

CECS ×××:××××

中国工程建设协会标准

地下结构排水减压抗浮设计标准

Technical code for anti-buoyancy design by drainage of building

**（征求意见稿）**

**前 言**

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2019年第二批协会标准制定、修订计划>的通知》(建标协字[2019]22号文)的要求，编制组经广泛调查研究，认真总结国内地下结构排水减压抗浮技术的实践经验和科研成果，参考相关标准规范，并在广泛征求意见的基础上，制定了本标准。

本标准的主要技术内容是：总则、术语、符号、基本规定、抗浮水文地质勘察、水浮力计算及抗浮稳定性验算、截水帷幕、排水减压抗浮、邻近建筑物沉降计算、联合抗浮、质量检测与地下水监测、附录等。

本标准由华南理工大学与广州市建筑科学研究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和建议，请寄送广州市建筑科学研究院有限公司（地址：广州市白云大道北833号建研大厦，邮编：510440，Email：39870229@qq. com）

**主编单位：**

**参编单位：**

**本规范主要起草人员：**

**本规范主要审查人员：**

**目 次**

[1 总则 1](#_Toc480202821)

[2 术语、符号 2](#_Toc480202822)

[2.1 术语 2](#_Toc480202823)

[2.2 符号 3](#_Toc480202824)

[3 基本规定 6](#_Toc480202825)

[3.1 抗浮勘察要求 2](#_Toc480202823)

[3.2 抗浮设计要求 2](#_Toc480202823)

[3.3 抗浮施工要求 2](#_Toc480202823)

[3.4 检测与监测要求 2](#_Toc480202823)

[4 抗浮水文地质勘察 9](#_Toc480202826)

[4.1 一般规定 9](#_Toc480202827)

[4.2 水文地质勘察 10](#_Toc480202828)

[5 水浮力计算及抗浮稳定性验算 12](#_Toc480202829)

[5.1 设防水位确定 12](#_Toc480202830)

[5.2 水浮力计算 12](#_Toc480202831)

[5.3 抗浮稳定性验算 15](#_Toc480202832)

[5.4 抗浮措施 15](#_Toc480202832)

[6 截水帷幕 20](#_Toc480202834)

[6.1 一般规定 20](#_Toc480202835)

[6.2 地下连续墙 20](#_Toc480202836)

[6.3 搅拌桩 27](#_Toc480202838)

[6.4 旋喷桩 27](#_Toc480202838)

[6.5 灌浆帷幕 27](#_Toc480202838)

[7 排水减压抗浮 28](#_Toc480202839)

[7.1 一般规定 28](#_Toc480202840)

[7.2 无砂混凝土配合比 28](#_Toc480202841)

[7.3 减压井 28](#_Toc480202841)

[7.4 排水廊道 30](#_Toc480202842)

[7.5 反滤层 33](#_Toc480202843)

[7.6 回灌井 33](#_Toc480202843)

[**8 邻近建筑物沉降 34**](#_Toc480202844)

[8.1 排水引起的沉降 33](#_Toc480202843)

[8.2 总沉降 33](#_Toc480202843)

[9 联合抗浮 35](#_Toc480202845)

[9.1 一般规定 33](#_Toc480202843)

[9.2 抗浮桩 33](#_Toc480202843)

[9.3 抗浮锚杆 33](#_Toc480202843)

[9.4 地下室底板 33](#_Toc480202843)

[10 质量检测与地下水监测 35](#_Toc480202845)

[10.1 一般规定 28](#_Toc480202840)

[10.2 质量检测 28](#_Toc480202840)

[10.3 地下水监测 28](#_Toc480202840)

[10.4 工程验收 28](#_Toc480202841)

[附录A 地下水类型与岩土体渗透等级划分 37](#_Toc480202846)

[附录B 坡地地形阻力系数 39](#_Toc480202847)

[附录C 水文地质参数试验方法 43](#_Toc480202848)

[附录D 无砂混凝土渗透系数测试方法 44](#_Toc480202849)

[附录E 反滤层级配计算方法 46](#_Toc480202850)

[本规程用词说明 49](#_Toc480202851)

[引用标准名录 50](#_Toc480202852)

[条文说明 51](#_Toc480202853)

1 总则

1.0.1 为了在建筑工程及市政工程排水减压抗浮设计中贯彻执行国家技术经济政策，做到安全适用、技术先进、经济合理、保护环境，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于建筑工程及市政工程以排水减压为主要方法的抗浮设计、施工及检测与监测。

**1.0.3** 工程抗浮应综合考虑上部结构荷载特征与功能要求、场地工程地质与水文地质条件及环境保护要求等因素，结合地方经验，因地制宜确定抗浮方案。

1.0.4建筑工程及市政工程的排水减压抗浮设计、施工以及检测与监测，除应符合本标准的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

2 术语、符号

**2.1 术语**

2.1.1 地下水浮力 ground water buoyancy

地下结构受到的竖向水压力作用。

2.1.2 联合抗浮 combined anti-buoyancy method

采用排水减压方法并结合抗拔桩、抗浮锚杆等措施抗浮。

2.1.3 抗浮稳定性 anti-buoyancy stability

建设工程在地下水浮力作用下的稳定性。

2.1.4 地下水水头 hydraulic head

数值上是基于某个基准面的地下水可以达到的高度，可以用来表示单位重量的地下水对某一基准面的位置能量。

2.1.5 地下水水位 groundwater level

在地下以潜水形式存在的水体的表面高程，对于承压情况时是指在测管（孔）中测得的水面高程。

2.1.6 抗浮设防水位 Anti-Buoyancy water level

保证抗浮安全和经济合理的场地地下水水位。

2.1.7 地下水渗流 groundwater seepage

地下水在地下多孔介质中的运动。

2.1.8 承压含水层 artesian aquifer

两个相对弱透水层之间充满地下水的含水层。

2.1.9 无砂透水混凝土 non-fines concrete

采用粗骨料、水泥和水拌制的多孔强透水性混凝土。

2.1.10 排水减压抗浮 Anti-Buoyancy by drainage

通过排水减少水浮力的抗浮措施。

2.1.11 截水帷幕 curtain for cutting off drains

用于阻截或减少基坑侧壁及地下室底板以下地下水流入基坑而采用的连续封闭截水体。

**2.1.12** 地下水控制 groundwater control

为保证地下工程施工及运营全寿命周期内和周边环境的安全而采取的排水、降水、截水和回灌等措施。

**2.1.13** 抗浮板 slab against uplift

保证工程使用功能、承担浮力作用而设置的具有防水、防渗功能的板状结构，或地下结构底板。

**2.1.14** 减压井 relief well

为降低地下水头压力、控制地下水水位升高不超过设防水位标高而设置的具有透水功能的管井或集水井。

**2.1.15** 排水廊道 drainage corridor

为降低地下水头压力、控制地下水水位升高不超过设防水位沿地下结构周边一圈设置具有透水功能的自流排水结构。

**2.1.16** 疏水层 drainage layer

设置在地下结构底板下部或地下工程外部层状结构疏水层，沿底板以下或地下结构四周铺设一层碎石或砾石层。

**2.1.17** 排水盲沟 drainage blind ditch

设置在地下结构底板下部或地下工程外部呈纵横交错排列的暗沟，沟中充填碎石或砾石，起积聚和疏排地下水作用。

**2.1.18** 排泄沟 drainage ditch

积聚和疏排地表水或地下水、控制地下水水位升高而设置的沟、涵、管等设施。

**2.1.19** 无黏性土 cohesionless soil

粒径小于0.005mm黏粒含量（质量）不大于3%、塑性指数不大于3、颗粒间不具有黏结力的土。

**2.2.20** 砾石土 gravelly soil

含有碎石、砾石、砂、粉粒、黏粒等组成的宽级配土。有冰碛的、风化的和开挖的风化岩石经碾压后形成的及人工掺合的各种砾石土。

**2.2 符号**

2.2.1 作用和作用效应

*G*——计算区域的建筑结构自重、附加物自重、抗浮结构及构件抗拔力特征值总和；

——桩自重标准值；

*N*t——荷载效应的基本组合下锚杆承担荷载标准值；

*N*wk——计算区域的水浮力标准值总和；

——荷载组合的效应（变形）设计值；

——结构构件抗力的设计值；

——竖向永久荷载标准值Gk的效应；

——抗浮设防水位的水压力标准值计算的荷载效应；

——抗浮设防水位的水浮力标准值计算的荷载效应值；

——地下工程自重及其上作用的永久荷载标准值的总和；

p——某点的单位水压力；

——荷载标准组合下抗裂验算边缘的混凝土法向应力；

——扣除全部预应力损失后，锚固构件混凝土有效压应力。

2.2.2抗力和材料性能

*C*——设计对变形规定的相应限值；

——锚杆杆体弹性模量；

、——普通钢筋、预应力螺纹钢筋的屈服强度标准值；

——结构构件抗力的设计值；

——抗浮单元中抗拔桩、抗拔锚杆抗拔力的特征值总和；

——桩侧土摩阻力特征值；

——单桩抗拔承载力特征值；

——单桩抗拔极限承载力标准值；

*——*锚杆抗拔承载力特征值；

——锚杆抗拔承载力极限值；

*Q*ct——单桩竖向抗拔承载力设计值；

——砂浆与第i层岩石间的粘结强度特征值；

*f*n——填芯混凝土与管桩内壁的粘结强度设计值；

——混凝土轴心抗拉强度标准值；

——钢筋与锚固砂浆间的粘结强度特征值；

、——普通钢筋、预应力螺纹钢筋的屈服强度标准值；

*γ*w——水的重度；

——第*i*层土的压缩模量。

2.2.3几何参数

*A*——计算区域的底板面积；

——普通钢筋锚杆杆体的截面面积；

——预应力钢筋的截面面积；

*Hs*——抗浮设防水位；

——第*i*层土底面水位降深；

——桩身周长；

——桩群外围周长；

——锚杆锚固段钻孔直径；

——锚筋直径；

——第*j*层土的厚度；

——锚筋与砂浆间的锚固长度；

——第i层岩体中锚固段长度；

——锚杆无粘结自由段长度；

——工程建设前场地稳定水面和降水漏斗面之间土体的沉降；

——降水漏斗面以下土体的沉降；

——排水引起的总沉降；

*U*m——管桩内孔圆周长；

——最大裂缝宽度；

——最大裂缝宽度限值。

2.2.4 渗流参数

*H*——水位及高程；

——初始地下水位；

——抗浮设计控制水位；

*ΔH*——水头差；

*h——*结构物计算点的水头；

*Δh——*水头损失；

——含水层过水厚度；

*ξ——*计算分段的阻力系数；

*——*截水帷幕的阻力系数；

*k——*含水土层的渗透系数；

——引用半径计算系数；

*B——*覆盖层宽度；

*L——*堤坝宽度的一半；

*n*——减压井数量；

*Q*——总流量；每延米廊道的排水量；

——廊道侧壁排水量；

——廊道底板排水量；

——单井允许出水量；

——整个地下室排水减压总排水量；

——初始地下水位；

——设计抗浮控制水位；

——井群降水影响半径；

——大井的引用半径；

*R0*——减压井外径或井中心至反滤层外缘的距离；

——水力坡降；

——减压井间距；

*Hw*——减压井井口高程及排水廊道出水高程；

*S*——减压井有效进水长度。

2.2.5计算系数

*Pv*——粗集料紧密堆积孔隙率；

*ρ*——按振实法测定的粗集料紧密堆积密度；

*ρa*——粗集料表观密度；

*ρg*、*ρc*、*ρw*——分别为粗集料、水泥和水的表观密度；

——结构重要性系数；

——永久荷载的分项系数；

——水压力作用的分项系数；

——抗拔桩安全系数；

——锚杆抗拔安全系数；

——锚杆钢筋抗拉安全系数；

——抗管涌安全系数；

*K*w——抗浮稳定安全系数；

——锚杆轴向刚度系数；

——抗拔摩阻力折减系数；

——防水结构板平均固端系数；

*Wwc*——无砂混凝土水灰比。

3 基本规定

3.1 抗浮勘察要求

**3.1.1**  建设场地岩土工程勘察应满足工程抗浮设计与施工需要。场地水文地质条件复杂及岩土工程勘察报告不满足抗浮设计需要时，应进行抗浮专项勘察。

**3.1.2** 勘察报告应提出施工期和使用期的抗浮设防水位建议。抗浮设防水位应根据工程使用功能、抗浮设计等级、场地历史最高水位和长期水位观测资料、水位预测咨询报告和当地经验等进行综合分析确定。

3.1.3地下水、土对建筑材料的腐蚀性等级划分应符合表3.1.3的规定，并按《岩土工程勘察规范》GB 50021的规定进行评价。

**表3.1.3 环境腐蚀性作用类型及等级划分**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 环境腐蚀性作用类型 | 环境腐蚀性作用等级划分 | | | |
| 地下水、土对混凝土结构的腐蚀 | 微腐蚀 | 弱腐蚀 | 中腐蚀 | 强腐蚀 |
| 地下水、土对钢筋混凝土结构中钢筋的腐蚀 |
| 地下水、土对钢结构的腐蚀 |

注：当地下水、土对建筑材料的腐蚀等级不一致时，应按腐蚀性高的等级设计。

3.2 抗浮设计要求

3.2.1 地下工程抗浮应根据工程地质和水文地质条件的复杂程度、地基基础设计等级、使用功能要求及抗浮失效可能造成的对正常使用影响程度或危害程度等划分为三个设计等级，按表3.2.1确定。

**表3.2.1 地下工程抗浮设计等级**

|  |  |
| --- | --- |
| 抗浮设计等级 | 工程特征 |
| 甲 级 | 水文地质条件复杂场地的工程；  设计地坪低于防洪设防水位或处于经常被淹没场地的工程；  对控制上浮、隆起及其裂缝等有特殊要求的工程；  对使用功能有特殊要求或涉及公共安全的地下室或地下空间；  抗浮失效危害严重的工程；  《建筑地基基础设计规范》GB50007规定设计等级为甲级的工程； |
| 乙 级 | 除甲级、丙级以外的工程 |
| 丙 级 | 抗浮失效对工程安全危害不严重的工程；  《建筑地基基础设计规范》GB50007规定设计等级为丙级的工程；  临时性工程。 |

3.2.2 地下工程的场地地貌一般可分为平地、坡地、洼地、临江四种类型，其划分应满足以下要求：

1平地：坡度小于或等于10%；

2 坡地：坡度大于10%的山前阶地、丘陵等；

3 洼地：周边地势高于建筑场地；

4 临江：建筑场地与江河湖泊等水体有明显水力联系。

注：1 大型地下工程综合体结构跨越多个地貌形态单元时，可分别按相应地貌单元分区进行设计；

2 场地存在岩溶、基岩裂隙水，采用截排减压抗浮设计对环境可能有影响时应专门论证。

3.2.3 地下结构在施工期间和使用期间可能受到地下水浮力作用时，应进行抗浮设计及稳定性验算。抗浮稳定性安全系数应按表3.2.3取值。

**表3.2.3 地下工程抗浮稳定安全系数**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 抗浮设计等级 | 施工期抗浮稳定安全系数*K*w | 使用期抗浮稳定安全系数*K*w |
| 甲级 | 1.05 | ≥1.05 |
| 乙级 | 1.00 | ≥1.05 |
| 丙级 | 1.00 | ≥1.00 |

**3.2.4** 地下结构的截排减压系统、永久抗拔锚杆及抗拔桩的设计使用年限不应少于地下结构的设计使用年限。

**3.2.5**  抗浮结构及构件设计采用的作用效应组合与抗力值应符合下列规定：

**1** 抗浮稳定性验算作用效应应按承载能力极限状态下作用的基本组合，其分项系数为1.0；

**2** 计算抗浮结构及构件内力，确定构件长度和直径、地下结构底板厚度和配筋及验算材料强度时，作用效应应按承载能力极限状态下作用的基本组合，相应的分项系数为1.35；

**3** 按单个抗浮构件承载力确定构件数量时，传至地下结构底板底面上的作用效应应按正常使用极限状态下作用的标准组合，相应的抗力应采用单个抗浮构件承载力特征值；

**4**  计算地下结构底板和抗浮结构及构件变形时，作用效应应按正常使用极限状态下作用的标准组合，并应符合下式规定：

*S*d ≤ *C* （3.2.5）

式中: *S*d——作用组合的效应（变形）设计值；

*C*——设计对变形规定的相应限值，可按相关结构设计标准和本标准的有关规定采用。

**5** 当需要验算抗浮构件、地下结构底板的裂缝宽度时，作用效应应按正常使用极限状态作用的标准组合，相应的分项系数为1.0。

3.2.6地下结构及构件验算应采用以概率理论为基础、以分项系数表达的极限状态法。水压力作用下，地下室底板及其他构件的抗浮承载能力极限状态验算应按下列表达式：

≤ （3.2.6-1）

 （3.2.6-2）

式中：——荷载组合的效应设计值；

——结构构件抗力的设计值；

——永久荷载的分项系数；当对抗浮有利时，不应大于1.0；

——水浮力作用的分项系数，一般可取1.2；当设计使用年限内最高地下水位或水头变化值较小时，分项系数可取1.0；

——永久荷载标准值Gk计算的荷载效应值；

——按抗浮设防水位确定的水压力标准值计算的荷载效应值。

注：组合中的效应设计值仅适用于荷载与荷载效应为线性的情况。

3.2.7水压力作用下，荷载标准组合的效应设计值应按下列公式计算：

1 地下底板及其他构件

 （3.2.7-1）

2 抗拔桩

 （3.2.7-2）

式中：——抗浮设防水位的水浮力标准值计算的荷载效应值。

注：组合中的效应设计值仅适用于荷载与荷载效应为线性的情况。

**3.2.8** 抗浮结构底板及构件设计应进行下列验算：

**1** 抗浮构件的受拉承载力、抗拔承载力及筋材受拉承载力计算；

**2**  地下结构底板及构件的整体稳定性验算；

**3**  地下结构底板和抗浮构件的变形、裂缝验算；

**4**  地下结构底板的抗冲切、抗弯、抗剪及局部受压承载力验算；

5 抗浮构件在受压工况下承载力验算。

**3.2.9** 抗浮设计应明确提出施工过程停止降水的条件及采取临时的抗浮措施要求。

**3.2.10** 当采用单一排水减压抗浮措施环境条件不允许或不经济时，可与抗拔桩、抗浮锚杆等措施联合使用进行抗浮。

* + - * 1. **3.0.17** 地下工程抗浮采用新方法、新技术、新工艺或新材料时，施工时应通过试验或专项施工方案论证。

3.3 抗浮施工要求

**3.3.1** 建筑及市政工程抗浮施工应根据场地工程地质和水文地质条件，综合地下结构底板形式、场地环境保护要求和抗浮设计文件等合理确定施工工艺，编制专项施工方案。

**3.3.2** 基坑支护及地下结构施工不得对截水帷幕、抗浮结构、构件及抗浮设施造成损害。

**3.3.3** 抗浮工程施工应采取下列措施：

1 地下结构以外地表周边一定范围内应设置混凝土等弱透水材料的封闭带，范围宜覆盖基坑肥槽边缘以外不小于1.0m；

2 场地地面应设置与排水系统连接的截水沟、排水沟；

3 基坑肥槽回填应采用黏性土、灰土、浇筑预拌流态固化土、素混凝土等弱透水材料，并分层夯实，满足压实度要求；

4 基底超挖土方宜采用混凝土等弱透水材料回填；

5 给水排水管道的接口、沟、涵等应采取防渗漏措施。

3.4 检测与监测要求

* + - * 1. **3.4.1** 地下结构抗浮应作为建筑及市政地基基础工程的分项工程进行施工质量检验和验收。

**3.4.2** 采用主动抗浮方法的工程及联合抗浮方法的工程应进行地下水位和抗浮稳定性长期监测；必要时应进行抗浮结构及构件的内力和变形监测。

4 抗浮水文地质勘察

**4.1 一般规定**

4.1.1抗浮水文地质专项勘察宜与设计阶段相对应的岩土工程勘察同步进行。抗浮水文地质条件的复杂程度可按表4.1.1确定。地下水类型与岩土体渗透等级划分可按本规程附录A执行。

**表4.1.1 水文地质条件复杂程度**

|  |  |
| --- | --- |
| 复杂程度 | 水文地质特征 |
| 复杂 | 1. 含水层岩性多样，含水层厚度和层面坡度变化大，含水层水力联系不明晰，地下水的补给、径流和排泄条件复杂； 2. 存在多层含水层、水力联系复杂； 3. 地下水动态变化复杂，如坡地、山谷、洼地、临江湖（河流）、滨海（潮水位高于场地）、暗浜等场地。 |
| 一般 | 其他 |

4.1.2 当建设场地地势低洼，应查明场地的排水情况，估算可能发生的积水高度及对抗浮设防水位的影响。

4.1.3对缺乏地下水位长期观测资料的区域，采用排水减压抗浮设计，在勘察阶段宜设置长期观测孔，对主要含水层进行水位动态观测。

**4.2 水文地质勘察**

4.2.1平地抗浮水文地质专项勘察应包含以下内容：

1根据场地所处地貌单元、地层结构、地下水类型和地下水位动态变化规律，预测设计使用年限内可能遇到的最高水位，抽水试验提供抗浮设计所需的各地层渗透系数；根据地下水位变化和抗浮设计等级提供总体或分区抗浮设防水位；

2判明底板及基础下是否存在承压含水层及承压含水层对地下水位的影响；

3分析预测工程施工及运营对地下水位变化的影响。

4.2.2坡地抗浮水文地质专项勘察应包含以下内容：

1查明分水岭位置、出溢点的位置及地下水位随地形的变动情况、地表水汇水面积、地表水与地下水的补给排泄关系；

2测定各含水层的水位、地下水流速和流向；

3分析工程建设引起的地下水渗流场及渗流压力变化，提供地下工程上下游的地下水水头；当整平场地挖方或填方量较大引起场地水文地质条件改变时，应评价由此引发的水位、地下水补给、径流、排泄等条件变化以及对周边环境的影响；

4 评价地下水变化对场地不同区段施工期间和使用期间的地质条件和水位的影响。

4.2.3临江场地抗浮水文地质专项勘察应查明水体与场地的水力联系情况。当有联系时，应查询当地水利资料，查明水库、江、河、湖、海等水体的水位逐年变动情况，预测该场地可能的最高和最低水位。

4.2.4岩溶发育场地专项勘察应符合下列规定：

1 经过预判，勘探线应布置在补给、径流、排泄区、可能渗漏及突水等地段；

2 应查明水文地质单元和岩溶水的流动方向、水位、流量、水质及其动态规律；

3 勘探深度应穿过溶洞分布区；

4应对区域分水岭、地表和地下岩溶形态、岩溶类型和富水性、水文地质单元边界、地下水的补给、径流及排泄部位等进行划分；

5 评价岩溶发育情况、水位波动引起的水压力变化及对工程的影响。

4.2.5 水文地质参数试验应符合下列规定：

**1** 基岩的渗透性测定宜采用钻孔压水试验；钻孔压水试验应按0.3MPa、0.6MPa和1.0MPa三级压力分五个阶段进行；

**2** 土层渗透性测定宜采用钻孔抽水试验，当孔内地下水位埋藏较深时可采用自由振荡法试验，含水量可采用提水试验，孔内无地下水时可采用注水试验；

**3** 承压含水层渗透性测定可采用放水试验，当其水位低于地面时可采用抽水试验；

**4** 水文地质条件复杂的场区可采用多孔抽水试验；

**5** 强透水断层破碎带、软弱夹层应做专门的渗透试验和渗透变形试验；

**6**  强烈渗透或集中渗漏带的渗流特性、实际流速和连通情况可根据需要采用钻孔压水试验结合地下水示踪试验。

4.2.6注水试验可在试坑或钻孔中进行。对砂土和粉土可采用试坑单环法，对黏性土可采用试坑双环法，试验深度较大时可采用钻孔法。

4.2.7压水试验应根据工程要求，结合工程地质测绘和钻探资料，确定试验孔位和按岩层的渗透特性划分试验段，并按需要确定试验的起始压力、最大压力和压力级数。

4.2.8抗浮设计等级为甲级的工程宜选择有代表性的位置进行简易抽水试验。抽水试验应符合下列规定：

**1** 抽水试验方法可按表4.2.8选用，水位量测应采用同一方法和仪器；

表4.2.8 抽水试验方法和适用范围

|  |  |
| --- | --- |
| 试　验　方　法 | 适　用　范　围 |
| 钻孔或探井简易抽水 | 粗略估算弱含水层的渗透系数 |
| 不带观测孔抽水 | 初步测定含水层的渗透系数 |
| 带观测孔抽水 | 较准确测定含水层的各种参数 |

**2** 抽水试验宜采用三次降深，最大降深应接近工程设计所需的地下水位降深标高；

**3** 涌水量与时间关系曲线、水位与时间关系曲线波动幅度较小时认为已经稳定；

**4** 抽水结束后应量测恢复水位。

4.2.9 勘察报告应包括下列内容：

**1** 场地区域气象与水文地质条件，历史最高地下水位，地下水长期监测等资料分析；

**2** 地下水类型和勘察期水位及其动态变化规律，补给与排泄条件、与地表水的水力联系，水位变化影响因素及趋势分析，提供各地层渗透系数；

**3** 存在不同类型地下水时，应分别提供不同类型地下水的水位、混合水位及相互影响；

**4** 承压含水层、渗流场地产生潜蚀、管涌、隆起等破坏的可能性分析；

**5** 施工引起地下水位、补给、径流、排泄等条件变化，对周边环境产生的危害分析；

**6** 提供抗浮设计所需参数及抗浮设防水位建议值；

**7** 提出抗浮方案建议。

5 水浮力计算及抗浮稳定性验算

**5.1 设防水位确定**

5.1.1 使用期内抗浮设防水位*Hs*应取设计使用年限内可能的最高水位。不得采用勘察期间实测的地下水水位。

5.1.2 当无工程设计使用年限内最高水位时，无承压水的平地类型，抗浮设防水位可取室外地坪；有承压水的平地类型，抗浮设防水位取潜水水位和承压水头较大值，潜水水位可取室外地坪；当室外地坪有坡度时，可分段确定抗浮设防水位。

5.1.3 坡地类型抗浮设防水位应根据上下游水头、分水岭、雨水补给、地质分布情况、地下室分布、基坑止水帷幕等综合确定。

5.1.4 场地地势低洼且有可能发生淹没、浸水时，应采取可靠的地表防、排水措施。抗浮设防水位应根据地质条件、积水深度、内涝时间及积水下渗等因素确定。

5.1.5 不可能淹没的较小台地、分水岭等，当地表防水、排水条件较好时，抗浮设防水位可取丰水期地下水最高水位。

5.1.6 采用排水廊道抗浮方法，抗浮排水控制水位可取至地下室底板排水面的标高；采用减压井抗浮方法，抗浮排水控制水位可取至地下室底板排水面的标高。

5.1.7场地及其周边或场地竖向设计的分区标高差异较大时，宜划分抗浮设防分区，采用不同的抗浮设防水位。不同竖向设计标高的上一级分区地下水可向下一级标高分区自行排泄时，下一级抗浮设防水位可取相邻上一级自行排泄标高的高程。

5.1.8 抗浮设防分区按下列要求划分：

**1** 跨越多个地貌单元、地下水存在水力坡降的场地可根据地质条件分区；

**2** 场地内有几个竖向设计标高区时，可按竖向设计标高分区；

**3** 原始地形、地层分布和水文地质条件等变化较大的场地，可按工程结构单元分区。

5.1.9施工期抗浮设防水位应取下列水位的最高值：

**1** 勘察期间获取的场地稳定地下水水位，应考虑施工期可能跨越雨季及台风暴雨季节的最不利工况水位；

**2** 咨询报告提供的施工期最高水位；

**3** 采取地下水控制方案时，应考虑暴雨时地下水补给量的最不利工况水位；

**4** 场地近5年内的地下水最高水位；

**5** 按当地方经验确定的最高水位。

**5.2 水浮力计算**

5.2.1 抗浮设计时地下结构底板底面水浮力标准值应按下式确定:

(5.2.1)

式中：*p*——某点的单位水浮力标准值（kN/m2）；

*H*s——根据抗浮设防水位及采取的排水减压措施，计算得到的底板下的水头分布（m），可按本规程第5.2.2-5.2.5条的相关规定计算；

——水的重度（kN/m3）；

——地下室底板底面高程（m）。

5.2.2 水头取值计算，在未减压情况下，可按本规程第5.2.3-5.2.6条计算。

5.2.3 在平地环境下，可按以下三种方式进行水头的取值：

1 地下室位于单一土层中，水头为常数，取使用年限内最高潜水水位高程*H*0。

2 地下结构底板位于承压含水层中，水头取使用年限内最高承压水头*H*1。

3 地下结构底板位于承压含水层上方的弱透水层中(图5.2.3)，边跨水头*H*M（底板下弱透水层厚度范围）按层间垂直渗流方式进行计算，其他部位水头*H*L按承压层水头取，即

(5.2.3-1)

*H*L = *H*1  (5.2.3-2)

式中：HO——使用年限内最高潜水水位高程，无经验时可取至设计室外地坪标高；

H1——使用年限内最高承压水水位高程；

D——为地下室进入弱透水层的深度；

M——为地下室底板下弱透水层厚度。



图5.2.3 地下结构底板水头计算示意

5.2.4 位于坡地的地下结构物(图5.2.4)，其底板下特征点的水头值*hi*可采用式（5.2.4）计算。



图5.2.4 坡地地下结构水头计算示意

 （5.2.4）

式中：*hT——*计算断面上游位置处的水头值，（m）；

*hB——*计算断面下游位置处的水头值，（m）；

*Δh*——计算断面上的总水头差（m）；

*hi——*第*i*计算分段下游端的水头值（m），即*h0*= *hT*，… …，*hn =hB*；

*Δhj——*第*j*计算分段两端间的水头损失（m）；

*ξj——*第*j*计算分段的阻力系数，计算方法见附录B；

*kj——*第*j*计算分段土层的渗透系数（m/d），含有多层土时取结构物底板所在土层的渗透系数，应由现场抽水实验确定，当无实验资料时可参考表5.2.4取值；

*i——*从高水头位置开始起算的第*i*分段，*i*=0,1,2…n，*n*为总分段数。

**表5.2.4 各类型土的渗透系数**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 类型 | *k*(m/d) | 类型 | *k*(m/d) |
| 砾卵石 | 80 | 粉细砂 | 5~8 |
| 砂砾石 | 45~50 | 粉砂 | 2~3 |
| 粗砂 | 20~30 | 砂质粉土 | 0.2 |
| 中粗砂 | 22 | 砂质粉土-粉质黏土 | 0.1 |
| 中砂 | 20 | 粉质黏土 | 0.02 |
| 中细砂 | 17 | 黏土 | 0.001 |
| 细砂 | 6~8 |  |  |

5.2.5 临近江河地形条件下，如图5.2.5所示，位于下游段覆盖层下任一点的水头*h*J可按式（5.2.5-1）计算。得到*h*J后，根据结构物是否进入强透水层，采用本规程第5.2.3条第2款或第3款的方法计算结构底板处的水头。



图5.2.5 临江、临河地层构造

 (5.2.5-1)

 (5.2.5-2)

； (5.2.5-3)

； (5.2.5-4)

式中：*hJ——*覆盖层底面距离下游堤脚距离为*x*处的水头值（m）；

*h1——*上游江面的水头值，取设计使用年限内的最高洪水位（m）；

*h2*——上游堤脚的水头值，根据设计使用年限内的最高洪水位计算得出（m）；

*h3——*下游堤脚的水头值，根据设计使用年限内的最高洪水位计算得出（m）；

*h4——*远端透水层尖灭处的水头值，可取地面高程（m）；

*B1——*上游河床覆盖层宽度（m）；

*B2——*下游堤脚至远端透水层尖灭处的宽度（m）；

*L——*堤坝宽度的一半（m）；

*x——*下游段任一点距堤坝中心线的距离（m），；

*M1——*上游覆盖层厚度（m）；

*M2——*透水砂层厚度（m）；

*M3——*下游覆盖层的厚度（m）；

*k1——*上游覆盖层的渗透系数（m）；

*k2——*透水砂层的渗透系数（m/d）；

*k3——*下游覆盖层的渗透系数（m/d）。

5.2.6 对地形条件复杂的地下工程，宜通过渗流分析计算水浮力。

**5.3 抗浮稳定性****验算**

5.3.1 有地下水作用的地下结构，在设计时应进行抗浮稳定性验算。

5.3.2 地下结构的每一个抗浮单元应按式（5.3.2）进行抗浮稳定性验算。抗浮稳定性及抗拔构件的承载力验算可采用安全系数法，并应符合下式规定：

*G*／*N*wk≥ *K*w （5.3.2）

式中：*G*——计算区域的建筑结构自重、附加物自重、抗浮结构及构件抗拔力特征值总和（kN）；

*N*wk——计算区域的水浮力标准值总和（kN）；

*K*w——抗浮稳定安全系数，按本标准表3.2.3确定。

5.3.3 作用在地下结构上水浮力标准值总和按式（5.3.3）计算确定：

*N*wk=*pA* （5.3.3）

式中：*p*——浮力标准值总和（kN/m2），按本标准式5.2.7计算；

*A*——计算区域的底板面积（m2）。

5.3.4 施工期抗浮力包括下列作用：

1 包括地下结构底板在内的不同施工阶段的结构自重；

2 结构顶板上填筑材料自重及地下结构底板外挑结构上的填筑材料自重；

**3** 底板无外挑结构时地下结构外墙与其接触的填筑材料之间的总侧摩阻力特征值。

5.3.5 使用期抗浮力标准值包括下列作用：

1 包括地下结构底板在内的结构自重；

2 结构上部、地下结构底板外挑结构上的填筑材料自重；

3 地下结构底板和上部结构上的固定设备及永久堆积物的自重；

4 与地下结构连接的结构或构件提供的抗拔力特征值。

5.3.6 地下结构内部底板上填筑材料荷载标准值应按天然重度进行计算；结构上部、地下结构外墙挑出结构上的填筑材料自重标准值，抗浮设防水位以下应按饱和重度计算，抗浮设防水位以上应按天然重度计算。

5.3.7地下结构底板、上部结构层上固定设备等的自重标准值应采用设备铭牌标示重量。

5.3.8无外挑结构地下外墙与接触填筑材料之间的侧摩阻力特征值可参考桩基规范相应土层摩阻力特征值计算。

5.3.9 当地下水浮力作用中心与结构竖向荷载作用中心不重合时，尚应考虑偏心对地下结构的抗浮稳定性影响。

**5.4 抗浮措施**

5.4.1 选择抗浮方案前，应收集场地岩土工程勘察资料、水文地质资料、周边的环境条件、上部结构与基础设计资料、当地相似场地的抗浮方案等。应根据结构类型、水浮力大小、地层结构、土质条件、地下水特征、环境条件和对邻近建（构）筑物、道路和管线的影响等因素综合分析，确定合理的抗浮方案。

**5.4.2** 基坑及地下结构施工完成及回填前，应考虑暴雨洪水等极端天气影响，确保有足够的临时排水能力。

5.4.3 当场地周边环境条件允许时，可采用减压井、排水廊道、排水盲沟等截、排水减压抗浮方案。

5.4.4 平地类型可采用截水帷幕、减压井及疏水层排水减压措施降低水头，将地下水位控制在减压井排水口标高。

5.4.5 坡地建筑可采用排水廊道自流排水减压措施降低水头。

5.4.6 临江临河汛期超高水位场地，可采用排水廊道、减压井及疏水层排水减压渡汛措施降低水头。

5.4.7 施工阶段可采用临时降水、排水措施，将地下水位控制在底板下。

5.4.8 水浮力与自重相差较小的地下结构，可采用自重、顶板压重及底板压重等配重法抗浮措施。

5.4.9 采用桩基础时，宜将抗压桩兼作抗浮桩设计，并分别进行不同工况下的计算和验算。

5.4.10 采用独立基础或筏板基础的地下结构或底板面与基岩面距离小的地下结构，可采用抗拔锚杆进行抗浮。

5.4.11 当基坑支护结构采用排桩或地下连续墙时，可将支护桩或地下连续墙兼作抗浮结构，支护结构应按永久结构设计，并与地下结构可靠连接。

## 6 截水帷幕

**6.1 一般规定**

**6.1.1** 地下结构抗浮采用地下水的控制方法应根据场地工程地质、水文地质、周边环境要求结合基坑支护和基础设计方案综合确定，常用的地下水控制方法有排水、截水、降水和回灌，宜组合使用。当地下水下降可能造成地下结构周边环境下沉影响时，可在截水帷幕外围增加回灌井。

**6.1.2** 截排水方案设计应符合下列要求：

**1** 截水帷幕应采用沿地下结构周边闭合的平面布置形式；

**2** 当地下结构底板以下有强透水砂层时，特别是底板下埋藏有承压水时，截水帷幕设计应穿过强透水层和承压含水层；

**3** 当地下结构底板进入断裂破碎带或裂隙发育含水丰富的基岩时，尚应注浆设置水平帷幕封底，封底灌浆帷幕厚度应根据渗流计算和工程经验综合确定，灌浆帷幕厚度应大于2000mm；

**4** 水泥土搅拌桩截水帷幕的厚度宜不小于800mm；

**5** 地下连续墙截水帷幕的厚度宜大于600mm；

**6** 在地下结构底板下宜设置排水减压井、疏水盲沟和排水管，利用排水管将全部减压井连接成整体。

**7** 截水帷幕渗透系数应小于5×10-5cm/s。

**6.1.3**地下水截水措施可采用地下连续墙、搅拌桩、高压旋喷桩或高压摆 （定）喷墙等相互搭接形成的连续截水帷幕截水。设计应考虑施工允许误差对搭接的影响，确保截水帷幕形成连续的截水墙。

**6.1.4** 截水帷幕应进行底板底抗管涌验算。当底板底存在透水层时，应进行抗管涌验算。如图6.1.4,抗管涌可按下式验算：

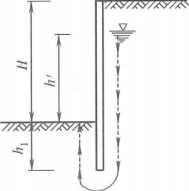


图6.1.4 基底抗管涌验算简图

(6.1.4)

式中——抗管涌安全系数，可取不小于1.5；

——地下室外侧地下水位至地下室底板底的距离(m)；

*——*路径上土的加权浮重度(kN/m3)；

——地下水的重度(kN/m3)。

**6.1.5** 截水帷幕在基坑开挖前宜进行抽水试验，检验截水帷幕的有效性。

**6.1.6** 地下连续墙等隔水帷幕与地下结构外墙之间应采用素混凝土填筑。

**6.1.7** 对基坑周边积水区面积大或位于山地的建筑物，基坑周边应设置地表水的截排措施。地面排水沟、截水沟和沉淀池应设置在截水帷幕的外侧。截水帷幕与地下结构外壁之间地面应采取防止地表水渗漏地下的措施。

**6.1.8** 采用排水减压抗浮时，截水帷幕不宜被锚杆、土钉打穿。截水帷幕被打穿穿时，应有可靠的止水封堵措施。

## 6.2 地下连续墙

**6.2.1** 地下连续墙截水帷幕适用于开挖深度较大、地质条件复杂、周边环境对变形要求严格的地下工程。地下连续墙可兼作地下结构侧壁的一部分。当地下连续墙兼作主体结构一部分时，尚应考虑上部建筑物的竖向荷载。

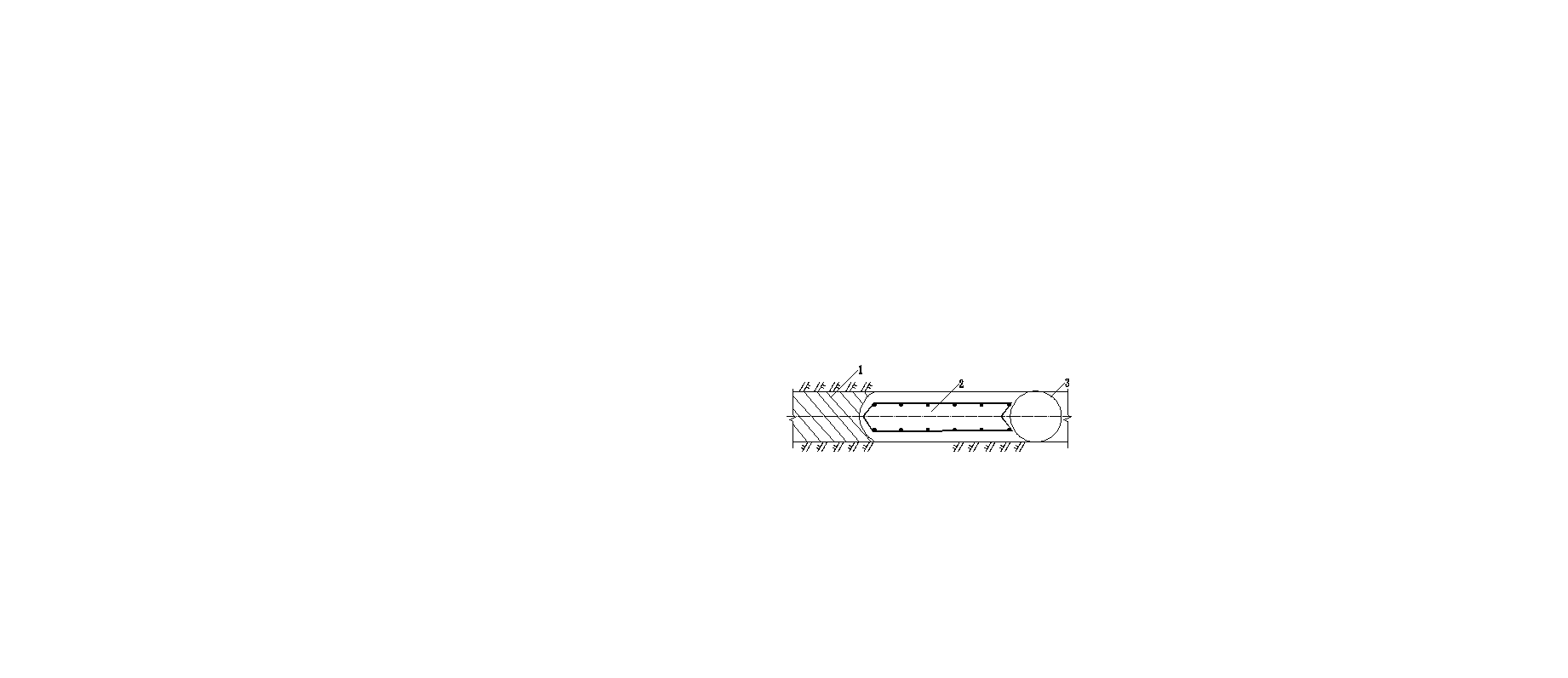
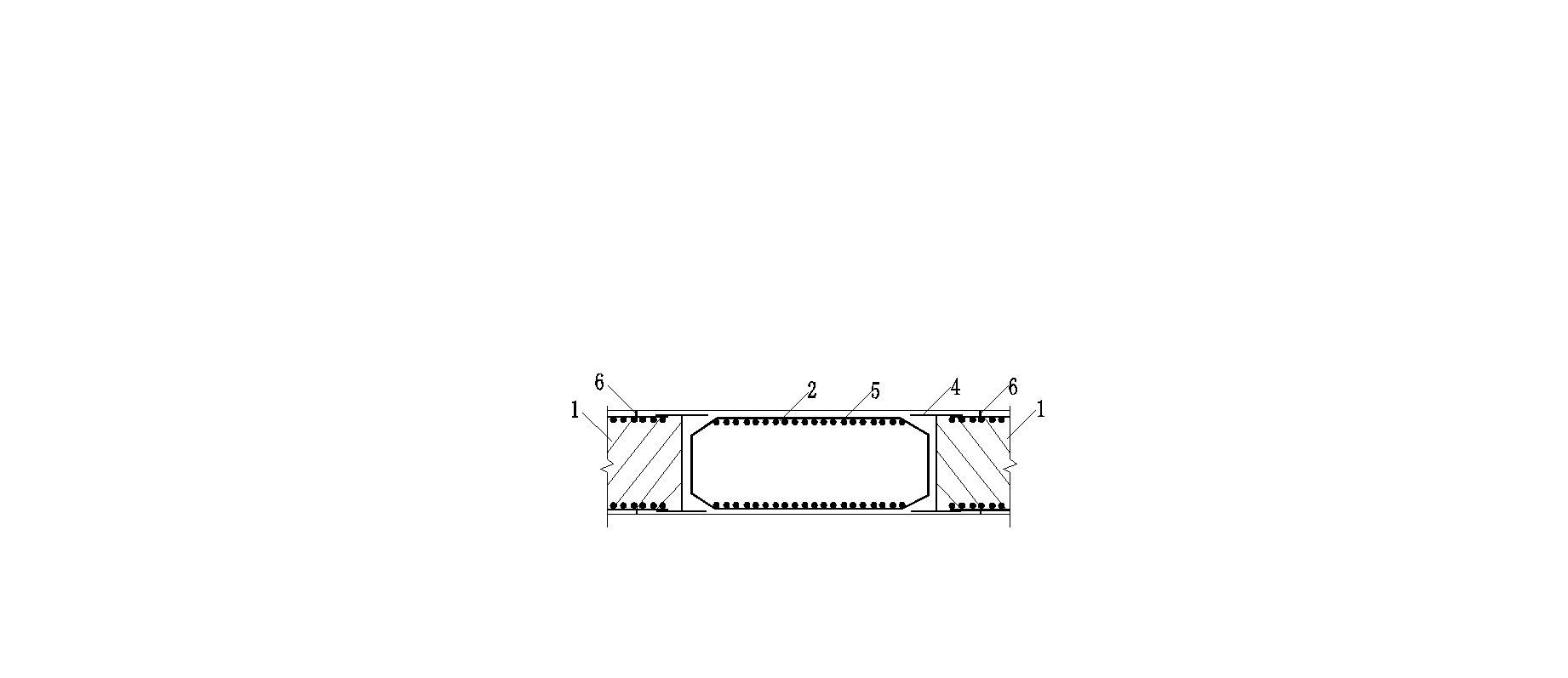
当地下连续墙兼作主体结构的一部分时，除应满足主体结构的相关要求外，尚应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010验算墙的截面承载力及裂缝宽度，其裂缝宽度在基坑外侧不应大于0.2mm，在基坑内侧不应大于0.3mm。

**6.2.2** 地下连续墙单元槽段的平面形状有一字形、L形、T形等。地下连续墙的厚度常用为600mm～1500mm。与地下主体结构的连接方式有：叠合式、复合式、分离式和单一式，其中叠合式、复合式、分离式通称复合型。

**6.2.3** 当地下连续墙作为基坑支护结构使用时，应按现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ120等进行设计。

**6.2.4** 地下连续墙嵌入坑底以下的深度，应满足基坑抗隆起稳定要求、抗渗流稳定要求。当基坑底以下有承压水或基坑底部附近具有产生渗流条件时，地下连续墙应穿过承压水层形成落底式帷幕。

**6.2.5** 地下连续墙墙段之间常用的纵向连接形式有工字形型钢接头、V形钢板接头、圆形锁口管接头等柔性接头形式（图6.2.5）。当对墙段接头防渗要求较高时，宜采用工字形型钢接头。



（a）工字形型钢接头 （b）圆形锁口管接头

图6.2.5 地下连续墙柔性接头

1-先行槽段 2-后续槽段 3-圆形锁扣管 4-工字钢接头 5-地下连续墙钢筋 6-止浆板

**6.2.6** 地下连续墙截水帷幕的混凝土及构造应符合下列要求：

**1** 水下浇筑混凝土的强度等级不宜低于C30，抗渗等级不宜小于P6；

**2** 地下连续墙只作截水帷幕时，可以采用素混凝土墙；

**3** 兼作支护结构或永久结构时应布置受力钢筋笼，钢筋笼纵向受力钢筋的接头不宜设置在受力较大处。受力钢筋宜采用HRB400级以上，直径不宜小于20mm；构造钢筋可采用HPB300级钢筋或HRB335级钢筋，直径不宜小于14mm；纵向钢筋的净距不宜小于75mm，构造钢筋的间距不应超过300mm；纵向受力钢筋中至少应有一半数量的钢筋通长配置，一个单元槽段的钢筋笼宜装配成整体；

**4** 地下连续墙中钢筋保护层厚度不宜小于70mm；

**5** 地下室底板、楼板在地连墙上的预埋插筋直径不宜大于20mm，并应采用HRB335级和HRB400级钢筋；当预埋插筋直径大于20mm时，宜采用机械连接。

**6.2.7** 施工时地下连续墙的单元槽段的划分应考虑平面形状，槽段长度应根据地层条件、开挖深度及周边环境保护要求等因素，槽段长度宜为4～6 m。

**6.2.8** 成槽施工应符合下列规定：

**1** 地下连续墙的成槽设备应根据工程地质、场地环境、泥浆处理等确定，可采用液压抓斗、铣槽机、冲（钻）孔桩机、旋挖钻机等。

**2** 当临近有建筑物和重要管线时，宜适当减少槽段长度，且挖槽宜相隔1～2段跳段进行，从成槽到混凝土浇筑完成的累计槽壁暴露时间不宜超过24小时。

**3** 槽段之间的接头应采用专用钢丝刷进行刷壁。

**4** 成槽中遇到斜孔、塌孔及泥浆流失等情况时，应暂停施工，采取措施后方可继续施工。

**5** 挖槽后，应检查槽深、槽壁垂直度，合格后方可清槽。

**6** 地下连续墙成槽允许偏差应符合表6.2.8规定。

**表6.2.8 地下连续墙成槽允许偏差**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 项目 | 测试方法 | 允许偏差 | |
| 支护结构 | 永久结构 |
| 1 | 深度 | 测绳 2点/幅 | +100mm | +100mm |
| 2 | 槽位 | 钢尺 1点/幅 | 0~50mm | 0~30mm |
| 3 | 垂直度 | 测绳+钢尺2点/幅 | 1/150 | 1/300 |
| 4 | 沉渣厚度 | 测绳 2点/幅 | ≤200 | ≤100 |

**6.2.9** 水下混凝土浇筑应符合下列规定：

**1** 混凝土塌落度宜为180～220mm，配合比应通过试验确定，选用合适的外加剂。

**2** 两根导管之间的水平距离不大于3m，同时浇筑，导管距槽段接头不应大于1.5m。导管下端距离槽底宜为300mm～500mm。

**3** 导管内应放置隔水塞，导管埋入混凝土深度宜为2m～4m，相邻两导管内混凝土高差应小于0.3m。槽内混凝土面上升速度不宜小于3m/h。

**4** 墙段的浇筑标高应比墙顶设计标高增加500mm。

**6.2.10** 铣削式水泥土地下连续墙适用于填土、有机质土、黏性土、粉土、砂土、碎石土、风化岩等地层。作为截水帷幕应符合下列规定：

1 水泥土地下连续墙厚度宜为800～1500mm，墙深不宜大于80m；单元墙体平面长度宜为2.8m，单元墙体间搭接尺寸不小于200mm；

**2** 宜采用强度等级不低于P.O.42.5级普通硅酸盐水泥，水泥用量宜为300～350kg/m3，水灰比宜为0.7～1.3；

**3**  水泥土地下连续墙的垂直度偏差应小于1/300。

**6.2.11** 渠式切割水泥土连续墙适用于人工填土、黏性土、淤泥和淤泥质土、粉土、砂土、碎石土等地层。作为截水帷幕应符合下列规定：

**1** 水泥土连续墙厚度宜为550～850mm，墙深不宜大于50m；

**2** 宜采用强度等级不低于P.O.42.5级普通硅酸盐水泥，水泥掺入比不小于20%，水灰比宜为1.0～2.0，水泥土28d无侧限抗压强度标准值不宜小于0.8MPa；

**3** 水泥土地下连续墙的垂直度偏差应小于1/250。

## 6.3 搅拌桩

**6.3.1** 水泥土搅拌桩作截水帷幕适用于正常固结的淤泥与淤泥质土、素填土、粉土、无流动地下水的砂土、软塑粘性土等土体；对有较多地下障碍物、有机质土、塑性指数Ip大于25的粘土及地下水具有腐蚀性时宜慎用；不得用于泥炭土。

**6.3.2** 水泥土搅拌桩截水帷幕的布置和构造应符合下列规定：

**1** 宜采用三轴搅拌桩套打形成截水帷幕墙；当采用单轴搅拌桩时，桩径不宜小于800 mm，搅拌桩之间的连续搭接宽度不宜小于200mm；深厚砂层或水压力大时宜不少于两排搅拌桩搭接布置，排与排之间错开布置；

**2** 水泥强度等级不宜低于42.5普通硅酸盐水泥，水泥掺量不得小于18%，对流塑～可塑淤泥、淤泥质土宜为20%~22％；

**3** 水泥浆的水灰比宜选用 0.50-0.65；

**4** 搅拌桩截水墙顶面宜做至地面，不宜设置地下以下一定深度的空桩段；

**5** 搅拌桩的施工深度达不到设计要求时，应査明原因，采取处理措施；

**6** 搅拌桩垂直度偏差不得超过1.0%，桩位偏差±10mm，桩径偏差为±10mm。

**6.3.3** 水泥土搅拌桩截水墙嵌固深度应满足下列要求：

**1** 作为基坑止水帷幕，嵌固深度计算值宜按整体稳定条件采用圆弧滑动简单条分法确定。嵌固深度设计值宜按下式确定：

 （6.3.3）

**2** 作为排水减压抗浮截水帷幕，应截断地下结构底板以下2.0m至地面全部地层，形成封闭的截水帷幕；

**3**  当地下结构底板以下有承压水时，应穿过承压含水层进入隔水层深度1.5～2.0m。

**6.3.4** 设计时宜采用水泥土28d龄期的单轴无侧限抗压强度设计值，单轴无侧限抗压强度宜通过试验确定。

**6.3.5** 水泥土搅拌桩施工时，邻近不得抽水作业。对砂土、粉土、粘性土，在水泥土桩施工完成3d后，方可抽水作业；对淤泥或淤泥质土，在水泥土帷幕墙施工完成4d后，方可抽水作业。必要时使用促凝或早强浆材。

**6.3.6** 相邻搅拌桩施工的搭接时间间隔不得大于24h；如间歇时间超过24h，应在搅拌桩搭接位置采取局部补桩或注浆措施。

**6.3.7** 水泥搅拌桩应采用喷浆法施工，禁止采用喷粉法施工。

**6.3.8**  水泥土强度达到70%设计强度或成桩时间不少于14天后方能进行土方开挖。在基坑开挖时应控制变形不损坏搅拌桩。

## 6.4 旋喷桩

**6.4.1** 高压喷射注浆帷幕适用于碎石土、杂填土、密实的砂土等土层，也适用于淤泥、淤泥质土、粉土、黏性土、素填土以及标贯击数小于25击的砂土等土层。高压喷射注浆作截水帷幕宜做工艺性试桩，确定采用单排或多排连续搭接的旋喷桩形成截水帷幕。

**6.4.2** 高压喷射注浆截水帷幕应符合下列要求：

**1** 高压喷射注浆应根据土层特性及砂、砾石层的密实度，确定高压喷射注 浆的施工机型和施工方法，宜采用双管法、三重管法等，双管法、三重管法单桩有效直径因不同土性分别为600~1000 mm和800~1200 mm；

**2** 采用两排及多排旋喷桩时，帷幕搭接宽度宜取200~350mm，帷幕深时搭接宽度取大值；

**3** 对支护排桩和桩间旋喷桩共同构成的截水帷幕，旋喷桩与排桩的交圈长度不得小于250mm；

**4** 配置浆液采用的普通硅酸盐水泥的强度等级不宜低于42.5,水泥浆液的水灰比宜为0.8~1.2。根据需要可加入速凝或早强剂，外加剂的用量应通过试验确定；

**5** 高压喷射注浆二重管法的高压水泥浆液压力应大于20MPa；三重管法高压水射流压力应大于35MPa；低压水泥浆液流压力宜大于1.0MPa，气流压力宜取0.7MPa，提升速度可取0.10～0.25m/min；

**6** 高压喷射注浆应隔孔施工，钻孔的垂直度偏差不应超过1.0%,桩位偏差±20mm；注浆管分段提升的搭接长度不应小于100mm。对砂层厚度大及水压力大需要扩大喷射注浆范围时，可采取复喷措施；

## 6.5 灌浆帷幕

**6.5.1** 地下结构底板以下存在裂隙发育、渗透性强的风化岩层，应在底板以下设置一定厚度的灌浆帷幕，封堵基底基岩裂隙水。灌浆帷幕厚度可根据渗流计算和工程经验综合确定，灌浆帷幕厚度不得小于1.0m。

**6.5.2** 灌浆帷幕平面布置可采用矩形、梅花形布置方式。注浆孔的间距应根据风化岩层裂隙发育程度、浆液在裂隙中的渗透性决定，水平间距不宜大于3.0m，宜通过现场注浆试验来确定。

**6.5.3** 截水帷幕的设计参数由现场试验结果确定，包括排距、孔距、深度、厚度、灌浆压力、灌浆材料、水灰比、灌浆设备、灌浆方法、施工工艺等。宜通过检查孔验证是否达到预期的截水效果。

7 排水减压抗浮

**7.1 一般规定**

**7.1.1** 排水减压抗浮措施可单独使用，也可与抗拔桩、抗拔锚杆等抗浮措施联合使用。

7.1.2 减压井井壁、排水廊道等由钢筋混凝土框架承受侧压力，排水结构材料应有良好的透水性，且可更换或维修；排水出口数量不得小于2个。

7.1.3 排水减压抗浮设计应评估长期排水对周边环境的影响，控制排水量、地下水位降深及周边地表沉降量。当利用截水帷幕控制排水量时，应在基坑开挖前进行抽水试验。当开挖至坑底时应进行涌水量监测，渗漏点检查，渗漏点完全堵漏后方可进行地下结构及减压抗浮设施施工。

7.1.4 采用排水减压抗浮时应进行地下水位长期监测。

7.1.5 排水减压抗浮设计方案经论证后方能实施。

7.1.6 采用抽排方式排水的工程，每口集水井内应设置备用泵1台，两台泵规格应相同，可互换使用。

## 7.2 无砂混凝土配合比

**7.2.1** 拌制无砂混凝土应使用强度等级不低于42.5的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，质量应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB175的要求。

7.2.2拌制无砂混凝土使用的粗集料，必须使用质地坚硬、耐久、洁净、密实的碎石料，碎石的性能应符合国家现行标准《建筑用卵石、碎石》GB/T 14685中的二、三级要求，并应符合表7.2.2的规定。

**表7.2.2 粗集料的性能指标**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目 | 单位 | 指标 | | |
| 一级 | 二级 | 三级 |
| 粒径 | mm | 2.4~4.75 | 4.75~9.5 | 9.5~13.2 |
| 压碎值 | % | ＜15.0 | | |
| 针片状颗粒含量 | % | ＜15.0 | | |
| 含泥量 | % | ＜1.0 | | |
| 表观密度 | kg/m3 | ＞2500 | | |
| 堆积密度 | kg/m3 | ＞1350 | | |
| 堆积孔隙率 | % | ＜47.0 | | |

7.2.3 拌制无砂混凝土用水应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63的规定。

7.2.4 无砂混凝土成品性能指标宜符合表7.2.4的规定。

**表7.2.4 无砂混凝土的性能指标**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目 | 单位 | 性能要求 |
| 渗透系数（20℃） | cm/s | 0.5~2 |
| 连续孔隙率 | % | ≥10.0 |
| 抗压强度（28d） | MPa | ≥10.0 |

7.2.5 无砂混凝土渗透系数的测试方法应符合本规程附录D的要求。

7.2.6 无砂混凝土配合比宜采用基于目标孔隙率的体积法进行设计，设计步骤如下：

1 粗集料在紧密堆积状态下的孔隙率应按下式计算：

 (7.2.6-1)

式中：*Pv*——粗集料紧密堆积孔隙率；

*ρ*——按振实法测定的粗集料紧密堆积密度；

*ρa*——粗集料表观密度。

2 应根据实际工程排水量的要求初步确定无砂混凝土孔隙率*P*，但应兼顾其透水性和强度要求，孔隙率*P*不得小于10%，并不得大于40%；

3 无砂混凝土的水灰比*Wwc*，应根据拌制方法试配确定，既要保证粗集料被水泥浆充分包裹，也不能出现水泥浆离析坠落现象，采用人工拌制时可取0.3~0.4，采用机械拌制可取0.2~0.35；

4 拌制单位体积无砂混凝土的粗集料、水泥和水的质量应按下式计算：

 （7.2.6-2）

式中：*mg*、*mc*、*mw*——分别为单位体积无砂混凝土中粗集料、水泥和水的质量；

*ρg*、*ρc*、*ρw*——分别为粗集料、水泥和水的表观密度；

*P*——无砂混凝土目标孔隙率；

*Wwc*——无砂混凝土水灰比。

7.2.7 无砂混凝土应按计算配合比进行试拌，并检验其相关性能，当出现水泥浆在振捣过程中离析坠落或者不能均匀包裹粗集料表面时，应当调整水泥用量，达到要求后再确定用于强度和透水性实验的基准配合比。

7.2.8 无砂混凝土进行强度和渗透性实验时，应选择三个不同的配合比，其中一个为基准配合比，另外两个配合比的水灰比宜较基准配合比分别增减0.05，用水量与基准配合比保持一致，用三个配合比制作试件。

7.2.9 根据实验得到的无砂混凝土孔隙率、强度和水灰比的关系，采用作图法或计算法得出满足孔隙率和强度要求的水灰比，并据此确定水泥和水的用量，最终确定正式配合比。

**7.3 减压井**

7.3.1 减压井宜设置于地下室底板下，底板下土层应连续且透水性良好，当不能同时满足这两个条件时，底板以下应设置透水垫层，垫层厚度不宜小于300mm。

7.3.2 减压井井管周边应设置反滤层，反滤层厚度不小于300mm，井管宜采用无砂混凝土管，内径不宜小于800mm，且不宜大于2000mm，无砂混凝土配比设计可按照本规程7.2节执行，其渗透系数测定可按照附录D执行，测得无砂混凝土渗透系数宜为0.5~2cm/s。

7.3.3 减压井总排水量宜通过实验测定，初步设计时可按式(7.3.3)计算：

 (7.3.3)

式中：——按照抗浮降水需求，整个地下室排水减压总排水量；

*k*——含水土层的渗透系数；

——含水层过水厚度；

——初始地下水位；

——抗浮设计控制水位；

——井群降水影响半径，应按实验测定；

——大井的引用半径，按式（7.3.4）计算；

*——*截水帷幕的阻力系数，当截水帷幕底部未进入相对弱透水层时，应按附录第B.0.1条进、出口段计算，当截水帷幕底部进入相对弱透水层时，应按附录第B.0.4条计算。

7.3.4 大井引用半径按下式计算：

1 按圆周布置的井群，引用半径即为圆周半径；

2 按照不规则形状布置的井群，  (7.3.4-1)

3 按照矩形布置的井群，  (7.3.4-2)

式中：——布井轮廓所包围的面积；

——矩形长和宽；

——引用半径计算系数，按表7.3.4取用。

**表7.3.4 矩形布置井引用半径计算系数**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *b/l* | 0.05 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6～1.0 |
| *η* | 1.05 | 1.08 | 1.12 | 1.14 | 1.16 | 1.17 | 1.18 |

7.3.5 减压井数量*n*可按下式计算确定：

 (7.3.5-1)

 (7.3.5-2)

式中：*n*——减压井数量；

——单井允许出水量；

*R*0——减压井外径，当井外设置反滤层时，应为井中心至反滤层外缘的距离；

*S*——减压井有效进水长度，取滤管长度和强透水层厚度中的较小值，不宜小于500mm；

*k*——底板下强透水层的渗透系数，不宜小于5×10-2cm/s,否则底板下应设置透水垫层；

*J*——底板下井周反滤层外缘的允许水平坡降，对级配连续的土体可取0.4，对级配不连续的土体（管涌土）可取0.2。

7.3.6 减压井布井间距应按下式计算：

 （7.3.6）

式中：——减压井间距，不得大于50m；补充不同土层条件下的范围值

*Hw*——减压井井口高程。

**7.4 排水廊道**

7.4.1 使用排水廊道抗浮应满足以下条件：

1 建筑场地位于坡地或建筑地下室两侧埋深存在一定高差；

2 具备自流出水条件，如周边存在河渠等天然出口，若无天然出口而采用市政管道作为出口时，应设置备用出口以防回灌。

7.4.2 排水廊道应按永久结构进行设计，在其设计使用年限内应满足设计出水要求。

7.4.3 排水廊道沿地下室周边布置，检修口的距离不大于50m，廊道内宜有通风及照明装置。

7.4.4 排水廊道采用框格梁骨架承受水土压力，侧壁和底板应设置透水体，侧壁透水体宜采用无砂混凝土砌块，透水体外侧应设置反滤层，廊道底板透水体可采用碎石滤料，滤料底部也应设置反滤层。

7.4.5 排水廊道内设检修人行通道，内部净宽不宜小于800mm，净高不宜小于1500mm，廊道底标高低于抗浮控制水位不应小于300mm。

7.4.6 每延米廊道排水量可按下式计算：

 （7.4.6）

式中：——每延米廊道的排水量；

——廊道侧壁排水量，按式(7.4.7-1)计算；

——廊道底板排水量，按式（7.4.7-2）计算。

7.4.7 每延米廊道侧壁和底板排水量可按下式计算：

 (7.4.7-1)

 (7.4.7-2)

式中：——补给边界处的水位高程；

——廊道中心位置处的原水位高程；

——廊道内的水位高程；

——廊道底板以上透水土层的渗透系数；

——廊道底板以下透水土层的渗透系数；

——补给边界到廊道边的距离；

——廊道宽度；

——廊道底板底部透水土层的厚度。



地下室

*H1*

*H2*

*k1*

*Hw*

*Lb*

图7.4.7 排水廊道示意图

7.4.8 地下室周边设置开敞式截排沟，如图7.4.8所示，其沟流量按照式（7.4.7-1）、（7.4.7-2）计算。



地下室

*H1*

*H2*

*k1*

*Hw*

*Lb*

挡土墙

图7.4.8 开敞式截排沟示意图

7.4.9 地下室周边设置排水廊道或开敞式截排沟，其底板水浮力应按渗流分析计算确定。

**7.5 反滤层及疏水层**

7.5.1 在被保护土体与排水体之间应设置反滤层，底板下水平反滤层厚度不得小于100mm；减压井、排水廊道外围反滤层厚度不得小于300 mm；被保护土体渗透性越差，反滤层厚度应越厚。反滤层与被保护土体之间不得设置土工布。

7.5.2 疏水层及反滤层的总厚度不宜小于400mm。疏水层与底板垫层之间应设置土工膜隔离。

当采用复合地基时，疏水层可与褥垫层结合使用。

7.5.3 反滤层设计应符合下列要求：

1 使被保护土体不发生渗透变形；

2 反滤层渗透性大于被保护土体，能通畅地排出渗透水流；

3 反滤层不被细颗粒土体淤堵失效。

7.5.4 疏水层采用的材料可用混凝土骨料碎石，碎石粒径宜为15mm~40mm，含泥量不得大于2%。

7.5.5 反滤层的级配和层数可按附录E的要求确定。

7.5.6 反滤层每层的厚度应根据材料的级配、料源、用途、施工方法等综合确定，施工前应根据现场材料试拌确定其级配；施工时应分层填筑，不得高处抛填，粒料不应有明显的颗粒分离和压碎现象。

7.5.7 反滤层应采用连续级配，其最大粒径不宜超过每层厚度的1/3，不宜采用土工织物作反滤层。

## 7.6 回灌井

**7.6.1** 当地下结构截水帷幕外围临近建筑物受排水沉降影响时，可采用井点回灌，确保临近建筑物场地地下水位长期稳定。

**7.6.2** 回灌井点应符合下列规定：

**1** 回灌井平面位置应在截水帷幕外侧靠近被保护建（构）筑物范围内；

**2** 回灌井宜打入渗透性较好的砂土层中，且进入稳定水面以下3.0m；

**3** 回灌井应保持地下水位不宜超过原水位标高。

**7.6.3** 回灌系统管理应符合下列规定：

**1** 地下水位观测孔应布置在回灌保护区内，定时观测，指导回灌用水量；

**2**  回灌水宜采用清水，可采用减压井内抽排的地下水。

**8 邻近建筑物沉降**

8.1 排水减压沉降

8.1.1 排水减压引起的地面沉降可按下式估算：

 (8.1.1)

式中：——排水引起的总沉降；

——沉降计算经验系数，按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007取值；

——工程建设前场地稳定水面和降水漏斗面之间土体的沉降；

——降水漏斗面以下土体的沉降。

8.1.2 工程建设前场地稳定水面和降水漏斗面之间土体的沉降应按下式计算：

 (8.1.2)

式中： ——工程建设前场地稳定水面和降水漏斗面之间的土层数；

——第*i*层土底面水位降深，以天然地面算起，其中*ΔH*0=0；

——第*i*层土的压缩模量。

8.1.3 降水漏斗面以下土体的沉降应按下式计算：

 (8.1.3)

式中：——降水漏斗面以下的土层数；

——第*j*层土的厚度；

——第*j*层土的压缩模量。

### **8.2 总沉降**

8.2.1建筑物的地基变形计算值，不应大于地基变形允许值。

8.2.2建筑物的地基变形允许值应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007的规定。

8.2.3 计算地基变形时，上部结构荷载引起地基内的附加应力分布，可采用各向同性均质线性变形体理论。上部结构荷载引起的沉降量可按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007的规定计算。

8.2.4 最终沉降量为降排水引起的沉降量和上部结构荷载引起的沉降量之和。

 （8.2.4）

式中：s——最终沉降量；

——降排水引起的沉降量；

——上部结构荷载引起的沉降量。

9 联合抗浮

9.1 一般规定

**9.1.1** 当出现下列情况时，可采用联合抗浮措施。

1 强透水层厚度大且有多个强透水层，单独采用排水减压措施不经济时；

2 地基承载力不满足要求需要使用抗压桩时，可部分利用抗压桩兼做抗浮桩；

3 局部需要使用抗浮桩或抗浮锚杆时；

4 基坑采用地下连续墙或咬合密排桩支护，可利用地下连续墙或咬合密排桩作为抗浮结构一部分。

**9.1.2** 地下工程抗浮设计应包括下列内容：

**1** 抗浮设计等级和抗浮设防水位确定；

**2** 抗浮方案的综合分析和比选；

**3** 抗浮结构及构件布置、承载力和变形计算；

**4** 施工期和使用期抗浮稳定性验算；整体抗浮和局部抗浮的稳定性验算；

**5** 最不利工况下抗浮构件受力和变形验算；

**6** 抗浮构件、压重、基坑回填等材料技术指标、质量控制要求；

7 沉降计算及采用排水廊道、截排减压抗浮方案时环境影响分析；

**8** 检测、监测及运营维护要求等**。**

**9.1.3** 抗浮设计等级为甲级及乙级工程，抗浮锚杆、抗浮桩设计前应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007的规定进行抗拔试验确定承载力特征值。

**9.1.4** 抗浮锚杆、抗浮桩的承载力特征值确定应符合下列规定：

**1** 抗浮设计等级为甲级及乙级工程应由抗拔静载荷试验确定，相同地层条件试验数量不应少于3根；

**2** 水文地质条件简单抗浮设计等级为乙级的工程，可根据地质条件相近场地的试验资料结合当地经验综合确定；

**3** 抗浮设计等级为丙级的工程，可按地区经验确定；

**4** 当采用群锚或群桩布置时，抗拔锚杆或抗拔桩之间应有足够的距离，防止产生群桩、群锚效应。

**9.1.5**  抗浮锚杆、抗浮桩进行抗拔试验时，宜在桩身和锚杆杆体中埋设传感器获取承载力分布及与变形的关系。

**9.1.6**  抗浮锚杆、抗浮桩的布置方式应结合地下结构的设计，采用集中布置或均匀布置。

**9.1.7** 抗浮结构及构件结构设计时，重要性系数（*γ*0）应按抗浮设计等级为甲级、乙级和丙级分别取1.10、1.05和1.00。

**9.1.8**  整体设计的地下结构底板应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007考虑浮力作用的最不利工况荷载组合。

**9.1.9** 采取截排减压法或联合抗浮时，抗浮设计等级为甲级及乙级工程应进行监测和维护设计。

**9.1.10** 抗浮构件截面的裂缝控制要求应符合表9.1.10的规定。

表9.1.10 抗浮构件最大裂缝宽度的限值*w*l*i*m (mm)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 环境类别 | 普通构件 | 预应力构件正截面 |
| *w*lim | *w*lim |
| 一 | 0.30 | 0.20 |
| 二a | 0.20 | 0.10 |
| 二b | — |
| 三a、三b | — |

## **9.2 抗浮桩**

**9.2.1** 抗浮桩应根据地质条件、水文条件、环境条件、抗浮荷载大小和耐久性要求选用灌注桩或预制桩。灌注桩宜采用扩底灌注桩和后注浆灌注桩等，预制桩宜采用预应力混凝土管桩或混合配筋混凝土管桩。

9.2.2 抗拔桩的承载力特征值按下列规定确定：

1单桩的抗拔极限承载力标准值宜通过现场单桩抗拔静载试验确定。单桩抗拔承载力特征值按下式确定：

 （9.2.2-1）

式中：——单桩抗拔承载力特征值(kN)；

——单桩抗拔极限承载力标准值(kN)；

——抗拔桩安全系数，取2.0。

2初步设计时，单桩抗拔承载力特征值可按下式估算：

 （9.2.2-2）

式中：——桩自重标准值(kN)，抗浮水位以下取有效重度计算；

——桩侧土摩阻力特征值（kPa），可按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94桩的极限侧阻力标准值的一半取值；

——桩身周长(m)，对于等直径桩；对于扩底桩按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94的规定计算；

——抗拔摩阻力折减系数，可按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94取值。

3桩身配筋应满足下式要求:

 （9.2.2-3）

式中：、——普通钢筋、预应力钢筋的截面面积(mm2)；

、——普通钢筋、预应力螺纹钢筋的屈服强度标准值(N/mm2)。

9.2.3 抗拔桩应按下列规定进行受拉边缘应力或正截面裂缝宽度验算：

1 中、强腐蚀环境下，抗拔桩不允许出现裂缝。在荷载标准组合下，桩受拉边缘混凝土应力应符合下列规定：

 （9.2.3-1）

2 微、弱腐蚀环境下，当抗拔桩允许出现裂缝时，最大裂缝宽度可按荷载标准组合并考虑长期作用影响的效应计算。最大裂缝宽度应符合下列规定：

 （9.2.3-2）

式中：——荷载标准组合下抗裂验算边缘的混凝土法向应力(kN/mm2)；

——扣除全部预应力损失后，锚固构件混凝土有效压应力(kN/mm2)；

——混凝土轴心抗拉强度标准值(kN/mm2)；

——按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010计算得到的最大裂缝宽度(mm)；

——最大裂缝宽度限值(mm)，按本标准第9.1.7条的要求取值。

9.2.4 群桩呈整体破坏时，群桩中单桩抗拔承载力特征值应按下式计算：

 （9.2.4）

式中：——群桩基础所包围体积的桩土总自重(kN)，地下水位以下取浮重度；

——桩群外围周长（m）；

——群桩范围内抗拔桩根数。

**9.2.5** 抗浮桩布置应符合下列规定：

**1** 应根据地下结构底板形式、结构荷载分布等条件布置，非挤土桩桩间距不应小于3d，挤土桩桩间距不应小于4d；

**2** 灌注桩混凝土强度等级不应小于C30，预应力管桩混凝土强度等级不应小于C80；混合配筋预制管桩混凝土强度等级不应小于C60；

**3** 灌注桩的主筋混凝土保护层厚度不应小于50mm，预制管桩主筋的混凝土保护层厚度不应小于35mm；

**4** 抗浮桩应保证与底板及承台有可靠的连接。桩身主筋锚入承台内的长度不应小于最大钢筋直径的35倍；

**5** 抗浮桩应通长配筋；

**6** 桩头防渗材料应具有良好的粘结性、固化性，并应与地下结构底板防水层连为一体。

**9.2.6** 抗浮桩采用混合配筋预制混凝土管桩应符合下列规定：

**1** 产品质量应符合国家现行标准《先张法预应力混凝土管桩》GB/T 13476的规定；

**2** 桩尖宜为闭口型，开口型桩尖应清理桩芯内土塞后封底处理；

**3** 宜采用法兰、机械咬合、端板焊接等方式接桩，采用端板焊接接桩时，焊接接头强度不得低于桩身强度，每根桩的接头数量不宜超过3个；

**4** 桩顶锚固区填芯混凝土高度应按下式计算，且不应小于3m：

 （9.2.6）

式中：*H*——管桩顶部填芯混凝土高度（m）；

*Q*ct——单桩竖向抗拔承载力设计值（kN）；

*U*m——管桩内孔圆周长（m）；

*f*n——填芯混凝土与管桩内壁的粘结强度设计值（kPa），宜由现场试验确定；无试验条件时，填芯混凝土强度等级大于C30可取300kPa；

**5** 填芯混凝土的受拉钢筋应通过计算确定；

**6** 不允许产生裂缝时宜通长填芯配筋。

9.2.7抗浮桩耐久性应根据设计使用年限、现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010的环境类别规定，以及水、土对钢、混凝土腐蚀性的评价进行设计，并应符合下列规定：

**1** 二类和三类环境中，设计使用年限为50年的抗浮桩混凝土应符合表9.2.7的规定；

表9.2.7 二类和三类环境抗浮桩混凝土耐久性要求

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 环境类别 | | 最大水灰比 | 最小水泥用量（kg/m3） | 最低混凝土  强度等级 | 最大氯离子含量  （%） | 最大碱含量（kg/m3） |
| 二 | a | 0.60 | 250 | C30 | 0.3 | 3.0 |
| b | 0.55 | 275 | C30 | 0.2 | 3.0 |
| 三 | | 0.50 | 300 | C30 | 0.1 | 3.0 |

注：1 氯离子含量系指其与水泥用量的百分率；

2 预应力构件混凝土中最大氯离子含量为0.06%，最小水泥用量为300kg/m3；

3 当混凝土中加入活性掺合料或能提高耐久性的外加剂时，可适当降低最小水泥用量。

**2** 四类、五类环境抗浮桩可按国家现行标准《港口工程混凝土结构设计规范》JTJ 267和《工业建筑防腐蚀设计标准》GB 50046等执行；

**3** 三类、四类、五类环境抗浮桩，受力钢筋宜采用环氧树脂涂层的带肋钢筋。

9.2.7抗浮桩施工宜优先使用干成孔工艺，如随钻跟管桩、岩石中潜孔锤，桩长较短时可采用人工挖孔桩，花岗岩强风化岩层不宜使用泥浆护壁的钻冲孔桩成桩工艺。

## **9.3 抗浮锚杆**

9.3.1 锚杆类型应根据锚固地层性质、承载力大小、锚固长度、施工方法等综合选定。

9.3.2 抗浮锚杆宜锚固在岩层中。当采用土层抗浮锚杆时，锚固段应锚入坚硬土层或密实砂层。

9.3.3 锚杆的抗拔承载力特征值可按下列规定确定：

1 锚杆抗拔极限承载力宜通过现场抗拔试验确定。锚杆抗拔承载力特征值按下式确定：

 （9.3.3-1）

式中：*——*锚杆抗拔承载力特征值(kN)；

——锚杆抗拔极限承载力标准值(kN)；

——锚杆抗拔安全系数，取2.0。

2 初步设计时，岩层锚杆的抗拔承载力特征值可按下式估算：

 （9.3.3-2）

 （9.3.3-3）

式中：——锚杆锚固段钻孔直径(m)；

——第*i*层岩体中锚固段长度(m)；

——砂浆与第*i*层岩石间的粘结强度特征值（kPa），无试验资料时按表9.3.3-1取值；

——锚筋根数；

——锚筋直径(mm)；

——锚筋与砂浆间的锚固长度(m)；

——钢筋与锚固砂浆间的粘结强度特征值(kPa)，应由试验确定；当缺乏试验资料时可按本标准表9.3.3-2取值。

表9.3.3-1 锚固体与岩石间粘结强度标准值

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 岩石类别 | 岩石天然单轴抗压强度标准值*f*r（MPa） | 锚固体与岩石间粘结强度标准值*f*rbk（kPa） |
| 软岩石 | *f*r＜5 | 270～360 |
| 软 岩 | 5≤ *f*r＜15 | 360～760 |
| 较软岩 | 15≤ *f*r＜30 | 760～1200 |
| 较硬岩 | 30≤ *f*r＜60 | 1200～1800 |
| 坚硬岩 | *f*r ≥60 | 1800～2600 |

注： 水泥浆粘结、岩体结构面发育时取低值。

**表9.3.3-2 钢筋与砂浆之间的粘结强度特征值（kPa）**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 锚杆类型 | 水泥浆或水泥砂浆强度等级 | |
| M30 | M35 |
| 水泥砂浆与螺纹钢筋间的粘结强度特征值 | 1000 | 1100 |

注：1 当采用两根钢筋点焊成束的做法时，粘结强度应乘0.85折减系数；

2 当采用三根钢筋点焊成束的做法时，粘结强度应乘0.7折减系数；

3 成束钢筋的根数不应超过三根，钢筋截面总面积不应超过锚孔面积的20%。当锚固段钢筋和注浆材料采用新工艺设计，并经试验验证锚固效果良好时，可适当增加锚筋用量。

3 高压喷射扩大头锚杆的承载力计算可按《高压喷射扩大头锚杆技术规程》JGJT 282进行设计。

**9.3.4** 锚杆钢筋截面面积应满足下式要求：

（9.3.4）

式中：——锚杆钢筋截面面积(mm2)；

——锚杆钢筋抗拉安全系数，取2.0；

*N*t——荷载效应的基本组合下锚杆承担荷载标准值（kN）；

——普通钢筋的屈服强度标准值(N/mm2),当为预应力螺纹钢筋时用代替式中。

**9.3.5** 锚杆的设置应符合下列规定：

1 锚杆的间距除满足锚杆的受力要求外，不宜小于8，且不宜小于2.0m；

2 锚杆的布置方式，根据受力及防水要求，可采用集中布置、网状布置和均匀布置；

3 锚杆锚固长度应由计算确定，岩石锚杆的锚固段长度不应小于3.0m，且不宜大于45；

4 非预应力锚杆可不设置自由段；

**5** 锚杆对中支架应沿锚杆轴线方向每隔1m～3m设置一个，对土层取小值，对岩层可取大值。

9.3.6 抗浮锚杆采用的钢筋应符合下列规定：

1预应力抗浮锚杆宜采用预应力螺纹钢筋，对预应力值较小和长度小于20m的锚杆，预应力筋也可采用HRB400级以上钢筋；

2 非预应力锚杆可采用HRB400、HRB500级钢筋。

9.3.7 预应力锚杆锚固段注浆体的抗压强度，应满足表9.3.7的要求。

表9.3.7 预应力锚杆锚固段注浆体的抗压强度

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 锚固地层 | 锚杆类型 | 抗压强度标准值（MPa） |
| 岩石 | 拉力型和拉力分散型 | ≥30 |
| 压力型和压力分散型 | ≥35 |

9.3.8地下室局部区域锚固体还应满足锚固体整体稳定性要求，可按下式验算：

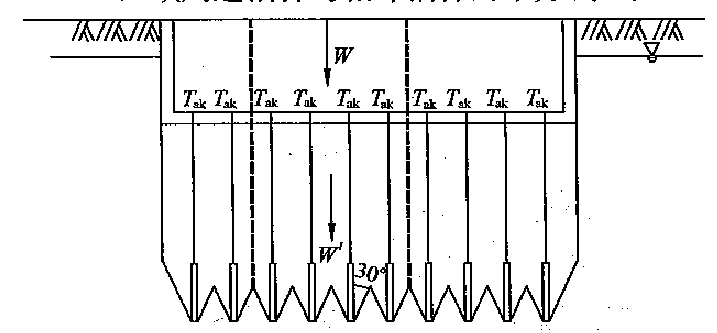
（9.3.8）

式中：——抗浮稳定安全系数，取1.05；

——地下室某一局部区域内锚固范围土体的有效重量(kN)。锚固范围的深度可按锚杆底部破裂面以上范围计算，破裂角可取30°；平面范围可按地下室周边锚杆的包络面积计算，或取该局部区域周边锚杆与相邻锚杆的中分线（图9.3.8）；

——地下室某一局部区域内抵抗浮力的建筑物总重量（不包括活荷载）(kN)；

——作用于地下室底板某一局部区域的浮力(kN)。



*2*

图9.3.8 抗拔锚杆锚固体整体稳定计算示意图

9.3.9 抗浮锚杆防腐等级根据长期浸水和干湿交替按表9.3.9确定。

表9.3.9 防腐等级表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 腐蚀等级  环境类别防腐构造等级 | 强 | 中 | 弱 | 微 |
| 干湿交替 | Ⅰ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅲ |
| 长期浸水 | Ⅰ | Ⅱ | Ⅲ | Ⅲ |

9.3.10 不同防腐保护等级的抗浮锚杆构造应符合表9.3.10的要求，且应符合下列规定：

1 锚杆杆体水泥浆保护层厚度不得小于20mm；有套管保护时，套管外水泥浆保护层厚度应不小于20mm；

2 钢筋与套管间或双层套管间填充防腐油脂或水泥浆应均匀完整；

3 预应力锚杆自由段套管应延伸进入过渡管或承载构件100mm并应采用密封处理；非预应力锚杆自由段或锚固段套管与底板相接时应进入底板100mm并应采用密封处理；

4 自由段套管与锚固段波纹套管之间应有300mm的搭接长度。无锚固段波纹管时，自由段套管应进入锚固段300mm；

5 预应力锚杆过渡管内应注入防腐油脂；

6 锚杆在预应力筋的张拉作业完成后，应及时对锚具和承压板进行防腐保护。

表9.3.10 锚杆防腐保护要求

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 防腐保护等级 | 锚杆类型 | 锚杆及锚具防护要求 | |
| 自由段 | 锚固段 |
| Ⅰ级 | 钢筋锚杆 | 采用双层套管保护。套管内及双层套管间应注入防腐油脂 | 采用注入水泥浆或环氧树脂的双层波形管保护 |
| Ⅱ级 | 钢筋锚杆 | 采用双层防腐保护。套管内注入防腐油脂 | 采用注入水泥浆或环氧树脂的波形管 |
| Ⅲ级 | 钢筋锚杆 | 采用防腐涂层，外加套管或塑料布 | 注浆保护。无自由段的锚杆在底板下干湿交替段应涂环氧树脂，环氧树脂伸入非干湿交替段300mm |

9.3.11 抗浮锚杆锚头防腐保护应符合下列规定：

1 预应力锚杆在预应力张拉锁定后，应及时进行保护；

2 需调整拉力的锚杆，应采用可调节拉力的锚具，锚具和承压板应采用锚具罩封闭，锚具罩内应填充防腐油脂；

3 不需调整拉力的锚杆，锚具和承压板可采用混凝土封闭，封锚混凝土保护层最小厚度不应小于50mm，封锚混凝土与承载构件之间应设置锚筋或钢丝网；

4 锚杆与底板的连接应密封处理。

**9.3.12** 全长粘结型锚杆与地下结构底板连接部位可采用以下防水措施：

1 遇水膨胀止水条或金属防水板；

2 水泥基渗透结晶型防水涂料。

**9.3.13** 预应力锚杆与地下结构底板连接部位可采用以下防水措施：

1 外保护套管并填充油脂或注浆；

2 遇水膨胀止水条；

3 底板顶补充防水或防渗措施。

**9.3.14** 抗浮锚杆与地下结构底板连接部位的防水等级不应低于地下结构防水等级。防水材料应与地下结构防水层可靠搭接，防水措施应符合表9.3.12规定。

表9.3.12 抗浮锚杆与地下结构底板连接部位防水要求

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 防水等级 | 全长粘结型锚杆 | 预应力锚杆 |
| 一级 | 应选2道防水措施 | 应选2道～3道防水措施 |
| 二级 | 应选1道～2道防水措施 | 应选2道防水措施 |
| 三级 | 宜选1道～2道防水措施 | 应选1道～2道防水措施 |

9.3.15抗浮锚杆施工在岩层和自稳能力好的坚硬土层中宜优先使用干成孔工艺，如冲击钻、岩石中潜孔锤等，必要时采用套管跟进工艺成孔。

## **9.4 地下室底板**

9.4.1 抗浮设计地下室底板宜采用平板式或采用梁板式布置。

9.4.2 地下室底板计算宜考虑筏板、地基土、锚杆和基桩的共同作用。

9.4.3 地下室底板验算应考虑有地下水和无地下水的最不利组合工况。地下室底板计算应包括在水浮力作用下的承载力、挠度、裂缝宽度及抗冲切验算。

**9.4.4** 防水结构底板的厚度不宜小于250mm，应采用双层双向配筋。梁板式防水结构板主梁纵向钢筋应贯通柱底。

9.4.5 独立基础加防水板设计时，防水板下宜设置反滤层。反滤层的压缩变形量不宜小于独立地基沉降量。

9.4.6 独立基础加防水板基础抗浮计算可采用下列方法：

1 宜采用有限元法计算；

2 对于梁板式防水板，也可简化为倒楼盖法计算；

3 对于平板式防水板，可采用无梁楼盖和独立基础分别计算。

9.4.7 每一个抗浮单元，抗浮桩总数满足抗浮稳定的情况下，受力最大抗浮桩的单桩抗拔力标准值不宜大于抗拔桩承载力特征值1.2倍。

9.4.8 当抗浮桩集中布置在墙、柱下，且每根柱、每片墙抗浮单元的稳定性均能满足要求时，底板可简化为以墙柱为支点的倒楼盖模型进行计算。

9.4.9 当抗浮桩分散布置在底板跨中或柱下板带（梁）下，可适当考虑桩对底板的有利作用。

9.4.10 抗浮锚杆的轴向刚度系数应由试验确定。当无试验资料时，有自由段的岩石锚杆轴向刚度系数可按式（9.4.10）进行估算：

 （9.4.10）

式中：——锚杆轴向刚度系数；

——锚杆杆体的截面面积(mm2)；

——锚杆杆体弹性模量(N/mm2)；

——锚杆自由段长度(m)。

9.4.11 当抗浮锚杆集中布置在墙、柱下，且每根柱、每片墙抗浮单元的稳定性均满足本规程式（5.2.2）时，底板可简化以墙柱为支点的倒楼盖模型（见图9.4.11）。



图9.4.11 简化的倒楼盖模型图

注：为水浮力

9.4.12 抗浮锚杆分散布置在底板或梁跨中，当采用非全粘结岩石锚杆时，宜考虑锚杆与底板的协同工作（图9.4.12）。在每个抗浮单元，锚杆总数满足抗浮稳定的情况下，受力最大锚杆的拉力标准值不宜大于锚杆承载力特征值1.2倍。



图9.4.12 简化的倒楼盖模型图

注：为水浮力

9.4.13 当整体抗浮满足稳定要求，局部抗浮稳定不满足验算时，可考虑以稳定部分为支座对地下结构进行整体受力分析，应满足强度及变形要求。

9.4.14 地下室整体抗浮稳定验算时，不宜考虑侧壁与土的摩阻力。

**9.4.15** 减压丼和排水廊道与地下结构底板之间应预留通道，用于检查和维护保养。

## 10 质量检测与地下水监测

**10.1 一般规定**

**10.1.1** 原材料和预制产品进场检验应符合下列规定：

**1** 砂、石等质量检验项目、批量和检验方法应符合现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ52的规定；

**2** 钢材、水泥等产品质量检验应包括出厂合格证检查、现场抽检试验报告检查；

**3** 截面几何尺寸检测方法、允许偏差值及质量评定可按现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204和《建筑地基基础施工质量验收规范》GB50202规定执行；

**4** 预制构件混凝土强度、外观质量与缺陷、尺寸与偏差、变形与损伤、钢筋配置等检测应按现行国家标准《建筑结构检测技术标准》GB/T50344执行。

**10.1.2** 构件检测布点宜随机布置，但重点部位应有保证，检测应符合下列规定：

**1** 重要功能构件或重要部位及施工质量有疑问部位宜全部检测；

**2** 承载力验收检验应符合国家现行标准《建筑地基基础设计规范》GB50007、《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB50202和《建筑基桩检测技术规范》JGJ106的规定；

**3** 注浆质量检测可选用电阻率法、声波法、钻孔抽芯法和载荷试验等；

**4** 防水检测应按现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB50108及《地下防水工程质量验收规范》GB50208执行。

**10.1.3** 截排减压抗浮结构或抗浮构件检测不合格或不合格的数量超过抽检总数的 10%时，应按不合格抽检数量的2倍进行扩大检测。检测结果不合格时，应加固处理，加固处理后应重新检测验收。

## 10.2 质量检测

10.2.1 对采用减压井及排水廊道的工程应在施工中对无砂混凝土留样检测，每口井留样不少于1组，每组三件；排水廊道每50m留样不少于1组，每组3件。

**10.2.2** 级配砂石材料配合比应符合设计要求，砂石料有机质的含量、含泥量不得大于3%；施工完成后应进行压实系数、渗透系数的检测，每100m2、每50m的检测点不应少于1个。

10.2.3反滤层在施工中应对反滤料级配进行检测，每层反滤层取样不少于3组，反滤层级配应连续，与设计级配的特征粒径相差不得超过10%。

10.2.4 施工中应对减压井平面位置及深度进行复核，位置偏差不得超过±50mm，深度偏差不超过±20mm。

10.2.5 施工完成后排水廊道纵坡不得小于设计坡度，且偏差不超过±1％。

10.2.6 采用盲沟排水时盲管开孔率不得小于设计要求。并应符合下列规定：

**1** 应检验长度、平面位置、断面尺寸、沟底纵坡、反滤层、埋置深度、防渗处理等；

**2**  允许偏差：平面位置±50mm，断面尺寸-20mm、沟底纵坡±1％、沟底高程±50mm，表面平整度±20mm；

**3**减压井、排水廊道应进行直径、高度、壁厚及透水砌块尺寸的检测，检查数量不应少于总长度10%；

**4** 排水系统应测量减压井井口标高及排水廊道排水口标高，减压井之间连接排水管的标高及连接接头的质量。

**10.2.8** 抗浮锚杆检测应符合国家现行标准《建筑地基基础设计规范》GB50007的规定，承载力检测数量不应少于锚杆总数的5%，且不得少于6根。

**10.2.9** 后注浆抗浮桩施工完成后应提供水泥材质检验报告、压力表检定证书、试注浆记录、设计工艺参数、作业记录和特殊情况处理记录等资料；后注浆20d后进行承载力检测，掺入早强剂可在注浆15d后进行检测。

**10.2.10** 混凝土预制桩施工过程检验应符合下列规定：

**1**  施工前应检验成品桩外观及强度，接桩用焊条应有产品合格证书或送有关部门检验合格证书，桩身不得有裂缝；

**2** 静压法施工前应检验压桩机的压力表，压桩过程中应检查压力，记录静压终止压力及桩顶标高；

**3** 施工中应检查桩身垂直度、桩顶完整性、接桩间歇时间等，对电焊接桩应做10％的焊缝探伤检查，同一工程探伤抽样检验不得少于5个接头；

**4** 锤击沉桩过程中应检查锤击数，记录每米进尺锤击数、总锤击数、最后三阵贯入度。

**10.2.11**  抗浮桩的检测应符合现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ106的规定。成桩质量采用低应变法不应少于总桩数的30%；灌注桩采用超声波法和钻孔抽芯法时不少于总桩数的10%；抗浮桩抗拔承载力检测数量不应少于桩总数的1%，且不少于3根。

**10.2.12** 地下连续墙墙身混凝土抗压强度试块每100m3混凝土不应少于1组，且每幅槽段不应少于1组；墙身混凝土抗渗试块每5幅槽段不应少于1组。

**10.2.13** 地下连续墙应采取抽芯试验和超声波检验方法进行墙体混凝土强度、墙底沉渣厚度、墙底岩土层性状和墙身完整性检测，检测数量应符合下列规定：

**1** 当地下连续墙作为永久性结构，每个工程抽芯试验不少于总墙段数的15%且不少于10个槽段，每个槽段不少于3个孔；超声波检验不少于总墙段数的30%且不少于3个槽段，每个槽段预埋超声波管不少于5根；

**2** 当地下连续墙作为临时性结构，抽芯试验每个工程不少于总墙段数的5%且不少于3个槽段，每个槽段不少于3个孔；超声波检验不少于总墙段数的10%且不少于3个槽段，每个槽段预埋超声波管不少于5根；

**3** 当抽芯有不满足设计要求的强度，应按不满足设计要求的槽段加倍扩大抽检；若扩大抽检中仍有不满足设计要求的槽段，应对该批次槽段全部检测；

**4** 当超声波检验有不满足设计要求的，应对不满足设计要求的槽段进行抽芯试验，当抽芯检验有不满足要求的，应对该批次槽段全部检测；

**5** 地下连续墙抽检后，应就墙体混凝土强度、墙底沉渣厚度、墙底岩土层性状和墙体完整性作出判定，根据检测结果提出处理措施。

**10.2.14**  水泥土搅拌桩的桩身强度宜采用钻芯取样测定强度。选择有代表性的桩体进行钻芯，用双管单动取样器钻取芯样作单轴极限抗压强度试验，钻孔取芯数量不宜少于总桩数的5‰，并不少于6根桩，成桩质量有缺陷部位宜增加取芯样数量。

**10.2.15** 采用高压喷射注浆的截水帷幕质量检验，应符合下列规定：

**1** 施工结束14d后，截水帷幕可采取开挖检查、钻芯法检测、抽水试验和压水试验等方法进行检验；

**2** 钻孔取芯点数量不宜少于总桩数（孔数）的5‰，且不宜少于6根桩；芯样直径应大于80mm；应进行28d无侧限抗压强度试验；

**3** 对帷幕墙应进行抽水试验或压水试验，检验数量不宜少于3个点；

**4** 帷幕中的钻芯孔在试验后应立即用水泥浆或水泥砂浆填充封闭；

**5** 开挖后应对截水帷幕质量和截水效果进行检查。

**10.2.16** 抗浮设计等级为甲级的工程宜进行抗浮结构及构件的内力和变形监测。

## 10.3 地下水监测

**10.3.1** 抗浮专项勘察时，水文地质参数试验包括抽水试验、注水试验、压水试验、渗水试验、连通试验等。水文地质参数可按表10.3.1选用试验方法，试验方法操作步骤应按本标准附录C执行。并应符合下列规定：

**1** 试验时应量测地下水的初见水位、稳定水位，多层地下水应分层量测；

**2** 地下水流向测点应按三角形布设并同时测定，数量不应少于3组；

**3** 抗浮设计等级为甲级的工程和位于斜坡场地、水文地质条件比较复杂的乙级工程宜进行不少于1个水文年的地下水水位监测，并应符合下列要求：

1）监测水位、水质、水量及其动态变化，地下水补给与排泄关系，孔隙或裂隙水压力变化，邻近场地地下水控制引起的水位变化；

2）监测点应平行或垂直于地下水流动方向布置，观测水力联系时应垂直于地表水体岸边线，同一地貌单元的观测点不应少于3个；

3）监测频率宜为2次/d至4次/d，当地下水动态变化较大时应增加次数或进行实时监测。

表10.3.1　水文地质参数试验方法选择

|  |  |
| --- | --- |
| 参　数 | 测　试　方　法 |
| 水 位 | 钻孔、探井或测压管观测 |
| 渗透系数、导水系数 | 抽水试验、注水试验、压水试验、室内渗透试验 |
| 给水度、释水系数 | 单孔抽水试验、非稳定流抽水试验、地下水水位长期观测、室内试验 |
| 越流系数、越流因数 | 多孔抽水试验（稳定流或非稳定流） |
| 透水率 | 可采用压水试验测定，必要时应进行高压压水试验 |

**10.3.2**  抗浮工程设计应提出明确监测要求，监测项目可按表10.3.2选择。

表10.3.2 工程抗浮监测项目选择

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 监测项目 | 测点位置 | 抗浮设计等级 | | |
| 甲级 | 乙级 | 丙级 |
| 底板及抗浮板沉降、隆起 | 底板及抗浮板 | √ | √ | ○ |
| 底板、抗浮板及侧壁裂缝、渗漏 | 底板、抗浮板及侧壁 | √ | √ | ○ |
| 基础、首层柱沉降 | 基础顶面、首层柱面 | √ | √ | ○ |
| 地下水水位 | 底板、抗浮板下面，截水帷幕外侧 | √ | √ | ○ |
| 抗浮锚杆应力 | 锚杆钢筋 | ○ | ○ | ╳ |
| 抗浮桩应力 | 主筋、混凝土 | ○ | ○ | ╳ |

注：√——应测，○——宜测，╳——可不测。

10.3.3抗浮设计等级为甲级及乙级、采取减压井、排水廊道方法控制地下水水位及联合方法的抗浮工程应进行水位和抗浮稳定性状态监测。应按设计要求布置地下水位监测装置，地下室内每500m2不少于1个，地下室周边外围每100m不少于1个。监测点数量不宜少于减压井总数的10%，且不得少于3个。

10.3.4 地下水水位观测孔应符合现行行业标准《城市地下水动态观测规程》CJJ 76的规定。地下水位监测装置宜采用自动监控系统。

10.3.5 对采用排水减压抗浮措施的地下工程，应设置长期沉降观测点，排水减压实施两年内，应每半年观测一次，此后可每年观测一次。

10.3.6 排水减压设施施工完毕后，宜对井底、沟底、排水廊道的沉泥进行观测，当沉泥量较多时，宜对减压井、排水廊道、沟壁无砂混凝土进行洗刷处理。

**10.3.7** 抗浮结构及构件应力监测测点布置应符合下列要求：

**1** 同类型构件监测点数不应少于3点；

**2** 应在不同高度布置监测点，同标高数量不应少于3点；

**3** 抗浮锚杆、抗浮桩数量在100条以下时，监测数量为10%，100条以上时，监测数量为5%，最少不应少于3个点。

**10.3.8** 监测频率应符合下列要求：

**1** 测力计或应力计安装后施工阶段每周量测一次，使用阶段每个月监测一次；

**3** 遇有暴雨及持续降雨，地下水水位急剧上升时，应每天观测；

**4** 监测值达到报警值时应连续观测；

**5** 投入使用后，监测不应少于3年。

**10.3.9** 抗浮工程监测遇到下列情况时应报警处理：

**1** 抗浮构件出现裂缝和已有裂缝有新发展；

**2** 抗浮桩或锚杆出现应力骤增、松弛或拔出的迹象；

**3** 抗浮桩或锚杆抗拔力监测值达到设计值；

**4** 地下水水位达到抗浮设防水位；

5 地下结构上浮或隆起量达到设计限值。

10.3.10地下室、上部结构施工过程及工程运行后，均应进行沉降观测，直至达到沉降稳定标准。

## 10.4 工程验收

* + - * 1. **10.4.1** 抗浮工程应作为建筑地基基础工程的分项工程进行施工质量检验和验收。

**10.4.2**　抗浮工程验收应在施工单位自检合格，且第三方检测单位完成全部检测工作并出具检测报告后进行。

10.4.3 抗浮工程验收应提交如下资料：

1 岩土工程勘察报告；

2 设计图、设计变更报告，重大问题处理文件；

**3** 施工技术资料，隐蔽工程检查验收记录，工程竣工图纸；

4 原材料、半成品如预制桩、钢筋笼等产品合格证书；性能试验报告，浆体强度、混凝土强度、混凝土与岩体粘结强度检测报告；

**5** 现场相关检测报告；

**6** 监测方案、实施及监测记录与监测报告；

**7** 监理方案、实施及监督记录与监督评价报告；

**8** 其他必须提供的文件或记录。

附录A 地下水类型与岩土体渗透等级划分

A.0.1 地下水类型宜按表A.0.1划分。

**表A.0.1 地下水类型**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 地下水类型 | | 特征 |
| 包气带水 | 孔隙水 | 包括非孔隙水饱和带水、毛细水、上层滞水等 |
| 裂隙水 | 岩体裂隙带垂直入渗过程中的水 |
| 岩溶水 | 溶隙和溶洞带垂直入渗过程中的水 |
| 潜水 | 孔隙水 | 存在于土的孔隙中，分布范围较大的，有统一水面的无压地下水 |
| 裂隙水 | 存在于岩体裂隙中，分布范围较大的，有统一水面的无压地下水 |
| 岩溶水 | 存在于溶洞和溶隙中，分布范围较大的，有统一水面的无压地下水. |
| 承压水 | 孔隙水 | 存在于土的孔隙中，分布范围较大的层，有压地下水 |
| 裂隙水 | 存在于岩体裂隙中的有压地下水 |
| 岩溶水 | 存在于溶洞和溶隙中的有压地下水 |

A.0.2 岩土体渗透等级宜按表A.0.2-1和A.0.2-2划分。

**表A.0.2-1 岩体渗透性等级**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 等级 | 透水率*q*(*L*u) | 岩体特征 |
| 极微透水 | *q*＜0.1 | 完整，裂隙等价张开度＜0.025mm |
| 微透水 | 0.1≤*q*＜1 | 裂隙等价张开度0.025～0.05mm |
| 弱透水 | 1≤*q*＜10 | 裂隙等价张开度0.05～0.1mm |
| 中等透水 | 10≤*q*＜100 | 裂隙等价张开度0.1～0.5mm |
| 强透水 | *q*≥100 | 裂隙等价张开度0.5～2.5mm |
| 极强透水 | 裂隙等价张开度＞2.5mm，连通孔洞 |
| 注：*L*u—透水率，为1MPa压力下，每米试段的平均压入水量，以L/min计。 | | |

**表A.0.2-2 土体渗透性等级**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 等级 | 渗透系数*k* (cm/s) | 土类 |
| 极微透水 | *k*＜10-6 | 黏土 |
| 微透水 | 10-6≤*k*＜10-5 | 黏土～粉土 |
| 弱透水 | 10-5≤*k*＜10-4 | 粉土，含细粒土砂 |
| 中等透水 | 10-4≤*k*＜10-2 | 砂土，含砂砾石 |
| 强透水 | 10-2≤*k*＜100 | 砾石，卵石 |
| 极强透水 | *k*≥100 | 均匀的漂砾 |

附录B 坡地地形的阻力系数

B.0.1 未设置截水帷幕时，坡地地形不同分段的阻力系数可按式（B.0.1-1）～（B.0.1-4）计算（图B.0.1所示）。

渗流进口与出口分段： （B.0.1-1）

内部垂直分段： （B.0.1-2）

内部水平分段： ，若＜0，取0 （B.0.1-3）

内部倾斜分段： （B.0.1-4）

|  |  |
| --- | --- |
| a) 进口与出口段 | b)垂直段 |
| c) 内部水平段 | d) 内部倾斜段 |

图B.0.1 不同渗流分段

B.0.2 当含有多层土时，土层的计算总厚度*T*应按式（B.0.2）计算。

 （B.0.2）

式中：*T——*土层的计算总厚度；

*Tj——*第*j*层土的计算厚度；

*T’——*结构物底板所在土层的厚度；

*kj——*第*j*层土的渗透系数；

*k’——*结构物底板所在土层的渗透系数；

*j——*土体层数，*j=1,2,…,n*。

B.0.3 当截水帷幕未进入相对弱透水层时，各分段的阻力系数按B.0.1条计算确定；当截水帷幕进入相对弱透水层，宜进行渗流分析；也可按B.0.4条计算截水帷幕段的等效渗透系数*ξ0*，以*ξ0*替换进、出口段的阻力系数，其余内部水平段、内部垂直段及内部倾斜段的阻力系数按B.0.1条计算。

B.0.4 当截水帷幕进入相对弱透水层时（图B.0.4-1所示），其渗流进、出口段的阻力系数*ξ0*可按式（B.0.4-1）～（B.0.4-2）计算。

 （B.0.4-1）

其中*K、K’*为完全椭圆积分，值可按表B.0.4查得，也可从图B.0.4-2中查得，λ按式（B.0.4-2）计算：

 （B.0.4-2）

式中：*——*止水帷幕进入不透水层的深度(m)；

**——不透水土层的厚度(m)。



图B.0.4-1止水帷幕进入不透水层

**表B.0.4进、出口段阻力系数**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| λ2 | *K/K’* | λ2 | *K/K’* | λ2 | *K/K’* | λ2 | *K/K’* |
| 0.001 | 0.325 | 0.220 | 0.752 | 0.520 | 1.018 | 0.820 | 1.397 |
| 0.002 | 0.350 | 0.230 | 0.763 | 0.530 | 1.028 | 0.830 | 1.416 |
| 0.003 | 0.366 | 0.240 | 0.775 | 0.540 | 1.037 | 0.840 | 1.439 |
| 0.004 | 0.379 | 0.250 | 0.781 | 0.550 | 1.047 | 0.850 | 1.462 |
| 0.005 | 0.389 | 0.260 | 0.794 | 0.560 | 1.057 | 0.860 | 1.484 |
| 0.006 | 0.398 | 0.270 | 0.800 | 0.570 | 1.066 | 0.870 | 1.511 |
| 0.007 | 0.407 | 0.280 | 0.806 | 0.580 | 1.076 | 0.880 | 1.538 |
| 0.008 | 0.413 | 0.290 | 0.820 | 0.590 | 1.087 | 0.890 | 1.567 |
| 0.009 | 0.420 | 0.300 | 0.826 | 0.600 | 1.098 | 0.900 | 1.600 |
| 0.010 | 0.426 | 0.310 | 0.833 | 0.610 | 1.107 | 0.910 | 1.634 |
| 0.020 | 0.472 | 0.320 | 0.840 | 0.620 | 1.117 | 0.920 | 1.672 |
| 0.030 | 0.503 | 0.330 | 0.855 | 0.630 | 1.129 | 0.930 | 1.718 |
| 0.040 | 0.526 | 0.340 | 0.862 | 0.640 | 1.140 | 0.940 | 1.770 |
| 0.050 | 0.546 | 0.350 | 0.870 | 0.650 | 1.151 | 0.950 | 1.828 |
| 0.060 | 0.565 | 0.360 | 0.877 | 0.660 | 1.163 | 0.960 | 1.901 |
| 0.070 | 0.581 | 0.370 | 0.885 | 0.670 | 1.174 | 0.970 | 1.992 |
| 0.080 | 0.599 | 0.380 | 0.893 | 0.680 | 1.186 | 0.980 | 2.123 |
| 0.090 | 0.613 | 0.390 | 0.901 | 0.690 | 1.199 | 0.990 | 2.347 |
| 0.100 | 0.625 | 0.400 | 0.909 | 0.700 | 1.211 | 0.991 | 2.381 |
| 0.110 | 0.637 | 0.410 | 0.917 | 0.710 | 1.224 | 0.992 | 2.421 |
| 0.120 | 0.649 | 0.420 | 0.926 | 0.720 | 1.238 | 0.993 | 2.463 |
| 0.130 | 0.662 | 0.430 | 0.935 | 0.730 | 1.250 | 0.994 | 2.513 |
| 0.140 | 0.676 | 0.440 | 0.943 | 0.740 | 1.264 | 0.995 | 2.571 |
| 0.150 | 0.685 | 0.450 | 0.952 | 0.750 | 1.279 | 0.996 | 2.639 |
| 0.160 | 0.694 | 0.460 | 0.962 | 0.760 | 1.294 | 0.997 | 2.732 |
| 0.170 | 0.704 | 0.470 | 0.971 | 0.770 | 1.311 | 0.998 | 2.865 |
| 0.180 | 0.714 | 0.480 | 0.980 | 0.780 | 1.326 | 0.999 | 3.077 |
| 0.190 | 0.725 | 0.490 | 0.990 | 0.790 | 1.342 |  |  |
| 0.200 | 0.735 | 0.500 | 1.000 | 0.800 | 1.361 |  |  |
| 0.210 | 0.746 | 0.510 | 1.009 | 0.810 | 1.377 |  |  |

λ2

图B.0.4-2 进口段阻力系数

# 附录C 水文地质参数试验方法

## C.1 同位素流速测井试验

**C.1.1**  测井断面宜布置在山前冲洪积倾斜平原具有代表性地带。

**C.1.2**  按测井方案施工测井，同位素流速测井孔径宜为50mm～300mm。

**C.1.3**  试验时应测定钻孔位置、测量井径、井深、水位埋深等，并填写流速测井调查表C.1.3。

表C.1.3 流速测井调查表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 井孔编号 | | 井深  (m) | 水位  埋深(m) | 滤水管  内径(mm) | 滤水管  外径(mm) | 井径(mm) | 滤水管  类型 | 含水层  岩性 | 水层厚度(m) | 见岩  情况 |
| 室内 | 野外 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

**C.1.4**  测井试验应符合下列要求：

**1** 每2m宜划分1个测段，多个含水层或含水层厚度很大时可布置多个测段；

**2** 根据放射性同位素出厂时的放射性强度，用放射性同位素衰减公式计算对应测段的投放量，用投源器投放到待测的测段，并用搅拌器上下拉动使示踪剂均匀分布；

**3** 每0.5m一个测点，每个测段5个测点，逐点用探测器测量放射性计数率随时间的变化，每个测点观测5次以上读数，投示踪剂投放前应测定环境放射性计数率；

**4** 绘制*t*-lg*N*半对数曲线，当*t*-lg*N*曲线上测点位于同一直线并随时间递减时测试数据有效；

**5** 流速测试完成后采用定向瞄准探测器测定流向，每旋转45o测一次，对于疑似流向的方位每10o加密读数，极坐标上玫瑰图的最大计数率方位为地下水流向；

**6**  由*t*-lg*N*曲线斜率计算平均渗透流速；

**7** 测井位置的单宽流量，当整个含水层厚度上都有测点时，流速乘以对应的厚度，当深度上有效数据不完整时，取岩性相同测点的流速平均值乘以厚度；

**8** 地下水侧向补给量按下列方法确定：

1）测定地下水流向和确定垂直于地下水流向的过水断面；

2）确定测井渗透流速和流向所能表征的断面长度；

3）计算不同过水断面的侧向流量，计算整个地带地下水的侧向补给量。

## C.2 压水试验

**C.2.1** 压水试验适用于渗透性较差的地层。应随钻孔的加深自上而下采用单栓塞分段隔离试验。岩石完整、孔壁稳定的孔段，单独试验可采用双栓塞分段。

**C.2.2** 试验段长度宜为5m。断层破碎带、裂隙密集带等孔段，应根据具体情况确定试段长度。相邻试段应相互衔接，不应漏段。

**C.2.3** 稳定压力下每1min～2min测读一次压入流量，当流量无持续增大趋势，且5次读数中最大值与最小值之差小于10%，或最大值与最小值之差小于1L/min时，取最终值作为计算值。

**C.2.4** 整理试验资料，校核原始记录、绘制*p*-*Q*曲线、确定*p*-*Q*曲线类型和计算试验段透水率等。

**C.2.5** 绘制*p*-*Q*曲线采用统一比例尺，纵坐标（*Q*轴）1mm代表0.01MPa，横坐标（*Q*轴）1mm代表1L/min。图上各点应标明序号，升压阶段用实线、降压阶段用虚线依次相连。

**C.2.6** 试验*p*-*Q*曲线类型根据升压阶段*p*-*Q*曲线的形状以及降压阶段*p*-*Q*曲线之间的关系确定。*p*-*Q*曲线类型划分及曲线特点可按表C.2.6确定。

表**C.2.6** *p*-*Q*曲线类型及曲线特点

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 类型 | A（层流）型 | B（紊流）型 | C（扩张）型 | D（冲蚀）型 | E（充填）型 |
| *p-Q*曲线 |  |  |  |  |  |
| 曲线特点 | 升压曲线为过原点的直线，降压曲线与升压曲线基本重合 | 升压曲线凸向*Q*轴，降压曲线与升压曲线基本重合 | 升压曲线凸向*p*轴，降压曲线与升压曲线基本重合 | 升压曲线凸向*p*轴，降压曲线与升压曲线不重合，呈顺时针环状 | 升压曲线凸向*Q*轴，降压曲线与升压曲线不重合，呈逆时针环状 |

注：曲线中第4点与第2点、第5点与第1点的流量值绝对差小于1L/min或相对差小于5%为基本重合。

**C.2.7** 试验段透水率采用第三阶段的压力值（*p*）和流量值（*Q*）按下式计算。

*q* = *Q*/（*p L*） （C.2.7）

式中：*q*——透水率（吕荣值Lu）；

*Q*——压入流量（L/min）；

*p*——作用于试段内的全压力（MPa）；

*L*——试段长度（m）。

**C.2.8** 岩土体渗透系数按下列方法确定：

**1** 试验段位于地下水位以下，透水性较小（*q*<10Lu）、*p-Q*曲线为A（层流）型时，渗透系数可按下式计算：

 （C.2.8）

式中：*Q'*3——压入流量（m3/d）；

*H'*——试验水头（m）；

*L*——试段长度（m）；

*r*0——钻孔半径（m）。

**2** 试验段位于地下水位以下，透水性较小、*p-Q*曲线为B（紊流）型时，可根据第一阶段换算成水头值的压力和流量用式（C.2.8）近似地计算渗透系数。

## C.3 无截水帷幕抽水试验

**C.3.1** 地层渗透性较大时，宜采用抽水试验测定渗透系数。抽水试验可采用单孔稳定流抽水试验，同一个场区内的抽水试验孔数不应少于3个。

**C.3.2** 抽水试验孔可利用勘探孔，同一个场区内抽水试验组数不得少于两组，在两个抽水试验孔之间宜布设2个～3个观测孔，并应符合下列规定：

**1** 孔径应满足抽水设备、出水量及水位降深的要求，且孔径一致；

**2** 孔的垂直度偏差为1%；

**3** 试验前应进行清水洗孔，禁止使用泥浆或将泥块投入孔内造浆。

**C.3.3** 抽水前应每30min观测一次静止水位，2h内变幅不大于20mm为稳定。

**C.3.4** 抽水试验降深应符合下列规定：

**1** 同一含水层试验应进行三次降深，测压管内测得各次降深间的差值宜相等；

**2** 单孔抽水试验的最小降深值*S*1不应小于0.5m，多孔抽水试验最小降深值*S*1应保证最远的观测孔水位降深不小于0.1m，或相邻观测孔的降深差不小于0.2m；

**3** 抽水试验的降深顺序，对于松散层中的孔隙含水层宜从小到大且循序渐进，对于基岩裂隙含水层以及粗颗粒的松散层宜从大到小进行。

**C.3.5** 稳定流抽水试验观测应符合下列规定：

**1**  抽水开始后的第5min、10min、15min、20min、30min、40min、50min、60min宜各观测一次水位和出水量，以后每隔30rnin观测一次；

**2** 水位和水量的稳定延续时间，单孔抽水试验不应少于4h，多孔抽水试验最远观测孔的水位稳定时间不应少于8h。

**C.3.6** 抽水试验结束后应立即观测恢复水位，观测时间为1min、3min、5min、10min、15min、30min，以后每隔30min观测一次，直至恢复静水位为止。

**C.3.7** 潜水含水层单孔完整井（图C.3.7）的渗透系数应按下式计算：

 （C.3.7）

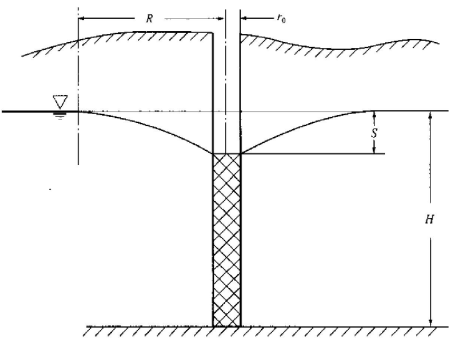
式中：*Q*——涌水量（m3/d）；

*S*——水位降深（m）；

*r*0——钻孔半径（m）；

*R*——影响半径（m）；

*H*——含水层厚度（m）。



图C.3.7 潜水含水层单孔完整井渗透系数计算示意

**C.3.8** 按涌水量计算渗透系数时宜根据恢复水位资料按下式确定，并将计算结果与按式（C.3.7）抽水试验计算的结果对比：

= （C.3.8-1）

*k*=*T*/*H* （C.3.8-2）

式中：*T*——导水系数（m2/h）；

*Q*——涌水量（m3/d）；

*i*——*S'*-(1+*t*p/*t'*)关系曲线的斜率，其中*S*'为剩余降深（m），*t*p为抽水延续时间（h），*t*'为水位恢复时间（h）。

**C.3.9** 影响半径可按表C.3.9中相关公式计算确定。

表C.3.9 影响半径计算公式

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 试验类型 | 公式 | 适用条件 |
| 多孔抽水 |  | 承压水：  两个观测孔 |
|  | 潜水：  两个观测孔 |
| 单孔抽水 | ,K改为*k* | 承压水；  概略计算 |
| K改为*k* | 潜水；  概略计算 |
| K改为*k* | 潜水：  完整孔 |
| K改为*k* | 潜水：  非完整孔 |
| K改为*k* | 承压水：  概略计算 |

注：*S*1、*S*2为各观测孔水位降深（m）；*r*1、*r*2为各观测孔至抽水孔的距离（m）；*t*为时间（d）；*μ*为潜水含水层的给水度；*λ*为水力坡降；H为含水层厚度（m）；k为渗透系数(m/d) ；Q为涌水量(m3/d)。

附录D 无砂混凝土渗透系数测试方法

D.0.1 无砂混凝土渗透系数宜按图D.0.1装置进行测定。



图D.0.1 实验装置示意图

1.供水系统；2.圆筒溢流口；3.盛水圆筒；4.水槽；5.试件；

6.边壁填充材料；7.水槽溢流口；8.量筒

D.0.2 测量器具应符合下列要求：直尺应精确至1mm；秒表精确至0.1s；量筒量程为2L，精确至1ml；温度计最小刻度为0.1℃。

D.0.3 实验试样尺寸为直径100mm、高度100mm的圆柱形样；盛水圆筒内径宜为110mm，高度应能满足水位差至少500mm为宜，圆筒底部开槽，使得圆筒与水槽内的水能连通。

D.0.4 实验用水宜使用无气水，可采用新制备的蒸馏水进行排气处理，实验时水温宜为(20±3)℃。

D.0.5 实验步骤如下：

1 用直尺量取试样直径*D*和厚度*L*，在不同位置分别测量两次，取平均值，精确至1mm，并计算试样的上表面面积*A*；

2 将试样四周用填充材料密封好，使其不漏水，水仅能从试样的上下表面进行渗漏。填充材料可使用橡皮泥、膨润土、凡士林或其他材料，应保证填充材料不能浸润试样太深，影响过水面积；

3 将密封后的试样放入盛水圆筒，与筒壁紧密贴合，有空隙的地方可用填充材料再次密封，密封好后向水槽和盛水圆筒注水，使水充分覆盖试样，水槽和圆筒水位持平，保持浸泡试样24h以上，同时调整圆筒溢流口和水槽溢流口的水头差为500mm；

4 打开供水系统，向盛水圆筒中注入无气水，使得圆筒溢流口有水流出，调整进水量，使得盛水圆筒与水槽能保持一定水位差，水槽溢流口水量稳定后，用量筒从水槽溢流口接水，并用秒表记录盛满2L的时间，测量三次，取平均值；

5用直尺测量盛水圆筒与水槽溢流口之间的水位差*H*，精确至1mm（500±1mm），用温度计测量水槽中水的温度*T*，精确至0.1℃；

6 渗透系数应按下式计算：

 (D.0.5）

式中：*kT*—— 水温为T℃时的渗透系数；

*Q*——时间t秒内渗出的水量；

*L*——试样的厚度；

*A*——试样的上表面积；

*H*——盛水圆筒和水槽之间的水头差；

*t*——时间。

实验结果应以3块试样的平均值表示，计算精确至1.0×10-3cm/s。

附录E 反滤层级配计算方法

**E.0.1** 应绘制被保护土体、反滤层砂砾料的颗粒级配曲线，求出各自的上、下包线。

**E.0.2** 被保护土体为无粘性土，其第一层反滤层的级配宜按式（E.0.2-1）、式（E.0.2-2）确定：

（E.0.2-1）

（E.0.2-1）

式中 ——反滤料的粒径，小于该粒径的土重占总土重的15%；

——被保护土体的粒径，小于该粒径的土重占总土重的15%；

——被保护土体的粒径，小于该粒径的土重占总土重的85%。

**E.0.3** 被保护土体为粘性土时，其第一层反滤层的级配宜按下列方法确定：

1 对于小于0.075mm颗粒含量大于85%的土体，其反滤层可按式（E.0.3-1）确定：

(E.0.3-1)

当mm时，取等于0.2mm。

2 对于小于0.075mm颗粒含量为40%~85%的土体，其反滤层可按式（E.0.3-2）确定：

mm (E.0.3-2)

3 对于小于0.075mm颗粒含量为15%~39%的土体，其反滤层可按式（E.0.3-3）确定：

(E.0.3-3)

式中 *A*——小于0.075mm颗粒含量，%；

若式(E.0.3-3)中，取。

4 上述三款中土颗粒级配还应同时满足式（E.0.3-4）的要求：

(E.0.3-4)

当时，应取不小于。

**E.0.4** 反滤料（下包线）和（上包线）的粒径关系宜符合表E.0.4的规定。

表E.0.4 防止分离的（下包线）和（上包线）的粒径关系

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 被保护土体类别 | (mm) | (mm) |
| 所有类别 |  | 20.0 |
| 0.5~1.0 | 25.0 |
| 1.0~2.0 | 30.0 |
| 2.0~5.0 | 40.0 |
| 5.0~10.0 | 50.0 |
| 10.0 | 60.0 |

**E.0.5** 当求出的第一层反滤层，不满足式（E.0.2-1）、式（E.0.2-2）的要求，应设第二层反滤层。同理，计算是否需要第三层反滤层。计算二层、第三层反滤层时，可分别以第一层、第二层反滤层为被保护土体。

**E.0.6** 不能采用上述方法确定反滤层时，应通过试验确定。

**本规程用词说明**

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，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，在正常情况下均应该这样做的：

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用词，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 国家现行标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007-2011

2 国家标准《工程结构可靠性设计统一规范》GB 50153

3 国家标准《建筑结构荷载规范》GB50009

4 国家标准《建筑结构可靠性设计统一标准》GB50068

5 国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010-2010

6 行业标准《建筑工程抗浮技术标准》JGJ 476-2019

7 国家标准《岩土工程勘察规范》G50021-2001

8 国家标准《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476-2008

9 国家标准《港口工程混凝土结构设计规范》JTJ 267

10国家标准《工业建筑防腐蚀设计标准》GB 50046

11 国家现行标准《先张法预应力混凝土管桩》GB/T 13476

12 行业标准《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ72-2004

13 行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ120

14 行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94

15 《高压喷射扩大头锚杆技术规程》JGJT 282

16 国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204

17 国家标准《建筑地基基础施工质量验收规范》GB50202

18 行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ52

19 国家标准《建筑结构检测技术标准》GB/T50344

20 行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ106

21 国家标准《地下工程防水技术规范》GB50108

22 国家标准《地下防水工程质量验收规范》GB50208

23 行业标准《城市地下水动态观测规程》CJJ 76

24 行业标准《碾压式土石坝设计规范》SL 274

CECS标准

**地下结构排水减压抗浮设计标准**

**（征求意见稿）**

**条文说明**

**目 次**

[1 总则](#_Toc480202821) 77

[2 术语、符号](#_Toc480202822) 78

[2.1 术语](#_Toc480202823) 78

[3 基本规定](#_Toc480202825) 79

[3.1 抗浮勘察要求](#_Toc480202823) 79

[3.2 抗浮设计要求](#_Toc480202823) 80

[3.3 抗浮施工要求 82](#_Toc480202823)

[3.4 检测与监测要求](#_Toc480202823) 83

[4 抗浮水文地质勘察](#_Toc480202826) 84

[4.1 一般规定](#_Toc480202827) 84

[4.2 水文地质勘察](#_Toc480202828) 84

[5 水浮力计算及抗浮稳定性验算](#_Toc480202829) 86

[5.1 设防水位确定](#_Toc480202830) 86

[5.2 水浮力计算](#_Toc480202831) 86

[5.3 抗浮稳定性验算](#_Toc480202832) 91

[5.4 抗浮措施](#_Toc480202832) 92

[6 截水帷幕 9](#_Toc480202834)4

[6.1 一般规定](#_Toc480202835) 94

[6.2 地下连续墙](#_Toc480202836) 95

[6.3 搅拌桩](#_Toc480202838) 96

[6.4 旋喷桩 97](#_Toc480202838)

[6.5 灌浆帷幕 97](#_Toc480202838)

[7 排水减压抗浮 98](#_Toc480202839)

[7.1 一般规定 98](#_Toc480202840)

[7.2 无砂混凝土配合比 98](#_Toc480202841)

[7.3 减压井](#_Toc480202841) 99

[7.4 排水廊道](#_Toc480202842) 101

[7.5 反滤层](#_Toc480202843) 103

[7.6 回灌井](#_Toc480202843) 104

[**8 邻近建筑物沉降**](#_Toc480202844) **105**

[8.1 排水引起的沉降](#_Toc480202843) 105

[8.2 总沉降](#_Toc480202843) 106

[9 联合抗浮](#_Toc480202845) 107

[9.1 一般规定](#_Toc480202843) 107

[9.2 抗浮桩](#_Toc480202843) 107

[9.3 抗浮锚杆](#_Toc480202843) 108

[9.4 地下室底板](#_Toc480202843) 112

[10 质量检测与地下水监测](#_Toc480202845) 115

[10.1 一般规定](#_Toc480202840) 115

[10.2 质量检测](#_Toc480202840) 115

[10.3 地下水监测](#_Toc480202840) 116

[10.4 工程验收](#_Toc480202841) 118

[附录A 地下水类型与岩土体渗透等级划分](#_Toc480202846) 119

[附录B 坡地地形阻力系数](#_Toc480202847) 120

[附录C 水文地质参数试验方法](#_Toc480202848) 121

[附录E 反滤层级配计算方法](#_Toc480202850) 122

1 总则

1.0.1 我国东南沿海及内地沿江沿河沿湖高地下水位地区城市发生过许多地下结构整体上浮、结构构件（底板等）开裂的工程事故，在北方和西部地下水位较低的城市也发生过不少地下结构抗浮失败的案例。相对而言，高水位地区抗浮失败事故较多，低水位地区抗浮失效的事故较少，而且，随着工程建设规模的扩大和地下结构开挖深度越来越大，地下结构上浮事故频率呈上升趋势。原因主要有勘察资料不完整，抗浮设防水位取值太低，设计抗浮方案及计算不合理，施工阶段抗浮措施不到位等，目前已发布行业标准《建筑工程抗浮技术标准》JGJ 476-2019，对建筑工程抗浮起到很好的指导作用，本规程主要针对截排减压及联合抗浮技术进行设计规范。

1.0.2 本规程适用于地下工程以截排减压主动抗浮技术及截排减压与抗浮构件联合抗浮技术为主要方法的抗浮设计、施工及检测与监测要求，包括：新建、改建、扩建的工业与民用建筑、市政工程，轨道交通工程是市政工程的一部分。

**1.0.3** 一般情况下，采用排水减压抗浮方法比较经济，比如，临江、临河、山坡地形，地势低洼常被淹没场地等。一些情况下，适合采用排水减压+抗浮桩或抗浮锚杆联合抗浮方法，如，排水减压可以解决抗浮问题，但局部地基承载力不足等。抗浮方案的选择，应充分考虑上部结构荷载特征与功能要求、场地工程地质与水文地质条件及环境保护要求等因素，结合地方经验，因地制宜确定抗浮方案。

1.0.4在按本规程进行地下工程的抗浮设计时，除应遵守本规程的规定外，尚应符合国家现行标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007和行业现行标准《建筑工程抗浮技术标准》JGJ 476等的规定。

2 术语、符号

**2.1 术语**

2.1.1 地下水浮力是指地下结构受到地下水向上作用的竖向合力。

2.1.5 地下水水位是指地下以[自由水](http://www.so.com/s?q=%E8%87%AA%E7%94%B1%E6%B0%B4&ie=utf-8&src=wenda_link)形式存在的水体的表面高程，或承压水在测管（孔）中测得的水面高程。它与地下水补给和地下水排泄有密切关系，地下水位是动态变化的，一般不会稳定在某一个值。

2.1.6 抗浮设防水位是抗浮设计中保证地下结构不致因抗浮能力不足而上浮破坏，也不致因安全系数太高而导致抗浮措施不经济，是设计人员综合分析各种影响地下水位因素及建设场地区域内长期水位变化及历史洪水位而人为取的一个设计水位。

2.1.10 排水减压抗浮是一种通过自排或抽排地下水，将地下水位控制在设计抗浮设防水位以下的主动抗浮措施。与抗浮桩和抗浮锚杆等被动抗浮措施比较，排水减压抗浮措施工程造价较低，但需要考虑工程正常使用期间的维护，也应采取截水帷幕措施减少对周边环境的影响。

**2.1.15** 减压井一般设置在地下结构底板以下，通常采用直径不小于1m，能进人维修和更换侧壁透水无砂混凝土砌块。减压井外围地层透水性较差时应设置反滤层。减压井之间设置连接的管道，将所有减压井联系在一起，实行集中排水，减压井井口标高应不高于设防水位标高。

**2.1.16** 排水廊道一般用于山坡地形，沿地下结构底板周边一圈设置具有透水功能的自流排水隧道，排水面标高应低于抗浮设防水位。排水廊道利用地形特点设置一定的自流排水坡度，与地面以下市政排水管网连接进来，这是最节省的抗浮方式。为控制排水对周围环境的影响，在排水廊道外围应设截水帷幕。

**2.1.17** 为防止疏水层在上层浇捣垫层或底板混凝土时水泥浆流入，应在疏水层上面铺设一层土工布。

**2.2.21** 用作反滤层的砾石土中的碎石、砾石、砂等应有一定的强度，风化的和开挖的风化岩石经碾压后形成的及人工掺合的各种砾石土不易被压碎。

3 基本规定

3.1 勘察要求

**3.1.1** 工程抗浮勘察目的是查明建设场地水文地质条件和地下水动态变化规律，提供抗浮设计和施工相关的参数，重点了解地下水状态及其变化规律，应充分调查利用该区域已有水文地质资料尤其是城市地下水长期观测资料，以满足抗浮设计参数取值的需要。

由于岩土工程勘察和工程抗浮所需的成果资料的侧重点不同，岩土工程勘察应满足抗浮需要，勘察成果应提供包括抗浮工程设计和施工所需要的资料。如果没有详细的水文地质勘察资料，应对于甲级及水文条件复杂的乙级工程进行抗浮专项勘察。

**3.1.2** 抗浮设防水位是地下工程抗浮设计的关键参数，岩土工程勘察报告应提出建议值。

抗浮设防水位的确定非常复杂，需要考虑的因素众多，需要在勘察时尽可能收集场地所在区域的水文地质资料和历史上近几十年内的气象资料，包括历史洪水位等，进行地下水位随着季节变化的动态变化预测分析，建立地下水位长期观测井。抗浮设防水位确定还应考虑设计使用年限、拟建工程埋置位置、结构单元划分、结构底板埋深及标高变化、结构荷载大小及分布等。就设计使用年限而言，根据国家现行有关设计标准，一般建筑工程要求50年或更长时间的设计基准期，轨道交通工程、市政桥梁隧道等往往设计使用年限为100年，重大工程可能要求更长的设计服务年限，而地下水具有多变性，应考虑罕遇洪水的作用，江河水位的水位变化幅度应考虑江河水位暴涨而引起场地被洪水淹没等，这些数据在勘察期间难以获得。另一方面，由于工程勘察时间较短，获取的资料有限，勘察单位搜集相关资料困难等，无法对场地水文地质条件、地下水的水位及其变化规律进行完整的分析，但此项工作对工程抗浮安全至关重要，因此，勘察报告应在充分分析基础上提供抗浮设防水位建议值，对非常重要的工程，可委托机构进行专项勘察。

3.2 设计要求

**3.2.1** 由于地下工程的类型多、用途广，不同的空间使用功能和用途，对抗浮设计的要求也不同，为保证安全又经济合理，应对地下空间划分等级进行设计。例如地下综合管廊、纯地下车库、地下过街通道、地下一般设备用房等，对渗漏、防潮的要求不高；而地下商场综合体、地下交通综合体、地下医院及地基基础设计等级为甲级的工程等对防渗、防水、防潮以及底板隆起变形有严格限制，因此，本规程依据现行国家标准《工程结构可靠性设计统一规范》GB 50153关于结构安全等级划分的规定及现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007等对地基基础设计等级的划分，考虑水文地质条件的复杂性、抗浮要求和地下水浮力可能产生的危害严重程度，对工程抗浮的设计等级进行划分。

（1）工程地质、水文地质复杂是指地层结构变化大、地下水的补给径流和排泄条件复杂、存在多个含水层且厚度和层面坡度变化大、地下水类型多、不同含水层水力联系复杂，以及地下水动态变化规律性不强的场地，应按甲级抗浮等级设计。

（2）地下工程的使用功能有特殊要求是指地下室在停电期间也不能有地下水溢流进入地下室或地下室裂缝渗漏等影响使用功能等，公共空间人流密集，应保证人员的安全，应按甲级抗浮等级设计。

（3）抗浮失效对工程安全危害不严重的工程是指埋深浅、工程规模小、使用功能简单，抗浮失效不会构成公共安全问题等工程及临时性工程，宜按丙级进行抗浮设计。

本规程抗浮等级划分与行业标准《建筑工程抗浮技术规范》JGJ476 协调一致。

3.2.2 地下结构抗浮设计中，将地下工程的场地地貌划分为平地、坡地、洼地、临江四种类型，有利于截排减压抗浮设计方案选定。这是本规程对课题组科研成果应用的提升。

3.2.3 地下结构在施工期间和使用期间对受到地下水浮力作用的稳定性验算应分别进行。抗浮设计等级高的安全系数应取高值，抗浮设计等级低的安全系数应取低值，施工期的抗浮安全系数可小于使用期的安全系数。

抗浮设计等级为甲级、乙级和丙级，对应抗浮安全系数分别取1.05、1.05和1.0。其中，抗浮设计等级为甲级安全系数取值比行业标准《建筑工程抗浮技术规范》JGJ 476 稍低，但已满足其抗浮稳定性要求，因为在结构和构件设计时还考虑了1.1的重要性系数。

3.2.4地下结构的截排减压系统、永久抗浮锚杆及抗浮桩的实际有效使用年限与建筑物的使用年限可能不一致，但设计中应采取可靠措施保证各构件不应少于地下结构的设计使用年限。例如，减压井和排水廊道的透水砌块，应定期清理和维护，透水性变差时应及时更换；在中强腐蚀性环境中，永久抗浮锚杆及抗浮桩的受力钢筋可以采取环氧树酯涂层等保护措施，提高其耐久性。

3.2.5、3.2.6在正常使用极限状态和承载能力极限状态下，地下水浮力到底按永久荷载取值还是按可变荷载取值目前的研究没有统一的定论。

现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB50009和《建筑结构可靠性设计统一标准》GB50068中定义永久荷载为“在结构使用期间，其值不随时间变化，或其变化是单调的并能趋于限值的荷载”；可变荷载为“在结构使用期间，其值随时间变化，且其变化与平均值相比不可以忽略不计的荷载”。按照这两个规范的定义，水浮力可以定为可变荷载，但这样做未免简单化处理了。地下水位是一个随时都在动态变化过程中，其结果是水浮力是动态变化的，但在设计中，规范明确使用设防水位计算水浮力，而不是按实际水位计算水浮力，问题在于设防水位有时取得保守，有时取得又不够安全。所以我们应该分析建设场地的水文地质条件，区别对待，例如，南方沿海高水位地区，地下水位通常在地面以下1m左右，设防水位取至地面，设防水位与实际水位长期动态变化幅度不大，可以按永久荷载计算；北方地区，长期地下水位在地面以下几十米甚至上百米深，但偶然的暴雨或五十年不遇的洪水，可能造成短期内地下水位快速上涨，地下水位短期可能超过设防水位，这种情况可以按可变荷载取值。

《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ72-2004已经明确规定建筑工程所受地下水的浮力是永久性荷载；行业标准《给水排水工程构筑物结构设计标准》GB50069-2002明确荷载性质为活荷载；《岩土工程勘察规范》G50021-2001规定地下水原则上应按设防水位计算浮力，且明确：可变作用包括地表或地下水的压力（侧压力和浮托力）、流水压力，而土的竖向压力和侧压力、构筑物内的盛水压力属永久作用；《给排水工程构筑物结构设计规范》GB50069-2002明确，对于抗浮结构的设计，地表水或地下水作用应是第一可变荷载，在进行结构构件的强度计算时分项系数取为1.27；即在结构构件的强度计算时，结构有利组合的抗力分项系数取1.0，水浮力的基本组合设计值为标准值乘上1.27；《给水排水工程钢筋混凝土水池结构设计规程》CECS138-2002规定水池内的盛水压力为永久荷载，地表或地下水压力（侧压力、浮托力）为可变荷载。

《建筑地基基础设计规范》GB50007-2011规定：计算挡土墙土压力、地基或斜坡稳定及滑坡推力时，荷载效应采用承载能力极限状态下荷载效应的基本组合，但其分项系数均为1.0；在确定基础或桩台高度、支挡结构内力、配筋和验算材料强度时，上部结构传来的荷载效应组合和相应的基底反力，应采用承载能力极限状态下荷载效应的基本组合，采用相应的分项系数。

综上所述，设计中首先应该确定水浮力按永久荷载还是按可变荷载取值，然后依据规范，决定分项系数的取值。

**3.2.9** 地下工程抗浮在施工阶段出事故的案例不少，主要是没有引起足够的重视，往往在暴雨或洪水期间出事的频率高，抽水不及时或排水能力不足，导致地下水位突然暴涨，而地下室或上部结构荷载尚未加上去，或地下室已施工完成，已停止抽排水，地下室侧壁基坑尚未回填，抗浮能力不足造成抗浮失效。

因此，施工组织设计应高度重视，加强防范意识，保证施工降排水措施到位，保证施工期间工程抗浮安全。

3.3 抗浮施工要求

**3.3.1** 建筑及市政工程在施工阶段比较容易因疏忽大意造成抗浮失效事故，因此，抗浮工程专项施工组织设计方案显得很重要。例如：在地下水位较高的情况下，抗浮失效事故一般发生在基底处存在强透水砂层，在地下室施工过程中停止降水，或肥槽没有及时回填时发生上浮。对于地下水位较低的情况，在施工过程中，要注意保持地表水排水通道顺畅。雨季时连续降雨使得基坑内外的水位不断上升，地表及地下水通过基坑底部、支护侧壁及截水帷幕破损处大量汇集流入基底，造成底板下水浮力不断增加。又如，地下结构上覆土层对建筑工程结构抗浮稳定性控制具有较大的作用，当地下结构施工完毕，上部建筑荷载尚未施加时，地下工程的覆土自重抗浮至关重要，如覆土不能及时填筑，在遭遇暴雨情况下，极易造成地下结构上浮。因此，抗浮工程的施工组织设计至关重要，应提前策划，方案应有针对性控制措施。

**3.3.2** 基坑支护的锚杆不宜打穿截水帷幕，若采用锚杆支护时锚头应有可靠的止水措施。

**3.3.3** 抗浮工程专项施工组织设计方案中应明确提出本条文所例措施，编制详细实施顺序及要求，达到经济合理的效果，以保障工程安全。

3.4 检测与监测要求

**3.4.1**抗浮工程是地下工程的组成部分，直接影响建筑工程的安全和设计使用功能，又是隐蔽工程，应在施工过程中按分部分项进行质量检验和验收。

**3.4.2** 采用主动抗浮方法及主、被动联合抗浮方法的工程，进行水位和抗浮稳定性长期监测十分必要，防止淤堵引起地下水位上升，从而造成抗浮失效事故。对于抗浮设计等级为甲级的工程，采用新技术、新材料、新工艺和新方法时，宜对抗浮结构及构件进行内力和变形监测，为以后工程设计积累经验。

4 抗浮水文地质勘察

**4.1 一般规定**

**4.1.1** 岩土工程勘察包括了工程地质和水文地质勘察，应查明建设场地水文地质条件和地下水动态变化规律，勘察成果应该提交供抗浮设计所需的资料和水文地质参数，所以岩土工程勘察应满足抗浮工程的要求，抗浮水文地质勘察宜与设计阶段相对应的岩土工程勘察同步进行。

当拟建场地水文地质条件复杂且收集资料不够充分时，应进行抗浮工程专项勘察。水文地质条件复杂程度与地层岩性、地下水埋藏条件、场地地质地貌复杂性有关，通常在平原地区或宽广的河流阶地，地层厚度和层面坡度变化不大，补给和排泄条件简单明了，地下水动态变化规律也较简单，容易查明水文地质条件；而在山区或沟谷等地质地貌多样，尤其是岩溶发育的地区，地层厚度和层面坡度变化大，地下水补给、径流和排泄条件复杂，地下水动态变化规律复杂，这些场地水文地质条件比较复杂，一般工程勘察很难查明水文情况，需进行抗浮水文地质专项勘察。浸没场地和斜坡场地等也应按复杂场地对待。水文地质条件复杂时，勘探点间距应适当减小。

抗浮水文地质条件按复杂程度划分为复杂和一般两类，有利于抗浮设计等级的划分。

4.1.2临江场地和建筑物地势低洼场地抗浮水文地质专项勘察不仅要查明地下水动态，而且应查明地下水体与场地临江的水力联系情况。查询当地近几十年来的气象和水文资料十分重要，查明水库、江、河、湖、海等水体的水位逐年变动情况，特别是历史洪水位的情况，对较准确预测该场地可能的最高和最低水位必不可少。

**4.2 水文地质勘察**

4.2.1平地地形进行抗浮水文地质专项勘察，适用于抗浮设防水位取室外地坪以下的情况以及取至室外地坪尚不能保证安全的情况。

4.2.2坡地抗浮水文地质专项勘察需查明设计边界条件，为坡地抗浮设计时渗流分析确定地下室上下游的水头。斜坡场地进行工程建设时，地面经过平整以及不同深度地下结构改变了地下水的径流方向，有可能引起场地地下水水位发生很大变化，因此，对斜坡场地进行专项勘察时，不仅要查明场地现状水文地质条件，而且应根据地下结构分布情况，对工程建设后的地下水位变化进行有效预测，为抗浮设计提供依据。

4.2.4 岩溶场地水文地质勘察应以测绘和调查为基础。水文地质调查主要包括：岩溶洞隙的分布、形态和发育规律；岩面起伏、形态和覆盖层厚度；地下水与岩溶地貌、构造、岩性的关系；地下水赋存条件、水位变化和运动规律。

5 水浮力计算及抗浮稳定性验算

**5.1 设防水位确定**

5.1.1 地下结构抗浮设防水位是指使用期内抗浮设防水位*Hs*，应取设计使用年限内可能遇到的最高水位。勘察期间实测水位不得作为抗浮设防水位使用。

5.1.2 当室外地坪有坡度时，分段确定抗浮设防水位有利于节省工程造价。

5.1.4 场地地势低洼且有可能发生淹没、浸水时，无经验时可取设计室外地坪以上0.50m高程，不一定能覆盖最危险的情况，也许淹没、浸水高度超过0.50m，因此，最好取得近几十年历史洪水位的调查数据，可作为参考依据的基础。

5.1.6 减压井和排水廊道抗浮控制水位可取至排水面的标高可大大降低工程造价，这是减压井和排水廊道抗浮方法的最大优势，因为在设防水位以上的水都通过减压井和排水廊道排走了，但必须保证在设计使用年限内减压井和排水廊道可靠地发挥作用。

**5.1.7** 场地及其周边或场地竖向设计的分区标高差异较大时，可以划分抗浮设防分区，采用不同的抗浮设防水位，同样是为了降低工程造价。对于坡地地形，不同竖向设计标高的上一级分区地下水可向下一级标高分区自行排泄时，抗浮设防水位可取下一级标高区高程。

**5.1.9** 施工期抗浮设防水位不同于使用期的抗浮设防水位，施工期抗浮设防水位可能比使用期的抗浮设防水位低很多，设计文件一般不会说明施工设防水位，但不等于施工期抗浮不重要，施工期间抗浮失效事故很多，与施工组织设计不重视、现场施工人员不重视及措施不到位有关。

虽然施工期比较短，但基坑、基槽的暴露可能积水，加之可能受地下水补给、排泄条件改变的影响，施工阶段可以抵抗地下水浮力的上部结构荷载尚未施加完成，因此，施工期抗浮设防水位的确定应综合考虑勘察时实测的场地水位、预计施工期的雨季地下水位上升和近3年~5年最高水位的最不利工况。

**5.2 水浮力计算**

**5.2.1** 当地下室周边设置的止水帷幕高出设防水位时，可以考虑止水帷幕的影响。

若地下室采用排水减压抗浮措施，则p应以排水减压抗浮控制水位为准。

地下室

弱透水层

强透水层

*H*

S

*HC*

*Z*

*b*

填土层

*d*

*dn*

*m*

(*Hs* >*HC*)

图5.2.1 地下室底板水压力计算简图

若地下室底板下存在连续透水层，且不会被隔断，又能保证地下室四周回填密实的弱透水材料，若承压水位低于设防水位时（图5.2.1-1），底板水压力可按下列简化公式计算：

1 底板边跨范围内：

 （5.2.1-1）

2 其余跨中部分：

 （5.2.1-2）

式中：——抗浮设防水位；

——承压水水位高程；

——地下室进入弱透水层的深度；

——地下室底板下弱透水层厚度。

对图5.2.1，地下室底板水压力按式（5.2.1-1）、式（5.2.1-2）计算与有限元计算分析结果比较，简化公式比有限元计算结果：边跨误差为5%，跨中相等。

计算参数：*Hs*=12m、*HC*=7m，填土层厚3m，*k*为1×10-4cm/s，黏土层厚6m，*k*为1×10-5cm/s，砂土层厚3m，*k*为1×10-3cm/s，地下室宽100m，进入弱透水层3m，见简图5.2.1-2，有限元计算结果如下（表5.2.1）。



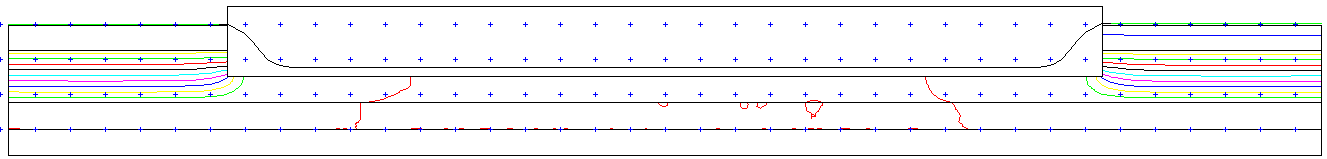


图5.2.1-2 有限元计算流网

表5.2.1 底板底面水头计算结果（m）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 简化公式 | 有限元 |
| 边跨 | 9.5 | 8.996 |
| 中跨 | 7 | 7 |

工程实践中，地下室周边的回填质量很难保证密实，通常情况下底板水浮力还是按抗浮设防水位计算。采取可靠的截水措施和基坑回填措施时，边跨范围内底板水压力应按抗浮设防水位计算，其余位置底板水浮力可按承压水水位高程计算。

5.2.3 渗流模型的分析范围往往大大超出建筑场地的范围，具有典型特征的分水岭、河流、湖泊常作为分析边界条件，超出场地一定距离对场地基本无影响的区域一般作为不透水边界处理，结构物等一般可作为弱透水区域处理。在渗流环境下，如坡地地形或临江地形，地下室底板上的水浮力分布一般不均匀，宜通过渗流分析计算底板下水浮力，也可采用改进阻力系数法计算底板特征点的水头值，然后确定水浮力。

本条公式是参照毛昶熙关于闸坝地基渗流计算公式而来，采用改进的阻力系数法计算，阻力系数的计算方法详见附录c，基本思路是沿某一控制方向计算某些特征点上的水头值，特征点之间的区域采用线性插值计算水头。但应注意，闸坝地基与此处坡地地形在渗流边界上的不同，主要区别在于闸坝地基上下游均为浸没，而坡地地形上下游可能浸没，也可能为潜水。

对于计算断面上、下游位置处的水头值，一般应通过渗流分析确定。即首先确定分水岭的位置，作为上游边界，经渗流至结构物处确定*HT、HB，*详见算例1。当无工程设计资料时，*HT、HB*可近似取至上、下游室外地坪，这样取值对计算特征点的水头一般是相对安全的；当上下游地下水都出现出溢时，这样取值也是准确的；当上、下游有隔水层时，该简化可能不安全，设计时应注意。

算例1：某坡地地形如下图所示，结构物位于残积土层，土层均一，隔水底板水平，土层渗透系数1×10-4cm/s，地下水流由坡顶分水岭流向坡脚，并在坡脚出溢，水位如下图3，求流经结构物时结构物上下游水头HT、HB。（本算例未考虑坡面降水补给。）

解：设坡顶、坡脚、结构物上下游水头分别为*H1、H2、HT、HB*，结构物宽度*L*，坡顶距上游为*L1*，坡脚距下游为*L2*，土层渗透系数为*K*，结构物以下土层厚度为*M*，结构物上下游均为潜水流，对上下游应用杜布依公式：



图5.2.3 某坡地地形断面（单位：m）

上游：

转化为：，可令

下游：

转化为：，可令

结构物上下游可视为渗流垂直段，底板以下视为水平段，分别求得阻力系数为：

上游垂直段：

水平段：

下游垂直段：

因*HT、HB*均为未知数，因此可先假定一初值，迭代计算求得其数值解，迭代格式设置如下：

（1）令、这里*HT0、HB0*可取上下游的地面高程；

（2）将*HT0、HB0*，代入上式，求得，

由，可求得；

（3）由;可分别求得*HT、HB*的新值*HT1、HB1*；

（4）比较式、是否同时满足，若满足则*HT0、HB0*就是满足要求的数值解，可作为结构物上下游水头；若不满足上式，则令、，将*HT2、HB2*的值重新赋予*HT、HB*代入步骤（2）迭代计算，直至满足上式要求，见表5.2.3。

表5.2.3 迭代结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 迭代 | H1 | | HT | | HB | | H2 | ζ1 | | ζ2 | | ζ3 | | ζ4 | ζ5 | | ∑ζ |
| 初值 | 39 | | 35.000 | | 33.000 | | 25 | 1.351 | | 0.144 | | 0.333 | | 0.091 | 1.724 | | 3.644 |
| 1 | 39 | | 34.404 | | 32.312 | | 25 | 1.362 | | 0.129 | | 0.333 | | 0.072 | 1.745 | | 3.641 |
| 2 | 39 | | 34.083 | | 32.010 | | 25 | 1.368 | | 0.121 | | 0.333 | | 0.063 | 1.754 | | 3.639 |
| 3 | 39 | | 33.910 | | 31.879 | | 25 | 1.372 | | 0.116 | | 0.333 | | 0.059 | 1.758 | | 3.638 |
| 4 | 39 | | 33.816 | | 31.822 | | 25 | 1.373 | | 0.113 | | 0.333 | | 0.057 | 1.760 | | 3.637 |
| 5 | 39 | | 33.765 | | 31.798 | | 25 | 1.374 | | 0.112 | | 0.333 | | 0.057 | 1.761 | | 3.637 |
| 6 | 39 | | 33.737 | | 31.788 | | 25 | 1.375 | | 0.111 | | 0.333 | | 0.056 | 1.761 | | 3.637 |
| 7 | 39 | | 33.722 | | 31.783 | | 25 | 1.375 | | 0.111 | | 0.333 | | 0.056 | 1.761 | | 3.637 |
| 8 | 39 | | 33.714 | | 31.781 | | 25 | 1.375 | | 0.111 | | 0.333 | | 0.056 | 1.761 | | 3.637 |
| 迭代 | | q/K | | HT' | | HB' | | | HT-HT' | | HB-HB' | | (HT+HT')/2 | | | (HB+HB')/2 | |
| 初值 | | 3.84 | | 33.8084 | | 31.6238 | | | 1.2 | | 1.3762 | | 34.4042 | | | 32.3119 | |
| 1 | | 3.85 | | 33.7619 | | 31.7089 | | | 0.6 | | 0.603 | | 34.083 | | | 32.0104 | |
| 2 | | 3.85 | | 33.736 | | 31.748 | | | 0.3 | | 0.2624 | | 33.9095 | | | 31.8792 | |
| 3 | | 3.85 | | 33.7218 | | 31.7657 | | | 0.2 | | 0.1135 | | 33.8157 | | | 31.8225 | |
| 4 | | 3.85 | | 33.7141 | | 31.7737 | | | 0.1 | | 0.0488 | | 33.7649 | | | 31.7981 | |
| 5 | | 3.85 | | 33.7098 | | 31.7773 | | | 0.1 | | 0.0208 | | 33.7373 | | | 31.7877 | |
| 6 | | 3.85 | | 33.7075 | | 31.7789 | | | 0 | | 0.0088 | | 33.7224 | | | 31.7833 | |
| 7 | | 3.85 | | 33.7063 | | 31.7797 | | | 0 | | 0.0037 | | 33.7144 | | | 31.7815 | |
| 8 | | 3.85 | | 33.7056 | | 31.78 | | | 0 | | 0.0015 | | 33.71 | | | 31.7807 | |

由迭代计算可得上下游水头的数值解*HT*=33.714m、*HB*=31.781m;

建立有限元模型计算得：

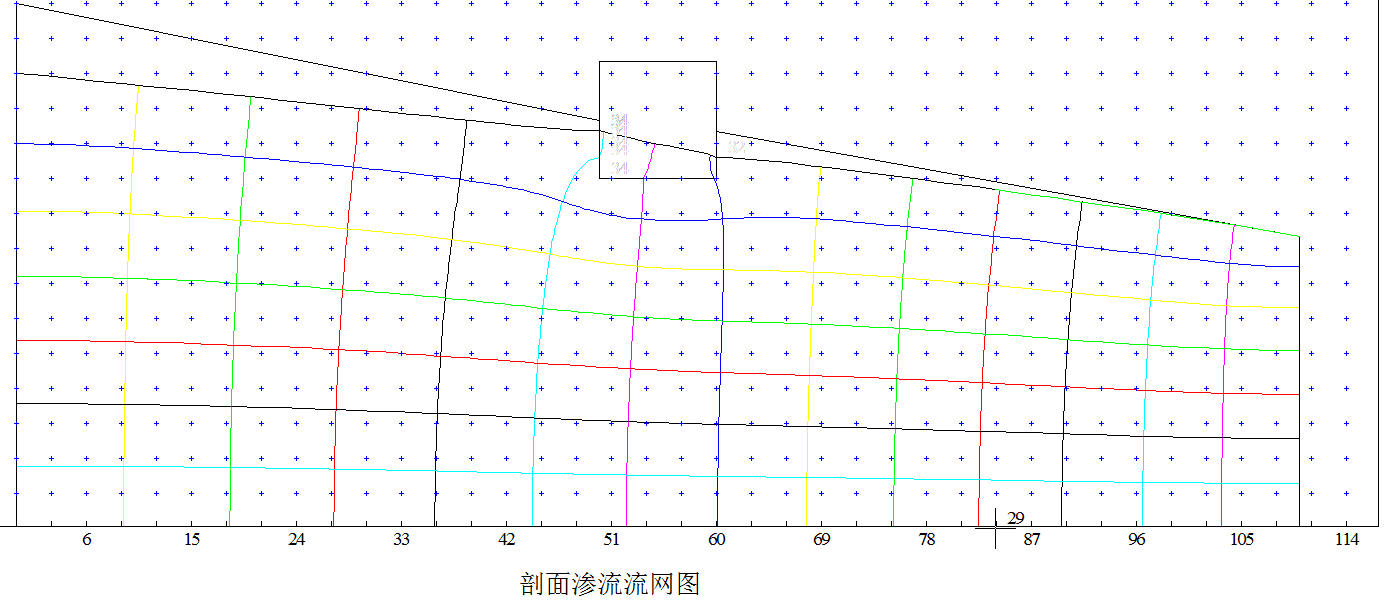


图4 坡地渗流流网图

有限元计算结果与迭代计算结果对比如下：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 迭代计算 | 有限元 | 误差(%) |
| HT(m) | 33.714 | 34.079 | -1.08264 |
| HB(m) | 31.781 | 31.837 | -0.17621 |

如对精度要求不高，仅可迭代2~3步即可。

**5.2.4** 一般认为，水流穿过上游覆盖层经堤坝下透水砂层到达下游，在上游段流量逐渐递增，在堤坝底部可近似认为是承压水流，在下游段水渗出地面，流量逐渐消散，到远端砂层尖灭处可认为流量已经消散到零，此处的水头可取至地面高程，按上式计算的前提是下游地面硬化率不能超过50%，当超过50%时下游不能正常出水，覆盖层下压力将增大，此时应对整个场地进行渗流分析。当下游覆盖层渗透系数足够小时，此时可认为下游与江河不存在水力联系，按平地地形计算压力即可。

**5.2.5** 渗流分析模型应考虑场地周边水源、出口、地形特征等因素的影响。

**5.3 抗浮稳定性验算**

5.3.1 一些设计人员认为地下水位在地下结构底板以下有相当大的距离，根本不作抗浮设计，这种认识有一定的危险性。因为地下结构有至少50年以上的使用期限，在使用期内，各种因素的影响，可能导致地下水位上升，因此，地下水作用下抗浮稳定性验算是不应被忽视的。

5.3.2 结构的抗浮单元可以是以单根柱影响区域的单元，也可以是整个地下室作为一个单元。抗浮验算，不仅整体抗浮应满足稳定性要求，而且局部验算也应满足。每根柱分担的浮力与该柱的抗浮荷载都满足式（5.2.2）时,整个工程才满足抗浮稳定性要求。当某根或相邻的几根柱不满足时，而周边的抗浮荷载较大，有一定富裕，也可以是多根柱组成的一个单元乃至整个地下室作为一个单元一起验算，但此时应验算相关单元的刚度和强度，确保水浮力可在抗浮单元中可靠传递。

**5.3.4** 施工期间抗浮验算，抗浮力可以考虑底板无外挑结构时地下结构外墙与其接触的填筑材料之间的总侧摩阻力。

**5.3.5** 使用期内抗浮验算，抗浮力不宜考虑底板无外挑结构时地下结构外墙与其接触的填筑材料之间的总侧摩阻力。

**5.3.8** 因回填材料不同于天然沉积的土层，与场地新近填土有相似之处，与回填压实度关系密切，地下室外墙与接触填筑材料之间的侧摩阻力不容易确定，但考虑主要作为施工期间的抗浮力，参考相近密实度的土层侧摩阻力近似估算是可以的。

**5.3.9**  当地下水浮力作用中心与结构竖向荷载作用中心不重合时，荷载偏心对地下结构的一侧可能造成上拔，因此，应考虑抗浮稳定性影响。

**5.4 抗浮措施**

5.4.1 抗浮措施有许多，选择时应做到因地制宜，既要保证结构在全寿命周期的安全，又要经济合理。设计时可参考表5.4.1选择。

表5.4.1 抗浮措施的适用性

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 功能 | 类型 | 方式方法 | 适用条件 |
| 主动抗浮 | 排水  减压法 | 设置减压井、集排水井和连接管道、盲沟、排泄沟、疏水层等降低水位 | 适用于平地类型，具有自排水条件或设置永久性排水井设施，配置自动控制抽排系统；需要长期运行控制和维护管理 |
| 泄水  降压法 | 设置排水廊道和疏水层，通过排水廊道和地下排水沟将地下水自流排入市政管网系统，将地下水位控制在地下结构底板面以下 | 适用于坡地类型和临江高水位地形；需要长期维护管理 |
| 隔水  减压法 | 设置截水帷幕隔离系统，控制水头差，减少通过截水帷幕绕渗，减少对基础底板产生的浮力作用 | 适用于弱透水地层或水头差不大，且易于设置隔水帷幕或设置具有隔水功能围护结构的工程；可与排水减压法联合使用；需要长期运行控制和维护管理 |
| 被动抗浮 | 压重  抗浮法 | 增加基础底板及结构自重；增加顶部或挑出结构填筑材料高度，增加压重荷载；也可设置重型混凝土等压重、填充材料； | 抗浮力与浮力相差较小的工程；可能影响设计空间和使用功能 |
| 结构  抗浮法 | 增加底板或结构刚度和抗拔构件承载力；利用基坑围护结构兼做抗浮结构；连结荷载大的结构形成整体抗浮结构 | 基坑围护结构替代抗浮桩或锚杆，浮力分布较小区域 |
| 锚固  抗浮法 | 抗浮锚杆、抗拔桩 | 任意条件都适用，不影响建筑功能，不需要后期维护 |

5.4.3 采用减压井、排水廊道、排水盲沟等截排水减压抗浮方案，若地下水位超过排水设计标高，就需要抽排地下室底板以下地下水，尽管地下室四周有封闭的截水帷幕，少量的绕渗还是可能的，排水可能对帷幕以外的场地地下水位有影响，因此，需要明确环境条件允许。

5.4.5 坡地建筑可采用地形优势，采用排水廊道自流排水到市政排水系统，可以达到减压降低水头的目的，同时节省抽水电费。

5.4.5 临江临河场地，汛期可能超设防水位，对地下结构抗浮是危险的，而采用排水廊道、减压井及疏水层排水减压渡汛措施降低水头，安全性高，抗浮设计可以优先采用。

**5.4.7** 施工阶段，抗浮可能不被重视。主要抗浮措施是将地下水位降至底板以下，但在暴雨洪水来临时，短时可能排水能力不足，引起抗浮事故，因此，特别需要引起施工单位的重视。

**5.4.8** 采用自重、顶板压重及底板压重等配重法抗浮措施比较经济，简单易行，在地下室埋深浅，或地下水位长期很低时比较适用。

**5.4.9** 地下结构抗浮设计，在不同的工况组合下，有时桩基承担抗压荷载，有时承担抗拔荷载，将抗压桩兼作抗拔桩设计比较经济。

5.4.10 采用独立基础或筏板基础的地下结构，地基承载力完全满足设计要求，沉降也满足要求，但抗浮不满足，这种情况下采用抗拔锚杆进行抗浮比采用桩基础抗浮方案更经济。

5.4.11 排桩或地下连续墙一般作为基坑支护结构使用，但有时兼作地下室外墙永久结构的一部分，排桩或地下连续墙如果与地下结构连接在一起，可以替代地下室周边的抗浮桩，降低工程造价。

## 6 截水帷幕

**6.1 一般规定**

**6.1.1** 基坑开挖和地下室施工期间截水是指采用水泥土截水帷幕、混凝土截水帷幕或者其他板式帷幕（如钢板桩），阻止地下水流入基坑，防止基坑被淹没及地下室上浮；地下室使用期间截水是指用水泥土截水帷幕、混凝土截水帷幕或者其他板式帷幕，阻止地下水流入帷幕以内地下室底板下增加底板的浮力，控制底板水浮力在设计允许范围内。

**6.1.2** 地下结构永久截排水方案比基坑工程截排水方案要求要严格得多。基坑工程根据环境保护要求，临近有需要保护的建筑物时应对基坑四周全部封闭，不需要保护时，可局部封闭或不截水，不能完全阻断基坑周地下水的渗漏，基坑周边土体的固结沉降，对周边环境要求不高时是可行的；但采用截排水方案作为地下结构永久抗浮措施时，对周边环境沉降控制要求就非常严格，截水帷幕应采用沿基坑周边闭合的平面布置形式，而且沿竖向截水帷幕必须穿过透水层，进入稳定的隔水层，且满足渗流稳定要求，绝对不允许采用悬挂式帷幕；若采用搅拌桩或旋喷桩的帷幕在岩层面截水效果不好时，应地下连续墙进入岩层截水；若遇上断裂带，应考虑在整个地下室底下平面注浆封堵，或采用抗浮桩措施。

**6.1.3**  本规程的截水帷幕设计重点考虑其截水功能，不考虑作为基坑支护结构使用。作为基坑支护结构尚应按现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ120等的规定进行设计。

**6.1.5**  基坑开挖前宜进行抽水试验，检测帷幕是否渗漏及渗流量的大小，在基坑开挖前对渗漏点进行修复加固。基坑开挖后，应检查是否存在明显渗流，如果有渗漏点，应封堵处理。

**6.1.6**  在采用排水减压抗浮方案时，为了可靠截断地下结构外侧的地下水渗流，在基坑回填时要求地下连续墙等隔水帷幕与地下结构外墙之间应采用素混凝土填筑。采用抗浮桩和抗浮锚杆等被动抗浮方案时，除采用素混凝土回填外，也可采用砂、粉质粘土等材料回填，但往往回填料难以压实，渗流问题解决不好，影响截水效果。

**6.1.7** 地面排水沟、截水沟应设置在截水帷幕的外侧，是为了防止地表水渗漏严重时，造成地下结构地下水浮力增加，产生上浮风险。

**6.1.8**截水帷幕被锚杆、土钉打穿时，容易在锚杆、土钉的孔口形成渗漏点，破坏截水帷幕，因此应有可靠的止水封堵措施。

## 6.2 地下连续墙

**6.2.1** 如果对地下连续墙裂缝宽度不严格控制，在地下连续墙与地下结构侧壁之间就会渗漏造成水浮力上升。

**6.2.2、6.2.4**  地下连续墙作为地下结构截水帷幕时，比作为基坑支护结构更应重视截水效果，重点把接头形式设计好，而且除满足基坑支护嵌固深度外，还应防止沿地下连续墙底渗流，保证截水效果可靠。

**6.2.5** 地下连续墙墙段之间常用的纵向连接形式有多种，作为截水帷幕，采用工字形型钢接头形式更可靠。

**6.2.6** 地下连续墙中预埋地下室底板、楼板的插筋直径不宜大于20mm，是方便预埋钢筋复位，直径大于20mm高强钢筋不容易从90度角拉直，或强度受到削弱。

**6.2.7** 地层中有淤泥、粉土、砂层时，易塌孔，地下连续墙的单元槽段长度应取小值，地层自稳能力强时，地下连续墙的单元槽段长度可取高值。

**6.2.10** 铣削式水泥土地下连续墙（英文名称Cutter Soil Mixing wall，简称CSM工法），通过两组铣轮绕水平轴向旋转铣削地基土，注入固化剂并充分搅拌混合形成矩形单元墙体，单元墙体间套铣拼接成具有连续、抗渗、等厚的水泥土地下墙体。

铣削式水泥土地下连续墙设备可施工厚度640mm～1500mm的墙体，墙体厚度与铣轮厚度规格对应，常用铣轮铣削的墙体厚度为800mm、1000mm和1500mm。正式施工前，应开挖导向沟槽，应尽量开挖到正常沉积土层，清除地下障碍物，并使用素土回填压实。成型的导向沟槽深度宜为1.5m，宽度大于墙体厚度400mm。

**6.2.11** 渠式切割水泥土连续墙（英文名称Trench cutting Re-mixing Deep wall，简称TRD工法），通过链状刀具的转动和横向移动，对地基土进行渠式切割与搅拌，并与注入的固化液混合形成的水泥土地下墙。

渠式切割水泥土连续墙的平面布置应简单、规则，宜采用直线布置，不宜转角；墙体常用厚度取550mm、700mm、850mm；施工前根据定位控制线开挖导向沟槽，采用钢筋混凝土导墙时，导墙应筑于密实的土层上，高出地面100mm，导墙净距比墙体厚度宽40mm～60mm；未施工混凝土导墙时，沟槽两侧应铺设路基箱或钢板。

## 6.3 搅拌桩

**6.3.1** 水泥土搅拌桩设备对于软塑、可塑的淤泥与淤泥质土、素填土、粉土、无流动地下水的砂土等土体可钻性较好，对硬塑、坚硬土及强风化岩可钻性较差，不一定能保证达到设计深度要求；对有较多地下障碍物时，钻进困难，帷幕不能胶结成整体，也不太适用；有机质土、塑性指数Ip大于25的粘土成桩质量较差，宜慎用；泥炭土不能成桩，不得使用。

**6.3.2**  水泥土搅拌桩截水帷幕的质量要求比基坑止水帷幕的要求高，设计参数相应要求高，施工误差控制要求更高。利用三轴搅拌桩设备施工搅拌桩，施工质量包括垂直度控制、桩的搭接及钻入深度比单轴搅拌桩效果好得多，宜优先选择。水泥掺量宜比基坑支护高。

搅拌桩截水帷幕顶面宜做至地面，不应按基坑支护的要求可以设置一定深度的空桩段。

当搅拌桩截水帷幕墙深度较大时，由于搅拌桩垂直度控制误差导致搅拌桩以下部错开形成缝隙时，应缩小搅拌桩的间距，保证从地面至桩底全部搭接，形成封闭帷幕。

深厚砂层或水压力大时，采用双排搅拌桩错开布置，确保截水效果。

**6.3.3** 水泥土搅拌桩截水帷幕嵌固深度不仅要满足基坑止水的需要，更要减少帷幕外地下水渗入地下结构的底板以下。

水泥土搅拌桩截水墙在基坑施工阶段，只需满足基坑抗渗流、抗管涌安全即可，涌水量小时可以不形成封闭的帷幕。但作为排水减压抗浮截水帷幕，不仅平面上要形成封闭帷幕，竖向在地下结构底板以下，也应形成封闭的帷幕，且底板以下承压水头应低于底板底的高度。

**6.3.5** 水泥土搅拌桩施工时，邻近不得抽水作业，是为了防止水泥浆在固结前被流水带走，影响搅拌桩帷幕的截水效果。

**6.3.6** 相邻搅拌桩施工的搭接时间间隔大于24h，可能影响相邻桩的搭接质量，在两桩接缝之间产生渗漏。如果间歇时间太长，采取局部补桩或注浆措施是必须的工序。

**6.3.7** 水泥搅拌桩采用喷粉法施工时不能形成完整的水泥土截水帷幕，截水帷幕起不到截水作用，应禁止使用。

## 6.4 旋喷桩

**6.4.1** 高压旋桩对不同地层效果也不相同，对于杂填土和旧基础地层，块石和旧基础对高压喷射注浆有阻碍作用，在这些部位截水效果差，因此，应通过试验确定方法的适用性。

高压喷射注浆不宜采用摆喷注浆工艺，摆喷注浆的厚度小，容易被地下水长期渗流击穿，起不到截水帷幕的作用。

**6.4.2**  为了保证高压喷射注浆截水帷幕的截水效果，不宜使用单管法。对高压旋桩之间搭接宽度、钻孔的垂直度偏差、桩位偏差等应从严要求。

## 6.5 灌浆帷幕

**6.5.1** 工程建设场地内或附近存在断层、断层破碎带或褶曲构造，地下结构底板以下岩层就会裂隙发育、渗透性强，采用排水减压抗浮时应在底板以下截水帷幕范围内设置一定厚度的灌浆帷幕，封堵整个基底的基岩裂隙水。灌浆帷幕厚度可根据渗流计算预估和工程经验综合确定，现场施工前应进行灌浆工艺性试验，确定浆液扩散范围和有效封堵厚度。

**6.5.3** 截水帷幕的设计参数在设计阶段根据经验初定，最后由现场试验结果确定。

7 截排减压抗浮

**7.1 一般规定**

**7.1.1** 截排减压抗浮措施是单独使用，还是与抗拔桩、抗拔锚杆等抗浮措施联合使用，取决于场地水文地质条件、地面及地下结构布置、基础形式等，还要考虑造价和施工工期的影响。一般情况下，以下情形可优先考虑排水减压抗浮措施：

1 坡地地形适合采用排水廊道；

2 场地以弱透水层为主，但底板下存在一定厚度强透水层的地层；

3 存在强透水层，采用地下连续墙等可靠的止水帷幕；

4 对基底存在深厚软土的弱透水地层，且周边环境要求严格时，应慎用排水减压抗浮措施。

7.1.2 减压井井壁、排水廊道由承受水土压力的钢筋混凝土框格梁和只起透水作用的无砂混凝土砌块组成，无砂混凝土砌块镶嵌在钢筋混凝土框格梁上。减压井、排水廊道使用一定年限后，无砂混凝土砌块透水性和排水能力减弱时，应进行清淤，清淤效果不佳时应更换井壁、排水廊道侧壁的透水材料。

7.1.4 应长期监测地下水的水位、水压力和水流量，分析地下水补给和排泄关系，地下排水系统的长期性能。

7.1.5 排水减压抗浮设计方案论证会，除了论证其排水减压抗浮可行外，还要评估其是否对周边环境产生影响，对周边环境影响小的情况下方可实施。

## 7.2 无砂混凝土配合比

7.2.2 拌制无砂混凝土使用的粗集料，使用质地坚硬、耐久、洁净、密实的碎石料，是为了保证透水混凝土坚固耐用。对粒径规定严格，必须保证其透水流量满足设计要求。

7.2.6 无砂混凝土的孔隙率*P*是指其相互连通的连续孔隙率，也叫开空隙率，对于出水量小的工程可取低值，对出水量大的工程应取高值，其孔隙率的测定方法可采用浸水法，即将试块完全浸泡在水中测量其所受到的浮力，再推算其孔隙比例。

人工拌制无砂混凝土应保证其和易性和流动性，水灰比可取高值，机械拌制采用强制搅拌，和易性容易满足，水灰比宜取低值。

无砂混凝土中一般不需要添加外加剂，这里不考虑外加剂的含量。

**7.2.7** 无砂混凝土以计算配合比为基础开展试配工作，通过试配确定基准配合比。

**7.2.8** 无砂混凝土进行强度和渗透性实验时，以基准配合比为中心，用3个配合比配制试件，以此找出最优的配合比。

**7.3 减压井**

7.3.1 底板下为连续且透水性良好的砂层或砾石层等，不必设置透水垫层。当底板下为不透水土层或完整性较好的基岩时，底板以下应设置透水垫层，垫层厚度不宜小于300mm，透水垫层的作用为疏通和汇集地下水，流入减压井排走。

7.3.2 减压井井管周边设置厚度不小于300mm反滤层，起疏水作用，防止土层中的细粒土将无砂混凝土砌块中的孔隙堵塞，影响透水效果。

无砂混凝土的透水系数测试结果作为评价施工合格的标准，渗透系数小于设计要求时，透水能力不足。渗透系数太大时则无砂混凝土砌块的强度不足，保土性也不够。

7.3.3 一般应在雨季丰水期时实测减压井总排水量。在降水至抗浮控制水位时实测其流量，若在枯水期基坑开挖，则实测流量应按经验放大。

式（7.3.3-1）考虑了截水帷幕阻水效应后的公式。

**7.3.5**  一般情况下，地下室为非圆形地下结构，计算不方便，可将非圆形地下室等效成圆形地下室，然后按大井公式相同的等效公式计算。

7.3.7 减压井的数量由总排水量决定，总排水量与减压井的直径、减压井深度、减压井外围反滤层及透水层的渗透性有关。

底板下减压井透水段厚度不宜小于500mm，否则单井出水量较小，增加井数较多，其渗透系数也不能小于设计取值。对于连续级配土体，其粗细颗粒之间相互咬合紧密，不易冲蚀，水平坡降可适当放宽，对于级配不连续的土体，容易发生管涌破坏，水平坡降应适当减小。

7.3.8 减压井的间距不应大于50m，间距太大，两个井之间结构底板下局部水浮力增大，易引起底板局部上拱变形甚至开裂破坏。

7.3.9 减压井的构造及施工工艺说明如下：

在基底为弱透水层的条件下，采用“止水帷幕+疏水层（中粗砂+碎石）+减压井+自流进入集水系统”排水减压系统，其示意图见图7.3.9-1，当基底为强透水层时，可不设置疏水层。



7.3.9-1 减压系统示意图

减压系统具体结构及特点：

（1）弱透水层：其垂直水力坡降0.4，对于临界坡降1.0，有2以上的安全储备，水量小，能进入疏水层的细颗粒极少。

(2)止水帷幕：主要截浅层渗水，基坑回填后，有自愈现象（止水帷幕透水缝隙在渗流集中的条件下透水性随时间逐渐减少的现象），渗水会随时间逐渐减小

(3) 疏水层：碎石疏水层渗透能力强，有较大容纳空间，疏水层通过最下层的土工格栅、以及次下层的中粗砂反滤层保护，避免细颗粒进入疏水层。

(4) 减压井：采用无砂砼结构，有较粗的孔隙，进入疏水层的细颗粒可以通过，不易形成机械淤堵。井径较大可以进人清洗，防止化学淤堵和生物淤堵.

(5) 集水系统：自流进入集水系统，使底板下水位恒定，集水系统互通，自流的方式可避免排水减压的关键系统对抽水等设备的依赖，自流通道还可以避免长时间停电对主体结构的破坏。

当底板底淤泥开挖较难，拟通过减少井深、适当增大井径的方式减少开挖深度。虽然外径约2m，壁厚300的无砂混凝土减压井较替换出的淤泥重量小得多，后期相对淤泥层的沉降应非常小；但减压井底部仍考虑设置少量的长度3-5m的木桩或钢管桩，增加其承载力，减少减压井的相对沉降。

(6) 减压井井壁的预制工艺见图7.3.9-2。

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| （a） | (b) |
|  |  |

(c) (d)

图7.3.9-2 减压井井壁的预制

**7.4 排水廊道**

7.4.1 采用排水廊道抗浮，应具备自流排水的条件，因此，坡地地形最合适。排水廊道的出口应与河渠等天然排水通道相连。如果连接到市政管道，最好应高于市政管道标高，若出口标高接近市政管道标高，洪水期间不应作为排水口，应封闭，防止污水回灌造成渗水体和反滤层堵塞。应另设置备用出口排水。

7.4.2 排水廊道是永久抗浮结构，其设计使用年限不应少于地下结构的服务年限。排水廊道设计净空尺寸应满足进人维修要求，设计服务年限内，若排水廊道出现淤堵，应及时清理，清理效果不佳时，应将廊道内的透水砌块更换。

7.4.3 为减少排水对环境的影响，排水廊道应布置在截水帷幕内侧四周。

排水廊道是地下水汇集和排泄的通道，为保持长期运行的可靠性，需要定期清理维护，如进行清洗或更换无砂混凝土透水体、翻动底板碎石滤料等操作，因此需要设置供人进出的检修孔，为方便检修，检修孔的距离不宜大于50m，并且廊道内应设计通风及照明设施。

7.4.9 对于开敞式截水沟，地下室底板下水头分布比较复杂，与地下室埋置深度、下游出口边界条件有关，不能笼统的给定一个值，以免造成浪费或偏不安全。对于两边均设置排水廊道的地下室，其底板水头呈直线分布，对上游设置廊道，下游自由出溢时，上游取计算值，下游可取地面高程，中间按线性插值，对于设置截水沟情况，上游水头取值比地面高程略高。

7.4.11 廊道出水汇集到过渡池，完全自流排水，并有应急口防市政管网堵塞（图7.4.11-1）。排水廊道剖面结构见图7.4.11-2，排水廊道混凝土框架与无砂混凝土砌块构造见图7.4.11-3。

图7.4.11-1 廊道排水示意



图7.4.11-2 排水廊道剖面



图7.4.11-2 排水廊道混凝土框架与无砂混凝土砌块

**7.5 反滤层**

7.5.1 在被保护土体与减压井、排水廊道之间设置厚度不宜小于300mm反滤层，有利于在反滤层中过滤土层中的细粿粒土，防止减压井、排水廊道被淤堵。

7.5.2 土层渗透性差时，减压井、排水廊道周边的反滤层厚度应加宽，增加水流阻力，减少土层中水力坡度，防止细粒土流动，减少淤堵的可能性。

7.5.3 反滤层的级配和层数的计算参照了现行行业标准《碾压式土石坝设计规范》SL 274的要求。

7.5.4 疏水层骨料碎石含泥量不得大于2%，保证良好的渗透性，防止淤堵。

## 7.6 回灌井

**7.6.1** 一般情况下，设置截水帷幕后，排水减压抗浮方案不会对邻近建（构）筑物产生影响。如果对邻近的天然地基建（构）筑物有影响时，可以在地下结构截水帷幕外围设置井点回灌，确保邻近建（构）筑物场地地下水位长期稳定，不致产生降水固结沉降。

**7.6.2** 井点回灌是工程中常用控制沉降的方法。回灌井与抽水井之间应保持足够的距离，距离过小，透水通道易贯通，很难使水位恢复到天然水位；根据工程经验，当两者距离大于6m时，有较好的回灌效果。井点位置应根据被保护建筑物的平面位置确定。

回灌井的埋设深度应根据降水曲面的深度确定。

**7.6.3** 回灌井应使用清洁水，回灌水宜使用自来水，从减压井抽出的水经沉淀处理后也可用于回灌。不得使用受污染的水注入地下，污染整个区域的地下水。

**8 邻近建筑物沉降计算**

**8.1 排水减压沉降计算**

8.1.1 排水减压引起的地面沉降是由降水引起土层固结产生的。

8.1.3 降水漏斗面以下土体的沉降以算例说明：某基坑所在场地的地质情况见下图8.1.3所示，土层参数值见表8.1.3-1。基坑周边采用搅拌桩作截水帷幕，地下室底板设置排水减压井。基坑开挖前，天然水面在地面以下1.0m处，设置减压井后地下室外围形成降落漏斗。现从降落漏斗范围内任意选取一个计算位置，如A点。形成降落漏斗后A点水位下降2.2m，①～④层土为主要的压缩土层。试计算A点处因减压排水引起的土体沉降。



天然水面 A

降落漏斗

防渗墙

地下室底板

排水减压井

图8.1.3 某基坑周边环境

**表8.1.3-1 土层参数**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 层号 | 土层类型 | 厚度（m） | 渗透系数（cm/s） | 压缩模量（MPa） |
| ① | 人工填土 | 2 | 1.0×10-4 | 10.6 |
| ② | 淤泥质土 | 4 | 5.0×10-6 | 8.5 |
| ③ | 粉质黏土 | 4 | 2.0×10-4 | 14.0 |
| ④ | 粉细砂 | 10 | 2.0×10-3 | 20.0 |
| ⑤ | 不透水层 | - | - | - |

A点以下土层的沉降量计算分别如表8.1.3-2所示，其中降落漏斗以上的土层采用公式8.1.2计算，降落漏斗以下的土层采用公式8.1.3计算。

**表8.1.3-2 A点以下土层的沉降量计算**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 天然水面以下深度（m） | 厚度（m） | 土层层号 | 水位降深（m） | 采用  公式 | 各土层沉降量（mm） | 总沉降量（mm） |
| 0 | - | ① | 0 | - | - | 27.26 |
| 1.0 | 1.0 | ① | 1.0 | 8.5.2 | 0.47 |
| 2.2 | 1.2 | ② | 2.2 | 8.5.2 | 2.26 |
| 5 | 2.8 | ② | 2.2 | 8.5.3 | 7.25 |
| 9 | 4 | ③ | 2.2 | 8.5.3 | 6.29 |
| 19 | 10 | ④ | 2.2 | 8.5.3 | 11.00 |

从表8.1.3-2得出：A点以下土层因抗浮需要减压排水引起的沉降量为27.26mm。

### 8.2 总沉降计算

**8.2.1~8.2.3** 建筑物的地基变形计算及允许值按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007的规定。

**8.2.4** 邻近建筑物总沉降由排水引起的沉降量和其上部结构荷载引起的沉降量两部分叠加。

9 联合抗浮

9.1 一般规定

**9.1.2** 本条关于抗浮设计仅针对与浮力相关的设计计算、验算及检测内容，其他的结构设计计算按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007等相关规范执行。

**9.1.3** 抗浮设计等级为甲级及乙级工程，抗浮锚杆、抗浮桩承载力特征值应由试验确定，设计前应进行抗拔试验确定承载力特征值。

**9.1.4** 抗浮设计等级为甲级及乙级工程应由抗拔桩和抗拔锚杆静载荷试验，相同地层条件试验数量不应少于3根，与现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007等规定是一致的。

**9.1.5**  抗浮锚杆、抗浮桩试验时，在桩身和锚杆杆体中埋设传感器，获取承载力分布及与变形的关系，有利于优化设计，又积累了地方经验参数。

**9.1.6**  抗浮锚杆、抗浮桩采用集中布置或均匀布置，不仅要考虑受力合理，也要考虑方便防水材料的施工，保证防水层的质量。

## 9.2 抗浮桩

**9.2.1**  灌注桩作为抗浮桩采用扩底灌注桩和后注浆灌注桩等，可以较大幅度提高桩的抗拔承载力。采用预应力混凝土管桩作抗拔桩时，一般单桩抗拔承载力较小，对管桩裂缝要求严格，可以采用混合配筋混凝土管桩提高承载力及抗裂能力。

**9.2.2~9.2.4** 本节涉及抗拔桩承载力计算可依据现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94，重点突出抗浮计算的要求。

**9.2.5** 抗浮桩对非挤土桩桩间距不应小于3d，挤土桩桩间距不应小于4d，主要是为了消除群桩效应，提高抗浮桩的效率。

抗浮桩桩身主筋锚入承台内的长度不小于最大钢筋直径的35倍，以符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010关于构造的规定。

抗浮桩应通长配筋，防止开裂后降低抗拔承载力。

**9.2.6**  抗浮桩要求桩尖可以是闭口型，也可以是开口型，不管哪种形式，成桩后都应封底处理。

保证抗浮桩接头质量十分重要，接头承载力不应小于桩身承载力，为了减少焊接等施工质量问题，宜减少接头数。

9.2.7泥浆护壁的钻冲孔桩成桩工艺，泥浆在孔壁形成的泥皮使桩的抗拔承载力大大降低，因此，抗浮桩施工宜优先使用干成孔工艺，随钻跟管桩在钻进过程中将管桩同步跟进，不需要泥浆护壁，只需要达到设计标高终孔时进行桩外侧壁注浆，岩石中潜孔锤也是干成孔。人工挖孔桩抗拔承载力高，但桩长不宜深，应控制施工井下作业的安全风险。花岗岩强风化岩层有遇水软化特点，承载力会大幅降低，不宜使用泥浆护壁的钻冲孔桩成桩工艺。

## 9.3 抗拔锚杆

9.3.2 当地下结构底板直接置于岩层上时，采用岩石抗浮锚杆经济合理。当采用土层抗浮锚杆时，底板以下不宜有太厚的较软弱土层，软土层中锚杆有蠕变效应，最好底板以下就是坚硬土层或密实砂层，直接锚固。

9.3.3 通过现场抗拔试验确定锚杆抗拔极限承载力准确可靠，锚杆的抗拔承载力特征值取安全系数为2确定。初步设计阶段，可以按式（9.3.3-2）、式（9.3.3-3）及表9.3.3-1、表9.3.3-2初估，施工后，仍然要通过锚杆抗拔极限承载力现场试验和工程验收检测。

9.3.5 本条规定锚杆锚固体最小间距不宜小于2.0m，比其他相关规范要严格，是为了保证不产生群锚效应，集中布置也应符合这个规定。分散布置锚杆应考虑底板刚度与锚杆刚度的协调。

9.3.8 地下室抗浮不仅要做整体稳定性验算，除整体满足稳定要求外，局部区域锚固体也应满足稳定性验算要求。

9.3.9《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476-2008第 3.2.1条说明：干湿交替环境对混凝土结构的腐蚀主要是碳化引起的钢筋锈蚀。混凝土呈高度碱性，钢筋在高度碱性环境中会在表面生成一层致密的钝化膜，使钢筋具有良好的稳定性。干湿交替环境下，空气中的二氧化碳扩散到混凝土内部，会通过化学反应降低混凝土的碱度(碳化)，使钢筋表面失去稳定性并在氧气与水分的作用下发生锈蚀。氯化物环境中的氯离子可从混凝土表面迁移到混凝土内部。当到达钢筋表面的氯离子积累到一定浓度(临界浓度)后，也能引发钢筋的锈蚀。氯离子引起的钢筋锈蚀程度要比一般环境(Ⅰ类)下单纯由碳化引起的锈蚀严重得多，是耐久性设计的重点问题。

《高压喷射扩大头锚杆技术规程》JGJ/T282-2012第 4.3.1条说明：钢材长期浸泡在水中时，由于氧溶入较少，不易发生化学反应，故钢材不易被腐蚀；相反，处于干湿交替状态的钢材，由于氧溶入较多，易发生电化学反应，钢材易被腐蚀。

《铁路混凝土结构耐久性设计规范》TB 10005-2010第 4.3.2条说明：在氯盐锈蚀为主的环境条件下，钢筋锈蚀速度与混凝土表面氯离子的浓度、温湿度的变化、空气中O2供给的难易程度有关。长期处于海水下的混凝土，由于钢筋脱钝所需的氯离子浓度值在保水条件下得到提高，同时缺乏O2的有效供给，所以相对来说钢筋锈蚀的速度反而不大。在海水作用的潮汐区和浪溅区、盐湖地区或海边滩涂区露出地表的毛细吸附区，钢筋锈蚀的发展速度最快，需要特别防护。另外南方炎热地区温度高，氯离子扩散系数增大，钢筋锈蚀加剧，所以炎热气候作为加剧钢筋锈蚀的因素考虑。

对锚杆的防腐等级可以按干湿交替和长期浸水两种不同环境划分。对于抗浮锚杆，大部分情况均为长期浸水；但也有情况会出现底板下锚杆部分处于干湿交替中，锚杆防腐等级可以分段确定，最好都按干湿交替的环境设计更保险。

9.3.10双层波纹管的管内及双层套管间应注入水泥浆或环氧树脂；双层光滑套管的管内及双层套管间应注入防腐油脂，起防腐作用。抗浮锚杆各级防护构造的做法可参考图9.3.10-1～9.3.10-3。

(a)自由段钢筋锚杆锚固构造示意图 （b）无自由段钢筋锚杆锚固构造示图

图9.3.10-1 Ⅰ级防腐锚杆构造

1－地下室底板；2－钢筋；3－锚杆注浆；4－密封；5－双层波纹管；6－双层光滑套管

(a)有自由段钢筋锚杆锚固构造示意图 (b)无自由段钢筋锚杆锚固构造示意图

图9.3.10-2 Ⅱ级防腐锚杆构造

1－地下室底板；2－钢筋；3－锚杆注浆；4－密封；5－单层或双层波纹管；6－单层或双层光滑套管

(a)有自由段钢筋锚杆锚固构造示意图 (b)无自由段钢筋锚杆锚固构造示意图

图9.3.10-3 Ⅲ级防腐锚杆构造

1－地下室底板；2－钢筋；3－锚杆注浆；4－密封；5－环氧树脂涂层；6－防腐涂层加套管或塑料布

9.3.14锚杆钢筋与底板的锚固防水做法可参考《混凝土结构设计规范》GB 50010-2010第 8.3.3条的规定。锚杆与底板连接处容易渗水，可参考下图做法进行处理。



图9.3.14 钢筋锚杆与底板连接及防水构造示意图

9.3.15采用压缩空气作为动力的冲击钻、岩石中潜孔锤，在岩层和自稳能力好的坚硬土层中成孔速度快，锚杆质量有保证，抗拔承载力高。有塌孔风险时，可采用套管跟进工艺成孔。

## 9.4 地下室底板

9.4.1 地下室底板的结构布置，采用平板式和梁板式各有优势。采用平板式时，底板厚度较大，增加结构自重对抗浮有利，钢筋布置构造简单，方便施工，有利于地下室防水，平板式布置根据需要也可在局部加厚底板。梁板式受力简单明了，底板厚度可以减少，相对而言比较经济。

9.4.2 现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007对地下室底板设计规定宜考虑共同作用。筏板计算模型常用有弹性地基梁板模型和倒楼盖模型等，应根据结构布置、筏板刚度、地下室刚度、上部结构刚度，选取合适的计算模型。对于抗浮设计等级为甲、乙级的工程，基床系数应通过载荷试验确定。

9.4.3 无论勘察阶段是否有地下水，设计都应考虑抗浮问题，合理确定抗浮设防水位，且对各种工况组合进行计算。有地下水工况应考虑恒载+水浮力组合，无地下水工况应考虑恒载+活载组合。

底板下布置锚杆或基桩时，应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007和现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94的要求对底板进行冲切验算和裂缝宽度验算等。

9.4.4 防水结构底板的厚度不宜小于250mm是构造要求，底板双层配筋是为了满足受力要求。当底板的配筋由水浮力控制时，底板受力钢筋的最小配筋率应按《混凝土结构设计规范》GB50010-2010 第8.5.1条确定；当为其他情况时，底板受力钢筋的最小配筋率按《混凝土结构设计规范》GB50010-2010第 8.5.2条确定，且不小于0.15%。

贯通独立基础的防水板钢筋数量应满足《混凝土结构设计规范》GB50010规定的构造要求。贯通独立基础的板顶钢筋直径不小于独立基础的顶面钢筋直径时，可兼做独立基础的顶面钢筋。

9.4.5 防水板下宜设置反滤层，一方面起疏水作用，减少防水板的水浮力；另一方面，上部结构荷载尽可能由独立基础承担，防水板只分担少量的荷载，或只承受其自重荷载。为保证防水板只分担较小荷载，就要求反滤层具有一定的变形能力，在独立基础下沉时，防水板通过压缩反滤层一起变形，一般反滤层的可压缩量不宜小于独立基础的沉降。

9.4.6 梁板式底板宜考虑梁端弯矩对基础的影响。

基础设计中应考虑水浮力对独立基础的影响。若忽略防水板的水浮力对独立基础的影响，只计算独立基础基底反力引起的弯矩，当地下水压力较大时，独立基础基底弯矩设计值偏小，偏于不安全。

9.4.7 每一个抗浮单元，规定抗浮桩的单桩抗拔力标准值不宜大于其承载力特征值1.2倍，是为了避免个别抗浮桩所受浮力太大造成桩开裂。

9.4.10 式（9.4.10）适用于设置自由段的非预应力岩石锚杆，其受拉变形主要是自由段钢筋的弹性变形，岩石锚固段变形值很小，计算时可忽略。全长粘结岩石锚杆的变形值也较小，可按刚性拉杆设计计算。设置自由段的土层锚杆计算刚度系数时应考虑锚杆自由段和锚固段的总变形。

9.4.11 当底板按简化的以墙柱为支点的倒楼盖模型计算时，锚杆的数量很多时，板的计算跨度可适当减少。

9.4.12 当锚杆分散布置在底板跨中或梁下，考虑锚杆与底板的协同工作时，锚杆可简化为弹性拉杆。柱位宜不按支座假定，只输入上部荷载作为集中荷载进行计算。当采用全粘结岩石锚杆时，可当成不动支座进行计算，锚杆拉力应根据支座反力确定。

锚杆与底板共同工作时，计算模型中应考虑板厚或梁高对计算结果的影响。板厚和梁高大于锚杆间距的1/4时（图9.4.12），类似于中厚板和深梁受力，与薄板和普通梁受力有较大的差别。为了减少计算偏差，中厚底板应采用中厚板单元或三维有限元分析，深梁应采用考虑剪切效应的Timoshenko深梁单元或采用三维有限元分析。

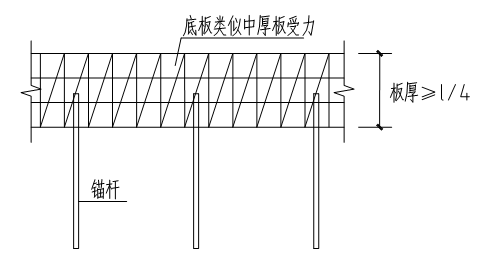


图9.4.12 锚杆与中厚底板共同作用三维有限元模型单元划分

注：为锚杆间距。

**9.4.15** 减压丼和排水廊道与地下结构底板之间预留通道，其断面尺寸和布置数量应方便人通行，便于检查和维护保养。

## 10 质量检测与地下水监测

**10.1 一般规定**

**10.1.1** 原材料和预制产品进场检验应按现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ52、现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204、现行国家标准《建筑地基基础施工质量验收规范》GB50202及现行国家标准《建筑结构检测技术标准》GB/T50344的规定执行。

**10.1.2** 构件检测布点的原则首先应确保随机布置，但对重点部位不能遗漏，应保证有检测点。检测点的数量及检测方法应符合相关规范的规定。

**10.1.3** 抗浮结构或抗浮构件检测不合格或不合格数量超出规定时，加倍检测为了查出尽可能多不合格的构件，并且全部加固处理后，应重新对检测过的构件和部位进行复检，确保工程质量。

## 10.2 质量检测

**10.2.2** 砂石反滤层一般采用2层～3层颗粒大小不同的中粗砂、碎石或卵石材料，顺着水流方向颗粒逐渐增大，其中粗砂或中砂层厚度宜为0.10m～0.15m，碎石层厚度宜为0.15m～0.20m；当采用混合[反滤层](http://www.baidu.com/s?wd=%E5%80%92%E6%BB%A4%E5%B1%82&hl_tag=textlink&tn=SE_hldp01350_v6v6zkg6)时，其厚度不宜小于0.5m。组成反滤层的砂石颗粒应采用清洁的无粘性颗粒，有机质含量过高易导致反滤层堵塞。施工后检测反滤层的压实系数、渗透系数，保证反滤层的渗透效果。

10.2.5 排水廊道纵坡施工后不得小于设计坡度，偏差不超过±1％，严格控制排水廊道坡度，有利于自流排水。

10.2.6 采用盲沟排水时，对各项施工参数都进行控制，保证盲沟施工质量，通过盲沟将地下结构底板下各区域的地下水及时疏排，使底板下不会出现局部水压超高的情况。

排水系统中减压井井口标高及排水廊道排水口标高，决定了设防水位的标高，控制排水系统井口标高误差，不因井口标高错误造成水浮力偏大。同时，减压井之间通过排水管联系起来，及时将地下水排走。

**10.2.9** 后注浆抗浮桩承载力检测需要从后注浆20d后进行，掺入早强剂也要在注浆15d后进行检测，保证注浆体达到足够的强度。

**10.2.10**  混凝土预制桩作为抗浮桩比抗压桩接头焊缝质量要求更高，焊缝有缺陷，容易从接头处拉断。

**10.2.12** 地下连续墙作为截水帷幕，墙身混凝土抗渗等级检测是必要的。

**10.2.12、10.2.13** 地下连续墙的墙体混凝土强度、墙底沉渣厚度、墙底岩土层性状和墙身完整性检测通常采用抽芯检测和超声波检测两种方法的其中一种进行，抽芯检测可以得到混凝土强度，直观观察芯样得到墙底沉渣厚度、墙底岩土层性状，但对整个墙身完整性判断有困难。超声波检测可以避免抽芯法的不足，但不能得到墙体混凝土强度。

**10.2.14** 抽芯检验钻孔直径不宜小于110mm。双管单动取样器对采取试样质量有保证，取样时，必须保证钻机平稳回转钻进，当合金钻头有磨损时，应及时更换，避免损伤水泥土芯样强度。

**10.2.15** 截水帷幕的质量检验常用开挖检查和钻孔取芯检测。开挖检查直观，但检查深度受限制。高压喷射注浆帷幕钻孔取芯时，应对不同的土层取样，观察水泥浆固结体的浆液混合情况及胶结情况。

采用现场抽水试验或压水试验可发现是否存在渗漏点和测试帷幕的渗透系数。抽水试验可在帷幕两侧进行，即在帷幕一侧布抽水井，并同时观察帷幕前后的观察孔的水位变化。压水试验是在帷幕中心钻孔注水，求出渗透系数。

抽水试验或压水试验完成后，应及时用水泥浆封闭试验孔，防止钻孔造成渗漏。

**10.2.16** 抗浮结构及构件的内力和变形监测是为设计人员分析设计计算结果的可靠性，同时为后续工程设计积累经验。

## 10.3 地下水监测

**10.3.1**  水文地质参数的测试方法有多种，应根据具体情况选择合适的方法。本条说明如下：

**1** 稳定水位是指钻探揭露地下水位后，经过一定时间恢复到天然状态的水位。地下水位可在钻孔、探井或测压管内直接量测。

地下水位恢复到天然状态的时间受含水层渗透性影响很大，同时与地下水的补给和排泄关系密切，因此，应在钻探结束后统一量测稳定水位，了解地下水的补给和排泄、径流方向等。

**2** 至少采用三个呈三角形布设的测量点测定地下水位高程后，方可绘制水位等高线，垂直等高线沿水位降低的方向即为地下水流向。测点间距宜和勘探点间距一致，水力坡度大时，可适当减小，水力坡度小时，可适当增大。

测定地下水流速也可采用几何法，利用达西定律*v*=*ki*。用指示剂法测定地下水流速，试验孔与观测孔的距离由含水层确定，一般细砂层2m～5m，砾粗砂层5m～15m，裂隙岩层10m～15m，岩溶水可大于50m；指示剂可采用各种盐类、着色颜料等。

用充电法测定地下水的流速适用于地下水位埋深不大于5m的潜水。

**3** 抗浮设计等级为甲级的工程，从勘察工作开始就宜设置长期监测孔对地下水进行长期动态监测。对已经建立地下水动态监测网的地区，可查询利用城市地下水动态监测成果。

地下水动态监测时间和频次应根据需要确定。必要时可安装自动监测仪进行实时动态监侧。

**10.3.3** 地下工程设计使用年限至少50年以上，重要工程超过100年。在使用期间内，地下水动态可能发生非常大的变化，甚至可能会超过抗浮设防水位，因此，采取减压井、排水廊道方法控制地下水水位及联合方法的抗浮工程应进行水位和抗浮稳定性长期监测。

10.3.4 地下水位长期监测，采用第三方人工监测不太可行，现在自动监控系统造价和运行成本不高，具有现实可行性。

**10.3.8、10.3.9** 监测值达到报警值时连续观测并报警，是为了保证工程安全，及时采取应对措施。

**10.3.10** 工程施工过程中和竣工后一定期限内都应进行沉降观测，直至达到稳定标准，是现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007等相关标准的规定，必须遵守。

## 10.4 工程验收

**10.4.1** 抗浮结构是地下结构的一部分，又是隐蔽工程，直接影响地下结构及上部结构的安全和正常使用功能，必须对施工过程按分步分项工程进行质量检验和验收。对于基槽验收采用验槽的方式，对于抗浮桩或抗浮锚杆按桩基工程验收的方式进行验收等。

**10.4.2**　抗浮工程验收采用自检合格，第三方检测单位见证取样检测及现场抽检全部完成，满足工程质量验收规范要求后进行。

附录A 地下水类型与岩土体渗透等级划分

A.0.1 地下水类型中包气带水不能形成稳定的地下水位面，抗浮设防水位确定可以不考虑。

附录B 坡地地形的阻力系数

B.0.1 坡地地形不同分段的阻力系数按式（B.0.1-1）～（B.0.1-4）计算时，是场地的天然状态，并未设置截水帷幕。

B.0.2 当含有多层土时，第*j*层土的计算厚度是与底板下土层渗透系数和厚度相关的换算等代厚度，所有土层的换算等代厚度之和为计算总厚度*T*。

B.0.3 截水帷幕未进入相对弱透水层的情况，可能是透水层厚度太厚，或采取了被动抗浮措施，这种情况各分段的阻力系数按B.0.1条计算确定。

B.0.4 截排减压抗浮均应将截水帷幕插入相对弱透水层足够的深度，渗流进、出口段的阻力系数*ξ0*可按式（B.0.4-1）～（B.0.4-2）计算。

# 附录C 水文地质参数试验方法

## C.1 同位素流速测井试验

**C.1.1**  同位素流速测井试验适用于山前冲洪积倾斜平原。

**C.1.2**  同位素流速测井可用地质勘探钻机成孔，可以利用勘探孔。地层的渗透性好、地下水流速快，可用小孔径，地层的渗透性较差、地下水流速缓慢，宜用较大孔径。

## C.2 压水试验

**C.2.1** 压水试验不仅适用于渗透性较差的地层测试渗透系数，而且可以用于测试渗透性较差的地层基坑截水帷幕的渗透系数，查找截水帷幕的渗漏点。

**C.2.2** 一般情况下试验段长度宜为5m，但断层破碎带、裂隙密集带等孔段，透水性强，应根据具体情况适当加大试段长度。

## C.3 无截水帷幕抽水试验

**C.3.1** 抽水试验可获取岩体的渗透性参数和查明场地岩体与其水文地质边界间的水力联系，确定强透水地层的渗透系数，可利用已有勘探孔和水位观测孔进行。也可检测截水帷幕的质量缺陷和渗漏点，可利用基坑开挖降水井进行试验。

**C.3.2** 在两抽水试验孔之间布置2个～3个观测孔，形成一个降水断面，绘制降水曲线，也为检验每组抽水试验孔间的水力联系。

**C.3.7~ C.3.9** 地层渗透系数及影响半径的计算适用于无截水帷幕的情况。

附录E 反滤层级配计算方法

**E.0.2** 被保护土体为无粘性土，其第一层反滤层的级配计算式（E.0.2-1）、式（E.0.2-2）适用于不均匀系数的被保护土，对于不均匀系数的被保护土，宜取的细粒部分的、作为计算粒径，对于级配不连续的被保护土，应取级配曲线平段以下（一般是1~5mm粒径）细粒部分的、作为计算粒径。

当第一层反滤层的不均匀系数时，应控制大于5mm颗粒的含量小于60%，选用5mm以下的细粒部分的颗粒作为计算粒径。