UDC

中华人民共和国行业标准

JGJ

JGJ 111－2016

P

备案号 J 2772－2016

建筑与市政工程地下水控制技术规范

Technical code for groundwater control in building and municipal engineering

2016－09－05 发布　　2017－03－01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部　发布

中华人民共和国行业标准

建筑与市政工程地下水控制
技 术 规 范

Technical code for groundwater control
in building and municipal engineering

JGJ 111－2016

批准部门：中华人民共和国住房和城乡建设部
施行日期：2 0 1 7 年 3 月 1 日

中国建筑工业出版社

2016 北 京

中华人民共和国住房和城乡建设部
公　　告

第 1301 号

住房城乡建设部关于发布行业标准《建筑与市政工程地下水控制技术规范》的公告

现批准《建筑与市政工程地下水控制技术规范》为行业标准，编号为 JGJ 111－2016，自 2017 年 3 月 1 日起实施。其中，第 3.1.9 条为强制性条文，必须严格执行。原《建筑与市政降水工程技术规范》JGJ/T 111－98 同时废止。

本规范由我部标准定额研究所组织中国建筑工业出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

2016 年 9 月 5 日

前　言

根据住房和城乡建设部《关于印发〈2009年工程建设标准规范制订、修订计划〉的通知》（建标［2009］88号文）的要求，规范编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国际标准和国外先进标准，并在广泛征求意见的基础上修订了本规范。

本规范的主要技术内容是：1 总则；2 术语和符号；3 基本规定；4 勘察；5 降水；6 隔水帷幕；7 回灌；8 监测。

本规范修订的主要内容是：1 将原规范适用范围降水工程扩展为地下水控制工程；2 增加了隔水帷幕、回灌、监测的设计和施工的相关规定；3 对原规范中总则、术语和符号、基本规定、降水工程分类、降水工程勘察等内容进行了修改、补充和完善；4 对原规范降水工程设计、施工、监测与维护、工程环境、技术成果进行了合并、修改、补充和完善。

本规范中以黑体字标志的条文为强制性条文，必须严格执行。

本规范由住房和城乡建设部负责管理和对强制性条文的解释，由住房和城乡建设部负责日常管理，由建设综合勘察研究设计院有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送建设综合勘察研究设计院有限公司（地址：北京市东城区东直门内大街177号，邮编：100007）。

本规范主编单位：建设综合勘察研究设计院有限公司

本规范参编单位：山东宁建建设集团有限公司

上海岩土工程勘察设计研究院有限公司

北京市勘察设计研究院有限公司

中国建筑科学研究院
中兵勘察设计研究院
中航勘察设计研究院有限公司
中冶建筑研究总院有限公司
中国建筑西南勘察设计研究院有限公司
北京城建勘测设计研究院有限责任公司
北京市城建科技促进会
北京综建科技有限公司
上海长凯岩土工程有限公司
北京市市政三建设工程有限责任公司

本规范主要起草人员：武　威　郭明田　杨根才　苏志刚
孙华波　康景文　魏建华　顾宝和
柳建国　王曙光　宁俊栋　马永琪
金　淮　高文新　周与诚　张国强
孙保卫　苏河修　郭星宇　庞　炜
周振鸿

本规范主要审查人员：梁金国　徐张建　高文生　丘建金
杨俊峰　吴永红　何　平　杨书涛
王长科

目　　次

1　总则 …… 1
2　术语和符号 …… 2
2.1　术语 …… 2
2.2　符号 …… 3
3　基本规定 …… 5
3.1　一般规定 …… 5
3.2　地下水控制工程分类 …… 6
4　勘察 …… 9
4.1　一般规定 …… 9
4.2　勘察工作布置 …… 10
4.3　水文地质试验 …… 11
4.4　水文地质试验参数计算 …… 14
4.5　特殊条件的勘察 …… 16
5　降水 …… 18
5.1　一般规定 …… 18
5.2　降水方法的分类和选择 …… 19
5.3　降水设计计算 …… 20
5.4　降水系统布设 …… 24
5.5　降水施工 …… 29
5.6　验收与运行维护 …… 33
6　隔水帷幕 …… 35
6.1　一般规定 …… 35
6.2　隔水帷幕设计 …… 35
6.3　隔水帷幕施工 …… 38
6.4　验收与运行维护 …… 42

7 回灌 …… 44
7.1 一般规定 …… 44
7.2 回灌设计 …… 44
7.3 回灌施工 …… 47
7.4 验收与运行维护 …… 48
8 监测 …… 50
8.1 一般规定 …… 50
8.2 地下水位监测 …… 51
8.3 出水量和含砂量监测 …… 52
8.4 水质监测 …… 53
8.5 变形观测 …… 54
8.6 巡视检查 …… 54
附录 A 注水试验的形状系数值 …… 55
附录 B 基坑涌水量计算 …… 56
附录 C 降水井单井出水量计算和选用 …… 58
附录 D 过滤器类型及适用范围 …… 61
附录 E 管井降水水位预测 …… 62
本规范用词说明 …… 64
引用标准名录 …… 65
附：条文说明 …… 67

Contents

1 General Provisions ····· 1
2 Terms and Symbols ····· 2
2.1 Terms ····· 2
2.2 Symbols ····· 3
3 Basic Requirements ····· 5
3.1 General Requirements ····· 5
3.2 Groundwater Control Engineering Classification ····· 6
4 Investigation ····· 9
4.1 General Requirements ····· 9
4.2 Survey Point (Well) Arrangement ····· 10
4.3 Hydrogeological Test ····· 11
4.4 Determination of Hydrogeological Parameters ····· 14
4.5 Special Site Hydrogeological Investigation ····· 16
5 Dewatering ····· 18
5.1 General Requirements ····· 18
5.2 Classification and Selection of Dewatering Method ····· 19
5.3 Design and Calculation of Dewatering ····· 20
5.4 Dewatering System Layout ····· 24
5.5 Dewatering Construction ····· 29
5.6 Receiving Inspection and Maintenance ····· 33
6 Groundwater Cut-off Curtain ····· 35
6.1 General Requirements ····· 35
6.2 Design of Groundwater Cut-off Curtain ····· 35
6.3 Groundwater Cut-off Curtain Construction ····· 38
6.4 Receiving Inspection and Maintenance ····· 42

7 Artificial Groundwater Recharge ····· 44
7.1 General Requirements ····· 44
7.2 Design of Artificial Groundwater Recharge ····· 44
7.3 Artificial Groundwater Recharge Construction ····· 47
7.4 Working Maintenance and Seal of Well ····· 48
8 Monitoring ····· 50
8.1 General Requirements ····· 50
8.2 Groundwater Monitoring ····· 51
8.3 Water Yield and Sand Content Monitoring ····· 52
8.4 Water Quality Monitoring ····· 53
8.5 Deformation Observation ····· 54
8.6 Visitatorial Inspection ····· 54
Appendix A The Shape Coefficient of Water Injection Test ····· 55
Appendix B Calculation of Pit Groundwater Yield ····· 56
Appendix C Calculation and Selection of Single Well Water Yield ····· 58
Appendix D The Filter Type and Scope of Application ····· 61
Appendix E Prediction of Tube Well Water Level ····· 62
Explanation of Wording in This Code ····· 64
List of Quoted Standards ····· 65
Addition: Explanation of Provisions ····· 67

1 总　　则

1.0.1 为了在建筑与市政工程建设期间的地下水控制中贯彻执行国家技术经济政策，保护水资源和工程环境，做到安全适用、确保质量、技术先进、经济合理，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于新建、扩建、改建的建筑与市政工程建设期间地下水控制。

1.0.3 地下水控制应正确处理工程建设与环境保护和节约水资源的关系，确保工程环境安全和正常使用，保障建筑和市政工程开挖和地下结构施工。

1.0.4 建筑与市政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的规定。

2 术语和符号

2.1 术　　语

2.1.1 地下水控制　groundwater control

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

2.1.2 降水　dewatering

通过降水设计和施工，排除地表水体和降低地下水水位或水头压力，满足建设工程的降水深度和时间要求的工程措施。

2.1.3 隔水帷幕　groundwater cut-off curtain

隔离、阻断或减少地下水从围护体侧壁或底部进入开挖施工作业面的连续隔水体。也称为截水帷幕。

2.1.4 回灌　artificial recharge，artificial groundwater recharge

将水引渗于地下含水层，补给地下水，稳定地下水位，防止地下水位降低使土体固结产生不均匀沉降的工程措施。

2.1.5 渗井　self absorbing well

重力水通过井孔自行或抽水下渗至下部含水层的降水井。

2.1.6 电渗井　electro-drainage point well

利用黏性土的电渗现象而达到降水目的的降水井。

2.1.7 潜埋井　buried well

埋至设计降水深度以下，以抽降基坑、涵洞、隧道等底部残留的地下水的降水井。

2.1.8 集水明排　open pumping

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

2.1.9 工程环境　engineering environment

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

2.1.10 信息化施工 construction with information method

根据施工现场的地质情况和监测数据，对施工安全性进行判断并及时修正施工方案的施工方法。

2.2 符 号

2.2.1 尺寸参数

A——面状降水井点系统围合的面积；钻孔套管截面积；双环法试验内环的底面积；

B——条状降水井点系统围合的宽度；

D——成井（孔）直径；

d——井点管内直径；

H——潜水含水层厚度；水文地质试验水头；

H_a——试验土层的毛细压力水头；

H_W——降水井点深度；

h——隔水深度，基坑动水位至含水层底板的距离；

L——线状降水的长度；

M——承压含水层厚度；

Q——总涌水量，回灌水量；水文地质试验流量；

q——设计单井出水量；

R——影响半径；

r——回灌井点计算半径；

r_i——第 i 个抽水井至观测孔或计算点的距离；

r_0——基坑等效半径；

s——水位下降值，水位计算降深，地层沉降；

Δh^2——潜水含水层在自然情况下厚度和抽水试验厚度的平方差。

2.2.2 性能参数

a——压力传导系数；

k——渗透系数；

T——导压系数；

ψ_w——沉降计算经验系数。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 地下水控制应包括工程勘察、地下水控制设计、工程施工与工程监测等工作内容。

3.1.2 地下水控制应综合地方经验，因地制宜，选择合理的地下水控制方案，有效控制对工程环境的影响，防止污染地下水，减少地下水的抽排量。

3.1.3 地下水控制设计和施工前应搜集下列资料：

1 地下水控制范围、深度、起止时间等；

2 地下工程开挖与支护设计施工方案，拟建建（构）筑物基础埋深、地面高程等；

3 场地与相邻地区的工程勘察等资料，当地地下水控制工程经验；

4 周围建（构）筑物、地下管线分布状况和平面位置、基础结构和埋设方式等工程环境情况；

5 地下水控制工程施工的供水、供电、道路、排水及有无障碍物等现场施工条件。

3.1.4 当已有工程勘察资料不能满足设计要求时应进行补充勘察或专项水文地质勘察。

3.1.5 地下水控制设计应满足下列功能规定：

1 支护结构设计和施工的要求；

2 地下结构施工的要求；

3 工程周边建（构）筑物、地下管线、道路的安全和正常使用要求。

3.1.6 地下水控制施工应根据设计要求编制施工组织设计或专项施工方案，并应包括下列主要内容：

1　工程概况及设计依据；

2　分析地下水控制工程的关键节点，提出针对性技术措施；

3　制定质量保证措施；

4　制定现场布置、设备、人员安排、材料供应和施工进度计划；

5　制定监测方案；

6　制定安全技术措施和应急预案。

3.1.7　地下水控制实施过程中，应对地下水及工程环境进行监测。

3.1.8　地下水控制的勘察、设计、施工、检测、维护资料应及时分析整理、保存。

3.1.9　地下水控制工程不得恶化地下水水质，导致水质产生类别上的变化。

3.1.10　地下水控制过程中抽排出的地下水经沉淀处理后应综合利用；当多余的地下水符合城市地表水排放标准时，可排入城市雨水管网或河湖，不应排入城市污水管道。

3.1.11　地下水控制施工、运行、维护过程中，应根据监测资料，判断分析对工程环境影响程度及变化趋势，进行信息化施工，及时采取防治措施，适时启动应急预案。

3.2　地下水控制工程分类

3.2.1　地下水控制方法可划分为降水、隔水和回灌三类。各种地下水控制方法可单独或组合使用。

3.2.2　地下水控制可根据控制方法、工程环境限制要求、工程规模、地下水控制幅度、含水层特征、场地复杂程度，并结合基坑围护结构特点、开挖方法和工况等将地下水控制工程划分为简单、中等复杂、复杂三级。

3.2.3　地下水控制工程复杂程度划分应符合下列规定：

1　降水工程复杂程度可按表 3.2.3-1 确定；

2 隔水工程复杂程度可按表 3.2.3-2 确定；

3 当两种以上地下水控制方法组合使用时，应划分为复杂工程。

表 3.2.3-1 降水工程复杂程度划分

条件		复杂程度分级		
		简单	中等复杂	复杂
工程环境限制要求		无明确要求	有一定要求	有严格要求
降水工程规模	面状围合面积 A（m^2）	$A<5000$	$5000\leqslant A\leqslant 20000$	$A>20000$
	条状宽度 B（m）	$B<3.0$	$3.0\leqslant B\leqslant 8.0$	$B>8.0$
	线状长度 L（km）	$L<0.5$	$0.5\leqslant L\leqslant 2.0$	$L>2.0$
水位降深值 s（m）		$s<6.0$	$6.0\leqslant s\leqslant 16.0$	$s>16.0$
含水层特征	含水层数	单层	双层	多层
	承压水	无承压水	承压含水层顶板低于开挖深度	承压含水层顶板高于开挖深度
	渗透系数 k（m/d）	$0.1\leqslant k\leqslant 20.0$	$20.0<k\leqslant 50.0$	$k<0.1$ 或 $k>50.0$
	构造裂隙发育程度	构造简单，裂隙不发育	构造较简单、裂隙较发育	构造复杂、裂隙很发育
	岩溶发育程度	不发育	发育	很发育
场地复杂程度		简单场地	中等复杂场地	复杂场地

注：1 降水工程复杂程度分类选择以工程环境、工程规模和降水深度为主要条件，符合主要条件之一即可，其他条件宜综合考虑；

2 长宽比小于或等于 20 时为面状，大于 20 且小于或等于 50 时为条状，大于 50 时为线状；

3 场地复杂程度分类根据现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 确定。

表 3.2.3-2　隔水工程复杂程度分类

条　件		复杂程度分类		
		简　单	中等复杂	复　杂
工程环境限制要求		无明确要求	有一定要求	有严格要求
隔水深度 h（m）		$h \leqslant 7.0$	$7.0 < h \leqslant 13.0$	$h > 13.0$
含水层特征	含水层数	单层	双层	多层
	渗透系数 k(m/d)	$k \leqslant 20.0$	$20 < k \leqslant 50$	$k > 50$
场地复杂程度		简单场地	中等复杂场地	复杂场地

注：1　隔水工程复杂程度分类选择以工程环境和隔水深度为主要条件，符合主要条件之一即可，其他条件宜综合考虑；

2　场地复杂程度分类根据现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021确定。

3.2.4　地下水控制设计施工的安全等级应按表 3.2.4 分为一级、二级、三级。

表 3.2.4　安全等级分类

地下水控制工程复杂程度	安全等级
复杂	一级
中等复杂	二级
简单	三级

4 勘　察

4.1 一 般 规 定

4.1.1 地下水控制工程勘察应查明场地及其周边区域的水文地质条件，提供地下水控制设计、施工所需的水文地质参数和岩土参数。

4.1.2 地下水控制勘察应根据工程设计需要开展。地下水控制勘察工作可与岩土工程勘察合并进行。对于特殊场地或工程需要时，可进行补充勘察或专项地下水控制勘察。

4.1.3 地下水控制勘察应在搜集已有资料和现场踏勘后制定勘察方案。勘察的范围、内容和工作量应根据地下水控制设计和施工的技术要求、工程复杂程度及已有资料等确定。

4.1.4 地下水控制勘察应包括下列主要工作：

1 搜集场地及其周边工程地质、水文地质资料，已有建筑物、管线、地下构筑物的分布和埋设资料，拟建建（构）筑物平面布置和基础埋深等设计资料及要求等；

2 搜集区域性气候资料；

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

4 查明基岩裂隙、岩溶发育程度、富水性；

5 查明地下水的补给、径流、排泄条件，地表水体和地下河系的分布及其与工程场地的水力联系；

6 确定各含水层的渗透系数等水文地质参数；

7 确定地下水控制稳定、变形计算等所需的岩土参数；

8 提出地下水控制方法的建议。

4.2 勘察工作布置

4.2.1 勘察工作布置应符合下列规定：

1 勘察工作布置应满足地下水控制设计要求；

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

3 观测孔的布置与抽水试验井的距离宜为（1～2）倍含水层厚度，宜垂直地下水流向布置；

4 勘察孔、抽水试验井、观测孔的数量宜根据地下水控制工程复杂程度按表 4.2.1 的规定布置。

表 4.2.1 地下水控制每个含水层勘察数量表

复杂程度	勘察孔（个）	抽水试验井（个）	观测孔（个）
简　单	1	1	1
中等	2～3	1～2	2～4
复杂	＞3	＞2	＞4

4.2.2 勘察孔深度应能控制对工程有影响的含水层，并满足地下水控制工程设计的要求，勘察孔孔径不宜小于 91mm。

4.2.3 抽水试验井应符合下列规定：

1 深度应能控制对工程有影响的含水层；

2 抽水试验井宜为完整井；

3 井管直径在松散层中不应小于 200mm，在基岩中不应小于 150mm；

4 过滤器结构应符合现行国家标准《供水水文地质勘察规范》GB 50027 的有关规定；

5 沉砂管长度宜为 1m～2m；

6 水泵置入设计降水深度以下不应少于 2m。

4.2.4 观测孔应符合下列规定：

1 观测孔底部宜进入最大降深水位以下 3m；

2 孔径宜为 50mm～100mm；

3 深度、过滤器位置应与抽水试验井一致；

4 沉砂管长度宜为 50cm～60cm。

4.3 水文地质试验

4.3.1 水文地质参数的现场测试方法应根据含水层分布、土层渗透性、工程特点及设计要求进行选择，对工程影响范围内多层含水层应分层进行水文地质参数测试。

（Ⅰ）抽 水 试 验

4.3.2 抽水试验方法选择应符合下列规定：

1 抽水试验方法可按表 4.3.2 选择。

表 4.3.2 抽水试验方法和应用范围

试验方法	应用范围
简易抽水	粗略估算弱透水层的渗透系数
单孔抽水	初步测定含水层的渗透系数
多孔抽水	较准确测定含水层的各种参数

2 简易抽水或单孔抽水试验可采用提水试验方法或稳定流抽水试验方法。

3 多孔抽水试验可采用非稳定流或稳定流抽水试验方法。

4.3.3 稳定流抽水试验应符合下列规定：

1 抽水试验应进行 3 次降深，每次降水深度宜为最大降水深度的 1/3；

2 稳定延续时间宜为 8h～24h；

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

4 抽水停止后应进行恢复水位观测，观测时间间隔同动水位观测时间。

4.3.4 非稳定流抽水试验应符合下列规定：

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

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

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

2） 当曲线呈直线状，延续时间在lg$t$轴上的投影数值不应少于两个对数周期；

3） 当曲线有拐点时，宜延续时间至拐点后出现水平线的最初时刻。

3 试验时应观测出水量和动水位，观测时间宜在抽水开始后的第（1、2、3、4、6、8、10、15、20、25、30、40、50、60、80、100、120）min各观测一次，以后每隔30min观测一次，直至结束。

4 抽水停止后应进行恢复水位观测，观测时间间隔同抽水试验。

（Ⅱ）注 水 试 验

4.3.5 注水试验可根据不同试验方法的适用条件按表4.3.5选择。

表4.3.5 注水试验方法的适用条件

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

4.3.6 注水试验的钻孔和试验段隔离应符合下列规定：

1 注水试验应采用套管护壁，清水钻进，钻孔直径不宜小

于 91mm；

2 钻孔到达预定的试验深度后，清理孔内残土；孔底沉淀物厚度不应大于 50mm；

3 试验段宜位于同一地层，土层试验段长度宜为 1.5m，最长不应大于 5m；

4 对孔底进水的试验段应采用套管塞隔离；对孔底和孔壁同时进水的试验段应采用栓塞隔离，当可能产生孔壁坍塌时，应采用花管护壁。

4.3.7 钻孔常水头注水试验应符合下列规定：

1 试验段隔离后，应向管内注入清水，调节注水流量，使管中水位高出地下水位一定高度并保持稳定，同时应测定试验水头值；

2 应保持试验水头不变，观测注入流量，开始 5 次流量观测应为每 5min 一次，以后应为每 20min 一次并至少观测两次，同时绘制 Q-t 曲线；

3 当最终的测读流量与最后 2h 的平均流量之差不大于 10%时，即可结束试验。

4.3.8 钻孔降水头注水试验应符合下列规定：

1 钻孔降水头注水试验宜用于饱和的弱透水土层；

2 试验段隔离后，应向套管内注入清水，管中水位高出地下水位一定高度后，应停止注水，并开始计时观测水位下降；

3 水位观测开始 5 次应为每 5min 一次，然后 3 次应为每 10min 一次，其后可按 30min 间隔进行；

4 当试验水头下降到初始试验水头的 0.3 倍或连续观测 10 次以上且观测点水头比与时间关系呈直线时，可结束试验；

5 试验完成后应绘制 t—$\ln(H_t/H_0)$ 曲线。

4.3.9 双环法试坑注水试验应符合下列规定：

1 在选定的试验位置，挖圆形或方形试验坑至预定深度，直径或边长不应小于 500mm，底部修平，且不得扰动试验土层结构；

2 将直径分别为250mm和500mm的两个铁环按同心圆状压入试验坑底，压入深度宜为50mm～80mm，压入过程中不得扰动试验土层结构；

3 在内环及内、外环之间环底铺上厚20mm～30mm的粒径为5mm～10mm的细砾缓冲层；

4 用两个流量瓶同时向内环和内、外环之间注水，水深均应为100mm。注水过程中流量瓶通气孔管口距坑底应保持100mm不变；

5 注入流量观测开始5次观测时间间隔应为5min，以后观测时间间隔应为30min并至少观测两次；

6 当连续两次观测的内环注入流量之差不大于10%时，可结束试验，并应取最后一次内环注入流量作为计算值。

4.4 水文地质试验参数计算

4.4.1 水文地质参数计算应符合下列规定：

1 应采用与场地水文地质条件相适应的计算公式；

2 应采用与地下水控制设计水位降深相近的水位变化值。

4.4.2 抽水试验的渗透系数可根据现行国家标准《供水水文地质勘察规范》GB 50027进行计算。

4.4.3 注水试验的渗透系数可按下列公式进行计算：

1 钻孔常水头注水试验的渗透系数可按下式计算：

$$k = \frac{Q}{FH} \tag{4.4.3-1}$$

式中：k——土的渗透系数（cm/s）；

Q——稳定水流流量（cm^3/s）；

F——形状系数（cm），可按本规范附录A选用；

H——试验水头（cm）。

2 饱和带钻孔降水头注水试验的渗透系数可按下列公式计算：

$$k = \frac{A}{FT} \tag{4.4.3-2}$$

$$T = (t_1 - t_2)/\ln\frac{H_1}{H_2} \qquad (4.4.3\text{-}3)$$

式中：k——土的渗透系数（cm/s）；

T——注水试验的滞后时间（s）；

H_1——试验开始后，在时间 t_1 时的试验水头（cm）；

H_2——试验开始后，在时间 t_2 时的试验水头（cm）；

A——钻孔套管截面积（cm^2）；

F——形状系数（cm），可根据本规范附录 A 选用。

3 双环法试坑注水试验的渗透系数可按下式计算：

$$k = Qz / A(H + z + 0.5H_a) \qquad (4.4.3\text{-}4)$$

式中：k——试验土层的渗透系数（cm/s）；

Q——内环的注入流量（cm^3/s）；

A——内环的底面积（cm^2）；

H——试验水头（cm）；

z——从试坑底算起的渗入深度（cm）；

H_a——试验土层的毛细压力水头（cm），可按表 4.4.3 取值。

表 4.4.3 不同土层的毛细压力水头 H_a

土层名称	H_a（cm）	土层名称	H_a（cm）
黏土	100	细砂	20
粉质黏土	80	中砂	10
粉土	40～60	粗砂	5
粉砂	30	—	—

4.4.4 降水影响半径的确定应符合下列规定：

1 采用有观测孔的抽水试验资料时，可按现行国家标准《供水水文地质勘察规范》GB 50027 的规定计算；

2 无抽水试验资料时，可按当地类似的水文地质条件下其他地段的参数值或当地经验值采用比拟法确定；

3 对安全等级为二级或三级的地下水控制工程，可按下列公式计算：

潜水含水层：　　$R = 2s_w\sqrt{kH}$　　(4.4.4-1)

承压水含水层：　　$R = 10s_w\sqrt{k}$　　(4.4.4-2)

非稳定流：　　$R = 1.5\sqrt{at}$　　(4.4.4-3)

式中：k——土的渗透系数（m/d）；

a——压力传导系数（m^2/d）；

t——抽水的延续时间（d）；

H——潜水含水层的厚度（m）；

s_w——水位降深（m）。

4.5　特殊条件的勘察

4.5.1　基岩裂隙水地区勘察应符合下列规定：

1　应查明基岩风化程度、范围和深度；

2　应查明构造裂隙性质、分布、发育情况、产状特征；

3　应查明基岩裂隙的导水性、充填物和岩脉阻水性；

4　应查明地下水的补给、径流、排泄条件；

5　应查明地下水（泉水）水位、水量、水质情况；

6　应预测构造断层破碎带突水可能性；

7　应充分利用物探查明基岩构造和裂隙发育；

8　勘察工作量应能控制主要含水构造和破碎带，并提供水文地质参数。

4.5.2　岩溶地区勘察应符合下列规定：

1　应查明第四系地层的岩性、厚度、分布，第四系地层与下伏岩溶的接触关系；

2　应查明岩溶发育规律，浅层与深层岩溶的关系；

3　应查明岩溶发育与地貌、构造、岩性的关系；

4　应查明岩溶地下水的补给、径流、排泄条件以及泉水露头的成因和条件，查明垂直循环带、水平循环带及季节循环带深度；

5　应调查地下水或泉水水位、水量、水质的动态变化，宜

布置长期观测孔，并对泉水或岩溶地下水露头同步观测，宜进行连通试验；

6 应预测降水影响，判断产生地面沉降、淘空、塌陷、突水的可能性；

7 应充分利用地面调查和物探成果；

8 勘察工作布置应能控制降水范围和外围地区水力联系；

9 勘察孔数量应能控制主要岩溶发育带和深层岩溶发育带的状况。

4.5.3 水下工程的勘察应符合下列规定：

1 勘察控制范围宜大于降水范围1倍；

2 勘探孔深度宜为基坑或地下工程底板深度的（2～3）倍；

3 勘探点的定位允许偏差应为±0.5m；

4 应查明地表水（海水、河渠、湖塘、水库等）分布；

5 应查明地表水的多年及年内变动幅度、流速、流向、水文气象、水道变迁等特征，预测其施工期间可能变动趋势；

6 应查明地表水的含砂量和水下沉积物特征；

7 应查明地表水和地下水的补排关系；

8 应查明水下地层的物理、力学、化学性质；

9 应预测地下水控制可能产生的不良地质现象和工程环境影响。

5 降　　水

5.1 一 般 规 定

5.1.1 降水设计应符合下列规定：

1 应明确设计任务和依据；

2 应根据工程地质、水文地质条件、基坑开挖工况、工程环境条件进行多方案对比分析后制定降水技术方案；

3 应确定降水井的结构、平面布置及剖面图，以及不同工况条件下的出水量和水位降深；

4 应提出对周边工程环境监测要求，明确预警值、控制值和控制措施；

5 应提出降水运行维护的要求，提出地下水综合利用方案；

6 应提出降水施工质量要求，明确质量控制指标；

7 应预测可能存在的施工缺陷，制定针对性的修复预案。

5.1.2 采用三维数值模拟进行降水设计时，应进行专门的水文地质试验，查明水文地质和岩土条件，获取设计所需的各项参数。

5.1.3 基岩裂隙地区降水设计尚应符合下列规定：

1 设计井位应能控制风化层厚度和构造裂隙带；

2 应根据裂隙水的性质，采用相关公式计算涌水量、水位变化，并经抽水试验验证；

3 应根据与区域构造和含水层沟通情况，确定预防突涌措施，并应制定观测方案。

5.1.4 岩溶地区降水设计尚应符合下列规定：

1 设计井位应能控制岩溶构造裂隙和主要岩溶发育带；

2 应进行涌水量、水位预测，并经现场试验验证；

3 应提出防止成井后突水现象发生的辅助措施；

4 应对相邻地区泉水衰减、地面沉降、地面塌陷进行预测

和观测；

5 应根据岩溶水的特点，采取以排为主、排堵结合的处理措施。

5.1.5 水下工程的降水设计尚应符合下列规定：

1 应选择可靠的围堰、筑岛、栈桥等方法排除地表水；

2 应采取防止地表水与地下水连通措施；

3 选择堵截工程措施时应加强试验和观测。

5.1.6 对滨海地区降水，应提出防止海水入侵、淡水资源遭受污染的措施。

5.1.7 降水运行时间应满足地下结构施工的要求，当存在抗浮要求时应延长降水运行工期。

5.1.8 降水完成后应及时封井。

5.2 降水方法的分类和选择

5.2.1 降水方法应根据场地地质条件、降水目的、降水技术要求、降水工程可能涉及的工程环境保护等因素按表 5.2.1 选用，并应符合下列规定：

1 地下水控制水位应满足基础施工要求，基坑范围内地下水位应降至基础垫层以下不小于 0.5m，对基底以下承压水应降至不产生坑底突涌的水位以下，对局部加深部位（电梯井、集水坑、泵房等）宜采取局部控制措施；

2 降水过程中应采取防止土颗粒流失的措施；

3 应减少对地下水资源的影响；

4 对工程环境的影响应在可控范围之内；

5 应能充分利用抽排的地下水资源。

表 5.2.1 工程降水方法及适用条件

适用条件 / 降水方法	土质类别	渗透系数 (m/d)	降水深度 (m)
集水明排	填土、黏性土、粉土、砂土、碎石土	—	—

续表 5.2.1

降水方法 \ 适用条件		土质类别	渗透系数（m/d）	降水深度（m）
降水井	真空井点	粉质黏土、粉土、砂土	0.01～20.0	单级≤6，多级≤12
	喷射井点	粉土、砂土	0.1～20.0	≤20
	管井	粉土、砂土、碎石土、岩石	>1	不限
	渗井	粉质黏土、粉土、砂土、碎石土	>0.1	由下伏含水层的埋藏条件和水头条件确定
	辐射井	黏性土、粉土、砂土、碎石土	>0.1	4～20
	电渗井	黏性土、淤泥、淤泥质黏土	≤0.1	≤6
	潜埋井	粉土、砂土、碎石土	>0.1	≤2

5.2.2 地下水控制应采取集水明排措施，拦截、排除地表（坑顶）、坑底和坡面积水。

5.2.3 当采用渗井或多层含水层降水时，应采取措施防止下部含水层水质恶化，在降水完成后应及时进行分段封井。

5.2.4 对风化岩、黏性土等富水性差的地层，可采用降、排、堵等多种地下水控制方法。

5.3 降水设计计算

5.3.1 降水设计计算宜包括以下主要内容：

1 基坑涌水量；

2 设计单井出水量；

3 降水井的数量、深度、滤水管长度；

4 承压水降水基坑开挖底板稳定性计算；

5 降水区内地下水位的预测计算；

6 降水引起的周边地面沉降计算。

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

5.3.3 设计单井出水量可根据降水井类型、地层等按本规范附录C计算和选用。

5.3.4 降水井的数量可根据基坑涌水量和设计单井出水量按下式计算：

$$n = \lambda Q / q \tag{5.3.4}$$

式中：n——降水井数量；

Q——基坑涌水量（m^3/d），可按本规范附录B计算确定；

q——单井出水量（m^3/d），可按本规范附录C计算确定；

λ——调整系数，一级安全等级取1.2，二级安全等级取1.1，三级安全等级取1.0。

5.3.5 对于承压水降水工程，尚应符合下列规定：

1 承压水降水应设置备用井，备用井数量应为计算降水井数量的20%；

2 承压水降水基坑开挖底板突涌稳定性计算应按下列公式进行：

$$\frac{h_s \gamma_s}{p_w} \geqslant 1.1 \tag{5.3.5}$$

式中：γ_s——基坑开挖面至承压水层顶板之间土体的天然重度（kN/m^3）；

h_s——基坑开挖面至承压水层顶板之间的距离（m）；

p_w——承压含水层顶板处的水头压力值（kPa）。

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

$$H_w = H_{w1} + H_{w2} + H_{w3} + H_{w4} + H_{w5} + H_{w6} \tag{5.3.6}$$

式中：H_w——降水井点深度（m）；

H_{w1}——基底深度（m）；

H_{w2}——降水水位距离基坑底要求的深度（m）；

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

H_{w4} ——降水期间的地下水位变幅（m）；

H_{w5} ——降水井过滤器工作长度（m）；

H_{w6} ——沉砂管长度（m），宜为 1m～3m。

5.3.7 过滤器类型及长度应符合下列规定：

1 过滤器类型及孔隙率可根据工程条件按本规范附录 D 选择；

2 对真空井点和喷射井点，过滤器的长度不宜小于含水层厚度的 1/3；

3 管井过滤器长度宜与含水层厚度一致。当含水层较厚时，过滤器的长度可按下式计算确定：

$$l = \frac{q}{\pi \cdot d \cdot n_e \cdot v} \tag{5.3.7}$$

式中：q ——单井出水量（m^3/s）；

n_e ——滤水管的有效孔隙率，宜为滤水管进水表面孔隙率的 50%；

d ——滤水管的外径（m）；

v ——滤水管进水流速（m/s），可由经验公式 $v = \sqrt{k}/15$ 求得，k 为土的渗透系数（m/s）。

5.3.8 降水设计应对影响区域内的地下水位进行预测，并应符合下列规定：

1 降水井点系统围合区域内，任一点的实测地下水位应满足设计降深水位要求；

2 当降水影响范围内存在隔水边界、地表水体或水文地质条件变化较大时，应根据具体情况对计算的单井出水量和地下水位降深进行适当修正；

3 管井降水水位预测可按本规范附录 E 的规定进行计算。

5.3.9 降水引起的沉降量可按下式计算：

$$s = \psi_w \sum_{i=1}^{n} \frac{\Delta\sigma'_{zi} \Delta h_i}{E_{si}} \tag{5.3.9}$$

式中：s——降水引起的既有建筑物基础或地面的固结沉降量（m）；

ψ_w——沉降计算经验系数，应根据地区工程经验取值，无经验时，可取 $\psi_w = 1$；

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

Δh_i——第 i 层土的厚度（m）；

E_{si}——第 i 层土的压缩模量（kPa）；应取土的自重应力至自重应力与有效应力增量之和的压力段的压缩模量值。

5.3.10 当降水引起的基坑外土中各点有效应力增量符合稳定渗流条件时，宜按稳定渗流计算；当符合非稳定渗流条件时，宜按地下水非稳定渗流计算。有效应力增量尚可根据计算的地下水位降深，按下列公式计算：

1 计算点位于初始地下水位以上时：

$$\Delta\sigma'_{zi} = 0 \tag{5.3.10-1}$$

2 计算点位于降水水位与初始地下水位之间时：

$$\Delta\sigma'_{zi} = \gamma_w a_0 \tag{5.3.10-2}$$

3 计算点位于降水水位以下时：

$$\Delta\sigma'_{zi} = \gamma_w s_i \tag{5.3.10-3}$$

式中：γ_w——水的重度（kN/m^3）；

s_i——计算点对应的地下水位降深值（m）；

a_0——计算点至初始地下水位的垂直距离（m）。

5.3.11 排水沟、集水井的截面应根据设计排水流量确定，设计排水流量应根据下式计算：

$$V \geqslant 1.5Q \tag{5.3.11}$$

式中：V——排水沟、集水井的排水量（m^3/d）；

Q——基坑涌水量（m^3/d），可按本规范附录B确定。

5.4 降水系统布设

5.4.1 降水系统平面布置应根据工程的平面形状、场地条件及建筑条件确定，并应符合下列规定：

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

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

3 降水井点围合区域宽度大于单井降水影响半径或采用隔水帷幕的工程，应在围合区域内增设降水井或疏干井；

4 在运土通道出口两侧应增设降水井；

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

6 对于多层含水层降水宜分层布置降水井点，当确定上层含水层地下水不会造成下层含水层地下水污染时，可利用一个井点降低多层地下水水位；

7 降水井点、排水系统布设应考虑与场地工程施工的相互影响。

（Ⅰ）真空井点

5.4.2 真空井点布设除应符合本规范第5.4.1条外，尚应符合下列规定：

1 当真空井点孔口至设计降水水位的深度不超过6.0m时，宜采用单级真空井点；当大于6.0m且场地条件允许时，可采用多级真空井点降水，多级井点上下级高差宜取4.0m～5.0m；

2 井点系统的平面布置应根据降水区域平面形状、降水深度、地下水的流向以及土的性质确定，可布置成环形、U形和

线形（单排、双排）；

3 井点间距宜为0.8m～2.0m，距开挖上口线的距离不应小于1.0m；集水总管宜沿抽水水流方向布设，坡度宜为0.25%～0.5%；

4 降水区域四角位置井点宜加密；

5 降水区域场地狭小或在涵洞、地下暗挖工程、水下降水工程，可布设水平、倾斜井点。

5.4.3 真空井点的构造应符合下列规定：

1 井点管宜采用金属管或U-PVC管，直径应根据单井设计出水量确定，宜为38mm～110mm；

2 过滤器管径应与井点管直径一致，滤水段管长度应大于1.0m；管壁上应布置渗水孔，直径宜为12mm～18mm；渗水孔宜呈梅花形布置，孔隙率应大于15%；滤水段之下应设置沉淀管，沉淀管长度不宜小于0.5m；

3 管壁外应根据地层土粒径设置滤水网；滤水网宜设置两层，内层滤网宜采用60目～80目尼龙网或金属网，外层滤网宜采用3目～10目尼龙网或金属网，管壁与滤网间应采用金属丝绕成螺旋形隔开，滤网外应再绕一层粗金属丝；

4 孔壁与井管之间的滤料宜采用中粗砂，滤料上方应用黏土封堵，封堵至地面的厚度应大于1.0m；

5 集水总管宜采用ϕ89mm～ϕ127mm的钢管，每节长度宜为4m，其上应安装与井点管相连接的接头；

6 井点泵应用密封胶管或金属管连接各井，每个泵可带动（30～50）个真空井点。

（Ⅱ）喷 射 井 点

5.4.4 喷射井点布设除应符合本规范第5.4.1条外，尚应符合下列规定：

1 当降水区域宽度小于10m时宜单排布置，当降水区域宽度大于10m时宜双排布置，面状降水工程宜环形布置；

2 喷射井点间距宜为 1.5m～3.0m，井点深度应比设计开挖深度大 3.0m～5.0m；

3 每组喷射井点系统的井点数不宜超过 30 个，总管直径不宜小于 150mm，总长不宜超过 60m，每组井点应自成系统。

5.4.5 喷射井点的构造应符合下列规定：

1 井点的外管直径宜为 73mm～108mm，内管直径宜为 50mm～73mm；

2 过滤器管径应与井点管径一致，滤水段管长度应大于 1.0m；管壁上应布置渗水孔，直径宜为 12mm～18mm；渗水孔宜呈梅花形布置，孔隙率应大于 15%；滤水段之下应设置沉淀管，沉淀管长度不宜小于 0.5m；

3 管壁外应根据地层土粒径设置滤水网；滤水网宜设置两层，内层滤网宜采用 60 目～80 目尼龙网或金属网，外层滤网宜采用 3 目～10 目尼龙网或金属网，管壁与滤网间应采用金属丝绕成螺旋形隔开，滤网外应再绕一层粗金属丝；

4 井孔成孔直径不宜大于 600mm，成孔深度应比滤管底深 1m 以上；

5 喷射井点的喷射器应由喷嘴、联管、混合室、负压室组成，喷射器应连接在井管的下端；喷射器混合室直径宜为 14mm，喷嘴直径宜为 6.5mm，工作水箱不应小于 $10m^3$；

6 工作水泵可采用多级泵，水泵压力应大于 2MPa。

（Ⅲ）管　　井

5.4.6 管井的布设除应符合本规范第 5.4.1 条外，尚应符合下列规定：

1 管井位置应避开支护结构、工程桩、立柱、加固区及坑内布设的监测点；

2 临时设置的降水管井和观测孔孔口高度可随工程开挖进行调整；

3 工程采用逆作法施工时应考虑各层楼板预留管井洞口；

4 当管井间地下分水岭的水位未达到设计降水深度时，应根据抽水试验的浸润曲线反算管井间距和数量并进行调整。

5.4.7 管井的构造和设备应符合下列规定：

1 管井井管直径应根据含水层的富水性及水泵性能选取，井管外径不宜小于200mm，井管内径应大于水泵外径50mm；

2 管井成孔直径宜为400mm～800mm；

3 沉砂管长度宜为1.0m～3.0m；

4 抽水设备出水量应大于单井设计出水量的30%；

5 过滤器或滤水管类型和适用范围可按本规范附录D选择。

（Ⅳ）渗　　井

5.4.8 渗井的布设除应符合本规范第5.4.1条外，尚应符合下列规定：

1 渗井间距应根据引渗试验确定，宜为2.0m～10.0m；

2 渗井深度应根据下伏透水层的性质和埋置深度确定，宜揭穿被渗层，当被渗层厚度较大时，进入被渗层厚度不宜小于2.0m；

3 渗井可单独采用，也可作为管井的补充。

5.4.9 渗井的构造和设备应符合下列规定：

1 裸井渗井成孔直径宜为200mm～500mm，填入的砂、砾或砂砾混合滤料含泥量应小于0.5%；

2 管井渗井成孔后应置入无砂混凝土滤水管、钢筋笼或金属滤水管，井周围应填充滤料。管井的构造和设备应符合本规范第5.4.7条的规定。

（Ⅴ）辐　射　井

5.4.10 辐射井布设除应符合本规范第5.4.1条外，尚应符合下列规定：

1 辐射管的长度和分布应能有效控制降水范围，宜呈扇形布置；

2 当含水层较薄时，可在含水层中设置单层辐射管，辐射管的根数宜为每层（6～8）根；含水层较厚或多层时，宜设多层辐射管或倾斜辐射管，含水层底板界面应布设一层辐射管；

3 最下层辐射管至辐射井底的距离应大于 2.0m。

5.4.11 辐射井的构造应符合下列规定：

1 集水井直径应满足井内辐射管施工；

2 辐射管规格应根据地层、进水量、施工长度确定。

3 集水井应根据相应含水层在不同高程设置辐射管，并应设置施工辐射管用的钢筋混凝土圈梁；

4 集水井深度可根据含水层位置、基坑深度综合确定，底部应进行封底处理。

（Ⅵ）电　渗　井

5.4.12 电渗井布设除应符合本规范第 5.4.1 条外，尚应符合下列规定：

1 井点管（阴极）应布设在基坑外侧，金属管（棒）（阳极）应布设在基坑内侧，井点管与金属管（棒）应并行交错排列，间距宜为 0.8m～1.0m；

2 井点管与金属管（棒）数量应一致。

5.4.13 电渗井的构造及设备应符合下列规定：

1 电渗井的设备应包括水泵、发电机、井点管、金属管（棒）、电线（缆）等；

2 井点管的直径、深度应满足抽水能力和水泵要求，金属管直径宜为 50mm～75mm，金属棒直径宜为 10mm～20mm，金属管（棒）宜高出地面 200mm～400mm，入土深度应比井点管深 0.5m。

（Ⅶ）集 水 明 排

5.4.14 集水明排应符合下列规定：

1 对地表汇水、降水井抽出的地下水可采用明沟或管道排水；

2 对坑底汇水可采用明沟或盲沟排水；

3 对坡面渗水宜采用渗水部位插打导水管引至排水沟的方式排水；

4 必要时可设置临时性明沟和集水井，临时明沟和集水井随土方开挖过程适时调整。

5.4.15 沿排水沟宜每隔 30m～50m 设置一口集水井。集水井、排水管沟不应影响地下工程施工。

5.4.16 排水沟深度和宽度应根据基坑排水量确定，坡度宜为 0.1%～0.5%；集水井尺寸和数量应根据汇水量确定，深度应大于排水沟深度 1.0m；排水管道的直径应根据排水量确定，排水管的坡度不宜小于 0.5%。

5.4.17 降水工程排水设施与市政管网连接口之间应设沉淀池。

（Ⅷ）潜　埋　井

5.4.18 潜埋井布设除应符合本规范第 5.4.1 条外，尚应符合下列规定：

1 井点宜布置在排降残存水方便、对结构施工影响小且便于封底的部位；

2 井点应布置在不影响后续工序施工的位置。

5.4.19 潜埋井的构造及设备安装应符合下列规定：

1 潜埋井应由集水、抽水、排水和电力设施组成；

2 抽水设施应埋至设计降水深度以下。

5.5 降 水 施 工

5.5.1 降水施工组织设计除应符合本规范第 3.1.6 条外，尚应包括下列内容：

1 根据设计要求，制定成井质量控制、降水运行控制的流程和指标；

2　地表排水管网布置及与市政管网的连接的要求；

3　降水工程停止时间，封井的时间、方法和要求。

5.5.2　降水施工准备阶段应符合下列规定：

1　施工现场水、电、路和场地应满足设备、设施就位和进出场地条件；

2　应根据施工组织设计对所有参加人员进行技术交底和安全交底；

3　应进行设备、材料的采购、组织与调配，设备选择应与降水井的出水能力相匹配；

4　应进行工程环境监测的布设和初始数据的采集；

5　当发现降水设计与现场情况不符时，应及时反馈情况。

5.5.3　真空井点的成孔应符合下列规定：

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

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

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

4　成孔直径应满足填充滤料的要求，且不宜大于300mm；

5　成孔深度不应小于降水井设计深度。

5.5.4　真空井点施工安装应符合下列规定：

1　井点管的成孔应符合本规范第5.5.3条规定；

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

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

4　井点管、集水总管应与水泵连接安装，抽水系统不应漏水、漏气；

5　形成完整的真空井点抽水系统后，应进行试运行。

5.5.5　喷射井点施工安装应符合下列规定：

1　喷射井点施工方法、滤料回填应符合本规范第5.5.3条、第5.5.4条的规定；

2　井管沉设前应对喷射器进行检验，每个喷射井点施工完成后，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，试抽时间应持续到水清砂净为止；

3　每组喷射井点系统安装完成后，应进行试运行，不应有漏气、翻砂、冒水现象；

4　循环水箱内的水应保持清洁。

5.5.6　管井施工应符合下列规定：

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

2　管井过滤器、滤料、泥浆要求，应符合本规范第5.4.7条和现行国家标准《供水水文地质勘察规范》GB 50027的规定；

3　吊放井管时应平稳、垂直，并保持井管在井孔中心，严禁猛蹾，井管宜高出地表200mm以上；管井的施工与安装应符合现行国家标准《管井技术规范》GB 50296的规定；

4　单井完成后应及时进行洗井，洗井后应安装水泵进行单井试抽；抽水时应做好工作压力、水位、抽水量的记录，当抽水量及水位降值与设计不符时，应及时调整降水方案；

5　单井、排水管网安装完成后应及时进行联网试运行，试运行合格后方可投入正式降水运行。

5.5.7　渗井施工应符合下列规定：

1　可采用螺旋钻进、回转钻进或人工成井，对易缩孔、塌孔地层应采用套管法成孔；

2　采用人工成井时应制定专项安全措施。

5.5.8　辐射井施工应符合下列规定：

1　集水井宜采用钢筋混凝土结构；采用沉井法和倒挂井壁逆作法时，壁厚宜为250mm～350mm，采用钻机成孔和漂浮下

管法时，壁厚宜为150mm～200mm，每节管的接头部位应作防渗漏处理；

2 辐射管施工工艺宜根据地层岩性确定，可采用顶管钻进、回转钻进、潜孔锤钻进、人工成孔；

3 辐射管与集水井壁间应封堵严密；

4 配备的抽水设备的出水量、扬程应大于设计参数；

5 集水井口应采取安全防护措施。

5.5.9 电渗井施工应符合下列规定：

1 电渗降水时宜采取间歇通电，每通电24h后宜停电2h～3h；

2 应采取连续抽水；

3 雷雨时工作人员应远离两极地带，维修电极时应停电。

5.5.10 集水明排施工应符合下列规定：

1 采用明沟排水时，沟底应采取防渗措施；采用盲沟排水时，盲沟内宜采用级配碎石充填，并应满足主体结构对地基的要求；

2 集水井（坑）壁应有防护结构，并应采用碎石滤水层、泵头包纱网等措施；

3 当基坑侧壁出现渗水时，应针对性地设置导水管，将水引入排水沟；

4 水泵的选型可根据排水量大小及基坑深度确定；

5 排水管道上宜设置清淤孔，清淤孔的间距不宜大于10m；

6 明沟、集水井、排水管、沉淀池使用时应随时清理淤积物，保持排水通畅。

5.5.11 潜埋井施工应符合下列规定：

1 潜埋井封底应在周边基础结构施工完成后方可进行；

2 封底时应预留出水管口，停抽后应及时堵塞封闭出水管口。

5.6 验收与运行维护

5.6.1 降水工程单井验收应符合下列规定：

1 单井的平面位置、成孔直径、深度应符合设计要求；

2 成井直径、深度、垂直度等应符合设计要求，井内沉淀厚度不应大于成井深度的5‰；

3 洗井应符合设计要求；

4 降深、单井出水量等应符合设计要求；

5 成井材料和施工过程应符合设计要求。

5.6.2 正式运行前应进行联网试运行抽水试验，并应符合下列规定：

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

2 各降水井管与排水总管应安装调试完毕；

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

4 应开启全部降水井，并应进行水位、水量等监测记录；

5 当降水深度大于设计要求的深度时，可适当调整降水井的数量或井的抽水量；当降水深度小于设计要求的深度或不能满足基坑开挖的深度时，应分批开启全部备用井；

6 当基坑内观察井的稳定水位24h波动幅度小于20mm时，可停止试验；

7 抽水试验的降水深度不能满足基坑开挖或降水设计要求时，应分析查找原因，调整井的数量或井的结构。

5.6.3 降水过程中，抽排水的含砂量应符合下列规定：

1 管井抽水半小时内含砂量，粗砂含量应小于1/50000；中砂含量应小于1/20000；细砂含量应小于1/10000；

2 管井正常运行时含砂量应小于1/50000；

3 辐射井抽水半小时内含砂量应小于1/20000；

4 辐射井正常运行时含砂量应小于1/200000。

5.6.4 集水明排工程排水沟、集水井、排水导管的位置，排水沟的断面、坡度、集水坑（井）深度、数量及降排水效果应满足设计要求。

5.6.5 降水运行维护应符合下列规定：

1 应对水位及涌水量等进行监测，发现异常应及时反馈；

2 当发现基坑（槽）出水、涌砂，应立即查明原因，采取处理措施；

3 对所有井点、排水管、配电设施应有明显的安全保护标识；

4 降水期间应对抽水设备和运行状况进行维护检查，每天检查不应少于2次；

5 当井内水位上升且接近基坑底部时，应及时处理，使水位恢复到设计深度；

6 冬季降水时，对地面排水管网应采取防冻措施；

7 当发生停电时，应及时更换电源，保持正常降水。

5.6.6 降水工程验收资料应包括下列内容：

1 设计依据、技术要求，经审批的施工组织设计、施工方案以及执行中的变更单；

2 测量放线成果和复核签证单；

3 原材料质量合格和质量鉴定书，半成品产品的质量合格证书；

4 施工记录和隐蔽工程的验收文件，检测试验及见证取样文件；

5 监测、巡视检查记录；

6 降水工程的运行维护记录；

7 对周边环境的影响记录，包括基坑支护结构、周边地面、邻近工程和地下设施的变形记录；

8 其他需提供的文件和记录。

6 隔水帷幕

6.1 一般规定

6.1.1 当降水会对基坑周边建（构）筑物、地下管线、道路等造成危害或对工程环境造成长期不利影响时，可采用隔水帷幕方法控制地下水。

6.1.2 隔水帷幕方法可按表6.1.2进行分类。

表6.1.2 隔水帷幕方法分类

分类方式	帷幕方法
按布置方式	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
按结构形式	独立式隔水帷幕、嵌入式隔水帷幕、支护结构自抗渗式隔水帷幕
按施工方法	高压喷射注浆（旋喷、摆喷、定喷）隔水帷幕、压力注浆隔水帷幕、水泥土搅拌桩隔水帷幕、冻结法隔水帷幕、地下连续墙或咬合式排桩隔水帷幕、钢板桩隔水帷幕、沉箱

6.1.3 隔水帷幕功能应符合下列规定：

1 隔水帷幕设计应与支护结构设计相结合；

2 应满足开挖面渗流稳定性要求；

3 隔水帷幕应满足自防渗要求，渗透系数不宜大于1.0×10^{-6}cm/s。

6.1.4 当采用高压喷射注浆法、水泥土搅拌法、压力注浆法、冻结法帷幕时，应结合工程情况进行现场工艺性试验，确定施工参数和工艺。

6.2 隔水帷幕设计

6.2.1 隔水帷幕设计应包括下列内容：

1　制定隔水帷幕技术方案，确定帷幕施工方法；

2　确定隔水帷幕的平面布置、竖向布置、结构形式；

3　隔水帷幕的结构设计和构造要求；

4　确定施工工艺和技术参数，提出施工质量要求和控制指标；

5　提出对帷幕本体及周边工程环境监测要求，明确预警值、控制值和控制措施；

6　预测可能存在的施工风险，制定针对性的修复措施。

6.2.2　隔水帷幕在平面布置上宜沿地下水控制区域闭合，在设计深度范围内应连续。当采用未闭合的平面布置时，应对地下水沿帷幕两端绕流引起的渗流破坏和地下水位下降进行分析，并应采取阻止地下水流入基坑内的措施。

6.2.3　当基础底部以下存在连续分布、埋深较浅的隔水层时，应采用落底式竖向隔水帷幕；当基础底部以下含水层厚度较大，隔水层不连续或埋深较深时，可采用悬挂式竖向隔水帷幕，同时应采取隔水帷幕内侧降水，必要时采取帷幕外侧回灌或与水平隔水帷幕结合的措施；地下暗挖隧道、涵洞工程可采用水平向或斜向隔水帷幕。

6.2.4　当支护结构为排桩时，可采用高压喷射注浆或水泥土搅拌桩与排桩相互衔接（咬合）组成的嵌入式隔水帷幕。

6.2.5　隔水帷幕施工方法的选择应根据工程地质条件、水文地质条件、场地条件、支护结构形式、周边工程环境保护要求综合确定。隔水帷幕施工方法可按表 6.2.5 选用。

表 6.2.5　隔水帷幕施工方法及适用条件

适用条件 隔水方法	土质类别	注意事项与说明
高压喷射注浆法	适用于黏性土、粉土、砂土、黄土、淤泥质土、淤泥、填土	坚硬黏性土、土层中含有较多的大粒径块石或有机质，地下水流速较大时，高压喷射注浆效果较差

续表 6.2.5

适用条件 / 隔水方法	土质类别	注意事项与说明
注浆法	适用于除岩溶外的各类岩土	用于竖向帷幕的补充，多用于水平帷幕
水泥土搅拌法	适用于淤泥质土、淤泥、黏性土、粉土、填土、黄土、软土，对砂、卵石等地层有条件使用	不适用于含大孤石或障碍物较多且不易清除的杂填土，欠固结的淤泥、淤泥质土，硬塑、坚硬的黏性土，密实的砂土以及地下水渗流影响成桩质量的地层
冻结法	适用于地下水流速不大的土层	电源不能中断，冻融对周边环境有一定影响
地下连续墙	适用于除岩溶外的各类岩土	施工技术环节要求高，造价高，泥浆易造成现场污染、泥泞，墙体刚度大，整体性好，安全稳定
咬合式排桩	适用于黏性土、粉土、填土、黄土、砂、卵石	对施工精度、工艺和混凝土配合比均有严格要求
钢板桩	适用于淤泥、淤泥质土、黏性土、粉土	对土层适应性较差，多应用于软土地区
沉箱	适用于各类岩土层	适用于地下水控制面积较小的工程，如竖井等

注：1 对碎石土、杂填土、泥炭质土、泥炭、pH 值较低的土或地下水流速较大时，水泥土搅拌桩、高压喷射注浆工艺宜通过试验确定其适用性。

2 注浆帷幕不宜在永久性隔水工程中使用。

6.2.6 落底式隔水帷幕进入下卧不透水层应满足下式要求，并不应小于 1.5m：

$$L_b \geqslant 0.2h_z - 0.5b \tag{6.2.6}$$

式中：L_b ——帷幕进入不透水层的深度（m）；

h_z ——帷幕内外的水头差值（m）；

b——帷幕厚度（m）。

6.2.7 悬挂式隔水帷幕在坑底以下的插入深度应满足地下水从帷幕底绕流的渗流稳定性验算的要求。对非均质含水层宜采用数值方法进行渗流稳定性分析；对均质含水层，可按下式验算：

$$\frac{(2l_d+0.8D_1)\gamma'}{\Delta h\gamma_w}\geqslant K \tag{6.2.7}$$

式中：K——流土稳定性安全系数；安全等级为一、二、三级的地下水控制工程应分别不小于1.6、1.5、1.4；

l_d——悬挂式隔水帷幕在基坑底面以下的插入深度（m）；

D_1——潜水面或承压水含水层顶面至基坑底面的土层厚度（m）；

Δh——帷幕内外的水头差（m）；

γ'——基坑底面以下土的浮重度（kN/m^3）；

γ_w——水的重度（kN/m^3）。

6.2.8 当基坑底面以下存在水头高于基坑底面的承压含水层，且隔水帷幕未隔断其内外水力联系时，应按本规范公式（5.3.5）进行突涌稳定性验算。

6.2.9 注浆隔水帷幕可按现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79进行设计。

6.2.10 隔水帷幕强度和厚度应满足现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120的要求；自抗渗支护结构的隔水帷幕应满足基坑稳定性、强度验算、裂缝验算的要求。

6.3 隔水帷幕施工

6.3.1 施工前应根据现场环境及地下建（构）筑物的埋设情况复核设计孔位，清除地下、地上障碍物。

6.3.2 隔水帷幕的施工应与支护结构施工相协调，施工顺序应符合下列规定：

1 独立的、连续性隔水帷幕，宜先施工帷幕，后施工支护结构；

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

3 当采用咬合式排桩帷幕时，宜先施工非加筋桩，后施工加筋桩；

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

6.3.3 高压喷射注浆法帷幕施工应符合下列规定：

1 高压喷射注浆应按设计的有效半径和土的类别确定喷射方式、喷射压力、注浆流量、提升速度、旋转速度等工艺参数。对硬塑状态的黏性土、密实的砂土和碎石土宜采用较小的提升速度和较大的喷射压力。

2 应采用隔孔作业的施工顺序，相邻孔喷射注浆的间隔时间不宜小于24h。

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

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

5 孔位允许偏差应为50mm，注浆孔的垂直度偏差不应超过1%。

6 水泥土固结体搭接宽度应符合下列规定：

1）当注浆孔深度 $L<10$m 时，搭接宽度不应小于200mm；

2）当注浆孔深度为 $10\text{m}\leqslant L<20\text{m}$ 时，搭接宽度不应小于250mm；

3）当注浆孔深度 $20\text{m}\leqslant L<30\text{mm}$ 时，搭接宽度不应小于350mm。

7 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°。

8 施工中遇地下障碍物、洞穴、涌水、漏水及与工程地质报告不符等情况，应采取相应的措施。

6.3.4 压力注浆法帷幕施工应符合下列规定：

1 注浆孔应按序列编号，注浆宜按隔一孔或多孔的顺序进行，当地下水流速较大时，应从水头高的一端开始注浆；

2 对渗透系数变化较小的地层，应先注浆封顶，后自下而上进行注浆，防止浆液上冒；对渗透系数随深度而增大的地层，则应自下而上注浆；对互层土层，应先对渗透系数或孔隙率大的地层进行注浆；

3 注浆用水 pH 值不得小于 4，浆液宜采用普通硅酸盐水泥，可掺入速凝剂、防析水剂、水玻璃等进行多液注浆；

4 宜采用定量、定压相结合注浆，对先序注浆孔采取定量注浆，对后续注浆孔采取定压注浆；

5 双液注浆时应使用单向阀的浆液混合器，严禁采用三通阀门；注浆结束时应先停水玻璃浆液泵，后停水泥浆液泵；

6 注浆工作应连续进行，每班组结束注浆后应及时清洗注浆设备。

6.3.5 水泥土搅拌法帷幕施工应符合下列规定：

1 可采用单轴、双轴、多轴搅拌工艺施工，施工工艺参数应通过试验确定。

2 孔位偏差不应超过 50mm，垂直度偏差不应超过 1%。

3 水泥土搅拌固结体搭接宽度应符合下列规定：

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

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

于 200mm；

3）多轴搅拌工艺宜采用套接一孔法施工。

4 停止搅拌的位置宜高于帷幕设计顶面 0.5m，当水泥土搅拌因故中途停止，继续搅拌时应与停止搅拌前的固结体搭接，其搭接长度不应小于 1.0m。

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

6.3.6 冻结法帷幕施工应符合下列规定：

1 冻结孔的开孔位置、偏斜率、成孔间距和深度应符合设计要求；

2 冻结孔施工过程应采取措施减小倾斜，并采取针对性的防偏措施确保质量，成孔后应根据测斜数据绘制冻结孔成孔偏斜图；

3 正式运转前应进行试运转，检验系统应达到设计要求；

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

5 运转过程中应有日志记录，并应采取措施保证冻结站的冷却效率。

6.3.7 地下连续墙式帷幕施工应符合下列规定：

1 应根据地质条件、场地条件等因素选择成槽设备；

2 当采用地下连续墙兼作隔水帷幕时，槽段之间的接头应满足防渗隔水的要求，墙体混凝土抗渗等级不宜小于 P6；

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

6.3.8 咬合式排桩帷幕施工应符合下列规定：

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

2 咬合排桩基桩垂直度偏差不应大于 3‰，桩位允许偏差应为 50mm，预埋件位置的允许偏差应为 20mm；成孔过程中如

发现垂直度偏差过大，必须及时进行纠偏调整；

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

6.3.9 钢板桩式隔水帷幕施工应符合下列规定：

1 钢板桩式隔水帷幕应为锁口式构造；

2 沉桩前应在锁口内嵌填黄油、沥青或其他密封止水材料；

3 钢板桩锁口应平直通顺，互相咬合，使用前应通过套锁检查。

6.3.10 沉箱式帷幕施工应符合下列规定：

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

2 沉井下沉时应保持对称、均匀，并应制定预防突沉、沉偏、难沉的应急措施；

3 当第一节沉井下沉至设计深度时，方可接筑第二节沉井，每次接筑最大高度不宜超过5m；

4 沉井达到设计深度后应进行封井。

6.3.11 隔水帷幕施工尚应符合现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79和《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120的有关规定。

6.4 验收与运行维护

6.4.1 帷幕的施工质量验收尚应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202和《地下防水工程施工质量验收规范》GB 50208的相关规定。

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

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

6.4.4 对嵌入式隔水帷幕，应在开挖过程中检查固结体的尺寸、

搭接宽度，检查点应随机选取，对施工中出现异常和漏水部位应检查并采取封堵、加固措施。

6.4.5 隔水帷幕的运行维护应符合下列规定：

1 现场配电设施应有明显的安全保护标识；

2 应按设计要求进行监测和日常巡视；

3 发现异常应及时反馈，并应采取必要的处理措施；

4 基坑开挖过程中不得损伤隔水帷幕；当土钉、锚杆穿过隔水帷幕时应采用快硬水泥砂浆封堵锚孔，修复隔水帷幕。

6.4.6 隔水帷幕验收资料应包括下列内容：

1 设计依据、技术要求，经审批的施工组织设计、施工方案以及执行中的变更单；

2 测量放线成果和复核签证单；

3 原材料质量合格和质量鉴定书，半成品产品的质量合格证书；

4 施工记录和隐蔽工程的验收文件，检测试验及见证取样文件；

5 监测、巡视检查记录；

6 隔水帷幕的运行维护记录；

7 对周边工程环境的影响记录，包括基坑支护结构、周边地面、邻近工程和地下设施的变形记录。

7 回　灌

7.1 一 般 规 定

7.1.1 降水工程影响周边工程环境安全时可进行地下水回灌。

7.1.2 地下水回灌宜采用井灌法，回灌方法可按表 7.1.2 选择。

表 7.1.2 回灌方法选择

回灌方法	适用条件
管井回灌	各种含水层
大口井回灌	埋藏不深、厚度不大、透水性条件较好的含水层

7.1.3 地下水回灌方式可按表 7.1.3 选择。

表 7.1.3 地下水回灌方式选择

回灌方式	适用条件
重力回灌	地下水位较低，渗透性好的含水层
真空回灌	厚度较大，渗透性较好的含水层
压力回灌	地下水位高，渗透性差的含水层

7.1.4 回灌宜首选同层地下水回灌；当非同层回灌时，回灌水源的水质不应低于回灌目标含水层地下水的水质；当回灌目标含水层与饮用地下水联系较紧密时，回灌水源的水质应达到饮用水的标准。

7.1.5 地下水回灌应采取有效措施，防止恶化地下水水质。

7.2 回 灌 设 计

7.2.1 地下水回灌设计应收集下列资料：

1 回灌区域的含水层的分布、深度、厚度、岩性、渗透性和富水性、地下水的流向、补给来源、天然补给量、水位变化、

水化学成分等水文地质条件；

2 基坑降水设计文件及降水施工组织设计；

3 基坑围护设计文件及施工现场平面布置图；

4 已有开采井的分布情况，开采深度（层次）、用途和开采动态，按不同开采层次，统计地下水年、季、月的开采量；

5 地下水位的动态和区域地下水位降落漏斗的发展情况，包括漏斗的范围、深度、年、季、月的变化幅度等资料；

6 人工补给的水源情况，回灌水的来源及水质情况；

7 周边工程环境情况。

7.2.2 回灌设计应包括下列内容：

1 回灌的目的及技术要求；

2 回灌的方式及方法；

3 回灌井的平面布置及设计数量，回灌井的结构及剖面图；

4 回灌系统的布设、运行及维护；

5 回灌井的封井及处理；

6 回灌监测要求。

7.2.3 回灌井布设应符合下列规定：

1 回灌井应优先布设在地面沉降敏感区；

2 隔水帷幕未将含水层隔断时，回灌井宜布设在隔水帷幕外侧与保护对象之间；

3 回灌井宜布设于降水井群的最大影响区和重点保护区；

4 对控制地面沉降的工程，回灌与降水应同步进行，降水井与回灌井宜保持一定的间距或过滤器布设在不同的深度；

5 布设回灌井时，应同时布设回灌水位观测井，对回灌效果进行动态监测。

7.2.4 当采用管井或大口井进行回灌时，应符合下列规定：

1 对潜水含水层回灌井（图 7.2.4-1），单井回灌量可按下式进行计算：

$$q = 1.366k\frac{h_0^2 - H_0^2}{\lg R/r_w} \qquad (7.2.4\text{-}1)$$

2 对承压水含水层回灌井（图 7.2.4-2），单井回灌量可按下式进行计算：

$$q = 2.732kM\frac{h_0 - H_0}{\lg R/r_w} \qquad (7.2.4\text{-}2)$$

式中：q——单井回灌量（m^3/d）；

k——渗透系数（m/d）；

R——影响半径（m）；

r_w——回灌井半径（m）；

h_0——井内回灌动水位（m）；

H_0——自然状态下含水层底板至井内水位高度（m）；

M——承压含水层厚度（m）。

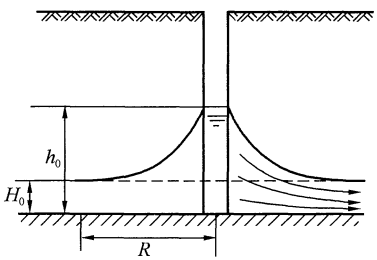


图 7.2.4-1 潜水井回灌计算简图

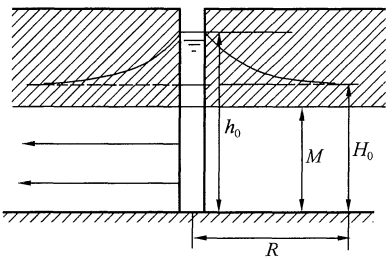


图 7.2.4-2 承压水井回灌计算简图

7.2.5 回灌井结构应符合下列规定：

1 回灌井宜包括井壁管（实管）、滤水管、沉砂管；

2 管井的成孔口径宜为 600mm～800mm，井径宜为 250mm～300mm；大口径井的成孔口径宜为 1.0m～2.0m；

3 井管上部的滤水管应从常年地下水位以上 0.50m 处开始，滤水管可采用铸铁或无缝钢管，管外应用 ϕ6mm 钢筋焊作垫筋，并应采用金属缠丝均匀缠在垫筋上，缠丝间隙宜为 0.75mm～1.00mm；当地层中夹有粉细砂时，可在缠丝外再包扎一层 30 目左右的铜网；

4 回灌井过滤器长度应根据场地的水文地质条件及回灌量的要求综合确定，管径应与井点管直径一致，滤水段管长度应大于 1.0m；管壁上应布置渗水孔，直径宜为 12mm～18mm；渗水孔宜呈梅花形布置，孔隙率应大于 15%；

5 沉砂管应与井管同质同径，且应接在滤水管下部，长度不宜小于 1m；

6 井管外侧应填筑级配石英砂作过滤层，填砂粒径宜为含水层颗粒级配 d_{50} 的 8 倍～12 倍；

7 单层（鼓形）滤水管应设置补砂管。补砂管可选用薄壁钢管或高强度 PVC 管，直径宜为 50mm～70mm；补砂管应布置在井管两侧，与井管同步下入，埋设深度至含水层上部，插入填砂层内 1m～2m，上部露出孔口。

7.3 回 灌 施 工

7.3.1 回灌井施工除符合本规范降水井成井施工的有关规定外，尚应符合下列规定：

1 过滤层的级配砂填筑宜采用动水回填法；

2 在回填的过滤砂层之上，应填筑大于 3m 厚的高膨胀性止水黏土球。

7.3.2 井灌法回灌施工应符合下列规定：

1 回灌井成井深度不应小于设计深度，成井后应及时洗井；

2 回灌井在使用前应进行冲洗工作；

3 应选择与井的出水能力相匹配的水泵；

4 降水、回灌期间应对抽水设备和运行状况进行检查，每天检查不应少于 3 次，同时应有备用设备；

5 应经常检查灌入水的污浊度及水质情况，防止机油、有毒有害物质、化学药剂、垃圾等进入回灌水中；

6 回灌井点必须与降水井点同时工作。

7.3.3 在回灌过程中，应对回灌井、观测井水位及流量观测资料进行分析，必要时调整回灌参数。

7.3.4 回灌水量应根据地下水位的变化及时调整，保证抽灌平衡。

7.3.5 完成地下水回灌任务、停止回灌后，应进行回填封井。回填封井应符合下列规定：

1 回填前应对井深、水位等进行测量；

2 回填材料宜选用直径 20mm～30mm 的黏土球缓慢填入；

3 回填后应灌水检查封井效果。

7.4 验收与运行维护

7.4.1 回灌单井验收应符合下列规定；

1 单井的平面位置、成孔直径、深度应符合设计要求；

2 成井直径、深度、垂直度等应符合设计要求；

3 回灌水质应符合设计要求；

4 回灌水位、单井回灌量应符合设计要求；

5 成井材料和施工过程应符合设计要求。

7.4.2 正式运行前应进行试回灌，并应符合下列规定：

1 各回灌井管应安装调试完毕；

2 供电线路和配电箱的布设应满足回灌要求，并应配备必要的备用电源和有关设备及材料；

3 应做好水位、水量等监测记录；

4 应进行回灌调试，确定回灌参数。

7.4.3 回灌井运行维护应符合下列规定：

1 应根据要求对水位、回灌量等进行监测，发现异常应及时反馈；

2 回灌井、配电设施应有明显的安全保护标识；

3 回灌过程中应保持回灌流量、回灌压力的稳定；

4 回灌水源水质应符合设计要求；

5 应对抽水设备和运行状况进行维护检查，每天检查不应少于 2 次；

6 回灌过程中应对回灌管井定期进行回扬，当回灌流量明显减少时，应立即进行回扬；

7 回灌期间应对回灌设备和运行状况进行维护检查，每天检查不应少于 2 次；

8 重力回灌应保持回灌井内水位在一定高度，当回灌井内水位升高至设计动水位后应控制回灌流量，保持回灌与渗流场的平衡；

9 压力回灌时要及时观测压力、流量、水位及回灌井四周地面土体的变化；回灌压力开始宜采用 0.1MPa，加压间隔 0.05MPa，加压时间间隔 24h，最大压力不宜大于 0.5MPa；

10 真空回灌系统应满足密封要求；

11 当发生停电时，应及时更换电源，保持正常回灌。

7.4.4 地下水回灌验收资料应包括下列内容：

1 设计依据、技术要求，经审批的施工组织设计、施工方案以及执行中的变更单；

2 测量放线成果和复核签证单；

3 原材料质量合格和质量鉴定书，半成品产品的质量合格证书；

4 施工记录和隐蔽工程的验收文件，检测试验及见证取样文件；

5 监测、巡视检查记录；

6 回灌工程控制的运行维护记录；

7 对周边环境的影响监测记录，包括基坑支护结构、周边地面、邻近工程和地下设施的变形监测记录；

8 其他需提供的文件和记录。

8 监　　测

8.1 一 般 规 定

8.1.1 地下水控制工程应对地下水控制效果及影响进行监测，监测项目可按表 8.1.1 进行选择。

表 8.1.1　地下水控制工程监测项目选择

控制方法 / 监测项目	降水	隔水帷幕	回灌	起止时间
地下水位	应测	应测	应测	降水联网抽水前～降水完成 帷幕形成前～帷幕完成
总出水量	应测	—	—	降水开始～降水完成
含砂量	应测	—	宜测	降水开始～降水完成 回灌开始～回灌完成
地下水水质	宜测	—	应测	降水开始～降水完成 回灌开始～回灌完成
坡顶、地面水平位移	应测	应测	应测	地下水控制开始前～地下水控制完成
坡顶、地面竖向位移	应测	应测	应测	地下水控制开始前～地下水控制完成
深层水平位移	—	应测	—	地下水控制开始前～地下水控制完成
回灌水量	—	—	应测	回灌开始～回灌完成
回灌压力	—	—	应测	回灌开始～回灌完成
回灌水质	—	—	应测	回灌开始～回灌完成
工程环境	应测	应测	应测	地下水控制开始前～地下水控制完成

注：1　地下水控制应进行巡视检查；
2　真空井点降水应监测真空压力；
3　工程环境监测的项目和要求应符合现行国家标准《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497 的相关规定。

8.1.2 监测工作应符合下列规定：

1 监测实施前应编制监测专项方案，监测方案应根据地下水控制方法、设计要求，结合围护结构综合确定；

2 监测开始、终止时间应根据设计要求和施工情况确定，并应覆盖地下水控制实施全过程；

3 监测点布置、信息采集的频率应根据设计要求、施工方法、施工进度、监测对象特点、地质条件和周边环境条件综合确定；

4 监测点应妥善保护，当监测点失效或被破坏时，应及时补充；

5 监测项目监测数据异常时应分析原因并加密监测频次；

6 监测的记录、数据和图表应真实、完整，并应按工程要求及时整理分析，监测资料应及时向有关方面报送，现场监测完成后应提交成果报告。

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

1 当地下水位上升达到设计预警值时；

2 地下水位上升速率加大且持续上升；

3 隔水帷幕工程渗漏较严重或帷幕后水位突变；

4 当降水过程中抽取地下水的含砂量超过规范要求时；

5 降水工程地下水出水量、回灌工程回灌量与正常时相比发生较大变化；

6 地下水控制工程范围含水层水质发生恶化；

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

8 根据工程经验判断，出现其他需进行预警的情况。

8.2 地下水位监测

8.2.1 地下水位应通过地下水水位观测孔或孔隙水压力计进行监测，在弱透水层中宜埋设孔隙水压力计。

8.2.2 安全等级为一级工程应设置专门的地下水水位观测孔进行水位监测，二级工程宜设置地下水水位观测孔进行水位监测，三级工程可利用抽水井进行水位监测。

8.2.3 地下水水位观测孔布置应符合下列规定：

1 地下水控制区域外侧应布设水位观测孔，单项工程水位观测孔总数不宜少于3个，观测孔间距宜为20m～50m。降水工程水位观测孔宜沿降水井点外轮廓线、被保护对象周边或降水井点与被保护对象之间布置，相邻建筑、重要的管线或管线密集区应布置水位观测点；隔水帷幕水位观测孔宜布置在隔水帷幕的外侧约2m处；回灌工程水位观测孔宜布置在回灌井点与被保护对象之间；

2 地下水控制区域内可设置水位观测孔；当采用管井、渗井降水时，水位观测孔应布置在控制区域中央和两相邻降水井点中间部位；当采用真空井点、喷射井点降水时，水位观测孔应布置在控制区域中央和周边拐角处；

3 有地表水补给的一侧，可适当加密观测孔间距；

4 分层降水时应分层布置观测孔。

8.2.4 地下水水位观测孔结构可与降水井结构一致，孔径应满足观测要求且方便操作，孔深宜达到设计降深以下3m～5m。

8.2.5 地下水水位监测应符合下列规定：

1 抽水前应进行稳定水位的观测，并应监测降水井内水位；量测读数至厘米，精度不得低于±2cm。

2 初期水位未达到设计要求前，宜每天观测2次；

3 水位达到设计要求且趋于稳定后，可每天观测1次；

4 当出现停电、水泵损坏等情况，应加密监测频率，预测可能出现的工程问题；

5 降雨期间，应加密监测频率直至水位稳定。

8.3 出水量和含砂量监测

8.3.1 地下水控制过程中水量监测频率应与水位观测频率一致，

并应记录水量、水流特征。

8.3.2 当利用计量仪表进行水量监测时，可采用固定量测法或随机量测法，并应符合下列规定：

1 当采用固定量测法时，可在每眼抽水井或排水总管上安装流量表，或在排水沟、沉砂池中安装量水槽堰进行计量；

2 当采用随机量测法时，可采用超声波流量计随机进行计量。

8.3.3 当水量突然减小时，应及时查找、分析原因，并应采取有效措施，消除隐患。

8.3.4 抽降期间的水位、水量应同时监测，监测记录应及时整理，绘制出涌量 Q 与时间 t、水位降深值 s 与时间 t 过程曲线图，并应分析水位、水量下降趋势，预测达到设计降水深度要求所需时间。

8.3.5 抽降期间应定期对抽出地下水的含砂量进行监测。

8.3.6 回灌水量、回灌压力可通过安装在回灌井上的回灌水计量装置和回灌压力表进行监测，监测记录应及时整理。

8.4 水质监测

8.4.1 降水工程遇有下列情况时应进行水质监测：

1 控制措施可能对地下水水质产生影响；

2 地下水水质对工程建设的材料有不利影响；

3 地下水已受污染的区域；

4 临海降水可能引起海水侵入的工程。

8.4.2 水源地区域的水质监测应按现行国家标准《生活饮用水标准检验方法》GB/T 5750 执行；其他建设场地地下水水质监测项目可按现行国家标准《地下水质量标准》GB/T 14848 执行。

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

8.5 变形观测

8.5.1 变形观测的水准基准点应设置在地下水控制工程和基坑变形影响范围之外，且每一测区不应少于3个。

8.5.2 变形监测点宜结合地下工程支护监测点布置。

8.5.3 在地下水控制水位未达到设计要求前，应每天观测1次，达到设计降深后可每2d～5d观测1次；在地下水控制工程结束后15d内，应继续观测至少3次。

8.5.4 地下水控制运行过程中应绘制各测点沉降曲线，并应分析各测点沉降变化趋势。

8.5.5 地下水控制变形监测尚应符合国家现行标准《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497、《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911和《建筑变形测量规范》JGJ 8的相关规定。

8.6 巡视检查

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

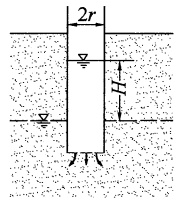
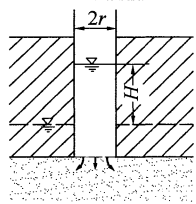
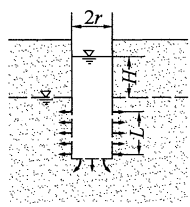
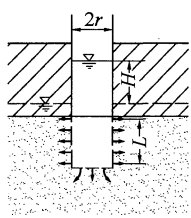
8.6.2 地下水控制运行期间，每天巡视检查不应少于2次。

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

8.6.4 应进行巡视检查记录，并应结合仪器监测数据进行综合分析。

附录 A　注水试验的形状系数值

表 A　注水试验的形状系数值

试验条件	简　图	形状系数值	备　注
试段位于地下水位以下，钻孔套管下至孔底，孔底进水		$F=5.5r$	—
试段位于地下水位以下，钻孔套管下至孔底，孔底进水，试验土层顶板为不透水层		$F=4r$	—
试段位于地下水位以下，孔内不下套管或部分下套管，试验段裸露或下花管，孔壁与孔底进水		$F=\dfrac{2\pi L}{\ln\dfrac{mL}{r}}$	$\dfrac{mL}{r}>10$ $m=\sqrt{k_h/k_v}$ 其中 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 值根据土层情况估计
试段位于地下水位以下，孔内不下套管或部分下套管，试验段裸露或下花管，孔壁与孔底进水，试验土层顶部为不透水层		$F=\dfrac{2\pi L}{\ln\dfrac{2mL}{r}}$	$\dfrac{2mL}{r}>10$ $m=\sqrt{k_h/k_v}$ 其中 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 值根据土层情况估计

附录 B　基坑涌水量计算

B. 0. 1　基坑涌水量计算应根据地下水类型、补给条件、降水井的完整性，以及布井方式等因素，合理选择计算公式。

B. 0. 2　圆形或长宽比小于 20 的矩形基坑，可按等效大井计算涌水量；基坑长宽比为 20～50 之间时，可按条形基坑计算涌水量公式；基坑长宽比大于 50 时，可按线状基坑计算涌水量。

B. 0. 3　等效大井的涌水量可按表 B. 0. 3 中的公式计算。

表 B. 0. 3　等效大井涌水量计算公式

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

B. 0. 4 条形基坑涌水量按表 B. 0. 4 中的公式计算。

表 B. 0. 4 条形基坑涌水量计算公式

地下水类型	公　式	式中符号意义
潜水	$Q=\frac{Lk(2H-s)s}{R}+\frac{1.366k(2H-s)s}{\lg R-\lg\frac{B}{2}}$	L——基坑长度（m）； B——条形基坑宽度（m）； 其他符号见本规范表 B. 0. 3
承压水	$Q=\frac{2kMLs}{R}+\frac{2.73kMs}{\lg R-\lg\frac{B}{2}}$	

B. 0. 5 线状基坑涌水量可按表 B. 0. 5 中的公式计算。

表 B. 0. 5 线状基坑涌水量计算公式

地下水类型	公　式	式中符号意义
潜水	$Q=\frac{kL(H^2-h^2)}{R}$	见本规范表 B. 0. 3 和表 B. 0. 4
承压水	$Q=\frac{2kLMs}{R}$	

附录C　降水井单井出水量计算和选用

C.0.1　真空井点的出水量可按1.5m³/h～2.5m³/h选用。

C.0.2　喷射井点的出水量可按表C.0.2选用。

表C.0.2　喷射井点设计出水量

型号	外管直径（mm）	喷射管		工作水压力（MPa）	工作水流量（m³/d）	设计单井出水流量（m³/d）	适用含水层渗透系数（m/d）
		喷嘴直径（mm）	混合室直径（mm）				
1.5型并列式	38	7	14	0.6～0.8	112.8～163.2	100.8～138.2	0.1～5.0
2.5型圆心式	68	7	14	0.6～0.8	110.4～148.8	103.2～138.2	0.1～5.0
5.0型圆心式	100	10	20	0.6～0.8	230.4	259.2～388.8	5.0～10.0
6.0型圆心式	162	19	40	0.6～0.8	720	600～720	10.0～20.0

C.0.3　管井的出水量可按下列方法确定：

1　不是圆周等距布置的一般工程的降水井，各单井的出水量应按下列公式计算：

承压井：
$$q=\frac{2\pi kMs}{\lg\frac{R^n}{r_1\cdot r_2\cdots r_n}} \tag{C.0.3-1}$$

潜水井：
$$q=\frac{\pi k(H^2-h^2)}{\lg\frac{R^n}{r_1\cdot r_2\cdots r_n}} \tag{C.0.3-2}$$

2　按圆周等距布置的降水井系统的单井出水量应按下列公

式计算：

承压井：
$$q=\frac{2\pi kMs}{\ln\dfrac{R^n}{n\cdot r_w\cdot r^{n-1}}} \tag{C.0.3-3}$$

潜水井：
$$q=\frac{\pi k(H^2-h^2)}{\ln\dfrac{R^n}{n\cdot r_w\cdot r^{n-1}}} \tag{C.0.3-4}$$

式中：q——单井出水量（m^3/d）；

k——含水层的渗透系数（m/d）；

M——承压水含水层的厚度（m）；

H——潜水含水层的厚度（m）；

R——影响半径（m）；

h——基坑动水位至含水层底板的距离（m）；

r_w——抽水井的半径（m）；

s——抽水井的计算降深（m），计算降深应大于等于设计降深；

n——降水井点数；

$r_1,r_2,\cdots,r_n$——各井点至基坑中心的距离（m）。

3 辐射井的出水量 q 可按下列公式计算：

承压水：
$$q=\frac{2.73kMs}{\lg\dfrac{R}{r_0}} \tag{C.0.3-5}$$

潜水：
$$q=1.36k\frac{H^2-h_w^2}{\lg\dfrac{R}{r_0}} \tag{C.0.3-6}$$

$$r_0=0.25^{1/n}L \text{ 或 } r_0=(A/\pi)^{1/2} \tag{C.0.3-7}$$

式中：q——辐射井的出水量（m^3/d）；

k——含水层的渗透系数（m/d）；

s——计算降深（m），计算降深应大于等于设计降深；

M——承压水含水层的厚度（m）；

H——潜水含水层的厚度（m）；

h_w——井中动水位（m）；

R——影响半径（m）；

r_0——引用半径（m）；

n——辐射管根数；

L——辐射管长度（m）；

A——辐射管控制面积（m^2）。

C.0.4 在降水设计中，各单井出水量之和应大于基坑出水量，且单井出水量应小于单井出水能力。

C.0.5 降水管井的单井出水能力应选择群井抽水中水位干扰影响最大的井，并应按下式确定：

$$q' = 120\pi r l \sqrt[3]{k} \tag{C.0.5}$$

式中：q'——单井出水能力（m^3/d）；

r——过滤器半径（m）；

l——过滤器进水部分长度（m）；

k——含水层渗透系数（m/d）。

附录 D　过滤器类型及适用范围

表 D　过滤器类型及适用范围

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

附录 E　管井降水水位预测

E. 0. 1　面状降水工程管井降水水位预测可按下列公式计算：

1　潜水完整井计算：

1）当 $\frac{r_i^2}{4at} \leqslant 0.1$ 时采用非稳定流计算公式：

$$s_{r,t} = H - \sqrt{H^2 - \frac{Q\ln\frac{2.25at}{\sqrt[n]{r_1^2 r_2^2 r_3^2 \cdots r_n^2}}}{2\pi k}} \qquad \text{(E. 0. 1-1)}$$

2）稳定流计算公式：

$$s_{r,t} = H - n\sqrt{H^2 - \frac{Q}{1.366k}\left[\lg R - \frac{1}{n}\lg(r_1 r_2 r_3 \cdots r_n)\right]} \qquad \text{(E. 0. 1-2)}$$

2　承压水完整井计算：

1）当 $\frac{r_i^2}{4at} \leqslant 0.1$ 时采用非稳定流计算公式：

$$s_{r,t} = \frac{Q\ln\frac{2.25at}{\sqrt[n]{r_1^2 r_2^2 r_3^2 \cdots r_n^2}}}{4\pi kM} \qquad \text{(E. 0. 1-3)}$$

2）稳定流计算公式：

$$s_{r,t} = \frac{0.366Q}{Mk} - \left[\lg R - \frac{1}{n}\lg(r_1 r_2 r_3 \cdots r_n)\right] \qquad \text{(E. 0. 1-4)}$$

式中：$s_{r,t}$——任意距离，任意时间的水位降深（m）；

a——含水层导压系数（m^2/d）；

t——抽水时间（d）；

M——降水井排处的承压含水层厚度（m）；

H——潜水含水层厚度（m）；

r_i——r_1、r_2、r_3… r_n降水井至任意计算点的距离（m）。

E.0.2 条状降水工程管井降水水位预测除可按本规范公式（E.0.1-1）～公式（E.0.1-4）计算外，尚可按下列公式计算：

潜水完整井：

$$S_X = H - \sqrt{h_1^2 + \frac{X}{R}(H^2 - h_1^2)} \qquad \text{(E.0.2-1)}$$

承压完整井：

$$S_X = H_1 - \left(h_2 + \frac{H_1 - h_2}{R}X\right) \qquad \text{(E.0.2-2)}$$

式中：S_X——距井排 X 处的水位下降值（m）；

H——潜水含水层厚度（m）；

H_1——承压含水层水头值（m）；

h_1——降水井排处的含水层厚度（m）；

h_2——降水井排处的承压水水头值（m）；

X——任意点至井排的距离（m）。

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”或“不得”；

3）表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：
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，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

1 《岩土工程勘察规范》GB 50021
2 《供水水文地质勘察规范》GB 50027
3 《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202
4 《地下防水工程质量验收规范》GB 50208
5 《管井技术规范》GB 50296
6 《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497
7 《城市轨道交通工程监测技术规范》GB 50911
8 《生活饮用水标准检验方法》GB/T 5750
9 《地下水质量标准》GB/T 14848
10 《建筑变形测量规范》JGJ 8
11 《建筑地基处理技术规范》JGJ 79
12 《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120

中华人民共和国行业标准

建筑与市政工程地下水控制
技 术 规 范

JGJ 111－2016

条 文 说 明

修 订 说 明

《建筑与市政工程地下水控制技术规范》JGJ 111－2016，经住房和城乡建设部2016年9月5日以第1301号公告批准、发布。

本规范是在《建筑与市政降水工程技术规范》JGJ/T 111－98的基础上修订而成。上一版的主编单位是建设部综合勘察研究设计院；参编单位有中国民航机场建设总公司、中国兵器工业部勘察研究院、中国航空工业部勘察设计院、冶金工业部建筑研究总院、上海岩土工程勘察设计研究院、北京市勘察测绘院、北京市政第三工程公司；主要起草人员是孙树义、苏贻冰、华仁荣、马丽丽、袁绍武、刘哲均、胡代华、高辅民、刘森林、杜蕙兰。

本规范修订过程中，编制组进行了国内地下水控制应用方面的调查研究，总结了我国建筑与市政工程建设过程中地下水控制的实际经验，同时参考了国外先进技术、法规、标准，通过工程验证、试验和征求意见，获取了本规范修订内容的有关技术参数。

为便于广大施工、监理、设计、科研、学校等单位有关人员在使用本规范时能正确理解和执行条文规定，《建筑与市政工程地下水控制技术规范》编制组按章、节、条顺序编制了本规范的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明，还着重对强制性条文的强制性理由作了解释。但是，本条文说明不具备与规范正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规范规定的参考。

目　　次

1　总则…… 71
3　基本规定…… 72
3.1　一般规定 …… 72
3.2　地下水控制工程分类 …… 75
4　勘察…… 76
4.1　一般规定 …… 76
4.2　勘察工作布置 …… 77
4.3　水文地质试验 …… 77
4.4　水文地质试验参数计算 …… 78
4.5　特殊条件的勘察 …… 79
5　降水…… 81
5.1　一般规定 …… 81
5.2　降水方法的分类和选择 …… 82
5.3　降水设计计算 …… 83
5.4　降水系统布设 …… 84
5.5　降水施工 …… 84
5.6　验收与运行维护 …… 85
6　隔水帷幕…… 86
6.1　一般规定 …… 86
6.2　隔水帷幕设计 …… 86
6.3　隔水帷幕施工 …… 87
6.4　验收与运行维护 …… 89
7　回灌…… 91
7.1　一般规定 …… 91
7.2　回灌设计 …… 91

7.3 回灌施工 …… 92
8 监测 …… 93
8.1 一般规定 …… 93
8.2 地下水位监测 …… 93
8.3 出水量和含砂量监测 …… 93
8.4 水质监测 …… 94
8.5 变形观测 …… 94
8.6 巡视检查 …… 94

1 总　　则

1.0.1 随着我国大规模经济建设，建筑与市政工程项目数量越来越多，规模越来越大，基础越埋越深，条件越来越复杂，各类地基基础、基坑施工都需要考虑进行地下水控制。地下水控制是工程建设的重要组成部分，具有很强的科学性和专业性。在有些地下工程施工中，由于没有充分进行勘察、设计的地下水控制，造成了一定的工程事故或环境影响，如基坑边坡失稳、塌方、流砂、流土，引起场地周围地面沉降、建筑物变形以及水、土资源环境恶化。

由于近几年全国地下空间的开发快速发展，基坑及地下工程开挖深度越来越大，有些软土地区开挖深度已超过40m，开挖形式也越来越复杂，原《建筑与市政降水工程技术规范》JGJ/T 111－98（以下简称“原规范”）已不能适应现代工程的需要，需进行比较大的调整。本次修编认真总结十多年工程经验，为适应工程建设的需要，对原规范的内容进行了充实与补充，新增了隔水、回灌、监测、地下水资源保护与综合利用的内容，由单一的降水工程变更为地下水控制工程。

1.0.2 本规范适用范围限定在各类建筑与市政基础设施工程建设期间，不包括使用期。

1.0.3 本条强调地下水控制要保证地下工程施工正常进行，保证工程环境安全和正常使用，并考虑节约地下水资源。

1.0.4 地下水控制涉及勘察、设计、基坑支护和地基基础施工、监测和验收，应同时执行相关标准。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 本条是地下水控制的基本工作内容。

3.1.2 随着工程建设规模的不断扩大，基坑开挖深度不断加深，采用抽取地下水降低地下水位以保障工程施工的做法，不仅造成地面沉降和周边建（构）筑物损坏，而且严重浪费地下水资源，同时有可能污染地下水。我国地下水资源非常紧缺，保护和合理利用地下水是国家节水政策，减少地下水开采，防止污染地下水，为可持续发展提供必要条件，优先选择对地下水资源、建筑周边环境影响小的控制方法是设计方案的首选。

地下水控制应正确处理工程施工与环境保护、节约水资源的关系，选择合理的地下水控制方案，保障建筑和市政工程基坑和地下工程施工正常进行。

我国幅员广阔，工程、地质、环境等条件差异很大。各地有很多好的经验，有的地方还制定了相应的法规和标准。应结合地方法规和现行技术标准，选择适宜的地下水控制方法。

3.1.3 充分搜集资料，是制定合理的设计、施工方案的基础。

3.1.4 勘察资料是地下水控制设计重要依据之一。由于勘察阶段工程情况、地质条件和环境条件等还有一些不确定因素，有时需要通过补充勘察或专项水文地质勘察。当岩土工程勘察报告能够满足降水方案设计时（特别是水文地质条件简单的工程），可以直接作为设计依据。

3.1.5 本条是地下水控制的基本功能要求。地下水控制工程是满足基础和地下工程施工而采取的临时性措施，往往与支护结构相伴而生，在满足开挖和地下结构施工要求的同时，还要和支护结构的设计和施工相协调，共同完成满足地下结构施工和保护工

程环境的任务。

3.1.6 完善的施工组织设计是地下水控制工程正常进行的保证，其中制定安全技术措施和应急预案是防范风险的保证（特别是复杂地质条件和环境条件下）。应急预案（有时称应急与响应预案）通常包括下列内容：

1 明确应急预案的实施主体和应急响应的组织结构及指挥网络系统；

2 制定应急响应的报告流程；

3 应急岗位的设定及岗位职责，各岗位的人员名单及通信联系方式；

4 应急响应的物资、设备、材料的数量、质量及存放地；

5 根据工程危险源的种类及发生概率，制定针对性处理方案。

3.1.7 地基条件和地下水是大自然的产物，具有不均匀性，特别是地下水具有较大的不可控性，很多工程事故都与地下水有关，而且往往后果很严重。

影响地下水控制的因素很多，仅靠勘察、设计来决定是不够的，还需通过过程监测，及时发现异常情况，并采取相应的处理措施。

安全生产，预防为主。对地下水控制工程设计与施工采用信息施工法，可以做到提前预判，适时科学决策；总结经验，提高地下水控制工程设计水平；验证设计成果，确保工程质量。

3.1.8 地下水控制工程往往作为临时工程，容易忽视对勘察、设计、施工资料的整理、归档，不利于资料利用、责任追索。地下水控制施工的检验验收根据时间顺序分为三个阶段：施工前的检验验收、施工过程中检验验收、施工后的检验验收。

1 施工前的检验验收包括地下水控制设计方案和施工所用原材料、预制构件等的检验验收。

2 施工过程中检验验收包括地下水控制的各道施工工序。

3　施工后的检验验收包括地下水控制效果、运行、维护和对周边环境的影响程度。

3.1.9　本条为强制性条文。由于人类活动特别是工业活动对地下水造成了很大影响，地表水、地下水体受到了污染，已经严重影响人们的饮水安全。同时，在不同历史时期形成的地下水质也有较大差异。地下水控制过程中如果控制不好，会进一步恶化地下水环境，而且地下水的污染几乎是不可逆的，很难修复。

现行国家标准《地下水质量标准》GB/T 14848 将地下水质量划分为五类，水质由好到差分别为Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类、Ⅳ类、Ⅴ类。本条所指地下水水质恶化即指水质产生由好到差类别上的变化。

3.1.10　我国是地下水紧缺的国家，特别是北方，合理利用地下水尤为重要。

3.1.11　常见的地下水控制工程事故或缺陷主要有：

1　围护体系渗漏。当渗漏点位于基坑开挖面以上且渗水量不大时，多采用坑内引流、封堵或坑外快速注浆的方式进行堵漏；其他情况则根据情况，采用加大坑内降水，坑内、坑外快速封堵等处理方法。

2　坑底突涌。在查明原因的基础上采取对应处理措施。

3　坑外地面沉降。

4　停电、降水设备损坏。停电、降水设备损坏等造成地下水位升高，需要及时启动应急预案。

5　地下水回灌严重不足或超灌。地下水回灌不足可能导致地下水位降低引起周围地面或建筑下沉，超灌可能会产生基坑水压力增大等问题。

这些工程事故或缺陷常危及坑外周边环境安全，甚至产生次生事故，因此要强调处理的紧迫性、及时性。信息化施工重点在于早发现早预警，潜在病害及时发现及时消除，避免反反复复从而造成更大的风险。

3.2 地下水控制工程分类

3.2.1 地下水控制包括降水、隔水帷幕和回灌三类，各类又有多种方法，针对不同的工程，可以单独和组合使用。

3.2.2 本条明确了地下水控制工程复杂程度分类原则。

3.2.3 本条明确了降水工程和隔水工程的复杂类型分类，对原规范相关表格进行了合并。水下工程降水风险大直接划分为复杂，不再分类；明确了两种以上地下水控制方法组合使用时，划分为复杂工程。地下水回灌难度大，且不单独使用，没有进行单独分类。

3.2.4 地下水控制设计施工的安全等级直接对应复杂程度。

4 勘　察

4.1 一 般 规 定

4.1.1 查明和获取场地及其周围的水文地质条件和水文地质参数等是地下水控制方案合理选择的重要依据。工程建设进行岩土工程勘察成果，有时不能满足地下水控制工程设计要求，尚需补充降水试验等勘察工作，才能满足地下水控制设计的需要。

4.1.2 现场工作量与已有资料的丰富程度、场地水文地质条件的复杂程度、场地的大小有关。地下水控制工程勘察应根据工程设计需要开展工作。

4.1.3 本次修订强调通过资料的搜集和分析作用。

4.1.4 本条提出了地下水控制工程勘察的具体要求。

1 工程场地多处于城市建筑密集区，相邻场地抽降地下水或管线渗漏补给等人为因素对拟建场地地下水影响较大，强调了周边区域的资料搜集的重要性。

2 城市地下水受人为因素影响较大，地下水位变化规律比较复杂，同时，一般情况下勘察阶段时间紧迫，只能了解勘察阶段的地下水动态。因此强调区域地下水动态资料的搜集和分析，必要时设置地下水位长期观测孔。

3 多层地下水位的分层观测，尤其是承压水压力水头的观测，对地下水控制和基坑支护设计与施工都十分重要，不应忽视。

4 抽水试验是地下水控制工程勘察的一项重要内容，由于多种原因室内试验结果与实际相差较大。为求得各含水层渗透系数等水文地质参数，多通过现场抽水试验测定。

5 地下水控制专门水文地质勘察报告内容通常包括：

1）自然环境与区域地质概况；

2）场区地层分布；

3）场区水文地质条件；

4）地下水控制所需水文地质参数及岩土参数建议；

5）地下水控制分析评价。

4.2 勘察工作布置

4.2.1 布置勘察工作要考虑对场地水文地质条件有影响的多种因素，能反映场地的水文地质条件，勘察工作能够控制各含水层的空间分布。对于地下水补给径流方向、地表水体补给方向、基岩裂隙构造和岩溶发育方向、基坑降水条件下可能发生补给的越流含水层等特殊地段和地层，要有足够的勘察资料和勘察井孔。

观测孔与抽水试验井之间应有一定的间距，主要是尽量避免抽水井周围三维流和紊流的影响。

观测孔的平面布置一般沿一条观测线垂直地下水流向布置。在布置两条观测线时，其中一条要求平行于地下水流向布置，主要是为了测定含水层不同方向的非均质性或确定不同方向的影响半径。

4.2.2 对于勘察孔深度的具体规定根据工程实践经验而来，满足设计要求是核心。

4.2.3 抽水试验井为完整井时的水文地质参数计算较简单成熟。对于巨厚含水层，井中降深与含水层厚度相比较小时，可转化为完整井计算。

4.2.4 考虑到不同规格观测孔会产生差异结果，本条提出深度、过滤器位置应与抽水试验井一致等要求。

4.3 水文地质试验

4.3.1 本条是对水文地质试验的基本要求，试验方法包括抽水试验、注水试验。

4.3.2 本次修订强调了抽水试验方法的选择。根据场地水文地质条件和勘察目的选择适宜的试验方法，以保证求取的水文地质

参数符合实际。目前抽水试验方法的叫法很不一致，本规范根据地下水控制工程勘察的目的，将抽水试验主要分为：简易抽水、单孔抽水、多孔抽水。

单孔抽水试验仅在一个试验孔中抽水，用以确定出水量与水位降深的关系，初步测定含水层渗透系数。多孔抽水试验在一个主孔内抽水，在其周围设置若干个观测孔观测地下水位，通过多孔抽水试验可以求得较为确切的水文地质参数和含水层不同方向的渗透性能及边界条件。

当含水层岩性为粉砂、粉土、黏性土等弱透水层，且含水层厚度不大，单孔抽水试验也可采用提水试验方式进行。

4.3.3 本条为稳定流抽水试验要求。

1 稳定流抽水试验的三次降深，通常松散含水层由小到大，逐渐增大，基岩含水层由大到小。

2 抽水试验的稳定时间，各标准差异较大，本规范给出范围值，使用时根据情况由工程师掌握。如仅考虑渗透性，一般的做法是渗透性小的地层取大值，渗透性大的地层取取小值。抽水试验的稳定标准，是指在一定时间段内，抽水量的波动值不超过正常流量的5%，抽水孔水位波动值不超过水位降低值的1%，观测孔水位波动值不超过2cm～3cm。稳定延续时间是指某一降深下，相应的流量和动水位趋于稳定后的延续时间。

4.3.4 本条为非稳定流抽水试验要求。

4.3.5～4.3.9 注水试验有在试坑或钻孔中进行两种方式，当试验深度较大时多采用钻孔法。注水井与抽水井地下水流向相反，地下水运动为发散的径向流，若对水文地质参数进行粗略估算时，把水位降深换成水位升高，可适用于注水井。

4.4 水文地质试验参数计算

4.4.1～4.4.4 实践证明，利用观测孔水位资料计算渗透系数，比较符合地下水层流运动的假设条件，所计算的参数较符合实际。

目前对水文地质参数计算的总结还不够，而且影响因素复杂多样，因此本规范仅规定了一些基本要求和基本计算，在实际选择计算方法和计算公式时，可不受本规范限制，应根据具体的水文地质条件和计算公式的适用范围，合理选用计算公式，避免盲目套用。

水文地质参数可由单孔、多孔、稳定流、非稳定流抽水试验方法求得。

采用恢复水位资料计算渗透系数，由于水位没有波动等干扰因素的影响，取得的水位资料精度比抽水试验要高。在选用计算公式时，应注意试验结束前动水位的变化状态，根据动水位已稳定或没有稳定选用不同公式，并考虑满足公式的适用条件。

4.5 特殊条件的勘察

4.5.1、4.5.2 泉水水位、水量动态预测在有多年泉流量与降水量的观测资料时多采用数理统计方法预测，也有用布辛涅斯可公式进行枯水期间潜水下降的计算验证：

补给丰富时

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha t} \tag{1}$$

补给不丰富时

$$Q_t = \frac{Q_0}{(1+\alpha t)^2} \tag{2}$$

式中：Q_t——任意时间流量（m^3/d）；

Q_0——枯水期开始时的最大流量（m^3/d）；

t——任意时间（d）；

α——衰减系数。

对于式（1）可利用实测资料反求，资料越多越准确，对公式两边取对数求值，即 $\alpha = \frac{\ln Q_0 - \ln Q_t}{t}$，或计算求值 $\alpha = \frac{\pi^2 K \cdot \overline{h}}{4\mu \cdot L^2}$；对于式（2）计算求值 $\alpha = 5.772 \frac{K \cdot V}{4\mu \cdot L^3}$。其中，$\mu$ 为含水层给水度；L 为泉水露头处至潜水分水岭的距离；$\overline{h}$ 为含水层平均厚度；K 为渗透系数；V 为补给泉的含水层体积。

在岩溶裂隙地区进行地下水水位、水量的动态预测，除了考虑采用泉水等天然地下水露头资料计算外，一般采用勘察孔结合抽水试验井，通过单孔抽水试验方法计算水文地质参数。

由于岩溶裂隙地区水文地质条件的复杂性，以及井孔结构、抽水管位置、抽水量、抽水降深等因素影响，采用裘布依模型计算结果偏差很大。究其原因，主要是采用的计算公式与实际的水流规律不符所致。根据实际应用经验，在实际模型中除应考虑层流对井中降深的影响外，还要考虑抽水井周围存在的紊流或三维流对井中降深的影响，井中降深是出水量的高次方函数，而裘布依模型中井中降深是出水量的一次方函数线性关系。为简化问题以及从满足实际应用的角度出发，一般考虑 S_w 与 Q 是二次方函数抛物线关系，可按下式计算：

$$S_w = \frac{Q}{2\pi KM}\left(\ln\frac{R}{r_w} + \frac{M-l}{l}\ln\frac{1.12M}{\pi r_w}\right) + \left[\frac{1}{g\pi^2 r_w^4}\left(\frac{lf}{16r_w}+\frac{2}{3}\right)+\frac{b}{(2\pi l)^2 r_w}\right]Q^2 \tag{3}$$

式中：b——紊流系数；

f——滤水管摩阻系数；

l——滤水管长度；

M——含水层厚度。

由式（3）可以看出 S_w 是由二维流的层流降深、井的非完整降深、滤水管内水流增量的加速运动和摩阻造成的三维流降深、井周含水层中地下水发生紊流造成的紊流降深共同组成。通过在滤水管内部不同深度设置测压管以及三次以上不同降深的抽水试验可计算得到 K、b、f 等参数，进而进行地下水水位、水量的动态预测。

4.5.3 水下工程勘察要重视工作场地安全问题以及地表水对水文地质参数测试的影响。

5 降　　水

5.1 一 般 规 定

5.1.1 本条是降水设计的基本要求。

1 明确降水目的和技术要求，是降水设计的基本条件；

2 降水工程的技术要求包括降水范围、降水深度、降水时间、降水工程可能涉及的环境保护范围等；

3 有了基础设计、基坑支护设计方案和环境条件才能开展降水设计；

4 水文地质参数，如渗透系数、给水度、单井出水量、水位降深等，其准确性十分重要；考虑到水文地质条件的复杂性，常在降水初期进行实验性抽水试验，以检验设计、施工效果，必要时调整设计；

5 明确预警值，提出环境监测要求，是保证降水质量的一个重要环节。

5.1.2 本条是采用三维数值模拟进行降水设计的要求。三维数值模拟设计对地质、基坑等资料提出了更高的要求，也是降水工程的发展方向，在有条件的地区可逐步开展。三维数值模拟设计除取得常规设计参数外，重点获取以下水文地质条件：

1 降水目的层以外各土层的水文地质参数及各向异性特征；

2 除需提供含水层的厚度、层顶埋深、初始水位、水位降深、影响半径，大井等代半径、水平及垂直渗透系数、抽水流量等参数外，还包括储水系数、导水系数、给水度等；

3 根据抽水试验实际求得的影响半径，计算确定合理的定水头边界和初始水位。

5.1.3 裂隙水按埋藏条件分为裂隙上层滞水、裂隙潜水、裂隙承压水；按含水层产状分为裂隙层状水、裂隙脉状水。基岩裂隙

水降水的关键是在查明基岩裂隙分布、水量的基础上采取针对性措施。设计和施工中应注意基岩裂隙水的以下特点：

1 裂隙层状水呈层状作区域性分布，其厚度远小于分布宽度，如风化裂隙中的地下水；

2 裂隙脉状水只局部分布在断层破碎带或侵入岩接触带，呈带状或脉状，其厚度大于分布宽度；

3 裂隙水在分布和涌水量方面均能突然变化，又能与其他水体连通，会引起区域地下水条件的突然改变，发生涌水。

5.1.4 岩溶地区降水的关键是在查明岩溶分布、水量的基础上采取针对性措施，降低地下水位，并防止因降水造成地面塌陷等灾害。

岩溶水是埋藏在可溶岩层地区岩溶裂隙和溶洞中的重力水，分为上层滞水、潜水和承压水。岩溶上层滞水多分布在局部的非易溶岩或弱可溶岩地层；岩溶潜水分布在厚层的石灰岩大面积出露的地区的地层；岩溶承压水分布在易溶岩性岩层与非易溶岩性岩层交互的地层。

岸溶区涌水量在一年内变化很大，只有在补给区大、补给源稳定的情况时，用水量的变化才较小。

岩溶区不但存在地下水突涌，对建筑与市政工程的稳定也存在安全隐患。

5.1.5 水下工程降水的关键是在降低地下水位的同时，防止因地面水涌入引起地面塌陷等灾害。

5.1.6 滨海地区的降水关键是在降低地下水位的同时，防止海水入侵污染淡水资源。

5.1.8 降水完成后封井，可以避免地下水的联通导致水质污染，也消除人畜掉落的风险。

5.2 降水方法的分类和选择

5.2.1 本规范将直径接近100mm的井称为“井点”（有的标准称为点井），直径200mm～800mm的井称为“管井”，直径大于

800mm 的井称为“大口井”及“辐射井”的集水井。

5.2.2 集水明排可以将雨水、坑底积水和抽出的地下水及时排出，排水沟、集水井的防水措施可以防止集水下渗，有利于降水和基坑支护。

5.2.3 采用渗井或多层含水层降水时，一方面应考虑渗、降水效果，另一方面应采取措施防止污染下部含水层，如采取分层打降水井、分层止水或采取隔水帷幕等地下水控制措施，降水完成后进行封井可以保证后期水力联系。

5.2.4 风化岩、黏性土等富水性差的地层特点是一抽就干，停抽就出水。

5.3 降水设计计算

5.3.1 本条给出了降水设计计算的主要内容，实际计算内容不局限于本条规定，应根据设计要求及条件具体把握。

5.3.2、5.3.3 附录 B 和附录 C 分别给出了基坑涌水量和设计单井出水量的确定办法，可根据工程条件选用。有条件时，也可通过数值模拟计算确定。

在两个附录的计算模型中都将含水层进行了概化，实际情况远非这么理想。当相邻含水层渗透系数不同时，其渗透系数可按含水层厚度加权平均；当相邻含水层渗透性相差很大时，有时可只计算渗透系数大的含水层的透水量。

5.3.4 设计单井出水量不应超过单井出水能力。设计计算中既可根据单井出水能力确定降水井数量，也可先确定降水井数量，后对降水井进行单井设计。最终设计结果应满足本规范公式(5.3.4)的要求。

5.3.5 承压水一旦降水失效，后果很严重。本条一方面要求进行基坑地板稳定性验算，另一方面要求增加备用井，保证工程安全。

5.3.8 影响降水区内水位的因素很多，设计分配每个降水井的出水量不应大于降水井的出水能力。在群井抽水情况下，随着地

下水位的下降和井群的相互干扰，基坑总涌水量可能会逐渐减少，各单井的出水量也随着滤水管进水部分长度的减少而不断降低。当各单井出水能力满足不了总涌水量的要求时，基坑范围内的地下水位将不再降低。如基坑内地下水位降低程度不能满足工程施工要求，需要重新确定单井出水量。可通过调整井位置、间距、数量以及单井出水量来满足降深要求。

5.3.9、5.3.10 这两条分别规定了降水引起的沉降量以及土中有效应力增量的计算方法，是和现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 协调一致的。

5.4 降水系统布设

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

1 条状基坑采用单排或双排降水井是基于降水井数量计算要求；

2 对大面积或有帷幕的基坑，通过基坑内抽水，可以加速疏干坑内地下水；

3 要求多层含水层降水宜分层布置井点，是基于防止地下水污染考虑；对经调查未受污染的滞水或由于区域地下水位降低形成的多层水，可不考虑其影响。

5.4.2 真空井点降水的重点是真空抽水能力和真空有效性。

5.4.3 管状过滤器也称作滤水管。

5.4.6 管井降水的重点是洗井、控制出砂量。

5.4.8 渗井的重点是渗水能力受时间影响降低，防止污染目标层。

5.4.12 排水沟、集水井施工中，防水做得不好或未做防水，会降低降水效果甚至造成基坑坍塌，应予重视。

5.5 降 水 施 工

5.5.1 编制降水施工组织设计，据以管控降水施工的全过程。

封井是降水施工的一个重要环节，施工组织设计中应包括封井的时间、方法和要求。

对软土、淤泥质黏土中的疏干井，井点停止运行后地下水位对工程无影响，可以将井点填埋在基础混凝土底板之下。

对潜水降水井，井点在基坑底板混凝土浇筑时停止运行后，水位会缓慢上升但无抗浮要求，可以将井点管割除与底板混凝土浇筑在一起。

井点持续处于运行状态，一旦停止抽水，影响基坑底板混凝土浇筑，需满足基坑抗浮要求后方可封井割除。

5.5.6 洗井对降水工程非常重要，洗井方法不正确、搁置时间过长，甚至全部成井完成后集中洗井，都可能导致抽水能力降低和失效。

通过抽水试验确定水泵与出水量、设计降深的匹配情况，不满足要求时，及时更换水泵。

5.6 验收与运行维护

5.6.1、5.6.2 降水验收包括降水井工作质量验收和降水效果验收。单井验收合格是达到降水要求的基本保障。正式运行前的联网运行抽水试验是对降水系统的整体检验和调试，必要时调整设计。

正式降水前应通过对观测孔相邻降水井的试抽，对观测孔内水位变化的灵敏性。

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

6 隔水帷幕

6.1 一般规定

6.1.2 隔水帷幕为也称止水帷幕或阻水帷幕，分类方法较多。

1 竖向隔水帷幕是最常见的隔水帷幕，阻止水流从坑壁和坑底涌入坑内。悬挂式竖向隔水帷幕指底端未穿透含水层的隔水帷幕；落底式竖向隔水帷幕指底端穿透含水层并进入下部不透水层一定深度的隔水帷幕。当水头较高，水量充分，可采用竖向隔水帷幕与水平向隔水帷幕相结合的方法。

2 独立式隔水帷幕是指在非连续性支护桩外独立设置的帷幕体；嵌入式隔水帷幕是指利用旋喷桩、搅拌桩、素混凝土桩等嵌入不连续支护结构中间共同形成帷幕体；自抗渗支护结构指支护结构本身就具备抗渗性能。

6.1.3 本条是隔水帷幕设计的基本要求，由于地下工程涉及支护工程，统一考虑非常必要。

6.1.4 本条所列的隔水帷幕施工方法都具有很强的经验性，处理效果与设计参数、地基土性质密切相关，还与施工方法、施工设备甚至施工人员有紧密关系，施工前进行现场试验可以验证帷幕效果。

6.2 隔水帷幕设计

6.2.5 隔水帷幕的施工方法种类繁多，选择时既要考虑隔水效果，又要因地制宜、就地取材，还要考虑与基坑支护合理组合。本规范表 6.2.5 给出的隔水帷幕施工方法及适用条件可供设计参考。水泥土搅拌法软土地层施工效果好，砂、砾石、卵石地层施工效果差。

6.2.6 插入不透水层的竖向隔水帷幕在内外形成较大的水头差，

本规范公式（6.2.6）是根据隔水层的允许渗透梯度导得，最小值要求是根据国内若干工程实例统计而来。

6.2.7 本条以渗流水力梯度不大于地基土的临界水力梯度来判断坑底土体的抗渗流稳定性（考虑一定的安全系数），计算方法较多，工程上常用的有基于平面稳定渗流的直线比例法、流网法、阻力系数法等。为便于计算且满足工程设计要求，在水头15m～20m内，设计人员惯于采用直线比例法。需要说明的是，直线比例法没有考虑渗流流场的三维性，也没有考虑坑周土不透水层的深度，以及地基土的不均匀性。

本规范公式(6.2.7)和《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120－2012协调一致。

6.3 隔水帷幕施工

6.3.2 连续性隔水帷幕常采用灌注桩支护结构，灌注桩在部分土层容易扩孔，如果先施工灌注桩，隔水帷幕施工时常与灌注桩无法贴近，容易出现隔水帷幕垂直度偏低或隔水帷幕与灌注桩缝隙大，以及桩间土流失等不利情况，故先施工帷幕。嵌入型隔水帷幕要根据支护桩而定位切割，故先施工支护结构。

6.3.3 旋喷桩垂直度和定位均较难监控，故旋喷桩咬合灌注桩应采取放样预先定位，确保与灌注桩的咬合。

旋喷桩在动水情况常常难以成型，在一些空洞和松散土层施工质量不佳，故施工时应根据记录出现异常情况采取措施，比如预先黏土充填，或增加膨润土。

旋喷桩依靠喷射压力和提升速度实现设计直径和质量，相同的喷射压力在不同的土层产生桩体直径不一样，根据土质条件进行调控。

6.3.4 土层不均匀性时，浆液容易向渗透性大的土层先渗透，故该类土层应分段注浆，确保隔水帷幕的整体封闭。在动水状态下，初凝时间大于10min的浆液会因大量流失而失去加固效果，故应采取双液注浆，缩短水泥浆凝固时间，但太短的凝固时间容

易堵管。

6.3.5 搅拌桩是最常见的隔水帷幕，至少有三种：三轴搅拌桩、两轴搅拌桩、单轴搅拌桩。三轴搅拌桩施工深度可达30m，两轴和单轴一般施工深度可达15m～18m，施工深度越深，垂直度和搭接要求越高。搅拌桩的强度和均匀性是影响隔水帷幕质量的关键；搅拌桩的下沉和提升速度会影响土体中水泥掺入量和水泥掺入的均匀性；搅拌次数和搅拌时间影响水泥浆与土体的拌合及水泥土的均匀性，需要重视。施工中断浆和冷接缝会出现质量隐患，故该情况均需记录和加强处理。

6.3.6 冻结孔开孔位置和偏斜影响冻结孔的成孔间距，冻结孔的成孔间距对冻结壁的形成质量和速度起到关键作用。正式运转前应对冷却水、冷媒剂、制冷剂系统进行试运行，各系统应满足设计要求。冻结法施工另一个关键环节是电力不能间断，需要配备备用电力设施。

6.3.7 本条明确了地下连续墙施工应满足的施工要求。

1 槽壁坍塌常导致槽底不平，钢筋笼放入容易倾斜，导致接头管（箱）倾斜，容易出现开叉现象；槽壁在浇筑混凝土时坍塌易出现墙体夹泥而导致孔洞等质量事故。故在槽壁易坍塌的土层施工时，要求采取黏度大的泥浆提高槽壁稳定性，或采取搅拌桩预先进行槽壁加固；周边环境简单时，可通过降水提高槽壁稳定性。

2 接头管（箱）若固定不可靠或垂直度不高，在浇筑混凝土后，容易影响相邻幅地墙施工和垂直度，从而出现搭接不佳现象；接头管（箱）强度、刚度不高，以后拔除困难，容易出现拔断现象；这些都会影响其隔水质量。

3 地下连续墙采用泥浆护壁成槽，接头混凝土面上必然附着一定厚度的泥皮，如不清除干净，浇筑混凝土时在槽段接头面上会形成一层夹泥带，该处则容易出现隔水质量隐患，故应采取清刷将夹泥处理干净。

4 部分接头可采取加强措施提高接头防渗效果，比如工字

钢等接头可增加止水钢板防止混凝土绕流，提高隔水效果。

6.3.8 钻孔咬合桩分软切割工艺和硬切割工艺。硬切割施工质量可靠度较高，一般采用全回转钻机施工；软切割施工可采用全回转钻机施工，也可多功能套管钻机，或采用旋挖钻机施工。

1 钻孔咬合桩垂直度要求高，一般要采取垂直度自动测量措施，并宜采取导墙提高垂直度控制能力。

2 软切割工艺可通过保持取土面始终高于套管底口一定深度，或采用向套管内注入一定量的水，通过水压力来平衡前序桩混凝土的压力，避免管涌。

3 硬切割工艺成孔时应复核地下水对取土的影响。下压套管时，取土面应始终高于套管底口不小于 2.5m；终孔时取土面应高于套管底口不小于 1.5m；取土时遇承压水、特殊地质等影响时，取土面高于套管底口土体高度应根据试桩结果确定。

6.3.9 钢板桩有大企口和小企口之分，大企口自身防水性能较差。国内钢板桩施工精度差，多次使用锁口常常缺损和变形，导致锁口不能有效咬合和顺利沉桩，故要求使用前锁口修整到平直通顺，并通过套锁检查。为确保钢板桩隔水质量，沉桩前应在锁口内嵌填黄油、沥青或其他密封止水材料，提高锁口密封性。钢板桩沉桩方法有单桩打入法、屏风法等，采用屏风法施工误差不容易积累，质量容易保证；单桩打入法施工速度快但容易产生误差积累，导致不易闭合。

6.4 验收与运行维护

6.4.1 隔水帷幕是隐蔽工程，开挖前对其进行检验，尤其是深度和连续性是必要的。对于水泥土类和冰冻法，还要重视强度检测。对于地下连续墙，采取超声波检测深度和密实度；对于水泥土类隔水帷幕，采取浆液试块强度试验的方法检测其强度，应建立静力触探、标准贯入或动力触探等原位测试结果与试块强度试验结果的对应关系，也有根据试块强度结合原位试验方法综合检验。钻芯检验方法除检测芯样强度外，更直接检测深度和均匀

性。注意钻孔取芯完成后注浆填充。

6.4.2 对封闭式隔水帷幕，预先进行坑内抽水试验检查隔水帷幕质量是个简单有效的方法，结合坑外水位观测孔水位变化能初步检验隔水帷幕质量。

6.4.3 隔水帷幕刚开挖暴露出来时，水泥土和土体还有一定的结构强度，出现小渗漏好堵，但若延误时间，结构强度破坏，漏点会越来越大，堵漏工作会越发困难，故小漏点应及时堵漏。宜采取挂网喷射混凝土对桩间土分层进行加固处理。

6.4.4 土钉、锚杆应采取钻孔方式在隔水帷幕上开孔。在高水位、渗透系数大的土层中开孔应采取预防措施减少开孔时的水土流失，如双套管钻进，或采取掩护式开孔；开孔后注浆应根据已流失的土体补足水泥浆量，并应采取快硬性水泥砂浆等及时修复杆体与隔水帷幕间缝隙。

在粉土和砂土土层中，采取连续性隔水帷幕、嵌入型隔水帷幕时，宜增加挂网喷射混凝土对桩间土分层进行加固处理，这种方法能有效加固隔水帷幕，减少渗漏风险。

7 回　　灌

7.1 一 般 规 定

7.1.1 地下水回灌按回灌目的分主要有两种。一种是资源性回灌，即以保护水资源为主要目的；另一种是工程性回灌，主要以防止地下水位下降引起周边工程环境问题为目的。本章内容以工程性回灌为主。

7.1.2 地下水回灌的方法主要有地面入渗法和井灌法。地面入渗法包括渗坑入渗法和渗渠入渗法；井灌法包括管井回灌法和大口径井回灌法等。

7.1.3 大口井回灌或渗坑回灌一般采用自然状态下的重力回灌。当重力回灌无法满足回灌要求时，可考虑进行加压回灌，加压回灌要充分考虑回灌系统是否满足受压要求以及回灌含水层的渗透系数和储水系数，并要考虑加压可能对周边环境带来的影响。

7.1.4 同层回灌是防止进一步恶化地下水水质的有效方法；回灌水源要求和回灌目的含水层的地下水为同一类水质或更好；当回灌目标含水层与饮用地下水联系较紧密时，本条要求控制回灌水源的水质达到现行国家标准《地下水质量标准》GB/T 14848有关饮用水水质标准的要求。

7.2 回 灌 设 计

7.2.3 在基坑降水影响范围内进行浅部含水层回灌工作时，地面沉降剖面线和监测剖面应包括降水影响范围的纵、横两个方向。通常情况下，降水井间距密集地面沉降较大，影响范围较大较远，回灌井应布置在降水井密集的范围内或临近范围附近。

当含水层厚度有限时，降水引起的环境影响比较迅速，而回灌恢复水位具有一定的滞后性，需采取必要的预防措施。

7.2.5 在整个透水土层中，井管上部的滤水管从常年地下水位以上 0.50m 处开始，设置目的在于使回灌恢复的水位尽量与常年地下水位保持一致，过滤器的长度大于降水井过滤器的长度的目的是使水迅速回灌进地下，减少降水不利影响。

通常回灌砂井中的砂是纯净的中粗砂，不均匀系数和含水量均应保证砂井有良好的透水性，使注入的水尽快向四周渗透；回灌砂井的灌砂量过多或含泥量过大，将影响水向四周渗透效果。

回灌井成井结构示意图如图 1 所示。

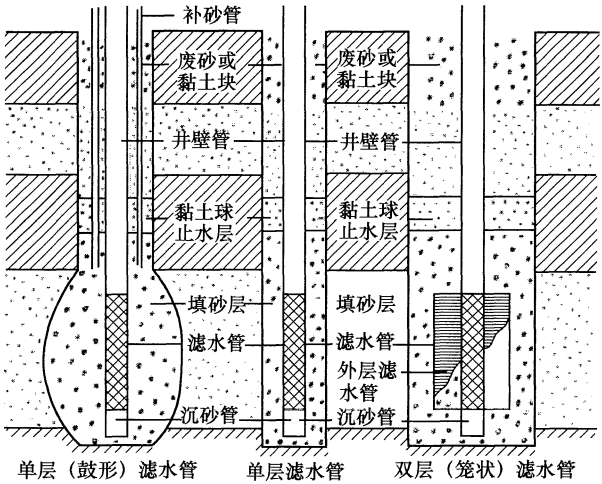


图 1　回灌井成井结构示意图

7.3　回 灌 施 工

7.3.1 回填的过滤砂层之上填筑高膨胀性止水黏土球，目的在于增强回灌效果和预防不符合水质要求的地表水渗入。

8 监　　测

8.1 一 般 规 定

8.1.1 由于岩土条件、地下水变化有较大不确定因素，容易发生难以预料的突发事故情况，通过监测可以较早发现异常情况，及时采取对策，防止或减少事故发生。监测的项目应根据地下水控制方法等进行选择。顶部指帷幕顶部、坑侧地面。

工程环境泛指基坑开挖影响范围内的建（构）筑物、市政道路、地下管线、河湖、需保护的树木等诸多环境因素。

8.1.2 本条是监测工作的基本要求。

8.1.3 监测过程中出现异常情况时进行预警，是监测的目的之一。通过预警及时采取相应对策，达到保障施工和保护环境的目的。

8.2 地下水位监测

8.2.1 水位监测方式有人工监测和自动监测。自动监测方便、准确，效率高，是监测的发展方向，应尽可能采用自动监测方法，有利于可能产生的异常得到实时有效的识别和控制。

地下水位监测可以通过水位仪或孔隙水压力二次仪表进行。通常敞口式地下水位观测孔的监测精度低于±100mm/100m，孔隙水压力计监测精度低于±1%。

孔隙水压力多用于渗透性差的地层。渗透性好的地层与水位观测效果相同。

8.3 出水量和含砂量监测

出水量、含砂量及其变化可以间接影响地下水控制工程设计、施工和运转是否有效。

8.4 水质监测

地下水控制诸方法中，多层降水、渗井降水、地下水回灌容易造成地下水污染，水质监测是地下水控制水质监控的一个重要方面，且贯穿整个过程。

8.5 变形观测

保障地下水控制期间基坑支护体系稳定、保障周围环境，是地下水控制的目标之一。为了掌握在运行期间的变化，要对需保护的建（构）筑物、地下管线进行变形观测。

8.6 巡视检查

巡视检查应由有经验的监测人员负责，巡视检查主要以目测为主，辅以简单的工具，检查方法速度快、简便、经济、有效，可以及时弥补仪器监测的不足。巡视检查应与仪器监测结果对照，发现任何异常，均应引起足够的重视并与仪器监测资料进行比对，及时预警。巡视情况应做好记录。