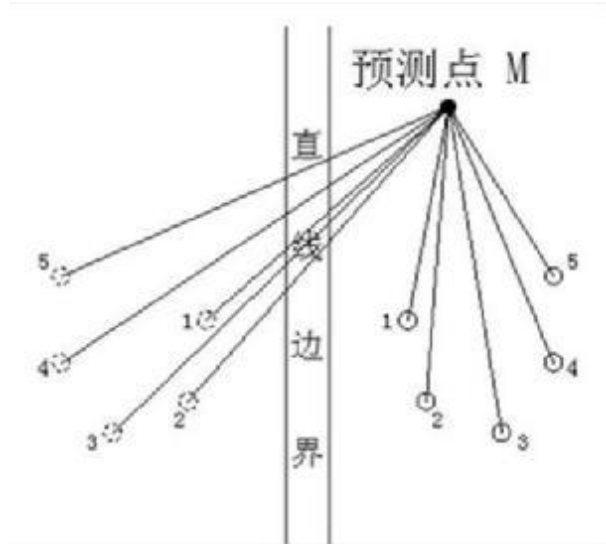
$$s_j = \sqrt{H^2 - 0.732 \frac{1}{k} \sum_{i=1}^n Q_i \lg \frac{2.25Tt}{r_{1,i} \cdot r_{2,i} \cdot m}} \quad (\text{E.1.4-3})$$

式中: T —— KH_m , H_m 为潜水含水层平均厚度;

其它符号同上。

2) 承压含水层中群井抽水情况

$$s_j = 0.366 \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n Q_i \lg \frac{2.25 T t}{r_{1,i} \cdot r_{1,i} \cdot S} \quad (\text{E.1.4-4})$$



图E.1.4 直线边界施工降水地下水位预测模型

E.2 地下水溶质运移解析法

E.2.1 地下水溶质运移解析法适用于水文地质条件简单的场地的溶质运移求解问题。可以用解析解对数值解法进行检验和比较，并用解析解去拟合观测资料以求得水动力弥散系数。

E.2.2 污染物瞬时注入含水层——平面瞬时点源模型如下：

$$C(x, y, t) = \frac{m_M / M}{4 p n \sqrt{D_L D_T t}} e^{-\left[\frac{(x - ut)^2}{4 D_L t} + \frac{y^2}{4 D_T t} \right]} \quad (\text{E.2.2-1})$$

式中 x, y ——计算点处的位置坐标；

t ——时间(d)；

$C(x, y, t)$ —— t 时刻点 x, y 处的污染物浓度 (mg/L)；

M ——承压含水层厚度(m)；

m_M ——长度为 M 的线源瞬时注入的污染物质量 (kg)；

u ——地下水流速度(m/d)；

n ——有效孔隙度；

D_L ——纵向弥散系数(m^2/d)；

D_T ——横向弥散系数(m^2/d)。

E.2.3 污染物连续注入含水层---平面连续点源模型如下：

$$C(x, y, t) = \frac{m_t}{4pMn\sqrt{D_L D_T}} e^{\frac{xu}{2D_L}} \left[2K_0(b) - W\left(\frac{u^2 t}{4D_L}, b\right) \right] \quad (E.2.2-2)$$

$$b = \sqrt{\frac{u^2 x^2}{4D_L^2} + \frac{u^2 y^2}{4D_L D_T}} \quad (E.2.2-3)$$

式中： x, y ——计算点处的位置坐标；

t ——时间(d)；

$C(x, y, t)$ —— t 时刻点 x, y 处的污染物浓度 (mg/L)；

M ——承压含水层厚度(m)；

m_t ——单位时间注入的污染物质量 (kg/d)；

u ——地下水流速度(m/d)；

n ——有效孔隙度；

D_L ——纵向弥散系数(m^2/d)；

D_T ——横向弥散系数(m^2/d)；

$K_0(b)$ ——第二类零阶修正贝塞尔函数；

$W\left(\frac{u^2 t}{4D_L}, b\right)$ ——第一类越流系统井函数；

E.3 地下水数值模型

E.3.1 数值法可以较准确地模拟复杂水文地质条件下和基坑降水条件下地下水流场变化情况，并可以预测各种降水方案抽水条件下地下水溶质运移的变化规律，适用于预测各种条件下的地下水状态。

E.3.2 对于非均质、各向异性、空间三维结构、非稳定地下水流系统模型可参见B.4。

E.3.3 地下水溶质运移数值模拟应在地下水流场模拟基础上进行。地下水溶质运移数值模型包括水流模型和溶质运移模型两部分。

$$Rq \frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(q D_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} \right) - \frac{\partial}{\partial x_i} (q v_i C) - WC_s - WC - l_1 q C - l_2 r_b \bar{C} \quad (E.3.3-1)$$

$$R = 1 + \frac{r_b}{q} \frac{\partial \bar{C}}{\partial C} \quad (\text{E.3.3-2})$$

式中： R ——迟滞系数。

r_b ——介质密度 (mg / dm^3)；

q ——介质孔隙度；

C ——地下水中组分的质量浓度 (mg / L)；

$\bar{C}$ ——介质骨架吸附的溶质质量浓度 (mg / L)；

t ——时间 (d)；

x, y, z ——空间位置坐标 (m)；

$D_{x,y}$ ——水动力弥散系数张量 (m^2 / d)；

v_i ——地下水渗流速度张量 (m / d)；

W ——水流的源和汇 ($1 / d$)；

C_s ——源中组分的质量浓度 (mg / L)；

l_1 ——溶解相一级反应速率 ($1 / d$)；

l_2 ——吸附相反应速率 ($L / \text{mg} \cdot d$)。

初始条件：

$$\begin{cases} C(x, y, z, t) = C_0(x, y, z) \\ (x, y, z) \in \Omega \\ t = 0 \end{cases} \quad (\text{E.3.3-3})$$

式中： $C_0(x, y, z)$ ——已知浓度分布；

Ω ——模型模拟区域。

边界条件：

① 第一类边界：给定浓度边界

$$\begin{cases} C(x, y, z, t) | \Gamma_1 = c(x, y, z, t) \\ (x, y, z) \in \Gamma_1 \\ t \geq 0 \end{cases} \quad (\text{E.3.3-4})$$

式中： Γ_1 ——给定浓度边界；

$c(x, y, z, t)$ ——定浓度边界上的浓度分布。

②第二类边界：给定弥散通量边界

$$\left\{ \begin{array}{l} qD_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} \Big|_{\Gamma_2} = f_i(x, y, z, t) \\ (x, y, z) \in \Gamma_2 \\ t \geq 0 \end{array} \right. \quad (\text{E.3.3-5})$$

式中： Γ_2 ——通量边界；

$f_i(x, y, z, t)$ ——边界 Γ_2 上已知的弥散通量函数。

③第三类边界：给定溶质通量边界

$$\left\{ \begin{array}{l} \left(qD_{ij} \frac{\partial C}{\partial x_j} - q_i C \right) \Big|_{\Gamma_3} = g_i(x, y, z, t) \\ (x, y, z) \in \Gamma_3 \\ t \geq 0 \end{array} \right. \quad (\text{E.3.3-6})$$

式中： Γ_3 ——混合边界；

$g(x, y, z, t)$ —— Γ_3 上已知的对——弥散总的通量函数。

附录 F 水泥土试块渗透系数测试

F.0.1 柔壁渗透仪主要由渗透试验装置、气水隔离供液装置、数据采集处理系统、控制面板等组成，如图F.0.1所示。

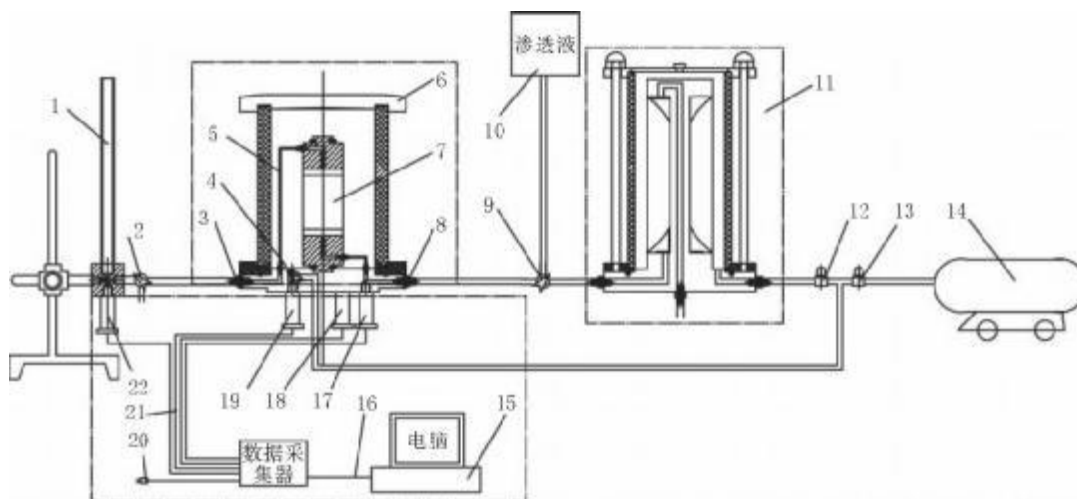


图 F.0.1 柔壁渗透仪组成示意图

1 渗出液收集管; 2、3、4、8、9 三通阀; 5 渗出液导管; 6 压力室; 7 测试单元; 10 渗透液存储箱; 11 气水隔离供液装置; 12、13 调压阀; 14 压力源(空气压缩机); 15 计算机; 16 USB 接口连接线; 17 渗透压压力变送器(1.6 MPa); 18 温度变送器; 19 围压压力变送器(2.5 MPa); 20 电源插头; 21 压力温度变送器连接线; 22 液量测量压力变送器(5 kPa)

F.0.2 柔壁渗透试验附属设备包括：

- 1 空压机；
- 2 真空泵和真空缸；
- 3 微型计算机与数据采集系统软件。

F.0.3 柔壁渗透试验用具与材料包括：

1 制样模：用来浇注浆材试样的模具，圆筒状。可用硬塑料或不锈钢材料制成，内径 $\phi 61.8\text{mm}$ 、 $\phi 70\text{mm}$ 或 $\phi 101\text{mm}$ ，高度 $40\text{mm} \sim 100\text{mm}$ ，内壁光滑，两端平齐，筒的两端面与筒的轴心线垂直。如进行防渗工程质量检测，直接采用相应直径的钻头钻取柱状样。

2 切样筒：用于试样两端面的切割。内径大于试样直径 $2\text{mm} \sim 3\text{mm}$ ，筒的两端面平齐并与筒的中心线垂直。

3 橡皮膜：用于承受围压，压紧在试样侧壁，防止试样侧壁渗漏。采用具有弹性的乳胶膜，直径 61.8mm 试样，胶膜厚度以 $0.1\text{mm} \sim 0.2\text{mm}$ 为宜；直径 70mm 或 101mm 试样，胶膜厚度以 $0.2\text{mm} \sim 0.3\text{mm}$ 为宜。

4 承膜筒：用于将橡胶膜套装在试样侧面。可装 $\phi 61.8\text{mm}$ 、 $\phi 70\text{mm}$ 或 $\phi 101\text{mm}$ 试样的三种

规格的承膜筒。

5 透水石：直径与试样直径相等，渗透系数应大于 $1 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ ，使用前应在水中煮沸或真空抽气并泡于水中。

6 其它：片刀、卡尺、下口瓶、橡皮球、滤纸、蒸馏水或纯净水等。

F.0.4 使用柔壁渗透仪进行试样渗透系数或污水阻滞性能测试时，应遵守如下操作步骤：

1 试样制备与试样养护。根据试样的材料采取相应的制样与养护措施。

2 切削试样与测量记录。将试样装入切样筒中，用片刀修平试样两端，用卡尺测量试样直径及高度，并输入计算机或记录在柔壁渗透试验记录表中。

3 注入渗透液与脱气操作

1) 装橡胶膜。取下气水隔离装置压力腔罩，将相应规格的橡胶膜套在支撑杆的上座及下座上（橡胶膜的长度应大于支撑杆的长度，以便橡胶膜的压缩），并在上、下座外侧用橡胶圈固紧橡胶膜。

2) 注渗透液（或渗滤液）。关闭压力腔的供气阀，打开压力腔的放气阀，将渗透液供给阀与渗透液容器连接，利用水头差使渗透液流入储液腔（橡胶膜）内。

3) 渗透液脱气。关闭压力腔的放气阀，将压力腔供气阀的一端（三通阀的一端）和储液腔排气阀的一端分别与控制面板抽气接口 1 和 2 连接，启动真空泵，通过真空三通阀先接通抽气接口 1，抽吸压力腔的气，约 5min~10min 后再接通抽气接口 1 和 2，同时抽吸储液腔和压力腔的气及渗透液中的气。脱气时间根据储液腔注入的渗透液量掌握。

4 安装试样。试样安装应按下列步骤进行：

1) 排除管路中的气。取下渗透装置压力腔罩，打开渗透液进水阀，对渗透装置底座充水排气，当试样底座中心孔流出渗透液无气泡时关闭渗透液进水阀。

2) 安放试样。管路气体排净后，在试样底座上由下而上依次安放透水石、湿滤纸、试样、湿滤纸、透水石，而后将橡胶膜用承膜筒套在试样外侧，并用橡胶圈将橡胶膜下端固定在试样底座外侧。橡胶圈应适当靠近下端。

3) 安装试样上座。将试样上座套在橡胶膜的上端内，并用橡胶圈将橡胶膜上端固定在试样上座外侧。橡胶圈应适当靠近上端。

4) 安装支撑盘。将支撑盘套在试样上座上，调节支撑杆的 3 个下螺母，使支撑盘下端面坐落在试样上座上，而后拧紧支撑盘上端 3 个支撑杆的上螺母，并插入垫叉（如进行三维应力条件下的试验时，不插装垫叉）。

5) 安装渗出液导管。将渗出液导管的一端与试样上座接头连接，另一端与渗透装置底座上的出水口接头连接。

6) 安装压力腔罩。清除渗透装置底座密封圈槽内的脏物，安放压力腔罩，拧紧固定螺栓即可。

5 排除橡胶膜内与渗出液管路中的气，但进行污水阻滞性能测试时严禁执行本条操作。待试样安装好后，打开渗透液进水阀并适当给压使渗透液缓慢地从试样底座流入试样与橡胶膜之间，然后加围压，使试样与橡胶膜之间的液体从渗出液管路排出至渗出液收集管内，达到排除试样与橡皮膜之间以及渗出液管路中的气体。

6 施加压力

1) 施加围压。完成上述操作后首先施加围压，围压应大于渗透压力 30kPa~50kPa。关闭渗透装置压力腔放气阀，同时打开其供气阀，调节仪器面板围压调压阀使其达到试验所需围压值。如用水施加围压时，应在施加气压前通过供气三通阀的一端注入自来水。

2) 施加渗透压。待围压施加完毕并稳定后，打开渗透装置渗透液进水阀，关闭气水隔离供液装置压力腔放气阀，同时打开其供气阀，调节仪器面板渗透压调压阀使其达到试验所需的渗透压力值。

7 调节渗出液收集管内液面高度。待围压和渗透压施加完毕并稳定后，转动渗透装置渗出液出口三通阀，使渗出液收集管与外界连通，排出渗出液收集管内的液体到规定刻度。如渗出液收集管内的液体不足时可补加到规定刻度。

8 开始测试。当完成第 4 至第 7 步操作后，便可进行测试。

9 测试结束。测试完成设置的计数频数后，数据采集系统会自动结束数据采集和处理。待看到数据采集系统结束后应实施如下操作：

1) 首先关闭气水隔离供液装置渗透液供给阀及其供气阀，并打开放气阀，使渗透液卸压。

2) 关闭渗透装置围压供气阀，并打开其放气阀，使渗透装置围压卸压。如采用水施加围压，通过供气三通阀将压力室内的水放出。

3) 卸去渗透装置压力腔外罩，拆卸试样。

4) 根据数据采集系统显示的各测点渗透系数值，将偏差大于等于 $1 \times 10^{-9} \text{cm/s}$ 的值删除，便可打印成果报告或导出测试数据表。

F.0.5 柔壁渗透试验应注意下列事项：

1 本仪器围压可用水或气施加，当用水时可先打开围压进水阀向渗透装置压力室注水，当水注满时关闭放气阀。当围压用气时先关闭放气阀，然后便可施加气压。

2 围压至少应大于渗透压 30kPa，渗透压力应根据试样的渗透系数及强度而定。渗透压力小，试验时间长，渗透压力大，围压则相应增大，对某些试样可能会产生固结作用，影响试验精度。当围压与渗透压力差小于 20kPa 时可能会出现试样侧壁渗漏问题。

3 试验过程中应保持渗透压力与围压基本稳定。

4 柔壁渗透试验应进行至少 5 个时间段测定，每个时间段渗透水量不宜少于 3ml，渗透时间不宜少于 5min（渗透系数大时）。试验误差不应大于等于 $1 \times 10^{-9} \text{cm/s}$ ，最终结果取合格的 3 个以上数值的平均值。

附录 G 施工降水限量分区

G.0.1施工降水限量分区按照图G.0.1、表G.0.1进行汇总。

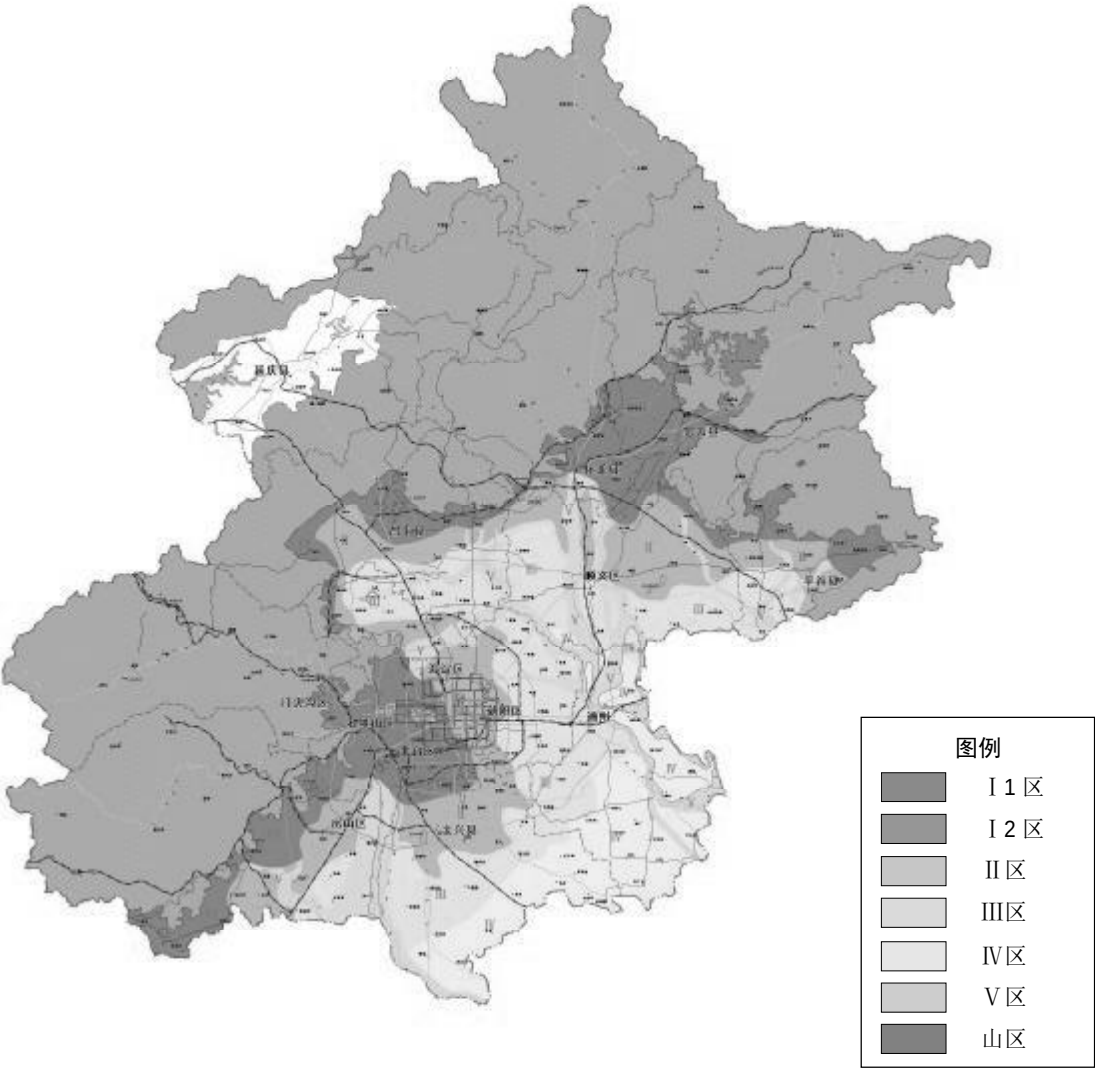


图 G.0.1 施工降水限量分区

表 G.0.1 施工降水限量分区说明表

分区	亚区	分区说明	
		分区特征	控制原则
I	I1	巨厚单一砂卵石含水层（含水层厚度一般大于 15m）区域，基岩埋藏较深，目前地下水位也较深。	若基坑深度在地下水位（施工期最高地下水位）以上，则不需要施工降水；当基底位于地下水位以下时，可优先考虑施工降水降低地下水位的施工方法（如果地铁施工可以采用非施工降水方法如盾构，则仍优先考虑非施工降水方法），但抽排出的地下水应进行有效回灌；当基坑很深，离基岩或粘性土层深度相对较小，且需要降低的水头较大（即需要抽取大量地下水），应优先选择帷幕隔水方法。
	I2	单一潜水含水层区域，基岩（或粘性土层）埋深较小（小于 20m），含水层厚度相对较薄。	若基底位于地下水位以下，则可根据经济不合理分析确定采用施工降水还是帷幕隔水。
II		多层较厚砂卵石含水层的区域，各层含水层的地下水位不同。	当基底位于地下水位以下时，可分两种情况：一是基底以下至隔水层厚度小于 5m，则应采用堵截隔水施工方法，二是基底以下至隔水层厚度大于 5m，则应根据经济合理性选择基坑施工是采用施工降水方法还是堵截隔水方法。当选择施工降水方法时，若基坑总抽排水量大于 $2 \times 10^4 \text{m}^3$ 时，应进行地下水回灌。
III		多层颗粒较粗的砂类土含水层的区域，各层地下水位不同。在本地区，含水层的单井出水量相对较大，一个基坑的总涌水量也相当可观。	当基底位于地下水位以下，应根据经济合理性选择基坑施工是采用施工降水方法还是堵截隔水方法。若基坑总抽排水量大于 $5 \times 10^4 \text{m}^3$ 时，应优先选择帷幕隔水方案，若必须采用施工降水方法，则应进行地下水回灌。
IV		多层颗粒较细的砂类土、粉土含水层的区域。在该区域中，含水层的渗透性相对较低，基坑总涌水量相对较小。	可采用施工降水的方法，但也应与帷幕隔水方法进行经济比较。若基坑规模较大，总排水量大于 $5 \times 10^4 \text{m}^3$ 时，应考虑采用帷幕隔水方法，但可以根据与施工降水方法进行经济比较进行选择。
V		生态保护区。现代河流及一级阶地，在地表深 10m 内存在砂、卵石含水层。深度 10m 以下存在承压水含水层。	基坑工程应选择帷幕隔水方法，以避免抽取浅层地下水，除非能证明（可以由环评报告给出结论）抽降地下水位不会对周边生态造成影响，方可采用施工降水方法，但应进行经济不合理分析后方可进行。

附录 H 建设工程地下水位监测报表统一格式

H.0.1 施工降水限量分区按照表 H.0.1 进行汇总。

表 H.0.1 施工降水限量分区格式工程名称：

监测井 编号		位置				地面高 程（m）		井口 固定 点高 程 （m）		井深 （m）	
监测井 名称											
监测 日期	井口固定点至地下水面距离 m				地下 水埋 深（m）	地下水 水位（m）	备注				
月	日	一次 读数	二次 读数	平均 值							

记载： 年 月 日 校核： 年 月 日 复核： 年 月 日

说明：1、监测数字中，“+”代表水位上升，“-”代表水位下降；

2、监测工况：对监测工程施工情况进行描述。

附录 J 建设工程水量监测报表样表（水表法）统一格式

J.0.1 建设工程水量监测报表样表（水表法）按照表 J.0.1 进行汇总。

表 J.0.1 建设工程水量监测报表样表（水表法）格式工程名称：

监测井编号						井深（m）					
监测井名称											
位置						出水管内径（mm）				水泵型号	
读水表数时间			本次水表 读数（m ³ ）	上次水表 读数（m ³ ）	本次与上次 水表读数差 （m ³ ）	本次与上次水表读数 期间间隔		本次与上次水表读数期间 累计开泵时间		地下水 开采量 （m ³ ）	备注
月	日	时				d	h	d	h		

记载： 年 月 日 校核： 年 月 日 复核： 年 月 日

说明：对降水层位进行描述。

附录 K 建设工程地面沉降监测报表统一格式

K.0.1 建设工程地面沉降监测报表按照表 K.0.1 进行汇总。

表 K.0.1 建设工程地面沉降监测报表

工程名称： 监测时间： 年 月 日 监测次数：第 次

点号	地面沉降量（mm）		备注	点号	地面沉降量（mm）		备注
	本次	累计			本次	累计	

记载： 年 月 日 校核： 年 月 日 复核： 年 月 日

说明：1、监测数字中，“+”代表抬升，“-”代表下降；

2、监测工况：对监测工程施工情况进行描述。

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：

正面词采用“必须”；反面词采用“严禁”。

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”；反面词采用“不应”、“不得”。

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的,全面采用“可”。

2 条文中指定应按其它有关标准执行时的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- 2 《岩土工程勘察规范》GB 50021
- 3 《供水水文地质勘察规范》GB 50027
- 4 《地下工程防水技术规范》GB 50108
- 5 《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202
- 6 《供水管井技术规范》GB 50296
- 7 《建筑基坑工程检测技术规范》GB 50497
- 8 《地下水环境质量标准》GB/T 14848
- 9 《城市污水再生利用地下水回灌水质》GB/T 19772
- 10 《建筑桩基技术规范》JGJ 94
- 11 《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120
- 12 《岩土锚杆（索）技术规程》CECS 22
- 13 《北京市水污染物排放标准》DB 11/307
- 14 《北京地区建筑地基基础勘察设计规范》DBJ 11-501
- 15 《建筑基坑支护技术规程》DB 11/489
- 16 《场地环境评价导则》DB11/T 656
- 17 《北京市建设工程施工降水管理办法》
- 18 《北京市排水和再生水管理办法》
- 19 《北京市水污染防治条例》

DB11/ 1115-2014

北京市地方标准

城市建设工程地下水控制技术规范

Technical Code for Groundwater Control
in Urban Construction Projects

DB11/ 1115-2014

条文说明

2014 北京

目 次

1 总 则	92
2 术语与符号	93
2.1 术语	93
3 基本规定	94
3.1 一般规定	94
3.2 地下水控制方法选择	97
3.3 地下水控制设计	99
4 水文地质勘察	100
4.1 一般规定	100
4.2 勘察方案设计	100
4.3 勘探、监测与试验	101
4.4 水文地质勘察评价与建议	103
5 帷幕隔水	104
5.1 一般规定	104
5.2 隔水帷幕设计	107
5.3 地下连续墙	110
5.4 桩间桩后帷幕	112
5.5 注浆隔水	114
6 降水	116
6.1 一般规定	116
6.2 降水设计	116
6.3 降水施工	117
6.4 工程环境影响预测与风险控制	120
7 污染场地地下水控制	121
7.1 一般规定	121

7.2	污染场地地下水控制设计	122
7.3	污染场地地下水控制施工	122
7.4	污染场地地下水排放	122
8	既有建筑地下水控制	124
8.1	一般规定	124
8.2	既有建筑抗浮稳定性评价	124
8.3	帷幕隔水	127
8.4	排水减压	127
9	地下水回灌与抽排水综合利用	130
9.1	一般规定	130
9.2	防沉降地下水回灌	130
9.3	资源性地下水回灌	130
10	地下水控制工程监测	131
10.1	一般规定	131
10.2	水位监测	131
10.3	出水量、含砂量监测	132
10.4	水质监测	132
10.5	地面沉降监测	132
10.6	监测预警	132
10.7	监测成果	133
附录 A	水文地质参数计算方法	134
附录 B	基坑涌水量计算与数值模拟	135

1 总则

1.0.1 本条明确了制定本规范的目的和指导思想，即在建设工程地下水控制过程中，针对北京的实际情况，结合地区经验，落实科学发展观和可持续发展，贯彻执行国家技术经济政策，统一技术标准，促进建设工程中的地下水控制技术进步。

保护水资源主要是指在建设工程施工过程中对地下水能不抽的不抽，能少抽的少抽，当必须采用施工降水时，应考虑地下水回灌或地下水的综合利用。

保护环境主要是指在建设工程施工降水时能够确保不对地下水环境造成进一步恶化，地下水的排放不对地表水体和大气环境造成不利影响，同时也不会对周边环境已有建（构）筑物、管线等产生危害。

1.0.2 本条主要阐明本规范的适用范围。主要用于北京地区城镇新建、改建、扩建的建设工程地下水控制勘察、设计、施工及监测，对于正在使用中的建（构）筑物，由于地下水位升高后可能造成既有建（构）筑物浮起，其抗浮地下水控制也适用本规范。农村地区的建设工程可参照本规范执行。

1.0.3 北京市是一个严重缺水的城市，人均水资源量只有 $106\text{m}^3/\text{a}$ 。《北京市节约用水办法》（北京市人民政府令第 244 号）第三十二条 新建、改建、扩建建设项目的建设单位应当采取措施，限制施工降水；确需进行施工降水的，应当按照本市有关规定执行，并按照地下水资源费标准缴费。为保护地下水资源，自 2008 年 3 月起北京市住房建设委员会和北京市水务局联合发布《北京市建设工程施工降水管理办法》，要求在建设工程中如果采用施工降水必须编制施工降水专项报告，根据采用隔水帷幕技术不可行和经济不合理的条件判别能否进行施工降水。因此，北京地区建设工程的地下水控制方案必须考虑环境保护和节约水资源。

2 术语与符号

2.1 术 语

2.1.1 本规范中的地下水控制系指基坑或地下工程施工期间或存在抗浮问题的既有建筑使用期间的控制地下水位所采取的工程措施，包括帷幕隔水、降水和地下水回灌及其组合。采取这些工程措施的前提条件是必须保证周边环境安全，最大限度减少地下水的抽排量并保护地下水环境不恶化。

2.1.9 本规范中水文地质参数主要指与地下水的水量、水位计算有关的参数。对于稳定流计算，则应提供渗透系数、（引用）影响半径；对于非稳定流和数值法计算，则应提供渗透系数（或导水系数），给水度（或释水系数）。当存在多含水层且两个含水层间地层弱透水，则需要提供越流参数。

2.1.15 真空管井一方面提高重力水的流速，另一方面削弱毛细水作用力，使更多毛细水被抽出，达到增加出水量和增大降深的目的。因此，真空管井适用于细颗粒含水地层。

2.1.19 场地污染有很大隐蔽性、滞后性和持久性，污染通常存在于土壤并通过土壤转移，变化和移动非常缓慢（几年甚至几十年），污染只有触及受体时才可能会被发现。因此，一般的工程地质勘察和水文地质勘察很难确定场地的污染情况。本规范污染场地系指各级环保部门确认的存在对人体健康和环境产生危害或具有潜在风险的场地。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 本条规定的水文地质勘察主要是指对建设工程场地的水文地质条件勘察，主要查明场地的含水层及隔水层的分布、各含水层的地下水位及其变化、含水层的渗透性及用于基坑涌水量计算的水文地质参数等，通过计算分析，提出满足建设工程地下水控制设计和施工需要的基础数据和成果。

3.1.3 城市建设工程地下水控制工程分级主要是为了在地下水控制工程的水文地质勘察、地下水控制设计、施工、监测与维护中根据场地的水文地质条件、基坑深度和基坑涌水量以及对环境的影响而加以区别对待。本规范的地下水控制工程分级主要考虑地下水控制难度、对地下水资源影响程度和需要保护的相邻建（构）筑物及重要管线等离基坑的距离三个方面。在地下水控制难度中考虑了水文地质条件和水头控制高度，这两个因素基本能够确定地下水控制的难易程度。根据研究成果，北京市平原区 50m 以内的水文地质条件可以划分为 4 个区（见图 1），其各区的水文地质特征见表 1。

表1 北京市平原区工程水文地质分区特征

分区代号	地貌特征及分布范围	地层岩性	含水层情况	50m 内地层含水层厚度
I 区	分布于山前各大冲洪积扇的顶部，地形基本平坦，平均坡度 2%—10%。	含水层主要为砂卵石、砂砾石层，表层粘性土层和粉土层厚度一般在 5 米左右。	单一含水层，地下水类型为潜水。	50m 以内含水层厚度 4m-46m。
II 区	分布于山前各大冲洪积扇的中部，地形坡度较大，平均坡度 5%—10%。	含水层主要为含卵石的砂砾石层。浅层地下水岩性以粉土、粉细砂为主，比较薄；深层地下水岩性以砂卵石层为主，比较厚。	2-3 层地下水。地下水类型为潜水、承压水，局部地区有上层滞水。	含水层单层厚度 1m-20m，累计厚度 14m-27m。
III 区	分布于山前各大冲洪积扇的下部，地形基本平坦，平均坡度 $\geq 1\%$ 。	含水层主要为含砾砂的中、细砂层，局部区域为砂卵石层。浅层地下水岩性以粉土、粉细砂为主，比较薄；深层地下水岩性以砂为主，层数较多且比较厚。	3-4 层地下水。地下水类型为潜水、承压水，局部地区有上层滞水。	含水层单层厚度一般 1m-26m，累计厚度 16m-30m。
IV 区	分布于山前各大冲洪积扇的下部边缘，地形基本平坦，平均坡度 $\geq 1\%$ 。	含水层主要为含砾砂的中、细砂层。浅层地下水岩性以粉土、粉细砂为主，比较薄；深层地下水岩性以砂为主，层数较多且比较厚。	3-5 层地下水。地下水类型为潜水、承压水，局部地区有上层滞水。	含水层单层厚度一般 6m-10m，累计厚度 25m 左右。

从分区特征看，在冲洪积扇的上部为单一的潜水含水层，含水层岩性为碎石土和卵砾石；在冲洪积扇的中部，逐步过渡为 2~3 层，含水层岩性多为砂土和砂卵石；到了中下部为 3~4 层，到了下部为 3~5 层，含水层岩性多为粉细砂和中、粗砂。因此，本规范中地下水控制工程以涉及含水层数量作为划分的要素，同时考虑到巨厚含水层或碎石土含水层对地下水控制难度的影响。虽然基岩裂隙水、岩溶裂隙水对地基开挖影响不一定很大，地下水控制有可能不难，但考虑到基岩水的宝贵和施工难度及成本相对较大，仍划分到一级中。任何一个含水层的水头控制高度对地下水控制设计和施工影响巨大，一般情况下，水头控制高度越大，地下水控制难度越大，因此，水头控制高度是地下水控制工程等级划分的一个重要指标。

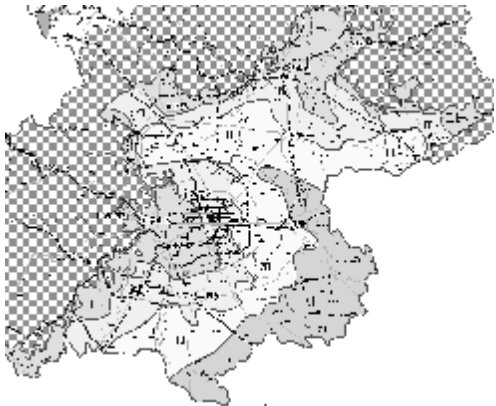


图 1 平原区工程水文地质条件分区图

根据北京市的地质及地貌条件、第四系沉积物的成因类型、水文地质条件（包括含水层及隔水层的分布、结构、数量、岩性及埋藏深度等），可将北京市浅层地下水（地表下 50m 以上）含水层分为 4 层，从地表向下分别为第一、第二、第三和第四含水层。

第一含水层：主要分布于北京市各冲洪积扇的中、下部。含水层底板埋藏深度一般小于 16m，地下水类型为上层滞水或潜水，含水层岩性主要为粉土和粉、细砂。含水层厚度一般 0.4m~8.5m。

第二含水层：主要分布于北京市各冲洪积扇的中、下部。含水层底板埋藏深度一般小于 28m，地下水类型为潜水或承压水，含水层岩性主要为粉土和粉细砂，局部有卵石。含水层厚度一般 0.5m~8.8m，局部可达 14.6m。

第三含水层：分布于北京市五大冲洪积扇。在冲洪积扇顶部为单一的卵石层，至冲洪积扇的中部变为砂卵石层，冲洪积扇的下部则主要为细砂层。地下水类型由潜水过渡为承压水。在中、下部，含水层底板埋藏深度一般小于 40m，含水层厚度一般 0.5m~14.8m，个别地点达 27m。

第四含水层：主要分布于北京市各冲洪积扇的中、下部。含水层底板埋藏深度一般小于 47m，地下水类型为承压水，含水层岩性主要为细砂和卵石。含水层厚度一般为 0.7m~6.5m。

北京市浅层地下水（地表下 50m 以上）质量单组分评价结果表明，地下水中累计有 15 项指标超标，分别为总硬度、溶解性总固体、高锰酸盐指数、亚硝酸盐、氨氮、硝酸盐、氟化物、氯化物、硫酸盐、挥发酚类、砷、铅、锰、阴离子合成洗涤剂 and 镉。其中有机污染物、挥发酚类、亚硝酸盐、铵盐、重金属锰对地下水污染严重。有机污染物具有“三致”（致癌、致畸、致突变）作用，挥发性酚类、亚硝酸盐为致癌物，铵盐对亚硝酸盐的浓度影响较大，过量的锰将导致帕金森综合症。

表 2 为各含水层地下水质量情况。可以看出，从第二至第四含水层地下水质量良好的比例

从 5.9%上升至 24%，并且在第三和第四层地下水出现较好的样品；较差的比例从 74.3%下降到 68%；极差的比例从 19.8%下降到 4%，说明北京市浅层地下水（地表下 50m 以上）随着地下水含水层埋藏深度的增加水质逐渐变好。

表 2 北京市浅层地下水质量综合评价表

含水层	样品总数 (个)	良好	占总数百分比 (%)	较好	较差	占总数百分比 (%)	极差	占总数百分比 (%)
一	67	7	10.4		45	67.2	15	22.4
二	101	6	5.9		75	74.3	20	19.8
三	82	6	7.3	2	59	72.0	14	17.1
四	25	6	24.0	1	17	68.0	1	4.0

鉴于此情况，本规范提出了地下水环境作为地下水控制工程等级划分的一个指标。考虑到浅部含水层的污染现状，规定污染场地中含水层含有对人体健康和环境有危害或潜在风险的有害物质的，列为一级的标准；相对普遍存在的各含水层水质差异大，且存在地下水质量差于 III 类的含水层，列为二级标准；对于只涉及一个含水层的地下水控制，除非是污染场地中含水层含有对人体健康和环境有危害或潜在风险的有害物质的情况，等级划分中不考虑该指标，但对抽取的地下水排放过程中，需要考虑其对地表水环境的影响。

通过统计近几年施工降水计算的基坑涌水量，地铁工程中的施工降水涌水量大于 10000m³/d 的占 98%，而一般工民建工程基坑施工降水涌水量大于 10000m³/d 的只占 2%。地铁工程中的施工降水涌水量没有小于 3000m³/d，而一般工民建工程基坑施工降水涌水量小于 3000m³/d 的占到 85%。上述统计数据表明，一般工民建工程，当基坑涌水量较大时，相当多的工程已经采用了隔水帷幕，而地铁工程，由于埋置较深、体型较大，目前相当多的车站、暗挖隧道等采用了施工降水，造成日涌水量大于 10000m³/d 的工程较多。本次基坑涌水量的指标限值，兼顾了地铁工程和一般工民建工程。

需保护的相邻建（构）筑物等位置对于地下水控制很重要。一般情况下，相邻建（构）筑物或地下管线离开挖基坑越近，地下水控制难度就越大。虽然当已有建筑物的基础埋深大于新建建筑物的基坑开挖深度，新建建筑基坑开挖对已有建筑物影响较小，但对地下水控制来说，同样存在对已有建筑物安全的影响。因此，针对这一指标的规定中只考虑需保护的相邻建（构）筑物和设施与新建建筑基坑开挖位置的距离，对基坑深度与已有建筑物基础埋深关系不做规定。

3.1.4 本条主要阐明不同地下水控制工程等级所进行的水文地质勘察工作内容和深度。

1 一级或二级地下水控制工程必须通过现场的勘探、地下水位观测和抽水试验等工作确定场地的水文地质条件和水文地质参数，而三级地下水控制工程可以根据岩土工程勘察资料和已有的工程经验或经验参数确定场地的水文地质条件；

2 一级地下水控制工程需要预测施工期间场地各含水层的地下水位变化情况,避免出现因地下水位突然升高对基坑施工的可能影响。而二、三级地下水控制工程的地下水位变化没有明确要求。

3.1.5 本条强调了地下水控制设计的原则和需要考虑的主要工程安全、环境保护要求,强调了应采取各种技术措施减少地下水的抽取量,采用合理的地下水控制方法降低对地下水环境的影响。考虑到北京地区大型工程、线状工程较多,地下水控制设计时应分析地下水控制方法对区域地下水流场是否存在长期改变,如果出现长期改变地下水流场的情况,应重新确定地下水控制方法或增加工程措施,避免对地下水流场的长期改变。本条所需要考虑的因素是在保证工程施工安全的前提下,最大程度地保护地下水资源和地下水环境,符合可持续发展、保护地下水资源的国策。

3.1.6 地下水控制方法既涉及水资源和环境保护,也涉及工程造价和工期,更与施工安全相关,必须精心设计,精心施工,因此,一项地下水控制工程实施前,除了进行设计之外,还应编制施工方案,明确安全技术措施,并应编制有针对性操作性强的应急预案。本条要求地下水控制工程必须编制方案,以保证工程开工后施工活动有序、高效、科学合理地进行。地下水控制工程施工方案可以根据工程规模大小、技术复杂程度和施工条件的不同而定,以满足不同的实际需要。对地下水控制工程等级为一级的施工方案应单独编制,其内容应较为详尽,对地下水控制工程等级为二级的施工方案可单独编制或与基坑支护、土方开挖等施工方案合并编制,对地下水控制工程等级为三级的施工方案可与基坑支护、土方开挖等施工方案合并编制,内容也可适当简略。施工方案必须包含安全技术措施和应急预案。应急预案可根据需要单独编制,也可在施工方案中独立成章编制。

3.1.7 不确定性是岩土工程的特点之一,地下水控制工程也不例外,受多种因素的制约,地下水控制工程的设计方案和施工方案不可能做到完美无缺,总存在或多或少的缺陷,为避免这些缺陷造成质量事故,甚至于安全事故,采用信息化施工,对水位和周边环境进行监测,并依据监测结果优化地下水控制工程设计施工方案,或者及时采取有针对性措施,是十分必要的。本条强调了在地下水控制工程中应进行信息化施工。地下水控制工程应选择与地下水控制方法有关的地下水位、地下水水质、出水量、含砂量、地面沉降等制定监测方案,在地下水控制工程实施过程中,定期采集数据,并利用所获取的数据反馈用以指导调整地下水控制过程。一方面可保证施工安全和方案的不断优化,另一方面可体现按需降水,保护地下水资源和水环境。

3.1.8 本条强调了在地下水控制中隔水帷幕和/或降水系统完成后应进行验收,主要目的是对隔水帷幕的隔水效果心中有数,降水井的含砂量低于规范要求,且了解降水井的完好情况。质量验收应符合第5章、第6章的相关要求。

3.2 地下水控制方法选择

3.2.1 依据北京地区施工经验，地下水控制方法可分为三类，即：帷幕隔水方法、降水方法和帷幕隔水与降水结合方法。明排、回灌、渗井作为辅助措施，不宜作为独立的地下水控制方法选用。明排应用较为普遍，通常用作辅助措施，当作为独立的地下水控制方法使用时，应当防止流水流砂现象的发生。回灌在北京地区地下水控制工程实践中较少使用，主要受限于场地条件和水质条件。渗井具有将上层水引入下层含水层的作用，由于上层水受污染程度通常都大于下层水，为控制地下水污染，渗井的使用应受到严格限制。

由于水资源日益稀缺，北京市实施了最严格的水资源保护政策，各行各业都要行动起来，减少水资源消耗。建设行业是水资源消耗大户，必须改变观念，跟上形势，在基坑或地下工程设计施工中自觉选用先进成熟的绿色施工技术，做到不抽水或少抽水是完全可能的，因此，本条规定在选择地下水控制方法时，应优先选择帷幕隔水方法。

3.2.2 本条为强制性条文。为保护地下水资源和环境安全，北京市住建委和市水务局于 2007 年印发《北京市建设工程施工降水管理办法》（京建科教〔2007〕1158 号），要求自 2008 年 3 月 1 日起，全市所有新开工的工程限制进行施工降水，推广采用帷幕隔水方法。因地下结构、地层及地下水、施工条件和技术等原因，确需进行施工降水的，施工降水方案须通过专家评审。专家评审方案内容之一为：采用帷幕隔水方法不可行的依据和理由是否充分。2012 年北京市发布《北京市节约用水办法》（第 244 号政府令），第三十二条规定，新建、改建、扩建建设项目的建设单位应当采取措施，限制施工降水；确需进行施工降水的，应当按照本市有关规定执行，并按照地下水资源费标准缴费。2013 年北京市发布《北京市建设工程施工现场管理办法》（第 247 号政府令），第二十二条规定，新建、改建、扩建建设项目严格限制施工降水。确需要进行降水的，施工单位应当按照规定组织专家论证审查，取得排水许可，并依法缴纳地下水资源费。

3.2.3 本条明确选择地下水控制方法时应考虑的因素。基坑或地下工程支护方案与地下水控制方法密切相关，通常情况下，应先选择地下水控制方法后确定支护方案，如果先有支护方案，则在选择地下水控制方法时应充分考虑支护方案的特点。市政排水条件是采用降水方法时需要考虑的因素，当工程周边无市政排水设施或排水能力不足时，要么增设排水设施，要么改为帷幕隔水。

3.2.4 本条规定应选择帷幕隔水方法的七种情况，基本做到能不降水则不降水，充分体现保护环境安全和保护水资源优先的原则。

3.2.5 市政管线工程短则几百米，长则几公里，埋深相对不是很深，所涉及的含水层多为粉土、粉细砂地层，并且这类工程工期较短，对抽排的地下水量很有限。因此，规定对这类工程可选择降水方法。

3.2.6 北京地区的实际工程经验表明，采用基坑外帷幕隔水，基坑内降水的组合方法能大大减

少抽水量，也能有效降低基坑底之下的承压水头，降低突涌风险，是值得推广的地下水控制方法。

3.2.7 明排通常只作为帷幕隔水、降水或帷幕隔水与降水组合方法的辅助措施，而单独作为地下水控制方法使用具有很大的安全风险。

3.2.8 回灌只是在为减少降水引起的沉降或利用地下水减少浪费的情况下采用，北京地区由于回灌条件不具备而很少采用。

3.3 地下水控制设计

3.3.2 因受地质条件、施工条件、施工经验、设备能力等多种因素的影响，无论选择何种帷幕隔水形式，都很难保证完全不漏水，因此，在进行帷幕设计的时候，应当依据所选用的帷幕结构特点、类似工程经验等，分析可能发生的缺陷，提出有针对性的修复措施。

3.3.3 为保护地下水资源，北京市自 2008 年 3 月起限制施工降水，提倡采用帷幕隔水方法，要求把帷幕隔水方法作为一种常规做法，把降水方法做为特例。也就是说，只有当帷幕隔水方法不能实施或很难实施时，才考虑采用降水方法，并按规定缴纳水资源费。因此，本条特别规定在降水设计内容中要专设章节，论证帷幕隔水方法不可行，并提出水资源计量及综合利用措施。

3.3.4 帷幕隔水与降水结合方法主要表现为两种形式：悬挂式帷幕+坑内降水和落底式帷幕+坑内降低承压水头。既有帷幕隔水设计内容，又有降水设计内容，还应满足限制降水相关政策要求，难度较大，经验较少，需要工程技术人员精心设计、精心施工。通过组织工程监测、信息化施工，既保证施工安全，又积累工作经验。

4 水文地质勘察

4.1 一般规定

4.1.1 勘察纲要要根据搜集已有资料和现场踏勘结果编制的，是指导勘察工作、编制各项具体计划以及检查所完成工作的主要依据。

由于勘察纲要内容涉及许多方面，除勘察执行的技术标准、勘察方案设计等技术要求外，还有如施工进度、人员设备、质量控制、环境保护、职业健康安全和经济预算等属经营管理和劳动定额方面的内容，加之不同地下水控制工程等级的勘察内容和工作量不同，故本规范未编勘察纲要内容提纲，仅在条文中提出编制的基本要求。实际工作中可根据具体工程的特点和需要来编制，并且应该注意两点：一是必须充分搜集利用已有资料，避免与前人工作简单重复；二是现场踏勘必须认真仔细，除重要的地质、水文地质现象，以及周围建筑物及地下管线等分布情况外，还应了解工程场地的交通运输、动力来源、施工用水和排水等条件，为勘察施工工作做好准备。

4.2 勘察方案设计

4.2.3 水文地质勘察孔的布置应能查明影响地下水控制的含水层的静止水位埋深、含水层厚度、上覆和下伏隔水层埋深变化，以及含水层的平面分布范围。对于工程场地已完成或同期进行岩土工程勘察工作的，应在岩土工程勘察资料的基础上布置水文地质勘察孔，以避免勘探孔布置的盲目性，尽量减少勘探孔的布置数量。

水文地质勘察孔深度的具体要求是根据工程实践经验而来的，当遇有特殊要求或降水地质条件复杂，其深度应予适当调整。当岩土工程勘察孔有深度大于基坑深度 2 倍的钻孔深度时，水文地质勘察孔的深度应以进入含水层底板 0.5m~1m 进行控制。

4.2.4 地下水观测孔的布置主要是为满足水文地质勘察期间对地下水静止水位量测和地下水流向的判断，为抽水试验服务的地下水位观测孔，其孔位、孔距尚应满足抽水试验的要求。条件具备时可留作施工期间的水位观测孔。

在降水深度范围存在多个含水层时，应在不同的含水层布置观测孔，了解各含水层之间的水力联系，使计算的降水地质参数更切合实际。

地下水观测孔可以与水文地质勘察孔共用一个钻孔，当借用的水文地质勘察孔揭穿多个含水层时，地下水观测孔应对相邻含水层采取封堵措施，保证观测的是单一含水层的水位。

4.2.5 本条为抽水试验的设计原则。

1 管井管材的选定要结合管井用途、成井深度、地下水水质条件、经济合理等因素综合考虑确定。目前北京市施工降水的管井使用年限一般在 1 年~2 年，井深一般在 50m 以内，主要

侧重于经济性和实用性，井管管材大多数使用的都是无砂混凝土管和焊接钢管，混凝土管、钢筋混凝土管、无缝钢管和铸铁管一般使用在水源井中。

2 条件允许时应进行 3 次水位降深的稳定流抽水试验。因为进行抽水试验时，井内水位降深及观测孔水位降深可能存在受水跃、三维流、紊流影响的附加降深，当直接采用水位观测资料进行计算时，会影响水文地质参数的计算精度。当具有 3 次水位降深资料时，可以根据流量~降深曲线类型，判断抽水孔和观测孔是否存在三维流；可以根据 3 次抽降的降深流量比值法，计算三维流或紊流引起的附加降深，对抽水井和观测孔的水位降深进行修正，利用修正后的水位降深资料计算有关水文地质参数。

3 目前求水文地质参数的完整井公式比较完善，非完整井的计算条件比较复杂，计算结果误差偏大。抽水试验的抽水井应尽量采用完整井，以提供比较准确的水文地质参数。以含水层厚度 15m 作为采用非完整井分界，只是从节省投资角度考虑。

4.2.6 条件允许时，抽水试验应尽量采用带观测孔的多孔抽水试验。当采用多孔抽水试验时，通过合理布设观测孔，可以避免紊流、三维流和造孔对抽水孔附近含水层扰动的影响，可以使成果能比较真实地反映含水层的透水性；根据观测孔水位降低值计算含水层渗透系数，无需考虑难以确定的抽水影响半径，需要时还能较准确地计算影响半径；根据观测孔降深资料绘制试验过程中任意时刻的等水位线图和降落漏斗剖面图，可以判断含水层渗透性的各向异性和含水层间的水力联系。

多孔抽水试验观测线布置，对于均质松散含水层，宜布置一条观测线，其方向应垂直地下水流向；当含水层中地下水水力坡降较大时，可布置两条观测线，其方向应一条垂直地下水流向，另一条平行地下水流向且宜布置在抽水孔上游一侧。

规定同一观测线上的观测孔数量宜为 3 个，是为了能够使同一资料可以采用多种方法进行计算，相互比较；要求观测孔过滤器安置在同一含水层、同一深度，过滤器长度相同，是为了增强可比性，给分析利用资料提供方便。

4.3 勘探、监测与试验

4.3.2 稳定水位在初见水位量测之后的间隔时间可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。在勘察结束后宜统一量测稳定水位。

4.3.3 钻探取样的目的是正确反映地层，为划分地层取得第一手资料，为填砾过滤器的填砾规格选取提供依据。在取样时应重视现场鉴定工作，取土样的数量应依据地层的均匀程度、采取率的大小和取土质量的高低，在规定的区间内分别取大值或小值。

4.3.6 常规的岩土工程勘察，由于没有单设水位观测孔，提供的钻孔中的稳定水位容易出现混层水位或是稳定时间不够的观测水位，造成提供的静止水位数据的水力坡度不合理。当有专门设置的分层观测地下水位观测孔时，统一量测的稳定水位才具有代表性。

对于因相邻场区抽水、回灌等引起的地下水位水力坡度异常，应在水文地质勘察报告中阐明原因。

4.3.7 水样采集是水质监测工作的重要环节，但往往被忽视。目前，由于水质分析技术的迅速提高，水质分析可达到相当高的精确度，相比之下，在水样采集过程中，由于操作不慎及过失产生的误差远远超过分析本身的误差，甚至使最终的水质监测结果失去意义。因此，水样采集人员必须对样品采集给予足够的重视，认真按照规定的程序操作，以确保采集的水样真实可靠。

4.3.9 对钻进设备和工艺的选择仅作了原则规定，原因是现有的钻进设备和钻进方法可适用于多种地层，或某地层可采用多种钻探设备和钻进方法，只是在效率上和经济效益上有所不同，缺乏针对性和专用性，施工单位施工时，可根据本单位的设备能力、技术条件和人员素质，在保证施工质量的前提下，合理地选择。一般回转式正循环钻机适应在松散层、基岩层、黏性土和砂土类地层钻孔；回转式反循环钻机适用在粘土、砂、卵砾石层地层钻孔；冲击式钻机适应在松散层、粘土、砂、卵砾石层地层钻孔；冲抓式钻机适应在黏土、砂、卵砾石层、漂石地层钻孔。

4.3.11 洗井要求及时，旨在不使冲洗介质有更多的时间固结在井壁上而影响井的出水能力。经验表明，单一的洗井方法效果欠佳，在条件许可时，应采取多种方法联合洗井，可收到预期效果。

4.3.12 本条为抽水试验的一般规定，具体说明如下：

1 若自然水位变化较大，应分析原因（如降雨、周边地下水开采、附近河湖水位变化等），并应延长自然水位观测时间，掌握自然水位变化规律。若自然水位的影响因素稳定存在并掌握其变化规律时，应在抽水试验过程中对动水位是否达到稳定、恢复水位观测是否可以结束等进行判断时，考虑这些因素的影响。

2 为保证测量精度要求，可根据流量大小，选用不同规格的堰箱。当流量小于 10L/s 时，堰箱断面面积应大于 0.25m^2 （即 $0.5\text{m}\times 0.5\text{m}$ ）；流量为 10L/s — 50L/s 时，堰箱断面面积应大于 1m^2 （即 $1\text{m}\times 1\text{m}$ ）；流量为 50L/s — 100L/s 时，堰箱断面面积应大于 2m^2 （即 $1\text{m}\times 2\text{m}$ ）。

4.3.13 稳定流抽水试验说明如下：

1 稳定流抽水试验的水位降深顺序宜按先小后大逐次进行，是因为水位恢复时间是随降深增大而增大的，先进行降深小的抽水试验，可以减少抽水试验的时间。

地下水控制抽水试验的目的是为了求出准确的水文地质参数，不是为了寻求施工降水时单井的最大降深值，也不同于水源井为了确定设计出水量与降深的关系。水位降深大小的取值，与抽水试验公式的适用条件相关，可参照下列规定选用：水位降深的最大值，对于潜水含水层宜接近含水层厚度（完整孔）或过滤器长度（非完整孔）的 $1/2$ 深度处，对于承压含水层最大降深值不宜低于含水层顶板；其余两次水位降深值，宜分别为最大降深值的 $1/3$ 和 $2/3$ 。

2 动水位的稳定与否，单看水位的波动范围是不够的，更主要的是要考虑有无持续上升或

下降趋势。水位的波动范围与抽水设备有关，也可能与自然水位的变化有关，在执行时必须注意。

3 规定稳定延续时间，主要是为了确保抽水试验时，抽水量与补给量达到平衡。抽水量与补给量达到平衡所需时间，不仅与补给条件有关，也与含水层组成颗粒有关。因此，不同含水层规定了不同的稳定延续时间。但在补给条件较差的地区，应特别注意是否达到了稳定，必要时，应延长稳定时间。

4.3.15 群孔抽水试验即两个或两个以上抽水孔同时进行抽水，各抽水孔的水位和流量有明显的相互影响，故也称干扰孔抽水试验，群孔抽水试验的目的主要是为了取得在相互影响条件下，孔群的涌水量或井群降落漏斗中水位降深值的资料。

对于降水施工，只有当含水层为巨厚含水层、基坑涌水量非常大时才进行群孔抽水试验，目的是利用多孔抽水试验计算出的渗透系数、影响半径等水文地质参数，验证降水设计的井深、井距、井数是否合理，能否达到将水位降至槽底以下的目的。由于群孔抽水试验的工期长、消耗大，一般应在降水井施工阶段进行。

4.3.16 本条编制时参考了国家水利部发布的行业标准《水利水电工程注水试验规程》SL345-2007和《岩土工程》(俞调梅等译校)。

注水试验包括常水头注水试验和降水头注水试验，对于野外现场工作，采用降水头注水试验比采用常水头注水试验要方便。降水头注水试验适宜于地下水位以下的粉土和砂土，对于渗透性比较小的土层，采用常水头试验，试验时间比较长，采用降水头注水试验可以缩短试验时间。

北京地区常使用 SH-30 钻机进行套管护壁成孔，该钻机的成孔深度一般在 30m 以内，对于 30m 以内厚度不大的粉细砂含水层和粉土含水层，可以在钻进过程中进行降水头试验，由于在无护壁条件下含水层位置经常会出现塌孔，不能保证试验过程中的孔壁进水长度不变，故适于采用孔底进水方式进行降水头试验。

4.4 水文地质勘察评价与建议

4.4.4 鉴于目前对参数计算的经验总结和科研工作还不够深入，而自然界的条件、抽水孔和抽水试验的方法又是多种多样，所以规范的规定很难满足各种情况下的计算需要。由此本规范只是列进了少量最基本的计算公式，对于比较复杂的非完整井流、承压一无压井流公式，以及非均质含水层中孔的计算公式、非稳定流的越流公式等，应根据勘察场地具体的水文地质条件和公式的适用范围，参照相关规范和手册合理地选择计算方法和计算公式，避免盲目地套用。

5 帷幕隔水

5.1 一般规定

5.1.1 应根据现场工程地质和水文地质条件、基坑的深度和水头和工程重要性和周边环境要求，选择适当的隔水帷幕。

采用哪种地下水控制的方式是基坑周边环境条件的客观要求，基坑支护设计时应首先确定地下水控制方法，然后再根据选定的地下水控制方法，选择支护结构形式。地下水控制应符合国家和地方法规对地下水资源、区域环境的保护要求，符合基坑周边建筑物、市政设施保护的要求。当降水不会对基坑周边环境造成损害且国家和地方法规允许时，可考虑采用降水措施，否则应采用基坑隔水。采用隔水时，对支护结构的要求更高，增加排桩、地下连续墙、锚杆等的受力，需采取防止土的流沙、管涌、渗透破坏的措施。当坑底以下有承压水时。还要考虑坑底突涌问题。

这里要说明一下本规范中隔水帷幕的含义。这里隔水帷幕包括两种。一种是实体的防渗结构，如地连墙、防渗墙、各种桩结构、TRD、SMW 结构；另一种则是像灌浆、高喷、搅拌桩等结构。从防渗的观点来看，他们的强度、渗透系数和允许渗透坡降有很大的差别，在下面的叙述中需要加以注意。

5.1.2 隔水帷幕的布置方式和施工方法因基坑的具体情况而各不相同。其中地连墙可以同时承受荷载作用，对于深基坑宜优先选用；搅拌桩、旋喷桩、咬合桩等对于深基坑应当慎用。

5.1.3 当基坑底部地基中存在连续分布的隔水层且埋深较浅时，宜采用落底式帷幕，对于大多数基坑来说，均应尽量采用落底式帷幕。从埋深来说，现在很多隔水层埋深在 60-70m 的基坑都采用了落底式隔水帷幕，绝大部分是采用地连墙。如果隔水层埋深太大，则可采用悬挂式隔水帷幕和降水相结合的基坑支护方案。至于这两个方案，哪个更合理，应当通过技术、经济和环境效益比较后选定。

5.1.4 本条是针对基坑支护结构底部高差较大的情况提出来的。当高差处隔水层变薄或缺失时，要注意帷幕底部进入隔水层的深度应满足要求。

5.1.5 本条条文提出本规范对基坑支护结构设计的新思路，就是首先由基坑渗流稳定计算确定入土（岩）深度最小值即下限值（如果入土深度小于此值，则基坑渗流不稳定）；然后再设定一些不同的入土深度（均应大于上面的最小值），按通常做法进行结构的内力计算和配筋，并进行经济比较，找出一个造价最小（或接近最小）的入土深度，做为设计的入土深度；再用此设计入土深度进行基坑的各项稳定核算，如果满足要求，则此值就是最后选用的入土深度。这就是本条提出的基坑设计的基本原则。

5.1.7 本条提出在基坑底部存在承压水时，应进行抗突涌验算；不满足要求时，除了在承压水

层内降水减压外，还可把帷幕深度加大，使其进入下一个隔水层内，这样可以增加上部岩土体的重量，抵消上浮力；但要注意，此时承压水的浮力也会增加。

5.1.8 此条提出在开挖前进行基坑内部抽水试验，现场检验设计和施工效果，必要时应采取补救措施。

5.1.9 本条提出在施工现场进行工艺性试验，根据试验结果调整施工参数。设计阶段应提出总体监测方案，施工过程中及时进行检测和分析，实施信息化施工。

5.1.10 施工前和施工过程中，应通过检测和分析，找出设计和施工的薄弱环节，制定应急预案和修复预案，并在施工过程中严格执行。

5.1.11 本条对于各种地下隧道、通道穿过地下水地基，采用全断面注浆封堵地下水时，建议采用注浆和水平旋喷注浆等方法。这里要特别说明的是，本条采用的水平方向的注浆和旋喷注浆方法，与 **5.1.2** 条中的水平防渗体不是一回事。**5.1.2** 条是采用钻机在垂直方向钻孔注浆，由一些垂直桩柱搭接形成一个空间体积的防渗体。目前，由于孔位放线和钻孔偏斜的偏差很大，无法在深度 20m 以下的地基中形成连续防渗体，国内鲜有成功者；而本条采用的方法是可行的。

目前在国内地下工程中注浆施工主要采用四种注浆方式进行，分别是全孔一次性、钻杆后退式、分段前进式、袖阀管。这四种方法的工艺特点如下：

1 全孔一次性

全孔一次性注浆方式是指按设计将注浆钻孔一次完成，在钻孔内安设注浆管或孔口管，然后直接将注浆管路和注浆管（或孔口管）连接进行注浆施工。全孔一次性注浆方式模式图如图 2。

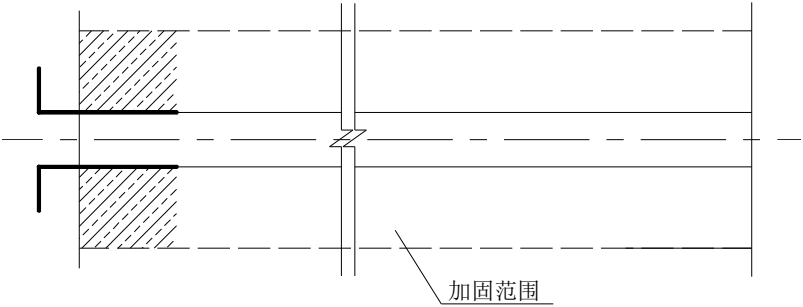


图 2 全孔一次性注浆方式模式图

2 钻杆后退式

钻杆后退式的注浆方式包含单管工艺和双管工艺（WSS），就是先钻孔至设计孔深，然后边提钻杆边注浆的施工工艺，因注浆工艺的需要，在隧道水平方向钻杆后退式注浆止水一般都采用双管工艺。

双管的注浆材料采用水泥-水玻璃双液浆或改性水玻璃浆。该工法的优点是实现了长距离的深孔注浆，相对于传统的小导管注浆工艺扩大了注浆加固范围。缺点是该工艺仅能使用速凝材

料的水泥-水玻璃双液浆或该性水玻璃浆，液浆固结体的有效强度只能维持在一个月左右的时间，一个月后浆液将分散流失，在隧道壁上出现白色挂浆痕迹，所以双管注浆只适合于对注浆加固效果要求时间不长的临时性注浆止水，不适用于对沉降要求较高的构筑物穿越注浆加固止水项目。

钻杆后退式注浆在一定程度上实现了分段进行，较全孔一次性注浆方式在工艺上有先进性，但钻杆和地层之间的空隙密封问题是该注浆方式能否实现有效分段的关键，注浆加固效果有较大的随机性，不推荐在高要求的注浆工程中采用。钻杆后退式注浆模式如图 3 所示。

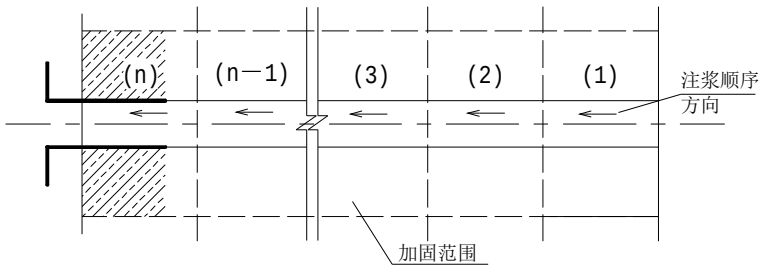


图 3 后退式分段注浆方式模式图

3 分段前进式

前进式分段注浆是采取钻、注交替作业的一种注浆方式，即在施工中，实施钻一段、注一段，再钻一段、再注一段的钻、注交替方式进行钻孔注浆施工。每次钻孔注浆分段长度 2~5m，前进式分段注浆可采用水囊式止浆塞或孔口管法兰盘进行止浆。工艺特点要求必须采用早强速凝的浆液，水泥~水玻璃双液浆和 TGRM 浆是通常使用的两种早凝浆液，TGRM 浆既有双液浆早强快凝的特点，也有水泥基材料永久加固的性能，是近年内国内普遍采用代替水泥水玻璃双液浆的理想材料。前进式分段注浆钻孔注浆施工模式图如图 4。

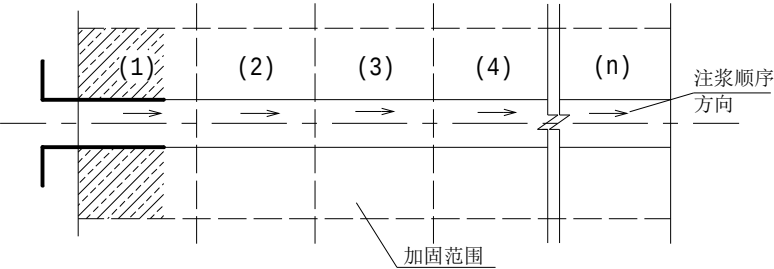


图 4 前进式分段钻孔注浆施工模式图

4 袖阀管方式

通常，注浆的每一个工程具有不均匀地层，不同地质条件、颗粒粒径、透水性和不同地层之间交互层叠，通过注浆所达到的效果也不尽相同，袖阀管注浆则是通过封管和注浆两种材料进行分次封孔和注浆，实现分次注浆，有针对性地对注浆地层进行注浆，采取在可注性好的地层注浆、不同的地层采用不同的注浆材料等措施有效填补地层的空隙，使地层特性达到同性化，进而得到有效的加固处理，达到设计要求。首先，用钻机进行套管钻孔，一直钻到规定的深度

为止，插入具有特殊构造的带环箍的管子。然后，一边拨出套管一边注入水泥膨润土液，在管子周围形成和土层接触的硬度。在带环箍管子内，将前端装置着双层密封器的注浆管固定在规定的注浆孔位置上，用水或浆液打开注浆孔，突破硬壁后进行注浆。

该工法具有注浆孔深度范围内可上下调整、同一注入点可以采用不同的注浆材料进行注浆、根据地层的实际情况非常方便的再次注入的特点，通过精细注浆、二次注浆保证注浆质量。袖阀管后退式分段注浆适用于各种地层，尤其针对土、淤泥、粉细砂等极软弱地层。

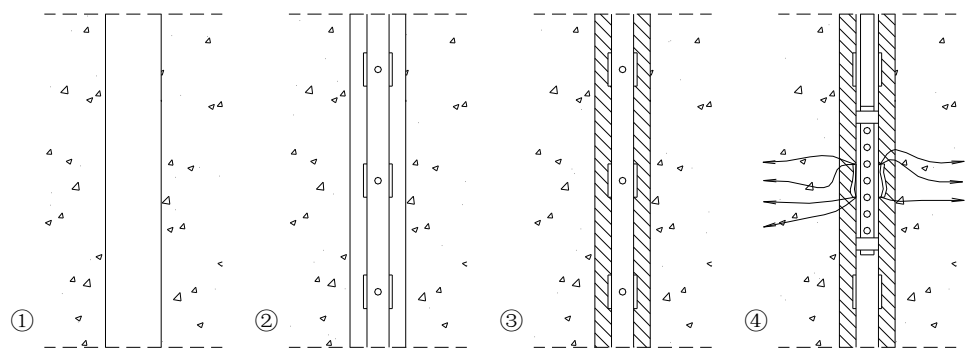


图 5 袖阀管注浆施工模式图

5.1.12 本条对注浆材料提出要求。工程中使用的注浆材料必须是无毒、污染小、不变异的产品，严禁使用可能污染地下水的有毒类浆液（如：氨基类的、含苯环类的、酰胺类等）或成分不明的浆液。但针对混凝土结构裂缝修补等涉及到混凝土维修的注浆工程不在此禁止范围之内。

浆液材料必须有充分的稳定性，浆液注入地层后不能因时间、酸碱环境等变化，而使浆液分解出污染地下水的物质。对于氨基类的、含苯环的、酰胺类的化学制剂严禁使用，即使作为少量的外加剂也要禁止使用。严禁使用不能提供浆材产品合格证和无生产厂家的成分不明的浆液。使用水泥材料没有问题。

5.2 帷幕隔水设计

5.2.1 本条提出隔水帷幕和隧道注浆设计的主要内容。

5.2.2 本条内容与 5.1.1 基本相同；可参考附录 C。采用多种帷幕时，应注意帷幕底部防渗轮廓线的连续性。

5.2.3 本条指出，帷幕深度应采用渗流分析方法确定。基坑工程抗渗流稳定性验算主要验算支护结构底部土体的抗渗流或抗管涌稳定性以及基坑底部土体抗承压水突涌稳定性。计算隔水帷幕的深度应采用渗流水压力，而不是采用静水压力。采用地连墙和防渗墙以外的帷幕结构时，要注意渗透系数和允许渗流坡降的选用要适当。

5.2.4 落底式帷幕进入隔水层内一定深度，是为了满足地下水绕过帷幕底部的渗透稳定要求。式（5.2.4）是一个经验公式，它假定隔水层的允许渗透坡降是 $1/0.2=5$ ，如果土（岩）层的允许渗

透坡降不是 5，则此式应重新讨论。此外，还应核算帷幕底部以下土层（厚度为 t_r ）的渗透稳定性，注意此时的允许渗透坡降应当采用土体本身的允许值。

如该隔水层顶板低于基底，其上方为砂土等渗透性较强的土层，其重量对隔水层起到压重的作用，所以隔水层上方的砂土等应按天然重度取值。隔水层是相对的，相对所隔含水层而言其渗透系数较小。在有水头差时，隔水层内也会有水的渗流，也应满足渗流和渗透稳定性要求。

5.2.5 当基坑底部地基中存在承压水且承压水头高于坑底时，应评价承压水突涌的可能性。公式（5.2.5）中，注意式中的承压水头是到隔水层底板的水头，不是作用在基坑上的水头。其中的土的重度宜采用饱和重度。

本条基于考虑上覆土层重量与承压含水层中承压水头的平衡，判别坑底抗承压水头的稳定性，未考虑上覆土层与支护结构间的摩阻力影响，根据地下水控制等级，选取不同的安全系数。

在基坑底部土体抗承压水突涌稳定性计算中，承压水水位对计算结果影响很大。北京地区承压水水位受周边工程施工降水影响较大，设计计算时，承压水头除了考虑实测的现状水位外，尚应调查周边工程情况，预判工程施工期间承压水位变化，确保工程安全。

当基坑底部土体抗承压水突涌稳定性不能满足要求时，可加深隔水帷幕穿透承压水层进入其下隔水层或设置减压井降低承压水水头。降低承压水水头值应满足基坑底部土体抗承压水突涌稳定性要求。

减压井深度、数量与布置应按承压水水头压力降低值、承压含水层与隔水层相对关系与水文地质参数计算，根据环境要求结合类似工程经验和抽水试验综合确定。

当隔水帷幕插入承压水层中深度较大时，宜采用承压水坑内减压方案。坑内减压井滤水器应位于承压水层内且底端不宜大于隔水帷幕深度，采用有控制的自流方式减压。

当隔水帷幕未插入减压承压水层中或插入减压承压水层中深度较小，可采用承压水坑外减压方案。坑外减压井滤水器底端宜大于隔水帷幕深度。

5.2.6 本条提出验算隔水层在承压水作用下的稳定性。注意公式（5.2.6）中允许渗透坡降的选用。当地基为粘土时，可取上限 6 或更大一些。当隔水层上部有含水层时，相当于在渗流出口有一层盖重和反滤做保护，所以允许渗透坡降可以取大些；如果此含水层不能起到反滤应用，则允许渗透坡降不要加大。

5.2.7 采用悬挂式帷幕时，应当核算地下水沿着帷幕边界最短的渗透路径上的渗流稳定性，公式（5.2.7）是根据渗透坡降 $i = \Delta h / L = \Delta h / (\Delta h + 2hd) \leq [i]$ 转换来的；其中 $[i]$ 的取值为：对于砂性土、中砂、粗砂、砾砂和级配良好的砂砾石，可取 0.3-0.4；级配不良的砾石或粉细砂地基，可取 0.1-0.2。注意此公式只适用于潜水条件下的均匀砂或砂砾石地基；对于多层地基不适用；对于岩石地基不适用；对于承压水条件下的基坑也不适用。如果土层的允许渗透坡降取值不是上面的数值，则不能使用公式（5.2.7），可采用本条提出的公式进行核算。

5.2.8 对于重要基坑应当采用空间有限元或有限差分法进行基坑渗流计算。当采用桩间防渗的支护结构时，应当采用交圈图的方法，核算帷幕底部的搭接宽度是否满足要求（即搭接 150 mm

-200mm)。

5.2.9 隧道结构内部超前隔水加固的全断面或半断面封闭预注浆、隧道穿越建（构）筑物进行地层加固的局部预注浆、竖井施工中的隔水加固注浆等，可采用深孔注浆。

在深孔注浆设计施工前，必须搞清楚所注地层是砂层、粘土层、淤泥层，还是砂卵石层、断层破碎带。对于砂层，要进行筛分试验，确认砂层是粗砂、中砂，还是细砂、粉细砂，必须要查清楚所注层是含水层、弱含水层、富水层，还是高压动水地层，水量是多少，水压是多大，地层渗透系数是多高，对地层空隙率、裂隙度要通过试验，或者采取工程类比法进行确定。在此基础上，根据注浆目的、隧道断面大小及支护结构形式选用注浆工艺和注浆参数形成注浆设计文件，包括：工程概况、工程地质与水文地质、注浆目的、注浆范围、注浆参数、注浆材料及配比、注浆方式、注浆效果指标等内容。

注浆范围的大小决定着注浆钻孔数量，影响着注浆质量、施工工期等，因此对于注浆范围的选取，应综合考虑地质条件和水压力数值、注浆效果、成本和注浆工期的要求。在注浆范围确定的情况之下，注浆设计应当保证注浆扩散的有效区域全覆盖设计注浆范围，然后有效地减少钻孔数量、提高注浆效果、方便现场施工，因此，为取得合理的注浆设计，在注浆孔布设设计时，应注意以下几个原则性问题。

1、均匀布孔原则

掌子面注浆孔布设应尽量占满掌子面作业空间，同时，应尽量做到均匀布置。避免局部注浆孔布置过密，从而在注浆施工中使止浆墙变成“千疮百孔”，易发生破坏，同时，注浆孔布置过密，无法实现多孔同时进行钻-注平行作业，降低施工效率。

2、梅花型布孔原则

对多排（圈）孔注浆设计，应充分发挥注浆孔的扩散潜能，以获得最大的注浆体厚度，减少钻孔数量。设计时，多排（圈）孔的最佳搭接为等边三角形梅花形布置，不易出现注浆盲区，不宜采用矩形布孔方式。如图 6。

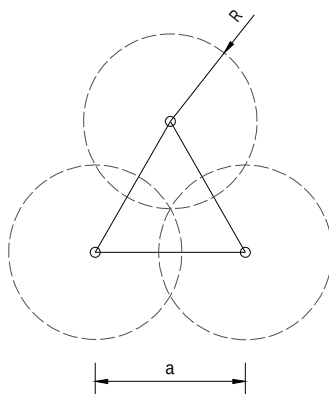


图 6 孔排间的最优搭接图

由孔排间的最优搭接图计算，注浆终孔间距与扩散半径间的关系为： $a = \sqrt{3}R$ 。因此，对于多排（圈）孔进行终孔设计时，注浆孔间距应满足： $a \leq \sqrt{3}R$ 。

3、方便施工原则

注浆孔的设计须满足方便现场注浆钻孔的要求。钻孔注浆施工中，采用非履带自行式地质钻机钻孔，每移动、定位一个钻孔，需要花费较长时间，因此，注浆孔设计时，若采用多功能履带式钻机，可以按环形布孔原则。但当使用非履带式钻机，为方便钻机移动、定位，同时，定位更加准确，宜安排布孔。

隧道注浆设计程序可如下图 7 进行。

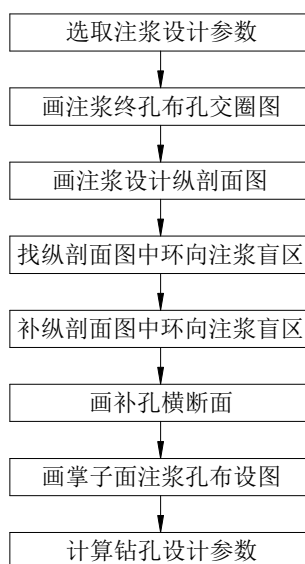


图 7 隧道注浆设计程序

5.2.10 注浆总钻孔量是与注浆范围及注浆参数有直接关系，而总钻孔量又影响着注浆质量、施工工期等，因此在注浆加固和隔水设计时，首先应当保证注浆扩散的有效区域全覆盖设计注浆范围，而对于注浆范围的选取，应综合考虑地质条件和水压力数值、注浆效果、成本和注浆工期要求。

5.3 地下连续墙

5.3.1 为了确保地下连续墙成槽的质量，应根据不同的深度情况、地质条件选择合适的成槽设备。在软土中成槽可采用常规的抓斗式成槽设备，当在硬土层或岩层中成槽施工时，可选用抓抓、抓铣结合的成槽工艺。成槽机宜配备有垂直度显示仪表和自动纠偏装置，成槽过程中利用成槽机上的垂直度仪表及自动纠偏装置来保证成槽垂直度。

1 薄墙挖槽机：射水成槽机，各种拉槽机，抓斗；

2 厚墙挖槽机：各种钢丝绳或液压抓斗，双轮铣槽机；

3 连续挖槽机：TRD 工法机；

4 搅拌成槽机：水泥搅拌桩机，SMW 工法机。

5.3.2 当地下连续墙邻近存在既有建（构）筑物或对变形敏感的地下管线时，应根据相邻建筑物的结构和基础形式、相邻地下管线的类型、位置、走向和埋藏深度及场地的工程地质和水文地质特性等因素，按其允许变形要求采取相应的防护措施。

1 采取间隔成槽的施工顺序，并在浇筑的混凝土终凝后，进行相邻槽段的成槽施工；

2 对松散或稍密的砂土和碎石土、稍密的粉土、软土等易坍塌的软弱土层，地下连续墙成槽时，可采取改善泥浆性质、槽壁预加固、控制单幅槽段宽度和挖槽速度等措施增强槽壁稳定性。

5.3.3 施工试验所取得的资料，不仅可以验证及优化设计参数，而且可以为正式施工提供准确的技术资料，从而验证和优化施工方案。

5.3.4 目前地下连续墙在基坑工程中已广泛应用，特别是深大基坑和周边环境复杂基坑以及与主体结构结合的基坑工程，应当首选地下连续墙（以下简称地连墙）。目前国内已经建成的地连墙厚度可达到 200 mm -1500mm。国内现有的挖槽机的常用规格为 200mm、300mm、400mm、600mm、800mm、1000mm、1200mm、1500mm。

5.3.5 此条提出地连墙的强度等级和抗渗等级的要求。

5.3.6 目前地连墙的接头形式很多，建议优先考虑圆形锁口管、工字钢或混凝土预制接头等；所采用的接头应构造简单、施工方便、止水性好，能够防止混凝土绕流。

地下连续墙的接头部分是地下连续墙工程的薄弱环节，无论是在墙体质量上还是抗渗性能上都较差，所以地下连续墙槽段之间的连接缝越多，渗漏的几率就越大，因此，在条件许可时，宜减少槽段接缝。

锁口管法是国内外使用最多的一种槽段连接方法。该方法是在单元槽段挖完后开始混凝土灌注前，在其端头处下入钢制的接头管，待浇灌的混凝土初凝后，采用专用机械将接头管拔出，从而在两期槽孔之间形成一定形状的曲面膜接头。槽段曲面为混凝土，接头背面为土层和填料，要求接头管具备足够强度和刚度，在最大的流态混凝土的侧压力和抗拔力作用下，不会产生较大变形。

采用工字钢接头施工时，下端应插入槽底，上端宜高出地下连续墙泛浆高度，同时应制定有效的防混凝土绕流措施。如发生绕流，会使后浇混凝土与型钢之间的粘结不够牢固，并形成渗水通道，从而导致接头漏水。防绕流措施包括型钢应焊接牢固、在接头两侧包裹铁皮、在接头位置填碎石等。

5.3.7 这种结构在岩石地基的基坑中应用较多，通常叫做上墙下幕结构；其垂直方向的搭接长度应不小于 2m。

5.3.8 地连墙做为防渗墙时，根据所承受的水压力、防渗墙深度、地质条件和墙体所在位置等条件，选择合适的防渗墙结构和材料；防渗墙可以紧贴支护结构，也可以布置在基坑的外围。

5.3.9 地下连续墙施工要点

1 导墙是控制地下连续墙轴线位置及成槽质量的关键环节。导墙的形式有预制和现浇钢筋混凝土两种，现浇导墙较常用，质量易保证。现浇导墙形状有“L”、倒“L”、“U”等形状，可根据地质条件选用。当土质较好时，可选用倒“L”形；采用“L”形导墙时，导墙背后应注意回填夯实。导墙上部宜与道路连成整体。当浅层土质较差时，可预先加固导墙两侧土体，并将导墙底部加深至原状土上。两侧导墙净距通长大于设计槽宽 40mm~50mm，以便于成槽施工。

施工平台和导墙地基的加固不但要加固表层地基，还要根据现场情况，对导墙的深部地基进行加固。

导墙顶部可高出地面 100mm~200mm 以防止地表水流入导墙沟，同时为了减少地表水的渗透，墙侧应用密实的粘性土回填，不应使用垃圾及其他透水材料。导墙拆模后，应在导墙间加设支撑，可采用上下两道槽钢或木撑，支撑水平间距一般 2m 左右，并应禁止重型机械在尚未达到强度的导墙附近作业，以防止导墙位移或开裂。

2 目前对于泥浆的性能和作用仍有不少误解。应选用优质泥浆，对于保持槽孔稳定、减少混凝土浇注缺陷和漏洞是非常必要的。护壁泥浆的配比试验、室内性能试验、现场成槽试验对保证槽壁稳定性很重要，尤其在松散或渗透系数较大的土层中成槽，更应注意适当增大泥浆黏度，调整好泥浆配合比。对槽底稠泥浆和沉淀渣土的清除可以采用底部抽吸同时上部补浆的方法，使底部泥浆比重降至 1.2，减少槽底沉渣厚度。当泥浆配比不合适时，可能会出现槽壁严重的坍塌，这时应将槽段回填，调整施工参数后再重新成槽，有时，调整泥浆配比能解决槽壁坍塌问题

3 每幅槽段的长度，决定挖槽的幅数和次序。常用做法是：对三抓成槽的槽段，采用先抓两边后抓中间的顺序；相邻两幅地下连续墙槽段深度不一致时，先施工深的槽段，后施工浅的槽段。

4 地下连续墙水下浇筑混凝土时，因成槽时槽壁坍塌或槽段接头安放不到位等原因都会导致混凝土绕流，混凝土一旦形成绕流会对相邻幅槽段的成槽和墙体质量产生不良影响，这是地连墙设计和施工的关键环节；解决了这个问题，地连墙才是成功的。因此，一定要注意防止混凝土浇注过程中发生绕流事故。

5.3.10 本条提出的质量检测和控制在要求，是最基本的要求；需要进行特殊检测时，可参考有关的技术规范或规程。

5.4 桩间桩后帷幕

5.4.1 北京地区目前较为常用的帷幕桩形式主要是：搅拌桩、旋喷桩和长螺旋旋喷搅拌桩，搅

拌桩包括长螺旋搅拌桩，实用效果良好。

该条只对帷幕桩 28 天试块抗压强度及渗透系数进行了规定，主要参考了国家现行标准《复合土钉墙基坑支护技术规范》GB50739-2011 和《建筑基坑支护技术规程》JGJ120-2012，结合了北京土层情况、现有工程经验及专家论证结果。

水泥土标准养护龄期为 90d，基坑工程一般不可能等到 90d 养护期后再开挖，故设计时以龄期 28d 的无侧限抗压强度为标准。一些试验资料表明，一般情况下，水泥土强度随龄期的增长规律为：7d 的强度可达标准强度的 30%~50%，30d 的强度可达标准强度的 60%~75%，90d 的强度为 180d 强度的 80%左右，180d 以后水泥土强度仍在增长，水泥强度等级也影响水泥土强度，一般水泥强度等级提高 10 后，水泥土的标准强度可提高 20%~30%。

渗透系数测试方法，现有方法均不适用，为此采用了专利装置技术，测试效果良好，形成了附录 F 的测试方法。

5.4.2 帷幕桩施工工艺应根据地层条件进行合理选择，施工工艺选择不对，就会出现“搅不动”或“喷不动”等问题，不能达到设计的直径和深度。

5.4.3 搅拌桩直径宜选 450mm~800mm，直径太大无法实施，直径太小经济不合理，工期也长。

5.4.4 采用高压旋喷、摆喷注浆帷幕时，在正式施工前要在现场进行试验，开挖后测量其固结体有效半径。在北京曾经出现了若干个未经试验就开始施工的案例，结果造成失败，教训是深刻的。

5.4.5 表中规定的搭接宽度是依照常规施工条件，并参照现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ120-2012 规定，但遇到隔水要求较高的工程、渗透性强的地层，其搭接宽度应大于该数。必要时应采用双排隔水帷幕。

搅拌桩、旋喷桩帷幕一般采用单排或双排布置形式，理论上，单排搅拌桩、旋喷桩帷幕只要桩体能够相互搭接、桩体连续、渗透系数小于 10cm/s-6cm/s 是可以起到隔水作用的，但受施工偏差制约，很难达到理想的搭接宽度要求。假设桩长 15m，设计搭接 200mm，当位置偏差 50mm、垂直度偏差为 1%，两个偏差叠加时，则帷幕底部在平面上最大会偏差 200mm。此时，实际上桩之间就不能形成有效搭接。如桩的设计搭接过大，则桩的间距减小、桩的有效部分过少，造成经济上的浪费。所以帷幕超过 15m 时，单排桩难免出现搭接不上的情况。双排桩帷幕形式可以克服施工偏差造成的搭接不足，对较深基坑双排桩帷幕比单排桩帷幕的隔水效果要好的多。

5.4.6 表中水灰比是参考现有规范，结合现场试验确定，长螺旋旋喷搅拌桩经多次试验确定为 1.0 m~1.3m，过大则水泥土强度偏低，过小则易堵喷嘴，不利施工。

5.4.7 帷幕桩施工允许偏差值之桩间搭接应不小于 100mm。

5.4.11 水泥土搅拌桩、高压喷射注浆常用普通硅酸盐水泥，也可采用矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥。需要注意的是，当地下水流速高时，需在水泥浆液中掺入适量的外加剂，如氯

化钙、水玻璃、三乙醇胺或氯化钠等。由于不同地区，即使土的基本性状相同，但成分也会有所差异，对水泥的固结性产生不同影响。因此，当缺乏实际经验时，水泥掺量和外加剂品种及掺量应通过试验确定。

5.4.12 长螺旋旋喷搅拌桩施工没有对提、下钻速度进行规定，也没有对上、下遍数进行规定，具体参数由设计人根据现场工艺试验后确定。有类似场地经验时，可结合经验确定。

5.4.13 先施工护坡桩、后施工桩间长螺旋旋喷搅拌帷幕桩时，护坡桩应采用避免塌孔的施工工艺，无论采用长螺旋成孔压灌混凝土后插钢筋笼施工工艺或旋挖成孔泥浆护壁工艺时，均应保证不塌孔。如护坡桩施工时塌孔严重，导致护坡桩桩径局部扩大，帷幕桩施工时，钻头无法下钻，致使部分帷幕桩不能按设计要求施工，无法实现护坡桩与帷幕桩的全面咬合，将严重影响隔水效果。

为改善上述状况，某工程采用了先施工长螺旋旋喷搅拌帷幕桩，后施工长螺旋压灌混凝土后插钢筋笼护坡桩，坑深 13.0m，开挖后发现护坡桩在砂层部位坍塌严重，但整体隔水效果很好。

如开挖后发现帷幕有漏水现象，可能对基坑及周边环境带来风险时，应进行回填堵漏，可采用“堵漏灵”类速凝材料堵塞，大一点的可采用在插管导出水后，支混凝土模板“打补丁”的方法封堵；系统性的长裂缝漏点，可采用袖阀管技术进行封堵，效果甚佳。



图 8 开挖后漏水点的漏水情况



图 9 封堵后的情况

5.5 注浆隔水

5.5.2 普通单液水泥浆可在大部分的注浆工程中使用，具有料源广、价格低、结石体强度高等特点。

工业水玻璃浆既可单独改性使用也可与其他浆液混用，酸性水玻璃具有料源广、价格低、可注性好，凝胶时间可调，强度适宜等特点，可在中、细砂层中应用。

双液浆料具有料源广，价格适宜，胶凝时间易调，结石体强度较高等特点，是在有水条件下粗砂及砂砾地层中堵水和加固地层的主要浆液。

超细水泥和膨润土浆液主要在粉细砂等极细地层注浆中使用，使用的超细水泥比表面积应大于 $8000\text{cm}^2/\text{g}$ ，具有强度高，可注性好等特点，可代替部分化学浆材，应用于细砂及细小裂缝堵水及加固工程中。

硫铝酸盐类水泥浆材具有早强、高强和耐久性好、胶凝时间可调等特点，可在强度有特殊要求的地段使用。

TGRM 特种水泥材料的特点是早强、抗分散、永久加固、颗粒小、不收缩、无毒无污染等，主要在提高浆液早期强度、抗地下水冲散和永久性隔水工程中使用，尤其适合在构筑物穿越保护、地下水流较大、地层颗粒较细、早期浆液强度等要求较高的注浆工程中使用。

注浆施工过程中，一种注浆材料通常较难完全达到理想注浆材料的要求，因此，在复杂地质条件下，应采用综合注浆材料选择体系，可将上述注浆材料组合使用，选择时，原则上按照由粗到细、由单液到双液、由高浓度到低浓度三个准则进行动态调整。

6 降水

6.1 一般规定

6.1.1 本条第3款系针对建筑基坑普遍存在电梯井、集水井、泵房等局部加深情况，如果整个基坑都按局部加深的底标高设定降水深度，将大大增加降排水量，严重浪费地下水资源，尤其是槽底为透水性强的含水层。而坑内局部降水或帷幕隔水能有效控制抽排水量，即所谓梯级降水或地下水控制。

6.1.2 施工降水涉及多个含水层，如果降水井穿透多个含水层混合降水，则降水井在多个含水层间将起到连通器的作用，造成上部水质差的含水层污染下部含水层，即使降水结束后封填了降水井，也不能完全消除其影响。因而规定施工降水涉及多个含水层时，成井时应分层止水，确保封井回填后不会形成上下层水的直接连通。而当各含水层水质存在明显差异的，尤其是指污染场地中的施工降水，则须分层进行降水，避免各含水层间造成间接的污染。

6.2 降水设计

6.2.1~6.2.3 根据北京地区经验，对于弱透水地层，当基坑环境简单、含水层较薄、水量较小、降水深度较小，且不易产生流砂、流土、潜蚀、管涌、淘空、塌陷等现象时，可采用集水明排降水；厚度小于0.2m的砂卵砾石含水层界面水或采用其他方法降水后的残留水，如不易产生流砂和管涌也可以采用集水明排降水。

近年来，真空管井和辐射井降水在地铁工程中应用较广。真空管井降水使管井周围地层内形成真空场，管井真空度越高其真空场影响半径就越大，使得含水层中水流向井的水力坡度增大，也使得弱含水层中更多的饱和水和毛细水被释放出来。真空管井针对细颗粒交互地层降水十分有利，能够有效解决饱和粘性土、粉土，以及砂层含水层底板界面残留水的疏干问题。辐射井降水一般应用在受场地条件限制不能形成管井围降的区段。

当基坑和隧道的开挖深度接近或超过含水层底板时，在侧壁、掌子面均会出现一定程度的沿含水层底板界面渗水的现象，即出现“疏不干”问题。针对此类问题，通常采用集水明排、插导水管引排、洞内水平井点和注浆封堵等补救措施保证工程安全。

6.2.4 洞内水平井点和倾斜井点实际上是轻型井点在地下暗挖工程中应用，只是井点打设位置和角度有所不同。一般情况下在地面无法布置降水井，暗挖断面为弱透水含水层，以及没有承压水影响或承压水影响很小的情况下采用。倾斜井点一般应用于隧道上台阶没有地下水，上台阶开挖后对下台阶含水层降水的情况。北京地铁10号线劲松站~潘家园站区间和14号线十里河站~南八里庄站区间采用洞内水平井点和倾斜井点进行降水，效果良好。作为辅助方法疏干地层残留水，水平井点和倾斜井点在北京地下暗挖工程中已得到广泛应用。

6.2.5 设置有悬挂式隔水帷幕的基坑采用基坑内降水方式，可以起到减少抽水量并减小基坑周边地下水位的降低程度的作用，从而在一定程度上减小基坑降水对周边环境的影响。

6.2.6 根据承压水压力水头的大小和工程场地条件，可选择采用基坑内或基坑外减压降水，当压力水头较高，且场地条件允许时，应在基坑外侧布置减压降水井，以减小减压降水结束后高水头情况下封井的难度。

6.2.7 单排、单侧布置降水井的情况一般适用于含水层厚度较大、透水性较好，降深不大的线性基坑和隧道。

大型基坑一般指宽度超过40m的基坑。

地下工程通常都会伴随有注浆加固地层或外侧斜插锁脚锚杆等工程措施，受其影响，降水井布置应适当远离地下工程的开挖线。

根据目前辐射井降水施工技术工艺，在弱透水层中水平井成井长度可达50m，在砂卵石层中水平井成井长度可达20m~40m。

6.2.10 降水井深度揭穿降水目的含水层，即构成完整井；如果含水层厚度较大，应通过技术、经济和降排水量等方面进行比较，并结合类似工程经验确定井深。不揭穿降水目的含水层，即构成非完整井。

6.2.12 北京与日俱增的地铁线路和各种暗挖隧道已在第四系孔隙含水层中形成纵横交错的人为隔水边界；在北京通州区等地，地表水水网构成了地下水补给边界。这些特定的隔水和补给边界条件对基坑工程和地下工程的影响已日渐突出，基坑涌水量计算应给予充分考虑。

6.2.15 基坑降水不利部位是指基坑外角点、深大基坑边坡中部、基坑中心及群井干扰最小处。

6.3 降水施工

6.3.1 集水明排是在基坑或隧道内设置排水沟和集水井，用抽水设备将水从集水井抽出，达到疏干积水的目的。集水明排可单独采用，亦可与其它方法结合使用。当含水层底板位于基坑底面以上或基坑底面接近含水层底板时，一般降水方法都存在疏不干问题，需要采用集水明排进行补救。当预留肥槽不能满足集水明排技术要求时，排水沟和集水井的设置要验算对边坡支护结构稳定性的影响。

集水明排需要注意避免出现流砂、管涌、边坡塌陷、地面沉降等问题。

6.3.5 管井的钻井工艺：对于粒径小于150mm的第四系松散地层宜采用泵吸反循环钻井工艺，该法钻进效率高，是降水管井施工的首选钻井工艺；对于粒径大于200mm的地层可以采用冲击钻机、潜孔锤钻机或旋挖钻机施工；正循环钻井工艺由于钻井效率较低，又大量使用泥浆护壁，相比之下洗井也比较困难，北京地区很少采用。

泵吸反循环钻井工艺是采用清水水压钻进，依靠水的静压力与地层压力达成平衡，保持井壁稳定，而不是采用泥浆护壁，能避免了泥浆对含水层的淤堵问题，且洗井比较容易。该法施

工的水井一般只需用空压机洗井即可，不必配合化学洗井及其它方法洗井，成井后出水量较大，成井质量高；该法冲洗液上升速度快，钻进时排除岩屑能力强，岩屑一般不受重复破碎，钻进效率高；该法具有井底换浆功能，钻到设计深度后就可及时换浆，使得孔底沉渣较少，下管到位。值得注意的是，该法在粉细砂地层中钻进容易淘空地层造成扩径，必要时也要采用泥浆护壁。

当钻进地层有较大粒径的卵石、漂石时，使用冲击钻井工艺较其它方法效率高，但因大量使用粘土造浆，洗井难度相对较大，一般都要配合化学洗井或拉活塞方法洗井。该法钻进时孔内不需要冲洗液循环排渣，水量消耗小，适用于缺水场地的降水井施工。

近年来，气动潜孔锤同步跟管钻进法在北京地铁 9 号线、14 号线和 7 号线存在大粒径漂石含水层的地段得到了应用，其优点是钻进效率高、无需洗井；缺点是成井口径小，抽水设备选择余地小，单井出水量相对较小。

空压机洗井的风管和出水管装置有同心式和并列式两种形式，下端配有混合器，出水管应为钢管，风管一般采用高压胶管。空压机的工作压力不应小于 0.7MPa，排风量大于 $6\text{m}^3/\text{min}$ 。

水泵选择应与井的出水能力相匹配。泵量小了，则达不到降深要求；泵量大了，则抽水不能连续，一方面增加维护难度，另一方面井中动水位不断变化对地层扰动较大，造成出水含砂量增大。因此，应根据动水位和实际出水情况及时调配抽水泵量。

6.3.6 辐射井由集水井和水平井构成。常用的集水井施工方法有沉井、倒挂井壁逆作和钻井三种方法。常用的水平井施工方法有水力正循环、水力反循环和潜孔锤钻进等方法。

沉井法适用于地层比较均匀，无影响沉井下沉的大块石或障碍物，如地层以饱和粘性土为主，可采用明排水措施开挖下沉；若在砂砾石含水层中沉井则要采取辅助降水措施。沉井法施工的主要优点是适用于狭小场地；缺点是沉井容易倾斜、突沉、超沉，施工效率较低，对土体扰动较大，需辅助降水。

倒挂井壁逆作法是靠人工开挖支护成井，优点是适用于透水性较差的地层，可用于狭小场地。缺点是施工效率低，成井深度有限，需辅助降水，一般上部回填土层采用该法施工比较稳妥，而后可采用钻井法或其它方法接力成井。

钻井法一般采用泵吸反循环钻机成井。其优点是适用于粒径不大于 150mm 的各种第四系松散沉积地层，对土体扰动小、施工效率高，安全可靠；缺点是围泥浆池需要较大场地，排除泥浆量比较大。

水力正循环钻进方法是在钻具旋转并液压顶进钻杆的同时，配合高压水冲钻进，高压水通过中空钻杆直抵钻头喷射地层，岩屑从钻杆与孔壁的间隙排出。钻至设计深度后，从钻杆中插入滤水管装备成井。该法在粘质粉土～粉细砂地层中钻进效率较高，水平井成井深度可达 60m。

水力反循环钻进方法是采用双通道水龙头、双壁钻杆和孔底双壁钻头，钻进时冲洗液经水泵、高压胶管、双通道水龙头、双壁钻杆到达孔底，与钻头破碎下来的岩屑混合，经孔底喷射

钻头进入钻杆中心通道，并排出孔口之外。该法本身有护壁作用，但水平井管下入难度较大。

潜孔锤钻进方法适用于各种砂卵砾石地层，能有效控制扩孔超径，必要时可采用多级套管，以克服单级套管摩阻力大的影响，从而提高钻进速度。三级套管时，套管管径一般为： $\phi 178\text{mm}$ 、 $\phi 146\text{mm}$ 、 $\phi 108\text{mm}$ 。

6.3.7 真空管井相对于管井来说，多了一套抽真空系统，相当于加大了地下水流向井的水力梯度，因而真空管井降水能缩短针对弱透水层的预降水时间，并能够较好地解决弱透水层的疏干问题，降水深度也比较大。真空管井的井管可以采用HDPE双壁波纹管、水泥管和钢管，在需要密封的井段下入井壁管，对应需要降水的含水层部位下入滤水管。HDPE双壁波纹管和钢管的接头少，密封性比较好；水泥管1m一节，排管灵活，非常经济，但每节井壁管间接头都要密封处理。

井管口一般可采用法兰密封。法兰密封套件由套桶、上法兰盲板、下法兰、密封橡皮圈和固定螺丝等组成。可根据井管管径和材质的不同，确定法兰密封套件的尺寸，下法兰与套桶之间为焊接，在上法兰盲板应设置电缆线孔、水位观测孔、泵管排水孔、抽真空孔和真空表孔，组装时这些孔洞同样要做好密封。对于丝扣连接件在连接处用生胶带进行密封，对于电缆和出水管孔的密封在穿电缆线和排水管后用防水密封胶密封。

井段密封主要针对不需降水的含水层和地表下与大气的隔离段，大气隔离段一般不小于5m，可采用预制风干粘土球密封。

水环式真空泵可作为真空管井降水的首选泵。其优点是结构紧凑，操作方便，泵体与电动机直联，转速较高，用较小的结构尺寸，可以获得较大的排气量，泵腔内没有金属摩擦表面，无须对泵内进行润滑。1台水环式真空泵可根据自身抽气量大小和管井内真空度要求，带1口或多口降水管井。

6.3.10 降水过程中的抽排水量和地下水位动态控制是指在满足各降水阶段降深要求的前提下，动态调整降水井开启与关停，避免过度浪费地下水资源。

6.3.11 对于一般建筑工程，能否停止施工降水主要取决于结构自重能否抵御水浮力的作用。水浮力的大小主要取决于停止施工降水后各含水层中的水位能够恢复的高度，以及在工程建设过程中地下水位的变化幅度和可能发生的水位变化趋势。由于地下水位变化趋势难以预测，因此，在工程建设过程中需要进行地下水位观测，并根据地下水位情况，确定是否还需要开启降水设施。当能够肯定地下水不会对建筑结构产生影响后，则可以不再观测地下水位变化。

对于地下暗挖工程，二次衬砌施工完成即意味着结构防水开始起作用，由于不存在结构抗浮问题，即使其他结构施工在施，也可以停止施工降水。

6.3.12 抽水含砂量大了容易产生不良地质影响，现行《供水管井技术规范》规定供水管井出水的含砂量应小于1:200000(体积比)。与供水井相比，由于降水是短期行为，供水井是长期使用，只要降水井在降水期间不产生不良地质影响，降水设备能正常运转即可。因此，降水井在抽水

初期和运行后的含砂量可宽于供水井的含砂量要求。而辐射井的水平辐射管反滤层的形成容易造成地层损失，因此，对辐射井抽水半小时和运行时的含砂量要求比降水管井严格。

6.4 工程环境影响预测与风险控制

6.4.2 施工降水对周边环境预测：

1 当利用解析法预测施工降水期间地下水位动态变化情况时，可采用附录 E 中“E.1 地下水流解析法”中的地下水位预测模型；当利用数值法预测施工降水期间地下水位动态变化情况时，可采用附录 B 中“B.4 数值模拟”中的地下水数值模型。

2 当利用解析法预测施工降水时的地下水水质变化情况时，可采用附录 E 中“E.2 地下水溶质运移解析法”中的地下水溶质运移模型；当利用数值法预测施工降水时的地下水水质变化情况时，可采用附录 E 中“E.3 地下水数值模型”中的地下水溶质运移数值模型。

6.4.3 表 6.4.3 中给出的经验修正系数是根据北京地区基坑降水(含地铁暗挖工点)多年近百个点计算沉降与实测沉降对比统计而得出的，适合于北京地区 35m 以上的地层使用。

6.4.9 施工降水过程中基坑外侧的地下水位影响范围内的地基土因孔隙水压力减小，有效应力增加会引起土层压缩、地面沉降。同时在某些情况下，基坑周边土层在渗透力作用下细颗粒土产生移动，使土体进一步产生压缩变形和沉陷，地面沉降将可能加剧，影响周边环境的已有建（构）筑物、管线等的安全。施工降水也可能影响周边已有水源井等其它方面。本条针对施工降水可能引起的周边环境安全等进行了规定，并提出了控制指标。

1 当预测施工降水影响范围内有其它类型管线时，其沉降控制值可参照表 3。

表 3 各类管道沉降控制值

管道类型		累计沉降值(mm)
刚性管道	压 力	10~30
	非压力	10~40
柔性管线		10~40

2 浅层地下水含水层已被严重污染，是指按我国地下水质量分类标准超过Ⅳ类水水质标准的地下含水层。

3 施工降水影响范围内的重要水源井是指正在使用中的水源热泵井、单位自备井、水厂生产井等。

4 施工降水对周边交通环境、居住环境、生态环境影响是指降水施工期间或抽水期间所发生的如占交通要道、施工噪声、渣土泥浆排放、抽水引起湿地或地表水体干涸等。

7 污染场地地下水控制

7.1 一般规定

7.1.1 由于地为原为化工厂、农药厂、冶炼厂、加油站、化学品储罐、固废处理等原因,产生有毒有害废弃物造成地下水的污染,在进行污染地下水控制设计前,场地一般进行了地下水环境调查、污染地下水评价、场地水文地质勘察等内容,已确定场地污染水的类型、含水层厚度、污染水的空间分布状态。在进行污染场地地下水控制设计前,应对采用的控制方法、施工工艺和监测进行论证,确保其不对周边环境、本场地地层及地下水造成污染。

7.1.2 由于污染场地地下水对人体健康和环境安全有危害,设计方案应考虑上层污染水不能对下层地下水产生污染,本场地污染水不能对周边环境产生污染,尤其应考虑施工产生的污染泥浆等进行处理,不能造成新的污染。

7.1.3 污染场地地下水处理方法分为:物理修复法技术、化学修复法技术、生物修复法技术和复合修复技术方法。物理修复法技术,指以物理规律起主导作用的技术,主要包括:水动力控制法、流线控制法、屏蔽法、抽取法等。化学修复法技术指使用化学原理来处理地下水污染的技术,主要有有机粘土法和电化学动力修复技术。生物修复法技术是指利用天然存在的或特别培养的生物(植物、微生物和原生动物)在可调控环境条件下将有毒污染物转化为无毒物质的处理技术,包括天然生物修复技术、原位生物修复技术和抽提地下水系统和回注系统相结合法。复合法修复技术是同时使用了物理法、化学法和生物法中的两利或全部。如渗透性反应屏(Permeable Reactive Barrier)修复技术同时利用了物理吸附、氧化一还原反应、生物降解等几种技术,抽出处理(Pump and Treat)修复技术在处理抽出水时同时使用了物理法、化学法和生物法。

根据污染地下水处理方法,考虑到建设工程处理工期和费用的问题,在进行污染场地地下水控制设计时,应首先考虑采用隔水帷幕方案,由于场地地层的原因,采用隔水帷幕方案技术不可行时,可以采用降水方案,降水方案中应包括对污染水处理的内容。

7.1.4 污染场地地下水控制工程施工前,应对有关人员进行污染物安全培训,做好防污染措施,给施工人员配备必要的防护用品,确保施工人员的人身健康和环境安全。

7.1.5 污染场地地下水控制工程运行期间应进行地下水水质监测,根据场地条件,应布置一定的污染水监测井,每个场地布置监测井不少于3个,监测井根据场地条件可布置在建构筑物回填的肥槽内或场地其它地段。监测井的井管材料应有一定强度,耐腐蚀,对地下水无污染,监测井的深度应根据监测目的、所处含水层类型及其埋深和相对厚度来确定,至少应在污染地下水埋深以下2m,根据场地建筑物施工情况,每2~3个月采集地下水水样进行分析,以判别污染水控制是否能满足设计要求。污染水的取样、测试按《地下水环境监测技术规范》HT/T 164-2004要求执行。

7.2 污染场地地下水控制设计

7.2.1 规定了进行污染场地地下水控制设计前应具备的资料,根据相关资料,设计人员可以确定污染水的层位、埋深、地层的渗透性、污染范围以及污染物的种类,根据污染物的种类不同可以采用不同的污染水处理方法。

7.2.2-7.2.4 场地污染地下水控制设计应与基坑支护设计同步进行,设计时应根据搜集的场地资料,选择方案时应考虑上层污染水是否对下层水影响,防止造成新的污染,进行污染地下水控制设计应根据建、构筑物基础埋深、周边环境条件、污染水的类型、分布范围范围选择方案,并进行方案的对比分析,采用技术可靠、经济合理、确保环境的污染水控制方案,设计时,应留足污染水处理时间。根据北京市特点,污染场地地下水控制宜优先选择落底式地下连续墙和坑内疏干相结合的方案。当含水层底板埋藏浅也可选择桩间桩后帷幕和坑内疏干相结合的方案,该方案的特点是确保场地周边其他的污染水不能对场地地下水造成影响,同时和基坑支护方案紧密结合。

7.2.5-7.2.6 地下连续墙的设计和施工、隔水帷幕的施工、疏干井的设计应符合国家、行业有关规范的要求,考虑到北京大多数基坑深度在 20.0m 以内,且超过 20.0m 的隔水帷幕较少,目前暂时规定桩间桩后帷幕深度不宜超过 20m,如帷幕深度超过 20m 时,可进行专家论证。考虑到污染水控制的问题,规定应确保帷幕底部在最不利施工精度下的搭接宽度不小于 200mm,地下连续墙和桩间桩后帷幕的渗透系数应小于 10^{-6}cm/s 。

7.3 污染场地地下水控制施工

7.3.1-7.3.2 由于污染物类型不同,对人体健康带来危害,因而,污染场地施工时应采用必要的防护措施,给施工人员配备必要的防护用品,在上岗前,进行相应的安全卫生防护知识培训。场地施工形成的泥浆、其它污染混合体和污染水应统一进行环保处理,不应造成二次污染,施工方案中应提出应急预案。

7.3.3 防渗墙施工应采取多种措施确保接缝质量,具体可参考国家、行业有关规范,如施工过程中出现接缝不密实时,考虑到污染水问题,应在接缝处采取补救措施,补救措施可采用旋喷桩、注浆等措施。

7.3.4 该规定的目的在于防治污染水对下层地下水造成新的污染。

7.3.5 污染水中含有不同的化学成分,对疏干井滤水管会产生腐蚀性,造成滤水管渗漏等问题,形成新的污染。

7.4 污染场地地下水排放

7.4.1-7.4.2 场地抽出的污染水,应在现场集中存放在具有防渗性能的集水池内,便于现场进行处理或运送到污水处理厂或特定地方进行环保处理,根据污染物的种类,可采用不同的污水处

理方法，处理后的污染水必须达标后排放或利，严禁采用未处理的污染地下水进行回灌。

如将未处理的污染水排入城市雨污水管线、河道等，将产生新的污染，不利用环保和人身健康，因而严禁将未处理的污染水排入城市雨水管线、污水管线、河道及地表水体，不得进行回灌和综合利用。

8 既有建筑地下水控制

8.1 一般规定

8.1.1 水位回升在国内外城市建设中的实例很多，水位回升形成较高的水压力时候，对既有建筑结构主要危害就是结构上浮、底板开裂和侧壁渗水等，这在国外发达国家城市建设（如英国伦敦）中出现过多次教训。我国的抗浮设计工作开展得较晚（如较为系统的研究也是始于 20 世纪末），大量的既有建筑在设计施工中对抗浮问题考虑的不周，另外，即使是目前的新建建筑考虑了抗浮问题，但由于该类问题自身的复杂性，抗浮设计的重要参数—抗浮水位取值有时候也难免存在偏低的可能，在未来长期运营期间，也会存在一定抗浮稳定性的问题，为规避这些既有工程风险发生，工程中需要采取必要的措施来进行预防和补救。从目前国内外在结构抗浮措施发展趋势来看，主要有两大类抗浮措施，其中一大类的基本理念主要是“增加抗浮力”的措施，如增加配重、设置抗浮构造等；另一大类是通过不对的不利条件下地下水渗流场的干预来“降低地下水压力”的措施，如排水减压和帷幕隔水等，即地下水控制的方法。被动抗浮措施在北京地区应用较为成熟，且积累了大量经验，但其也存在自身难以克服的许多不足之处，如成本高，在既有建筑上使用不便等。为此，本规范主要对目前国际上应用较为广泛，国内研究较少的既有建筑地下水控制措施技术细则进行相关规定，为今后该类措施在北京地区的推广应用与完善奠定基础。

8.1.4 建筑场地影响范围内的岩土工程条件和水文地质条件是确定抗浮地下水控制设计参数的基础，如抗浮水位，最大涌水量等。由于地下水环境的复杂性，现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB500021、《建筑地基基础设计规范》GB50007 以及北京地方标准《北京地区建筑地基基础勘察设计规范》DBJ 11-501 均未提出具体的参数确定方法，需要勘察单位在对场区及其所在区域的水文地质条件深入研究基础上，结合地方经验综合确定。

8.1.5 本条款主要从技术的成熟程度和保护既有地下水环境角度提出的。

8.2 既有建筑抗浮稳定性评价

8.2.1 现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007-2011 和北京地方标准《北京地区建筑地基基础勘察设计规范》DBJ11-501-2009 都提出了各自抗浮稳定性计算公式，前者是基于抗浮稳定安全系数 K_w （统一按 1.05 取值），后者是基于永久荷载影响系数 γ_G （取值范围在 0.9~1.1 之间），实际上，在应用中，二者在数值上存在如下关系，即

$$K_w = 1/\gamma_G \quad (1)$$

本条编写中认为，采用现行国标中抗浮稳定安全系数 K_w 在概念会更清晰，同时考虑到实际应用效果与北京地方标准保持一致，在 K_w 具体取值上根据北京地方标准中 γ_G 由式（1）换算确

定。并规定，若抗浮水位取值是基于详实地质资料的各种不利条件下严格的科学论证时， K_w 取低值；当水位监测数据匮乏、相关经验积累和研究成果较少时， K_w 取高值。

8.2.4 由于地下水压力沿竖向分布不完全是线性增大的（0），因此由地下水压力形成的浮力要比纯水条件下复杂得多，很多情况下与结构形式以及结构深度范围内地层分布关系密切（0），需要做进一步分析。

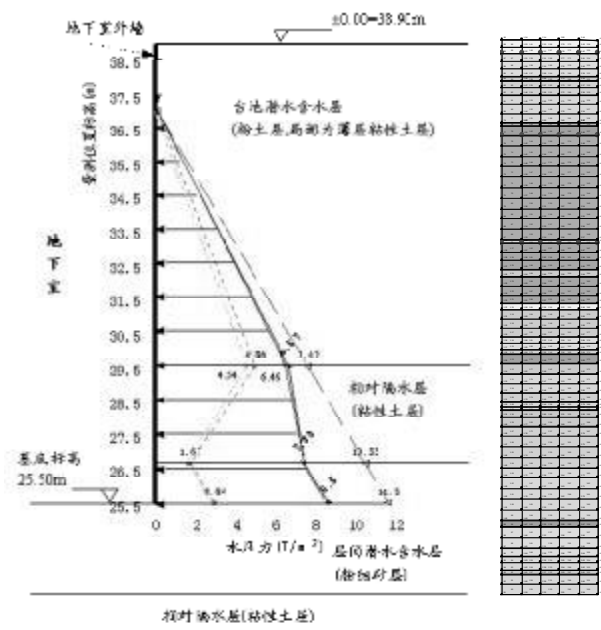
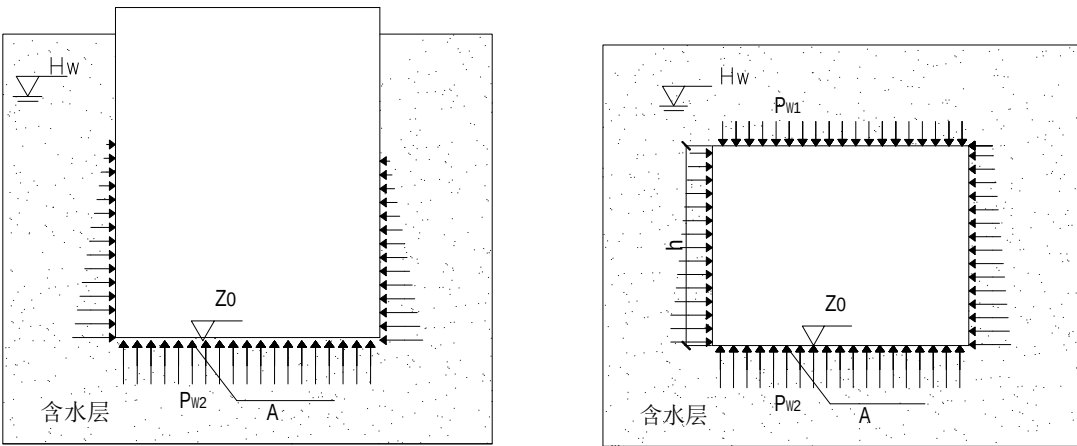
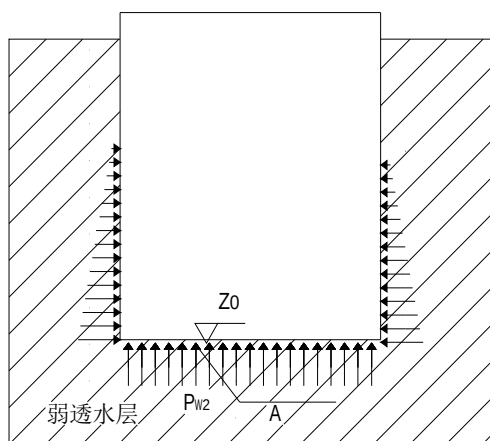


图 10 北京地区建筑场地孔隙水压力垂向分布规律（张在明，1999）

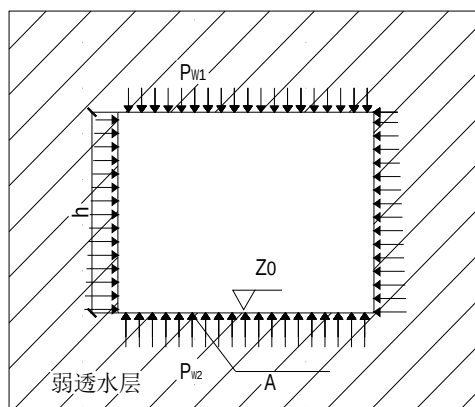


(a) 底板在含水层中，顶板在地表以上

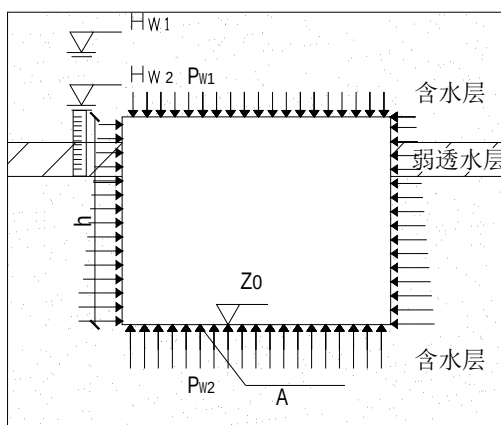
(b) 结构完全在同一含水层中



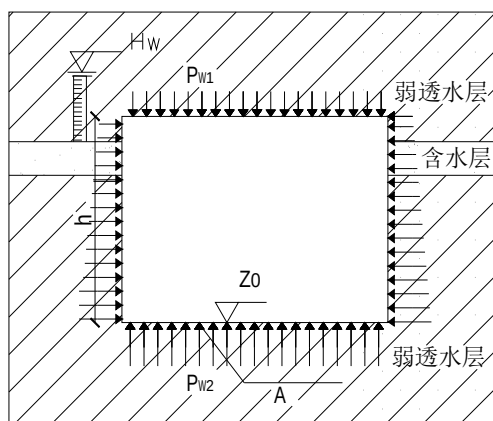
(c) 底板在弱透水层中，顶板在地表以上



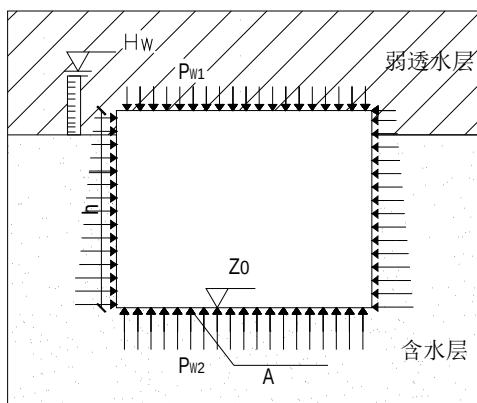
(d) 结构完全在同一弱透水层中



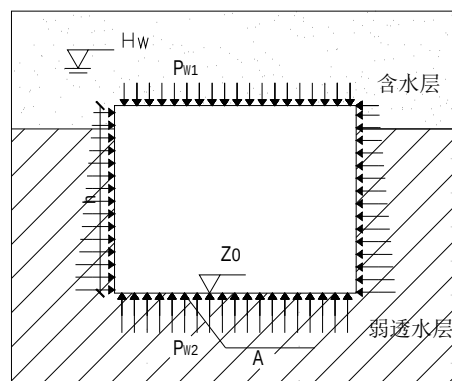
(e) 顶、底板分别位于不同层位的含水层中



(f) 顶、底板分别位于不同层位的弱透水层中



(g) 顶、底板分别位于弱透水层与含水层中



(h) 顶、底板分别位于含水层与弱透水层中

图 11 地下结构常见的埋置条件示意图

但从力学的本质来看，浮力是结构外壁各方向所受的压力差，以 0 结构形式较为简单（结构侧壁呈直立状）的地下结构为例，其浮力可以定义为是结构顶、底板所受的地下水压力差。

8.3 帷幕隔水

8.3.1 该条主要考虑到既有建筑长期（一般 50 年以上）使用期间，对帷幕的密闭性要求要比短期的施工期间高得多，即使按照本条的 1~2 款的要求做了，在长期的使用期间，帷幕也很难保证完全能切断地下水的补给，因此还需要辅以降水措施。

8.3.3 本条主要考虑到地下水和土对混凝土结构的腐蚀性，因为这和施工期间帷幕还不一样，对使用寿命有要求。

8.3.4 本条款主要是根据 2011 年中华人民共和国环保部颁布的行业标准《环境影响评价导则-地下水环境》HJ 610-2011 的相关规定提出的，以减少对地下水环境的不利影响。

8.4 排水减压

8.4.1 排水减压的方法即通过排水减压来实现水压力的有效控制，保证结构抗浮稳定性。本条列出的方法为国内外最新研究和应用情况。表 8.4-1 是根据相关应用经验总结而成的。

8.4.2 集水井方法的基本结构如错误！未找到引用源。所示，需要说明的是，集水井具有积水和排水双重功能。

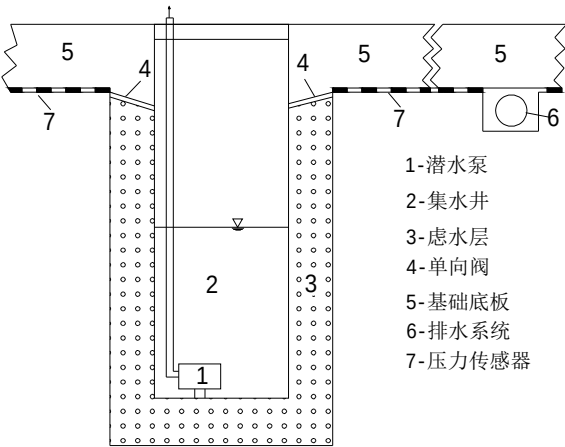


图 12 集水井方法的基本结构

对于渗透系数较大（超过 0.1cm/s）的砂卵石地层，当周边地下水回升时，场区的地下水位会瞬间回升，这个时候仅仅用积水井往往很难应急，需要通过安装在结构底板上的减压阀来应急（错误！未找到引用源。）。。

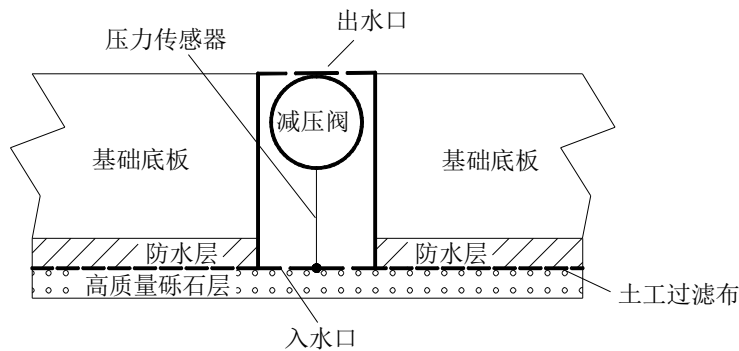


图 13 减压阀减压系统结构安装剖面图

8.4.3 在地层涌水量不大时，可采用泄水孔排水减压方法。泄水孔排水减压法的核心结构应包括泄水孔、排水沟和水压警示监测系统等组成（**错误！未找到引用源。**）。

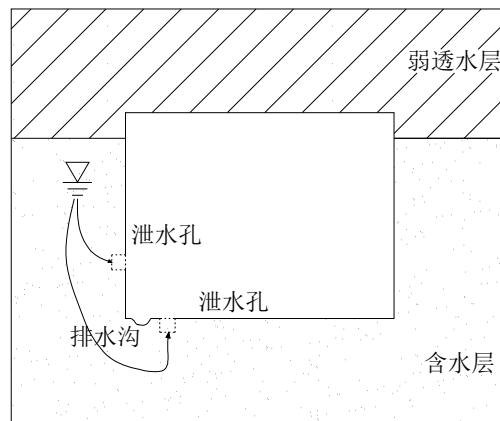
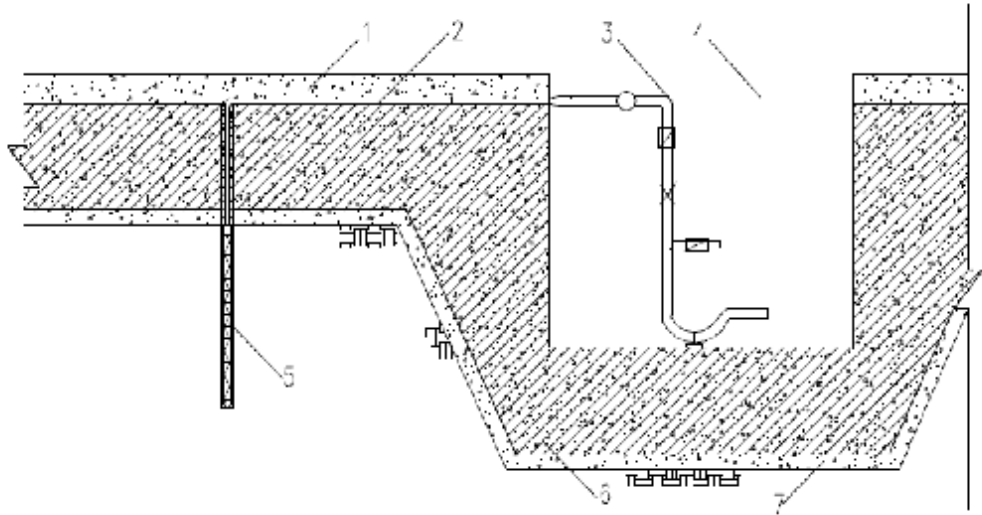


图 14 泄水孔结构示意图

8.4.4 静水压力释放技术目前在台湾和上海有较为成功的应用（以CMC静水压力释放管技术为代表），当在建工程基础位于孔隙水压力很高，但流量很小相对弱透水层（参见0中的c、d、f和h）时，采用前述的集水井和减压阀很难有效控制。台湾的中联工程技术顾问股份有限公司于2010年在大陆地区推广“CMC静水压力释放管技术”（Technical for CMC hydrostatic pressure relief tube），该技术目前已经在上海形成地方推荐性技术规程。本工法系利用基础下低透水地层(土层或岩层)的透水特性，经数值分析与模拟设计后，在基础底板下方适当位置安装静水压力释放管，以空间点状排列方式建造可在结构物使用年限内具永久性功能的透水网络，藉以控制基板下方过大的地下水浮力，辅助原有抗浮设计，一次性解决既有建筑物基板上浮危害，提升结构物安全性，同时兼具降低基板施工缝及结构裂缝渗水的功能。静水压力释放管所汇集的自然溢流地下水，经由集水管网系统及气密式出水系统排放至结构物原有的集水坑或箱型基础水箱中，无需改变结构物的原建筑设计。出水系统可配合结构设计需求适当调控，保留部份基底水浮力。该技术适用条件为基底下存在渗透系数在 10^{-5}cm/s 以下、每天每平方米的渗流水量不超过

0.03m³的粘性土或粉性土层。CMC静水压力释放管技术适用于箱型基础和板基的建(构)筑物（**错误！未找到引用源。**），主要由透水系统、集水系统、出水系统、CMC 静水压力释放工法集水井(使用建筑物原有集水井)、反冲洗孔和固定渗流压Pw 监测系统等主要部分组成。



1——地下室面层；2——集水系统；3——出水系统；4——静水压力释放管技术专用水箱；
5——静水压力释放管；6——基础底板；7——素混凝土垫层；

图 15 静水压力释放管图

由于该方法在北京地区尚未尝试过，因此本条建议进行一定的技术经济论证。

8.4.6 排水减压措施在对环境影响上，与施工期间的降水类似，且和施工降水相比，时间较长，对排水要求以及对环境的影响更明显，设计施工中需要重点考虑。

9 地下水回灌与抽排水综合利用

9.1 一般规定

9.1.1 防沉降地下水回灌是指为了防止因施工降水引起地面沉降发生，在需防沉降区域采用地下水回灌措施，确保该区域不因施工降水而发生地下水位下降，从而引起孔隙水压力变化。防

沉降回灌可采用抽排的地下水，当抽排的地下水不满足回灌要求时，应另寻回灌水源；资源性地下水回灌是指当抽排的地下水满足回灌要求时，为了减少因施工降水发生的地下水排放，利用人工方法将施工降水抽排的地下水再回灌到地下含水层。

9.1.3 抽排水综合利用是指对于施工降水所产生的抽排地下水，在考虑了地下水回灌(有条件的情况下)以后所剩余下来的水，最大限度地在施工场区内予以利用，以减少施工使用自来水，最大限度地节约水资源。

9.2 防沉降地下水回灌

9.2.1 工程环境预测施工降水所产生的沉降将对周边建(筑)筑物或地下管线产生危害影响，是指预测沉降值或倾斜值超过了现行国家标准《建筑基坑工程监测技术规范》GB50497-2009 中的监测报警值。

9.2.2 当条件较复杂时，回灌井的控制范围应通过数值模型来模拟实际抽水和回灌的地下水位变化情况，较准确地确定回灌井的位置和回灌水量。

9.2.3 同层回灌是指凡抽水井滤水管所涉及到的含水层(含饱和弱透水层)，回灌时都要考虑作为回灌补水层，以确保在防止沉降区这些地层的孔隙水压力不发生变化。

9.3 资源性地下水回灌

9.3.1 回灌水的物理指标是抽排水经过沉淀池沉淀处理后取样测定的。

9.3.4 同层回灌是指回灌井与降水井的滤水管以及滤料所涉及的含水层是相同的，异层回灌指回灌井和降水井的滤水管及滤料所对应的含水层完全不同，并且对应降水井抽水含水层段应采取封井措施。

10 地下水控制工程监测

10.1 一般规定

10.1.1 本条为强制性条文，是对基坑工程地下水监测实施范围的界定，凡涉及到地下水控制的城市建设工程均应进行地下水监测，监测项目及内容可根据具体情况进行确定。

10.1.2 本条对地下水控制监测方案编制提出了具体要求。为了正确地对基坑工程进行监测和评价，提高基坑监测工作的质量，做到有的放矢，应尽可能详细地了解和搜集有关资料。搜集已有资料是准备工作中的一项重要内容。

10.1.3 监测方案是监测单位实施监测的重要技术依据和文件。为了规范监测方案、保证质量，本条概括出了监测方案所包括的主要内容。

监测单位拟订出监测方案后，提交工程建设单位，建设单位应遵照建设主管部门的有关规定，组织设计、监理、施工、监测等单位讨论审定监测方案。方案经协商一致后，监测工作方能正式开始。必要时，应根据有关部门的要求，编制专项监测方案。

10.1.4 监测单位应严格依据监测方案进行监测，为基坑工程实施动态设计和信息化施工提供可靠依据。监测频率应该根据工程施工的进程进行适当的调整，当监测数据达到监测报警值时监测单位必须增加观测次数并立即通报建设方及相关单位，以便建设单位和有关各方及时分析原因、采取措施。建设、施工等单位应认真对待监测单位的报警，以避免事故的发生。在这一方面，工程实践中的教训是很深刻的。

10.1.5 实施动态设计和信息化施工的关键是监测成果的准确、及时反馈，监测单位应建立有效的信息处理和信息反馈系统，将监测成果准确、及时地反馈到建设、监理、施工等有关单位。

10.1.6 监测单位应严格按照审定后的监测方案对基坑工程进行监测，不得任意减少监测项目、测点，降低监测频率。当在实施过程中，由于客观原因需要对监测方案作调整时，应按照工程变更的程序和要求，向建设单位提出书面申请，新的监测方案经审定后方可实施。

10.1.8 当基坑工程需要进行支护结构位移监测等监测时，可参考《建筑基坑工程检测技术规范》GB50497-2009第6节中相关规定执行。

10.2 水位监测

10.2.2 地下水位监测的手段很多，不同工程宜按照实际情况选择不同的监测方法。

10.2.3~10.2.5 地下水位监测主要是通过水位观测孔(地下水位监测点)进行。地下水位监测点的作用一是检验降水井的降水效果，二是观测降水对周边环境的影响。

基坑地下水位监测点的布置，主要是根据基坑采用降水方法来确定。监测点位应根据降水方法的不同，选择监测点的布置，有条件的也可以利用降水井进行水位监测。

监测单位应该根据施工现场的条件，实时的增加监测点。

10.3 出水量、含砂量监测

10.3.2 水量监测可采用流量表法、流量槽法进行监测。根据流量大小不同可分别采用三角堰、

梯形堰和矩形堰进行监测。

- 1 流量较小时，可采用三角堰箱进行监测

$$Q = ch^{\frac{5}{2}} \quad (2)$$

式中 h —过堰水位（cm）；

C —随 h 而变化的系数， h 由5.0~30.0cm， c 由0.0142~0.0137。

- 2 水量较大时，可采用梯形堰进行监测

$$Q = 0.0186Bh^{\frac{5}{2}} \quad (3)$$

式中 h —过堰水位（cm）；

B —堰宽（cm）。

- 3 水量很大时，可采用矩形堰进行监测

$$Q = 0.018Bh^{\frac{5}{2}} \quad (4)$$

10.3.6 进行地下水抽降作业时，应对抽取的地下水的含砂量进行监测。抽排水含砂量应符合**6.3.12**条的规定。

10.4 水质监测

10.4.1 本条文规定了需要进行水质监测的情况。

10.4.3~10.4.4 本条文规定了一般建设场地和污染区建设场地中地下水质重点检测的项目，监测单位还可以根据实际工程情况增减检测项目。

10.5 地面沉降监测

10.5.1 为了防止工程施工降水对地面及周边环境造成影响，在基坑一定范围内应布置地面沉降监测点，监测地面沉降。

10.5.2 地面沉降监测范围可根据降水井影响半径计算求得，在影响范围内，需布置监测点，并且根据周围构筑物情况，适当增减监测点数量。

10.6 监测预警

10.6.1~10.6.2 监测报警是建筑基坑工程实施监测的目的之一，是预防某坑下程事故发生、确保基坑及周边环境安全的重要措施。监测报警值是监测工作的实施前提，是监测期间对基坑工程正常、异常和危险三种状态进行判断的重要依据，因此基坑工程监测必须确定监测报警值。

10.6.3 基坑工程监测报警不但要控制监测项目的累计变化量，还要注意控制其变化速率。基坑工程工作状态一般分为正常、异常和危险三种情况。异常是指监测对象受力或变形呈现出不符

合一般规律的状态。危险是指监测对象的受力或变形呈现出低于结构安全储备、可能发生破坏的状态。累计变化量反映的是监视。对象即时状态与危险状态的关系，而变化速率反映的是监测对象发展变化的快慢。过大的变化速率，往往是突发事件的先兆。因此在确定监测报警值时应同时给出变化速率和累计变化量，当监测数据超过其中之一时即进入异常或危险状态，监测人员必须及时报警。

10.6.4 本条列出的都是在工程实践中总结出来的基坑及周边环境出现的危险情况，一旦出现这些情况，将可能严重威胁基坑以及周边环境中被保护对象的安全，必须立即发出危险报警，通知建设、设计、施工、监理及其他相关单位及时采取措施，保证基坑及周边环境的安全。工程实践中，由于疏忽大意未能及时报警或报警后未引起各方足够重视，贻误排险或抢险时机，而造成工程事故的例子很多，应吸取这些深刻教训。

10.7 监测成果

10.7.3 阶段性报告是经过一段时间的监测后，监测单位通过对以往监测数据和相关资料、工况的综合分析，总结出的各监测项目以及整个监测系统的变化规律、发展趋势及其评价，用于总结经验、优化设计和指导下一步的施工。阶段性监测报告可以是周报、旬报、月报或根据工程的需要不定期地提交。报告的形式是文字叙述和图形曲线相结合，对于监测项目监测值的变化过程和发展趋势尤以过程曲线表示为好。阶段性监测报告强调分析和预测的科学性、准确性，报告的结论要有充分的依据。

10.7.4 总结报告是基坑工程监测工作全部完成后监测单位提交给委托单位的竣工报告。总结报告一是要提供完整的监视资料；二是要总结工程的经验与教训，为以后的基坑工程设计、施工和监测提供参考。

附录 A 水文地质参数计算方法

A.0.2 除按条文中式 A.0.2 计算渗透系数外，也可根据 $\ln(H_t/H_0) - t$ 关系曲线求得注水试验特征时间 T_0 ，采用下式计算试验土层的渗透系数：

$$k = \frac{0.0523r^2}{AT_0} \quad (5)$$

式中： T_0 ——注水试验的特征时间，min，即 $H_t/H_0=0.37$ 时所对应的 t 值，可在 $\ln(H_t/H_0) - t$ 曲线上（见图 16）确定， H_t 为注水时间 t 时的水头值（cm）， H_0 为注水时间为 t 时的水头值（cm）；
其余符号意义同条文。

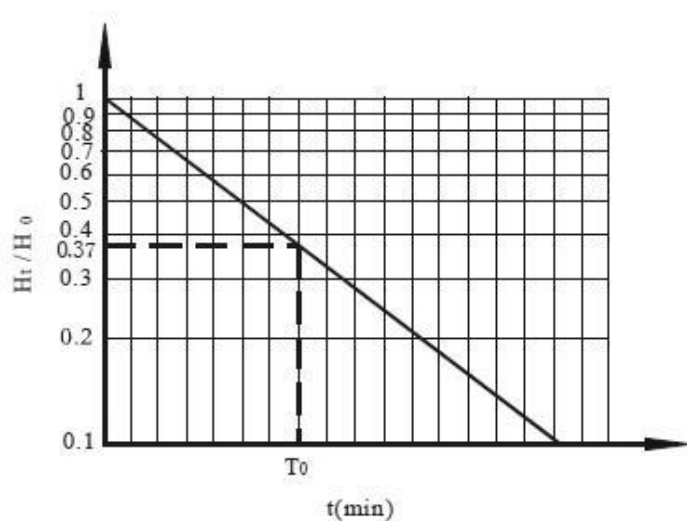


图 16 $\ln(H_t/H_0) - t$ 曲线

当试验土层为弱透土层，观测点有 10 个以上在直线上时，可采用将该直线外延至 $H_t/H_0 = 0.37$ 横线相交的办法来确定基本滞后时间 T_0 ，即可终止试验，以缩短试验时间。

附录 B 基坑涌水量计算与数值模拟

B.3.1 当承压含水层侧向边界离井很远，边界对基坑区域的水头分布没有明显影响时，可以把它看作是无外界补给的无限含水层。此时无补给的承压水完整井定流量非稳定流可按Theis公式

计算。

变流量降水时先绘出流量过程线，并将其概化。然后用阶梯型折线代替原曲线，并将其坐标化。概化原则是矩形面积等于曲线与横坐标所围成的面积。对每一个阶梯都可视为定流量，应用Theis公式将其计算出来。最后按叠加原理叠加起来，得到流量变化时水位降深。

B.4.2 数值方法是采用离散化的方法来求解数学模型，从而得到研究区域内有限个离散点上的未知函数值。离散化的方法是将研究区域划分成为若干个较小的子区域或称为单元，即化整为零，这些单元的集合体代表的研究区域。虽然所得解为数值解(即是数值的集合，是数学模型的近似解)，但是只要将单元大小和时段长短划分得当，即对空间步长和时间步长取值合适，计算所得的数值解便可较好的逼近实际情况而满足计算精度的要求。

由于建立代数方程组的方法不同，也就产生了各种不同的离散化方法，即不同的数值方法。目前，地下水流计算常用的数值方法有有限差分法（FDM）、有限单元法（FEM）、边界元法（BEM）、有限分析法（FAM）等。

地下水数值模拟是各种数值方法在水文地质计算中的应用。数值方法作为一种求解近似解的方法被广泛用于地下水水位预报和资源评价中，通过地下水流模拟得出地下水的流向及地下水水头与时间的关系，进而预测各种降水方案抽水条件下地下水位的变化，可以较好的反映复杂水文地质条件下和基坑降水条件下地下水流场变化情况，具有较高的仿真度。在不同尺度上进行有限元离散，离散单元尺度不同，进行有限元计算时要满足的连续性条件不同，预测结果的精确度也就不同。

数值法虽可以较准确地模拟预测出各种抽水条件下的地下水状态，但不适于管道流（比如岩溶暗河系统等）的模拟。

地下水数值模型可分为连续模型和离散模型。连续模型是以微分方程为基础，采用连续分布函数值；离散模型只能用离散函数值。地下水数值模型一般可不考虑水的密度变化。

第一类边界条件是指在某一部分边界（设为 Γ_1 ）上，各点在每一时刻的水头 h 都是已知的，也称为给定水头的边界。第二类边界条件是指某一部分边界（设为 Γ_2 ）单位面积上流入、流出的流量 q 是已知的，也称为给定流量的边界。第三类边界条件是指某段边界 Γ_3 上 h 和 $\frac{\partial h}{\partial n}$ 的线性组合已知，也称为混合边界条件。

B.4.3 地下水渗流计算机数值模拟软件主要有GMS、FEFLOW、Visual MODFLOW。其中Visual MODFLOW是目前国际上最为流行，成为被各国一致认可的三维地下水流和溶质运移模拟的标准可视化专业软件系统。由于其程序结构的模块化、离散方法的简单化和求解方法的多样化等优点，被广泛用来模拟井流、河流、排泄、蒸发和补给对非均质和复杂边界条件的水流系统的影响。数值模拟技术能够较好地刻画非均质、不等厚以及复杂的水文地质条件。

用 Visual MODFLOW 进行地下水数值模拟时，一般包括建立水文地质概念模型、建立数学

模型、求解数学模型、模型识别以及模型预报等几个步骤。其中水文地质概念模型的建立是至关重要的一步，它是建立数学模型的基础，是整个模拟的前提。

应用 Visual MODFLOW 求解的一般过程：首先建立离散化的三维模型，确定各计算单元的水文地质边界条件及模型计算中的参数的取值，然后用有限差分法计算水头及水均衡等。具体分为以下四步：①建立离散化的三维模型：空间上的离散包括垂向上的分层和平面上的细分。最终计算模型就被离散成小长方体，这些小长方体称为格点，它的位置用在所在的行号、列号和层号组合表示。规定顶层为第一层，层数随着高程的降低而增加。格点的中心位置称为节点，节点的水头代表该格点的水头。Modflow 中采用格点中心法，即渗透边界总是位于计算单元的边线上。②确立水文地质边界条件：水文地质边界条件是指模型中各单元（格点）的水头性质的条件，即判定各个计算单元是定水头单元、变水头单元或者是无效水头单元。定水头单元的水头值由用户事先规定，在计算过程中保持不变；无效水头单元相当于该单元的渗透系数为 0，不允许地下水通过，也称作无渗流计算单元。除此之外其他的单元为变水头单元，它们的水头随时间和空间变化，可通过计算得到。③确定计算模型所需参数：一般的，计算地下水位分布所涉及的主要参数有单元的渗透系数 K （分为水平方向的 K_x 及垂直方向的 K_y ）、给水度 m 或储水系数 S 。其中起关键作用的是渗透系数 K 值。④计算水头分布：首先确定某时刻模拟区含水层水头，进行稳定流计算得出计算水头。如果存在补给的源或汇（如河流等），则将计算所得的水头再作为初始水头，进行非稳定流计算，得到最终的计算水头。

数值法预测基坑涌水量应在水文地质条件分析的基础上，建立合适的水文地质概念模型并确定数值模拟，划分水均衡区，通过水均衡的数值模拟计算来求取基坑涌水量。

基坑涌水量模拟必须充分考虑各种隔水措施（防渗墙、帷幕）的渗透性，进行多方案模拟计算。

数值模拟技术不仅可以预测基坑涌水量，在基坑降水设计中还可以模拟出整个开挖过程的非稳定流过程，通过对不同布井方案模拟结果的对比，实现对降水工程设计的优化。

数值模拟计算应采用多种模型进行，并结合地区经验类比，不应完全依赖模型计算结果。在降水运行中应密切注意涌水量变化情况，并根据涌水量变化资料修正数值模拟，提高预测的可信度和安全性。