

DB42

湖 北 省 地 方 标 准

DB42/T 2154—2023

基坑倾斜桩支护技术规程

Code of practice for inclined retaining piles of excavations engineering

2023 - 12 - 23 发布

2024 - 04 - 23 实施

湖北省住房和城乡建设厅
湖北省市场监督管理局 联合发布

目 次

前言 III

引言 V

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 符号 2

 4.1 作用和作用效应、抗力、材料性能 2

 4.2 几何参数 2

 4.3 计算系数 3

5 基本规定 3

6 设计 4

 6.1 一般规定 4

 6.2 勘察与环境调查要求 4

 6.3 结构选型 5

 6.4 水平作用荷载 6

 6.5 结构分析 8

 6.6 稳定性验算 12

 6.7 构造要求 17

 6.8 止水帷幕与桩间加固 18

7 施工质量控制 18

 7.1 一般规定 18

 7.2 预制桩施工 18

 7.3 灌注桩施工 20

 7.4 土方开挖 21

 7.5 施工质量验收 22

8 监测 23

 8.1 一般规定 23

 8.2 支护桩监测 23

条文说明 25

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由湖北省住房和城乡建设厅提出并归口管理。

本文件起草单位：中建三局集团有限公司、湖北中建三局建筑工程技术有限责任公司、武汉市勘察设计有限公司、天津大学、武汉鑫地岩土工程技术有限公司、建华建材（湖北）销售有限公司。

本文件主要起草人：余地华、郑刚、汪浩、赖国梁、邓昌福、叶建、施木俊、张杰青、陈国、张晋华、欧阳明勇、宋志、田野、柳瑶、邓亚运、周海祚、刘照朋、程杰林、官善友、刘艳敏、黄晓程、张涛、杨涛、陈剑雄、贾磊柱、滕峰、祁红伟、李啸林、张松波、周伟、李建林、高雨、赵渊、汪彪、潘兵奇、项翔、万鑫。

本标准实施应用中的疑问，可咨询湖北省住房和城乡建设厅，联系电话：027-68873088，邮箱：407483361@qq.com。在执行过程中如有意见和建议请邮寄中建三局集团有限公司，地址：武汉市武昌区武珞路456号新时代商务中心，联系电话：027-87132730，邮箱：djjc2012@126.com。

引 言

为了使基坑工程倾斜桩支护技术在基坑支护设计、施工中做到安全适用、经济合理、保护环境、保证质量、绿色环保，制定本文件。

在本标准编制过程中，编制组广泛调查研究和总结了实际工程经验，参考了国内外有关标准，并在广泛征求意见基础上，对具体内容进行了反复讨论、协调和修改，最后经审查定稿。

采用倾斜桩支护技术进行基坑设计、施工应综合考虑地质条件、基坑开挖深度、基坑周边环境要求、主体地下结构要求等因素，并结合工程经验，合理设计、精心施工、严格检测和监测。

基坑工程倾斜桩支护技术应用除应符合本文件外，尚应符合现行国家、行业和地方标准的有关规定。

基坑倾斜桩支护技术规程

1 范围

本文件规定了湖北省基坑工程倾斜桩支护结构的勘察、设计、施工、监测与验收等内容。

本文件描述了适用于湖北省基坑工程单排倾斜桩支护结构、斜直交替支护结构、斜直组合双排桩支护结构的勘察、设计、施工和监测的方法。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB 50007 建筑地基基础设计规范
- GB 50010 混凝土结构设计规范
- GB 50021 岩土工程勘察规范
- GB 50205 钢结构工程施工质量验收规范
- GB 50300 建筑工程施工质量验收统一标准
- GB 50497 建筑基坑工程监测技术标准
- GB 50661 钢结构焊接规范
- JGJ 94 建筑桩基技术规范
- JGJ 120 建筑基坑支护技术规程
- DB42/T 159 基坑工程技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

倾斜桩支护结构 *inclined retaining pile*

将悬臂垂直支护桩的桩顶向基坑内或基坑外倾斜一定角度后的支护桩结构，简称倾斜桩。根据施工工艺和桩身材质的不同，可分为倾斜预制桩、倾斜灌注桩、倾斜钢管桩等。

3.2

斜直交替支护结构 *inclined-vertical retaining pile*

将悬臂垂直支护桩与悬臂倾斜支护桩交替布置并用冠梁连接的支护桩结构。

3.3

斜直组合双排桩支护结构 *double-row piles with inclined-vertical configurations*

沿基坑侧壁排列设置的由前排倾斜、后排垂直支护桩和梁连接成的刚架及冠梁所组成的支挡式结构。

3.4

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。

4 符号

4.1 作用和作用效应、抗力、材料性能

M ——弯矩设计值；
 M_k ——作用标准组合的弯矩值；
 V ——剪力设计值；
 V_k ——作用标准组合的剪力值；
 N ——轴向拉力设计值或轴向压力设计值；
 N_k ——作用标准组合的轴向拉力值或轴向压力值；
 C_k 、 C'_k ——计算深度处土的总应力、有效应力黏聚力标准值；
 φ_k 、 φ'_k ——计算深度处土的总应力、有效应力内摩擦角标准值；
 e_{az} 、 e_{pz} ——深度 z 处的主动土压力、被动土压力强度标准值；
 E_a 、 E_p ——主动土压力合力、被动土压力合力；
 k ——含水层渗透系数；
 k_a ——主动土压力系数；
 k_p ——被动土压力系数；
 p_{waz} 、 p_{wpz} ——主动侧、被动侧深度 z 处的孔隙水压力；
 p_{az} ——主动侧深度 z 处由于上覆土自重引起的竖向土压力标准值；
 p_{pz} ——被动侧深度 z 处由于上覆土自重引起的竖向土压力标准值；
 q_0 ——坡顶超载标准值；
 q_z ——深度 z 处的由于超载引起的竖向土压力标准值；
 p_{ni} ——倾斜桩嵌固段上的法向分布土反力；
 p_{s0} ——初始分布土反力；
 k_s ——侧摩阻力等效弹簧刚度；
 k_n ——斜桩法向弹簧刚度；
 k_c ——桩间土弹簧刚度；
 E_s ——桩间土体压缩模量；
 q_j ——作用在第 j 土条上的附加分布荷载标准值；
 u_j ——第 j 土条在滑弧面上的孔隙水压力；
 ΔG_j ——第 j 土条的自重，按天然重度计算；
 G ——斜直交替桩的桩间土自重之和；
 C_j ——第 j 土条滑弧面处土的黏聚力；
 φ_j ——第 j 土条滑弧面处土的内摩擦角；
 y_w ——地下水重度；
 y' ——土的浮重度；
 y_i ——计算深度以上第 i 层土层的重度；
 y_{m1} ——基坑外挡土构件底面以上土的重度的加权平均值；
 y_{m2} ——基坑内挡土构件底面以上土的重度的加权平均值；
 μ ——土体泊松比。

4.2 几何参数

θ ——倾斜支护桩与竖直方向的夹角；

z ——计算深度，主动区自地表起算，被动区自坑底起算；
 h ——倾斜桩支护基坑的开挖深度；
 h_i ——计算深度以上第 i 层土层的厚度；
 n ——主动侧或被动侧计算点以上的土层数；
 b_j ——第 j 土条的宽度；
 θ_j ——第 j 土条滑弧面中点处的法线与垂直面的夹角；
 l_j ——第 j 土条的滑弧段长度；
 $h_{wa,j}$ ——基坑外地下水位至第 j 土条滑弧面中点的垂直距离；
 $h_{wp,j}$ ——基坑内地下水位至第 j 土条滑弧面中点的垂直距离；
 D ——基坑底面至挡土构件底面的土层厚度；
 D_1 ——潜水水面或承压水含水层顶面至基坑底面的土层厚度；
 Δh ——基坑内外的水头差值；
 h_{wa} 、 h_{wp} ——主、被动侧地下水位（头）埋深；
 d ——桩体直径。

4.3 计算系数

Y_0 ——基坑工程重要性系数；
 k_{ni} ——分布土反力计算点的倾斜桩的法向刚度系数；
 v_{nv} ——挡土构件在分布土反力计算点的水平位移值；
 k_{hd} ——整体滑动稳定安全系数；
 k_{ld} ——坑底抗隆起稳定安全系数；
 k_{ty} ——坑底突涌抗力分项系数；
 k_{se} ——流土稳定性安全系数；
 k_{qt} ——嵌固（抗倾覆）安全系数；
 m ——土的水平反力系数的比例系数；
 $K_{s,i}$ ——第 j 个滑动圆弧的抗滑力矩与滑动力矩的比值；
 N_q 、 N_c ——承载力系数；
 η ——土的黏聚力与桩侧土体竖向土压力中间转化系数。

5 基本规定

5.1 基坑工程重要性等级及支护结构的变形控制指标应符合 DB42/T 159 的有关规定。

5.2 基坑开挖施工应连续进行，从基坑开挖到主体地下室完成，有效使用期限不宜超过二年；当基坑工程超过设计使用年限时，应重新对基坑工程的安全性进行评估。当基坑支护结构作为永久性工程一部分时，结构设计应满足相应使用年限要求。

5.3 基坑工程倾斜桩支护结构设计应包括下列内容：

- a) 支护结构方案选型与技术经济比较；
- b) 基坑内外土体稳定性验算；
- c) 支护结构的强度、稳定性和变形计算；
- d) 基坑降排水、隔渗帷幕的计算；
- e) 基坑开挖与地下水变化引起的土体变形对基坑内外环境影响的评估；
- f) 支护结构施工、土方开挖及环境监测的设计要求；
- g) 基坑工程施工图。

5.4 基坑支护中的荷载与作用应包括下列内容：

- a) 岩土体的主动、被动土压力和静止土压力；
- b) 静水压力、渗流压力；
- c) 基坑开挖影响范围内建（构）筑物的荷载、地面超载（含既有堆载）；
- d) 支护结构自重及可能产生的施工荷载。

5.5 支护结构设计采用的荷载效应最不利组合和相应的抗力限值应符合 DB42/T 159 的有关规定，倾斜桩支护结构重要性系数与作用基本组合的效应设计值的乘积可采用式（1）～（3）表示：

$$M = 1.25Y_0M_k \dots\dots\dots (1)$$

$$V = 1.25Y_0V_k \dots\dots\dots (2)$$

$$N = 1.25Y_0N_k \dots\dots\dots (3)$$

式中：

M——弯矩设计值（kN·m）；

M_k ——作用标准组合的弯矩值（kN·m）；

V——剪力设计值（kN）；

V_k ——作用标准组合的剪力值（kN）；

N——轴向拉力设计值或轴向压力设计值（kN）；

N_k ——作用标准组合的轴向拉力值或轴向压力值（kN）；

Y_0 ——基坑工程重要性系数，取值应符合DB42/T 159的有关规定。

5.6 基坑工程支护结构应进行结构变形和基坑位移的计算。基坑工程应结合保护对象的要求，确保支护结构满足变形控制指标，并应符合国家现行有关标准的规定。

6 设计

6.1 一般规定

6.1.1 基坑倾斜桩支护结构计算应满足变形控制、稳定性验算及承载力要求，按承载能力极限状态设计时的作用基本组合的综合分项系数、结构重要性系数和各类稳定性安全系数应符合 DB42/T 159 的有关规定。

6.1.2 基坑工程倾斜桩支护结构的变形分析、稳定性验算和结构分析应根据实际情况进行数值分析，并与 6.5 和 6.6 中的计算结果进行比较分析，且还应满足 6.7 设计要求。

6.2 勘察与环境调查要求

6.2.1 基坑倾斜桩支护工程的岩土勘察应符合 GB 50021 和 DB42/T 159 的有关规定，进行勘探布置、原位测试和室内试验，并提出各层土的物理性能指标和力学参数。

6.2.2 基坑支护设计前，应查明下列基坑周边环境条件：

- a) 既有建筑物的结构类型、层数、位置、基础形式和尺寸、埋深、使用年限、用途等；
- b) 各种既有地下管线、地下构筑物的类型、位置、尺寸、埋深、使用年限、用途等；对既有供水、污水、雨水等地下输水管线，尚应包括其使用状况及渗漏状况；
- c) 道路的类型、位置、宽度、道路行驶情况、最大车辆荷载等；
- d) 基坑开挖与支护结构使用期内施工材料、施工设备等临时荷载的要求；

- e) 雨季时的场地周围地表水汇流和排泄条件，地表水的渗入对地层土性影响的状况；
 - f) 基坑内新建建筑物桩基础设计、基础设计和地下结构设计。
- 6.2.3 周边环境调查应评估倾斜桩支护结构对坑内基础以及坑外既有建（构）筑物、管线等的影响，必要情况可扩大勘察范围。

6.3 结构选型

6.3.1 倾斜桩支护结构选型时，应综合考虑下列因素：

- a) 基坑开挖深度及基坑规模；
- b) 工程地质及水文地质条件；
- c) 基坑周边环境条件及其保护要求；
- d) 主体地下结构和基础形式及其施工方法、基坑平面尺寸及形状；
- e) 支护结构施工工艺的可行性；
- f) 施工场地条件及施工季节；
- g) 经济指标、环保性能和施工工期。

6.3.2 支护结构选型可按表 1 进行选型。

表 1 各类支护结构的适用条件

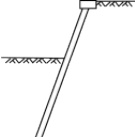
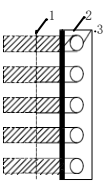
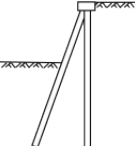
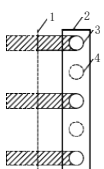
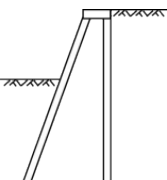
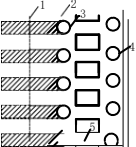
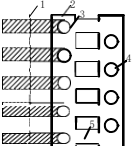
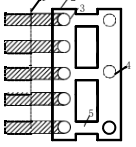
结构类型	剖面示意图	平面示意图	支挡结构或护坡方法	适用条件
单排倾斜桩			倾斜桩（灌注桩、预制桩），桩间挂网喷砼，桩间加固或止水；桩顶冠梁连接。	悬臂高度不宜超过 6m，嵌入岩层、老黏土、密实卵砾石或碎石层中大刚度悬臂支护深度可适当增加。坑底以下存软土层时，需加固或验算其稳定性后选用。周边需要有一定施工场地。
斜直交替支护结构			倾斜桩与垂直桩（灌注桩、预制桩）进行交替布设，倾斜桩发挥斜撑效应，桩间加固、挂网喷砼，桩顶冠梁连接。	变形控制效果优于单排倾斜桩，悬臂高度不宜超过 8m，宜有效避让地下室工程桩或承台。
斜直组合双排桩支护结构		 一对一矩形布置	后排为垂直桩，前排为倾斜桩，顶部钢筋混凝土横梁连接，根据具体情况对桩间和排间进行加固。	预制桩支护深度不宜超过 8m，灌注桩支护深度不宜超过 12m，适用于对桩顶位移限制较严格、土方开挖工作面较宽的基坑。存在淤泥质地层时，桩间和排间宜加固。
		 一对一梅花形布置		
		 二对一布置		

表 1 各类支护结构的适用条件（续）

结构类型	剖面示意图	平面示意图	支挡结构或护坡方法	适用条件
注1：图中数字分别表示：1-坑底线，2-冠梁，3-倾斜桩，4-垂直桩，5-连梁； 注2：倾斜桩支护结构适用于重要性等级为一级、二级、三级基坑； 注3：当基坑不同部位的周边环境条件、土层性状、基坑深度等不同时，可在不同部位分别采用不同的支护形式。				

6.3.3 支护桩布设时，应确保支护桩与地下结构不相冲突，对支护桩向基坑内倾斜情况，倾斜桩在基坑底标高以上应位于地下结构最外轮廓以外，倾斜桩在基坑底标高以下可侵入地下结构最外轮廓，但应避开工程桩或局部深坑等地下结构，并宜为地下结构施工留设足够宽度。对因避让造成倾斜桩跳桩情况，应采取一定构造措施进行结构加强。

6.4 水平作用荷载

6.4.1 作用在支护结构上的土压力，应根据支护结构侧向变形条件分别按静止、主动、被动土压力进行计算。对岩土工程和周边环境条件复杂或重要的基坑工程，宜采用土与结构共同作用的方法和合理的数值计算方法计算土压力。

6.4.2 静止土压力标准值应按 DB42/T 159 相关要求执行，作用于斜直交替支护结构、斜直组合双排桩支护结构中垂直桩上的主动土压力强度标准值、被动土压力强度标准值宜按式（4）～（8）计算（图 1）：

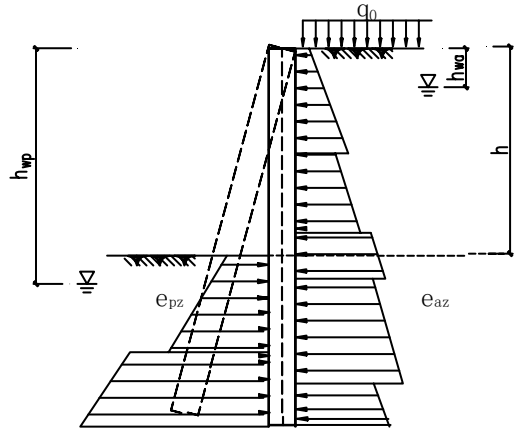


图 1 倾斜桩结构中的垂直桩土压力计算模型

$$e_{az} = (p_{az} + q_z) \cdot k_a - 2c_k \sqrt{k_a} \quad (4)$$

$$e_{pz} = p_{pz} \cdot k_p + 2c_k \sqrt{k_p} \quad (5)$$

$$e_{az} = (p_{az} + q_z) \cdot k_a + p_{waz}(1 - k_a) - 2c'_k \sqrt{k_a} \quad (6)$$

$$e_{pz} = p_{pz} \cdot k_p + p_{wpz}(1 - k_p) + 2c'_k k_p \quad (7)$$

$$p_{az}、p_{pz} = \sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot h_i \quad (8)$$

式中：

e_{az} 、 e_{pz} ——深度 z 处的主、被动土压力标准值(kPa)， $e_{az} < 0$ 时取 $e_{az} = 0$ ；

q_z ——主动侧深度 z 处由于超载引起的竖向土压力标准值（kPa），由坡顶超载标准值 q_0 应按DB42/T 159相关要求执行；

p_{az} 、 p_{pz} ——主、被动侧深度 z 处的由上覆土层自重引起的竖向土压力标准值（kPa），按式（8）计算；

p_{waz} 、 p_{wpz} ——主、被动侧深度 z 处的孔隙水压力（kPa），应按DB42/T 159相关要求执行；

h_{wa} 、 h_{wp} ——主、被动侧地下水位（头）埋深；

z ——计算点的深度（m），主动侧自坑顶起算，被动侧自坑底起算；

n ——主动侧或被动侧计算点以上的土层数；

y_i 、 h_i ——计算深度以上第 i 层土层的天然重度和厚度；

k_a ——主动土压力系数， $k_a = \tan^2(45^\circ - \varphi_k/2)$ ，土水分算时应采用有效应力参数 φ'_k 计算；

k_p ——被动土压力系数， $k_p = \tan^2(45^\circ + \varphi_k/2)$ ，土水分算时应采用有效应力参数 φ'_k 计算；

C_k 、 C'_k ——计算深度处土的总应力、有效应力黏聚力标准值（kPa）；

φ_k 、 φ'_k ——计算深度处土的总应力、有效应力内摩擦角标准值（°）。

注1：土层抗剪强度指标可取直剪快剪值；

注2：以下各章节中凡仅以 c 、 φ 表示者均应根据土水合算或分算分别取总应力值或有效应力值。

6.4.3 对于单排倾斜桩，斜直组合双排桩支护结构中的倾斜桩，宜按库伦土压力理论进行计算。

a) 无黏性土，支护结构的主动土压力强度标准值、被动土压力强度标准值宜按式（9）～（15）计算（图2）：

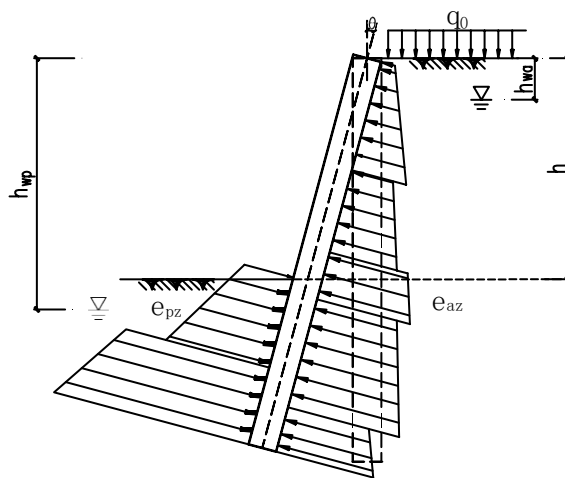


图2 倾斜桩的土压力计算模型

1) 对地下水位以上或水土合算的土层。

$$e_{az} = p_{az} \cdot k_a \quad (9)$$

$$k_a = \frac{\cos^2(\varphi + \theta) K_q}{\cos^3 \theta \left[1 + \frac{\sin \varphi}{\cos \theta} \right]^2} \quad (10)$$

$$e_{pz} = p_{pz} \cdot k_p \quad (11)$$

$$k_p = \frac{\cos^2(\varphi + \theta) K_q}{\cos^3 \theta \left[1 - \frac{\sin \varphi}{\cos \theta} \right]^2} \quad (12)$$

$$K_q = 1 + \frac{2q_z}{\gamma H} \quad (13)$$

式中:

θ ——倾斜桩与竖直方向的夹角。向基坑内倾斜时, θ 取正值;

H ——计算深度, 主动区自地表起算, 被动区自开挖面起算。其余各符号的定义与 6.4.2 中相同。

2) 对于水土分算的土层。

$$e_{az} = p_{az} \cdot k_a + p_{waz}(1 - k_a) \quad (14)$$

$$e_{pz} = p_{pz} \cdot k_p + p_{wpz}(1 - k_p) \quad (15)$$

式中:

p_{waz} 、 p_{wpz} 的定义与 6.4.2 节中相同。

b) 黏性土, 支护桩主动土压力、被动土压力宜采用图解法求解。其中, 主动土压力系数也可采用式 (16) ~ (17) 计算:

$$k_a = \frac{1}{\cos \theta \cos^2(\varphi - \theta)} \{ K_q (\cos^2 \theta + \sin^2 \varphi) + 2\eta \cos \theta \cos \varphi [\sin(\varphi - \theta) - 1] - 2 K_q \cos \theta \sin \varphi \} \quad (16)$$

$$\eta = \frac{2c}{\gamma H} \quad (17)$$

式中:

η ——中间转化系数;

c ——土的黏聚力 (kPa);

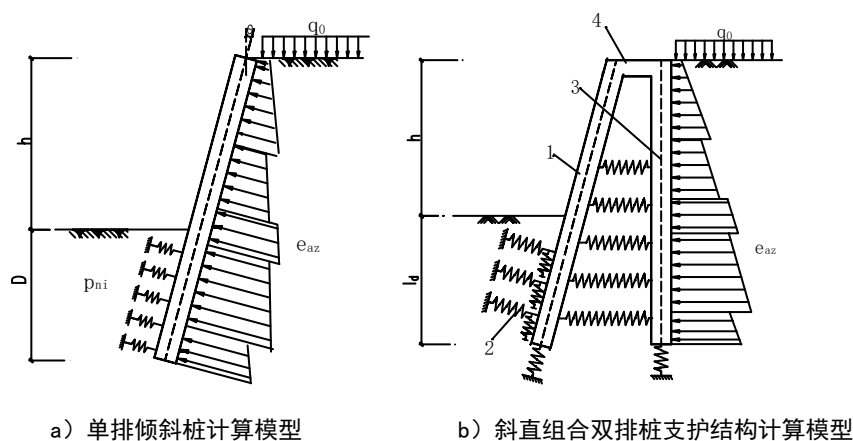
φ ——土的内摩擦角标准值 (°), 其余各符号的定义与 6.4.2 中相同。

6.5 结构分析

6.5.1 倾斜桩支护结构可采用平面杆系结构弹性支点法进行分析, 土反力计算宽度应按 JGJ 120 有关规定执行。

6.5.2 单排倾斜桩和斜直组合双排桩支护结构采用平面杆系结构弹性支点法时, 宜采用以下计算模型 (图 3), 并应符合下列规定:

- 倾斜桩取单根支护桩进行分析时, 主动土压力标准值可按 6.4 的有关规定确定;
- 倾斜桩嵌固段上的土反力可按 6.5.3 的有关规定确定;
- 斜直组合双排桩支护结构可采用平面刚架结构模型进行计算。后排桩土压力按 6.4 规定计算, 前排桩嵌固段的土抗力按 6.5.3 计算。桩间土体可采用弹性介质模拟或采用其它有经验的土体应力应变本构模型模拟, 桩端设置弹性支座, 竖向弹性支座刚度系数宜按 DB42/T 159 中相关要求执行。



a) 单排倾斜桩计算模型

b) 斜直组合双排桩支护结构计算模型

标引序号说明:

- 1——倾斜桩;
- 2——计算土反力的弹性支座;
- 3——垂直桩;
- 4——连梁。

图3 倾斜桩悬臂式支护结构弹性支点法计算模型

6.5.3 作用在倾斜桩嵌固段上的法向分布土反力可按式(18)计算;土的法向刚度系数可按式(19)计算。土的反力系数的比例系数(m)宜通过水平荷载试验确定或按地区经验取值,当缺少经验时,第*i*土层的反力系数的比例系数可按式(20)计算:

$$p_{ni} = k_{ni}v_{ni} + p_{s0} \quad (18)$$

$$k_{ni} = \xi_2 m_i (z - h) \quad (19)$$

$$m_i = \xi_1 \frac{1}{4} (0.2\varphi_{ik}^2 - \varphi_{ik} + c_{ik}) \quad (20)$$

$$\xi_2 = e^{0.001(\cos\theta-1)[\varphi_{ik}^2+70\varphi_{ik}+30c_{ik}]} \quad (21)$$

式中:

- p_{ni} ——倾斜桩嵌固端上的法向分布土反力(kPa);
- k_{ni} ——倾斜桩的法向刚度系数(kN/m³);
- v_{ni} ——分布土反力计算点的倾斜桩沿法向位移值(m);
- θ ——倾斜桩与竖直方向的夹角(°);
- p_{s0} ——初始分布土反力(kPa),对于倾斜桩嵌固端上的基坑内侧初始分布土反力,可按6.4.3式(9)或式(13)计算,但应将公式中 e_{az} 用 p_{s0} 、 p_{az} 用 p_{pz} 、 p_{waz} 用 p_{wpz} 代替,且不计(2c k_a);
- m_i ——土的水平反力系数的比例系数(MN/m⁴);
- z ——计算点距地面的深度(m);
- h ——基坑的开挖深度(m);

c_k 、 φ_k ——土的黏聚力标准值 (kPa)、内摩擦角标准值 (°)；

Δ ——基坑底面处位移量 (mm)，不大于 10mm，按地区经验取值，无经验时可取 10mm；

ξ_1 ——经验系数，一般黏土、砂性土取 1.0；老黏土、中密以上砾卵石取 1.8~2.0；淤泥、淤泥质土取 0.6~0.8；

ξ_2 ——角度拟合经验系数。

6.5.4 采用斜直交替支护结构进行支护设计时，可采用下列方法进行结构分析（图4）：

a) 初步设计时，斜直交替桩支护结构可采用考虑桩土相互作用的弹塑性倾斜桩杆系有限元计算方法，力学计算模型如图4；

b) 桩周土对桩的侧摩阻力等效弹簧刚度按公式（22）计算，斜桩法向弹簧刚度按公式（23）计算，桩间土弹簧刚度按（24）计算，桩间土体对桩侧的初始压力按（25）~（26）计算。

$$k_s = \frac{E_s}{4d(1-\mu^2)^2} \quad (22)$$

式中：

$$k_n = A_p m(Z - h) \quad (23)$$

$$k_c = \beta \frac{E_s}{S_y - d} \quad (24)$$

$$p_{s0} = (2\alpha - \alpha^2)e_{az} \quad (25)$$

$$\alpha = \frac{S_y - d}{h \tan(45 - \varphi_m/2)} \quad (26)$$

式中：

k_s ——侧摩阻力等效弹簧刚度 (kN/m³)；

k_n ——斜桩法向弹簧刚度 (kN/m³)；

k_c ——桩间土弹簧刚度 (kN/m³)；

E_s ——桩间土体压缩模量 (kPa)；

μ ——土体泊松比；

d ——桩体直径，对于矩形截面采用周长等效为圆形截面 (m)；

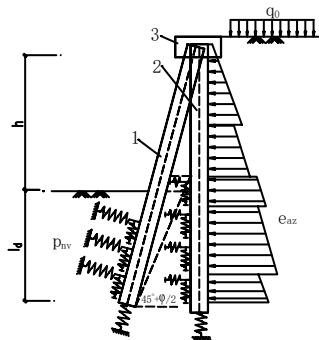
A_p ——考虑斜桩倾角影响的水平地基反力系数的修正系数，实际工程应用中，桩身倾角为 0°~10°时取 0.85~1.0，桩身倾角为 10°~20°时取 0.65~0.85，桩身倾角为 20°~30°时取 0.6~0.65，土体强度小，斜桩倾角大时，折减系数取低值；

S_y ——直桩与斜桩间距 (m)；

β ——桩间弹簧刚度系数 k_c 的折减系数，根据当地经验确定。不考虑折减时， β 取 1.0。当排桩内的桩间净距小、相邻桩之间可形成良好的土拱效应时， β 取大于 1.0 的高值；当桩距大、桩间土松弛效应大时， β 取小于 1.0 的低值；

φ_m ——基坑底面以上各土层按土层厚度加权的内摩擦角平均值 (°)；

α ——计算系数，当计算的 $\alpha > 1$ 时，取 $\alpha = 1$ 。其余符号定义与 6.5.3 相同。



标引序号说明：
1——倾斜桩
2——垂直桩；
3——冠梁。

图 4 斜直交替倾斜桩支护结构弹性支点法计算模型

6.5.5 采用弹性抗力法计算时，倾斜桩支护结构嵌固段上的基坑内侧土反力应满足式（27）的要求，当不符合时，应增加倾斜桩的嵌固深度。

$$p_{sk} \leq E_{pk} \dots\dots\dots (27)$$

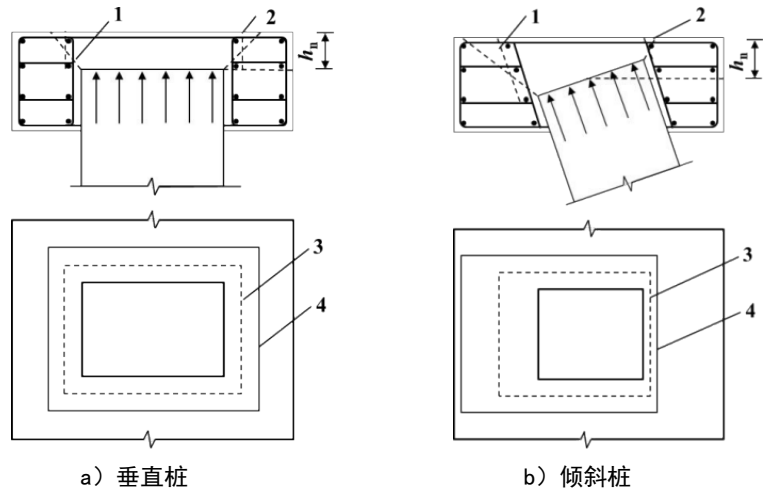
式中：
 p_{sk} ——挡土构件嵌固段上的基坑内侧土反压力合力标准值（kN），对于单排倾斜桩，可按 6.5.3 式（18）计算的分布土反力得出；对于斜直交替支护结构、斜直组合双排桩支护结构中的倾斜桩，可按 6.5.4 式（23）取刚度系数计算的分布土反力得出，垂直桩反力计算应按 DB42/T 159 有关规定执行。
 E_{pk} ——挡土构件嵌固段上的被动土压力合力标准值（kN）；对于单排倾斜桩，通过按 6.4.3 式（9）或式（13）或采用图解法计算的被动土压力强度标准值；对于斜直交替桩支护结构、斜直组合双排桩支护结构中的垂直桩，通过按 6.4.2 式（5）或式（7）计算的被动土压力强度标准值。

6.5.6 倾斜桩的冠梁受力，可通过数值分析计算确定，桩与冠梁以及前后排桩应采用刚性连接，其抗弯、抗剪及抗扭等截面承载力和构造应符合 GB 50010 的有关规定。倾斜桩支护结构桩身轴力进行正截面验算时，应考虑轴力和弯矩的耦合作用进行压弯或拉弯验算。

6.5.7 倾斜桩支护结构的冠梁抗冲切验算（图 5），应按（28）计算，参数取值应符合 GB 50007 的有关规定。

$$F_l/\mu_m h_0 \leq 0.7\beta_{hp}f_t/\eta \dots\dots\dots (28)$$

式中：
 F_l ——冠梁上作用的最大冲切力（N）；
 β_{hp} ——截面高度影响系数；
 μ_m ——计算截面的周长（mm）；
 h_0 ——截面的有效高度（mm）；
 η ——影响系数，取 1.25；
 f_t ——混凝土轴心抗压强度设计值（N/mm²）。



标引序号说明:

- 1——冲切破坏锥体的斜截面;
- 2——计算截面;
- 3——计算截面的周长;
- 4——冲切破坏锥体的底面线。

图 5 冠梁抗冲切验算

6.6 稳定性验算

6.6.1 倾斜桩支护结构的嵌固深度应符合抗倾覆稳定性的要求,其中单排倾斜桩按式(29)计算、斜直交替支护结构或斜直组合双排桩支护结构按式(30)计算(图6):

$$\frac{E_p z_p}{E_a z_a} \geq k_{qf} \quad (29)$$

$$\frac{E_p z_p + G z_G}{E_a z_a} \geq k_{qf} \quad (30)$$

式中:

k_{qf} ——嵌固(抗倾覆)安全系数;基坑重要性等级为一级、二级、三级的支挡结构, k_{qf} 应分别不小于 1.25、1.20、1.15;

E_a 、 E_p ——主动土压力合力、被动土压力合力的标准值(kN),按 6.4.2 和 6.4.3 中相应的公式计算得到的主动土压力和被动土压力;

Z_a 、 Z_p ——主动土压力合力、被动土压力合力作用点至倾斜桩底端的距离(m);

G ——斜直交替桩的桩间土自重之和(kN),当斜直桩的桩间距较大或桩间土为砂土时,应仅考虑开挖面以下桩间土体重度;

Z_G ——斜直交替桩的桩间土的重心至倾斜桩桩底的水平距离(m)。

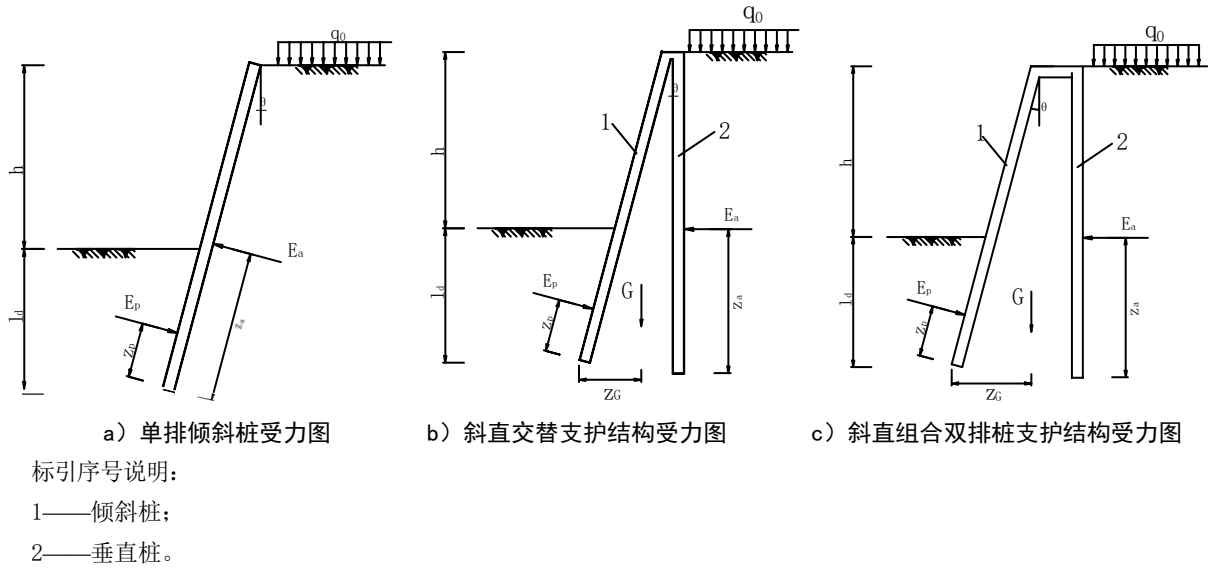


图 6 倾斜桩支护结构抗倾覆稳定性验算

6.6.2 倾斜桩支护结构应按下列规定进行整体稳定性验算:

- a) 整体稳定性可采用圆弧滑动条分法进行验算;
b) 采用圆弧滑动条分法时, 整体稳定性应符合式 (31)、(32) 的规定 (图 7):

$$\min\{k_{s,1}, k_{s,2}, \dots, k_{s,i}\} \geq k_{hd} \quad (31)$$

$$K_{s,i} = \frac{\sum \{c_j l_j + [(q_j l_j + \Delta G_j) \cos \theta_j - u_j l_j] \tan \varphi_j\}}{\sum (q_j l_j + \Delta G_j) \sin \theta_j} \quad (32)$$

式中:

k_{hd} ——整体滑动稳定安全系数; 基坑重要性等级为一级、二级、三级的支挡结构, k_{hd} 应分别不小于 1.35、1.3、1.25;

$K_{s,i}$ ——第 i 个滑动圆弧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圆心及半径的所有潜在滑动圆弧确定;

c_j 、 φ_j ——第 j 土条滑弧面处土的黏聚力 (kPa)、内摩擦角 ($^\circ$);

b_j ——第 j 土条的宽度 (m);

θ_j ——第 j 条滑弧面中点处的法线与垂直面的夹角 ($^\circ$);

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

q_j ——作用在第 j 土条上的附加分布荷载标准值 (kPa);

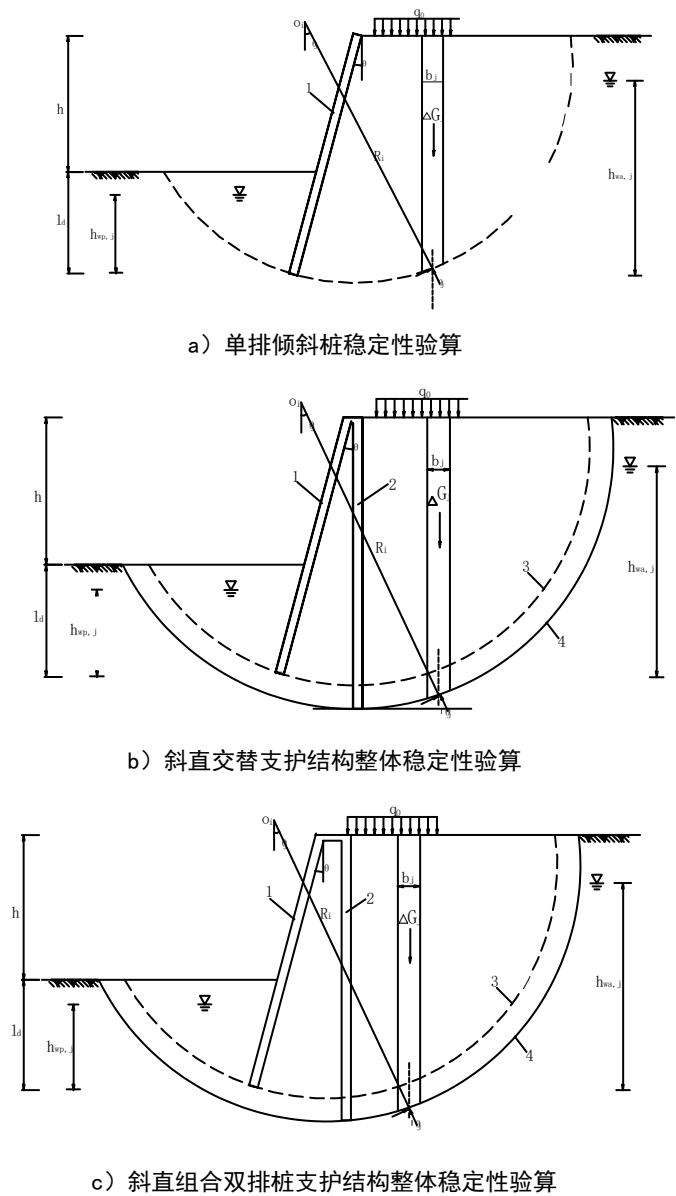
ΔG_j ——第 j 土条的自重 (kN), 按天然重度计算;

u_j ——第 j 土条在滑弧面上的孔隙水压力 (kPa); 基坑采用落底式截水帷幕时, 对地下水位以下的砂土、碎石土、粉土, 在基坑外侧, 可取 $u_j = Y_w h_{wa,j}$, 在基坑内侧, 可取 $u_j = Y_w h_{wp,j}$; 在地下水位以上或对地下水位以下的黏性土, 取 $u_j = 0$;

Y_w ——地下水重度 (kN/m³);

$h_{wa,j}$ ——基坑外地下水位至第 j 土条滑弧面中点的垂直距离 (m);

$h_{wp,j}$ ——基坑内地下水位至第 j 土条滑弧面中点的垂直距离 (m)。



标引序号说明:

- 1——倾斜桩;
- 2——垂直桩;
- 3——倾斜桩滑弧;
- 4——垂直桩滑弧。

图 7 圆弧滑动条分法整体稳定性验算

6.6.3 倾斜桩支护结构的嵌固深度应符合下列坑底隆起稳定性要求:

- a) 支挡结构的嵌固深度应符合式 (33) ~ (35) 的规定 (图 8):

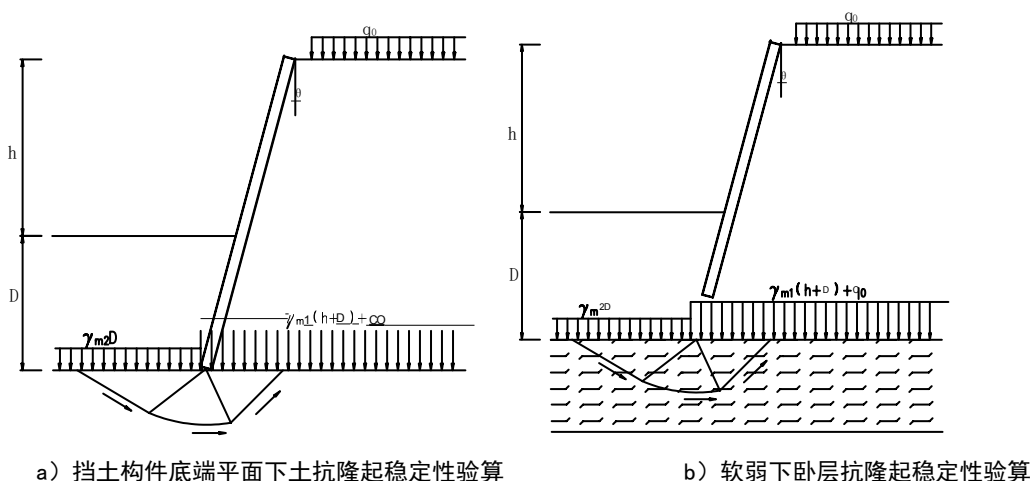


图 8 抗隆起稳定性验算

$$\frac{\gamma_{m2}DN_q + cN_c}{\gamma_{m1}(h+D) + q_0} \geq k_{lq} \quad (33)$$

$$N_q = \tan^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2})e^{\pi \tan \varphi} \quad (34)$$

$$N_c = (N_q - 1)/\tan \varphi \quad (35)$$

式中：

k_{lq} ——坑底抗隆起安全系数； k_{lq} 不应小于 1.8；

γ_{m1} ——基坑外挡土构件底面以上土的重度（kN/m³）；对地下水位以下的砂土、碎石土、粉土取浮重度；对多层土取各层土按厚度加权的平均重度；

γ_{m2} ——基坑内挡土构件底面以上土的重度（kN/m³）；对地下水位以下的砂土、碎石土、粉土取浮重度；对多层土取各层土按厚度加权的平均重度；

D ——基坑底面至挡土构件底面的土层厚度（m）；

h ——基坑深度（m）；

q_0 ——坡顶超载标准值（kPa）；

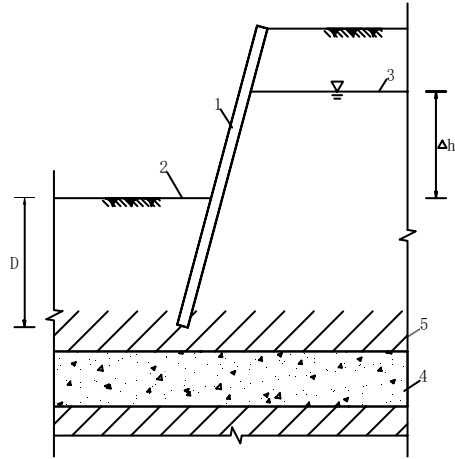
N_q 、 N_c ——承载力系数；

c 、 φ ——倾斜桩桩底面以下土的黏聚力（kPa）、内摩擦角（°）。

b) 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应涵盖软弱下卧层，式（33）中的 γ_{m1} 、 γ_{m2} 应取软弱下卧层顶面以上土的重度（图 8b）， D 应取基坑底面至软弱下卧层顶面的土层厚度。

6.6.4 基坑采用悬挂式截水帷幕或坑底以下存在水头高于坑底的承压含水层时，应进行地下水渗透稳定性验算并应符合下列规定：

a) 坑底以下有水头高于坑底的承压水含水层，且未用截水帷幕隔断其基坑内外的水力联系时，承压水作用下的坑底突涌稳定性应符合式（36）的规定（图9）：



标引序号说明：

- 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。

图 9 坑底土体的突涌稳定性验算

$$\frac{D\gamma}{(\Delta h + D)\gamma_w} \geq k_{ty} \quad (36)$$

式中：

k_{ty} ——抗坑底突涌安全系数，对于大面积开挖基坑， k_{ty} 不应小于 1.2；

D ——承压含水层顶面至坑底的土层厚度（m）；

γ ——承压含水层顶面至坑底土层的天然重度（ kN/m^3 ）；对成层土，取按土层厚度加权的平均天然重度；

Δh ——基坑内外的水头差（m）；

γ_w ——地下水的重度（ kN/m^3 ）。

- b) 采用倾斜搅拌桩作为止水帷幕时，桩后渗流路径长度沿桩身取值，桩前渗流路径长度取垂直高度，对均质含水层，地下水渗流的流土稳定性应符合式（37）的规定（图 10）：

$$\frac{[D + (D + 0.8D_1) / \cos \alpha] \gamma'}{\Delta h \gamma_w} \geq k_{se} \quad (37)$$

式中：

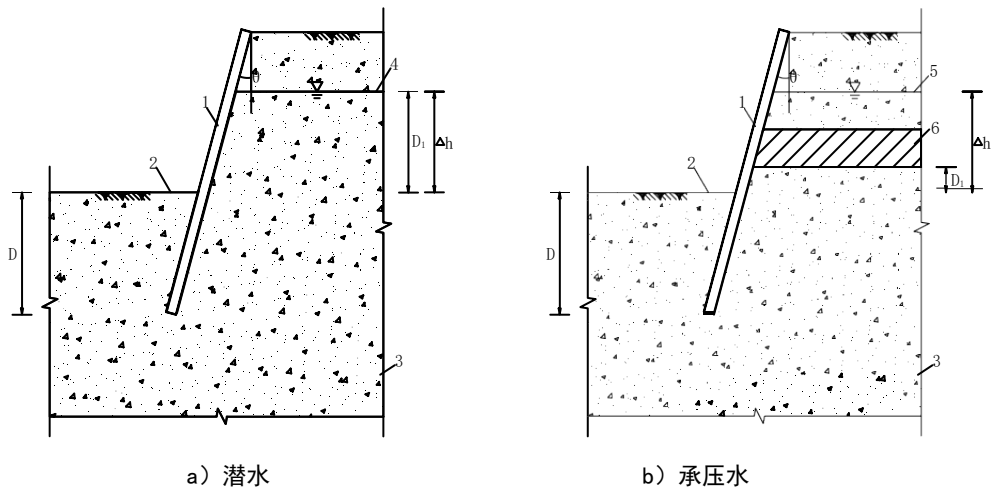
k_{se} ——流土稳定性安全系数； k_{se} 不应小于 1.5；

D ——截水帷幕底面至坑底的土层厚度（m）；

D_1 ——潜水水面或承压水含水层顶面至基坑底面的土层厚度（m）；

γ' ——土的浮重度（ kN/m^3 ）。

- c) 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，若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。



标引序号说明：

- 1——截水帷幕；
- 2——基坑底面；
- 3——含水层；
- 4——潜水位；
- 5——承压水测管水位；
- 6——承压含水层顶面。

图 10 采用悬挂式帷幕截水时的流土稳定性验算

6.6.5 挡土构件的嵌固深度除应满足 6.6.1~6.6.5 的规定外，在土层中，当计算确定的嵌入深度小于 $0.5h$ 时，应取 $0.5h$ （ h 为计算开挖深度）。

6.7 构造要求

6.7.1 倾斜桩支护结构的桩体入土深度应根据稳定与变形计算要求确定。

6.7.2 倾斜桩的桩轴线与铅垂线所夹角度不宜大于 30° ，桩间距不宜大于 3 倍桩径或桩边长。

6.7.3 斜直组合双排桩支护结构应满足如下要求：

- a) 前后排桩桩顶间距宜为 $2.5d \sim 5d$ （ d 为桩径或桩宽），每一排内桩的净距不宜大于 1m，且内排桩之间要采取防止土体塌落的措施；
- b) 双排桩桩顶应分别设置冠梁，两排冠梁间应设置连梁或厚板连接前、后排支护桩，并应保证前、后两排桩与连梁刚接连接；
- c) 前、后排桩应分别与桩顶冠梁采用刚性连接。

6.7.4 对倾斜灌注桩支护结构，应满足下列规定：

- a) 桩的直径宜采用 500mm~1200mm；
- b) 倾斜桩支护结构顶部应设置冠梁，钢筋混凝土冠梁宜沿基坑周边形成封闭圈，冠梁外包宽度不小于 0.4 倍桩径，高度不宜小于桩截面高度或桩径的 0.8 倍，且不宜小于 600mm，每侧配筋率不宜小于 0.3%。灌注桩身混凝土应伸入冠梁底面以上 100mm，桩主筋伸入冠梁不少于 $30d$ （ d 为钢筋直径）。桩的其它配筋应符合 GB 50010 的相关规定。冠梁不能形成封闭圈时，应在其端部采取加强稳定的结构措施；
- c) 桩与桩之间可视情况采用砖拱、喷射混凝土、水泥土桩等封闭措施，防止管涌和流土，并应采取有效措施疏导地下水，减轻支护桩承受的水压力；
- d) 倾斜灌注桩的配筋应符合下列要求：

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/456234214005011032>