

吉林省工程建设地方标准

建筑基坑支护技术规程

Technical specification for retaining and protecting  
of building foundation excavations

DB22/JT145-2015

主编部门：吉林省建设标准化管理办公室

批准部门：吉林省住房和城乡建设厅

施行日期：2015年11月02日

吉林人民出版社

2015·长春

## 建筑基坑支护技术规程

---

编 者:吉林省建设标准化管理办公室

责任编辑:崔玉金

封面设计:徐艳彬

吉林人民出版社出版 发行 长春市人民大街 7548 号 邮政编码:130022

印 刷:长春博美图文制作有限公司

开 本:850mm×1168mm 1/32

印 张:6

字 数:111千字

标准书号:ISBN 978-7-206-08059-3

版 次:2015年11月第1版

印 次:2015年11月第1次印刷

印 数:1-2 000册

定 价:52.00元

---

如发现印装质量问题,影响阅读,请与印刷厂联系调换。

# 吉林省住房和城乡建设厅

## 公 告

第 387 号

---

吉林省住房和城乡建设厅

关于发布吉林省工程建设地方标准

《建筑基坑支护技术规程》的公告

现批准《建筑基坑支护技术规程》为吉林省工程建设地方标准，统一编号为：DB22/JT145-2015，自发布之日起实施。原吉林省工程建设地方标准《建筑基坑支护技术规程》，统一编号DB22/T1051-2011，同时废止。

特此公告。

吉林省住房和城乡建设厅

2015年11月2日



## 前 言

根据吉林省住房和城乡建设厅《关于下达 2015 年全省工程建设地方标准制定(修订)计划(一)的通知》(吉建标[2015]1 号)文件的要求,依据现行行业技术标准,借鉴了现行其他省、市的地方技术标准,总结了近年来吉林省建筑基坑支护工程经验,并在广泛征求吉林省勘察、设计、施工及建设管理部门等相关单位意见的基础上,修订了《建筑基坑支护技术规程》DB22/T1051-2011。

本规程主要技术内容是:基本规定、基坑稳定性、放坡、支挡式结构、土钉墙、地下水控制。

本次修订的主要内容:1 强调了变形控制设计原则;2 调整了选用土的抗剪强度指标的规定;3 调整和补充了支护结构的几种稳定性验算;4 调整了部分稳定性验算表达式;5 改进了不同施工工艺下锚杆粘结强度取值的有关规定;6 新增了内支撑、支护与主体结构相结合及逆作法、双排桩;7 引入了土钉墙土压力调整系数;8 充实了各类支护结构构造与施工的有关规定;9 增加了地下水控制。

本规程由吉林省建设标准化管理办公室负责管理,由吉林省中鼎建筑设计有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中,请各单位注意总结经验、积累资料,随时将意见或建议寄送至吉林省建设标准化管理办公室(地址:长春市民康路 519 号,邮编:130041)。

**本规程主编单位:** 吉林省中鼎建筑设计有限公司

**本规程参编单位:** 吉林省玉础地基基础工程有限公司

吉林建筑大学

长春市市政工程设计研究院

长春市水资源管理办公室

本规程主要起草人员：孟凡林 姚平 刘殿中 孟祥瑞  
侯兆玉 田禄霞 林晟 侯宪宝  
曹成立 陈志达  
本规程主要审查人员：陶乐然 王树成 高涛 佟德生  
毕建东 周毅

# 目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	4
3	基本规定	8
3.1	设计原则	8
3.2	岩土工程勘察	13
3.3	支护结构选型	15
3.4	水平荷载	16
3.5	质量检验	22
3.6	基坑开挖	23
3.7	基坑监测	24
4	基坑稳定性	27
4.1	一般规定	27
4.2	整体稳定性验算	27
4.3	坑底抗隆起稳定性验算	29
4.4	嵌固稳定性验算	34
4.5	渗透稳定性验算	35
5	放坡	38
5.1	一般规定	38
5.2	设计	38
5.3	施工	38
6	支挡式结构	40

6.1	结构分析.....	40
6.2	排桩、地下连续墙截面承载力计算.....	46
6.3	锚杆计算.....	48
6.4	排桩、地下连续墙、锚杆的构造要求.....	52
6.5	排桩、地下连续墙、锚杆的施工.....	56
6.6	排桩、地下连续墙、锚杆的质量检测.....	61
6.7	内支撑结构设计.....	63
6.8	内支撑结构施工与检测.....	67
6.9	支护结构与主体结构的结合及逆作法.....	69
6.10	双排桩设计.....	75
7	土钉墙.....	79
7.1	一般规定.....	79
7.2	设计.....	79
7.3	施工.....	86
7.4	质量检验与监测.....	89
8	地下水控制.....	91
8.1	一般规定.....	91
8.2	截水.....	91
8.3	降水.....	94
8.4	集水明排.....	100
8.5	降水引起的地层变形计算.....	101
附录 A	基坑支护设计文件内容.....	103
A.1	方案阶段.....	103
A.2	施工图设计阶段.....	105
附录 B	圆形截面混凝土支护桩的正截面受弯承载力计算.....	112
附录 C	锚杆抗拔试验要点.....	116
C.1	一般规定.....	116
C.2	基本试验.....	116
C.3	蠕变试验.....	118

C.4 验收试验 .....	119
附录 D 土钉抗拔试验要点 .....	121
附录 E 基坑涌水量计算 .....	124
本规程用词说明 .....	128
引用标准名录 .....	129
附：条文说明 .....	131



# 1 总 则

**1.0.1** 为了使吉林省建筑基坑支护工程的勘察、设计、施工和监测工作规范化，做到技术先进、经济合理，确保基坑边坡稳定，并保证基坑周边环境安全，制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用于吉林省一般地质条件下临时性建筑基坑支护工程的勘察、设计、施工和监测。不适用于软土、盐渍土等特殊土或岩石基坑。

**1.0.3** 建筑基坑支护应综合考虑场地工程地质与水文地质条件、基坑开挖深度、降排水条件、基础类型、周边环境对基坑侧壁变形控制的要求、基坑周边荷载、施工季节及施工条件、支护结构使用期限等因素。

**1.0.4** 对于基坑开挖超过自然地面下 5m（含 5m），或虽未超过 5m（含 5m）但地质条件、周边环境极其复杂的基坑工程，应对基坑支护方案进行专门论证。

**1.0.5** 建筑基坑支护工程除应符合本规程的规定外，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 基坑 excavations

为进行建(构)筑物地下部分的施工由地面向下开挖出的空间。

#### 2.1.2 基坑周边环境 surroundings around excavations

与基坑开挖相互影响的周边建(构)筑物、地下管线、道路、岩土体与地下水体的统称。

#### 2.1.3 基坑支护 retaining and protection for excavations

为保护地下主体结构施工和基坑周边环境的安全,对基坑采用的临时性支挡、加固、保护与地下水控制的措施。

#### 2.1.4 支护结构 retaining and protection structure

支挡或加固基坑侧壁的结构。

#### 2.1.5 设计使用期限 design workable life

设计规定的从基坑开挖到预定深度至完成基坑支护使用功能的时段。

#### 2.1.6 支挡式结构 retaining structure

以挡土构件和锚杆或支撑为主的,或仅以挡土构件为主的支护结构。

#### 2.1.7 锚拉式支挡结构 anchored retaining structure

以挡土构件和锚杆为主的支挡式结构。

#### 2.1.8 支撑式支挡结构 strutted retaining structure

以挡土构件和支撑为主的支挡式结构。

#### 2.1.9 悬臂式支挡结构 cantilever retaining structure

仅以挡土构件为主的支挡式结构。

#### 2.1.10 挡土构件 structural member for earth retaining

设置在基坑侧壁并嵌入基坑底面的支挡式结构竖向构件。例如，支护桩、地下连续墙。

#### 2.1.11 排桩 soldier pile wall

沿基坑侧壁排列设置的支护桩及冠梁所组成的支挡式结构部件或悬臂式支挡结构。

#### 2.1.12 双排桩 double-row-piles wall

沿基坑侧壁排列设置的由前、后两排支护桩和梁连接成的刚架及冠梁组成的支挡式结构。

#### 2.1.13 地下连续墙 diaphragm wall

分槽段用专用机械成槽、浇筑钢筋混凝土所形成的连续地下墙体。亦可称为现浇地下连续墙。

#### 2.1.14 锚杆 anchor

由杆体（钢绞线、预应力螺纹钢筋、普通钢筋或钢管）、注浆固结体、锚具、套管所组成的一端与支护结构构件连接，另一端锚固在稳定岩土体内的受拉杆件。杆体采用钢绞线时，亦可称为锚索。

#### 2.1.15 内支撑 strut

设置在基坑内的由钢筋混凝土或钢构件组成的用以支撑挡土构件的结构部件。支撑构件采用钢材、混凝土时，分别称为钢内支撑、混凝土内支撑。

#### 2.1.16 冠梁 capping beam

设置在挡土构件顶部的将挡土构件连为整体的钢筋混凝土梁。

#### 2.1.17 腰梁 waling

设置在挡土构件侧面的连接锚杆或内支撑的钢筋混凝土梁或钢梁。

#### 2.1.18 土钉 soil nail

植入土中并注浆形成的承受拉力与剪力的杆件。例如，钢筋杆体与注浆固结体组成的钢筋土钉，击入土中的钢管土钉。

### 2.1.19 土钉墙 soil nailing wall

由随基坑开挖分层设置的、纵横向密布的土钉群、喷射混凝土面层及原位土体所组成的支护结构。

### 2.1.20 复合土钉墙 composite soil nailing wall

土钉墙与预应力锚杆、微型桩、旋喷桩、搅拌桩中的一种或多种组成的复合型支护结构。

### 2.1.21 地下水控制 groundwater control

为保证支护结构、基坑开挖、地下结构的正常施工，防止地下水变化对基坑周边环境产生影响所采用的截水、降水、排水、回灌等措施。

### 2.1.22 截水帷幕 curtain for cutting off drains

用以阻隔或减少地下水通过基坑侧壁与坑底流入基坑和控制基坑外地下水位下降的幕墙状竖向截水体。

### 2.1.23 落底式帷幕 closed curtain for cutting off drains

底端穿透含水层并进入下部隔水层一定深度的截水帷幕。

### 2.1.24 悬挂式帷幕 unclosed curtain for cutting off drains

底端未穿透含水层的截水帷幕。

### 2.1.25 降水 dewatering

为防止地下水通过基坑侧壁与基底流入基坑，用抽水井或渗水井降低基坑内外地下水位的方法。

### 2.1.26 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、渗漏水排泄至基坑外的方法。

## 2.2 符号

### 2.2.1 作用和作用效应

$E_{ak}$ 、 $E_{pk}$  —— 主动土压力、被动土压力标准值；

$G$  —— 支护结构和土的自重；

- $M$  —— 弯矩设计值;
- $M_k$  —— 作用标准组合的弯矩值;
- $N$  —— 轴向拉力或轴向压力设计值;
- $N_k$  —— 作用标准组合的轴向拉力值或轴向压力值;
- $p_{ak}$ 、 $p_{pk}$  —— 主动土压力强度、被动土压力强度标准值;
- $p_0$  —— 基础底面附加压力的标准值;
- $p_s$  —— 分布土反力;
- $p_{s0}$  —— 初始分布土反力;
- $p$  —— 预加轴向力;
- $q$  —— 降水井的单井流量;
- $q_0$  —— 均布附加荷载标准值;
- $S$  —— 降水引起的建筑物基础或地面的固结沉降量;
- $S_d$  —— 基坑地下水水位的设计降深;
- $S_d$  —— 作用组合的效应设计值;
- $S_k$  —— 作用标准组合的效应或作用标准值的效应;
- $u$  —— 孔隙水压力;
- $V$  —— 剪力设计值;
- $V_k$  —— 作用标准组合的剪力值;
- $v$  —— 挡土构件的水平位移。

### 2.2.2 材料性能和抗力

$C$  —— 正常使用极限状态下支护结构位移或建筑物基础、地面沉降的限值;

- $c$  —— 土的黏聚力;
- $E_c$  —— 锚杆的复合弹性模量;
- $E_m$  —— 锚杆锚固体的弹性模量;
- $E_s$  —— 锚杆杆体或支撑的弹性模量或土的压缩模量;
- $f_{py}$  —— 预应力钢筋的抗拉强度设计值;
- $f_y$  —— 普通钢筋的抗拉强度设计值;
- $k$  —— 土的渗透系数;

- $R_k$  —— 锚杆或土钉的极限抗拔承载力标准值；
- $q_{sk}$  —— 土与锚杆或土钉的极限粘结强度标准值；
- $q_d$  —— 单井出水能力；
- $R_d$  —— 结构构件的抗力设计值；
- $R$  —— 降水影响半径；
- $\gamma$  —— 土的天然重度；
- $\gamma_w$  —— 地下水的重度；
- $\varphi$  —— 土的内摩擦角。

### 2.2.3 几何参数

- $A$  —— 构件的截面面积；
- $A_p$  —— 预应力钢筋的截面面积；
- $A_s$  —— 普通钢筋的截面面积；
- $B$  —— 截面宽度；
- $D$  —— 桩、锚杆、土钉的直径或基础埋置深度；
- $h$  —— 基坑深度或构件截面高度；
- $H$  —— 潜水含水层厚度；
- $l_d$  —— 挡土构件的嵌固深度；
- $l_0$  —— 受压支撑构件的长度；
- $M$  —— 承压水含水层厚度；
- $r_w$  —— 降水井半径；
- $\beta$  —— 土钉墙坡面与水平面的夹角；
- $\alpha$  —— 锚杆、土钉的倾角或支撑轴线与水平面的夹角。

### 2.2.4 设计参数和计算系数

- $k_s$  —— 土的水平反力系数；
- $k_R$  —— 弹性支点轴向刚度系数；
- $K$  —— 安全系数；
- $K_a$  —— 主动土压力系数；
- $K_p$  —— 被动土压力系数；
- $M$  —— 土的水平反力系数的比例系数；

- $\alpha$  —— 支撑松弛系数；
- $\gamma_F$  —— 作用基本组合的综合分项系数；
- $\gamma_0$  —— 支护结构重要性系数；
- $\zeta$  —— 坡面倾斜时的主动土压力折减系数；
- $\lambda$  —— 支撑不动点调整系数；
- $\psi_w$  —— 沉降计算经验系数。

## 3 基本规定

### 3.1 设计原则

**3.1.1** 本规程所列各种支护结构,均应按保证安全和正常使用的临时性结构进行设计。有越冬施工要求的应进行专门的论证,保证支护结构的越冬安全和正常使用。

**3.1.2** 基坑支护应满足下列功能要求:

1 保证基坑周边建(构)筑物、地下管线、道路的安全和正常使用;

2 保证主体地下结构的施工空间。

**3.1.3** 基坑支护结构应按下列两种极限状态进行设计:

1 承载能力极限状态

1) 支护结构构件或连接因超过材料强度而破坏,或因过度变形而不适于继续承受荷载,或出现压屈、局部失稳;

2) 支护结构和土体整体滑动;

3) 坑底土体隆起而丧失稳定;

4) 对支挡式结构,支挡构件因坑底土体丧失嵌固能力而推移或倾覆;

5) 对锚拉式支挡结构或土钉墙,锚杆或土钉因土体丧失锚固能力而拔动;

6) 地下水渗流引起的土体渗透破坏;

2 正常使用极限状态

1) 造成基坑周边建(构)筑物、地下管线、道路等损坏或影响其正常使用的支护结构位移;

- 2) 因地下水位下降、地下水渗流或施工因素而造成基坑周边建(构)筑物、地下管线、道路等损坏或影响其正常使用的土体变形;
- 3) 影响主体地下结构正常施工的支护结构位移;
- 4) 影响主体地下结构正常施工的地下水渗流。

### 3.1.4 支护结构设计应采用下列设计表达式:

#### 1 承载能力极限状态

- 1) 支护结构构件或连接因超过材料强度或因过度变形的承载能力极限状态设计,应符合下式要求:

$$\gamma_0 S_d \leq R_d \quad (3.1.4-1)$$

$$S_d = \gamma_F S_k \quad (3.1.4-2)$$

式中  $\gamma_0$  —— 支护结构重要性系数,按本规程第 3.1.5 条规定取值;

$S_d$  —— 作用基本组合的效应(轴力、剪力、弯矩等)设计值;

$R_d$  —— 结构构件的抗力设计值;

$S_k$  —— 作用标准组合的效应;

$\gamma_F$  —— 作用基本组合的综合分项系数,取 1.25;

- 2) 坑体滑动、坑底隆起失稳、挡土构件嵌固段推移、锚杆与土钉拔动、支护结构倾覆与滑移、土体渗透破坏等稳定性计算和验算,均应符合下式要求:

$$\frac{R_k}{S_k} \geq K \quad (3.1.4-3)$$

式中:  $R_k$  —— 抗滑力、抗滑力矩、抗倾覆力矩、锚杆和土钉的极限抗拔承载力等土的抗力标准值;

$S_k$  —— 滑动力、滑动力矩、倾覆力矩、锚杆和土钉的拉力等作用标准值的效应;

$K$  —— 安全系数;

## 2 正常使用极限状态

由支护结构水平位移、基坑周边建筑物和地面的沉降等控制的正常使用极限状态设计，应符合下式要求：

$$S_d \leq C \quad (3.1.4-4)$$

式中  $S_d$  —— 作用标准组合的效应（位移、沉降等）设计值；  
 $C$  —— 支护结构水平位移、基坑周边建筑物和地面沉降的限值。

**3.1.5** 基坑支护设计时，应综合考虑基坑周边环境 and 地质条件的复杂程度、基坑深度等因素，按表 3.1.5 划分支护结构的安全等级。对同一基坑的不同部位，可采用不同的安全等级。支护结构设计中应根据不同的安全等级选用支护结构重要性系数：一级取  $\gamma_0=1.10$ ；二级取  $\gamma_0=1.00$ ；三级取  $\gamma_0=0.90$ 。

表 3.1.5 支护结构的安全等级

安全等级	破坏后果
一级	支护结构失效、土体过大变形对基坑周边环境或主体结构施工安全的影响很严重。
二级	支护结构失效、土体过大变形对基坑周边环境或主体结构施工安全的影响严重。
三级	支护结构失效、土体过大变形对基坑周边环境或主体结构施工安全的影响不严重。

**3.1.6** 支护结构设计应考虑其结构水平变形、地下水的变化对周边环境的水平与竖向变形的影响，并应符合下列规定：

- 1 对于安全等级为一级和对周边环境变形有限定要求的二级建筑基坑侧壁，应确定支护结构的水平变形限值。最大水平变形值应满足正常使用要求；
- 2 应按邻近建筑结构形式及其状况控制周边地面竖向变形；
- 3 当邻近有重要管线或支护结构作为永久性结构时，其水平

变形和竖向变形应按满足其正常工作的要求控制；

4 当无明确要求时，支护结构水平变形及周边地面沉降应符合表 3.1.6 的规定。

表 3.1.6 支护结构水平变形及基坑周边地面沉降限值

变形限值项目 \ 基坑等级	一级	二级	三级
支护结构顶部水平变形限值	0.2% $h$	0.3% $h$	0.5% $h$
支护结构深部水平变形限值	0.4% $h$	0.5% $h$	0.8% $h$
基坑周边地面沉降限值	0.15% $h$	0.25% $h$	0.55% $h$

注： $h$  —— 基坑开挖深度。

3.1.7 当场地内有影响基坑施工的地下水时，应根据场地及周边区域的工程地质条件、水文地质条件、周边环境情况和支护结构与基础型式等因素，确定地下水控制方法。降水设计应保证不致因降水引起周边环境产生过量沉降。当场地周围有地表水径流、排泄或地下管涵渗漏时，应切断水源并对基坑采取截水、封堵、导流等保护措施。

3.1.8 支护结构与主体地下结构的净空间和地下水控制应满足主体地下结构施工要求。

3.1.9 支护结构设计应根据冻胀、冻融对支护结构受力和基坑侧壁的影响采取相应的措施。

3.1.10 支护结构按平面结构分析时，应按基坑各部位的开挖深度、周边环境条件、地质条件等因素划分设计计算剖面。对每一个计算剖面，应按照最不利条件进行计算。对电梯井、集水坑、基坑边塔吊等特殊部位，宜单独划分计算剖面。

3.1.11 土压力及水压力计算、土的各类稳定性验算时，土、水压力的分、合算方法及相应的土的抗剪强度指标类别应符合下列规定：

1 对地下水位以上的黏性土、黏质粉土，土的抗剪强度指标应采用三轴固结不排水抗剪强度指标  $C_{cu}$ 、 $\varphi_{cu}$  对地下水位以上的

砂质粉土、砂土、碎石土，土的抗剪强度指标应采用有效强度应力指标  $c'$ 、 $\varphi'$ ；

2 对地下水位以下的黏性土、黏质粉土，可采用土压力、水压力合算方法；此时，对正常固结和超固结土，土的抗剪强度指标应采用三轴固结不排水抗剪强度指标  $C_{cu}$ 、 $\varphi_{cu}$ ，对欠固结土，宜采用有效自重压力下预固结的三轴不固结不排水抗剪强度指标  $C_c$ 、 $\varphi_u$ ；

3 对地下水位以下的砂质粉土、砂土和碎石土，应采用土压力、水压力分算方法；此时，土的抗剪强度指标应采用有效应力强度指标  $c'$ 、 $\varphi'$ ，对砂质粉土，缺少有效强度应力指标时，也可采用三轴固结不排水抗剪强度指标  $C_{cu}$ 、 $\varphi_{cu}$ ，对于砂土和碎石土，有效应力强度指标  $\varphi'$  可根据标准贯入试验实测击数和水下休止角等物理力学指标取值；土压力、水压力采用分算方法时，水压力可按静水压力计算；当地下水渗流时，宜按渗流理论计算水压力和土的竖向有效应力；当存在多个含水层时，应分别计算各含水层的水压力；

4 对于安全等级为二、三级的基坑，有可靠的地方经验时，黏性土、黏质粉土、砂质粉土可采用直剪固结快剪强度指标  $C_{cq}$ 、 $\varphi_{cu}$ ，也可根据室内、原位试验得到的其他物理力学指标，按经验方法确定。

**3.1.12** 支护设计应选择符合支护结构实际条件的计算工况，并在确认参数的合理性、计算结果的可靠性后，方可将计算结果用于设计。

**3.1.13** 支护结构设计、施工应取得以下基本资料：

- 1 岩土工程勘察资料；
- 2 标有建筑红线、施工红线的总平面图及基础结构设计图；
- 3 建筑场地内及周边的地下管线、地下设施的位置、深度、结构形式、埋设时间及使用现状；
- 4 邻近已有建筑的位置、层数、高度、结构类型、建成时间、基础类型、埋置深度、主要尺寸、基础距基坑侧壁的净距、沉降变形和损坏情况并分析其原因等；

5 基坑周围的地面排水情况，地面雨水、污水、上下水管线排入或漏入基坑的可能性；

6 施工期间基坑周边的地面堆载及车辆、设备的动、静载情况等。

**3.1.14** 基坑支护设计应包括下列内容：

- 1 基坑支护的稳定性验算；
- 2 支护结构的承载力计算和变形验算；
- 3 基坑周边环境的影响分析与保护技术要求；
- 4 降水止水施工要求；
- 5 土方开挖施工要求；
- 6 支护结构施工要求；
- 7 质量检测和基坑监测要求。

**3.1.15** 基坑支护设计文件编制应符合本规程附录 A 的要求。

## 3.2 岩土工程勘察

**3.2.1** 在建筑场地的初步勘察阶段，应搜集工程地质和水文地质资料，进行工程地质调查，在初勘基础上对岩土工程条件进行分析，预测基坑工程中可能产生的主要岩土工程问题。

**3.2.2** 拟建工程详细勘察成果应提供基坑工程设计、施工所需的场地、岩土地层等基础资料，对基坑工程、支护方案提出建议。针对支护工程应按下列要求进行勘察工作：

1 勘探的范围应按基坑的复杂程度及工程地质与水文地质条件确定，对于水平方向分布稳定的地层单元，勘探测试范围不应小于基坑周边范围，当地层空间分布不稳定、跨越工程地质单元或需查明专门问题时，勘探范围应根据支护设计需要扩大，查明不利岩土层的分布；

2 勘探点宜沿基坑边线布置。勘探点间距应按基坑的复杂程度及工程地质与水文地质条件确定，一般可取 15m~25m。当地层

水平方向变化较大,有相对不利的岩土层或软弱结构面时,应增加勘探点;

3 勘探点深度应按基坑的复杂程度及工程地质与水文地质条件确定,并应满足设计计算的要求,控制性勘探孔不宜少于基坑勘探点总数的  $1/3$ ,其深度从基坑顶面计不宜小于基坑深度的 2 倍,一般性勘探点应穿过支护结构底部的相对软弱地层,在基坑工程勘探深度内遇中等风化及微风化岩石时,可根据岩石类别及支护要求适当减少深度;

4 基坑工程勘察宜采用钻探、室内试验及原位测试等多种勘探手段;

5 松散的人工堆积层应视其成份采取试样或进行轻便动力触探或标准贯入试验,厚度超过 2m 时,分层取样或测试间距不应大于 2m,提出  $c'$ 、 $\phi'$  值,并对年代、成分、均匀性、压实性等做出评价;

6 岩土不扰动试样采取和原位测试的数量,应保证每一主要岩土层的代表性数据不少于 6 组。

### 3.2.3 场地水文地质勘察应符合以下要求:

1 查明地下水含水层和隔水层的层位、埋深和分布情况,查明各含水层(包括上层滞水、潜水、承压水)的补给条件和水力联系;

2 对于含水层,应分层提供渗透系数,必要时渗透系数应通过现场试验确定;

3 分析施工过程中水位变化对支护结构和基坑周边环境的影响,提出应采取的措施;

### 3.2.4 基坑工程的岩土工程勘察成果,除应符合一般要求外,尚应包括下列内容:

1 提供基坑支护工程设计所需的地层结构、岩土的物理力学性质指标以及含水层水文地质参数指标;

2 评价地下水对基坑支护工程的影响,提出地下水控制方法的建议;

3 对施工过程中形成的流砂、流土、管涌及整体失稳等现象

的可能性进行评价并提出预防措施。对具有特殊性质的岩土，应分析其对基坑工程的影响，并提出对设计、施工相应措施的建议；

4 评价基坑工程与周边环境的相互影响并提出设计、施工应注意事项和必要保护措施的建议；

5 提供平面图、基坑周边地层剖面图及与支护设计有关的岩土试验成果图表。

### 3.3 支护结构选型

3.3.1 支护结构方案的选择应根据基坑周边环境限制、开挖深度、工程地质与水文地质条件、施工工艺及设备条件、周边相似条件基坑的经验、施工工期及施工季节等条件，选择排桩、地下连续墙、土钉墙、放坡及组合型式等支护结构形式，常用支护结构形式见表 3.3.1。

表 3.3.1 支护结构选型表

支护结构形式	适用条件
排桩、地下连续墙	1.适于基坑侧壁安全等级为一、二、三级 2.悬臂式结构在软土地带中不宜大于 5m 3.地下水位以上或已采取降截水措施的基坑
土钉墙	1.基坑侧壁安全等级为二、三级的非软土地带 2.单一土钉墙支护深度不宜大于 10m 3.直立复合土钉墙基坑深度不宜大于 12m，放坡复合土钉墙基坑深度不宜大于 15m 4.地下水位以上或已采取降水措施的基坑
放坡	1.基坑侧壁安全等级为三级 2.施工场地满足放坡条件 3.可独立或与上述其它支护结构结合使用 4.地下水位以上或已采取降水措施的基坑

注：当基坑上部采用放坡或土钉墙下部采用排桩地下连续墙支护时，可用于基坑侧壁安全等级为一、二、三级的基坑。

**3.3.2** 支护结构选型应考虑结构的空间效应和受力特点,采用有利支护结构材料受力特性的形式。

**3.3.3** 对于基坑上部采用放坡或土钉墙,下部采用排桩或地下连续墙的情况,放坡或土钉墙支护的高度  $h_1$  大于基坑总深度  $h$  的  $1/2$  时,应考虑桩(墙)顶部以上土体与桩(墙)支护结构间的相互影响,并应严格控制桩(墙)顶部的水平位移。

**3.3.4** 软土地场可采用深层搅拌、注浆、间隔或全部加固等方法对局部或全部基坑底土进行加固,或采用降水措施提高基坑内侧被动抗力。

### 3.4 水平荷载

**3.4.1** 计算作用在支护结构上的水平荷载时,应考虑下列因素:

- 1 基坑内外土的自重(包括地下水);
- 2 基坑周边既有和在建的建(构)筑荷载;
- 3 基坑周边施工材料和设备荷载;
- 4 基坑周边道路车辆荷载;
- 5 冻胀、温度变化及其他因素产生的作用。

**3.4.2** 作用在支护结构上的土压力应按下列规定确定:

1 支护结构外侧的主动土压力强度标准值、支护结构内侧的被动土压力强度标准值宜按下列公式计算(图 3.4.2):

1) 对于地下水位以上或水土合算的土层

$$p_{ak} = \sigma_{ak} K_{a,i} - 2c_i \sqrt{K_{a,i}} \quad (3.4.2-1)$$

$$K_{a,i} = \tan^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi_i}{2} \right) \quad (3.4.2-2)$$

$$p_{pk} = \sigma_{pk} K_{p,i} + 2c_i \sqrt{K_{p,i}} \quad (3.4.2-3)$$

$$K_{p,i} = \tan^2 \left( 45^\circ + \frac{\varphi_i}{2} \right) \quad (3.4.2-4)$$

式中  $P_{ak}$  —— 支护结构外侧，第  $i$  层土中计算点的主动土压力强度标准值，kPa；当  $P_{ak} < 0$  时，应取  $P_{ak} = 0$ ；

$\sigma_{ak}$ 、 $\sigma_{pk}$  —— 分别为支护结构外侧、内侧计算点的土中竖向应力标准值，kPa，按本规程第 3.4.5 条的规定计算；

$K_{a,i}$ 、 $K_{p,i}$  —— 分别为第  $i$  层土的主动土压力系数、被动土压力系数；

$c_i$ 、 $\varphi_i$  —— 分别为第  $i$  层土的黏聚力 (kPa)、内摩擦角 ( $^\circ$ )，按本规程第 3.1.11 条的规定取值；

$P_{pk}$  —— 支护结构内侧，第  $i$  层土中计算点的被动土压力强度标准值，kPa；

2) 对于水土分算的土层

$$p_{ak} = (\sigma_{ak} - u_a) K_{a,i} - 2c_i \sqrt{K_{a,i}} + u_a \quad (3.4.2-5)$$

$$p_{pk} = (\sigma_{pk} - u_p) K_{p,i} - 2c_i \sqrt{K_{p,i}} + u_p \quad (3.4.2-6)$$

式中  $u_a$ 、 $u_p$  —— 分别为支护结构外侧、内侧计算点的水压力，kPa；对静止地下水，按本规程第 3.4.4 条的规定取值；当采用悬挂式截水帷幕时，应考虑地下水从帷幕底向基坑内的渗流对水压力的影响；

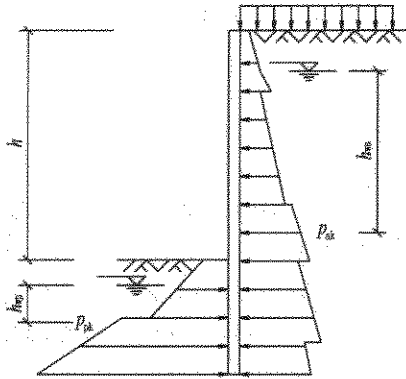


图 3.4.2 水平荷载标准值计算简图

2 需要严格限制支护结构的水平位移时，支护结构外侧土压力宜取静止土压力。

3.4.3 对成层土，土压力计算时的各土层计算厚度应符合下列规定：

1 当土层厚度较均匀、层面坡度较平缓时，宜取临近勘察孔的各土层厚度，或同一计算剖面内各土层厚度的平均值；

2 当同一计算剖面内各勘察孔的土层厚度分布不均匀时，应取最不利勘察孔的各土层厚度；

3 当临近土层的土性接近，且对土压力的影响可以忽略不计或有利时，可归并为同一计算土层。

3.4.4 静止地下水的水压力可按下列公式计算：

$$u_a = \gamma_w h_{wa} \quad (3.4.4-1)$$

$$u_d = \gamma_w h_{wd} \quad (3.4.4-2)$$

式中  $\gamma_w$  —— 地下水重度，取  $\gamma_w = 10\text{kN/m}^3$ ；

$h_{wa}$  —— 基坑外侧地下水位至主动土压力强度计算点的垂直

距离, m; 对承压水, 地下水位取测压管水位; 当有多个含水层时, 应取计算点所在含水层的地下水位;

$h_{wp}$  —— 基坑内侧地下水位至被动土压力强度计算点的垂直距离, m; 对承压水, 地下水位取测压管水位。

**3.4.5** 土中竖向应力标准值应按下式计算:

$$\sigma_{ak} = \sigma_{ac} + \sum \Delta\sigma_{k,j} \quad (3.4.5-1)$$

$$\sigma_{pk} = \sigma_{pc} \quad (3.4.5-2)$$

式中  $\sigma_{ac}$  —— 支护结构外侧计算点, 由土的自重产生的竖向总应力, kPa;

$\sigma_{pc}$  —— 支护结构内侧计算点, 由土的自重产生的竖向总应力, kPa;

$\Delta\sigma_{k,j}$  —— 支护结构外侧第  $j$  个附加荷载作用下计算点的土中附加竖向应力标准值, kPa; 应根据附加荷载类型, 按本规程第 3.4.6 条计算。

**3.4.6** 支护结构外侧地面荷载、建筑物荷载等产生的附加竖向应力标准值可按下列规定计算:

1 当支护结构外侧地面考虑施工材料堆放、行车等荷载时, 宜按满布的均布荷载计算, 计算深度处的附加竖向应力标准值可按下式计算 (图 3.4.6-1):

$$\Delta\sigma_k = q_0 \quad (3.4.6-1)$$

式中  $q_0$ ——均布荷载, kPa;

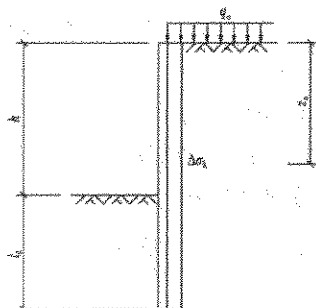


图 3.4.6-1 地面无限均布荷载作用下附加竖向应力图

2 当距支护结构外侧地面下一定深度  $d$  处作用有宽度  $b$  的条形基础荷载时, 基坑外侧深度  $CD$  范围内计算深度处的附加竖向应力标准值可按下列式计算 (图 3.4.6-2):

$$\Delta\sigma_k = \frac{p_0 b}{b + 2b_1} \quad (3.4.6-2)$$

式中  $p_0$  —— 基础底面附加压力标准值, kPa;

$b$  —— 基础宽度, m;

$b_1$  —— 支护结构外边缘至基础的水平距离, m;

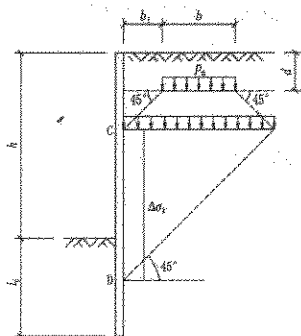


图 3.4.6-2 条形 (矩形) 均部荷载作用下附加竖向应力图

3 当距支护结构外侧地面下一定深度  $d$  处作用有宽度为  $b$ 、长度为  $l$  的矩形基础荷载时, 基坑外侧深度  $CD$  范围内计算深度处的附加竖向应力标准值可按下式计算 (图 3.4.6-2):

$$\sigma_k = \frac{p_0 bl}{(b + 2b_1)(l + 2b_1)} \quad (3.4.6-3)$$

式中  $b$  —— 与基坑边垂直方向上的基础尺寸, m;

$l$  —— 与基坑边平行方向上的基础尺寸, m;

4 当支护结构外侧地面荷载可按局部条形、矩形荷载考虑时, 可分别按公式 (3.4.6-2) 或公式 (3.4.6-3) 计算附加竖向应力标准值。

**3.4.7** 当临近基坑的建筑物基础低于基坑底面时, 且临近建筑物外墙距支护结构净距  $b$  小于  $htan(45^\circ - \varphi_i/2)$  时, 可按下列方法计算作用在支护结构上任意点的有限宽度土体的主动土压力 (图 3.4.7):

1 当计算点深度  $z \leq b/\tan(45^\circ - \varphi_i/2)$ , 或  $z \geq b/\tan(45^\circ - \varphi_i/2) + d$  时, 按本规程第 3.4.2 条的规定计算;

2 当计算点深度  $b/\tan(45^\circ - \varphi_i/2) < z < b/\tan(45^\circ - \varphi_i/2) + d$  时:

1) 对于地下水位以上或水土合算的土层:

$$p_{ak} = (2 - n_b)n_b\sigma_{ak}K_{a,i} - 2c_i n_b \sqrt{K_{a,i}} \quad (3.4.8-1)$$

2) 对于水土分算的土层:

$$p_{ak} = [(2 - n_b)n_b\sigma_{ak} - u_a]K_{a,i} - 2c_i n_b \sqrt{K_{a,i}} + u_a \quad (3.4.8-2)$$

式中  $d$  —— 临近建筑物基础埋置深度, m;

$n_b$  —— 系数,  $n_b = b / htan(45^\circ - \varphi_i/2)$ 。

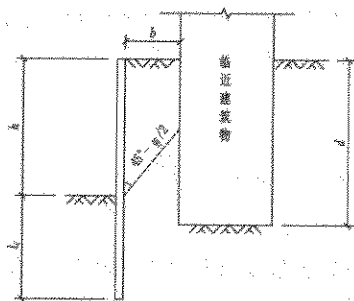


图 3.4.7 有限宽度土体的主动土压力计算简图

**3.4.8** 对于基坑上部采用放坡或土钉墙，下部采用排桩或地下连续墙的情况，支护结构上的水平荷载宜按库伦土压力理论计算，也可按下列规定计算：

1 当上部放坡或土钉墙支护高度  $h_1 \leq 0.5h$  时，将排桩桩顶或地下连续墙墙顶平面以上的土体自重视为作用在该平面上的附加荷载，按照本规程第 3.4.2 条～3.4.7 条的规定计算水平荷载；

2 当  $h_1 \geq 0.5h$  时，支护结构上的水平荷载除应包括第 1 款的规定计算部分外，还应包括按照本规程第 3.4.2 条计算出桩顶或墙顶平面以上的水平荷载的合力，将该合力换算为作用在桩（墙）顶到基底范围内的倒三角型分布荷载部分。

### 3.5 质量检验

**3.5.1** 支护结构及使用的原材料和半成品应进行检验，检验方法及要求应符合相关标准规范的规定。

**3.5.2** 对基坑侧壁安全等级为一级或构件质量有缺陷会影响基坑侧壁安全的二、三级支护结构应进行质量检验。

**3.5.3** 检验工作结束后应提交包括下列内容的质量检验报告：

1 检验点分布图；

- 2 检验方法与仪器设备型号;
- 3 资料整理及分析方法;
- 4 结论及处理意见。

### 3.6 基坑开挖

**3.6.1** 应根据支护结构设计要求和降排水要求, 确定基坑开挖方案。

**3.6.2** 基坑开挖前, 应根据工程的结构形式、基础设计深度、地质条件、气候条件、周围环境、施工方法、施工工期和地面附加荷载等有关资料, 进行基坑开挖方案设计。

**3.6.3** 基坑开挖方案主要内容应包括开挖方法、开挖时间、土方开挖顺序、坡道位置设定、运输车辆行走路线、开挖监测方案, 以及对支护结构及周边环境需采取的保护措施等。

**3.6.4** 对基坑边界周围地面、槽底应采取有效的截排水措施, 防止漏水、渗水流入坑内, 对渗漏水应及时排出。

**3.6.5** 当基坑开挖面上方的锚杆、土钉、支撑未达到设计要求时, 严禁向下超挖土方。

**3.6.6** 采用锚杆或支撑的支护结构, 在未达到设计规定的拆除条件时, 严禁拆除锚杆或支撑。

**3.6.7** 基坑周边施工材料、设施或车辆荷载严禁超过设计要求的地面荷载限值。

**3.6.8** 对采用预应力锚杆的支护结构, 应在锚杆施加预应力以后, 方可下挖基坑; 对土钉墙, 应在土钉、喷射混凝土面层的养护时间大于 2d 后, 方可下挖基坑。

**3.6.9** 锚杆、土钉下预留的施工作业面深度不宜大于 500mm;

**3.6.10** 土方开挖过程中, 应根据天气变化, 及时调整开挖方案, 采取必要的安全、环境防护措施。

**3.6.11** 发生异常情况时, 应立即停止挖土, 并应立即查清原因,

待采取相应措施后，方可继续开挖施工。

**3.6.12** 基坑开挖时，应对平面控制桩、水准点、基坑平面位置、水平标高、边坡坡度等进行经常性复测检查。

**3.6.13** 开挖过程中，应采取有效措施对支护结构、工程桩和槽底进行防护，禁止扰动基底原状土。当采用机械开挖土方时，应在基坑底预留 150mm~300mm 厚的土层，由人工挖掘修整，以保持基底土体原状结构。

**3.6.14** 基坑开挖完成后，应及时清底验槽，减少地基土暴露时间，防止暴晒或雨水浸泡而破坏地基土的原状结构。

**3.6.15** 基坑验槽后，应及时浇筑垫层封闭基坑；垫层应做到基底满封闭，并应及时进行基础工程施工。

**3.6.16** 基础工程施工完成后，应及时对施工肥槽进行回填，回填时应分层夯实，并应满足设计密实度、渗透性的要求。回填土不得用腐植土、冻土。

### 3.7 基坑监测

**3.7.1** 基坑开挖及使用应制定系统的监测方案。监测方案应包括监测目的、监测项目、监测报警值与控制值、监测方法及精度要求、监测点的布置、监测周期、工序管理和记录制度以及信息反馈系统等。

**3.7.2** 监测点的布置应满足监测要求，基坑边缘以外（1~2）倍开挖深度范围内的需要保护物体均应作为监控对象。

**3.7.3** 基坑工程施工时应应对周边环境进行现场巡查。巡查对象应包括地表与周边建筑物、围墙、道路等裂缝及异常水体渗漏等内容。

**3.7.4** 监测项目可按表 3.8.4 选择。

表 3.7.4 基坑监测项目表

监测项目		一级	二级	三级
坡（桩、墙）顶水平位移		应测	应测	应测
坡（桩、墙）顶竖向位移		应测	应测	应测
桩（墙）深层水平位移		应测	应测	宜测
土体深层水平位移		应测	应测	宜测
桩（墙）体内力		宜测	可测	可测
支撑内力		应测	宜测	可测
立柱竖向位移		应测	宜测	可测
锚杆、土钉拉力		应测	宜测	可测
坑底隆起	软土地区	宜测	可测	可测
	其他地区	可测	可测	可测
土压力		宜测	可测	可测
孔隙水压力		宜测	可测	可测
地下水水位		应测	应测	宜测
土层分层竖向位移		宜测	可测	可测
桩（墙）后地表竖向位移		应测	应测	宜测
周围建（构）筑物变形	竖向位移	应测	应测	应测
	倾斜	应测	宜测	可测
	水平位移	宜测	可测	可测
	裂缝	应测	应测	应测
周围地下管线变形		应测	应测	应测

注：表内各监测项目中，仅选择实际基坑支护形式所含有内容。

**3.7.5** 安全等级为一级、二级的支护结构，在基坑开挖过程与支护结构使用期内，必须进行支护结构的水平位移监测和基坑开挖影响范围内建（构）筑物、地面的沉降监测。

**3.7.6** 位移观测基准点数量不应少于两点，且应设在基坑开挖影响范围以外。

**3.7.7** 监测项目在基坑开挖前应测得初始值，且不应少于两次。

**3.7.8** 基坑监测项目的监控报警值应根据监测对象的有关规范要求、设计要求和工程经验及既有监测对象现状拟定，并结合现场监测成果的分析综合判定。

**3.7.9** 各项监测的时间间隔应根据施工进度确定。当监测数据达到报警值时应加密观测次数，同时应及时分析原因，并采取有效可行的预防措施。当有事故征兆时，应立即采取应急措施。

**3.7.10** 基坑开挖监测过程中，应根据设计要求提交阶段性监测结果报告，工程结束时提交完整的监测报告。报告内容应包括：

- 1 工程概况；
- 2 监测项目和各测点的平面和立面布置图；
- 3 采用仪器设备和监测方法；
- 4 监测数据处理方法和监测结果过程曲线；
- 5 监测结果分析。

**3.7.11** 基坑开挖监测应符合现行国家标准《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497 的规定。

## 4 基坑稳定性

### 4.1 一般规定

**4.1.1** 排桩、地下连续墙、土钉墙和放坡开挖基坑，应验算相关的稳定性内容。

1 排桩、地下连续墙的稳定性验算内容应包括：整体稳定性、抗倾覆稳定性、坑底抗隆起稳定性；

2 土钉墙的稳定性验算内容应包括：土钉墙整体稳定性，坑底抗隆起稳定性；

3 放坡开挖基坑应验算边坡的整体稳定性，对多级放坡尚应验算各级边坡的稳定性；

4 排桩、地下连续墙的嵌固深度除应满足本章节规定的稳定性计算要求外，对于悬臂式支挡结构，嵌固深度不宜小于 0.8h，对于单支点支挡结构，嵌固深度不宜小于 0.3 h，对于多支点支挡结构嵌固深度不宜小于 0.2 h。

注：h 为基坑深度。

### 4.2 整体稳定性验算

**4.2.1** 锚拉式和悬臂式支挡结构、双排桩、土钉墙、放坡应按下列规定（图 4.2.1）进行整体滑动稳定性验算：

$$\min \{K_{s,1}, K_{s,2}, \dots, K_{s,i}, \dots\} \geq K_s \quad (4.2.1-1)$$

$$K_{s,i} = \frac{\sum \{c_j l_j + [(q_j b_j + \Delta G_j) \cos \theta_j - u_j l_j] \tan \varphi_j\} + \sum R'_{k,k} [\cos(\theta_k + \alpha_k) + 0.5 \sin(\alpha_k + \theta_k) \tan \varphi] / S_{x,k}}{\sum (q_j b_j + \Delta G_j) \sin \theta_j} \quad (4.2.1-2)$$

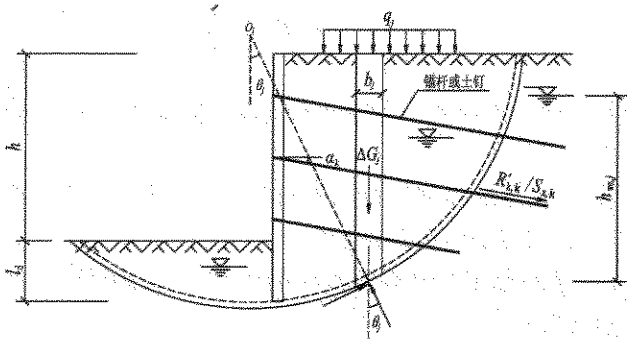


图 4.2.1 整体稳定性验算简图

- 式中  $K_s$  —— 圆弧滑动整体稳定安全系数，安全等级为一、二、三级的基坑  $K_s$  分别不应小于 1.35、1.3、1.25；
- $K_{s,i}$  —— 第  $i$  个圆弧滑动体的抗滑力矩与滑动力矩的比值；抗滑力矩与滑动力矩之比的最小值宜通过搜索不同的圆心及半径的所有潜在滑动圆弧确定；
- $c_j$ 、 $\varphi_j$  —— 分别为滑弧面上第  $j$  土条的黏聚力 (kPa)、内摩擦角 ( $^\circ$ )；按本规程第 3.1.11 条的规定取值；
- $l_j$  —— 第  $j$  土条的弧长，m (取  $l_j = b_j / \cos \theta_j$ )；
- $q_j$  —— 第  $j$  土条顶面上的竖向压力标准值，kPa；
- $b_j$  —— 第  $j$  土条的宽度，m ( $\leq 0.5$ m)；
- $\Delta G_j$  —— 作用于滑弧面上第  $i$  土条的重量，kN，按天然重度计算；
- $\theta_j$  —— 第  $j$  土条滑弧面中点处的法线与垂直面的夹角， $^\circ$ ；

$u_j$  —— 第  $j$  土条滑弧面上的水压力, kPa; 采用落底式截水帷幕时, 对地下水位以下的砂土、碎石土、砂质粉土, 在基坑外侧, 可取  $u_j = \gamma_w h_{wp,j}$ , 在基坑内侧, 可取  $u_j = \gamma_w h_{wp,j}$ , 滑弧面在地下水以上或对地下水以下的黏性土, 取  $u_j = 0$ ;

$\gamma_w$  —— 地下水重度,  $\text{kN/m}^3$ ;

$h_{wa,j}$  —— 基坑外侧第  $j$  土条滑弧面中点的压力水头, kPa;

$h_{wp,j}$  —— 基坑内侧第  $j$  土条滑弧面中点的压力水头, kPa;

$R'_{k,k}$  —— 第  $j$  层锚杆或土钉对圆弧滑动体的极限拉力值, kN; 取锚杆或土钉在滑动面以外的锚固体极限抗拔承载力标准值与杆体受拉承载力标准值的较小值; 但锚固段应取圆弧滑动面以外的长度;

$\alpha_j$  —— 第  $j$  层锚杆或土钉与水平面的夹角,  $^\circ$ ;

$S_{x,k}$  —— 第  $k$  层锚杆或土钉的水平间距, m;

$l_d$  —— 嵌固深度, m;

$\varphi$  —— 第  $k$  层锚杆或土钉与滑弧交点处土的内摩擦角,  $^\circ$ 。

注: 对悬臂式、双排桩、自然放坡基坑, 采用公式 (4.2.1-2) 时不考虑下面分项:

$$\sum R'_{k,k} [\cos(\theta_k + \alpha_k) + 0.5 \sin(\alpha_k + \theta_k) \tan \varphi] / S_{x,k}$$

**4.2.2** 当基坑底部或桩墙嵌固深度下部存在软弱土层时, 整体稳定性验算滑动面中应包括由圆弧与软弱土层层面组成的复合滑动面。

### 4.3 坑底抗隆起稳定性验算

**4.3.1** 锚拉式和支撑式支挡结构的坑底抗隆起稳定性验算可按下列公式计算 (图 4.3.1-1):

$$\frac{\gamma_{m2} l_d N_q + c N_c}{\gamma_{m1} (h + l_d) + q_0} \geq K_b \quad (4.3.1-1)$$

$$N_q = \tan^2 \left( 45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) e^{\pi \tan \varphi} \quad (4.3.1-2)$$

$$N_c = (N_q - 1) / \tan \varphi \quad (4.3.1-3)$$

- 式中  $K_b$  —— 抗隆起安全系数；安全等级为一、二、三级的基坑， $K_b$  分别不应小于 1.8、1.6、1.4；
- $\gamma_{m1}$  —— 基坑外地面至桩（墙）底各土层天然重度的加权平均值， $\text{kN/m}^3$ ；
- $\gamma_{m2}$  —— 基坑内开挖面至桩（墙）底各土层天然重度的加权平均值， $\text{kN/m}^3$ ；
- $q_0$  —— 地面均布荷载， $\text{kPa}$ ；
- $N_c$ 、 $N_q$  —— 承载力系数；
- $l_d$  —— 桩（墙）的嵌固深度， $\text{m}$ ；
- $c$ 、 $\varphi$  —— 分别为挡土构件底面以下土的黏聚力（ $\text{kPa}$ ）、内摩擦角（ $^\circ$ ）；按本规程第 3.1.11 条的规定取值。

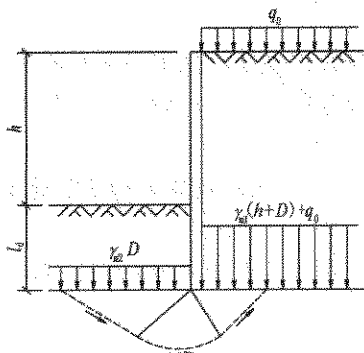


图 4.3.1 挡土构件底端平面下抗隆起稳定性验算简图

4.3.2 当挡土构件底面以下有软弱下卧层时,挡土构件底面土的抗隆起稳定性验算的部位应包括软弱下卧层,本规程公式(4.3.1-1)中的  $\gamma_{m1}$ 、 $\gamma_{m2}$  应取软弱下卧层顶面以上土的重度(图 4.3.2),  $l_d$  应以  $D$  代替。

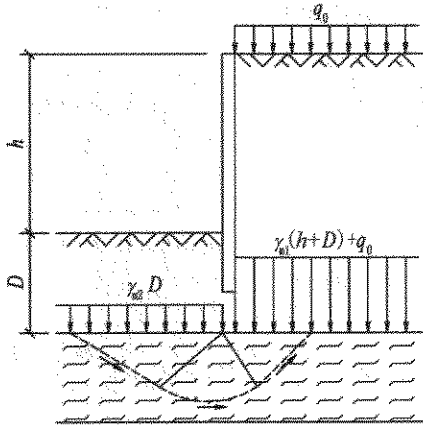


图 4.3.2 软弱下卧层的抗隆起稳定性验算简图

4.3.3 锚拉式和支撑式支挡结构,当坑底以下为软土时,尚应按图 4.3.3 所示的以最下层支点为转动轴心的圆弧滑动模式按下列公式验算抗隆起稳定性:

$$\frac{\sum [c_j l_j + (q_j b_j + \Delta G_j) \cos \theta_j \tan \varphi_j]}{\sum (q_j b_j + \Delta G_j) \sin \theta_j} \geq K_r \quad (4.3.3)$$

式中  $K_r$ ——以最下层支点为轴心的圆弧滑动稳定安全系数;安全等级为一、二、三级的基坑  $K_r$  分别不应小于 2.2、1.9、1.7;

$c_j$ 、 $\varphi_j$ ——分别为第  $j$  土条在滑动面处土的黏聚力 (kPa)、内摩擦角 ( $^\circ$ );

$l_j$ ——第  $j$  土条的滑弧长度, m (取  $l_j = b_j / \cos \theta_j$ );

- $q_j$  —— 第  $j$  土条顶面上的竖向压力标准值, kPa;
- $b_j$  —— 第  $j$  土条的宽度, m;
- $\theta_j$  —— 第  $j$  土条滑弧面中点处的法线与垂直面的夹角 ( $^\circ$ );
- $\Delta G_j$  —— 第  $j$  土条的自重, kN, 按天然重度计算。

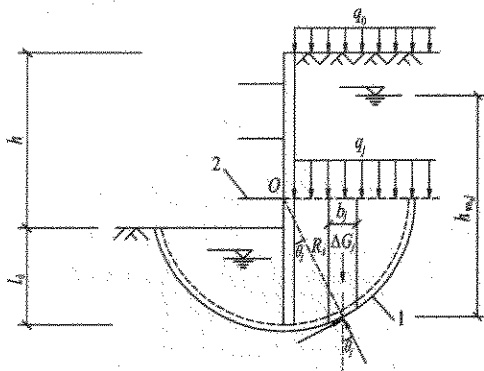


图 4.3.3 以最下层支点为轴心的圆弧滑动稳定性验算简图

1—任意圆弧滑动面; 2—最下层支点

4.3.4 基坑底面下有软土层的土钉墙结构应进行坑底隆起稳定性验算, 验算可采用下列公式 (图 4.3.4):

$$\frac{\gamma_{m2}DN_q + cN_c}{(q_1b_1 + q_2b_2)/(b_1 + b_2)} \geq K_b \quad (4.3.4-1)$$

$$N_q = \tan^2 \left( 45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) e^{\pi \tan \varphi} \quad (4.3.4-2)$$

$$N_c = (N_q - 1) / \tan \varphi \quad (4.3.4-3)$$

$$q_1 = 0.5\gamma_{m1}h + \gamma_{m2}D \quad (4.3.4-4)$$

$$q_2 = \gamma_{m1}h + \gamma_{m2}D + q_0 \quad (4.3.4-5)$$

- 式中  $K_b$  —— 抗隆起安全系数；安全等级为二、三级的土钉墙， $K_b$  分别不应小于 1.6、1.4；
- $q_0$  —— 地面均布荷载，kPa；
- $\gamma_{m1}$  —— 基坑外地面至基坑底面各土层天然重度的加权平均值， $\text{kN/m}^3$ ；
- $h$  —— 基坑深度，m；
- $\gamma_{m2}$  —— 基坑底面至抗隆起计算平面之间土层的天然重度（ $\text{kN/m}^3$ ）；对多层土取各层土按厚度加权的平均厚度；
- $D$  —— 基坑底面至抗隆起计算平面之间土层的厚度（m）；当抗隆起计算平面为基坑底平面时，取  $D=0$ ；
- $N_c$ 、 $N_q$  —— 承载力系数；
- $c$ 、 $\varphi$  —— 分别为抗隆起计算平面以下土层的黏聚力（kPa）、内摩擦角（°），按本规程第 3.1.11 条的规定取值；
- $b_1$  —— 土钉墙坡面的宽度，m；当土钉墙坡面垂直时取  $b_1=0$ ；
- $b_2$  —— 地面均布荷载的计算宽度，m；可取  $b_2=h$ 。

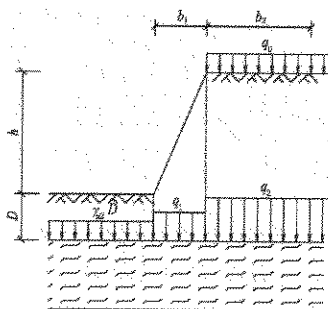


图 4.3.4 基坑底下有软土层的土钉墙抗隆起稳定性验算简图

#### 4.3.5 悬臂式支挡结构可不进行抗隆起稳定性验算。

$h_w$ ——承压含水层顶面的压力水头高度，m；

$\gamma_w$ ——水的重度， $\text{kN/m}^3$ 。

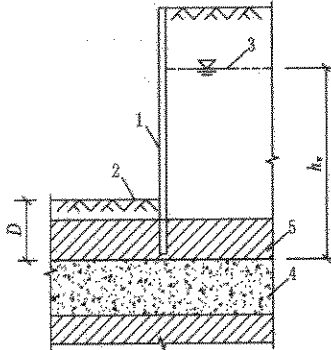


图 4.5.1 坑底土体的突涌稳定性验算简图

1—截水帷幕；2—基底；3—承压水测管水位；4—承压水含水层；5—隔水层。

**4.5.2** 悬挂式截水帷幕底端位于碎石土、砂土或粉土含水层时，对均质含水层，地下水渗流的流土稳定性应符合下式规定（图 4.5.2），对渗透系数不同的非均质含水层，宜采用数值方法进行渗流稳定性分析。

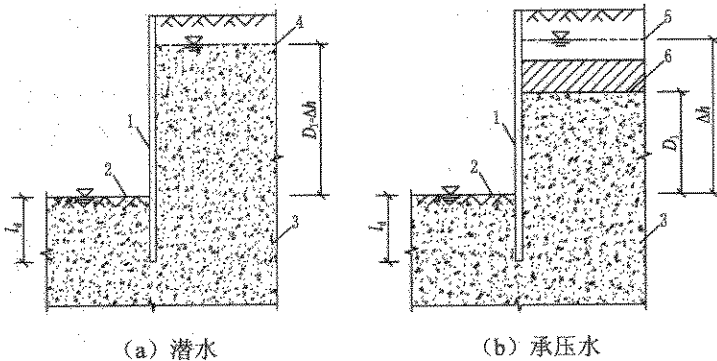


图 4.5.2 渗流稳定性计算简图

1—截水帷幕；2—基底；3—含水层；4—潜水位；5—承压水测管水位；6—承压水含水层顶面。

$$\frac{(2l_d + 0.8D_1)\gamma'}{\Delta h\gamma_w} \geq K_f \quad (4.5.2)$$

式中  $K_f$  —— 流土稳定性安全系数；安全等级为一、二、三级的支护结构， $K_f$  分别不应小于 1.6、1.5、1.4；

$l_d$  —— 截水帷幕在坑底以下的插入深度，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；

$\gamma'$  —— 土的浮重度， $\text{kN/m}^3$ ；

$\Delta h$  —— 基坑内外的水头差，m；

$\gamma_w$  —— 水的重度， $\text{kN/m}^3$ 。

**4.5.3** 坑底以下为级配不连续的不均匀砂土、碎石土含水层时，应进行土的管涌可能性判别。

## 5 放坡

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 当场地地下水位较低，或采取人工降水措施，且具有放坡开挖条件，放坡开挖不会对周边环境产生不利影响时，可采用局部或全深度放坡。

**5.1.2** 应合理确定放坡坡度。

**5.1.3** 寒冷季节放坡坡面应采取防冻胀措施。

### 5.2 设计

**5.2.1** 当基坑深度范围内侧壁为密实的碎石土、硬塑黏性土、风化岩石或其它良好土质、基坑较浅且地下水影响轻微时，可采用垂直边坡，但垂直边坡高度不宜大于 4.0m。

**5.2.2** 对深度大于 5m 的土质边坡，宜设置分级过渡平台，各级过渡平台的宽度宜为 1.0m~1.5m。

**5.2.3** 当不具备全深度或分级放坡开挖时，上段可自然放坡并对坡面进行防护处理，下段可采用其它支护形式。

**5.2.4** 放坡设计应按本规程第 4.2 节的规定，进行边坡整体稳定性验算，对于多级边坡，应验算不同工况下的边坡整体稳定性。

### 5.3 施工

**5.3.1** 在基坑周围影响边坡稳定的范围内，应对地面采取防水、截

水等保护措施，防止雨水等地面水浸入。

**5.3.2** 放坡开挖时应对坡脚、坡面、坡顶采取相应的保护措施。有条件时，可在基底设置排水沟与集水坑，并做防水保护。

**5.3.3** 在基坑周边堆置土方、建筑材料、或沿基坑边缘移动运输工具和其它机械，一般应距基坑上部边缘不少于 2.0m，弃土堆置高度不应超过 1.5m，并且不能超过设计荷载值。对于侧壁土含水量丰富地段，不宜在基坑边堆置弃土或其它附加荷载。

## 6 支挡式结构

### 6.1 结构分析

**6.1.1** 支挡式结构应根据具体形式、受力与变形特性等采用下列分析方法：

1 锚拉式支挡结构，可将整个结构分解为挡土结构、锚拉结构（锚杆及腰梁、冠梁）分别进行分析；挡土结构宜采用平面杆系结构弹性支点法进行分析；作用在锚拉结构上的荷载应取挡土结构分析时得出的支点力；

2 支撑式支挡结构，可将整个结构分解为挡土结构、内支撑结构分别进行分析；挡土结构宜采用平面杆系结构弹性支点法进行分析；内支撑结构可按平面结构进行分析，挡土结构传至内支撑的荷载应取挡土结构分析时得出的支点力；对挡土结构和内支撑结构分别进行分析时，应考虑其相互之间的变形协调；

3 悬臂式支挡结构、双排桩，宜采用平面杆系结构弹性支点法进行结构分析；

4 当有可靠经验时，可采用空间结构分析方法对支挡式结构进行整体分析或采用结构与土体相互作用的分析方法对支挡式结构与基坑土体进行整体分析。

**6.1.2** 支挡式结构应对下列设计工况进行结构分析，并按其中最不利作用效应进行支护结构设计：

1 基坑开挖至坑底时的状况；

2 对锚拉式和支撑式支挡结构，基坑开挖至各层锚杆或支撑施工面时的状况；

3 在主体地下结构施工过程中需要以主体结构构件替换支撑或锚杆的状况；此时，主体结构构件应满足替换后各设计工况下的承载力，变形及稳定性要求；

4 对水平内支撑式支挡结构，基坑各边水平荷载不对等的各种状况。

**6.1.3** 采用平面杆系结构弹性支点法时，宜采用图 6.1.3-1 所示的结构分析模型，且应符合下列规定：

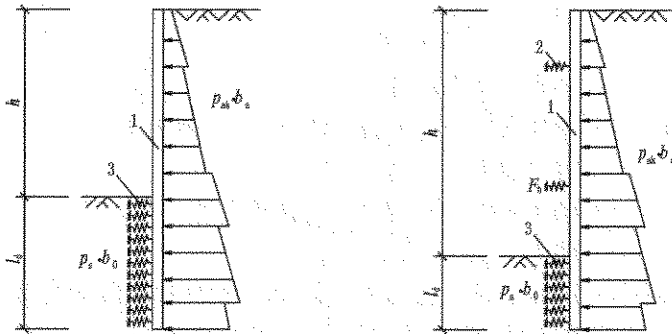
1 主动土压力强度标准值可按本规程第 3.4 节的有关规定确定；

2 土反力可按本规程第 6.1.4 条的规定确定；

3 挡土结构采用排桩时，作用在单根支护桩上的主动土压力计算宽度取排间距，土反力计算宽度 ( $b_0$ ) 应按本规程第 6.1.7 条确定 (图 6.1.3-2)；

4 挡土结构采用地下连续墙时，作用在单幅地下连续墙上的主动土压力计算宽度和土反力计算宽度 ( $b_0$ ) 应取包括接头的单幅墙宽度；

5 锚杆和内支撑对挡土结构的约束作用应按弹性支座考虑，并按本规程第 6.1.8 条确定。

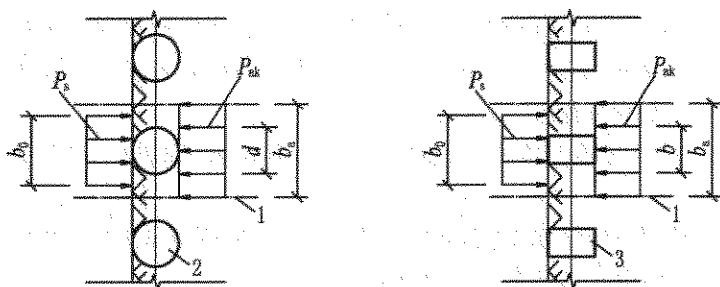


(a) 悬臂式支挡结构

(b) 锚拉式或支撑式支挡结构

图 6.1.3-1 弹性支点法计算

1—挡土结构；2—由锚杆或支撑简化而成的弹性支座；3—计算土反力的弹性支座。



(a) 圆形截面排桩计算宽度 (b) 矩形或工字形截面排桩计算宽度

图 6.1.3-2 排桩计算宽度

1—排桩对称中心线；2—圆形桩；3—矩形或工字形桩。

#### 6.1.4 作用在挡土构件上的分布土反力应符合下列规定：

1 分布土反力可按照下式计算：

$$p_s = k_s v + p_{s0} \quad (6.1.4-1)$$

2 挡土构件嵌固段上的基坑内侧土反力应符合下列条件，当不符合时，应增加挡土构件的嵌固长度或取  $P_{sk} = E_{pk}$  时的分布土反力。

$$P_{sk} \leq E_{pk} \quad (6.1.4-2)$$

式中  $p_s$  —— 分布土反力，kPa；

$k_s$  —— 土的水平反力系数， $\text{kN/m}^3$ ，按本规程第 6.1.5 条的规定取值；

$v$  —— 挡土构件在分布土反力计算点使土体压缩的水平位移值，m；

$p_{s0}$  —— 初始分布土反力，kPa；挡土构件嵌固段上的基坑内侧初始分布土反力可按本规程公式 (3.4.2-1) 或公式 (3.4.2-5) 计算；但应将公式中的  $p_{ak}$  用  $p_{s0}$  代替、

$\sigma_{ak}$  用  $\sigma_{pk}$  代替， $u_a$  用  $u_p$  代替，且不计  $(2c_i \sqrt{K_{a,i}})$

项;

$P_{sk}$ ——挡土构件嵌固段上的基坑内侧土反力标准值, kN;  
通过按公式(6.1.4-1)计算的分布土反力得出;

$E_{pk}$ ——挡土构件嵌固段上的被动土压力标准值, kN; 通过  
按本规程公式(3.4.2-3)或公式(3.4.2-6)计算的被  
动土压力强度标准值得出。

**6.1.5** 基坑内侧土的水平反力系数可按下式计算:

$$k_s = m(z - h) \quad (6.1.5)$$

式中  $m$  —— 土的水平反力系数的比例系数,  $\text{kN/m}^4$ , 按本规程第  
6.1.6条确定;

$z$  —— 计算点距地面的深度, m;

$h$  —— 计算工况下的基坑开挖深度, m。

**6.1.6** 土的水平反力系数的比例系数宜按桩的水平荷载试验及地  
区经验取值, 缺少试验和经验时, 可按下列经验公式计算:

$$m = \frac{0.2\varphi^2 - \varphi + c}{v_b} \quad (6.1.6)$$

式中  $m$  —— 土的水平反力系数的比例系数,  $\text{MN/m}^4$ ;

$c$ 、 $\varphi$  —— 分别为土的黏聚力(kPa)、内摩擦角( $^\circ$ ), 按本  
规程第3.1.11条的规定取值; 对多层土按不同土层  
分别取值;

$v_b$  —— 挡土构件在坑底处的水平位移量, mm; 当此处的  
水平位移量不大于10mm时, 可取10mm。

**6.1.7** 排桩的土反力计算宽度应按下列公式计算(图6.1.3-2):

对圆形桩

$$b_0 = 0.9(1.5d + 0.5) \quad (d \leq 1\text{m}) \quad (6.1.7-1)$$

$$b_0 = 0.9(d + 1) \quad (d > 1\text{m}) \quad (6.1.7-2)$$

对矩形桩或工字形桩

$$b_0=1.5b+0.5 \quad (b \leq 1\text{m}) \quad (6.1.7-3)$$

$$b_0=b+1 \quad (b > 1\text{m}) \quad (6.1.7-4)$$

式中  $b_0$  —— 单根支护桩上的土的反力计算宽度, m; 当按公式 (6.1.7-1) ~ 公式 (6.1.7-4) 计算的  $b_0$  大于排桩间距时,  $b_0$  取排间距;

$d$  —— 桩的直径, m;

$b$  —— 矩形桩或工字形桩的宽度, m。

**6.1.8** 锚杆和内支撑对挡土结构的作用应按下式确定:

$$F_h = k_R (v_R - v_{R0}) + P_h \quad (6.1.8)$$

式中  $F_h$  —— 挡土结构计算宽度内的弹性支点水平反力, kN;

$k_R$  —— 挡土结构计算宽度内弹性支点刚度系数, kN/m; 采用锚杆时按本规程第 6.1.9 条的规定确定; 采用内支撑时按本规程第 6.1.10 条的规定确定;

$v_R$  —— 挡土构件在支点处的水平位移值, m;

$v_{R0}$  —— 设置锚杆或水平支撑时, 支点的初始水平位移值, m;

$P_h$  —— 挡土结构计算宽度内的法向预加力(kN); 采用锚杆或竖向斜撑时, 取  $P_h = P \cdot \cos\alpha \cdot b_a/s$ ; 采用水平对撑时, 取  $P_h = P \cdot b_a/s$ ; 对不预加轴向压力的支撑, 取  $P_h = 0$ ; 采用锚杆时, 宜取  $P = 0.75N_k \sim 0.9N_k$ , 采用支撑时, 宜取  $P = 0.5N_k \sim 0.8N_k$ ;

$P$  —— 锚杆的预加轴向拉力值或支撑的预加轴向压力值, kN;

$\alpha$  —— 锚杆倾角或支撑仰角, °;

$b_a$  —— 挡土结构计算宽度, m; 对单根支护桩, 取排桩间距, 对单幅地下连续墙, 取包括接头的单幅墙宽度;

$S$  —— 锚杆或支撑的水平间距, m;

$N_k$  —— 锚杆轴向拉力标准值或支撑轴向压力标准值, kN。

**6.1.9** 锚拉式支挡结构的弹性支点刚度系数应按下列规定确定:

1 锚拉式支挡结构的弹性支点刚度系数宜通过本规程附录 C 规定的基本试验按下式计算:

$$k_R = \frac{(Q_2 - Q_1)b_a}{(s_2 - s_1)s} \quad (6.1.9-1)$$

式中  $Q_1$ 、 $Q_2$ ——锚杆循环加荷或逐级加荷试验中 ( $Q$ - $s$ ) 曲线上对应锚杆锁定值与轴向拉力标准值的荷载值, kN; 对锁定前进行预张拉的锚杆, 应取循环加荷试验中在相当于预张拉荷载的加载量下卸载后的再加载曲线上的荷载值;

$S_1$ 、 $S_2$ ——( $Q$ - $s$ ) 曲线上对应于荷载为  $Q_1$ 、 $Q_2$  的锚头位移值, m;

$S$ ——锚杆水平间距, m;

2 缺少试验时, 弹性支点水平刚度系数也可按下式计算:

$$k_R = \frac{3E_s E_c A_p A b_a}{[3E_c A l_f + E_s A_p (l - l_f)] s} \quad (6.1.9-2)$$

$$E_c = \frac{E_s A_p + E_m (A - A_p)}{A} \quad (6.1.9-3)$$

式中  $E_s$ ——锚杆杆体的弹性模量, kPa;

$E_c$ ——锚杆的复合弹性模量, kPa;

$A_p$ ——锚杆杆体的截面面积,  $m^2$ ;

$A$ ——锚杆固结体的截面面积,  $m^2$ ;

$l_f$ ——锚杆的自由段长度, m;

$l$ ——锚杆长度, m;

$E_m$ ——锚杆固结体的弹性模量, kPa;

3 当锚杆腰梁或冠梁的挠度不可忽略不计时, 尚应考虑其挠度对弹性支点刚度系数的影响。

**6.1.10** 支撑式支挡结构的弹性支点刚度系数宜通过对内支撑结构

整体进行线弹性结构分析得出的支点力与水平位移的关系确定。对水平对撑，当支撑腰梁或冠梁的挠度可忽略不计时，计算宽度内弹性支点刚度系数可按下式计算：

$$k_R = \frac{\alpha_R E A b_a}{\lambda L_0 S} \quad (6.1.10)$$

式中  $\lambda$  —— 支撑不动点调整系数：支撑两对边基坑的土性、深度、周边荷载等条件相近，且分层对称开挖时，取  $\lambda=0.5$ ；支撑两对边基坑的土性、深度、周边荷载等条件或开挖时间有差异时，对土压力较大或先开挖的一侧，取  $\lambda=0.5\sim 1.0$ ，且差异大时取大值，反之取小值；对土压力较小或后开挖的一侧，取  $(1-\lambda)$ ；当基坑一侧取  $\lambda=1$  时，基坑另一侧应按固定支座考虑；对竖向斜撑构件，取  $\lambda=1$ ；

$\alpha_R$  —— 支撑松弛系数，对混凝土支撑和预加轴向压力的钢支撑，取  $\alpha_R=1.0$ ，对不预加轴向压力的钢支撑，取  $\alpha_R=0.8\sim 1.0$ ；

$E$  —— 支撑材料的弹性模量，kPa；

$A$  —— 支撑截面面积， $m^2$ ；

$L_0$  —— 受压支撑构件的长度，m；

$S$  —— 支撑水平间距，m。

**6.1.11** 结构分析时，按荷载标准组合计算的变形值不应大于按本规程第 3.1.6 条确定的变形控制值。

## 6.2 排桩、地下连续墙截面承载力计算

**6.2.1** 确定排桩或地下连续墙的截面时，截面弯矩设计值  $M$ 、截面剪力设计值  $V$  应按下列公式计算：

$$M = \gamma_0 \gamma_F \eta M_k \quad (6.2.1-1)$$

$$V = \gamma_0 \gamma_F V_k \quad (6.2.1-2)$$

式中  $\gamma_0$  —— 支护结构重要性系数, 按本规程第 3.1.5 条的规定取值;

$\gamma_F$  —— 作用基本组合的综合分项系数, 取 1.25;

$\eta$  —— 弯矩折减系数, 当采用悬臂式桩墙临时支护时,  $\eta$  取 0.9, 其它情况  $\eta$  取 0.8; 当地下连续墙兼做地下室外墙时,  $\eta$  取 1.0;

$M_k$  —— 截面弯矩标准值,  $\text{kN} \cdot \text{m}$ , 按本规程第 6.1.1 条的规定确定;

$V_k$  —— 截面剪力标准值,  $\text{kN}$ , 按本规程第 6.1.1 条的规定确定。

### 6.2.2 排桩和地下连续墙的截面承载力应按下列规定计算:

1 对矩形截面排桩和地下连续墙, 其正截面受弯承载力和斜截面承载力应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定计算;

2 对圆形截面排桩, 正截面受弯承载力可按本规程附录 B 的规定计算; 斜截面承载力, 可用截面宽度为  $1.76r$  和截面有效高度为  $1.6r$  的矩形截面代替圆形截面后, 按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 对矩形截面斜截面承载力的规定进行计算, 等效成矩形截面的混凝土支护桩, 应将剪力计算所得的箍筋截面面积作为圆形箍筋的截面面积, 且应满足该规范对梁的箍筋配置的要求;

注:  $r$  为圆形截面半径;

3 型钢、钢管、钢板支护桩的受弯、受剪承载力应按现行国家标准《钢结构设计规范》GB50017 的有关规定进行计算;

4 以上 3 款中涉及的承载力设计值应按本规程 6.2.1 条的规定计算。

## 6.3 锚杆计算

6.3.1 锚杆的极限抗拔承载力应符合下式要求:

$$\frac{R_k}{N_k} \geq K_t \quad (6.3.1)$$

式中  $K_t$  —— 锚杆抗拔安全系数; 安全等级为一级、二级、三级的支护结构,  $K_t$  分别不应小于 1.8、1.6、1.4;

$N_k$  —— 锚杆轴向拉力标准值, kN; 按本规程第 6.3.2 条的规定计算;

$R_k$  —— 锚杆极限抗拔承载力标准值, kN; 按本规程第 6.3.3 条的规定计算。

6.3.2 锚杆的轴向拉力标准值应按下式计算:

$$N_k = \frac{F_h s}{b_a \cos \alpha} \quad (6.3.2)$$

式中  $N_k$  —— 锚杆轴向拉力标准值, kN;

$F_h$  —— 挡土构件计算宽度内的弹性支点水平反力, kN; 按本规程第 6.1 节的规定确定;

$s$  —— 锚杆水平间距, m;

$b_a$  —— 挡土结构计算宽度, m;

$\alpha$  —— 锚杆倾角, °。

6.3.3 锚杆极限抗拔承载力的确定应符合下列规定:

1 锚杆极限抗拔承载力应通过抗拔试验确定, 其试验方法应符合本规程附录 C 的规定;

2 锚杆极限抗拔承载力标准值也可按下式估算, 但应按本规程附录 C 规定的抗拔试验进行验证:

$$R_k = \pi d \sum q_{sk,i} l_i \quad (6.3.3)$$

式中  $d$  —— 锚杆的锚固体直径, m;

$l_i$  —— 锚杆的锚固段在第  $i$  土层中的长度(m); 锚固段长度为锚杆在理论直线滑动面以外的长度, 理论直线滑动面按本规程第 6.3.4 条的规定确定;

$q_{sk,i}$  —— 锚固体与第  $i$  土层之间的极限粘结强度标准值, kPa; 应根据工程经验并结合表 6.3.3 取值;

表 6.3.3 锚杆的极限粘结强度标准值

土的名称	土的状态或密实度	$q_{sk}$ (kPa)	
		一次常压注浆	二次压力注浆
填土		16~30	30~45
淤泥质土		16~20	20~30
黏性土	$I_L > 1$	18~30	25~45
	$0.75 < I_L \leq 1$	30~40	45~60
	$0.50 < I_L \leq 0.75$	40~53	60~70
	$0.25 < I_L \leq 0.5$	53~65	70~85
	$0 < I_L \leq 0.25$	65~73	85~100
	$I_L \leq 0$	73~90	100~130
粉土	$e > 0.90$	22~44	40~60
	$0.75 \leq e \leq 0.90$	44~64	60~90
	$e < 0.75$	64~100	80~130
粉细砂	稍密	22~42	40~70
	中密	42~63	75~110
	密实	63~85	90~130
中砂	稍密	54~74	70~100
	中密	74~90	100~130
	密实	90~120	130~170
粗砂	稍密	80~130	100~140
	中密	130~170	170~220
	密实	170~220	220~250
砾砂	中密、密实	190~260	240~290
风化岩	全风化	80~100	120~150
	强风化	150~200	200~260

注：1 采用泥浆护壁成孔工艺时，应按表取低值后再根据具体情况适当折减；

2 采用套管护壁成孔工艺时，可取表中的高值；

3 采用扩孔工艺时，可在表中数值基础上适当提高；

4 采用二次压力分段劈裂注浆工艺时，可在表中二次压力注浆数值基础上适当提高；

5 当砂土中的细粒含量超过总质量的 30%时，按表取值后应乘以 0.75；

6 对有机质含量为 5%~10%的有机质土，应按表取值后适当折减；

7 当锚杆锚固段长度大于 16m 时，应对表中数值适当折减；

3 当锚杆锚固段主要位于黏土层、淤泥质土层、填土层时，应考虑土的蠕变对锚杆预应力损失的影响，并应根据蠕变试验确定锚杆的极限抗拔承载力。锚杆的蠕变试验应符合本规程附录 C 的规定。

6.3.4 锚杆的非锚固长度应按下式确定，且不应小于 5.0m（图 6.3.4）：

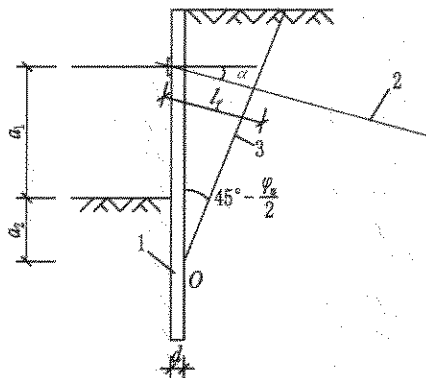


图 6.3.4 理论直线滑动面

1—挡土构件；2—锚杆；3—理论直线滑动面。

$$l_f = \frac{(a_1 + a_2 - d \tan \alpha) \sin \left( 45^\circ - \frac{\varphi_m}{2} \right)}{\sin \left( 45^\circ + \frac{\varphi_m}{2} + \alpha \right)} + \frac{d}{\cos \alpha} + 1.5 \quad (6.3.4)$$

- 式中  $l_f$  —— 锚杆非锚固段长度, m;  
 $\alpha$  —— 锚杆倾角, °;  
 $a_1$  —— 锚杆的锚头中点至基坑底面的距离, m;  
 $a_2$  —— 基坑底面至基坑外侧主动土压力强度与基坑内侧被动土压力强度等值点  $O$  的距离 (m); 对成层土, 当存在多个等值点时应按其中最深的等值点计算;  
 $d$  —— 挡土构件的水平尺寸, m;  
 $\varphi_m$  ——  $O$  点以上各土层按厚度加权的等效内摩擦角, °。

6.3.5 锚杆杆体的受拉承载力应符合下式规定:

$$N \leq f_{py} A_p \quad (6.3.5-1)$$

$$N = \gamma_0 \gamma_F N_k \quad (6.3.5-2)$$

- 式中  $N$  —— 锚杆轴向拉力设计值, kN;  
 $f_{py}$  —— 预应力筋抗拉强度设计值, kPa; 当锚杆杆体采用普通钢筋时, 取普通钢筋的抗拉强度设计值;  
 $A_p$  —— 预应力筋的截面面积, m<sup>2</sup>;  
 $\gamma_0$  —— 支护结构重要性系数, 按本规程第 3.1.5 条规定取值;  
 $\gamma_F$  —— 作用基本组合的综合分项系数, 取 1.25;  
 $N_k$  —— 锚杆轴向拉力标准值, kN; 按本规程第 6.3.2 条规定计算。

6.3.6 锚杆锁定值宜取为锚杆轴向拉力标准值的 (0.75~0.9) 倍, 且应与本规程第 6.1.8 条中的锚杆预加轴向拉力值一致。

## 6.4 排桩、地下连续墙、锚杆的构造要求

**6.4.1** 排桩间距应根据排桩受力及桩间土稳定条件确定,对于悬臂式排桩,支护桩桩径不宜小于 600mm;对于锚拉式或支撑式排桩,支护桩桩径不宜小于 400mm;排桩的中心距不宜大于桩直径的 2 倍。

**6.4.2** 采用混凝土灌注桩时,支护桩的桩身混凝土强度等级、钢筋配置和混凝土保护层厚度应符合下列规定:

1 桩身混凝土强度等级不宜低于 C25;

2 支护桩的纵向受力钢筋宜选用 HRB400、HRB500 级钢筋,单桩的纵向受力钢筋不宜少于 8 根,净间距不应小于 60mm;支护桩顶部设置钢筋混凝土构造冠梁时,纵向钢筋锚入冠梁的长度宜取冠梁厚度;冠梁按结构受力构件设置时,桩身纵向受力钢筋伸入冠梁的锚固长度应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 对钢筋锚固的有关规定;当不能满足锚固长度的要求时,其钢筋末端可采取机械锚固措施;

3 箍筋可采用螺旋式箍筋,箍筋直径不应小于纵向受力钢筋最大直径的 1/4,且不应小于 6mm;箍筋间距宜取 100mm~200mm,且不应大于 400mm 及桩的直径;

4 沿桩身配置的加强箍筋应满足钢筋笼起吊安装要求,宜选用 HPB300、HRB400 级钢筋,其间距宜取 1000mm~2000mm;

5 纵向受力钢筋的保护层厚度不应小于 35mm;采用水下灌注混凝土工艺时,不应小于 50mm;

6 当采用沿截面周边非均匀配置纵向钢筋时,受压区的纵向钢筋根数不应少于 5 根;当施工方法不能保证钢筋的方向时,不应采用沿截面周边非均匀配置纵向钢筋的形式;

7 当沿桩身分段配置纵向受力主筋时,纵向受力钢筋的搭接应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的相关规定。

### 6.4.3 桩间土的防护应符合下列规定：

1 基坑底面以上无含水层且土质较好时，对暴露时间较短的基坑，可不做桩间土护面；

2 需要采取桩间土防护措施时，桩间土防护措施宜采用内置钢筋网或钢丝网的喷射混凝土面层。喷射混凝土面层的厚度不宜小于 50mm，混凝土强度等级不宜低于 C20，混凝土面层内配置的钢筋网的纵横向间距不宜大于 200mm。钢筋网或钢丝网宜采用横向拉筋与两侧桩体连接，拉筋直径不宜小于 12mm，拉筋锚固在桩内的长度不宜小于 100mm。钢筋网宜采用桩间土内打入直径不小于 12mm 的钢筋钉固定，钢筋钉打入桩间土中的长度不宜小于排桩净间距的 1.5 倍且不应小于 500mm；

3 采用降水的基坑，在可能出现渗水部位应设置泄水管，泄水管应采取防止土颗粒流失的反滤措施。

6.4.4 排桩采用素混凝土桩与钢筋混凝土桩间隔布置的钻孔咬合桩形式时，支护桩的桩径可取 800mm~1500mm，相邻桩咬合长度不宜小于 200mm。素混凝土桩应采用强度等级不小于 C15 的超缓凝混凝土，其初凝时间宜控制在 40h~70h，坍落度宜取 12mm~14mm。

6.4.5 悬臂式地下连续墙厚度不宜小于 600mm，对锚拉式或支撑式地下连续墙的墙厚不宜小于 400mm。地下连续墙槽段长度应根据槽壁稳定性及钢筋笼起吊能力划分，宜为 4m~6m。

6.4.6 地下连续墙的转角处或有特殊要求时，单元槽段的平面形状可采用 L 形、T 形等。

6.4.7 地下连续墙的混凝土设计强度等级宜取 C30~C40。地下连续墙用于截水时，墙体混凝土抗渗等级不宜小于 P6。当地下连续墙同时作为主体地下结构构件时，墙体混凝土抗渗等级应满足现行国家标准《地下工程防水技术规范》GB 50108 及其它现行相关标准的要求。

6.4.8 地下连续墙的纵向受力钢筋应沿墙身两侧均匀配置，可按内

力大小沿墙体纵向分段配置,但通长配置的纵向钢筋不应小于总数的 50%;纵向受力钢筋宜采用 HRB400 级或 HRB500 级钢筋,直径不宜小于 16mm,净间距不宜小于 75mm。水平钢筋及构造钢筋宜选用 HPB300 或 HRB400 级钢筋,直径不宜小于 12mm,水平钢筋间距宜取 200mm~400mm。

**6.4.9** 地下连续墙纵向受力钢筋的保护层厚度,在基坑内侧不宜小于 50mm,在基坑外侧不宜小于 70mm。

**6.4.10** 钢筋笼端部与槽段接头之间、钢筋笼端部与相邻墙段混凝土接头面之间的间隙应不大于 150mm,纵向钢筋下端 500mm 长度范围内宜按 1:10 的斜度向内收口。

**6.4.11** 地下连续墙的槽段接头应按下列原则选用:

1 地下连续墙宜采用圆形锁口管接头、波纹管接头、楔形接头、工字形钢接头或混凝土预制接头等柔性接头;

2 当地下连续墙作为主体地下结构外墙,且需要形成整体墙体时,宜采用刚性接头;刚性接头可采用一字形或十字形穿孔钢板接头、钢筋承插式接头等;当采取地下连续墙顶设置通长冠梁、墙壁内侧槽段接缝位置设置结构壁柱、基础底板与地下连续墙刚性连接等措施时,也可采用柔性接头。

**6.4.12** 排桩顶及地下连续墙顶应设置混凝土冠梁,并应符合以下要求:

1 在有主体建筑地下管线的部位,排桩冠梁宜低于地下管线;  
2 冠梁宽度不应小于桩径或墙厚,高度不宜小于桩径或墙厚的 0.6 倍;

3 冠梁不作受力构件时,冠梁钢筋应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 对梁的构造配筋要求;冠梁按结构受力构件设置时,应按受力构件进行截面设计。

**6.4.13** 锚杆的布置应符合下列规定:

1 锚杆的水平间距不宜小于 1.5m;多层锚杆,其竖向间距不宜小于 2.0m;当锚杆的间距小于 1.5m 时,应根据群锚效应对锚杆

抗拔承载力进行折减或相邻锚杆应取不同的倾角；

2 锚杆锚固段的上覆土层厚度不宜小于 4.0m；

3 锚杆倾角宜取  $15^{\circ} \sim 25^{\circ}$ ，且不应大于  $45^{\circ}$ ，不应小于  $10^{\circ}$ ；锚杆的锚固段宜设置在强度较高的土层内；

4 当锚杆穿过的地层上方存在天然地基的建筑物或地下构筑物时，宜避开易塌孔、变形的地层。

**6.4.14 钢绞线锚杆、钢筋锚杆的构造应符合下列规定：**

1 锚杆成孔直径宜取 100mm~150mm；

2 锚杆非锚固段的长度不应小于 5m，且应穿过潜在滑动面并进入稳定土层的长度不小于 1.5m；钢绞线、钢筋杆体在非锚固段应设置隔离套管；

3 土层中的锚杆锚固段长度不宜小于 6m；

4 锚杆杆体的外露长度应满足腰梁、台座尺寸及张拉锁定的要求；

5 锚杆杆体用钢绞线应符合现行国家标准《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224 的有关规定；

6 锚杆杆体用钢筋宜选用预应力螺纹钢筋和 HRB400、HRB500 级螺纹钢筋；

7 应沿锚杆杆体全长设置定位支架；定位支架应能使相邻定位支架中点处锚杆杆体的注浆固结体保护层厚度不小于 10mm，定位支架的间距宜根据锚杆杆体的组装刚度确定，对自由段宜取 1.5m~2.0m；对锚固段宜取 1.0m~1.5m；定位支架应能使各根钢绞线相互分离；

8 锚具应符合现行国家标准《预应力筋用锚具、夹具和连接器》GB/T 14370 的规定；

9 锚杆注浆应采用水泥浆或水泥砂浆，注浆固结体强度不宜低于 20MPa。

**6.4.15 锚杆腰梁可采用型钢组合梁或混凝土梁。锚杆腰梁应按受弯构件设计。锚杆腰梁的正截面、斜截面承载力，对混凝土腰梁，**

应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定；对型钢组合腰梁，应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 的规定。当锚杆锚固在混凝土冠梁上时，冠梁应按受弯构件设计。

**6.4.16** 锚杆腰梁应根据实际约束条件按连续梁或简支梁计算。计算腰梁的内力时，腰梁的荷载应取结构分析时得出的支点力设计值。

**6.4.17** 型钢组合腰梁可选用双槽钢或双工字钢，槽钢之间或工字钢之间应用缀板焊接为整体构件，焊缝连接应采用贴角焊。双槽钢或双工字钢之间的净间距应满足锚杆杆体平直穿过的要求。

**6.4.18** 采用型钢组合腰梁时，腰梁应满足在锚杆集中荷载作用下的局部受压稳定与受扭稳定的构造要求。当需要增加局部受压和受扭稳定性时，可在型钢翼缘端口处配置加劲肋板。

**6.4.19** 锚杆的混凝土腰梁、冠梁宜采用斜面与锚杆轴线垂直的梯形截面；腰梁、冠梁的混凝土强度等级不宜低于 C25。采用梯形截面时，截面的上边水平尺寸不宜小于 250mm。

**6.4.20** 采用楔形钢垫块时，楔形钢垫块与挡土构件、腰梁的连接应满足受压稳定性和锚杆垂直分力作用下的受剪承载力要求。采用楔形混凝土垫块时，混凝土垫块应满足抗压强度和锚杆垂直分力作用下的受剪承载力要求，且其强度等级不宜低于 C25。

## 6.5 排桩、地下连续墙、锚杆的施工

**6.5.1** 排桩的施工应符合下列要求：

1 排桩应根据土的性质、地下水条件及基坑周边环境要求选择混凝土桩、型钢桩、钢管桩、钢板桩、型钢水泥土搅拌桩等桩型，当排桩施工影响范围内存在对地基变形敏感、结构性差的建筑物或地下管线时，不应采用挤土效应严重、易塌孔、易缩颈或有较大震动的成桩施工工艺；

2 排桩桩位施工允许偏差应为 50mm，桩的垂直度允许偏差应为 0.5%，并且不应影响地下结构的施工，预埋件位置的允许偏差应为 20mm；

3 当排桩不承受垂直荷载时，钻孔灌注桩桩底沉渣不宜超过 200mm。当兼作承重结构时，桩底沉渣按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关要求执行；

4 采用灌注桩工艺的排桩宜采取隔桩施工的成桩顺序，并应在混凝土终凝后进行邻桩成孔施工；

5 对混凝土灌注桩，其纵向受力钢筋的接头不宜设置在内力较大处。同一连接区段内，纵向受力钢筋的连接方式和连接接头面积百分率应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 对梁类构件的规定；

6 混凝土灌注桩采用沿纵向分段配置不同钢筋数量时，钢筋笼制作和安放时应采取控制非通长钢筋竖向定位的措施；

7 沿周边非均匀配置纵向钢筋的排桩，钢筋笼在绑扎、吊装和安放时，钢筋笼纵向钢筋的平面角度误差不应大于  $10^\circ$ ；

8 排桩施工的其它要求应按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 执行；

9 对排桩施工有特殊要求时，应按其特殊要求执行。

#### 6.5.2 地下连续墙的施工应符合下列要求：

1 施工前宜进行地下连续墙成槽试验，并根据试验结果确定施工工艺和技术参数；

2 槽段的长度、厚度、深度、倾斜度偏差应符合下列要求：

1) 槽段长度（沿轴线方面）允许偏差应为  $\pm 50\text{mm}$ ；

2) 槽段厚度允许偏差应为  $\pm 10\text{mm}$ ；

3) 槽段倾斜度应  $\leq 1/150$ ；

3 当地下连续墙临近的既有建（构）筑物、地下管线、地下构筑物对地基变形敏感时，地下连续墙的施工应采取有效措施控制槽壁变形；

4 成槽施工前，应沿地下连续墙两侧设置导墙，导墙宜采用混凝土结构，且混凝土强度等级不宜低于 C20。导墙底面不宜设置在新近填土上，且埋深不宜小于 1.5m。导墙的强度和稳定性应满足成槽设备和顶拔接头管施工的要求；

5 成槽前，应根据地质条件进行泥浆材料的试配及室内性能试验，泥浆配比应按试验确定。泥浆拌制后应贮存 24h，待泥浆材料充分水化后方可使用。成槽时，泥浆的供应及处理设备应满足泥浆使用量的要求，泥浆的性能应符合现行相关技术指标的要求；

6 单元槽段宜采用间隔一个或多个槽段的跳幅施工顺序。每个单元槽段，挖槽分段不宜超过 3 个。成槽时护壁泥浆液面应高于导墙底面 500mm；

7 槽段接头应满足混凝土浇筑压力对其强度和刚度的要求。安放槽段接头时，应紧贴槽段垂直缓慢沉放至槽底。遇到阻碍时应在清除障碍后入槽。混凝土浇灌过程中应采取防止混凝土产生绕流的措施；

8 地下连续墙有防渗要求时，应在吊放钢筋笼前，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，清刷后的槽段接头和混凝土面不得夹泥；

9 钢筋笼制作时，纵向受力钢筋的接头不宜设置在受力较大处。同一连接区段内，纵向受力钢筋的连接方式和连接接头面积百分率应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 对板类构件的规定；

10 钢筋笼应设置定位垫块，垫块在垂直方向上的间距宜取 3m~5m，水平方向上每层宜设置 2 块~3 块；

11 单元槽段的钢筋笼宜整体装配和沉放。需要分段装配时，宜采用焊接或机械连接，接头的位置宜选在受力较小处，并应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 对钢筋连接的有关规定；

12 钢筋笼应根据吊装的要求，设置纵横向起吊桁架；桁架主

筋宜采用 HRB400 级钢筋，钢筋直径不宜小于 20mm，且应满足吊装和沉放过程中钢筋笼的整体性及钢筋笼骨架不产生塑性变形的要求。钢筋连接点出现位移、松动或开焊时，钢筋笼不得入槽，应重新制作或修整完好；

13 地下连续墙应采用导管法浇筑混凝土。导管拼接时，其接缝应密闭。混凝土浇筑时，导管内应预先设置隔水栓；

14 槽段长度不大于 6m 时，槽段混凝土宜采用二根导管同时浇筑；槽段长度大于 6m 时，槽段混凝土宜采用三根导管同时浇筑。每根导管分担的浇筑面积应基本均等。钢筋笼就位后应及时浇筑混凝土。混凝土浇筑过程中，导管埋入混凝土面的深度宜在 2.0m~4.0m，浇筑液面的上升速度不宜小于 3m/h。混凝土浇筑面宜高于地下连续墙设计顶面 500mm。

**6.5.3 冠梁施工时，应将排桩（地下连续墙）顶部浮浆、低强度混凝土及破碎部分清除。冠梁混凝土浇筑采用土模时，土面应修理整平。**

**6.5.4 锚杆的施工应符合下列要求：**

1 当锚杆穿过的地层附近存在既有地下管线、地下构筑物时，应在调查或探明其位置、尺寸、走向、类型、使用状况等情况后再进行锚杆施工；

2 应根据土层性状和地下水条件选择套管护壁、干成孔或泥浆护壁成孔工艺，成孔工艺应满足孔壁稳定性要求。对松散和稍密的砂土、粉土，碎石土，填土，有机质土，高液性指数的饱和黏性土宜采用套管护壁成孔工艺；在地下水位以下时，不宜采用干成孔工艺；在高塑性指数的饱和黏性土层成孔时，不宜采用泥浆护壁成孔工艺；

3 当锚杆杆体采用 HRB400、HRB500 级钢筋时，其连接宜采用机械连接、双面搭接焊、双面帮条焊；采用双面焊时，焊缝长度不应小于杆体钢筋直径的 5 倍；

4 锚杆非锚固段杆体与锚固段注浆体应采取有效措施隔断，

保证锚杆非锚固段杆体能够不受约束变形；

5 采用套管护壁工艺成孔时，应在拔出套管前将杆体插入孔内；采用非套管工艺成孔时，杆体应匀速推送至孔内；

6 注浆液采用水泥浆时，水灰比宜取 0.50~0.55；采用水泥砂浆时，水灰比宜取 0.40~0.45，灰砂比宜取 0.5~1.0，拌和用砂宜选用中粗砂。水泥浆或水泥砂浆内可掺入能提高注浆固结体早期强度或微膨胀的外掺剂，其掺入量宜按室内试验确定；

7 注浆管端部至孔底的距离不宜大于 200mm；注浆及拔管过程中，注浆管口应始终埋入注浆液面内，应在水泥浆液从孔口溢出后停止注浆；注浆后浆液液面下降时，应进行孔口补浆；

8 采用二次压力注浆工艺时，注浆管应在锚杆锚固段末端 1/4~1/3 范围内设置注浆孔，孔间距宜取 500mm~800mm，每个注浆截面的注浆孔宜取 2 个。二次压力注浆宜采用水灰比 0.50~0.55 的水泥浆。二次注浆管应固定在杆体上，注浆管的出浆口应有逆止构造。二次压力注浆应在水泥浆初凝后、终凝前进行，终止注浆的压力不应小于 1.5MPa；

9 采用二次压力分段劈裂注浆工艺时，注浆宜在固结体强度达到 5MPa 后进行，注浆管的出浆孔宜沿锚固段全长设置，注浆顺序应由内向外分段依次进行；

10 基坑采用截水帷幕时，地下水位以下的锚杆注浆应采取孔口封堵措施；

11 寒冷地区在冬期施工时，应对注浆液采取保温措施，浆液温度应保持在 5°C 以上；

12 锚杆的施工偏差应符合下列要求：

1) 钻孔深度的允许偏差应为 50mm；

2) 钻孔孔位的允许偏差应为 50mm；

3) 钻孔倾角的允许偏差应为 3°；

4) 杆体长度应不小于设计长度；

5) 非锚固段的套管长度允许偏差应为 ±50mm；

13 预应力锚杆张拉锁定时应符合下列要求:

1) 当锚杆固结体的强度达到设计强度的 75%或不小于 15MPa 后, 方可进行锚杆的张拉锁定;

2) 拉力型钢绞线锚杆宜采用钢绞线束整体张拉锁定的方法;

3) 锚杆锁定前, 应按本规程表 6.6.3 的检测值进行锚杆预张拉; 锚杆张拉应平缓加载, 加载速率不宜大于  $0.1N_k/\text{min}$  ( $N_k$  为锚杆轴向拉力标准值); 在张拉值下的锚杆位移和压力表压力应保持稳定, 当锚头位移不稳定时, 应判定此根锚杆不合格;

4) 锁定时的锚杆拉力应考虑锁定过程的预应力损失量; 预应力损失量宜通过对锁定前、后锚杆拉力的测试确定; 缺少测试数据时, 锁定时的锚杆拉力可取锁定值的 1.1 倍~1.15 倍;

5) 锚杆锁定尚应考虑相邻锚杆张拉锁定引起的预应力损失, 当锚杆预应力损失严重时, 应进行再次锁定; 锚杆出现锚头松弛、脱落、锚具失效等情况时, 应及时进行修复并对其进行再次锁定;

6) 当锚杆需要再次张拉锁定时, 锚具外杆体的长度和完好程度应满足张拉要求;

14 组合型钢锚杆腰梁、钢台座的施工应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的有关规定; 混凝土锚杆腰梁、混凝土台座的施工应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的有关规定。

## 6.6 排桩、地下连续墙、锚杆的质量检测

6.6.1 排桩的质量检测应符合下列要求:

1 应采用低应变动测法检测桩身完整性。对于钻孔灌注桩, 检测数量不宜少于总桩数的 30%; 对于长螺旋钻孔压灌桩, 检测数量不宜少于总桩数的 20%; 对于预制桩, 检测数量不宜少于总桩数的 10%; 且不得少于 5 根;

2 当根据低应变动测法判定的桩身完整性为 III 类或 IV 类时,

应采用钻芯法进行验证，并应扩大低应变动测法检测的数量，扩大检测数量不宜少于总桩数的 5%，且不得少于 3 根。

#### 6.6.2 地下连续墙的质量检测应符合下列规定：

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

2 应进行槽底沉渣厚度检测；当地下连续墙作为主体地下结构构件时，应对每个槽段进行槽底沉渣厚度检测；

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

4 当根据声波透射法判定的墙身质量不合格时，应采用钻芯法进行验证；

5 地下连续墙作为主体地下结构构件时，其质量检测尚应符合相关标准的要求。

#### 6.6.3 锚杆抗拔承载力的检测应符合下列规定：

1 检测数量不应少于锚杆总数的 5%，且同一土层中的锚杆检测数量不应少于 3 根；

2 检测锚杆应采用随机抽样的方法选取；

3 应在锚杆浆体强度达到 15MPa 或达到设计强度的 75% 后进行；

4 抗拔承载力检测值应按表 6.6.3 确定；

5 检测试验应按本规程附录 C 的验收试验方法进行；

6 当检测的锚杆不合格时，应扩大检测数量。

表 6.6.3 锚杆的抗拔承载力检测值

支护结构的安全等级	抗拔承载力检测值与轴向拉力标准值的比值
一级	$\geq 1.4$
二级	$\geq 1.3$
三级	$\geq 1.2$

## 6.7 内支撑结构设计

**6.7.1** 内支撑结构可选用钢支撑、混凝土支撑、钢与混凝土的混合支撑。

**6.7.2** 内支撑结构选型应符合下列原则：

- 1 宜采用受力明确、连接可靠、施工方便的结构形式；
- 2 宜采用对称平衡性、整体性强的结构形式；
- 3 应与主体地下结构的结构形式、施工顺序协调，应便于主体结构施工；
- 4 应利于基坑土方开挖和运输；
- 5 需要时，可考虑内支撑结构作为施工平台。

**6.7.3** 内支撑结构应综合考虑基坑平面的形状及尺寸、开挖深度、周边环境条件、主体结构形式等因素，选用有立柱或无立柱的下列内支撑形式：

- 1 水平对撑或斜撑，可采用单杆、桁架、八字形支撑；
- 2 正交或斜交的平面杆系支撑；
- 3 环形杆系或环形板系支撑；
- 4 竖向斜撑。

**6.7.4** 内支撑结构宜采用超静定结构；对个别次要构件失效会引起结构整体破坏的部位应设置冗余约束；内支撑结构的设计应考虑地质和环境条件的复杂性、基坑开挖步序偶然变化的影响。

**6.7.5** 内支撑结构分析应符合下列原则：

- 1 水平对撑与水平斜撑，应按偏心受压构件进行计算；支撑的轴向压力应取支撑间距内挡土构件的支点力之和；腰梁或冠梁应按以支撑为支座的多跨连续梁计算，计算跨度可取相邻支撑点的中心距；
- 2 矩形基坑的正交平面杆系支撑，可分解为纵横两个方向的结构单元，并分别按偏心受压构件进行计算；
- 3 平面杆系支撑、环形杆系支撑，可按平面杆系结构采用平

面有限元法进行计算；计算时应考虑基坑不同方向上的荷载不均匀性；建立的计算模型中，约束支座的设置应与支护结构实际位移状态相符，内支撑结构边界向基坑外位移处应设置弹性约束支座，向基坑内位移处不应设置支座，与边界平行方向应根据支护结构实际位移状态设置支座；

4 内支撑结构应进行竖向荷载作用下的结构分析；设有立柱时，在竖向荷载作用下内支撑结构宜按空间框架计算，当作用在内支撑结构上的竖向荷载较小时，内支撑结构的水平构件可按连续梁计算，计算跨度可取相邻立柱的中心距；

5 竖向斜撑应按偏心受压杆件进行计算；

6 当有可靠经验时，宜采用三维结构分析方法，对支撑、腰梁与冠梁、挡土构件进行整体分析。

**6.7.6** 内支撑结构分析时，应同时考虑下列作用：

1 由挡土构件传至内支撑结构的水平荷载；

2 支撑结构自重；当支撑作为施工平台时，尚应考虑施工荷载；

3 当温度改变引起的支撑结构内力不可忽略不计时，应考虑温度应力；

4 当支撑立柱下沉或隆起量较大时，应考虑支撑立柱与挡土构件之间差异沉降产生的作用。

**6.7.7** 混凝土支撑构件及其连接的受压、受弯、受剪承载力计算应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定；钢支撑结构构件及其连接的受压、受弯、受剪承载力及各类稳定性计算应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 的规定；支撑的承载力计算应考虑安装偏心误差的影响，偏心距取值不宜小于支撑计算长度的 1/1000，且对混凝土支撑不宜小于 20mm，对钢支撑不宜小于 40mm。

**6.7.8** 支撑构件的受压计算长度应按下列规定确定：

1 水平支撑在竖向平面内的受压计算长度，不设置立柱时，

应取支撑的实际长度；设置立柱时，应取相邻立柱的中心间距；

2 水平支撑在水平平面内的受压计算长度，对无水平支撑杆件交汇的支撑，应取支撑的实际长度；对有水平支撑杆件交汇的支撑，应取与支撑相交的相邻水平支撑杆件的中心间距；当水平支撑杆件的交汇点不在同一水平面内时，水平平面内的受压计算长度宜取与支撑相交的相邻水平支撑杆件中心间距的 1.5 倍；

3 对竖向斜撑，应按本条第 1、2 款的规定确定受压计算长度。

**6.7.9** 预加轴向压力的支撑，预加力值宜取支撑轴向压力标准值的 0.5~0.8 倍，且应与本规程第 6.1.8 条中的支撑预加轴向压力一致。

**6.7.10** 立柱的受压承载力可按下列规定计算：

1 在竖向荷载作用下，内支撑结构按框架计算时，立柱应按偏心受压构件计算；内支撑结构的水平构件按连续梁计算时，立柱可按轴心受压构件计算；

2 立柱的受压计算长度应按下列规定确定：

1) 单层支撑的立柱、多层支撑底层立柱的受压计算长度应取底层支撑至基坑底面的净高度与立柱直径或边长的 5 倍之和；

2) 相邻两层水平支撑间的立柱受压计算长度应取此两层水平支撑的中心间距；

3 立柱的基础应满足抗压和抗拔的要求。

**6.7.11** 内支撑的平面布置应符合下列规定：

1 内支撑的布置应满足主体结构的施工要求，宜避开地下主体结构的墙、柱；

2 相邻支撑的水平间距应满足土方开挖的施工要求；采用机械挖土时，应满足挖土机械作业的空间要求，且不宜小于 4m；

3 基坑形状有阳角时，阳角处的支撑应在两边同时设置；

4 当采用环形支撑时，环梁宜采用圆形、椭圆形等封闭曲线形式；并按使环梁弯矩、剪力最小的原则布置辐射支撑；环形支撑宜采用与腰梁或冠梁相切的布置形式；

5 水平支撑与挡土构件之间应设置连接腰梁；当支撑设置在

挡土构件顶部时，水平支撑应与冠梁连接；在腰梁或冠梁上支撑点的间距，对钢腰梁不宜大于 4m，对混凝土腰梁不宜大于 9m；

6 当需要采用较大水平间距的支撑时，宜根据支撑冠梁、腰梁的受力和承载力要求，在支撑端部两侧设置八字斜撑杆与冠梁、腰梁连接，八字斜撑杆宜在主撑两侧对称布置，且斜撑杆的长度不宜大于 9m，斜撑杆与冠梁、腰梁之间的夹角宜取  $45^{\circ} \sim 60^{\circ}$ ；

7 当设置支撑立柱时，临时立柱应避开主体结构的梁、柱及承重墙；对纵横双向交叉的支撑结构，立柱宜设置在支撑的交汇点处；对用作主体结构柱的立柱，立柱在基坑支护阶段的负荷不得超过主体结构的设计要求；立柱与支撑端部及立柱之间的间距应根据支撑构件的稳定要求和竖向荷载的大小确定，且对混凝土支撑不宜大于 15m，对钢支撑不宜大于 20m；

8 当采用竖向斜撑时，应设置斜撑基础，且应考虑与主体结构底板施工的关系。

#### 6.7.12 支撑的竖向布置应符合下列规定：

- 1 支撑与挡土构件连接处不应出现拉力；
- 2 支撑应避开主体地下结构底板和楼板的位置，并应满足主体地下结构施工对墙、柱钢筋连接长度的要求；当支撑下方的主体结构楼板在支撑拆除前施工时，支撑底面与下方主体结构楼板间的净距不宜小于 700mm；

- 3 支撑至坑底的净高不宜小于 3m；

- 4 采用多层水平支撑时，各层水平支撑宜布置在同一竖向平面内，层间净高不宜小于 3m。

#### 6.7.13 混凝土支撑的构造应符合下列规定：

- 1 混凝土的强度等级不应低于 C25；
- 2 支撑构件的截面高度不宜小于其竖向平面内计算长度的 1/20；腰梁的截面高度（水平尺寸）不宜小于其水平方向计算跨度的 1/10，截面宽度（竖向尺寸）不应小于支撑的截面高度；

- 3 支撑构件的纵向钢筋直径不宜小于 16mm，沿截面周边的

间距不宜大于 200mm；箍筋的直径不宜小于 8mm，间距不宜大于 250mm。

**6.7.14** 钢支撑的构造应符合下列规定：

- 1 钢支撑构件可采用钢管、型钢及其组合截面；
- 2 钢支撑受压杆件的长细比不应大于 150，受拉杆件长细比不应大于 200；
- 3 钢支撑连接宜采用螺栓连接，必要时可采用焊接连接；
- 4 当水平支撑与腰梁斜交时，腰梁上应设置牛腿或采用其它能够承受剪力的连接措施；
- 5 采用竖向斜撑时，腰梁和支撑基础上应设置牛腿或采用其它能够承受剪力的连接措施；腰梁与挡土构件之间应采用能够承受剪力的连接措施；斜撑基础应满足竖向承载力和水平承载力要求。

**6.7.15** 立柱的构造应符合下列规定：

- 1 立柱可采用钢格构、钢管、型钢或钢管混凝土等形式；
- 2 当采用灌注桩作为立柱的基础时，钢立柱锚入桩内的长度不宜小于立柱长边或直径的 4 倍；
- 3 立柱长细比不宜大于 25；
- 4 立柱与水平支撑的连接可采用铰接；
- 5 立柱穿过主体结构底板的部位，应有有效的止水措施。

**6.7.16** 混凝土支撑构件的构造，应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定；钢支撑构件的构造，应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 的有关规定。

## 6.8 内支撑结构施工与检测

**6.8.1** 内支撑结构的施工与拆除顺序，应与设计工况一致，必须遵循先支撑后开挖的原则。

**6.8.2** 混凝土支撑的施工应符合现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的规定。

**6.8.3** 混凝土腰梁施工前应将排桩、地下连续墙等挡土构件的连接表面清理干净，混凝土腰梁应与挡土构件紧密接触，不得留有缝隙。

**6.8.4** 钢支撑的安装应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的规定。

**6.8.5** 钢腰梁与排桩、地下连续墙等挡土构件间隙的宽度宜小于 100mm，并应在钢腰梁安装定位后，用强度等级不低于 C30 的细石混凝土填充密实或采用其他可靠连接措施。

**6.8.6** 对预加轴向压力的钢支撑，施加预压力时应符合下列要求：

- 1 对支撑施加压力的千斤顶应有可靠、准确的计量装置；
- 2 千斤顶压力的合力点应与支撑轴线重合，千斤顶应在支撑轴线两侧对称、等距放置，且应同步施加压力；

- 3 千斤顶的压力应分级施加，施加每级压力后应保持压力稳定 10min 后方可施加下一级压力；预压力加至设计规定值后，应在压力稳定 10min 后，方可按设计预压力值进行锁定；

- 4 支撑施加压力过程中，当出现焊点开裂、局部压曲等异常情况时应卸除压力，在对支撑的薄弱处进行加固后，方可继续施加压力；

- 5 当监测的支撑压力出现损失时，应再次施加预压力。

**6.8.7** 对钢支撑，当夏期施工产生较大温度应力时，应及时对支撑采取降温措施；当冬期施工降温产生的收缩使支撑端头出现空隙时，应及时用铁楔将空隙楔紧或采用其他可靠连接措施。

**6.8.8** 支撑拆除应在替换支撑的结构构件达到换撑要求的承载力后进行。当主体结构底板和楼板分块浇筑或设置后浇带时，应在分块部位或后浇带处设置可靠的传力构件；支撑的拆除应根据支撑材料、形式、尺寸等具体情况采用人工、机械和爆破等方法。

**6.8.9** 立柱的施工应符合下列要求：

- 1 立柱桩混凝土的浇筑面宜高于设计桩顶 500mm；
- 2 采用钢立柱时，立柱周围的空隙应用碎石回填密实，并宜辅以注浆措施；

- 3 立柱的定位和垂直度宜采用专门措施进行控制，对格构柱、

H 型钢柱，尚应同时控制转向偏差。

**6.8.10** 内支撑的施工偏差应符合下列要求：

- 1 支撑标高的允许偏差应为 30mm；
- 2 支撑水平位置的允许偏差应为 30mm；
- 3 临时立柱平面位置的允许偏差应为 50mm，垂直度的允许偏差应为 1/150。

## 6.9 支护结构与主体结构的结合及逆作法

**6.9.1** 支护结构与主体结构可采用下列结合方式：

- 1 支护结构的地下连续墙与主体结构外墙相结合；
- 2 支护结构的水平支撑与主体结构水平构件相结合；
- 3 支护结构的竖向支承立柱与主体结构竖向构件相结合。

**6.9.2** 支护结构与主体结构相结合时，应分别按基坑支护各设计状况与主体结构各设计状况进行设计。与主体结构相关的构件之间的结点连接、变形协调与防水构造应满足主体结构的设计要求；按支护结构设计时，作用在支护结构上的荷载除应符合本规程第 3.4 节、第 6.7 节的规定外，尚应同时考虑施工时的主体结构自重及施工荷载；按主体结构设计时，作用在主体地下结构外墙上的土压力应采用静止土压力。

**6.9.3** 地下连续墙与主体结构外墙相结合时，可采用单一墙、复合墙或叠合墙结构形式，其结合应符合下列要求（图 6.9.3）：

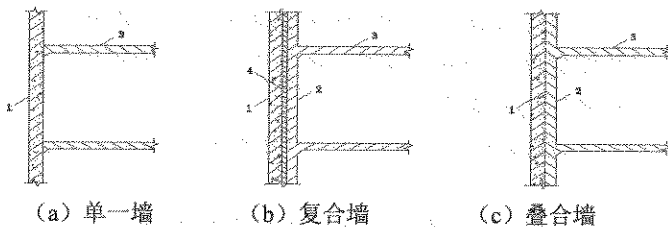


图 6.9.3 地下连续墙与地下结构外墙结合的形式

1—地下连续墙；2—衬墙；3—楼盖；4—衬垫材料

1 对于单一墙，永久使用阶段应按地下连续墙承担全部外墙荷载进行设计；

2 对于复合墙，地下连续墙内侧应设置混凝土衬墙；地下连续墙与衬墙之间的结合面应按不承受剪力进行构造设计，永久使用阶段水平荷载作用下的墙体内力宜按地下连续墙与衬墙的刚度比例进行分配；

3 对于叠合墙，地下连续墙内侧应设置混凝土衬墙；地下连续墙与衬墙之间的结合面应按承受剪力进行连接构造设计，永久使用阶段地下连续墙与衬墙应按整体考虑，外墙厚度应取地下连续墙与衬墙厚度之和。

**6.9.4** 地下连续墙与主体结构外墙相结合时，主体结构各设计状况下地下连续墙的计算分析应符合下列规定：

1 水平荷载作用下，地下连续墙应按以楼盖结构为支承的连续板或连续梁进行计算，结构分析尚应考虑与支护阶段地下连续墙内力、变形叠加的工况；

2 地下连续墙应进行裂缝宽度验算；除特殊要求外，应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定，按环境类别选用不同的裂缝控制等级及最大裂缝宽度限值；

3 地下连续墙作为主要竖向承重构件时，应分别按承载能力极限状态和正常使用极限状态验算地下连续墙的竖向承载力和沉降量；地下连续墙的竖向承载力宜通过现场静载荷试验确定；无试验条件时，可按钻孔灌注桩的竖向承载力计算公式进行估算，墙身截面有效周长应取与周边土体接触部分的长度，计算侧阻力时的墙体长度应取坑底以下的嵌固深度；地下连续墙采用刚性接头时，应对刚性接头进行抗剪验算；

4 地下连续墙承受竖向荷载时，应按偏心受压构件计算正截面承载力；

5 墙顶冠梁与地下连续墙及上部结构的连接处应验算截面受剪承载力。

**6.9.5** 当地下连续墙作为主体结构的主要竖向承重构件时,可采取下列协调地下连续墙与内部结构之间差异沉降的措施:

- 1 宜选择压缩性较低的土层作为地下连续墙的持力层;
- 2 宜采取对地下连续墙墙底注浆加固的措施;
- 3 宜在地下连续墙附近的基础底板下设置基础桩。

**6.9.6** 用作主体结构的地下连续墙与内部结构的连接及防水构造应符合下列规定:

1 地下连续墙与主体地下结构的连接可采用墙内预埋弯起钢筋、钢筋接驳器、钢板等,预埋钢筋直径不宜大于 20mm, 并应采用 HPB300 级钢筋;连接钢筋直径大于 20mm 时,宜采用钢筋接驳器连接;无法预埋钢筋或留设精度无法满足设计要求时,可采用预埋钢板的方式;

2 地下连续墙墙段间的竖向接缝宜设置防渗和止水构造;有条件时,可在墙体内侧接缝处设扶壁式构造柱或框架柱;当地下连续墙内侧设有构造衬墙时,应在地下连续墙与衬墙间设置排水通道;

3 地下连续墙与主体结构顶板、底板的连接接缝处,应按地下结构的防水等级要求,设置刚性止水片、遇水膨胀橡胶止水条或预埋注浆管注浆止水等构造措施。

**6.9.7** 水平支撑与主体结构水平构件相结合时,支护阶段用作支撑的楼盖的计算分析应符合下列规定:

- 1 应符合本规程第 6.7 节的有关规定;
- 2 当楼盖结构兼作为施工平台时,应按水平和竖向荷载同时作用进行计算;
- 3 同层楼板面存在高差的部位,应验算该部位构件的受弯、受剪、受扭承载能力;必要时,应设置可靠的水平向转换结构或临时支撑等措施;

4 对结构楼板的洞口及车道开口部位,当洞口两侧的梁板不能满足传力要求时,应在缺少结构楼板处采用设置临时支撑等措

施；

5 各层楼盖设结构分缝或后浇带处，应设置水平传力构件，其承载力应通过计算确定。

**6.9.8** 水平支撑与主体结构水平构件相结合时，主体结构各设计状况下主体结构楼盖的计算分析应考虑与支护阶段楼盖内力、变形叠加的工况。

**6.9.9** 当楼盖采用梁板结构体系时，框架梁截面的宽度，应根据梁柱节点位置框架梁主筋穿过的要求，适当大于竖向支承立柱的截面宽度；当框架梁宽度在梁柱节点位置不能满足主筋穿过的要求时，在梁柱节点位置应采取梁的宽度方向加腋、环梁节点、连接环板等措施。

**6.9.10** 竖向支承立柱与主体结构竖向构件相结合时，支护阶段立柱和立柱桩的计算分析除应符合本规程第 6.7.10 条的规定外，尚应符合下列规定：

1 立柱及立柱桩的承载力与沉降计算时，立柱及立柱桩的荷载应包括支护阶段施工的主体结构自重及其所承受的施工荷载，并按其安装的垂直度允许偏差考虑竖向荷载偏心的影响；

2 在主体结构底板施工前，立柱基础之间及立柱与地下连续墙之间的差异沉降不宜大于 20mm，且不宜大于柱距的 1/400。

**6.9.11** 在主体结构的短暂与持久设计状况下，宜考虑立柱基础之间的差异沉降及立柱与地下连续墙之间的差异沉降引起的结构次应力，并应采取防止裂缝产生的措施；立柱采用钻孔灌注桩时，可采用后注浆措施减少立柱桩的沉降。

**6.9.12** 竖向支承立柱与主体结构竖向构件相结合时，一根结构柱位置宜布置一根立柱及立柱桩；当一根立柱无法满足逆作施工阶段的承载力与沉降要求时，也可采用一根结构柱位置布置多根立柱和立柱桩的形式。

**6.9.13** 与主体结构竖向构件结合的立柱的构造应符合下列规定：

1 立柱应根据支护阶段承受的荷载要求及主体结构设计要

求，采用格构式钢立柱、H型钢立柱或钢管混凝土立柱等形式；立柱桩宜采用灌注桩，并应尽可能利用主体结构的基础桩；

2 立柱采用角钢格构柱时，其边长不宜小于 420mm；采用钢管混凝土柱时，钢管直径不宜小于 500mm；

3 外包混凝土形成主体结构框架柱的立柱，其形式与截面应与地下结构梁板和柱的截面与钢筋配置相协调，其节点构造应保证结构整体受力与节点连接的可靠性；立柱应在地下结构底板混凝土浇筑完后，逐层在立柱外侧浇筑混凝土形成地下结构框架柱；

4 立柱与水平构件连接节点的抗剪钢筋、栓钉或钢牛腿等抗剪构造应根据计算确定；

5 采用钢管混凝土立柱时，插入立柱桩的钢管的混凝土保护层厚度不应小于 100mm。

**6.9.14** 地下连续墙与主体结构外墙相结合时，地下连续墙的施工应符合下列规定：

1 地下连续墙成槽施工应采用具有自动纠偏功能的设备；

2 地下连续墙进行墙底后注浆时，可将墙段折算成截面面积相等的桩后，按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定确定后注浆参数，后注浆的施工应符合该规范的有关规定。

**6.9.15** 竖向支承立柱与主体结构竖向构件相结合时，立柱及立柱桩的施工除应符合本规程第 6.8.9 条规定外，尚应符合下列要求：

1 立柱采用钢管混凝土柱时，宜通过现场试充填试验确定钢管混凝土柱的施工工艺与施工参数；

2 立柱桩采用后注浆时，后注浆的施工应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 有关灌注桩后注浆施工的有关规定。

**6.9.16** 主体结构采用逆作法施工时，应在地下各层楼板上设置用于垂直运输的孔洞，楼板的孔洞应符合下列规定：

1 同层楼板上需要设置多个孔洞时，孔洞的位置应考虑楼板作为内支撑的受力和变形要求，并应满足合理布置施工运输的要求；

2 孔洞宜尽可能利用主体结构的楼梯间、电梯井或无楼板处等结构开口；孔洞的尺寸应满足土方、设备、材料等垂直运输的施工要求；

3 结构楼板上的运输预留孔洞、立柱预留孔洞部位，应验算水平支撑力和施工荷载作用下的应力和变形，并应采取设置边梁或增强钢筋配置等加强措施；

4 对主体结构逆作施工后需要封闭的临时孔洞，应根据主体结构对孔洞处二次浇筑混凝土的结构连接要求，预先在洞口周边设置连接钢筋或抗剪预埋件等结构连接措施；防水要求的洞口应设置刚性止水片、遇水膨胀橡胶止水条或预埋注浆管注浆止水等构造措施。

**6.9.17** 逆作的主体结构的梁、板、柱，其混凝土浇筑应采用下列措施：

1 主体结构的梁板等构件宜采用支模法浇筑混凝土；

2 由上向下逐层逆作主体结构的墙、柱时，墙、柱的纵向钢筋预先埋入下方土层内的钢筋连接段应采取防止钢筋污染的措施，与下层墙、柱钢筋的连接应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 对钢筋连接的规定；浇筑下层墙、柱混凝土前，应将已浇筑的上层墙、柱混凝土的结合面及预留连接钢筋、钢板表面的泥土清除干净；

3 逆作浇筑各层墙、柱混凝土时，墙、柱的模板顶部宜做成向上开口的喇叭形，且上层梁板在柱、墙节点处宜预留墙、柱的混凝土浇捣孔；墙、柱混凝土与上层墙、柱的结合面应浇筑密实、无收缩裂缝；

4 当前后两次浇筑的墙、柱混凝土结合面可能出现裂缝时，宜在结合面处的模板上预留充填裂缝的压力注浆孔。

**6.9.18** 与主体结构相结合的地下连续墙、立柱及立柱桩，其施工偏差应符合下列规定：

1 除特殊要求外，地下连续墙的施工偏差应符合现行国家标

准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202 的规定；

- 2 立柱及立柱桩的平面位置允许偏差应为 10mm；
- 3 立柱的垂直度允许偏差应为 1/300；
- 4 立柱桩的垂直度允许偏差应为 1/200。

**6.9.19** 竖向支承立柱与主体结构竖向构件相结合时，立柱及立柱桩的检测应符合下列规定：

- 1 应对全部立柱进行垂直度与柱位进行检测；
- 2 应采用敲击法对钢管混凝土立柱进行检验，检测数量应大于立柱总数的 20%；当发现立柱缺陷时，应采用声波透射法或钻芯法进行验证，并扩大敲击法检测数量。

**6.9.20** 与支护结构相结合的主体结构构件的设计、施工、检测，尚应符合本规程第 6.2 节、第 6.4 节、第 6.5 节、第 6.6 节、第 6.7 节、第 6.8 节的有关规定。

## 6.10 双排桩设计

**6.10.1** 双排桩结构可采用图 6.10.1 所示的平面刚架结构模型进行计算。

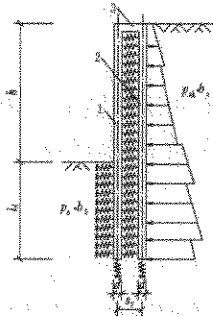


图 6.10.1 双排桩计算  
1—前排桩；2—后排桩；  
3—刚架梁

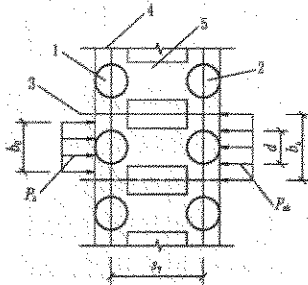


图 6.10.2 双排桩桩顶连梁及计算宽度  
1—前排桩；2—后排桩；3—排桩对称  
中心线；4—桩顶冠梁；5—刚架梁

**6.10.2** 采用本规程图 6.10.1 的结构模型时,作用在后排桩上的主动土压力应按本规程第 3.4 节的规定计算,前排桩嵌固段上的土反力应按本规程第 6.1.4 条确定,作用在单根后排支护桩上的主动土压力计算宽度应取排桩间距,土反力计算宽度应按本规程第 6.1.7 条的规定计算(图 6.10.2)。前、后排桩间土体对桩侧的压力可按下式计算:

$$p_c = k_c \Delta v + p_{c0} \quad (6.10.2)$$

式中  $p_c$  —— 前、后排桩间土对桩侧的压力, kPa; 可按作用在前、后排桩上的压力相等考虑;

$k_c$  —— 桩间土的水平刚度系数, kN/m<sup>3</sup>; 按本规程第 6.10.3 条的规定计算;

$\Delta v$  —— 前、后排桩水平位移的差值, m; 当其相对位移减小时为正值; 当其相对位移增加时, 取  $\Delta v=0$ ;

$p_{c0}$  —— 前、后排桩间土对桩侧的初始压力, kPa, 按本规程第 6.10.4 条的规定计算。

**6.10.3** 桩间土的水平刚度系数可按下列公式计算:

$$k_c = \frac{E_s}{s_y - d} \quad (6.10.3)$$

式中  $E_s$  —— 计算深度处, 前、后排桩间土的压缩模量, kPa; 当为成层土时, 应按计算点的深度分别取相应土层的压缩模量;

$s_y$  —— 双排桩的排距, m;

$d$  —— 桩的直径, m。

**6.10.4** 前、后排桩间土对桩侧的初始压力可按下列公式计算:

$$p_{c0} = (2\alpha - \alpha^2) p_{ak} \quad (6.10.4-1)$$

$$\alpha = \frac{s_y - d}{h \tan(45 - \varphi_m / 2)} \quad (6.10.4-2)$$

式中  $P_{ak}$  —— 支护结构外侧，第  $i$  层土中计算点的主动土压力强度标准值，kPa；按本规程第 3.4.2 条的规定计算；

$h$  —— 基坑深度，m；

$\varphi_m$  —— 基坑底面以上各层土按厚度加权的等效内摩擦角平均值，°；

$\alpha$  —— 计算系数，当计算的  $\alpha > 1$  时，取  $\alpha = 1$ 。

**6.10.5** 双排桩的嵌固深度 ( $l_d$ ) 应符合下式嵌固稳定性的要求 (图 6.10.5)：

$$\frac{E_{pk} a_p + G a_G}{E_{ak} a_a} \geq K_e \quad (6.10.5)$$

式中  $K_e$  —— 嵌固稳定安全系数：安全等级为一、二、三级的双排桩， $K_e$  分别应为 1.25、1.2、1.15；

$E_{ak}$ 、 $E_{pk}$  —— 分别为基坑外侧主动土压力、基坑内侧被动土压力标准值，kPa；

$a_a$ 、 $a_p$  —— 分别为基坑外侧主动土压力、基坑内侧被动土压力合力作用点至双排桩底端的距离，m；

$G$  —— 双排桩、刚架梁和桩间土的自重之和，kN；

$a_G$  —— 双排桩、刚架梁和桩间土的重心至前排桩边缘的水平距离，m。

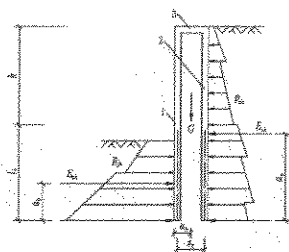


图 6.10.5 双排桩抗倾覆稳定性验算

1—前排桩；2—后排桩；3—刚架梁

**6.10.6** 双排桩排距宜取  $2d \sim 5d$ 。刚架梁的宽度不应小于  $d$ ，高度不宜小于  $0.8d$ ，刚架梁高度与双排桩排距的比值宜取  $1/6 \sim 1/3$ 。

**6.10.7** 双排桩结构的嵌固深度，对淤泥质土，不宜小于  $1.0h$ ；对淤泥，不宜小于  $1.2h$ ；对一般黏性土、砂土，不宜小于  $0.6h$ 。前排桩桩端宜处于桩端阻力较高的土层。采用泥浆护壁灌注桩时，施工时的孔底沉渣厚度不应大于  $50\text{mm}$ ，或应采用桩底后注浆加固沉渣。

**6.10.8** 双排桩应按偏心受压、偏心受拉构件进行截面承载力计算，刚架梁应根据其跨高比按普通受弯构件或深受弯构件进行截面承载力计算。双排桩结构的截面承载力和构造应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定。

**6.10.9** 前、后排桩与刚架梁节点处，桩的受拉钢筋与刚架梁的受拉钢筋的搭接长度不应小于受拉钢筋锚固长度的  $1.5$  倍，其节点构造尚应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 对框架顶层端节点的有关规定。

## 7 土钉墙

### 7.1 一般规定

**7.1.1** 当场地土质均匀、开挖深度较浅、基坑周边环境对变形控制要求不高时，可采用单一土钉墙。

**7.1.2** 当场地土质不均匀、开挖深度较深、基坑周边环境对变形控制要求较严时，应采用土钉墙与预应力锚杆、护坡桩、微型桩等联合支护。

**7.1.3** 土钉墙设计、施工应考虑施工作业周期、季节、振动等环境因素对陡坡开挖面上暂时裸露土体稳定性的影响。

**7.1.4** 土钉墙设计施工应包括现场测试与监测内容，无监测方案不得进行施工。

### 7.2 设计

**7.2.1** 根据工程经验，可采用工程类比方法，初步确定土钉墙设计基本参数。

**7.2.2** 土钉墙设计的计算可取单位支护长度并按平面应变问题进行分析。

**7.2.3** 土钉墙应按照本规程第4.2节的规定对基坑开挖的各个工况进行整体滑动稳定性计算。

**7.2.4** 基坑底面下有软土层的土钉墙应按照本规程第4.3.4条的规定进行坑底隆起稳定性计算。

**7.2.5** 土钉墙与截水帷幕相结合时，应按本规程第4.5节的规定进

行地下水渗透稳定性计算。

**7.2.6** 单根土钉的抗拔承载力计算应符合下式规定：

$$\frac{R_{k,j}}{N_{k,j}} \geq K_t \quad (7.2.6)$$

式中  $K_t$  —— 土钉抗拔安全系数；安全等级为二级、三级的土钉墙， $K_t$  分别不应小于 1.6、1.4；

$N_{k,j}$  —— 第  $j$  根土钉的轴向拉力标准值，kN，按本规程第 7.2.7 条确定；

$R_{k,j}$  —— 第  $j$  根土钉的极限抗拔承载力标准值，kN，按本规程第 7.2.10 条确定。

**7.2.7** 单根土钉的轴向拉力标准值可按下式计算：

$$N_{k,j} = \frac{1}{\cos \alpha_j} \zeta \eta_j P_{ak,j} S_{x,j} S_{z,j} \quad (7.2.7)$$

式中  $N_{k,j}$  —— 第  $j$  层土钉的轴向拉力标准值，kN；

$\zeta$  —— 坡面倾斜时的主动土压力折减系数，按本规程第 7.2.8 条确定；

$\eta_j$  —— 第  $j$  层土钉轴向拉力调整系数，按本规程第 7.2.9 条确定；

$P_{ak,j}$  —— 第  $j$  层土钉处的主动土压力强度标准值，kPa；按本规程第 3.4.2 条确定；

$S_{x,j}$  —— 土钉的水平间距，m；

$S_{z,j}$  —— 土钉的垂直间距，m；

$\alpha_j$  —— 土第  $j$  层土钉的倾角，°。

**7.2.8** 坡面倾斜时的主动土压力折减系数可按下式计算：

$$\zeta = \tan \frac{\beta - \varphi_m}{2} \left[ \frac{1}{\tan \frac{\beta + \varphi_m}{2}} - \frac{1}{\tan \beta} \right] / \tan^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi_m}{2} \right) \quad (7.2.8)$$

式中  $\beta$  —— 土钉墙坡面与水平面的夹角,  $^\circ$ ;

$\varphi_m$  —— 基坑底面以上各层土按厚度加权的等效内摩擦角平均值,  $^\circ$ 。

**7.2.9** 土钉轴向拉力调整系数可按下列公式计算:

$$\eta_j = \eta_a - (\eta_a - \eta_b) \frac{z_j}{h} \quad (7.2.9-1)$$

$$\eta_a = \frac{\sum (h - \eta_b z_j) \Delta E_{aj}}{\sum (h - z_j) \Delta E_{aj}} \quad (7.2.9-2)$$

式中  $Z_j$  —— 第  $j$  层土钉至基坑顶面的垂直距离, m;

$h$  —— 基坑深度, m;

$\Delta E_{aj}$  —— 作用在以  $S_{x,j}$ 、 $S_{z,j}$  为边长的面积内的主动土压力标准值, kN;

$\eta_a$  —— 计算系数;

$\eta_b$  —— 经验系数, 可取 0.6~1.0;

$n$  —— 土钉层数。

**7.2.10** 单根土钉的极限抗拔承载力应按下列规定确定:

1 单根土钉的极限抗拔承载力应通过抗拔试验确定, 其试验方法应符合本规程附录 D 的规定;

2 单根土钉的极限抗拔承载力标准值也可按下式估算 (图 7.2.10), 但应通过本规程附录 D 规定的土钉抗拔试验进行验证:

$$R_{k,j} = \pi d_j \sum q_{sk,i} l_i \quad (7.2.10)$$

式中  $d_j$  —— 第  $j$  层土钉的锚固体直径, m; 对成孔注浆土钉,

按成孔直径计算，对打入钢管土钉，按钢管直径计算；

$q_{sk,j}$ ——第  $j$  层土钉与第  $j$  层土的极限粘结强度标准值，kPa，应根据工程经验并结合表 7.2.10 确定；

$l_i$ ——第  $j$  根土钉滑动面以外的部分在第  $i$  土层中的长度，m，直线滑动面与水平面的夹角为  $\frac{\beta + \varphi_a}{2}$ ；

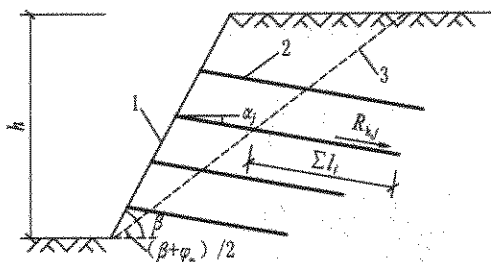


图 7.2.10 土钉抗拉承载力计算简图

1—喷射混凝土面层；2—土钉；3—滑动面

3 对安全等级为三级的土钉墙，可按公式 (7.2.10) 确定单根土钉的极限抗拔承载力；

4 当按本条第 (1~3) 款确定的土钉极限抗拔承载力标准值大于  $f_{yk}A_s$  时，应取  $R_{k,j} = f_{yk}A_s$ 。

表 7.2.10 土钉的极限粘结强度标准值

土的名称	土的状态或密实度	$q_{sk}$ (kpa)	
		成孔注浆土钉	打入钢管土钉
素填土		15~30	20~35
淤泥质土		10~20	15~25
黏性土	$0.75 < I_L \leq 1$	20~30	20~40
	$0.25 < I_L \leq 0.75$	30~45	40~55
	$0 < I_L \leq 0.25$	45~60	55~70
	$I_L \leq 0$	60~70	70~80

续表 7.2.10 土钉的极限粘结强度标准值

土的名称	土的状态或密实度	$q_{sk}$ (kpa)	
		成孔注浆土钉	打入钢管土钉
粉土		40~80	50~90
砂土	松散	35~50	50~65
	稍密	50~65	65~80
	中密	65~80	80~100
	密实	80~100	100~120

7.2.11 土钉杆体的受拉承载力应符合下列规定:

$$N_j \leq f_y A_s \quad (7.2.11-1)$$

$$N_j = \gamma_0 \gamma_F N_{k,j} \quad (7.2.11-2)$$

式中  $N_j$ ——第  $j$  层土钉的轴向拉力设计值, kN;

$f_y$ ——土钉杆体的抗拉强度设计值, kPa;

$A_s$ ——土钉杆体的截面面积,  $m^2$ ;

$\gamma_0$ ——支护结构重要性系数,按本规程第 3.1.5 条规定采用;

$\gamma_F$ ——作用基本组合的综合分项系数,取 1.25;

$N_{k,j}$ ——第  $j$  层土钉的轴向拉力标准值, kN;按本规程第 7.2.7 条规定确定。

7.2.12 土钉墙的构造应符合下列规定:

1 土钉墙、预应力锚杆复合土钉墙的坡比不宜大于 1: 0.2;当基坑较深、土的抗剪强度较低时,宜取较小坡比。对砂土、碎石土、松散填土,确定土钉墙坡度时应考虑开挖时坡面的局部自稳能力。微型桩、水泥土桩复合土钉墙,应采用微型桩、水泥土桩与土钉墙面层贴合的垂直墙面;

注:土钉墙坡比指其墙面垂直高度与水平宽度的比值;

2 土钉墙宜采用洛阳铲成孔的钢筋土钉。对易塌孔的松散或稍密的砂土、稍密的粉土、填土,或易缩径的软土宜采用打入式钢

管土钉。对洛阳铲成孔或钢管土钉打入困难的土层，宜采用机械成孔的钢筋土钉；

3 土钉水平间距和竖向间距宜为 1m~2m；当基坑较深、土的抗剪强度较低时，土钉间距应取小值。土钉倾角宜为  $5^{\circ}$  ~  $20^{\circ}$ 。土钉长度应按各层土钉受力均匀、各土钉拉力与相应土钉极限承载力的比值相近的原则确定；

4 对于成孔注浆型钢筋土钉，钢筋宜用 HRB400、HRB500 级钢筋，钢筋直径宜为 16mm~32mm；钻孔直径宜为 70mm~120mm；应沿土钉全长设置对中定位支架，其间距宜取 1.5m~2.5m，土钉钢筋保护层厚度不宜小于 20mm；注浆材料宜采用水泥浆或水泥砂浆，其强度不宜低于 20MPa；

5 对钢管土钉，钢管的外径不宜小于 48mm，壁厚不宜小于 3mm；钢管的注浆孔应设置在钢管里端  $l/2 \sim 2l/3$  范围内；每个注浆截面的注浆孔宜取 2 个，且应对称布置，注浆孔的孔径宜取 5mm~8mm，注浆孔外应设置保护倒刺；钢管土钉的连接采用焊接时，接头强度不应低于钢管强度；可采用数量不少于 3 根、直径不小于 16mm 的钢筋沿截面均匀分布拼焊，双面焊接时钢筋长度不应小于钢管直径的 2 倍。

**7.2.13** 土钉墙高度不大于 12m 时，喷射混凝土面层的构造要求应符合下列规定：

- 1 喷射混凝土面层厚度宜取 80mm~100mm；
- 2 喷射混凝土强度等级不宜低于 C20；
- 3 喷射混凝土面层中应配置钢筋网和通长的加强钢筋，钢筋网宜采 HPB300 级钢筋，钢筋直径宜取 6mm~10mm，钢筋网间距宜取 150mm~250mm；钢筋网间的搭接长度应大于 300mm；加强钢筋的直径宜取 14mm~20mm；当充分利用土钉杆体的抗拉强度时，加强钢筋的截面面积不应小于土钉杆体截面面积的 1/2。

**7.2.14** 土钉与加强钢筋宜采用焊接连接，其连接应满足承受土钉拉力的要求；当在土钉拉力作用下喷射混凝土面层的局部受冲切承

承载力不足时，应采用设置承压钢板等加强措施。

**7.2.15** 当土钉墙墙后存在滞水时，应在含水土层部位的墙面设置泄水孔或采取其它疏水措施。

**7.2.16** 采用预应力锚杆复合土钉墙时，预应力锚杆应符合下列要求：

- 1 宜采用钢绞线锚杆；
- 2 用于减小地面变形时，锚杆宜布置在土钉墙的较上部位；用于增强面层抵抗土压力的作用时，锚杆应布置在土压力较大及墙背土层较软弱的部位；
- 3 锚杆的拉力设计值不应大于土钉墙墙面的局部承压承载力；
- 4 预应力锚杆应设置非锚固段，非锚固段长度应超过土钉墙坡体的潜在滑动面；
- 5 锚杆与土钉墙的喷射混凝土面层之间应设置腰梁连接，腰梁可采用槽钢腰梁或混凝土腰梁，腰梁与喷射混凝土面层应紧密接触，腰梁规格应根据锚杆拉力设计值确定；
- 6 除符合上述规定外，锚杆的构造尚应符合本规程第 6.4 节有关锚杆构造的规定。

**7.2.17** 采用微型桩垂直复合土钉墙时，微型桩应符合下列要求：

- 1 应根据微型桩施工工艺对土层特性和基坑周边环境条件的适用性选用微型钢管桩、型钢桩或灌注桩等桩型；
- 2 采用微型桩时，宜同时采用预应力锚杆；
- 3 微型桩的直径、规格应根据对复合墙面的强度要求确定；采用成孔后插入微型钢管桩、型钢桩的工艺时，成孔直径宜取 130mm~300mm，对钢管，其直径宜取 48mm~250mm，对工字钢，其型号宜取 I10~I22；孔内应灌注水泥浆或水泥砂浆并充填密实；采用微型混凝土灌注桩时，其直径宜取 200mm~300mm；
- 4 微型桩的间距应满足土钉墙施工时桩间土的稳定性要求；
- 5 微型桩伸入基坑底面的长度宜大于桩径的 5 倍，且不应小

于 1m;

6 微型桩应与喷射混凝土面层贴合。

**7.2.18** 采用水泥土桩复合土钉墙时，水泥土桩应符合下列要求：

1 应根据水泥土桩施工工艺对土层特性和基坑周边环境条件的适用性选用搅拌桩、旋喷桩等桩型；

2 伸入基坑底面的长度宜大于桩径的 2 倍，且不应小于 1m；

3 水泥土桩应与喷射混凝土面层贴合；

4 桩身 28d 无侧限抗压强度不宜小于 1MPa；

5 水泥土桩兼作截水帷幕时，尚应符合本规程第 8.2 节对截水的要求。

### 7.3 施工

**7.3.1** 基坑开挖和土钉墙施工应按设计要求自上而下分段分层进行，在上层土钉注浆体及喷射混凝土面层养护 2d 后方可开挖下层土方。

**7.3.2** 在机械进行土方作业时，严禁坡壁出现超挖或松动坡壁土体。坡壁宜采用小型机具辅以人工修整，在坡面喷射混凝土前，应清除坡面虚土。

**7.3.3** 支护分层开挖深度和施工作业顺序应保证裸露边坡在规定完成支护时间内保持自立。竖向开挖深度应与土钉竖向设计间距相对应。

**7.3.4** 对于高含水量的黏性土和无天然粘结力的砂土等自稳能力差的土体应立即进行支护，对易坍塌土体可采用以下措施：

1 对修整后的坡壁立即喷上一层薄砂浆或混凝土，待凝结后再进行成孔，宜采用机械成孔工艺，成孔困难时可采用注入水泥浆等方法进行护壁；

2 在水平方向分小段间隔开挖并立即进行支护；

3 先将作业深度上的坡壁做成较缓斜坡，待土钉设置后再清

坡:

4 在开挖前进行超前支护或加固土体。

7.3.5 土钉墙坡顶附近地面宜做成反斜坡挡水,并设置 100mm~200mm 高挡水墙,坡脚附近宜设置排水盲沟和集水坑。

7.3.6 在松散土层、砂土层、含水量大的黏性土层中,应插入长度为 400mm~600mm,直径不小于 40mm 的排水管,以疏排混凝土面层后的滞水。

7.3.7 气温低于 0° 时不宜进行土钉墙施工。

7.3.8 喷射混凝土施工应符合下列规定:

1 喷射混凝土的原材料应满足下列规定:

- 1) 优先选用普通硅酸盐水泥;
- 2) 细骨料宜选用中粗砂,含泥量应小于 3%;
- 3) 粗骨料粒径不宜大于 20mm;
- 4) 使用速凝剂前,应做与水泥的相容性试验及水泥净浆凝结效果试验;

2 喷射混凝土施工机具的选用应符合下列规定:

- 1) 混凝土喷射机应密封性良好,输料连续均匀,允许输送骨料最大粒径为 25mm;
- 2) 选用的空压机应满足喷射机工作风压和耗风量的要求,一般选用  $9\text{m}^3/\text{min}$  以上的空压机;
- 3) 混合料的搅拌宜采用强制式搅拌机;
- 4) 输料管应能承受 0.8MPa 以上的压力,并应有良好的耐磨性能;
- 5) 供水设施应保证喷头水压大于 0.2MPa;

3 混合料的配比与拌制应符合下列规定:

- 1) 水泥与砂石之重量比宜为 1:4~1:4.5,砂率宜为 45%~55%,水灰比宜为 0.4~0.45;
- 2) 原材料称量允许偏差,水泥和速凝剂为  $\pm 2\%$ ,砂石材料为  $\pm 5\%$ ;

- 3) 混合料应拌合均匀, 搅拌机拌合时间不少于 2min;
- 4) 混合料宜随拌随用, 不掺速凝剂时, 存放时间不应超过 2h; 掺速凝剂时, 存放时间不应超过 20min;
- 4 喷射混凝土作业应符合下列规定:

- 1) 喷射作业应分段分片依次进行, 同一分段内喷射顺序应自下而上均匀喷射, 一次喷射厚度宜为 30mm~80mm;
- 2) 喷射时, 喷头与受喷面应垂直, 宜保持 0.6m~1.0m 的距离;
- 3) 喷射混凝土的回弹率不应大于 15%;
- 4) 喷射混凝土终凝 2h 后, 应及时喷水养护, 养护时间, 根据气温环境等条件, 一般为 3d~7d;
- 5 喷射混凝土中的钢筋网铺设应符合下列规定:
  - 1) 钢筋网与土层坡面净距不应小于 30mm;
  - 2) 采用双层钢筋网时, 第二层钢筋网应在第一层钢筋网被混凝土覆盖后铺设;
  - 3) 钢筋网应与土钉或其它锚定装置联结牢固, 喷射混凝土时钢筋不得晃动;
  - 4) 当与排桩、地下连续墙等联合使用时, 面层钢筋应与排桩冠梁、地下连续墙进行有效连接。

### 7.3.9 土钉施工应符合下列规定:

#### 1 土钉原材料应符合下列规定:

- 1) 土钉钢筋使用前应调直、除锈、除油;
- 2) 注浆材料宜用水泥浆或水泥砂浆, 水泥浆的水灰比宜为 0.5~0.6; 水泥砂浆的水灰比宜为 0.4~0.45, 灰砂比宜为 0.5~1.0;
- 3) 水泥砂浆应拌合均匀, 随拌随用, 一次拌合的砂浆应在初凝前用完;

#### 2 土钉杆体加工应符合下列规定:

- 1) 土钉采用钢筋时, 钢筋连接宜采用搭接焊、帮条焊; 焊接

应采用双面焊，搭接长度不应小于钢筋直径的 5 倍，焊缝高度不应小于钢筋直径的 0.3 倍；

- 2) 钢管端部应制成尖锥状；钢管顶部宜设置防止施打变形的加强构造；
- 3 注浆作业应符合下列规定：
  - 1) 注浆前，应将孔内残留及松动的废土清除干净；注浆开始或中途停止超过 30min 时，应用水或稀水泥浆润滑注浆泵及其管路；
  - 2) 采用成孔钢筋土钉注浆时，注浆管插至孔底距离不宜大于 200mm，在孔口部位宜设置止浆塞及排气管，并应及时补浆；
  - 3) 采用钢管土钉注浆时，注浆压力不宜小于 0.6MPa，应在注浆至钢管周围出现返浆后停止注浆；当不出现返浆时，可采用间歇注浆的方法。

#### 7.3.10 土钉墙的施工偏差应符合下列要求：

- 1 钢筋土钉的成孔深度应大于设计深度；
- 2 土钉位置的允许偏差应为 100mm；
- 3 土钉倾角的允许偏差应为  $3^{\circ}$ ；
- 4 土钉杆体长度应不小于设计长度；
- 5 钢筋网间距的允许偏差应为  $\pm 30\text{mm}$ ；
- 6 微型桩桩位的允许偏差应为 50mm；
- 7 微型桩垂直度的允许偏差应为 0.5%。

7.3.11 复合土钉墙中预应力锚杆的施工应符合本规程第 6.5 节的有关规定。微型桩的施工应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定。水泥土桩的施工应符合本规程第 8.2 节的有关规定。

## 7.4 质量检验与监测

7.4.1 土钉墙应按下列规定进行质量检测。

1 应对土钉的抗拔承载力进行检测，土钉检测数量不宜少于土钉总数的 1%，且同一土层中的土钉检测数量不应少于 3 根；对安全等级为二、三级的土钉墙，抗拔承载力检测值分别不应小于土钉轴向拉力标准值的 1.3 倍、1.2 倍；检测土钉应按随机抽样的方法选取，检测试验应在注浆固结体强度达到 10MPa 或达到设计强度的 70% 后进行；应按本规程附录 D 的试验方法进行，当检测的土钉不合格时，应扩大检测数量；

2 土钉墙面层喷射混凝土应进行现场试块强度试验，每 500m<sup>2</sup> 喷射混凝土面积试验数量不应少于一组，每组试块不应少于 3 个；

3 应对土钉墙的喷射混凝土面层厚度进行检测，每 500m<sup>2</sup> 喷射混凝土面积检测数量不应少于一组，每组的检测点不应少于 3 个；全部检测点的面层厚度平均值不应小于厚度设计值，最小厚度不应小于厚度设计值的 80%；

4 复合土钉墙中的预应力锚杆，应按本规程第 6.6.3 条的规定进行抗拔承载力检测；

5 复合土钉墙中的水泥土搅拌桩或旋喷桩用作截水帷幕时，应按本规程第 8.2.14 条的规定进行质量检测。

#### 7.4.2 土钉墙监测应包括下列内容：

- 1 对坡顶水平位移及沉降进行监测；
- 2 地表开裂状态（位置、裂宽）的观察；
- 3 周边建筑物和重要管线等设施的变形监测与裂缝观察；
- 4 基坑渗、漏水和基坑内外的地下水位变化。应特别加强雨天和雨后的监测，以及对各种可能危及支护安全的水害来源进行仔细观察。

7.4.3 应及时分析处理监测数据。当监测值接近设计值时，应密切加强观察，分析原因并及时采取技术措施。

## 8 地下水控制

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 地下水控制应根据工程地质和水文地质条件、基坑周边环境要求及支护结构形式选用截水、降水、集水明排或其组合方法。

**8.1.2** 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环境造成长期不利影响时，应采用截水方法控制地下水。采用悬挂式帷幕时，应同时采用坑内降水，并宜根据水文地质条件结合坑外回灌措施。

**8.1.3** 地下水控制设计应符合本规程第 3.1.6 条对基坑周边建（构）筑物、地下管线、道路等沉降控制值的要求。

**8.1.4** 当坑底以下有水头高于坑底的承压水含水层时，各类支护结构均应按本规程第 4.5.1 条的规定进行承压水作用下的坑底突涌稳定性验算。当不满足突涌稳定性要求时，应对该承压水含水层采取截水、减压措施。

### 8.2 截水

**8.2.1** 基坑截水方法应根据工程地质条件、水文地质条件及施工条件等，选用水泥土搅拌桩帷幕、高压旋喷或摆喷注浆帷幕、地下连续墙或咬合式排桩。支护结构采用排桩时，可采用高压喷射注浆与排桩相互咬合的组合帷幕。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，水泥土搅拌桩帷幕、高压喷射注浆帷幕宜通过试验确定其适用性或外加剂品种及掺量。

**8.2.2** 当坑底以下存在连续分布、埋深较浅的隔水层时,应采用落底式帷幕。落底式帷幕进入下卧隔水层的深度应满足下式要求,且不宜小于 1.5m:

$$l \geq 0.2\Delta h - 0.5b \quad (8.2.2)$$

式中  $l$  —— 帷幕进入隔水层的深度, m;

$\Delta h$  —— 基坑内外的水头差, m;

$b$  —— 帷幕的厚度, m。

**8.2.3** 当坑底以下含水层厚度大而需采用悬挂式帷幕时,帷幕进入透水层的深度应满足本规程第 4.5.2 条、第 4.5.3 条对地下水沿帷幕底端绕流的渗透稳定性要求,并应对帷幕外地下水位下降引起的基坑周边建筑物、地下管线、地下构筑物沉降进行分析。当不满足渗透稳定性要求时,应采取增加帷幕深度、设置减压井等防止渗透破坏的措施。

**8.2.4** 截水帷幕宜采用沿基坑周边闭合的平面布置形式。当采用沿基坑周边非闭合的平面布置形式时,应对地下水沿帷幕两端绕流引起的基坑周边建筑物、地下管线、地下构筑物的沉降进行分析。

**8.2.5** 采用水泥土搅拌桩帷幕时,搅拌桩桩径宜取 450mm~800mm,搅拌桩的搭接宽度应符合下列规定:

1 单排搅拌桩帷幕的搭接宽度,当搅拌深度不大于 10m 时,不应小于 150mm;当搅拌深度为 10m~15m 时,不应小于 200mm;当搅拌深度大于 15m 时,不应小于 250mm;

2 对地下水位较高、渗透性较强的地层,宜采用双排搅拌桩截水帷幕;搅拌桩的搭接宽度,当搅拌深度不大于 10m 时,不应小于 100mm;当搅拌深度为 10m~15m 时,不应小于 150mm;当搅拌深度大于 15m 时,不应小于 200mm。

**8.2.6** 搅拌桩水泥浆液的水灰比宜取 0.6~0.8。搅拌桩的水泥掺量宜取土的天然质量的 15%~20%。

**8.2.7** 水泥土搅拌桩帷幕的施工应符合现行行业标准《建筑地基处

理技术规范》JGJ 79 的有关规定。

**8.2.8** 搅拌桩的施工偏差应符合下列要求：

- 1 桩位的允许偏差应为 50mm；
- 2 垂直度的允许偏差应为 1%。

**8.2.9** 采用高压旋喷、摆喷注浆帷幕时，注浆固结体的有效半径宜通过试验确定；缺少试验时，可根据土的分类及其密实程度、高压喷射注浆工艺，按工程经验采用。摆喷帷幕的喷射方向与摆喷点连线的夹角宜取  $10^{\circ} \sim 25^{\circ}$ ，摆动角度宜取  $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 。水泥石固结体搭接宽度，当注浆孔深度不大于 10m 时，不应小于 150mm；当注浆孔深度为 10m~20m 时，不应小于 250mm；当注浆孔深度为 20m~30m 时，不应小于 350mm。对地下水位较高、渗透性较强的地层，可采用双排高压喷射注浆帷幕。

**8.2.10** 高压喷射注浆水泥浆液的水灰比宜取 0.9~1.1，水泥掺量宜取土的天然质量的 25%~40%。

**8.2.11** 高压喷射注浆应按水泥石固结体的设计有效半径与土的性质确定喷射压力、注浆流量、提升速度、旋转速度等工艺参数，对较硬的黏性土、密实的砂土和碎石土宜取较小提升速度、较大喷射压力。当缺少类似土层条件下的施工经验时，应通过现场工艺试验确定施工工艺参数。

**8.2.12** 高压喷射注浆截水帷幕施工时应符合下列规定：

- 1 采用与排桩咬合的高压喷射注浆截水帷幕时，应先进行排桩施工，后进行高压喷射注浆施工；
- 2 高压喷射注浆的施工作业顺序应采用隔孔分序方式，相邻孔喷射注浆的间隔时间不宜小于 24h；
- 3 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 可采用复喷工艺增大固结体半径、提高固结体强度；
- 5 喷射注浆时，当孔口的返浆量大于注浆量的 20% 时，可采用提高喷射压力、增加提升速度等措施；

6 当因浆液渗漏而出现孔口不返浆的情况时,应将注浆管停置在不返浆处持续喷射注浆,并宜同时采用从孔口填入中粗砂、注浆液掺入速凝剂等措施,直至出现孔口返浆;

7 喷射注浆后,当浆液析水、液面下降时,应进行补浆;

8 当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,其搭接宽度不应小于 500mm;

9 当注浆孔邻近既有建筑物时,宜采用速凝浆液进行喷射注浆;

10 高压旋喷、摆喷注浆帷幕的施工尚应符合现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 的有关规定。

**8.2.13** 高压喷射注浆的施工偏差应符合下列要求:

1 孔位的允许偏差应为 50mm;

2 注浆孔垂直度的允许偏差应为 1%。

**8.2.14** 截水帷幕的质量检测应符合下列规定:

1 与排桩咬合的高压喷射注浆、水泥土搅拌桩帷幕,与土钉墙面层贴合的水泥土搅拌桩帷幕,应在基坑开挖前或开挖时,检测水泥土固结体的尺寸、搭接宽度;检测点应按随机方法选取或选取施工中出现异常、开挖中出现漏水的部位;对设置在支护结构外侧单独的截水帷幕,其质量可通过开挖后的截水效果判断;

2 对施工质量有怀疑时,可在搅拌桩、高压喷射注浆液固结后,采用钻芯法检测帷幕固结体的单轴抗压强度、连续性及深度;检测点的数量不应少于 3 处。

### 8.3 降水

**8.3.1** 基坑降水应优先采用管井,有成熟经验的可采用真空井点、喷射井点等。并宜按表 8.3.1 的适用条件选用。

表 8.3.1 各种降水方法的适用条件

方法	土类	渗透系数 (m/d)	降水深度 (m)
管井	粉土、砂土、碎石土	0.1~200.0	不限
真空井点	黏性土、粉土、砂土	0.005~20.0	单级井点<6 多级井点<20
喷射井点	黏性土、粉土、砂土	0.005~20.0	<20

**8.3.2** 降水后基坑内的水位无特殊要求时,应低于坑底 0.5m,当主体结构有加深的电梯井、集水坑时,坑底应按电梯井、集水坑底面考虑或对其另行采取局部地下水控制措施。基坑采用截水结合坑外减压降水的地下水控制方法时,尚应规定降水井水位的最大降深值和最小降深值。

**8.3.3** 降水井在平面布置上应沿基坑周边形成闭合状。当地下水流速较小时,降水井宜等间距布置;当地下水流速较大时,在地下水补给方向宜适当减小降水井间距。对宽度较小的狭长形基坑,降水井也可在基坑一侧布置。

**8.3.4** 降水井的深度应根据降水深度、含水层的埋藏分布、地下水类型,降水井的设备条件以及降水期间的地下水位动态等因素确定,降水井的深度可按下式计算:

$$H_w = H_s + r_0 i + l + l_c \quad (8.3.4)$$

式中  $H_w$  —— 降水井的深度, m;

$H_s$  —— 降水后基坑内的水位与自然地面的距离, m;

$r_0$  —— 基坑等效半径, m;

$i$  —— 水力坡度,宜取 1/10~1/15;

$l$  —— 过滤器进水部分的长度, m;

$l_c$  —— 沉砂管的长度, m。

**8.3.5** 当基坑底部位于隔水层时,降水井深度应超过基坑深度,并应在含水层与隔水层过渡处采取截水或明排水措施。

**8.3.6** 降水井间距应根据单井流量和单井出水能力并结合经验确定,采用管井降水时,黏性土层的降水井间距宜取 6.0m~8.0m,砂土层的降水井间距宜取 8.0m~15.0m;采用真空井点降水时,降水井间距宜取 0.8m~2.0m;采用喷射井点降水时,降水井间距宜取 1.5m~3.0m;当真空井点、喷射井点的井口至设计降水水位的深度大于 6m 时,可采用多级井点降水,多级井点上下级的高差宜取 4m~5m。

**8.3.7** 降水井的单井设计流量可按下式计算:

$$q = 1.1 \frac{Q}{n} \quad (8.3.7)$$

式中  $q$  —— 单井设计流量,  $\text{m}^3/\text{d}$ ;

$Q$  —— 基坑降水总涌水量,  $\text{m}^3/\text{d}$ ;按本规程附录 E 中相应条件的公式计算;

$n$  —— 降水井数量。

**8.3.8** 降水井的单井出水能力应大于按本规程公式 (8.3.7) 计算的设计流量。当单井出水能力小于单井设计流量时,应增加井的数量、直径或深度。各类井的单井出水能力可按下列规定取值:

1 真空井点出水能力可取  $36 \text{ m}^3/\text{d} \sim 60 \text{ m}^3/\text{d}$ ;

喷射井点出水能力可按表 8.3.8 取值;

表 8.3.8 喷射井点的出水能力

外管直径 (mm)	喷射管		工作水压力 (MPa)	工作水流量 ( $\text{m}^3/\text{d}$ )	设计单井出水流量 ( $\text{m}^3/\text{d}$ )	适用含水层渗透系数 (m/d)
	喷嘴直径 (mm)	混合室直径 (mm)				
38	7	14	0.6~0.8	112.8~163.2	100.8~138.2	0.1~5.0
68	7	14	0.6~0.8	110.4~148.8	103.2~138.2	0.1~5.0
100	10	20	0.6~0.8	230.4	259.2~388.8	5.0~10.0
162	19	40	0.6~0.8	720.0	600.0~720.0	10.0~20.0

3 管井的单井出水能力可按下式计算:

$$q_d = 120\pi r_s l \sqrt[3]{k} \quad (8.3.8)$$

式中  $q_d$  —— 单井出水能力,  $\text{m}^3/\text{d}$ ;

$r_s$  —— 过滤器半径,  $\text{m}$ ;

$l$  —— 过滤器进水部分的长度,  $\text{m}$ ;

$k$  —— 含水层渗透系数,  $\text{m}/\text{d}$ 。

**8.3.9** 含水层的渗透系数应按下列规定确定:

1 宜按现场抽水试验确定;

2 对粉土和黏性土, 可通过原状土样的室内渗透试验并结合经验确定;

3 当缺少试验数据时, 可根据地区工程经验确定。

**8.3.10** 管井的构造应符合下列要求:

1 管井的滤管可采用无砂混凝土滤管、钢筋笼、钢管或铸铁管, 滤管上滤孔的直径宜为  $5\text{mm}\sim 8\text{mm}$ , 滤孔间距宜为  $150\text{mm}\sim 200\text{mm}$ ;

2 滤管内径应按满足单井设计出水量要求而配置的水泵规格确定, 宜大于水泵外径  $50\text{mm}$ , 滤管外径不宜小于  $200\text{mm}$ 。管井成孔直径应满足填充滤料的要求, 滤料填充厚度不应小于  $50\text{mm}$ ;

3 滤料宜选用磨圆度好的硬质岩石的圆砾, 不宜采用棱角形石渣料、风化料或其它黏土质岩石成分的砾石。滤料规格宜满足下列要求:

1) 砂土含水层

$$D_{50} = 6d_{50} \sim 8d_{50} \quad (8.3.10-1)$$

式中  $D_{50}$  —— 小于该粒径的填料质量占总填料质量  $50\%$  所对应的填料粒径,  $\text{mm}$ ;

$d_{50}$  —— 含水层中小于该粒径的土颗粒质量占总土颗粒质

量 50%所对应的土颗粒粒径, mm;

2)  $d_{20}$  小于 2mm 的碎石土含水层

$$D_{50}=6d_{20}\sim 8d_{20} \quad (8.3.10-2)$$

式中  $d_{20}$  —— 含水层中小于该粒径的土颗粒质量占总土颗粒质量 20%所对应的土颗粒粒径, mm;

3) 对于  $d_{20}$  大于或等于 2mm 的碎石土含水层, 宜充填粒径为 10mm~20mm 的滤料;

4) 滤料的不均匀系数应小于 2;

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

5 井管的底部应设置沉砂段, 黏性土含水层井管沉砂段长度不宜小于 2m, 砂土含水层井管沉砂管长度不宜小于 3m。

**8.3.11 真空井点的构造应符合下列要求:**

1 井管宜采用金属管, 管壁上渗水孔宜按梅花状布置, 渗水孔直径宜取 12mm~18mm, 渗水孔的孔隙率应大于 15%, 渗水段长度应大于 1.0m; 管壁外应根据土层的粒径设置滤网;

2 井管的直径应根据单井设计流量确定, 井管直径宜取 38mm~110mm; 成孔直径应满足填充滤料的要求, 且不宜大于 300mm;

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

**8.3.12 喷射井点的构造应符合下列要求:**

1 喷射井点过滤器的构造应符合本规程第 8.3.11 条第 1 款的规定; 喷射器混合室直径可取 14mm, 喷嘴直径可取 6.5mm;

2 井的成孔直径宜取 400mm~600mm, 井孔应比滤管底部深 1m 以上;

3 孔壁与井管之间填充滤料的要求应符合本规程第 8.3.11 条

第3款的规定；

4 工作水泵可采用多级泵，水泵压力宜大于 2MPa。

### 8.3.13 管井施工应符合下列要求：

1 管井的成孔施工工艺应适合地层特点，对不易塌孔、缩孔的地层宜采用清水钻进；钻孔深度宜大于降水井设计深度 0.3m~0.5m；

2 采用泥浆护壁时，应在钻进到孔底后清除孔底沉渣并立即置入井管、注入清水，当泥浆比重不大于 1.05 时，方可投入滤料；遇塌孔时不得置入井管，滤料填充体积不应小于计算量的 95%；

3 填充滤料后，应及时洗井，洗井应直至过滤器及滤料滤水畅通，并应抽水检验降水井的滤水效果。

### 8.3.14 真空井点和喷射井点的施工应符合下列要求：

1 真空井点和喷射井点的成孔工艺可选用清水或泥浆钻进、高压水套管冲击工艺（钻孔法、冲孔法或射水法），对不易塌孔、缩颈的地层也可选用长螺旋钻机成孔；成孔深度宜大于降水井设计深度 0.5m~1.0m；

2 钻进到设计深度后，应注水冲洗钻孔、稀释孔内泥浆；滤料填充应密实均匀，滤料宜采用粒径为 0.4mm~0.6mm 的纯净中粗砂；

3 成井后应及时洗孔，并应抽水检验井的滤水效果；抽水系统不应漏水、漏气；

4 降水时真空度应保持在 55kPa 以上，且抽水不应间断。

### 8.3.15 抽水系统在使用期的维护应符合下列要求：

1 降水期间应对井水位和抽水量进行监测，当基坑侧壁出现渗水时，应检查井的抽水效果，并采取有效疏排措施；

2 采用管井时，应对井口采取防护措施，井口宜高于地面 200mm 以上，应防止物体坠入井内；

3 冬季负温环境下，应对抽排水系统采取防冻措施。

### 8.3.16 抽水系统的使用期应满足主体结构的施工要求。当主体结

构有抗浮要求时，停止降水的时间应满足主体结构施工期的抗浮要求。

**8.3.17** 当基坑降水引起的地层变形对基坑周边环境产生不利影响时，宜采用回灌方法减少地层变形量。回灌方法宜采用管井回灌，回灌应符合下列规定：

1 回灌井应布置在降水井外侧，回灌井与降水井的距离不宜小于 6m；回灌井的间距应根据回灌水量的要求和降水井的间距确定；

2 回灌井深度宜进入稳定水面不小于 1m，回灌井过滤器应位于渗透性强的土层中，其长度不应小于降水井过滤器的长度，且宜在透水层全长设置过滤器；

3 回灌水量应根据水位观测孔中水位变化进行控制和调节，回灌后的地下水位不应高于降水前的水位。采用回灌水箱时，箱内水位应根据回灌水量的要求确定；

4 回灌用水应采用清水，宜用降水井抽水进行回灌。回灌水质应符合环境保护要求。

**8.3.18** 当基坑面积较大时，可在基坑内设置一定数量的疏干井。

**8.3.19** 基坑排水系统的输水能力应满足降水井抽水的总涌水量要求。

## 8.4 集水明排

**8.4.1** 对坑底汇水、基坑周边地表汇水及降水井抽出的地下水，可采用明沟排水；对坑底渗出的地下水，可采用盲沟排水；当地下室底板与支护结构间不能设置明沟时，也可采用盲沟排水。

**8.4.2** 排水沟的截面应根据设计流量确定，设计排水流量应符合下式规定：

$$Q \leq V/1.5 \quad (8.4.2)$$

式中  $Q$  —— 排水沟的设计流量,  $\text{m}^3/\text{d}$ ;

$V$  —— 排水沟的排水能力,  $\text{m}^3/\text{d}$ 。

**8.4.3** 明沟和盲沟坡度不宜小于 0.3%。采用明沟排水时, 沟底应采取防渗措施。采用盲沟排出坑底渗出的地下水时, 其构造、填充料及其密实度应满足主体结构的要求。

**8.4.4** 沿排水沟宜每隔 30m~50m 设置一口集水井; 集水井的净截面尺寸应根据排水流量确定。集水井应采取防渗措施。采用盲沟时, 集水井宜采用钢筋笼外填碎石滤料的构造形式。

**8.4.5** 基坑坡面渗水宜采用渗水部位插入导水管排出。导水管的间距、直径及长度应根据渗水量及渗水土层的特性确定。

**8.4.6** 采用管道排水时, 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%。排水管道材料可选用钢管、PVC 管。排水管道上宜设置清淤孔, 清淤孔的间距不宜大于 10m。

**8.4.7** 基坑排水与市政管网连接前应设置沉淀池。明沟、集水井、沉淀池使用时应排水畅通并应随时清理淤积物。

## 8.5 降水引起的地层变形计算

**8.5.1** 降水引起的地层压缩变形量可按式计算:

$$s = \psi_w \sum \frac{\Delta \sigma'_{zi} \Delta h_i}{E_{si}} \quad (8.5.1)$$

式中  $s$  —— 计算剖面的地层压缩变形量, m;

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

$\Delta \sigma'_{zi}$  —— 降水引起的地面下第  $i$  土层的附加有效应力, kPa;  
对黏性土, 应取降水结束时土的固结度下的附加有效应力;

$\Delta h_i$  —— 第  $i$  层土的厚度, m; 土层的总计算厚度应按渗流

分析或实际土层分布情况确定；

$E_{si}$  —— 第  $i$  层土的压缩模量，kPa；应取土的自重应力至自重应力与附加有效应力之和的压力段的压缩模量。

**8.5.2** 基坑外土中各点降水引起的附加有效应力宜采用地下水渗流分析方法按稳定渗流计算；当符合非稳定渗流条件时，可按地下水非稳定渗流计算。

**8.5.3** 确定土的压缩模量时，应考虑土的超固结比对压缩模量的影响。

## 附录 A 基坑支护设计文件内容

### A.1 方案阶段

**A.1.1** 基坑支护设计文件中应有设计说明、设计图纸和计算书。

**A.1.2** 基坑支护设计说明应包括以下内容：

- 1 工程概况；
- 2 设计依据：
  - 1) 建筑用地红线图，场地地形图及地下工程建筑施工图和结构初步设计图；
  - 2) 场地岩土工程（初勘）勘察报告；
  - 3) 基坑周边环境资料；
  - 4) 建设单位提出的与基坑支护有关的符合有关标准、法规的书面要求；
  - 5) 基坑支护设计所执行的主要法规和所采用的主要标准（包括标准的名称、编号、年号和版本号）；
- 3 基坑分类等级：
  - 1) 基坑设计等级；
  - 2) 基坑支护结构安全等级；
- 4 主要荷载（作用）取值：
  - 1) 基坑外土的自重（包括地下水）；
  - 2) 基坑周边在建和已有的建（构）筑物荷载；
  - 3) 基坑周边施工荷载和材料堆载；
  - 4) 基坑周边道路车辆荷载；
- 5 设计计算程序，包括基坑支护设计计算所采用的程序名称、

版本号、编制单位；

6 基坑支护设计选用主要材料要求：

- 1) 混凝土强度等级；
- 2) 钢筋、钢绞线种类、钢材牌号和等级及所对应的产品标准，各种钢材的焊接方法及对所采用的焊材的要求；
- 3) 水泥型号、等级；

7 支护方案的比选和技术经济比较：

- 1) 分析工程地质特征，指明应重点注意的地层；
- 2) 分析基坑周边环境特征，预测基坑工程对环境的影响，明确需保护的邻近建（构）筑物、管线、道路等，提出相应的保护措施；
- 3) 根据上述分析，提出可行的支护设计方案；
- 4) 明确基坑周边荷载限值及范围；

8 地下水控制设计；

9 施工要点。

**A.1.3** 设计图纸应包括以下内容：

1 基坑周边环境图：

- 1) 注明基坑周边地下管线的类型、埋置深度及管线与开挖线的距离；
- 2) 注明基坑周边建（构）筑物结构形式、基础形式、基础埋深和周边道路交通荷载量；
- 3) 注明地下室外墙线与红线、基坑开挖线及周边构筑物的关系；

2 基坑周边地层展开图；

3 基坑平面布置图：

- 1) 绘制支护结构与结构基础边线的位置关系、支护计算分段等；
- 2) 绘制内支撑的定位轴线和内支撑位置和标注必要的定位尺寸，支撑截面尺寸；

- 3) 绘制支护体系的支护类型;
- 4 主要的基坑支护剖面图;
- 5 支撑平面布置图;
- 6 基坑降水(排水)平面布置图。

#### A.1.4 方案阶段设计计算书

确定支护方案,所必要的计算内容,计算软件要注明软件名称及版本号,原始输入数据、计算成果需打印成册。

### A.2 施工图设计阶段

**A.2.1** 基坑支护施工图设计文件应包括设计说明、设计施工图纸和计算书三项。

**A.2.2** 基坑支护施工图设计说明应包括以下内容:

- 1 工程概况:
  - 1) 建筑工程概况;
  - 2) 基坑周长、面积、开挖深度、设计使用年限;
  - 3)  $\pm 0.00$  标高、自然地面标高及其相互关系;
- 2 基坑周边环境条件:
  - 1) 邻近建(构)筑物、道路及地下管线与基坑的位置关系;
  - 2) 邻近建(构)筑物的工程重要性、层数、结构型式、基础型式、基础埋深、建设及竣工时间、结构完好情况及使用状况;
  - 3) 邻近道路的重要性、交通负载量、道路特征、使用情况;
  - 4) 地下管线(包括供水、排水、燃气、热力、供电、通信、消防等)的重要性、特征、埋置深度、走向、使用情况;
- 3 设计依据:
  - 1) 建筑用地红线图,场地地形图及地下工程建筑施工图和结构施工图;

- 2) 经施工图审查合格的场地岩土工程勘察报告,当地下水有影响时应提供水文地质勘察报告(说明施工图审查单位、审查编号和审查日期);
- 3) 基坑周边环境资料;
- 4) 建设单位提出的与基坑有关的符合有关标准、法规的书面要求;
- 5) 本专业设计所执行的主要法规和所采用的主要标准(包括标准的名称、编号、年号和版本号);
- 4 工程地质与水文地质条件:
  - 1) 与基坑支护设计有关的地层描述,包括各土层岩性类别、厚度和土层的物理力学指标等;
  - 2) 含水层的类型,含水层的厚度及顶、底板标高,含水层的富水性、渗透性、补给与排泄条件,各含水层之间的水力联系,地下水位标高及动态变化;
- 5 基坑安全等级,基坑周边条件差异较大者,应分段划分其安全等级,各分段可采用不同的支护方式;
- 6 基坑支护结构安全等级;
- 7 主要荷载(作用)取值:
  - 1) 基坑外土的自重(包括地下水);
  - 2) 基坑周边在建和已有的建(构)筑物荷载;
  - 3) 基坑周边施工荷载和材料堆载;
  - 4) 基坑周边道路车辆荷载;
- 8 设计计算程序,包括基坑支护设计计算所采用的程序名称、版本号、编制单位;
- 9 基坑支护设计选用主要材料:
  - 1) 混凝土强度等级、防水混凝土的抗渗等级,混凝土耐久性的基本要求,钢筋的混凝土保护层厚度等;
  - 2) 钢筋、钢绞线种类、钢材牌号和等级及所对应的产品标准,各种钢材的焊接方法及对所采用的焊材的要求;

- 3) 锚杆浆体材料、配比、浆体设计强度;
- 4) 土钉浆体材料、配比、浆体设计强度等;
- 5) 水泥型号、等级;

10 地下水控制设计,分析地下水特征,明确需进行降水、止水控制或回灌的含水层及措施;

基坑降水设计包括降水方法、基坑涌水量,降水井的间距、数量、井位、井径、井深、过滤网、滤料,降水维持时间,地下水位、出水含砂量监测,地面沉降的估算、对周边环境的影响的评价及相应的保护措施,降水设备及连接管线,坑内降水时降水井与地下室底板的连接方式及防渗处理措施,降水结束后的封井要求等;

基坑截水设计的截水范围、方法及其工艺参数等;

11 基坑支护施工与质量控制要点及应急抢险预案:

- 1) 施工场地的硬化;
- 2) 地表水控制要求;
- 3) 季节性施工技术措施;
- 4) 土方开挖方式、开挖顺序、运输路线、分层厚度、分段长度、对称均匀开挖的必要性;
- 5) 施工顺序应与支护结构的设计工况相一致;
- 6) 支护结构(桩、冠梁、腰梁、内支撑、土钉及锚杆等)混凝土强度的时间要求或混凝土强度值要求;
- 7) 锚杆或土钉的施工控制要点,锚杆自由段实现自由移动的控制措施,注浆压力及受拉承载力设计值等加以说明,对锚杆或土钉的基本试验及验收提出具体要求;
- 8) 预应力施工要求,张拉控制力、锁定值、超张拉力值及是否有二次张拉要求等;
- 9) 需特殊处理的工序及注意事项;
- 10) 根据基坑周边环境、地质资料、支护结构特点及施工中可能发生的情况变化分析说明,制定切实可行的应急抢险方案;

12 基坑监测要求：说明监测项目、监测方法、监测频率和允许变形值及报警值。

**A.2.3 基坑支护设计施工图应包括以下内容：**

1 基坑周边环境图：

- 1) 注明基坑周边地下管线的用途类型等级、材质、管径尺寸、埋置深度以及管线与开挖线的距离；
- 2) 注明基坑周边建（构）筑物的平面分布、尺寸、结构形式、基础形式、基础埋深、使用状况和周边道路交通负载量；
- 3) 道路与基坑之间的平面关系；
- 4) 注明地下室外墙线与红线、基坑开挖线及周边构筑物的关系；
- 5) 条件复杂时，还应画剖面图并标注剖切线及剖面号，剖面图应标注邻近建（构）筑物的埋深、地下管线的用途、材质、规格尺寸、埋深等；

2 基坑周边地层展开图，图中标明基坑支护设计各有关地层物理力学性质参数如： $\gamma$ 、 $c$ 、 $\varphi$ 、 $k$ 等；

3 基坑平面布置图：

- 1) 绘制支护结构与主体结构基础边线的位置关系，标注支护结构设计分段；
- 2) 绘制内支撑和立柱的定位轴线，标注必要的定位尺寸，支撑截面尺寸，并标注内支撑梁面标高；
- 3) 支护桩平面布置应标明桩的编号、桩径、桩间距及平面位置，桩中心线与建筑物边轴线及基础承台或底板外边线的位置关系；
- 4) 锚杆平面布置应标明锚杆编号、锚杆间距及平面位置；
- 5) 土钉墙平面布置应标明建筑物边轴线、基础边承台或底板边线、基坑开挖上下边线及其与建筑物边轴线的位置关系；

4 基坑立面图：

- 1) 排桩立面图应标明排桩的布置、冠梁标高、冠梁与上部结

构的关系（如土钉墙、砖墙等）；

2) 应标明锚杆、腰梁布置及其标高等；

3) 土钉墙立面图应标明面层钢筋网、加强筋、土钉的间距及连接点位置；

5 基坑剖面图：

1) 应标明自然地面标高、槽底标高、桩顶桩底标高、周围建构筑物管线等情况；

2) 支护桩桩型、桩径、桩间距、桩长、嵌固深度及桩顶标高，冠梁的编号、截面尺寸、配筋及顶面标高等；

3) 应标明锚杆设置标高，锚杆自由段、锚固段长度及总长，锚杆直径、倾角及杆体材质及数量等；

4) 土钉墙应标明自然地面标高，边坡开挖坡率，各层土钉设置标高，各层土钉直径、长度、倾角、杆体材质、面层混凝土强度及厚度等；

6 构件详图及局部大样图：

1) 支护桩的详图包括竖向、横向截面配筋图，配筋图应标明配筋数量、钢筋布置形式、钢筋级别及规格，非对称配筋时应在配筋图上明确标示方向等；

2) 冠梁的详图包括截面尺寸、梁顶标高及配筋图等；

3) 腰梁的详图包括截面尺寸、梁顶标高、材质或配筋图等；

4) 锚杆与梁或压板的连接详图等；

7 常见支护结构型式的设计内容应包括：

1) 排桩支护：桩型、桩径、桩间距、桩长、嵌固深度及桩顶标高，桩身混凝土强度等级及配筋情况，冠梁的截面尺寸、配筋及顶面标高；

2) 锚杆直径、自由段、锚固段及锚杆总长，锚杆间距、倾角、标高及数量，锚杆杆体材质、注浆材料及其强度等级，锚杆与连梁或压板的连接，锚杆轴向拉力设计值、锁定值，腰梁布置图、详图、材质及强度等级；

3) 土钉墙边坡开挖坡率、各层土钉的设置标高、水平和竖向间距,各层土钉直径、长度、倾角、杆体材料规格、注浆材料及其强度等级,面层钢筋网、加强筋、混凝土强度、厚度、土钉与面层的连接方式等;

8 基坑监测布置图,注明监测点位置、监测要求等;

9 基坑降水(排水)平面图:

1) 标明降水井的平面位置、类型、编号、井间距、数量、单井出水量、降水井和观测井;

2) 降水井和观测井大样图,井的直径、实管和滤水管的长度,井的深度、滤料、过滤网、膨润土的回填深度和标高等;

3) 绘制排水系统、排水沟和集水坑大样图;

4) 标明降水井供电系统布设等;

10 其他图纸(必要时提供):

1) 预埋件。应绘制其平面、侧面或剖面,注明尺寸、钢材和锚筋的规格、型号、性能和焊接要求;

2) 栈桥结构图。应绘制栈桥纵剖面、横剖面、定位尺寸、断面尺寸和配筋;

3) 土方开挖图。应绘制基坑出土顺序和出土走向;

4) 地下室底板和楼板换撑图,应注明换撑材料和做法,有后浇带时应注明后浇带换撑做法。

#### A.2.4 施工图阶段计算书内容:

1 采用经建设行政主管部门批准的计算机软件名称、代号、版本及编制单位;

2 基坑支护设计参数:基坑深度、地下水位深度、土钉墙放坡角度、超载类型及超载值,基坑侧壁重要性系数等;

3 基坑相关土层名称及其参数取值,如土层厚度、 $\gamma$ 、 $c_k$ 、 $\varphi_k$ 、 $k$ 等,土压力计算模式,水土合算或水土分算;

4 计算结果应包括的内容:

1) 排桩:桩径、桩间距、桩长及嵌固深度;最大弯矩及其位

置；最大位移及其位置；配筋量及配筋方式；支护结构受力简图；

- 2) 锚杆：自由段和锚固段长度、直径、倾角；杆体材料、数量、受拉承载力设计值；
- 3) 土钉墙：土钉位置及长度；水平向及垂直向间距、直径、倾角及杆体材料及规格；土钉抗拉承载力设计值；土钉墙整体稳定性分析验算；必要时进行变形计算；
- 5 腰梁计算书，包括强度和刚度验算；
- 6 计算书整理成册后，经校对审核并签字盖章。

## 附录 B 圆形截面混凝土支护桩的正截面

### 受弯承载力计算

**B.0.1** 沿周边均匀配置纵向钢筋的圆形截面钢筋混凝土支护桩，其正截面受弯承载力应符合下列规定（图 B.0.1）：

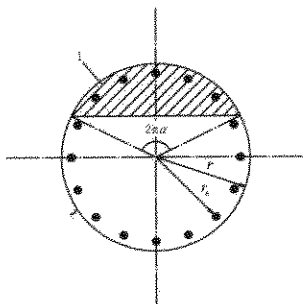


图 B.0.1 沿周边均匀配置纵向钢筋的圆形截面  
1—混凝土受压区

$$M = \frac{2}{3} f_c A r \frac{\sin^3 \pi \alpha}{\pi} + f_y A_s r_s \frac{\sin \pi \alpha + \sin \pi \alpha_t}{\pi} \quad (\text{B.0.1-1})$$

$$\alpha f_c A \left( 1 - \frac{\sin 2\pi \alpha}{2\pi \alpha} \right) + (\alpha - \alpha_t) f_y A_s = 0 \quad (\text{B.0.1-2})$$

$$\alpha_t = 1.25 - 2\alpha \quad (\text{B.0.1-3})$$

式中  $M$  —— 桩的弯矩设计值， $\text{kN} \cdot \text{m}$ ；按本规程第 6.2.1 条的

规定计算;

$f_c$  —— 混凝土轴心抗压强度设计值,  $\text{kN/m}^2$ ; 当混凝土强度超过 C50 时,  $f_c$  应以  $\alpha_1 f_c$  代替, 当混凝土强度等级为 C50 时, 取  $\alpha_1=1.0$ , 当混凝土强度等级为 C80 时, 取  $\alpha_1=0.94$ , 其间接线性内插法确定;

$A$  —— 支护桩截面面积,  $\text{m}^2$ ;

$r$  —— 支护桩的半径,  $\text{m}$ ;

$\alpha$  —— 对应于受压区混凝土截面面积的圆心角 (rad) 与  $2\pi$  的比值;

$f_y$  —— 纵向钢筋的抗拉强度设计值,  $\text{kN/m}^2$ ;

$A_s$  —— 全部纵向钢筋的截面面积,  $\text{m}^2$ ;

$r_s$  —— 纵向钢筋重心所在圆周的半径,  $\text{m}$ ;

$\alpha_t$  —— 纵向受拉钢筋截面面积与全部纵向钢筋截面面积的比值, 当  $\alpha > 0.625$  时, 取  $\alpha_t=0$ ;

注: 本条适用于截面内纵向钢筋数量不少于 6 根的情况。

**B.0.2** 沿受拉区和受压区周边局部均匀配置纵向钢筋的圆形截面钢筋混凝土支护桩, 其正截面受弯承载力应符合下列规定 (图 B.0.2):

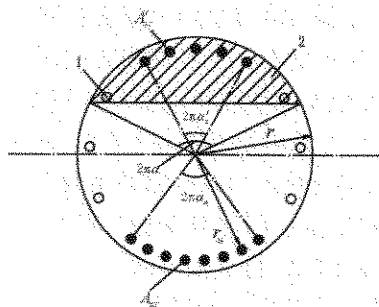


图 B.0.2 沿受拉区和受压区周边局部均匀配置纵向钢筋的圆形截面  
1—构造钢筋; 2—混凝土受压区

$$M \leq \frac{2}{3} f_c A r \frac{\sin^3 \pi \alpha}{\pi} + f_y A_{sr} r_s \frac{\sin \pi \alpha_s}{\pi \alpha_s} + f_y A'_{sr} r_s \frac{\sin \pi \alpha'_s}{\pi \alpha'_s} \quad (\text{B.0.2-1})$$

$$\alpha f_c A \left( 1 - \frac{\sin 2\pi \alpha}{2\pi \alpha} \right) + f_y (A'_{sr} - A_{sr}) = 0 \quad (\text{B.0.2-2})$$

$$\cos \pi \alpha \geq 1 - \left( 1 + \frac{r_s}{r} \cos \pi \alpha_s \right) \xi_b \quad (\text{B.0.2-3})$$

$$\alpha \geq \frac{1}{3.5} \quad (\text{B.0.2-4})$$

式中  $\alpha$ ——对应于混凝土受压区截面面积的圆心角 (rad) 与  $2\pi$  的比值;

$\alpha_s$ ——对应于受拉钢筋的圆心角 (rad) 与  $2\pi$  的比值,  $\alpha_s$  宜取  $1/6 \sim 1/3$ , 通常可取 0.25;

$\alpha'_s$ ——对应于受压钢筋的圆心角 (rad) 与  $2\pi$  的比值, 宜取  $\alpha'_s \leq 0.5\alpha$ ;

$A_{sr}$ 、 $A'_{sr}$ ——分别为沿周边均匀配置在圆心角  $2\pi\alpha_s$ 、 $2\pi\alpha'_s$  内的纵向受拉、受压钢筋的截面面积,  $\text{m}^2$ ;

$\xi_b$ ——矩形截面的相对界限受压区高度, 按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定取值;

本条适用于截面受拉区内纵向钢筋数量不少于 3 根的情况。

**B.0.3** 沿受拉区和受压区周边局部均与配置的纵向钢筋数量, 宜使按本规程公式 (B.0.2-2) 计算的  $\alpha$  大于  $1/3.5$ , 当  $\alpha$  小于  $1/3.5$  时, 其正截面受弯承载力应符合下列规定:

$$M \leq f_y A_{sr} \left( 0.78r + r_s \frac{\sin \pi \alpha_s}{\pi \alpha_s} \right) \quad (\text{B.0.3})$$

**B.0.4** 沿圆形截面受拉区和受压区周边实际配置的均匀纵向钢筋的圆心角应分别取为 $2\frac{n-1}{n}\pi\alpha$ 和 $2\frac{m-1}{m}\pi\alpha$ 。配置在圆形截面受拉区的纵向钢筋，其按全截面面积计算的配筋率不宜小于0.2%和 $0.45f_t/f_y$ 的较大值。在不配置纵向受力钢筋的圆周范围内应设置周边纵向构造钢筋，纵向构造钢筋直径不应小于纵向受力钢筋直径的1/2，且不应小于10mm；纵向构造钢筋的环向间距不应大于圆截面的半径和250mm的较小值。

- 注：1  $n$ 、 $m$  为受拉区、受压区配置均匀纵向钢筋的根数；  
2  $f_t$  为混凝土抗拉强度设计值。

## 附录 C 锚杆抗拔试验要点

### C.1 一般规定

**C.1.1** 试验锚杆的参数、材料、施工工艺及其所处的地质条件应与工程锚杆相同。

**C.1.2** 锚杆抗拔试验应在锚固段注浆固结体强度达到 15MPa 或达到设计强度的 75%后进行。

**C.1.3** 加载装置(千斤顶、油压系统)的额定压力必须大于最大试验压力，且试验前应进行标定。

**C.1.4** 加载反力装置的承载力和刚度应满足最大试验荷载的要求，加载时千斤顶应与锚杆同轴。

**C.1.5** 计量仪表(位移计、压力表)的精度应满足试验要求。

**C.1.6** 试验锚杆宜在自由段与锚固段之间设置消除自由段摩阻力的装置。

**C.1.7** 最大试验荷载下的锚杆杆体应力，不应超过其极限强度标准值的 0.85 倍。

### C.2 基本试验

**C.2.1** 同一条件下的极限抗拔承载力试验的锚杆数量不应少于 3 根。

**C.2.2** 确定锚杆极限抗拔承载力的试验，最大试验荷载不应小于预估破坏荷载，且试验锚杆的杆体截面面积应符合本规程第 C.1.7

条的规定。必要时，可增加试验锚杆的杆体截面面积。

**C.2.3** 锚杆极限抗拔承载力试验宜采用多循环加载法，其加载分级和锚头位移观测时间应按表 C.2.3 确定。

表 C.2.3 多循环加载试验的加载分级与锚头位移观测时间

循环次数	分级荷载与最大试验荷载的百分比 (%)						
	初始荷载	加载过程			卸荷过程		
第一循环	10	20	40	50	40	20	10
第二循环	10	30	50	60	50	30	10
第三循环	10	40	60	70	60	40	10
第四循环	10	50	70	80	70	50	10
第五循环	10	60	80	90	80	60	10
第六循环	10	70	90	100	90	70	10
观测时间 (min)		5	5	10	5	5	5

**C.2.4** 当锚杆极限抗拔承载力试验采用单循环加载法时，其加载分级和锚头位移观测时间应按本规程表 C.2.3 中每一循环的最大荷载及相应的观测时间逐级加载和卸载。

**C.2.5** 锚杆极限抗拔承载力试验，其锚头位移测读和加、卸载应符合下列规定：

1 初始荷载下，应测读锚头位移基准值 3 次，当每间隔 5min 的读数相同时，方可作为锚头位移基准值；

2 每级加、卸载稳定后，在观测时间内测读锚头位移不应少于 3 次；

3 在每级荷载的观测时间内，当锚头位移增量不大于 0.1mm 时，可施加下一级荷载；否则应延长观测时间，并应每隔 30min 测读锚头位移一次，当连续两次出现 1h 内的锚头位移增量小于 0.1mm 时，可施加下一级荷载；

4 加至最大试验荷载后，当未出现本规程第 C.2.6 条规定的终止加载情况，且继续加载后满足本规程第 C.1.7 条对锚杆杆体应力的要求时，宜继续进行下一循环加载，加卸荷的各分级荷载增量

宜取最大试验荷载的 10%。

**C.2.6** 锚杆试验中遇下列情况之一时，应终止继续加载：

1 从第二级加载开始，后一级荷载产生的锚头位移增量达到或超过前一级荷载产生位移增量的 5 倍；

2 锚头位移不收敛；

3 锚杆杆体破坏。

**C.2.7** 多循环加载试验应绘制锚杆的荷载-位移( $Q-s$ )曲线、荷载-弹性位移( $Q-s_e$ )曲线和荷载-塑性位移( $Q-s_p$ )曲线。锚杆的位移不应包括试验反力装置的变形。

**C.2.8** 锚杆极限抗拔承载力标准值应按下列方法确定：

1 单根锚杆的极限抗拔承载力，在某级试验荷载下出现本规程第 C.2.6 条规定的终止继续加载情况时，应取终止加载的前一级荷载值；未出现时，应取终止加载时的荷载值；

2 参加统计的试验锚杆，当极限抗拔承载力的极差不超过其平均值的 30% 时，锚杆极限抗拔承载力标准值可取平均值；当级差超过其平均值的 30% 时，宜增加试验锚杆数量，并应根据级差过大的原因，按实际情况重新进行统计后确定锚杆极限抗拔承载力标准值。

### C.3 蠕变试验

**C.3.1** 蠕变试验的锚杆数量不应小于 3 根。

**C.3.2** 蠕变试验的加载分级和锚头位移观测时间应按表 C.3.2 确定。在观测时间内荷载必须保持恒定。

表 C.3.2 蠕变试验的加载分级与锚头位移观测时间

加荷分级	$0.50 N_k$	$0.75 N_k$	$1.00 N_k$	$1.20 N_k$	$1.50 N_k$
观测时间 $t_2$ (min)	10	30	60	90	120
观测时间 $t_1$ (min)	5	15	30	45	60

注：表中  $N_k$  为锚杆轴向拉力标准值。

**C.3.3** 每级荷载按时间间隔 1min、5min、10min、15min、30min、45min、60min、90min、120min 记录蠕变量。

**C.3.4** 试验时应绘制每级荷载下锚杆的蠕变量-时间对数( $s$ - $\lg t$ )曲线。蠕变率应按下式计算:

$$k_c = \frac{s_2 - s_1}{\lg t_2 - \lg t_1} \quad (\text{C.3.4})$$

式中  $k_c$  —— 锚杆蠕变率;

$s_1$  ——  $t_1$  时间测得的蠕变量, mm;

$s_2$  ——  $t_2$  时间测得的蠕变量, mm。

**C.3.5** 锚杆的蠕变率不应大于 2.0mm。

## C.4 验收试验

**C.4.1** 锚杆抗拔承载力检测试验, 最大试验荷载不应小于本规程第 6.6.3 条规定的抗拔承载力检测值。

**C.4.2** 锚杆抗拔承载力检测试验可采用单循环加载法, 其加载分级和锚头位移观测时间应按表 C.4.2 确定。

表 C.4.2 单循环加载试验的加载分级与锚头位移观测时间

最大试验荷载	分级荷载与锚杆轴向拉力标准值 $N_k$ 的百分比 (%)							
$1.4N_k$	加载	10	40	60	80	100	120	140
	卸载	10	30	50	80	100	120	—
$1.3N_k$	加载	10	40	60	80	100	120	130
	卸载	10	30	50	80	100	120	—
$1.2N_k$	加载	10	40	60	80	100	—	120
	卸载	10	30	50	80	100	—	—
观测时间 (min)		5	5	5	5	5	5	10

**C.4.3** 锚杆抗拔承载力检测试验, 其锚头位移测读和加、卸载应符合下列规定:

1 初始荷载下,应测读锚头位移基准值 3 次,当每间隔 5min 的读数相同时,方可作为锚头位移基准值;

2 每级加、卸载稳定后,在观测时间内测读锚头位移不应少于 3 次;

3 当观测时间内锚头位移增量不大于 1.0mm 时,可视为位移收敛;否则,观测时间应延长至 60min,并应每隔 10min 测读锚头位移 1 次,当 60min 内锚头位移增量小于 2.0mm 时,可视为锚头位移收敛,否则视为不收敛。

**C.4.4** 锚杆试验中遇本规程第 C.2.6 条规定的终止继续加载情况时,应终止继续加载。

**C.4.5** 单循环加载试验应绘制锚杆的荷载-位移( $Q-s$ )曲线。锚杆的位移不应包括试验反力装置的变形。

**C.4.6** 检测试验中,符合下列要求的锚杆应判定合格:

1 在抗拔承载力检测值下,锚杆位移稳定或收敛;

2 在抗拔承载力检测值下测得的弹性位移量应大于杆体自由段长度理论弹性伸长量的 80%。

## 附录 D 土钉抗拔试验要点

**D.0.1** 试验土钉的参数、材料、施工工艺及所处的地质条件应与工程土钉相同。

**D.0.2** 土钉抗拔试验应在注浆固结体强度达到 10MPa 或达到设计强度等级 70% 后进行。

**D.0.3** 加载装置(千斤顶、油泵)的额定压力必须大于最大试验压力,且试验前应进行标定。

**D.0.4** 加荷反力装置的承载力和刚度应满足最大试验荷载的要求,加载时千斤顶应与土钉同轴。

**D.0.5** 计量仪表(位移计、压力表)的精度应满足试验要求。

**D.0.6** 在土钉墙面层上进行试验时,试验土钉应与喷射混凝土面层分离。

**D.0.7** 最大试验荷载下的土钉杆体应力不应超过其屈服强度标准值。

**D.0.8** 同一条件下的极限抗拔承载力试验的土钉数量不应少于 3 根。

**D.0.9** 确定土钉极限抗拔承载力的试验,最大试验荷载不应小于预估破坏荷载,且试验土钉的杆体截面面积应符合本规程第 D.0.7 条对土钉杆体应力的规定。必要时,可增加试验土钉的杆体截面面积。

**D.0.10** 土钉抗拔承载力检测试验,最大试验荷载不应小于本规程第 7.4.1 条规定的抗拔承载力检测值。

**D.0.11** 确定土钉极限抗拔承载力的试验和土钉抗拔承载力检测试验可采用单循环加载法,其加载分级和土钉位移观测时间应按表

D.0.11 确定。

表 D.0.11 单循环加载试验的加载分级与土钉位移观测时间

观测时间 (min)		5	5	5	5	5	10
加载量与最大试验荷载的百分比 (%)	初始荷载	—	—	—	—	—	10
	加载	10	50	70	80	90	100
	卸载	10	20	50	80	90	—

注：单循环加载试验用于土钉抗拔承载力检测时，加至最大试验荷载后，可一次卸载至最大试验荷载的 10%。

**D.0.12** 土钉的极限抗拔承载力试验，其土钉位移测读和加、卸载应符合下列规定：

1 初始荷载下，应测读土钉位移基准值 3 次，当每间隔 5min 的读书相同时，方可作为土钉位移基准值；

2 每级加、卸载稳定后，在观测时间内测读土钉位移不应少于 3 次；

3 在每级荷载的观测时间内，当土钉位移增量不大于 0.1mm 时，可施加下一级荷载；否则应延长观测时间，并应每隔 30min 测读土钉位移 1 次；当连续两次出现 1h 内的土钉位移增量小于 0.1mm 时，可施加下一级荷载。

**D.0.13** 土钉抗拔承载力检测试验，其土钉位移测读和加、卸载应符合下列规定：

1 初始荷载下，应测读土钉位移基准值 3 次，当每间隔 5min 的读数相同时，方可作为土钉位移基准值；

2 每级加、卸载稳定后，在观测时间内测读土钉位移不应少于 3 次；

3 当观测时间内土钉位移增量不大于 1.0mm 时，可视为位移收敛；否则观测时间应延长至 60min，并应每隔 10min 测读土钉位移 1 次；当该 60min 内土钉位移增量小于 2.0mm 时，可视为土钉位移收敛，否则视为不收敛。

**D.0.14** 土钉试验中遇下列情况之一时，应终止继续加载：

1 从第二级加载开始，后一级荷载产生的单位荷载下的土钉位移增量大于前一级荷载产生的单位荷载下的土钉位移增量的 5 倍；

2 土钉位移不收敛；

3 土钉杆体破坏。

**D.0.15** 试验应绘制土钉的荷载-位移 ( $Q-s$ ) 曲线。土钉的位移不应包括试验反力装置的变形。

**D.0.16** 土钉极限抗拔承载力标准值应按下列方法确定：

1 土钉的极限抗拔承载力，在某级试验荷载下出现本规程 D.0.14 条规定的终止继续加载情况时，应取终止加载时的前一级荷载值；未出现时，应取终止加载时的荷载值；

2 参加统计的试验土钉，当满足其级差不超过平均值的 30% 时，土钉极限抗拔承载力标准值可取平均值；当级差超过平均值的 30% 时，宜增加试验土钉的数量，并应根据级差过大的原因，按实际情况重新进行统计后确定土钉极限抗拔承载力标准值。

**D.0.17** 检测试验中，在抗拔承载力检测值下，土钉位移稳定或收敛应判定土钉合格。

## 附录 E 基坑涌水量计算

**E.0.1** 群井按大井简化时, 均质含水层潜水完整井的基坑降水总涌水量可按下式计算 (图 E.0.1):

$$Q = \pi k \frac{(2H - s_d) s_d}{\ln \left( 1 + \frac{R}{r_0} \right)} \quad (\text{E.0.1})$$

- 式中  $Q$ ——基坑降水总涌水量,  $\text{m}^3/\text{d}$ ;  
 $k$ ——渗透系数,  $\text{m}/\text{d}$ ;  
 $H$ ——潜水含水层厚度,  $\text{m}$ ;  
 $s_d$ ——基坑地下水位的設計降深,  $\text{m}$ ;  
 $R$ ——降水影响半径,  $\text{m}$ ;  
 $r_0$ ——基坑等效半径,  $\text{m}$ ; 对于多边形基坑, 按  $r_0 = \sqrt{A/\pi}$  计算; 对于狭长形基坑, 可按  $r_0 = b/2$  计算;  
 $A$ ——基坑面积,  $\text{m}^2$ ;  
 $b$ ——狭长形基坑短边的平均宽度,  $\text{m}$ 。

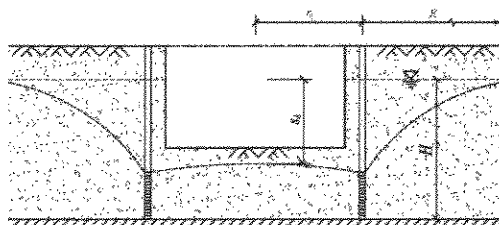


图 E.0.1 均质含水层潜水完整井的基坑涌水量计算

**E.0.2** 群井按大井简化时, 均质含水层潜水非完整井的基坑降水

总涌水量可按下式计算 (图 E.0.2):

$$Q = \pi k \frac{H^2 - h^2}{\ln\left(1 + \frac{R}{r_0}\right) + \frac{h_w - l}{l} \ln\left(1 + 0.2 \frac{h_m}{r_0}\right)} \quad (\text{E.0.2-1})$$

$$h_m = \frac{H + h}{2} \quad (\text{E.0.2-2})$$

式中  $h$  —— 降水后基坑内的水位高度, m;

$l$  —— 过滤器进水部分的长度, m。

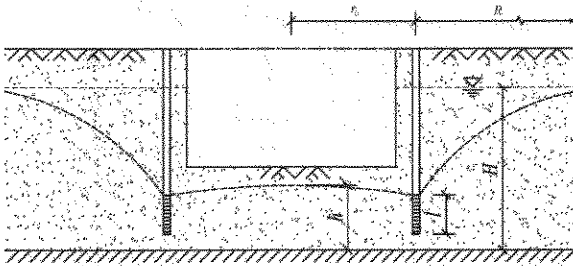


图 E.0.2 均质含水层潜水非完整井的基坑涌水量计算

**E.0.3** 群井按大井简化时, 均质含水层承压水完整井的基坑降水总涌水量可按下式计算 (图 E.0.3):

$$Q = 2\pi k \frac{Ms_d}{\ln\left(1 + \frac{R}{r_0}\right)} \quad (\text{E.0.3})$$

式中  $M$  —— 承压水含水层厚度, m。

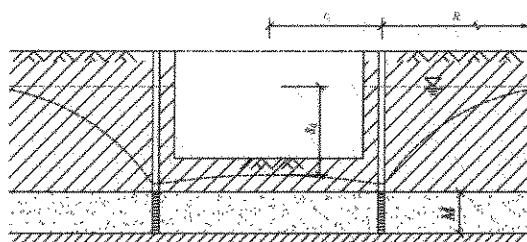


图 E.0.3 均质含水层承压水完整井的基坑涌水量计算

**E.0.4** 群井按大井简化时，均质含水层承压水非完整井的基坑降水总涌水量可按下式计算（图 E.0.4）：

$$Q = 2\pi k \frac{Ms_d}{\ln\left(1 + \frac{R}{r_0}\right) + \frac{M-l}{l} \ln\left(1 + 0.2 \frac{M}{r_0}\right)} \quad (\text{E.0.4})$$

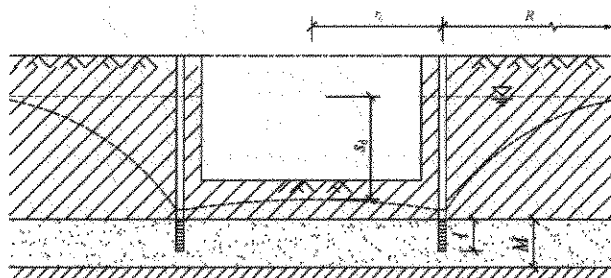


图 E.0.4 均质含水层承压水非完整井的基坑涌水量计算

**E.0.5** 群井按大井简化时，均质含水层承压水—潜水完整井的基坑降水总涌水量可按下式计算（图 E.0.5）：

$$Q = \pi k \frac{(2H_0 - M)M - h^2}{\ln\left(1 + \frac{R}{r_0}\right)} \quad (\text{E.0.5})$$

式中  $H_0$ ——承压水含水层的初始水头，m。

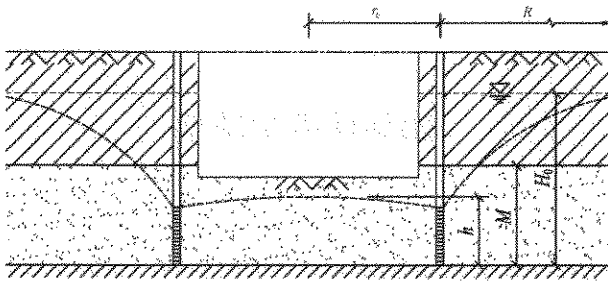


图 E.0.5 均质含水层承压水—潜水完整井的基坑涌水量计算

## 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”；

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 《建筑地基基础设计规范》 GB 50007
- 2 《建筑结构荷载规范》 GB 50009
- 3 《混凝土结构设计规范》 GB 50010
- 4 《钢结构设计规范》 GB 50017
- 5 《建筑结构可靠度设计统一标准》 GB 50068
- 6 《工程结构可靠性设计统一标准》 GB 50153
- 7 《建筑基坑工程监测技术规范》 GB 50497
- 8 《建筑地基基础工程施工质量验收规范》 GB 50202
- 9 《混凝土结构工程施工质量验收规范》 GB 50204
- 10 《预应力混凝土用钢丝》 GB/T 5223
- 11 《预应力混凝土用钢绞线》 GB/T 5224
- 12 《建筑基坑支护技术规程》 JGJ 120
- 13 《建筑与市政降水工程技术规范》 JGJ/T 111



吉林省工程建设地方标准

# 建筑基坑支护技术规程

DB22/JT145-2015

条文说明

2015·长春

## 修订说明

《建筑基坑支护技术规程》DB22/JT145-2015，经吉林省住房和城乡建设厅 2015 年 11 月 2 日第 387 号公告批准、发布。

本规程是在《建筑基坑支护技术规程》DB22/T1051-2011 基础上修订而成，上一版的主编单位是吉林省中鼎建筑设计有限公司，参编单位是吉林省玉础地基基础工程有限公司、吉林建筑大学、长春市市政工程设计研究院、长春市水资源管理办公室，主要起草人是孟凡林、姚平、刘殿中、孟祥瑞、侯兆玉、田禄霞、林晟、侯宪宝、曹成立、陈志达。本次修订的主要内容是：1 强调了变形控制设计原则；2 调整了选用土的抗剪强度指标的规定；3 调整和补充了支护结构的几种稳定性验算；4 调整了部分稳定性验算表达式；5 改进了不同施工工艺下锚杆粘结强度取值的有关规定；6 新增了内支撑、支护与主体结构相结合及逆作法、双排桩；7 引入了土钉墙土压力调整系数；8 充实了各类支护结构构造与施工的有关规定；9 增加了地下水控制。

本规程修订过程中，编制组进行了我省基坑支护应用情况的调查研究，总结了我省工程建设中基坑支护领域的实践经验，同时参考了现行行业技术标准和现行其他省、市的地方技术标准。

为了便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规程时能正确理解和执行条文规定，编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，对条文的目的、依据以及执行中需要注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与规程正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规程规定的参考。

## 目 次

1 总则	135
3 基本规定	136
3.1 设计原则	136
3.2 岩土工程勘察	138
3.3 支护结构选型	138
3.4 水平荷载	139
3.5 质量检验	140
3.6 基坑开挖	140
3.7 基坑监测	141
4 基坑稳定性	142
4.1 一般规定	142
4.2 整体稳定性验算	142
4.3 坑底抗隆起稳定性验算	142
4.4 嵌固稳定性验算	143
4.5 渗透稳定性验算	143
5 放坡	144
5.1 一般规定	144
5.2 设计	144
5.3 施工	144
6 排桩、地下连续墙	146
6.1 结构分析	146
6.2 排桩、地下连续墙截面承载力计算	149
6.3 锚杆计算	149

6.4	排桩、地下连续墙、锚杆的构造要求	151
6.5	排桩、地下连续墙、锚杆的施工	154
6.6	排桩、地下连续墙、锚杆的质量检测	157
6.7	内支撑结构设计	157
6.9	支护结构与主体结构的结合及逆作法	159
6.10	双排桩设计	163
7	土钉墙	166
7.1	一般规定	166
7.2	设计	166
7.3	施工	168
7.4	质量检验与监测	168
8	地下水控制	170
8.1	一般规定	170
8.2	截水	171
8.3	降水	172
8.4	集水明排	173
8.5	降水引起的地层变形计算	173

# 1 总 则

**1.0.1** 本规程是在《建筑基坑支护技术规程》DB22/T1051-2011（以下简称原规程）基础上修订，原规程是我省第一本建筑基坑支护技术标准，自2011年12月7日实行以来，对促进我省在基坑支护设计方法与施工技术上的规范化，提高基坑工程的设计施工质量起到了积极作用。基坑工程在建筑行业内属于高风险的技术领域，全省基坑工程事故时有发生。不合理的设计与低劣的施工质量是造成这些事故的主要原因。基坑工程中保证环境安全与工程安全，提高支护水平，控制施工质量，同时合理的降低工程造价，是从事基坑工程工作的技术与管理人员应遵守的基本原则。

基坑支护在功能上的一个显著特点是，它不仅用于为主体地下结构的施工创造条件和保证施工安全，更为重要的是保护周边环境不受危害。基坑支护在保护环境方面的要求，对城镇地域尤为突出。对此，工程建设及监理单位、基坑支护设计及施工单位乃至工程建设监督管理部门应该引起高度关注。

**1.0.2** 本条主要阐明本规程的适用范围，对于其它非建筑基坑工程，或本规程未作出规定的其它支护方法，并非排除不可使用，仍可参照使用。

**1.0.3** 本条主要明确了建筑基坑支护工程应考虑的主要因素及对设计、施工、监测提出总的要求。强调设计与施工应充分了解和掌握与基坑支护有关的资料数据，考虑因地因时，做到细致勘察、科学设计、精心施工、严格检测和监测。

**1.0.4** 本条与《吉林省建筑边坡与深基坑工程管理办法（暂行）》吉建安[2014]28号文件保持一致。

## 3 基本规定

### 3.1 设计原则

**3.1.1** 建筑基坑支护工程，一般情况下均为临时性构筑物。控制目标应保证支护结构正常使用一年。本规程所有条款，在没有特别注明时，均应以此为控制目标。基坑支护工程越冬应采取维护措施。

**3.1.2** 本条规定的目的，是明确基坑支护工程不能为了考虑本工程项目的要求和利益，而损害环境和相邻建（构）筑物所有权人的利益。

**3.1.3** 依据现行国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153-2008 的规定并结合基坑工程自身的特殊性，本条对承载能力极限状态与正常施工极限状态这两类极限状态在基坑支护中的具体表现形式进行了归类，目的是使工程技术人员能够对基坑支护各类结构的各种破坏形式有一个总体认识，设计时对各种破坏模式和影响正常使用状态进行控制。

**3.1.4** 本条的极限状态设计方法的通用表达式依据现行国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153-2008 而定，是本规程各章各种支护结构统一的设计表达式。对承载能力极限状态，由材料强度控制的结构构件的破坏类型采用极限状态设计法，按本规程公式（3.1.4-1）给出的表达式进行设计计算和验算，荷载效应采用荷载基本组合的设计值，抗力采用结构构件的承载力设计值并考虑结构构件的重要性系数。涉及岩土稳定性的承载能力极限状态，采用单一安全系数法，按本规程公式（3.1.4-3）给出的表达式进行计算和验算。本规程的修订，对岩土稳定性的承载能力极限状态问题

恢复了传统的单一安全系数法，一是由于现行国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153-2008 中明确提出了可以采用单一安全系数法，不会造成与基本规范不协调统一的问题；二是由于国内岩土工程界目前仍普遍认可单一安全系数法，单一安全系数法适用于岩土工程问题。以支护结构水平位移限值等为控制指标的正常使用极限状态的设计表达式也与有关结构设计规范保持一致。

**3.1.5** 建筑基坑侧壁安全等级划分主要是为了在基坑支护工程设计、施工、监控中根据基坑工程的不同条件而分别对待。

**3.1.6** 本条强调支护结构设计应考虑其结构水平变形、地下水的变化对周边环境的水平及竖向变形的影响，从而根据允许的受影响程度确定支护结构的水平变形控制限值。其限值应满足正常使用要求或根据工程经验确定。当无明确的设计要求及工程经验值时，应按本规程表（3.1.6）控制。本规程表（3.1.6）参考了国内其他省市的变形控制标准。

**3.1.10** 支护结构简化为平面结构模型计算时，沿基坑周边的各个竖向平面的设计条件常常是不同的。除了各部位基坑深度、周边环境条件及附加荷载可能不同外，地质条件的变异性是支护结构不同于上部结构的一个很重要的特性。自然形成的多层土，各土层的分布及厚度往往在基坑尺度的范围内就存在较大的差异。因而，当基坑深度、周边环境及地质条件存在差异时，这些差异对支护结构的土压力荷载的影响不可忽略。本条强调了按基坑周边的实际条件划分设计与计算剖面的原则和要求，具体划分为多少个剖面根据工程的实际情况来确定，每一个剖面也应按剖面内的最不利情况取设计计算参数。

**3.1.11** 本条对各章土压力、土的各种稳定性验算公式中涉及的土的抗剪强度指标的试验方法进行了归纳并作出统一规定。由于各章有关公式很多，在各个公式中一一指明其试验方法和指标类型难免重复累赘，因此，在这里作出统一说明，应用具体章节的公式计算时，应与此对照，防止误用。

## 3.2 岩土工程勘察

**3.2.1** 根据主体结构的初勘阶段成果可对基坑支护提出支护方案选择的建议。因此，本条对初勘不做专门规定，而只要求根据初勘成果提出基坑支护方案的初步选择建议。

**3.2.2** 本条规定了基坑支护工程对勘察工作的要求，第 5 款特别强调了人工堆积层的勘察要求。

**3.2.3** 对地下水作用的正确认识分析及其相关问题的妥当处理是支护结构设计成功的一个重要条件。因此，应认真查明地下水的性质和特性，并对地下水对基坑支护结构及周边环境的影响提出相应的措施建议，作为设计参考。

## 3.3 支护结构选型

**3.3.1** 本条根据本地区深基坑工程实践经验及常用支护结构形式，规定了适用条件。其中采用单一土钉墙支护，规定使用深度不宜超过 10m，其安全等级与现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120-2012 保持一致。但根据吉林省地区经验，本条明确当与排桩、地下连续墙等组合使用时，可突破此深度限制及安全等级限制。

**3.3.3** 本条主要针对本地区经常选用基坑上部采用放坡或土钉墙、下部采用排桩或地下连续墙的组合支护型式，在实际设计中往往不考虑桩（墙）顶部以上土体与桩（墙）支护结构间的相互影响而导致计算中低估上部土体对桩（墙）支护结构的作用效应、使计算结果偏于不安全。下部桩（墙）支护结构的安全储备，随着上部放坡或土钉墙支护结构的高度的增大而降低，特别当放坡或土钉墙支护结构的高度大于基坑深度的 1/2 时，其降低幅度明显。因此本条强调，当上部放坡或土钉墙支护的高度大于基坑总深度的 1/2 时，应考虑桩（墙）顶部以上土体与桩（墙）支护结构间的相互影响并按本规程第 3.4.8 条第 2 款的简化方法计算，同时应严格控制桩（墙）

顶部的水平位移。

### 3.4 水平荷载

**3.4.1** 支护结构作为分析对象时,作用在支护结构上的力或间接作用为荷载。除土体直接作用在支护结构上形成土压力之外,周边建筑物、施工材料、设备、车辆等荷载虽未直接作用在支护结构上,但其作用通过土体传递到支护结构上,也对支护结构上土压力的大小产生影响。土的冻胀、温度变化也会使土压力发生改变。本条列出影响土压力的常见因素,其目的是为了在土压力计算时,要把各种影响因素考虑全。基坑周边建筑物、施工材料、设备、车辆等附加荷载传递到支护结构上的附加竖向应力的计算,本规程第 3.4.6 条、第 3.4.7 条给出了简化的具体计算公式。

**3.4.2** 作用在支护结构上的水平荷载的计算是一个比较复杂的问题,受多方面因素影响,如:土层分布随空间的变化只能靠有限的勘察钻孔描述,土的抗剪强度指标取值的误差,地下水水压力的作用和土体含水量变化的影响,基坑开挖产生土和支护结构的变形所引起土压力的重分布,地下构筑物对土压力的影响等。目前,鉴于常用的经典朗肯土压力和库仑土压力理论都有自身的适用条件及上述因素,提出应结合经验选择合理计算方法。由于大多数情况下,朗肯土压力假定和适用范围与基坑支护结构的条件较为接近,能用简单的公式进行分层土的土压力分布的计算,因此,在国内采用的较多并积累了一定的工程应用经验,本规程采用了朗肯土压力计算方法。由于地下水作用的区别,对粘性土、黏质粉土采用水土合算的计算公式,对砂质粉土、砂土、碎石土采用水土分算的计算公式。

**3.4.6** 支护结构外侧的附加荷载,包括周边建筑物荷载、地面施工荷载、道路车辆荷载等,会对支护结构土压力产生一定作用,特别是建筑物荷载对支护结构的作用明显。因各种附加竖向荷载对土压力的影响不可忽略,本条给出了不同几何形状分布荷载产生的土

层附加竖向应力的计算公式。这些计算公式都是简化公式，虽存在一定误差，但基本上能满足工程应用。

### 3.5 质量检验

**3.5.2** 保证基坑安全是基坑支护最重要的目的，基坑侧壁安全等级为一级的基坑，破坏后影响极大，必须确保构件的质量，因此应进行质量检验。而对于构件质量有缺陷会影响基坑侧壁安全的二、三级支护结构，也应进行质量检验。

### 3.6 基坑开挖

**3.6.3** 本条规定了基坑开挖方案应包括的内容，特别强调应考虑与支护结构形式相适应的开挖方式、开挖时间、开挖顺序、降排水措施、监测方案以及对支护结构、周围建（构）筑物、管线需采取保护措施等的重要性。

**3.6.5~3.6.7** 基坑支护工程属住房和城乡建设部《危险性较大的分部分项工程安全管理办法》建质〔2009〕87号文中的危险性较大的分部分项工程范围，施工与基坑开挖不当会对基坑周边环境和人的生命安全和健康酿成严重后果。

基坑开挖面上方的锚杆、支撑、土钉未达到设计要求时向下超挖土方，临时性锚杆或支撑在未达到设计拆除条件时进行拆除，基坑周边施工材料、设施或车辆荷载超过设计地面荷载限值，致使支护结构受力超越设计状态，均属严重违反设计要求进行施工的行为。

锚杆、支撑、土钉未按设计要求设置，锚杆和土钉注浆体、混凝土支撑和混凝土腰梁的养护时间不足而未达到开挖时的设计承载力，锚杆、支撑、腰梁、挡土构件之间的连接强度未达到设计强度，预应力锚杆、预加轴力的支撑未按设计要求施加预加力等情况

均属未达到设计要求。

当主体地下结构施工过程中需要拆除局部锚杆或支撑时，拆除锚杆或支撑后支护结构的状态是应考虑的设计工况之一。拆除锚杆或支撑的设计条件，即以主体地下结构构件进行替换的要求或将基坑回填高度的要求等，应在设计中明确规定。基坑周边设施是指施工设备、塔吊、临时建筑、广告牌等，其对支护结构作用可按地面荷载考虑。

**3.6.9** 施工作业面与锚杆、土钉或支撑的高差不宜大于 0.5m，是施工正常作业的要求。不同的施工设备和施工方法，对其施工面高度要求是不同的，可能的情况下应尽量减小这一高度。

### 3.7 基坑监测

**3.7.1~3.7.10** 这几条主要对监测内容、监测方法及监测报告提出了具体规定，并与现行国家标准《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497-2009 保持一致。

## 4 基坑稳定性

### 4.1 一般规定

**4.1.1** 本条规定了排桩、地下连续墙、土钉墙和放坡开挖应验算的稳定性内容。并对支挡结构的嵌固构造要求作出修改，与现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120-2012 保持一致。

### 4.2 整体稳定性验算

**4.2.1** 与原规程相比，本条圆弧滑动整体稳定计算公式拓展了适用范围，增加了土钉和锚杆拉力对圆弧滑动体圆心的抗滑力矩项。但是验算土钉墙圆弧滑动整体稳定时，应分别验算每个工况下的圆弧滑动整体稳定性。另外考虑了水压力的作用，可用于滑弧面同时穿过砂土、黏性土的整体稳定验算。安全系数也调整为和现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120-2012 保持一致。

### 4.3 坑底抗隆起稳定性验算

**4.3.1** 本条采用了常见的以极限平衡理论为基础的 Prandtl(普朗德尔)地基极限承载力方法得出的公式。安全系数调整为与现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120-2012 保持一致。但当挡土构件嵌固深度很小时，不能采用该公式验算坑底隆起稳定性。

**4.3.3** 本条以最下层支点为转动轴心的圆弧滑动模式的稳定性验算方法是我国软土地区习惯采用的方法。特别是上海地区，在这方

面积累了大量工程经验,实际工程中常常以这种方法作为挡土构件嵌固深度的控制条件。该方法假定破坏面为通过桩、墙底的圆弧形,以力矩平衡条件进行分析。现有资料中,力矩平衡的转动点有的取在最下道支撑或锚拉点处,有的取在开挖面处。本规程验算公式取转动点在最下道支撑或锚拉点处。在平衡力系中,桩、墙在转动点截面处的抗弯力矩在嵌固深度近于零时,会使计算结果出现反常情况,在正常设计的嵌固深度下,与总的抵抗力矩相比所占比例很小,因此在本规程公式(4.3.3)中被忽略不计。

本条参照上海规范,对安全等级为一级、二级、三级的支挡结构,其安全系数分别取2.2、1.9和1.7。

#### 4.4 嵌固稳定性验算

**4.4.1、4.4.2** 单支点支挡式结构嵌固稳定性验算与原规程相比,公式做了调整,原规程以支点力对桩(墙)底取距,主、被动土压力合力对桩(墙)底取距。本规程以主、被动土压力合力对支点取距。安全系数调整为和现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120-2012保持一致。

#### 4.5 渗透稳定性验算

**4.5.1、4.5.2** 本规程公式(4.5.1)、公式(4.5.2)是两种典型渗流模型的渗透稳定性验算公式。其中本规程公式(4.5.2)用于渗透系数为常数的均质含水层的渗透稳定性验算,本规程公式(4.5.1)用于基底下有水平向连续分布的相对隔水层,而其下方为承压含水层的渗透稳定性验算(即所谓突涌)。如该相对隔水层顶板低于基底,其上方为砂土等渗透性较强的土层,其重量对相对隔水层起到压重的作用,所以,按本规程公式(4.5.1)验算时,隔水层上方的砂土等应按天然重度取值。

## 5 放坡

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 当土体本身应具有一定自稳能力，又不受地下水影响，同时周边环境条件允许时，可采用放坡。

**5.1.3** 放坡基坑坡面面层多采用塑料布或锚喷混凝土覆盖，我省属严寒地区，季节性冻胀和消融作用对基坑坡面影响极大，如基坑经历冬季，基坑坡面表层土体产生冻胀、消融。导致表层土松软、面层破坏等，进一步可能引发基坑滑塌的危险。因此本条强调放坡基坑越冬时应采取防冻胀措施。

### 5.2 设计

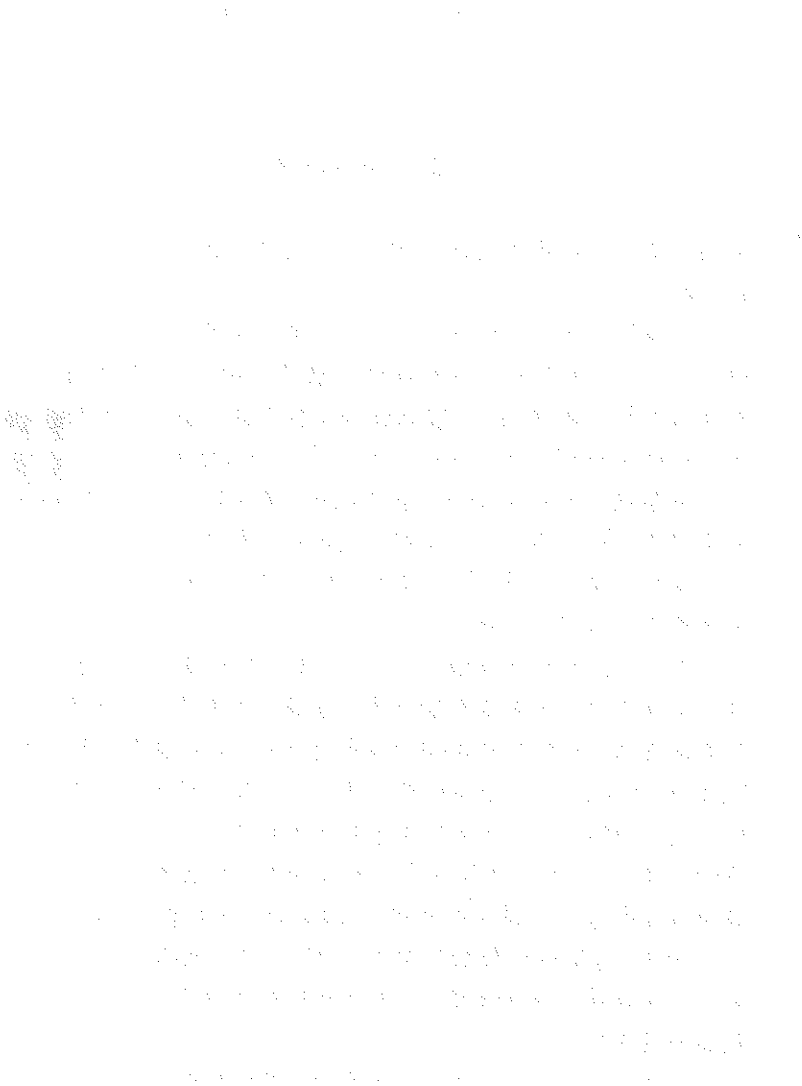
**5.2.4~5.2.6** 对于土质边坡稳定分析计算，本规程采用考虑平面问题的瑞典条分法是基于该方法计算简单、方便，工程应用较为普及的原因。当采用多级边坡时，应对每一级段边坡分别验算稳定性。

### 5.3 施工

**5.3.1** 土层中含水量的变化对边坡稳定性影响很大，所以在施工中要做好外来水的疏排至关重要。

**5.3.2** 为防止由于土体裸露，使坡面土体风化而塌落，应对放坡坡面采取保护处理。坡脚是最薄弱地方，往往被忽视，尤其在基坑底周边设置的排水沟，对于砂性土层，很容易与水一起涌出，造成坡

脚失稳，建议排水沟应离开坡脚至少 300mm，并做好防“淤”处理。



## 6 排桩、地下连续墙

### 6.1 结构分析

**6.1.1** 支挡式结构应根据具体形式与受力、变形特性等采用下列分析方法：

本条第1款~3款方法的分析对象为支护结构本身，不包括土体。土体对支护结构的作用视作荷载或约束。这种分析方法将支护结构看作杆系结构，一般都按线弹性考虑，是目前最常用和成熟的支护结构分析方法，适用于大部分支挡式结构。

本条第1款针对锚拉式支挡结构，是对如何将空间结构分解为两类平面结构的规定。首先将结构的挡土构件部分（如：排桩、地下连续墙）取作分析对象，按梁计算。挡土结构宜采用平面杆系结构弹性支点法进行分析。

由于挡土结构端部嵌入土中，土对结构变形的约束作用与通常结构支承不同，土的变形影响不可忽略，不能看作固支端。锚杆作为梁的支承，其变形的影响同样不可忽略，也不能作为铰支座或滚轴支座。因此，挡土结构按梁计算时，土和锚杆对挡土结构的支承应简化为弹性支座，应采用本节规定的弹性支点法计算简图。经计算分析比较，分别用弹性支点法和非弹性支座计算的挡土结构内力 and 位移相差较大，说明按非弹性支座进行简化是不合适的。

腰梁、冠梁的计算较为简单，只需以挡土结构分析时得出的支点力作为荷载，根据腰梁、冠梁的实际约束情况，按简支梁或连续梁算出其内力。

本条第2款针对支撑式支挡结构，其结构的分解简化原则与锚

拉式支挡结构相同。同样，首先将结构的挡土构件部分（如排桩、地下连续墙）取作分析对象，按梁计算。挡土结构宜采用第平面杆系弹性支点法进行分析。分解出的内支撑结构按平面结构进行分析；将挡土结构分析时得出的支点力作为荷载反向加至内支撑上，内支撑计算分析的具体要求见本规程第 6.7 节。值得注意的是，将内支撑支挡结构分解为挡土结构和内支撑结构并分别计算时，在其连接处是应满足变形协调条件的。当计算的变形不协调时，应调整在其连接处简化的弹性支座的弹簧刚度等约束条件，直至满足变形协调。

本条第 3 款悬臂式支挡结构是支撑式和锚拉式支挡结构的特例，对挡土结构而言，只是将锚杆或支撑所简化的弹性支座取消即可。双排桩支挡结构按平面化刚架简化，具体计算模型见本规程第 6.10 节。

本条第 4 款针对空间结构体系和针对支护结构与土为一体进行整体分析的两种方法。

实际的支护结构一般都是空间结构。空间结构的分析方法复杂，当有条件时，希望根据受力状态的特点和结构构造，将实际结构分解为简单的平面结构进行分析。本规程有关支挡式结构计算分析的内容主要是针对平面结构的。但会遇到一些特殊情况，按平面结构简化难以反映实际结构的工作状态。此时，需要按空间结构模型分析。但空间结构的分析方法复杂，不同问题要不同对待，难以作出细化的规定。通常，需要在有经验时，才能建立起合理的空间结构模型。按空间结构分析时，应使结构的边界条件与实际情况足够接近，这需要设计人员有较丰富的结构设计经验和较高的水平。

考虑结构与土相互作用的分析方法是岩土工程中先进的计算方法，是岩土工程计算理论和计算方法的发展方向，但需要可靠的理论依据和试验参数。目前，将该类方法对支护结构计算分析的结果直接用于工程设计中尚不成熟，仅能在已有成熟方法计算分析结

果的基础上用于分析比较,不能滥用。采用该方法的前提是要有足够把握和经验。

传统和经典的极限平衡法可以手算,在许多教科书和技术手册中都有介绍。由于该方法的一些假定与实际受力状况有一定差别,且不能计算支护结构位移,目前已很少采用了。经与弹性支点法的计算对比,在有些情况下,特别是对多支点结构,两者的计算弯矩与剪力差别较大。本规程取消了极限平衡法计算支护结构的方法。

**6.1.2** 基坑支护结构的有些构件,如锚杆与支撑,是随基坑开挖过程逐步设置的,基坑需按锚杆或支撑的位置逐层开挖。支护结构设计状况,是指设计时就要拟定锚杆和支撑与基坑开挖的关系,设计好开挖与锚杆或支撑设置的步骤,对每一开挖过程支护结构的受力与变形状态进行分析。因此,支护结构施工和基坑开挖时,只有按设计的开挖步骤才能满足符合设计受力状况的要求。一般情况下,基坑开挖到基底时受力与变形最大,但有时也会出现开挖中间过程支护结构内力最大,支护结构构件的截面或锚杆抗拔力按开挖中间过程确定的情况。特别是,当用结构楼板作为支撑替代锚杆或支护结构的支撑时,支护结构内力可能会是最大的。

**6.1.3~6.1.10** 这几条是对弹性支点法计算方法的规定。弹性支点法的计算要求,总体上沿用了《建筑基坑技术规程》JGJ 120-99 的模式,主要在以下方面做了变动:

- 1 土的反力项由  $p_s=k_s v$  改为  $p_s=k_s v+p_{s0}$ , 即增加了常数项  $p_{s0}$ ;
- 2 增加了挡土构件嵌固段的土反力上限值控制条件  $p_{sk} \leq E_{pk}$ 。由于土反力与土的水平反力系数的关系采用线弹性模型,计算出的土反力将随位移  $v$  增加线性增长。但实际上土的抗力是有限的,如采用摩尔-库仑强度准则,则不应超过被动土压力,即以  $p_{sk} = E_{pk}$  作为土反力的上限;

- 3 计算土的水平反力系数的比例系数  $m$  值的经验公式本规程公式 (6.1.6),是现行行业标准《建筑基坑技术规程》JGJ 120-2012

根据大量实际工程的单桩水平载荷试验，按公式  $m = \left[ \frac{H_{sk}}{x_{cr}} \right]^3 / b_0 (EI)^2$  经与土层的  $c$ 、 $\varphi$  值进行统计建立的；

4 排桩嵌固段土反力的计算宽度，将《建筑基坑技术规程》JGJ 120-99 的方形桩公式改为矩形桩公式，并适用于工字形桩，对桩径或桩的宽度大于 1m 的情况，改用本规程公式(6.1.7-2)和本规程公式 (6.1.7-4) 计算。

## 6.2 排桩、地下连续墙截面承载力计算

**6.2.1** 对于荷载分项系数本规范编制时采用现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120-2012 的取值 1.25，另外，本规程公式 (6.2.1-1) 和本规程公式 (6.2.1-2) 中增加了弯矩折减系数  $\eta$ 。并规定：当采用悬臂式桩墙临时支护时， $\eta$  取 0.9，其它情况  $\eta$  取 0.8；当地下连续墙兼做地下室外墙时， $\eta$  取 1.0；其理由是考虑目前本地区的实际工程经验，对作为临时性的支护结构，对有经验的地区和充分了解的地层，一定程度上放宽了安全度的标准。但实际设计时要慎用， $\eta$  值不能低于 0.8。

**6.2.2** 由于现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 中没有圆形截面的斜截面承载力计算公式，所以采用了将圆形截面等代成矩形截面，然后再使用上述规范中矩形截面的斜截面承载力公式计算的方法。

## 6.3 锚杆计算

**6.3.1** 本次修订，锚杆长度设计采用了传统的安全系数法，锚杆杆体截面设计仍采用原规程的分项系数法。原规程中，锚杆承载力极限状态的设计表达式是采用分项系数法，其荷载分项系数、抗力分项系数和重要性系数三者的乘积在数值上相当于安全系数。对于安全等级为一级、二级、三级的支护结构分别相当于 1.7875、1.625、

1.4625。实践证明，该安全储备是合适的。本次修订规定临时支护结构中的锚杆抗拔安全系数对于安全等级为一级、二级、三级的支护结构分别取 1.8、1.6、1.4，与原规程取值相当。需要注意的是，当锚杆为永久结构构件时，其安全系数取值不能按照本规程的规定，需符合其他现行有关技术标准的规定。

**6.3.3** 本条强调了锚杆极限抗拔力应通过现场抗拔试验确定的取值原则。由于锚杆抗拔试验的目的是确定或验证在特定土层条件、施工工艺下锚固体与土体之间的粘结强度、锚杆长度等设计参数是否正确，因而试验时应使锚杆在极限承载力下，其破坏形式是锚杆摩阻力达到极限粘结强度时的拔出破坏，而不应是锚杆杆体被拉断。为防止锚杆杆体应力达到极限抗拉强度先于锚杆摩阻力达到极限粘结强度，必要时，试验锚杆可适当增加预应力筋的截面面积。

本规程表(6.3.3)采用现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120-2012。

**6.3.4** 锚杆自由段(非锚固段)长度是锚杆杆体不受注浆固体约束可自由伸长的部分，也就是杆体用套管与注浆固体隔离的部分。锚杆的锚固段是理论滑动面以外的部分，与锚杆自由段有所区别。锚杆自由段应超过理论滑动面。锚杆总长度为自由段长度加上锚固段长度。

锚杆的自由段长度越长，预应力损失越小，锚杆拉力越稳定。自由段长度过小，锚杆张拉锁定后的弹性伸长较小，锚具变形、预应力筋回缩等因素引起的预应力损失较大，同时，受支护结构位移的影响也越敏感，锚杆拉力会随支护结构位移有较大幅度增加，严重时锚杆会因杆体应力超过其强度发生脆性破坏。因此，锚杆的自由段长度除了满足本条规定外，尚需满足不小于 5m 的规定。自由段越长，锚杆拉力对锚头位移越不敏感。在实际基坑工程设计时，如计算的自由段较短，宜适当增加自由段长度。

## 6.4 排桩、地下连续墙、锚杆的构造要求

**6.4.1** 本条规定悬臂桩桩径不宜小于 600mm、锚拉式排桩与支撑式排桩桩径不宜小于 400mm，是通常情况下桩径的下限，桩径的选取主要还是应按弯矩大小与变形要求确定，以达到受力与桩承载力匹配，同时还要满足经济合理和施工条件的要求。

**6.4.2** 该条对混凝土灌注桩的构造规定，以保证排桩作为混凝土构件的基本受力性能。有些情况下支护桩不宜采用非均匀配置纵向钢筋，如，采用泥浆护壁水下灌注混凝土成桩工艺而钢筋笼顶端低于泥浆面，钢筋笼顶与桩的孔口高差较大等难以控制钢筋笼方向的情况。

**6.4.3** 桩间土的防护措施一般采用喷射混凝土护面的方法，鉴于目前本地区的基坑工程的使用季节条件，基坑的使用要经历雨季或者冬季，加之坑边不明地下水和场区施工和生活用水的影响，设计和施工中均要求进行护面。本规程也给出了可以不做护面的限值条件，可根据具体工程条件采用。采用止水帷幕和排桩结合的情形自然也应属于此类。

桩间土在存在有外来渗水影响的情况下，也应该充分重视泄水，以保证壁面的稳定，确保坑内作业的正常施工。

**6.4.5** 相对于排桩来说，地下连续墙支护结构在本地区采用的很少。一方面是本地区土层和地下水疏干条件较沿海软土地区要好，地下水降低引起的地面沉降也易于控制，另一方面也有施工周期和工程造价的因素。但是可以预计，随着城市建设开发的深入、基坑与相邻建（构）物关系的日趋复杂、随着国家对地下水资源管理的加强、随着规划建设中对红线管理的延伸，地下连续墙支护结构在本地区建筑基坑支护中的运用将会越来越多。

考虑较常用的抓斗规格的适应性以及支护深度，连续墙的厚度采用较多的是 600mm 和 800mm。水利水电项目的薄壁抓斗施工连续墙厚度可以为 400mm 甚至更小，一般多用于单纯堤防和库区的

防渗之用，用于建筑基坑支护也有其实用价值，但是对于厚度小于400mm以下的地下连续墙来说，完全可以用排桩和高压喷射注浆帷幕来代替，因此本条规定了最小厚度限制。

槽段划分与成槽施工工艺、土质条件、混凝土灌注方法等有关。单纯的抓斗单次开槽宽度一般为2.6m~2.8m，前后两个单元槽的长度就是6m，如果结合采用两钻（孔）配一抓或者三钻（孔）配两抓，前后两个单元槽的长度就接近8.0m。但在混凝土灌注中，一般采用两根导管同时灌注，根据相关规范的要求，导管之间的距离不超过3.0m，导管距槽段端部不超过1.5m，适宜常规灌注方式的槽段长度一般在6.0m左右。

**6.4.12** 本条是对桩（墙）顶冠梁的设置要求，排桩冠梁低于地下管线是从后期主体施工上考虑的。因为，当排桩及冠梁高于后期主体结构各种地下管线的标高时，会给后续的施工造成障碍，需将其凿除。所以，排桩桩顶的设计标高，在不影响支护桩顶以上部分基坑的稳定与基坑外环境对变形的要求时，宜避开主体建筑地下管线通过的位置。一般情况，主体建筑各种管线引出接口的埋深不大，是容易做到的，但如果将桩顶降至管线以下，影响了支护结构的稳定或变形要求，则应首先按基坑稳定或变形要求确定桩顶设计标高。

冠梁是排桩、地下连续墙结构的组成部分，应符合梁的构造要求。当冠梁上不设置锚杆或支撑时，冠梁可以仅按构造要求设计，按构造配筋。此时，冠梁的作用是将排桩连成整体，调整各个桩受力的不均匀性，不需对冠梁进行受力计算。当冠梁上设置锚杆或支撑时，冠梁起到传力作用，除需满足构造要求外，应按梁的内力进行截面设计。

**6.4.13** 锚杆布置是以排和列的群体形式出现的，如果其间距太小，会引起锚杆周围的高应力区叠加，从而影响锚杆抗拔力和增加锚杆位移，即产生“群锚效应”，所以本条规定了锚杆的最小水平间距和竖向间距。

为了使锚杆与周围土层有足够的接触应力,本条规定锚固体上覆土层厚度不宜小于 4.0m,上覆土层厚度太小,其接触应力也小,锚杆与土的粘结强度会较低。当锚杆采用二次高压注浆时,上覆土层有一定厚度才能保证在较高注浆压力作用下注浆不会从地表溢出或流入地下管线内。

理论上讲,锚杆水平倾角越小,锚杆拉力的水平分力所占比例越大。但是锚杆水平倾角太小,会降低浆液向锚杆周围土层内渗透而影响注浆效果。锚杆水平倾角越大,锚杆拉力的水平分力所占比例越小,锚杆拉力的有效部分减小或需要更长的锚杆长度,也就越不经济。同时锚杆的竖向分力较大,对锚头连接要求更高并使挡土构件有向下变形的趋势。本条规定了适宜的水平倾角的范围值,设计时,应按尽量使锚杆锚固段进入粘结强度较高土层的原则确定锚杆倾角。

锚杆施工时的塌孔、对地层的扰动,会引起锚杆上部土体的下沉,若锚杆之上存在建筑物、构筑物等,锚杆成孔造成的地基变形可能使其发生沉降甚至损坏,此类事故在实际工程中时有发生。因此,设置锚杆需避开易塌孔、变形的地层。

根据有关参考资料,当土层锚杆间距为 1.0m 时,考虑群锚效应的锚杆抗拔力折减系数可取 0.8,锚杆间距在 1.0m~1.5m 之间时,锚杆抗拔力折减系数可按此内插。

**6.4.16** 腰梁是锚杆与挡土结构之间的传力构件。钢筋混凝土腰梁一般是整体现浇,梁的长度较长,应按连续梁设计。组合型钢腰梁需在现场安装拼接,每节一般按简支梁设计,腰梁较长时,则可按连续梁设计。

**6.4.17** 根据工程经验,在常用的锚杆拉力、锚杆间距条件下,槽钢的规格常在 [18~ [36 之间选用,工字钢的规格常在 I6~I32 之间选用。具体工程中锚杆腰梁规格取值与锚杆的设计拉力和锚杆间距有关,应根据按本规程第 6.4.17 条规定计算的腰梁内力确定。锚杆的设计拉力或锚杆间距越大,内力越大,腰梁型钢的规格也就会

越大。组合型钢腰梁的双型钢焊接为整体，可增加腰梁的整体稳定性，保证双型钢共同受力。

**6.4.18** 对于组合型钢腰梁，锚杆拉力通过锚具、垫板以集中力的形式作用在型钢上。当垫板厚度不够大时，在较大的局部压力作用下，型钢腹板会出现局部失稳，型钢翼缘会出现局部弯曲，从而导致腰梁失效，进而引起整个支护结构的破坏。因此，设计需考虑腰梁的局部受压稳定性。加强型钢腰梁的受扭承载力及局部受压稳定性有多种措施和方法，如：可在型钢翼缘端口、锚杆锚具位置处配置加劲肋，肋板厚度一般不小于 8mm。

**6.4.19** 混凝土腰梁截面的上边水平尺寸不宜小于 250mm，是考虑到混凝土浇筑、振捣的施工要求而定。

**6.4.20** 组合型钢腰梁与挡土构件之间的连接构造，需有足够的承载力和刚度。连接构造一般不能有变形，或者变形相对于腰梁的变形可忽略不计。

## 6.5 排桩、地下连续墙、锚杆的施工

**6.5.2** 本条第 3 款：当地下连续墙邻近既有建（构）筑物或对变形敏感的地下管线时，应根据相邻建筑物的结构和基础形式、相邻地下管线的类型、位置、走向和埋藏深度及场地的工程地质和水文地质特性等因素，按其允许变形要求采取相应的防护措施。如：1) 采取间隔成槽的施工顺序，并在浇筑的混凝土终凝后，进行相邻槽段的成槽施工；2) 对松散或稍密的砂土和碎石土、稍密的粉土、软土等易坍塌的软弱土层，地下连续墙成槽时，可采取改善泥浆性质、槽壁预加固、控制单幅槽段宽度和挖槽速度等措施增强槽壁稳定性。

本条第 4 款：导墙是控制地下连续墙轴线位置及成槽质量的关键环节。导墙的形式有预制和现浇钢筋混凝土两种，现浇导墙较常用，质量易保证。现浇导墙形状有“L”、倒“L”、“[”

等形状,可根据地质条件选用。当土质较好时,可选用倒“L”形,采用“L”形导墙时,导墙背后应注意回填夯实。导墙上部宜与道路连成整体。当浅层土质较差时,可预先加固导墙两侧土体,并将导墙底部加深至原状土上。两侧导墙净距通常大于设计槽宽40mm~50mm,以便于成槽施工。

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

本条第5款:护壁泥浆的配比试验、室内性能试验、现场成槽试验对保证槽壁稳定性是很有必要的,尤其在松散或渗透系数较大的土层中成槽,更应注意适当增大泥浆比重,调整好泥浆配合比。对槽底稠泥浆和沉淀渣土的清除了可以采用底部抽吸同时上部补浆的方法,使底部泥浆比重降至1.2,减少槽底沉渣厚度。当泥浆配比不合适时,可能会出现槽壁较严重的坍塌,这时应将槽段回填,调整施工参数后再重新成槽。有时,调整泥浆配比能解决槽壁坍塌问题。

本条第6款:每幅槽段的长度,决定挖槽的幅数和次序。常用作法是:对三抓成槽的槽段,采用先抓两边后抓中间顺序;相邻两幅地下连续墙槽段深度不一致时,先施工深的槽段,后施工浅的槽段。

本条第7款:地下连续墙水下浇筑混凝土时,因成槽时槽壁坍塌或槽段接头安放不到位等原因都会导致混凝土绕流,混凝土一旦形成绕流会对相邻幅槽段的成槽和墙体质量产生不良影响,因此在工程中要重视混凝土绕流问题。

本条第11款:当单元槽段的钢筋笼必须分段装配沉放时,上下段钢筋笼的连接在保证质量的情况下应尽量采用连接快速的方

式。

**6.5.4** 本条第 2 款：锚杆成孔是锚杆施工的一个关键环节，主要应注意以下问题：

1)塌孔。造成锚杆杆体不能插入，使注浆液掺入杂物而影响固结体完整性和强度，影响握裹力和粘结强度，使钻孔周围土体塌落、建筑物基础下沉等。2)遇障碍物。使锚杆达不到设计长度，如果碰到电力、通信、煤气管线等地下管线会使其损坏并酿成严重后果。3)孔壁形成泥皮。在高塑性指数的饱和黏性土层及采用螺旋钻杆成孔时易出现这种情况，使粘结强度和锚杆抗拔力大幅度降低。4)涌水涌砂。当采用帷幕截水时，在地下水位以下特别是承压水土层成孔会出现孔内向外涌水冒砂，造成无法成孔、钻孔周围土体坍塌、地面或建筑物基础下沉、注浆液被水稀释不能形成固结体、锚头部位长期漏水等。

本条第 4 款：锚杆自由段杆体与锚固段注浆体隔断的措施有：

1)浆液注满后用自吸泵将自由段浆液吸走部分，并预留浆液下沉高度。2)锚杆杆体加工时，在自由段杆体与锚固段杆体分界处，加套直径与孔径相当，长度 10cm-15cm 的柔性材料，如苯板，发泡胶等。

本条第 13 款：锚杆张拉锁定时，张拉值大于锚杆轴向拉力标准值，然后将拉力固定在锁定值的 (1.1~1.15) 倍进行锁定。第一，是为了在锚杆锁定时对每根锚杆进行过程检验，当锚杆抗拔力不足时可事先发现，减少锚杆的质量隐患。第二，通过张拉可检验在设计荷载下锚杆各连接节点的可靠性。第三，可减小锁定后锚杆的预应力损失。

工程实测表明，锚杆张拉锁定后一般预应力损失较大，造成预应力损失的主要因素有土体蠕变、锚头及连接的变形、相邻锚杆影响等。锚杆锁定时的预应力损失约为 10%~15%。当采用的张拉千斤顶在锁定时不会产生预应力损失，则锁定时的拉力不需提高 10%~15%。

钢绞线多余部分宜采用冷切割方法切除,采用热切割时,钢绞线过热会使锚具夹片表面硬度降低,造成钢绞线滑动,降低锚杆预应力。当锚杆需要再次张拉锁定时,锚具外的杆体预留长度应满足张拉要求。确保锚杆不用再张拉时,冷切割的锚具外的杆体保留长度一般不小于 50mm,热切割时,一般不小于 80mm。

## 6.6 排桩、地下连续墙、锚杆的质量检测

本节借鉴现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120-2012 中相关排桩、地下连续墙、锚杆的质量检测内容,本规程第 6.6.1 条第 1 款桩身完整性检测数量按照成桩工艺的不同而区别对待,对于钻孔灌注桩稍微提高,对于预制桩稍微降低。

## 6.7 内支撑结构设计

**6.7.1** 钢支撑,不仅具有自重轻、安装和拆除方便、施工速度快、可以重复利用等优点,而且安装后能立即发挥支撑作用,对减小由于时间效应而产生的支护结构位移十分有效,因此,对形状规则的基坑常采用钢支撑。但钢支撑节点构造和安装相对复杂,需要具有一定的施工技术水平。

混凝土支撑是在基坑内现浇而成的结构体系。布置形式和方式基本不受基坑平面形状的限制,具有刚度大、整体性好、施工技术相对简单等优点,所以,应用范围较广。但混凝土支撑需要较长的制作和养护时间,制作后不能立即发挥支撑作用,需要达到一定的材料强度后,才能进行其下的土方开挖。此外,拆除混凝土支撑工作量大,一般需要采用爆破方法拆除,支撑材料不能重复使用,从而产生大量的废弃混凝土垃圾需要处理。

**6.7.3** 内支撑结构形式很多,从结构受力形式划分,可主要归纳为以下几类: 1)水平对撑或斜撑,包括单杆、桁架、八字形支撑。2)

正交或斜交的平面杆系支撑。3)环形杆系或板系支撑。4)竖向斜撑。每类内支撑形式又可根据具体情况有多种布置形式。一般来说,对面积不大、形状规则的基坑常采用水平对撑或斜撑;对面积较大或形状不规则的基坑有时需采用正交或斜交的平面杆系支撑;对圆形、方形及近似圆形的多边形的基坑,为能形成较大开挖空间,可采用环形杆系或环形板系支撑;对深度较浅、面积较大基坑,可采用竖向斜撑,但需注意,在设置斜撑基础、安装竖向斜撑前,无撑支护结构应能够满足承载力、变形和整体稳定要求。对各类支撑形式,支撑结构的布置要重视支撑体系总体刚度的分布,避免突变,尽可能使水平力作用中心与支撑刚度中心保持一致。

**6.7.5** 实际工程中支撑、冠梁、腰梁、排桩、地下连续墙以及立柱等连接成一体并形成空间结构。因此,在一般情况下应考虑支撑体系在平面上各点的不同变形与排桩、地下连续墙的变形协调作用而优先采用整体分析的空间分析方法。但是,支护结构的空间分析方法由于建立模型相对复杂,部分模型参数的确定也没有积累足够的经验,因此,目前将空间支护结构简化为平面结构的分析方法和平面有限元法应用较为广泛。

**6.7.6** 温度变化会引起钢支撑轴力改变,但由于对钢支撑温度应力的研究较少,目前对此尚无成熟的计算方法。温度变化对钢支撑的影响程度与支撑构件的长度有较大的关系,根据经验,对长度超过40m的支撑,认为可考虑10%~20%的支撑内力变化。

目前,内支撑的计算一般不考虑支撑立柱与挡土构件之间、各支撑立柱之间的差异沉降,但支撑立柱下沉或隆起,会使支撑立柱与排桩、地下连续墙之间,立柱与立柱之间产生一定的差异沉降。当差异沉降较大时,在支撑构件上增加的偏心距,会使水平支撑产生次应力。因此,当预估或实测差异沉降较大时,应按此差异沉降量对内支撑进行计算分析并采取相应措施。

**6.7.9** 预加轴向压力可减小基坑开挖后支护结构的水平位移、检验支撑连接结点的可靠性。但如果预加轴向力过大,可能会使支挡结

构产生反向变形、增大基坑开挖后的支撑轴力。根据以往的设计和施工经验，预加轴向力取支撑轴向压力标准值的(0.5~0.8)倍较合适。但特殊条件下，不一定受此限制。

**6.7.14** 钢支撑的整体刚度依赖于构件之间的合理连接，其构件的拼接尚应满足截面等强度的要求。常用的连接方法有螺栓连接和焊接。螺栓连接施工方便，速度快，但整体性不如焊接好。焊接一般在现场拼接，由于焊接条件差，对焊接技术水平要求较高。

## 6.9 支护结构与主体结构的结合及逆作法

**6.9.1** 支护结构与主体结构相结合，是指在施工期利用地下结构外墙或地下结构的梁、板、柱兼作基坑支护结构体系，不设置或仅设置部分临时基坑支护体系。它在变形控制、降低工程造价等方面具有诸多优点，是建设高层建筑多层地下室和其他多层地下结构的有效方法。将主体地下结构与支护结构相结合，其中蕴含巨大的社会、经济效益。支护结构与主体结构相结合的工程类型可采用以下几类：1)地下连续墙“两墙合一”结合坑内临时支撑系统；2)临时支护墙结合水平梁板体系取代临时内支撑；3)支护结构与主体结构全面相结合。

**6.9.2** 利用地下结构兼作基坑支护结构时，施工期和使用期的荷载状况和结构状态均有较大的差别，因此需要分别进行设计和计算，同时满足各种情况下承载能力极限状态和正常使用极限状态的设计要求。

**6.9.3** 与主体结构相结合的地下连续墙在较深的基坑工程中较为普遍。通常情况下，采用单一墙时，基坑内部槽段接缝位置需设置钢筋混凝土壁柱，并留设隔潮层、设置砖衬墙。采用叠合墙时，地下连续墙墙体内外表面需进行凿毛处理，并留设剪力槽和插筋等预埋措施，确保与内衬结构墙之间剪力的可靠传递。复合墙和叠合墙结构形式，在基坑开挖阶段，仅考虑地下连续墙作为基坑支护结构进

行受力和变形计算；在正常使用阶段，考虑内衬钢筋混凝土墙体的复合或叠合作用。

**6.9.5** 地下连续墙多为矩形，与圆形的钻孔灌注桩相比，成槽过程中的槽底沉渣更加难以控制，因此对地下连续墙进行注浆加固是必要的。当地下连续墙承受较大的竖向荷载时，槽底注浆有利于地下连续墙与主体结构之间的变形协调。

**6.9.6** 地下连续墙的防水薄弱点在槽段接缝和地下连续墙与基础底板的连接位置，因此应设置必要的构造措施保证其连接和防水的可靠性。

**6.9.7、6.9.8** 当采用梁板体系且结构开口较多时，可简化为仅考虑梁系的作用，在一定边界条件下，在周边水平荷载作用下的封闭框架的内力和变形计算，其计算结果是偏安全的。当梁板体系需考虑板的共同作用，或结构为无梁楼盖时，应采用平面有限元的方法进行整体计算分析，根据计算分析结果并结合工程经验，合理确定结构构件的内力。

当主体地下水平结构需作为施工期的施工作业面，供挖土机、土方车以及吊车等重载施工机械进行施工作业时，此时水平构件不仅需承受坑外水土的侧向水平向压力，同时还承受施工机械的竖向荷载。因此其构件的设计在满足正常使用阶段的结构受力及变形要求之外，尚需满足施工期水平向和竖向两种荷载共同作用下的受力和变形要求。

主体地下水平结构作为基坑施工期的水平支撑，需承受坑外传来的水土侧向压力。因此水平结构应具有直接的、完整的传力体系。如同层楼板面标高出现较大的高差时，应通过计算设置有效的转换结构以利于水平力的传递。另外，应在结构楼板出现较大面积的缺失区域以及地下各层水平结构梁板的结构分缝以及施工后浇带等位置，通过计算设置必要的水平支撑传力构件。

**6.9.9** 在主体地下水平结构与支护结构相结合的工程中，梁柱节点位置由于竖向支承钢立柱的存在，使得该位置框架梁钢筋穿越钢立

柱十分困难,将框架梁截面宽度适当加大,以缓解梁柱节点位置钢筋穿越的难度。当钢立柱采用钢管混凝土柱,且框架梁截面宽度较小,框架梁钢筋无法满足穿越要求时,可采取环梁节点、加强连接环板或双梁节点等措施,以满足梁柱节点位置各个阶段的受力要求。

**6.9.10~6.9.12** 支护结构与主体结构相结合工程中的竖向支承钢立柱和立柱桩一般尽量设置于主体结构柱位置,并利用结构柱下工程桩作为立柱桩,钢立柱则在基坑逆作阶段结束后外包混凝土形成主体结构劲性柱。

竖向支承立柱和立柱桩的位置和数量,要根据地下室的结构布置和制定的施工方案经计算确定,其承受的最大荷载,是地下室已修筑至最下一层,而地面上已修筑至规定的最高层数时的结构构件重量与施工超载的总和。除承载能力必须满足荷载要求外,钢立柱底部桩基础的主要设计控制参数是沉降量,目标是使相邻立柱以及立柱与地下连续墙之间的沉降差控制在允许范围内,以免结构梁板中产生过大附加应力,导致裂缝的发生。

型钢格构立柱是最常采用的钢立柱形式,在逆作阶段荷载较大,主体结构允许的情况下也可采用钢管混凝土立柱。

立柱桩浇筑过程中,混凝土导管需要穿过钢立柱,如果角钢格构柱边长过小,导管上拔过程中容易被卡住;如果钢管立柱内径过小,则钢管内混凝土的浇捣质量难以保证,因此需要对角钢格构柱的最小边长和钢管混凝土立柱的钢管最小直径进行规定。

竖向支承钢立柱由于柱中心的定位误差、柱身倾斜、基坑开挖或浇筑柱身混凝土时产生位移等原因,会产生立柱中心偏离设计位置的情况,过大偏心不仅造成立柱承载能力的下降,而且也会给正常使用带来问题。施工中必须对立柱的定位精度严加控制,并应根据立柱允许偏差按偏心受压构件验算施工偏心的影响。

**6.9.15** 为保证钢立柱在土体未开挖前的稳定性,要求在立柱桩施工完毕后必须对桩孔内钢立柱周边进行密实回填。

**6.9.16** 施工阶段用作材料和土方运输的留孔一般应尽量结合正常使用阶段的结构留洞进行布置。对于逆作施工结束后需封闭的预留孔,预留孔的周边需根据结构受力要求预留后续封梁板的连接钢筋或施工缝位置的抗剪件,同时应沿预留孔周边留设止水措施,以解决施工缝位置的止水问题。

施工孔洞应尽量设置在正常使用阶段结构开口的部位,以避免结构二次浇筑带来的施工缝止水、抗剪等后续难度较大、且不利于质量控制的处理工作。

**6.9.17** 地下水平结构施工的支模方式通常有土模法和支模法两种。土模法优点在于节省模板量,且无需考虑模板的支撑高度带来的超挖问题,但土模法由于直接利用土作为梁板的模板,在结构梁板混凝土自重的作用下,土模易发生变形进而影响梁板的平整度,不利于结构梁板施工质量的控制。因此,从保证永久结构的质量角度上,地下水平结构构件宜采用支模法施工,支护结构设计计算时,应计入采用支模法而带来的超挖量等因素。

逆作法的工艺特点决定地下部分的柱、墙等竖向结构均待逆作结束之后再进行施工,地下各层水平结构施工时必须预先留设好柱、墙竖向结构的连接钢筋以及浇捣孔。预留连接钢筋在整个逆作施工过程中须采取措施加以保护,避免潮气、施工车辆碰撞等因素作用下预留钢筋出现锈蚀、弯折。另外柱、墙施工时,应对二次浇筑的结合面进行清洗处理;对于受力大、质量要求高的结合面,可预留消除裂缝的压力注浆孔。

**6.9.19** 钢管混凝土立柱承受荷载水平高,但由于混凝土水下浇筑、桩与柱混凝土标号不统一等原因,施工质量控制的难度较高。为了确保施工质量满足设计要求,必须根据本规程第 6.9.19 条规定对钢管混凝土立柱进行严格检测。

## 6.10 双排桩设计

**6.10.1~6.10.4** 双排桩结构是本规程的新增内容。实际的基坑工程中，在某些特殊条件下，锚杆、土钉、支撑受到实际条件的限制而无法实施，而采用单排悬臂桩又难以满足承载力、基坑变形等要求或者采用单排悬臂桩造价明显不合理的情况下，双排桩刚架结构是一种可供选择的基坑支护结构形式。与常用的支挡式支护结构如单排悬臂桩结构、锚拉式结构、支撑式结构相比，双排桩刚架支护结构有以下特点：

1 与单排悬臂桩相比，双排桩为刚架结构，其抗侧移刚度远大于单排悬臂桩结构，其内力分布明显优于悬臂结构，在相同的材料消耗条件下，双排桩刚架结构的桩顶位移明显小于单排悬臂桩，其安全可靠、经济合理性优于单排悬臂桩；

2 与支撑式支挡结构相比，由于基坑内不设支撑，不影响基坑开挖、地下结构施工，同时省去设置、拆除内支撑的工序，大大缩短了工期。在基坑面积很大、基坑不太深的情况下，双排桩刚架支护结构的造价常低于支撑式支挡结构；

3 与锚拉式支挡结构相比，在某些情况下，双排桩刚架结构可避免锚拉式支挡结构难以克服的缺点。如：1)在拟设置锚杆的部位有已建地下结构、障碍物，锚杆无法实施；2)拟设置锚杆的土层为高水头的砂层（有隔水帷幕），锚杆无法实施或实施难度、风险大；3)拟设置锚杆的土层无法提供要求的锚固力；4)拟设置锚杆的工程，地方法律、法规规定支护结构不得超出用地红线。此外，由于双排桩具有施工工艺简单、不与土方开挖交叉作业、工期短等优势，在可以采用悬臂桩、支撑式支挡结构、锚拉式支挡结构条件下，也应在考虑技术、经济、工期等因素并进行综合分析对比后，合理选用支护方案。

双排桩结构虽然已在少数实际工程中应用,但目前基坑支护规范中尚没有提出双排桩结构计算方法,使得一些设计者对如何设计双排桩还处于一种模糊状态。本规程提出了一种双排桩的设计计算的简化实用方法。本结构分析模型,作用在结构两侧的荷载与单排桩相同,不同的是如何确定夹在前后排桩之间土体的反力与变形关系,这是解决双排桩计算模式的关键。本模型采用土的侧限约束假定,认为桩间土对前后排桩的土反力与桩间土的压缩变形有关,将桩间土看作水平向单向压缩体,按土的压缩模量确定水平刚度系数。同时,考虑基坑开挖后桩间土应力释放后仍存在一定的初始压力,计算土反力时应反映其影响,本模型初始压力按桩间土自重占滑动体自重的比值关系确定。由于双排桩首次编入规程,为慎重起见,本规程只给出了前后排桩矩形布置的计算方法。

**6.10.5** 双排桩的嵌固稳定性验算问题与单排悬臂桩类似,应满足作用在后排桩上的主动土压力与作用在前排桩嵌固段上的被动土压力的力矩平衡条件。与单排桩不同的是,在双排桩的抗倾覆稳定性验算公式本规程公式(6.10.5)中,是将双排桩与桩间土整体作为力的平衡分析对象,考虑了土与桩自重的抗倾覆作用。

**6.10.6** 双排桩的排距、刚架梁高度是双排桩设计的重要参数。根据相关文献的报道,排距过小受力不合理,排距过大刚架效果减弱,排距合理的范围为  $2d \sim 5d$ 。双排桩顶部水平位移随刚架梁高度的增大而减小,但当梁高大于  $d$  时,再增大梁高桩顶水平位移基本不变了。因此,规定刚架梁高度不宜小于  $0.8d$ ,且刚架梁高度与双排桩排距的比值取  $1/6 \sim 1/3$  为宜。

**6.10.7** 根据结构力学的基本原理及计算分析结果,双排桩刚架结构中的桩与单排桩的受力特点有较大的区别。锚拉式、支撑式、悬臂式排桩,在水平荷载作用下只产生弯矩和剪力。而双排桩刚架结构在水平荷载作用下,桩的内力除弯矩、剪力外,轴力不容忽视。前排桩的轴力为压力,后排桩的轴力为拉力。在其他参数不变的情况下,桩身轴力随着双排桩排距的减小而增大。桩身轴力的存在,

使得前排桩发生向下的竖向位移，后排桩发生相对向上的竖向位移。前后排桩出现不同方向的竖向位移，正如普通刚架结构对相邻柱间的沉降差非常敏感一样，双排桩刚架结构前、后排桩沉降差对结构的内力、变形影响很大。后排桩由于全桩长范围有土的约束，向上的竖向位移很小。减小前排桩沉降的有效的措施有：桩端选择强度较高的土层、泥浆护壁钻孔桩需控制沉渣厚度、采用桩底后注浆技术等。

**6.10.8** 双排桩的桩身内力有弯矩、剪力、轴力，因此需按偏心受压、偏心受拉构件进行设计。双排桩刚架梁两端均有弯矩，在根据现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 判别刚架梁是否属于深受弯构件时，按照连续梁考虑。

**6.10.9** 本规程的双排桩结构是指由相隔一定间距的前、后排桩及桩顶梁构成的刚架结构，桩顶与刚架梁的连接完全按刚性连接考虑，其受力特点类似于混凝土结构中的框架顶层，因此，该处的连接构造需符合框架顶层端节点的有关规定。

## 7 土钉墙

### 7.1 一般规定

**7.1.4** 本条强调土钉墙设计施工必须要有监测方案,监测方案应符合本规程相关规定。

### 7.2 设计

**7.2.1** 本条主要针对目前土钉墙设计理论在国内外还处于相对不太完善与成熟的前提下,强调工程经验,采用工程类比方法指导初步设计的必要性。

**7.2.6~7.2.9** 按本规程公式(7.2.6)的要求确定土钉抗拔承载力,目的是控制单根土钉拔出或土钉杆体拉断所造成的土钉墙局部破坏。单根土钉拉力取分配到每根土钉的土钉墙墙面面积上的土压力,单根土钉抗拔承载力为本规程图(7.2.10)所示的假定直线滑动面外土钉的抗拔承载力。由于土钉墙结构具有土与土钉共同工作的特性,受力状态复杂,目前尚没有研究清楚土钉的受力机理,土钉拉力计算方法也不成熟。因此,本节的土钉抗拔承载力计算方法只是近似的。

由于土钉墙墙面可以是倾斜的,倾斜墙面上的土压力比同样高度的垂直墙面上的土压力小。用朗肯方法计算时,需要按墙面倾斜情况对土压力进行修正。本规程采用的是对按垂直墙面计算的土压力乘以折减系数的修正方法。折减系数计算公式与原规程相同。

土压力沿墙面的分布形式,原规程直接采用朗肯土压力线性分

布。原规程施行后,根据一些实际工程设计情况,人们发现按朗肯土压力线性分布计算土钉承载力时,往往土钉墙底部的土钉需要长度很长才能满足承载力要求。土钉墙底部的土钉过长,其承载力不一定能充分发挥,使土钉墙面层强度或土钉端部的连接强度成为控制条件,土钉墙面层或土钉端部连接会在土钉达到设计拉力前破坏。因此,一些实际工程设计中土钉墙底部土钉长度往往会做些折减。工程实际表明,适当减短土钉墙底部土钉长度后,并没有出现土钉被拔出破坏的现象。土钉长度计算不合理的问题主要原因在于所采用的朗肯土压力按线性分布是否合理,由于土钉墙墙面是柔性的,且分层开挖裸露面上土压力是零,建立新的力平衡使土压力向周围转移,墙面上的土压力重新分布。为解决土钉计算长度不合理的问题,本次修订考虑了墙面上土压力会存在重分布的规律,对按朗肯公式计算的土压力线性分布进行了修正,即在计算每根土钉轴向拉力时,分别乘以由本规程公式(7.2.9-1)给出的调整系数 $\eta_j$ 。每根土钉的轴向拉力调整系数 $\eta_j$ 值是不同的,每根土钉乘以轴向拉力调整系数 $\eta_j$ 后,各土钉轴向拉力之和与调整前的各土钉轴向拉力之和相等。该调整方法在概念上虽然可行,但存在一定近似性,还需要做进一步研究和试验工作,以使通过计算得到的土压力分布规律和数值与实际情况更接近。

**7.2.10** 本次修订对本规程表(7.2.10)中土钉的极限粘结强度标准值在数值上作了一定调整。同时,本规程表(7.2.10)中增加了打入式钢管土钉的极限粘结强度标准值。锚固体与土层之间的粘结强度大小与很多因素有关,主要包括土层条件、注浆工艺及注浆量、成孔工艺等,在采用本规程表(7.2.10)数值时,还应根据这些因素及施工经验合理选择。

**7.2.11** 土钉的承载力由以土的粘结强度控制的抗拔承载力和以杆体强度控制的受拉承载力两者中的较小值决定。

**7.2.12** 土钉墙和复合土钉墙的构造要求,是实际工程中总结的经验数据,应根据具体工程的土性、基坑深度、土钉拉力和间距等因

素选用。土钉采用洛阳铲成孔比较经济，同时施工速度快，对一般土层宜优先使用。打入式钢管土钉可以克服洛阳铲成孔时塌孔、缩径的问题，避免因塌孔、缩径带来的土体扰动和沉陷，对保护基坑周边环境有利，此时可以用打入式钢管土钉。机械成孔的钢筋土钉成本高，且土钉数量一般都很多，需要配备一定数量的钻机，只有在其他方法无法实施的情况下才适合采用。

### 7.3 施工

**7.3.4** 本条针对本地区经常遇到的土钉墙支护基坑、局部存在高含水量的粘性土和无天然粘结力的砂土等自稳能力差的土层，可采取的技术措施。

**7.3.7** 本条专门针对冬季施工条件下进行土钉墙施工作了限制，当冬季施工不可避免时，必须有相应的结构、构造与防排水措施，以避免冻胀引起的土钉墙破坏。

**7.3.10** 本条修改为与现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120-2012 保持一致。

### 7.4 质量检验与监测

**7.4.1** 土钉墙中，土钉群是共同受力、按整体作用考虑的。对单根土钉的要求不像锚杆那样受力明确，各自承担荷载。但土钉仍有必要进行抗拔力检测，只是对其离散性要求可比锚杆略放松。土钉抗拔检测是工程质量竣工验收依据，本条规定了试验数量和要求，试验方法见本规程附录 D。抗压强度是喷射混凝土质量的主要指标，一般能反映施工质量的优劣。喷射混凝土试块最好采用在喷射混凝土板件上切取制作，它与实际比较接近。但由于在目前实际工程中受切割加工条件限制，因此，也就允许使用 150mm 的立方体无底试模，喷射混凝土制作试块。喷射混凝土厚度是质量控制的主要内

容，喷射混凝土厚度的检测最好在施工中随时进行，也可喷射混凝土施工完成后统一检查。

## 3. 喷射混凝土

### 3.1 喷射混凝土

喷射混凝土是采用压缩空气将混凝土拌合物喷射到岩面或模板上，使其凝结成型的混凝土。喷射混凝土具有施工方便、省工省料、工期短、强度高、耐久性好等优点。喷射混凝土的厚度检测方法主要有超声波法、雷达法、钻孔法等。超声波法是通过发射和接收超声波，根据超声波在混凝土中的传播速度来计算混凝土的厚度。雷达法是利用雷达波在混凝土中的反射特性来检测混凝土的厚度。钻孔法是在混凝土表面钻孔，通过测量孔内混凝土的厚度来确定混凝土的厚度。喷射混凝土的厚度检测方法应根据工程的具体情况选择合适的方法。喷射混凝土的厚度检测方法应根据工程的具体情况选择合适的方法。喷射混凝土的厚度检测方法应根据工程的具体情况选择合适的方法。

喷射混凝土的厚度检测方法应根据工程的具体情况选择合适的方法。喷射混凝土的厚度检测方法应根据工程的具体情况选择合适的方法。喷射混凝土的厚度检测方法应根据工程的具体情况选择合适的方法。喷射混凝土的厚度检测方法应根据工程的具体情况选择合适的方法。喷射混凝土的厚度检测方法应根据工程的具体情况选择合适的方法。喷射混凝土的厚度检测方法应根据工程的具体情况选择合适的方法。喷射混凝土的厚度检测方法应根据工程的具体情况选择合适的方法。喷射混凝土的厚度检测方法应根据工程的具体情况选择合适的方法。喷射混凝土的厚度检测方法应根据工程的具体情况选择合适的方法。喷射混凝土的厚度检测方法应根据工程的具体情况选择合适的方法。

## 8 地下水控制

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 地下水控制方法包括：截水、降水、集水明排，地下水回灌不作为独立的地下水控制方法，但可作为一种补充措施与其他方法一同使用。仅从支护结构安全性、经济性的角度来看，降水可消除水压力、提高土体抗剪强度从而降低作用在支护结构上的荷载，减少地下水渗透破坏的风险，降低支护结构施工难度等。但降水后，随之带来对周边环境的影响问题。在有些地质条件下，降水会造成基坑周边建筑物、市政设施等的沉降而影响其正常使用甚至损坏。降水引起的基坑周边建筑物、市政设施等沉降、开裂、不能正常使用的工程事故时有发生。另外，有些城市地下水资源紧缺，降水造成地下水大量流失、浪费，从环境保护的角度，在这些地方采用基坑降水不利于城市的综合发展。为此，有的城市的地方政府已实施限制基坑降水的地方行政法规。

根据具体工程的特点，基坑工程可采用单一地下水控制方法，也可采用多种地下水控制方法相结合的形式。如悬挂式截水帷幕+坑内降水，基坑周边控制降深的降水+截水帷幕，截水或降水+回灌，部分基坑边截水+部分基坑边降水等。一般情况下，降水或截水都要结合集水明排。

**8.1.2~8.1.4** 采用哪种地下水控制的方式是基坑周边环境条件的客观要求，基坑支护设计时应首先确定地下水控制方法，然后再根据选定的地下水控制方法，选择支护结构形式。地下水控制应符合国家和地方法规对地下水资源、区域环境的保护要求，符合基坑周

边建筑物、市政设施保护的要求。当降水不会对基坑周边环境造成损害且国家和地方法规允许时，可优先考虑采用降水，否则应采用基坑截水。采用截水时，对支护结构的要求更高，增加排桩、地下连续墙、锚杆等的受力，需采取防止土的流砂、管涌、渗透破坏的措施。当坑底以下有承压水时，还要考虑坑底突涌问题。

## 8.2 截水

**8.2.1** 水泥土搅拌桩、高压喷射注浆常用普通硅酸盐水泥，也可采用矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥。需要注意的是，当地下水流速高时，需在水泥浆液中掺入适量的外加剂，如氯化钙、水玻璃、三乙醇胺或氯化钠等。由于不同地区，即使土的基本性状相同，但成分也会有所差异，对水泥的固结性产生不同影响。因此，当缺少实际经验时，水泥掺量和外加剂品种及掺量应通过试验确定。

**8.2.2** 落底式截水帷幕进入下卧隔水层一定长度，是为了满足地下水绕过帷幕底部的渗透稳定性要求。本规程公式(8.2.2)是验算帷幕进入隔水层的长度能否满足渗透稳定性的经验公式。隔水层是相对的，相对所隔含水层而言其渗透系数较小。在有水头差时，隔水层内也会有水的渗流，也应满足渗流和渗透稳定性要求。

**8.2.5** 搅拌桩、旋喷桩帷幕一般采用单排或双排布置形式。理论上，单排搅拌桩、旋喷桩帷幕只要桩体能够相互搭接、桩体连续、渗透系数小于 $10^{-6}$ cm/s是可以起到截水效果的，但受施工偏差制约，很难达到理想的搭接宽度要求。假设桩长15m，设计搭接200mm，当位置偏差为50mm、垂直度偏差为1%时，则帷幕底部在平面上会偏差200mm。此时，实际上桩之间就不能形成有效搭接。如桩的设计搭接过大，则桩的间距减小、桩的有效部分过少，造成浪费和增加工期。所以帷幕超过15m时，单排桩难免出现搭接不上的情况。

**8.2.12** 根据工程经验，在标准贯入锤击数 $N > 12$ 的黏性土、标准

贯入锤击数  $N > 20$  的砂土中，最好采用复喷工艺，以增大固结体半径、提高固结体强度。

### 8.3 降水

**8.3.1** 我省绝大多数基坑降水均采用管井井点降水，经过多年实践证明是我省最有效的降水方法，因此应优先采用。

**8.3.4** 应用本规程公式 (8.3.4) 计算降水井深度时，过滤器进水部分的长度 ( $l$ ) 应按当地经验进行选取。

**8.3.7** 基坑降水的总涌水量，可将基坑视作一口大井按概化的大井法计算。本规程附录 E 给出了均质含水层潜水完整井、均质含水层潜水非完整井、均质含水层承压水完整井、均质含水层承压水非完整井和均质含水层承压水—潜水完整井 5 种典型条件的计算公式。实际的含水层分布远非这样理想，按上述条件公式计算时应根据工程的实际水文地质条件进行合理概化。如，相邻含水层渗透系数不同时，可概化成一层含水层，其渗透系数可按各含水层厚度加权平均。当相邻含水层渗透系数相差很大时，有的情况下按渗透系数加权平均后的单一含水层计算会产生较大误差，这时反而不如只计算渗透系数大的含水层的涌水量与实际更接近。大井的井水位应取降水后的基坑水位，而不应取单井的实际井水位。这 5 个公式都是均质含水层、远离补给源条件下井的涌水量计算公式，其他边界条件的情况可以参照有关水文地质、工程地质手册。

**8.3.10** 近年来，随着基坑降水工程的增多，出现了很多在无砂水泥管上进行人工打眼作为滤管适用，质量良莠不齐，因此特别规定了滤管上的滤孔的直径和滤孔的数量。

另外，很多降水井施工时并不注重滤料的填充，因此本条第 2 款特别明确了滤料填充厚度不应小于 50mm。

## 8.4 集水明排

**8.4.1** 集水明排的作用是：1)收集外排坑底、坑壁渗出的地下水；2)收集外排降雨形成的基坑内、外地表水；3)收集外排降水井抽出的地下水。

**8.4.4** 明沟的集水井常采用如下尺寸及做法：矩形截面的净尺寸500mm×500mm左右，圆形截面内径500mm左右；深度一般不小于800mm。集水井采用砖砌并用水泥砂浆抹面。

盲沟的集水井常采用如下尺寸及做法：集水井采用钢筋笼外填碎石滤料，集水井内径700mm左右，钢筋笼直径400mm左右，井的深度一般不小于1200mm。

**8.4.5** 导水管常用直径不小于50mm，长度不小于300mmPVC管，埋入土中的部分外包双层尼龙网。

## 8.5 降水引起的地层变形计算

**8.5.1~8.5.3** 降水引起的地层变形计算可以采用分层总和法。与建筑物地基变形计算时的分层总和法相比，降水引起的地层变形在有些方面是不同的。主要表现在以下方面：1)附加压力作用下的建筑物地基变形计算，土中总应力是增加的。地基土最终固结时，土中任意点的附加有效应力等于附加总应力，孔隙水压力不变。降水引起的地层变形计算，土中总应力基本不变。最终固结时，土中任意点的附加有效应力等于孔隙水压力的负增量。2)地基变形计算，土中的最大附加有效应力在基础中点的纵轴上，基础范围内是附加应力的集中区域，基础以外的附加应力衰减很快。降水引起的地层变形计算，土中的最大附加有效应力在最大降深的纵轴上，也就是降水井的井壁处，附加应力随着远离降水井逐渐衰减。3)地基变形计算，附加应力从基底向下沿深度逐渐衰减。降水引起的地层变形计算，附加应力从初始地下水位向下沿深度逐渐增加。降水后的地下

水位以下，含水层内土中附加有效应力也会发生改变。

计算建筑物地基变形时，按分层总和法计算出的地基变形量乘以沉降计算经验系数后的数位为地基最终变形量。沉降计算经验系数是根据大量工程实测数据统计出的修正系数，以修正直接按分层总和法计算的方法误差。降水引起的地层变形，直接按分层总和法计算的变形量与实测变形量也往往差异很大。由于缺少工程实测统计资料，暂时还无法给出定量的修正系数对计算结果进行修正。如采用现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 中地基变形计算的沉降计算经验系数，则由于两者的土中附加应力产生的原因和附加应力分布规律不同，从理论上没有说服力，与实际情况也难以吻合。目前，降水引起的地层变形计算方法尚不成熟，只能在今后积累大量工程实测数据及进行充分研究后，再加以改进充实。现阶段宜根据地区基坑降水工程的经验，结合计算与工程类比综合确定降水引起的地层变形量和分析降水对周边建筑物的影响。